



ΤΕΙ Κρήτης
Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Κρήτης

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Προηγμένα Κεραμικά υλικά
(Advanced ceramics)- Τεχνολογικές
εφαρμογές τους**



ΑΝΑΜΟΥΡΛΗ ΜΑΡΙΑ ΑΝΑΣΤΑΣΙΑ
ΑΜ:4907

Επιβλέπων Καθηγητής: ΣΑΒΒΑΚΗΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ

Ηράκλειο, 2014

Η εργασία αφιερώνεται στον Έξαρχο Δελήμπαση

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η εξέλιξη της επιστήμης της τεχνολογίας σε συνδυασμό με τις αυξημένες απαιτήσεις δείχνει την ανάγκη για χρήση τεχνολογικών υλικών με εξαιρετικές φυσικές και μηχανικές ιδιότητες. Η ανάγκη αυτή ανέδειξε την χρησιμότητα και την υπεροχή των κεραμικών υλικών και συγκεκριμένα τα προηγμένα κεραμικά υλικά, τα οποία διαθέτουν τις αναγκαίες ιδιότητες και χαρακτηριστικά.

Τα υλικά αυτά, λόγω των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών τους, τείνουν να επικρατήσουν, για την παραγωγή εξαρτημάτων σε μια σειρά από εφαρμογές που εξαπλώνεται ραγδαία.

Η εργασία αυτή δίνει την δυνατότητα στους αναγνώστες να μάθουν τα κεραμικά υλικά από την στιγμή που ανακαλύφθηκαν, την σημερινή τους εξέλιξη και τις εφαρμογές των υλικών αυτών στην καθημερινότητα μας.

Η μελέτη και η εκπόνηση της εργασίας αυτής παρουσιάζει μεγάλο ενδιαφέρον και χρειάστηκε αρκετό χρόνο. Τα διαθέσιμα μέσα που χρειάστηκαν στην εργασία αυτή ήταν το διαδίκτυο.

Ευχαριστίες:

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον καθηγητή μου κ. Σαββάκη Κωνσταντίνο για την ανάθεση του θέματος, τις υποδείξεις του , την ουσιαστική καθοδήγησή του και την άποψη συνεργασία.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τους γονείς μου και τον αδερφό μου για όλη την υποστήριξη τους και τη δύναμη που μου έδωσαν απλόχερα.

Ηράκλειο, 2014

Αναμουρλή Μαρία Αναστασία

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ	.....	3
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	.....	8
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 : Ιστορική εξέλιξη των κεραμικών		
1.1 Εισαγωγή	.....	10
1.2 Προϊστορική Αγγειοπλαστική	.....	12
1.2.1 Παλαιολιθική εποχή.....		12
1.2.2 Νεολιθική εποχή.....		13
1.2.3 Αίγυπτος.....		13
1.2.4 Τροχός αγγειοπλαστικής.....		14
1.2.5 Ελλάδα.....		15
1.2.6 Ασία	.....	17
1.2.7 Αμερική.....		19
1.3 Η εξέλιξη των κεραμικών το 19ο αιώνα	.....	20
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 : Δομή και ιδιότητες των προηγμένων κεραμικών		
2.1 Εισαγωγή	.....	25
2.2 Κρυσταλλοδομή κεραμικών υλικών	.....	27
2.2.1 Ηλεκτροαρνητικότητα	.....	27
2.3 Δομή προηγμένων κεραμικών υλικών	.....	34
2.3.1 Οξειδία.....		34
2.3.2 Νιτρίδια.....		37
2.3.3 Καρβίδια.....		41
2.3.4 Άνθρακας.....		45
2.4 Φυσικές Ιδιότητες Προηγμένων Κεραμικών	.....	49
2.4.1 Θερμικές Ιδιότητες.....		49
2.4.2 Οπτικές Ιδιότητες	.....	51
2.4.3 Ηλεκτρικές Ιδιότητες	.....	53
2.5 Μηχανικές Ιδιότητες Προηγμένων Κεραμικών	.....	56
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 : Μέθοδοι παραγωγής και μορφοποίησης των προηγμένων κεραμικών		
3.1 Εισαγωγή	.....	58
3.2 Μέθοδοι και διαδικασίες παραγωγής κεραμικών	.....	59
3.2.1 Επεξεργασία και παραγωγή κεραμικής σκόνης.....		60
3.2.2 Προετοιμασία πρώτων υλών.....		62
3.2.3 Μορφοποίηση	.....	65
3.2.4 Ξήρανση	.....	72
3.2.5 Πυροσυσσωμάτωση(sintering)	.....	73
3.2.6 Τελική επεξεργασία.....		75

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 : Εφαρμογές των προηγμένων κεραμικών στην ηλεκτρονική και τους υπολογιστές

4.1 Εισαγωγή.....	76
4.2 Κεραμικοί αγωγοί	78
4.2.1 Αγωγή σύνθετα κεραμικά υλικά.....	78
4.2.1.1 Φυσικές και χημικές ιδιότητες	78
4.2.1.2 Εφαρμογές	79
4.2.2 Υπεραγωγιμότητα.....	79
4.2.2.1 Υπεραγωγή κεραμικά.....	80
4.3 Διηλεκτρικό.....	81
4.3.1 Κεραμικοί μονωτές.....	83
4.3.2 Κεραμικοί πυκνωτές	86
4.4 Σιδηροηλεκτρισμός.....	88
4.4.1 Σιδηροηλεκτρικά κεραμικά υλικά.....	89
4.5 Πιεζοηλεκτρισμός	92
4.5.1 Πόλωση πιεζοηλεκτρικών κεραμικών υλικών.....	93
4.5.2 Πιεζοηλεκτρικά κεραμικά υλικά και εφαρμογές.....	96
4.5.3 Κύριες Χρήσεις Πιεζοηλεκτρικών κεραμικών υλικών.....	97
4.6 Μαγνητισμός.....	98
4.6.1 Κεραμικοί μαγνήτες.....	101
4.7 Ηλεκτρο-οπτικά κεραμικά.....	104

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 : Εφαρμογές των προηγμένων κεραμικών στις μηχανολογικές εφαρμογές

5.1 Εισαγωγή.....	108
5.2 Ιστορία των μηχανολογικών κεραμικών υλικών	109
5.3 Εφαρμογές των προηγμένων κεραμικών υλικών	112
5.3.1 Στρατός.....	112
5.3.2 Μεταφορές.....	116
5.3.3 Αεροδιαστημική.....	120
5.3.4 Κεραμικά & οπτικά υλικά.....	123

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 : Εφαρμογές των προηγμένων κεραμικών στους τομείς ενέργεια και περιβάλλον

6.1 Εισαγωγή.....	127
6.2 Παραγωγή ενέργειας	128
6.2.1 Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από το περιβάλλον	128
6.2.1.1 Εφαρμογές	129
6.2.1.2 Σχεδιάζοντας μια λύση παραγωγής ενέργειας	129
6.3 Κυψέλες καυσίμων.....	130
6.3.1 Πως λειτουργούν οι κεραμικές κυψέλες καυσίμου και οι εφαρμογές τους	131
6.4 Φωτοβολταϊκά συστήματα	134
6.5 Αιολική ενέργεια.....	136
6.6 Αποθήκευση ενέργειας.....	138
6.7 Πυρηνική Ενέργεια	139

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 Εφαρμογές των προηγμένων κεραμικών στην ιατρική και οδοντιατρική

7.1	Εισαγωγή.....	141
7.2	Εφαρμογές των προηγμένων κεραμικών υλικών στην ιατρική.....	142
7.2.1	Ιατρικός εξοπλισμός.....	142
7.2.2	Εφαρμογές στην ορθοπαιδική	148
7.2.3	Κεραμικό εμφύτευμα Ισχίο.....	150
7.3	Εφαρμογές κεραμικών υλικών στην οδοντιατρική.....	152
	Βιβλιογραφία από διαδίκτυο.....	155

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα κεραμικά υλικά είναι μια κατηγορία από τις τρεις των υλικών που υπάρχουν. Τα υλικά διακρίνονται σε κατηγορίες ανάλογα τη δομή και την ιδιότητα τους ως εξής : Μεταλλικά, Πολυμερή και Κεραμικά. Επίσης υπάρχει και άλλη μια κατηγορία η οποία προκύπτει από το συνδυασμό τουλάχιστον δυο υλικών, τα Σύνθετα υλικά (composites).

Τα κεραμικά υλικά χωρίζονται σε παραδοσιακά κεραμικά και προηγμένα κεραμικά. Σκοπός της εργασίας αυτής είναι η μελέτη των προηγμένων κεραμικών υλικών.

Ένα κεραμικό υλικό μπορεί να ορίζεται ως οποιοδήποτε ανόργανο κρυσταλλικό υλικό μεταλλικό ή μη – μεταλλικό. Τα κεραμικά υλικά είναι εύθραυστα, σκληρά, ανθεκτικά στη συμπίεση, αδύναμα στην διάτμηση και στην ένταση. Επίσης μπορούν να ανθίστανται σε χημική διάβρωση που εμφανίζει ένα όξινο ή καυστικό περιβάλλον. Λόγω της έντονης ερευνητικής δραστηριότητας και της τεχνολογικής ανάπτυξης δημιουργήθηκαν τα προηγμένα κεραμικά υλικά τα οποία διαφέρουν από τα συμβατικά κεραμικά, δεδομένου ότι είναι κατασκευασμένα με ειδικές προδιαγραφές και αυξημένων απαιτήσεων.

Τα προηγμένα κεραμικά υλικά αποτελούν μεγάλο ενδιαφέρον και χρησιμοποιούνται σε πολλούς τομείς σήμερα, για τον λόγο αυτό είναι υλικά με μεγάλες προδιαγραφές έτσι ώστε να μπορούν να αντέχουν στις απαιτήσεις των νέων τεχνολογιών. Τα προηγμένα κεραμικά υλικά αποτελούνται κυρίως από οξειδία, καρβίδια, νιτρίδια και βορίδια με αυξημένες ιδιότητες όπως μηχανική αντοχή και μεγάλη σκληρότητα. Παρουσιάζουν εξαιρετικές ιδιότητες όπως μαγνητικές, οπτικές, ηλεκτρικές, θερμομηχανικές και θερμομονωτικές που τους δίνει τη δυνατότητα να διατηρούνται σε υψηλή θερμοκρασία.

Παρόλο που δεν υπάρχει συνολικός ορισμός για τα προηγμένα κεραμικά μπορούμε να τα ταξινομήσουμε σε τέσσερις (4) κατηγορίες ως εξής:

- Προηγμένα δομικά κεραμικά.
- Ηλεκτρονικά κεραμικά
- Κεραμικές επικαλύψεις
- Σύνθετα κεραμικά υλικά

Τα προηγμένα κεραμικά χρησιμοποιούνται στην ιατρική, στις ηλεκτρικές και στις μηχανολογικές εφαρμογές.

Τα προηγμένα κεραμικά είναι πολύ ελκυστικά για τις ηλεκτρονικές εφαρμογές, δεδομένου ότι μπορούν να λειτουργούν σε υψηλή ισχύ, υψηλές συχνότητες και σε υψηλές θερμοκρασίες, ενώ παράλληλα συνδυάζουν ιδιότητες όπως μόνωση ηλεκτρισμού και μαγνητισμού, η οποία δεν είναι δυνατή σε άλλα υλικά. Τα σύγχρονα κεραμικά υλικά που χρησιμοποιούνται σε ηλεκτρονικές εφαρμογές είναι το καρβίδιο του πυριτίου και το καρβίδιο του βολφραμίου. Και τα δύο υλικά εκτιμώνται για την αντοχή τους στην τριβή, και ως εκ τούτου χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές όπου απαιτείται υψηλή αντοχή στην φθορά τριβής όπως για παράδειγμα σε εξορυκτικές επιχειρήσεις.

Τα κεραμικά υλικά επιτρέπουν τον έλεγχο της διαδικασίας χαμηλής φθοράς, τη μείωση των εκπομπών και βοηθούν να διασφαλιστεί η αποτελεσματική χρήση των πόρων σε πολλές περιοχές του ενεργειακού εφοδιασμού και την περιβαλλοντική τεχνολογία.

Η τεράστια αντοχή στη φθορά, η αντοχή σε υψηλή θερμοκρασία και ένα υψηλό επίπεδο αντοχής στη διάβρωση κάνουν τα προηγμένα κεραμικά υλικά μια ενδιαφέρουσα εναλλακτική λύση, στη φθορά και στις απαιτήσεις της αντιδιαβρωτικής προστασίας. Τα κεραμικά υλικά εξασφαλίζουν μακρά διάρκεια ζωής για τα μέρη που υπόκεινται σε υψηλή πίεση στον τομέα της περιβαλλοντικής τεχνολογίας - για παράδειγμα, στην επεξεργασία του νερού ή την ανακύκλωση και την επεξεργασία ή την ανακύκλωση των αποβλήτων.

Τέλος ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν τα βιοκεραμικά υλικά, τα οποία έχουν αναπτυχθεί και οποία χρησιμοποιούνται για την αντικατάσταση δοντιών έως και την αντικατάσταση οστών στο ανθρώπινο σώμα. Τα βιοκεραμικά υλικά τα οποία εφαρμόζονται στην ιατρική έχουν βάση την αλουμίνα και την ζirkονία

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

Ιστορική εξέλιξη των κεραμικών

1.1 Εισαγωγή

Στην Ιστορία της Τέχνης, τα κεραμικά και η κεραμική τέχνη νοούνται αντικείμενα τέχνης όπως είναι οι φιγούρες, τα πλακάκια, τα τούβλα και τα επιτραπέζια σκεύη φτιαγμένα από πηλό και από άλλες πρώτες ύλες με τη διαδικασία της αγγειοπλαστικής. Μερικά κεραμικά προϊόντα θεωρούνται ως υψηλή τέχνη, ενώ άλλα θεωρούνται ως διακοσμητικά, ως βιομηχανική ή εφαρμοσμένη τέχνη, ή ως αρχαιολογικά αντικείμενα. Μπορούν να γίνουν μεμονωμένα ή σε ένα εργοστάσιο, με ομάδα ανθρώπων που ασχολούνται με το σχεδιασμό, τη κατασκευή και τη διακόσμηση. Τα διακοσμητικά κεραμικά ονομάζονται « κεραμική τέχνη».

Η λέξη "κεραμικό" προέρχεται από το προάστιο Κεραμεικός της Αρχαίας Αθήνας, το οποίο με τη σειρά του προέρχεται από το Κέραμος (κέραμος) μια παλαιότερη σανσκριτική ρίζα που σημαίνει "να καεί" και αναφερόταν αρχικά στην αγγειοπλαστική κεραμική, για ψημένα προϊόντα από πηλό. Τα βασικά είδη της αγγειοπλαστικής είναι τα αντικείμενα από πηλό, γυαλί και πορσελάνη .

Ο πηλός χρησιμοποιείται για τα επιτραπέζια αγγεία και τα διακοσμητικά αντικείμενα. Είναι ένα από τα παλαιότερα υλικά που χρησιμοποιούνται στην κεραμική. Ο πηλός ψήνεται σε σχετικά χαμηλές θερμοκρασίες (1.000 -1.150 °C), παράγοντας ένα ελαφρά πορώδες , χοντρό προϊόν. Για τελειοποίηση της εμφάνισης και της υφής καύση το αντικείμενο καλύπτεται με λεπτή σκόνη επίγειου γυαλιού (βερνίκι) και στη συνέχεια ψήνεται για δεύτερη φορά.

Ο πηλός ψήνεται σε υψηλή θερμοκρασία (περίπου 1.200 °C) μέχρι να γίνει σαν γυαλί. Επειδή τα πήλινα σκεύη είναι μη πορώδες, εφαρμόζεται ένα βερνίκι μόνο για διακόσμηση. Πρόκειται για ένα ανθεκτικό υλικό κατάλληλο για χρήση στην κουζίνα για μαγείρεμα, για ψήσιμο, για την αποθήκευση υγρών και το σερβίρισμα.

Η πορσελάνη είναι ένα πολύ σκληρό, ημιδιαφανές λευκό κεραμικό. Οι πρώτες μορφές της πορσελάνης προέρχονταν από την Κίνα περίπου 1600 π.Χ., και από το 600 μ.Χ., η κινεζική πορσελάνη ήταν ένα πολύτιμο αγαθό για τους άραβες εμπόρους. Η πορσελάνη χρησιμοποιείται συχνά για να κάνουν πλάκες, κύπελλα, αγγεία και άλλα έργα τέχνης. Για να γίνει η πορσελάνης,

χρησιμοποιούνται μικρές ποσότητες από γυαλί, γρανίτη και ορυκτά έδαφος, όπου αναμυγνύονται με ψιλή λευκή σκόνη από καολίνη. Στη συνέχεια προστίθεται νερό στο προκύπτον μείγμα, έτσι ώστε να μπορεί να ζυμωθεί και δοθεί σχήμα. Αυτό ψήνεται σε κλίβανο σε θερμοκρασία 1.200-1.450 °C.

Υπάρχει μια μακρά ιστορία της κεραμικής τέχνης σχεδόν σε όλους τους ανεπτυγμένους πολιτισμούς, και συχνά τα κεραμικά αντικείμενα αποτελούν στοιχεία από τους πολιτισμούς που εξαφανίστηκαν, όπως αυτή του Νοκ στην Αφρική πριν από 2.000 χρόνια. Πολιτισμοί ιδιαίτερα γνωστοί για τα κεραμικά τους είναι της Κίνας, της Ελλάδας και ιδιαίτερα της Κρήτης, της Περσίας, των Μάγια, της Ιαπωνίας και της Κορέας, καθώς και όλες οι σύγχρονες Δυτικές κουλτούρες. Τα αντικείμενα της κεραμικής τέχνης έχουν τοποθετηθεί σε διαφορετικές χρονικές στιγμές λόγω του διαφορετικού βαθμού έμφασης και της τεχνοτροπίας τους.

Στη σύγχρονη μηχανολογική χρήση, τα κεραμικά είναι η τέχνη και η επιστήμη των αντικειμένων που γίνονται από ανόργανα, μη μεταλλικά υλικά. Είναι συνήθως κρυσταλλικά στη φύση και είναι ενώσεις που σχηματίζονται μεταξύ των μεταλλικών και μη μεταλλικών στοιχείων, όπως το αλουμίνιο με το οξυγόνο (αλουμίνα- Al_2O_3), το ασβέστιο με το οξυγόνο (ασβέστου - CaO), και το πυρίτιο με το άζωτο (νιτρίδιο του πυριτίου- Si_3N_4).

1.2 Προϊστορική Αγγειοπλαστική

Η αγγειοπλαστική είναι η αρχαιότερη τέχνη που υπάρχει στον πλανήτη. Ο άνθρωπος ανακάλυψε τον πηλό ανακατεύοντας χώμα και νερό, δημιουργήσε αντικείμενα αφού μπορούσε να σκάψει επάνω του και στη συνέχεια ανακάλυψε ότι χρησιμοποιώντας τη φωτιά μπορούσε να τα τελειοποιήσει. Φιγούρες ζώων και ανθρώπων κατασκευασμένες από πηλό και άλλα υλικά βρέθηκαν περίπου το 24,000 π.Χ. και σχεδόν 10,000 χρόνια αργότερα κατασκευάστηκαν τα πρώτα κεραμικά πλακίδια, τα γνωστά σε εμάς κεραμίδια. Παρακάτω παρουσιάζεται η ιστορική εξέλιξη της κεραμικής από διάφορες χρονικές στιγμές και πολιτισμούς.

1.2.1 Παλαιολιθική εποχή

Τα κεραμικά που βρέθηκαν σε Ιαπωνικά νησιά έχουν χρονολογηθεί περίπου τον 11ο αιώνα π.Χ. Η Ιαπωνική παλαιολιθική εποχή ήταν η αρχή της περιόδου Jomon. Η παλαιολιθική κεραμική είναι η παλαιότερη γνωστή αγγειοπλαστική. Στην Ευρώπη, η καύση του πηλού έγινε γνωστή στα τέλη της παλαιολιθικής εποχής (Magdalenian) και χρησιμοποιήθηκε για τη δημιουργία γυναικείων ειδώλων, όπως η «Αφροδίτη» της Dolni Vestonice (Τσεχική Δημοκρατία), ένα κεραμικό άγαλμα γυμνής γυναικείας φιγούρας που χρονολογείται 29,000-25,000 π.Χ., καθώς και στοιχεία ζώων.



Σχήμα 1.1: Αριστερά η «Αφροδίτη» της Dolni Vestonice

Δεξιά Βάζο από την περίοδο Jomon

1.2.2 Νεολιθική εποχή

Στην Παλαιστίνη, τη Συρία και τη νοτιοανατολική Τουρκία, τα πρώτα ευρήματα από πήλινα αγγεία χρονολογούνται από τη Νεολιθική εποχή, περίπου από την 8η χιλιετία π.Χ. Πριν από αυτό, ο πηλός είχε χρησιμοποιηθεί για δημιουργηθούν ειδώλια ανθρώπων και ζώων. Η Νεολιθική κεραμική εμφανίστηκε τον 10ο αιώνα π.Χ. Η πρώιμη ανάπτυξη σημειώθηκε στο Levant και χαρακτηρίστηκε και από εκεί εξαπλώθηκε προς τα ανατολικά και τα δυτικά. Νεολιθική κεραμική χωρίζεται σε δυο περιόδους την Νεολιθική κεραμική Α (8500 π.Χ. - 7600 π.Χ.) και την ακόλουθη Νεολιθική κεραμικής Β (7600 π.Χ. - 6000 π.Χ.). Στην περίοδο της Νεολιθικής κεραμικής κατασκευάστηκαν εργαλεία από πέτρα, γύψο και ασβέστη, καθώς και κτίσματα και κατασκευές από πηλό (π.χ. φούρνοι).



Σχήμα 1.2 : Αγγεία Νεολιθικής κεραμικής

1.2.3 Αίγυπτος

Κεραμική ήταν μία από τις πρώτες μορφές τέχνης που εμφανίστηκε από τους αρχαίους Αιγυπτίους. Βρέθηκαν κομμάτια από προδυναστιακής περιόδου (5000 π.Χ.-3000 π.Χ.) διακοσμημένα με στρουθοκαμήλους, βάρκες, και γεωμετρικά σχέδια. Οι Αιγύπτιοι χρησιμοποιούσαν στεατίτη και κατασκεύαζαν σκαλιστά μικρά κομμάτια σε αγγεία, φυλαχτά, εικόνες των θεοτήτων, των ζώων και διάφορα άλλα αντικείμενα. Οι Αρχαίοι Αιγύπτιοι καλλιτέχνες ανακάλυψαν επίσης την τέχνη της κεραμικής που καλύπτουν με σμάλτο. Η αδαμαντίνη επίσης εφαρμόζεται σε ορισμένα πέτρινα έργα.



Σχήμα 1.3: Αιγυπτιακό Αγγείο

Κάποια αντικείμενα κεραμικής αποτέθηκαν σε τάφους των νεκρών, στα οποία τοποθετούσαν τα εσωτερικά μέρη του σώματος, όπως οι πνεύμονες, το ήπαρ και τα μικρότερα έντερα, τα οποία είχαν προηγουμένως αφαιρεθεί για ταρίχευση. Ένας μεγάλος αριθμός αντικειμένων από σμάλτο βρέθηκαν στους τάφους. Για πρώτη φορά περίπου το 2000 π.Χ., εμφανίστηκε το χρωματιστό βερνίκι που κοσμούσε αντικείμενα από σκόνη χαλαζία. Επίσης ήταν η περίοδος που κατασκευάστηκαν πρώτη φορά τα κοσμήματα.

1.2.4 Τροχός αγγειοπλαστικής

Πριν από την εφεύρεση του τροχού, τα αγγεία είχαν διαμορφωθεί από την περιέλιξη πηλού “coiling” και στη συνέχεια πλάθοντας κατ'επανάληψη με το χέρι. Το μειονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι ότι ένα μόνο αντικείμενο θα μπορούσε να πάρει πολύ χρόνο για να δημιουργηθεί και το σχήμα του δεν μπορούσε να είναι απόλυτα στρογγυλό.

Καθώς η κοινωνία μεγάλωνε και το εμπόριο άνθισε, η ζήτηση για τα πήλινα αντικείμενα ήταν μεγάλη. Η παλιά μέθοδος για την κατασκευή αγγείων σταδιακά έγινε ανεπαρκής για να συμβαδίσουν με τη ζήτηση. Η λύση στο πρόβλημα αυτό ήταν η εφεύρεση ενός τροχού, η οποία ήταν αποφασιστικής σημασίας στην ιστορία της κεραμικής.

Ο τροχός εφευρέθηκε στην αρχαία Μεσοποταμία (σημερινό Ιράκ) γύρω στο 3.000 π.Χ. Μέσα σε σύντομο χρονικό διάστημα, οι Σουμέριοι προσαρμόστηκαν με την χρήση του τροχού, σε μια ταχύτερη μέθοδο διαμόρφωσης των κεραμικών. Οι πρώτοι τροχοί ήταν αργοί, αλλά ήταν μια τεράστια βελτίωση πέρα από τις προηγούμενες μεθόδους στη διαμόρφωση δοχείων.



Σχήμα 1.4: Γραφική απεικόνιση Τροχού Αγγειοπλαστικής

1.2.5 Ελλάδα

Η διαμόρφωση και η ζωγραφική των κεραμικών ήταν μια σημαντική τέχνη στην αρχαία Ελλάδα. Η χρήση του τροχού για την διαμόρφωση των κεραμικών ήταν καθοριστική.

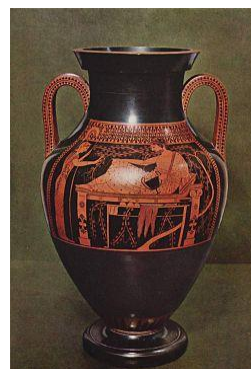
Κάθε αντικείμενο το οποίο έφτιαχναν οι αρχαίοι Έλληνες είχε ξεχωριστή μορφή και διαφορετικό όνομα διότι το καθένα αντιπροσωπούσε μια ξεχωριστή τελετουργία της κοινωνίας. Μερικά αγγεία μεγάλης σημασίας για την ελληνική αγγειοπλαστική αναφέρονται παρακάτω.

Ο αμφορέας ήταν ένα ψηλό αγγείο με οβάλ σώμα με κάθετη λαβή αμφίπλευρα. Οι αμφορείς επινοήθηκαν στην αρχαία Ελλάδα και υιοθετήθηκαν από τους Ρωμαίους ως κύρια μέσα μεταφοράς και αποθήκευσης για κρασί, καλαμπόκι, λάδι, ή μέλι, ακόμα για νερό. Η λήκυθος είναι τύπος ελληνικής αγγειοπλαστικής στα οποία χρησίμευαν για την τοποθέτηση ελαιόλαδου. Αποτελείται από ένα στενό σώμα, ένα λεπτό και μακρύ λαιμό και μια λαβή που συνδέει το λαιμό με το σώμα. Επίσης χρησίμευε σε επικήδειες τελετουργίες, γιαυτό το λόγο οι απεικονίσεις ήταν κυρίως επικήδειων ιεροτελεστιών, σκηνές απώλειας, αποχωρισμού και αναχώρησης. Ο κρατήρας έχει στρογγυλό σώμα, ευρύ στόμιο, βαριά βάση και λαβές αμφίπλευρα. Χρησιμοποιήθηκε για την ανάμιξη κρασιού και νερού. Οι αγγειοπλάστες της Αττικής φαίνεται πως αντέγραψαν τον τύπο αυτό του αγγείου από κορινθιακά πρότυπα.



Σχήμα 1.5 : Αρχαία Ελληνικά Αγγεία α) Αμφορέας β) Κρατήρας γ) Λύκηθος

Τα πρώτα, διακοσμητικά σχέδια ήταν αφηρημένα. Από την μέση εποχή του χαλκού (2000-1500 π.Χ.), ωστόσο, εμφανίστηκαν οι στυλιζαρισμένες μορφές της φύσης. Από την μετέπειτα εποχή του χαλκού, φυτά, πλάσματα της θάλασσας και ευφάνταστα ζώα ήταν ζωγραφισμένα στα αγγεία, η οποία τεχνοτροπία αποτελεί τον Μυκηναϊκό πολιτισμό. Το ύφος των γεωμετρικών σχημάτων αντικατέστησε τα μυκηναϊκά το 1000 π.Χ. Οι μεγάλοι κρατήρες του γεωμετρικού ρυθμού, με απεικονίσεις από πολεμιστές και λιτανείες βρέθηκαν στο νεκροταφείο του Δίπυλου στην Αθήνα και χρονολογούνται περίπου το 750 π.Χ. Στην Αττική οι αγγειοπλάστες εισήγαγαν την Μελανόμορφη αγγειογραφία στις αρχές του 6ου αιώνα π.Χ. Βαμμένες μαύρες μορφές κοσμούσαν τη βάση αγγείου από κόκκινο πηλό. Άσπρο και κοκκινωπό-μοβ χρώμα προστέθηκε για το δέρμα και τα ενδύματα. Επίσης υπήρξαν απεικονίσεις από πομπές και άρματα σε χρονικές στιγμές που περιβάλλεται από γεωμετρικά μοτίβα. Αυτού του είδους η διακόσμηση χρησιμοποιήθηκε στην εικονογραφία της ελληνικής μυθολογίας. Ξεκινώντας από τον 6ο αιώνα π.Χ., η διακόσμηση τόνισε την ανθρώπινη φιγούρα πολύ περισσότερο από τα ζώα. Οι πιο συνηθισμένες απεικονίσεις ήταν οι ανθρώπινες ασχολίες όπως η εργασία, η μάχη, ακόμα και η διασκέψη, οι τελετές γάμων κ.λ.π. Σε ορισμένες περιπτώσεις, τα γεγονότα και οι ήρωες ονομάστηκαν. Μεταξύ άλλων μυθολογικές και λογοτεχνικές σκηνές κοσμούσαν τα αγγεία. Η Ερυθρόμορφη αγγειογραφία εφευρέθηκε περίπου το 530 π.Χ., και έγινε ιδιαίτερα δημοφιλής μεταξύ το 510 και το 430 π.Χ. Το φόντο ήταν βαμμένο μαύρο και οι λοιπές μορφές είχαν το χρώμα του πηλού (κόκκινο-καφέ) Οι εσωτερικές λεπτομέρειες των μορφών (π.χ. τα χαρακτηριστικά του προσώπου, οι πτυχώσεις των ενδυμάτων, κτλ.) αποδίδονταν με αραιωμένο καστανό γάνωμα, που γινόταν και αυτό μελανό κατά την όπτηση. Χρώματα από κόκκινο και λευκό χρησιμοποιήθηκαν λιγότερο, το χρυσό χρώμα, μερικές φορές, προστέθηκε για λεπτομέρειες του μετάλλου και των κοσμημάτων. Αν και η Αθήνα και η Κόρινθος ήταν κέντρα για την ερυθρόμορφη αγγειογραφία, το στυλ επίσης εξαπλώθηκε στα Ελληνικά νησιά



Σχήμα 1.6: Αρχαία Ελληνικά Αγγεία α) Μελανομορφη Αγγειογραφία β) Ερυθρόμορφη Αγγειογραφία

1.2.6 Ασία

Η κεραμική μπορεί να έχει τις ρίζες της στην περιοχή γύρω από τη Μεσόγειο, αλλά υπήρχαν επίσης εξελίξεις σε άλλα μέρη του κόσμου.

Κίνα

Οι Κινέζοι άρχισαν να φτιάχνουν διάφορα είδη αγγειοπλαστικής περίπου το 3.500 π.Χ.. Εκτός του ότι τα χρησιμοποιούσαν για αντικείμενα καθημερινής χρήσης, ήταν ένα σημαντικό μέρος στις τελετές κηδειών, τα οποία θάφτηκαν μαζί με τους ιδιοκτήτες τους.

Οι Κινέζοι άρχισαν να χρησιμοποιούν τα σμάλτα περίπου το 300 π.Χ. Μέχρι τη στιγμή της δυναστείας των Tang, η οποία άρχισε το 618 π.Χ, υπήρχαν πολλά διαφορετικά χρώματα των γυαλιού που χρησιμοποιούσαν. Η δυναστεία των Tang είδε επίσης την ανάπτυξη της πορσελάνης. Κατά τη διάρκεια των δύο δυναστειών που ακολούθησαν, Sung και Yuan, η κατασκευή της πορσελάνης έγινε μια μορφή τέχνης.

Η κεραμική κατά την εποχή της δυναστείας Ming, είναι πιο περίπλοκη και χρησιμοποιεί πολλές διαφορετικές τεχνικές, συμπεριλαμβανομένης ένα κόκκινο βερνίκι που δεν ήταν διαθέσιμο στο παρελθόν. Αλλά τα πιο αξιοσημείωτα αντικείμενα είναι τα πορσελάνινα αγγεία βαμμένα με μπλε και άσπρο βερνίκι, στολισμένα με εικόνες από φυτά και λουλούδια.



Σχήμα 1.7: Κινέζικη Πορσελάνη α) με κόκκινο βερνίκι β) με αποχρώσεις μπλε-άσπρο

Κορέα

Η κεραμική στην Κορέα χρονολογείται επίσης από τους αρχαίους χρόνους. Όπως και στην Κίνα, είχε χρησιμοποιηθεί στις επικηδίες τελετές, τα αντικείμενα θάφτηκαν μαζί με τον θανόντα. Αυτό το έθιμο άλλαξε τον όγδοο αιώνα, όταν ο Βουδισμός έγινε η κύρια θρησκεία και τα αγγεία χρησιμοποιούνταν για τις στάχτες των νεκρών. Η κεραμική συχνά βασίζονται σε κινεζικά σχέδια, ιδιαίτερα κατά τη διάρκεια της δυναστείας Sung. Ωστόσο, οι αγγειοπλάστες ανέπτυξαν κάποιες από τις δικές τους τεχνικές, συμπεριλαμβανομένης τη « *mishima* », όπου γινόταν η χρήση έγχρωμου άργιλιου για ψηφιδωτά.

Ιαπωνία

Η κεραμική στην Ιαπωνία αναπτύχθηκε περίπου το 2.000 π.Χ.- λίγο αργότερα από των Κινέζων. Εκτός από την κατασκευή αντικειμένων καθημερινής χρήσης, οι Ιάπωνες έκαναν στοιχεία στρατιωτών και αλόγων, μερικά από αυτά σε φυσικό μέγεθος, και σε τόσο μεγάλες ποσότητες που θα πρέπει να είχαν ένα βελτιωμένο τρόπο παραγωγής.

Οι Ιάπωνες είχαν αναπτύξει ένα δικό τους ύφος στο σχεδιασμό των κεραμικών, αλλά ορισμένα ιαπωνικά σχέδια ήταν εμνευσμένα από τα Κινέζικα και τα Κορεάτικα. Μια μεγάλη επιρροή ήταν η ιαπωνική τελετή του τσαγιού του Βουδισμού, η οποία δημιούργησε την ανάγκη για εξειδικευμένους τύπους της κεραμικής με πολύ απλά σχέδια. Οι Ιάπωνες εφηύραν επίσης την τεχνική *raku*, η οποία περιλαμβάνει ψήσιμο σε σχετικά χαμηλές θερμοκρασίες και την απομάκρυνση του αντικειμένου από τον κλίβανο, ενώ είναι ακόμα καυτό.



Σχήμα 1.8 : α) Κορεάτικο Αγγείο β) Ιαπωνικό Αγγείο

1.2.7 Αμερική

Νότια Αμερική

Στην Νότια Αμερική η κεραμική βρέθηκε περίπου το 3200 π.Χ στο Εκουαδόρ, αλλά τα κύρια αντικείμενα εμφανίστηκαν στο Περού . Τα αγγεία ήταν βαμμένα με κόκκινο χρώμα και είχαν έντονες αφηγηματικές σκηνές. Οι φιγούρες είχαν ανάγλυφη υφή με μεγάλη λεπτόμέρεια. Και τα δυο είδη είχαν το Περουβιανό χαρακτηριστικό. Στα νότια του πολιτισμού Νάζκα παράγονται διπλές υδρίες και πολύχρωμα βάζα σχηματοποιημένα με μοτίβα ζώων. Τα μπουκάλια ήταν μοναδική τεχνοτροπία για τον πολιτισμό Moche του Περού. Παράγονται κατά τη διάρκεια του 5ου και 6ου αιώνα, ήταν κατασκευασμένα στο χέρι και τελειοποιήθηκε με ένα δίχρωμο γλάσο. Οι εικόνες που παρουσιάζονται είναι είτε πολεμιστών είτε ιερέων.

Κεντρική Αμερική

Τα πρώτα εγχώρια κεραμικά του Μεξικού, χρονολογούνται από την περίοδο 1500 ως το 1000 π.Χ., και ταυτίζονται με το λαό των Μάγια. Κατά τη διάρκεια της Κλασικής περιόδου το 300 μ.Χ. έως το 900 μ.Χ., πήλινα ειδώλια εμπνευσμένα από την Ανατολή με ζωηρή ελευθερία έκφρασης κατηγοριοποιήθηκαν σε ιμπρεσιονιστικές σκηνές της καθημερινής ζωής Στην μετα-κλασική εποχή το Toltecs καταλαμβάνει το κεντρικό οροπέδιο, χαρακτηριστική κεραμική χρώματος είναι το κόκκινο ή το πορτοκαλί. Αργότερα, οι Αζτέκοι χρησιμοποίησαν την αφαιρετική διακόσμηση, τότε κόκκινα και πορτοκαλί κύπελλα διακοσμούνται με πουλιά και άλλες μορφές ζωής.



Σχήμα 1.9: Αρχαία αγγεία Κεντρικής και Νότιας Αμερικής

Βόρεια Αμερική

Μερικά από τα παλαιότερα αντικείμενα της κεραμικής στη Βόρεια Αμερική βρέθηκαν κατά μήκος του ποταμού Σαβάνα στη Γεωργία και τη Νότια Καρολίνα. Ο σχεδιασμός των κεραμικών ήταν γενικά μινιμαλιστικός, με κάποια απλή διακόσμηση. Με την πάροδο του χρόνου, νέες τεχνικές ανακαλύφθηκαν κυρίως στο Μισισσιπή, όπου η διακόσμηση άρχισε να γίνεται περίτεχνη, με ρινίσματα σιδήρου που δημιουργούνται από την άλεση του ελάσματος και τα σχέδια είναι ζωγραφισμένα στο εξωτερικό μέρος των σκευών .

1.3 Η εξέλιξη των κεραμικών το 19ο αιώνα

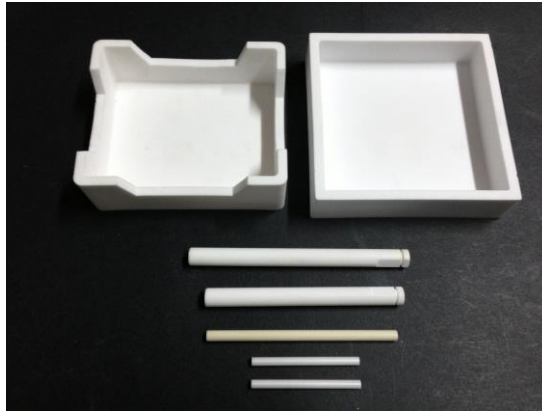
Τα προηγμένα κεραμικά κατασκευάστηκαν για να χρησιμοποιηθούν σε στοιχεία που απαιτούν υψηλά επίπεδα απόδοσης και αξιοπιστίας, όπως είναι ο εξελιγμένος ημιαγωγός και τα μέρη της μηχανής του αυτοκινήτου. Στην πραγματικότητα, τα προηγμένα κεραμικά υποστηρίζουν τις τελευταίες τεχνολογίες σε ποικίλες εφαρμογές σε όλη τη σύγχρονη κοινωνία. Τα προηγμένα κεραμικά έχουν κοινή προέλευση με τα παραδοσιακά κεραμικά που χρησιμοποιούμε κάθε μέρα, όπως τα επιτραπέζια σκεύη, τα αγγεία και άλλα είδη οικιακής χρήσης.

Κεραμικά στην εποχή της Ηλεκτροτεχνίας

Τον 19ο αιώνα, με τις εφευρέσεις του ηλεκτρικού φωτός και του τηλεφώνου από τους Thomas Alva Edison και Alexander Graham Bell αντίστοιχα, μια νέα εποχή ξεκίνησε λεγόμενη ως η εποχή της ηλεκτρικής ενέργειας.

Σε γενικές γραμμές, τα κεραμικά δεν άγουν τον ηλεκτρισμό. Σε σύγκριση με άλλα μονωτικά υλικά, όπως το χαρτί και το ξύλο, τα κεραμικά επηρεάζονται λιγότερο από περιβαλλοντικούς παράγοντες όπως η θερμοκρασία και η υγρασία, δίνοντας εξαρτημάτα μεγαλύτερης αξιοπιστίας. Μέσα από την ιστορία της κεραμικής, που αναφέρθηκε παραπάνω, και χρονολογείται πάνω από 10.000 χρόνια, έχουμε μάθει ότι η μοντελοποίηση της τεχνολογίας για την παραγωγή των κεραμικών προϊόντων σε μια μυριάδα μορφών και σχημάτων.

Τα προηγμένα κεραμικά έτσι έχουν έρθει σε ευρεία χρήση ως μονωτικά ή ως μονωτικά υλικά σε τομείς με ηλεκτροφόρα καλώδια σε οικιακά προϊόντα και έχουν γίνει σημαντικά υλικά που επιτρέπουν στους ανθρώπους να χρησιμοποιούν την ηλεκτρική ενέργεια εύκολα.



Σχήμα 1.10 : Κεραμικά Υψηλής Θερμοκρασίας

Κεραμικά στην εποχή των Ηλεκτρονικών

Ο 20ος αιώνας φέρνει την έλευση των ηλεκτρονικών συσκευών, με την έναρξη των ραδιοφωνικών και τηλεοπτικών εκπομπών και την εφεύρεση της κρυσταλλολυχνίας (τρανζίστορ).

Στις αρχές του 20^{ου} αιώνα εφευρέθηκε ο σωλήνας ηλεκτρονίων και υποστηρίχθηκε με κεραμικά υλικά. Για ασύρματο εξοπλισμό μόνο τα κεραμικά υλικά κατείχαν τις ιδιότητες που είναι απαραίτητες για την παροχή υψηλού σήματος εξόδου ακόμη και σε υψηλές συχνότητες. Τα κεραμικά υλικά δεν θα μπορούσαν να αντικατασταθούν με άλλα. Τα κεραμικά υλικά έχουν επωφεληθεί από σημαντική πρόοδο, την σύνθεση των υλικών. Η Επιμετάλλωση και άλλες τεχνολογίες που εφαρμόζονται, επιτρέπουν στα κεραμικά να αναπτυχθούν ισχυρότερα. Κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου, τα κεραμικά αναπτύχθηκαν στα σημερινά προηγμένα κεραμικά.

Οι Ημιαγωγοί, το βασικό στοιχείο της ηλεκτρονικής εποχής, έχουν επίσης υποστηρίχθει από τα κεραμικά. Τα Τρανζίστορ και τα ολοκληρωμένα κυκλώματα (ICs) αναπτύχθηκαν στα εργαστήρια των ΗΠΑ λίγο μετά τον Δεύτερο Παγκόσμιο Πόλεμο. Ωστόσο, επειδή ήταν εξαιρετικά ευαίσθητα στην εξωτερική υγρασία και το έντονο φως, τα πρώτα τρανζίστορ και ICs δεν ήταν άμεσα διαθέσιμα για πρακτική χρήση. Ευτυχώς, τα κεραμικά υλικά ήταν σε θέση να αποκλείσουν την εξωτερική υγρασία και το φως, διατηρώντας παράλληλα την ηλεκτρική απόδοση των τρανζίστορ και ICs.

Επιπλέον, τα κεραμικά έχουν βοηθήσει στη μείωση του μεγέθους των πυκνωτών και πηνίων στα ηλεκτρονικά. Από τα μέσα του 20ου αιώνα, τα κεραμικά έχουν υποβληθεί σε μια συνεχή εξέλιξη, και τώρα κατέχουν εξαιρετικές διηλεκτρικές και μαγνητικές ιδιότητες. Ως εκ τούτου τα κεραμικά υλικά έκαναν μια σημαντική συμβολή στην μείωση του μεγέθους του ηλεκτρονικού εξοπλισμού.

Αν οι πυκνωτές δεν είχαν γίνει από κεραμικά, οι φορητές ηλεκτρονικές συσκευές που εξαρτόμαστε κάθε μέρα, όπως τα κινητά τηλέφωνα και οι φορητοί υπολογιστές, ποτέ δεν θα είχαν εμφανιστεί. Στην πραγματικότητα, ένα σύγχρονο κινητό τηλέφωνο χρησιμοποιεί περισσότερους από 200 κεραμικούς πυκνωτούς. Τα προηγμένα κεραμικά υλικά γεννήθηκαν σε αυτή την εποχή ως βιομηχανικά υλικά εξαιρετικής ακρίβειας και κατασκευάζονται μέσω αυστηρών ελεγχόμενων διεργασιών από εξευγενισμένες ή συνθετικές πρώτες ύλες και έτσι, διαφοροποιούνται από όλα τα συμβατικά ψημένα προϊόντα.



Σχήμα 1.11 : Κεραμικοί Πυκνωτές

Προηγμένα Κεραμικά ως το νέο "πρωτοπόρο" υλικό

Τα προηγμένα κεραμικά κατέχουν μια μεγάλη ποικιλία από μοναδικά χαρακτηριστικά μέσα από παραλλαγές των πρώτων υλών, συνθέτοντας μεθόδους και διαδικασίες παραγωγής. Κατά συνέπεια, έχουν γίνει πρότυπα για τα νέα υλικά σε αμέτρητους τομείς της προηγμένης τεχνολογίας. Λόγω του μικρού βάρους, της ακαμψίας, της φυσικής σταθερότητας και την χημική αντίσταση, τα μεγάλα κεραμικά εξαρτήματα χρησιμοποιούνται για την κατασκευή ημιαγωγών και οθόνες υγρών κρυστάλλων.

Επιπλέον, η υψηλή αξιοπιστία τους και η επιτυχής ένταξη τους με άλλα μέταλλα, τους επιτρέπουν να χρησιμοποιούνται σε ένα αυξανόμενο φάσμα των εξαρτημάτων των αυτοκινήτων.

Με τις διηλεκτρικές και πιεζοηλεκτρικές ιδιότητες τους, τα προηγμένα κεραμικά υλικά χρησιμεύουν ως βάση για πολλά βασικά ηλεκτρονικά εξαρτήματα, καθώς και συμπαγής υψηλής απόδοσης πυκνωτές, φίλτρα και αντηχεία. Εκτελούν τους βασικούς ρόλους σε διάφορες άλλες βιομηχανίες. Για παράδειγμα, η χημική αδράνεια τους είναι πολύ χρήσιμη στη βαριά βιομηχανία χημικών, ενώ η αντοχή τους στην τριβή αποτιμάται στην κατασκευή κλωστοϋφαντουργικών προϊόντων. Πέρα από τις βιομηχανικές εφαρμογές, τα προηγμένα κεραμικά χρησιμοποιούνται όλο και περισσότερο στην καθημερινά εξαρτήματα, όπως μαχαίρια, στυλό, κοσμήματα, διακοσμητικά αντικείμενα, ακόμη και ιατρικά και οδοντιατρικά εμφυτεύματα.



Σχήμα 1.12 : α) Ιατρικά Εργαλεία β) Οδοντιατρικά εμφυτεύματα



Σχήμα 1.13 : Μαχαίρι κεραμικής λεπίδας

Περίοδος	Ανάπτυξη
24.000 π.Χ.	Κεραμικά ειδώλια που χρησιμοποιήθηκαν σε τελετουργικούς σκοπούς
14.000 π.Χ.	Τα πρώτα κεραμίδια κατασκευάστηκαν στη Μεσοποταμία και στην Ινδία
9.000-10.000 π.Χ.	Γεννήθηκε η Αγγειοπλαστική
5.000-8.000 π.Χ.	Το βερνίκι ανακαλύφθηκε στην Αίγυπτο
1.500 π.Χ.	Κατασκευάζονται για πρώτη φορά αντικείμενα από γυαλί
1.550 μ.Χ.	Σύνθετα πυρίμαχα υλικά (ανθεκτικής θερμοκρασίας) για φούρνους που χρησιμοποιούνται για να κάνουν γυαλί, τσιμέντο, χάλυβα κ.λ.π.
Μέσα του 1800	Ηλεκτρική μόνωση από πορσελάνη/ Λαμπτήρας πυρακτώσεως
1920	Υψηλής αντοχής χαλαζίας εμπλουτισμένος με πορσελάνη για μόνωση/Το μπουζι από αλουμίνα/ Τζάμια για αυτοκίνητα
1940	Πυκνωτές και μαγνητικοί φερρίτες
1960	Μονωτές από αλουμίνα για τάσεις πάνω από 220V Εφαρμογή των καρβιδίων και των νιτριδίων
1970	Κεραμικά υλικά υψηλής απόδοσης για καταλυτικούς μετατροπείς και φίλτρα σωματιδίων για κινητήρες ντίζελ
1980	Υπεραγωγοί υψηλής θερμοκρασίας
Αρχές 20 ^{ου} αιώνα	Πυκνωτές με εξαιρετικές διηλεκτρικές και μαγνητικές ιδιότητες
και	Ιατρικά και Οδοντιατρικά Εμφυτεύματα

Πίνακας 1.1 : Χρονολόγιο των επιλεγμένων κεραμικών και η ανάπτυξη του γυαλι

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

Δομή και ιδιότητες των προηγμένων κεραμικών

2.1 Εισαγωγή

Ένα κεραμικό υλικό μπορεί να ορίζεται ως οποιοδήποτε ανόργανο κρυσταλλικό υλικό μεταλλικό ή μη – μεταλλικό. Τα κεραμικά υλικά είναι εύθραυστα, σκληρά, ανθεκτικά στη συμπίεση, αδύναμα στην διάτμηση και στην ένταση. Επίσης μπορούν να ανθίστανται σε χημική διάβρωση που εμφανίζει ένα όξινο ή καυστικό περιβάλλον. Λόγω της έντονης ερευνητικής δραστηριότητας και της τεχνολογικής ανάπτυξης δημιουργήθηκαν τα προηγμένα κεραμικά υλικά τα οποία διαφέρουν από τα συμβατικά κεραμικά καταναλωτικών αγαθών, δεδομένου ότι είναι κατασκευασμένα με ειδικές προδιαγραφές αλλά και αυξημένων απαιτήσεων.

Ο όρος προηγμένα κεραμικά έχει ειπωθεί ότι ξεκίνησε περίπου πριν από 50 χρόνια με την εξάπλωση της χρήσης της χημικής σκόνης. Για παράδειγμα, στην εταιρία Bayer η διαδικασία παραγωγής κόνεων αλουμίνας αυξήθηκε από την παραγωγή των μπουζί. Αν και αυτές οι σκόνες θα πρέπει να θεωρούνται σχετικά χαμηλής ποιότητας με τα σημερινά πρότυπα, όμως προσφέρουν περισσότερο έλεγχο πάνω στη σύνθεση, στη μικροδομή και στη κρυσταλλική δομή αφού έχουν βάση κεραμικά.

Σήμερα, η αγορά των προηγμένων κεραμικών είναι μεγάλη και αυξανόμενη, καθώς συνεχίζουν την αντικατάσταση των παραδοσιακών υλικών σε πολλές εφαρμογές, παρέχοντας τη μόνη υλική λύση σε άλλες εφαρμογές. Σε πολλές περιπτώσεις, τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν με άλλα υλικά για να κάνουν ένα μόνο μέρος του συνολικού συστήματος. Οι Κεραμικές σκόνες είναι ένα απαραίτητο συστατικό για τα προηγμένα κεραμικά. Αυτές περιλαμβάνουν **οξειδία, νιτρίδια, καρβίδια και βορίδια**. Η αγορά στις ΗΠΑ των προηγμένων κεραμικών εκτιμήθηκε σε 648.000.000 δολάρια το 1994, σύμφωνα με το BCC. Μέχρι το 2000, η έφτασε σχεδόν 1 δις 100 εκατομμύρια δολάρια. Η μελλοντική επιτυχία στην αγορά των προηγμένων κεραμικών εξαρτάται από την αύξηση της ποιότητας και της αξιοπιστίας των προϊόντων, τη βελτίωση της σχέσης κόστους / οφέλους των κεραμικών στοιχείων, την αύξηση και την ανάπτυξη της εφαρμοσμένης έρευνας και την υψηλή ποιότητα σε πρώτες ύλες.

Τα προηγμένα κεραμικά υλικά είναι αυτά που εμφανίζουν ανώτερες μηχανικές ιδιότητες, αντοχή στη διάβρωση / οξειδωση, θερμικές, ηλεκτρικές, οπτικές και μαγνητικές ιδιότητες. Τα προηγμένα κεραμικά γενικά αναλύονται στα ακόλουθα τμήματα:

1. Προηγμένα δομικά κεραμικά

Το σημερινό μερίδιο των δομικών κεραμικών υλικών είναι το 10 % , ωστόσο το ποσοστό αυτό αναμένεται να αυξηθεί με την ανάπτυξη της τεχνολογίας. Τα προηγμένα δομικά κεραμικά υλικά κατασκευάζονται για τη χρήση σε απαιτητικές δομικές εφαρμογές όπως θερμικές μηχανές, εξαρτήματα μηχανών, στροβίλους, εξαρτήματα αυτοκινήτων, βιοϊατρικά εξαρτήματα κ.λ.π. Τα υλικά που χρησιμοποιούνται σε τέτοιες περιπτώσεις υφίστανται μηχανική καταπόνηση που οδηγεί σε έντονες μηχανικές και θερμικές τάσεις. Επομένως επιλέγονται υλικά που παρουσιάζουν υψηλό μέτρο ελαστικότητας και σκληρότητα, υψηλή αντοχή, δυσθραυστότητα, χαμηλή πυκνότητα, αντοχή σε υψηλή θερμοκρασία και διαβρωτικό περιβάλλον με αποτέλεσμα να επιτυγχάνεται η διατήρηση όλων των μηχανικών ιδιοτήτων. Τα προηγμένα κεραμικά υλικά που χρησιμοποιούνται έχουν κυρίως βάση την αλουμίνα (Al_2O_3), την ζirkονία (ZrO_2), το καρβίδιο του πυριτίου (SiC), το νιτρίδιο του πυριτίου (Si_3N_4) και τα SiALONs (ενώσεις πυριτίου-αλουμινίου-οξυγόνου-αζώτου).

2. Ηλεκτρονικά κεραμικά

Τα ηλεκτρονικά προηγμένα κεραμικά υλικά αντιπροσωπεύουν σήμερα το μεγαλύτερο τμήμα της αγοράς των προηγμένων κεραμικών της οποίας καταλαμβάνουν αυτή τη στιγμή το 60%. Τα υλικά αυτά αποτελούν μια ευρεία κατηγορία ενώσεων ξεκινώντας από απλά οξείδια και νιτρίδια και με πιο σύνθετες ενώσεις. Τα ηλεκτρονικά κεραμικά χρησιμοποιούνται σε μονωτές και υλικά υποστρωμάτων, σε ολοκληρωμένα κυκλώματα, πιεζοηλεκτρικά κεραμικά και τα πλέον πρόσφατα ανεπτυγμένα υπεραγώγιμα κεραμικά υψηλής κρίσιμης θερμοκρασίας. Ο χώρος είναι εντονότατα εξελισσόμενος και ολοένα αναπτύσσονται νέες και πρωτοποριακές συνθέσεις με συνεχή διεύρυνση των εφαρμογών.

3. Κεραμικές επικαλύψεις

Οι κεραμικές επικαλύψεις ανακαλύφθηκαν για να δώσουν λύση σε αποτυχίες των δομικών κεραμικών υλικών. Η έννοια κεραμικές επικαλύψεις περιλαμβάνει θερμικές εναποθέσεις με χημικές ή φυσικές μεθόδους και δέσμες ιόντων.

4. Σύνθετα υλικά.

Τα σύνθετα κεραμικά υλικά αποτελούν το μεγαλύτερο ερευνητικό ενδιαφέρον σήμερα για τον λόγο ότι τα υλικά αυτά είναι το νεότερο τμήμα στο χώρο των κεραμικών. Η κατασκευή σύνθετων κεραμικών υλικών έχει στόχο την παραγωγή σύνθετων δομών.

2.2 Κρυσταλλοδομή κεραμικών υλικών

Κεραμικά υλικά είναι μη-μεταλλικές ανόργανες ενώσεις που σχηματίζονται από μεταλλικά (Al, Mg, Na, Ti, W) ή ημι-μεταλλικά (Si, B) και μη μεταλλικά (O, N, Γ) στοιχεία.

Τα άτομα από τα στοιχεία που συγκρατούνται μεταξύ τους σε μια κεραμική δομή από έναν από τον ακόλουθο μηχανισμό συγκράτησης είναι:

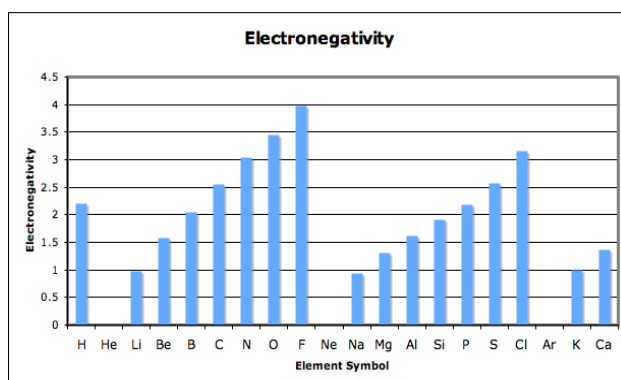
- ✓ Ιοντικός δεσμός
- ✓ Ομοιοπολικός δεσμός

Μικτός δεσμός : συνδυασμός ιοντικού και ομοιοπολικού δεσμού

Ο ιοντικός χαρακτήρας δίνεται από τη διαφορά της ηλεκτραρνητικότητας μεταξύ των κατιόντων (+) και ανιόντων (-). Ο ομοιοπολικός δεσμός περιλαμβάνει την κατανομή των ηλεκτρονίων σθένους. Οι ιοντικοί κρύσταλλοι συνήθως περιλαμβάνουν κατιόντα που είναι αλκάλια ή αλκαλικές γαίες-(δύο πρώτες στήλες του περιοδικού πίνακα) και τα ανιόντα είναι οξυγόνο ή αλογόνα. Τα περισσότερα από τα κεραμικά υλικά έχουν μια μικτή δομή σύνδεσης με διάφορες αναλογίες μεταξύ Ιοντικού και Ομοιοπολικού δεσμού. Αυτή η αναλογία εξαρτάται από την διαφορά της ηλεκτροαρνητικότητας των στοιχείων και καθορίζει τον μηχανισμό του δεσμού.

2.2.1 Ηλεκτροαρνητικότητα

Ηλεκτραρνητικότητα είναι μια ικανότητα των ατόμων του στοιχείου να προσελκύουν τα ηλεκτρόνια των ατόμων του άλλου στοιχείου. Η Ηλεκτραρνητικότητα μετριέται με σχετική κλίμακα, Pauling, η οποία κυμαίνεται σε ένα εύρος μεταξύ 0,7 (φράγκιο) και 3,98 (φθορίου). Τα μη μεταλλικά στοιχεία είναι χαρακτηρίζονται από έντονη ηλεκτραρνητικότητα. Τα μεταλλικά στοιχεία χαρακτηρίζονται από χαμηλή ή υψηλή ηλεκτραρνητικότητα.



Σχήμα 2.1: Ηλεκτροαρνητικότητα στοιχείων

α) Ιοντικός Δεσμός

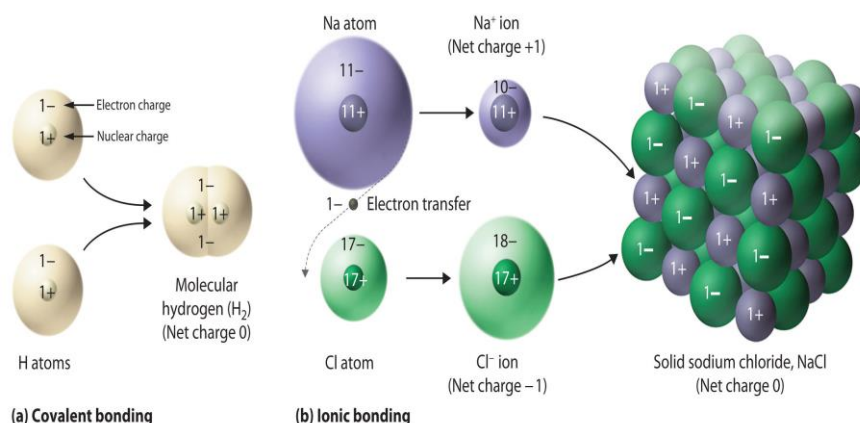
Ο ιοντικός δεσμός λαμβάνει χώρα μεταξύ δύο στοιχείων με μια μεγάλη διαφορά της ηλεκτροαρνητικότητας τους (μεταλλικών και μη μεταλλικών), οι οποίες γίνονται ιόντα (αρνητικά και θετικά) ως αποτέλεσμα της μεταφοράς του ηλεκτρονίου σθένους από το στοιχείο με χαμηλή ηλεκτροαρνητικότητα προς το στοιχείο με υψηλή ηλεκτροαρνητικότητα.

Το τυπικό παράδειγμα ενός υλικού με ιοντικό δεσμό είναι το χλωριούχο νάτριο (NaCl).

Το ηλεκτροθετικό άτομο νατρίου δωρίζει το ηλεκτρόνιο σθένους του στο ηλεκτραρνητικό άτομο χλωρίου, ολοκληρώνοντας εξωτερικό επίπεδο ηλεκτρονίων (οκτώ ηλεκτρόνια):

Ως αποτέλεσμα της μεταφοράς ηλεκτρονίων το άτομο νατρίου γίνεται θετικά φορτισμένο ιόν (κατιόν) και το άτομο χλωρίου γίνεται ένα αρνητικά φορτισμένο ιόν (ανιόν). Τα δύο ιόντα προσελκύνονται μεταξύ τους με τη δύναμη Coulomb, σχηματίζοντας μια ένωση (χλωριούχο νάτριο) ιοντικού δεσμού.

Ο ιοντικός δεσμός δεν έχει κατεύθυνση.



Σχήμα 2.2: Ιοντικός και Ομοιοπολικός Δεσμός χλωριούχου νατρίου

β) Ομοιοπολικός Δεσμός

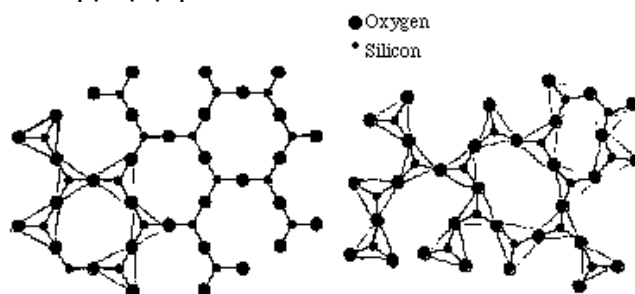
Ο Ομοιοπολικός δεσμός γίνεται μεταξύ των δύο στοιχείων με χαμηλή διαφορά ηλεκτροαρνητικότητας τους (συνήθως μη μεταλλικά), τα εξωτερικά ηλεκτρόνια από τα οποία είναι κοινά μεταξύ των τεσσάρων γειτονικών ατόμων.

Ο ομοιοπολικός δεσμός είναι αποτέλεσμα συγχώνευσης ατομικών τροχιακών. Τα ατομικά τροχιακά των ατόμων έχουν καθορισμένη κατεύθυνση στο χώρο ως προς τις συντεταγμένες (x,y,z). συνεπώς για να δημιουργήσουν ομοιοπολικό δεσμό θα πρέπει η προσέγγιση τους προκειμένου να συγχωνευτούν για γίνει με συγκεκριμένη κατεύθυνση γιαυτό και ο ομοιοπολικός δεσμός έχει υψηλή κατευθυντικότητα .

γ) Κατάταξη

Κεραμικά υλικά μπορούν να διαιρεθούν σε δύο κατηγορίες: κρυσταλλικά και άμορφα (μη κρυσταλλικό) . Σε κρυσταλλικά υλικά, ένα πλέγμα καταλαμβάνεται

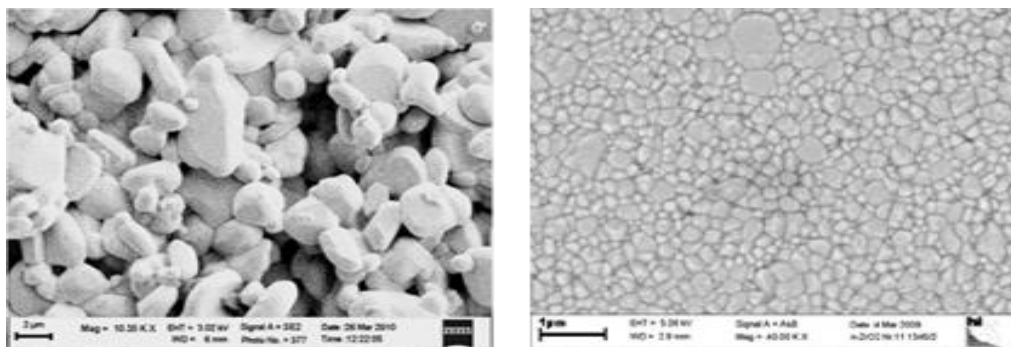
είτε από άτομα ή ιόντα, ανάλογα με το μηχανισμό συγκράτησης. Αυτά τα άτομα (ή ιόντα) διατάσσονται σε ένα κανονικώς επαναλαμβανόμενο μοτίβο σε τρεις διαστάσεις. Σε αντίθεση, στα άμορφα υλικά, τα άτομα εμφανίζουν μόνο τάξη μικρής εμβέλειας. Μερικά κεραμικά υλικά, όπως το διοξείδιο του πυριτίου (SiO_2), μπορούν να υπάρχουν σε οποιαδήποτε μορφή. Μία κρυσταλλική μορφή του SiO_2 αποτελείσματα όταν αυτό το υλικό ψύχεται αργά από θερμοκρασία ($T > T_{MP}$ 1723 °C). Ταχεία ψύξη ευνοεί τη μη κρυσταλλική δομή δεδομένου ότι χρόνος δεν επιτρέπει για ρυθμιστεί η μορφή.



Σχήμα 2.3: Σύγκριση της φυσικής δομής των δύο α) κρυσταλλικό και β) άμορφο διοξείδιο του πυριτίου

2.2.2 Μικροδομή

Μικροδομή, η οποία είναι πάρα πολύ μικρή για να τη δει κανείς με γυμνό μάτι, διαδραματίζει έναν σημαντικό παράγοντα για την τελική ιδιότητα ενός υλικού. Για τα κεραμικά, η μικροδομή αποτελείται από μικρούς κρυστάλλους που ονομάζονται κόκκοι. Σε γενικές γραμμές, όσο μικρότερο είναι το μέγεθος του κόκκου, τόσο ισχυρότερο και πυκνότερο είναι το κεραμικό υλικό. Στην περίπτωση ενός γυάλινου υλικού, η μικροδομή είναι μη κρυσταλλική. Όταν αυτά τα δύο υλικά σε συνδυασμό (γυαλί, κεραμικά), η υαλώδη φάση περιβάλλεται συνήθως από μικρούς κρυστάλλους.



Σχήμα 2.4: Μικροδομή κεραμικών υλικών

Η μεγάλη ποικιλία των εφαρμογών για τα κεραμικά υλικά προκύπτει από τις μοναδικές ιδιότητές τους. Από πολλές απόψεις, αυτές οι ιδιότητες δεν μπορούν να επιτευχθούν με άλλα υλικά. Παρακάτω παρουσιάζονται οι ιδιότητες των κεραμικών:

- υψηλή σκληρότητα
- υψηλή μηχανική αντοχή
- σταθερότητα διαστάσεων
- αντοχή στη φθορά
- αντοχή σε διάβρωση ή χημική προσβολή
- αντοχή στις καιρικές συνθήκες
- υψηλή θερμοκρασία εργασίας
- χαμηλή ή υψηλή θερμική αγωγιμότητα
- καλή ηλεκτρική μόνωση
- διηλεκτρικό και σιδηροηλεκτρικές ιδιότητες

α) Ατέλειες στη δομή των κεραμικών

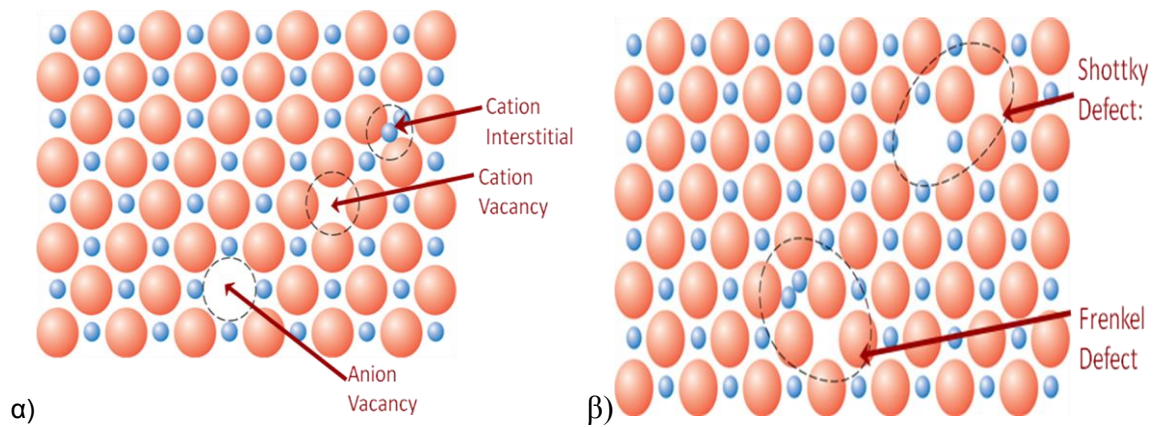
Στα κρυσταλλικά κεραμικά υπάρχουν όλοι οι τύποι των ατελειών (διαταραχών που έχουμε και στη δομή των μετάλλων):

- ✓ Σημειακές
- ✓ Γραμμής (εξαρμώσεις)
- ✓ Επιφάνειας (όρια κόκκων ,επιστοιβάσης) (σχετίζονται με την κρυσταλλική δομή)
- ✓ Ατέλειες όγκου: Πόροι ,προσμίξεις κενά ,μικρορωγμές (small cracks)

Οι σημειακές ατέλειες που υπάρχουν στη δομή των κεραμικών είναι τα κενά και οι παρεμβολές. Κενά υπάρχουν στα κεραμικά και για κατιόντα και για ανιόντα. Παρεμβολές υπάρχουν για κατιόντα .Παρεμβολές ανιόντων συνήθως δεν παρατηρούνται γιατί το μέγεθος των ανιόντων είναι μεγαλύτερο από το μέγεθος των θέσεων παρεμβολής.

Οι σημειακές ατέλειες έχουν τέτοια κατανομή ώστε να διασφαλίζεται η ηλεκτρική ουδετερότητα στην κρυσταλλική δομή. Οι συνδυασμοί κενού παρεμβολής δίνουν δυο ατέλειες για τη δομή των κεραμικών.

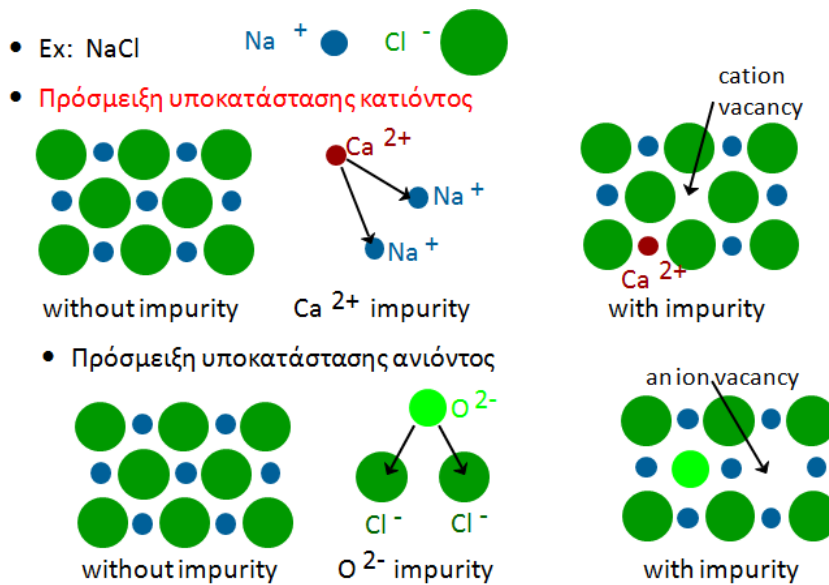
- Ατέλεια ή διαταραχή Frenkel (Frenkel Defect): Ζεύγος κενού και παρεμβολής κατιόντος
- Ατέλεια ή διαταραχή Shottky (Shottky Defect): Ζεύγος κενών ανιόντος και κατιόν



Σχήμα 2.5 : α) Κενό και παρεμβολή σε δομή κεραμικού β) Ατέλειες Μικροδομής Frenkel και Schottky

β) Προσμίξεις στα κεραμικά

Κατά τη παραγωγή των κεραμικών μπορεί προσμίξεις να ενσωματωθούν στην κρυσταλλική δομή τους. Η κατανομή των προσμίξεων είναι τέτοια ώστε να εξασφαλίζεται η ηλεκτρική ουδετερότητα της κρυσταλλικής δομής όπως φαίνεται στο σχήμα.



Σχήμα 2.6 : Ατέλειες ή ελαττώματα δομής λόγω προσμίξεων

γ) Μηχανικές ιδιότητες των κεραμικών

Τα κεραμικά υλικά είναι περισσότερο ψαθυρά από τα μέταλλα.

Στα μέταλλα η πλαστική τους παραμόρφωση γίνεται με ολίσθηση των εξαρμώσεων. Η ολίσθηση αυτή απαιτεί την χαμηλότερη δυνατή ενέργεια. Αν η κρυσταλλική δομή των μετάλλων ήταν ιδανική χωρίς εξαρμώσεις η αντοχή παραμόρφωσης ή διαρροής των μετάλλων θα ήταν υψηλότερη 104 έως και 105 φορές από αυτή που έχουν και φυσική η γνωστή πλαστικότητα των μετάλλων δεν θα υπήρχε. Στα ιοντικά στερεά (κεραμικά) υπάρχουν επίσης εξαρμώσεις, όμως η ολίσθηση τους είναι δύσκολη στο ιοντικό κρυσταλλικό πλέγμα, επειδή υπάρχουν ελάχιστα διαθέσιμα συστήματα ολίσθησης και επειδή υπάρχει μεγάλη αντίσταση στην σχετική κίνηση ιόντων με ίδιο φορτίο. Δηλαδή όταν με την ολίσθηση ένα κατιόν πλησιάζει ένα άλλο κατιόν οι απωστικές δυνάμεις που αναπτύσσονται είναι τεράστιες. Συνεπώς όταν εφαρμόζεται τάση στο κεραμικό ενεργειακά ευνοείται η ανάπτυξη των μικρορωγμών (small cracks or microcracks) παρά η ολίσθηση των εξαρμώσεων συνεπώς να έχουμε ψαθυρή θραύση δηλαδή θραύση χωρίς ή με μικρή πλαστική παραμόρφωση. Λόγω της συμπεριφοράς αυτής και της φύσης του κεραμικού δεν είναι δυνατή στα κεραμικά η δοκιμασία εφελκυσμού.

Η αντοχή σε θλίψη είναι τυπικά δέκα φορές μεγαλύτερη από την αντοχή σε εφελκυσμό. Αυτό κάνει τα κεραμικά άριστα δομικά υλικά υπό συμπίεση (π.χ., τούβλα σε σπίτια, ογκόλιθους στις πυραμίδες), αλλά όχι σε συνθήκες εφελκυσμού.

Τα κρυσταλλικά κεραμικά εμφανίζουν μεγάλη αντίσταση στον ερπυσμό δηλαδή διατηρούν την μηχανική τους συμπεριφορά μέχρι θερμοκρασία η οποία αντιστοιχεί στο $0,5 T_m$ (όπου T_m η απόλυτη θερμοκρασία τήξης)

Τα μη κρυσταλλικά κεραμικά πχ γυαλί θεωρούνται σώματα με εξαιρετικά υψηλό ιξώδες. Έχουν ψαθυρή συμπεριφορά η οποία οφείλεται στην ανάπτυξη των μικροσκοπικών ρωγμών (Hook's micro cracks). το ιξώδες μειώνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας και υλικό εμφανίζει ιξωδοελαστική συμπεριφορά όπως τα θερμοπλαστικά πολυμερή.

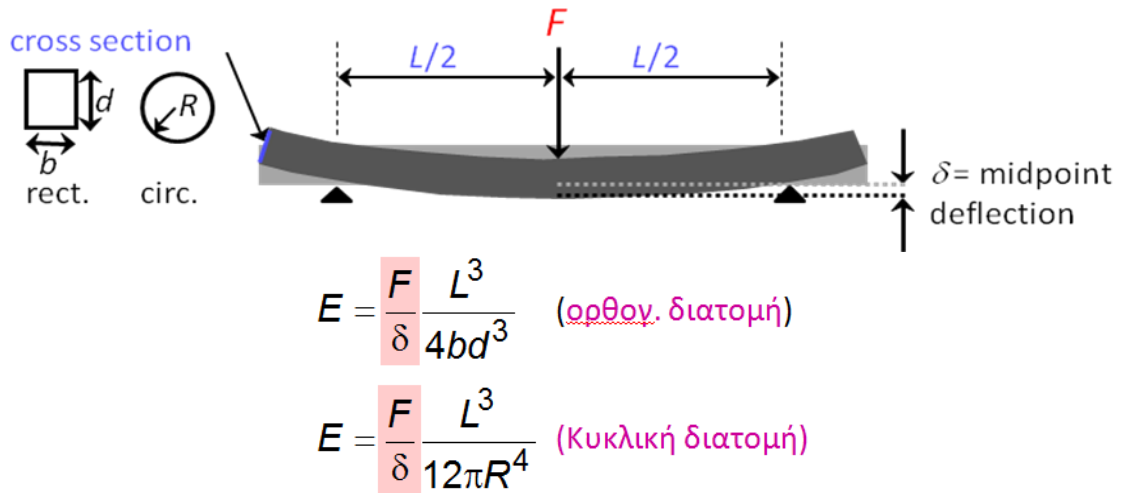
δ) Δοκιμασίες ελέγχου μηχανικών ιδιοτήτων κεραμικών – Προσδιορισμός του Μέτρου Ελαστικότητας

Στη θερμοκρασία περιβάλλοντος η συμπεριφορά τους είναι συνήθως γραμμική ελαστική με ψαθυρή θραύση.

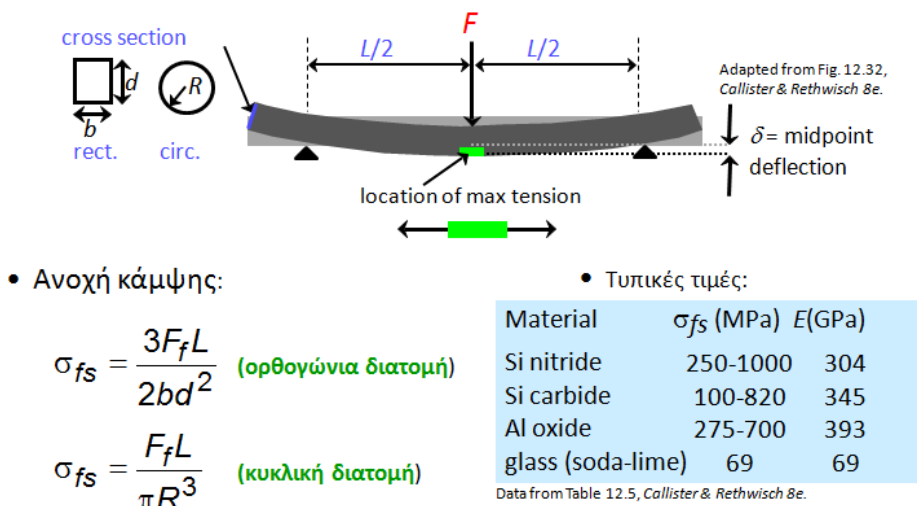
Εφαρμόζονται οι δοκιμασίες:

- Κάμψη τριών σημείων
 - Δοκιμασία θλίψεως (συμπίεσης)

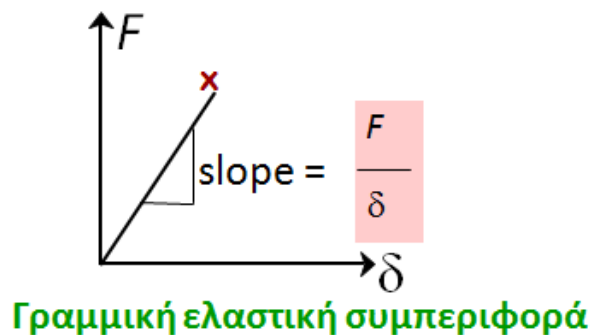
Ο Εφελκυσμός δεν μπορεί να εφαρμοστεί.



Σχήμα 2.7 : Κάμψη τριών σημείων , το μέτρο ελαστικότητας E προσδιορίζεται από τις παραπάνω σχέσεις



Σχήμα 2.8 : Κάμψη τριών σημείων προσδιορισμός αντοχής θραύσης



Σχήμα 2.9: Διάγραμμα τάσης παραμόρφωσης από δοκιμασία θλίψεως

2.3 Δομή προηγμένων κεραμικών υλικών

2.3.1 Οξείδια

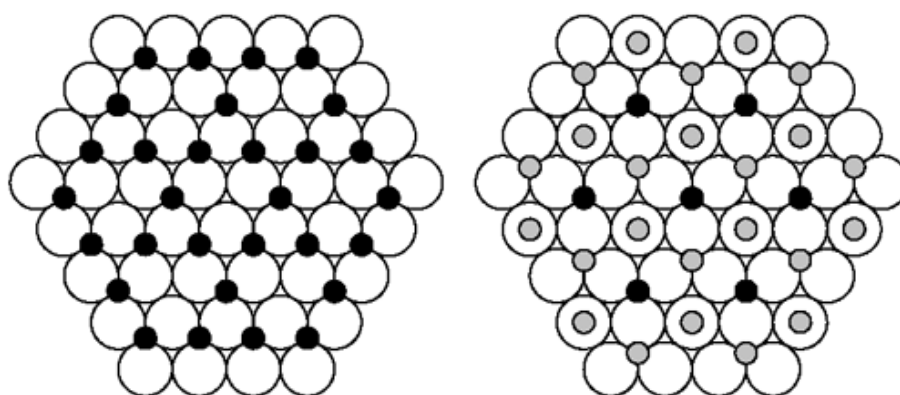
1. **Αλουμίνα (Al_2O_3)**: Αλουμίνα αποτελείται από βωξίτη, είναι ένα φυσικό μέταλλευμα που περιέχει νερό και οξείδια του αργιλίου. Εμφανίζεται συνήθως σε κρυσταλλική πολυμορφική φάση η οποία περιλαμβάνει το ορυκτό κορούνδιο, οι ποικιλίες του οποίου αποτελούν τα πολύτιμα πετράδια ρουμπίνι και ζαφείρι. Η Αλουμίνα αποτελεί ενδιάμεση ουσία για την παραγωγή στη μεταλλουργία αλουμινίου, στα βιομηχανικά κεραμικά και στη χημική επεξεργασία.

Ο κρύσταλλος του οξειδίου του αργιλίου χαρακτηρίζεται από ισχυρούς ιοντικούς δεσμούς. Ο δεσμός μεταξύ του αργιλίου και του οξυγόνου έχει αποδειχθεί ότι είναι ομοιοπολικός δεσμός ο οποίος τείνει να εκφυλιστεί σε ετεροπολικό, πιο συγκεκριμένα το ηλεκτρονιακό νέφος του μορίου εμφανίζει μεταξύ των δύο ατόμων ένα πολύ έντονο στένωμα. Εντοπίζεται σε διάφορες φάσεις με θεμελιώδη την εξαγωνική φάση τύπου α.

Το οξείδιο του αργιλίου είναι δυσδιάλυτο στο νερό με θερμοκρασία τήξης $2020^{\circ}C$. Η αλουμίνα δεν είναι δραστική σε οξέα ή βάσεις και στις υψηλές θερμοκρασίες. Αντιδρά με το υγρό φθόριο, το υδροφθορικό οξύ και το φωσφορικό οξύ. Η δραστικότητα της αλουμίνας αυξάνεται με την παρουσία ατμών αλκαλίων.

Το υλικό αυτό έχει πολύ καλές μηχανικές ιδιότητες όπως είναι σκληρό και δύσκαμπτο, πολύ καλός αγωγός της θερμότητας και μονωτής του ηλεκτρικού ρεύματος. Επίσης έχει υψηλή σκληρότητα, αντοχή στη φθορά, υψηλό μέτρο ελαστικότητας, αδράνεια, ανθεκτικότητα και δυστηκτητικότητα.

Η αλουμίνα χρησιμοποιείται για την κατασκευή σωλήνων και νημάτων. Πιο συγκεκριμένα με αυτή κατασκευάζονται λείζερ αερίων, μονωτών υψηλής θερμοκρασίας ή υψηλής τάσης, επένδυσης κλιβάνων, ηλεκτρικών καλωδίων, ηλεκτρονικών υποστρωμάτων, αισθητήρων θερμοκρασίας, εργαστηριακών σωλήνων και μέσων λείανσης..



Σχήμα 2.10: Σχηματικό διάγραμμα των δύο πρώτων στρωμάτων στη δομή αλουμίνας.

2. **Ζιρκονία (ZrO_2)**: Διοξείδιο του ζιρκονίου (ZrO_2), το οποίο αναφέρεται επίσης ως το οξειδίο του ζιρκονίου ή ζιρκονία, είναι ένα ανόργανο οξειδίο μετάλλου που χρησιμοποιείται κυρίως σε κεραμικά υλικά. Το ζιρκόνιο είναι ένα βαρύ μέταλλο (0,016 %) το οποίο βρίσκεται στο φλοιό της γης και εμφανίζεται πιο συχνά από ό,τι το στοιχείο του χλωρίου και του χαλκού. Έχει εξαιρετικές ιδιότητες όπως υψηλή αντοχή σε θραύση, εξαιρετική αντοχή στη φθορά, υψηλή σκληρότητα, εξαιρετική αντοχή στα χημικά, υψηλή ανθεκτικότητα και είναι καλός αγωγός των ιόντων.

Παρουσιάζει 3 κρυσταλλογραφικές φάσεις ανάλογα με την θερμοκρασία όπως φαίνεται παρακάτω:

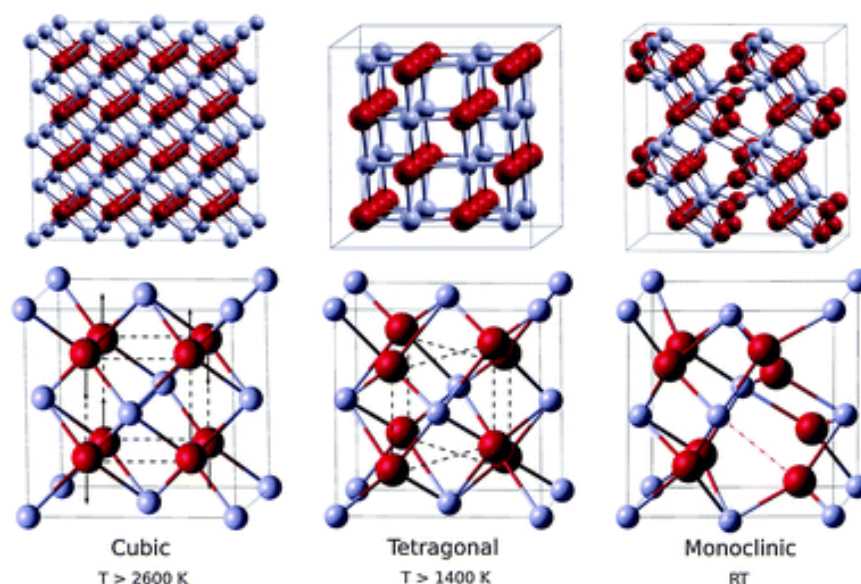
1^η φάση: Θερμοκρασία πάνω από 2680 °C έχει κυβική δομή

2^η φάση: Θερμοκρασία από 2680 έως 1150 °C έχει τετραγωνική δομή

3^η φάση: Θερμοκρασία από 1150 °C κρυσταλλώνεται στο μονοκλινές σύστημα

Η προσθήκη υπτρίας σε περιεκτικότητα από 0-9%, δίνει είτε πλήρως, είτε μερικώς σταθεροποιημένη ζιρκονία, η οποία χρησιμοποιείται σε ηλεκτρικές εφαρμογές. Τα οξείδια MgO , CaO και Y_2O_3 αποτελούν για την ζιρκονία σταθεροποιητές πλέγματος και η προσθήκη τους αποτρέπει την δημιουργία ρωγμών στο υλικό.

Η κύρια χρήση της ζιρκονίας είναι στην παραγωγή κεραμικών ως προστατευτική επικάλυψη στα σωματίδια των χρωστικών του διοξειδίου του τιτανίου, σε βερνίκια και επιστρώσεις που εφαρμόζονται στα αυτοκίνητα, σε δάπεδο παρκέ και σε έπιπλα. Διοξείδιο του ζιρκονίου βρίσκεται επίσης σε βερνίκια για ηλεκτρονικά είδη, σε βερνίκια νυχιών, σε μελάνια εκτυπωτή μελάνης, καθώς και άλλα προϊόντα. Εκτός αυτού, είναι γνωστό ως λειαντικό υλικό και χρησιμοποιείται στην ιατρική και οδοντιατρική.



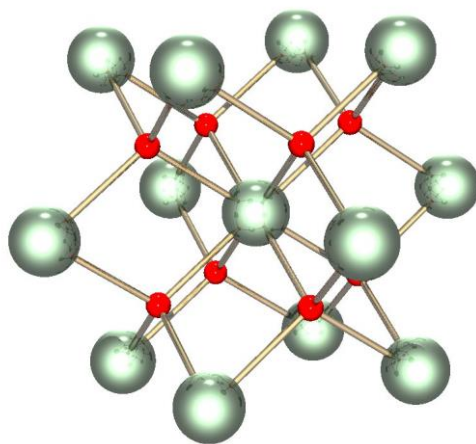
Σχήμα 2.11: κυβική δομή τετραγωνική δομή μονοκλινές σύστημα και οι δεσμοί τους.

3. **Ουράνιο (UO_2)** : Στην αρχαιότητα τα οξειδίου του ουρανίου χρησιμοποιήθηκαν για την παραγωγή κίτρινου χρώματος στα κεραμικά σμάλτα. Το Ουράνιο επίσημα ανακαλύφθηκε το 1789, στο Βερολίνο από τον Martin Heinrich Klaproth ο οποίος μελετούσε το ορυκτό πηλαιοουρανίτη, το οποίο στη συνέχεια πιστεύεται ότι είναι ένα μέταλλευμα ψευδαργύρου / σιδήρου. Ο Klaproth διάλυσε τον πηλαιοουρανίτη σε νιτρικό οξύ, κατόπιν πρόσθεσε ποτάσα για να ληφθεί ένα κίτρινο ίζημα. Η προσθήκη περίσσειας ποτάσας διαλύει το κίτρινο ίζημα. Τέτοιες αντιδράσεις δεν ήταν χαρακτηριστικό του γνωστού στοιχείου και Klaproth κατέληξε στο συμπέρασμα ότι είχε ανακαλύψει ένα νέο στοιχείο. Το νέο στοιχείο αυτό είναι το γνωστό Ουράνιο.

Το ουράνιο είναι βαρύ, αργυρόλευκο, τοξικό, με μεταλλική λάμψη, είναι ραδιενεργό και αναφλέγεται εύκολα σε λεπτό διαμερισμό.. Επίσης, είναι όλκιμο και ελατό. Το μέταλλο αμαυρώνει στον αέρα αποκτά ένα σκούρο στρώμα οξειδίου. Όταν παρουσιάζεται σε λεπτή σκόνη, το ουράνιο αναφλέγεται αυθόρμητα στον αέρα. Το Ουράνιο είναι ιδιαίτερα δραστικό μέταλλο και αντιδρά σχεδόν με όλα τα μη μεταλλικά στοιχεία και στοιχεία από τις ενώσεις του.

Διαλύεται σε οξέα, αλλά είναι αδιάλυτο σε αλκάλια. Όλα τα ισότοπα του ουρανίου είναι ραδιενεργά, κάποια περισσότερο από άλλα. Η Ραδιενέργεια του - ιδίως την ικανότητά της να υποβληθεί σε αλυσιδωτές αντιδράσεις θερμοπυρηνικής - έχει οδηγήσει στη χρήση του ουρανίου στην παραγωγή ενέργειας, τόσο για πολιτικούς όσο και για στρατιωτικούς σκοπούς.

Χρησιμοποιείται στην κατασκευή ειδικών τύπων γυαλιού. Κύρια χρήση του είναι η ελεγχόμενη διάσπασή του ^{235}U σε εργοστάσια παραγωγής ενέργειας (γι' αυτό και αποκαλείται "καύσιμο", χωρίς, φυσικά, να καίγεται) σε ειδικές εγκαταστάσεις, τους πυρηνικούς αντιδραστήρες. Σε μη ελεγχόμενη διάσπαση απελευθερώνει πολύ μεγάλα ποσά ενέργειας σε πολύ μικρό χρόνο και χρησιμοποιήθηκε στην κατασκευή της ατομικής βόμβας ουρανίου. Χρησιμοποιείται, επίσης, σε λεπτό διαμερισμό και αφού έχουν αφαιρεθεί τα πυρηνικής σημασίας ισότοπά του, στην κατασκευή εμπρηστικών βομβών. Η αφαίρεση των ισωτόπων δεν κάνει τις συνέπειες αυτών των βομβών λιγότερο σημαντικές για το περιβάλλον, αφού όλες οι μορφές ουρανίου είναι ραδιενεργές



Σχήμα 2.12 : Δομή Ουρανίου

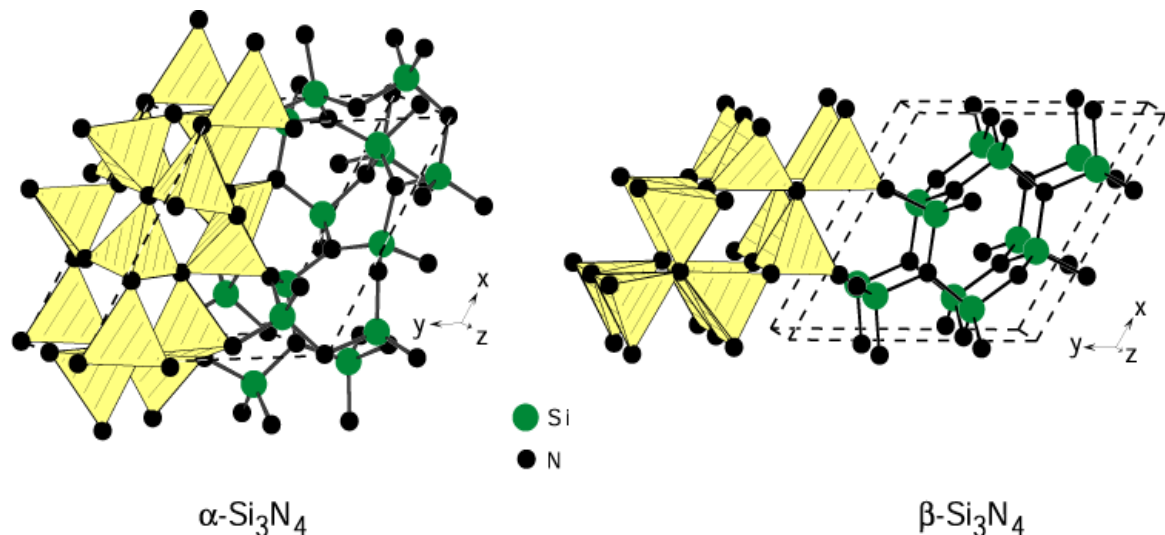
2.3.2 Νιτρίδια

1. **Νιτρίδιο του πυριτίου (Si_3N_4)**: Νιτρίδιο του πυριτίου (Si_3N_4) αναπτύχθηκε στη δεκαετία του 1960 και του '70 σε μια αναζήτηση για πλήρη πυκνά, υψηλής αντοχής υλικά. Το Νιτρίδιο του πυριτίου είναι μια χημική ένωση των στοιχείων του πυριτίου και του αζώτου, με τον τύπο Si_3N_4 .

Υπάρχουν τρεις κρυσταλλογραφικές δομές νιτρίδιο του πυριτίου, που ορίζονται ως α , β και γ φάσεις. Οι α και β φάσεις είναι οι πιο κοινές μορφές Si_3N_4 και μπορούν να παράγονται υπό κανονικές συνθήκες πίεσης. Η γ φάση μπορεί να συντεθεί μόνο κάτω από υψηλές πιέσεις και θερμοκρασίες, και έχει μια υψηλή σκληρότητα. Η α και β φάση έχουν τριγωνική και εξαγωνική δομή, αντίστοιχα και η γ φάση έχει κυβική δομή. Αυτές οι τρεις φάσεις σχηματίζουν τετραεδρική δομή.

Το νιτρίδιο του πυριτίου έχει εξαιρετικές ιδιότητες όπως αντοχή σε υψηλή θερμοκρασία υψηλή αντοχή σε θραύση και στη φθορά, υψηλή σκληρότητα, σε πρόσκρουση και σε τριβή τρόπους, καλή αντίσταση σε θερμικό σοκ και καλή χημική αντοχή.

Το νιτρίδιο χρησιμοποιείται στις περιστρεφόμενες μπίλιες των ρουλεμάν και στους κύλινδρους σε εργαλεία κοπής, στα κινούμενα μέρη – βαλβίδες των κινητήρων, και σε ρότορες υπερσυμπιεστή, σε αναλώσιμα εξαρτήματα του κινητήρα και στα πτερύγια. Επίσης η χρήση του γίνεται σε άξονες ακριβείας και σε περιβάλλον με υψηλή φθορά.

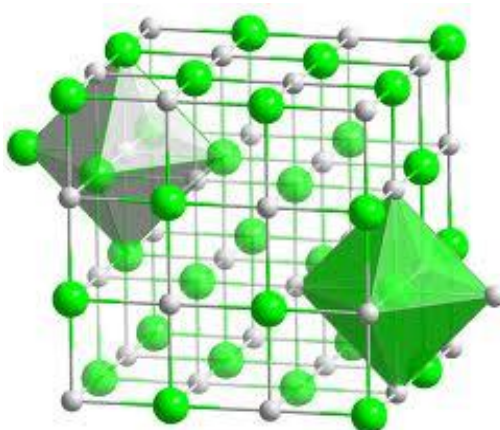


Σχήμα 2.13: Κρυσταλλικές δομές α) τριγωνικού Si_3N_4 και β) εξαγωνικό Si_3N_4 , τονίζοντας την τετράεδρα γωνία επιμερισμού SiN_4 .

2. **Νιτρίδιο του τιτανίου (TiN)** : Νιτρίδιο του τιτανίου είναι μια ένωση του τιτανίου (Ti) και άζωτο (N). Είναι ένα εξαιρετικά σκληρό κεραμικό υλικό, που χρησιμοποιείται συχνά ως μια επικάλυψη για κράματα τιτανίου, χάλυβα, καρβίδιο και αργιλίου συστατικά για να βελτιωθεί η επιφάνεια του υποστρώματος.

Το Νιτρίδιο του τιτανίου έχει καλές ιδιότητες όπως υψηλή σκληρότητα στη φθορά και στη διάβρωση και καλή ηλεκτρική και θερμική αγωγιμότητα.

Λόγω αυτών των ιδιοτήτων το νιτρίδιο του τιτανίου με τη μορφή επιφανειακών στρωμάτων, χρησιμοποιείται ευρέως για διακοσμητικά επιχρίσματα. Επίσης χρησιμοποιείται σε διάφορες τεχνολογίες που έχουν αναπτυχθεί για τη εφαρμογή των ταινιών TiN σε διαφορετικά υποστρώματα.



Σχήμα 2.14: Δομή Νιτριδίου του τιτανίου

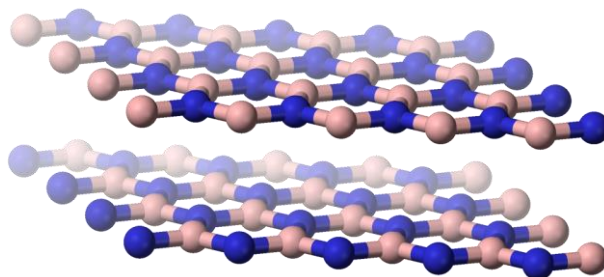
4. **Νιτρίδιο του βορίου (CBN)** : Νιτρίδιο του βορίου είναι ένα συνθετικό υλικό, το οποίο αν και ανακαλύφθηκε στις αρχές του 19 ου αιώνα, δεν αναπτύχθηκε ως εμπορικό υλικό μέχρι το δεύτερο μισό του 20 ου αιώνα. Βόριο και το άζωτο είναι γείτονες του άνθρακα στον περιοδικό πίνακα - σε συνδυασμό το βόριο και το άζωτο έχουν τον ίδιο αριθμό του εξωτερικού κελύφους ηλεκτρονίων - η ατομική ακτίνα του βορίου και του αζώτου είναι παρόμοια με εκείνη του άνθρακα.

Επομένως δεν είναι έκπληξη το γεγονός ότι το νιτρίδιο του βορίου και ο άνθρακας παρουσιάζουν ομοιότητα στην κρυσταλλική δομή τους. Με τον ίδιο τρόπο που υπάρχει ο άνθρακας ως γραφίτης και διαμάντι, το νιτρίδιο του βορίου μπορεί να συντεθεί σε εξαγωνική και κυβική μορφή. Το νιτρίδιο του βορίου είναι ηλεκτρικό μονωτικό υλικό, έχει σαμηλή διηλεκτρική σταθερά και απώλεια, υψηλή σταθερότητα στη θερμοκρασία και καλή θερμική ιδιότητα. Επίσης είναι λιπαντικό, αδρανές και χημικά σταθερό.

Χρησιμοποιείται κυρίως σε ηλεκτρικά μονωτικά / θερμικά αγωγιμα πληρωτικά για θερμοαντήρες, σε εφαρμογές για λίπανση σε ακραία πίεση, θερμοκρασία και σε έκθεση σε χημικές ουσίες. Ακόμα χρησιμοποιείται σε επιχρίσεις πυρίμαχων

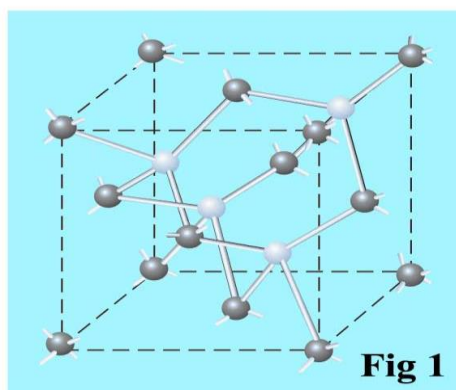
υλικών. Το νιτρίδιο του βορίου είναι μια χημική ένωση με χημικό τύπο BN, που αποτελείται από ίσο αριθμό ατόμων βορίου και αζώτου, έχει άμορφη και κρυσταλλική μορφή. Η πιο σταθερή κρυσταλλική μορφή είναι το εξάγωνο, που ονομάζεται επίσης h-BN, α-BN, ή g-BN (γραφίτη BN).

Η σύνθεση της σκόνης σε εξαγωνικό νιτρίδιο του βορίου επιτυγχάνεται με nitridation ή ammonolysis του βορικού οξειδίου σε αυξημένη θερμοκρασία. Το εξαγωνικό νιτρίδιο του βορίου (h-BN) είναι ισοδύναμο της δομής του γραφίτη όπως η μικροδομή και πολυεπίπεδη δομή πλέγματος. Σε κάθε στρώμα, τα άτομα του βορίου και του αζώτου δεσμεύονται από ισχυρούς ομοιοπολικούς δεσμούς, ενώ τα στρώματα συγκρατούνται μεταξύ τους με ασθενείς δυνάμεις van der Waals. Το h-BN είναι ανθεκτικό σε πυροσυσσωμάτωση και συνήθως σχηματίζεται από εν θερμώ.



Σχήμα 2.15: Εξαγωνική Δομή Νιτρίδιου του Βορίου

Το κυβικό νιτρίδιο του βορίου (c-BN) έχει την ίδια δομή και τις ιδιότητές με το διαμάντι. Το c-BN είναι το δεύτερο σκληρότερο υλικό δίπλα στο διαμάντι, συντέθηκε για πρώτη φορά το 1957, αλλά μόνο τα τελευταία 15 χρόνια η εμπορική παραγωγή του c-BN έχει αναπτυχθεί. Η κυβική μορφή του νιτρίδιου του βορίου έχει την κρυσταλλική δομή σφαλερίτη, την ίδια με εκείνη του διαμαντιού, και ονομάζεται επίσης β-BN ή c-BN. Το κυβικό νιτρίδιο του βορίου σχηματίζεται από υψηλή πίεση, επεξεργασία σε υψηλή θερμοκρασία του εξαγωνικού BN.



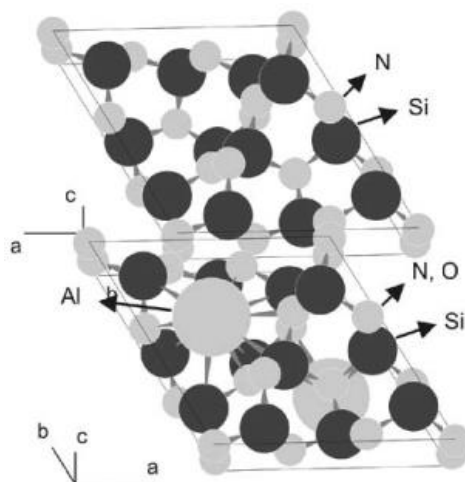
Σχήμα 2.16 : Κυβική Δομή Νιτρίδιου του Βορίου

5. **Νιτρίδιο πυριτίου και αλουμίνας (SiAlON)** : Τα SiAlON είναι μερικά από τα πιο καινούργια υλικά που βρέθηκαν σε τεχνικά κεραμικά και σχετίζονται με νιτρίδια του πυριτίου. Αυτά προκύπτουν μόνο από ορισμένες συνθέσεις των πρώτων υλών και αποτελούνται από τουλάχιστον τρεις φάσεις α -SiAlON, β -SiAlON και ένα άμορφο ή εν μέρει κρυσταλλική φάση ορίου κόκκων.

Τα SiAlON αναπτύχθηκαν ως μια πιο οικονομική εναλλακτική λύση, έχει μια πολύπλοκη χημεία και θα πρέπει να θεωρηθεί ως μια οικογένεια κραμάτων με ένα ευρύ φάσμα των ιδιοτήτων. Σχηματίζονται από νιτρίδιο πυριτίου (Si_3N_4), οξείδιο του αργιλίου (Al_2O_3) και το νιτρίδιο του αργιλίου (AlN) όπου τα υλικά συνδυάζονται σε ένα ευρύ φάσμα σύνθεσης.

Το υλικό των α / β -SiALONs παρουσιάζει υψηλότερη σκληρότητα από το κανονικό νιτρίδιο πυριτίου με το ίδιο υψηλό επίπεδο σκληρότητας. Η φάση α -SiALON είναι σκληρή, ενώ η β -SiALON φάση - όπως το κανονικό νιτρίδιο πυριτίου - επιδεικνύει ένα υψηλό επίπεδο δυσθραυστότητα. Τα κλάσματα των φάσεων του α -SiALON, β -SiALON και η φάση του ορίου κόκκων μπορεί να ρυθμιστεί σε ευρύ φάσμα, η οποία καθιστά δυνατή την προσαρμογή των ιδιοτήτων των υλικών των α / β -SiALON και μπορεί να πληροί τις απαιτήσεις των διαφορετικών εφαρμογών.

Η σκληρότητα και αντοχή στη φθορά του α / β -SiALONs μπορεί να αυξηθεί ακόμη περισσότερο με την ενσωμάτωση από σκληρά υλικά, όπως το καρβίδιο του πυριτίου. Οι ιδιότητες που παρουσιάζουν τα SiALON είναι μοναδικές όπως χαμηλή πυκνότητα, υψηλή αντοχή, ανώτερη αντίσταση σε θερμικό σοκ, μέτρια αντοχή στη φθορά, μηχανική κόπωση και αντοχή ερπυσμού, ακόμα και αντίσταση στην οξείδωση. Χρησιμοποιούνται κυρίως σε εξαρτήματα μηχανημάτων και σε εργαλεία κοπής λόγω των καλών ιδιοτήτων.



Σχήμα 2.17 : Νιτρίδιο πυριτίου και αλουμίνας (SiAlON)

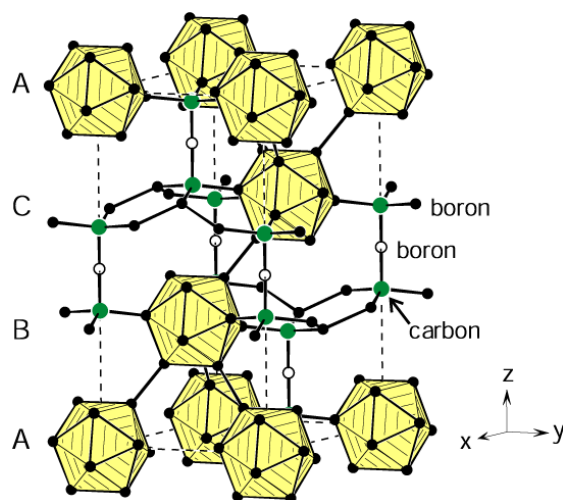
2.3.3 Καρβίδια

1. **Καρβίδιο του Βορίου (B₄C)**: Καρβίδιο του βορίου είναι ένα από τα σκληρότερα υλικά, καταλαμβάνοντας την τρίτη πίσω από το διαμάντι και το κυβικό νιτρίδιο του βορίου. Είναι το σκληρότερο υλικό που παράγεται σε ποσότητες χωρητικότητας. Αρχικά ανακαλύφθηκε στα μέσα του 19^{ου} αιώνα ως υποπροϊόν στην παραγωγή βοριδίων, από το 1930 το καρβίδιο του βορίου ήταν μόνο υπό μελέτηση. Το 1899 γίνεται η πρώτη σύνθεση σε ηλεκτρική κάμινο Καρβίδιο του Βορίου με την αντίδραση και τήξη του οξειδίου του βορίου και του άνθρακα. Το τηγμένο υλικό καθίσταται πλούσιο από άνθρακα και αποτελείται από καρβίδιο του βορίου και γραφίτη καθώς στερεοποιείται. Στην εμπορική χρήση, το καρβίδιο βορίου σε σκόνη αλέθεται και καθαρίζεται για να απομακρυνθούν τυχόν παραμένοντες μεταλλικές ακαθαρσίες.

Το καρβίδιο του βορίου έχει μια σύνθετη κρυσταλλική δομή χαρακτηριστική της εικοσάεδρης που βασίζονται σε βορίδια. Η B₁₂ εικοσάεδρη σχηματίζει μια μονάδα πλέγματος και περιβάλλεται από μια αλυσίδα CBC που εδρεύει στο κέντρο της μοναδικής κυψέλης. Η B₁₂ εικοσάεδρη και οι άνθρακες σχηματίζουν ένα επίπεδο δίκτυο που εξαπλώνεται παράλληλα προς το γ επίπεδο και οι στοίβες κατά μήκος του άξονα γ. Το πλέγμα έχει δύο βασικές μονάδες δομή - B₁₂ εικοσάεδρο και το B₆ οκτάεδρο. Λόγω του μικρού μεγέθους του B₆ οκτάεδρο, δεν μπορούν να διασυνδεθούν. Αντ' αυτού, προκύπτει δεσμός με το B₁₂ εικοσάεδρο στο γειτονικό στρώμα, και αυτό μειώνει την αντοχή συγκόλλησης στο γ-επίπεδο.

Το Καρβίδιο του Βορίου παρουσιάζει εξαιρετικές φυσικές ιδιότητες όπως υψηλή σκληρότητα, υψηλό σημείο τήξεως, θωράκιση ενάντια στα νετρόνια, σταθερότητα στην ιονίζουσα ακτινοβολία και τα περισσότερα χημικά. Ακόμα έχει υψηλό μέτρο ελαστικότητας, αντοχή σε θραύση και σχετικά χαμηλή θερμική διαστολή και αγωγιμότητα.

Χρησιμοποιείται κυρίως σε λειαντικά, ακροφύσια, πυρηνικές εφαρμογές και βαλλιστική θωράκιση.



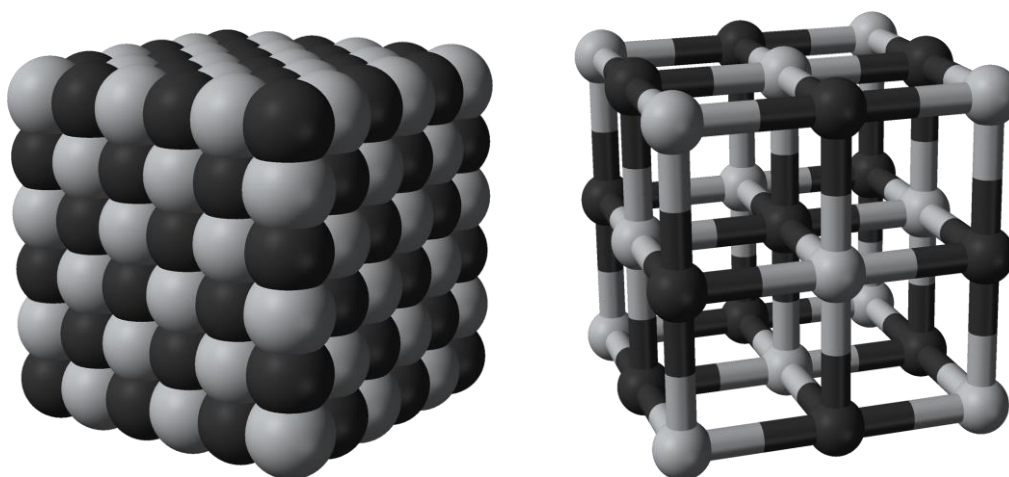
Σχήμα 2.18: Δομή Καρβιδίου του Βορίου

2. **Καρβίδιο του τιτανίου (TiC)** : Καρβίδιο του τιτανίου (TiC) είναι ένα εξαιρετικά πυρίμαχο κεραμικό υλικό, παρόμοιο με καρβίδιο του βολφραμίου. Έχει την εμφάνιση της μαύρης πυρίτιδας με NaCl και κρυσταλλική δομή . Χρησιμοποιείται κυρίως στο πλαίσιο της προετοιμασίας στις κεραμομεταλλουργικές συνθέσεις , οι οποίες συχνά χρησιμοποιούνται για την μηχανή χάλυβα με πολύ υψηλή ταχύτητα κοπής.

Η αντίσταση στην φθορά , διάβρωση και οξειδωση ενός καρβιδίου του βολφραμίου - κοβαλτίου μπορεί να αυξηθεί με την προσθήκη 6-30% καρβιδίου του τιτανίου. Αυτό σχηματίζει ένα στερεό διάλυμα που είναι περισσότερο εύθραυστο και ευαίσθητο σε θραύση από το αρχικό υλικό.

Η πρόσμιξη από καρβίδιο του τιτανίου σε νικέλιο –κοβάλτιο που παρουσιάζουν πλέγμα κεραμομετάλλου, ενισχύει την ταχύτητα κοπής, την ακρίβεια, και την ομαλότητα του τεμαχίου. Αυτό το υλικό ονομάζεται υψηλής τεχνολογίας κεραμικό και χρησιμοποιείται ως ασπίδα θερμότητας για την ατμοσφαιρική επανείσοδο των διαστημοπλοίων . Η ουσία μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για γυάλισμα.

Το 1992 εντοπίστηκε ένα εκπληκτικά σταθερό σύμπλεγμα με τον τύπο $Ti_8C^{+}_{12}$. Τα 20 άτομα διατάσσονται στις κορυφές του δωδεκάεδρο , με τα άτομα του τιτανίου στις γωνίες του κύβου. Ωστόσο, ο ισχυρισμός αυτός σύντομα αμφισβητήθηκε από τον Linus Pauling ο οποίος πρότεινε μία εναλλακτική διευθέτηση- με τα άτομα TiC στις γωνίες του κύβου, και με τα άτομα του άνθρακα να ωθούνται προς τα μέσα, έτσι ώστε να είναι σχεδόν συνεπίπεδο με τις επιφάνειες του εν λόγω κύβου.



Σχήμα 2.19: Καρβίδιο του τιτανίου (TiC)

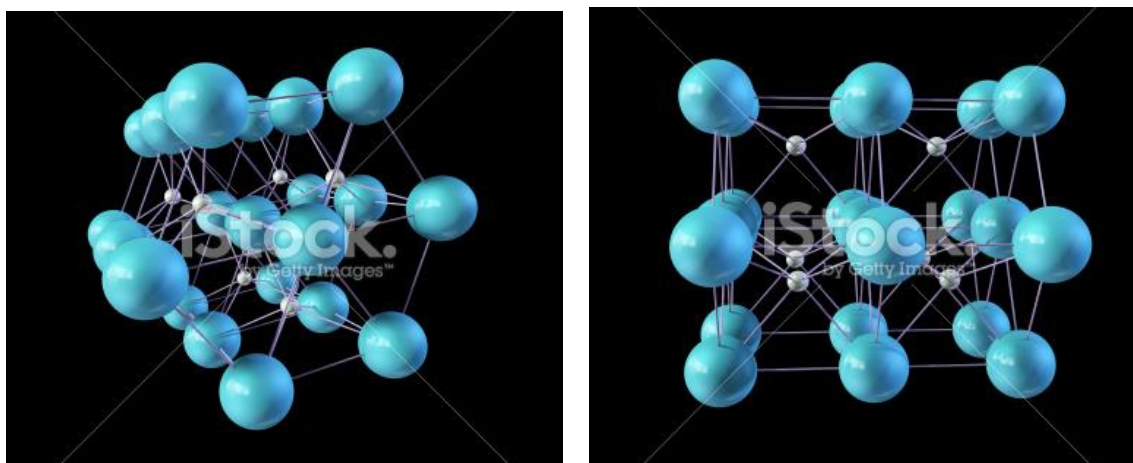
3. **Καρβίδιο του βολφραμίου (WC)**: Καρβίδιο του βολφραμίου (WC) είναι μια ανόργανη χημική ένωση που περιέχει άτομα βολφραμίου και άνθρακα. Στην πιο βασική του μορφή, το καρβίδιο του βολφραμίου είναι μια λεπτή γκρίζα σκόνη, αλλά μπορεί να διαμορφωθεί σε σχήματα για χρήση σε βιομηχανικά μηχανήματα, εργαλεία κοπής, λειαντικά, διατρητικά και άλλα εργαλεία, καθώς και σε κοσμήματα.

Καρβίδιο του βολφραμίου είναι περίπου δύο φορές πιο σκληρό από ότι ο χάλυβας και είναι πολύ πυκνότερο από τον χάλυβα ή το τιτάνιο. Είναι συγκρίσιμο με το κορούνδιο ($\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$) ή το ζαφείρι / ρουμπίνι στην σκληρότητα και μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε λειαντικά ανώτερης σκληρότητας, όπως το κυβικό νιτρίδιο του βορίου και το διαμάντι, σε μορφή σκόνης.

Υπάρχουν δύο μορφές του WC, μια εξαγωνική κρυσταλλική μορφή, $\alpha\text{-WC}$ (HP_2 , ομάδα P_6m_2), και μια κυβική μορφή υψηλής θερμοκρασίας, $\beta\text{-WC}$, η οποία αποτελείται από σύστημα κρυστάλλου. Η εξαγωνική μορφή απαρτίζεται από στρώματα ατόμων μετάλλου το ένα πάνω στο άλλο και στα κενά υπάρχουν άτομα άνθρακα και βολφραμίου, με αποτέλεσμα να σχηματίζουν τριγωνική πρισματική μορφή.

Αυτό το υλικό αναπτύχθηκε για χρήση σε εργαλεία κοπής μπορεί να αντέξει τις υψηλές θλιπτικές τάσεις που επιβάλλονται κατά τη διάρκεια της κοπής, καθώς παρουσιάζει και καλή αντοχή στη φθορά και στην οξειδωση σε υψηλές θερμοκρασίες. Καρβίδιο βολφραμίου έχει υψηλή αντοχή σε θερμικό σοκ, οπότε είναι σε θέση να αντέξει τις ταχείες διακυμάνσεις της θερμοκρασίας.

Η κύρια χρήση του είναι σε κοπτικά εργαλεία για κατεργασία, αλλά λόγω των ιδιαίτερων ιδιοτήτων που παρουσιάζει χρησιμοποιείται και σε πυρομαχικά, στην πυρηνική, στον αθλητισμό, σε χειρουργικά εργαλεία ακόμα και σε κοσμήματα.



Σχήμα 2.20 : Κρυσταλλική δομή του βολφραμίου

4. **Καρβίδιο του πυριτίου**: Καρβιδίου του πυριτίου (SiC), είναι γνωστό ως ανθρακοπυρίτιο, είναι μια ένωση του πυριτίου και άνθρακα με χημικό τύπο SiC. Η σκόνη του καρβιδίου του πυριτίου παράγεται από το 1893 για χρήση ως λειαντικό. Οι κόκκοι καρβιδίου του πυριτίου μπορούν να συγκολληθούν μεταξύ τους με θερμοσυσσωμάτωση όπου σχηματίζουν πολύ σκληρά κεραμικά υλικά που χρησιμοποιούνται ευρέως σε εφαρμογές που απαιτούν υψηλή αντοχή, όπως τα φρένα αυτοκινήτων, συμπλέκτες αυτοκινήτων και κεραμικές πλάκες σε αλεξίσφαιρα γιλέκα. Επίσης η χρήση γίνεται σε ηλεκτρονικές εφαρμογές όπως διόδους εκπομπής φωτός (LED) και ανιχνευτές. Η χρήση του SiC έγινε για πρώτη φορά στις αρχές του 1907, σήμερα χρησιμοποιείται ευρέως σε υψηλής θερμοκρασίας και τάσης ηλεκτρονικών ημιαγωγών.

Το Καρβίδιο του πυριτίου υπάρχει σε περίπου 250 κρυσταλλικές μορφές. Ο πολυμορφισμός του SiC χαρακτηρίζεται από μία μεγάλη οικογένεια παρόμοιων κρυσταλλικών δομών που ονομάζονται πολυτυπίες. Είναι παραλλαγές της ίδιας χημικής ένωσης που είναι πανομοιότυπα σε δύο διαστάσεις και διαφέρουν στο τρίτο. Έτσι, μπορούν να θεωρηθούν ότι τα στρώματα στοιβάζονται σε μια ορισμένη ακολουθία.

Ο τύπος καρβιδίου του πυριτίου (α -SiC) είναι αυτός που συναντάμε πιο συχνά και έχει δομική πολυμορφική, σχηματίζεται σε θερμοκρασίες μεγαλύτερες από 1700°C και έχει μια εξαγωνική κρυσταλλική δομή. Ο τύπος (β -SiC), με κρυσταλλική δομή ψευδαργύρου (παρόμοιο με διαμάντι), σχηματίζεται σε θερμοκρασίες κάτω από 1700°C . Μέχρι πρόσφατα, η μορφή β είχε σχετικά λίγες εμπορικές χρήσεις, παρότι υπάρχει σήμερα αυξανόμενο ενδιαφέρον στη χρήση του ως ένα στήριγμα για ετερογενείς καταλύτες, λόγω του μεγαλύτερου εμβαδού επιφανείας της σε σύγκριση με την μορφή α .

Το καθαρό SiC είναι άχρωμο. Το καφέ και το μαύρο χρώμα των βιομηχανικών προϊόντων είναι αποτέλεσμα από τις ακαθαρσίες σιδήρου. Το ουράνιο τόξο-όπως λάμψη των κρυστάλλων προκαλείται από ένα στρώμα παθητικότητας του διοξειδίου του πυριτίου που σχηματίζεται πάνω στην επιφάνεια.

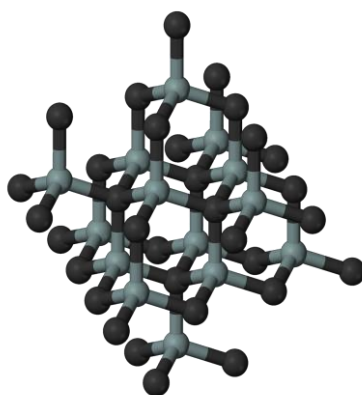
Η υψηλή θερμοκρασία εξαχνωσης του SiC (περίπου 2700°C), το καθιστά χρήσιμο για ρουλεμάν και εξαρτήματα κλιβάνου. Το καρβίδιο του πυριτίου δεν τήκεται σε οποιαδήποτε πίεση. Είναι επίσης εξαιρετικά αδρανές σε χημικά. Υπάρχει επί του παρόντος μεγάλο ενδιαφέρον στην χρήση του ως υλικό ημιαγωγών σε ηλεκτρονικά, όπου η υψηλή θερμική αγωγιμότητα του, το υψηλό ηλεκτρικό πεδίο αντοχή κατάρρευσης και η υψηλή μέγιστη πυκνότητα το καθιστούν πιο ελπιδοφόρο από μια σιλικόνη για μεγάλης ισχύος συσκευές. Το SiC έχει επίσης πολύ χαμηλό συντελεστή θερμικής διαστολής και δεν αντιμετωπίζει μεταβάσεις φάσης που θα μπορούσε να προκαλέσει ασυνέχειες στην θερμική διαστολή.

Το καρβίδιο του πυριτίου έχει ηλεκτρική αγωγιμότητα, η οποία μπορεί να με πρόσμιξη n-τύπου με άζωτο ή φώσφορο και p-τύπου από αλουμίνιο, βόριο, γάλλιο ή βηρύλλιο. Η μεταλλική αγωγιμότητα έχει επιτευχθεί από πρόσμιξη με βόριο, αργίλιο ή άζωτο. Υπεραγωγιμότητα έχει ανιχνευθεί σε 3c-sic: α , 3c-sic: β και 6h-sic: β στην ίδια θερμοκρασία, κρίσιμη διαφορά, ωστόσο, παρατηρείται ότι

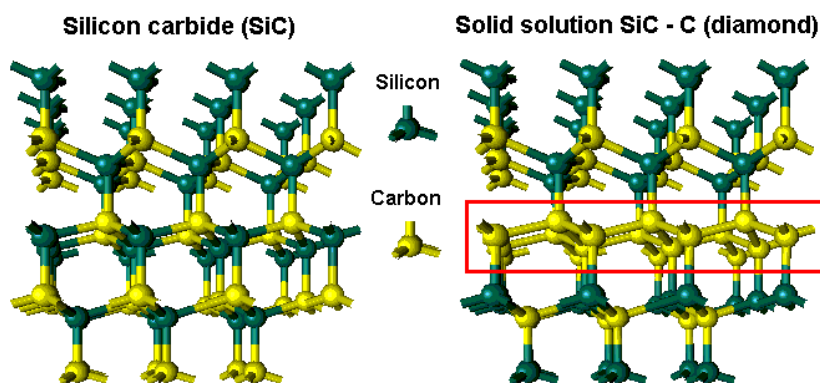
το μαγνητικό πεδίο ανάμεσα στη πρόσμιξη αλουμινίου και βορίου είναι sic: al τύπου II. Αντιθέτως, το sic: το β είναι τύπου I . Στην προσπάθεια να εξηγηθεί αυτή η διαφορά, διαπιστώθηκε ότι οι τόποι si είναι πιο σημαντικό από τις θέσεις του άνθρακα για την υπεραγωγιμότητα σε sic.

Το καρβίδιο του πυριτίου έχει εξαιρετικές ιδιότητες όπως χαμηλή πυκνότητα, υψηλή αντοχή, χαμηλή θερμική διαστολή, υψηλή θερμική αγωγιμότητα, υψηλή σκληρότητα, υψηλό μέτρο ελαστικότητας, εξαιρετική αντίσταση σε θερμικό σοκ καθώς και εξαιρετική χημική αδράνεια.

Σημαντικές εφαρμογές του SiC λόγω των μοναδικών ιδιοτήτων που παρουσιάζει είναι η χρήση σε διαδικασίες μεταλλοτεχνίας, όπως λείανση, στίλβωση, αμμοβολή και κοπή με εκτόξευση νερού. Χρησιμοποιείται επίσης σε αλεξίσφαιρα γιλέκα σαν ένα υλικό θωράκισης και ως υλικό για το δακτύλιο στεγανοποίησης άξονα της αντλίας σφράγιση. Οι μοναδικές ηλεκτρικές ιδιότητες το καθιστούν ιδανικό για την κατασκευή ultra light υψηλής τάσης διόδους εκπομπής φωτός. Λόγω του χαμηλού συντελεστή θερμικής διαστολής του υλικού, σκληρότητα, ακαμψία και θερμική αγωγιμότητα είναι ένα ιδανικό υλικό καθρέφτη για αστρονομικά τηλεσκόπια. Επίσης, χρησιμοποιούνται σε στοιχεία θέρμανσης όπου χρειάζεται να φιλοξενηθούν εξαιρετικά υψηλές θερμοκρασίες και στην πυρηνική ενέργεια αφού μπορεί να παρέχει διαρθρωτική στήριξη σε αντιδραστήρες αερίου θερμοκρασίας.



Structure models



Σχήμα 2.21: Δομές Καρβιδίου του Πυριτίου

2.3.4. Άνθρακας

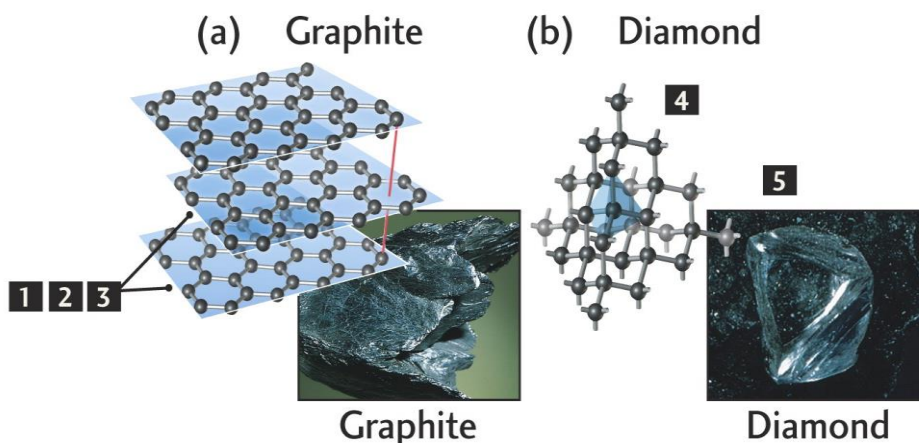
Για τα προηγμένα κεραμικά χρησιμοποιούνται τις αλλοτροπικές μορφές του άνθρακα που ονομάζεται άμορφος άνθρακας, όπου κατατάσσονται ο γραφίτης και το διαμάντι. Ο Γραφίτης και το Διαμάντι είναι δύο από τα πιο ενδιαφέροντα μέταλλα. Αυτές είναι ταυτόσημες χημικά και οι δύο αποτελούνται από άνθρακα (C), αλλά φυσικά, είναι πολύ διαφορετικές. Τα ανόργανα άλατα έχουν την ίδια χημεία, αλλά διαφορετικές κρυσταλλικές δομές και ονομάζονται πολύμορφα.

Όταν κοιτάς το γραφίτη και το διαμάντι, είναι δύσκολο να φανταστεί κανείς ότι είναι ταυτόσημα, χημικά, γιατί είναι τόσο διαφορετικά εμφανισιακά. Ο γραφίτης είναι αδιαφανής και μεταλλικό σε γήινη εμφάνιση, ενώ τα διαμάντια είναι διαφανείς και λαμπρερό.

Μία άλλη σημαντική διαφορά είναι η φυσική σκληρότητα τους. Η σκληρότητα των ορυκτών συγκρίνεται χρησιμοποιώντας τη Κλίμακα σκληρότητας Mohs, μια σχετική κλίμακα που αριθμούνται από το 1 (μαλακότερο) έως το 10 (σκληρότερο). Ο Γραφίτης είναι πολύ μαλακό και έχει σκληρότητα από 1 έως 2 σε αυτήν την κλίμακα. Τα διαμάντια είναι η σκληρότερη φυσική ουσία και έχουν σκληρότητα 10. Καμία άλλη φυσική ουσία δεν έχει σκληρότητα 10.

Η κρυσταλλική δομή του γραφίτη δίνει φυσικές ιδιότητες που επιτρέπουν τη χρήση του γραφίτη ως λιπαντικό και ως μολύβι μολύβδου. Το στολίδι και οι βιομηχανικές ιδιότητες του διαμαντιού, οι φυσικές ιδιότητες που αγαπάμε και μπορούμε να αξιοποιήσουμε, είναι επίσης αποτέλεσμα της κρυσταλλικής δομής διαμαντιού.

CARBON POLYMORPH MINERALS



Σχήμα 2.22 : Δομές Γραφίτη και Διαμάντι

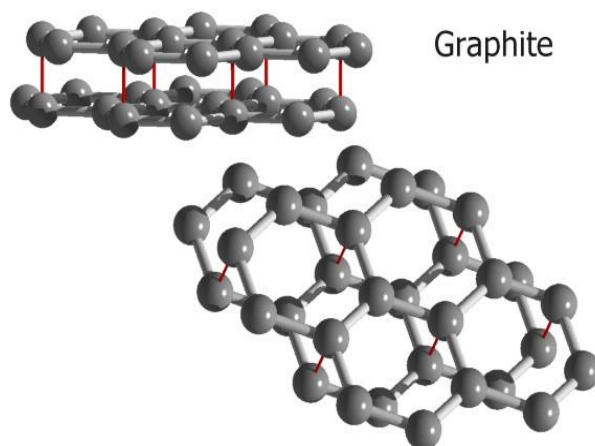
1. **Γραφίτης** : Μεμονωμένα άτομα άνθρακος συνδεόνται και σχηματίζουν φύλλα ατόμων άνθρακα. Κάθε φύλλο από άτομα άνθρακα μεταφράζεται κατά το ήμισυ μιας μονάδας έτσι ώστε τα εναλλακτικά φύλλα να βρίσκονται στην ίδια θέση. Μέσα σε κάθε φύλλο κάθε άτομο άνθρακα δεσμεύεται σε τρία γειτονικά άτομα άνθρακα που βρίσκονται στις κορυφές των ισόπλευρων τριγώνων.

Αυτό παράγει εξαγωνικό δακτυλίο ατόμων άνθρακα. Κάθε άτομο άνθρακα έχει τέσσερα ηλεκτρόνια σθένους διαθέσιμες για να συμμετάσχουν στο σχηματισμό των χημικών δεσμών. Τρία από αυτά τα ηλεκτρόνια που χρησιμοποιούνται σχηματίζουν ισχυρούς ομοιοπολικούς δεσμούς με τα γειτονικά άτομα στο φύλλο. Ο Ομοιοπολικός δεσμός είναι ένα είδος χημικού δεσμού στην οποία τα ηλεκτρόνια μοιράζονται μεταξύ των ατόμων. Το τέταρτο ηλεκτρόνιο είναι ελεύθερο να περιφέρεται πάνω από την επιφάνεια της κατασκευής του ηλεκτρικού αγωγού το οποίο σχηματίζεται από φύλλο γραφίτη.

Η απόσταση μεταξύ των φύλλων των ατόμων άνθρακα είναι μεγαλύτερη από την διάμετρο των μεμονωμένων ατόμων. Ασθενής συνδετικών δυνάμεων που ονομάζονται Van Der Waals δυνάμεις, συγκρατούν τα φύλλα μεταξύ τους. Επειδή αυτές οι δυνάμεις είναι αδύναμες, τα φύλλα μπορούν εύκολα να ολισθαίνουν μεταξύ τους. Η ολίσθηση των φύλλων αυτών δίνει στο γραφίτη απαλότητα για το γράψιμο και τις λιπαντικές του ιδιότητες.

Ο γραφίτης έχει μοναδικές φυσικές ιδιότητες όπως έχει υψηλό σημείο τήξεως, είναι μαλακό υλικό και έχει χαμηλότερη πυκνότητα. Επίσης είναι αδιάλυτο στο νερό και σε οργανικούς διαλύτες και άγει τον ηλεκτρισμό.

Χρησιμοποιείται, υπό μορφή παχέων πλακών, στους πυρηνικούς αντιδραστήρες, ως επιβραδυντής νετρονίων. Επίσης είναι το βασικό συστατικό για την κατασκευή των κοινών μολυβιών. Σημαντικές χρήσεις του είναι, επίσης, η κατασκευή ηλεκτροδίων (η ηλεκτρόλυση αλουμίνας για την παρασκευή αργιλίου πραγματοποιείται με ηλεκτρόδια από γραφίτη), στην βιομηχανία χάλυβα και ορειχάλκου, στην κατασκευή μπαταριών (οι κοινές μπαταρίες έχουν ηλεκτρόδιο ανόδου από γραφίτη) και στην κατασκευή πυρίμαχων υλικών.



Σχήμα 2.23: Δομή γραφίτη

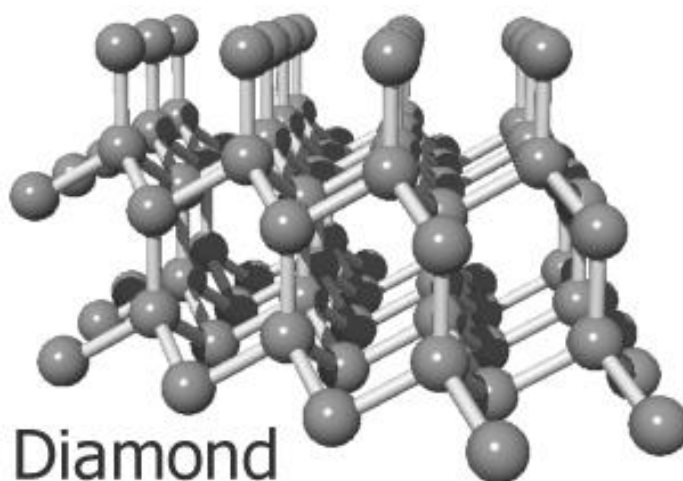
2. **Διαμάντι** : Κάθε άτομο άνθρακα είναι έντονα συνδεδεμένο με τέσσερα γειτονικά άτομα άνθρακα που βρίσκονται στις κορυφές ενός τετραέδρου (α τρίπλευρη πυραμίδα). Τα τέσσερα ηλεκτρόνια σθένους του κάθε άτομο άνθρακα, συμμετέχουν στο σχηματισμό πολύ ισχυρών ομοιοπολικών δεσμών. Τα ομόλογα αυτά έχουν την ίδια δύναμη σε όλες τις κατευθύνσεις.

Αυτό δίνει στα διαμάντια τη μεγάλη σκληρότητα τους. Δεδομένου ότι δεν υπάρχουν ελεύθερα ηλεκτρόνια για να περιπλανηθεί μέσα από τη δομή, τα διαμάντια είναι εξαιρετικά μονωτές. Η λάμψη και η "φωτιά" των κομμένων διαμαντιών οφείλονται σε ένα πολύ υψηλό δείκτη διάθλασης και την ισχυρή διασπορά του φωτός.

Οι φυσικές ιδιότητες του Διαμαντιού είναι εξαιρετικές όπως έχει πολύ υψηλό σημείο τήξης (σχεδόν 4000 ° C) και έχει μεγάλη σκληρότητα. Επίσης το διαμάντι δεν άγει τον ηλεκτρισμό και είναι αδιάλυτο σε νερό και οργανικούς διαλύτες.

Τα καθαρά, ημιδιαφανή ή διαφανή διαμάντια χρησιμοποιούνται στην κατασκευή κοσμημάτων. Το ποσοστό της συνολικής παραγωγής, που καταλήγει στην κατεργασία για την κατασκευή κοσμημάτων, ανέρχεται περίπου στο 3 έως 5%. Τα υπόλοιπα χρησιμοποιούνται για την κατασκευή εργαλείων κοπής και λείανσης άλλων σκληρών υλικών.

Χαρακτηριστικά γνωστά εργαλεία είναι τα αδαμαντοτρύπανα (ακόμη και για οικιακή χρήση) και τα εργαλεία κοπής υαλοπινάκων (κοινώς τζαμοκόφτες). Τα εργαλεία κοπής και λείανσης έχουν πολύ σημαντικές εφαρμογές στην βιομηχανία. Ορισμένοι τύποι διαμαντιών έχουν χρησιμοποιηθεί για την κατασκευή ειδικών οπτικών οργάνων, λόγω της υψηλής ανακλαστικότητάς τους. Σήμερα κατασκευάζονται και συνθετικά (τεχνητά) διαμάντια, κύρια για χρήση σε εργαλεία.



Σχήμα 2.24 : Δομή Διαμαντιού

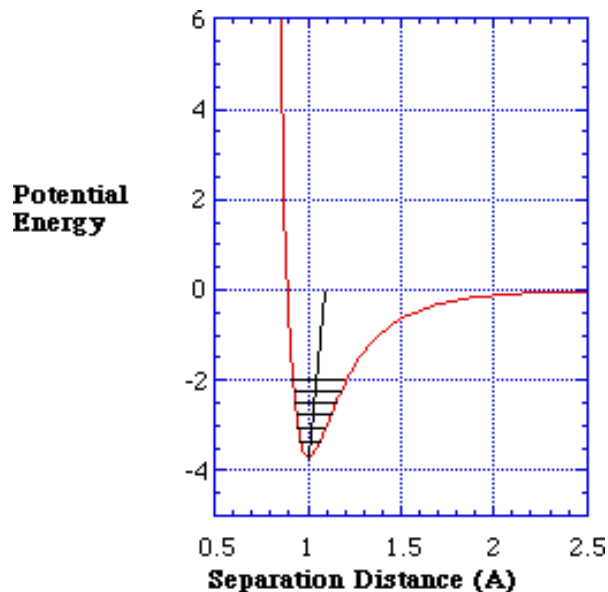
2.4 Φυσικές Ιδιότητες Προηγμένων Κεραμικών

Τα Κεραμικά υλικά έχουν χαρακτηριστικά και ιδιότητες που τους επιτρέπουν να χρησιμοποιηθούν σε μια ευρεία ποικιλία εφαρμογών. Έχει φυσικές ιδιότητες όπως υψηλή θερμοχωρητικότητα και χαμηλή αγωγιμότητα θερμότητας, εξαιρετική αντοχή στη διάβρωση. Τα κεραμικά υλικά ηλεκτρικά μονωτικά, ημιαγώγιμα, υπεραγώγιμα, μη μαγνητικά και μαγνητικά. Παρουσιάζουν μεγάλη σκληρότητα και είναι ισχυρά, αλλά είναι και αρκετά εύθραυστα.

2.4.1 Θερμικές Ιδιότητες

Λόγω της σταθερότητας των ιοντικών και ομοιοπολικών δεσμών, τα κεραμικά εμφανίζουν υψηλά σημεία τήξης, υψηλότερα από των μετάλλων. Οι πιο σημαντικές θερμικές ιδιότητες των κεραμικών υλικών είναι η θερμοχωρητικότητα, δηλαδή ο συντελεστής θερμικής διαστολής, και η θερμική αγωγιμότητα. Πολλές εφαρμογές της κεραμικής, όπως τη χρήση τους ως μονωτικά υλικά, σχετίζονται με αυτές τις ιδιότητες. Η θερμική ενέργεια μπορεί να είναι είτε αποθηκευμένη ή να μεταδίδεται από ένα στερεό. Η ικανότητα ενός υλικού να απορροφά τη θερμότητα από το περιβάλλον είναι η έννοια της θερμοχωρητικότητας.

Σε στερεά υλικά με θερμοκρασία $T > 0$ K, τα άτομα βρίσκονται σε συνεχή δόνηση. Οι ατομικές δονήσεις επηρεάζονται επίσης από τις δονήσεις των γειτονικών ατόμων μέσω της σύνδεσης. Ως εκ τούτου, μπορούν να μεταδοθούν οι κραδασμοί κατά μήκος του στερεού. Όσο υψηλότερη είναι η θερμοκρασία, τόσο υψηλότερη είναι η συχνότητα της δόνησης και βραχύτερη, ενώ το μήκος κύματος της σχετίζεται με την ελαστική παραμόρφωση.



Σχήμα 2.25: Γράφημα που απεικονίζει τη δυναμική ενέργεια μεταξύ δύο συνδεδεμένων ατόμων

Η απόσταση στην οποία υπάρχει ελάχιστη ενέργεια αντιπροσωπεύει αυτό που συνήθως περιγράφεται ως το μήκος του δεσμού. Τα κεραμικά γενικά έχουν ισχυρούς δεσμούς. Έτσι, μπορούν να έχουν υψηλές δονήσεις των ατόμων με μικρές διαταραχές στο κρυσταλλικό πλέγμα. Το αποτέλεσμα είναι ότι παρουσιάζουν υψηλές θερμικές ικανότητες και υψηλές θερμοκρασίες τήξεως.

Καθώς αυξάνεται η θερμοκρασία, η δόνηση στο πλάτος των ομολόγων αυξάνεται. Η ασυμμετρία της καμπύλης δείχνει ότι η διατομική απόσταση αυξάνει επίσης με την θερμοκρασία, και αυτό παρατηρείται ως θερμική διαστολή. Σε σύγκριση με άλλα υλικά, τα κεραμικά με ισχυρούς δεσμούς έχουν μεγάλες καμπύλες ενέργειας και αντίστοιχα μικρούς συντελεστές θερμικής διαστολής. Η αγωγιμότητα της θερμότητας μέσω ενός στερεού περιλαμβάνει τη μεταφορά της ενέργειας μεταξύ της δόνησης στα άτομα. Η δόνηση του κάθε ατόμου επηρεάζει την κίνηση των γειτονικών ατόμων, και το αποτέλεσμα είναι τα ελαστικά κύματα να διαδίδονται μέσω του στερεού. Σε χαμηλές θερμοκρασίες (έως περίπου 400 °), η ενέργεια ταξιδεύει διαμέσου του υλικού κυρίως μέσω φωνόνιων, τα ελαστικά κύματα που ταξιδεύουν με την ταχύτητα του ήχου.

Τα Φωνόνια είναι το αποτέλεσμα των δονήσεων των σωματιδίων τα οποία αυξάνουν σε συχνότητα και πλάτος καθώς αυξάνεται η θερμοκρασία. Τα Φωνόνια ταξιδεύουν μέσα από το υλικό ως διάσπαρτα, είτε μέσω αλληλεπιδράσεων ή στις ατέλειες του πλέγματος. Η αγωγιμότητα μειώνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας σε κρυσταλλικά υλικά, όμως το ποσό της σκέδασης αυξάνεται.

Τα άμορφα κεραμικά τα οποία στερούνται του πλέγματος υφίστανται ακόμη μεγαλύτερη σκέδαση, και ως εκ τούτου είναι κακοί αγωγοί. Αυτά τα κεραμικά υλικά που αποτελούνται από σωματίδια παρόμοιου μεγέθους και μάζας με απλές δομές (όπως το διαμάντι) υφίστανται τη μικρότερη ποσότητα της σκέδασης, συνεπώς έχουν τη μεγαλύτερη αγωγιμότητα.

Σε υψηλότερες θερμοκρασίες, το φωτόνιο γίνεται ο κυρίαρχος μηχανισμός της μεταφοράς ενέργειας. Αυτή είναι μια γρήγορη ακολουθία των απορροφήσεων και των εκπομπών των φωτονίων που ταξιδεύουν με την ταχύτητα του φωτός. Αυτός ο τρόπος αγωγής είναι ιδιαίτερα σημαντικός π.χ. σε γυαλί, σε διάφανα κρυσταλλικά κεραμικά και σε πορώδη κεραμικά. Σε αυτά τα υλικά, η θερμική αγωγιμότητα αυξάνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας.

Παρά το γεγονός ότι η θερμική αγωγιμότητα επηρεάζεται από σφάλματα ή ατέλειες στην κρυσταλλική δομή, οι μονωτικές ιδιότητες των κεραμικών εξαρτώνται ουσιαστικά από μικροσκοπικές ατέλειες. Η μετάδοση στον τύπο του κύματος διακόπτεται από τους κόκκους, τα όρια και τους πόρους, έτσι ώστε περισσότερα πορώδη υλικά να είναι καλύτεροι μονωτές. Η χρήση των κεραμικών μονωτικών υλικών σε βιομηχανικούς και μη κλίβανους είναι μία εφαρμογή των

μονωτικών ιδιοτήτων των κεραμικών υλικών.

Υλικά	Θερμική Αγωγιμότητα (W/mK)	Συντελεστής Θερμικής Διαστολής($10^{-6}/^{\circ}\text{C}$)	Πυκνότητα (g/cm^3)
Αλουμίνα	247	23	2.7
Διαμάντι	2000	0.9	3.51
Βολφραμίου	155	4.5	19.3
Νιτρίδιο Αλουμίνας	320	4.5	3.3
Καρβίδιο Του Πυριτίου	270	3.7	3.3

Πίνακας 2.1 : Θερμικές Ιδιότητες και Πυκνότητα Υλικών

2.4.2 Οπτικές Ιδιότητες

Μια οπτική ιδιότητα περιγράφει τον τρόπο που το υλικό αντιδρά στην έκθεση φωτός. Το ορατό φως είναι μια μορφή ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας με μήκη κύματος εύρους από 400 έως 700 nm που αντιστοιχεί σε ένα ενεργειακό εύρος από 3.1 έως 1.8 ηλεκτρονιοβόλτ (eV) (από το $E = hc / \lambda$, Όπου $c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$ και $h = 4,13 \times 10^{-15} \text{ eV s}$).

Όταν το φως χτυπά ένα αντικείμενο μπορεί να μεταδοθεί, να απορροφηθεί ή να αντανακλάσθαι. Τα υλικά ποικίλουν στην ικανότητά τους να μεταδίδουν το φως, και συνήθως περιγράφονται ως διαφανή, ημιδιαφανή ή αδιαφανή. Διαφανή υλικά, όπως το γυαλί, μεταδίδουν φως με μικρή απορρόφηση ή ανάκλαση. Τα υλικά που μεταδίδουν το φως διάχυτα, όπως το παγωμένο ποτήρι, είναι ημιδιαφανές. Τα αδιαφανή υλικά δεν μεταδίδουν το φως.

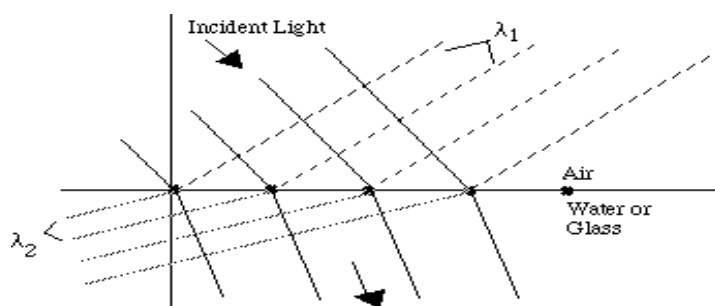
Από τους δύο σημαντικότερους μηχανισμούς για την αλληλεπίδραση του φωτός με τα σωματίδια σε ένα στερεό, είναι οι ηλεκτρονικές πολώσεις και οι μεταπτώσεις των ηλεκτρονίων μεταξύ των διαφόρων ενεργειακών καταστάσεων. Η στρέβλωση του ηλεκτρονικού νέφους ενός ατόμου σε ένα ηλεκτρικό πεδίο φωτός περιγράφεται ως πόλωση. Ως αποτέλεσμα της πόλωσης, μέρος της ενέργειας μπορεί να απορροφάται, δηλαδή, μετατρέπεται σε ελαστικές παραμορφώσεις (φωνόνια), και κατά συνέπεια τη θερμότητα. Από την άλλη πλευρά, η πόλωση μπορεί να διαδοθεί ως δεσμευμένο ηλεκτρομαγνητικό κύμα με διαφορετική ταχύτητα από ότι το φως. Όταν το φως απορροφάται και εκ νέου εκπέμπεται από την επιφάνεια στο ίδιο μήκος κύματος, αυτό ονομάζεται αντανάκλαση. Τα επίπεδα ενέργειας των ηλεκτρονίων είναι κβαντικά, δηλαδή, κάθε μετάβαση ηλεκτρονίων μεταξύ των επιπέδων απαιτεί ένα ορισμένο συγκεκριμένο ποσό ενέργειας.

Η απορρόφηση των αποτελεσμάτων ενέργειας στην μετατόπιση των ηλεκτρονίων από την κατάσταση του εδάφους σε μια υψηλότερη, διεγερμένη κατάσταση. Στα αμέταλλα, η χαμηλότερη πρόσφυση ενέργεια ονομάζεται ζώνη σθένους, και η

υψηλότερη πρόσφυση ενέργειας αποτελεί τη ζώνη διεξαγωγής. Ο διαχωρισμός μεταξύ των δύο ζωνών είναι το χάσμα ενέργειας, και είναι γενικά μεγάλη για αμέταλλα υλικά, μικρότερη για ημιαγωγούς, και ανύπαρκτη στα μέταλλα. Το φάσμα της ενέργειας για το ορατό φως είναι 1,8 - 3,1 eV. Τα υλικά με ενέργειες διακένου ζώνης μικρότερο από 1,8 eV θα είναι αδιαφανές, επειδή όλο το ορατό φως θα απορροφηθεί από μεταβάσεις ηλεκτρονίων από το σθένους στη ζώνη αγωγιμότητας. Η διάχυση αυτή της απορροφούμενης ενέργειας μπορεί να γίνει με άμεση επιστροφή στη ζώνη σθένους ή με πιο περίπλοκη μετάβαση που αφορά τις ακαθαρσίες. Τα υλικά με την απόκλιση άνω των 3,1 eV δεν απορροφούν το φως στο ορατό φάσμα και θα εμφανιστεί ως διαφανές και άχρωμο. Το φως που εκπέμπεται από μεταβάσεις ηλεκτρονίων σε στερεά καλείται φωταύγεια. Αν αυτό συμβαίνει για ένα μικρό χρονικό διάστημα, είναι ο φθορισμός, αν διαρκεί για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα είναι φωσφορισμός.

Το φως που μεταδίδεται από ένα μέσο σε ένα άλλο, όπως από τον αέρα σε γυαλί, υφίσταται διάθλαση. Αυτή είναι η φαινομενική κάμψη των ακτίνων φωτός που προκύπτει από την αλλαγή στην ταχύτητα του φωτός. Ο δείκτης διάθλασης (n) ενός υλικού είναι η αναλογία της ταχύτητας του φωτός στο κενό ($c = 3 \times 10^8$ m / s) με την ταχύτητα του φωτός στο εν λόγω υλικό ($n = c / v$). Η μεταβολή στην ταχύτητα είναι το αποτέλεσμα της πόλωσης. Δεδομένου ότι η επίδραση της πόλωσης αυξάνει με το μέγεθος των ατόμων, τα γυαλιά τα οποία περιέχουν ιόντα βαρέων μετάλλων (όπως μόλυβδος κρυστάλλων) έχουν υψηλότερους δείκτες διάθλασης από εκείνα που αποτελούνται από μικρότερα άτομα (όπως γυαλί σόδας-ασβέστου).

Πολλές εφαρμογές μπορούν να επωφεληθούν από τις οπτικές ιδιότητες των υλικών. Η διαφάνεια των γυαλιών τα καθιστούν χρήσιμα για παράθυρα, φακούς, φίλτρα, μαγειρικά σκεύη, είδη εργαστηρίου και αντικείμενα τέχνης. Οι μετατροπές μεταξύ του φωτός και της ηλεκτρικής ενέργειας αποτελούν τη βάση για τη χρήση ημιαγωγικών υλικών όπως σε λέιζερ και σε διόδους εκπομπής φωτός (LED) και σε ηλεκτρονικές συσκευές. Φθορισμού και φωσφορίζοντα κεραμικά χρησιμοποιούνται σε ηλεκτρικούς λαμπτήρες και τηλεοπτικές οθόνες. Τέλος, οπτικές ίνες μεταδίδουν τηλεφωνικές συνομιλίες, σημάτα καλωδιακής τηλεόρασης, καθώς και τα ηλεκτρονικά δεδομένα με βάση τη συνολική εσωτερική αντανάκλαση του φωτός σήματος.



Σχήμα 16: διάθλαση (n), οι γωνίες (θ) πρόσπτωσης και διάθλασης, ταχύτητα (v),
 $(n_{1/2} = \theta_2 / \theta_1 = v_1 / v_2)$

2.4.3 Ηλεκτρικές Ιδιότητες

Οι ηλεκτρικές ιδιότητες των κεραμικών υλικών ποικίλουν σε μεγάλο βαθμό, με χαρακτηριστικά μέτρα που εκτείνονται πάνω από πολλές τάξεις μεγέθους. Τα κεραμικά είναι το πιο γνωστό υλικό ως μονωτικό ηλεκτρολογικό. Μερικά μονωτικά κεραμικά (όπως η $BaTiO_3$) μπορούν να πολωθούν και να χρησιμοποιηθούν ως πυκνωτές. Άλλα κεραμικά διεξάγουν ηλεκτρόνια όταν επιτευχθεί ένα ποσό ενέργειας, και συνεπώς ονομάζονται ημιαγωγοί. Το 1986, μια νέα κατηγορία των κεραμικών ανακαλύφθηκε, τα υψηλά T_c οι ονομαζόμενοι υπεραγωγοί. Αυτά τα υλικά άγουν το ηλεκτρικό ρεύμα με ουσιαστικά μηδενική αντίσταση. Τέλος, τα κεραμικά γνωστά ως πιεζοηλεκτρικά μπορούν να δημιουργήσουν μία ηλεκτρική μηχανική δύναμη ή αντιστροφή.

Τύπος	Υλικό	Αντίστασης (ω -cm)
Μεταλλικών αγωγών:	Χαλκός	$1,7 \times 10^{-6}$
	CuO_2	3×10^{-5}
Ημιαγωγοί:	SiC	10
	Γερμάνιο	40
Μονωτήρες:	Πυρίμαχα τούβλα-πηλός	10^8
	Si_3N_4	$> 10^{14}$
	Πολυστυρένιο	10^{18}
Υπεραγωγοί:	$YBa_2 Cu_3 O_{7-x}$	$< 10^{-22}$ (κάτω T_c)

Πίνακας 2.2: Ηλεκτρική αντίσταση των διαφορετικών υλικών

Ένα διηλεκτρικό υλικό είναι ένας μονωτής που μπορεί να πολωθεί σε μοριακό επίπεδο. Τέτοια υλικά χρησιμοποιούνται ευρέως σε πυκνωτές, οι συσκευές που χρησιμοποιούνται για την αποθήκευση ηλεκτρικού φορτίου. Το φορτίο του πυκνωτή αποθηκεύεται μεταξύ δύο πλακών του. Το ποσό της επιβάρυνσης (q) εξαρτάται από την τάση του (V) και της χωρητικότητας (C): **($q = CV$)**
 Το διηλεκτρικό παρεμβάλλεται μεταξύ των πλακών ενός πυκνωτή, αυξάνοντας την χωρητικότητα του συστήματος κατά ένα συντελεστή ίσο με της διηλεκτρικής σταθεράς k : **($q = (kC) V$)**

Χρησιμοποιώντας υλικά που έχουν μεγάλες διηλεκτρικές σταθερές επιτρέπει σε μεγάλες ποσότητες φορτίου που πρέπει να διατηρούνται σε εξαιρετικά μικρές πυκνωτές. Αυτό είναι μια σημαντική συμβολή στη συνεχιζόμενη σμίκρυνση των ηλεκτρονικών (π.χ. φορητούς υπολογιστές, φορητές συσκευές αναπαραγωγής CD, κινητά τηλέφωνα, ακόμα και ακουστικά βαρηκοΐας).

Η διηλεκτρική αντοχή ενός υλικού είναι η ικανότητά του να συγκρατεί συνεχώς ηλεκτρόνια σε υψηλή τάση. Όταν ένας πυκνωτής είναι πλήρως φορτισμένη, δεν υπάρχει σχεδόν καθόλου ρεύμα που διέρχεται μέσα από αυτό.

Αλλά μερικές φορές πολύ ισχυρά ηλεκτρικά πεδία (υψηλές τάσεις) διεγείρουν μεγάλο αριθμό των ηλεκτρονίων από τη ζώνη σθένους στη ζώνη αγωγιμότητας. Όταν συμβαίνει αυτό, ρεύμα ρέει διαμέσου του διηλεκτρικού και το αποθηκευμένο

φορτίο χάνεται. Αυτό μπορεί να συνοδεύεται από μερική αποσύνθεση του υλικού με τήξη, καύση ή και εξάτμιση. Η ένταση του μαγνητικού πεδίου είναι απαραίτητο να παράγει διάσπαση ενός υλικού είναι διηλεκτρική αντοχή του. Μερικά κεραμικά υλικά έχουν εξαιρετικά υψηλή διηλεκτρική δυνάμεις.

Το ηλεκτρικό ρεύμα στα στερεά είναι πιο συχνά το αποτέλεσμα της ροής των ηλεκτρονίων (ηλεκτρονική αγωγιμότητα). Τα ηλεκτρόνια σθένους σε κεραμικά υλικά δεν είναι συνήθως στη ζώνη αγωγιμότητας, έτσι τα περισσότερα κεραμικά θεωρούνται μονωτές. Ωστόσο, η αγωγιμότητα μπορεί να αυξηθεί με προσθήκη στο υλικό με ακαθαρσίες. Η θερμική ενέργεια θα προωθήσει τα ηλεκτρόνια στη ζώνη αγωγιμότητας, έτσι ώστε τα κεραμικά, να αυξάνουν την αγωγιμότητα (και τη μείωση αντίστασης) καθώς αυξάνεται η θερμοκρασία.

Παρά το γεγονός ότι τα κεραμικά ήταν ιστορικά θεωρούνται ως μονωτικά υλικά, οι κεραμικοί υπεραγωγοί ανακαλύφθηκαν το 1986. Ένας υπεραγωγός μπορεί να μεταδώσει ηλεκτρικό ρεύμα χωρίς αντίσταση ή απώλεια ισχύος. Για τα περισσότερα υλικά, αντίσταση μειώνεται σταδιακά, καθώς μειώνεται η θερμοκρασία. Υπεραγωγοί έχουν μια κρίσιμη θερμοκρασία, T_c , στην οποία η ειδική αντίσταση πέφτει απότομα σχεδόν στο μηδέν.

Οι υπεραγωγοί έχουν κρίσιμες θερμοκρασίες σε ή κάτω από 30K και απαιτείται ψύξη με υγρό ήλιο. Οι νέοι κεραμικοί υπεραγωγοί συνήθως περιέχουν οξειδία χαλκού όπως $YBa_2Cu_3O_7$ και ανακαλύφθηκαν το 1987 με $T_c = 93 K$. Έχουν κρίσιμες θερμοκρασίες πάνω από το σημείο βρασμού του υγρού αζώτου (77,4 K), η οποία καθιστά πολλές πιθανές εφαρμογές των υπεραγωγών πολύ πρακτικές. Δύο παράμετροι που καθορίζουν την περιοχή όπου ένα κεραμικό υλικό είναι υπεραγωγίμο: το κρίσιμο ρεύμα και το κρίσιμο μαγνητικό πεδίο

Εφ' όσον οι συνθήκες είναι εντός τις κρίσιμες παραμέτρους της θερμοκρασίας, το ρεύμα, και το μαγνητικό πεδίο, το υλικό συμπεριφέρεται ως υπεραγωγός. Σε περίπτωση υπέρβασης οποιαδήποτε από αυτές τις τιμές, η υπεραγωγιμότητα καταστρέφεται. Εφαρμογές των υπεραγωγών που βασίζονται στην τρέχουσα ικανότητα μεταφοράς τους περιλαμβάνουν την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, την αποθήκευση και τη διανομή. Τα SQUIDS (υπεραγωγίμο Quantum Interference Devices) είναι ηλεκτρονικές συσκευές που χρησιμοποιούνται ως υπεραγωγοί ευαίσθητοι ανιχνευτές ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Πιθανές εφαρμογές στον τομέα της ιατρικής περιλαμβάνουν την ανάπτυξη προηγμένων κεραμικών τα MRI (Magnetic Resonance Imaging) μονάδες με βάση μαγνήτες κατασκευάζονται από υπεραγωγίμο πηνία.

Μερικά κεραμικά έχουν την ασυνήθιστη ιδιότητα πιεζοηλεκτρισμό ή ηλεκτρική ενέργεια πίεσης. Αυτά είναι μέρος μιας τάξης είναι γνωστά ως "έξυπνα" υλικά που συχνά χρησιμοποιούνται ως αισθητήρες. Σε ένα πιεζοηλεκτρικό υλικό, η εφαρμογή μιας δύναμης ή πίεσης επί της επιφανείας του επάγει πόλωση και

καθιερώνει ένα ηλεκτρικό πεδίο, δηλαδή, αλλάζει μία μηχανική πίεση σε ένα ηλεκτρικό ερέθισμα. Στα κεραμικά υλικά το ηλεκτρικό φορτίο μπορεί επίσης να μεταφέρεται από ιόντα. Αυτή η ιδιότητα μπορεί να προσαρμοστεί με τη βοήθεια της χημικής σύνθεσης, και είναι η βάση για πολλές εμπορικές εφαρμογές. Αυτές κυμαίνονται από χημικούς αισθητήρες σε μεγάλης κλίμακας γεννήτριες ηλεκτρικού ρεύματος. Ένα από τα πιο εξέχοντα των τεχνολογιών είναι ότι οι κυψέλες καυσίμου. Βασίζονται στην ικανότητα ορισμένων κεραμικών να επιτρέπουν τη διέλευση των ανιόντων οξυγόνου, ενώ την ίδια στιγμή να είναι ηλεκτρονικά μονωτές. Ζιρκονία (ZrO_2), σταθεροποιημένο με άσβεστο (CaO), είναι ένα παράδειγμα ενός τέτοιου στερεού ηλεκτρολύτη.

Οι κυψέλες καυσίμου χρησιμοποιήθηκαν για πρώτη φορά στα διαστημόπλοια, όπως το Απόλλων και το διαστημικό λεωφορείο. Τη νύχτα τα κύτταρα καυσίμου χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, με την καύση του υδρογόνου και οξυγόνου από φιάλες αερίου. Κατά τη διάρκεια της ημέρας, τα ηλιακά κύτταρα και η περίσσεια ηλεκτρική ενέργεια χρησιμοποιήθηκε για να καθαρίσει και να ανακτήσετε το οξυγόνο από τα καυσαέρια και την ατμόσφαιρα που εκπνέεται από τους αστροναύτες.

Υλικό	Διηλεκτρική σταθερά στο 1 MHz	Διηλεκτρική αντοχή (kV / cm)
Αέρας	1,00059	30
Πολυστυρένιο	2,54 - 2,56	240
Γυαλί (πυρέξ)	5.6	142
Αλουμίνα	04.05-08.04	16-63
Πορσελάνη	6,0 - 8,0	16-157
Το διοξείδιο του τιτανίου	14 - 110	39-83

Πίνακας 2.3 : Σταθερές Ηλεκτρικές Ιδιοκτησία Των Διαφόρων Κεραμικών Υλικών

2.5 Μηχανικές Ιδιότητες Προηγμένων Κεραμικών

Οι Μηχανικές ιδιότητες περιγράφουν τον τρόπο που ένα υλικό ανταποκρίνεται στις δυνάμεις, τα φορτία και τις επιπτώσεις. Τα κεραμικά είναι ισχυρά, σκληρά υλικά τα οποία είναι επίσης και ανθεκτικά στη διάβρωση. Αυτές οι ιδιότητες, μαζί με χαμηλές τις πυκνότητες τους και τα υψηλά σημεία τήξεως, κάνουν ελκυστικά τα κεραμικά δομικά υλικά.

Οι δομικές εφαρμογές των προηγμένων κεραμικών περιλαμβάνουν εξαρτήματα κινητήρων αυτοκινήτων, η ειδική θωράκιση για τα στρατιωτικά οχήματα, και τις δομές των αεροσκαφών. Για παράδειγμα, το καρβίδιο του τιτανίου έχει περίπου τέσσερις φορές την αντοχή του χάλυβα. Ετσι, μία χαλύβδινη ράβδος σε μια δομή του αεροπλάνου μπορεί να αντικατασταθεί από μία ράβδο TiC που θα υποστηρίξει το ίδιο φορτίο στο ήμισυ της διαμέτρου και το 31% του βάρους.

Άλλες εφαρμογές που εκμεταλλεύονται τις μηχανικές ιδιότητες των κεραμικών περιλαμβάνουν τη χρήση του πηλού και το τσιμέντο ως δομικά υλικά. Και τα δύο μπορούν να σχηματιστούν και να χυτεύονται όταν είναι υγρά, αλλά και να παράγουν ένα σκληρότερο, ισχυρότερο αντικείμενο όταν είναι ξηρό. Τα πολύ σκληρά υλικά όπως αλουμίνα (Al_2O_3), και το καρβίδιο του πυριτίου (SiC) χρησιμοποιούνται ως λειαντικά για λείανση και στίλβωση.

Ο κύριος περιορισμός της κεραμικής είναι η ευθραυστότητα τους, δηλαδή, η τάση να αποτύχει ξαφνικά με μικρή πλαστική παραμόρφωση. Αυτό είναι ιδιαίτερα ανησυχητικό όταν το υλικό χρησιμοποιείται σε δομικές εφαρμογές. Στα μέταλλα, τα ηλεκτρόνια επιτρέπουν στα άτομα να αλλάξουν τροχιά χωρίς να αλλάζει πλήρως η δομή, αυτό επιτρέπει στο μέταλλο να παραμορφώνεται υπό καταπόνηση. Στα κεραμικά αυτό οφείλεται επειδή ο δεσμός είναι συνδυασμός ιονικού και ομοιοπολικού μηχανισμού, όπου τα σωματίδια δεν μπορούν να στραφούν εύκολα. Στα κεραμικά πάρα την δύναμη που εφαρμόζεται το έργο που επιτέλει στο σπάσιμο των δεσμών δημιουργεί νέες επιφάνειες πάνω στις ρωγμές.

Η φαθυρή θραύση λαμβάνει χώρα με το σχηματισμό και την ταχεία διάδοση των ρωγμών. Σε κρυσταλλικά στερεά, οι ρωγμές αναπτύσσονται μέσω των και κατά μήκος των επιπέδων γίνεται διάσπαση στον κρύσταλλο. Η προκύπτουσα σπασμένη επιφάνεια μπορεί να έχει μια κοκκώδη ή τραχιά υφή.

Η θεωρητική δύναμη ενός υλικού είναι η τάση εφελκυσμού που θα απαιτείται για να σπάσει τους δεσμούς μεταξύ των ατόμων σε ένα τέλειο. Αλλά όλα τα υλικά, συμπεριλαμβανομένων και των κεραμικών, περιέχουν μικροσκοπικές δομές και ατέλειες από κατασκευή που τα καθιστούν σημαντικά ασθενέστερα από την ιδανική δύναμη.

Οποιοδήποτε ελάττωμα, όπως ένα πόρο, ρωγμή, ή ενσωμάτωση, οδηγεί σε

συγκέντρωση τάσεων, η οποία ενισχύει το εφαρμοζόμενο στρες. Οι πόροι επίσης ευθύνονται στη μείωση του εμβαδού διατομής επί των οποίων εφαρμόζεται ένα φορτίο. Έτσι, τα λιγότερο πορώδη υλικά είναι γενικά ισχυρότερα. Ομοίως, όσο μικρότερο είναι το μέγεθος του κόκκου τόσο καλύτερες είναι οι μηχανικές ιδιότητες. Στην πραγματικότητα, τα κεραμικά είναι τα ισχυρότερα γνωστά μονολιθικά υλικά, και συνήθως διατηρούν ένα σημαντικό κλάσμα της αντοχής τους σε αυξημένες θερμοκρασίες.

Θλίπτική δύναμη είναι σημαντική σε κεραμικά που χρησιμοποιούνται σε κατασκευές όπως σε κτίρια ή σε πυρίμαχα τούβλα. Η αντοχή σε θλίψη ενός κεραμικού είναι συνήθως πολύ μεγαλύτερη από ότι η αντοχή τους σε εφελκυσμό. Για να αντισταθμιστεί αυτό, τα κεραμικά μερικές φορές βρίσκονται σε συμπιεσμένη κατάσταση. Έτσι, όταν ένα κεραμικό αντικείμενο υποβάλλεται σε δύναμη εφελκυσμού, το εφαρμοζόμενο φορτίο πρέπει να ξεπεράσει τις θλιπτικές τάσεις. Τα κεραμικά γενικά είναι αρκετά ανελαστικά και δεν λυγίζουν όπως τα μέταλλα.

Η ακαμψία ποικίλλει ανάλογα με τη σύνθεση και τη δομή. Η ικανότητα να παραμορφώνεται αναστρέψιμα μετριέται από τον συντελεστή ελαστικότητας. Υλικά με ισχυρή πρόσφυση απαιτούν μεγάλες δυνάμεις για να αυξηθεί το διάστημα μεταξύ των σωματιδίων και να έχουν υψηλές τιμές για το μέτρο ελαστικότητας. Σε άμορφα υλικά, ωστόσο, υπάρχει περισσότερος ελεύθερος χώρος για τα άτομα να στρέφουν σε υπό εφαρμοζόμενο φορτίο. Ως αποτέλεσμα, τα άμορφα υλικά όπως το γυαλί είναι πιο εύκαμπτα απ'ότι τα κρυσταλλικά υλικά όπως η αλουμίνα ή το νιτρίδιο του πυριτίου.

Η δυσθραυστότητα είναι η ικανότητα να ανθίσταται στο κάταγμα όταν μια ρωγμή είναι παρούσα. Αυτό εξαρτάται από τη γεωμετρία τόσο του αντικειμένου όσο και της ρωγμής, της εφαρμοζόμενης πίεσης και το μήκος της ρωγμής. Τα σύνθετα υλικά αναπτύσσονται για να διατηρούν τις επιθυμητές ιδιότητες των κεραμικών, ενώ μειώνουν και την τάση τους σε κάταγμα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

Μέθοδοι παραγωγής και μορφοποίησης των προηγμένων κεραμικών

3.1 Εισαγωγή

Η εφαρμοσμένη μηχανική των κεραμικών είναι η επιστήμη και η τεχνολογία που δημιουργεί αντικείμενα από ανόργανα μη μεταλλικά υλικά. Αυτό γίνεται είτε με την επίδραση της θερμότητας, ή σε χαμηλότερες θερμοκρασίες χρησιμοποιώντας αντιδράσεις καταβύθισης από χημικά διαλύματα υψηλής καθαρότητας. Ο όρος περιλαμβάνει τον καθαρισμό των πρώτων υλών, τη μελέτη και την παραγωγή των εν λόγω χημικών ενώσεων, τη σύστασή και τη μελέτη της δομής τους και τη σύνθεση τους.

Τα κεραμικά υλικά μπορεί να έχουν κρυσταλλική ή εν μέρει κρυσταλλική δομή(μείγμα κρυσταλλικής και άμορφης δομής), με μεγάλη ποικιλία (μορφών) ατομικής διάταξης. Το γυαλί μπορεί να έχει άμορφη ή υαλώδη δομή, με περιορισμένους τρόπους ατομικής διάταξης. Σχηματίζονται είτε από τηγμένη μάζα που στερεοποιείται κατά τη ψύξη, δηλαδή σχηματίζεται και ωριμάζει με την επίδραση της θερμότητας, είτε έχει συντεθεί με χημικά υλικά σε χαμηλές θερμοκρασίες χρησιμοποιώντας, για παράδειγμα, υδροθερμική ή sol-gel σύνθεση.

Ο ειδικός χαρακτήρας των κεραμικών υλικών δίνει δυνατότητα για πολλές εφαρμογές σε υλικά Μηχανικών όπως Ηλεκτρολόγων και Ηλεκτρονικών Μηχανικών, Χημικών Μηχανικών και Μηχανολόγων Μηχανικών. Τα κεραμικά υλικά είναι ανθεκτικά στις υψηλές θερμοκρασίες και μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε εφαρμογές αντικαθιστώντας υλικά όπως τα μέταλλα και τα πολυμερή που είναι ακατάλληλα. Τα κεραμικά υλικά χρησιμοποιούνται σε ένα ευρύ φάσμα των βιομηχανιών όπως σε εξόρυξη, αεροδιαστημική, ιατρική, βιομηχανίες τροφίμων και χημικών, καθώς και σε ηλεκτρονικά και σε μετάδοσης ηλεκτρικής ενέργειας.

Τα τελευταία 30 χρόνια περίπου, είναι πιο κατανοητή η μέθοδος της κρυσταλλογραφίας, η οποία είναι η πιο εκτεταμένη γνώση που έχει αποκτηθεί για την παραγωγή προηγμένων κεραμικών. Μια από τις σημαντικότερες εξελίξεις αυτού του αιώνα ήταν το έργο του Ron Garvie στη Μελβούρνη όπου χρησιμοποίησε τη μέθοδο PSZ (**partially stabilised zirconia**), μερικώς σταθεροποιημένη ζirkονία, και αναπτύχθηκε ο μετασχηματισμός φάσης βαφής του κεραμικού. Αυτή η εξέλιξη άλλαξε τον τρόπο που αντιμετωπίζονταν τα κεραμικά υλικά. Οι Τεχνικές που εφαρμόζονταν προηγουμένως για τα μέταλλα, τώρα εφαρμόζονται και στα κεραμικά υλικά, όπως ο μετασχηματισμός των φάσεων, ανάμιξη, η όπτηση έψηση και η σκλήρυνση.

Έχουν επιτευχθεί σημαντικές βελτιώσεις στη αντοχή σε θραύση, ολκιμότητα και

αντοχή στην κρούση και έτσι το χάσμα των μηχανικών ιδιοτήτων μεταξύ των κεραμικών και των μετάλλων άρχισε να κλείνει.

3.2 Μέθοδοι και διαδικασίες παραγωγής κεραμικών

Οι τεχνικές της παραγωγής των κεραμικών, σε σύγκριση με τη παραγωγή των παραδοσιακών κεραμικών είναι πολύ πιο απαιτητική και πολύπλοκη διαδικασία. Πρέπει να χρησιμοποιούνται υλικά υψηλής καθαρότητας και ακριβείς μέθοδοι παραγωγής

για να εξασφαλιστούν οι επιθυμητές ιδιότητες των υλικών έτσι ώστε να επιτευχθεί το τελικό προϊόν.

Οι διαδικασίες παραγωγής των κεραμικών είναι οι εξής:

1. Επεξεργασία και παραγωγή κεραμικής σκόνης
2. Προετοιμασία πρώτων υλών
3. Μορφοποίηση
4. Ξήρανση
5. Πυροσυσσωμάτωση
6. Τελική κατεργασία



Σχήμα 3.1: Διαδικασία παραγωγής προηγμένων κεραμικών

3.2.1 Επεξεργασία και παραγωγή κεραμικής σκόνης

Η τεχνολογία της κεραμικής περιλαμβάνει την εφεύρεση και το σχεδιασμό των νέων συστατικών και τη βελτιστοποίηση της διαδικασίας παραγωγής σύνθετων δομών. Τα Κεραμικά μπορούν να σχηματίζονται από μία ποικιλία διαφορετικών μεθόδων οι οποίες μπορούν να διαιρεθούν σε τρεις κύριες ομάδες, ανάλογα με το αν οι πρώτες ύλες περιλαμβάνουν αέριο, υγρό ή στερεό. Οι πρώτες ύλες που περιλαμβάνουν αέρια δέχονται τις μεθόδους: χημική εναπόθεση ατμών, κατευθυνόμενη οξειδωση μετάλλου και με συνδυασμό της αλληλουχίας των αντιδράσεων. Οι πρώτες ύλες που περιλαμβάνουν υγρά δέχονται τις μεθόδους: sol-gel και πυρόλυσης πολυμερών. Οι πρώτες ύλες που περιλαμβάνουν στερεά, και ιδίως τις μεθόδους δημιουργίας σκόνης, κυριαρχούν στο σχηματισμό κεραμικών και χρησιμοποιούνται εκτενώς στη βιομηχανία. Η πρακτική υλοποίηση των κεραμικών προϊόντων με μεθόδους παραγωγής σκόνη απαιτεί τα ακόλουθα βήματα: παραγωγή κεραμικής σκόνη, επεξεργασία της σκόνης, το χειρισμό και την επεξεργασία σε διαδικασία εν ψυχρώ, τη πυροσυσσωμάτωση (sintering) και την αξιολόγηση της απόδοσης του τελικού προϊόντος.

Σχηματισμός των κεραμικών κόνεων

Η ποιότητα ενός κεραμικού συστατικού εξαρτάται από τη διαδικασία παρασκευής. Επομένως, τα αρχικά χαρακτηριστικά της σκόνης και η επεξεργασία, συμπεριλαμβανομένης της διαμόρφωσης εν ψυχρώ και τη πυροσυσσωμάτωση, έχουν ισχυρή επίδραση στις μηχανικές ιδιότητες των συστατικών και μπορεί να δημιουργήσει αριθμό ελαττωμάτων (μικρορωγμές, πόρους, συσσωματώματα). Ειδικότερα, τα χαρακτηριστικά του στερεού που λαμβάνεται μετά από διαμόρφωση εν ψυχρώ (το λεγόμενο «πράσινο σώμα») επηρεάζουν έντονα την επακόλουθη διαδικασία πυροσυσσωμάτωσης και συνεπώς τις μηχανικές ιδιότητες του τελικού κομματιού.

Για πολλές τεχνικές, παραμένουν ακόμη άλυτα προβλήματα κατά τη διαδικασία σχηματισμού των κεραμικών υλικών. Στην πραγματικότητα, από την μια πλευρά το προϊόν πρέπει να είναι ομοιογενές χωρίς ατέλειες δομής μετά την εξώθηση ώστε να είναι εύχρηστο, από την άλλη πλευρά, τα ελαττώματα(ατέλειες) των διαφόρων τύπων που υπάρχουν στα « πράσινα σώματα », και επηρεάζουν αρνητικά τη διαδικασία πυροσυσσωμάτωσης (sintering) και μεταφέρονται στο τελικό προϊόν.

Τα ελαττώματα (ατέλειες δομής) μπορούν να προκληθούν κατά τη διαδικασία συμπίεσης της σκόνης του κεραμικού, η οποία μπορεί να περιλαμβάνει εξαιρετικά ανομοιογενή πεδία καταπονήσεως παρά το γεγονός ότι η διαδικασία αυτή γίνεται σήμερα σε εξελιγμένα συστήματα ισοστατικής συμπίεσης.

Κατά τη διάρκεια της συμπίεσης σκόνης εν ψυχρώ, προκύπτει ένα κοκκώδες υλικό το οποίο σταδιακά πρέπει να μετατραπεί σταδιακά μέσω της μηχανικής συμπίεσης σε ένα πυκνό υλικό(η διαδικασία αυτή ονομάζεται ψυχρή συγκόλληση των κόκκων).

Δεδομένου ότι τα κοκκώδη υλικά χαρακτηρίζονται από μηχανικές ιδιότητες σχεδόν εντελώς διαφορετικές από εκείνες των πυκνών στερεών, η μηχανική διαδικασία περιγράφει μια μετάβαση μεταξύ δύο διαφορετικών καταστάσεων ενός υλικού.

Η επεξεργασία της σκόνης περιλαμβάνει πέντε βασικά βήματα :

- i) τη παραγωγή
- ii) τη προετοιμασία των κόνεων για ανάμιξη
- iii) την ανάμιξη
- iv) την απομάκρυνση του διαλύτη και τα οργανικά πρόσθετα (ξήρανση)
- v) τη συμπίκνωση(συμπίεση για ψυχρή συγκόλληση)

Σε κάθε στάδιο επεξεργασίας υπάρχει η περίπτωση δημιουργίας επιζήμιας ετερογένειας , η οποία θα συνεχιστεί , είτε κατά τη διάρκεια της περαιτέρω επεξεργασίας είτε θα εξελιχθεί σε μια νέα ετερογένεια κατά την πύκνωση και την ανάπτυξη της μικροδομής . Επομένως, οι ανομοιογένειες της μικροδομής που δημιουργούνται στα πρώτα στάδια επεξεργασίας, π.χ. στην ανάμιξη και στην ενοποίηση της σκόνης, είναι πολύ δύσκολο να αφαιρέθούν κατά την διάρκεια των μετέπειτα σταδίων επεξεργασίας, π.χ. στην ψυχρή συγκόλληση λόγω συμπίεσης και πυροσυσσωματώση. Αυτό σημαίνει ότι ο χειρισμός των λεπτών, μικρού μεγέθους, κεραμικών κόνεων σε μεγάλες ποσότητες απαιτεί υψηλό βαθμό ελέγχου της διαδικασίας για να φτάσει στα επιθυμητά χαρακτηριστικά της μικροδομής.

Πολλές επιζήμιες ετερογένειες πηγάζουν από την ίδια την σκόνη π.χ. από μεγάλα και σκληρά συσσωματώματα ή από προσμείξεις που δημιουργούν άλλες φάσεις. Άλλες ανομοιογένειες που εισάγονται στη διαδικασία παραγωγής της σκόνης π.χ. είναι μία κατανομή ανομοιογενούς φάσης λόγω ανεπαρκούς ανάμιξης των προστιθέμενων συστατικών. Η μέθοδος ανάμιξης που χρησιμοποιείται μπορεί επίσης να εισαγάγει ετερογένειες. Ως εκ τούτου, προκειμένου να παραχθούν αξιόπιστα κεραμικά υλικά , πρέπει να αναπτυχθούν μέθοδοι που μπορούν να εξαλείψουν ετερογένειες από σκόνες και να αποφευχθεί η εισαγωγή άλλων τύπων ετερογενειών στα επόμενα στάδια επεξεργασίας.

Η ευαισθησία των κεραμικών υλικών σε ετερογένειες και η δυσκολία στην αφαίρεση των επακόλουθων σταδίων επεξεργασίας, σημαίνει ότι η μικροδομή και η ομοιογένεια του μείγματος της σκόνης που θα χρησιμοποιηθεί ως πρώτη ύλη είναι στενά συνδεδεμένη με τις ιδιότητες του τελικού υλικού. Σε γενικές γραμμές , η σκόνη πρέπει να έχει τα ακόλουθα χαρακτηριστικά :

- i) υψηλό ομοιόμορφο κλάσμα σωματιδίων ως προς το μέγεθος
- ii) το μέγεθος των πόρων των σωματιδίων να είναι μικρό και η κατανομή του μεγέθους αυτό να μη είναι μεγάλο
- iii) υψηλό βαθμό ομοιογένειας



Σχήμα 3.2: Κεραμική σκόνη

3.2.2 Προετοιμασία πρώτων υλών

Για να ξεκινήσει η διαδικασία, οι πρώτες ύλες μεταφέρονται και αποθηκεύονται στην εγκατάσταση παραγωγής. Οι πρώτες ύλες που χρησιμοποιούνται στην κατασκευή των κεραμικών αποτελούνται από σχετικώς ακάθαρτα υλικά άργιλου, το οποίο εξορύσσεται από φυσικά κοιτάσματα, καθώς και υψηλής καθαρότητας σκόνες παρασκευάζονται με χημική σύνθεση. Φυσικές πρώτες ύλες που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή κεραμικών περιλαμβάνουν τη σίλικα, την άμμο, το χαλαζία, το πυριτόλιθο, τα πυριτικά άλατα, και τα αργιλοπυριτικά (π.χ. άργιλο και άστριο).

1. Εμπλουτισμός πρώτων υλών

Το επόμενο βήμα στη προετοιμασία των υλικών είναι ο εμπλουτισμός. Ο εμπλουτισμός είναι η διαδικασία ανάμιξης των φυσικών πρώτων υλών με πρόσθετα συστατικά, με αποτέλεσμα να αλλάζει η χημική σύνθεση των κεραμικών κόνεων. Οι βασικές μεθόδους εμπλουτισμού περιλαμβάνουν τα εξής:

- 1ο) τη κονιορτοποίηση
- 2ο) το καθαρισμό
- 3ο) τη ταξινόμηση ως προς το μέγεθος των κόκκων
- 4ο) την ασβεστοποίηση
- 5ο) τη διάχυση υγρού και,
- 6ο) τη κοκκοποίηση

1ο) Κονιορτοποίηση

Η κονιορτοποίηση συνεπάγεται τη μείωση του μεγέθους των σωματιδίων της πρώτης ύλης με σύνθλιψη, άλεση και λείανση. Ο σκοπός της κονιορτοποίησης είναι να ελευθερωθεί η υλη από τις ακαθαρσίες, μέχρι να αποφθευχθούν τα συσσωματώματα, να τροποποιηθεί η μορφολογία των σωματιδίων και η κατανομή μεγέθους, να διευκολύνει την ανάμιξη και την διαμόρφωση, και να παράγει ένα πιο αντιδραστικό υλικό για επεξεργασία.

Η πρωτογενής θραύση μειώνει το υλικό από 0.003 cm έως 1 cm σε διάμετρο. Η δευτερογενή θραύση και η λειοτρίβηση μειώνει το μέγεθος των σωματιδίων κάτω από 1 mm περίπου σε διάμετρο. Η άλεση μειώνει το μέγεθος των σωματιδίων περίπου $1\text{ }\mu\text{m}$ σε διάμετρο. Ο σφαιρόμυλος είναι ο πιο συχνά χρησιμοποιούμενος εξοπλισμός για την άλεση των υλικών. Η θραύση και η λειοτρίβηση τυπικά είναι ξηρές διεργασίες ενώ η άλεση είναι υγρή ή ξηρή διαδικασία. Σε υγρή άλεση, το νερό ή η αλκοόλη χρησιμοποιείται συνήθως ως υγρό άλεσης.

2ο) Καθαρισμός

Υπάρχουν διάφορες διαδικασίες που χρησιμοποιούνται για τον καθαρισμό του κεραμικού υλικού. Ακαθαρσίες από προσμίξεις διαλυτών μπορούν να αφαιρεθούν με πλύση με απιονισμένο ή αποσταγμένο νερό και διήθηση, καθώς μπορούν να χρησιμοποιηθούν και οργανικοί διαλύτες. Η έκπλυση με οξύ μερικές φορές χρησιμοποιείται για την αφαίρεση μεταλλικών προσμίξεων.

Ο μαγνητικός διαχωρισμός χρησιμοποιείται για να εξαγάγονται μαγνητικές προσμίξεις είτε από ξηρές σκόνες ή από υγρά διαλύματα. Επίσης άλλη μια μέθοδος που χρησιμοποιείται είναι η επίπλευση που χρησιμεύει για το διαχωρισμό ανεπιθύμητων υλικών.

3ο) Κοκκομετρική σύνθεση

Η κοκκομετρική ταξινόμηση χωρίζει το υλικό σε κλάσματα ανάλογα με το μέγεθος των κόκκων. Η ταξινόμηση κατά μέγεθος επιτυγχάνεται με τη χρήση ειδικού εξοπλισμού με κόσκινα δόνησης. Επίσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν ειδικά συστήματα διαχωρισμού με εμφύσηση αέρα. Το ξηρό κοσκίνισμα μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε ύλες με μέγεθος κάτω από $44\text{ }\mu\text{m}$. Το υγρό κοσκίνισμα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για σωματίδια κάτω από $25\text{ }\mu\text{m}$. Οι ταξινομητές αέρα γενικά είναι αποτελεσματικοί σε περιοχή από $420\text{ }\mu\text{m}$ έως $37\text{ }\mu\text{m}$. Ωστόσο, ειδικοί ταξινομητές αέρα είναι διαθέσιμοι για την απομόνωση σωματιδίων κάτω των $10\text{ }\mu\text{m}$.

4ο) Ασβεστοποίηση

Η ασβεστοποίηση περιλαμβάνει τη θέρμανση ενός κεραμικού υλικού, σε μία θερμοκρασία πολύ κάτω από το σημείο τήξης του, για να απελευθερώσει ανεπιθύμητα αέρια ή άλλα υλικά και να επιφέρει διαρθρωτικό μετασχηματισμό για να παράγει το επιθυμητό προϊόν σύνθεσης και φάσης. Η ασβεστοποίηση τυπικά διεξάγεται σε περιστροφική πύρωση, ειδικές θερμαινόμενες κλίνες ή σε κλίνες με στατική θέρμανση που αποτελούν ένα πυρίμαχο χωνευτήριο.

5ο) Διάχυση υγρού

Η διάχυση υγρού των κεραμικών κόνεων μερικές φορές χρησιμοποιείται για τη δημιουργία πολτών. Η επεξεργασία του πολτού διευκολύνει την ανάμιξη και ελαχιστοποιεί την συσσωμάτωση των σωματιδίων. Το κύριο μειονέκτημα της επεξεργασίας πολτού είναι ότι το υγρό θα πρέπει να αφαιρεθεί πριν την όπτηση (έψηση) του κεραμικού υλικού.

6ο)Κοκκοποίηση

Οι ξηρές σκόνες συχνά συσσωματώνονται σε μεγαλύτερους κόκκους(μικρούς σβώλους) για τη βελτίωση της ροής, το χειρισμό, τη συσκευασία και τη συμπίεση. Η κοκκοποίηση επιτυγχάνεται με την άμεση ανάμιξη, η οποία συνίσταται στην ανάμειξη της σκόνης με εισαγωγή ενός διαλύματος συνδετικού υλικού, ή με ψεκασμό της σκόνης. Η ξήρανση του υλικού μετά την ανάμειξη γίνεται σε ειδικούς ξηραντήρες που λειτουργούν στους 110 ° έως 130° C.

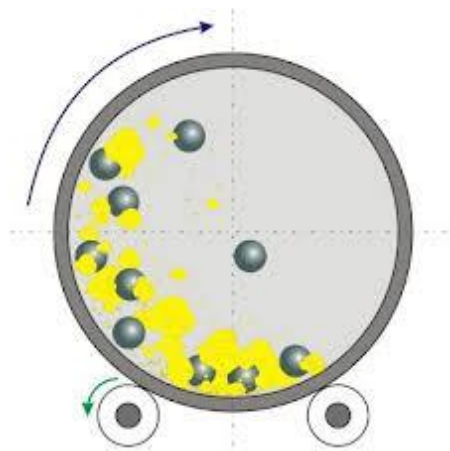
2. Ανάμιξη

Ο σκοπός της ανάμιξης είναι να συνδυάσει τα συστατικά της κεραμικής σκόνης για να παράγει ένα ομογενές υλικό για τη διαδικασία παραγωγής. Για τη διαδικασία της ανάμιξης των κεραμικών κόνεων συχνά χρησιμοποιούνται μύλοι. Κατά το στάδιο της ανάμειξης προστίθενται και πρόσθετες ύλες οι οποίες βοηθούν τη διαδικασία παραγωγής του προϊόντος Συνδετικά υλικά και πλαστικοποιητές χρησιμοποιούνται σε μορφή ξηρής σκόνης. Για την επεξεργασία του κεραμικού μίγματος προστίθενται κροκιδωτικοί, επιφανειοδραστικοί και αντιαφριστικοί παράγοντες με αποτέλεσμα η βελτίωση της επεξεργασίας.

Συνδετικά υλικά είναι πολυμερή ή κολλοειδή που χρησιμοποιούνται για να προσδώσουν αντοχή σε τελειοποιημένα ή μη κεραμικά σώματα. Για το σχηματισμό και την εξώθηση, τα συνδετικά υλικά ανέρχονται στο 3% κατά βάρος του κεραμικού μίγματος. Οι πλαστικοποιητές και τα λιπαντικά που

χρησιμοποιούνται με ορισμένους τύπους των συνδετικών υλικών.

Οι πλαστικοποιητές αυξάνουν την ευελιξία του κεραμικού μίγματος. Τα λιπαντικά μειώνουν τις δυνάμεις τριβής μεταξύ των σωματιδίων και τη φθορά του εξοπλισμού. Το νερό είναι το πιο συχνά χρησιμοποιούμενο υγρό στην επεξεργασία του κεραμικού μίγματος. Άλλα υγρά που χρησιμοποιούνται στη διαδικασία είναι οργανικά υγρά όπως π.χ. αλκοόλες. Τα κροκιδωτικά χρησιμοποιούνται επίσης στην επεξεργασία του μίγματος και βελτιώνουν τη διάχυση και τη σταθερότητα. Οι επιφανειοδραστικές ουσίες που χρησιμοποιούνται στην επεξεργασία του κεραμικού μίγματος ενισχύουν τη διάχυση και τα αντιαφριστικά χρησιμοποιούνται για την αφαίρεση παγιδευμένων φυσαλίδων αερίου στο μίγμα.



Σχήμα 3.3: Κονιορτοποίηση πρώτων υλών

3.2.3 Μορφοποίηση

Στο στάδιο της διαμόρφωσης οι ξηρές σκόνες, τα πλαστικά σώματα, οι πάστες, ή τα κεραμικά μίγματα αναμειγνύονται και χυτεύονται για να παραχθεί ένα συνεκτικό σώμα του επιθυμητού σχήματος και μεγέθους. Η ξηρή διαμόρφωση αποτελείται από ταυτόχρονη συμπίεση των ξηρών κεραμικών κόνεων σε ένα άκαμπτο ή εύκαμπτο καλούπι.

Οι ακόλουθες τεχνικές συμμετέχουν στη μορφοποίηση των κεραμικών κόνεων σε ένα επιθυμητό σχήμα:

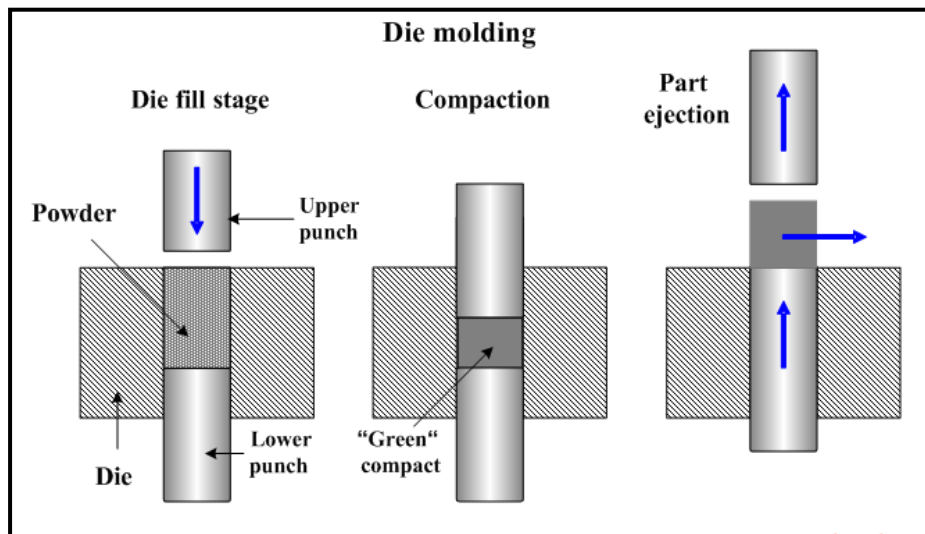
- A. Μονοαξονική συμπίεση (**Uniaxial Pressing**)
- B. Ισοστατική συμπίεση (**Isostatic Pressing**)
- C. Χύτευση με Έγχυση (**Injection Molding**)
- D. Εξώθηση (**Extrusion**)
- E. Χύτευση με ολίσθηση (**Slip Casting**)
- F. Χύτευση με Gel (**Gel Casting**)
- G. Χύτευση με ταινία (**Tape Casting**)

H. Green Machine

A. Μονοαξονική συμπίεση (*Uniaxial Pressing*)

Συμπίεση σε μήτρα είναι η μέθοδος συμπίεσης κόνεως όπου η σκόνη τοποθετείται σε μία μήτρα μεταξύ δύο άκαμπτων βραχιόνων και εφαρμόζεται μονοαξονική πίεση. Η μονοαξονική πίεση (μήτρα) χρησιμοποιείται αποτελεσματικά για τη μαζική παραγωγή των απλών εξαρτημάτων.

Η μέθοδος παρουσιάζεται στην παρακάτω εικόνα:



Σχήμα 3.4 : Μονοαξονική συμπίεση (*Uniaxial Pressing*)

Η διαδικασία συμπίεσης αποτελείται από τα ακόλουθα στάδια:

Μήτρα

Σε αυτό το στάδιο μία ελεγχόμενη ποσότητα της σκόνης τροφοδοτείται μέσα στην κοιλότητα της μήτρας.

Συμπίεση

Άνω βραχίονας κινείται προς τα κάτω και πιέζει τη σκόνη με μια προκαθορισμένη πίεση. Η πίεση κυμαίνεται μεταξύ 10.000 PSI έως 120.000 PSI (69 MPa έως 830 MPa).

"Πράσινο" συμπαγή μέρος εκτίναξης και απομάκρυνσης

Ο κύκλος συμπίεσης επαναλαμβάνεται από 400 μέχρι και 5000 φορές / ώρα,

ανάλογα με τον τύπο, τις ιδιότητες πλήρωσης, το μέγεθος και τη γεωμετρία της πρώτης ύλης.

Υδραυλικές και μηχανικές πρέσες με το φορτίο μέχρι 750 τόνους χρησιμοποιούνται για την παρασκευή σκόνης σε μήτρες. Η διαδικασία η οποία διεξάγεται σε θερμοκρασία δωματίου ονομάζεται **διαδικασία εν ψυχρώ**, σε περίπτωση που η διαδικασία συμπίεσεως διεξάγεται σε αυξημένη θερμοκρασία λέγεται **διαδικασία εν θερμώ**.

Για παράδειγμα διαδικασία εν θερμώ εφαρμόζεται στο καρβίδιο του πυριτίου όπου η θερμοκρασία είναι περίπου 3630 ° F (2000 ° C).

Η υψηλή θερμοκρασία επιτρέπει καλύτερη συμπίεση, με υψηλότερη πυκνότητα και μεγαλύτερη (σε σχέση με ψυχρή έκθλιψη) δύναμη τμήματος. Η συμπίεση χρησιμοποιείται για την κατασκευή μονωτικών εξαρτημάτων, μαγνητικών κεραμικών, πυκνωτές και υποστρώματα.

B. Ισοστατική συμπίεση (*Isostatic Pressing*)

Ισοστατική συμπίεση είναι η μέθοδος συμπίεσης κόνεως που περιλαμβάνει εφαρμογή πίεσης από πολλαπλές κατευθύνσεις μέσω ενός υγρού ή αέριου μέσου που περιβάλλει το συμπιεσμένο τμήμα. Η ισοστατική συμπίεση εν ψυχρώ (CIP) διεξάγεται σε θερμοκρασία δωματίου. Σε ευέλικτο καλούπι (από [πολυουρεθάνη](#)) εμβαπτίζεται σε ένα πεπιεσμένο υγρό μέσο (συνήθως νερό) και χρησιμοποιείται ισοστατική συμπίεση εν ψυχρώ.

Υπάρχουν δύο τύποι ισοστατικής συμπίεσης εν ψυχρώ: η υγρή και η ξηρή

Στην υγρή μέθοδο, το καλούπι απομακρύνεται και ξαναγεμίζει μετά από κάθε κύκλο συμπίεσης. Αυτή η μέθοδος είναι κατάλληλη για συμπίεση των μεγάλων και των πολύπλοκων εξαρτημάτων.

Στην ξηρή μέθοδο, το καλούπι αποτελείται από αναπόσπαστο μέρος του δοχείου. Η ξηρή μέθοδος χρησιμοποιείται για συμπίεση των απλούστερων και μικρότερων τμημάτων.

Η ισοστατική συμπίεση εν ψυχρώ (CIP) έχει τα ακόλουθα πλεονεκτήματα σε σύγκριση με την μονοαξονική συμπίεση εν ψυχρώ:

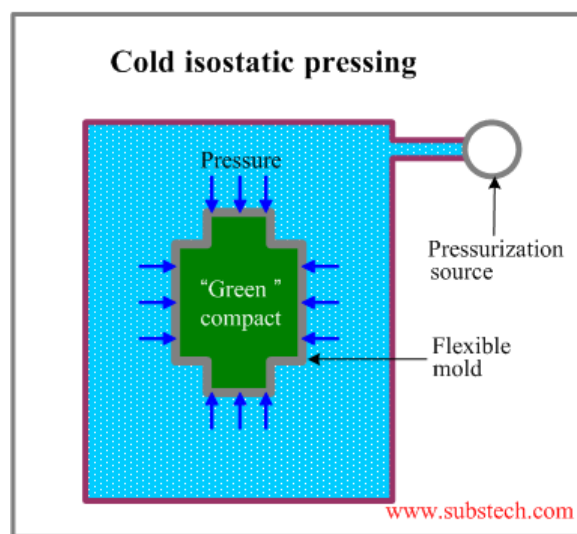
- ✓ καλύτερη ομοιομορφία της συμπίεσης
- ✓ πιο σύνθετες μορφές (παράδειγμα: για πολύ λεπτά τοιχώματα σωλήνων) όπου μπορεί να συμπτυκνωθεί

Ισοστατική συμπίεση εν θερμώ (HIP) περιλαμβάνει ισοστατική συμπίεση που διεξάγεται σε αυξημένη θερμοκρασία. Ως μέσο πίεσεως χρησιμοποιείται ένα αέριο (άζωτο ή αργό).

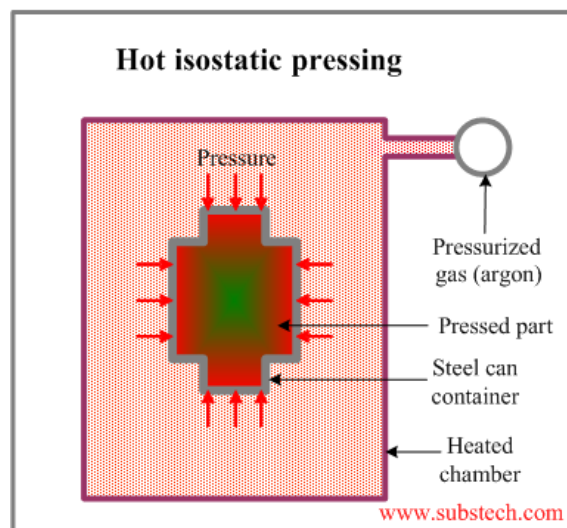
Οι πιέσεις εργασίας, οι οποίες εφαρμόζονται στην ισοστατική συμπίεση εν θερμώ, είναι συνήθως μεταξύ 15.000 PSI έως 44.000 PSI (100 MPa έως 300 MPa).

Η μέθοδος θερμοϊσοστατική συμπίεσης (HIP) συνδυάζει συμπίεση και πυροσυσσωμάτωση, προκαλώντας την ενοποίηση των σωματιδίων της σκόνης, επούλωση των ατελειών και των πόρων. Το τμήμα συρρικνώνεται και πυκνώνει, σχηματίζοντας δομή υψηλής αντοχής. Δοχεία κατασκευασμένα από ανοξείδωτο χάλυβα, ή μαλακό χάλυβα χρησιμοποιούνται στη μέθοδο αυτή.

Η μέθοδος αυτή μπορεί και να εφαρμοστεί χωρίς καλούπι. Σε αυτή την περίπτωση η πρώτη ύλη συμπιέζεται με ισοστατική μέθοδο συμπίεσης εν ψυχρώ, και στη συνέχεια πυροσυσσωματώνεται προκειμένου να κλείσει η πορώδης διασύνδεση. Το πορώδες μέρος στη συνέχεια συμπιέζεται ισοστατικώς σε υψηλή θερμοκρασία (εν θερμώ).



Σχήμα 3.5: Ισοστατική συμπίεση εν ψυχρώ

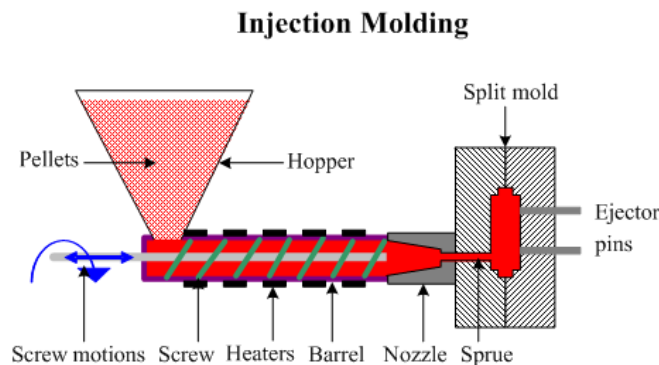


Σχήμα 3.6: Θερμή Ισοστατική συμπίεση εν θερμώ

C. Χύτευση με Έγχυση (*Injection Molding*)

Χύτευση με έγχυση είναι η μέθοδος συμπίεσης της κεραμικής σκόνης, όπου τρέφεται και εγχέεται μέσα σε κοιλότητα καλούπιού μέσω ενός κοχλία που περιστρέφεται μέσα σε κύλινδρο. Η μέθοδος είναι παρόμοια με την χύτευση με έγχυση πλαστικού .

Το κύριο σύστημα της μεθόδου χύτευσης με έγχυση δείχνεται στην εικόνα:



Σχήμα 3.7: Χύτευση με Έγχυση (*Injection Molding*)

Η τεχνολογία επεξεργασίας περιλαμβάνει τα ακόλουθα στάδια:

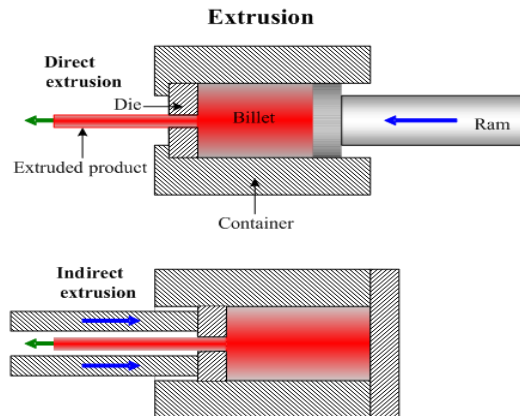
- **Ανάμιξη** της κεραμικής κόνεως με 30% - 40% ενός συνδετικού υλικού - χαμηλό τήγμα πολυμερούς.
- **Έγχυση** της θερμής σκόνης με τετηγμένο συνδετικό υλικό μέσα στο καλούπι με τη βοήθεια του κοχλία.
- **Αφαίρεση του τμήματος** από το καλούπι μετά την ψύξη του μίγματος.
- **Απομάκρυνση**, απομάκρυνση του συνδετικού υλικού. Υπάρχουν δύο μέθοδοι απομάκρυνσης:
 - Με διαλύτη : το συνδετικό διαλύεται από έναν διαλύτη ή με νερό
 - Με θερμοκρασία : το συνδετικό υλικό θερμαίνεται πάνω από τη θερμοκρασία εξατμίσεως.
- **Σύντηξη** της κεραμικής σκόνης

Η μέθοδος χύτευση με έγχυση χρησιμοποιείται ευρέως για την κατασκευή μικρών εξαρτημάτων που έχουν περίπλοκα σχήματα. Ο κύκλος χύτευσης, στη μέθοδο χύτευσης με έγχυση είναι περίπου 10 δευτερόλεπτα, πολύ λιγότερος χρόνος από το χρόνο χύτευσης στις εναλλακτικές μεθόδους περίπου 10-20 λεπτά.

D. Εξώθηση (Extrusion)

Η Εξώθηση είναι η μέθοδος, ωθεί τη κεραμική πάστα μέσω μιας μήτρας, με αποτέλεσμα να παράγεται ένα μεγάλο προϊόν (ράβδοι, μπάρες, μεγάλες πλάκες, σωλήνες κλπ) τακτικών διατομής, το οποίο μπορεί να κοπεί σε τεμάχια απαιτούμενου μήκους.

Τα δύο συστήματα εξώθησης παρουσιάζονται στην εικόνα:



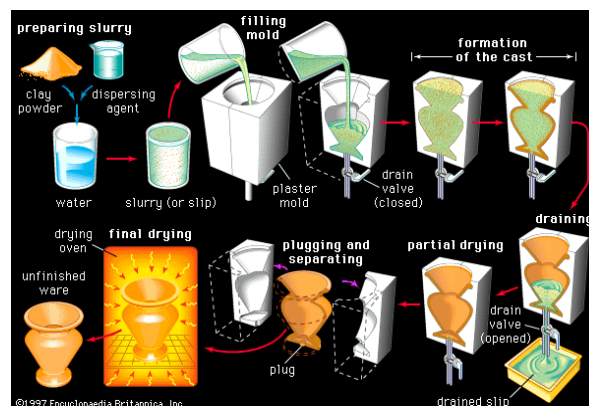
Σχήμα 3.8: Εξώθηση (Extrusion)

E. Χύτευση με ολίσθηση (Slip Casting)

Η μέθοδος Χύτευση με ολίσθηση χρησιμοποιείται για την παραγωγή κεραμικού πολτού ένα σταθερό εναιώρημα, που αποτελείται από κεραμικές σκόνες, πρόσθετα επεξεργασίας και 20-35% υγρού (νερό ή διαλύτης).

Ο πολτός χύνεται σε ένα καλούπι κατασκευασμένο από ένα μικρο-πορώδες υλικό (π.χ. γύψος), το οποίο είναι ικανό να απορροφεί το υγρό από τον πολτό και να εδραίωνει το κεραμικό είδος.

Η Χύτευση με ολίσθηση λειτουργεί καλά για πολύπλοκες γεωμετρίες όπως για την κατασκευή νεροχυτών, είδη υγιεινής, θερμομονωτικά υλικά κλπ.



Σχήμα 3. 9: Χύτευση με ολίσθηση (Slip Casting)

F. Χύτευση σε Gel (*Gel Casting*)

Η Χύτευση σε Gel είναι μια διαδικασία παραγωγής πολτού, ο οποίος παρασκευάζεται από κεραμική σκόνη και αναμειγνύεται με ένα διάλυμα οργανικού μονομερούς.

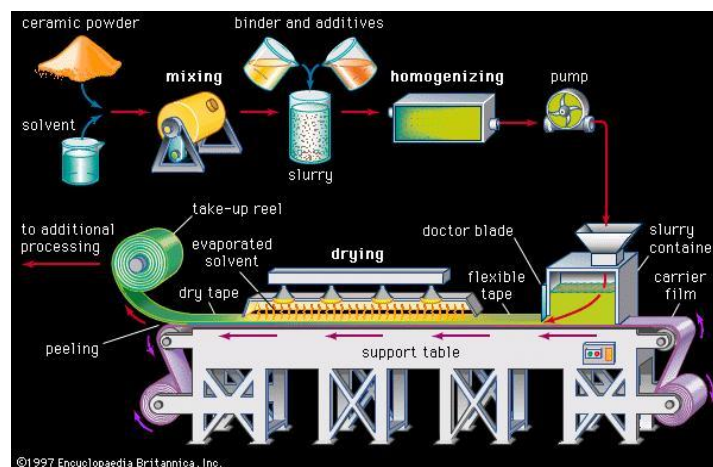
Όταν ο πολτός χύνεται στο καλούπι, το μονομερές πολυμερίζεται, σχηματίζοντας μια γέλη που δεσμεύει τα σωματίδια της κεραμικής σκόνης σε ένα ισχυρό σύμπλοκο τμήμα. Η διαδικασία είναι οικονομική και χρησιμοποιείται για την κατασκευή μεγάλων εξαρτημάτων και πολύπλοκων σχημάτων όπως ρότορες στροβίλου.

G. Χύτευση σε ταινία (*Tape Casting*)

Χύτευση σε ταινία είναι μια διαδικασία σχηματισμού ενός λεπτού υμενίου από την εξάπλωση του κεραμικού πολτού πάνω σε μια επίπεδη επιφάνεια. Το πάχος της μεμβράνης είναι μεταξύ 4 και 400 μm, ελέγχεται από μία ακμή μαχαιριού που βρίσκεται πάνω από την επιφάνεια του κινούμενου φορέα.

Ο διαλύτης, που περιέχει στον πολτό, εξατμίζεται, με αποτέλεσμα το σχηματισμό των κεραμικών φύλλο, το οποίο μπορεί να αφαιρεθεί από την επιφάνεια στήριξης.

Χύτευση σε ταινία χρησιμοποιείται για την κατασκευή πολλαπλών στρώσεων κεραμικών για πυκνωτές και διηλεκτρικούς μονωτές.



Σχήμα 3.10: Χύτευση σε ταινία (*Tape Casting*)

H. Επεξεργασία εξωτερικής επιφάνειας

Μετά τη διαμόρφωση, το κεραμικό τεμάχιο δέχεται μια κατεργασία εξάλειψης των τραχιών επιφανειών και των ραφών ή για να τροποποιηθεί το σχήμα. Οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται περιλαμβάνουν τη λείανση της επιφάνειας και των κενών, καθώς δέχεται και διάτρηση για να μειωθεί το σχήμα και να δημιουργήσει τρύπες ή κοιλότητες, ακόμα και πολυστρωματική επιφάνεια.

3.2.4 Ξήρανση

Μετά τον σχηματισμό, τα κεραμικά πρέπει να ξηραίνονται. Η ξήρανση πρέπει να ελέγχεται προσεκτικά για να επιτύχει μια ισορροπία μεταξύ της ελαχιστοποίησης του χρόνου στεγνώματος και την αποφυγή συρρίκνωσης και παραμόρφωσης. Η συνηθέστερη χρησιμοποιούμενη μέθοδος της ξήρανσης με αέρα, στο οποίο κυκλοφορεί θερμαινόμενος αέρας γύρω από τα κεραμικά. Ξήρανση του αέρα συχνά πραγματοποιείται σε κλιβάνους, οι οποίοι χρησιμοποιούν την ανάκτηση θερμότητας από τη ζώνη ψύξης του κλιβάνου.

Ξήρανση με αέρα επίσης διεξάγονται σε ξεχωριστά τμήματα με ανεξάρτητη θερμοκρασίας και μπορεί να ελέγχεται η υγρασία. Μια εναλλακτική λύση είναι η ξήρανση ακτινοβολίας, η οποία χρησιμοποιεί μικροκύματα ή υπέρυθρη ακτινοβολία για να ενισχυθεί η ξήρανση.

1. Ξήρανση με αέρα

Ο άργιλος περιέχει μεγάλη ποσότητα νερού, περίπου 25% νερό. Όταν το κεραμικό αρχίζει να στεγνώνει, το νερό εξατμίζεται. Καθώς αυτό συμβαίνει, τα σωματίδια του άργιλου καταλήγουν σε συρρίκνωση. Πολλά προβλήματα σχηματίζονται από άνισα ποσοστά ξήρανσης, οι οποίες δημιουργούν τάσεις στο κεραμικό. Μερικές φορές εμφανίζονται ρωγμές ή στρέβλωση, έτσι είναι σημαντικό να εξασφαλισθεί η ξήρανση. Αυτό γίνεται με την εξασφάλιση ομοιόμορφη ξήρανση σε όλο το κομμάτι. Τα κεραμικά που έχουν πολύ μικρά μεγέθη σωματιδίων θα συρρικνωθούν περισσότερο από κεραμικά με μεγαλύτερα μεγέθη σωματιδίων.

Όταν το νερό έχει εξατμιστεί από τα σωματιδίων και όλα τα υπόλοιπα σωματίδια είναι σε επαφή, η ξήρανση είναι πλήρης.

2. Ξήρανση σε κλίβανο

Πλήρης ξήρανση δεν πραγματοποιείται μέχρι το κομμάτι να μπει στον κλίβανο. Αυτό συμβαίνει όταν το σημείο βρασμού του νερού έχει επιτευχθεί (100 ° C). Η ξήρανση σε κλίβανο πρέπει να συμβεί αργά, διότι ο σχηματισμός του ατμού μέσα στο σώμα του τεμαχίου μπορεί να προκαλέσει έκρηξη. Για το λόγο αυτό, τα πρώτα στάδια γίνονται σιγά-σιγά με το καπάκι ανοιχτό για τη διαφυγή του ατμού.

3. Αφυδάτωση

Η επόμενη αλλαγή που εμφανίζεται κατά τη διάρκεια της διαδικασίας ψησίματος γίνεται περίπου στους 350 °C, το σημείο όπου το νερό οδηγείται μακριά, το οποίο είναι μέρος της μοριακής δομής του κεραμικού. Η ξήρανση ολοκληρώνεται με περίπου 500°C. Μια μη αναστρέψιμη χημική αλλαγή λαμβάνει χώρα μετά από αυτή τη διαδικασία, που είναι γνωστή ως αφυδάτωση. Καμία συρρίκνωση δεν παρατηρείται κατά το στάδιο αυτό. Ένα άλλο πράγμα που συμβαίνει περίπου στους 900 ° C είναι η καύση των οργανικών και ανόργανων υλικών, όπως ο άνθρακας και τα θειικά άλατα.

4. Αναστροφή χαλαζία (Quartz Inversion)

Μετά την αφυδάτωση, η επόμενη αλλαγή που συμβαίνει κατά τη διαδικασία ψησίματος είναι αναστροφή χαλαζία, η οποία συμβαίνει στους 573 °C. Σε αυτό το σημείο, οι κρυστάλλοι χαλαζία αναδιατάσσονται σε μια ελαφρώς διαφορετική σειρά. Μια μικρή και προσωρινή αύξηση του όγκου συμβαίνει σε αυτό το σημείο. Για το λόγο αυτό θα πρέπει να έχετε πάντα κάποιο χώρο γύρω από τα κομμάτια κατά τη διάρκεια του ψησίματος, καθώς θα αυξηθεί κάπως. Η διαδικασία πρέπει να προχωρήσει σιγά-σιγά κατά τη διάρκεια αυτής της αναστροφής.

3.2.5 Πυροσυσσωμάτωση(sintering)

Πριν από την πυροσυσσωμάτωση των κεραμικών, το υλικό δέχεται μια θερμική κατεργασία σε θερμοκρασίες πολύ κάτω από τις θερμοκρασίες ανόπτησης. Ο σκοπός της θερμικής επεξεργασίας είναι να παραχθεί πρόσθετη ξήρανση, εξάτμιση ή να αποσυνθέσει οργανικά πρόσθετα και άλλες ακαθαρσίες. Επίσης η επεξεργασία βοηθάει στην απομάκρυνση των υπολειμμάτων. Η θερμική επεξεργασία μπορεί να εφαρμοστεί ως ένα ξεχωριστό στάδιο, αυξάνοντας σταδιακά και διατηρώντας την θερμοκρασία σε διάφορα στάδια.

Σε γενικές γραμμές αυτά τα υλικά τροφοδοτούνται σε θερμοκρασίες πολύ πάνω από τα μέταλλα, περίπου σε θερμοκρασίες 1500 °C έως 2400 °C και ακόμη υψηλότερες. Οι θερμοκρασίες απαιτούν πολύ εξειδικευμένους κλίβανους καθώς και η εσωτερική επένδυση είναι πολύ σημαντική για την επίτευξη αυτών των υψηλών θερμοκρασιών. Μερικά υλικά απαιτούν ειδικό περιβάλλοντα αερίου, όπως το άζωτο ή ελεγχόμενες συνθήκες κλίβανος όπως κενό. Άλλοι απαιτούν εξαιρετικά υψηλές πιέσεις για την επίτευξη πύκνωσης (HIPS). Έτσι, οι κλίβανοι αυτοί έχουν αρκετά μεγάλη ποικιλία τόσο στο σχεδιασμό όσο και στην ιδέα.

Καύση

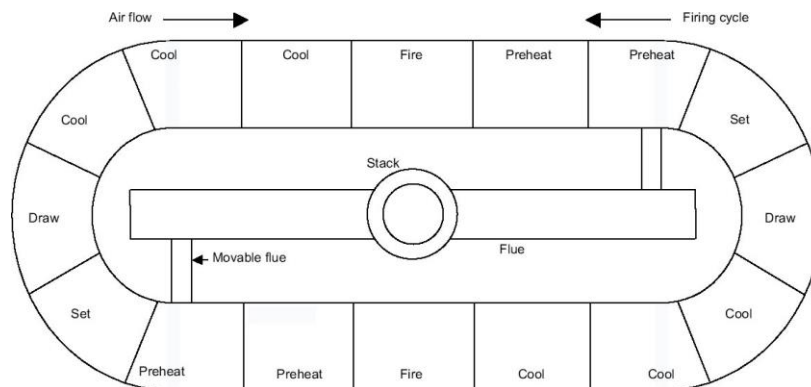
Η κινητήρια δύναμη της διαδικασίας πυροσυσσωμάτωσης είναι η μείωση της επιφανειακής ενέργειας των σωματιδίων που προκαλείται από τη μείωση των διεπαφών αερίου και στερεού. Κατά τη διάρκεια της διαδικασίας οι πόροι, που λαμβάνουν χώρα στο "πράσινο σώμα", μειώνονται ή ακόμα και εξαφανίζονται, με αποτέλεσμα την πύκνωση του τμήματος και τη βελτίωση των μηχανικών ιδιοτήτων.

Η μείωση των πόρων, που προκαλείται από τη διαδικασία πυροσυσσωμάτωσης, προσδιορίζεται από το αρχικό επίπεδο, τη θερμοκρασία πυροσυσσωμάτωσης και το χρόνο. Η πυροσυσσωμάτωση ενισχύεται σε υγρή φάση. Η καύση του καθαρού οξειδίου απαιτεί σχετικά μεγάλο χρονικό διάστημα και υψηλή θερμοκρασία διότι το προϊόν διαχέεται σε στερεά μορφή. Εφαρμόζοντας πίεση μειώνεται ο χρόνος συσσωμάτωσης και το αποτέλεσμα είναι πορώδες.

Ο εξοπλισμός που χρησιμοποιείται για πυροσυσσωμάτωση των κεραμικών είναι ο κλίβανος σε σχήμα σήραγγας και ο περιοδικός κλίβανος.

Περιοδικός κλίβανος

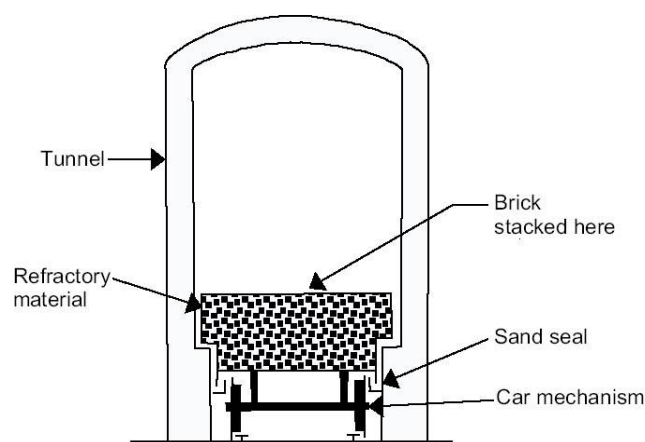
Το προϊόν είναι εν στάσει μέσα σε ένα μόνο θάλαμο, ο θάλαμος πρώτα θερμαίνεται και στη συνέχεια ψύχεται σύμφωνα με ένα προκαθορισμένο χρόνο και τον κύκλο θερμοκρασίας. Οι περιοδικοί κλίβανοι προσφέρουν ευρεία ευελιξία στους κύκλους χρόνου-θερμοκρασίας. Έτσι, αυτοί οι τύποι είναι κατάλληλοι για διαφορετικά μεγέθη των προϊόντων και τις συνθήκες ψησίματος. Ο κλίβανος αυτός προσφέρει άριστο έλεγχο της ατμοσφαιρικής πίεσης. Συνήθως αυτός ο τύπος βιομηχανικού κλιβάνου είναι πιο αποδοτικός για μικρές ποσότητες παραγωγής, ή όταν η παραγωγή μπορεί να ξεκινήσει και να σταματήσει εύκολα.



Σχήμα 3. 11 : Περιοδικός Κλίβανος

Κλίβανος Τούνελ

Σε ένα κλίβανο τούνελ, το προϊόν θερμαίνεται πρώτα και στη συνέχεια ψύχεται καθώς κινείται συνεχώς μέσω μιας σειράς ζωνών ή θαλάμων, διατηρείται σε μία διαφορετική προκαθορισμένη θερμοκρασία. Αυτός ο εξοπλισμός καθορίζεται για το ψήσιμο μεγάλων ποσοτήτων κεραμικών που έχουν συσταθεί σε ένα κύκλο καύσης. Αυτό το είδος των βιομηχανικών κλιβάνων είναι πιο αποδοτικός από ό, τι ένα περιοδικό τύπο κλιβάνου, και συνήθως είναι πιο προσαρμοσμένο σε αυτοματοποιημένο χειρισμό του προϊόντος.



Σχήμα 12 : Κλίβανος σε σχήμα Σήραγγας

3.2.6 Τελική επεξεργασία

Ένα από τα τελικά στάδια στην παραγωγή προηγμένων υλικών είναι το φινιρίσμα με τις ακριβείς ανοχές. Τα υλικά αυτά μπορούν να είναι εξαιρετικά δυνάτα, με σκληρότητες που πλησιάζουν το διαμάντι, και έτσι το φινιρίσμα μπορεί να είναι μια αρκετά δαπανηρή και χρονοβόρα διαδικασία. Οι τεχνικές φινιρίσματος περιλαμβάνουν: λείζερ, εκτόξευση ύδατος, κοπή, λείανση και διάτρηση από εργαλείο το οποίο είναι φταιγμένο από διαμάντι, ωστόσο, αν το κεραμικό είναι ηλεκτρικά αγώγιμο η τεχνική που χρησιμοποιείται είναι η κατεργασία ηλεκτρικής εκκένωσης (EDM. Δεδομένο ότι η επιδίωξη της σκληρότητας είναι ένας από τους κύριους αναπτυξιακούς στόχους, όπως σε κάθε νέο υλικό, τα προβλήματα που συνδέονται με την τελική επεξεργασία έχουν αυξηθεί. Η εξέλιξη της λείανσης με εξοπλισμό όπως μηχανές CNC, έχει μειώσει το κόστος με την ελαχιστοποίηση της εργασίας, ωστόσο το πρόβλημα είναι η αντιστάθμιση του κόστους του εξοπλισμού.

Μια εναλλακτική λύση σε αυτό το πρόβλημα είναι η "καθαρή μορφή" ή η μορφή με αποδεκτές ανοχές για την ελαχιστοποίηση κατεργασίας. Αυτό έχει επιτευχθεί με την εισαγωγή μια τεχνικής που ονομάζεται "κοντά στην ημιτελική μορφή διαμόρφωσης". Σύνθετα υλικά μπορούν να σχηματιστούν με αυτό το μοναδικό τρόπο με απόκλιση τόσο χαμηλή όσο $\pm 0,3\%$, με αποτέλεσμα η σημαντική εξοικονόμηση του τελικού κόστους κατεργασίας.

Σε πολλές εφαρμογές σήμερα, οι ευεργετικές ιδιότητες ορισμένων υλικών συνδυάζονται για την ενισχύση και την υποστήριξη με άλλα υλικά, δημιουργώντας έτσι ένα υβριδικό σύνθετο υλικό. Στην περίπτωση αυτή, η διαθεσιμότητα και η απόδοση ιδιοτήτων του νέου υλικού, καθορίζει την ικανότητα του. Στον τομέα της αξιολόγησης πρέπει να εξετάζεται η μακροπρόθεσμη διατηρησιμότητα των νέων σύνθετων υλικών.

Σχεδιασμός

Οι ιδιότητες των υλικών προηγμένης τεχνολογίας πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά το σχεδιασμό των δομών, των εξαρτημάτων και των συσκευών. Ο τελικός σχεδιασμός και η επιλογή του υλικού θα πρέπει να είναι οικονομικά αποτελεσματική, πρέπει να λειτουργεί αξιόπιστα και, στην ιδανική περίπτωση, θα πρέπει να είναι μια βελτίωση στην υπάρχουσα τεχνολογία. Πριν από τη τελική επίδοση του προϊόντος, είναι αναγκαία η παρατήρηση και η καταγραφή των χαρακτηριστικών απόδοσης του πειραματικού μοντέλου.

Σε αυτό το πλαίσιο ο Μηχανικός εργάζεται σε στενή επαφή με την ερευνητική ομάδα για την ανάπτυξη του προϊόντος. Νέες τεχνικές, όπως η ανάλυση πεπερασμένων στοιχείων έχει αποδειχθεί ευεργετική σε αυτή την άποψη. Η χρήση των υπολογιστών επιτρέπει στις δομές των υλικών να δημιουργούνται στην οθόνη χωρίς την ανάγκη για δαπανηρά πρότυπα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

Εφαρμογές των προηγμένων κεραμικών στην ηλεκτρονική και τους υπολογιστές

4.1 Εισαγωγή

Τα προηγμένα κεραμικά είναι πολύ ελκυστικά για τις ηλεκτρονικές εφαρμογές, δεδομένου ότι μπορούν να λειτουργούν σε υψηλή ισχύ, υψηλές συχνότητες και σε υψηλές θερμοκρασίες, ενώ παράλληλα συνδυάζουν ιδιότητες όπως μόνωση ηλεκτρισμού και μαγνητισμού, η οποία δεν είναι δυνατή σε άλλα υλικά. Παρασκευάζονται από χημικές σκόνες, όπως οξειδία, νιτρίδια, καρβίδια, βορίδια των μετάλλων και έχουν κατασκευαστεί με προσαρμοσμένες μικροδομές και ιδιότητες για ηλεκτρονικές εφαρμογές.

Ένα παράδειγμα νέων κεραμικών υλικών που παρήχθησαν ήταν νιτρίδια με δομή σπινελλίου (Si_3N_4 , Ge_3N_4 , Zr_3N_4 , Hf_3N_4). Τα νέα αυτά κεραμικά διερευνήθηκαν για εφαρμογές ως ημιαγωγοί και για τις ηλεκτροοπτικές εφαρμογές τους. Εκτός από την υψηλή σκληρότητα, τα πολυμορφικά αυτά νιτρίδια, Si_3N_4 και Ge_3N_4 , έχουν ζώνη ενεργειακού χάσματος μεταξύ 3 και 4 eV, η οποία είναι συγκρίσιμη με τα UV που βασίζονται σε Al, Ga και σε νιτρίδια. Το νιτρίδιο του πυριτίου (Si_3N_4) συντέθηκε χημικά υπό υψηλή πίεση. Άλλα νιτρίδια σπινελλίου με κυβική διάταξη που έχουν μελετηθεί έδειξαν ότι πολλές ενώσεις όπως M_3N_4 (MO_3 , Si , Ge , Sn , Ti , Zr) και $c-AB_2N_4$ (AOC , Si , Ge , Sn , Ti , Zr , Hf , BOC , Si , Ge , Sn , Ti , Zr , Hf) μπορούν επίσης να έχουν ενδιαφέρουσες ιδιότητες.

Ένα άλλο παράδειγμα των αναδυόμενων κεραμικών ημιαγωγών είναι το καρβίδιο του πυριτίου. Αυτό το υλικό έχει εξαιρετικές μηχανικές ιδιότητες, αντίσταση στην οξειδωση και στη διάβρωση, αντοχή σε υψηλές θερμοκρασίες και ζώνη – ενεργειακού χάσματος (3,2 eV), η οποία είναι τρεις φορές πιο ευρεία από εκείνη του πυριτίου. Αυτό επιτρέπει την εφαρμογή του SiC στις συσκευές ημιαγωγών που χρησιμοποιούνται σε ηλεκτρονικά ισχύος. Υψηλή ταχύτητα ηλεκτρονίων και χαμηλό φορέα συγκέντρωσης είναι άλλες ενδιαφέρουσες ιδιότητες του SiC .

Ένας τομέας στον οποίο έχει παρατηρηθεί ταχύτερη εξέλιξη για τα κεραμικά είναι ότι μικροκυματικές εφαρμογές. Τα διηλεκτρικά (μονωτικά) κεραμικά έχουν χρησιμοποιηθεί εδώ και δεκαετίες σε κυκλώματα για φούρνους μικροκυμάτων, λόγω της χαμηλής διηλεκτρικής απώλειας που παρουσιάζουν.

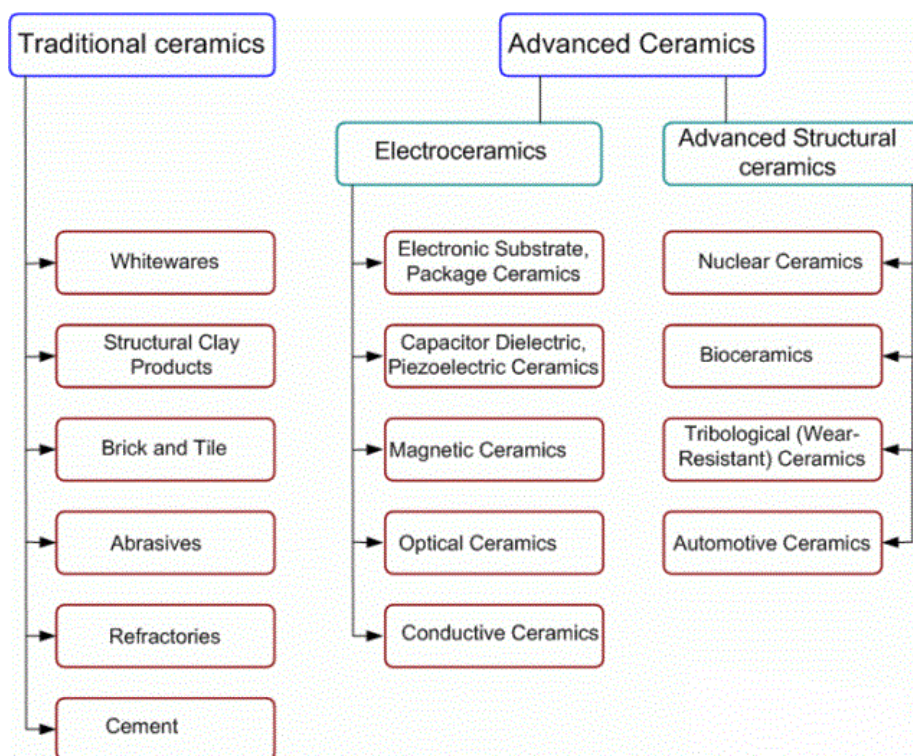
Τα πιεζοηλεκτρικά κεραμικά είναι υλικά τα οποία παρουσιάζουν ηλεκτρικά και μηχανικά ερεθίσματα. Για παράδειγμα, όταν εφαρμόζεται μία μηχανική δύναμη, προκύπτει μια ηλεκτρική απόκριση η οποία, από την άποψη της τάσης ή του φορτίου, είναι ανάλογη με το μέγεθος της εφαρμοζόμενης τάσης. Αντιστρόφως, όταν εφαρμόζεται ένα ηλεκτρικό πεδίο, αναπτύσσεται μηχανικό στρες ή παραμόρφωση.

Τα κεραμικά χρησιμοποιούνται ευρέως για ηλεκτρομηχανολογικούς αισθητήρες και ενεργοποιητές. Μερικά παραδείγματα πιεζοηλεκτρικών υλικών είναι κρύσταλλοι από χαλαζία, τιτανικό βάριο και τιτανικό άλας μολύβδου.

Αυτά τα πιεζοηλεκτρικά κεραμικά, π.χ. από χαλαζία, είναι μονοκρυσταλλικά και ο πιεζοηλεκτρισμός εξαρτάται μόνο από προσανατολισμό του κρυστάλλου. Δεδομένου ότι κατά την Παρασκευή οι διευθύνσεις των κρυστάλλων έχουν τυχαίο προσανατολισμό, απαιτείται μια διαδικασία πόλωσης προκειμένου να επιτευχθεί ο προσανατολισμός των κρυσταλλικών διευθύνσεων που δημιουργούν καθαρό πιεζοηλεκτρισμό. Αυτή η διαδικασία γίνεται συνήθως κάτω από υψηλό ηλεκτρικό πεδίο (περίπου 10 kV/cm) σε ελαφρώς αυξημένες θερμοκρασίες (περίπου 100 °C) για σύντομο χρονικό διάστημα. Κατά τις τελευταίες δεκαετίες, έχει αναπτυχθεί μια νέα κατηγορία κεραμικών που προέρχονται από ειδικές δομές πολυμερών με πυρόλυση σε αδρανή ή ελεγχόμενη δραστική ατμόσφαιρα. Τα υλικά αυτά είναι γνωστά πλέον στη βιβλιογραφία ως Polymer Derived Ceramics (PDCs). Ενδεικτικά τριμερή και τετραμερή κεραμικά της κατηγορίας αυτής είναι π.χ., SiOC, SiCN, SiMOC και SiMCN, (M = B, Al, Hf, Zr, Ti, κ.λπ.)

Την τελευταία δεκαετία τα PDCs έχουν συγκεντρώσει αυξημένο ενδιαφέρον λόγω των εξαιρετικών ιδιοτήτων, και της αντοχής εξαιρετικά υψηλών θερμοκρασιών καθώς και την αντίστασή τους στα οξειδωτικά και διαβρωτικά περιβάλλοντα. Επιπλέον, αντοχή ερπυσμού τους είναι άριστη σε θερμοκρασίες πολύ πέρα από 1000 °C. Οι ιδιότητες των PDCs δείχθηκαν να είναι στενά συνδεδεμένη με μικροδομή τους και από τη σύνθεση φάσεων τους, οι οποίες καθορίζονται από τη χημεία και τη μοριακή δομή του προδρόμου πολυμερούς που χρησιμοποιείται και από τις συνθήκες του μετασχηματισμού του πολυμερούς -προς- κεραμικό.

Τα PDCs είναι κατάλληλα για πολύ μικρά ηλεκτρομηχανικά συστήματα Micro Electro Mechanical System (MEMS) και για εφαρμογές σε σχετικά υψηλές θερμοκρασίες. Το MEMS είναι μια συσκευή που συχνά συνεταιρείται με διεργασίες μεταγωγής μηχανικής, ηλεκτρικής, θερμικής και μαγνητικής ενέργειας, καθώς και χημικές διεργασίες.



Σχήμα 2.1: Εφαρμογές κεραμικών υλικών παραδοσιακών και προηγμένων

4.2 Κεραμικοί αγωγοί

Τα σύνθετα κεραμικά είναι κεραμικά υλικά στη δομή των οποίων προστίθενται ειδικές ουσίες που ενισχύουν τη σκληρότητα και τις ιδιότητες τους. Μεταξύ των βασικών παραγόντων που ευθύνονται για τη βελτιωμένη αντοχή τους σε μηχανική τάση (stress) και τη μείωση της ελαστικότητας τους (αύξηση των συντελεστή του Young) είναι η αλληλεπίδραση μεταξύ των φάσεων μήτρας και οπλισμού.

Ο εμπλουτισμός με βορίδια, καρβίδια, νιτρίδια ή μεταλλικά συστατικά τροποποιεί τη θερμοελαστική ιδιότητα των κεραμικών και την συμπεριφορά παραμόρφωσης τους. Επιπλέον, σε υψηλές θερμοκρασίες επεξεργασίας τα επιμέρους συστατικά μπορούν να αντιδράσουν και να σχηματίσουν νέες ενώσεις. Οι φάσεις με ομοιοπολικό σχηματισμό μπορούν να προσδώσουν στα κεραμικά ηλεκτρική αγωγιμότητα, η οποία δεν είναι τυπική ιδιότητα των περισσότερων κεραμικών. Η αγωγιμότητα σε συνδυασμό με τη φθορά και την αντοχή στη διάβρωση και γενικά η ανθεκτική μορφή των κεραμικών προσφέρει δυνατότητες για εφαρμογές, ως ηλεκτρόδια σε προηγμένες τεχνολογίες.

4.2.1 Αγωγήμα σύνθετα κεραμικά υλικά

Τα αγωγήμα σύνθετα κεραμικά υλικά αναπτύχθηκαν από την εταιρία PATRIA Inc ως απόφυση ενός ευρύτερου προγράμματος έρευνας και ανάπτυξης. Είναι τα υλικά που συνδυάζουν υψηλή σκληρότητα, αντοχή στη διάβρωση και ηλεκτρική αγωγιμότητα. Αποτελούνται από πολύπλοκα συστήματα που βασίζονται στα οξειδία και στις φάσεις τους. Η γενική μορφή της σύνθεσης είναι $Al_2O_3-ZrO_2-AlN-SiC-X$, όπου το X είναι οι προσθήκες από TiB_2 , TiC , BN ή Nb . Για την παρασκευή των σύνθετων κεραμικών υλικών, οι σκόνες αναμίχθηκαν είτε σε 20% κατ' όγκο είτε σε 25% κατ' όγκο του κάθε συστατικού, χρησιμοποιώντας τη διαδικασία αναμίξεως με υπερήχους και μηχανική διασπορά σε διαλύματα.

Στη συνέχεια το σύνθετο υλικό πιέζεται σε θερμοκρασίας 1700 με 2000 °C υπό πίεση 21 MNm^{-2} , προς σχηματισμό πρισμάτων, 10 cm σε διάμετρο και 4cm σε ύψος.

4.2.1.1 Φυσικές και χημικές ιδιότητες

Κατά τη διάρκεια της πίεσης εν θερμώ, οι χημικές αντιδράσεις μεταξύ των διαφόρων συστατικών καταλήγουν σε πύκνωση, έτσι ώστε οι τελικές συνθέσεις να διαφέρουν από τις αρχικές, κυρίως επειδή στις υψηλότερες θερμοκρασίες που απασχολούνται ένα περιορισμένο ποσό υγρού βοηθά στη φάση πύκνωσης. Τα υλικά είναι πυκνά, σκληρά και ανθεκτικά, με δυσθραυστότητα από 3,5 έως 6 $\text{MNm}^{-3/2}$.

Η ονομαστική πυκνότητα πριν από πίεση κυμαίνεται μεταξύ 4 και 5,8 gcm⁻³, ενώ μετά από πίεση εν θερμώ, η πυκνότητα κυμαίνεται από 93% έως 102% της θεωρητικής, το ανώτατο όριο πάνω από 100% οφείλεται στο σχηματισμό της νέας φάσης πυκνότητας.

Οι μετρήσεις αντοχής για τα σύνθετα κεραμικά υλικά είναι ελπιδοφόρες. Η αντοχή σε κάμψη, σε θερμοκρασία δωματίου, κυμαίνεται μεταξύ 180 και 400 MNm⁻².

4.2.1.2 Εφαρμογές

Τα σύνθετα κεραμικά υλικά έχουν διάφορες δυνατότητες και έχουν προσδιοριστεί για πρακτικές εφαρμογές. Η ανάπτυξη των σύνθετων κεραμικών εφαρμόζονται ως πυρίμαχα υλικά, εφόσον διαθέτουν υψηλή φθορά και αντοχή στην κρούση.

Επίσης μπορούν να εφαρμοστούν ως ανορθωτές, σε θερμικά στοιχεία, αισθητήρες, και διακόπτες ηλεκτρικού κυκλώματος, καθώς και σε σχετικές εφαρμογές στις οποίες απαιτούνται καλές μηχανικές ιδιότητες υπό υψηλό ρεύμα ή συνθήκες θερμοκρασίας. Μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν για τη σύνδεση του SiC, σε βιομηχανικά εξαρτήματα με άμεση, ηλεκτρική θέρμανση, στην οποία το σύνθετο υλικό χρησιμεύει ως θερμαντικό στοιχείο.

4.2.2 Υπεραγωγιμότητα

Η Υπεραγωγιμότητα είναι μια κατάσταση ορισμένων υλικών που έχουν ικανότητα να άγουν τον ηλεκτρισμό με μηδενική αντίσταση. Αυτή η ιδιότητα εξαφανίζεται πάνω από μια θερμοκρασία χαρακτηριστική του κάθε υλικού (κρίσιμος θερμοκρασία ή T_c), ή κάτω από ένα μαγνητικό πεδίο ισχυρότερο από μια κρίσιμο τιμή (H_c) ή όταν υπόκειται προς μια πυκνότητα ρεύματος μεγαλύτερη από την χαρακτηριστική του κρίσιμη τιμή (J_c). Η κατάσταση της υπεραγωγιμότητας είναι μια μακροσκοπική κβαντική κατάσταση και υπεύθυνα για την μετάβαση του υλικού από την αγώγιμη στην υπεραγώγιμη κατάσταση δεν είναι τα γνωστά κανονικά ελεύθερα ηλεκτρόνια, αλλά τα ηλεκτρόνια που έχασαν την ιδιότητα να κινούνται ανεξάρτητα και να αλληλεπιδρούν με το κρυσταλλικό πλέγμα.

Στην υπεραγώγιμη κατάσταση τα ελεύθερα ηλεκτρόνια (υπεραγώγιμα ηλεκτρόνια) αλληλεπιδρούν με τα κρυσταλλικό πλέγμα κατά ζεύγη και όχι ως ανεξάρτητα όπως συμβαίνει στους συμβατικούς αγωγούς. Τα ζεύγη των ηλεκτρονίων κινούνται υπό την επίδραση εξωτερικού ηλεκτρικού πεδίου διατηρούν αμετάβλητη την ενεργειακή τους κατάσταση παρά τις αλληλεπιδράσεις τους με τα ιόντα και τις ατέλειες του κρυσταλλικού πλέγματος.

Το πλεονέκτημα είναι ότι κατά την υπεραγώγιμη συμπεριφορά δεν υπάρχουν απώλειες ενέργειας κατά τη μεταφορά του ρεύματος. Εάν υπήρχε η τεχνολογική δυνατότητα να έχουμε υπεραγώγιμη συμπεριφορά στη θερμοκρασία περιβάλλοντος αυτό θα αποτελούσε μια τεράστια ανατροπή στη σημερινές συνθήκες μεταφοράς και διανομής ηλεκτρικού ρεύματος αλλά και πολλές άλλες εφαρμογές.

4.2.2.1 Υπεραγώγιμα κεραμικά

Το 1986, Ελβετοί και Γερμανοί επιστήμονες ανακάλυψαν μια νέα κατηγορία των υπεραγωγών, τα κεραμικά υλικά κατασκευασμένα από οξειδίο χαλκού αναμιγμένο με σπάνια γαιολογικά στοιχεία όπως το λανθάνιο και το ύτριο. Η θερμοκρασία στην οποία αυτά τα υλικά έγιναν υπεραγώγιμα ήταν κοντά στο σημείο βρασμού του υγρού αζώτου (-194 °C).

Το 1987, μια σημαντική ανακάλυψη συνέβη στον υπεραγωγικό τομέα. Μια ομάδα επιστημόνων από το Πανεπιστήμιο του Houston, στο Texas, ανέπτυξε έναν υπεραγωγό στους -183°C, ο οποίος αποτελούταν από κεραμικό υλικό με πρόσμιξη οξειδίου του ασβεστίου. Μια τέτοια βελτίωση ήταν ιδιαίτερα σημαντική, διότι επέτρεψε στο φθινό N_2 να χρησιμοποιηθεί ως ψυκτικό μέσο σε σχέση με το υγρό He.

Τον Μάρτιο του 1988, στη Νέα Ζηλανδία οι επιστήμονες Jeff Tallon και Bob Buckley, που εργάζονται στο IRL στο Wellington, έχουν αναγνωρισθεί για τη δομή και τη σύνθεση των κεραμικών ενώσεων με εξαιρετικά υψηλές επιδόσεις. Το υλικό είναι οξειδίο μετάλλου που αποτελείται από Bi, Sr, Cu και O. Γίνεται υπεραγώγιμο στους -163 ° C, η οποία θεωρείται ως «υψηλή θερμοκρασία» στο τομέα των υπεραγωγών. Το υλικό αυτό είναι η μόνη ουσία που χρησιμοποιείται στο εμπόριο σήμερα για την παραγωγή του υπεραγωγού υψηλής θερμοκρασίας "High Temperature Superconductive" (HTS).

Στην κατασκευή των ηλεκτρικών κινητήρων, γεννητριών και μετασχηματιστών χρησιμοποιούνται μεγάλες ποσότητες σύρματος από χαλκό. Έτσι με την αντικατάσταση του σύρματος χαλκού με HTS σύρμα, επιτυγχάνεται η αποτελεσματικότητα της λειτουργίας αυτών των συσκευών καθώς και μεγάλα κέρδη.

Οι υπεραγωγοί έχουν τη δυνατότητα να μεταφέρουν ηλεκτρική ενέργεια χωρίς την απώλεια της. Το ρεύμα σε έναν συνηθισμένο αγωγό, όπως το σύρμα χαλκού, μετατρέπει την ηλεκτρική ενέργεια σε ενέργεια θερμότητας. Αυτό οφείλεται στα ηλεκτρόνια, διότι συγκρούονται με τα άτομα που βρίσκονται στη δομή του υλικού, το γνωστό φαινόμενο Joule .Σε θερμοκρασίες κάτω από τη « κρίσιμη θερμοκρασία », αλλάζει η συμπεριφορά των ηλεκτρονίων στο εσωτερικό ενός υπεραγωγού . Τα ηλεκτρόνια ταξιδεύουν μέσω του αγωγού κατά «ζεύγη» και διατηρώντας την ενέργεια τους δηλαδή θα μπορούσαμε να πούμε απλουστευμένα ότι « περνούν ανεμπόδιστα μέσα από το περίπλοκο πλέγμα χωρίς να υπάρχει απώλεια ενέργειας».

Οι υπεραγωγοί απωθούν τα μαγνητικά πεδία. Αυτό σημαίνει ότι τα μαγνητικά πεδία δεν μπορούν να διεισδύσουν στους υπεραγωγούς. Αυτό είναι γνωστό ως το φαινόμενο Meissner. Όταν ένας υπεραγωγός ψύχεται κάτω από την κρίσιμη θερμοκρασία του, έχει τη δυνατότητα να απωθήσει ένα εφαρμοζόμενο μαγνητικό πεδίο. Αυτή η αλληλεπίδραση μπορεί να καταδειχθεί με ένα μικρό μαγνήτη πάνω από ένα καταλλήλως ψυχόμενο μέρος του υπεραγωγού.

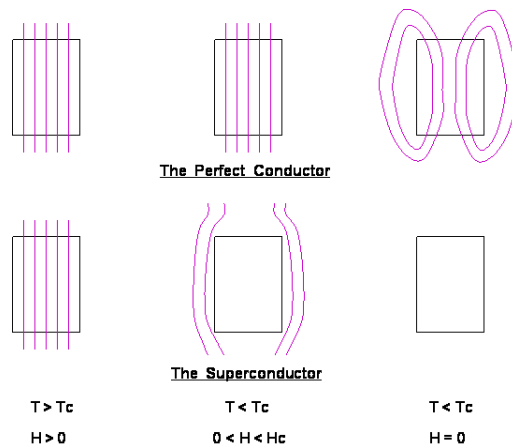


Fig. 1 The Meissner Effect

Σχήμα 2.2: Φαινόμενο Meissner

4.3 Διηλεκτρικό

Το διηλεκτρικό είναι μονωτής με χαρακτηριστική ιδιότητα να πολώνει τα ηλεκτρικά φορτία του όταν τοποθετείται μέσα σε ηλεκτρικό πεδίο. Τα διηλεκτρικά υλικά, σε σχέση με τους λοιπούς μονωτές, εμφανίζουν σε μεγάλο βαθμό το φαινόμενο της πόλωσης. Εξαιτίας της πόλωσης αυτής, τα θετικά φορτία μετατοπίζονται προς το πεδίο και τα αρνητικά φορτία μετατοπίζονται προς την αντίθετη κατεύθυνση. Αυτό δημιουργεί ένα εσωτερικό ηλεκτρικό πεδίο που μειώνει το συνολικό πεδίο εντός του διηλεκτρικού. Η ιδιότητά τους αυτή, είναι χρήσιμη για τη παραγωγή των πυκνωτών, όπου το διηλεκτρικό τοποθετείται μεταξύ των οπλισμών του πυκνωτή και καθορίζει τη βασική ιδιότητα του πυκνωτή, τη χωρητικότητα, καθώς και το όριο της ηλεκτρικής τάσης, υπό την οποία ο πυκνωτής μπορεί να λειτουργεί ομαλά. Η μελέτη των διηλεκτρικών ιδιοτήτων αφορά την αποθήκευση και τη διάχυση της ηλεκτρικής και μαγνητικής ενέργειας στα υλικά.

Τα διηλεκτρικά υλικά έχουν υψηλή ηλεκτρική αντιστάση και διαθέτουν ένα αποτελεσματικό μηχανισμό «συγκράτησης» των ηλεκτροστατικών φορτίων. Μπορούν να αποθηκεύουν ενέργεια και μπορούν να υποστηρίξουν ένα ηλεκτροστατικό πεδίο, ενώ διαχέουν ελάχιστη ενέργεια σε μορφή θερμότητας. Όσο χαμηλότερη είναι η διηλεκτρική απώλεια (ποσοστό της ενέργειας χάνεται ως θερμότητα), τόσο πιο αποτελεσματικό είναι ένα διηλεκτρικό υλικό. Ένα άλλο ζήτημα είναι η διηλεκτρική σταθερά, ο βαθμός στον οποίο μια ουσία συγκεντρώνει τη ροή των ηλεκτροστατικών φορτίων.

Διηλεκτρική σταθερά

Η χωρητικότητα C ενός πυκνωτή που σχηματίζεται από δύο παράλληλες πλάκες της περιοχής A σε απόσταση d , με παρεμβαλλόμενο υλικό που ονομάζεται διηλεκτρικό μεταξύ των πλακών και με μια σχετική διηλεκτρική σταθερά ϵ δίδεται από τη σχέση: $C = (\epsilon \cdot \epsilon_0 \cdot A) / d$

Material	Dielectric Constant
Air	1
Alumina	10
Ta ₂ O ₅	27
Nb ₂ O ₅	42
Potassium niobate (KN)	700
Barium titanate (BT)	4000
Modified barium titanate	≈ 10000
Lead magnesium niobate (PMN)	≈ 20000

Σχήμα 2.3 : Διηλεκτρική σταθερά διαφόρων υλικών

Διηλεκτρική απώλεια

❖ Σε εναλλασσόμενα πεδία η διηλεκτρική σταθερά περιγράφεται από τη μιγαδική σχέση :

$$\underline{\epsilon r} = \epsilon' - i \cdot \epsilon'' ,$$

όπου ϵr : η σύνθετη διηλεκτρική σταθερά ιδανικού διηλεκτρικού με πραγματική διηλεκτρική σταθερά ϵ' , και ϵ'' : η διηλεκτρική σταθερά σε εναλλασσόμενο πεδίο

Το φανταστικό μέρος ϵ'' της παραπάνω σχέσης ονομάζεται σχετικός συντελεστής απώλειας η δείκτης απώλειας. Επίσης ορίζεται η χαρακτηριστική ποσότητα :

$$\underline{\epsilon \phi \delta} = \epsilon'' / \epsilon' ,$$

όπου ονομάζεται εφαπτομένη απωλειών ή διηλεκτρική απώλεια

Η διηλεκτρική σταθερά, ϵ σε μια συχνότητα, ω είναι ισοδύναμη με μία αγωγιμότητα εξαρτώμενη από τη συχνότητα, $\underline{\sigma}(\omega)$, δίνεται από τη σχέση:

$$\underline{\sigma(\omega)} = \omega \cdot \epsilon_0 \cdot \epsilon''$$

❖ Το φορτίου περιγράφεται με τη σχέση :

$$\underline{Q} = (\epsilon \cdot \epsilon_0 \cdot A \cdot V) / d = C \cdot V$$

Εάν, το V είναι ημιτονοειδές η σχέση γίνεται ως εξής :

$$\underline{Q} = C \cdot V_0 \cdot e^{i\omega t}$$

❖ Η ροή ρεύματος σχετικά με την απαλλαγή του πυκνωτή σε χρόνο, t είναι η σχέση:

$$\underline{I} = dQ / dt = i \cdot \omega \cdot C \cdot V$$

Για πραγματικό διηλεκτρικό , το ρεύμα I έχει συστατικά φορέα IC και IR :

$$\underline{I} = IC + IR$$

Διηλεκτρική αντοχή

Τα διηλεκτρικά υλικά είναι μονωτές , ωστόσο, υπό ορισμένες προϋποθέσεις, το διηλεκτρικό υλικό μπορεί να υποστεί διάσπαση και να γίνει αγώγιμο. Γενικώς, το πλέγμα από ένα διηλεκτρικό έχει επαρκή αντοχή ώστε να απορροφά την ενέργεια από την πρόσκρουση ηλεκτρονίων που επιταχύνονται από το εφαρμοζόμενο ηλεκτρικό πεδίο.

Ωστόσο, κάτω από ένα επαρκώς μεγάλο ηλεκτρικό πεδίο, κάποια ηλεκτρόνια που υπάρχουν στο διηλεκτρικό έχουν επαρκή κινητική ενέργεια για να ιονίζουν τα άτομα του πλέγματος και προσμείξεις, με αποτέλεσμα να προκαλείται το φαινόμενο της ηλεκτρικής αγωγής.

Η διηλεκτρική διάσπαση ενός στερεού μονωτικού που συνήθως είναι κεραμικό υλικό στις περισσότερες φορές εφόσον είναι παρατεταμένη δεν είναι αντιστρεπτή και μονωτικό καταστρέφεται ,η ζημιά δεν είναι επανορθώσιμη και ονομάζεται και ως «διάτρηση» του μονωτικού

Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται «διηλεκτρική διάσπαση» και η αντίστοιχη ένταση του πεδίου αναφέρεται ως «διηλεκτρική αντοχή» . Η «διηλεκτρική αντοχή» μπορεί να οριστεί ως η μέγιστη τιμή του δυναμικού δια του πάχους στο οποίο ένα υλικό μπορεί να υποβληθεί σε χωρίς να υποστεί «διηλεκτρική διασπαση» ,δηλαδή να καταστεί αγώγιμο :

$$DS = (dV / dx)_{max} = V_B / d ,$$

όπου **DS** είναι η διηλεκτρική αντοχή σε **kV / mm**,
V_B η τάση ηλεκτρικής διάσπασης , και **d** το πάχος

Η διηλεκτρική αντοχή εξαρτάται από :

- ✓ την ομοιογένεια του υλικού
- ✓ την γεωμετρία
- ✓ το σχήμα των ηλεκτροδίων
- ✓ τη συμπεριφορά του υλικού σε ηλεκτρική τάση (ac, dc ή παλμικό) , και
- ✓ τη περιβαλλοντική κατάσταση

4.3.1 Κεραμικοί μονωτές

Ενας μονωτής πρέπει να πληροί δύο πρωτογενείς απαιτήσεις: πρέπει να έχει μια ηλεκτρική αντίσταση και διηλεκτρική αντοχή επαρκώς υψηλή για την δεδομένη εφαρμογή. Οι δευτερεύουσες απαιτήσεις αφορούν σε θερμικές και μηχανικές ιδιότητες. Επίσης έχουν παρατηρηθεί απαιτήσεις σχετικά με τη διηλεκτρική απώλεια και τη διηλεκτρική σταθερά. Ηλεκτρική μόνωση είναι γενικά ένα ζωτικό στοιχείο για την τεχνική και την οικονομική σκοπιμότητα της παραγωγής ενέργειας και των ηλεκτρονικών συστημάτων. Η παραγωγή και η μετάδοση της ηλεκτρικής ενέργειας εξαρτάται καθοριστικά από την απόδοση των ηλεκτρικών μονωτών.

Η πρωταρχική λειτουργία της μόνωσης σε ηλεκτρικά κυκλώματα είναι ο φυσικός διαχωρισμός των αγωγών και η ρύθμιση ή η πρόληψη της ροής του ρεύματος. Άλλες λειτουργίες είναι να παρέχει μηχανική υποστήριξη, απαγωγή θερμότητας και περιβαλλοντικής προστασίας για τους αγωγούς. Τα κεραμικά υλικά τα οποία κατά τη χρήση τους έχουν τις παραπάνω λειτουργίες ταξινομούνται ως κεραμικά μονωτικά. Περιλαμβάνουν περισσότερο υλικά όπως γυαλί, πορσελάνη, οξειδία και υλικά νιτριδίου.

Το πλεονέκτημα των κεραμικών μονωτών, είναι η ικανότητά τους να λειτουργούν σε υψηλές θερμοκρασίες.



Σχήμα 2.4 : Κεραμικοί Μονωτές

Η αγωγιμότητα περιγράφεται από τις σχέσεις :

$$\sigma = d / (R \cdot A) \text{ και}$$

$$1 / \sigma = \rho = (R \cdot A) / d$$

Όταν η σχέση εξαρτάται από παραμέτρους των υλικών, περιγράφεται ως :

$$\sigma = n \cdot q \cdot \mu$$

όπου ρ είναι η ηλεκτρική αντίσταση (Ωm), το R (Ω) είναι η αντίσταση του υλικού, A είναι η επιφάνεια (m^2), και το πάχος d (m).

Ανάλογα με τα φορτία που περιέχονται στα υλικά οι αγωγοί ταξινομούνται ως εξής:

- ηλεκτρονικοί αγωγοί
- ιοντικοί αγωγοί.

Ωστόσο, η μικτή αγωγιμότητα περιγράφεται από τη σχέση :

$$\sigma = \sigma_{\text{electronic}} + \sigma_{\text{ionic}}$$

Για έναν ιοντικό αγωγό, η κινητικότητα σχετίζεται με τον συντελεστή διάχυσης D (cm^2/sec) δίδεται από τη σχέση του Einstein:

$$\mu = e \cdot z \cdot D / k \cdot T$$

Η διάχυση και η αγωγιμότητα σχετίζεται με την εξίσωση Nernst - Einstein:

$$\sigma = n \cdot (e \cdot z)^2 D / k \cdot T$$

Ιοντική αγωγιμότητα

Ένα ιόν είναι ένα θετικό ή αρνητικό άτομο που προκαλείται από ανεπάρκεια ηλεκτρονίων ή περίσσεια ηλεκτρονίων. Αυτή η ανεπάρκεια ηλεκτρονίων ή η περίσσεια γεννάται κατά την αντίδραση δύο ατόμων (ιονική σύνδεση). Τα θετικά ιόντα ονομάζονται κατιόντα και τα αρνητικά ιόντα ονομάζονται ανιόντα. Οι δεσμευτικές δυνάμεις μεταξύ των ιόντων είναι ηλεκτροστατικές, άρα είναι και πολύ ισχυρές. Η αγωγιμότητα σ ιοντικών κρυστάλλων είναι πολύ χαμηλότερη από την αγωγιμότητα των τυπικών μεταλλικών αγωγών.

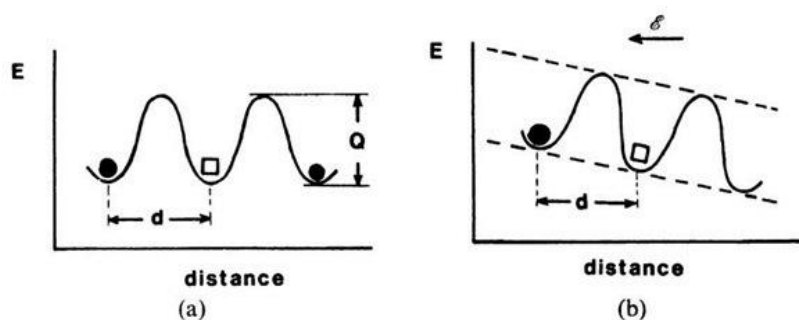
Η ιοντική αγωγιμότητα προκαλείται από την κίνηση κάποιων ιόντων, φορισμένων είτε αρνητικά είτε θετικά, στην περιοχή πλέγματος υπό την επίδραση ενός ηλεκτρικού πεδίου.

Η σχέση της ιοντικής αγωγιμότητας είναι η εξής :

$$\sigma_{\text{ion}} = N_{\text{ion}} \cdot \mu_{\text{ion}}$$

όπου N_{ion} : είναι ο αριθμός των ιόντων ανά μονάδα όγκου, όπου μπορεί να αλλάξει τη θέση τους υπό την επίδραση ενός ηλεκτρικού πεδίου

μ_{ion} : είναι η κινητικότητα αυτών των ιόντων.



Σχήμα 2.5 : ιοντική αγωγιμότητα α) Χωρίς εξωτερικό ηλεκτρικό πεδίο β) Με εξωτερικό ηλεκτρικό πεδίο

4.3.2 Κεραμικοί πυκνωτές

Ένας πυκνωτής είναι μια ηλεκτρική συσκευή που αποθηκεύει την ενέργεια του ηλεκτρικού πεδίου μεταξύ των πλακών. Οι πυκνωτές χρησιμοποιούνται ως διατάξεις αποθήκευσης ενέργειας, επίσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να διαφοροποιήσουν τα σήματα υψηλής και χαμηλής συχνότητας. Αυτό τους καθιστά χρήσιμους σε ηλεκτρονικά φίλτρα.

Η τιμή της χωρητικότητας είναι ένας δείκτης, ο οποίος δείχνει πόσο ηλεκτρικό φορτίο μπορεί να κρατήσει ο πυκνωτής. Η τιμή καθορίζεται από κάποιους παράγοντες, τον αριθμό των στρωμάτων, τη διηλεκτρική σταθερά και την ενεργή περιοχή. Η διηλεκτρική σταθερά καθορίζεται από το κεραμικό υλικό (NP0, X7R, X5R ή Y5V). Η ενεργή περιοχή είναι η επικάλυψη μεταξύ δύο αντίθετων ηλεκτροδίων.

Η βασική μέθοδος για την χωρητικότητα ενός πυκνωτή παράλληλων πλακών είναι:

$$C = (\epsilon_r \cdot \epsilon_0 \cdot A) / d$$

Η σχέση της χωρητικότητας είναι:

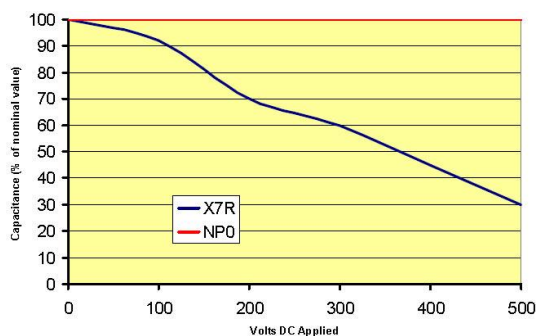
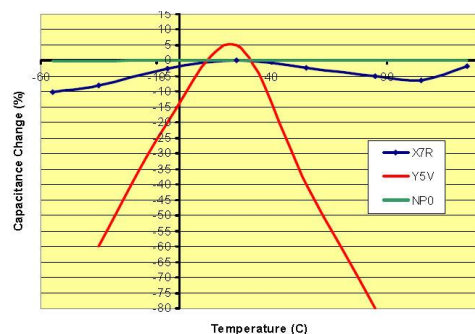
$$C = q / (D \cdot V) \text{ και μετριέται σε Farad (F)}$$



Σχήμα 2.6 : Κεραμικοί Πυκνωτές

Χαρακτηριστικά των κεραμικών πυκνωτών

Συντελεστής θερμοκρασίας : Περιγράφει την αλλαγή της χωρητικότητας έναντι της θερμοκρασίας. Τα κεραμικά υλικά καθορίζονται από το συντελεστή θερμοκρασίας.



Σχήμα 2.7 : Διάγραμμα Χωρητικότητας-Θερμοκρασίας Σχήμα 2.8 : Διάγραμμα Χωρητικότητας-Τάσης

Συντελεστής τάσης: Περιγράφει την αλλαγή της χωρητικότητας έναντι της εφαρμοζόμενης τάσης. Η απώλεια χωρητικότητας μπορεί να είναι το 80% της ονομαστικής τάσης.

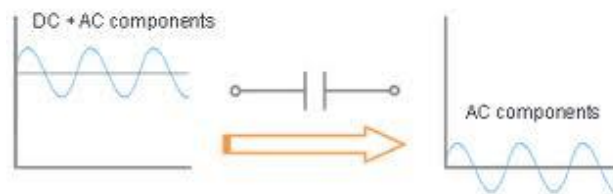
Χρήση κεραμικών πυκνωτών

Υπάρχουν τέσσερις κύριες εφαρμογές όπου χρησιμοποιείται ένα κεραμικός πυκνωτής και περιγράφονται παρακάτω: σύζευξη, αποσύνδεση, εξομάλυνση και φιλτράρισμα.

Σύζευξη

Οι πυκνωτές που χρησιμοποιούνται σε σύζευξη εκμεταλλεύονται το χαρακτηριστικό που μπορούν να μεταδίδουν μόνο σήμα AC και χρησιμοποιούνται για να εξαγάγουν στοιχεία σήματος AC και DC + AC. Οι συνθήκες λειτουργίας του τρανζίστορ, τα ολοκληρωμένα κυκλώματα και άλλα ενεργά στοιχεία σε κυκλώματα ποικίλλουν, έτσι είναι απαραίτητο να εξαγάγετε μόνο το απαραίτητο σήμα AC μετά τη ρύθμιση των βέλτιστων συνθηκών λειτουργίας σε κάθε κύκλωμα.

Η σύζευξη αναφέρεται στη σύνδεση των κυκλωμάτων και όπως υποδηλώνει το όνομά τους, οι πυκνωτές ζεύξης ενεργούν ως μεσολαβητές για τη σύνδεση των κυκλωμάτων.

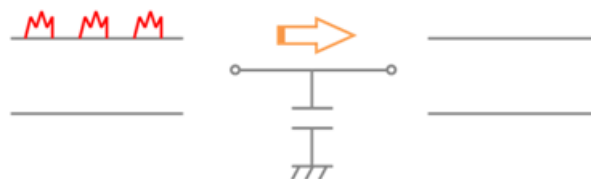


Σχήμα 2.9: Πυκνωτής Σύζευξης

Αποσύνδεση

Οι γραμμές του ηλεκτρικού ρεύματος σε κυκλώματα έχουν χωρητικότητα και αυτεπαγωγή. Εάν αυτά τα συστατικά προκαλούν την διακύμανση της τάσης στις γραμμές του ηλεκτρικού ρεύματος, η λειτουργία του κυκλώματος καθίσταται ασταθής. Σε ακραίες περιπτώσεις, οι διακυμάνσεις της πηγής ισχύος μπορεί να γίνει επάνω στη γραμμή σήματος, προκαλώντας μετάδοση εσφαλμένων σημάτων.

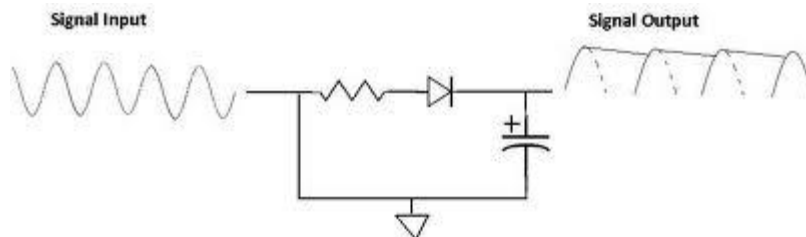
Οι πυκνωτές της αποσύνδεσης χρησιμοποιούνται για να περάσει η τάση που προέρχεται από την πηγή ενέργειας στον ακροδέκτη γείωσης, ενώ εφαρμόζονται για να σταθεροποιηθεί το φορτίο σε ICs και σε άλλα κυκλώματα.



Σχήμα 2.10: Πυκνωτής Αποσύνδεσης

Εξομάλυνση

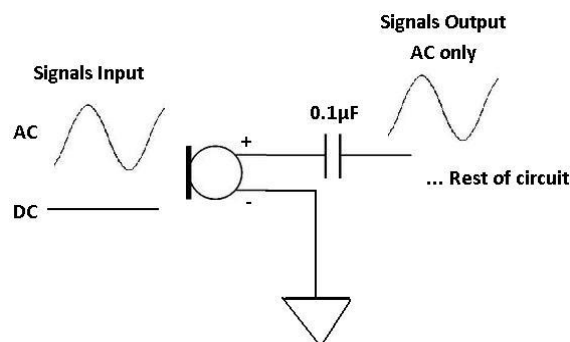
Οι πυκνωτές εξομάλυνσης καταστέλλουν τους κυματισμούς που δημιουργούνται από τη διόρθωση, μέσα σε ένα κύκλωμα τροφοδοσίας και μπορούν να εξομαλύνουν τα σήματα έτσι ώστε να προσεγγίζουν άμεσα το ηλεκτρικό ρεύμα. Όταν οι πυκνωτές εξομάλυνσης εγκατασταθούν μετά τη διόρθωση, η υπερβολική τάση αποθηκεύεται στον πυκνωτή κατά τη διάρκεια της περιόδου υψηλής τάσης και απελευθερώνονται κατά τη διάρκεια της περιόδου χαμηλής τάσης, εξαλείφοντας έτσι τις διακυμάνσεις της τάσης.



Σχήμα 2.11 Πυκνωτής εξομάλυνσης

Φιλτράρισμα

Οι πυκνωτές σε συνδυασμό με αντιστάσεις και επαγωγείς δημιουργούν φίλτρα που μεταδίδουν μόνο σήματα από μια συγκεκριμένη συχνότητα. Διαφορετικά φίλτρα μπορούν να χρησιμοποιηθούν ανάλογα με τις συχνότητες που πρέπει να εκπέμψουν, συμπεριλαμβανομένων των φίλτρων χαμηλής διέλευσης που φιλτράρουν στοιχεία χαμηλών συχνοτήτων και τα φίλτρα υψηλής διέλευσης που φιλτράρουν συνιστώσες υψηλής συχνότητας.



Σχήμα 2.12: Πυκνωτής για Φιλτράρισμα

4.4 Σιδηροηλεκτρισμός

Σιδηροηλεκτρισμός είναι ένα ηλεκτρικό φαινόμενο κατά το οποίο ορισμένα υλικά μπορεί να εμφανίζουν μια αυθόρμητη διπολική ροπή, η κατεύθυνση του οποίου μπορεί να μεταγεται μεταξύ ισοδύναμες καταστάσεις με την εφαρμογή ενός εξωτερικού ηλεκτρικού πεδίου. Τα εσωτερικά ηλεκτρικά δίπολα ενός σιδηροηλεκτρικού υλικού είναι φυσικά συνδεδεμένα με το υλικό πλέγματος έτσι ώστε οτιδήποτε που αλλάζει το φυσικό πλέγμα θα αλλάξει την αντοχή των

διπόλων και να προκαλεί ένα ρεύμα που ρέει μέσα ή έξω από το πυκνωτή, ακόμη και χωρίς την παρουσία εξωτερικής τάσης διαμέσου του πυκνωτή.

Δύο ερεθίσματα που θα αλλάξουν τις διαστάσεις του πλέγματος ενός υλικού είναι η δύναμη και η θερμοκρασία. Η παραγωγή ενός ρεύματος ενός πυκνωτή με την εφαρμογή μιας δύναμης ονομάζεται πιεζοηλεκτρισμός. Η παραγωγή του ρεύματος ενός πυκνωτή με αλλαγή στη θερμοκρασία ονομάζεται πυροηλεκτρισμός.

Τοποθετώντας ένα σιδηροηλεκτρικό υλικό ανάμεσα σε δύο αγώγιμες πλάκες, δημιουργείται ένας σιδηροηλεκτρικός πυκνωτής.

Οι σιδηροηλεκτρικοί πυκνωτές εμφανίζουν γραμμικές ιδιότητες και συνήθως έχουν πολύ υψηλή διηλεκτρική σταθερά. Το γεγονός ότι τα εσωτερικά ηλεκτρικά δίπολα μπορούν να αλλάξουν την κατεύθυνσή τους με την εφαρμογή μιας εξωτερικής τάσης προκαλεί υστέρηση στην πόλωση τάσης, η οποία είναι ιδιότητα του πυκνωτή.

4.4.1 Σιδηροηλεκτρικά κεραμικά υλικά

Τα υλικά που παρουσιάζουν τις σιδηροηλεκτρικές ιδιότητες είναι αποτέλεσμα της πολικότητα που μπορεί να αντιστραφεί υπό την επίδραση ενός ηλεκτρικού πεδίου του κατάλληλου προσανατολισμού. Πολλά κεραμικά υλικά με αυτή την ιδιότητα μπορούν να κατασκευαστούν με θέρμανση σε απαιτούμενη θερμοκρασία και επιτρέποντας κρυστάλλωση καθώς το υλικό ψύχεται.

Τα υλικά τα οποία εμφανίζουν αυτή την ιδιότητα είναι από περοβσκίτη (CaTiO_3), ή τιτανικό ασβέστιο. Αυτές οι ενώσεις έχουν τον γενικό τύπο ABX_3 , όπου το **A** είναι ένα μεγάλο κατιόν, το **B** είναι ένα μικρότερο κατιόν και το **X** είναι ένα ανιόν, συνήθως οξυγόνο. Η κρυσταλλική δομή των υλικών αυτών είναι τέτοια ώστε τα κατιόντα "**A**" να σχηματίζουν ένα κυβικό πλέγμα μέσα σε κάθε κύβο και το "**B**" κατιόν περιβάλλεται από έξι "**X**" ανιόντα. Οι δομές δεν έχουν κέντρο συμμετρίας, και το "**B**" κατιόν τείνει να μετατοπίζεται μακριά από το κέντρο και το αποτέλεσμα φέρει τις σιδηροηλεκτρικές ιδιότητες. Παραδείγματα σιδηροηλεκτρικών κεραμικών με αυτό το είδος της κρυσταλλικής δομής είναι το τιτανικό βάριο (BaTiO_3), τιτανικό άλας μολύβδου (PbTiO_3) και το νιοβικό κάλιο (KNbO_3).

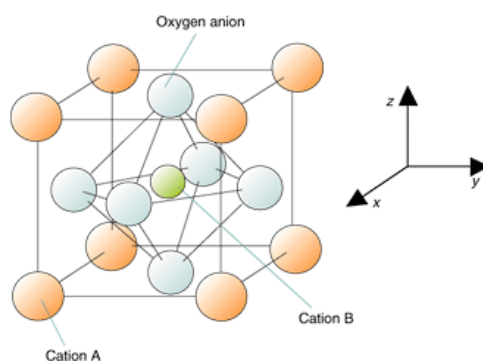
Όταν εφαρμόζεται ένα ηλεκτρικό πεδίο, τα «**B**» κατιόντα αλλάζουν θέση εντός του κρυσταλλικού πλέγματος ανάλογα με τον προσανατολισμό του πεδίου, και παραμένουν στις θέσεις αυτές όταν το πεδίο είναι απενεργοποιημένο. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα το υλικό να γίνει ηλεκτρικά πολωμένο. Οι θέσεις των «**B**» κατιόντα μπορούν, να μεταβληθούν με την εφαρμογή ενός ηλεκτρικού πεδίου με ένα διαφορετικό προσανατολισμό.

Με τον τρόπο αυτό, τα σιδηροηλεκτρικά κεραμικά μπορούν να καταγράφουν

πληροφορίες και συνεπώς να χρησιμοποιηθούν για την μνήμη του υπολογιστή. Μία από τις πιο σημαντικές εφαρμογές αυτών των κεραμικών είναι η μνήμη τυχαίας προσπέλασης (FRAM). Αυτό προσφέρει πολύ γρήγορη αποθήκευση και την ανάκτηση των δεδομένων, με το πλεονέκτημα ότι τα αποθηκευμένα δεδομένα διατηρούνται όταν δεν υπάρχει παροχή ηλεκτρικού ρεύματος. Τα σιδηροηλεκτρικά κεραμικά είναι επίσης κατάλληλα για χρήση σε πυκνωτές. Οι πυκνωτές πολλαπλών στρωμάτων που αποτελούνται από εκατοντάδες λεπτά φύλλα τιτανικού βάρου με τυπωμένα ηλεκτρόδια κατασκευάζονται σε μεγάλες ποσότητες και έχουν ένα ευρύ φάσμα χρήσεων.

Οι πυκνωτές αυτοί βρίσκονται στο επίκεντρο των μηχανών υπερήχων στην ιατρική, σε υψηλής ποιότητας υπέρυθρες κάμερες, σε αισθητήρες φωτιάς, σε σόναρ, σε αισθητήρες δονήσεων ακόμα και σε μπεκ ψεκασμού καυσίμου για κινητήρες ντίζελ.

Άλλες εφαρμογές περιλαμβάνουν λεπτού υμενίου σιδηροηλεκτρικά κεραμικά, τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε οπτικούς κυματοδηγούς και εμφανίζουν οπτική μνήμη.

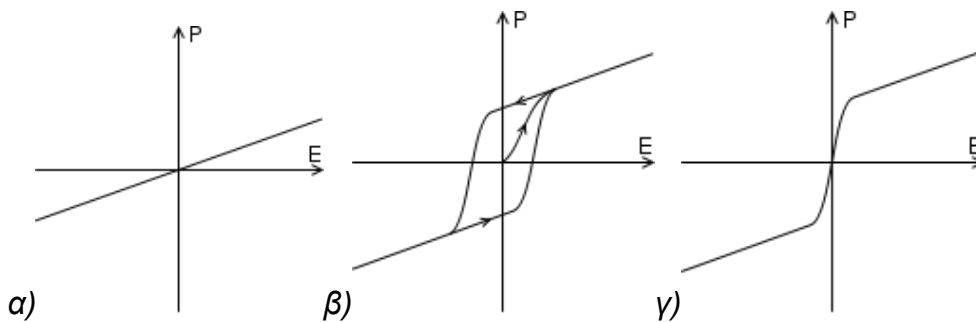


Σχήμα 2.13: Κρυσταλλογραφική Δομή Περοβακίτη

Πόλωση

Η πόλωση ορίζεται ως το αποθηκευμένο συνολικό φορτίο επί των πλακών του πυκνωτή που διαιρείται με το εμβαδόν των πλακών. Τα περισσότερα υλικά είναι πολωμένα γραμμικά από ένα εξωτερικό ηλεκτρικό πεδίο, αυτό λέγεται διηλεκτρική πόλωση. Μερικά υλικά, γνωστά ως παραηλεκτρικά υλικά, δείχνουν μια πιο έντονη μη γραμμική πόλωση. Η διηλεκτρική πόλωση, αντιστοιχεί στην κλίση της καμπύλης και είναι μία συνάρτηση του εξωτερικού ηλεκτρικού πεδίου. Εκτός ότι είναι μη γραμμική, τα σιδηροηλεκτρικά υλικά επιδεικνύουν αυθόρμητη (μηδενικού πεδίου) πόλωση. Τέτοια υλικά ονομάζονται πυροηλεκτρικά. Το ιδιαίτερο χαρακτηριστικό των σιδηροηλεκτρικών υλικών είναι ότι η κατεύθυνση της αυθόρμητης πόλωσης μπορεί να αντιστραφεί με ένα εφαρμοζόμενο ηλεκτρικό πεδίο, αποδίδοντας υστέρηση.

Τυπικώς, τα υλικά επιδεικνύουν σιδηροηλεκτρισμό, μόνο κάτω από μια ορισμένη θερμοκρασία μετάβασης φάσης, που ονομάζεται θερμοκρασία Curie (**T_c**) και τα παραηλεκτρικά πάνω από αυτή τη θερμοκρασία (**T_c**).



Σχήμα 2.14 : Διαγράμματα πόλωσης α) Διηλεκτρική β) Σιδηροηλεκτρική γ) Παραηλεκτρική

Υστέρηση σημαίνει μνήμη και οι σιδηροηλεκτρικές πυκνωτές χρησιμοποιούνται για να κατασκευαστούν σιδηροηλεκτρικές **RAM** για υπολογιστές και κάρτες **RFID**.

Οι συνδυασμένες ιδιότητες της μνήμης, του πιεζοηλεκτρισμού και του πυροηλεκτρισμού κάνουν τους σιδηροηλεκτρικούς πυκνωτές από τις πιο χρήσιμες τεχνολογικές συσκευές στη σύγχρονη κοινωνία. Οι υψηλές διηλεκτρικές σταθερές των σιδηροηλεκτρικών υλικών που χρησιμοποιούνται για να συγκεντρώσει μεγάλες τιμές της χωρητικότητας μικρού όγκου, με αποτέλεσμα η επιφάνεια του πυκνωτή να είναι πολύ μικρή.

Τα σιδηροηλεκτρικά υλικά υφίστανται μετάβαση της δομής από μια υψηλή θερμοκρασία, η οποία είναι φάση μη σιδηροηλεκτρική ή παραηλεκτρική, σε χαμηλότερη θερμοκρασία.

Η παραηλεκτρική φάση μπορεί να είναι πιεζοηλεκτρική ή μη και σπάνια πολική. Η συμμετρία της σιδηροηλεκτρικής φάσης είναι πάντα χαμηλότερη από τη συμμετρία της παραηλεκτρικής φάσης. Η θερμοκρασία της μεταβατικής φάσης ονομάζεται το σημείο Curie (T_C), πάνω από αυτό το σημείο η διηλεκτρική σταθερά πέφτει με τη θερμοκρασία σύμφωνα με το νόμο **Curie – Weiss** και περιγράφεται από τη σχέση: $\epsilon = \epsilon_0 + C / (T - T_0)$

όπου C είναι η σταθερά Curie , T_0 ($T_0 \leq T_C$) είναι η θερμοκρασία Curie - Weiss . Μερικά σιδηροηλεκτρικά υλικά , όπως το $BaTiO_3$, υφίστανται αρκετές μεταβάσεις των φάσεων σε διαδοχικά στάδια.

Σημείο Curie και Φάση μετάβασης

Όλα τα σιδηροηλεκτρικά υλικά έχουν μια θερμοκρασία μετάπτωσης που ονομάζεται το σημείο Curie (T_C). Όταν η θερμοκρασία $T > T_C$ ο κρύσταλλος δεν παρουσιάζει σιδηροηλεκτρισμό, ενώ το αντίθετο συμβαίνει για θερμοκρασία $T < T_C$. Σχετικά με τη μείωση της θερμοκρασίας από το σημείο Curie, ένας κρύσταλλος σιδηροηλεκτρικού υποβάλλεται σε μια φάση μετάβασης από μια μη σιδηροηλεκτρική φάση σε μια σιδηροηλεκτρική φάση. Εάν υπάρχουν περισσότερες από μία σιδηροηλεκτρικές φάσεις, το T κατά την οποία ο κρύσταλλος μεταμορφώνεται από τη μία φάση στην άλλη ονομάζεται η θερμοκρασία μετάπτωσης.

Για παράδειγμα, η μεταβολή της διηλεκτρικής σταθεράς (ϵ_r) με τη θερμοκρασία σε ένα υλικό όπως το BaTiO_3 , ο κρύσταλλος ψύχεται και μεταβαίνει από μια παραηλεκτρική φάση σε μια σιδηροηλεκτρική, ορθορομβική και ρομβοεδρική φάση. Κοντά στο σημείο Curie οι θερμοδυναμικές ιδιοότητες και οι διηλεκτρικές, ελαστικές, οπτικές και θερμικές σταθερές δείχνουν μια ανώμαλη συμπεριφορά, αυτό οφείλεται στη στρέβλωση του κρυστάλλου, όπως οι αλλαγές στη δομή.

4.5 Πιεζοηλεκτρισμός

Το πιεζοηλεκτρικό φαινόμενο ανακαλύφθηκε το 1880 από τον Jacques και Pierre Curie κατά τη διάρκεια μελετών σχετικά με την επίδραση της πίεσης, για την παραγωγή ηλεκτρικού φορτίου από κρυστάλλους (όπως χαλαζία).

Ο πιεζοηλεκτρισμός ορίζεται ως μια αλλαγή στην ηλεκτρική πόλωση με μια αλλαγή στη ηλεκτρική τάση που εφαρμόζεται. Το αντίστροφο του πιεζοηλεκτρικού φαινομένου είναι η αλλαγή των διαστάσεων του υλικού, λόγω ενός εφαρμοζόμενου ηλεκτρικού πεδίου.

Οι ηλεκτρομηχανικές διεργασίες που λαμβάνουν χώρα στα πιεζοηλεκτρικά υλικά περιγράφονται με τις παρακάτω σχέσεις:

- ❖ Ένταση πεδίου που παράγεται από μηχανική τάση

$$E = g \cdot \sigma$$

Όπου g : Σταθερά, σ : τάση (Pa), E : ηλεκτρικό πεδίο (V/m)

- ❖ Παραμόρφωση που παράγεται από το ηλεκτρικό πεδίο

$$\epsilon = d \cdot E$$

όπου ϵ : παραμόρφωση, d : σταθερά m/V

Οι σταθερές g, d σχετίζονται με το μέτρο ελαστικότητας με τη σχέση:

$$\text{Μέτρο ελαστικότητας} = d/g$$

Η σταθερά d ονομάζεται πιεζοηλεκτρική σταθερά (piezoelectric modulus)

Οι πιεζοηλεκτρικές σταθερές μερικών κεραμικών υλικών είναι:

Χαλαζίας (SiO_2), $2,3 \cdot 10^{-12}$ - BaTiO_3 , $100 \cdot 10^{-12}$ - PbZrTiO_2 $250 \cdot 10^{-12}$ - PdNb_2O_6 , $100 \cdot 10^{-12}$ m/V.

Οι πιεζοηλεκτρικοί συντελεστές (d) του άμεσου και του αντίστροφου πιεζοηλεκτρικού φαινομένου έχουν ίδια τιμή όπως αυτό προκύπτει από

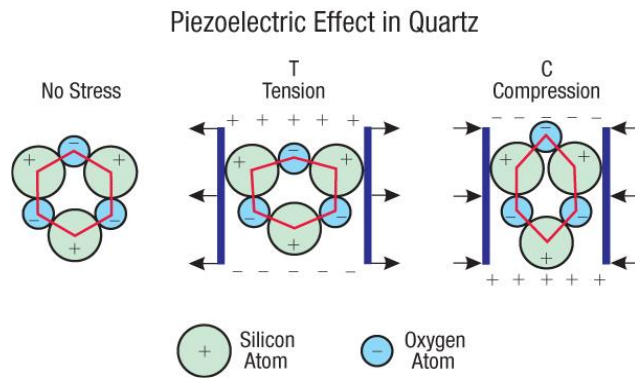
πολύπλοκη θερμοδυναμική-μαθηματική ανάλυση, δηλαδή: $d_{\text{direct}} = d_{\text{converse}}$

Ο πιεζοηλεκτρικός συντελεστής d μπορεί να είναι είτε θετικός είτε αρνητικός.

Ο πιεζοηλεκτρικός συντελεστής που μετράται κατά τη διεύθυνση του

εφαρμοζόμενου πεδίου ονομάζεται διαμήκης συντελεστής, ενώ όταν μετράται σε κατεύθυνση κάθετη προς το πεδίο ονομάζεται εγκάρσιος συντελεστής.

Άλλοι πιεζοηλεκτρικοί συντελεστές είναι γνωστοί ως συντελεστές διάτμησης.



Σχήμα 2.15 : Πιεζοηλεκτρικό φαινόμενο σε χαλαζία

Η μικροσκοπική προέλευση του πιεζοηλεκτρικού φαινομένου είναι το εκτόπισμα ιοντικών φορτίων εντός μιας κρυσταλλικής δομής. Λόγω απουσίας εξωτερικών στελεχών, η κατανομή φορτίου είναι συμμετρική και η καθαρή ηλεκτρική διπολική ροπή είναι μηδέν. Ωστόσο, όταν εφαρμόζεται μία εξωτερική δύναμη, το φορτίο μετατοπίζεται και η κατανομή δεν είναι πλέον συμμετρική και δημιουργείται μια καθαρή πόλωση.

Σε ορισμένες περιπτώσεις, οι κρύσταλλοι κατέχουν ένα μοναδικό άξονα συμμετρίας. Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε μεταβολή του ηλεκτρικού φορτίου που οφείλεται σε μία ομοιόμορφη μεταβολή της θερμοκρασίας. Αυτό ονομάζεται πυροηλεκτρικό αποτέλεσμα.

Το άμεσο πιεζοηλεκτρικό φαινόμενο είναι η βάση για την ισχύ, την πίεση, τους κραδασμούς και την επιτάχυνση αισθητήρων και το αντίστροφο ισχύει για την ενεργοποίηση και τη μεταβολή αποστάσεων.

4.5.1 Πόλωση πιεζοηλεκτρικών κεραμικών υλικών

Για να παρασκευαστεί ένα πιεζοηλεκτρικό κεραμικό PZT στερεά διαλύματα (PbZrO_3 και PbTiO_3), πρέπει τα οξείδια των μετάλλων να αναμιχθούν μεταξύ τους σε συγκεκριμένες αναλογίες και στη συνέχεια να θερμανθούν, έτσι ώστε να σχηματιστεί ένα ομοιόμορφο μίγμα. Η σκόνη αναμιγνύεται με ένα οργανικό συνδετικό υλικό και διαμορφώνεται σε δομικά στοιχεία που έχουν το επιθυμητό σχήμα (δίσκοι, ράβδοι, πλάκες, κλπ.). Το μίγμα μετά από διαδικασία πυροσυσσωμάτωσης, σε ένα συγκεκριμένο πρόγραμμα χρόνου και θερμοκρασίας, παρουσιάζει μια πιο πυκνή κρυσταλλική δομή.

Με ανάλογο τρόπο παρασκευάζονται τα κεραμικά πιεζοηλεκτρικά υλικά PBN ($\text{Pb}_x\text{Ba}_{(1-x)}\text{Nb}_2\text{O}_6$) και C.B.T (Ca,Ba,TiO_3)

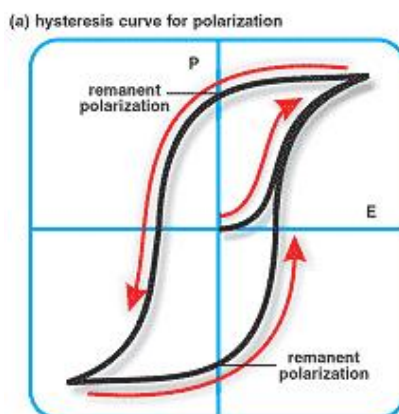
Πολλά πιεζοηλεκτρικά υλικά έχουν δομή περοβσκίτη. Ο γενικός τύπος των περοβσκιτών είναι ABO_3 όπου A και B είναι μεταλλικά ιόντα και η δομή τους δίνεται στο παρακάτω σχήμα:

Τα πιεζοηλεκτρικά κεραμικά ανήκουν στη κατηγορία των σιδηροηλεκτρικών κεραμικών. Σιδηροηλεκτρικά είναι τα υλικά που υπό την επίδραση ηλεκτρικού πεδίου πολώνονται και διατηρούν την πόλωση τους όταν απομακρύνονται από ηλεκτρικό πεδίο.

Τα σιδηροηλεκτρικά υλικά παρουσιάζουν αυθόρμητη πόλωση αποτέλεσμα των εσωτερικών διεργασιών του υλικού. Το υλικό αποτελείται από μικροσκοπικές ηλεκτρικές περιοχές (domains) όπου τα δίπολα προσανατολίζονται αυθόρμητα στη ίδια κατεύθυνση. Απουσία πεδίου ο προσανατολισμός πόλωσης κάθε περιοχής είναι τυχαίος και το υλικό εμφανίζει μηδενική πόλωση. Όταν το κεραμικό βρεθεί εντός ηλεκτρικού πεδίου όλα οι ηλεκτρικές περιοχές του προσανατολίζονται στην ίδια κατεύθυνση και έχουμε πόλωση. Η πιεζοηλεκτρική συμπεριφορά των σιδηροηλεκτρικών κεραμικών εξαρτάται από τη θερμοκρασία και εξαφανίζεται πάνω από μια χαρακτηριστική για το υλικό θερμοκρασία που ονομάζεται θερμοκρασία curie.

Υστέρηση

Όλα τα πιεζοηλεκτρικά υλικά αποφορτίζονται παρουσιάζουν μια μηχανική υστέρηση ως προς τη μεταβολή των διαστάσεων και η καμπύλη αποφόρτισης δεν ακολουθεί την ίδια διαδρομή με την φόρτιση. Η μηχανική υστέρηση (σε τάση) εξαρτάται από τον τύπο των κεραμικών και μπορεί να ποικίλει από 4 % έως 20 %.



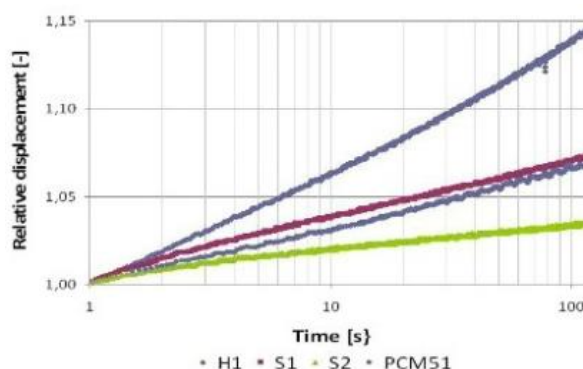
Σχήμα 2 .16: Διάγραμμα Υστέρησης

Το Σχήμα 11 δείχνει μια τυπική καμπύλη υστέρησης που δημιουργείται από την εφαρμογή ενός ηλεκτρικού πεδίου σε ένα πιεζοηλεκτρικό κεραμικό μέχρι τη μέγιστη τιμή πόλωσης (P_s). Επιτυγχάνεται μειώνοντας το πεδίο στο μηδέν για να προσδιοριστεί η παραμένουσα πόλωση (P_r), αντιστρέφοντας το πεδίο για να επιτευχθεί, μια αρνητική πόλωση και μέγιστη αρνητική παραμένουσα πόλωση και εκ νέου αντιστροφή του πεδίου για την αποκατάσταση της θετικής παραμένουσας πόλωσης. Η ιχνηλάτηση κάτω από την καμπύλη υστέρησης απεικονίζει την αλλαγή στη διάσταση του κεραμικού υλικού κατά μήκος της κατεύθυνσης πόλωσης, που αντιστοιχεί στη μεταβολή του ηλεκτρικού πεδίου. Η σχετική αύξηση ή μείωση στη διάσταση είναι παράλληλη προς την διεύθυνση του ηλεκτρικού πεδίου και συνοδεύεται από μια αντίστοιχη, αλλά περίπου 50 % μικρότερη, μείωση ή αύξηση στη διάσταση κάθετα προς τη διεύθυνση του ηλεκτρικού πεδίου.

Ερπυσμός

Τα πιεζοηλεκτρικά υλικά παρουσιάζουν ερπυσμό, δηλαδή το υλικό συνεχίζει να επεκτείνεται για κάποιο χρονικό διάστημα μετά την φόρτιση. Αντίστοιχα το υλικό δεν επιστρέφει αμέσως στην αρχική του θέση μετά την αποφόρτιση. Η επίδραση του ερπυσμού για διάφορα υλικά συγκρίνονται στο επόμενο σχήμα, όπου εμφανίζεται ο χρόνος επίτευξης.

Ερπυσμός εμφανίζεται πάντα στην ίδια κατεύθυνση όπως η αλλαγή διαστάσεων που παράγεται από την βαθμίδα τάσης. Τυπικές τιμές κυμαίνονται από 1% έως 20% με σταθερά χρόνου μεταξύ 10 και 100 δευτερόλεπτα.



Σχήμα 2.17 : Ερπυσμός για τα υλικά : (H1) NCE46, (S1) NCE57, (S2) NCE59 και (PCM51) NCE51

Ο Ερπυσμός για PZT ως συνάρτηση του χρόνου δίδεται από τη σχέση :
 $\epsilon = f(t, \sigma, T)$

όπου: t = χρόνος

σ = η τάση

T = η θερμοκρασία

ϵ = συντελεστής ερπυσμού, ο οποίος εξαρτάται από τις ιδιότητες του ενεργοποιητή (της τάξης του 0.01 έως 0.02, το οποίο είναι 1% έως 2% ανά ώρα)

Πιεζοηλεκτρικά υλικά

Navy types - equivalences										
	Hard materials				Soft materials					
Material	NCE40	NCE41	NCE46	NCE80	NCE51	NCE53	NCE55	NCE56	NCE57	NCE59
Navy Type	I	I	I	III	II	II	VI	V	II	V
European standard EN 50324-1	100	100	100	100	200	200	600	600	200	600

Πίνακας 4.1 : Τύποι πιεζοηλεκτρικών υλικών

4.5.2 Πιεζοηλεκτρικά κεραμικά υλικά και εφαρμογές

Μερικά παραδείγματα των πρακτικών πιεζοηλεκτρικών υλικών είναι το τιτανικό βάριο, το νιοβικό λίθιο, και το ζirkονικό-τιτανικό άλας μολύβδου (PZT). Υπάρχουν πολλές διαφορετικές διαμορφώσεις της ενώσεως PZT, το καθένα με διαφορετική ηλεκτρομηχανική συμπεριφορά. Η μηχανική συμπίεση ή εφελκυσμός σε ένα πολωμένο πιεζοηλεκτρικό κεραμικό στοιχείο αλλάζει την διπολική ροπή, δημιουργώντας μια τάση. Η συμπίεση κατά μήκος της κατεύθυνσης πόλωσης, ή ο εφελκυσμός κάθετα προς την κατεύθυνση της πόλωσης, δημιουργεί τάση πολώσης.

Τα πιεζοηλεκτρικά κεραμικά συνήθως χωρίζονται σε δύο ομάδες, τα "σκληρά" και τα "μαλακά". Ο όρος «μαλακά» και «σκληρά» αναφέρεται στην ευκολία ή τη δυσκολία πόλωσης και από-πόλωσης.

Σκληρά ενισχυμένα πιεζοηλεκτρικά υλικά

Τα σκληρά ενισχυμένα υλικά όπως το (PZT) μπορούν να εκτίθενται σε υψηλές ηλεκτρικές και μηχανικές καταπονήσεις. Η σταθερότητα των ιδιοτήτων τους, τα καθιστά ιδανικά για εφαρμογές υψηλής ισχύος.

Τα πιεζοηλεκτρικά υλικά από NCE41 και NCE40 είναι υλικά με μικρές απώλειες ενέργειας, για εφαρμογές υψηλής ισχύος. Η χαμηλή διηλεκτρική σταθερά και η χαμηλή μηχανική τους αντοχή, σε συνδυασμό με την υψηλό πιεζοηλεκτρικό συντελεστή, τα καθιστούν κατάλληλα για εφαρμογές υπέρηχων υψηλής απόδοσης. Επιπλέον τα υλικά από NCE41 και NCE40 μπορούν να εκτίθενται σε υψηλά επαναλαμβανόμενα στατικά και δυναμικά φορτία για εφαρμογές ανάφλεξης. Τα υλικά αυτά διαφέρουν το ένα από το άλλο στην ηλεκτρική τους διαπερατότητα και στις τιμές του πιεζοηλεκτρικού συντελεστή. Η μεταβλητότητα αυτή δίνει τη δυνατότητα να εκπληρωθούν όλες οι ειδικές απαιτήσεις.

Τα πιεζοηλεκτρικά υλικά από NCE80 προορίζονται για μετατροπείς ισχύος με την υψηλότερη ηλεκτροκίνηση. Η χαμηλή διηλεκτρική και μηχανική απώλεια τους σε εξαιρετικά υψηλή σύζευξη, καθιστούν τα υλικά κατάλληλα για εφαρμογές υψηλής ισχύος.

Μαλακά ενισχυμένα πιεζοηλεκτρικά υλικά

Τα μαλακά ενισχυμένα πιεζοηλεκτρικά κεραμικά διακρίνονται από υψηλή δυνατότητα παραμόρφωσης, συνεπώς παρουσιάζουν σιδηροηλεκτρική συμπεριφορά, δηλαδή σχετικά εύκολη πόλωση. Αυτά τα υλικά χαρακτηρίζονται από υψηλή διηλεκτρική σταθερά, ηλεκτρομηχανικούς παράγοντες σύζευξης, μεγάλη πιεζοηλεκτρική σταθερά και χαμηλούς μηχανικούς παράγοντες ποιότητας. Αυτά τα υλικά είναι κατάλληλα για εφαρμογές τηλεπισκόπισης, δέκτες σήματος, ενεργοποιητές και αισθητήρες χαμηλής ισχύος.

Τα πιεζοηλεκτρικά κεραμικά υλικά που κατασκευάζονται από NCE51 και NCE57 είναι μαλακά υλικά, κατάλληλα για εφαρμογές χαμηλής ισχύος, οι οποίες

απαιτούν υψηλό συντελεστή σύζευξης και υψηλή ευαισθησία.

Τα πιεζοηλεκτρικά κεραμικά υλικά που κατασκευάζονται από NCE53 έχουν ελαφρώς χαμηλότερο συντελεστή σύζευξης από τα ηλεκτρομηχανικά υλικά, έχουν το πλεονέκτημα της υψηλότερης σταθερότητας της θερμοκρασίας και είναι ιδιαίτερα κατάλληλα για τους αισθητήρες κραδασμών σε λειτουργία διάτμησης .

Τα πιεζοηλεκτρικά κεραμικά που κατασκευάζονται από NCE55 και NCE59 είναι υλικά υψηλής ευαισθησίας, χαρακτηρίζονται από εξαιρετικά υψηλή διηλεκτρική σταθερά, μεγάλο παράγοντα σύζευξης και πιεζοηλεκτρική σταθερά. Έχουν μια σχετικά χαμηλή θερμοκρασία Curie. Αυτά τα υλικά είναι κατάλληλα για ένα ευρύ φάσμα των εφαρμογών υψηλής ευαισθησίας με περιορισμένο εύρος θερμοκρασίας.

4.5.3 Κύριες Χρήσεις Πιεζοηλεκτρικών κεραμικών υλικών

Τα πιεζοηλεκτρικά κεραμικά εντάσσονται σε τέσσερις κατηγορίες εφαρμογής : γεννήτριες, αισθητήρες , ενεργοποιητές και μετατροπείς .

Πιεζοηλεκτρικές γεννήτριες

Τα πιεζοηλεκτρικά κεραμικά μπορούν να παράγουν τάσεις ο οποίες μπορούν να προκαλέσουν εκκένωση ηλεκτροδίων, ως εκ τούτου μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως εκκινητές για ανάφλεξη σε καυσίμων, θερμάστρες αερίου , εξοπλισμό συγκολλήσεων και άλλες τέτοιες συσκευές. Τα πιεζοηλεκτρικά συστήματα ανάφλεξης είναι απλά και έχουν πολλά πλεονεκτήματα σε σχέση με τα εναλλακτικά συστήματα που περιλαμβάνουν μόνιμους μαγνήτες ή μετασχηματιστές υψηλής τάσης και πυκνωτές .

Εναλλακτικά, η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από ένα πιεζοηλεκτρικό στοιχείο μπορεί να αποθηκευτεί. Οι πολυστρωματικές πιεζοηλεκτρικές γεννήτριες κατασκευάζονται με τις ίδιες τεχνικές που χρησιμοποιούνται για να κατασκευαστούν οι πολυστρωματικοί πυκνωτές. Τέτοιες πιεζοηλεκτρικές γεννήτριες είναι άριστες για εφαρμογές σε μπαταρίες για τα ηλεκτρονικά κυκλώματα .

Πιεζοηλεκτρικοί αισθητήρες

Ένας πιεζοηλεκτρικός αισθητήρας μετατρέπει μια φυσική παράμετρο, όπως η επιτάχυνση ή η πίεση , σε ένα ηλεκτρικό σήμα. Σε ορισμένους αισθητήρες η φυσική παράμετρος δρα άμεσα στο πιεζοηλεκτρικό στοιχείο. Σε άλλες συσκευές ένα ηχητικό σήμα καθιερώνει δονήσεις στο στοιχείο και οι δονήσεις με τη σειρά τους μετατρέπονται σε ηλεκτρικό σήμα. Συχνά , το σύστημα παρέχει μια οπτική, ακουστική , ή φυσική αντίδραση στην είσοδο του αισθητήρα ένα παράδειγμα που εφαρμόζεται είναι σε ζώνες ασφαλείας αυτοκινήτων.

Πιεζοηλεκτρικοί ενεργοποιητές

Ένας πιεζοηλεκτρικός ενεργοποιητής μετατρέπει ένα ηλεκτρικό σήμα σε μια επακριβώς ελεγχόμενη φυσική μετατόπιση, προσαρμόζονται σε εργαλεία ακριβείας κατεργασιών, σε φακούς ή σε κάτοπτρα. Πιεζοηλεκτρικοί ενεργοποιητές χρησιμοποιούνται επίσης για τον έλεγχο σε υδραυλικές βαλβίδες, ενεργούν ως αντλίες μικρού όγκου ή κινητήρες ειδικού σκοπού.

Οι Πιεζοηλεκτρικοί ενεργοποιητές είναι ανεπηρέαστοι από τις απώλειες της ενεργειακής απόδοσης που περιορίζουν την σμίκρυνση των ηλεκτρομαγνητικών κινητήρων, και έχουν κατασκευαστεί σε μεγέθη κάτω των 1 cm^3 . Ένα σημαντικό πρόσθετο πλεονέκτημα για τους πιεζοηλεκτρικούς ενεργοποιητές είναι η απουσία του ηλεκτρομαγνητικού θορύβου .

Πιεζοηλεκτρικοί μετατροπείς

Οι πιεζοηλεκτρικοί μετατροπείς μετατρέπουν την ηλεκτρική ενέργεια σε μηχανική ενέργεια δόνησης , ήχων ή υπερήχων, που χρησιμοποιούνται για να εκτελέσει μια εργασία. Οι μετατροπείς που παράγουν ήχους δίδουν σημαντικά πλεονεκτήματα , σε σχέση με τις εναλλακτικές ηλεκτρομαγνητικές συσκευές . ο πιεζοηλεκτρικός μετατροπέας είναι συμπαγής , απλός και εξαιρετικά αξιόπιστος, και με ελάχιστη ενέργεια μπορεί να παράγει ένα υψηλό επίπεδο ήχου. Αυτά τα χαρακτηριστικά θα πρέπει να ταιριάζουν στις ανάγκες του εξοπλισμού που τροφοδοτείται από μπαταρία .

Επειδή το πιεζοηλεκτρικό φαινόμενο είναι αναστρέψιμο, ένας μετατροπέας μπορεί να παράγει ένα σήμα υπερήχων από ηλεκτρική ενέργεια και μετατρέπει τους εισερχόμενους ήχους σε ηλεκτρικό σήμα. Μερικές συσκευές έχουν σχεδιαστεί για τη μέτρηση αποστάσεων, ρυθμών ροής, ή επίπεδα υγρών, αυτό επιτυγχάνεται με την ενσωμάτωση ενός ενιαίου πιεζοηλεκτρικού μετατροπέα στο σήμα αποστολής και λήψης, καθώς επίσης μπορούν να ενσωματωθούν και δύο διαφορετικοί μετατροπείς.

4.6 Μαγνητισμός

Τα υλικά μπορούν να ταξινομηθούν από την αντίδραση τους σε εξωτερικά εφαρμόζομενα μαγνητικά πεδία:

- διαμαγνητικά
- παραμαγνητικά
- σιδηρομαγνητικά

Διαμαγνητισμός είναι ιδιότητα όλων των υλικών και αντιτίθενται σε μαγνητικά πεδία που επιδρούν . Τα περισσότερα υλικά είναι διαμαγνητικά και έχουν πολύ μικρή αρνητική ευαισθησία περίπου 10^{-6} .

Παραμαγνητισμός είναι ισχυρότερος από το διαμαγνητισμό και παράγει μαγνήτιση στην κατεύθυνση του εφαρμοζόμενου πεδίου και ανάλογη προς το

εφαρμοζόμενο πεδίο. Τα παραμαγνητικά είναι εκείνα τα υλικά στα οποία τα άτομα έχουν μια μόνιμη μαγνητική ροπή που προκύπτει από την περιστροφή (spin) και την κίνηση των ηλεκτρονίων σε τροχιές γύρω από το πυρήνα των ατόμων. Η ευαισθησία είναι θετική, αλλά και πάλι μικρή με φάσμα περίπου από 10^{-3} ως 10^{-6} . Τα πιο έντονα παραμαγνητικά υλικά είναι ένωσεις που περιέχουν οξυγόνο ή ιόντα «σπάνιων γαιών».

Τα σιδηρομαγνητικά υλικά παράγουν μαγνητισμό μεγαλύτερο από το εφαρμοζόμενο πεδίο και ως εκ τούτου οι επιδράσεις είναι καλύτερες σε σύγκριση με τα διαμαγνητικά ή παραμαγνητικά υλικά.

Μαγνητική διαπερατότητα

Στον ηλεκτρομαγνητισμό, η **διαπερατότητα** είναι το μέτρο της ικανότητας ενός υλικού υποστηρίζει το σχηματισμό ενός μαγνητικού πεδίου εντός του υλικού. Με άλλα λόγια, είναι ο βαθμός της μαγνήτισης που αποκτά ένα υλικό μέσα σε ένα εφαρμοζόμενο μαγνητικό πεδίο. Η μαγνητική διαπερατότητα συνήθως εκπροσωπείται από το ελληνικό γράμμα μ . Ο όρος επινοήθηκε το Σεπτέμβριο του 1885 από τον Oliver Heaviside.

Στο SI, η διαπερατότητα μετριέται σε Henries ανά μέτρο ($\text{H} \cdot \text{m}^{-1}$), ή newtons ανά ampere τετράγωνο ($\text{N} \cdot \text{A}^{-2}$). Η σταθερά διαπερατότητας (μ_0), επίσης γνωστή ως η μαγνητική σταθερά περιγράφεται από τη σχέση $\mu_0 = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} (\text{H} \cdot \text{m}^{-1})$. Μια στενά σχετιζόμενη ιδιότητα των υλικών είναι η μαγνητική επιδεκτικότητα, η οποία είναι ένα μέτρο της μαγνήτισης ενός υλικού εκτός από την μαγνήτιση του χώρου που καταλαμβάνεται από το υλικό.

Σχετική διαπερατότητα και μαγνητική επιδεκτικότητα

Η σχετική διαπερατότητα, μερικές φορές συμβολίζεται με το σύμβολο μ_r , είναι ο λόγος της διαπερατότητας ενός ειδικού μέσου στην διαπερατότητα του ελεύθερου χώρου, μ_0 :

$$\mu_r = \mu / \mu_0, \text{ όπου } \mu_0 = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} (\text{N} \cdot \text{A}^{-2}).$$

Από την άποψη της σχετικής διαπερατότητας, η μαγνητική επιδεκτικότητα είναι: $\chi_m = \mu_r - 1$, όπου χ_m , είναι μια αδιάστατη ποσότητα, που μερικές φορές ονομάζεται ογκομετρική ευαισθησία, ώστε να διακρίνεται από την χ_r (μαγνητική μάζα ή ειδική ευαισθησία) και χ_m (μοριακή ή μοριακή μάζα ευαισθησία).

Διαμαγνητισμός

Διαμαγνητισμός είναι ιδιότητα όλων των υλικών και αντιτίθενται σε εφαρμοσμένα μαγνητικά πεδία. Συγκεκριμένα, ένα εξωτερικό μαγνητικό πεδίο αλλάζει την

τροχιακή ταχύτητα των ηλεκτρονίων γύρω από τους πυρήνες τους, αλλάζοντας έτσι τη μαγνητική διπολική ροπή προς την αντίθετη κατεύθυνση του εξωτερικού τομέα. Τα διαμαγνητικά υλικά έχουν μαγνητική διαπερατότητα μικρότερη από μ_0 (σχετική διαπερατότητα μικρότερη από 1).

Κατά συνέπεια, ο διαμαγνητισμός είναι μια μορφή μαγνητισμού, όπου εμφανίζεται μόνο με την παρουσία ενός εξωτερικά εφαρμοζόμενου μαγνητικού πεδίου. Είναι γενικά μια αρκετά αδύναμη επίδραση στα περισσότερα υλικά, αν και οι υπεραγωγοί εμφανίζουν μία ισχυρή επίδραση.

Παραμαγνητισμός

Ο παραμαγνητισμός συμπεριφέρεται το ίδιο με τον διαμαγνητισμό, δηλαδή είναι μια μορφή μαγνητισμού που εμφανίζεται μόνο σε παρουσία ενός εξωτερικά εφαρμοζόμενου μαγνητικού πεδίου. Τα παραμαγνητικά υλικά έλκονται από μαγνητικά πεδία, συνεπώς έχει μια σχετική μαγνητική διαπερατότητα μεγαλύτερη από ένα (ή ισοδύναμη με μια θετική μαγνητική επιδεκτικότητα). Η μαγνητική ροπή που προκαλείται από το εφαρμοζόμενο πεδίο είναι γραμμική στην ένταση του πεδίου.

Σε αντίθεση με τα σιδηρομαγνητικά, δεν διατηρούν καμία μαγνήτιση με την απουσία ενός εξωτερικά εφαρμοζόμενου μαγνητικού πεδίου, έτσι η συνολική μαγνήτιση θα μειωθεί στο μηδέν, όταν το εφαρμοζόμενο πεδίο απομακρύνεται. Ακόμη και με την παρουσία του πεδίου υπάρχει μόνο μια μικρή *επαγόμενη* μαγνήτιση, γιατί μόνο ένα μικρό κλάσμα των περιστροφών θα προσανατολιστεί από το πεδίο. Αυτό το κλάσμα είναι ανάλογο προς την ένταση του πεδίου και αυτό εξηγεί τη γραμμική εξάρτηση. Η έλξη που βιώνουν οι σιδηρομαγνήτες είναι μη-γραμμική και πολύ ισχυρότερη, έτσι ώστε να είναι αντιληπτή.

Μαγνητική ροή

Εξ ορισμού, η μαγνητική ενέργεια είναι το γινόμενο της ροής της πυκνότητας, το μαγνητικό κύκλωμα και την δύναμη μαγνήτισης που χρειάστηκε για να διεγείρει το υλικό σε αυτό το επίπεδο ροής. Η σχέση είναι η εξής **$E=B \cdot H$** . Η μονάδα ενέργειας στο σύστημα SI είναι το **Joule**. Η πυκνότητα της ροής είναι ένα από τα συστατικά που χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό της ποσότητας της μαγνητικής ενέργειας που αποθηκεύεται σε μία δεδομένη γεωμετρία..

Μαγνητική αντίσταση

Η μαγνητική αντίσταση ενός υλικού αλλάζει με την παρουσία του μαγνητικού πεδίου.

Ομοίως όπως το φαινόμενο Hall, η μαγνητική αντίσταση προκαλείται από τη δύναμη Lorentz που περιστρέφει στις τρέχουσες μαγνητικές γραμμές υπό γωνία (θ_H). Η εκτροπή των διαδρομών ρεύματος οδηγεί σε μία αύξηση στην αντίσταση του ημιαγωγού.

Για μικρές γωνίες (θ_H) η αντίσταση R είναι :

$$R \cong R_0 (1 + \tan^2 \theta_H)$$

Γιγαντιαία μαγνητική αντίσταση (GMR)

Η γιγαντιαία μαγνητική αντίσταση (**GMR**) είναι η μεταβολή της ηλεκτρικής αντίστασης ορισμένων υλικών σε αντίθεση σε ένα εφαρμοζόμενο μαγνητικό πεδίο. Αυτή η επίδραση ανακαλύφθηκε το 1988 από δύο ευρωπαίους επιστήμονες που εργάζονται ανεξάρτητα: ο Peter Gruenberg του ερευνητικού ινστιτούτου KFA στο Jülich της Γερμανίας και ο Albert Fert του Πανεπιστημίου Paris Sud.

Έβλεπαν πολύ μεγάλες μεταβολές αντίστασης, 6% και 50% αντίστοιχα, σε υλικά που αποτελούνται από εναλλασσόμενες πολύ λεπτές στρώσεις από διάφορα μεταλλικά στοιχεία. Αυτά τα πειράματα πραγματοποιήθηκαν σε χαμηλές θερμοκρασίες και υπό την παρουσία πολύ υψηλών μαγνητικών πεδίων.

Ανακαλύφθηκε ότι η εφαρμογή ενός μαγνητικού πεδίου σε μαγνητικά μεταλλικά πολυστρωματικά υλικά όπως Fe / Cr και Co / Cu, στην οποία τα σιδηρομαγνητικά στρώματα διαχωρίζονται από μη μαγνητικά στρώματα λίγου πάχους (nm), οδηγεί σε σημαντική μείωση της ηλεκτρικής αντίστασης του πολυστρωματικού.

4.6.1 Κεραμικοί μαγνήτες

Ένα κεραμικός μαγνήτης είναι ένα από τα πιο δημοφιλή υλικά. Υπάρχουν πολλά πλεονεκτήματα για τη χρήση του κεραμικού μαγνήτη, συμπεριλαμβανομένου και του κόστους. Ωστόσο, υπάρχουν επίσης και κάποια μειονεκτήματα όπως ότι σε ορισμένες περιπτώσεις, μπορεί να μην είναι κατάλληλα για όλα τα έργα.

Ένας κεραμικός μαγνήτης, ή αλλιώς φερρίτης, γίνεται χρησιμοποιώντας σκόνη από μαγνητικά υλικά, όπως το οξείδιο του σιδήρου και του ανθρακικό στροντίου. Στις περισσότερες περιπτώσεις, είναι σκληρό και εύθραυστο υλικό. Ωστόσο, τα κονιοποιημένα υλικά που χρησιμοποιούνται μπορούν να εφαρμοστούν σε πολλές χρήσεις, όπως οι διακοσμητικοί μαγνήτες, αλλά είναι μόνο η αρχή της χρησιμότητάς τους.

Ένας κεραμικός μαγνήτης γίνεται με το συνδυασμό των δύο κύριων υλικών. Αυτά τήκονται μέχρι το σημείο όπου κολλούν το ένα με το άλλο. Αυτή η διαδικασία ονομάζεται πυροσυσσωμάτωση. Μόλις συμβεί αυτό, το υλικό ψύχεται, συμπιέζεται σε ένα ορισμένο σχήμα, ξηραίνεται και στη συνέχεια συντήκονται για μια ακόμη φορά.

Κατηγορίες υλικών

Οι τύποι των κεραμικών μαγνητών περιλαμβάνουν εκείνα που αναφέρονται ως μαλακά και ως σκληρά. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι, παρά τους όρους, αυτό δεν έχει να κάνει με τη μηχανική σκληρότητα των υλικών. Έχει να κάνει με την ένταση του μαγνητικού πεδίου που απαιτείται για την απο-μαγνήτιση του υλικού.

Τα μαλακά μαγνητικά υλικά, έχουν την ικανότητα να αποθηκεύουν τη μαγνητική ενέργεια που έχει μετατραπεί από την ηλεκτρική ενέργεια, αλλά είναι συνήθως μικρής διάρκειας στη φύση λόγω της ευκολίας να απομαγνητίζεται. Αυτά τα υλικά είναι κατάλληλα σε ηλεκτρονικά και ηλεκτρικά κυκλώματα, όπου οι πυρήνες που χρησιμοποιούνται συνήθως επιτρέπουν στη μαγνητική ενέργεια να μετατρέπεται εύκολα σε ηλεκτρική ενέργεια και επανεισάγονται στο ηλεκτρικό κύκλωμα.

Τα σκληρά μαγνητικά υλικά (PMs) είναι συγκριτικά δύσκολο να απομαγνητιστούν, έτσι ώστε το χρονικό διάστημα αποθήκευσης ενέργειας πρέπει να είναι αρκετά μεγάλος. Τα σκληρά μαγνητικά υλικά παρουσιάζουν υψηλή παραμένουσα μαγνήτιση (B_r) και υψηλή συνεκτικότητα (HC), αλλά η απομαγνήτιση είναι αρκετά δύσκολη, λόγω της παρουσίας υστέρησης βρόγχου

Φερρίτης

Οι φερρίτες είναι κεραμικές ενώσεις συνήθως μη αγώγιμες που προέρχονται από οξειδία του σιδήρου όπως αιματίτης (Fe_2O_3) ή μαγνητίτη (Fe_3O_4) καθώς και τα οξειδία άλλων μετάλλων. Οι φερρίτες είναι, όπως και τα περισσότερα άλλα κεραμικά υλικά, σκληρά και εύθραυστα.

Πολλοί φερρίτες έχουν δομή σπινελίου (spinel) με τον τύπο AB_2O_4 , όπου A και B παριστάνουν διάφορα μεταλλικά κατιόντα, συνήθως συμπεριλαμβανομένου του σιδήρου Fe. Η δομή σπινελίου αντιστοιχεί σε κρυσταλλική δομή που αποτελείται από οξειδία με δομή (fcc) για τα ιόντα (O^{2-}) με κατιόντα A να καταλαμβάνουν το ένα όγδοο των τετραεδρικών θέσεων και τα κατιόντα B να καταλαμβάνουν το ήμισυ των οκταεδρικών θέσεων.

Το μαγνητικό υλικό γνωστό ως «ZNFΕ» έχει τον τύπο ZNF_2O_4 , με Fe^{3+} να καταλαμβάνουν τις οκταεδρικές θέσεις και Zn^{2+} να καταλαμβάνουν τις τετραεδρικές θέσεις, είναι ένα παράδειγμα της κανονικής σπινελλικής δομής. Από την άποψη των μαγνητικών ιδιοτήτων τους, φερρίτες συχνά ταξινομούνται ως μαλακοί ή "σκληροί.

Μαλακός φερρίτης

Οι φερρίτες που χρησιμοποιούνται σε μετασχηματιστές ή σε ηλεκτρομαγνητικούς πυρήνες περιέχουν νικέλιο(Ni), ψευδάργυρο(Zn) ή μαγγάνιο(Mn). Έχουν χαμηλή απομαγνήτιση και ονομάζονται μαλακοί φερρίτες. Το χαμηλό συνεκτικό μέσο του μαγνητισμού μπορεί εύκολα να αντιστρέψει την κατεύθυνση χωρίς να διαχέει πολύ ενέργεια (απώλειες υστέρησης), ενώ η υψηλή του αντίσταση αποτρέπει την αναπτύξη δινορεύματων στον πυρήνα, μια άλλη πηγή απώλειας ενέργειας.

Λόγω των συγκριτικά χαμηλών απωλειών τους σε υψηλές συχνότητες, οι μαλακοί

φερρίτες χρησιμοποιούνται στους πυρήνες των μετασχηματιστών RF και των πηνίων σε εφαρμογές όπως σε τροφοδοτικά μεταγωγής.

- **Φερρίτης μαγγανίου-ψευδαργύρου (MnZn, με τον τύπο $Mn_aZn_{(1-a)}Fe_2O_4$)** έχει μεγαλύτερη διαπερατότητα και επαγωγή κορεσμού
- **Φερρίτης νικελίου-ψευδαργύρου (NiZn, με τον τύπο $Ni_aZn_{(1-a)}Fe_2O_4$)** όπου έχει υψηλότερη ειδική αντίσταση από ότι το **MnZn**, και συνεπώς είναι πιο κατάλληλα για συχνότητες πάνω από 1 MHz.

Σκληρός φερρίτης

Οι μαγνήτες κατασκευάζονται από σκληρούς φερρίτες, οι οποίοι έχουν υψηλή απομαγνήτιση και υψηλή παραμένουσα μαγνήτιση. Οξειδίο του σιδήρου και βαρίου ή ανθρακικού στροντίου χρησιμοποιούνται στην κατασκευή σκληρών μαγνητών Η υψηλή απομαγνήτιση σημαίνει ότι η υλικά είναι πολύ ανθεκτικά στην απομαγνήτιση, ένα ουσιαστικό χαρακτηριστικό για ένα μαγνήτη. επίσης διεξάγουν καλή μαγνητική ροή καθώς και να έχουν υψηλή μαγνητική διαπερατότητα. Αυτό επιτρέπει σε αυτούς τους λεγόμενους κεραμικού μαγνήτες να αποθηκεύουν ισχυρότερα μαγνητικά πεδία σε σχέση με τους μαγνήτες του σιδήρου. Το μέγιστο μαγνητικό πεδίο B είναι περίπου 0,35 Tesla και η ένταση του μαγνητικού πεδίου H είναι περίπου 30-160 kA στρόφες ανά μέτρο Η πυκνότητα του σκληρού φερρίτη είναι περίπου 5g/cm³.

- **Φερρίτης στροντίου, $SrFe_{12}O_{19}$ ($BaO \cdot 6Fe_2O_3$)**, χρησιμοποιείται σε συσκευές μικροκυμάτων, μέσα εγγραφής, μαγνητο-οπτικών μέσων, τηλεπικοινωνιών και της βιομηχανίας ηλεκτρονικών.
- **Φερρίτης βαρίου, $BaFe_{12}O_{19}$ ($BaO \cdot 6Fe_2O_3$)**, ένα κοινό υλικό για μαγνήτες, είναι ισχυρά κεραμικά υλικά που είναι γενικά σταθερά σε υγρασία και ανθεκτικά στη διάβρωση. Χρησιμοποιούνται σε μαγνήτες ηχείων και σε ταινίες.
- **Φερρίτης Κοβαλτίου, $CoFe_2O_4$ ($CoO \cdot Fe_2O_3$)**, χρησιμοποιούνται σε ορισμένα μέσα μαζικής ενημέρωσης για μαγνητική εγγραφή.

Χρήση Κεραμικών Μαγνητών

Τα οφέλη των κεραμικών μαγνητών περιλαμβάνουν μεγάλη διάρκεια ζωής σε χρήση και το κόστος. Οι μαγνήτες έχουν την τάση να διατηρούν τις μαγνητικές τους ιδιότητες για πολύ μεγάλο χρονικό διάστημα και ως εκ τούτου αναφέρονται ως μόνιμοι μαγνήτες. Τα υλικά που χρησιμοποιούνται για να κάνουν τους μαγνήτες είναι ποικίλα και φτηνά. Η παραγωγική διαδικασία είναι εύκολη και παράγει μαζικά τους μαγνήτες, συνεπώς υπάρχει και μείωση του κόστους.

Οι μαγνήτες χρησιμοποιούνται σε κινητήρες, ακόμη και σε μαγνητικούς τομογράφους. Η ευελιξία του μαγνήτη και η ικανότητά του να διατηρήσει το μαγνητισμό είναι πολύ σημαντικό σε όλες αυτές τις εφαρμογές. Παρ' όλα τα

πλεονεκτήματα, υπάρχουν και κάποια μειονεκτήματα για τους μαγνήτες. Λόγω ότι η παραγωγή είναι μαζική, τα σχήματα των κεραμικών μαγνητών είναι περιορισμένα. Πιο συχνά, τυπώνονται σε τετράγωνα, δίσκους και δακτύλιους.



Σχήμα 2.18 : Κεραμικοί Μαγνήτες

4.7 Ηλεκτρο-οπτικά κεραμικά

Υπάρχουν διάφοροι τρόποι με τους οποίους τα φωτόνια μπορούν να αλληλεπιδράσουν με κρυσταλλικά και άμορφα κεραμικά. Το είδος των αλληλεπιδράσεων των φωτονίων που συμβαίνουν εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό με τη σύνθεση των υλικών, τη φύση τους, τους τύπους των φάσεων και τις διασυνδέσεις που παρουσιάζονται εντός του υλικού και του περιβάλλοντος.

Η ροή της ακτινοβολίας των φωτονίων χωρίζεται σε δέσμες όπου αντανακλώνται, μεταδίδονται, απορροφώνται και αυτό περιγράφεται από την ακόλουθη σχέση: $\rho + \tau + \sigma + \alpha = 1$, όπου ρ είναι ο συντελεστής ολικής ανάκλασης, τ είναι ο συντελεστής ολικής μετάδοσης, σ είναι ο συντελεστής της συνολικής σκέδασης και α είναι ο συντελεστής απορρόφησης.

Ακτινοβολία

Τα φωτόνια αλληλεπιδρούν με τα υλικά που εξαρτώνται από τη συχνότητα της προσπίπτουσας ακτινοβολίας. Τα φωτόνια είναι τα κβάντα με ενέργεια:

$$E = h \nu = hc / \lambda$$

Τα φωτόνια που αλληλεπιδρούν με τα ηλεκτρόνια, τα ιόντα και τα μόρια του υλικού, τα οποία επίσης έχουν χαρακτηριστικό επίπεδο ενέργειας. Το μέγεθος και ο χαρακτήρας της ανακλώμενης ακτινοβολίας εξαρτάται από τη ποιότητα της διασύνδεσης (τραχύτητα), τη γωνία πρόσπτωσης, τη διαφορά μεταξύ των δεικτών διαθλάσεως του μέσου και το μήκος κύματος της ακτινοβολίας.

Διηλεκτρικό κάτοπτρο

Ένα διηλεκτρικό κάτοπτρο αποτελείται από μια στοίβα διηλεκτρικών στιβάδων με

$n_1 < n_2$. Το πάχος κάθε στρώματος είναι το ένα τέταρτο του μήκους κύματος (στρώματος $\lambda_{\text{layer}} / 4$) όπου :

λ_{layer} είναι το μήκος κύματος του φωτός σε αυτό το στρώμα

λ_0 / N στο λ είναι ο ελεύθερος χώρος του μήκους κύματος στο οποίο απαιτείται το κάτοπτρο για να αντανακλά το προσπίπτον φως και

n είναι ο δείκτης διάθλασης του στρώματος

Οπτικά φίλτρα

Η απορρόφηση του μήκους κύματος χρησιμοποιείται για να φιλτράρει τα τμήματα του οπτικού φάσματος. Υπάρχουν πολλοί διαφορετικοί τύποι του οπτικού φίλτρου.

Οι τρεις πιο κοινές κατηγορίες είναι οι εξής:

- Ουδέτερα Φίλτρα
- Φίλτρα Πόλωσης, και
- Φίλτρα χρώματος

Τα ουδέτερα φίλτρα είναι φίλτρα που μπορούν να μετριάσουν το φως , με ανάκλαση, απορρόφηση, σκέδαση , πόλωση ή ένα συνδυασμό αυτών των μεθόδων. Τα ουδέτερα φίλτρα έχουν συνήθως χρώμα καφέ ή γκρι.

Τα φίλτρα πόλωσης χρησιμοποιούνται για να φιλτράρουν τα εξωτερικά φωτόνια δεδομένου της πόλωσης ή τον προσανατολισμό. Τα φίλτρα πόλωσης προσφέρουν το πλεονέκτημα της μείωσης της υπερθέρμανσης του φίλτρου και συνήθως κατασκευάζονται από το υλικού **CaCO₃**.

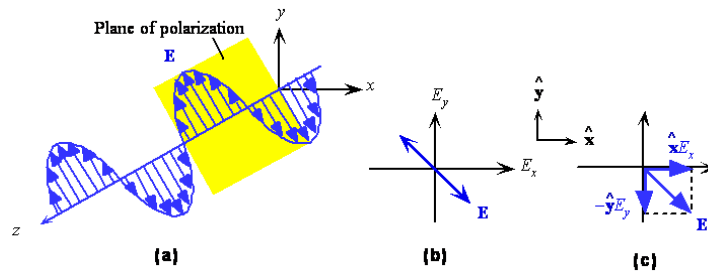
Τα φίλτρα χρώματος χρησιμοποιούνται για τη μετάδοση επιλεκτικού φωτός ορισμένων συχνοτήτων ή με ελάχιστη εξασθένηση.

Πόλωση

Το φως αποτελείται από κύματα τα οποία ταλαντώνονται σε διευθύνσεις κάθετες προς την κατεύθυνση της διάδοσης του φωτός. Ο προσανατολισμός αυτών των κυμάτων για την κατεύθυνση της διάδοσης του φωτός είναι τυχαία. Ωστόσο, σε ορισμένες περιπτώσεις αυτές οι ταλαντώσεις διεξάγονται σε ορισμένο χρόνο. Αυτό ονομάζεται πόλωση. Η κανονική διάχυση φωτός , συνεπάγεται με μη πολωμένο υλικό. Υπάρχουν διαφορετικοί τύποι της πόλωσης :

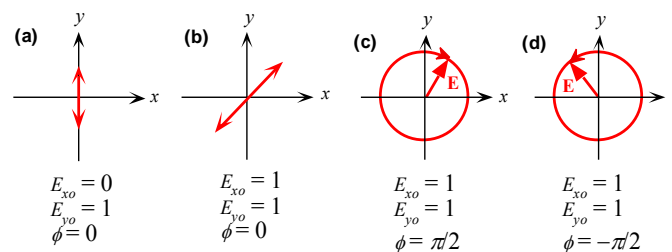
- γραμμική
- κυκλική
- ελλειπτική
- μερική

Γραμμική πόλωση εμφανίζεται σε κύματα που έχουν πάντα τον ίδιο προσανατολισμό με κατεύθυνση.



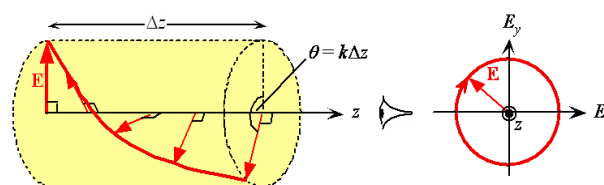
Σχήμα 2.19 : Γραμμική Πόλωση

Κυκλική πόλωση είναι μια κατάσταση όπου το επίπεδο στο οποίο τα κύματα ταλαντώνονται, περιστρέφεται γύρω από την κατεύθυνση της διάδοσης. Μπορεί να είναι είτε δεξιά είτε αριστερά της πόλωσης, ανάλογα με την κατεύθυνση περιστροφής των ταλαντώσεων.



Σχήμα 2.20: Κυκλική Πόλωση

Ελλειπτική πόλωση συμβαίνει όταν η μετάδοση της ενέργειας γίνεται υπό μια συγκεκριμένη γωνία. Επίσης, μπορεί να είναι αριστερή ή δεξιά η πόλωση.



Σχήμα 2.21 : Ελλειπτική Πόλωση

Το αποτέλεσμα των ηλεκτρο-οπτικών υλικών είναι η μεταβολή του δείκτη διάθλασης ως συνάρτηση ενός εξωτερικά εφαρμοζόμενου ηλεκτρικού πεδίου. Σε ανισοτροπικά υλικά ο δείκτης διάθλασης εξαρτάται από την κατεύθυνση της διάδοσης και την κατεύθυνση της πόλωσης. Αυτό σημαίνει ότι τα δύο συστατικά του φωτός μπορούν να μεταδοθούν σε μια διαφορετική ταχύτητα μέσα στο υλικό. Αυτό με τη σειρά του προκαλεί μία περιστροφή της συνολικής κατεύθυνσης πόλωσης. Με την τοποθέτηση του ηλεκτρο-οπτικού υλικού μεταξύ δύο πολωτών μπορεί να ελεγχθεί η ποσότητα του φωτός που διέρχεται μέσω της αλλαγής της

τάσης. Για να εκτιμήσουμε σωστά τη λειτουργία των ηλεκτρο-οπτικών κεραμικών , είναι πρώτα απαραίτητο να εξεταστεί η φύση του φωτός και η αλληλεπίδραση με διηλεκτρικά.

- Σε ισότροπα υλικά (όπως το γυαλί) , η επαγόμενη ηλεκτρική πόλωση είναι πάντα παράλληλα με την εφαρμογή ηλεκτρικού πεδίου.

- Σε ανισότροπα υλικά , η πόλωση εξαρτάται τόσο από την κατεύθυνση όσο και από το μέγεθος του εφαρμοζόμενου πεδίου.

$$\underline{D} = \epsilon \cdot \underline{E}$$

Εφαρμογές των ηλεκτρο-οπτικών υλικών

Τα ηλεκτρο-οπτικά υλικά απαιτούν χρήση σιδηροηλεκτρικών λεπτών υμένων για εφαρμογές που περιλαμβάνουν οπτικά διαφανή φιλμ με ένα υψηλό βαθμό κρυσταλλικότητας. Οι τύποι αυτών των εφαρμογών είναι 2: Μία στην οποία η διάδοση του φωτός είναι κατά μήκος του επιπέδου του φιλμ (οπτικών κυματοδηγών) και η άλλη στην οποία το φως περνά μέσα από το φιλμ (οπτική μνήμη και οθόνες). Τα πιο δημοφιλή υλικά που χρησιμοποιούνται είναι : PLZT (lead zirconate titanate) , BST (BaSrTiO₃) PSN (lead scandium niobate)



Σχήμα 2.22: κεραμικά οπτικά Φίλτρα

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

Εφαρμογές των προηγμένων κεραμικών στις μηχανολογικές εφαρμογές

5.1 Εισαγωγή

Πολλές από τις εφαρμογές της μηχανικής επωφελούνται από τα χαρακτηριστικά των κεραμικών υλικών. Τα χαρακτηριστικά των κεραμικών έχουν συγκεντρώσει την προσοχή τους από μηχανικούς σε όλο τον κόσμο, συμπεριλαμβανομένων και εκείνων στους τομείς : Ηλεκτρολόγων Μηχανικών , Μηχανικών Υλικών, Χημικών Μηχανικών, Μηχανολόγων Μηχανικών και άλλους. Θεωρούνται εξαιρετικά για τις εφαρμογές αυτές λόγω της υψηλής αντοχής τους κυρίως σε τάσεις συμπίεσης, στην τριβή και της ανθεκτικότητας τους στην έκθεση σε υψηλές θερμοκρασίες. Συνεπώς τα κεραμικά μπορούν να χρησιμοποιηθούν για πολλές απαιτητικές εργασίες που άλλα υλικά όπως τα μέταλλα και τα πολυμερή δεν μπορούν.

Τα σύγχρονα κεραμικά υλικά, τα οποία έχουν ταξινομηθεί ως προηγμένα κεραμικά , είναι τα οξειδία ή νιτρίδια ή καρβίδια των μεταλλων όπως πχ. το καρβίδιο του πυριτίου το καρβίδιο του βολφραμίου. Και τα δύο υλικά εκτιμώνται για την αντοχή τους στην τριβή, και ως εκ τούτου χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές όπου απαιτείται υψηλή αντοχή στην φθορά τριβής όπως για παράδειγμα σε εξορυκτικές επιχειρήσεις. Τα προηγμένα κεραμικά χρησιμοποιούνται επίσης στην ιατρική, στις ηλεκτρικές και στις μηχανολογικές εφαρμογές.

Τα κεραμικά των μηχανολογικών εφαρμογών τα συναντούμε σε μια ευρεία ποικιλία εφαρμογών στη μεταποιητική βιομηχανία, στην έρευνα και την εκπαίδευση. Οι τομείς αυτοί εφαρμογών περιλαμβάνουν την αεροδιαστημική, την ιατρική, τη χρήση σε διυλιστήρια, τη βιομηχανία τροφίμων, τη χημική βιομηχανία, την επιστήμη της συσκευασίας , τα ηλεκτρονικά, στη μεταφορά ηλεκτρισμού κλπ

Τα κεραμικά μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε πολλές εξειδικευμένες τεχνολογικές εφαρμογές. Μια εφαρμογή είναι τα κεραμικά πλακίδια που χρησιμοποιούνται ως εξωτερική μόνωση των Διαστημικών Λεωφορείων (πχ της NASA). Στην εξωτερική επιφάνεια των λεωφορείων αυτών και την είσοδο τους στην ατμόσφαιρα της γης από το διάστημα αναπτύσσονται εξαιρετικά υψηλές θερμοκρασίες που μόνο τα ειδικά κεραμικά πλακίδια μπορούν να αντέξουν και να το προστατεύσουν.

Το ατύχημα που συνέβη στο διαστημικό λεωφορείο το αποδόθηκε στην αφαίρεση μικρού αριθμού πλακιδίων από την επιφάνεια του λόγω αστοχίας κατά την εκτόξευση. Οι επιστήμονες της NASA παρά το γεγονός ότι παρατήρησαν την μικρή αυτή αστοχία στη μόνωση δεν αξιολόγησαν επαρκώς τον κίνδυνο με

αποτέλεσμα το διαστημικό λεωφορείο κατά την είσοδο του στην ατμόσφαιρα να αναφλεγεί και να καταστραφεί ολοσχερώς παρασύροντας στο θάνατο και στους αστροναύτες. Τα μονωτικά αυτά κεραμικά πλακίδια θα χρησιμοποιηθούν και στα μελλοντικά υπερηχητικά διαστημικά αεροπλάνα. Εκτός από τις εφαρμογές που αναφέρθηκαν, τα κεραμικά χρησιμοποιούνται επίσης ως επικάλυψη σε διάφορες επιφάνειες που υπόκεινται σε μηχανική τριβή ή/και εκτίθενται σε υψηλές θερμοκρασίες. Ένα παράδειγμα είναι ότι τα κεραμικά χρησιμοποιείται ως επίχρισμα σε άλλα μεταλλικά υλικά όπως το τιτάνιο που χρησιμοποιείται για ένα αεροπλάνο. Σήμερα οι πειραματικές μελέτες περιλαμβάνουν την ανάπτυξη των μεμονωμένων κρυστάλλων(μονοκρυστάλλων), τις ίνες γυαλιού, και πολυκρυσταλλικά κεραμικά.

5.2 Ιστορία των μηχανολογικών κεραμικών υλικών

Τα κεραμικά υλικά, όπως και πολλές επιστήμες, εξελίχθηκαν ραγδαία στα σημερινά επίπεδα. Η σύγχρονη τεχνολογία των κεραμικών μπορεί να βρεθεί σε διάφορους κλάδους.

Ο Abraham Darby, το 1709 στο Shropshire της Αγγλίας χρησιμοποιεί τα κεραμικά για να βελτιωθεί την απόδοση της διαδικασίας τήξης. Ο Josiah Wedgwood άνοιξε το πρώτο σύγχρονο εργοστάσιο κεραμικών στο Stoke on Trent της Αγγλίας, το 1759. Η αυστριακής καταγωγής, χημικός Karl Bayer, που εργαζόταν για την κλωστοϋφαντουργία στη Ρωσία, ανέπτυξε μια διαδικασία διαχωρισμού της αλουμίνας από το βωξίτη, το 1888.

Το 1880, οι Brothers Pierre and Jacques Curie ανακάλυψαν τον πιεζοηλεκτρισμό, ο οποίος είναι μία από τις βασικές ιδιότητες των κεραμικών όπως έχει αναφερθεί και στο προηγούμενο κεφάλαιο. Το 1893, ο E.G. Acheson, εφηύρε το συνθετικό καρβίδιο (**carborundum**) με την θέρμανση ένα μίγματος οπτάνθρακα και πηλού. Την ίδια εποχή ο Henri Moissan συνθέτει το SiC και το καρβίδιο του βολφραμίου σε ηλεκτρικό κλίβανο στο Παρίσι.

Ο Orton και κάποιοι άλλοι επαγγελματίες ίδρυσαν την Αμερικανική Κεραμική Εταιρεία (ACerS) το 1898 στο Pittsburgh, όπου ο Orton ήταν ο πρώτος Γενικός Γραμματέας. Το 1900, ο Charles F. Binns ίδρύσε το New York State School of Clay, τη σχολή κεραμικής, η οποία σήμερα ονομάζεται Alfred University. Ο Binns ήταν ο τρίτος πρόεδρος της ACerS. Η Ceramic Society της Ιαπωνίας ιδρύθηκε το 1891 στο Τόκιο ενώ η Deutschen Gesellschaft Keramischen της Γερμανίας, ιδρύθηκε στο Βερολίνο το 1919.

Το 1923, ο Karl Schröter χρησιμοποιεί την πυροσυσσωμάτωση υγρής φάσης για τη συγκόλληση των σωματίδιων καρβιδίου βολφραμίου, στο Moissan της Γερμανίας. Ο W. H. Nernst ανέπτυξε την κυβικά σταθεροποιημένη ζirkονία (CSZ) στη δεκαετία του 1920 στο Βερολίνο. Το CSZ χρησιμοποιείται ως αισθητήρας οξυγόνου στα συστήματα εξάτμισης. Στην δεκαετία του 1950, ο WD Kingery και κάποιοι άλλοι ανέπτυξαν τη μερικώς σταθεροποιημένη ζirkονία (PSZ), αυξάνοντας σημαντικά την ανθεκτικότητά του. Το PSZ χρησιμοποιείται κυρίως στην κατασκευή μαχαιριών και άλλων εργαλείων.

Οι στρατιωτικές απαιτήσεις του Β 'Παγκοσμίου Πολέμου (1939-1945) ενθάρρυναν την εξέλιξη, η οποία δημιούργησε την ανάγκη για υλικά υψηλών επιδόσεων και βοήθησε στο να επιταχυνθεί η ανάπτυξη της κεραμικής επιστήμης και της μηχανικής. Το Ζιρκοτιτανικό μόλυβδο εφευρέθηκε στις Ηνωμένες Πολιτείες, στο Εθνικό Γραφείο Προτύπων το 1954.

Καθ 'όλη τη δεκαετία του 1960 και 1970, οι νέοι τύποι κεραμικής αναπτύχθηκαν ως απάντηση στην πρόοδο της ατομικής ενέργειας, των ηλεκτρονικών, των επικοινωνιών, και τα διαστημικά ταξίδια. Η ανακάλυψη των κεραμικών υπεραγωγών το 1986 έχει κεντρίσει την έρευνα για την ανάπτυξη των υπεραγώγιμων κεραμικών εξαρτημάτων για τις ηλεκτρονικές συσκευές, τους ηλεκτρικούς κινητήρες και τον εξοπλισμό μεταφορών.

Δεδομένου ότι τα κεραμικά αποτελούνται από μια κρυσταλλική δομή, η γνώση του σχηματισμού κρυστάλλων και οι δυνάμεις που εμπλέκονται ήταν σημαντική για την ανάπτυξη της κεραμικής ως αυτόνομο επιστημονικό πεδίο.

Η ακόλουθη λίστα της Εθνικής Ακαδημίας Μηχανικών παρουσιάζει (www.greatachievements.org) τα κεραμικά υλικά που έχουν κάνει τη ζωή ευκολότερη για όλη την ανθρωπότητα τον 20^ο αιώνα.

Κατηγορίες (Επιτεύγματα)	Συμβολή των κεραμικών
1. Ηλεκτροδότηση	 <p>Ηλεκτρικά μονωτικά υλικά για μεταφορές ενέργειας, Μονωτές για τις βιομηχανικές / οικιακές εφαρμογές, λαμπτήρες γυαλιού</p>
2. Αυτοκινητοβιομηχανία	<p>Αισθητήρες του κινητήρα, καταλυτικοί μετατροπείς, μπουζί, παράθυρα, εξαρτήματα κινητήρα, ηλεκτρικές συσκευές</p>
3. Αεροπλάνο	 <p>τζάμια που δεν παγώνουν ή θολώνουν, εξαρτήματα του κινητήρα τζετ, ηλεκτρονικά εξαρτήματα</p>
4. Ασφαλής ύδρευσης και επεξεργασίας νερού	<p>Φίλτρα και μεμβράνες</p>
5. Ηλεκτρονική	 <p>Υποστρώματα και IC κυκλώματα, πυκνωτές, μονωτές, μαγνήτες, υπεραγωγούς</p>

6. Ραδιόφωνο και τηλεόραση	 <p>Γυάλινοι δοκιμαστικοί σωλήνες (CRTs), οθόνη γυαλιού , επικαλύψεις φωσφόρου, ηλεκτρικά εξαρτήματα, μαγνήτες</p>
7. Μηχανική	<p>Πυρίμαχα υλικά για την τήξη και σχηματισμό σιδηρούχων και μη σιδηρούχων μεταλλικών συστατικών</p>
8. Υπολογιστές	 <p>Ηλεκτρικά εξαρτήματα, μαγνητική αποθήκευση, γυαλί για τις οθόνες</p>
9. Τηλέφωνο και Internet	<p>Ηλεκτρικά εξαρτήματα, οπτικές ίνες υάλου</p>
10. Ο κλιματισμός και ψύξη	 <p>Μόνωση από ίνες γυαλιού, κεραμικοί μαγνήτες</p>
11. Εθνικές οδοί	<p>Τσιμέντο για δρόμους και γέφυρες, μικροσφαιρίδια γυαλιού χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ανακλαστικών χρωμάτων για σημεία και οδικές γραμμές.</p>
12. Εξερεύνηση του διαστήματος	 <p>Πλακίδια διαστημικού λεωφορείου, υψηλής θερμοκρασίας ανθεκτικά εξαρτήματα, κεραμικά υλικά εκτομής, ηλεκτρομαγνητικά και διαφανή παράθυρα, ηλεκτρικά εξαρτήματα, φακούς του τηλεσκοπίου</p>
13. Απεικόνιση: ακτίνες X σε φιλμ	 <p>Πιεζοκεραμικοί μετατροπείς για υπερήχους διάγνωσης, ανίχνευση σόναρ, χαρτογράφηση πυθμένα του ωκεανού Επιπλέον, κεραμικό σπινθηριστή για τη X-ray αξονικής τομογραφίας, επιστρώσεις φωσφόρου για ραντάρ και οθόνες σόναρ</p>
15. Οικιακές συσκευές	<p>Επιχρίσματα από σμάλτο πορσελάνης για μεγάλες συσκευές, μόνωση από ίνες υάλου για σόμπες και ψυγεία, ηλεκτρικά εξαρτήματα, κεραμικές εστίες μαγειρέματος, σπιράλ αντιστάσεων για τοστιέρες και φούρνους</p>
16. Τεχνολογίες υγείας	<p>Αρθρώσεις αντικατάστασης, βαλβίδες καρδιάς, υποκατάστατα οστών, βοηθήματα ακοής, βηματοδότες, αντικαταστάσεις δοντιών και για σιδεράκια</p>

17. Τεχνολογίες πετρελαίου και φυσικού αερίου	Κεραμικοί καταλύτες, πυρίμαχα υλικά, μέσα συσκευασίας για πετρελαίο και φυσικό αέριο
18. Λείζερ και οπτικές ίνες	Γυαλί οπτικών ινών, ενισχυτές ινών, υλικά με λέιζερ, ηλεκτρονικά εξαρτήματα
19. Υλικά υψηλών επιδόσεων	Συμπεριλαμβανομένων των προηγμένων κεραμικών για την εξαιρετική αντίσταση στη φθορά, στη διάβρωση και αντοχή σε υψηλές θερμοκρασίες, υψηλή ακαμψία, υψηλό σημείο τήξης, υψηλή αντοχή σε θλίψη και σκληρότητα και το ευρύ φάσμα των ηλεκτρικών, μαγνητικών και οπτικών ιδιοτήτων

5.3 Εφαρμογές των προηγμένων κεραμικών υλικών

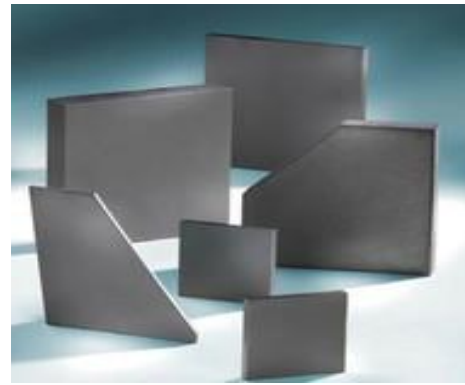
Όταν ακούς «κεραμικά», αμέσως σκέφτεσαι τα την κεραμική τέχνη όπως είναι τα αγγεία, τα πλακάκια, τα κεραμίδια κ.λ.π. Αυτό που πολλοί άνθρωποι δεν συνειδητοποιούν είναι ότι τα κεραμικά παίζουν σημαντικό ρόλο σχεδόν σε όλους του τομείς. Εκτός από τα καθημερινά αντικείμενα, τα κεραμικά βοηθούν σε υπολογιστές και άλλες ηλεκτρονικές συσκευές, στη βελτίωση της υγείας των ανθρώπων με διάφορους τρόπους, παρέχοντας παγκόσμιες τηλεπικοινωνίες, και την προστασία των στρατιωτών κατά τη διάρκεια της μάχης.

5.3.1 Στρατός

Μια ποικιλία από κεραμικά υλικά βρίσκουν την εφαρμογή τους σε στρατιωτικά οχήματα και άλλες τεχνολογίες. Σε εξαρτήματα κινητήρων, πυραύλων και σε πανοπλίες οχημάτων είναι μόνο μερικές από τις εφαρμογές των κεραμικών υλικών. Για το τελευταίο μισό του 19^{ου} αιώνα, τα κεραμικά έχουν χρησιμοποιηθεί για τη προστασία των στρατιωτών και των οχημάτων, που απειλούνται τόσο από απλά όπλα αλλά και πολυβόλα.

Προστασία

Τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά των προηγμένων κεραμικών, συμπεριλαμβανομένων το χαμηλό βάρος, την ικανότητα να αντέχει σε εξαιρετικά υψηλές θερμοκρασίες, τη σκληρότητα, τη αντοχή στη φθορά και τη διάβρωση, τη χαμηλή τριβή, καθώς παρουσιάζουν ειδικές ηλεκτρικές ιδιότητες και προσφέρουν σημαντικά πλεονεκτήματα σε σχέση με τα συμβατικά υλικά, όπως τα πλαστικό και τα μέταλλα. Εξαιτίας αυτού, τα προηγμένα κεραμικά είναι η βάση για ελαφρύτερο και πιο ανθεκτικό σώμα θωράκισης. Το καρβίδιο του βορίου και το καρβίδιο του πυριτίου είναι η πιο βελτιστοποιημένη σύνθεση δομών για την παραγωγή σωμάτων θωράκισης.



Σχήμα 5.1 : Συστήματα προστασία α) καρβίδιο του βορίου β) καρβίδιο του πυριτίου

Τα Ολοκληρωμένα συστήματα θωράκισης του αεροσκάφους περιλαμβάνουν κεραμικά καθίσματα, εξαρτήματα και πλάκες συστήματος έχουν εφαρμοστεί στους περισσότερους τύπους ελικοπτέρων όπως στα Apache, Gazelle, Super Puma, Super Cobra, Blackhawk, Chinook και σε πολλά άλλα.



Σχήμα 5. 2: Χρήση κεραμικών υλικών σε έλικα

Οι πλάκες θωράκισης εφαρμόζονται επίσης και σε σταθερά πτερύγια αεροσκάφών, συμπεριλαμβανομένων τα C-130 και C-17. Οι καμπύλες των πλακών θωράκισης είναι μονές, διπλές και τριπλές και τα συστήματα επιθέσεων κατασκευάζονται από καρβίδιο του βορίου και καρβίδιο του πυριτίου. Τα κεραμικά υλικά χρησιμοποιούνται και στις ειδικές δυνάμεις.



Σχήμα 5.3 : Αεροσκάφη C-130 και C-17

Ο στρατός των ΗΠΑ αναπτύσσει σύνθετα υλικά από μέταλλο – κεραμικό και σύνθετα υβριδικά για τη βελτίωση των επιδόσεων. Ο πρώτος τύπος των κεραμικά είναι κατασκευασμένος από σύνθετο υλικό μετάλλου, το οποίο βοηθάει στην καθυστέρηση αποτυχίας των κεραμικών υλικών και επιτρέπει στα κεραμικά πιο βελτιωμένη βαλλιστική απόδοση. Ο δεύτερος τύπος, βρέθηκε στο Stryker-Interim Armored όχημα, χρησιμοποιώντας ένα σύνθετο πολυμερές για να απωθήσει οποιοδήποτε θρυμματισμό μπορεί να προκύψει στο πίσω μέρος του μετάλλου. Οι μελλοντικές εφαρμογές για τα κεραμικά με βάση τη θωράκιση περιλαμβάνουν τα οχήματα για το Εκστρατευτικό Σώμα των Πεζοναυτών, US Marine Corps Expeditionary Fighting Vehicle, παλαιότερα γνωστό ως το Advanced Amphibious Assault Vehicle, ή AAUV και το μελλοντικό σύστημα μάχης του Στρατού των ΗΠΑ.



Σχήμα 5.4 : Κεραμικά Βαλλιστικής προστασίας

Διαφανή Κεραμικά

Τα κεραμικά υλικά που είναι διαφανή δεν χρησιμοποιούνται μόνο σε ορισμένους τύπους ενέργειας, αλλά μπορούν να χρησιμοποιηθούν και σε στρατιωτικές εφαρμογές όπως για υπέρυθρες, την προστασία του αισθητήρα, πολυφασματικά παράθυρα οχημάτων κ.λ.π. Εκτός από τις οπτικές ιδιότητες που παρουσιάζουν, τα κεραμικά υλικά έχουν την επιθυμητή αντοχή στην τριβή και θερμική σταθερότητα. Ένας ειδικός τύπος γυαλιού-κεραμικού δίνει το πράσινο φως στην κατασκευή ηλεκτρομαγνητικών παραθύρων σε στρατιωτικά οχήματα, λόγω των κατάλληλων ηλεκτρικών ιδιοτήτων και την υψηλή αντοχή στη θερμοκρασία.



Σχήμα 5.5 : Διαφανή Κεραμικά

Το Νιτρίδιο του πυριτίου (ένα κεραμικό μη-οξειδίο) χρησιμοποιείται ως στους σφαιρικούς θόλους των πυραύλων στα πιο σύγχρονα συστήματα αεροάμυνας. Είναι το καταλληλότερο υλικό που έχει επιλεχθεί, λόγω της μηχανικής αντοχής και διηλεκτρικές ιδιότητες. Το υλικό επιτρέπει στα μικροκυμάτα ή σε άλλη πηγή ενέργειας να περάσει μέσα από αυτό και να εντοπίσει τις εισερχόμενες απειλές. Η μηχανική αντοχή του επιτρέπει στο σύστημα αντιπυραυλικής να αντέχει στη διάβρωση και στη μεγάλη θερμοκρασία. Επίσης, στο πλαίσιο της ανάπτυξης χρησιμοποιούνται διαφανές παράθυρα κατασκευασμένα από νανοκρυσταλλική ύπτρια (ένα είδος κεραμικού υλικού) για πυραυλικές εφαρμογές.



Σχήμα 5.6 : Εφαρμογές νιτρίδιου του πυριτίου

Βελτιωμένο γυαλί και κεραμικό γυαλί εξετάζονται επίσης για τα παράθυρα των στρατιωτικών οχημάτων με την επιθυμητή βαλλιστική απόδοση. Τα γυαλιά μπορούν να κατασκευαστούν σε μεγάλα μεγέθη με γεωμετρικές καμπύλες και μπορούν να παραχθούν για την παροχή στοιχείων βαλλιστικής απόδοσης σε οριακό κόστος. Τα άλλα διαφανή υλικά εξετάζονται για τα παρμπρίζ των οχημάτων, τις ασπίδες και την προστασία των αισθητήρων στα αεροσκάφη. Ένα κεραμικό υλικό που ονομάζεται σπινέλιου (αργλικό μαγνήσιο) έχει ανώτερες οπτικές ιδιότητες, οι οποίες το καθιστούν ελκυστικό σε εφαρμογές αισθητήρων, όπου η αποτελεσματική επικοινωνία επηρεάζεται από τις ιδιότητες απορρόφησής του προστατευτικού θόλου.

Βελτίωση στροβιλοκινητήρα

Τα μελλοντικά ελικόπτερα του Στρατού θα είναι σε θέση να πετάξουν μακρύτερα και να μεταφέρουν περισσότερο φορτίο χάρη στη χρήση των κεραμικών. Ο Στροβιλοκινητήρας έχει λειτουργική αποδοτικότητα που μπορεί να αυξηθεί μέσω της χρήσης σύνθετων κεραμικών υλικών και επιχρισμάτων θερμικού φράγματος. Τα κεραμικά έχουν τη δυνατότητα να λειτουργούν σε θερμοκρασίες άνω των 1100 °C με ελάχιστη ή καθόλου ψύξη. Τα σύνθετα υλικά είναι επίσης 30 έως 50% ελαφρύτερα από τα μεταλλικά κράματα που χρησιμοποιούνται σήμερα. Η επένδυση του καυστήρα και του στροβίλου επικαλύπτεται με κεραμικά υλικά, οι θερμοκρασίες λειτουργίας αυξάνουν σε 1650°C και τα συστατικά προστατεύονται από το περιβάλλον.

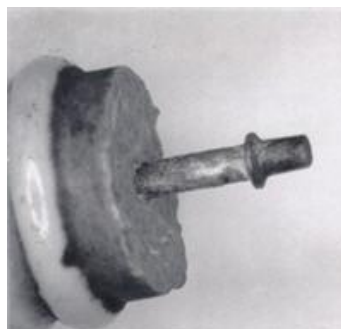


Σχήμα 5.7 : Στροβιλοκινητήρα με κεραμικές επικαλύψεις

5.3.2 Μεταφορές

Οι σχεδιαστές του κινητήρα πάντα ερευνούν για εναλλακτικές προσεγγίσεις για τη μείωση του κόστους και των εκπομπών, την αύξηση της οικονομίας καυσίμου και των επιδόσεων. Μία προσέγγιση για τη βελτίωση των αυτοκινήτων είναι μέσω της αντικατάστασης των ήδη υπαρχόντων υλικών. Τα κεραμικά μπορεί να είναι η βασική τεχνολογία για πολλά κρίσιμα εξαρτήματα των κινητήρων του μέλλοντος, λόγω των μοναδικών ιδιοτήτων που παρουσιάζουν απέναντι στη θερμότητα, στη φθορά και στη διάβρωση, το μικρό βάρος που κατεχουν και την ηλεκτρική και θερμική μόνωση που έχουν.

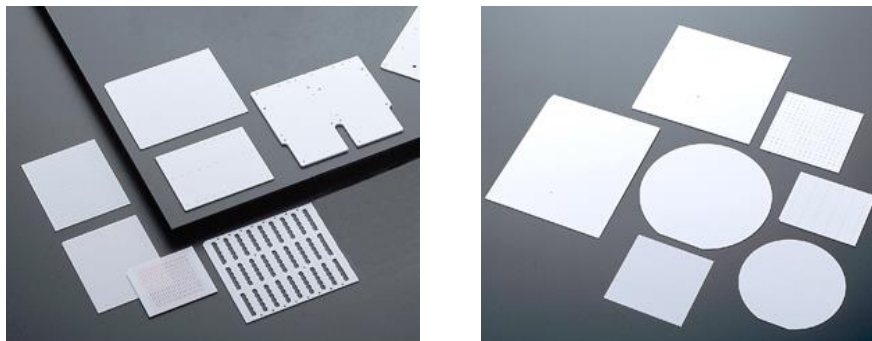
Τα κεραμικά υλικά υπήρξαν σημαντικά σε αυτοκίνητα από τις αρχές της δεκαετίας του 1920, σε μονωτήρες μπουζί . Σχεδόν όλες οι καταλυτικοί μετατροπείς στα σύγχρονα αυτοκίνητα έχουν κεραμικά υποστρώματα, τα οποία έχουν συμβάλει αρκετά στη μείωση των εκπομπών καυσαερίων των αυτοκινήτων. Τα περισσότερα σύγχρονα αυτοκίνητα χρησιμοποιούν επίσης κεραμικούς αισθητήρες οξυγόνου, σε σύνδεση με υπολογιστή που ελέγχει τη βελτιστοποίηση της καύσης και τη μείωση των εκπεμπόμενων καυσαερίων.



Σχήμα 5.8: Μπουζί της χρονολογίας 1920

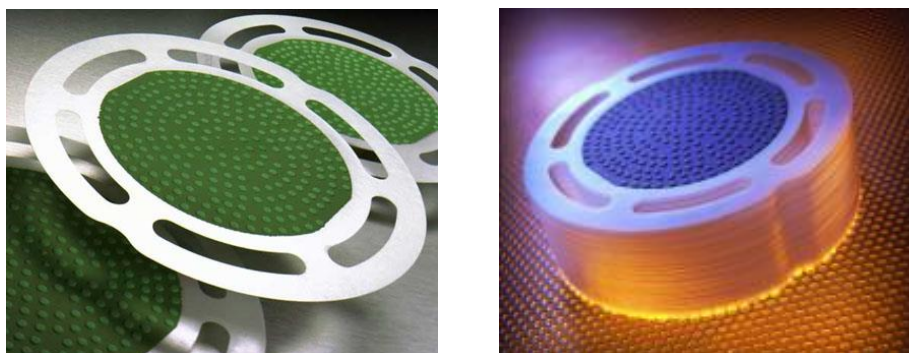
Για τον έλεγχο των υπολογιστών και άλλων ηλεκτρονικών στα αυτοκίνητα χρησιμοποιείται ένας μεγάλος αριθμός κεραμικών υποστρωμάτων και συστατικά τα οποία είναι κρίσιμα για την απόδοση των συσκευών. Επίσης, οι πολυάριθμοι ηλεκτρικοί κινητήρες που εφαρμόζονται στα σύγχρονα αυτοκίνητα για την

αυτοματοποιημένη προσαρμογή των καθισμάτων, των παράθυρα, κλπ. χρησιμοποιούν κεραμικούς μαγνήτες σε πολλά από αυτά τα μοτέρ. Πρόσφατα, τα κεραμικά στοιχεία έχουν εισαχθεί σε συστήματα καυσίμων και βαλβίδων των κινητήρων ντίζελ βαρέων επαγγελματικών οχημάτων.



Σχήμα 5.9 : Κεραμικά υποστρώματα (ceramic substrates)

Τα αυτοκίνητα του μέλλοντος μπορούν να εφαρμόσουν τα κεραμικά υλικά στα εσωτερικά δομικά μέρη των κινητήρων, στα συστήματα καυσίμων λόγω ότι τα υλικά είναι ανθεκτικά στη φθορά και σε πρόσθετα εξαρτήματα, όπως σε συστήματα βαλβίδων. Τα «πράσινα» αυτοκίνητα μπορούν επίσης να χρησιμοποιούν κεραμικές κυψέλες καυσίμου για σχεδόν μηδενικές εκπομπές ρύπων.



Σχήμα 5.10 : Κεραμικές κυψέλες καυσίμου

Καλύτερη πέδησης με Σύνθετα υλικά

Τα κεραμικά σύνθετα υλικά είναι ο βασικός εξοπλισμός σε αυτοκίνητα της Φόρμουλας κυρίως στους δίσκους φρένων. Εκτός από τα αγωνιστικά, προσφέρονται πλέον σε επιλεγμένα επιβατικά αυτοκίνητα υψηλών επιδόσεων, συμπεριλαμβανομένων των Ferrari, Lamborghini, Porsches, Bentley Conti GT Diamond και Audi RS4. τα κεραμικά φρένα μειώνουν το βάρος του οχήματος περισσότερο από 10 κιλά, τα οποία αντιστέκονται στη θερμότητα που προκαλείται από τη φθορά και η διάρκεια ζωής του οχήματος γίνεται μεγαλύτερα.



Σχήμα 5.11: Δίσκοι φρένων από κεραμικά σύνθετα υλικά Porsches



Σχήμα 5.12: Δίσκοι φρένων από κεραμικά σύνθετα υλικά Lamborghini

Ένα παρόμοιο είδος των κεραμικών σύνθετων φρένων κατασκευάζονται από Starfire Systems, το οποίο ειδικεύεται στο στήσιμο αγωνιστικών μοτοσυκλετών, συμπεριλαμβανόμενων των Honda, Yamaha, Kawasaki, Suzuki και Harley Davidson. Ο μοτοσυκλετιστής Jason DiSalvo, έχει νέα φρένα Starfire, η αξιολόγηση είναι 12 σε κλίμακα από το ένα έως το 10. Η βαθμολογία του ακολούθησε μια αξιολόγηση τριών ημερών το 2004, της μοτοσυκλέτας Yamaha YZF-R1, η οποία είναι εξοπλισμένη με σύνθετους δίσκουςφρένων της εταιρείας. Αυτοί οι δίσκουςκατασκευάζονται με τη χρήση πολυμερών Starfire και υψηλής ποιότητας άνθρακα.



Σχήμα 5.13: Δίσκουςφρένων από κεραμικά σύνθετα υλικά σε Yamaha YZF-R1

Αντίθετα από τα συμβατικούς δίσκους χάλυβα, αυτοί οι τύποι των σύνθετων υλικών αποδίδουν καλύτερα καθώς αυξάνεται η θερμοκρασία τους. Έχει αποδειχθεί ότι έχουν την ικανότητα να αυξάνουν την απόδοση των καυσίμων, την επιτάχυνση, τη συνοχή του φρεναρίσματος και τη συνολική διάρκεια ζωής.

Συμπλέκτες από κεραμικά υλικά

Οι λάτρεις των αυτοκινήτων ενθουσιάστηκαν πρόσφατα για το συμπλέκτη από σύνθετο κεραμικό υλικό που χρησιμοποιείται στην Carrera GT της Porsche. Μετά από ένα test drive, ο διάσημος παρουσιαστής Jay Leno και ιδιοκτήτης του αυτοκινήτου είπε: «... κάναμε περίπου 50 σπινιαρίσματα, προσπαθώντας να βρούμε τον καλύτερο τρόπο για να ελαχιστοποιηθεί η ολίσθηση των τροχών. Ποτέ δεν γλίστρησε και συνέχισε να δουλεύει μια χαρά. Η Carrera GT επιταχύνει σε 60 mph (96,561 km) σε μόλις 3,6 δευτερόλεπτα, στα 15 δευτερόλεπτα πιάνει 131,6 mph (211,79 km) και η τελική ταχύτητα φτάνει τα 205 mph (329,92 km). Αυτό οφείλεται στον κεραμικό συμπλέκτη! .



Σχήμα 5.14 : Carrera GT της Porsche

Ο συμπλέκτης της Carrera GT είναι ελαφρύτερος κατά (7.7 lb ή 3,5 kg) και μικρότερος από οποιαδήποτε συγκρίσιμη συσκευή και οδηγεί σε μείωση του βάρους κατά περισσότερο από 50% σε σύγκριση με ένα συμβατικό συμπλέκτη που χρησιμοποιείται σε ένα Turbo Porsche 911. Το σύνθετο υλικό είναι ένας συνδυασμός από ίνες άνθρακα και καρβιδίου του πυριτίου. Το καρβίδιο του πυριτίου είναι τόσο σκληρό όσο και το διαμάντι, με εξαιρετική αντίσταση στη φθορά και αντοχή σε υψηλές θερμοκρασίες. Αυτές οι ιδιότητες καθιστούν το σύνθετο υλικό την ιδανικότερη επιλογή για να βοηθήσουν στη μεταφορά των « ίππων » στην άσφαλο. Η διάμετρος του συμπλέκτη είναι μόνο 6,65 ίντσες (1689.1cm), η οποία οδηγεί σε ένα χαμηλό κέντρο βάρους. Όσο μικρότερη είναι η διάμετρος του συμπλέκτη, τόσο χαμηλότερη είναι η μηχανή.



Σχήμα 5.15: Κεραμικός συμπλέκτης Carrera GT της Porsche

Παμπρίζ

Ένα εντελώς νέο παμπρίζ αναπτύχθηκε από την εταιρία PPG, το οποίο αντανακλά περίπου το 90% των υπέρυθρων ακτίνων του ήλιου και βοηθάει να κρατάει το εσωτερικό πιο δροσερό και το προστατεύει από το ξεθώριασμα. Το μπλε χρώμα που παμπρίζ παρέχει ένα εντυπωσιακό, κομψό αποτέλεσμα που βοηθά τα οχήματα να ξεχωρίζουν σε ένα πλήθος. Το παμπρίζ ενσωματώνει την τεχνολογία νανοσύνθετων επίστρωσεων στο εσωτερικό του παμπρίζ, έτσι ώστε η επικάλυψη δεν μπορεί να καταστραφεί ή να γρατσουνιστεί. Η εταιρία PPG έχει δημιουργήσει μια περιορισμένη ποσότητα του παμπρίζ αποκλειστικά για την Chrysler 300C, Dodge Magnum και Dodge Charger, τα οποία ήταν διαθέσιμα το 2006.



Σχήμα 5.16: Παμπρίζ της εταιρίας PPG

5.3.3 Αεροδιαστημική

Τα μηχανολογικά κεραμικά χρησιμοποιούνται όλο και περισσότερο σε εμπορικά και στρατιωτικά αεροσκάφη. Οι εφαρμογές περιλαμβάνουν συστήματα θερμικής προστασίας εξαρτήματα του κινητήρα και κεραμικές επικαλύψεις που είναι ενσωματωμένες στο παμπρίζ πολλών αεροπλάνων. Αυτές οι επικαλύψεις είναι διαφανείς και άγουν το ηλεκτρικό ρεύμα για τη διατήρηση του γυαλιού που προκύπτει από ομίχλη και πάγο.

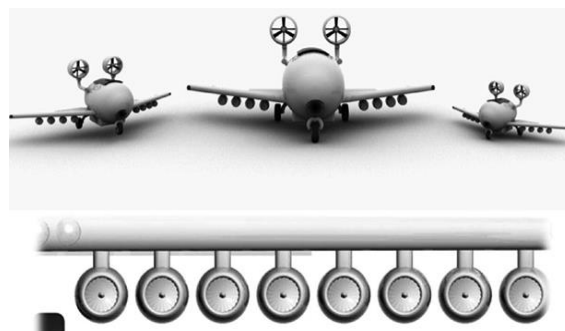
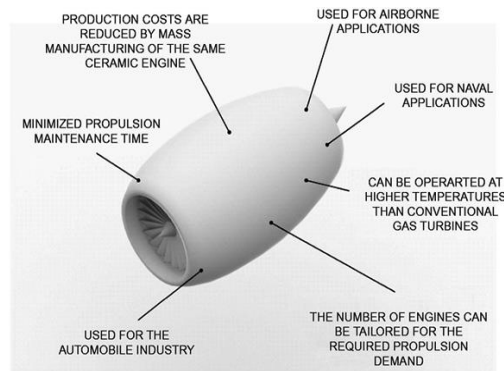
Οι κεραμικές ίνες χρησιμοποιούνται ως ασπίδες θερμότητας για την πυροπροστασία και θερμομόνωση σε αεροσκάφη και διαστημικά λεωφορεία επειδή αντιστέκονται στη θερμότητα, είναι ελαφριές και δεν διαβρώνονται. Άλλα σημαντικά χαρακτηριστικά περιλαμβάνουν υψηλές θερμοκρασίες τήξης, ελαστικότητας, αντοχή σε εφελκυσμό και χημική αδράνεια. Ένα κεραμικό μη-οξειδίο που ονομάζεται νιτρίδιο του πυριτίου έχει εξαιρετικά υψηλή αντοχή στη θερμοκρασία, εξαιρετική αντοχή σε θραύση, υψηλή σκληρότητα και μοναδικές ιδιότητες. Οι αεροδιαστημικές εφαρμογές του νιτρίδιου του πυριτίου οδηγούν στην ανώτερη μηχανική αξιοπιστία και αντοχή στη φθορά, καθώς επιτρέπει στα συστατικά να χρησιμοποιούνται σύμφωνα με την ελάχιστη λίπανση χωρίς φθορά. Αυτές οι εφαρμογές περιλαμβάνουν την ανάφλεξη του κινητήρα τζετ, τα έδρανα, τους δακτύλιους και άλλα εξαρτήματα φθοράς.



Σχήμα 5.17 : Κεραμικό κώνος αεροσκάφους

Διαστημικά ταξίδια

Τα προηγμένα κεραμικά παίζουν ένα κρίσιμο ρόλο στην ανάπτυξη της υψηλής απόδοσης και την οικονομικότερη αποδόση νέων τεχνολογιών για διαστημικά ταξίδια. Τα Τεχνικά Κεραμικά Morgan στο Erlangen της Γερμανίας έχουν συνεργαστεί με ένα ευρωπαϊκό αναπτυξιακό πρόγραμμα σε μια σειρά ετών για να υποστηρίξει την έρευνα του συστήματος προώθησης ιόντων. Μια εναλλακτική λύση στην παραδοσιακή χημική πρόωση κινητήρων ιόντων έχουν τη δυνατότητα να ωθήσουν τα διαστημόπλοια έως δέκα φορές πιο γρήγορα με την ίδια κατανάλωση καυσίμου, μειώνοντας έτσι σημαντικά το μέγεθος του οχήματος και την αύξηση της απόστασης των ταξιδιών.



Σχήμα 5.18 : Κεραμικός κινήτηρας Αεροσκάφους

Η τεχνολογία πρόωσης, η οποία χρησιμοποιεί ηλεκτρική ενέργεια για να φορτίσει τα βαρέα άτομα του αερίου, με αποτέλεσμα να επιταχύνει το διαστημικό σκάφος με μεγάλη ταχύτητα προς τα εμπρός. Ο χαλαζίας έχει αντικατασταθεί από ένα κεραμικό οξειδίο που ονομάζεται αλουμίνα λόγω της ανάγκης για ένα υλικό με τις ίδιες διηλεκτρικές ιδιότητες, αλλά με υψηλότερη δομική σταθερότητα. Η αλουμίνα είναι ευκολότερη να κατασκευάσει και προσφέρει καλή αντοχή σε θερμικό σοκ, διασφαλίζοντας το θάλαμος και μπορεί να αντέξει τις ακραίες τιμές θερμοκρασίας που συμβαίνουν κατά τη διάρκεια της ανάφλεξης πλάσματος. Είναι επίσης ελαφρύτερο υλικό και μειώνει το κόστος που συνδέεται με κάθε διάθεση.



Σχήμα 5.19 : Επικάλυψη αεροδιαστημόπλοιου με αλουμίνα

Παροχή καυσίμου

Ένα από τα πιο επιτυχημένα εμπορικά αεροσκάφη τα τελευταία χρόνια, είναι το Boeing 777, χρησιμοποιεί πιεζοηλεκτρικά κεραμικά υλικά συν 60 υπερηχητικούς αισθητήρες σε κάθε δεξαμενή καυσίμου. Οι υπερήχοι έχουν εγκατασταθεί σε ποικίλες θέσεις σε κάθε δεξαμενή καυσίμου. Ένα παλμικό ηλεκτρικό πεδίο εφαρμόζεται στο κεραμικό υλικό, το οποίο στη συνέχεια αντιδρά με την ταλαντούμενη δύναμη. Τα προκύπτοντα ηχητικά κύματα που προκύπτουν από το πιεζοηλεκτρικό κεραμικό ανακλώνται από την επιφάνεια του καυσίμου.

Ένας ψηφιακός επεξεργαστής σήματος ερμηνεύει την «ώρα της πτήσης» με τη μέτρηση των ηχητικών κυμάτων προκειμένου να αναφέρει συνεχώς την ποσότητα του καυσίμου. Παρόμοια υπερηχητικοί αισθητήρες καυσίμου χρησιμοποιούνται επίσης σε αεροσκάφη και άλλες εφαρμογές, λόγω της ικανότητάς τους να παρέχουν εξαιρετικά ακριβείς αναγνώσεις, ανεξάρτητα από τον προσανατολισμό του αεροσκάφους.

5.3.4 Κεραμικά & οπτικά υλικά

Τα κεραμικά υλικά έχουν την ιδιότητα να αντανakλούν το φως και να το μεταδίδουν, καθώς και παρουσιάζουν άλλες οπτικές ιδιότητες. Αυτά τα κεραμικά υλικά βρέθηκαν σχεδόν σε όλους τους τομείς όπως της αεροδιαστημικής, των τηλεπικοινωνιών, των ηλεκτρονικών, της βιομηχανίας, της ιατρικής, τις στρατιωτικές και της εσωτερικής ασφάλειας.



Σχήμα 5.20 : Παρατήρηση διαστήματος από γυάλινη σφαίρα

Στις συσκευές οπτικών επικοινωνιών εφαρμόζονται ειδικά κεραμικά υλικά τα οποία συνθέτουν υποστρώματα γυαλιού και φακούς σε σχήμα μπάλας. Άλλα προϊόντα περιλαμβάνουν τηλεσκόπιο από καθρέφτη, λέιζερ, φωτονικές συσκευές, συστήματα απεικόνισης, καθοδικούς σωλήνες, επίπεδες οθόνες για υπολογιστή / τηλεόραση, υπέρυθρα παράθυρα / θόλους και υποστρώματα γυαλιού για οθόνες υγρών κρυστάλλων. Συμβατικές εφαρμογές περιλαμβάνουν κιάλια και μικροσκόπια, ψηφιακές φωτογραφικές μηχανές και βιντεοκάμερες, εναλλάξιμους φακούς και ψηφιακούς προβολείς.

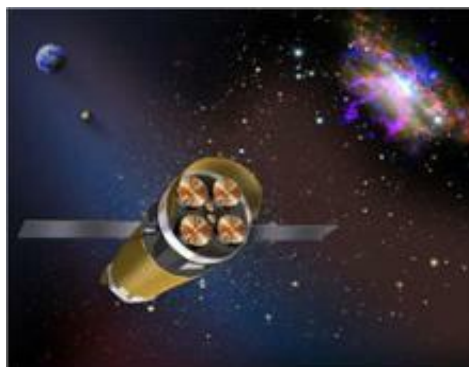
Εφαρμογές των κεραμικών στις εξερευνήσεις του Διαστήματος

Ένα είδος κεραμικού υαλού χαμηλής διόγκωσης, κατασκευάζεται από την εταιρία SCHOTT της Βορείου Αμερικής και χρησιμοποιείται για την Magdalena Ridge Observatory (MRO) όπου συνθέτουν πρωτογενή, δευτερογενή και τριτογενή καθρέφτες. Αυτό το νέο πολυ-τηλεσκόπιο αποτελείται από δέκα τηλεσκόπια το καθένα από 1,4 μέτρα τα οποία προσομοιώνονται σε ένα ενιαίο τηλεσκόπιο 400 μέτρων, το οποίο με τη σειρά του συλλέγει φως σε μια ενιαία εικόνα. Ολοκληρώθηκε το 2008 στο Νέο Μεξικό και χρησιμοποιήθηκε κατά κύριο λόγο για τη μελέτη αντικείμενων μεγάλου ενδιαφέροντος πέρα από το ηλιακό σύστημα, όπως το σχηματισμό του γαλαξία, το σουπερνόβα και τις μαύρες τρύπες.

Η εταιρία SCHOTT επίσης πρόσφατα έχει κατοχυρώσει με δίπλωμα ευρεσιτεχνίας ένα παρόμοιο κεραμικό γυαλί με βελτιωμένες ιδιότητες. Αυτό το υλικό γίνεται χρησιμοποιώντας μια ειδική θερμική διαδικασία, με αποτέλεσμα το υαλοκεραμικό να κατέχει υψηλότερη αντοχή στη θερμότητα από ό,τι το συμβατικό και σχεδόν μηδενική θερμική διαστολή.

Η θερμική διαδικασία μετασχηματισμού παράγει ένα υαλοκεραμικό υλικό που

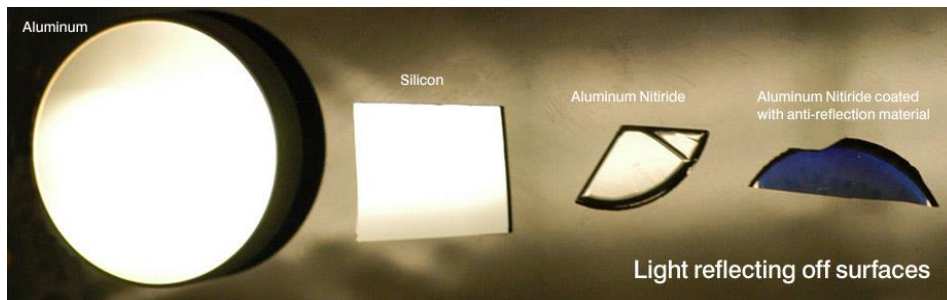
περιέχει πάνω από 90% (*keatite*), έναν ειδικό τύπο του πυριτίου (διοξείδιο του πυριτίου). Αυτή η κρυσταλλική δομή επιτρέπει μια υψηλότερη θερμοκρασία λειτουργίας (850°C) για μεγάλες χρονικές περιόδους χωρίς μεταβολή. Δημιουργήθηκε για να απαντήσει στις προδιαγραφές της NASA για τη δημιουργία του τηλεσκοπίου Constellation X. Επίσης το υλικό αυτό έχει πολλές άλλες πιθανές εφαρμογές δηλαδή όπου απαιτείται υψηλότερη αντοχή στη θερμότητα, για παράδειγμα χρησιμοποιείται σε μηχανικά και οπτικά στοιχεία σε συστήματα υψηλής ενέργειας λέιζερ, σε εξαρτήματα του κινητήρα, και σε πρότυπα βαθμονόμησης για οπτικούς και μηχανικούς ανιχνευτές.



Σχήμα 5.21 : τηλεσκόπιο Constellation X της NASA

Το Παρατηρητήριο Constellation-X, είναι ένας συνδυασμός από πολλά τηλεσκόπια ακτίνων X που εργάζονται από κοινού για τη δημιουργία ενός γιγάντιου τηλεσκοπίου. Με το Παρατηρητήριο, οι επιστήμονες ερευνούν τις μαύρες τρύπες, τη θεωρία του Αϊνστάιν, το σχηματισμό των γαλαξιών, την εξέλιξη του Σύμπαντος σε μεγαλύτερες κλίμακες, την ανακύκλωση της ύλης και της ενέργειας, καθώς και τη φύση της σκοτεινής ύλης και της σκοτεινής ενέργειας. Όπως όλα τα τηλεσκόπια ακτίνων X, το Constellation-X θα πρέπει να τοποθετηθεί στο χώρο του διαστήματος, διότι οι ακτίνες των αστερισμών δεν διαπερνούν την ατμόσφαιρα της Γης. Ωστόσο, κατά τον σχεδιασμό του Constellation-X, οι επιστήμονες ήθελαν ένα τηλεσκόπιο ακτίνων X παρόμοιο με τα τηλεσκόπια της γης, για να συλλέξει όσο το δυνατόν περισσότερες ακτίνες X.

Μια ομάδα ερευνητών από το Rensselaer Polytechnic Institute δημιούργησε το πρώτο υλικό στον κόσμο που δεν αντανακλά ουσιαστικά καθόλου φως. Αυτό το οπτικό επίχρισμα είναι κατασκευασμένο από ένα υλικό που επιτρέπει βελτιωμένο έλεγχο επί των βασικών ιδιοτήτων του φωτός. Το νέο υλικό έχει σχεδόν τον ίδιο δείκτη διάθλασης, όπως ο αέρας, καθιστώντας το ιδανικό δομικό στοιχείο για αντανακλαστικό επίχρισμα. Θέτει παγκόσμιο ρεκόρ με τη μείωση της ανακλαστικότητας σε σύγκριση με τα συμβατικά αντανακλαστικά επιχρίσματα. Το υλικό έχει ένα δείκτη διάθλασης 1.05, το οποίο είναι πολύ κοντά στο δείκτη διάθλασης του αέρα.



Σχήμα 5.22: Αντιανακλαστικά επιχρίσματα της ομάδας από το Rensselaer Polytechnic Institute

Χρησιμοποιώντας μια τεχνική που ονομάζεται πλάγια εναπόθεση γωνίας, οι ερευνητές μετατρέπουν τη δομή της πυριτιά (διοξείδιο του πυριτίου ή SiO_2) σε μακριές ράβδους νανοκλίμακας υπό γωνία 45 μοιρών, πάνω από μία λεπτή μεμβράνη από νιτρίδιο του αργιλίου (AlN), το οποίο είναι ένα υλικό ημιαγωγού-κεραμικού τύπου που χρησιμοποιείται στην προηγμένη διόδο εκπομπής φωτός (LED). Η τεχνική επιτρέπει στους ερευνητές να μειώσει σημαντικά ή ακόμη και να εξαλείψει τον προβληματισμό σε όλα τα μήκη κύματος και τις εισερχόμενες γωνίες του φωτός. Συμβατικά αντιανακλαστικά επιχρίσματα, αν και χρησιμοποιούνται ευρέως, λειτουργούν μόνο σε ένα μόνο μήκος κύματος και όταν η φωτεινή πηγή είναι τοποθετημένη απευθείας κάθετα προς το υλικό.



Σχήμα 5.23: Κεραμική διόδος εκπομπής φωτός (LED)

Η νέα οπτική επίστρωση θα μπορούσε να βρει χρήση σε σχεδόν οποιαδήποτε εφαρμογή όπου το φως ταξιδεύει μέσα ή έξω από ένα υλικό, όπως:

- **Φωτεινότερο LED:** Τα LEDs χρησιμοποιούνται ολοένα και περισσότερο στα σήματα κυκλοφορίας, στο φωτισμό των αυτοκινήτων και στα σημάδια εξόδου, επειδή αντλούν πολύ λιγότερη ηλεκτρική ενέργεια και διαρκούν πολύ περισσότερο από ό, τι τα συμβατικά υλικά φθορισμού και πυράκτωσης. Αλλά τα LEDs δεν είναι ακόμη τόσο φωτεινά για να αντικαταστήσουν το πρότυπο λαμπτήρα. Η εξάλειψη αντανάκλασης θα μπορούσε να βελτιώσει τη φωτεινότητα των LED, η οποία θα μπορούσε να επιταχύνει την αντικατάσταση των συμβατικών πηγών φωτός από πηγές στερεάς κατάστασης.

- Για πολλές εφαρμογές υπολογιστών, θα ήταν ιδανικό να επικοινωνούν χρησιμοποιώντας φωτόνια, σε αντίθεση με τα ηλεκτρόνια που βρίσκονται σε ηλεκτρικά κυκλώματα. Τα νέα υλικά θα μπορούσαν να συμβάλουν στην επίτευξη του φωτισμού, ώστε να διατηρηθεί η έκρηξη των φωτονίων.
- *Καθρέπτες υψηλής ανακλαστικότητας* : Η ικανότητα να ελέγχουν με ακρίβεια το δείκτη διάθλασης, το υλικό αυτό θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για να κάνει κάτοπτρα εξαιρετικά υψηλής ανακλαστικότητας, τα οποία χρησιμοποιούνται σε πολλά οπτικά εξαρτήματα συμπεριλαμβανομένων τηλεσκοπία, οπτοηλεκτρονικές συσκευές και αισθητήρες.
- *Ακτινοβολία* : Οι ερευνητές θα μπορούσαν να χρησιμοποιήσουν ένα ιδανικό Μέλαν σώμα , περιγράφει ένα ιδανικό σώμα το οποίο απορροφά όλο το φως που προσπίπτει πάνω του , για να ρίξει φως στην κβαντική μηχανική.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

Εφαρμογές των προηγμένων κεραμικών στους τομείς ενέργεια και περιβάλλον

6.1 Εισαγωγή

Τα κεραμικά υλικά επιτρέπουν τον έλεγχο της διαδικασίας χαμηλής φθοράς, τη μείωση των εκπομπών και βοηθούν να διασφαλιστεί η αποτελεσματική χρήση των πόρων σε πολλές περιοχές του ενεργειακού εφοδιασμού και την περιβαλλοντική τεχνολογία.

Η τεράστια αντοχή στη φθορά, η αντοχή σε υψηλή θερμοκρασία και ένα υψηλό επίπεδο αντοχής στη διάβρωση κάνουν τα προηγμένα κεραμικά υλικά μια ενδιαφέρουσα εναλλακτική λύση, στη φθορά και στις απαιτήσεις της αντιδιαβρωτικής προστασίας. Τα κεραμικά υλικά εξασφαλίζουν μακρά διάρκεια ζωής για τα μέρη που υπόκεινται σε υψηλή πίεση στον τομέα της περιβαλλοντικής τεχνολογίας - για παράδειγμα, στην επεξεργασία του νερού ή την ανακύκλωση και την επεξεργασία ή την ανακύκλωση των αποβλήτων.

Τα κεραμικά υλικά μπορούν να αντέξουν σε ακραίες θερμοκρασίες και μηχανικές καταπονήσεις σε εφαρμογές για την παραγωγή ενέργειας, σε συστήματα φωτοβολταϊκών, στη μετατροπή ηλιακή ενέργειας σε θερμική, στη παραγωγή αιολικής ενέργειας και στην επεξεργασία νερού. Τα Κεραμικά υλικά είναι φιλικά προς το περιβάλλον και πολύ αποτελεσματικά στον τομέα της διανομής και της προμήθεια ενέργειας, καθώς και στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.

Η παγκόσμια κατανάλωση ενέργειας αναμένεται να αυξηθεί κατά 44% από το 2006 μέχρι το 2030. Ενώ η χρήση του φυσικού αερίου και του άνθρακα θα αυξηθούν, η ταχύτερα αναπτυσσόμενη πηγή ενέργειας θα είναι οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.

Η ανάγκη αυτή έχει δημιουργήσει έρευνες, για την αποθήκευση ενέργειας και τα ηλιακά πάνελ, αλλά και τη συγκομιδή της ενέργειας. Όλα αυτά προσφέρουν σημαντικές επιχειρηματικές ευκαιρίες: η παραγωγή ενέργειας, για παράδειγμα, αναμένεται να είναι αξίας \$ 4.4 δισεκατομμυρίων το 2020.

Ωστόσο, οι περισσότερες τεχνολογίες ανανεώσιμων πηγών ενέργειας δεν μπορούν να ανταγωνιστούν οικονομικά με τα ορυκτά καύσιμα. Γι αυτό το λόγο εξετάζουμε πώς οι νέες τεχνολογίες κεραμικών υλικών συμβάλλουν στη βελτίωση

της παραγωγής και της αποδοτικότητας αλλά και πως συμβάλλουν στην οικονομικότερη λύση για την παραγωγή ανανεώσιμης ενέργειας .

6.2 Παραγωγή ενέργειας

Ένα νέο πεδίο των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας είναι η συλλογή της ενέργειας που είναι άμεσα διαθέσιμη από το περιβάλλον, πρόκειται για την ηλιακή ενέργεια και αφορά τη μετατροπή της σε ηλεκτρική ενέργεια. Η συγκέντρωση της ηλιακής ενέργειας είναι μικρή αλλά αναπτυσσόμενη πηγή, η οποία περιλαμβάνει περίπου το 2% της παραγωγής ενέργειας σε παγκόσμιο επίπεδο και αναμένεται να αυξηθεί σημαντικά τις επόμενες δεκαετίες, καθώς αναπτύσσονται οι υποδομές αλλά και το κόστος της ενέργειας που χρησιμοποιείται σε καθημερινό επίπεδο όπως το ηλεκτρικό ρεύμα.

Σε κάθε εφαρμογή παραγωγής ενέργειας που έχει ήδη επιτευχθεί ή ακόμα αναμένεται να λειτουργήσει χρησιμοποιούνται κεραμικά υλικά, αφού αποτελούν υλικά ζωτικής σημασίας, ανεκτικα σε υψηλή θερμοκρασία και μπορούν να αντέξουν για παράδειγμα στην ηλιακή ακτινοβολία.

Οι ερευνητές του Πανεπιστημίου Glyndwr και μεγάλες εταιρείες υψηλής τεχνολογίας ερευνούν πώς η ενέργεια μπορεί να ληφθεί και να χρησιμοποιηθεί πολλές φορές από ένα σύστημα βασισμένο σε πιεζοηλεκτρικές συσκευές που συνδέονται μεταξύ τους.

6.2.1 Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από το περιβάλλον

Ο όρος "συγκομιδή ενέργειας από το περιβάλλον" αναφέρεται στην παραγωγή ενέργειας από πηγές όπως η ηλιακή ακτινοβολία, η θερμότητα περιβάλλοντος, η ροή του αέρα (άνεμος), η κίνηση των θαλάσσιων κυμάτων κλπ. Η μετατροπή της διαθέσιμης ενέργειας από το περιβάλλον σε ηλεκτρικής επιτρέπει μια αυτάρκεια ενεργειακού εφοδιασμού για πολλές απομονωμένες εφαρμογές όπως λειτουργία αισθητήρων, ραδιοπομπών και πολλών άλλων αυτοτελών απομονωμένων μονάδων.

Η Κινητική ενέργεια μπορεί να μετατραπεί σε ηλεκτρική ενέργεια με τη βοήθεια του πιεζοηλεκτρικού φαινομένου. Χρησιμοποιώντας κατάλληλες ηλεκτρονικές διατάξεις, το αποτέλεσμα αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη δημιουργία ενός συστήματος παροχής ενέργειας.

Αυτό είναι ιδιαίτερου ενδιαφέροντος, αφού η παροχή ρεύματος μέσω του καλωδίου δεν είναι δυνατή και η χρήση των μπαταριών και η σχετική δαπάνη συντήρησης δεν είναι επιθυμητή. Η Μηχανική παραμόρφωση ενός πιεζοηλεκτρικού κεραμικού κρυστάλλου με εφαρμογή μηχανικής τάσης παράγει ηλεκτρικά φορτία τα οποία δημιουργούν μετρήσιμη τάση στα ηλεκτρόδια του πιεζοηλεκτρικού στοιχείου.

6.2.1.1 Εφαρμογές

Οποιαδήποτε λύση παραγωγής ενέργειας πρέπει να προσαρμόζεται εξειδικευμένα στην αντίστοιχη εφαρμογή. Κατά συνέπεια, οι μετατροπείς ενέργειας, αποθηκεύουν ενέργεια και τα ηλεκτρονικά προσαρμόζονται στις ενεργειακές απαιτήσεις του χρήστη ενέργειας και τις συνθήκες διέγερσης της ενέργειας.



Σχήμα 6.1 : Διάταξη μετατροπέα από συγκολλημένα φύλλα κεραμικών στρωμάτων

Η Μηχανική παραμόρφωση μετατρέπεται σε ηλεκτρική τάση:

- Παρακολούθηση της κατάστασης της δομής
(Condition Monitorinnd Structural Health Monitoring (SHM))

Ένα τυπικό παράδειγμα της εφαρμογής είναι η παρακολούθηση μηχανικής ελαστικής παραμόρφωσης της σε πολύπλοκα συστήματα όπως τα φτερά του αεροπλάνου. Οι Πιεζοηλεκτρικοί Μετατροπείς εκτελούν μια σειρά από λειτουργίες, παρακολουθούν τις παραμορφώσεις, παράγουν ηλεκτρική ενέργεια και τροφοδοτούν τους πομπούς με ενέργεια για την ασύρματη μετάδοση δεδομένων

- Παρακολούθηση δεδομένων και μετάδοσης δεδομένων (**Data Monitoring and Data Transmission**)

Η τροφοδοσία για τους αισθητήρες και τους ραδιοπομπούς, για παράδειγμα στην τεχνολογία θέρμανσης και κλιματισμού για τον έλεγχο της θερμοκρασίας ή της ροής του αέρα σε σωλήνες.

- Παρακολούθηση του προϊόντος κατά τη μεταφορά (**Product Monitoring During Transport**)

οι δονήσεις του οχήματος που χρησιμοποιείται για την παραγωγή ενέργειας και τα προϊόντα μπορούν να παρακολουθούνται συνεχώς κατά τη διάρκεια της μεταφοράς χωρίς οι αντίστοιχοι αισθητήρες να συνδέονται με ένα τροφοδοτικό ή είναι εξοπλισμένα με συσσωρευτές. Αυτό είναι χρήσιμο εάν οι θερμοκρασίες πρέπει να καταγραφούν μέσα σε κλειστά δοχεία, για παράδειγμα.

- Ασφάλεια του ενεργειακού εφοδιασμού του ασύρματου δικτύου ZigBee
(Energy Supply of Wireless ZigBee Networks)

6.2.1.2 Σχεδιάζοντας μια λύση παραγωγής ενέργειας

Ο σχεδιασμός μιας λύσης «συλλογής ενέργειας» εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά και τις απαιτήσεις των περιβαλλοντικών παραμέτρων. Για την

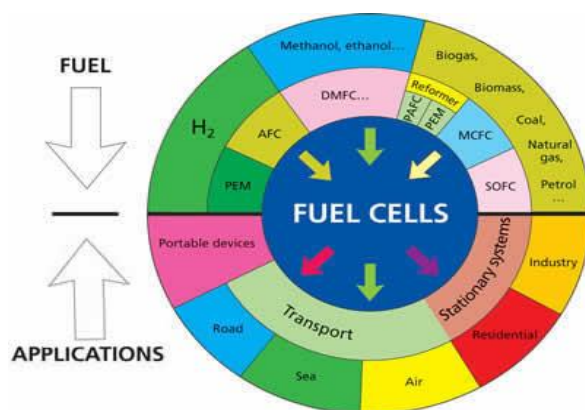
πηγή ενέργειας, για παράδειγμα, κάποιος πρέπει να κάνει διάκριση μεταξύ μιας συνεχούς και παλμικής εκπομπής. Επιπλέον, πρέπει να λαμβάνονται υπόψη οι συνθήκες του ηλεκτρικού χρήστη: Οι σημαντικότερες παράμετροι περιλαμβάνουν την **απαιτούμενη τάση**, τη **δύναμη** και την **αντίσταση εισόδου**, δηλαδή, η ηλεκτρική χωρητικότητα ή ηλεκτρική αντίσταση. Με τα δεδομένα αυτά είναι δυνατόν να σχεδιαστεί η διάσταση του μοροτροπέα και η ηλεκτρονική αποθήκευση, συμπεριλαμβανομένων του μηχανικού συστήματος. Τα κεραμικά υλικά είναι τα κατάλληλα υλικά για εξατομικευμένες λύσεις για τις πιεζοηλεκτρικές εφαρμογές.

6.3 Κυψέλες καυσίμων

Μια κυψέλη καυσίμου είναι μια συσκευή που παράγει αποτελεσματικά ηλεκτρική ενέργεια από πλούσιο σε υδρογόνο καύσιμο, μέσα από μια καθαρή ηλεκτροχημική αντίδραση. Είναι παρόμοια με μια μπαταρία διότι παρέχει ηλεκτρική ενέργεια συνεχούς ρεύματος από μια χημική αντίδραση, όπως η μπαταρία, έχει μια άνοδο, μια κάθοδο, και έναν ηλεκτρολύτη. Η διαφορά όμως της κυψέλης με μια κοινή μπαταρία είναι ότι δεν μπορεί να αποθηκεύει ηλεκτρική ενέργεια. Οι κυψέλες καυσίμου μπορούν να παράγουν συνεχώς ηλεκτρική ενέργεια, εφ' όσον όμως υπάρχει παροχή καυσίμου και αέρα.

Σε αντίθεση με τους κινητήρες εσωτερικής καύσης υγρού καυσίμου ή αερίου που κινούν τουρμπίνες, οι κυψέλες καυσίμου δεν καίνε καύσιμα. Στις κυψέλες δεν υπάρχουν θορυβώδη ρότορες υψηλής πίεσης ή δυνατός θόρυβος της εξαίμισης, παράγουν ηλεκτρική ενέργεια από μια αθόρυβη ηλεκτροχημική αντίδραση. Μπορούν επίσης να μετατρέψουν τη χημική ενέργεια του καυσίμου απευθείας σε ηλεκτρική ενέργεια, θερμότητα και νερό.

Οι κυψέλες είναι πολύ αποτελεσματικές στην παραγωγή ενέργειας, και επειδή δεν καίνε το καύσιμο μέσω της κλασικής καύσης, δεν παράγουν μεγάλες ποσότητες. Αέριων ρυπαντών, όπως το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂), μεθάνιο (CH₄) και οξειδίου του αζώτου (NO_x).

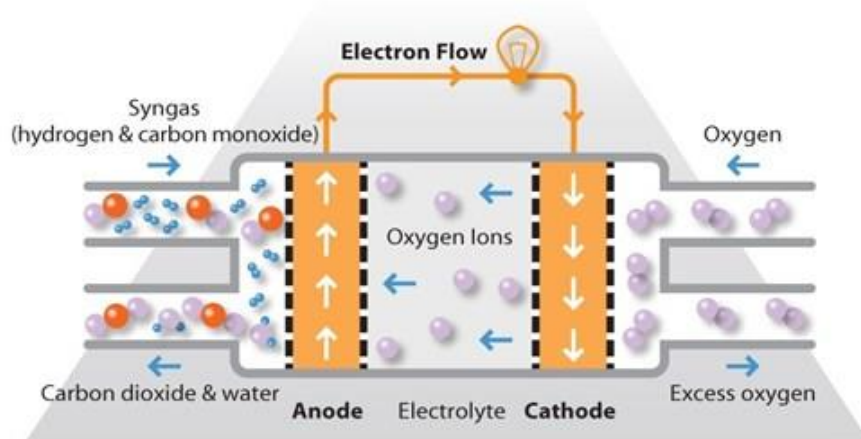


Σχήμα 6.2 : Εφαρμογές Κυψέλης καυσίμου

6.3.1 Πως λειτουργούν οι κεραμικές κυψέλες καυσίμου και οι εφαρμογές τους

Όλες οι κυψέλες καυσίμου παράγουν ηλεκτρική ενέργεια και θερμότητα μέσω μιας ηλεκτροχημικής διαδικασίας χρησιμοποιώντας ένα ηλεκτρολύτη, μια κάθοδο και μία άνοδο. Στην περίπτωση των κεραμικών κυψελών καυσίμου, η ηλεκτρική ενέργεια παράγεται σε υψηλές θερμοκρασίες από ιόντα οξυγόνου που εξέρχονται από την πλούσια σε οξυγόνο κάθοδο, περνώντας μέσα από τον ηλεκτρολύτη και στη συνέχεια ενώνονται χημικά με το υδρογόνο της ανόδου.

Οι Κεραμικές κυψέλες καυσίμου κατασκευάζονται από στερεά οξείδια (**Solid Oxide Fuel Cells-SOFC**). Αυτές οι κυψέλες χρησιμοποιούν ως καύσιμο το φυσικό αέριο. Το φυσικό αέριο κατεργάζεται για να απομακρυνθεί το θείο, στη συνέχεια συνδυάζεται με ατμό και άλλα αέρια, ελευθερώνοντας μεθάνιο. Το καύσιμο περνά πάνω από την πλευρά της ανόδου, η οποία «μετατρέπει» το μεθάνιο κάτω από υψηλή θερμοκρασία, σε υδρογόνο. Τα SOFCs μπορούν τεχνικά να χρησιμοποιούν και άλλα καύσιμα, όπως υγραέριο και αιθανόλη, αλλά σε αντίθεση με άλλες κυψέλες καυσίμου, τα SOFCs δεν χρειάζονται καθαρό υδρογόνο.



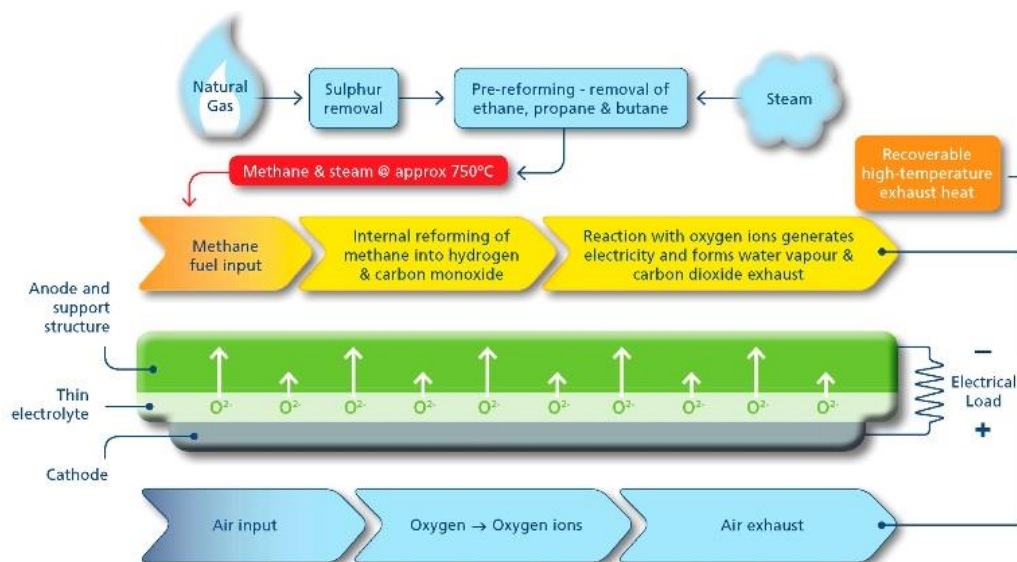
Οι κυψέλες καυσίμου λειτουργούν σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες περίπου 800 °C μέχρι 1000 °C. Μπορούν να αποδώσουν πάνω από 60% κατά τη μετατροπή του καυσίμου σε ηλεκτρική ενέργεια, εάν η θερμότητα που παράγεται επίσης αξιοποιηθεί στην μετατροπή του καυσίμου σε ενέργεια μπορεί να είναι πάνω από 80%. Τα SOFCs χρησιμοποιούν ένα στερεό κεραμικό ηλεκτρολύτη, όπως οξείδιο του ζirkονίου σταθεροποιημένο με οξείδιο του υτρίου, αντί ενός υγρού ή μεμβράνης.

Η υψηλή θερμοκρασία λειτουργίας τους, σημαίνει ότι μπορεί να αναμορφωθεί με τα καύσιμα εντός της ίδιας της κυψέλης, εξαλείφοντας την ανάγκη για εξωτερική αναμόρφωση και επιτρέποντας οι μονάδες να χρησιμοποιούνται με μια ποικιλία από καύσιμα υδρογονανθράκων. Επίσης, είναι σχετικά ανθεκτικά σε μικρές ποσότητες θείου στο καύσιμο, σε σύγκριση με άλλους τύπους κυψελών καυσίμου, και μπορεί ως εκ τούτου να χρησιμοποιηθεί με αέριο άνθρακα.

Ένα περαιτέρω πλεονέκτημα της υψηλής θερμοκρασίας λειτουργίας είναι ότι η κινητική ενέργεια της αντίδρασης βελτιώθηκε, αφαιρώντας την ανάγκη για ένα

καταλύτη μετάλλου. Υπάρχουν, ωστόσο, ορισμένα μειονεκτήματα της υψηλής θερμοκρασίας: τα κύτταρα χρειάζονται περισσότερο χρόνο για να φτάσουν σε θερμοκρασία λειτουργίας, θα πρέπει να είναι κατασκευασμένα από ανθεκτικό υλικό στη θερμότητα και θα πρέπει να θωρακίζεται για να αποφευχθεί η απώλεια θερμότητας. Τα SOFCs χρησιμοποιούνται ευρέως σε μεγάλες και μικρές σταθερές παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Από την πλευρά της καθόδου, το οξυγόνο υψηλής θερμοκρασίας εμφυσάται σε όλη την κάθοδο. Τα ιόντα οξυγόνου, στη συνέχεια διέρχονται διαμέσου μιας μεμβράνης ηλεκτρολύτη και συνδυάζονται με υδρογόνο στην πλευρά ανόδου, δημιουργώντας ηλεκτρικό ρεύμα, νερό και θερμότητα. Όταν ένα φορτίο συνδέεται μεταξύ της ανόδου και της καθόδου, το κύκλωμα ολοκληρώνεται, επιτρέποντας στα ηλεκτρόνια να ρέουν από το πίσω μέρος της ανόδου προς την κάθοδο. Οι περισσότερες επιμέρους κυψέλες καυσίμου παράγουν λιγότερο από ένα βολτ ηλεκτρικής ενέργειας, έτσι ώστε να συναρμολογούνται σε στρώματα που ονομάζονται «στοιβάδες» και αποτελούν μια χρήσιμη τάση. Σήμερα, οι κεραμικές κυψέλες καυσίμου μπορούν να παράγουν καθαρή, αποδοτική ηλεκτρική ενέργεια από ένα ευρέως σύστασης φυσικό αέριο.



Σχήμα 6.3 : Λειτουργία κυψέλης καυσίμου

Μια κυψέλη καυσίμου χρειάζεται εξελιγμένα λειτουργικά συστήματα για να λειτουργήσει σωστά. Οι κεραμικές κυψέλες καυσίμου έχουν τη δυνατότητα να παράγουν ηλεκτρική ενέργεια πολύ πιο αποτελεσματικά και με πιο καθαρό τρόπο από ότι η παραδοσιακή καύση που βασίζεται σε ορυκτά καύσιμα.

Οι κεραμικές κυψέλες μπορούν να παράγουν θερμότητα για τη θέρμανση χώρων και την παραγωγή ζεστού νερού, καθώς και ηλεκτρική ενέργεια που μπορεί να χρησιμοποιηθεί επί τόπου και να διοχετευτεί στο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας. Πολύ γνωστά συστήματα παραγωγής ενέργειας είναι τα φωτοβολταϊκά στοιχεία(ηλιακή) και ανεμογεννήτριες.

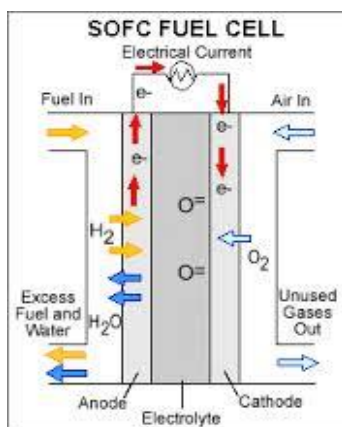
Ωστόσο, οι τεχνολογίες αυτές σε αντίθεση με τις κυψέλες καυσίμου εξαρτώνται από τις καιρικές συνθήκες και δεν μπορούν να παρέχουν σταθερή ηλεκτροδότηση όλο το χρόνο. Υπάρχουν επίσης διάφορα είδη των προϊόντων

παραγωγής που αναπτύσσονται, με βάση μια σειρά τεχνολογιών συμπεριλαμβανομένων κινητήρες **Stirling** και κινητήρες εσωτερικής καύσης. Οι τεχνολογίες αυτές έχουν συχνά χαμηλή ηλεκτρική απόδοση και περιορίζονται από την μεγάλη ποσότητα της θερμότητας που παράγουν.

Οι κεραμικές κυψέλες καυσίμου είναι μια αξιόπιστη πηγή για τη δημιουργία αποδοτικής ηλεκτρικής ενέργειας χαμηλών εκπομπών για μικρή κλίμακα εφαρμογών. Χρησιμοποιώντας το φυσικό αέριο και τα ανανεώσιμα καύσιμα, παράγουν ηλεκτρική ενέργεια κατοικιών, με υψηλές αποδόσεις, καθώς και την κατάλληλη ποσότητα θερμότητας. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε πολλές διαφορετικές αγορές, από την εγχώρια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, όπως για τροφοδοτικά απομακρυσμένων περιοχών, καθώς και βοηθητικές μονάδες ισχύος.

Τα πλεονεκτήματα της χρήσης κεραμικών κυψελών καυσίμου:

- i) Λειτουργούν σε υψηλότερη θερμοκρασία, εξαλείφοντας την ανάγκη για τα πολυτίμα μέταλλα
- ii) Λειτουργούν με έναν αριθμό διαφορετικών καυσίμων υδρογονανθράκων, κυρίως φυσικού αερίου
- iii) Κατάλληλα για συνεχή λειτουργία
- iv) Παράγουν την υψηλότερη ηλεκτρική απόδοση (μέχρι 60%)
- v) Μπορούν να χρησιμοποιήσουν τις τεχνολογίες ανάκτησης θερμότητας για συνολική απόδοση του συστήματος μέχρι 85%
- vi) Έχουν μηδενικές εκπομπές ρύπων και αθόρυβη λειτουργία, με χαμηλές απαιτήσεις συντήρησης σε σύγκριση με τις υπάρχοντες τεχνολογίες νέας γενιάς.



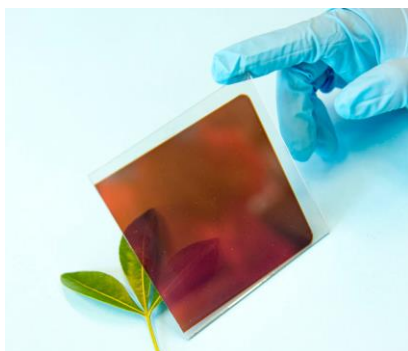
Σχήμα 6.4 : Κεραμική κυψέλη καυσίμου

6.4 Φωτοβολταϊκά συστήματα

Ένας μοναδικός σχεδιασμός για ηλιακό πάνελ γίνεται με ένα νέο κεραμικό υλικό, το οποίο είναι κατάλληλο για την παροχή βιώσιμης ενέργειας, πιο αποτελεσματικό και απαιτείται λιγότερος χρόνος για να κατασκευαστεί. Τις τελευταίες τέσσερις δεκαετίες οι ερευνητές και οι κατασκευαστές έχουν στόχο την ανακάλυψη υλικών για φωτοβολταϊκές εφαρμογές που μπορεί να αξιοποιήσουν την ενέργεια από το ορατό και το υπέρυθρο φως, και όχι μόνο τη υπεριώδη περιοχή του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος.

Τα νέα αυτά υλικά θα αλλάξουν ριζικά τα δεδομένα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από φωτοβολταϊκά με σημαντική αύξηση της παραγωγής σε σχέση με τα σημερινά δεδομένα. Τέτοιο σύστημα αναπτύχθηκε από μια ομάδα με επικεφαλής επιστήμονες από το Πανεπιστήμιο της Πενσυλβάνια και το Πανεπιστήμιο Drexel. Οι δοκιμές διεξήχθησαν, εν μέρει, στο Advanced Photon Source που στεγάζεται στο Υπουργείο Εξωτερικών των ΗΠΑ Argonne National Laboratory της Ενέργειας.

Η ομάδα δημιούργησε μια νέα κατηγορία των κεραμικών υλικών που έχει τρία βασικά πλεονεκτήματα. Κατ' αρχάς, μπορεί να κατασκευάσει ένα ηλιακό πάνελ που είναι λεπτότερο από ότι τα πάνελ με βάση το πυρίτιο, το οποίο είναι το βασικό υλικό της αγοράς σήμερα. Δεύτερον, χρησιμοποιεί φθηνότερα υλικά από εκείνα που χρησιμοποιούνται για αντίστοιχου λεπτού πάχους. Τρίτον, το υλικό είναι σιδηροηλεκτρικό, πράγμα που σημαίνει ότι μπορεί να αλλάξει πολικότητα, ένα βασικό χαρακτηριστικό για την υπέρβαση των ορίων στη θεωρία της ενεργειακής απόδοσης των ηλιακών κυψελών του σήμερα.



Σχήμα 6.5 : Λεπτή ταινία περοβσκήτη

Οι ηλιακοί συλλέκτες έχουν χαμηλή απόδοση όταν τα φωτόνια που συλλέγονται από τον ήλιο εισάγονται στη ηλιακή κυψελίδα και διαχέονται σε όλες τις κατευθύνσεις. Τα φωτόνια που ρέουν προς μια κατεύθυνση διέρχονται από τη διεπιφάνεια των στρωμάτων του υλικού. Κάθε φορά που τα φωτόνια διέρχονται μεταξύ αυτών των στρωμάτων, οποία μερικά «χάνονται», μειώνοντας την ενεργειακή απόδοση του ηλιακού στοιχείου. Το νέο υλικό της ομάδας χρησιμοποιεί λιγότερα στρώματα για να περιορίσει την απώλεια και χρησιμοποιεί σιδηροηλεκτρικό υλικό που απαιτεί λιγότερη ενέργεια διοχέτευσης των φωτονίων. Χρειάστηκαν περισσότερα από πέντε χρόνια για να διαμορφωθεί και να

σχεδιαστεί ένα υλικό με αυτό το συνδυασμό των ιδιοτήτων. Το υλικό χρησιμοποιεί κρύσταλλο περοβσκήτη και κατασκευάζεται σε συνδυασμό με νιοβικό κάλιο και

βάριο νικέλιο. Έχει δείξει σημαντική βελτίωση σε σχέση με το κλασικό σιδηροηλεκτρικού υλικό που χρησιμοποιείται σήμερα. Το νέο υλικό μπορεί να απορροφήσει έξι φορές περισσότερη ενέργεια και να μεταφέρει ένα φωτόνιο 50 φορές πυκνότερο.

« Αυτή η οικογένεια των υλικών είναι ακόμη πιο αξιοσημείωτη, επειδή αποτελείται από φθηνά, μη τοξικά και τη άφθονα γήινα στοιχεία, σε αντίθεση με τα σύνθετα υλικά που χρησιμοποιούν οι ημιαγωγοί που χρησιμοποιούνται σήμερα στην ηλιακή τεχνολογία », δήλωσε ο Jonathan Spanier, ένα μέλος της ομάδας από το Τμήμα Drexel της Επιστήμης και Τεχνολογίας Υλικών.

Οι ερευνητές χρησιμοποίησαν την κρυσταλλογραφική μέθοδο περίθλασης ακτίνων-Χ για να εξασφαλισθεί το υλικό είχε την κρυσταλλική δομή και συμμετρία που προορίζονταν. Αυτό το όργανο δίνει τη δυνατότητα εύκολης και ταχείας πρόσβαση στα διαθέσιμα διαγράμματα περίθλασης υψηλής ανάλυσης, παρέχοντας μια πολύ λεπτομερή και ακριβή εικόνα της ατομικής δομής του κεραμικού υλικού. Χρησιμοποιώντας μια σειρά από πειραματικά εργαλεία, η ερευνητική ομάδα έδειξε την ικανότητα του υλικού να κινηθούν τα φωτόνια σε μία κατεύθυνση, χωρίς διέλευση από πολλά στρώματα, ελαχιστοποιώντας έτσι την απώλεια ενέργειας. Αυτή η ικανότητα ονομάζεται φωτοβολταϊκό φαινόμενο και έχει γίνει γνωστό από το 1970, αλλά, μέχρι σήμερα, ήταν παρατηρήσιμη μόνο σε υπεριώδες ακτινοβολίες και το μεγαλύτερο μέρος της ενέργειας από τον ήλιο είναι στο ορατό και υπέρυθρο φάσμα. Με την προσαρμογή των ποσοστών των συστατικών στοιχείων σε αυτό το νέο υλικό, η ερευνητική ομάδα απέδειξε ότι μπορεί να μειώσει την ποσότητα της ενέργειας που απαιτείται για την επαγωγή αγωγιμότητας, δηλαδή να μειώσει το ενεργειακό χάσμα του υλικού. Το διάκενο του μητρικού υλικού είναι στην περιοχή του υπεριώδους, αλλά προσθέτοντας μόνο το 10 τοις εκατό του νικελίου του βαρίου κινείται το ενεργειακό χάσμα μετακινείται στη ορατή περιοχή του φάσματος και κοντά στην επιθυμητή τιμή για την αποδοτική μετατροπή της ηλιακής ενέργειας.

Η μελέτη έγινε με επικεφαλής τον καθηγητή Andrew Rappe και τις εξειδικευμένες έρευνες Ilya Grinberg του Τμήματος Χημείας στη Σχολή των Τεχνών και των Επιστημών του Penn, μαζί με τον Peter Davies του Τμήματος Επιστήμης και Τεχνολογίας Υλικών της Σχολής Μηχανικής και Εφαρμοσμένων Επιστημών, και Spanier από το Πανεπιστήμιο Drexel.



Σχήμα 6.6 : Φωτοβολταϊκό σύστημα περοβσκήτη

6.5 Αιολική ενέργεια

Οι ανεμογεννήτριες και τα εξαρτήματά τους, εκτίθενται σε μια σειρά από δύσκολες περιβαλλοντικές συνθήκες όπως διάβρωση, σκόνη, υγρασία, υπεριώδης ακτινοβολία, και μεταβολές της θερμοκρασίας, που οδηγούν στη συμπίκνωση και στην εξάτμιση της υγρασίας. Όπως η βενζίνη σε μια πυρκαγιά, η διάβρωση μπορεί να λειτουργήσει ως επιταχυντής, με αποτέλεσμα να υπάρξει καταστροφική βλάβη ενός εξαρτήματος.

Για την προστασία από τη διάβρωση και άλλες περιβαλλοντικές συνθήκες, μια πολυ-λειτουργική επίστρωση έχει εισαχθεί πρόσφατα για χρήση σε εξαρτήματα που βρίσκονται στις ανεμογεννήτριες και σε άλλες εφαρμογές, όπου η μακροπρόθεσμη αξιοπιστία είναι ζωτικής σημασίας. Προορίζεται να αντικαταστήσει μεγαλύτερες επιφανειακές επεξεργασίες, όπως το φωσφορικό ψευδάργυρο, τις οργανικές επικαλύψεις και τη ηλεκτρολυτική επικάλυψη, με επικάλυψη από προηγμένο κεραμικό υλικό το οποίο συνδυάζει αντοχή στη διάβρωση, στη θερμοκρασία και στην τριβή, μεγαλύτερη από τις παραδοσιακές επικαλύψεις, καθώς είναι φιλική προς το περιβάλλον.

Επιπλέον, η κεραμική επίστρωση βελτιώνει την αισθητική των τελικών προϊόντων, αυξάνοντας σημαντικά τη διάρκεια ζωής των εξαρτημάτων. Η επικάλυψη μπορεί να μειώσει και το κόστος της επεξεργασίας, επιτρέποντας τη χρήση του σε χαμηλότερο κόστος υλικών. Η κεραμική επικάλυψη, εφαρμόστηκε σε μια διαδικασία «πράσινης» επένδυσης, παρατείνει τη διάρκεια ζωής των εξαρτημάτων που χρησιμοποιούνται σε χερσαίες και υπερράκτιες τοποθεσίες παραγωγής αιολικής ενέργειας, παρέχοντας υλικά με μεγάλη σκληρότητα, εύκαμπτα και ανθεκτικά.

Αυτές οι επιστρώσεις χρησιμοποιούνται ευρέως στα θαλάσσια οχήματα, αυτοκίνητα, σκεύη και τις βιομηχανίες, με αποτέλεσμα να προστατεύουν τα μέρη που είναι εκτεθειμένα σε υγρασία, καύσιμα, λάδι, άλατα και άλλους περιβαλλοντικούς ρύπους.



Σχήμα 6.7: Κεραμική επίστρωση ανεμογεννητριών

Τα κεραμικά υλικά δημιουργήθηκαν για την εφαρμογή σε αιολική ενέργεια το 2007 από την εταιρεία Henkel Corp ως Alodine EK², η κεραμική επίστρωση λειτουργεί στις επιφάνειες των πιο ελαφρών μετάλλων όπως το αλουμίνιο, τα κράματα αλουμινίου, το τιτανίο, τα κράματα τιτανίου και σε υποστρώματα αλουμινίου. Η επικάλυψη είναι επίσης κατάλληλο για σιδηρούχα υλικά. Με βάση από τιτανίο η κεραμική επικάλυψη σχηματίζει ένα προστατευτικό στρώμα οξειδίου του τιτανίου που αντιστέκεται στη διάβρωση, αντοχή στη φθορά αυξάνει και μειώνει την επιφάνεια τριβής της τελικής επικαλυμμένης επιφάνειας. Το κεραμικό στρώμα παρέχει ένα λείο τελείωμα, έτσι ώστε τα μέρη να έχουν γενικά μια απαλή αίσθηση.

Η επικάλυψη μπορεί να παρέχει μακροχρόνια προστασία των εξωτερικών και εσωτερικών εξαρτημάτων ανεμογεννητριών, όπως στη λεπίδα, στις σκάλες, στις πλατφόρμες, στα όργανα, στα στηρίγματα, και στους συνδετήρες. Το φινιρίσμα εμφανίζεται ως ένα ελαφρύ μεταλλικό γκρι και δεν απαιτεί καμία χημική, θερμική ή άλλη μετατροπή. Το υλικό βελτιώνει σημαντικά την κατακράτηση των ελαίων και των λιπαντικών. Η διαδικασία της επικάλυψης είναι λιγότερο πολύπλοκη από ότι με τις παραδοσιακές επικαλύψεις, απαιτεί λιγότερα στάδια επεξεργασίας, που επιτρέπει ταχύτερη διαδικασία επεξεργασίας και τη μείωση του κόστους. Οι μηχανικές και οι χημικές απαιτήσεις του κύκλου ζωής των τελικών τμημάτων υπαγορεύουν στα υποστρώματα να επιλέγονται για χρήση σε ένα συγκρότημα. Οι σχεδιαστές και οι επαγγελματίες της διαδικασίας επιλέγουν τα κατάλληλα υποστρώματα για ένα περιβάλλον κατά την τελική χρήση και τις δυνάμεις που βιώνει κυρίως για τα εξαρτήματα μεγάλων μηκών. Το κόστος ενός υλικού και η καταλληλότητά του για την εφαρμογή του είναι οι πιο σημαντικοί παράμετροι στην επιλογή υποστρώματος.

Χρησιμοποιώντας λιγότερο πυκνά υλικά, οι σχεδιαστές μπορούν να μειώσουν το βάρος των συστατικών. Μέσω υποκατάστασης υλικών, οι κατασκευαστές μπορούν να μειώσουν το συνολικό κόστος υλικών, χωρίς να θυσιάζει τις επιδόσεις και τη διάρκεια ζωής τους. Η κεραμική επικάλυψη επισκευάζεται πολύ εύκολα με την εναπόθεση πρόσθετης επίστρωσης στην κατεστραμμένη περιοχή. Οι επικαλύψεις αυτές παρέχουν μια επιφάνεια που είναι έτοιμη για βαφή και συγκόλληση.



Σχήμα 6.8 : Κεραμική επίστρωση τουρμπίνας ανεμογεννήτριας της Henkel Corp

6.6 Αποθήκευση ενέργειας

Οι ερευνητές στο Rensselaer Polytechnic Institute εμπλέκονται σε μια τετραετή έρευνα, έργο περίπου δύο εκατομμυρίων δολαρίων για τη δημιουργία κεραμικών υλικών για χρήση σε μια νέα διαδικασία αποθήκευσης ενέργειας. Ελπίζουν να χρησιμοποιούν τις μοναδικές ιδιότητες των κεραμικών για την αύξηση της αιολικής ενέργειας και ηλιακής ενέργειας σε μεγάλη κλίμακα.

Η επιχορήγηση γίνεται από το αμερικανικό Εθνικό Ίδρυμα Επιστημών, η μελέτη στοχεύει στην ανάπτυξη νέων κεραμικών υλικών για χρήση σε μια νέα προσέγγιση για την αποθήκευση της ενέργειας. Αντί για μπαταρίες, οι ερευνητές θα αναπτύξουν νανοδομημένους πυκνωτές για την αποθήκευση της ενέργειας που παράγεται και μετατρέπεται από ανεμογεννήτριες και ηλιακούς συλλέκτες. Με εξαιρετικά υψηλή πυκνότητα ισχύος και την ικανότητα να φορτίζονται και αποφορτίζονται πολύ γρήγορα, αυτοί οι πυκνωτές θα μπορούσαν να απαραίτητοι σε ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών, παράδειγμα στην παραγωγή ενέργειας σε ηλεκτρονικά στοιχεία για την εθνική άμυνα.

« Η μετασχηματιστική φύση της χωρητικής αποθήκευσης ενέργειας - μια εντελώς νέα προσέγγιση για την αποθήκευση της ενέργειας - θα έχει τεράστια επίδραση στην αυξημένη χρήση και την αποτελεσματικότητα της αιολικής και ηλιακής ενέργειας, όπως ο συμβατικός άνθρακας, στην πυρηνική και στην υδροηλεκτρική παραγωγή », δήλωσε ο Doug Chrisey , καθηγητής στο Τμήμα Επιστήμης και Τεχνολογίας Υλικών στο Rensselaer, ο οποίος ηγείται της μελέτης. Επίσης δήλωσε ότι αυτοί οι πυκνωτές θα είναι μικρότεροι, ελαφρύτεροι και πιο αποτελεσματικοί από ότι οι σημερινές μπαταρίες. Τα προηγμένα κεραμικά υλικά είναι ένα πραγματικά καινοτόμο υλικό και μπορεί να βοηθήσει την κάλυψη των μελλοντικών ενεργειακών αναγκών.

« Σε αντίθεση με μια μπαταρία, η οποία τροφοδοτεί από ένα συνεχές επίπεδο χαμηλής ισχύος για μεγάλη χρονική περίοδο, ένας πυκνωτής μετακινεί μεγάλες ποσότητες ισχύος πολύ γρήγορα, όπου τον καθιστά ιδανική λύση για αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας » πρόσθεσε ακόμα ο Chrisey, « θα επιτρέψει την γρήγορη αποθήκευση ενέργειας και την απαλλαγή σε όσο το δυνατόν μικρότερο όγκο ή μάζα». Για να επιτευχθεί αυτό, οι ερευνητές θα αναπτύξουν ένα πυκνωτή με νανοδομή που περιέχει εξαιρετικά λεπτές στρώσεις ενός νέου σύνθετου υλικού. Το σύνθετο υλικό είναι ένα μίγμα σιδηροηλεκτρικών νανοκόνων και χαμηλής θερμοκρασίας τήξης, αλκαλικό γυαλί. Το αποτέλεσμα είναι ένας πυκνωτής που αντέχει στα υψηλά ηλεκτρικά πεδία και διατηρεί μια εξαιρετικά υψηλή διηλεκτρική σταθερά - δύο κρίσιμων μετρήσεων για τη μέτρηση της αποτελεσματικότητας των υλικών αποθήκευσης ενέργειας. Εκτός από τη βελτιστοποίηση και την τελειοποίηση της σύνθεσης του νέου κεραμικού υλικού, ο Chrisey και η ομάδα είναι επιφορτισμένοι για την ανάπτυξη νέων μεθόδων για να κάνει το υλικό εύκολα και σε μεγάλες ποσότητες.

6.7 Πυρηνική Ενέργεια

Η πυρηνική ενέργεια είναι ένας « νεκρός » τομέας, στη Γερμανία και στην Ελβετία, και ίσως σε μερικές άλλες χώρες. Αλλά σε πολλά άλλα μέρη του κόσμου υπάρχει αρκετό ενδιαφέρον για την πυρηνική ενέργεια, σύμφωνα με ένα πρόσφατο άρθρο στο *περιοδικό της Αμερικανικής Εταιρείας Κεραμικών*, δίδεται ζωή στις οικονομίες σε μέρη όπως η Κίνα, το Βιετνάμ και την Ινδία. Είναι ενδιαφέρον επίσης να τονίσουμε, ότι τα Ηνωμένα Αραβικά Έθνη και η Σαουδική Αραβία συνεργάζονται στο σχεδιασμό του πυρηνικού εργοστασίου. Στην Ευρώπη, η Φινλανδία και η Γαλλία λειτουργούν ήδη πυρηνικά εργοστάσια, καθώς και η βρετανική κυβέρνηση στηρίζει σχέδια για την κατασκευή 12 νέων πυρηνικών αντιδραστήρων για τα επόμενα 10 χρόνια για να αντικατασταθεί η γήρανση του στόλου της. Ακόμα και η Ιαπωνία, η οποία υπέστη το καταστροφικό τσουνάμι και την καταστροφή της [πυρηνική εγκατάσταση Fukushima Daiichi](#), είναι αργή και σχολαστική η επανενεργοποίηση των πυρηνικών εργοστασίων που έκλεισαν μετά την καταστροφή τον Μάρτιο του 2011, σύμφωνα με μια έκθεση από το web site [Παγκόσμια Πυρηνική Ένωση](#).

Έτσι, ενώ ορισμένες χώρες υιοθετούν μια προσέγγιση στρουθοκαμηλισμού, οι ερευνητές σε άλλες χώρες εργάζονται για την ανάπτυξη νέων τεχνολογιών για να εξασφαλιστεί η παραγωγή πυρηνικής ενέργειας που παραμένει ένας ισχυρός παράγοντας στον ενεργειακό χαρτοφυλάκιο. Πολλές απαιτήσεις οδηγούν στην ανάγκη για νέες τεχνολογίες από την έλευση της πυρηνικής ενέργειας πριν από περισσότερο μισό αιώνα. Περιλαμβάνουν τη βελτίωση της ασφάλειας και της αξιοπιστίας, τη μεγαλύτερη διάρκεια ζωής, τη διάθεση των αποβλήτων, και τη βελτιωμένη "αντίσταση στη διάδοση." (Αυτό το τελευταίο στοιχείο σχετίζεται με «αναπροσανατολισμό» των αναλωμένων ή τη κλοπή καυσίμων για όπλα.) Κάθε πτυχή παραγωγής της πυρηνικής ενέργειας απαιτεί κεραμικά υλικά, από το καύσιμο για το σχεδιασμό του αντιδραστήρα με τη συγκράτηση των αποβλήτων. Στις ΗΠΑ, μια πρόσφατη [είδηση](#) από το Oak Ridge National Laboratory DOE παρέχει κάποιο πλαίσιο, για το σχεδιασμό πυρηνικών καυσίμων υπαγορεύει το σχεδιασμό πυρηνικών αντιδραστήρων. Ο Σχεδιασμός πυρηνικών καυσίμων σήμερα έχει λειτουργήσει καλά για τα τελευταία 60 χρόνια. Ο επιστήμονας Lans Snead λέει, "Οι πυρηνικοί αντιδραστήρες, είναι πολύ ακριβά συστήματα είναι αφιερωμένα στην εξασφάλιση ότι τα προϊόντα της σχάσης από καιόμενα καύσιμα δεν ξεφεύγουν από το φυτό κάτω από οποιεσδήποτε συνθήκες. Ως αποτέλεσμα, οι πυρηνικοί σταθμοί δεν μπορούν να ανταγωνιστούν με τις εγκαταστάσεις φυσικού αερίου όσον αφορά το κόστος. Μέχρι να αναπτύξουμε μια λιγότερο ακριβή τεχνολογία των καυσίμων, η πυρηνική βιομηχανία θα υστερεί σε σχέση με άλλες εναλλακτικές πηγές ενέργειας, και θα συνεχίσουμε να καίνε ορυκτά καύσιμα. "

Οι Ερευνητές στο ORNL, Imperial College του Λονδίνου, και σε άλλες ερευνητικά προγράμματα, περιμένουν ότι κεραμικά υλικά είναι σημαντικά για το σχεδιασμό των καυσίμων καθώς και το σχεδιασμό του αντιδραστήρα. Ξεκινώντας με τα

καύσιμα, η παλλόμενη καρδιά του αντιδραστήρα, η [ισοτροπική καυσίμου](#) (TRISO) του σχεδιασμού ήταν υπό ανάπτυξη για πολλά χρόνια. Σε αυτό το σχέδιο, οι μικροσφαίρες καυσίμων είναι έγκλειστες σε τρία στρώματα, όπως ένα ρυθμιστικό στρώμα άνθρακα, ένα πυκνό πυρολυτικό στρώμα άνθρακα και το καρβίδιο του πυριτίου. Τα σχέδια καυσίμου TRISO παρέχουν βελτιωμένη ασφάλεια σε ακραίες καταστάσεις, αυτο-ενθυλάκωσης των αναλωμένων καυσίμων και μεγαλύτερη διάρκεια ζωής των καυσίμων. Η ομάδα ORNL ερευνά ένα νέο σχέδιο TRISO που ονομάζουν «κεραμικά πλήρως μικροενθυλακωμένων καυσίμων», η οποία αναπτύχθηκε από μια προσπάθεια να αναπτύξει ένα νέο σχέδιο καυσίμων που φαίνεται και εκτελείται παρόμοια με τα καύσιμα που ήδη υπηρετούν. Το Καρβίδιο του πυριτίου προσφέρει αντίσταση ακτινοβολίας, αντίσταση ατμού και αντοχή.

Σύμφωνα με το άρθρο *JACerS*, «Ευκαιρίες για Προηγμένα Κεραμικά και Σύνθετα Υλικά στον πυρηνικό τομέα» διατυπώνεται, ότι τα κεραμικά θα είναι σημαντικά για πολλές πτυχές της τεχνολογίας των καυσίμων, από τα ίδια τα καύσιμα για το σχεδιασμό του στοιχείου. Η έμφαση δίνεται στην ανάπτυξη νέων καυσίμων με βάση το οξειδίο του θορίου, ή με την ενσωμάτωση δύσκολων στοιχείων καύσης, όπως το ποσειδώνιο. Τα Καύσιμα λειτουργούν διεσπαρμένα σε μια μεταλλική μήτρα ή κεραμική μήτρα που μπορεί τελικά να αντικαταστήσει το συμβατικό σύστημα ιζήματος του ουρανίου.

Εκτός από τα καύσιμα, οι νέες προσεγγίσεις για τα απόβλητα συγκράτησης είναι υπό έρευνα. Οι θερμικές διεργασίες για τον περιορισμό των αποβλήτων προκύπτουν από ακινητοποίηση των αποβλήτων μέσω τσιμεντοποίησης, ασφαλτοποίησης ή υαλοποίησης. Οι ερευνητές μελετούν ένα ευρύτερο φάσμα των θερμικών διεργασιών που περιλαμβάνουν τη θερμή ισοστατική τη συμπίεση, τη πυρόλυση και τις νέες τεχνολογίες υαλοποίησης όπως η τήξη του πλάσματος. Επίσης έχει αποδειχθεί μέσα από τις έρευνες των παραπάνω προγραμμάτων ότι είναι δυνατό να ενσωματωθούν ακτίνες απευθείας στις κρυσταλλικές δομές κεραμικών όπως τις δομές του περοβσκίτη. Επιπλέον, τα κεραμικά υλικά όπως το $BaTiO_3$ αναμένεται να είναι χρήσιμα διότι περιέχουν διαχωρίζοντα ρεύματα αποβλήτων.

Τέλος, τα κεραμικά υλικά που ερευνώνται για χρήση σε διάφορες συνιστώσες του αντιδραστήρα, είναι το ορθοπυριτικό λίθιο, το SiC , οι σύνθετοι άνθρακες, καθώς και άλλες περιοχές που απαιτούν την ακτινοβολία, ατμό, και τη θερμική ανοχή.

Η έρευνα από την ομάδα του Imperial College του Λονδίνου με επικεφαλή τον William Lee, σημειώνει ότι η κεραμική επεξεργασία είναι ζωτικής σημασίας για την ενσωμάτωση κεραμικών σε όλες τις πτυχές της αναδυόμενης πυρηνικής τεχνολογίας. Ερευνούν επίσης υλικά που συνδυάζουν μοντελοποίηση και πειράματα για να βελτιωθεί η κατανόηση των αντιδράσεων που εμπλέκονται στην ανακάλυψη των συνθέσεων και τις μικροδομές που θα εξυπηρετήσουν καλύτερα σε περιβάλλον με ακραίες συνθήκες λειτουργίας των πυρηνικών αντιδραστήρων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

Εφαρμογές των προηγμένων κεραμικών στην ιατρική και οδοντιατρική

7.1 Εισαγωγή

Τα βιοκεραμικά είναι κεραμικά υλικά ειδικά σχεδιασμένα για χρήση ως ιατρικά και οδοντικά εμφυτεύματα. Συνήθως χρησιμοποιούνται για την αντικατάσταση σκληρού ιστού στο σώμα, όπως οστά και δόντια. Τα κοινά βιοκεραμικά υλικά είναι κατασκευασμένα από αλουμίνα, ζirkονία και μια μορφή φωσφορικού ασβεστίου που είναι γνωστή ως υδροξυαπατίτης. Τα βιοκεραμικά υλικά θεωρούνται ως βιοδραστικά υλικά, τα οποία έχουν την ικανότητα να αλληλεπιδρούν με το σώμα, με αποτέλεσμα η συγκόλληση των ιστών και η ενδεχόμενη ενσωμάτωση στο σώμα να συμβαίνει μετά από ένα ορισμένο χρόνο. Τα βιοκεραμικά από ασβέστιο βασίζονται σε φωσφορικά άλατα τα οποία είναι βιοδραστικά. Τα κεραμικά υλικά που θεωρούνται ως βιοαδρανή δεν αλληλεπιδρούν με το περιβάλλον του σώματος, εκτός από την πρόκληση μιας αρχικής αντίδρασης «ινώδους ιστού», ο οποίος επικαλύπτει το κεραμικό. Τα κεραμικά υλικά που έχουν βάση από αλουμίνα και ζirkονία έχουν χαρακτηριστεί ως βιοαδρανή υλικά.

Τα βιοκεραμικά με βάση την αλουμίνα χρησιμοποιούνται ως εμφυτεύματα ή πρόσθετα σε εγχειρήσεις του ισχίου και του γόνατος. Η αδράνεια των συγκεκριμένων κεραμικών δίνουν την ιδιότητα στα υλικά να παρουσιάζουν υψηλή αντοχή στη φθορά και εξαιρετική βιοσυμβατότητα του. Οι υψηλές ιδιότητες της αλουμίνας, την καθιστούν ένα ιδανικό υλικό επίσης και για οδοντικά εμφυτεύματα. Τα βιοκεραμικά με βάση την ζirkονία δεν έχουν υψηλή αντοχή στη φθορά σε σχέση με υλικά από αλουμίνα και δεν χρησιμοποιούνται τόσο ευρέως στις εφαρμογές των οστών. Ωστόσο, η αντοχή σε θραύση και η αντοχή σε κάμψη τους δίνουν πρόσθετες ιδιότητες.

Τα βιοκεραμικά με βάση το φωσφορικό ασβέστιο μπορεί να συνδεθούν στα οστά. Μια δημοφιλής χρήση αυτών των κεραμικών είναι ως επικαλύψεις στην οδοντιατρική και σε ορθοπεδικά εμφυτεύματα. Για παράδειγμα, οι γέφυρες που χρησιμοποιούνται στην οδοντιατρική έχουν βάση από τιτανίο με επικάλυψη υδροξυαπατίτη, το οποίο έχει την ιδιότητα μιας μεγαλύτερης διάρκειας εφαρμογή σε σύγκριση με τα κοινά υλικά. Ο υδροξυαπατίτης δεσμεύεται χημικά με το ζωντανό οστό, διότι είναι ένα βιοενεργό κεραμικό. Επίσης μια άλλη εφαρμογή του υδροξυαπατίτη είναι σε τραύματα που έχουν προκληθεί από τροχαία ατυχήματα, παράδειγμα μια συντριβή οστού που απαιτεί ανακατασκευή. Η διαφορά της μεθόδου αυτής είναι ότι η εφαρμογή αυτή

περιλαμβάνει τη χρήση υδροξυαπατίτη από βοοειδή , ο οποίος έχει πρόσφατα δοκιμαστεί με μεγάλη επιτυχία σε πρόβατα και σκύλους.

7.2 Εφαρμογές των προηγμένων κεραμικών υλικών στην ιατρική

Με την εξέλιξη της τεχνολογίας, στην εμπειρία του σχεδιασμού και τις εξειδικευμένες δυνατότητες παραγωγής, οι κατασκευαστές ιατρικών συσκευών προσπαθούν να αναπτύξουν ανταγωνιστικές προσαρμοσμένες λύσεις για να καλύψουν τις ανάγκες της ιατρικής χρησιμοποιώντας προηγμένα κεραμικά υλικά. Τα υλικά αυτά διασφαλίζουν υψηλά πρότυπα αξιοπιστίας και επαναληψιμότητας που απαιτείται για το ανθρώπινο σώμα , όπως εμφυτευμάτα και ιατρικές εφαρμογές.

Οι κύριες εφαρμογές είναι οι εξής:

- Πρόσθετα μέλη
- Χειρουργικά εργαλεία
- Διαγνωστικός εξοπλισμός
- Αναλώσιμα
- Όργανα
- Διαχωρισμός του αίματος
- εξοπλισμός X-Ray
- Ηλεκτρονικά εμφυτεύματα
- Οθόνες υπερύχων
- Ιατρική Απεικόνιση
- Καθετήρες
- Βηματοδότες
- Εργαλεία Υπερήχων
- Έλεγχος DNA
- Συστήματα Αιμοκάθαρσης
- Εμφυτεύματα

7.2.1 Ιατρικός εξοπλισμός

Ιατρικά εργαλεία

Τα προηγμένα κεραμικά υλικά CIM (Ceramic Injection Moulding) έχουν την ικανότητα η οποία είναι ιδανική για τη μηχανική των περίπλοκων χαρακτηριστικών για τα μικρά εξαρτήματα. Τα υλικά έχουν επίχρισμα DLC (Diamond Like Carbon) , το υλικό αυτό είναι βιοσυμβατό με το ανθρώπινο σώμα, παρέχει συμβατή αποστείρωση, παρουσιάζει χαμηλή τριβή και είναι πολύ ανθεκτικό στη επιφανειακή φθορά, για βασικά σημεία. Τα κράματα που χρησιμοποιούνται για την επικάλυψη των εργαλείων, παρέχουν υψηλή αντοχή με την ένταξη της κεραμικής σε μέταλλα και μπορούν να χρησιμοποιούνται σε ηλεκτρικές δομές. Τα πιεζοηλεκτρικά κεραμικά υλικά και οι αισθητήρες (transducers) στους οποίους χρησιμοποιούνται προσφέρουν λύσεις σε πολλές χειρουργικές εφαρμογές, όπως στα νυστέρια και σε υπερήχους υψηλής εστιασμένης έντασης High-Intensity Focused Ultrasound (HIFU).

Οι αισθητήρες HIFU έχουν μεγάλη ακουστική ευαισθησία και χρησιμοποιούνται στην ιατρική έρευνα.

Αισθητήρες ,για παράδειγμα , διαμέτρου 60 χιλιοστών με κεντρική συχνότητα στο 1 MHz ή 0.67MHz οποία είναι ικανοί να παράγουν ακουστική δύναμη τουλάχιστον 85W. Έχουν μια εστιακή απόσταση 75 mm και σε συνδυασμό με εστιακή έκταση μικρότερη από 5mm² παράγουν εστιακή ένταση άνω των 1700 W/cm² . Αισθητήρες με διάμετρο 19 mm με κεντρική συχνότητα 5MHz. Έχουν μια εστιακή απόσταση 15 mm και εστιακή διάμετρο 350μm και παράγουν εστιακή ένταση άνω των 20kW/cm².

Τα υλικά όπως η Αλουμίνα και η Ζιρκονία μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την κατασκευή καθετήρα. Οι μοναδικές θερμικές ιδιότητες του Πυριτίου βοηθούν στον έλεγχο ψύξης και στην αποφυγή ρωγμών κατά τη διάρκεια της παραγωγής οδοντικών αποκαταστάσεων.



Σχήμα 7.1 : Χειρουργικά Εργαλεία με επικάλυψη προηγμένων κεραμικών υλικών

1. Εξοπλισμός ιατρικής απεικόνισης

Οι δυνατότητες που έχουν τα προηγμένα κεραμικά υλικά τα καθιστούν κατάλληλα για την εφαρμογή σύνθετων συγκροτημάτων που επιτρέπουν στους κατασκευαστές να αναπτύξουν ισχυρές λύσεις στον τομέα της ιατρικής επιστήμης. Ο σύγχρονος εξοπλισμός υπερήχων X-Ray διαθέτει κεραμική τεχνολογία, επικάλυψη μετάλλων, η τεχνολογία αυτή εξασφαλίζει εξαιρετικά αποτελέσματα. Τα προηγμένα κεραμικά υλικά προσφέρουν υψηλή αντίσταση σε θερμικό σοκ, αυξημένη ανθεκτικότητα και υψηλές ηλεκτρικές ιδιότητες που επιτρέπουν τις υψηλότερες επιδόσεις λειτουργίας. Οι εφαρμογές αυτές περιλαμβάνουν τα πιεζοηλεκτρικά Κεραμικά και σύνθετα υλικά, αισθητήρες υπερήχων και αισθητήρες πίεσης, συνεπώς αποδεικνύουν ότι μπορούν να προσαρμοστούν σε κάθε εφαρμογή. Τέλος οι Κεραμικοί πυκνωτές μπορούν να σχεδιαστούν για την ακριβή ρύθμιση του εξοπλισμού απεικόνισης.



Σχήμα 7.2 : Κεραμική επικάλυψη σε εξοπλισμό x-Ray

2. Μετατροπείς ενέργειας

Οι σύγχρονοι μετατροπείς ενέργειας είναι κατασκευασμένοι από ειδικά σχεδιασμένα πιεζοηλεκτρικά -κεραμικά υλικά, καθώς χαρακτηρίζονται από χαμηλή διηλεκτρική απώλεια και υψηλή μηχανική ενέργεια. Ένας τέτοιος μετατροπέας είναι κατάλληλος στη χρήση συσκευής καθαρισμού με υπέρηχους. Οι παράγοντες υψηλής σύζευξης και η εξαιρετική μηχανική σταθερότητα δίνει την δυνατότητα στη συσκευή να λειτουργεί με υψηλή ταλάντωση. Η εφικτή ενεργή ισχύς σε διαμορφώσεις μετατροπέα (που εκπέμπουν μονομερώς σε νερό) κυμαίνεται μεταξύ περίπου 7 και 10 W / cm².

Η μέγιστη θερμοκρασία λειτουργίας του κεραμικού πιεζο-κεραμικού υλικού είναι 125 °C. Η Θλιπτική αντοχή του εξαρτάται από τις συνθήκες τοποθέτησης (ομοιογενής κατανομή φορτίου) με 70 MPa κατ 'ανώτατο όριο σε συνεχή λειτουργία. Αυτοί οι σύγχρονοι μετατροπείς ενέργειας είναι πλέον οι δημοφιλέστεροι στη χρήση των ιατρικών εξοπλισμών. Ένα παράδειγμα είναι τα χειρουργικά νυστέρια.

3. Χειρουργικά νυστέρια

Ένα σύνθετο αισθητήριο που αποτελείται από πολλά μικρά κομμάτια από πιεζο-κεραμικά κεραμικά δαχτυλίδια κυμαίνεται σε συχνότητες μεταξύ 20 kHz και 80 kHz. Τα παραπάνω αποτελούν ένα μικρό νυστέρι σε ένα ιατρικό εργαλείο για να δονείται, επιτρέποντας στον χειρουργό να εκτελεί λεπτομερώς, μικρές και πολύ ακριβείς τομές χρησιμοποιώντας ουσιαστικά λιγότερη δύναμη για τη τομή και χωρίς να καταστρέφεται ο περιβάλλοντας ιστός .

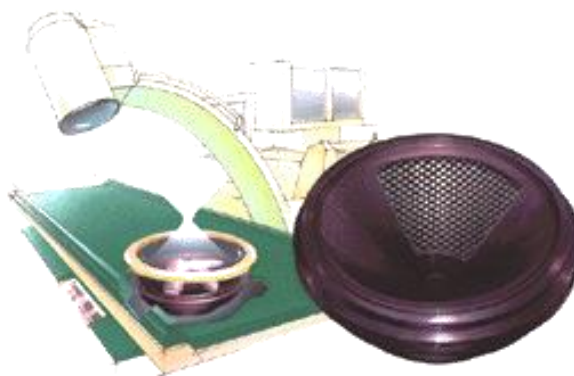


Σχήμα 7.3 : Πιεζοηλεκτρικά κεραμικά υλικά

4. Εξοπλισμός Λιθοτριψίας

Ένας μεγάλος αριθμός των πιεζο-κεραμικών υλικών συνδέονται με την εσωτερική πλευρά ενός κοίλου κελύφους σε ειδική συσκευή Λιθοτριψίας. Ένας παλμός υψηλής τάσης εφαρμόζεται ταυτόχρονα σε όλα αυτά τα κεραμικά στοιχεία για να

παραχθεί ένα υπερηχητικό κύμα από μηχανικό σοκ. Χάρη στην κοίλη μορφή του κελύφους, η τάση συγκεντρώνεται σε ένα σημείο. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα η συσκευή λιθοτριψίας να λειτουργεί με υψηλή ενέργεια και να διαλύει τις πέτρες στα νεφρά και τα θραύσματα που μπορεί να παραμείνουν στο σώμα να αποβληθούν με φυσικό τρόπο. Αυτή η καινοτομία που εφαρμόζεται στη συσκευή λιθοτριψίας καθιστά δυνατή την απομάκρυνση των πετρωμάτων σε νεφρά και χολή, χωρίς αναισθησία και χειρουργική επέμβαση, καθώς η διαδικασία αυτή είναι σχετικά ανώδυνη.



Σχήμα 7.4 : Συσκευή Λιθοτριψίας

5. Οδοντιατρικός τροχός

Ένας σύνθετος μετατροπέας, ο οποίος αποτελείται από δύο έως οκτώ μικρούς πιεζο-κεραμικούς δακτύλιους, ταλαντώνεται σε συντονισμό σε συχνότητες μεταξύ 20 kHz και 80 kHz και κινεί ένα οδοντιατρικό ιατρικό εργαλείο με τη μορφή τροχού. Το ρύγχος ψύχεται με νερό ή σε ειδικά υγρά. Η υψηλή συχνότητα ταλάντωσης του εργαλείου σε μικρά πλάτη (στην κλίμακα μm) καθιστά δυνατή την πλήρη αφαίρεση της πλάκας χωρίς να καταστραφεί το δόντι.

6. Κεραμικές σφαίρες άλεσης

Κεραμικές σφαίρες άλεσης και επενδύσεις είναι κατάλληλες για εφαρμογές λειοτρίβησης. Η άλεση των μη σιδηρούχων υλικών είναι απαραίτητη σε πολλές διαδικασίες, όπως για παράδειγμα σε ιατρικές ή φαρμακευτικές εφαρμογές, προκειμένου να αποφευχθούν ανεπιθύμητες ακαθαρσίες στα υλικά λείανσης που χρησιμοποιούνται. Τα Κεραμικά μέσα άλεσης είναι επίσης κατάλληλα για χρήση σε διεργασίες όπου η ανάμιξη και η διασπορά παίζουν σημαντικό ρόλο. Στην πλειοψηφία αυτών των διεργασιών άλεσης, ο στεατίτης και η αλουμίνα είναι τα πιο κοινά κεραμικά υλικά που χρησιμοποιούνται για την άλεση σε μορφή μπάλας. Οι σφαίρες άλεσης και οι επενδύσεις κατασκευάζονται με στεατίτη. Αυτό το υλικό είναι διαθέσιμο σε ένα ευρύ φάσμα, το υλικό πλήρει τις διαστάσεις που απαιτούνται σε πολύ εξειδικευμένες διαδικασίες άλεσης και στον εξοπλισμό που χρησιμοποιείται στη βιομηχανία.



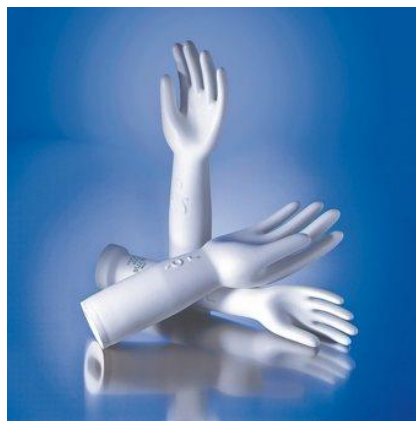
Σχήμα 7.6 : Κεραμικές σφαίρες άλεσης

8. Κεραμικοί διαμορφωτές

Υπάρχουν πάνω από 1.800 διαφορετικοί βυθιζόμενοι κεραμικοί διαμορφωτές με σύνθεση πλαστικού, latex ή βινυλίου που χρησιμοποιούνται σε βιομηχανικές, οικιακές και χειρουργικές εφαρμογές. Οι κεραμικοί διαμορφωτές χρησιμοποιούνται για την κατασκευή λαστιχένιων γάντιών, που χρησιμοποιούνται ως χειρουργικά γάντια, γάντια εξέτασης, γάντια οικιακής και βιομηχανικής χρήσης.

Οι βυθιζόμενοι κεραμικοί διαμορφωτές κατασκευάζονται από ειδική πορσελάνη και παρουσιάζουν τα εξής χαρακτηριστικά:

- Αντίσταση σε θερμικό σοκ
- Αντίσταση κατά διαβρωτικά μέσα
- Χαμηλό συντελεστή θερμικής διαστολής



Σχήμα 7.7 : Βυθιζόμενοι κεραμικοί διαμορφωτές

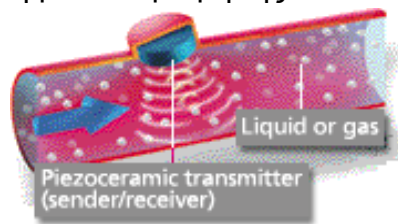
Αυτοί οι βυθιζόμενοι κεραμικοί διαμορφωτές μοιάζουν με χέρια, κατασκευάζονται από τεχνική πορσελάνη, μέσα σε ειδικό καλούπι που έχει τη μορφή χεριού. Στη διαδικασία παρασκευής οι κεραμικές μήτρες βυθίζονται σε ένα υγρό λάτεξ, βινύλιο ή PVC, το υλικό προσκολλάται ομοιόμορφα στη κεραμική μήτρα, στεγνώνει και μετά από αρκετά άλλα βήματα επεξεργασίας, το τελικό γάντι μπορεί να αφαιρεθεί από το καλούπι. Οι ιδιότητες των υλικών, που έχουμε αναφέρει παραπάνω είναι μερικά μόνο από τα πλεονεκτήματα που προσφέρει η τεχνική πορσελάνη



Σχήμα 7.8 : Παραγωγή κεραμικού διαμορφωτή

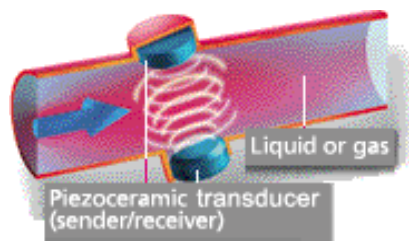
9. Μέτρηση ροής

Στη μέτρηση της ροής υπερήχων γίνεται διάκριση ανάμεσα σε δύο διαφορετικές αρχές μέτρησης: το φαινόμενο Doppler και την ανάλυση του χρόνου που ταξιδεύει το κύμα. Και στις δύο περιπτώσεις ένας πιεζο-κεραμικός αισθητήρας ο οποίος τοποθετείται στα τοιχώματα του σωλήνα δημιουργεί κύματα υπερήχων, τα οποία στη συνέχεια μεταδίδονται στο υγρό διαγώνια προς την κατεύθυνση της ροής. Το Doppler αξιολογεί την μετατόπιση συχνότητας των υπερηχητικών κυμάτων που ανακλώνται από τα σωματίδια στο υγρό. Όσο μεγαλύτερη είναι η ταχύτητα ροής του υγρού, τόσο μεγαλύτερη είναι η μετατόπιση συχνότητας μεταξύ του κύματος της συχνότητας του κύματος εκπομπής (ακτινοβόλησης) και της συχνότητας του ανακλώμενου μετώπου. Μόνο ένας πιεζοηλεκτρικός αισθητήρας μπορεί να δώσει αποστολή και λήψη σε διαφορετικούς χρόνους που είναι αναγκαία για αυτή τη μέθοδο μέτρησης.



Σχήμα 7.9 :Πιεζο-κεραμικός αισθητήρας ροής

Εναλλακτικά μπορούν να χρησιμοποιηθούν δύο πιεζοηλεκτρικοί αισθητήρες όπως φαίνεται στο σχήμα 7.10. Οι αισθητήρες αυτοί εκπέμπουν υπερήχους και λαμβάνουν κάθετα στη διεύθυνση της ροής. Η ταχύτητα της ροής εξαρτάται από τη χρονική διαφορά εκπομπής και λήψης των υπερήχων. Η τεχνική αυτή επιτρέπει τη μέτρηση αερίων και υγρών με μεγάλη ακρίβεια.



Σχήμα 7.10 :Πιεζο-κεραμικός μετρητής ροής δυο κατευθύνσεων

7.2.2 Εφαρμογές στην ορθοπεδική

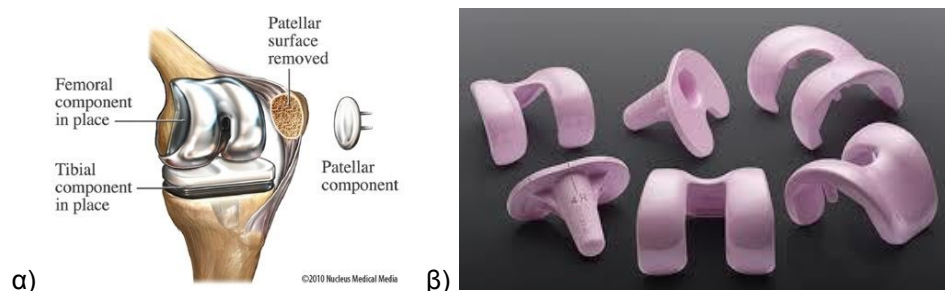
Κεραμικό εμφύτευμα γόνατος

Μια νέα αρθροπλαστική γόνατος σήμερα, γίνεται με κεραμικό εμφύτευμα, η διαδικασία αυτή είναι τώρα διαθέσιμη μετά από δύο χρόνια κλινικών δοκιμών στο Νοσοκομείο Ειδικής Χειρουργικής (*Hospital for Special Surgery (HSS)*). Η νέα μέθοδος αυτή προσφέρει ανακούφιση στους ασθενείς, που χρειάζονται ολική αρθροπλαστική γόνατος.

Υπάρχουν περισσότερες διαδικασίες αντικατάστασης που εκτελούνται στο γόνατο από οποιαδήποτε άλλη άρθρωση στο σώμα. Ενώ πάνω από 209.000 άνθρωποι - κυρίως άνω των 65 ετών - χρειάζονται ολική αρθροπλαστική γόνατος κάθε χρόνο, το 27% των ασθενών βρίσκονται στην ομάδα των 18 - 64 ετών και το ποσοστό αυτό αυξάνεται συνεχώς. Παλαιότερα, πολλοί ασθενείς για να πετύχουν την καλύτερη εξέλιξη έπρεπε να υποβληθούν σε πολλές επεμβάσεις έτσι ώστε το εμφύτευμα γόνατος να έχει κανονική λειτουργία. Αυτό οδήγησε στη φθορά του οστού με το περάσμα των χρόνων. Γι αυτό το λόγο οι επιστήμονες με πολυετή έρευνες κατέληξαν ότι το εμφύτευμα από κεραμικό υλικό είναι το καταλληλότερο σε αυτές τις περιπτώσεις

Τα εμφυτεύματα αντικατάστασης γόνατος που έχουν χρησιμοποιηθεί για πάνω από είκοσι χρόνια μέχρι τώρα είναι κατασκευασμένα από πλαστικό κνημιαίο και μέταλλο (κράμα κοβαλτίου-χρωμίου). Εκτιμάται ότι αυτά τα εμφυτεύματα διαρκούν περίπου 15-20 χρόνια. Το νέο κεραμικό εμφύτευμα αποτελείται από ένα στοιχείο πλαστικού κνημιαίου και ένα μέταλλο (κράμα ζirkονίου) με επίστρωση κεραμικού, με αποτέλεσμα το προσδόκιμο ζωής να είναι 20-25 χρόνια.

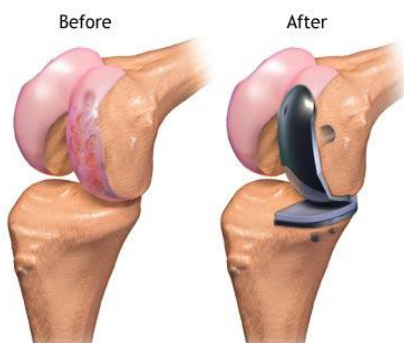
Το προσδόκιμο ζωής της αντικατάστασης βασίζεται στη φθορά της άρθρωσης, η οποία είναι αποτέλεσμα της τριβής μεταξύ των εξαρτημάτων κνημιαίου και μηριαίου. Με την αλλαγή της επιφάνειας του μηριαίου εξαρτήματος από μέταλλο σε κεραμικό, οι μελέτες έχουν δείξει ότι η φθορά είναι πολλές φορές χαμηλότερη από αυτή που παρατηρείται με τα παραδοσιακά κράματα κοβαλτίου-χρωμίου. Ένα χαμηλότερο ποσοστό φθοράς σημαίνει ότι το εμφύτευμα έχει μεγαλύτερη δυνητική διάρκεια ζωής.



Σχήμα 7.11 : α) Εμφύτευμα γόνατος από κράμα κοβαλτίου-χρωμίου β) κεραμικό εμφύτευμα'

Άλλα πλεονεκτήματα του κεραμικού γόνατος:

- Είναι ανθεκτικό στις γρατσουνιές, ενώ το κράμα κοβαλτίου-χρωμίου μπορεί να αναπτύξει μικρές μικροσκοπικές γρατσουνιές. Αυτές οι γρατσουνιές λόγω, μπορεί να προκαλέσουν ακόμη μεγαλύτερη φθορά.
- Μια επιφάνεια από κεραμικό οξείδιο σε συνδυασμό με το πλαστικό μπορεί να έχει αποτέλεσμα μια πιο ομαλή άρθρωση. Αυτό οδηγεί επίσης σε μειωμένους συντελεστές φθοράς.
- Το υλικό είναι εξαιρετικά βιοσυμβατό. Υπάρχουν μερικοί ασθενείς που έχουν αλλεργίες στο νικέλιο, το οποίο είναι ένα συστατικό του εμφυτεύματος από κοβάλτιο-χρώμιο που χρησιμοποιείται στα παραδοσιακά εμφυτεύματα γόνατος. Ως εκ τούτου, οι ασθενείς με σοβαρές αλλεργικές αντιδράσεις στο νικέλιο δεν μπόρεσαν στο παρελθόν να υποστούν σε επέμβαση αντικατάστασης. Το κεραμικό εμφύτευμα με βάση το ζirkόνιο δεν περιέχει νικέλιο, έτσι ώστε να μπορεί να χρησιμοποιηθεί με ασφάλεια σε αυτούς τους ασθενείς.



Σχήμα 7.12 : Εικονική απεικόνιση εφαρμογής κεραμικού εμφυτεύματος γόνατος

Σχετικά με το Νοσοκομείο Ειδικής Χειρουργικής

Ιδρύθηκε το 1863 και ονομάζεται Hospital for Special Surgery (HSS) , είναι ένας παγκόσμιος ηγέτης στην ορθοπεδική, στη ρευματολογία και στην αποκατάσταση. Το HSS κατετάγη 1^ο στην ορθοπεδική, 3^ο στην ρευματολογία από την US News & World Report (2007), και έχει λάβε Αριστεία στην Νοσηλευτική Υπηρεσία από την American Nurses to Αμερικάνικο Κέντρο Διαπίστευσης. Το 2006 έλαβε αξιολογήσεις πέντε αστέρων για την υγειονομική περίθαλψη. Είναι μέλος του Συστήματος Υγείας NewYork-Presbyterian και μια θυγατρική του Κολλεγίου Weill του Πανεπιστημίου Κορνέλ, το HSS προσφέρει ορθοπεδικές και ρευματολογικές περιθάλψεις. Όλα τα νοσοκομεία Hospital for Special Surgery έχουν ιατρικό προσωπικό από τη σχολή του Weill Medical College του Πανεπιστημίου Cornell. Το τμήμα έρευνας του νοσοκομείου είναι διεθνώς αναγνωρισμένο ως ηγέτης στην

έρευνα των μυοσκελετικών και των αυτοάνοσων νοσημάτων. Το Νοσοκομείο Ειδικής Χειρουργικής (HSS) βρίσκεται στη Νέα Υόρκη.

7.2.3 Κεραμικό εμφύτευμα Ισχίου

Η νέα διαδικασία αντικατάστασης ισχίου διαθέτει ένα νέο κεραμικό υλικό που αποτελεί ένα στήριγμα ισχίου. Η τεχνητή αντικατάσταση ισχίου αποτελείται από τέσσερα βασικά συστατικά: ένα κεραμικό ένθετο από αλουμίνα, μια κεραμική μηριαία κεφαλή από αλουμίνα (σφαίρα), ένα μεταλλικό κέλυφος κοτύλης και ένα μεταλλικό μηριαίο στέλεχος (στέλεχος ισχίου).

Το στέλεχος ισχίου εισάγεται μέσα στην κορυφή του μηριαίου οστού, η σφαίρα τοποθετείται στο επάνω μέρος του κορμού του ισχίου, το κοίλωμα και η σφαίρα συγκρατούν την άρθρωση του ισχίου.

Το εμφύτευμα ισχίου έχει φέρουσες επιφάνειες κατασκευασμένες από κεραμικό υλικό αλουμίνας. Οι εργαστηριακές δοκιμές της αλουμίνας έδειξαν ότι έχει λιγότερη φθορά από ό, τι τα μεταλλικά και πλαστικά υλικά που χρησιμοποιούνται σήμερα στη χειρουργική επέμβαση ισχίου. Τα κεραμικά υλικά από αλουμίνα παρουσιάζουν εξαιρετική δύσκολο σκληρότητα, γι' αυτό το λόγο τα εξαρτήματα μεταξύ τους περιέχουν ένα είδος λίπανσης. Λόγω των των εξαιρετικών ιδιοτήτων της αλουμίνας, τα κεραμικά εμφυτεύματα έχουν σημαντικά λιγότερη φθορά σε σχέση με τα συμβατικά μεταλλικά εξαρτήματα, κυρίως στις εργαστηριακές δοκιμές. Ως εκ τούτου, αναμένεται ότι αυτά οι βελτιωμένα χαρακτηριστικά φθοράς θα επεκτείνουν τη διάρκεια ζωής των εμφυτευμάτων.



Σχήμα 7.13 : Κεραμικό εμφύτευμα ισχίου

Αυτή η ολική αρθροπλαστική ισχίου ενδείκνυται για ασθενείς που υποφέρουν έντονα στο ισχίο, κοινή ασθένεια που προκαλείται από μια σοβαρή μορφή της αρθρίτιδας. Αυτή η ολική αντικατάσταση ισχίου δεν πρέπει να χρησιμοποιείται για τους ασθενείς:

- Που παρουσιάζουν μία λοίμωξη κοντά στην άρθρωση του ισχίου,
- Που δεν έχουν αρκετά υγιές οστό για να στηρίξει τη σταθεροποίηση των εμφυτευμάτων
- Τα οστά των οποίων δεν έχουν αναπτυχθεί πλήρως.

Αποτελεσματικότητα δεδομένων

Ο πόνος και η βελτίωση λειτουργίας:

Η Harris Hip Score είναι μια κλίμακα από το 1 ως το 100 που αξιολογεί το επίπεδο του ασθενούς από τον πόνο και τη λειτουργία. Η υψηλότερη δυνατή βαθμολογία (100) δείχνει ανακούφιση από τον πόνο και την κανονική λειτουργική ικανότητα. Η χαμηλότερη δυνατή βαθμολογία (0) δείχνει έντονο πόνο και την αναπηρία. Ένα σκορ 90-100 θεωρείται άριστη. Στα δύο χρόνια μετά την επέμβαση, οι βαθμολογίες για το συγκεκριμένο εμφύτευμα φτάνουν το άριστα.

X-ray (Ακτινολογική) Μετρήσεις:

Η αξιολόγηση με Ακτίνες Χ σε τακτά χρονικά διαστήματα μετά την επέμβαση γίνεται για να διευρυνθούν τυχόν σημάδια χαλάρωσης, μετακίνηση ή επιταχυνόμενης διάβρωσης των εμφυτευμάτων. Στα δύο χρόνια μετά την επέμβαση, όλα τα κεραμικά εμφυτεύματα αξιολογήθηκαν με ακτινογραφική επιτυχία. Δεν έδειξαν σημάδια χαλάρωσης, μετακίνησης ή επιταχυνόμενη διάβρωση των εξαρτημάτων. Ένας εμφύτευμα θεωρείται επιτυχία στα πλαίσια της μελέτης, αν, σε δύο χρόνια μετά την επέμβαση, το εμφύτευμα ισχίου είναι ακόμα στη θέση του (δεν είχε αντικατασταθεί. Έτσι λοιπόν το ποσοστό επιτυχίας των ασθενών με αντικατάσταση κεραμικού ισχίου φτάνει το 97%.

Χρήση για Φλεγμονώδης νόσος των αρθρώσεων

Τα αποτελέσματα της μελέτης που παρουσιάστηκαν παραπάνω περιλαμβάνονται μόνο για ασθενείς που είχαν πρωτογενή ολική αρθροπλαστική ισχίου για σοβαρή, μη φλεγμονώδη εκφυλιστική νόσος των αρθρώσεων. Οκτώ επιπλέον κρούσματα φλεγμονώδης νόσος των αρθρώσεων εντάχθηκαν στη μελέτη, και έλαβαν ένα κεραμικό εμφύτευμα. Οι οκτώ περιπτώσεις που έχουν παρακολουθηθεί για διάρκεια 16 μηνών έδειξαν ότι η μέση κλίμακα HHS είναι στο 94 (εύρος 85-100) Δεν υπήρξαν επιπλοκές αφού όλα τα στοιχεία εμφανίζονται σταθερά στις ακτινογραφίες (X-ray).



Σχήμα 7.14 : Κεραμικές κεφαλές ισχίου

7.3 Εφαρμογές κεραμικών υλικών στην οδοντιατρική

Τα οστά και τα δόντια, είναι οι σκληρότεροι ιστοί στο ανθρώπινο σώμα, που αποτελούνται από ένα ανόργανο συστατικό. Το ανόργανο συστατικό αποτελείται κυρίως από υδροξυαπατίτη ($\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$, HA). Στις περισσότερες περιπτώσεις επίσης το οργανικό συστατικό είναι το κολλαγόνο. Το Σμάλτο, που είναι το εξωτερικό στρώμα των δοντιών είναι το σκληρότερο υλικό του σώματος, και ως εκ τούτου δεν είναι έκπληξη το ότι αποτελείται περίπου 92% από το υδροξυαπατίτη.

Τα δόντια λειτουργούν σε ένα από τα πιο αφιλόξενα περιβάλλοντα στο ανθρώπινο σώμα. Υπόκεινται σε μεγαλύτερες διακυμάνσεις της θερμοκρασίας από τα άλλα μέρη του σώματος, αντιμετωπίζουν το κρύο του πάγου (0°C) μέσα σε ζεστό καφέ και σουπές. Μπορούν επίσης να αντιμετωπίζουν μεταβολές του pH στην κλίμακα 0,5 έως 8. Επίσης τα δόντια υπόκεινται σε καταπονήσεις που συνδέονται με το μάσημα, όπου κυκλικές καταπονήσεις μπορούν να ποικίλουν από 20 έως περίπου 100MPa.

Απαιτήσεις των Οδοντιατρικών Υλικών

Τα δόντια απαιτούν να βρίσκονται σε σταθερό περιβάλλον, όπως περιγράφεται παραπάνω και να μπορούν να αντέξουν τα φορτία που σχετίζονται με το μάσημα, συνεπώς τα οδοντιατρικά υλικά πρέπει να πληρούν άλλα κριτήρια εκτός από την αισθητική. Η αισθητική όμως του δοντιού παίζει πολύ σημαντικό ρόλο για αυτό το λόγο τα οδοντιατρικά υλικά που χρησιμοποιούνται σε ορατές περιοχές πρέπει να έχουν χρώμα και διαύγεια, όπως τα υγιή φυσικά δόντια όσο είναι δυνατόν.

Ιστορία των κεραμικών στην Οδοντιατρική

Τα κεραμικά στην οδοντιατρική χρησιμοποιήθηκαν για πρώτη φορά περίπου 225 χρόνια πριν. Η πρώτη εφαρμογή ήταν οι οδοντοστοιχίες από πορσελάνη. Το ενδιαφέρον είναι ότι η πορσελάνη είναι ακόμα ένα υλικό που χρησιμοποιείται ευρέως στην οδοντιατρική.



Σχήμα 7.15 : Οδοντοστοιχία από πορσελάνη 1804

Οι τρέχουσες εφαρμογές της κεραμικής στην οδοντιατρική περιλαμβάνει τα σφραγίσματα, τις στεφάνες, τις όψεις, τα εμφυτεύματα και τις οδοντιατρικές γέφυρες.

Σφραγίσματα

Τα παραδοσιακά σφραγίσματα είναι κατασκευασμένα από τα αμαγάλματα αργύρου / κασσίτερου/ υδραργύρου. Ωστόσο, τα υλικά πλήρωσης με βάση τη ρητίνη είναι έχουν κερδίσει σε δημοτικότητα για την υγεία και για αισθητικούς λόγους.

Αυτές οι ρητίνες συνήθως αποτελούνται από 35 έως 85% από κεραμικό υλικό όπως το πυριτικό άλας, το κολλοειδές διοξείδιο του πυριτίου ή τον χαλαζία. Παρά τα πλεονεκτήματα της χρήσης των κεραμικών ρητίνων, τα υλικά αυτά μπορούν να είναι ευαίσθητα όταν εφαρμόζονται σε επιφάνειες μασήματος.

Για το λόγο αυτό, όλα-κεραμικά ένθετα, επένθετα και στεφάνες κερδίζουν επίσης σε δημοτικότητα. Τα Συστήματα CAD-CAM είναι επίσης όλο και περισσότερο δημοφιλή επιτρέποντας στους οδοντιάτρους να δείχνουν στους ασθενείς με τρισδιάστατη απεικόνιση την εφαρμογή της κεραμικής ρητίνης. Τα Υλικά τα οποία είναι κατάλληλα για την εφαρμογή αυτή περιλαμβάνουν:

- Λευκίτη ενισχυμένο με πορσελάνη
- Αλουμίνα με διασυνδεδεμένο αργιλοπυριτικό υλικό
- Γυαλί με ενίσχυση σπίνελ
- Γυαλί με ενίσχυση ζirkονία

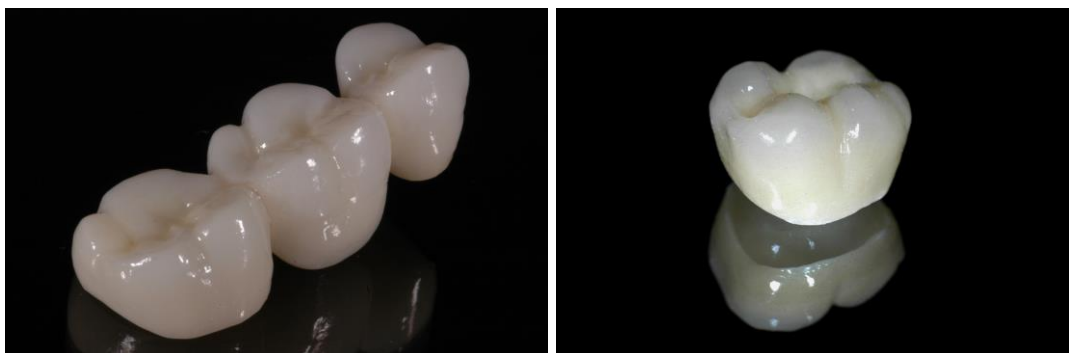


Σχήμα 7.16 : Κεραμικά σφραγίσματα

Στεφάνες

Πορσελάνη λιωμένη με μέταλλο αποτελεί περίπου το 75% όλων των στεφάνων στην αγορά. Η πορσελάνη που χρησιμοποιείται είναι μία αστριούχο πορσελάνη. Η πορσελάνη περιέχει ποικίλες ποσότητες του κρυσταλλικού λευκίτη, όπου η ποσότητα του κρυσταλλικού λευκίτη επηρεάζει τις ιδιότητες όπως η αντοχή και η θερμική διαστολή. Η θερμική διαστολή είναι κρίσιμη στα εμφυτεύματα, που

μπορεί να αποφευχθεί με πυρόλυση των κεραμικών, η οποία θα μπορούσε να οδηγήσει σε αποτυχία κατά την κατασκευή ή τη λειτουργία. Τα υλικά που χρησιμοποιούνται επίσης για να καλύψουν τα κατεστραμμένα μπροστινά δόντια. Όλες οι κεραμικές στεφάνες συνήθως είναι επικαλυμμένες με πορσελάνη, έτσι ώστε να ταιριάζει το χρώμα και τη διαύγεια.



Σχήμα 7.17 : Κεραμικές στεφάνες

Οδοντικά εμφυτεύματα

Τα οδοντικά εμφυτεύματα χρησιμοποιούνται ως εναλλακτική λύση για τις γέφυρες, όπου ένα δόντι έχει χαθεί ή αφαιρεθεί. Αυτά είναι από ένα βιοσυμβατό μέταλλο, ένα υλικό όπως το τιτάνιο τοποθετείται στο οστό της γνάθου και η στεφάνη πορσελάνης στερεώνεται στη θέση αυτή. Το μέταλλο μπορεί επίσης να είναι επικαλυμμένο από υδροξυαπατίτη για την ενίσχυση συγκόλληση των οστών και την ταχεία οστεοενσωμάτωση. Η πιο πρόσφατη χρήση κεραμικών στην οδοντιατρική είναι τα ορθοδοντικά στηρίγματα. Η ανάπτυξη και η ζήτηση για αυτά τα στοιχεία έχει αποκλειστικά γνώμονα την αισθητική. Το Πολυκρυσταλλικά υλικό αλουμίνιας είναι το υλικό της επιλογής σε αυτή την απαίτηση.



Σχήμα 7.18 : Κεραμικά εμφυτεύματα

Βιβλιογραφία από διαδίκτυο

1. <http://www.pdf-txt.com/ppt/ceramics.html>
2. <http://www.ceramic-substrates.co.uk/ceramics.html>
3. http://en.wikipedia.org/wiki/Ceramic_materials
4. <http://ceramics.org/learn-about-ceramics/history-of-ceramics>
5. <http://www.slideshare.net/umairbukhari3/engineering-glasses-and-ceramics-history-of-ceramics>
6. <http://ceramic-studio.net/ceramic/clay/history-of-ceramic>
7. <http://www.americanceramics.com/html/ceramicshistory.html>
8. <http://rangandatta.wordpress.com/2012/04/18/potters-wheel>
9. <http://voices.yahoo.com/a-history-asian-pottery-ceramics-77117.html>
10. <http://global.kyocera.com/fcworld/first/history.html>
11. [http://www.substech.com/dokuwiki/doku.php?id=ionic and covalent bonding](http://www.substech.com/dokuwiki/doku.php?id=ionic_and_covalent_bonding)
12. <http://www.virginia.edu/bohr/mse209/chapter13.htm>
13. <http://ceramics.org/learn-about-ceramics/microstructure-of-ceramics>
14. http://www.univ-tlemcen.dz/~aourag/cours_ceramics.doc
15. http://www.iitk.ac.in/infocell/Archive/dirjuly3/techno_ceramics.html
16. http://en.wikipedia.org/wiki/Ceramic_materials
17. <http://www.britannica.com/EBchecked/topic/17897/alumina>
18. http://en.wikipedia.org/wiki/Aluminium_oxide
19. <http://ceramica.wikia.com/wiki/Al%20C3%BAmina>
20. <https://www.escholar.manchester.ac.uk/api/datastream?publicationPid=uk-ac-man-scw:157835&datastreamId=FULL-TEXT.PDF>
21. <http://www.science.uwaterloo.ca/~cchieh/cact/applychem/alumina.html>
22. <http://chemicaland21.com/industrialchem/inorganic/ALUMINUM%20OXIDE.htm>
23. http://en.wikipedia.org/wiki/Zirconium_dioxide
24. <http://www.nanopartikel.info/cms/lang/en/wissensbasis/zirkoniumdioxid>
25. <http://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=133>
26. http://en.wikipedia.org/wiki/Silicon_nitride
27. <http://accuratus.com/silinit.html>
28. http://en.wikipedia.org/wiki/Titanium_nitride
29. <http://www.nanopartikel.info/cms/lang/en/Wissensbasis/Titannitrid>
30. <http://www.researchgate.net/>
31. http://www.sandvik.coromant.com/engb/knowledge/materials/cutting_tool_materials/polycrystalline_cubic_boron_nitride/pages/default.aspx
32. <http://www.momentive.com/Products/Main.aspx?id=22818>
33. <http://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=78>
34. <http://www.ceramtec.com/ceramic-materials/sialon/>
35. <http://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=268>
36. <http://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=75>
37. <http://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=5809>
38. http://en.wikipedia.org/wiki/Titanium_carbide
39. <http://www.goodfellow.com/E/Tungsten-Carbide-Cobalt-Ceramic.html>
40. <http://www.britannica.com/EBchecked/topic/544369/silicon-carbide>
41. <http://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=5808>

42. <http://accuratus.com/silicar.html>
43. <http://www.chemguide.co.uk/atoms/structures/giantcov.html>
44. <http://www.enmu.edu/services/museums/miles-mineral/diamond.shtml>
45. http://en.wikipedia.org/wiki/Uranium_dioxide
46. <http://www.britannica.com/EBchecked/topic/619232/uranium-processing>
47. <http://www.chemicool.com/elements/uranium.html>
48. <http://matse1.matse.illinois.edu/ceramics/ceramics.html>
49. <http://wings.buffalo.edu/academic/department/eng/mae/cmrl/Materials%20for%20thermal%20conduction.pdf>
50. http://americas.kyocera.com/kicc/news/news_detail.cfm?key=23
51. <http://www.search-document.com/pdf/2/ceramic-synthesis.html>
52. <http://www.intechopen.com/search?q=advanced+ceramics>
53. http://www.bigceramicstore.com/info/ceramics/tips/tip31_clay_drying_firing.html
54. <http://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=2123>
55. <http://promitheas.iacm.forth.gr/lm/wp-content/uploads/2012/04/ms2-advancedceramics.pdf>
56. http://en.wikipedia.org/wiki/Compaction_of_ceramic_powders
57. http://www.mmk.su.se/documents/publications/Coll_process.pdf
58. <http://www.epa.gov/ttnchie1/ap42/ch11/final/c11s07.pdf>
59. <http://www.harropusa.com/products-services/industrial-kilns.aspx>
60. http://www.substech.com/dokuwiki/doku.php?id=methods_of_shape_forming_ceramic_powders
61. <http://www.sciencelearn.org.nz/Contexts/Ceramics/Looking-Closer/Uses-for-advanced-ceramics>
62. <http://www.ceramtec.in/products/by-market/#electronics>
63. http://www.coorstek.com/markets/electronic_equipment.php
64. <http://www.morgantechnicalceramics.com/markets-applications/electronics/>
65. http://electroceramics.mit.edu/index.php?option=com_content&view=article&id=72&Itemid=90
66. <http://www.britannica.com/EBchecked/topic/182999/electroceramics>
67. <http://en.wikipedia.org/wiki/Electroceramics>
68. <http://autocww.colorado.edu/~flc/E64ContentFiles/Construction/Ceramics.html>
69. <http://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=519>
70. <http://www.google.com/patents/US5145741>
71. <http://www.sciencelearn.org.nz/Contexts/Ceramics/Looking-Closer/Superconductivity>
72. <http://www.capacitorguide.com/ceramic-capacitor/>
73. <http://www.johanson-dielectrics.com/technical-notes/product-training/basics-of-ceramic-chip-capacitors.html#.UzLoyYWsFhJ>
74. http://www.murata.com/products/emicon_fun/2011/11/cap_en14.html
75. http://www.ehow.com/list_6965418_insulation-properties-ceramics.html<http://www.answers.com/topic/electrical-insulation>
76. http://www.noliac.com/Technical_description-6585.aspx
77. http://www.piceramic.com/piezo_effect.php
78. <https://www.americanpiezo.com/knowledge-center/piezo-theory/piezoelectricity.html>

79. <http://www.princeton.edu/~achaney/tmve/wiki100k/docs/Ferroelectricity.html>
80. <http://www.wisegeek.com/what-are-ferroelectric-ceramics.htm>
81. [http://en.wikipedia.org/wiki/Permeability_\(electromagnetism\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Permeability_(electromagnetism))
82. <http://www.wisegeek.com/what-is-a-ceramic-magnet.htm>
83. [http://en.wikipedia.org/wiki/Ferrite_\(magnet\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Ferrite_(magnet))
84. http://en.wikipedia.org/wiki/Ceramic_engineering
85. <http://ceramics.org/learn-about-ceramics/ceramics-the-military>
86. <http://ceramics.org/knowledge-center/learn-about-ceramics>
87. <http://www.friatecna.net/ceramics.html>
88. <http://www.ceramtec.com/markets/energy-environment/>
89. http://www.morgantechnicalceramics.com/resources/technical_articles/making-green-energy-greener-how-new-ceramic-technologies-are-making-renewable-energy-generation-more-efficient-and-cost-effective/?page_index=1
90. http://www.morgantechnicalceramics.com/resources/technical_articles/making-green-energy-greener-how-new-ceramic-technologies-are-making-renewable-energy-generation-more-efficient-and-cost-effective/?page_index=1
91. <http://piceramic.com/applications/piezo-energy-harvesting.html>
92. http://www.cfcl.com.au/Fuel_Cell_Facts/
93. <http://www.greentechmedia.com/articles/read/ceramics-for-solar-cells-and-oleds>
94. <http://www.sciencedaily.com/releases/2013/12/131211185600.htm>
95. <http://ceramics.org/ceramic-tech-today/perovskite-photovoltaics-key-to-new-solar-cell-production-process>
96. <http://www.ecoseed.org/technology/17265-ceramic-crystalline-material-developed-for-better-solar-cells>
97. http://www.ikts.fraunhofer.de/content/dam/ikts/en/doc2/publications/annual_reports/jb2012/52_Ceramic_Materials_Stationary_Electrical_Energy_Storage.pdf
98. <http://eonline.com/articles/2010/09/27/a-new-approach-to-energy-storage-for-wind-and-solar.aspx>
99. <http://ceramics.org/ceramic-tech-today/nuclear-2/from-new-fuels-to-waste-disposal-next-gen-nuclear-reactors-depend-on-advanced-ceramics>
100. <http://www.britannica.com/EBchecked/topic/421542/nuclear-ceramics>
101. <http://www.ceramicindustry.com/articles/advanced-ceramics-nuclear-ceramics-a-renaissance>
102. <http://www.azocleantech.com/article.aspx?ArticleID=459>
103. <http://www.windpowerengineering.com/design/materials/ceramic-coating-protects-wind-turbine-components/>
104. <http://www.ceramtec.com/markets/medical-technology/>
105. <http://global.kyocera.com/prdct/fc/list/use/medical/index.html>
106. <http://www.sciencelearn.org.nz/Contexts/Ceramics/Looking-Closer/Bioceramics>
107. <http://www.aboutstryker.com/labeling/>
108. http://www.hss.edu/newsroom_11290.asp
109. <http://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=1682>
110. <http://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=1422>