



**ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ
ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ**

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ

**ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ:
ΠΡΟΗΓΜΕΝΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ, ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΥ &
ΡΟΜΠΟΤΙΚΗΣ**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
του Δημητρίου Γρηγορόπουλου

**ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΥ ΕΠΙΦΑΝΙΩΝ ΜΕ ΠΛΑΣΜΑ
ΚΑΙ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ ΓΙΑ ΤΗΝ ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΤΩΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΩΝ
ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ.**

Επιβλέπων Καθηγητής: κ. Εμμανουήλ Κουδουμάς
ΗΡΑΚΛΕΙΟ 2018

Υποβλήθηκε στο ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ «ΠΡΟΗΓΜΕΝΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ, ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΥ &
ΡΟΜΠΟΤΙΚΗΣ»

Ημερομηνία παρουσίασης διπλωματικής εργασίας: 14-3-2018

Εξεταστική επιτροπή:

Καθηγητής Εμμανουήλ Κουδουμάς

Καθηγητής Εμμανουήλ Δρακάκης

Καθηγητής Ευστράτιος Γεωργίου

Δομή της διπλωματικής εργασίας

Η παρούσα διπλωματική εργασία παρουσιάζει την κατασκευή μιας συσκευής καθαρισμού με τεχνολογία ψυχρού πλάσματος χαμηλής πίεσης (ή τεχνολογία πλάσματος κενού).

Αρχικά περιγράφεται ο κλασσικός καθαρισμός επιφανειών, δίνεται ο ορισμός για το τι είναι επιφάνια υλικού, τα φαινόμενα που σχετίζονται με την επιφάνεια στερεού σώματος και τροποποίηση επιφάνειας.

Ακολουθεί ο ορισμός του πλάσματος και η Φυσική αυτού.

Γίνετε αναφορά στην τεχνική καθαρισμού με πλάσμα, πως αυτή συμβαίνει, επεξηγούνται τα φυσικά και χημικά φαινόμενα που συμβαίνουν κατά τη διαδικασία.

Στη συνέχεια αναλύονται τεχνικά θέματα που σχετίζονται με το πλάσμα όπως το περιβάλλον κενού που είναι απαραίτητο ώστε να έχουμε πλάσμα, τους τρόπους μέτρησης αυτού. Επίσης παρουσιάζονται οι διάφορες διατάξεις καθαρισμού με πλάσμα που υπάρχουν και ο τρόπος λειτουργίας τους.

Ακολουθεί η παρουσίαση της κατασκευής, η φιλοσοφία, η λογική, η χρησιμότητα αυτής της συσκευής τα στάδια της, τα μέρη από τα οποία αυτή αποτελείται, η τελική της μορφή και λειτουργία.

Τέλος γίνεται χρήση της συσκευής σε διάφορα υλικά προς καθαρισμό ώστε να δοκιμαστεί η λειτουργία της κατασκευής ενώ παράλληλα περιγράφονται οι τεχνικές χαρακτηρισμού αυτών των υλικών οι οποίες είναι διαθέσιμες στο εργαστήριο και εφαρμόστηκαν σε αυτά τα υλικά. Εκθέτονται τα συμπεράσματα από τα δεδομένα των τεχνικών χαρακτηρισμού των επιφανειών των υλικών που καθαρίστηκαν.

Περίληψη

Η παρούσα εργασία αφορά την κατασκευή διάταξης καθαρισμού με τη χρήση πλάσματος. Αρχικά γίνεται αναφορά στις κλασσικές διατάξεις καθαρισμού επιφανειών, ενώ στην συνέχεια παρουσιάζεται μια σύντομη περιγραφή της έννοιας του πλάσματος καθώς και πληροφοριών που διαισθητοποιούν την φύση και τα χαρακτηριστικά του.

Ακολουθεί ανάλυση των κατασκευαστικών λεπτομερειών της διάταξης που αναπτύχθηκε, όπως τα μέρη από τα οποία αποτελείται, και η σειρά των εργασιών που ακολουθήθηκε καθώς και περιγράφεται η λειτουργία της και οι χειρισμοί που απαιτούνται ώστε η διάταξη να καθαρίσει μια επιφάνεια. Ειδικότερα, αναλύονται η πλατφόρμα στην οποία βασίζεται η διάταξη, η δημιουργία κατάλληλης υποπίεσης και η δημιουργία RF ακτινοβολίας, η οποία απαιτείται για τη δημιουργία πλάσματος ισχύος ικανής να καθαρίσει την επιφάνεια δοκιμών από ρύπους.

Τέλος παρουσιάζονται τα αποτελέσματα χρήσης της διάταξης για την καθαρισμό γυάλινων υποστρωμάτων. Ειδικότερα, έμφαση δόθηκε στην καθαρισμό υποστρώματος πριν την εναπόθεση σε αυτό λεπτής επίστρωσης από ZnO, στην μετατροπή μιας υδρόφοβης επιφάνειας σε υδρόφιλη καθώς και στην απομάκρυνση λίπους. Με βάση τα αποτελέσματα, έγινε φανερό ότι η διάταξη μπορεί να καθαρίζει ικανοποιητικά τις επιφάνειες σε ελάχιστο χρονικό διάστημα.

Πίνακας Περιεχομένων

	Σελίδα
Κεφάλαιο 1 ^ο Εισαγωγή - Καθαρισμός επιφανειών.....	11
1.1 Ορισμός επιφάνειας – Καθαρισμός επιφάνειας - σπουδαιότητα αυτής.....	11
1.2 Κλασσικές μέθοδοι καθαρισμού επιφάνειας.....	12
1.2.1 Μηχανικός καθαρισμός.....	13
1.2.2 Καθαρισμός με φλόγα (Flame cleaning).....	13
1.2.3 Καθαρισμός με εμβάπτιση σε οξέα (pickling).....	14
1.2.4 Καθαρισμός με ψηγματοβολή.....	15
1.2.5 Καθαρισμός με υδροβολή (water blasting).....	16
1.2.6 Καθαρισμός με αμμοβολή (sand blasting).....	17
1.2.7 Καθαρισμός με υδροαμμοβολή.....	17
1.2.8 Καθαρισμός με ξηρό πάγο (παγοβολή).....	18
1.2.9 Καθαρισμός με σπασμένο γυαλί (crushed glass).....	19
1.2.10 Καθαρισμός με Laser.....	19
1.3 Καθαρότητα Επιφάνειας.....	20
Κεφάλαιο 2 ^ο - Φυσική Πλάσματος	23
Ορισμός πλάσματος.....	23
2.1 Συλλογική συμπεριφορά.....	23
2.2 Πλάσμα στη φύση.....	24
2.3 Μήκος Debye, αμφιουδετερότητα	25
2.4 Η παράμετρος του πλάσματος	28
2.5 Κριτήρια για το πλάσμα	30
2.6 Εφαρμογές της φυσικής πλάσματος	30

Σελίδα

Κεφάλαιο 3 ^ο Καθαρισμός με πλάσμα (plasma cleaning)	33
Εισαγωγικά στοιχεία.....	33
3.1 Αρχή λειτουργίας συσκευών καθαρισμού με πλάσμα.....	33
3.2 Είδη καθαρισμού πλάσμα.....	34
3.3 Εφαρμογή του πλάσματος στην τροποποίηση επιφανειών.....	35
Κεφάλαιο 4 ^ο Τεχνολογία plasma cleaning.....	36
Εισαγωγικά στοιχεία.....	36
4.1 Αρχή λειτουργίας συσκευών καθαρισμού με πλάσμα.....	36
4.1.1 Συσκευές χαμηλής πίεσης.....	36
1. Πηγή πλάσματος συνεχούς τάσης με δημιουργία εκφόρτισης λάμπης.....	37
2. Πηγή πλάσματος εκφόρτισης προκαλούμενη από ραδιοσυχνότητα (RF).....	38
3. Τεχνική δημιουργίας πλάσματος σε περιορισμένο χώρο.....	40
4. Πλάσμα εκφόρτισης μικροκυμάτων.....	41
5. Καθαρισμός με πλάσμα απομακρυσμένης πηγής.....	42
6. Καθαρισμός πλάσματος σε ατμοσφαιρική πίεση.....	43
7. Πλάσμα με εκφόρτωσης μέσω διηλεκτρικού.....	43
8. Πλάσμα με το φαινόμενο corona.....	45
4.1.2 Πλάσμα με αέριο σε ατμοσφαιρική πίεση.....	45
4.2 Κενό και πλάσμα - αντλίες κενού.....	46
4.2.1 Που ωφελεί το κενό στην επιστήμη και τη βιομηχανία κατ' επέκταση.....	47
4.3 Αντλίες κενού – τύποι -χαρακτηριστικά.....	50
4.3.1 Αντλία περιστροφικών πτερυγίων.....	51
4.3.2 Αντλία περιστρεφόμενου ελικοειδούς κυλίνδρου.....	52
4.3.3 Αντλία περιστρεφόμενων ρότορων.....	53
4.3.4 Αντλία τουρμπίνας.....	54
4.3.5 Αντλία Cryo.....	55

	Σελίδα
4.3.6 Αντλία διάχυσης λαδιού.....	57
4.3.7 Αντλία ιόντων.....	58
4.4 Μετρητές πίεσης κενού.....	59
4.4.1 Μετρητής κενού τύπου PIRANI.....	59
4.4.2 Μετρητής με μεμβράνη χωρητικότητας.....	60
4.4.3 Μετρητής Penning	61
4.4.4 Ιοντικός μετρητής.....	62
Κεφάλαιο 5^ο - Η κατασκευή	64
Εισαγωγικά στοιχεία.....	64
5.1 Κατεργασία γυάλινης βάσης.....	68
5.2 Κατασκευή μεταλλικής βάσης.....	69
5.3 Εργονομία κατασκευής.....	73
5.4 Η κεραία RF.....	74
5.5 Μηχανισμός μετατόπισης βάσης.....	76
5.6 Η λειτουργία της κατασκευής – διάγραμμα ροής λειτουργίας.....	77
5.7 Οδηγίες χρήσης.....	79
5.8 Τελικό αποτέλεσμα.....	80
5.9 Προδιαγραφές ασφαλείας.....	82
Κεφάλαιο 6^ο – Τεχνικές χαρακτηρισμού.....	83
Εισαγωγικά στοιχεία.....	83
6.1 Οπτικό μικροσκόπιο.....	83
6.2 Ηλεκτρονική Μικροσκοπία Σάρωσης (Scanning Electron Microscopy - SEM).....	84
6.3 Μικροσκοπία Ατομικών Δυνάμεων (Atomic Force Microscopy, AFM).....	85
6.4 Μέτρηση της γωνίας επαφής.....	87
6.5 Μέτρηση με φασματοσκοπία FTIR.....	90

Κεφάλαιο 7^ο – Αποτελέσματα χρήσης της διάταξης καθαρισμού

με πλάσμα.....	93
7.1 Οπτικός χαρακτηρισμός καθαρότητας δοκιμίου με SEM – αποτελέσματα.....	95
7.2 Μέτρηση με γωνιόμετρο – αποτελέσματα.....	95
7.3 Μέτρηση με FTIR – αποτελέσματα.....	97
Κεφάλαιο 8 ^ο – Συμπεράσματα παρατηρήσεις.....	101
Βιβλιογραφία.....	103

Κατάλογος Σχημάτων

Σελίδα

Σχήμα 1: Τρεις τυπικές περιπτώσεις γωνιών επαφής. Οξεία (α), αμβλεία (β) και γωνία επαφής αδιάβροχης επιφάνειας (γ).....	20
Σχήμα 2: Γωνία επαφής σταγόνας με στερεό υλικό και γωνιόμετρο.....	22
Σχήμα 3: Υπεραπλουστευμένη διάταξη δημιουργίας πλάσμα.....	26
Σχήμα 4: Μήκος θωράκισης ή Debye ανάμεσα σε ιόντα νερού υπό ηλεκτρόλυση.....	27
Σχήμα 5: Μαγνητοϋδροδυναμικό δυναμό	31
Σχήμα 6: Αερίωση διαστημοπλοίου.....	32
Σχήμα 7: Βασική διάταξη παραγωγής πλάσμα για καθαρισμό επιφάνειας.....	34
Σχήμα 8: Συσκευή καθαρισμού πλάσμα συνεχούς τάσης με τρεις διαφορετικούς τρόπους πόλωσης των εσωτερικών πλακών.....	37
Σχήμα 9: Συσκευή πλάσματος εκφόρτισης προκαλούμενη από ραδιοσυχνότητα (RF) με τρεις διαφορετικούς τρόπους τοποθέτησης της πηγής RF σε σχέση με τις εσωτερικές πλάκες.....	39
Σχήμα 10: Συσκευή πλάσμα εκφόρτισης προκαλούμενη από ραδιοσυχνότητα (RF) με τοποθέτησης της πηγής RF εξωτερικά του θαλάμου χαμηλής πίεσης σε δυο διαφορετικές προσεγγίσεις	40
Σχήμα 11: Συσκευή καθαρισμού πλάσματος προκαλούμενο από ραδιοσυχνότητα (RF) σε θάλαμο περιορισμένων διαστάσεων, προκειμένου να επιτευχθεί μεγαλύτερη πυκνότητα πλάσματος.....	41
Σχήμα 12: Συσκευή καθαρισμού πλάσματος προκαλούμενο από μικροκύματα σε δυο τύπους - χωρίς ή με πηνίο, τυλιγμένο γύρω από το θάλαμο χαμηλής πίεσης.....	41/42
Σχήμα 13: Συσκευή καθαρισμού πλάσματος απομακρυσμένης πηγής. Δυο τύποι : με RF και με μικροκύματα.....	43
Σχήμα 14: Διάταξη συσκευής πλάσμα με εκφόρτωσης μέσω διηλεκτρικού.....	44
Σχήμα 15: Corona discharge προκαλούμενη από συσκευή πλάσματος με εκφόρτιση μέσω διηλεκτρικού.....	44
Σχήμα 16: Φαινόμενο corona.....	45

Σελίδα

Σχήμα 17: Πλάσμα ατμοσφαιρικής πίεσης προκαλούμενο από πηγή RF υψηλής ισχύος.....	46
Σχήμα 18: Μέση Ελεύθερη Διαδρομή (ΜΕΔ) ενός μορίου αερίου.....	47
Σχήμα 19: Χάρτης επιπέδων κενού (σε mbar).....	50
Σχήμα 20: Αντλία κενού, τύπου περιστροφικών πτερυγίων.....	51
Σχήμα 21: Στάδια λειτουργίας περιστροφικών πτερυγίων.....	51
Σχήμα 22: Αντλία κενού, τύπου περιστρεφόμενου ελικοειδούς κυλίνδρου.....	52
Σχήμα 23: Στάδια λειτουργίας των δυο σπειροειδών κυλίνδρων.....	52
Σχήμα 24: Αντλία κενού περιστρεφόμενων ρότορων.....	53
Σχήμα 25: Στάδια λειτουργίας των δυο περιστρεφόμενων ρότορων.....	53
Σχήμα 26: Αντλία κενού τύπου τουρμπίνας.....	54
Σχήμα 27: Τουρμπίνα αντλίας.....	54
Σχήμα 28: Αντλία Cryo.....	55
Σχήμα 29: Επίπεδα ψύξης αντλίας Cryo.....	56
Σχήμα 30: Αντλία κενού τύπου διάχυσης λαδιού.....	57
Σχήμα 31: Αντλία κενού – ιόντων.....	58
Σχήμα 32: Μετρητής κενού PIRANI και η γέφυρα Wheatstone.....	59
Σχήμα 33: Μετρητής κενού μεμβράνης χωρητικότητας.....	60
Σχήμα 34: Τομή αναπαράστασης λειτουργείας.....	61
Σχήμα 35: Μετρητής κενού τύπου Penning.....	61
Σχήμα 36: Διάταξη λειτουργείας μετρητή κενού τύπου Penning.....	62
Σχήμα 37: Ιοντικός μετρητής κενού.....	62
Σχήμα 38: Διάταξη λειτουργείας Ιοντικού μετρητή κενού.....	63
Σχήμα 39: γυάλινη καμπάνα μέσα στην οποία θα επιτευχθεί χαμηλή πίεση και θα γίνει καθαρισμός.....	65
Σχήμα 40: Αντλία κενού που χρησιμοποιήθηκε στην κατασκευή.....	66
Σχήμα 41: Ανυψωτήρας τύπου κοχλία, που μετακινεί τη γυάλινη βάση και την Τοποθετεί ερμητικά στο κάτω μέρος της γυάλινης καμπάνας ώστε να κλείσει στεγανά.....	67

Σχήμα 42: Άξονες - οδηγοί για κατακόρυφη μετακίνηση της βάσης και τα αντίστοιχα ρουλεμάν.....	68
Σχήμα 43: Γραμμικά ρουλεμάν που χρησιμοποιήθηκαν.....	70
Σχήμα 44 Βίδες με φρεζοκεφαλή.....	71
Σχήμα 45: Κεραίες RF στο πίσω μέρος της κατασκευής.....	75
Σχήμα 46: Κύκλωμα (RF) κεραίας δευτέρας τάξης, περιλαμβάνει RLC.....	76
Σχήμα 47: Κύκλωμα ελέγχου βηματικού κινητήρα με ηλεκτρομηχανολογικό έλεγχο.....	77
Σχήμα 48: Διάγραμμα ροής λειτουργίας.....	78
Σχήμα 49: Χειριστήριο συσκευής στην πρόσοψη της.....	80
Σχήμα 50: Άποψη ολοκληρωμένης συσκευής (εύκολα διακρίνεται το προστατευτικό πλέγμα γύρο από την γυάλινη καμπίνα το οποίο υπάρχει εκεί για λόγους ασφαλείας).....	81
Σχήμα 51: Πλάγια όψη από οπτικό μικροσκόπιο προσοφθάλμιος φακός – αντικειμενικός φακός.....	84
Σχήμα 52: Σχηματική αναπαράσταση διάταξης SEM.....	85
Σχήμα 53: Σχηματική αναπαράσταση διάταξης AFM.....	86
Σχήμα 54: Διεπιφάνειες αερίου/υγρού, στερεού/υγρού και στερεού/αερίου στην περίπτωση σταγόνας υγρού που επικάθεται σε στερεή επιφάνεια, σε περιβάλλον αέρα.....	88
Σχήμα 55: Η σχέση μεταξύ γωνίας επαφής και διεπιφανειακών τάσεων.....	89
Σχήμα 56: Διάταξη φασματοσκοπίας FTIR.....	92
Σχήμα 57: Εναπόθεση μέσω πυρόλυσης ψεκασμού, ακροφύσιο ψεκασμού.....	93
Σχήμα 58: Εικόνες από SEM. Αριστερά παραθέτοντε τα δοκίμια με την εναπόθεση του ZnO σε μη καθαρή επιφάνεια ενώ δεξιά σε καθαρή.....	94/95
Σχήμα 59: Σχηματική αναπαράσταση της διάταξης του γωνιομέτρου.....	96
Σχήμα 60: Μέτρηση γωνίας επαφής με κάμερα γωνιομέτρου.....	97
Σχήμα 61: Διάγραμμα καμπύλων (αυθαίρετων μονάδων) διαπερατότητας / ενέργειας φωτονίου για δοκίμια γυαλιού εκτεθειμένα σε πλάσμα για διαφορετικούς χρόνους (60,300 sec).....	99

Κεφάλαιο 1^ο Εισαγωγή - Καθαρισμός επιφανειών

1.1 Ορισμός επιφάνειας – Καθαρισμός επιφάνειας - σπουδαιότητα αυτής

Αναφερόμενοι στον όρο επιφάνεια ενός στερεού υλικού, ουσιαστικά μιλάμε για ένα σωρό από υλικά στοιβαγμένα σε επίπεδα πάνω από το όριο του βασικού στερεού υλικού. Το πάχος της επιφάνειας αυτών των επιπέδων εξαρτάται από το (βασικό) υλικό πάνω στο οποίο προσκολλάται η επιφάνεια αυτή και από το ιστορικό της. Οι επιφάνειες έχουν πολύπλοκη χημική και φυσική δομή. Για παράδειγμα η επιφάνεια ενός μετάλλου ή γυαλιού ή πυριτίου περιέχει νερό, το οποίο έχει επικαθήσει και απορροφηθεί εκεί με φυσικό ή χημικό τρόπο. Το πάχος αυτής της επιφάνειας ανέρχεται από δεκάδες μέχρι και εκατοντάδες νανόμετρα.

Ο στόχος του καθαρισμού επιφάνειας είναι να απομακρύνει την προσκολλημένη στο βασικό υλικό επιφάνεια και μαζί, να απομακρύνει τις μολυσματικές ουσίες που πιθανό υπάρχουν εκεί, ώστε τελικά να έχουμε ατόφιο και απαλλαγμένο από κάθε άλλο υλικό το βασικό στερεό υλικό, καθαρό έτοιμο για χρήση. Η μόλυνση των επιφανειών των υλικών προέρχεται από την έκθεση τους στον ατμοσφαιρικό αέρα, ο οποίος περιέχει οξυγόνο, διοξείδιο άνθρακα, υδρογόνο αλλά και διάφορα σωματίδια όπως οξείδια μετάλλου, νερό και οργανικές ενώσεις. Ένας άλλος παράγοντας μόλυνσης είναι τα κατάλοιπα από την ίδια τη βιομηχανική κατεργασία των υλικών, όπως το λιπαντικό που προέρχεται από μια κοπτική ή άλλη μηχανή και μπορεί να παραμείνει πάνω στο τελικό προϊόν ενώ, εύκολα γίνεται αντιληπτό ότι το λιπαντικό αυτό είναι εντελώς περιττό για το εν λόγω υλικό, ενώ ακόμα δυσκολεύει την κατεργασία του στο επόμενο στάδιο.

Ο καθαρισμός επιφάνειας αποτελεί υποπερίπτωση της τροποποίησης επιφάνειας.

Τροποποίηση επιφανειών είναι η/οι ενέργεια/ενέργειες που γίνονται στην επιφάνεια ενός υλικού προκειμένου να επέλθουν σε αυτήν φυσικές (τρίψιμο επιφάνειας με γυαλόχαρτο ή άλλη λειαντική μηχανή), χημικές (χρήση χημικού υγρού, plasma cleaning) ή και βιολογικού χαρακτήρα αλλαγές σε σχέση με την αρχική μορφή που είχε η εν λόγω επιφάνεια. Μιλώντας για τροποποίηση επιφανειών αναφερόμαστε σε στερεά υλικά, αλλά είναι πιθανό να δούμε εφαρμογές και σε εξειδικευμένα υγρά.

Ο καθαρισμός επιφανειών είναι ένα από τα τελευταία στάδια στην επεξεργασία -τροποποίηση επιφανειών, όπως και η επικάλυψή τους μετά από τον καθαρισμό με ένα προστατευτικό υλικό, διαφορετικό κάθε φορά ανάλογα με την περίπτωση.

Ο καθαρισμός επιφάνειας προσφέρει ως αποτέλεσμα, πέρα των άλλων, ιδιότητες στα υλικά όπως αλλαγή στη διαβρεξιμότητα τους και προετοιμασία για εύκολη εναπόθεση κάποιας επίστρωσης πάνω σε αυτά. Επίσης σε ορισμένες περιπτώσεις (αν κριθεί απαραίτητο), δύναται να επιτευχθεί η τροποποίηση της δομής του υλικού των επιφανειών.

1.2 Κλασσικές μέθοδοι καθαρισμού επιφάνειας.

Γίνεται εύκολα κατανοητό ότι ο καθαρισμός επιφανειών κάθε μορφής είναι ένα μείζον θέμα που απασχολεί πολλούς τομείς της βιομηχανίας όπως βιομηχανία τροφίμων, αεροπορική βιομηχανία, πετροχημική βιομηχανία, λατομεία, μεταλλεία, ορυχεία, βιομηχανία πετρελαιοειδών, καπνοβιομηχανία, βιομηχανία ανακύκλωσης, βιομηχανία επεξεργασίας χαρτιού, βιομηχανία επεξεργασίας ξύλου, βιομηχανία πλαστικών, κ.α. Είναι μια πολυεπίπεδη διαδικασία που μπορεί να γίνει με πολλές και διαφορετικές μεθόδους.

Χρόνια τώρα έχουν αναζητηθεί και αναπτυχθεί πολλά είδη καθαρισμού επιφάνειας, από τα οποία τα επικρατέστερα παρατίθενται παρακάτω. Ανάλογα με το είδος της επιφάνειας που θέλουμε να καθαρίσουμε, επιλέγεται το καταλληλότερο κάθε φορά είδος. Παράγοντες που λαμβάνονται υπ' όψη για την επιλογή του είδους καθαρισμού επιφάνειας είναι κυρίως:

- Το επιθυμητό ή επιτρεπόμενο βάθος υλικού που θα αφαιρεθεί από την επιφάνεια.
- Το υλικό το οποίο επιθυμούμε να καθαρίσουμε.
- Το εμβαδό, το σχήμα και γενικότερα τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του υλικού.
- Το μέρος που βρίσκεται η επιφάνεια προς καθαρισμό (δηλ. το αντικείμενο είναι τέτοιο που επιτρέπεται να καθαριστεί μέσα στη βιομηχανία ή θα πρέπει το σύστημα καθαρισμού να μετακινηθεί εκεί που αυτό βρίσκεται)
- Η χρήση για την οποία προορίζεται η επιφάνεια μετά από τον καθαρισμό.
- Το κόστος

Τα επικρατέστερα είδη καθαρισμού επιφανειών στη βιομηχανία είναι:

- Μηχανικός καθαρισμός
- Καθαρισμός με φλόγα (Flame cleaning)

- Καθαρισμός με εμβάπτιση σε οξέα (pickling)
- Καθαρισμός με ψηγματοβολή
- Καθαρισμός με υδροβολή (water blasting)
- Καθαρισμός με αμμοβολή (sand blasting)
- Καθαρισμός με υδροαμμοβολή
- Καθαρισμός με ξηρό πάγο (παγοβολή)
- Καθαρισμός με σπασμένο γυαλί (crushed glass)
- Καθαρισμός με Laser

1.2.1 Μηχανικός καθαρισμός

Ο μηχανικός καθαρισμός ίσως είναι η αρχαιότερη μέθοδος καθαρισμού επιφανειών και δεν είναι κάτι άλλο από την απομάκρυνση του εξωτερικού στρώματος μιας επιφάνειας με τη χρήση κατάλληλου εργαλείου. Ο καθαρισμός αυτός μπορεί να γίνει με εργαλεία χειρός ή χρήση ηλεκτροκίνητων εργαλείων. Τέτοια εργαλεία μπορεί να είναι κάποιο κοπτικό εργαλείο, το γυαλόχαρτο, η συρματόβουρτσα κ.α. Ουσιαστικά, με την τριβή ή την κρούση του εργαλείου πάνω στην επιφάνεια, απομακρύνεται το εξωτερικό στρώμα της και έτσι έχουμε μια καθαρή, απαλλαγμένη από τους ανεπιθύμητους ρύπους επιφάνεια. Αυτή η μέθοδος επιλέγεται κυρίως για τον καθαρισμό μεταλλικών επιφανειών από την οξειδωση τους (συναντάται και σε ξύλινες, γυάλινες και κεραμικές επιφάνειες), είναι χρονοβόρα, απαιτεί εργατικό δυναμικό, δεν εξασφαλίζει ότι θα υπάρχει ομοιομορφία στην τελική επιφάνεια, κυρίως λόγω του ανθρώπινου παράγοντα. Παρ' όλα αυτά, η μέθοδος αυτή σε αρκετές περιπτώσεις (λόγω οικονομικών συνθηκών ή και της φύσης του αντικειμένου προς καθαρισμό) αποτελεί μονόδρομο και τα ηλεκτροκίνητα ή πνευματικά εργαλεία βελτιώνουν το χρόνο κατεργασίας καθώς και την ποιότητα στο τελικό αποτέλεσμα. Προφανώς, ανάλογα με το υλικό που πρόκειται να καθαριστεί, χρησιμοποιείται και το αντίστοιχο είδος κοπτικού , γυαλόχαρτου κ.τ.λ.

1.2.2 Καθαρισμός με φλόγα (Flame cleaning)

Κατά τη διαδικασία αυτή, φλόγα οξυγόνου -ακετυλενίου (ή προπανίου) πέφτει στην μεταλλική επιφάνεια και η θερμική διαστολή που πραγματοποιείται μεταξύ του μετάλλου (π.χ. χάλυβα) και της σκουριάς ή παλαιού χρώματος ή άλλων ρύπων, προκαλεί την απομάκρυνση τους.

Η ταχύτητα της φλόγας πάνω στη μεταλλική επιφάνεια εξαρτάται από την

κατάσταση της επιφάνειας και δύναται να ποικίλλει μεταξύ των τιμών 1 έως 5 m/min. Οι χαμηλές ταχύτητες πρέπει να χρησιμοποιούνται για ελάσματα πολύ οξειδωμένα ή για βαμμένα ελάσματα. Η αναλογία μεταξύ καύσιμου αερίου και οξυγόνου θα πρέπει να είναι τέτοια, ώστε να μην εναποτίθενται ποσότητες αιθάλης (καπνιάς) πάνω στα ελάσματα (οξειδωτική φλόγα). Πάντως με τη μέθοδο αυτή δεν απομακρύνονται πλήρως οι ρύποι και η σκουριά, ενώ το τελικό αποτέλεσμα είναι ελλιπές.

1.2.3 Καθαρισμός με εμβάπτιση σε οξέα (pickling)

Εδώ έχουμε να κάνουμε με χημικό καθαρισμό, όπου για να υπάρχει έλεγχος του τοξικού και βλαβερού (για την υγεία) υγρού οξέος, το υλικό προς καθαρισμό (συνήθως μέταλλο) εμβάπτιζεται σε θερμό λουτρό οξέων, με τη βοήθεια των οποίων καθαρίζεται η σκουριά ή οι ρύποι. Επίσης, στην εμβάπτιση προστίθενται επιβραδυντές προκειμένου να αποφευχθεί η άμεση προσβολή του μετάλλου από το οξύ. Πριν εφαρμοσθεί η παραπάνω μέθοδος, το υλικό πρέπει να απολιπανθεί και να απαλλαγθεί από τη σκόνη (σε μεγάλο ποσοστό). Η απολίπανση συνήθως πραγματοποιείται σε θερμό λουτρό.

Αμέσως μετά την εφαρμογή της μεθόδου, το μέταλλο ξεπλένεται με φρέσκο καθαρό νερό για να απομακρυνθούν τα κατάλοιπα του οξέος. Πάντως, η μέθοδος καθαρισμού με εμβάπτιση σε οξέα απαιτεί μεγάλους μεγέθους δεξαμενές και παράγει βλαβερά και διαβρωτικά αέρια. Λόγω αυτών των τεχνικών και οικονομικών προβλημάτων που προκύπτουν από την αποθήκευση ισχυρών οξέων και οξυγόνου, απαιτείται υψηλή κατανάλωση νερού.

Το πρόβλημα σε αυτή την περίπτωση είναι ότι οι αυστηροί κανόνες διαχείρισης των αποβλήτων, που τα τελευταία χρόνια οφείλουν να συμμορφώνονται οι βιομηχανίες (λόγω περιβαλλοντικής προστασίας), συν οι κανονισμοί ασφαλείας των εργαζομένων, επέβαλαν περιορισμούς σε αυτό το είδος καθαρισμού. Έγιναν προσπάθειες στήριξης αυτής της μεθόδου με οικονομικότερα και φιλικά προς το περιβάλλον υγρά καθαρισμού, αλλά το οικολογικό πρόβλημα παρέμεινε όπως και η απειλή της υγείας των εργαζομένων. Επιπλέον, αυτή η μέθοδος έχει σαν αποτέλεσμα τον καθαρισμό υλικού σε επίπεδο μέχρι 10μm από την επιφάνεια του. Αν θέλουμε καθαρισμό σε ατομικό επίπεδο τότε επιβάλλεται να χρησιμοποιηθεί άλλη μέθοδος καθαρισμού επιφάνειας. Συνήθως η μέθοδος εφαρμόζεται από ειδικές βιομηχανίες, όπως οι σωληνοουργείες.

1.2.4 Καθαρισμός με ψηγματοβολή

Η ψηγματοβολή (blast-cleaning) αποτελεί, εδώ και αρκετές δεκαετίες, την αποδοτικότερη και την πλέον διαδεδομένη μέθοδο καθαρισμού και προετοιμασίας προς βαφή μεγάλων μεταλλικών κυρίως επιφανειών, με εφαρμογές σε πολλές βιομηχανικές δραστηριότητες και ειδικότερα σε εκείνες που αφορούν στη ναυπηγοεπισκευαστική.

Η αρχή λειτουργίας της ψηγματοβολής στηρίζεται στη βίαια προώθηση ροής αποξεστικού υλικού πάνω στην επιφάνεια υπό καθαρισμό. Τα αποξεστικά υλικά (άμμος, ορυκτά, αποκαμινεύματα, ψήγματα μετάλλων κλπ.) με την πρόσπτωση στην επιφάνεια απομακρύνουν τα επιστρώματα βαφής, τα προϊόντα οξειδωσης και άλλα υπολείμματα και έτσι καθαρίζουν και προετοιμάζουν την επιφάνεια για βαφή. Πριν εφαρμοσθεί η παραπάνω διαδικασία καθαρισμού, όπου είναι απαραίτητο, η επιφάνεια θα πρέπει να έχει απολιπανθεί, να έχουν απομακρυνθεί τα υπόλοιπα των συγκολλήσεων και όλες οι τυχόν ακαθαρσίες, έτσι ώστε η επιφάνεια να έχει γίνει λεία. Μετά τον καθαρισμό με ψηγματοβολή, η επιφάνεια ελευθερώνεται από την σκόνη. Υπάρχουν διάφορες παραλλαγές της μεθόδου, οι διαφορές των οποίων συνίσταται στο μέγεθος των χρησιμοποιούμενων ψηγμάτων, στο μέσο μεταφοράς τους (π.χ. νερό, αέρας) και στον τύπο και είδος του απαιτούμενου μηχανολογικού εξοπλισμού. Η επιλογή της κατάλληλης παραλλαγής της μεθόδου εξαρτάται από τα είδη των ακαθαρσιών, τα υπολείμματα ρύπων και τα διάφορα παλιά φθαρμένα και κατεστραμμένα επικαλυπτικά υλικά (παλιές μπογιές).

Σημαντικοί παράγοντες για έναν σωστό καθαρισμό με ψηγματοβολή είναι:

- Η κατάλληλη επιλογή του ψήγματος (υλικό, μέγεθος, πιθανή ρύπανση).
- Η έγκαιρη απομάκρυνση σκόνης και ακαθαρσιών.
- Η κατάλληλη πίεση βολής.
- Ξηρός αέρας (όταν χρησιμοποιείται).
- Η κατάλληλη αναλογία ψήγματος και μέσου μεταφοράς (αέρας ή νερό).

1.2.5 Καθαρισμός με υδροβολή (water blasting)

Υδροβολή ονομάζουμε τη μέθοδο καθαρισμού διαφόρων επιφανειών ποικίλων υλικών (όπως για παράδειγμα χάλυβα, πέτρας, τσιμέντου, πλαστικού, ξύλου) με την εκτόξευση πίδακα (τζετ) νερού από κάποιο ειδικό εργαλείο («πιστόλι») με μεγάλη πίεση πάνω στην επιφάνεια.

Στη μέθοδο αυτή χρησιμοποιείται ένας εκτοξευτήρας νερού υψηλής πίεσης (περίπου 150 ως 300 bar).

Στην περίπτωση που χρησιμοποιηθεί ειδικός εξοπλισμός, η παραπάνω διαδικασία μπορεί να εφαρμοστεί με αρκετά υψηλότερη πίεση, της τάξης των 3000 bar. Η μέθοδος τότε ονομάζεται υδρο-εκτόξευση (hydro - jetting) και επιτυγχάνει την απομάκρυνση ακόμα και των παλαιών στρωμάτων βαφής και πολύ καλά προσκολλημένης σκουριάς.

Ένα σημαντικό πλεονέκτημα της μεθόδου αυτής είναι ότι παρέχει τη δυνατότητα απομάκρυνσης παλιών στρωμάτων βαφής μόνο στις περιοχές εκείνες που εμείς επιθυμούμε. Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό όταν θέλουμε να απομακρύνουμε κάποιο ανώτερο στρώμα βαφής ή ρύπου, χωρίς να υποστούν ζημιά τα στρώματα που βρίσκονται κάτω από αυτό. Επίσης, με υδρο-εκτόξευση απομακρύνονται στρώματα θερμοπλαστικών χρωμάτων που με άλλες μεθόδους ψηγματοβολής δεν είναι δυνατόν να απομακρυνθούν.

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει ο καθαρισμός της επιφάνειας όταν γίνεται με συνδυασμό πεπιεσμένου αέρα, νερού και ψήγματος. Τότε η διαδικασία ονομάζεται υδατο-ψηγματοβολή (wet abrasive blast-cleaning) και το μέσο μεταφοράς είναι ο πεπιεσμένος αέρας. Τα τρία συστατικά (αέρας – νερό - ψήγμα) αναμειγνύονται ελεγχόμενα πριν προωθηθούν στην προς καθαρισμό επιφάνεια, ενώ ο βαθμός καθαρισμού είναι εξαιρετικός (λευκό μέταλλο / white metal). Πολλές φορές, το χρησιμοποιούμενο νερό περιέχει ειδικές ουσίες (επιβραδυντές / inhibitors) που καθυστερούν την εμφάνιση διάβρωσης στην επιφάνεια του μετάλλου που μόλις έχει καθαριστεί.

Η μέθοδος καθαρισμού με υδροβολή είναι επίσης ο αποτελεσματικότερος τρόπος απομάκρυνσης των αλάτων από τις επιφάνειες υπό ρύπανση. Παρουσιάζει αρκετά πλεονεκτήματα, όπως ο αποτελεσματικότερος καθαρισμός της επιφάνειας, η δυνατότητα εφαρμογής της κάτω από συνθήκες υγρασίας, η μικρή ποσότητα ψήγματος που χρησιμοποιείται, η αποφυγή περιβαλλοντικής μόλυνσης και η ασφάλεια της μεθόδου.

Κύριο μειονέκτημά της είναι το γεγονός ότι μετά τον καθαρισμό η επιφάνεια είναι υγρή και σίγουρα ακατάλληλη για την επίχριση κάποιου χρώματος. Έτσι θα πρέπει να περάσει κάποιο χρονικό διάστημα ώστε να στεγνώσει και να είναι έτοιμη για την επόμενη εργασία (π.χ. βαφή).

Η μέθοδος της υδροβολής χρησιμοποιείται εδώ και πολλά χρόνια στη ναυπηγική και ναυπηγοεπισκευαστική βιομηχανία για τον προκαταρκτικό καθαρισμό ή «πλύσιμο» (wash down) των επιφανειών των πλοίων, πριν τον κυρίως καθαρισμό.

1.2.6 Καθαρισμός με αμμοβολή (sand blasting)

Κατά τη μέθοδο αυτή, ο καθαρισμός γίνεται με εκτόξευση σωματιδίων άμμου πάνω στη μεταλλική επιφάνεια. Αποτέλεσμα της πρόσκρουσης είναι η αφαίρεση παλαιότερων επιστρωμάτων και οξειδίων, καθώς και η επίτευξη κατάλληλης τραχύτητας ώστε να εξασφαλίζεται η απαραίτητη πρόσφυση της βαφής πάνω στο μέταλλο. Παλαιότερα, η πυριτική άμμος ήταν το μοναδικό αποξεστικό μέσο που χρησιμοποιείτο σε ξηρές ανοικτές ψηγματοβολές. Η χρήση της συνδέθηκε με την θανατηφόρα ασθένεια των πνευμόνων, την σιλίκωση, η οποία προκαλείται από την εισπνοή κρυσταλλικού SiO_2 , που περιέχεται σε ψηλά ποσοστά στη σύστασή της και το οποίο δημιουργεί σοβαρούς κινδύνους για την υγεία τόσο των εργαζομένων όσο και των ατόμων που βρίσκονται σε κοντινή απόσταση από την περιοχή εκπομπής.

Σήμερα, η χρήση της έχει περιοριστεί έως και αντικατασταθεί από άλλα αποξεστικά μέσα.

1.2.7 Καθαρισμός με υδροαμμοβολή

Αποτελεί την πρώτη εναλλακτική μέθοδο έναντι της αμμοβολής και άρχισε να εφαρμόζεται βιομηχανικά, εδώ και περίπου 40 χρόνια. Αναπτύχθηκε με κύριο στόχο την μείωση της σκόνης που παράγεται από την ξηρή ψηγματοβολή. Εμφανίζει σημαντικά πλεονεκτήματα, όπως ελαχιστοποίηση της σκόνης και η παράδοση χημικά ουδέτερης επιφάνειας προς περαιτέρω επεξεργασία.

Παρά όμως τα σημαντικά πλεονεκτήματά της, παρουσιάζει κάποια μειονεκτήματα με συνέπεια να μην μπορεί να εδραιωθεί ως μια αξιόπιστη λύση στον καθαρισμό μεταλλικών επιφανειών.

Τα κυριότερα μειονεκτήματά της είναι το υψηλό κόστος, οι μεγάλες απαιτήσεις σε φρέσκο νερό, οι χαμηλοί βαθμοί παραγωγικότητας στις περισσότερες περιπτώσεις, η εμφάνιση ακαριαίας οξειδωσης πάνω στην καθαρή επιφάνεια μετά από πολύ μικρό χρονικό διάστημα, με αποτέλεσμα να επιβάλλεται η χρησιμοποίηση αντισκωριακών διαλυμάτων (inhibitors). Επίσης η παραγωγή υγρών αποβλήτων (μίγμα νερού και αποξεστικού), με αποτέλεσμα η διαχείριση των αποβλήτων να είναι δύσκολη.

1.2.8 Καθαρισμός με ξηρό πάγο (παγοβολή)

Ο ξηρός πάγος είναι στερεό CO₂, δηλαδή αέριο που έχει ψυχθεί περίπου στους -78°C, όπου γίνεται συμπαγές. Οι σβόλοι του ξηρού πάγου σε μέγεθος σπόρων ρυζιού εισέρχονται σε ρεύμα πεπιεσμένου αέρα ή αδρανούς αερίου και επιταχύνονται. Η ταχύτητα του αέρα φτάνει κοντά στην ταχύτητα του ήχου επιταχύνοντας έτσι τους σβόλους του ξηρού πάγου σε ταχύτητες της τάξεως των 180 - 330 m/s.

Η πρόσκρουση των σβόλων του ξηρού πάγου πάνω στις εναποθέσεις της επιφανείας δρα με τρεις τρόπους:

- Ψύχει τοπικά τις εναποθέσεις οι οποίες λόγω του θερμικού σοκ που υφίστανται σχηματίζουν ρωγμές.
- Με την πρόσκρουση αναπτύσσεται μεγάλη πίεση και μέρος του στερεού CO₂ υγροποιείται. Αυτό αποτελεί καλό διαλύτη για διάφορες ουσίες, βοηθώντας έτσι στη διαμέριση των εναποθέσεων, με αποτέλεσμα να αποκολλάται το στρώμα των εναποθέσεων από το κύριο υλικό. Στη συνέχεια ο ξηρός πάγος εισέρχεται στις ρωγμές όπου πάλι λόγω υψηλών πιέσεων ατμοποιείται ακαριαία (εξαχνώνεται), αυξάνοντας τον όγκο του και αποκολλά σχεδόν πλήρως τις επικαθίσεις .
- Το αποδοτικότερο μέρος της μεθόδου βέβαια είναι η εκμετάλλευση της κινητικής ενέργειας των σωματιδίων που μηχανικά απομακρύνει το επιζήμιο οξειδωμένο στρώμα από την επιφάνεια.

Σχετικά με τις άλλες μεθόδους καθαρισμού επιφανειών, η παγοβολή έχει τα ακόλουθα μειονεκτήματα και πλεονεκτήματα:

- Η τραχύτητα που επιτυγχάνεται δεν είναι η επιθυμητή, αλλά ενδιάμεση μεταξύ της αμμοβολής και της υδροβολής.
- Επιτυγχάνεται σχετικά μεγάλη ταχύτητα καθαρισμού .
- Δεν παράγει απόβλητα.
- Πολύ φιλική προς το περιβάλλον (με τοπικά κριτήρια), αφού το CO₂ ελευθερώνεται μετά στην ατμόσφαιρα χωρίς κάποια άλλη διεργασία .

Βέβαια, με την τελευταία κρίση της υπερθέρμανσης του πλανήτη λόγω του διοξειδίου του άνθρακα, κάθε σχετική διεργασία που παράγει μεγάλες ποσότητες αυτού του αερίου βρίσκεται στο στόχαστρο όλων όσων αγωνίζονται για την μείωση των εκπομπών του CO₂ παγκοσμίως.

1.2.9 Καθαρισμός με σπασμένο γυαλί (crushed glass)

Ο καθαρισμός αυτού του είδους γίνεται με εκτόξευση ψηγμάτων γυαλιού πάνω στη μεταλλική επιφάνεια. Ψήγματα σπασμένου γυαλιού παράγονται από 100% ανακυκλώσιμο γυαλί από μπουκάλια. Αυτά τα ψήγματα γυαλιού αποδίδουν υψηλή απόδοση όμοια με αυτής των μεταλλικών αποξεστικών. Δεν περιέχουν ελεύθερο πυρίτιο δεν είναι τοξικά, είναι αδρανή και δεν περιέχουν βαρέα μέταλλα .

Τα γωνιώδη κομμάτια στα σπασμένα γυαλιά επιτρέπουν στην δημιουργία τραχύτητας στην επιφάνεια και αφαιρούν επιστρώματα εποξικά, μπογιές, αλκύδια, βινύλιο, πισσάνθρακα και ελαστομερή. Έτσι παράγεται μια λευκή και καθαρή επιφάνεια.

Ένα από τα περιβαλλοντικά του πλεονεκτήματα, όπως αναφέραμε, είναι η έλλειψη ελεύθερου πυριτίου. Επίσης το γεγονός ότι τα ψήγματα γυαλιού προέρχονται από ήδη χρησιμοποιημένα μπουκάλια παρέχουν το πλεονέκτημα προς το περιβάλλον ότι μειώνουν τα απόβλητα από τις χωματερές. Είναι ελεύθερα από βαρέα μέταλλα όπως αρσενικό, ασβέστιο, βηρύλλιο, τιτάνιο κλπ. τα οποία βρίσκονται στις σκουριές των μετάλλων και του άνθρακα.

1.2.10 Καθαρισμός με Laser

Ο καθαρισμός με ακτινοβολία λέιζερ βασίζεται στην αλληλεπίδραση της ακτινοβολίας παλμών λέιζερ μικρής διάρκειας με τα προς αφαίρεση στρώματα από μια επιφάνεια, με αποτέλεσμα την «φωτο-αποδόμηση» και τελικά την απομάκρυνση των ανεπιθύμητων επιφανειακών στρωμάτων. Η αλληλεπίδραση αυτή είναι μια πολυπαραμετρική διαδικασία, στην οποία συνεργούν μια σειρά από συντελεστές που αφορούν τόσο τα χαρακτηριστικά της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας λέιζερ (μήκος κύματος, ένταση, διάρκεια παλμού κλπ.) όσο και τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά των υλικών με τα οποία αλληλοεπιδρά (απορρόφηση, θερμοδυναμικές παράμετροι κλπ.). Η προσεκτική επιλογή των κατάλληλων παραμέτρων είναι επομένως ουσιαστική και κρίσιμη προκειμένου να έχουμε επιλεκτικές και επιτυχείς επεμβάσεις καθαρισμού.

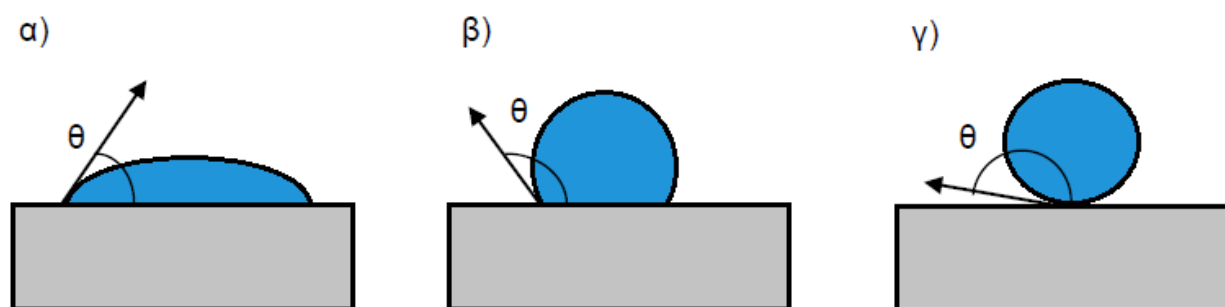
Το είδος αυτό καθαρισμού δεν απευθύνεται σε επιφάνειες πολλών τετραγωνικών μέτρων αλλά αντίθετα σε μικρές, όπου προτιμάται η ακρίβεια και λεπτομέρεια καθαρισμού παρά η ταχύτητα, η ποσότητα ή και το κόστος. Έτσι, αυτό το είδος καθαρισμού το συναντάμε κυρίως σε καθαρισμό λεπτεπίλεπτων αντικείμενων όπως μουσειακά αντικείμενα, αρχαία, έργα τέχνης, είτε αυτά είναι μεταλλικά, πέτρινα, μαρμάρια ή ασβεστολιθικά.

Το λέιζερ αφαιρεί τους επιφανειακούς ρύπους (π.χ. ιζηματογενής κρούστες), χωρίς να προκαλεί φθορά στην κυρίως επιφάνεια, δίνει τη δυνατότητα διακοπής του καθαρισμού στο επιθυμητό επίπεδο και δεν προκαλεί οποιαδήποτε χρωματική ή μορφολογική αλλοίωση της επιφάνειας.

Κατά την διάρκεια του καθαρισμού πρέπει να εφαρμοστούν όλοι οι σχετικοί κανονισμοί ασφάλειας και υγιεινής που αφορούν την χρήση των λέιζερ ώστε να εξασφαλισθεί η ασφαλής εργασία των χειριστών. Συγκεκριμένα οι καθαρισμοί οφείλουν να πραγματοποιούνται σε δωμάτιο με ελεγχόμενη είσοδο στο οποίο είχε ληφθεί μέριμνα ώστε να μην έχει οπτική πρόσβαση προς του άλλους χώρους. Οι χειριστές πρέπει να φορούν ειδικά προστατευτικά γυαλιά ενώ σύστημα απαγωγού πρέπει να απομακρύνει τα παράγωγα του καθαρισμού.

1.3 Καθαρότητα Επιφάνειας

Οι απαιτήσεις καθαρισμού διαφέρουν σε κάθε εφαρμογή, δηλαδή επιφάνεια που θεωρείται αρκούντως καθαρή για χρήση σε έναν τομέα, είναι ανεπαρκώς καθαρή ή υπερβολικά καθαρή σε έναν άλλο. Γενικά καθαρή επιφάνεια ορίζεται αυτή που περιέχει μη σημαντικές ποσότητες ανεπιθύμητων μολυσματικών ουσιών. Η ποιότητα καθαρότητας επιφάνειας μετά τη διαδικασία καθαρισμού στην βιομηχανία ελέγχεται συνήθως με απλό και αξιόπιστο τρόπο, με γωνιόμετρο. Συγκεκριμένα μετρείται η γωνιά που σχηματίζει μια ορισμένη ποσότητα νερού συγκεκριμένης καθαρότητας, εναποθετημένη πάνω στην προς έλεγχο επιφάνεια (γωνία επαφής-contact angle) όπως φαίνεται στο ακόλουθο σχήμα.

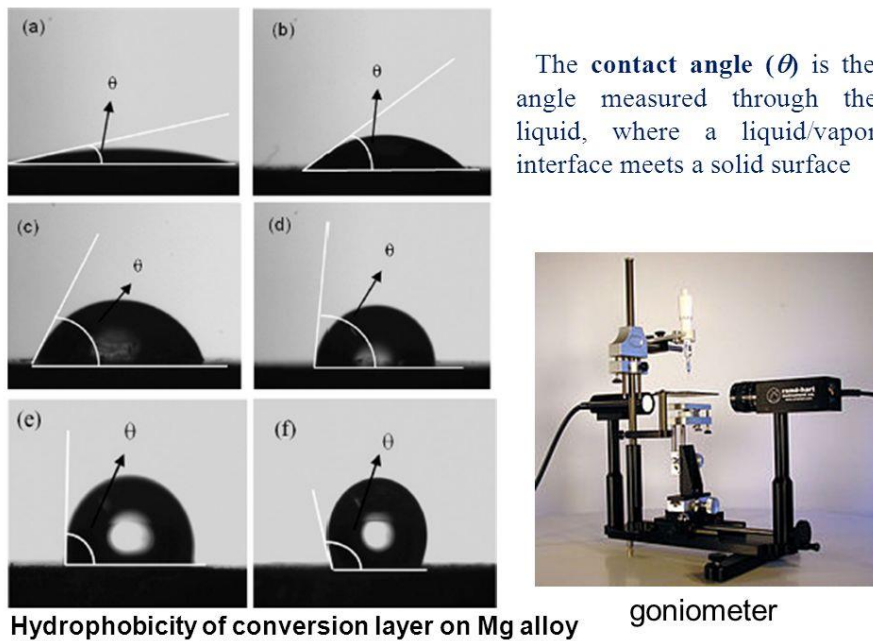


Σχήμα 1: Τρεις τυπικές περιπτώσεις γωνιών επαφής. Οξεία (α), αμβλεία (β) και γωνία επαφής αδιάβροχης επιφάνειας (γ).

Η επιφάνεια ενός στερεού, ως προς τη διαβροχή της, μπορεί να χαρακτηριστεί ως υπερυδρόφιλη $\phi < 45^\circ$, υδρόφιλη $45^\circ < \phi < 90^\circ$, υδρόφοβη $90^\circ < \phi < 120^\circ$ ή υπερυδρόφοβη $160^\circ < \phi < 180^\circ$, ανάλογα με τη γωνία που σχηματίζεται μεταξύ της επιφάνειας και ακίνητης σταγόνας του υγρού, η οποία επικάθεται στην επιφάνεια.

Ανάλογα με τη γωνία συμπεραίνεται το ποσοστό καθαρότητας της επιφάνειας. Μια επιφάνεια μη καθαρή (λιπαρή επιφάνεια) θα παρουσιάσει μεγάλη γωνία ενώ αντίθετα μια καθαρή επιφάνεια, μικρή γωνία. Αυτό οφείλεται στο ότι μια μη καθαρή επιφάνεια είναι περισσότερο υδρόφοβη από μια καθαρή.

Επίσης, από τον προσδιορισμό της γωνίας επαφής μεταξύ του στερεού υποστρώματος και της υγρής σταγόνας μπορεί να προσδιοριστεί η επιφανειακή τάση μεταξύ στερεού και σταγόνας, αν είναι γνωστές οι επιφανειακές τάσεις στερεού-αέρα και σταγόνας-αέρα.



Σχήμα 2: Γωνία επαφής σταγόνας με στερεό υλικό και γωνιόμετρο.

Αναλυτική περιγραφή αυτής της τεχνικής χαρακτηρισμού θα γίνει στο προτελευταίο κεφάλαιο παράγραφος 5.4.

Κεφάλαιο 2^ο - Φυσική Πλάσματος

Ορισμός πλάσματος :

Πλάσμα είναι η τέταρτη μορφή της ύλης δίπλα στη στερεά, υγρή και αέρια μορφή. Ορίζεται ως ένα αέριο που περιέχει φορτισμένα ή και ουδέτερα σωμάτια ενώ παρουσιάζει ιδιότητες συλλογικής συμπεριφοράς και αμφιουδετερότητας.

2.1 Συλλογική συμπεριφορά

Ο παραπάνω ορισμός δεν περιορίζει το πλάσμα ούτε στα εντελώς ιονισμένα αέρια ούτε και στα σχεδόν ουδέτερα συστήματα. Για παράδειγμα στα συνηθισμένα αέρια επειδή είναι ουδέτερα, δεν υπάρχουν ηλεκτρομαγνητικές δυνάμεις, και στο βαθμό που η δύναμη βαρύτητας είναι αμελητέα, η κίνηση των σωματιδίων είναι αποτέλεσμα μόνο των συγκρούσεων μεταξύ τους. Αντίθετα, στο πλάσμα η κίνηση των σωματιδίων δημιουργεί ηλεκτρικά πεδία και ρεύματα, τα οποία με τη σειρά τους δημιουργούν ηλεκτρομαγνητικά πεδία. Όμως αυτά τα πεδία επιδρούν πάνω στην κίνηση των σωματιδίων που βρίσκονται σε κάποια απόσταση από αυτά. Συγκεκριμένα, το ηλεκτρικό πεδίο μεταξύ δυο φορτισμένων σωματίων ελαττώνεται ανάλογα με το $1/r^2$ ενώ το φορτίο από μια πυκνότητα πλάσματος αυξάνει ανάλογα με το r^3 . Έτσι, κομμάτια πλάσματος μπορεί να επιδρούν μεταξύ τους σε σχετικά μεγάλες αποστάσεις. Βλέπουμε λοιπόν ότι στο πλάσμα οι μεγάλης εμβέλειας δυνάμεις Coulomb είναι κύρια οι δυνάμεις που προσδιορίζουν την κίνηση των σωματιδίων σε αντίθεση με τα συνηθισμένα αέρια όπου τα μόρια αντιδρούν μεταξύ τους κυρίως διαμέσου δυνάμεων μικρής εμβέλειας. Από τα παραπάνω γίνεται φανερό ότι η φυσική πλάσματος περιγράφει συμπεριφορά πολλών σωματιδίων. Αυτό ονομάζεται << Συλλογική συμπεριφορά >> όταν δηλ. κατά την αλληλεπίδραση των φορτισμένων σωματιδίων, οι δυνάμεις μεγάλης εμβέλειας υπερισχύουν των δυνάμεων μικρής εμβέλειας.

Για έναν ποσοτικό ορισμό του πλάσματος θα γίνει χρήση μιας βασικής παραμέτρου της φυσικής πλάσματος, του μήκους **Debye** λ_D το οποίο ορίζει την εμβέλεια των δυνάμεων Coulomb μέσα στο πλάσμα. Η λογική εδώ είναι ότι τα συλλογικά φαινόμενα κυριαρχούν σε σύγκριση με τη συμπεριφορά του ενός σωματιδίου.

Αυτό όμως συμβαίνει όταν η ενέργεια που χρειάζεται ένα φορτισμένο σωματίο με φορτίο q για να διανύσει την μισή απόσταση μεταξύ δυο τοπικών φορτίων με δυναμικό ϕ είναι μεγαλύτερη από την μέση ενέργεια της θερμικής κίνησης του σωματίου. Κατ' επέκταση ένα ιονισμένο αέριο μπορεί να χαρακτηριστεί ως πλάσμα όταν η απόσταση L είναι πολύ μεγαλύτερη από το μήκος Debye λ_D δηλ.

$$L \gg \lambda_D .$$

2.2 Πλάσμα στη φύση

Λέγεται ότι το 99% της ύλης στο σύμπαν βρίσκεται σε μορφή πλάσματος, ενώ το 1% μοιάζει με τη κατάσταση της ύλης που συναντάμε στη γη, δηλαδή με πλάσμα. Στη γη οι κυριότερες φυσικές μορφές πλάσματος είναι ο κεραυνός και το Βόρειο Σέλας. Το ενδιαφέρον όμως δεν εξαντλείται μόνο σε αυτά γιατί σήμερα υπάρχουν μια σειρά από διατάξεις που ξεκινούν από τους σωλήνες φωτισμού και φτάνουν μέχρι τους πυρηνικούς αντιδραστήρες πυρηνικής σύντηξης που χρησιμοποιούν ύλη που βρίσκεται σε μορφή πλάσματος.

Σαν πλάσμα επίσης μπορούν χαρακτηριστούν τα αέρια των πυραύλων (θερμό πλάσμα) και το εσωτερικό των ημιαγωγών στο οποίο βρίσκονται θετικά και αρνητικά φορτία. Ιδιαίτερα σήμερα γίνονται σημαντικές μελέτες για την παραγωγή πλάσματος υψηλής θερμοκρασίας και πυκνότητας για να προσδιοριστούν οι συνθήκες που θα έδιναν τη δυνατότητα ελεγχόμενης θερμοπυρηνικής σύντηξης που θα είχε σαν αποτέλεσμα την παραγωγή απεριόριστων ποσών ενέργειας.

Το ότι υπάρχουν ελάχιστα παραδείγματα πλάσματος πάνω στη γη οφείλεται και στην πυκνότητα σωματιδίων αλλά και στην θερμοκρασία.

Αυτό μπορούμε να το δούμε προσεγγιστικά από την εξίσωση **Saha** που μας δίνει τον ιονισμό σε ένα αέριο στην κατάσταση ισορροπίας.

$$\frac{n_i}{n_n} \approx \frac{AT^{3/2}}{n_i} \exp\left(-\frac{U_i}{KT}\right) \quad \text{Εξίσωση (1)}$$

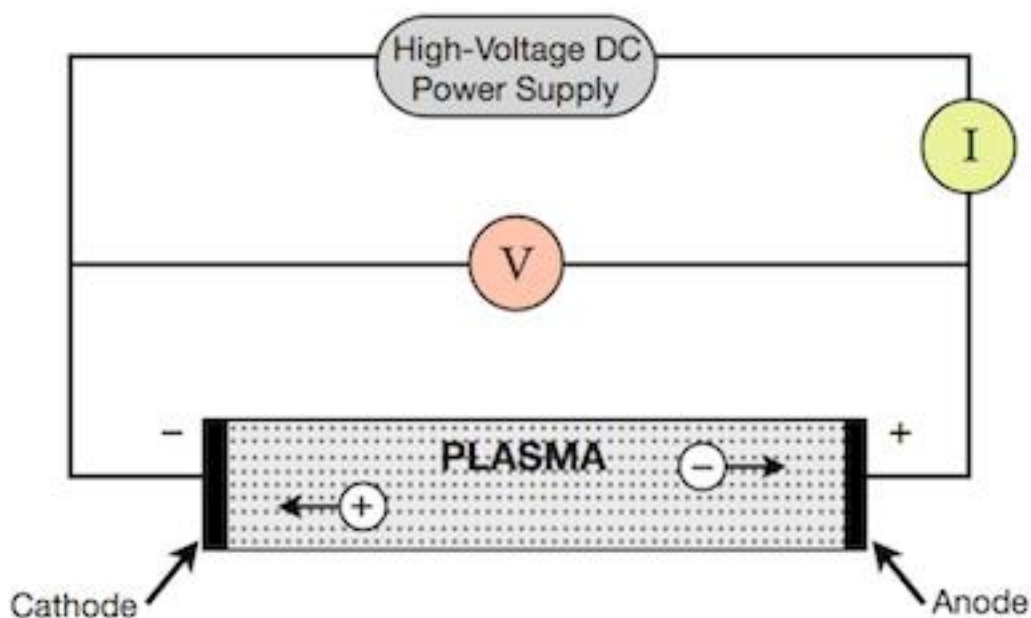
Όπου $A = g\left(mK / 2\pi h^2\right)^{3/2}$ είναι μια σταθερά, n_n και n_i οι αντίστοιχες πυκνότητες ουδέτερων και ιονισμένων ατόμων, T η θερμοκρασία, K η σταθερά Boltzmann και U_i η ενέργεια

ιονισμού (δηλαδή η ενέργεια που χρειάζεται να αποσπαστεί ένα ηλεκτρόνιο από τον εξωτερικό φλοιό του ατόμου). Ο παράγοντας g είναι ένα στατιστικό βάρος που παίρνει υπό όψη του καταστάσεις εκφυλισμού. Με την αύξηση της θερμοκρασίας, ο βαθμός ιονισμού αρχίζει να αλλάζει δραστικά όταν το kT γίνει της ίδιας τάξης μεγέθους με την ενέργεια ιονισμού U_i . Τότε το αέριο μεταβαίνει στην κατάσταση πλάσματος και γίνεται ολικά ιονισμένο όταν $n_n < n_i$. Για αυτό λέγεται και τέταρτη μορφή της ύλης και αυτός είναι ο λόγος που υπάρχει στα αστρονομικά σώματα που έχουν μεγάλες θερμοκρασίες ενώ δεν υπάρχει στη γη.

Παράλληλα με τον παραπάνω ορισμό η σύνθεση του πλάσματος μπορεί να περιγραφεί και με το λόγο της πυκνότητας ηλεκτρονίων προς την πυκνότητα ουδετέρων ατόμων $r = n_e/n_n$ που συνήθως λέγεται βαθμός ιονισμού. Συμφώνα με αυτό τον ορισμό το πλάσμα είναι ελαφρά ιονισμένο όταν $r < 10^{-2}$, $r < 10^{-3}$ και εντελώς ιονισμένο όταν $r \rightarrow \infty$.

2.3 Μήκος Debye, αμφιουδετερότητα

Μια σπουδαία χαρακτηριστική ιδιότητα του πλάσματος είναι ότι έχει τη δυνατότητα να απομονώνει ένα ηλεκτρικό δυναμικό που επιδρά πάνω σε αυτό, σχηματίζοντας γύρω από το δυναμικό ένα νέφος φορτιού. Το φαινόμενο αυτό λέγεται θωράκιση Debye και μπορεί να παρατηρηθεί εύκολα βάζοντας μέσα στο πλάσμα δυο ηλεκτρόδια που συνδέονται με μια μπαταρία. Γύρω από κάθε ηλεκτρόδιο θα σχηματιστεί νέφος από σωματίδια με φορτίο αντίθετο από αυτό του ηλεκτροδίου.



Σχήμα 3: Υπεραπλουστευμένη διάταξη δημιουργίας πλάσμα.

Αν η μπαταρία είναι αρκετά μεγάλη ώστε να καλύπτει αμέσως τα ιόντα που προσλαμβάνονται από τα ηλεκτρόδια (ή αν μεταξύ νέφους και ηλεκτροδίου τοποθετηθεί ένα διηλεκτρικό) τότε θα απομονωθεί (θα θωρακιστεί) απόλυτα το εξωτερικό δυναμικό στην περίπτωση μηδενικής θερμικής κίνησης (κρύο πλάσμα). Στην πραγματικότητα όμως, υπάρχει κάποια θερμοκρασία έστω και μικρή και μερικά ιόντα που βρίσκονται στο εξωτερικό μέρος του νέφους θα έχουν αρκετή θερμική ενέργεια ώστε να μπορέσουν να ξεπεράσουν το φράγμα του ηλεκτροστατικού δυναμικού. Θα δημιουργηθεί επομένως ηλεκτρικό πεδίο οπότε η θωράκιση δε θα είναι τέλεια.

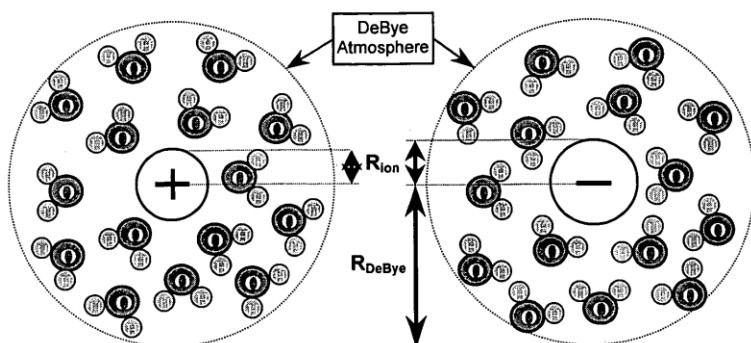
Δεν είναι δύσκολο να υπολογιστεί το πάχος του νέφους. Στην πιο απλή προσέγγιση υποθέτουμε ότι το ηλεκτρόδιο βρίσκεται στο δυναμικό Φ_0 και ότι η μάζα των ιόντων M είναι πολύ μεγαλύτερη από τη μάζα των ηλεκτρονίων m , ώστε ο λόγος M/m είναι τόσο μεγάλος που τα ιόντα παραμένουν ακίνητα κατά τη χρονική διάρκεια του πειράματος. Η εξίσωση Poisson δίνει

$$\frac{1}{r^2} \frac{d}{dr} r^2 \frac{d\phi}{dr} = -\frac{e}{\epsilon_0} (n_i - n_e) = -\frac{n_0}{\epsilon_0} e \left(e^{-e\phi/T} - e^{e\phi/T} \right) \quad \text{Εξίσωση (2)}$$

Αντίστοιχα, η εξίσωση μήκους Debye δίνεται από:

$$\lambda_D = \left(\frac{\epsilon_0}{2 e n_0} T \right)^{1/2} \quad \text{Εξίσωση (3)}$$

Όπου αυτό είναι το μήκος Debye, δηλαδή η απόσταση για την οποία η επίδραση του ηλεκτρικού πεδίου ενός φορτισμένου σωματιδίου είναι αισθητή από άλλα φορτισμένα σωματίδια μέσα στο πλάσμα.



Σχήμα 4: Μήκος θωράκισης ή Debye ανάμεσα σε ιόντα νερού υπό ηλεκτρόλυση.

Είναι φανερό ότι το μήκος θωράκισης ελαττώνεται με την αύξηση της πυκνότητας, επειδή κάθε στρώμα πλάσματος έχει τώρα περισσότερα ηλεκτρόνια και αυξάνει με την αύξηση της θερμοκρασίας, γιατί χωρίς θερμική κίνηση θα υπήρχε ένα μηδενικό στρώμα πάχους. Σαν αποτέλεσμα της παραπάνω απλουστευτικής εικόνας και ιδιαίτερα της υπόθεσης $M \gg m$ βρήκαμε ότι το μήκος θωράκισης λ_D είναι συνάρτηση της θερμοκρασίας των ηλεκτρονίων και όχι των ιόντων. Αυτό φαίνεται λογικό αν αναλογιστεί κανείς ότι τα ηλεκτρόνια είναι πιο κινητικά και επομένως σπεύδουν να δημιουργήσουν τη θωράκιση με αυξομείωση αρνητικού φορτίου.

Ένα φορτίο q που τοποθετείται μέσα στο πλάσμα θωρακίζεται από ένα νέφος φορτίου πάχους λ , ώστε τα φορτισμένα σωματίδια που βρίσκονται σε αποστάσεις $r > \lambda_D$ να αισθάνονται τη δύναμη coulomb ελαττωμένη κατά τον παράγοντα $\exp(-r/\lambda_D)$. Αυτό δηλώνει ότι τα φορτισμένα σωματίδια, παρά τη μεγάλη εμβέλεια των δυνάμεων coulomb, μέσα στο πλάσμα δεν επιδρούν μεταξύ τους

σε αποστάσεις μεγαλύτερες από το μήκος Debye. Το μήκος Debye μπορεί να χαρακτηριστεί και σαν εμβέλεια των ηλεκτροστατικών δυνάμεων μέσα στο πλάσμα.

Με την παράμετρο λ_D μπορούμε να ορίσουμε και την έννοια της **αμφιουδετερότητας** (quasi-neutrality). Αν οι διαστάσεις L του συστήματος είναι πολύ μεγαλύτερες από το μήκος Debye λ_D , τότε τα φορτία με διαφορετικά πρόσημα έλκονται μεταξύ τους και τείνουν να δημιουργήσουν μια κατάσταση ουδετερότητας. Το ίδιο συμβαίνει και με την παρεμβολή ενός εξωτερικού φορτίου ή δυναμικού. Θωρακίζεται σε απόσταση λ_D αφήνοντας έτσι το υπόλοιπο πλάσμα ανεπηρέαστο, υπό την έννοια ότι δεν απέχει δραστικά από την στατική κατάσταση ισορροπίας, ώστε η διαφορά της δυναμικής ενέργειας του να είναι ανάλογη της θερμικής ενέργειας $\Delta(e\Phi) \leq k \cdot T_e$. Το πλάσμα τότε είναι σχεδόν ουδέτερο ώστε να ισχύει μια κοινή πυκνότητα πλάσματος $n_i = n_e = n$ αλλά όχι απόλυτα ουδέτερο ώστε να υπάρχουν οι ηλεκτροστατικές δυνάμεις που είναι η κύρια αίτια όλων των σημαντικών φαινομένων σ' αυτό.

2.4 Η παράμετρος του πλάσματος

Είναι φανερό ότι η έννοια της θωράκισης έχει νόημα όταν υπάρχουν πολλά σωματίδια σε μια σφαίρα Debye. Γιατί όταν υπάρχουν π.χ. μόνο δυο σωματίδια, η θωράκιση δεν μπορεί να είναι φαινόμενο αποδεκτό στη στατιστική φυσική. Αν υπολογίσουμε τον αριθμό των σωματιδίων σε μια σφαίρα Debye με

$$N_D = n \frac{4\pi}{3} \lambda_D^3 \quad \text{Εξίσωση (4)}$$

Τότε η απαίτηση ότι μέσα σε μια σφαίρα Debye πρέπει να υπάρχουν πολλά σωματίδια ισοδυναμεί με τη συνθήκη

$$N_D \gg 1 \quad \text{ή} \quad \lambda_D \gg n^{-1/3} \quad \text{Εξίσωση (5)}$$

Παράλληλα για να ισχύει η προσέγγιση του πλάσματος σαν αερίου πρέπει η μέση δυναμική ενέργεια των σωματιδίων να είναι μικρότερη από τη μέση κινητική ενέργειά του. Επειδή $r_\mu > r_e$, όπου $r_e = e^2 / k \cdot T$ είναι η απόσταση όπου η κινητική ενέργεια είναι ίση με την δυναμική έχουμε ότι

$$\frac{e^2}{r_\mu} \leq KT \quad \frac{e^2}{\lambda_D} \ll KT \quad \text{Εξίσωση (6)}$$

Οπότε η ανισότητα επιβάλλει

$$\frac{r_\mu}{\lambda_D} \ll 1 \quad \text{Εξίσωση (7)}$$

Από όπου με το συνδυασμό των (5),(6), προκύπτει η διάταξη μεγεθών

$$r_\mu \ll n^{-1/3} \ll \lambda_D \ll L \quad \text{Εξίσωση (8)}$$

Μια σπουδαία ιδιότητα του πλάσματος είναι συνδεδεμένη με αυτή την τελευταία ανισότητα : μπορούμε να ορίσουμε το λόγο Δυναμική / κινητική ενέργεια με την παράμετρο

$$\eta = \frac{e^2}{r_\mu KT} \quad \text{Εξίσωση (9)}$$

Η παράμετρος η λέγεται παράμετρος πλάσματος και για ένα πλάσμα αερίου παίρνει τιμές $\eta \ll 1$.

Για παράδειγμα, στο ιονοσφαιρικό πλάσμα έχουμε $\eta \leq 10^{-2}$ ενώ στην θερμοπυρηνική σύντηξη $\eta \leq 10^{-4}$. Έτσι η παράμετρος η παίζει έναν πολύ σημαντικό ρόλο στην κινητική θεωρία του πλάσματος. Επιπλέον, λόγω του ότι συνδέεται με τον αριθμό των σωματιδίων μέσα στη σφαίρα

Debye, μας δίνει έναν τρόπο αξιολόγησης του πότε τα συλλογικά φαινόμενα υπερτερούν των ατομικών. Για το λόγο αυτό ένας άλλος ορισμός της παραμέτρου η είναι $\eta = \lambda_D/r_c$

r_c είναι η απόσταση όπου η κινητική ενέργεια γίνεται ίση με τη δυναμική.

2.5 Κριτήρια για το πλάσμα

Μέχρι τώρα καθορίστηκαν δυο συνθήκες που πρέπει να υπακούει ένα ιονισμένο αέριο για να ονομάζεται πλάσμα. Μια τρίτη συνθήκη έχει να κάνει με τις συγκρούσεις μεταξύ των σωματιδίων του πλάσματος. Από το μήκος Debye λ_D και τη θερμική ταχύτητα $U_{th} = (kT_e/m)^{1/2}$ μπορούμε να ορίσουμε τη συχνότητα ταλαντώσεων ω στο πλάσμα. Αν t είναι ο μέσος χρόνος με ουδέτερα άτομα τότε για να συμπεριφέρεται ένα αέριο σαν πλάσμα πρέπει να ισχύει $\omega \cdot t > 1$. Έτσι οι τρεις συνθήκες που πρέπει να υπακούει ένα πλάσμα είναι

1. $\lambda_D \ll L$
2. $N_D \gg 1$
3. $\omega \cdot t > 1$

2.6 Εφαρμογές της φυσικής πλάσματος

Το πλάσμα μπορεί να χαρακτηριστεί με δυο κύριες παραμέτρους, την ενέργεια kT και την πυκνότητα n . Στις διάφορες εφαρμογές, οι παράμετροι αυτές επιδέχονται ένα μεγάλο φάσμα τιμών. Η πυκνότητα π.χ. μπορεί να πάρει τιμές από 1 μέχρι 10^{18} cm^{-3} ενώ η θερμοκρασία kT από 0,1 μέχρι 10^6 eV . Οι εφαρμογές της φυσικής πλάσματος μπορούν να ταξινομηθούν σε εφαρμογές χαμηλής θερμοκρασίας και σε εφαρμογές υψηλής θερμοκρασίας. Οι πρώτες εργασίες στο πλάσμα σε σχετικά χαμηλές θερμοκρασίες $kT \sim 2 \text{ eV}$ έγιναν από τους Langmuir, Tonks και τους συνεργάτες τους για την κατασκευή ηλεκτρονικών λυχνιών με πυκνότητες $10^8 < n < 10^{12} \text{ cm}^{-3}$. Σε αυτές τις μελέτες διερευνήθηκε και το φαινόμενο της θωράκισης. Στην ίδια κατηγορία συμπεριλαμβάνονται οι ανορθωτές υδρογόνου, οι φωτιστικοί σωλήνες και το πλάσμα ημιαγωγών και μετάλλων.

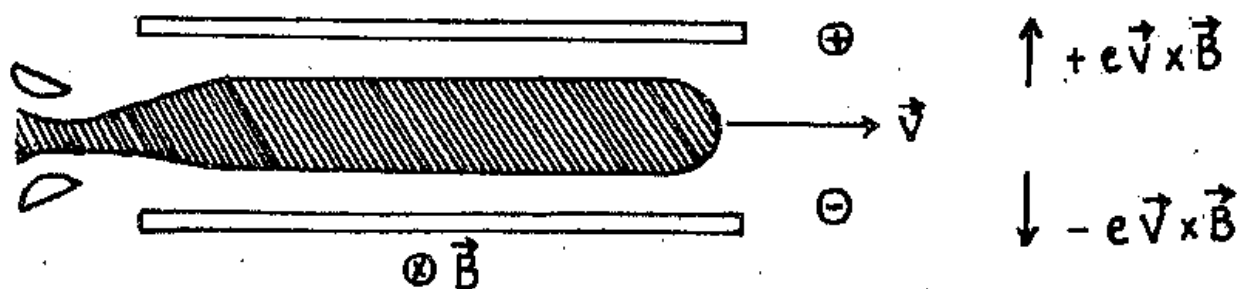
Στις εφαρμογές υψηλής θερμοκρασίας, ο κύριος εκπρόσωπος είναι η θερμοπυρηνική σύντηξη, όπου οι θερμοκρασίες είναι $kT > 10 \text{ KeV}$ και η πυκνότητα σωματιδίων εξαρτάται από τη μέθοδο

περιορισμού της θέρμανσης. Συνηθισμένες πυκνότητες είναι $n_i = n_e = 10^{14}$ μέχρι 10^{15} cm^{-3} ή $n_i = n_e = 10^{22}$ μέχρι 10^{23} cm^{-3} . Υψηλές θερμοκρασίες $kT \sim 5 \text{ eV}$ έχουμε και στο στρώμα F της ιονόσφαιρας που λόγω της σχετικά χαμηλής πυκνότητας του, $n_i = n_e = 10^6 \text{ cm}^{-3}$ μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην τηλεπικοινωνία για μεταβίβαση πληροφοριών. Στη διαστημική τεχνική υπάρχουν δυο ειδών εφαρμογές:

α) Η μαγνητουδροδυναμική μετατροπή ενέργειας που χρησιμοποιεί την κίνηση μιας μικρής τορπίλης γεμάτη με πλάσμα για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

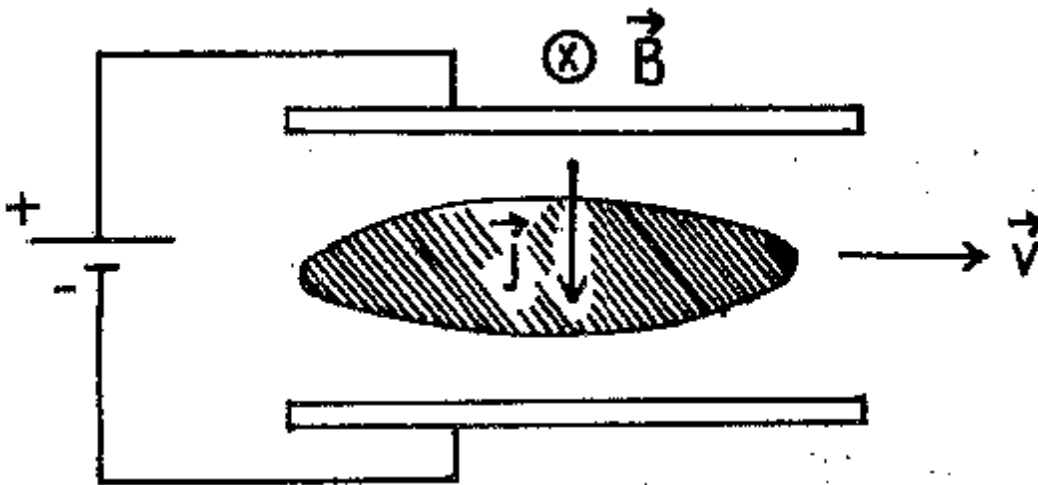
β) Ηλεκτρομαγνητική μηχανή αερίωσης που στηρίζεται ακριβώς στην αντίθετη αρχή.

Στην πρώτη περίπτωση η τορπίλη επιταχύνεται μέσα σε ένα μαγνητικό πεδίο, οπότε λόγω της δύναμης Lorentz τα θετικά φορτία διευθύνονται προς τα πάνω, ενώ τα αρνητικά προς τα κάτω, φορτίζοντας έτσι δυο ηλεκτρόδια.



Σχήμα 5: Μαγνητουδροδυναμικό δυναμό.

Το αντίθετο συμβαίνει στην ηλεκτρομαγνητική μηχανή αερίωσης διαστημόπλοιων. Εδώ το ηλεκτρικό ρεύμα μιας μπαταρίας διαπερνά το πλάσμα που λόγω της δύναμης $\vec{J} \times \vec{B}$ απωθείται δίνοντας εμπρόσθια ώθηση.



Σχήμα 6: Αερίωση διαστημοπλοίου.

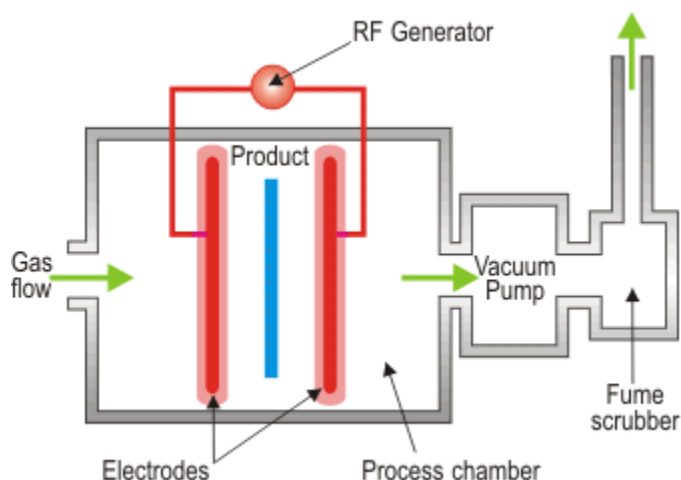
Κεφάλαιο 3^ο Καθαρισμός με πλάσμα (plasma cleaning)

Ως plasma cleaning ορίζεται η αφαίρεση ακαθαρσιών και ρύπων από επιφάνειες (π.χ. μεταλλικές, κεραμικές, πολυιμιδίου κλπ.) με τη χρήση ενεργού πλάσματος κάποιου αερίου (όπως πλάσμα οξυγόνου ή αργού ή ακόμα και ατμοσφαιρικού αέρα).

Καταρχάς αξίζει να σημειωθεί ότι ο καθαρισμός με πλάσμα είναι ίσως η πιο διαδεδομένη κατεργασία στη βιομηχανία, από τις κατεργασίες που βασίζονται στη χρήση πλάσμα. Αυτή η κατεργασία εφαρμόζεται από βιομηχανίες όπως αυτές που παράγουν ημιαγωγούς και ολοκληρωμένα μικροτσιπ, η μεταλλουργία, η βιομηχανία οπτικών, η βιομηχανία ιατρικών ειδών, η οδοντιατρική, η συσκευασία φαγητών και άλλες.

3.1 Αρχή λειτουργίας συσκευών καθαρισμού με πλάσμα

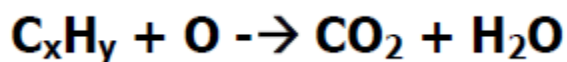
Όλες οι διατάξεις – συσκευές που χρησιμοποιούν πλάσμα για καθαρισμό επιφανειών έχουν ενιαία αρχή λειτουργίας. Από αυτό όμως το σημείο και μετά, υπάρχει διαφοροποίηση μόνο στη συσκευή που ιονίζει το αέριο, στα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του θαλάμου που συμβαίνει η κατεργασία και την επιλογή της αντλίας κενού. Αρχικά πρέπει να υπάρχει ένα δοχείο από αδρανές υλικό, π.χ. γυαλί, όπου μέσα σε αυτό θα τοποθετηθεί το προς καθαρισμό αντικείμενο. Για αυτό το λόγο, το δοχείο πρέπει να φέρει μια μεγάλη είσοδο από την οποία θα εισάγεται το αντικείμενο και επίσης αυτή θα κλίνει αεροστεγώς (π.χ. με ένα πώμα αντίστοιχων διαστάσεων που κλείνει αεροστεγώς). Το δοχείο αυτό φέρει και δυο άλλες πιο μικρές οπές, από τις οποίες μπορούμε να εισάγουμε (από την πρώτη) το επιθυμητό αέριο, ενώ στην άλλη συνδέεται η αντλία κενού. Στο χώρο αυτό εσωτερικά πρέπει να ιονιστεί το αέριο ώστε να αναπτυχθεί το πλάσμα. Ο ιονισμός αυτός επιτυγχάνεται με διάφορους τρόπους όπως πηγές DC, RF, μικροκυμάτων, οι οποίες επενεργούν στο αέριο είτε με ηλεκτρόδια εσωτερικά του χώρου αυτού ή με έξω από αυτόν. Στην εικόνα που ακολουθεί φαίνεται μια πρότυπη συσκευή plasma cleaning. Η συγκεκριμένη φέρει πηγή RF με εσωτερικά ηλεκτρόδια (από όπου δημιουργείται το πεδίο).



Σχήμα 7: Βασική διάταξη παραγωγής πλάσμα για καθαρισμό επιφάνειας.

3.2 Είδη καθαρισμού πλάσμα

Καθαρισμός πλάσμα μπορεί να επιτευχθεί με διαφορετικές μεθόδους και συσκευές. Το σημαντικό όμως είναι ότι η φιλοσοφία δεν αλλάζει διότι ακόμα και αν διαφέρουν οι μέθοδοι αυτοί, η βασική αρχή λειτουργίας παραμένει η ίδια. Συγκεκριμένα το πλάσμα σχετίζεται με αύξηση της θερμοκρασίας του χώρου μέσα στο οποίο αναπτύσσεται και πρόκληση χημικών αντιδράσεων με το προς καθαρισμό αντικείμενο. Οι χημικές αντιδράσεις συμβαίνουν λόγω των στοιχείων που αποτελούν το πλάσμα και έρχονται σε επαφή με το υλικό προς καθαρισμό. Τα στοιχεία του πλάσματος (αν π.χ. έχουμε να κάνουμε με πλάσμα οξυγόνου), αρχικά προκαλούν θραύση των περισσότερων οργανικών δεσμών (δηλ. C-H, C-C, C = C, C-O και C-N), κάτι που βοηθά στη διάσπαση των ρύπων υψηλού μοριακού βάρους. Μια δεύτερη δράση καθαρισμού προέρχεται από τα είδη οξυγόνου που δημιουργούνται στο πλάσμα (O_2^+ , O_2^- , O_3 , O , O^+ , O^- , ιονισμένο όζον, μεταστατικό διεγερμένο οξυγόνο και ελεύθερα ηλεκτρόνια). Αυτά τα είδη αντιδρούν με οργανικούς ρύπους για να σχηματίσουν υδρογονάνθρακες, H_2O , CO και CO_2 . Αυτές οι ενώσεις έχουν σχετικά υψηλές πιέσεις ατμών και εκκενώνονται από το θάλαμο κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας. Η προκύπτουσα επιφάνεια είναι εξαιρετικά καθαρή. Το μόνο που μπορεί να παραμείνει πάνω στην τελική καθαρή επιφάνεια είναι υπολείμματα άνθρακα. Μια τέτοια χημική αντίδραση που προκαλεί το πλάσμα οξυγόνου σε οργανικές μολυσματικές ουσίες φαίνεται παρακάτω



3.3 Εφαρμογή του πλάσματος στην τροποποίηση επιφανειών

Ο καθαρισμός πλάσματος λειτουργεί με βάση την αλληλεπίδραση ιόντων και ηλεκτρονίων με την επιφάνεια. Πλεονεκτεί σε σχέση με τους υγρούς χημικούς καθαρισμούς στο ότι συμβαίνει σε θερμοκρασία περιβάλλοντος, είναι φιλικός στο περιβάλλον, μιας και το πλάσμα δημιουργείται με οικολογικές μεθόδους, ενώ μπορεί να καθαρίσει επιφάνειες σε ατομικό επίπεδο. Εδώ πρέπει να αναφερθεί ότι η ιδανικότερη μέθοδος καθαρισμού επιφάνειας σε ατομικό επίπεδο είναι το plasma cleaning. Το μειονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι ότι έχει μικρή ταχύτητα καθαρισμού και συγκεκριμένα καθαρίζει σε βάθος με ταχύτητα 0,4 mm/hour. Η ταχύτητα είναι ο παράγοντας εξ αιτίας του οποίου επιλέγεται τελικά στη βιομηχανία ο καθαρισμός πλάσματος μόνο για το τελικό στάδιο καθαρισμού, ώστε να αποδώσει μια απόλυτα πρωτογενή καθαρή επιφάνεια του βασικού υλικού.

Αξίζει να σημειωθεί ότι υπάρχουν παράγοντες που σχετίζονται με το ποσοστό τροποποίησης επιφάνειας, όπως ο χρόνος έκθεσης της στο πλάσμα, η θερμοκρασία κατεργασίας, οι γεωμετρικές διαστάσεις του υλικού και ασφαλώς η βασική δομή του υλικού.

Κεφάλαιο 4^ο Τεχνολογία plasma cleaning

Ο καθαρισμός με πλάσμα είναι μια μέθοδος καθαρισμού η οποία εφαρμόζεται με βάση κάποια κατάλληλη συσκευή. Η συσκευή αυτή παρέχει το πλάσμα για τον καθαρισμό επιφάνειας, αλλά όχι πάντα με τον ίδιο τρόπο. Υπάρχουν πολλές μορφές τέτοιων συσκευών που όλες καταλήγουν στο ίδιο αποτέλεσμα (καθαρισμός επιφάνειας) αλλά ο τρόπος παραγωγής του πλάσματος διαφέρει καθώς και το μέγεθος και οι βασικές περιφερειακές συσκευές. Τα κοινά σημεία που έχουν οι συσκευές πλάσματος χαμηλής πίεσης, όπως είναι και η κατασκευή της παρούσης διπλωματικής εργασίας, είναι ότι υπάρχει μια αντλία κενού διαφορετικού τύπου σε κάθε περίπτωση, ανάλογα το αποτέλεσμα που θέλουμε να έχουμε, μια πηγή που δίνει την ενέργεια ιονισμού, που μπορεί να είναι π.χ. μια πηγή υψηλής τάσης ή πηγή RF ή πηγή μικροκυμάτων και φυσικά η δομή της ίδιας της διάταξης, που πρέπει να είναι από στιβαρά υλικά, ανεπηρέαστα από τη λειτουργία της κατασκευής τόσο σε μηχανικό επίπεδο όσο και σε χημικό. Από τα παραπάνω γίνεται αντιληπτό ότι οι τεχνολογίες που εμπλέκονται στη μελέτη και κατασκευή μιας τέτοιας συσκευής είναι αυτές της ηλεκτρολογίας, της ηλεκτρονικής, της μηχανολογίας, της χημείας και της φυσικής. Ακολουθεί παρουσίαση διαφόρων τύπων συσκευών καθαρισμού πλάσματος καθώς και των περιφερειακών συστημάτων που απαιτούνται.

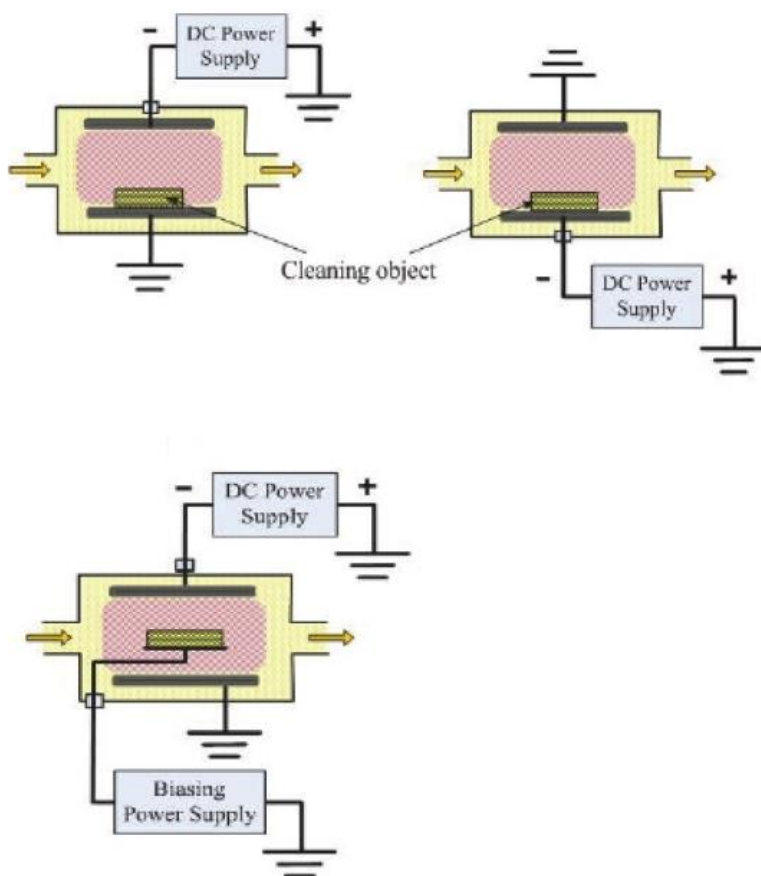
4.1 Αρχή λειτουργίας συσκευών καθαρισμού με πλάσμα.

4.1.1 Συσκευές χαμηλής πίεσης

Σε όλες τις παρακάτω συσκευές καθαρισμού επενεργεί, όταν απαιτείται χαμηλή πίεση, αντλία κενού (συνδεδεμένη σε θυρίδα εξόδου αυτού) ώστε να εξασφαλίζουμε την επιθυμητή χαμηλή πίεση για τη δημιουργία πλάσματος. Ασφαλώς, υπάρχει μια θυρίδα εισόδου για εισαγωγή του αερίου που θέλουμε κάθε φορά, ώστε να δημιουργήσουμε συγκεκριμένο πλάσμα. Επίσης υπάρχει και μια πηγή, από την οποία προσφέρεται η ενέργεια ιονισμού (του αερίου) και μπορεί να έχει διάφορες μορφές όπως φαίνεται παρακάτω. Η τεχνολογία αυτών των συσκευών ονομάζεται τεχνολογία ψυχρού πλάσματος χαμηλής πίεσης ή τεχνολογία πλάσματος κενού.

1. Πηγή πλάσματος συνεχούς τάσης με δημιουργία εκφόρτισης λάμπης

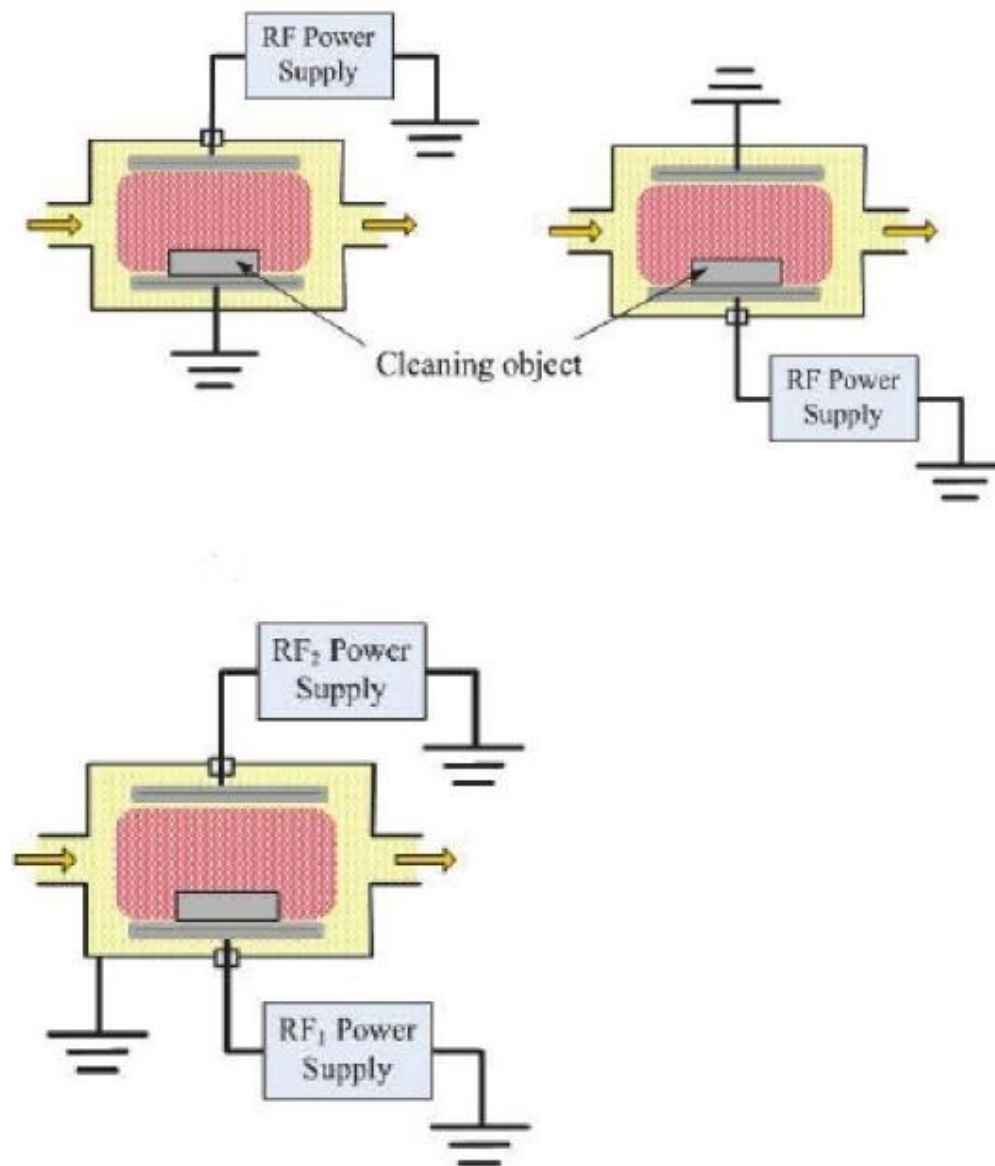
Σε αυτή τη διάταξη, το αντικείμενο προς καθαρισμό πρέπει να είναι αγωγίμο ώστε να τοποθετηθεί στη άνοδο ή στην κάθοδο, έτσι ώστε με την εφαρμογή του δυναμικού, το ίδιο το αντικείμενο να γίνεται ηλεκτρόδιο και κατά την τροφοδότηση με ηλεκτρική τάση να εκτίθεται σε βομβαρδισμό ιόντων ή ηλεκτρονίων (ανάλογα με το δυναμικό που συνδέθηκε). Με αυτό τον τρόπο δημιουργείται πλάσμα το οποίο προκαλεί χημικές αντιδράσεις μεταξύ της επιφάνειας του υλικού και του πλάσματος. Επίσης έχουμε αύξηση θερμοκρασίας. Στις παρακάτω εικόνες φαίνονται οι πιθανές συνδεσμολογίες αυτού του είδους



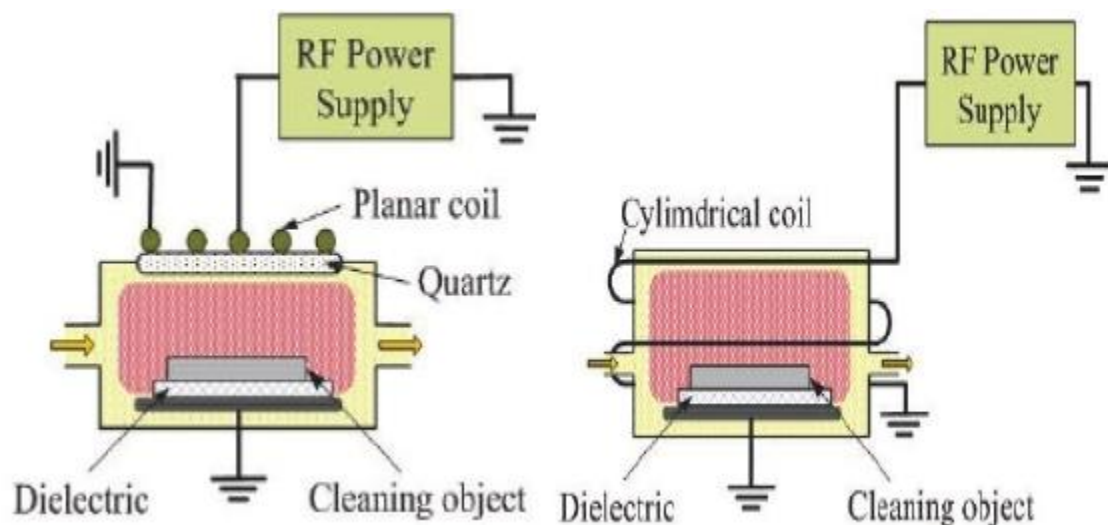
Σχήμα 8: Συσκευή καθαρισμού πλάσμα συνεχούς τάσης με τρεις διαφορετικούς τρόπους πόλωσης των εσωτερικών πλακών.

2. Πηγή πλάσματος εκφόρτισης προκαλούμενη από ραδιοσυχνότητα (RF)

Σε αυτόν το μηχανισμό, γίνεται χρήση μιας ραδιοσυχνότητας, που η ενέργεια της ιονίζει το αέριο χαμηλής πίεσης και δημιουργεί το πλάσμα. Η ραδιοσυχνότητα αυτή εφαρμόζεται σε παράλληλες πλάκες οι οποίες είναι μέσα στο χώρο χαμηλής πίεσης και το αντικείμενο προς καθαρισμό εναποτίθεται στη μια ή την άλλη πλάκα. Έτσι βρισκόμενο μέσα στο ηλεκτρομαγνητικό πεδίο και κατ' επέκταση μέσα στο πλάσμα, καθαρίζεται αντιδρώντας χημικά με αυτό. Ο ιονισμός του αερίου χαμηλής πίεσης μπορεί να γίνει και με τη διάταξη πηγής RF που εκπέμπει το κύμα, εξωτερικά του χώρου χαμηλής πίεσης, π.χ. από ένα πηνίο που περιβάλλει την διάταξη (περιελίσσεται σε αυτήν). Παρόμοια διάταξη είναι και η συσκευή καθαρισμού με πλάσμα που κατασκευάστηκε στην παρούσα εργασία.



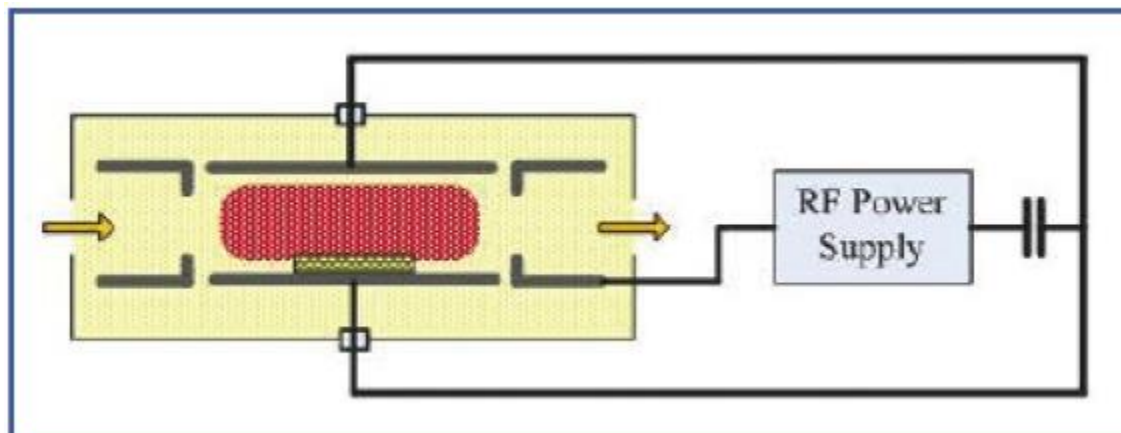
Σχήμα 9: Συσκευή πλάσματος εκφόρτισης προκαλούμενη από ραδιοσυχνότητα (RF) με τρεις διαφορετικούς τρόπους τοποθέτησης της πηγής RF σε σχέση με τις εσωτερικές πλάκες.



Σχήμα 10: Συσκευή πλάσμα εκφόρτισης προκαλούμενη από ραδιοσυχνότητα (RF) με τοποθέτηση της πηγής RF εξωτερικά του θαλάμου χαμηλής πίεσης σε δυο διαφορετικές προσεγγίσεις .

3. Τεχνική δημιουργίας πλάσματος σε περιορισμένο χώρο.

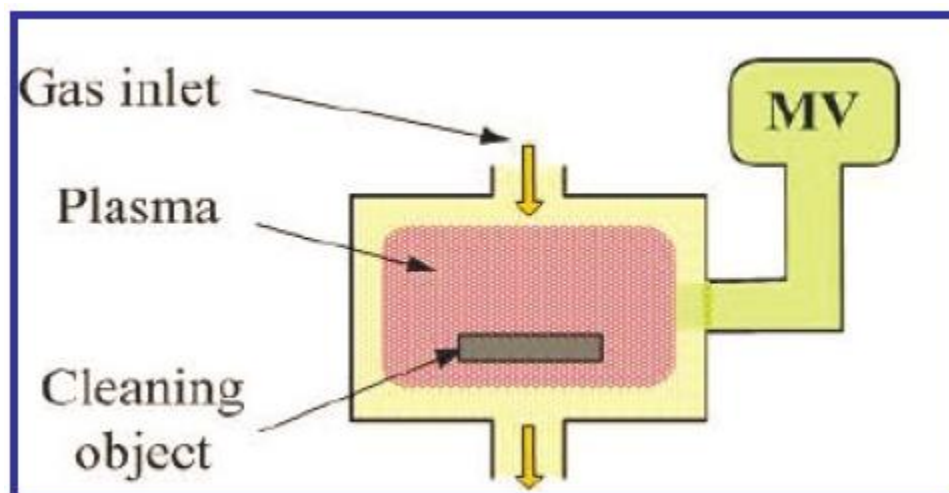
Προκειμένου να ενισχυθεί το πλάσμα, εκπέμποντας και λάμψη (αυτή προκύπτει κατά την αποδιέγερση των ηλεκτρονίων), ακολουθείται μια απλή τεχνική: μειώνονται οι γεωμετρικές διαστάσεις του χώρου που δημιουργείται το πλάσμα και έτσι για την ίδια ακτινοβολία έχουμε μικρότερο όγκο αερίου, άρα ενισχύεται η πυκνότητα πλάσματος. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να πετυχαίνουμε καλύτερα αποτελέσματα στον καθαρισμό αντικειμένων. Στο σχήμα που ακολουθεί φαίνεται πόσο περιορισμένα είναι τα ηλεκτρόδια μέσα στη διάταξη σε σχέση με τις προηγούμενες διατάξεις. (Στη συγκεκριμένη διάταξη ιονίζεται το αέριο με RF).

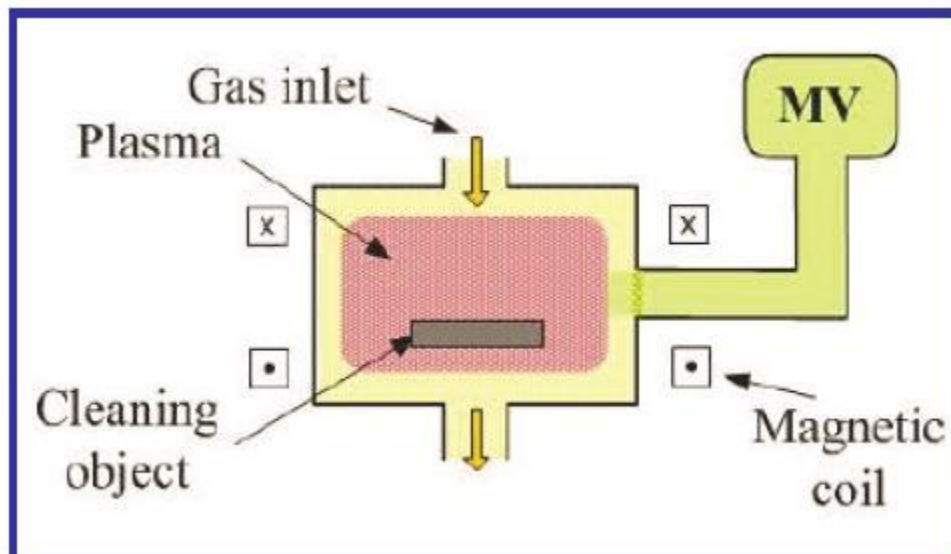


Σχήμα 11: Συσκευή καθαρισμού πλάσματος προκαλούμενο από ραδιοσυχνότητα (RF) σε θάλαμο περιορισμένων διαστάσεων, προκειμένου να επιτευχθεί μεγαλύτερη πυκνότητα πλάσματος.

4. Πλάσμα εκφόρτισης μικροκυμάτων

Αυτή η συσκευή πλάσματος ιονίζει το αέριο με τη βοήθεια μικροκυμάτων που παράγονται με μια διάταξη magnetron, ενώ τα μικροκύματα οδηγούνται στο χώρο ιονισμού μέσω κυματοδηγού κατάλληλων διαστάσεων. Αυτός ο τρόπος χρησιμοποιείται στη βιομηχανία διότι θεωρείται πιο αποτελεσματικός στον καθαρισμό, λόγω της υψηλής πυκνότητας πλάσματος που μπορεί να εξασφαλίσει και κατ' επέκταση την μεγάλη ισχύ που αποδίδει.

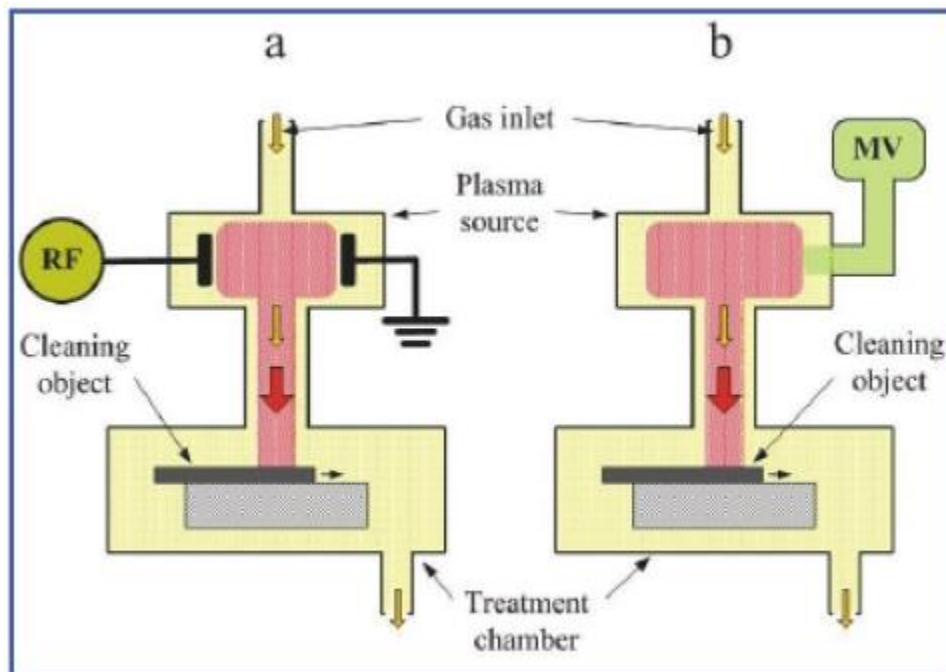




Σχήμα 12: Συσκευή καθαρισμού πλάσματος προκαλούμενο από μικροκύματα σε δυο τύπους - χωρίς ή με πηνίο, τυλιγμένο γύρω από το θάλαμο χαμηλής πίεσης.

5. Καθαρισμός με πλάσμα απομακρυσμένης πηγής.

Αυτή η μέθοδος καθαρισμού με τη χρήση πλάσματος διαφέρει από τις προηγούμενες μεθόδους στο ότι εδώ το προς καθαρισμό αντικείμενο δεν εισάγεται μέσα στο χώρο που αναπτύσσεται το πλάσμα αλλά το πλάσμα παράγεται σε ένα ορισμένο χώρο και οδηγείται με ροή αερίου έξω από το χώρο αυτό και με ταχύτητα (που την αποκτά από τη ροή του αερίου) προσπίπτει πάνω στο προς καθαρισμό αντικείμενο. Αυτό έχει το ασύγκριτο πλεονέκτημα ότι μπορούμε να καθαρίσουμε ένα αντικείμενο όπου κι αν βρίσκεται, εκτός εργαστήριου ή βιομηχανίας και επιπλέον εξασφαλίζεται και ο έλεγχος της επιφάνειας που θέλουμε να καθαριστεί. Έτσι δεν σπαταλάται ενέργεια μιας και ο καθαρισμός γίνεται αποκλειστικά στο σημείο που θέλουμε να καθαρίσουμε και μόνο σε αυτό. Όπως εύκολα μπορούμε να καταλάβουμε αυτό εξασφαλίζει και οικονομία χρόνου. Ως κατασκευή είναι περισσότερο πολύπλοκη από τις άλλες και πιο ακριβή.



Σχήμα 13: Συσκευή καθαρισμού πλάσματος απομακρυσμένης πηγής. Δυο τύποι : με RF και με μικροκύματα.

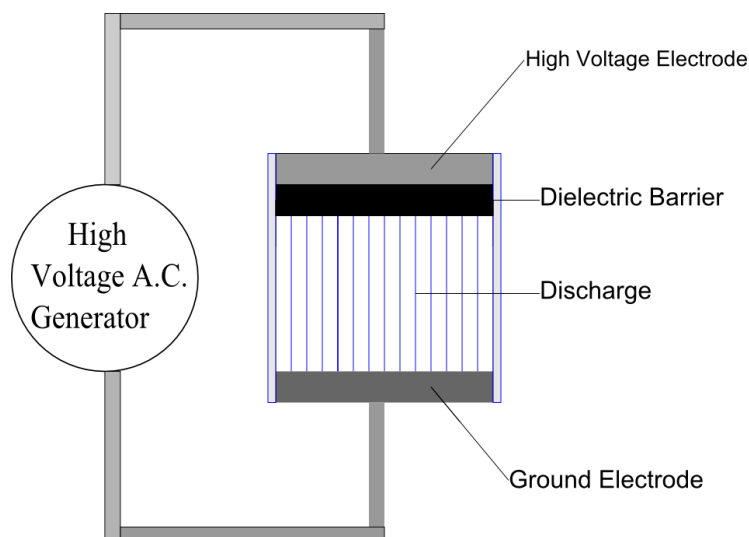
6. Καθαρισμός πλάσματος σε ατμοσφαιρική πίεση

Αυτό το είδος καθαρισμού με πλάσμα δείχνει ιδιαίτερα ενδιαφέρον προς χρήση, διότι δεν απαιτεί αντλίες κενού που κοστίζουν. Παρόλα αυτά, το πρόβλημα με αυτό το είδος έχει να κάνει με την ίδια μέθοδο καθαρισμού. Συγκεκριμένα για τον καθαρισμό μιας επιφάνειας με πλάσμα, απαιτείται ένα καθαρό αέριο ώστε ιονίζοντας το, να αντιδράσει αυτό με τα στοιχεία της επιφάνειας και έτσι αυτή να καθαριστεί. Ο ατμοσφαιρικός αέρας δεν μπορεί να το εξασφαλίσει αυτό διότι αποτελείται από πολλά αέρια. Επίσης απαιτείται περισσότερη ενέργεια ιονισμού για να επιτευχθεί η ίδια πυκνότητα πλάσμα σε σχέση με το να μειωθεί αρχικά η πυκνότητα του αερίου.

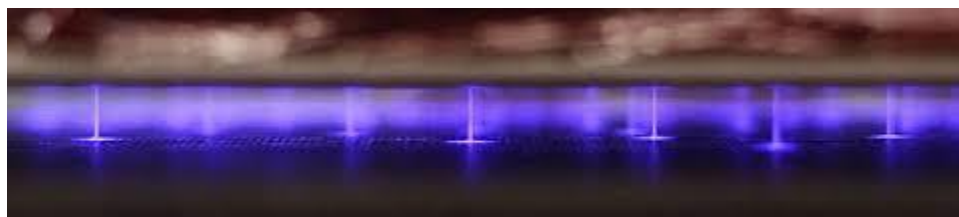
7. Πλάσμα με εκφόρτωσης μέσω διηλεκτρικού

Αυτό το είδος καθαρισμού πλάσματος επιτυγχάνεται όταν σε δυο ηλεκτρόδια εφαρμοστεί μια υψηλή τάση AC, η συχνότητα της οποίας μπορεί να ποικίλει από 10-10⁴ Hz, ενώ μεταξύ αυτών των δυο ηλεκτροδίων παρεμβάλλεται ένα διηλεκτρικό π.χ. Μίκα. Η μεταβαλλόμενη υψηλή τάση

προκαλεί μεταξύ των δυο ηλεκτροδίων μια εκφόρτιση λάμπης, τη λεγόμενη corona discharge ή φαινόμενο corona. Αυτή η λάμψη είναι πλάσμα και καθαρίζει επιφάνειες. Στο σχέδιο που ακολουθεί φαίνεται το διάγραμμά μιας τέτοιας διάταξης. Στην φωτογραφία διαφαίνεται το φαινόμενο corona που προκύπτει κατά τη λειτουργία της διάταξης.



Σχήμα 14: Διάταξη συσκευής πλάσμα με εκφόρτωσης μέσω διηλεκτρικού.



Σχήμα 15: Corona discharge προκαλούμενη από συσκευή πλάσματος με εκφόρτιση μέσω διηλεκτρικού.

8. Πλάσμα με το φαινόμενο corona

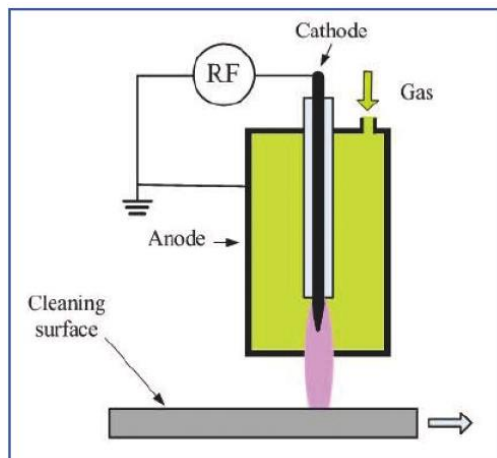
Το φαινόμενο Corona εμφανίζεται όταν σε δυο ηλεκτρόδια εφαρμοστεί μια υψηλή τάση AC. Μοιάζει αρκετά με την προηγούμενη διάταξη μόνο που εδώ δεν έχουμε διηλεκτρικό μεταξύ των ηλεκτροδίων.



Σχήμα 16: Φαινόμενο corona

4.1.2 Πλάσμα με αέριο σε ατμοσφαιρική πίεση

Εδώ οι συσκευές δεν διαθέτουν αντλία κενού, αλλά ένα καθαρό συγκεκριμένο αέριο εισέρχεται σε ελεγχόμενο περιβάλλον, όπου ιονίζεται είτε με ακτινοβολία RF είτε με μικροκύματα, γίνεται πλάσμα και προσπίπτει πάνω στο προς καθαρισμό αντικείμενο. Η διαφορά με τις προηγούμενες μεθόδους είναι ότι εδώ εφόσον υπάρχει αυξημένη πυκνότητα ατόμων στο χώρο (αυτό διότι το αέριο βρίσκεται σε ατμοσφαιρική πίεση και όχι σε υποπίεση), επιβάλλεται η χρήση υψηλής τάσης για τον ιονισμό του αερίου, της τάξης 1 kW.



Σχήμα 17: Πλάσμα ατμοσφαιρικής πίεσης προκαλούμενο από πηγή RF υψηλής ισχύος.

4.2 Κενό και πλάσμα - αντλίες κενού

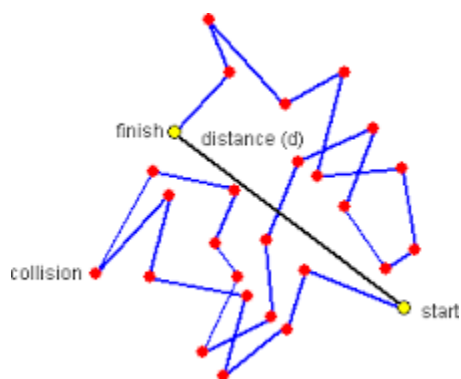
Ως κενό ορίζεται η απουσία ύλης σε μια περιοχή του χώρου.

Το τέλειο κενό (ή απόλυτο κενό) είναι μια εξιδανίκευση που φαίνεται πως δεν μπορεί να υπάρξει στην πραγματικότητα του δικού μας σύμπαντος, αλλά προσεγγίζεται μερικώς στο εξωτερικό διάστημα. Οι φυσικοί χρησιμοποιούν τον όρο μερικό κενό για να περιγράψουν το ατελές κενό που παρατηρείται στον πραγματικό κόσμο.

Επιστημονικά, κενό έχουμε όταν η πίεση ενός αερίου είναι μικρότερη της ατμοσφαιρικής πίεσης σε ορισμένο χώρο ή αντίστοιχα όταν σε ορισμένο χώρο έχουμε πίεση αισθητά μικρότερη από την ατμοσφαιρική ή η κατάσταση κατά την οποία η ποσότητα του ατμοσφαιρικού αέρα έχει μειωθεί σε βαθμό που οι διαδικασίες που σχετίζονται με αυτόν θεωρούνται αμελητέες. Οι διαβαθμίσεις του κενού μετριοούνται με τις ίδιες μονάδες που μετράμε την πίεση. Η μονάδα SI για την πίεση είναι το παस्कάλ (*pascal*) (σύντμηση Pa), αλλά στην πράξη το κενό μετριέται σε μονάδες torr (Τορρικέλι), που ισούται με 133,3223684 μονάδες παस्कάλ. Συχνά μετριέται επίσης κάνοντας χρήση της βαρομετρικής κλίμακας, ή δίνεται σαν ποσοστό της ατμοσφαιρικής πίεσης (μονάδα bar).

4.2.1 Που ωφελεί το κενό στην επιστήμη και τη βιομηχανία κατ' επέκταση

Με το κενό είναι πολλαπλά τα οφέλη, μιας και γίνεται ποιο εύκολος ο έλεγχος μιας χημικής αντίδρασης, εφόσον η συγκέντρωση του αερίου είναι πολύ μικρότερη άρα ευκολότερα διαχειρίσιμη. Επίσης όταν η πίεση του αερίου ελαττώνεται, η μέση ελεύθερη διαδρομή (ΜΕΔ) των μορίων του αερίου αυξάνει.



Σχήμα 18: Μέση Ελεύθερη Διαδρομή (ΜΕΔ) ενός μορίου αερίου

Όταν η ΜΕΔ γίνει μεγαλύτερη των διαστάσεων του δοχείου, οι υποθέσεις περί συνεχούς της μηχανικής των ρευστών παύουν να έχουν ισχύ. Ουσιαστικά, τα μόρια του αερίου (σχεδόν) δεν συγκρούονται πλέον μεταξύ τους, αλλά μόνον με τα τοιχώματα το δοχείου. Αυτή η κατάσταση του κενού καλείται υψηλό κενό, και η μελέτη της ροής των ρευστών σ' αυτή την περιοχή καλείται δυναμική σωματιδιακού αερίου.

Σε πολλές βιομηχανικές εφαρμογές χρησιμοποιείται ώστε να επιτυγχάνεται καλύτερη χύτευση καλουπιών και να έχουμε το καλύτερο δυνατό αποτέλεσμα καθώς και η συσκευασία αντικείμενων σε κενό γεγονός που επιμηκύνει το χρόνο ζωής τους (συντήρηση) ή εξασφαλίζει τα βέλτιστα στην προστασία τους από το γύρο περιβάλλον (μη επαφή).

Το κενό δημιουργεί από τη φύση του δυνάμεις και ροές ώστε να είναι ιδιαίτερα χρήσιμο στην ανύψωση αντικείμενων χωρίς επιπλέον υποδοχές πάνω σε αυτά π.χ. οπές ενώ χρησιμοποιείται στην συγκόλληση αντικείμενων (δυνάμεις).

Όσο αφορά τις ροές, μια ευρέως γνωστή χρησιμότητα είναι ο καθαρισμός με υποπίεση.

Τέλος, με το κενό έχουμε ιδανικές συνθήκες για τη δημιουργία πλάσματος εφόσον εξασφαλίζει πιέσεις της τάξης των mbar.

Νόμοι που διέπουν το ιδανικό αέριο (κινητική θεωρία των αερίων)

Ένας πειραματικός τύπος που μας δίνει τη σχέση όγκου - πίεσης αερίου είναι ο παρακάτω

$$pV=nRT$$

όπου:

p =πίεση

V =όγκος

N =αριθμός μορίων αερίου

R =παγκόσμια σταθερά αερίου

T = θερμοκρασία αερίου

Αυτός ο τύπος << δουλεύει >> αρκετά καλά και για αέρια που βρίσκονται σε υποπίεση ενώ έχουν μια φυσιολογική θερμοκρασία π.χ. περιβάλλοντος. Για μεγαλύτερη ακρίβεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένας συντελεστής διόρθωσης $\alpha(p,T)$. Αυτός ο πειραματικός τύπος βασίζεται και υποστηρίζεται από τη κινητική θεωρία των αερίων σύμφωνα με την οποία τα μόρια αερίου συμπεριφέρονται σαν σκληρή σφαίρα, είναι πολλά, μικρά και πολύ μακριά (απόσταση) το ένα από το άλλο σε σχέση με το μέγεθός τους. Συγκρούονται ελαστικά τόσο μεταξύ τους όσο και με τα τοιχώματα του δοχείου που τα περιβάλλει ενώ κινούνται τυχαία με σταθερή ταχύτητα μεταξύ αυτών των συγκρούσεων. Τέλος η κίνηση αυτή υπακούει στους νόμους κίνησης του Νεύτωνα.

Συμπληρωματικά, από τη κινητική θεωρία αερίων υπάρχουν κάποιες εξισώσεις που αποδίδουν τιμές για την ταχύτητα του κάθε σωματιδίου ξεχωριστά στο αέριο, για τη μέση τετραγωνική ταχύτητα των σωματιδίων καθώς και υπολογισμός για τη μέση ελεύθερη διαδρομή των μορίων.

Οι εξισώσεις δίνονται αντίστοιχα παρακάτω :

Εύρεση πιθανότητας για ταχύτητες μεταξύ v και $v+dv$

$$P(v) = 4\pi \left[\frac{m}{2\pi kT} \right]^{3/2} v^2 e^{-mv^2/2kT}$$

Εξίσωση (10)

v = ταχύτητα μορίων αερίου

m = μάζα μορίων αερίου

k = σταθερά Boltzmann

$$v_{rms} = \sqrt{\frac{3kT}{m}}$$

Εξίσωση (11)

Η παραπάνω εξίσωση αποδίδει τη μέση τετραγωνική ταχύτητα των σωματιδίων

Και τέλος

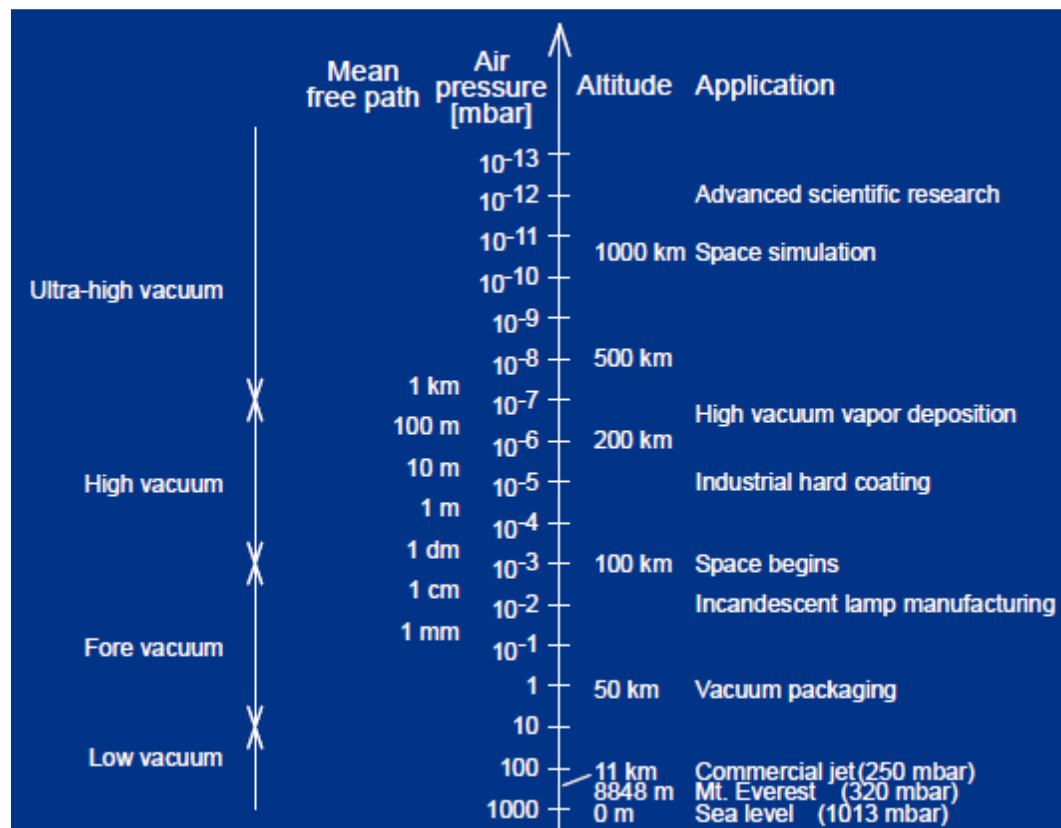
$$\lambda = \frac{kT}{\sqrt{2}\pi d^2 p}$$

Εξίσωση (12)

Όπου υπολογίζεται η τη μέση ελεύθερη διαδρομή των μορίων (λ).

d= διάμετρος μορίου αερίου

παρακάτω παρουσιάζεται ένας χάρτης επιπέδων κενού με ενδεικτικές πιέσεις σε mbar



Σχήμα 19: Χάρτης επιπέδων κενού (σε mbar).

4.3 Αντλίες κενού – τύποι -χαρακτηριστικά

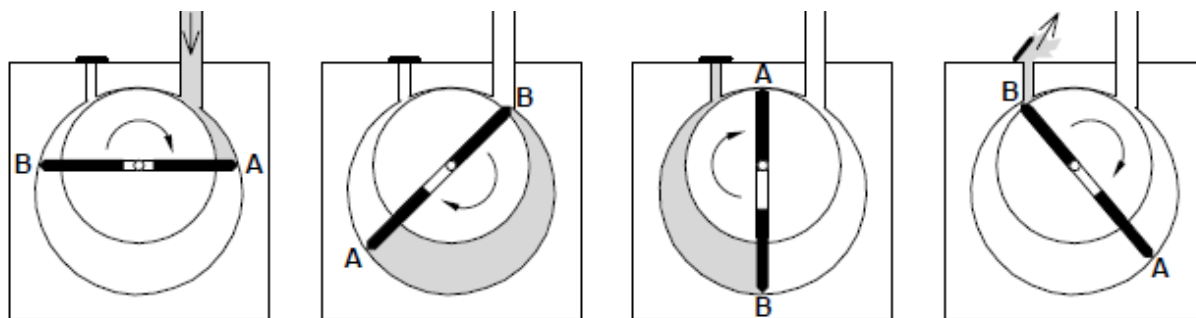
Παρακάτω παρουσιάζονται οι αντλίες κενού που μπορεί να συναντήσει κάποιος στην αγορά, από τις πιο οικονομικές και κοινές, μικρών σχετικά δυνατοτήτων, μέχρι εξειδικευμένες που έχουν τη δυνατότητα να δημιουργήσουν εξαιρετικά υψηλό κενό.

4.3.1 Αντλία περιστροφικών πτερυγίων



Σχήμα 20: Αντλία κενού, τύπου περιστροφικών πτερυγίων.

Είναι ο πιο συνηθισμένος τύπος αντλίας που χρησιμοποιείται και για τη δημιουργία κενού. Τα δυο περιστρεφόμενα πτερύγια δημιουργούν υποπίεση και έτσι εξαναγκάζουν το αέριο να κινηθεί με τέτοιο τρόπο ώστε να αναρροφάται από τη μια σπή και να εξωθείται από την άλλη, όπως φαίνεται παρακάτω στα στάδια λειτουργίας.



Σχήμα 21: Στάδια λειτουργίας περιστροφικών πτερυγίων.

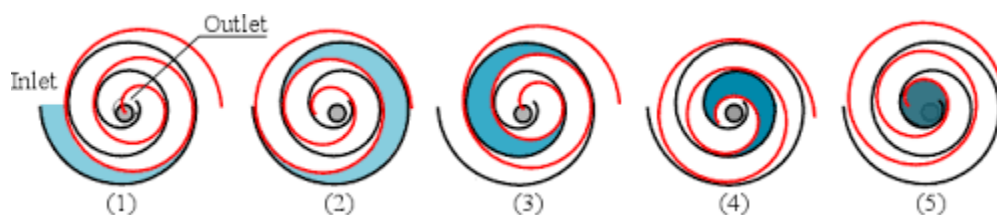
Αυτή η αντλία χρησιμοποιεί – περιέχει λάδι για λόγους λίπανσης, στεγανοποίησης και ψύξης. Το πλεονέκτημα αυτής της αντλίας εκτός από την οικονομική τιμή είναι ότι μπορεί να εξασφαλίσει πιέσεις αερίου από 10^3 έως 10^{-3} mbar. Το μειονέκτημα είναι ότι κατά τη λειτουργία μπορεί να φέρει λάδια μέσα στο χώρο που δημιουργεί το κενό.

4.3.2 Αντλία περιστρεφόμενου ελικοειδούς κυλίνδρου



Σχήμα 22: Αντλία κενού, τύπου περιστρεφόμενου ελικοειδούς κυλίνδρου.

Σε αυτό τον τύπο αντλίας υπάρχουν δυο σπειροειδής κύλινδροι ο ένας μέσα στον άλλο, όπου ο πρώτος είναι ακίνητος και ο άλλος περιστρέφεται έκκεντρα γύρω από τον πρώτο, δηλ. είναι σε τροχιά γύρω από αυτόν. Αποτέλεσμα είναι να δημιουργείται ένα μεταβαλλόμενο κενό μεταξύ τους, όπου από την είσοδο εισάγεται το αέριο και λόγω της περιστροφής εγκλωβίζεται μέσα στους δυο κυλίνδρους και προωθείται συμπιεσμένο πλέον στο κέντρο τους όπου είναι και η έξοδος του αερίου. Η διαδικασία φαίνεται παρακάτω στα στάδια λειτουργίας.



Σχήμα 23: Στάδια λειτουργίας των δυο σπειροειδών κυλίνδρων.

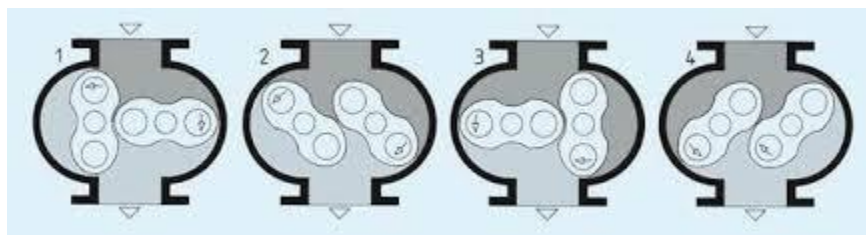
Τα πλεονεκτήματα είναι ότι πρόκειται για μια αξιόπιστη αντλία με χαμηλό κόστος συντήρησης ενώ δεν περιέχει λάδι ώστε να δημιουργεί τα προβλήματα της προηγούμενης αντλίας. Εξασφαλίζει μέτρια προς χαμηλή πίεση 10^3 έως 10^{-3} mbar.

4.3.3 Αντλία περιστρεφόμενων ρότορων



Σχήμα 24: Αντλία κενού περιστρεφόμενων ρότορων.

Σε αυτό τον τύπο αντλίας υπάρχουν δυο όμοιοι ρότορες που εμπλέκονται μεταξύ τους και γυρίζουν αντίστροφα, προκαλώντας μια αναρρόφηση αερίου όπως φαίνεται παρακάτω στα στάδια λειτουργίας.



Σχήμα 25: Στάδια λειτουργίας των δυο περιστρεφόμενων ρότορων.

Ουσιαστικά δεν υπάρχει επαφή μεταξύ των δυο αυτών στρεφομένων επιφανειών, οπότε δεν χρειάζεται λάδι μέσα στο χώρο που δημιουργείται η υποπίεση. Ένα άλλο χαρακτηριστικό είναι ότι όταν η αντλία δουλεύει χωρίς φορτίο, αναπτύσσει πολύ μεγάλες θερμοκρασίες γεγονός που πρέπει να αποφεύγεται.

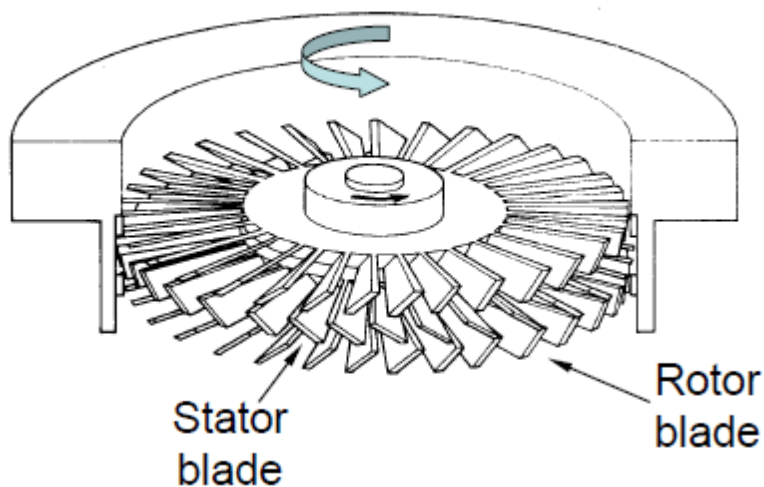
Τα πλεονεκτήματα είναι ότι εξασφαλίζει υψηλή πίεση 10^{-4} έως 10^{-3} mbar και μέτρια 10^3 έως 10^4 mbar, ενώ όπως ήδη αναφέρθηκε δεν περιέχει λάδι. Το μειονέκτημα είναι ότι δεν επιτρέπεται να λειτουργεί χωρίς φορτίο διότι υπάρχει άμεσος κίνδυνος καταστροφής της.

4.3.4 Αντλία τουρμπίνας



Σχήμα 26: Αντλία κενού τύπου τουρμπίνας.

Αυτή η αντλία μπορεί να περιστραφεί με υψηλή ταχύτητα (30.000 -90.000 rpm) ενώ έχει πολλά επίπεδα φτερωτών και κάθε φτερωτή πολλά πτερύγια .



Σχήμα 27: Τουρμπίνα αντλίας.

Είναι αποτελεσματική σε μοριακό επίπεδο, όπου τα μόρια του αερίου δεν συγκρούονται μεταξύ τους αλλά με τα πτερύγια, οπότε επιτυγχάνονται τα μέγιστα από άποψη απωλειών στην ταχύτητα

των μορίων του αερίου. Το χαρακτηριστικό αυτό την κάνει την καλύτερη επιλογή για αέρια με μεγάλο μοριακό βάρος. Τέλος ορισμένες σύγχρονες αντλίες τουρμπίνας έχουν μαγνητικά ανέπαφα κουζινέτα όπου η τριβή είναι απειροελάχιστη και έτσι εύκολα αναπτύσσουν μεγάλες ταχύτητες.

Τα πλεονεκτήματα είναι ότι εξασφαλίζει χαμηλή πίεση από 10^{-3} έως 10^{-7} mbar και το κόστος συντήρησης είναι χαμηλό. Ένα σοβαρό μειονέκτημα είναι ότι ακόμα και στιγμιαία αύξηση του φορτίου μπορεί να προκαλέσει μεγάλη και υψηλού κόστους καταστροφή στην αντλία.

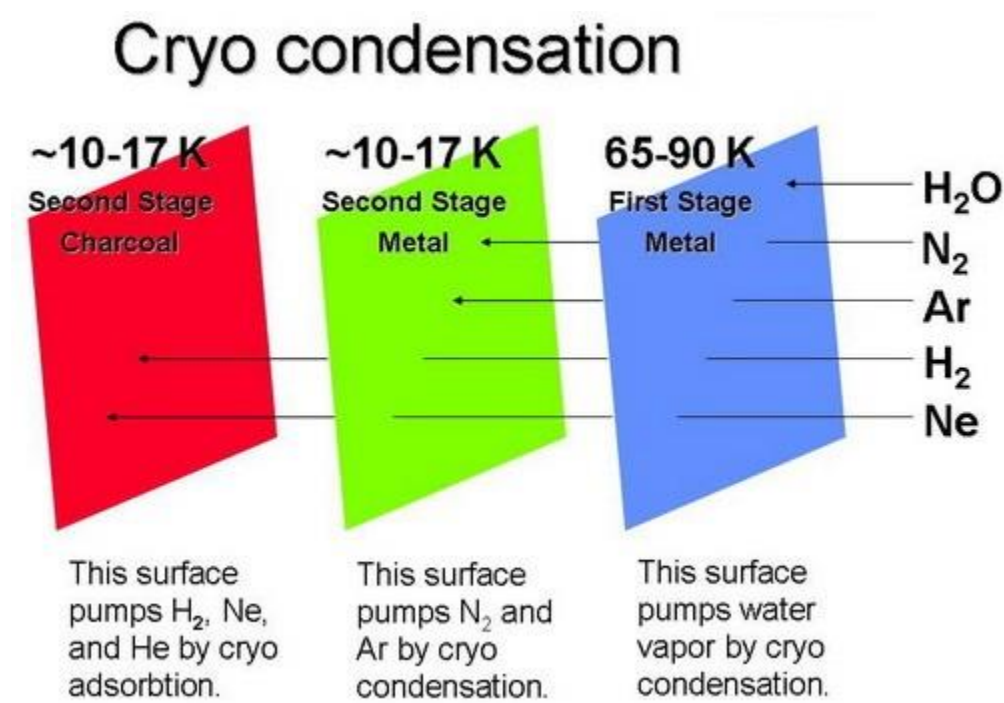
4.3.5 Αντλία Cryo



Σχήμα 28: Αντλία Cryo.

Η συγκεκριμένη αντλία χρησιμοποιείται για τη δημιουργία κενού (και μόνο) εκμεταλλευόμενη τις πολύ χαμηλές θερμοκρασίες που δημιουργούνται στο εσωτερικό της, με τη βοήθεια ενός συμπιεστή που χρησιμοποιεί ήλιο (He) στη διαδικασία ψύξης. Η αντλία αυτή εσωτερικά έχει επίπεδα από μεταλλικούς δίσκους οι οποίοι ψύχονται συνεχώς ενώ η θερμοκρασία είναι όλο και πιο μικρή προς τον χαμηλότερο δίσκο. Έτσι ενώ εισάγεται ατμοσφαιρικός αέρας από το

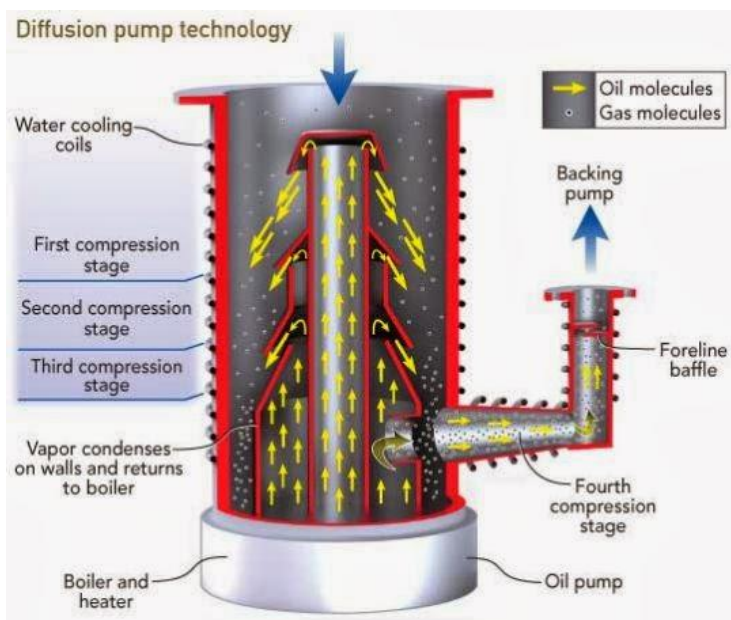
υψηλότερο (άνω) επίπεδο οι πρώτοι μεταλλικοί δίσκοι συγκρατούν (λόγο ψύξης) το νερό του βρίσκεται στο αέρα (κατάσταση κρύο- συμπίκνωσης). Οι επόμενοι δίσκοι (κάτω) έχοντας ακόμα μικρότερη θερμοκρασία εγκλωβίζουν στα τοιχώματα τους και άλλα μόρια που μπορεί να περιέχει ο ατμοσφαιρικός αέρας όπως άζωτο (N) αργό (Ar). Τέλος υπάρχει ένα στρώμα από ενεργό άνθρακα (επίσης σε χαμηλή θερμοκρασία) που απορροφά τα μόρια που έχουν απομείνει, δηλ. νέο (Ne), υδρογόνο (H) και ήλιο (He). Έτσι, από την έξοδο υπάρχει αέρας με πολύ μικρή περιεκτικότητα μορίων σε σχέση με τον όγκο του, δηλ. έχει δημιουργηθεί κενό αέρα. Η διαδικασία φαίνεται σχηματικά παρακάτω.



Σχήμα 29: Επίπεδα ψύξης αντλίας Cryo.

Τα πλεονεκτήματα αυτής της αντλίας είναι ότι εξασφαλίζει πολύ χαμηλή πίεση κάτω από 10⁻⁹ mbar, ενώ δε ρυπαίνεται. Τα μειονεκτήματα είναι ότι η αντλία έρχεται σε κορεσμό (και δε δουλεύει) εάν εκτίθεται σε υψηλή πίεση ή συνεχή ροή αερίου, ενώ η κεφαλή ψύξης χρειάζεται περιοδικά ανανέωση.

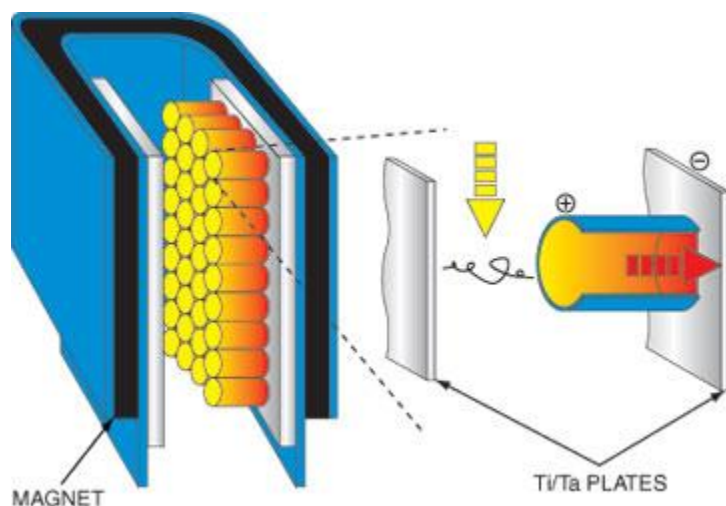
4.3.6 Αντλία διάχυσης λαδιού



Σχήμα 30: Αντλία κενού τύπου διάχυσης λαδιού.

Η αντλία διάχυσης λαδιού είναι ένα κυλινδρικό δοχείο που στη βάση του έχει ηλεκτρικές αντιστάσεις, οι οποίες θερμαίνουν και προκαλούν εξάτμιση στο λάδι που βρίσκεται επίσης στη βάση του δοχείου. Οι ατμοί από το λάδι οδηγούνται μέσα από έναν κωνικό διάδρομο, με ανοίγματα διαφυγής σε κάποια ύψη μέχρι την κορυφή. Αυτά τα ανοίγματα έχουν κλίση προς τα κάτω με ορισμένη γωνία οπότε ο ατμός βγαίνει με κάποια πίεση έχοντας φορά επίσης προς τα κάτω. Αυτή η φορά του ατμού δημιουργεί μια υποπίεση στο ανώτερο άνοιγμα του κυλινδρικού δοχείου που θεωρείται και η είσοδος του αέρα (που θέλουμε να αφαιρέσουμε από ένα δοχείο), οπότε τον παρασύρει προς τα κάτω. Στη βάση του δοχείου υπάρχει μια έξοδος από όπου εξέρχεται ο αέρας αυτός και ελευθερώνεται στο περιβάλλον. Οι ατμοί του ελαίου υγροποιούνται βαραίνουν και επιστρέφουν στη βάση για να θερμανθούν και να εξατμιστούν εκ νέου. Τα πλεονεκτήματα αυτής της αντλίας είναι ότι εξασφαλίζει χαμηλή πίεση από 10^{-3} έως 10^{-7} mbar, δεν έχει κινούμενα μέρη ενώ έχει χαμηλό κόστος συντήρησης. Το μειονέκτημα είναι ότι το εξατμισμένο λάδι πρέπει να ψύχεται στα ανώτερα επίπεδα και να επιστρέφει στη βάση για να μην εισέρχεται στο δοχείο κενού.

4.3.7 Αντλία ιόντων



Σχήμα 31: Αντλία κενού – ιόντων.

Αυτή η αντλία περιέχει δυο ηλεκτρόδια (άνοδο και κάθοδο) μέσα στα οποία ηλεκτρόνια επιταχύνονται και κινούνται σε ελικοειδείς τροχιές προς την άνοδο λόγω της υψηλής τάσης ~7 kV που εφαρμόζεται. Τα ιόντα του αερίου χτυπούν (λόγω της επιτάχυνσης) στην κάθοδο τιτανίου (Ti) και ενσωματώνονται – δεσμεύονται από αυτή. Η δέσμευση αυτή επιτυγχάνεται λόγω χημικών αντιδράσεων που συμβαίνουν στην επίστρωση τιτανίου που υπάρχει στην κάθοδο. Με αυτό τον τρόπο για δεδομένο όγκο αερίου έχουμε (μετά τον ιονισμό και τη δέσμευση) μικρότερη ποσότητα ιόντων του αερίου (το αέριο έχασε ποσότητα ιόντων), γεγονός που σημαίνει ότι το αέριο βρίσκεται πλέον υπό πίεση (δεδομένου ότι δεν άλλαξε ο όγκος του, όμως μειώθηκε η ποσότητα του, λόγω της δέσμευσης των ιόντων). Ουσιαστικά με τη διαδικασία αυτή είναι σαν να αφαιρέθηκε αέριο με τη διαφορά ότι δε έφυγε αέριο έξω από το κλειστό σύστημα αλλά ποσότητα αερίου μετατράπηκε σε στερεό σώμα και παρέμεινε σε αυτή τη μορφή μέσα στο σύστημα.

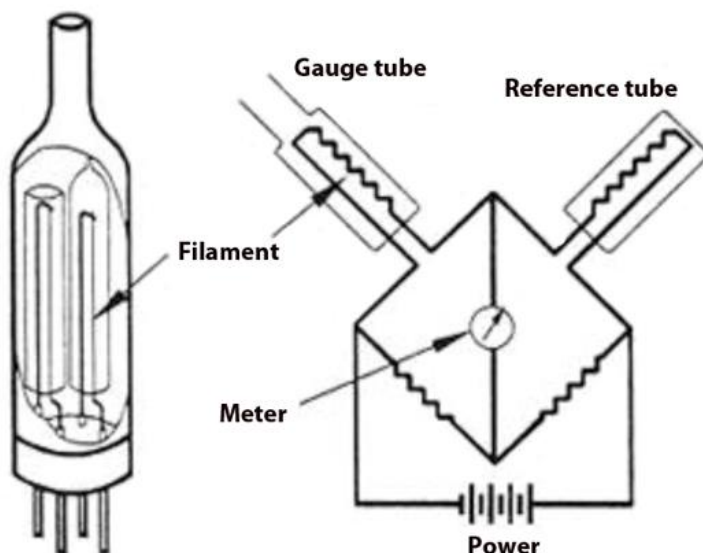
Τα πλεονεκτήματα αυτής της αντλίας είναι ότι δεν έχει κινούμενα μέρη, δεν περιέχει λάδι και μπορεί να δουλέψει σε πολύ χαμηλές πιέσεις 10^{-11} mbar . Το μειονέκτημα είναι ότι το δεν μπορεί να λειτουργήσει σε μεγάλα φορτία αερίου.

4.4 Μετρητές πίεσης κενού

Για τον έλεγχο σε κάθε εφαρμογή του επιπέδου πίεσης κενού που έχουμε, ώστε να ξέρουμε αν είναι σε ικανοποιητικό επίπεδο ή αν χρειάζεται προσαρμογή, υπάρχουν διάφοροι τύποι μετρητών πίεσης κενού, και για την αναμενόμενη τιμή επιλέγουμε τον πιο κατάλληλο. Όπως προκύπτει παρακάτω για να έχουμε μέτρηση ακριβείας, καλό είναι να εμπιστευόμαστε μόνο τον προτεινόμενο για κάθε εύρος τιμών πίεσης.

4.4.1 Μετρητής κενού τύπου PIRANI

Αυτός ο τύπος μετρητή είναι μια διάταξη γέφυρας Wheatstone, όπου υπάρχουν δύο γνωστές αντιστάσεις, μια αντίσταση-σύρμα αναφοράς που εσωκλείεται ώστε να είναι ανεπηρέαστη από περιβαλλοντικές αλλαγές, και μια ίδια με την τελευταία αντίσταση-σύρμα, που έρχεται όμως σε επαφή με το προς μέτρηση κενό. Η ωμική αντίσταση της τελευταίας αλλάζει ανάλογα με τη διακύμανση της θερμοκρασίας (όσο αυξάνεται η πίεση ψύχεται η αντίσταση-σύρμα και η τιμή της αντίστασης (Ω) μειώνεται). Η τιμή της αντίστασης μετριέται με γαλβανόμετρο – μετρητή που (ενώνεται όπως φαίνεται παρακάτω), η ένδειξη του οποίου εξαρτάται από τη διαφορά της ωμικής αντίστασης και αυτή η μέτρηση αντιστοιχεί και αποδίδεται σε mbar.



Σχήμα 32: Μετρητής κενού PIRANI και η γέφυρα Wheatstone

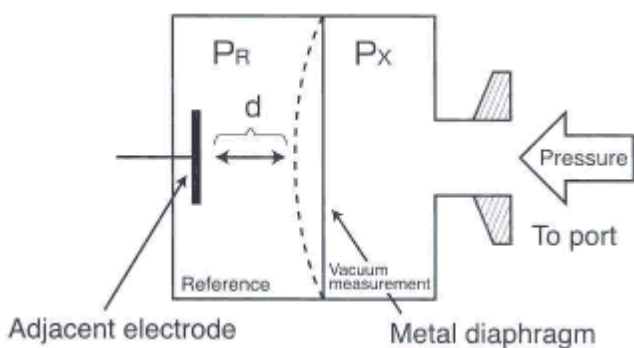
Ο συγκεκριμένος μετρητής δουλεύει ικανοποιητικά για πιέσεις από 10^1 έως 10^{-3} mbar.

4.4.2 Μετρητής με μεμβράνη χωρητικότητας



Σχήμα 33: Μετρητής κενού μεμβράνης χωρητικότητας.

Αυτός ο μετρητής εσωκλείει μια μεταλλική μεμβράνη, η οποία μπορεί εύκολα να επηρεάζεται και να καμπυλώνει με τις αλλαγές της εξωτερικής πίεσης που υπάρχει από τη μια πλευρά. Η άλλη πλευρά της μεμβράνης βρίσκεται σε χώρο σταθερής πίεσης, όπου απέναντι της υπάρχει ένα ακίνητο ηλεκτρόδιο, έτσι ώστε το ζεύγος ηλεκτρόδιο – μεταλλική μεμβράνη να αποτελούν ένα πυκνωτή, η χωρητικότητα του οποίου μπορεί να μεταβάλλεται με την απόσταση που υπάρχει μεταξύ των δυο αυτών <<οπλισμών>>. Η απόσταση μεταβάλλεται διότι όπως προαναφέρθηκε η εξωτερική πλευρά της μεμβράνης εκτίθεται στο προς μέτρηση αέριο και η πίεση αυτού την καμπυλώνει με τρόπο που πλησιάζει ή απομακρύνεται από το απέναντι σταθερό ηλεκτρόδιο. Μια ηλεκτρονική διάταξη μετατρέπει τη διαφορετική κάθε φορά χωρητικότητα σε τιμή πίεσης. Ο μετρητής δουλεύει ικανοποιητικά για πιέσεις από 10^3 έως 10^{-3} mbar.



Σχήμα 34: Τομή αναπαράστασης λειτουργίας.

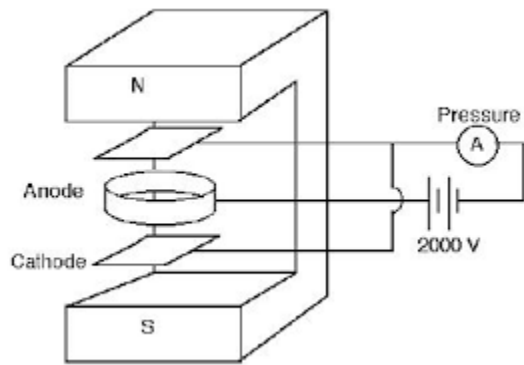
4.4.3 Μετρητής Penning



Σχήμα 35: Μετρητής κενού τύπου Penning.

Ο μετρητής Penning γνωστός και ως μετρητής καθόδου, είναι μια διάταξη που αποτελείται από δυο ηλεκτρόδια καθόδου και ανάμεσα τους υπάρχει ένα ηλεκτρόδιο ανόδου. Αυτό το σύμπλεγμα ανόδου-καθόδου περιβάλλεται από ένα μόνιμο μαγνήτη. Το δοχείο που εσωκλείει τα παραπάνω είναι συνήθως κυλινδρικό ενώ μέσα στη διάταξη αυτή εισέρχεται το προς μέτρηση αέριο όπως φαίνεται στο Σχήμα 22 . Στην άνοδο εφαρμόζεται τάση 2000 V και έτσι δημιουργείται ιονισμός μέσα σε αυτό το χώρο. Συγκεκριμένα, ηλεκτρόνια εκπέμπονται από την κάθοδο και επιταχυνόμενα κατευθύνονται στην άνοδο αλλά λόγω του μαγνητικού πεδίου διαγράφουν μια ελικοειδή τροχιά, αυξάνοντας έτσι την πιθανότητα να συγκρουστούν με μόρια του αερίου που υπάρχει στο χώρο και να το ιονίσουν. Τα ιονισμένα μόρια του αέρα αποτελούν ένα ρεύμα εξ

ιονισμού όπου μεταβάλλεται (και εξαρτάται) από την πίεση του αερίου μέσα στο οποίο κινούνται τα εκπεμπόμενα ηλεκτρόνια. Αυτή η μεταβολή του ρεύματος μεταφράζεται σε πίεση του αερίου. Ο μετρητής δουλεύει ικανοποιητικά για πιέσεις από 10^{-2} έως 10^{-7} mbar.



Σχήμα 36: Διάταξη λειτουργίας μετρητή κενού τύπου Penning.

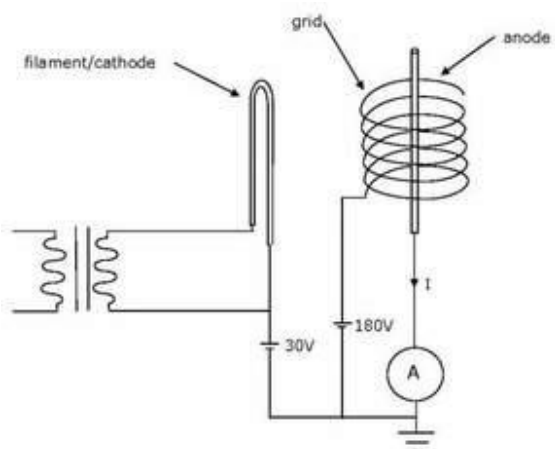
4.4.4 Ιοντικός μετρητής



Σχήμα 37: Ιοντικός μετρητής κενού.

Η διάταξη περιλαμβάνει ένα νήμα που θερμαίνεται από μια DC πηγή, εκπέμποντας ηλεκτρόνια και δυο άλλα πλέγματα το θετικό (άνοδος) και ένα ελικοειδές πλέγμα με ελεύθερο το ένα άκρο του. Τα εκπεμπόμενα ηλεκτρόνια έλκονται από το θετικό πλέγμα, αλλά πριν καταλήξουν εκεί περνούν πολλές φορές (ταλαντεύονται) από το ελικοειδές πλέγμα. Οι συγκρούσεις με τα μόρια του αερίου προς μέτρηση (το οποίο περιβάλλει την διάταξη) δημιουργούν ιόντα τα οποία

συλλέγονται τελικά από την ακίδα – συλλέκτη. Όντας η τελευταία συνδεδεμένη σε σειρά με ένα αμπερόμετρο και άλλες ενισχυτικές ηλεκτρονικές διατάξεις, το ρεύμα που προήλθε από τον ιονισμό (και είναι πάντα εξαρτημένο από την πίεση του αερίου μέσα στο οποίο κινούνται τα εκπεμπόμενα ηλεκτρόνια) αποδίδεται σε πίεση αερίου. Ο μετρητής ενδείκνυται για πιέσεις από 10^{-3} έως 10^{-9} mbar.

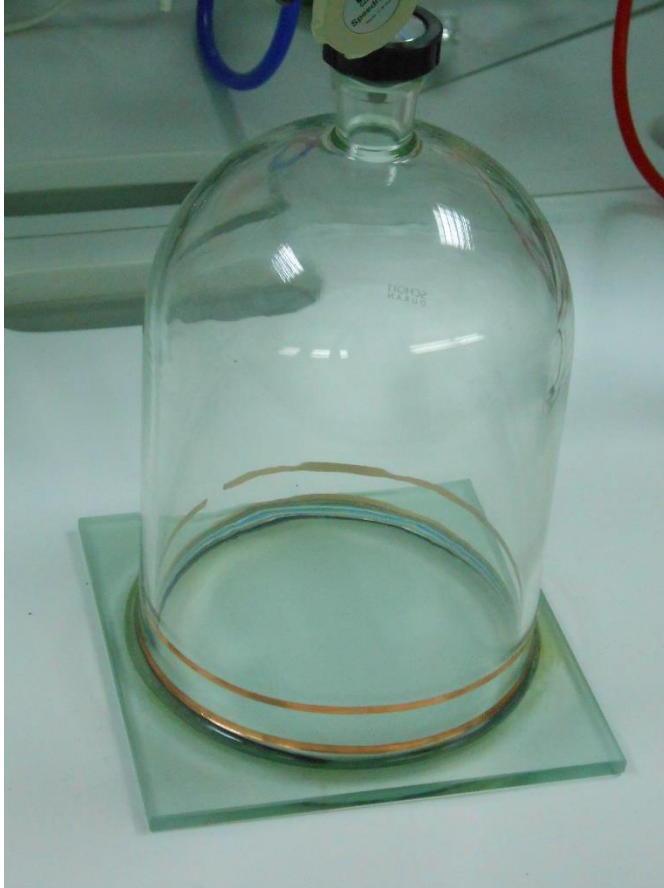


Σχήμα 38: Διάταξη λειτουργείας Ιοντικού μετρητή κενού.

Κεφάλαιο 5^ο - Η κατασκευή

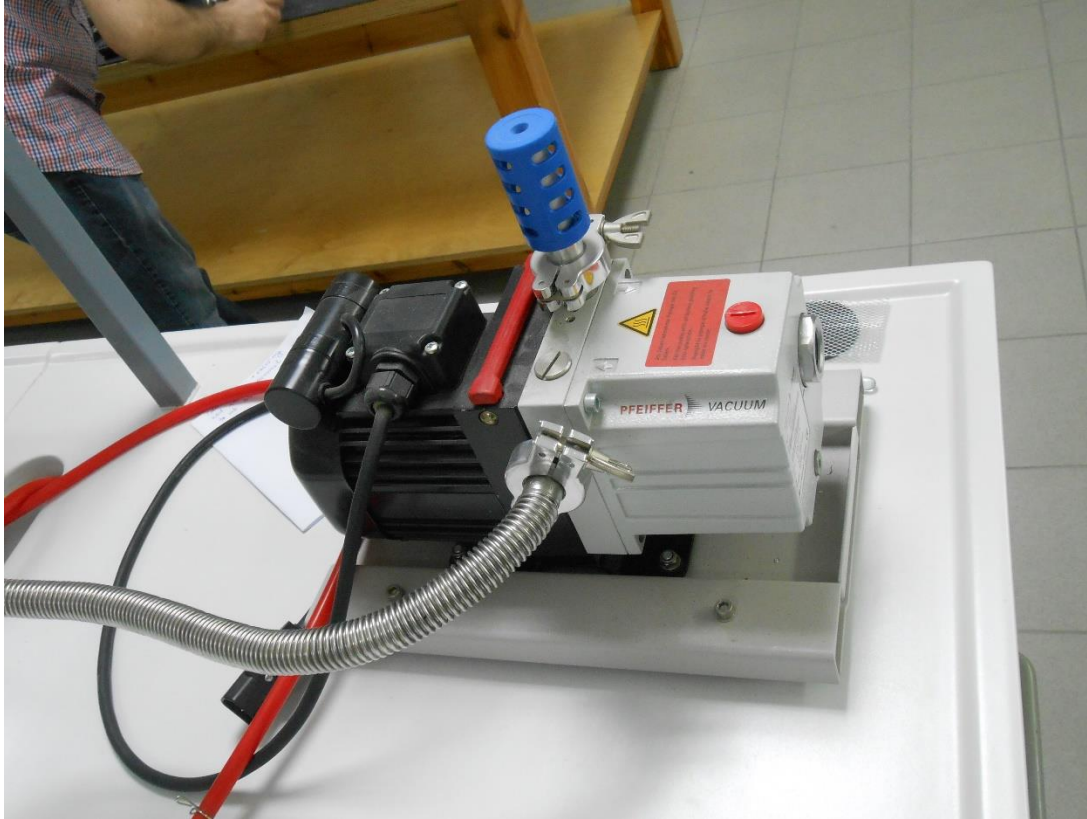
Η βασική ιδέα της κατασκευής ήταν να χρησιμοποιηθούν όσο το δυνατόν υλικά που υπήρχαν ήδη στο χώρο των εργαστηρίων της Σχολής Τεχνολογικών Εφαρμογών του ΤΕΙ Κρήτης (Ηράκλειο) ώστε να εξασφαλιστεί μια χαμηλού κόστους κατασκευή που συγχρόνως θα είναι αξιόπιστη λόγω της απλότητας και στιβαρότητάς της. Τα υλικά αυτά προέρχονται από άλλα χαλασμένα ή εγκαταλειμμένα μηχανήματα. Παρακάτω παρατίθενται ορισμένα από τα υλικά αυτά στην αρχική τους μορφή πριν συναρμολογήσουν ή τροποποιηθούν για τις ανάγκες της κατασκευής. Κάποια από τα υλικά αυτά είναι:

(α) Γυάλινη καμπίνα, μέσα στην οποία δημιουργείται το πλάσμα. Δηλαδή είναι ο χώρος εσωτερικά του οποίου επικρατεί χαμηλή πίεση αερίου και στη συνέχεια ιονίζεται το αέριο αυτό. Μέσα σε αυτό το χώρο τοποθετείται το προς καθαρισμό αντικείμενο.



Σχήμα 39: Γυάλινη καμπάνα μέσα στην οποία θα επιτευχθεί χαμηλή πίεση και θα γίνει καθαρισμός.

(β) Αντλία κενού τύπου περιστροφικών πτερυγίων. Είναι η αντλία που θα εξασφαλίζει την δημιουργία κενού μέσα στο χώρο της γυάλινης καμπάνας και ενεργοποιείται με χειροκίνητο έλεγχο on/off και έχει τάση λειτουργίας 230V.



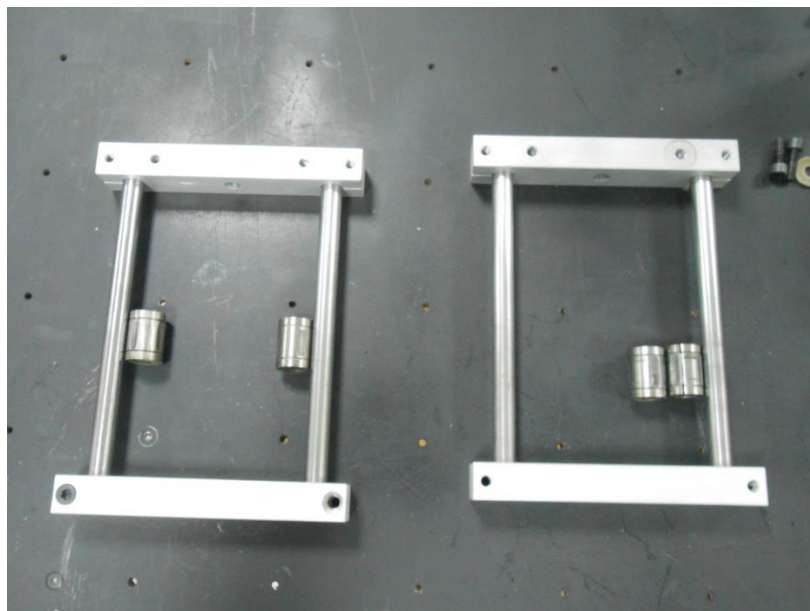
Σχήμα 40: Αντλία κενού που χρησιμοποιήθηκε στην κατασκευή.

(γ) Ανυψωτήρας τύπου κοχλία, που είναι ο μηχανισμός που μετακινεί κατακόρυφα τη βάση (της γυάλινης καμπάνας) πάνω στην οποία τοποθετείται το προς καθαρισμό αντικείμενο. Ο ανυψωτήρας αρχικά (από την προηγούμενη χρήση του) ήταν χειροκίνητος αλλά στην νέα χρήση του, προσαρμόστηκε πάνω σε αυτόν ένας βηματικός κινητήρας, ώστε χωρίς κόπο να περιστρέφεται και να μετακινεί τη βάση κλείνοντάς ή ανοίγοντας τον εσωτερικό χώρο της καμπάνας.



Σχήμα 41: Ανυψωτήρας τύπου κοχλία, που μετακινεί τη γυάλινη βάση και την τοποθετεί ερμητικά στο κάτω μέρος της γυάλινης καμπάνας ώστε να κλείσει στεγανά.

(δ) Άξονες - οδηγοί για κατακόρυφη μετακίνηση της βάσης, και τα αντίστοιχα κυλινδρικά ρουλεμάν. Είναι οι άξονες που τοποθετούνται κατακόρυφα στην κατασκευή και επιτρέπουν στη γυάλινη βάση να μετακινείται κατακόρυφα, πάνω κάτω και πάντα παράλληλα ως προς τη βάση-οπή της καμπάνας.



Σχήμα 42: Άξονες - οδηγοί για κατακόρυφη μετακίνηση της βάσης και τα αντίστοιχα ρουλεμάν.

(ε) Εκτός από τα παραπάνω βασικά υλικά χρησιμοποιήθηκαν και πολλά άλλα, όπως λαμαρίνα αλουμινίου πάχους 5mm, λαμαρίνα αλουμινίου πάχους 1.5mm, προφίλ αλουμινίου 10mm*30mm, γωνία αλουμινίου L 2cm, βίδες στήριξης, στεγανωτικά υλικά, αντιολισθητικά υλικά κλπ.

(ζ) Εκτός αυτών σχεδιάστηκαν υλοποιήθηκαν και χρησιμοποιήθηκαν και δυο διαφορετικά κυκλώματα. Ένα για την παραγωγή και εκπομπή RF ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων και ένα άλλο για την κίνηση της βάσης – πλατφόρμας. Παρουσίαση και ανάλυση των δυο αυτών ηλεκτρικών κυκλωμάτων θα γίνει σε χωριστή παράγραφο.

5.1 Κατεργασία γυάλινης βάσης

Κρίσιμο σημείο στην κατασκευή ήταν η απόφαση που πάρθηκε για τον τρόπο που θα στεγανοποιούταν η γυάλινη βάση (πάχους 1 cm) ως προς την επαφή της με την γυάλινη καμπάνα. Από τους διάφορους τρόπους επιλέχθηκε αυτός που εξασφαλίζει σταθερότητα (χρήση στερεού υλικού δηλαδή δαχτυλίδι – φλάντζα σιλικόνης).

Αυτή η απόφαση ήταν κρίσιμη, δεδομένου ότι η βάση αυτή θα μετακινείται συχνά, μιας και πάνω σε αυτή θα τοποθετούνταν τα διάφορα υλικά προς καθαρισμό. Παράλληλα, θα πρέπει να μην υπάρχει αμφιβολία για την ποιότητα στεγανότητας, διότι σε διαφορετική περίπτωση θα υπάρχουν διαρροές πίεσης και δεν θα εξασφαλίζεται το κενό αέρα που είναι απαραίτητο για τη δημιουργία

πλάσμα μέσα στο χώρο της γυάλινης καμπάνας. Το ελαστικό αυτό δαχτυλίδι εδρεύει μέσα σε αυλάκι στην επιφάνεια της γυάλινης βάσης που χαρακτήθηκε με ιδικό κοπτικό εργαλείο και δεν μπορεί να μετακινείται από αυτή την θέση που ορίζει το αυλάκι αυτό. Εφόσον ολοκληρώθηκε η χάραξη της κυκλικής αυτής υποδοχής για το πλαστικό στεγανωτικό δαχτυλίδι, κρίθηκε απαραίτητη η κατεργασία της επιφάνειας ώστε να εξασφαλιστεί στο μέγιστο βαθμό μια επίπεδη και λεία επιφάνεια. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκε λειαντική πούδρα υάλου μαζί με απιονισμένο νερό και μια δεύτερη επίπεδη πλάκα γυαλιού περίπου ίδιων διαστάσεων με τη γυάλινη βάση. Το μίγμα πούδρας -νερού τοποθετήθηκε πάνω στην γυάλινη βάση και καλύφθηκε με το δεύτερο γυαλί. Μετά από 5 περίπου ώρες τριψίματος με το χέρι της δεύτερης γυάλινης πλάκας πάνω στην πρώτη (η οποία ήταν ακινητοποιημένη στον πάγκο εργασίας), εξασφαλίστηκε ότι η επιφάνεια λειάνθηκε ικανοποιητικά, ώστε τυχόν ανωμαλίες πλέον είναι της τάξης του 10^{-6} m έως 10^{-8} m, όσο δηλαδή και ο όγκος του κάθε σωματιδίου της πούδρας. Θεωρούμε επίπεδο το τελικό αποτέλεσμα, διότι προέκυψε από την κατεργασία τριψίματος προς όλες τις πιθανές κατευθύνσεις, δυο (θεωρούμενων από το εργοστάσιο) ήδη επίπεδων επιφανιών (γυαλί) με πούδρα λείανσης μικροσκοπικού όγκου, άρα το αποτέλεσμα τείνει να είναι πάλι επίπεδη επιφάνεια και μάλιστα βελτιωμένη σε σχέση με την αρχική επίπεδη, λόγω της πολύωρης κατεργασίας και του λειαντικού υλικού. Πρακτικά τα αποτελέσματα στεγανοποίησης φαίνονται κατά την άντληση του κενού, όπου η υποπίεση παραμένει χωρίς αισθητές απώλειες για μεγάλα χρονικά διαστήματα.

5.2 Κατασκευή μεταλλικής βάσης

Εφόσον εξασφαλίστηκε το περιβάλλον μέσα στο οποίο θα γίνεται ο καθαρισμός με πλάσμα, άρχισε η κατασκευή πάνω στην οποία θα στηριχθεί και θα ενσωματωθεί το γυάλινο αυτό ζεύγος (καμπάνα – βάση καμπάνας) αλλά και τα υπόλοιπα παρελκόμενα, τα απαραίτητα για τη λειτουργία του συστήματος μέρη μηχανικά και ηλεκτρικά. Η βάση αυτή, σχήματος ανισόπλευρου κύβου, κατασκευάστηκε από λαμαρίνα αλουμινίου πάχους 5mm, που κόπηκε στο ψαλίδι του μηχανουργείου των εργαστηρίων σε διαστάσεις 35cm x 30cm δυο φορές (πάνω βάση, κάτω βάση), ενώ περιμετρικά κλείστηκε με λαμαρίνα πάχους 1.5 mm. Για τη στιβαρότητα της κατασκευής ανάμεσα στην πάνω βάση και κάτω βάση, τοποθετήθηκαν σε κάθε γωνία της πάνω και κάτω βάσης αποστάτες κράματος αλουμινίου αυξημένη σκληρότητας. Προκειμένου να μην υπάρχει κίνδυνος τραυματισμού από γρέζια η κοφτερές πλευρές μετά την κοπή, τα επικίνδυνα σημεία λειάνθηκαν με ειδικό τροχό για αλουμίνιο, μιας και ο κλασικός τροχός για χάλυβα ήταν ακατάλληλος και κατέστρεφε το μέταλλο. Η κατεργασία αυτή έγινε στην πλάνη. Το τελικό

αποτέλεσμα είναι μια τρισδιάστατη βάση διαστάσεων 35cm x 30cm x 21cm. Εξωτερικά αυτής της βάσης και στις δυο αντιδιαμετρικές πλευρές της, τοποθετήθηκαν παράλληλα οι κατακόρυφοι άξονες – οδηγοί στους οποίους κινείται – ολισθαίνει πάνω - κάτω (με τη βοήθεια γραμμικών ρουλεμάν Σχ. 43) η βάση της καμπάνας. Η συναρμογή των διαφόρων ελασμάτων – μετάλλων – λαμαρινών, επιτεύχθηκε με χρήση βιδών 6mm κάθε φορά κατάλληλου μήκους όπου η κεφαλή τους είναι τύπου φρέζας (Σχ. 44) ώστε να μην προεξέχουν της κατασκευής και το τελικό αισθητικό αποτέλεσμα να είναι ομοιόμορφο, επίπεδο, χωρίς οπτικές ανωμαλίες και να θυμίζει εργοστασιακό design.



Σχήμα 43: Γραμμικά ρουλεμάν που χρησιμοποιήθηκαν.



Σχήμα 44: Βίδες με φρεζοκεφαλή.

Η κατασκευή του κιβωτίου – βάση της διάταξης ήταν καθοριστικής σημασίας διότι είναι η <<καρδιά>> του συστήματος όσο αφορά τη στήριξη όλων των επιμέρους συσκευών μηχανολογικών και ηλεκτρικών -διακοπών -κυκλωμάτων. Η απόφαση για τον όγκο της εν λόγω βάσης πάρθηκε συνυπολογίζοντας τον όγκο της εκάστοτε ηλεκτρικής και μηχανολογικής συσκευής που θα περιλαμβάνει, όπως το κύκλωμα RF, τον ατέρμονα κοχλία του ανυψωτήρα βάσης, τις πλακέτες κυκλωμάτων, το βηματικό κινητήρα, τα καλώδια, τις ασφαλειοθήκες και το μετασχηματιστή.

Μείζον ζήτημα ήταν η τοποθέτηση και στερέωση πάνω στη βάση των αξόνων μετακίνησης της πλατφόρμας, που φέρνει τη γυάλινη βάση στο κάτω μέρος της ακίνητης -στερεωμένης καμπίνας. Εδώ το ζητούμενο ήταν να τοποθετηθούν αυτοί οι άξονες απόλυτα παράλληλα τόσο σαν ζεύγη, αλλά και αντιδιαμετρικά, δηλ. το ένα ζεύγος απέναντι στο άλλο (τέσσερις συνολικά άξονες χρησιμοποιήθηκαν) ώστε να απέχουν το ίδιο καθ' όλο το μήκος τους. Το ζεύγος των αξόνων όπως φαίνεται στο σχ.40 ενώνεται με όμοιους αποστάτες μεταξύ τους, βαρέως τύπου κράματος αλουμινίου, τόσο στο κάτω μέρος όσο και στο πάνω. Με αυτό τον τρόπο εξασφαλίζεται ο παραλληλισμός μεταξύ τους, κάτι που ήταν πρόβλημα. Αυτό εξασφαλίστηκε ως εξής: Κατασκευάσαμε την πλατφόρμα μετατόπισης της βάσης (κοπή λαμαρίνας πάχους 5mm) και βιδώσαμε τα δυο ζεύγη αξόνων μαζί συγκρατώντας τα με τους αποστάτες, αφού όμως πρώτα

πλανάραμε τις πλευρές των αποστατών που θα ερχόταν σε επαφή με τη βάση κατά 1mm. Επίσης κατεργαστήκαμε για σιγουριά (δεν εμπιστευτήκαμε το εργοστασιακό <<επίπεδο>> της λαμαρίνας μιας και κατά την μεταφορά θα μπορούσε να είχε καμφθεί) στην πλάνη και την ίδια τη λαμαρίνα (περίπου 30/100 του χιλιοστού) οπότε εξασφαλίσαμε ότι και οι δύο επιφάνειες είναι επίπεδες. Σε αυτό το σημείο πρέπει να αναφέρω ότι τόσο το σπείρωμα στους αποστάτες αλλά και τα αλλά σπειρώματα που ανοίξαμε στη διάταξη έγιναν με κολαούζο μετρητικού βήματος διαμέτρου 6mm.

Το μόνο που απέμεινε είναι να βιδωθούν τα πλαναρισμένα μέρη (αποστάτες και πλατφόρμα) μεταξύ τους. Πρώτα βιδώθηκε η μια πλευρά και από τα δυο ζευγάρια μετά περάστηκε η πλατφόρμα με τα ρουλεμάν μέσα στους άξονες, οπότε η πλατφόρμα σε αυτή τη φάση έπαιξε το ρόλο του <<οδηγού>>. Αφού διαπιστώθηκε ότι η πλατφόρμα μετακινείται με ευκολία πάνω- κάτω, βιδώθηκαν με την προβλεπόμενη ροπή από τον κατασκευαστή και οι δυο τελευταίες βίδες στους αποστάτες και έτσι οριστικοποιήθηκε η καθετότητα και παραλληλισμός των αξόνων. Πλέον η πλατφόρμα μετακινείται στιβαρά αλλά χωρίς δυσκολία πάνω και κάτω κατά μήκος των αξόνων. Στο κάτω μέρος της βάσης βιδώθηκε ο ανυψωτήρας τύπου κοχλία. Συγκεκριμένα, η κινούμενη βάση του στερεώθηκε στην κάτω πλευρά της πλατφόρμας με τέσσερις βίδες ασφαλείας, ώστε να εξαλειφθεί η περίπτωση χαλάρωσης της σύσφιξης και έτσι να διατηρηθεί η ακρίβεια μετακίνησης της πλατφόρμας στο επιθυμητό σημείο. Προηγήθηκε η τοποθέτηση του ανυψωτήρα εσωτερικά του κιβωτίου – βάση, με το μόνο μέρος να προεξέχει από αυτό η κινούμενη βάση του (που βιδώθηκε στην πλατφόρμα).

Σε αυτό το σημείο έχουμε τα κυριότερα και μεγαλύτερα σε όγκο μηχανολογικά αντικείμενα τοποθετημένα όπως πρέπει.

Αυτό που ακολουθεί είναι η τοποθέτηση του βηματικού κινητήρα στον άξονα περιστροφής του ανυψωτήρα. Αρχικά έγινε η στερέωση του κινητήρα εσωτερικά και επάνω του κυτίου με ένα έλασμα και μετά, η ένωση των δυο αξόνων (του κινητήρα και του ανυψωτήρα) επιτεύχθηκε με ένα κομμάτι σωλήνα σιλικόνης εργαστηριακού τύπου, εσωτερικής διαμέτρου 5mm. Με τον τρόπο αυτό θα έχουμε ποιο ομαλή ανύψωση της πλατφόρμας, απαλλαγμένη από τον οποιαδήποτε κραδασμό, στοιχείο σημαντικό διότι ακόμα και την παραμικρή όχληση να δεχτεί η πλατφόρμα από εξωτερικό παράγοντα, ο ελαστικός αυτός σύνδεσμος θα την απορροφήσει και θα την αποσβήσει. Αυτό δεν θα συνέβαινε αν η ένωση των αξόνων γινόταν με δύσκαμπτο (μεταλλικό) σύνδεσμο, ακόμα κι αν οι δυο άξονες είναι ομόκεντροι.

Στο πάνω μέρος των αξόνων ακινητοποιήθηκε η γυάλινη καμπάνα με τη βοήθεια ανοξειδωτων ελασμάτων σχήματος \cup , όπου ανά δυο σχηματίζουν ένα κύκλο και περιφερικά <<αγκαλιάζουν>> την καμπάνα. Συνολικά χρησιμοποιήθηκαν δυο τέτοια ελάσματα (άρα σχηματίζεται ένα δαχτυλίδι που <<πιάνει>> την καμπάνα) ώστε να εξασφαλιστεί μέγιστη σταθερότητα ενώ εσωτερικά τοποθετήθηκε αντιολισθητικό υλικό τύπου φελλού πάχους 2 mm. Έτσι, αποκλείεται να έχουμε ολίσθηση από την επιθυμητή προβλεπόμενη θέση που πρέπει να βρίσκεται η καμπάνα. Τα δυο ελάσματα τύπου \cup ενώνονται με βίδες και παξιμάδια 10mm, ώστε να είναι δυνατή και εύκολη η αποσυναρμολόγηση της καμπάνας σε περίπτωση που θελήσουμε να την καθαρίσουμε ή να αλλάξουμε το ύψος της σε σχέση με τη βάση.

Ένα άλλο αξιόλογο σημείο που μελετήθηκε, και αποφασίστηκε τελικά να κατασκευαστεί όπως περιγράφεται παρακάτω, είναι αυτό της τοποθέτησης της γυάλινης βάσης στεγανοποίησης στην πλατφόρμα. Η γυάλινη βάση που βρίσκεται πάνω στην πλατφόρμα και μετακινείται από αυτή πάνω - κάτω δεν είναι κολλημένη σε αυτήν αλλά αντίθετα αποφασίστηκε να παραμείνει ελεύθερη με μόνο περιορισμό να ακινητοποιηθεί με κάποιες γωνίες τύπου L στις τέσσερις πλευρές της και αυτό με ανοχή 3 mm. Αυτό έγινε διότι όταν η πλατφόρμα φτάνει στο ανώτατο σημείο και σταματά (λόγω ελέγχου από το κύκλωμα) στεγανοποιώντας την καμπάνα με τη γυάλινη βάση, η θέση της τελευταίας θα αλλάξει ξανά με το που αρχίσει να δημιουργείται υποπίεση για δημιουργία κενού. Καταλαβαίνουμε ότι η υποπίεση θα τραβήξει κι άλλο προς τα πάνω την βάση οπότε αν ήταν κολλημένη στην πλατφόρμα αργά ή γρήγορα θα καταστρεφόταν η βάση λόγω θραύσης ή θα στρέβλωνε κάποιο σημείο στην διάταξη. Τώρα απλά ανασηκώνεται ελαφρά η γυάλινη βάση μέχρι να τελειώσει η διαδικασία καθαρισμού με πλάσμα και αφού αποκαταστήσουμε την ατμοσφαιρική πίεση εσωτερικά της καμπάνας, αυτή επιστρέφει (λόγω βαρύτητας) στην θέση της στην πλατφόρμα. Είναι ένας πρακτικός τρόπος να έχουμε τον καλύτερο έλεγχο χωρίς ζημίες ή περίπλοκους αυτοματισμούς. Ανάμεσα στη βάση και την πλατφόρμα υπάρχει αντικραδασμικό υλικό ώστε η βάση όταν επιστρέφει στη θέση της να <<πέφτει>> στα μαλακά.

5.3 Εργονομία κατασκευής

Μέσα στο κυτίο τοποθετούνται όλα τα ηλεκτρικά κυκλώματα, πλακέτες και μηχανισμοί της διάταξης, όπως έχουμε ήδη εξηγήσει, άρα απαιτείται εργονομία και εξοικονόμηση χώρου ώστε να χωρέσουν όλα τα παραπάνω σε αυτόν τον περιορισμένο χώρο. Για αυτό το λόγο, τοποθετήθηκαν όλα με τρόπο τέτοιο που το ένα να μην επηρεάζει τη λειτουργία του άλλου ακόμα, κι αν είναι

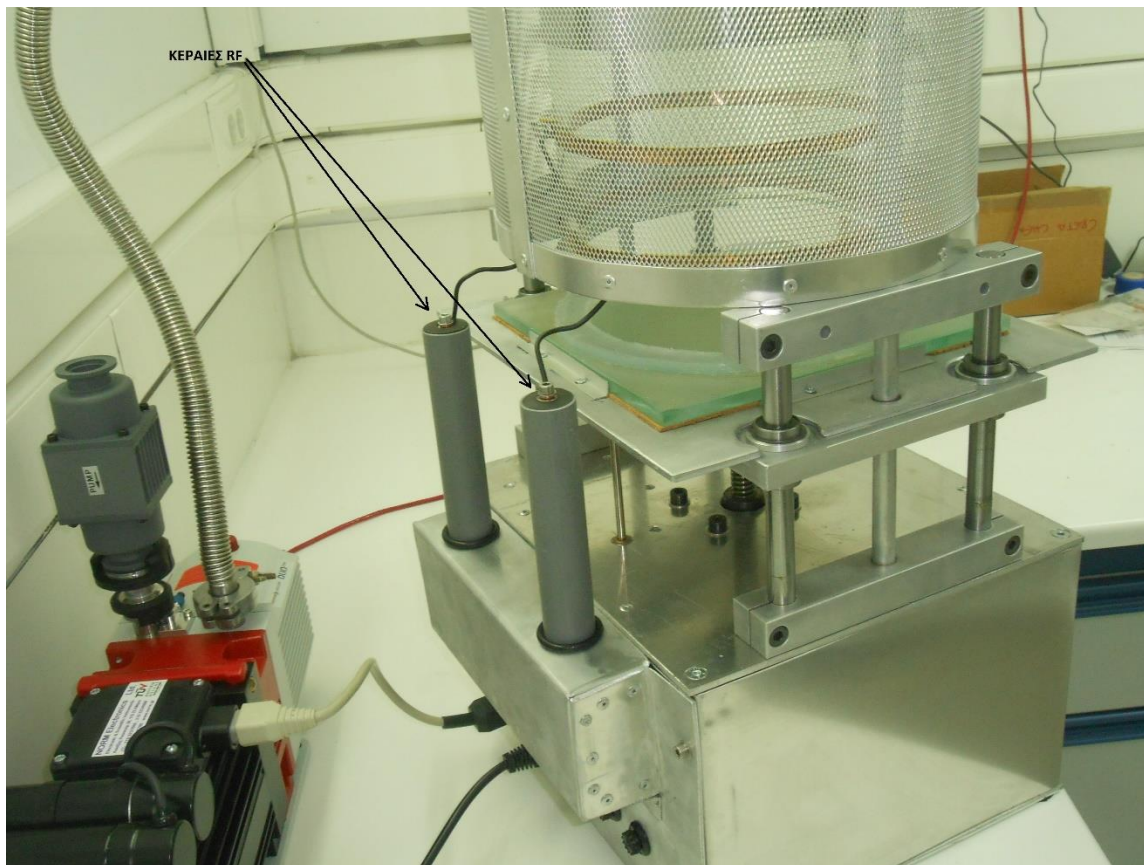
κινούμενα μέρη. Επίσης, σε περίπτωση επέμβασης στο εσωτερικό του κυτίου λόγω συντήρησης ή επισκευής, θα πρέπει να είναι εύκολη η πρόσβαση στο κάθε εξάρτημα. Για αυτό το λόγο διανοίχτηκαν δυο εισοδοί για πρόσβαση στο εσωτερικό του κυτίου, μια από την πρόσοψη και μια από την πίσω πλευρά. Με αυτό τον τρόπο έχουμε εύκολη και άμεση πρόσβαση στο όποιο εξάρτημα θέλουμε, αρκεί να ανοίξουμε τη σωστή είσοδο. Επίσης, φροντίσαμε οι ηλεκτρικές πλακέτες να τοποθετηθούν στις εσωτερικές επιφάνειες του κυτίου, ώστε να μην καταλαμβάνουν χώρο πάρα μόνο πλάτος και όλες συνδέονται με καλώδια εύκαμπτα με τα κυκλώματα που ελέγχουν (πχ κινητήρας ή έλεγχος θέσης πλατφόρμας). Η σύνδεση των καλωδίων με τις αντίστοιχες πλακέτες γίνεται με ακροδέκτες 5 A, που βγαίνουν εύκολα ώστε να μη χρειάζεται να ξηλώνεται όλο το κύκλωμα σε περίπτωση που θέλουμε να επέμβουμε στο εσωτερικό της πλακέτας, αλλά αρκεί να βγάλουμε τις φίσες από την πλακέτα η οποία δεν χρειάζεται να μετακινηθεί. Τέλος μιλώντας για δυο εισόδους, πρέπει να πούμε ότι η μια είναι στο πίσω μέρος του κυτίου (που εσωκλείει και τις κεραίες) ενώ η άλλη είναι μπροστά - το ίδιο το ταμπλό χειρισμού. Αρκεί να ξεβιδώσουμε τέσσερις βίδες που τις κρατάνε και έχουμε πρόσβαση στο εσωτερικό του κυτίου.

5.4 Η κεραία RF

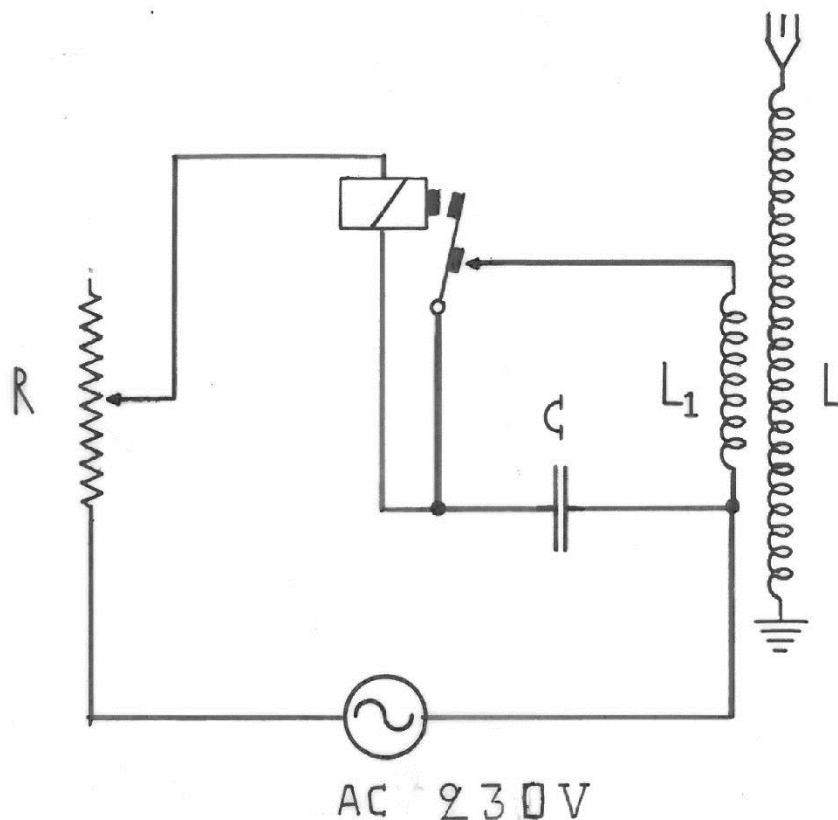
Όσο αφορά την ηλεκτρική συσκευή που δημιουργεί την RF συχνότητα και ιονίζει το αέριο που βρίσκεται σε χαμηλή πίεση ώστε να πάρουμε πλάσμα, πρόκειται για μια απλή κατασκευή που το κυκλωματικό σχέδιο της απεικονίζεται στο Σχ. 41 Είναι ένα κύκλωμα δεύτερης τάξης (περιλαμβάνει αντίσταση, πηνίο και πυκνωτή Σχ. 42), το οποίο τροφοδοτείται κατ' ευθείαν από το δίκτυο (230 V -50Hz) και από τη στιγμή ενεργοποίησής του βρίσκεται συνεχώς σε μεταβατική κατάσταση on-off λόγω ενός ηλεκτρομαγνήτη που περιλαμβάνει το κύκλωμα. Το αποτέλεσμα της συχνότητας τροφοδότησης σε συνδυασμό με τη μόνιμη μεταβατική κατάσταση έχουν ως αποτέλεσμα το κύκλωμα αυτό (δευτέρης τάξης) να αποδίδει συχνότητα RF δηλ. 10^6 - 10^{10} Hz . Η τάση στην έξοδο του κυκλώματος μετασχηματίζεται σε υψηλή τάση με τη χρήση δυο πηνίων σε ρόλο μετασχηματιστή αέρος (χωρίς σιδηροπυρήνα), όπου το δευτερεύον πηνίο προεξέχει από την κατασκευή και η μια άκρη του στέλνει το παραγόμενο ραδιόκυμα στην καμπάνα με τη βοήθεια χάλκινου αγωγού (που έχει το ρόλο της κεραίας Σχ. 41) ο οποίος είναι στερεωμένος περιμετρικά της γυάλινης καμπάνας.

Ο λόγος μετασχηματισμού $K = \frac{V1}{V2} = \frac{n1}{n2}$ Εξίσωση (13)

όπου V1 τάση πρωτεύοντος V2 τάση δευτερεύοντος και n1 τύλιγμα πρωτεύοντος n2 τύλιγμα δευτερεύοντος είναι εντυπωσιακά μεγάλος (12/ 550) και έτσι με αυτό τον τρόπο εξασφαλίζεται η υψηλή τάση που αποδίδει η κεραία.



Σχήμα 45: Κεραίες RF στο πίσω μέρος της κατασκευής.



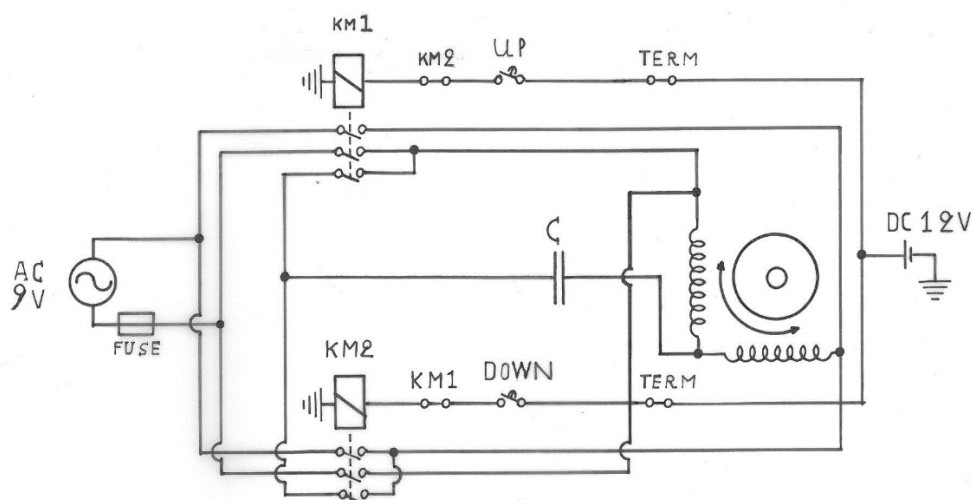
Σχήμα 46: Κύκλωμα (RF) κεραίας δευτέρας τάξης, περιλαμβάνει RLC.

5.5 Μηχανισμός μετατόπισης βάσης

Η μετακίνηση της βάσης πάνω – κάτω επιτυγχάνεται με έναν βηματικό κινητήρα τύπου Bipolar μικρής ισχύος, όπου το βήμα δίνεται από ένα ηλεκτρικό κύκλωμα κλασικού αυτοματισμού με ηλεκτρικό ρελέ (12-24 Volts). Αυτό, εκμεταλλευόμενο τη συχνότητα του δικτύου 50Hz και τη μετατόπιση φάσης που προκαλεί ένας πυκνωτής μεγάλης χωρητικότητας (1000μF) σε ένα από τα δυο τυλίγματα του κινητήρα, κινεί αυτόν, προς τη μια ή αντίθετη φορά ανάλογα τη σύνδεση του πυκνωτή. Η AC τάση δε δίνεται απευθείας από το δίκτυο αλλά μέσω Μ/Σ υποβιβασμού 230V/9V.

Ιδιαίτερη προσοχή δόθηκε στο να μην χρησιμοποιηθεί ολοκληρωμένος ηλεκτρονικός οδηγός (chip driver) για την οδήγηση του κινητήρα μιας και παρατηρήθηκε κατά την ενεργοποίηση της κεραίας ότι οι πολύ κοντινές ηλεκτρονικές συσκευές επηρεάζονταν στη λειτουργία.

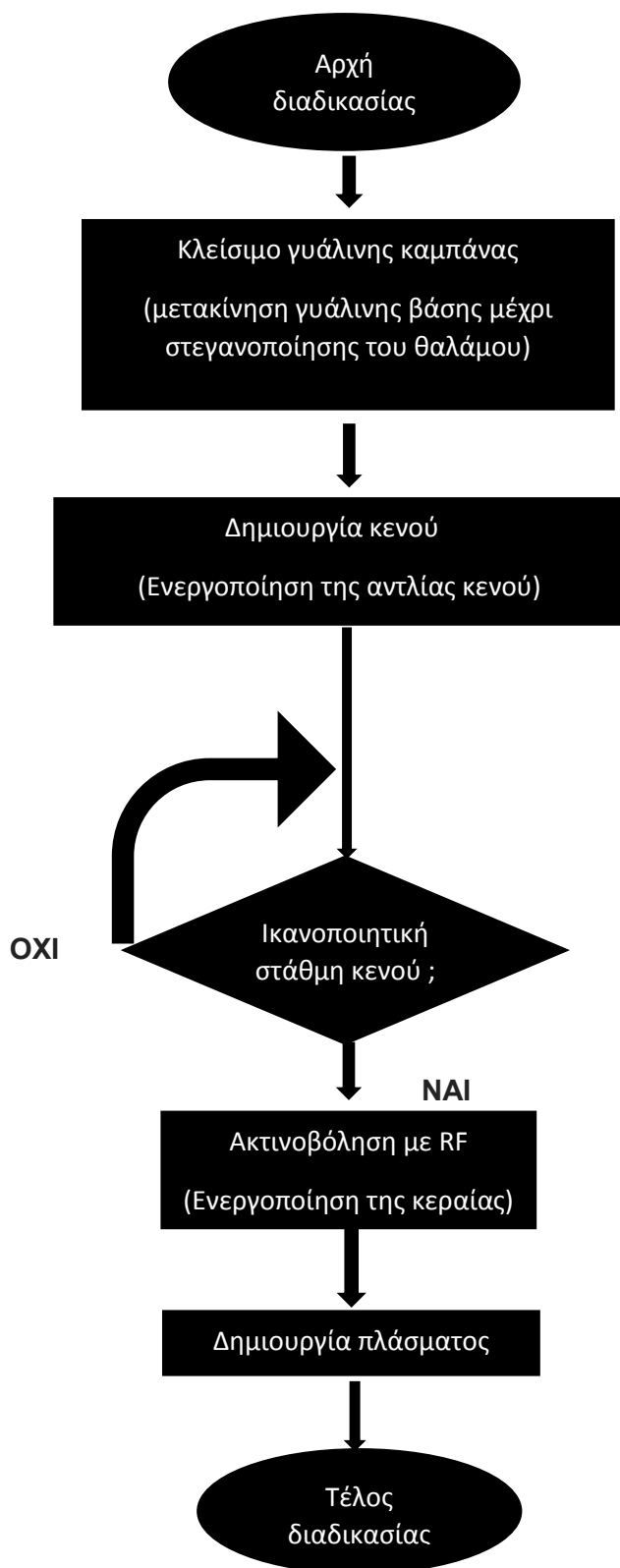
Το κύκλωμα ελέγχου και κίνησης του βηματικού κινητήρα φαίνεται παρακάτω



Σχήμα 47: Κύκλωμα ελέγχου βηματικού κινητήρα με ηλεκτρομηχανολογικό έλεγχο.

5.6 Η λειτουργία της κατασκευής – διάγραμμα ροής λειτουργίας

Η παρούσα κατασκευή είναι μια συσκευή καθαρισμού με πλάσμα το οποίο δημιουργείται με τη χρήση ραδιοσυχνότητας $10^6 - 10^{10}$ Hz (RF). Η ραδιοσυχνότητα ιονίζει το αέριο που βρίσκεται σε χαμηλή πίεση μέσα στη γυάλινη καμπάνα και έτσι δημιουργείται το πλάσμα. Κατά την παραγωγή πλάσματος, είναι αισθητή μια λάμψη η οποία προέρχεται από την αποδιέγερση των ηλεκτρονίων, αφού πρώτα αυτά έχουν διεγερθεί λόγω της απορρόφησης ενέργειας από την ραδιοσυχνότητα. Το χρώμα που έχει αυτή η ορατή ακτινοβολία εξαρτάται από το αέριο που έχουμε βάλει μέσα στο θάλαμο. Η σειρά με την οποία πρέπει να συμβούν τα φαινόμενα είναι σχετικά απλή στην κατανόηση, ενώ παρακάτω παρατίθεται και το διάγραμμα ροής λειτουργίας της συσκευής.



Σχήμα 48: Διάγραμμα ροής λειτουργίας.

5.7 Οδηγίες χρήσης

Από το παραπάνω διάγραμμα ροής προκύπτει και ο τρόπος χρήσης της διάταξης που κατασκευάστηκε. Τα βήματα είναι πολύ απλά και έχουν την παρακάτω σειρά προκειμένου να καθαρίσουμε ένα στερεό αντικείμενο.

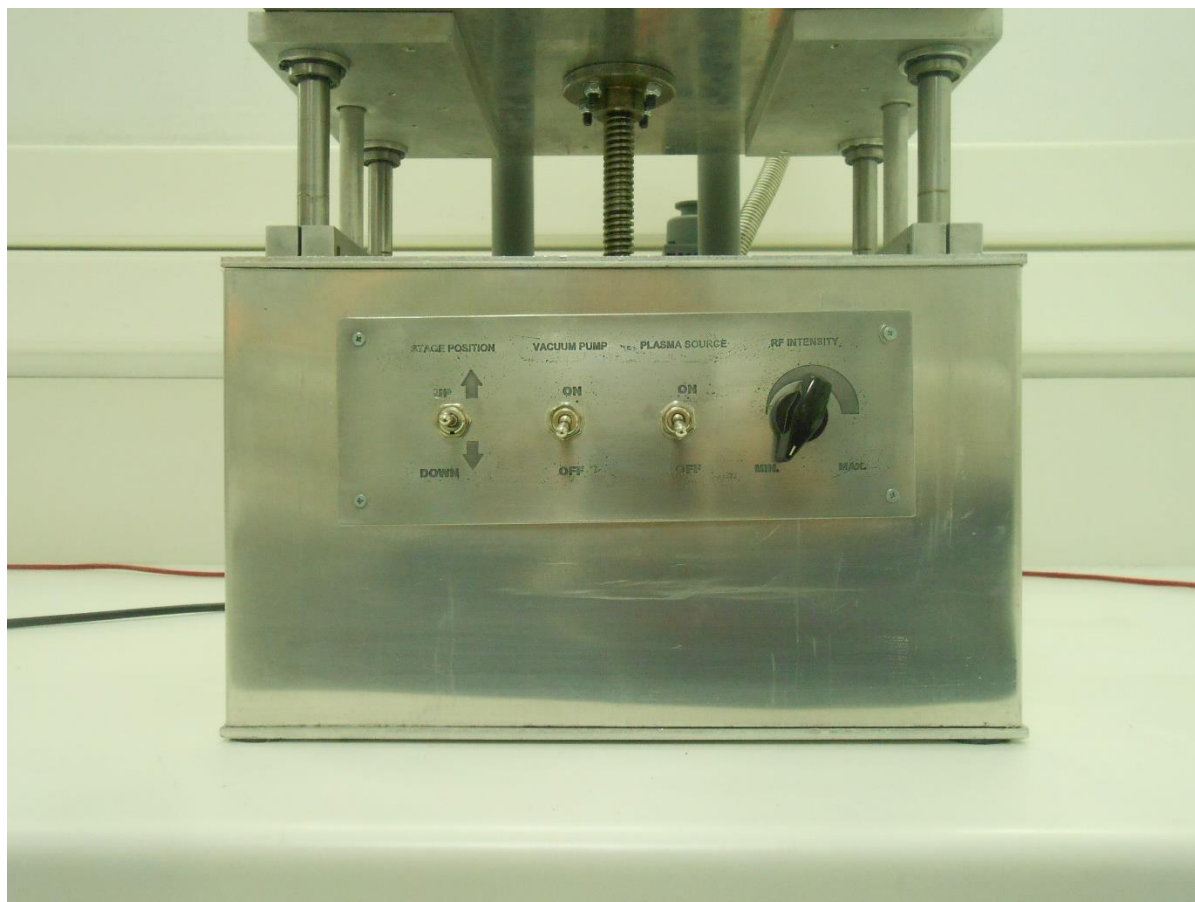
Αρχικά πρέπει να ηλεκτροδοτήσουμε την συσκευή με 230 Volts, 50Hz από το δίκτυο, ενώ παράλληλα από τον ρευματοδότη (έξοδος 230 Volts) που υπάρχει στο πίσω μέρος της, θα πρέπει να πάρει τάση με καλώδιο και η αντλία κενού. Ο έλεγχος τόσο για την αντλία όσο για τη μετακίνηση της βάσης αλλά και για την κεραία είναι χειροκίνητος και γίνεται από τους διακόπτες στην μπροστινή όψη της της συσκευής, (Σχ. 49).

Τοποθετούμε το προς καθαρισμό αντικείμενο στην πλατφόρμα και θέτουμε τον διακόπτη STAGE POSITION στη θέση UP προκειμένου να αρχίσει η πλατφόρμα να κινείται προς τα πάνω μέχρι να βρει τη βάση της καμπάνας και να σταματήσει με αυτόματο τρόπο. Αν η πλατφόρμα βρίσκεται σε θέση που δε βολεύει την τοποθέτηση του αντικειμένου (π.χ. αν είναι ήδη κλειστή ή είναι σε υψηλό σημείο) τότε μπορούμε να την κατεβάσουμε στρέφοντας το διακόπτη στο DOWN, οπότε κινείται προς τα κάτω μέχρι να φτάσει το προκαθορισμένο κατώτατο σημείο και να σταματήσει αυτόματα.

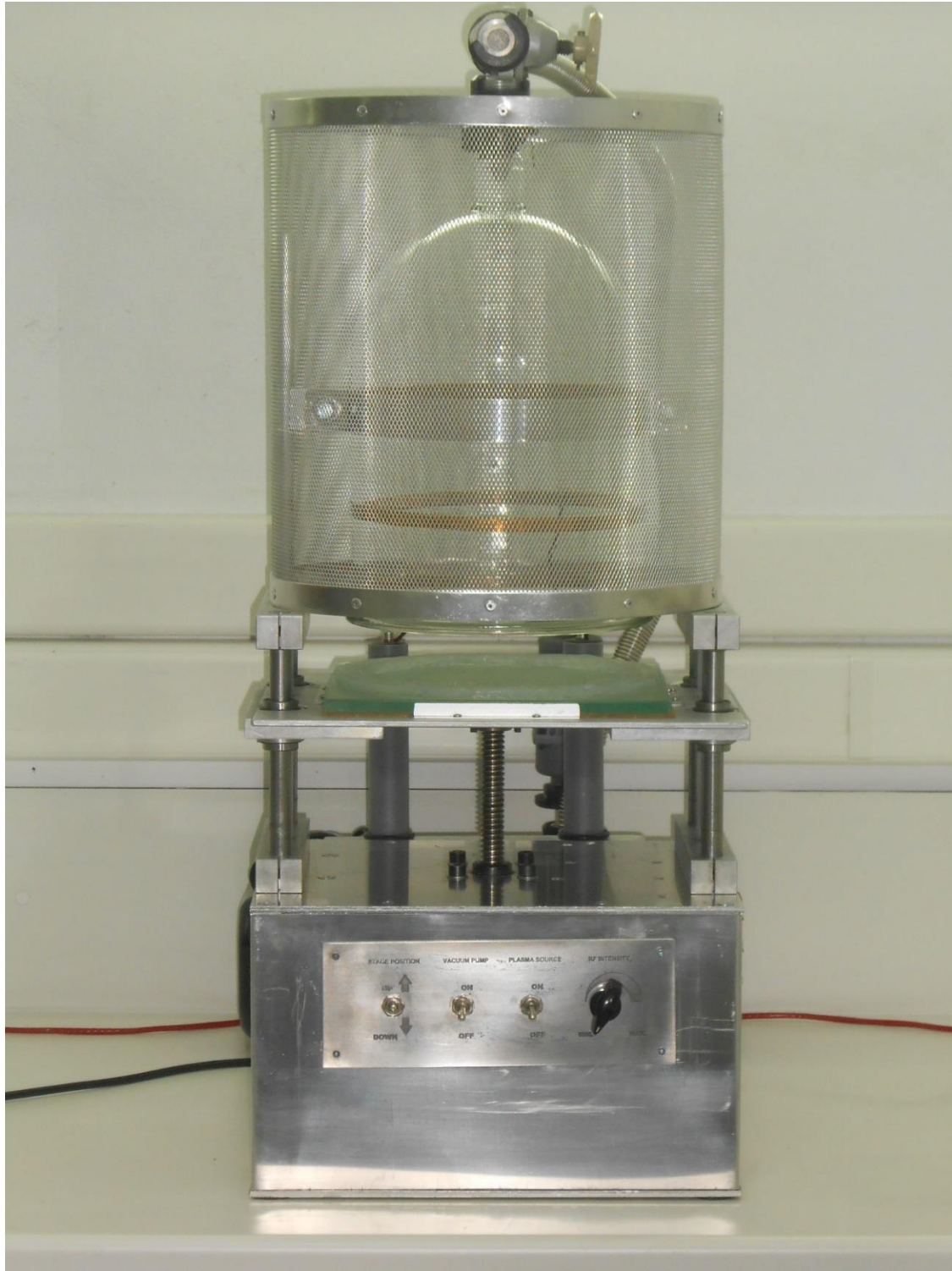
Μετά το κλείσιμο της γυάλινης καμπάνας με την πλατφόρμα, πρέπει να θέσουμε σε λειτουργία την αντλία κενού από τον διακόπτη VACUUM PUMP. Αφήνουμε το σύστημα να αντλήσει τον αέρα που περιέχει μέσα η σφραγισμένη καμπάνα και όταν περάσει ένα χρονικό διάστημα της τάξης του 1 min ή και περισσότερο μπορούμε να θέσουμε σε λειτουργία την κεραία από τον διακόπτη PLASMA SOURCE. Από τον περιστροφικό διακόπτη RF INTENSITY μας δίνεται η δυνατότητα να αυξήσουμε ή να μειώσουμε την ένταση του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου RF που δίνει η κεραία. Αν ακολουθηθούν αυτά τα απλά βήματα, το πλάσμα δημιουργείται, το αντικείμενο τίθεται υπό καθαρισμό, ενώ αν εξασφαλίσουμε χαμηλό φωτισμό στο χώρο που δουλεύουμε θα μπορούσαμε να δούμε μια αίγλη που αποδίδεται κατά την δημιουργία πλάσματος. Για να σταματήσουμε τη διαδικασία ακολουθούμε τα βήματα με την αντίθετη σειρά δηλ. από τον τελευταίο χειρισμό προς τον αρχικό.

5.8 Τελικό αποτέλεσμα

Συνθέτοντας τα παραπάνω ώστε να ικανοποιείται το διάγραμμα ροής λειτουργίας της συσκευής καθαρισμού με ψυχρό πλάσμα, έχουμε τη συσκευή της παρούσας εργασίας όπου ο έλεγχος των: α) αντλία κενού β) μετακίνηση βάσης πάνω - κάτω και τέλος γ) κεραία RF (διπλή) γίνεται χειροκίνητα με διακόπτες που βρίσκονται σε πάνελ στο μπροστά μέρος της συσκευής όπως φαίνεται παρακάτω. Εκτός της αντλίας κενού, που λόγω μεγέθους βρίσκεται εκτός του μεταλλικού κυτίου – βάση της συσκευής, όλα τα άλλα κυκλώματα, καλωδιώσεις, Μ/Σ και μηχανικά εξαρτήματα που αναφέρθηκαν παραπάνω, βρίσκονται εντός του κυτίου – βάση της συσκευής, τοποθετημένα με εργονομικό τρόπο ώστε να χρησιμοποιηθεί με τον καλύτερο δυνατό τρόπο ο περιορισμένος κατά τα άλλα εσωτερικός χώρος του κυτίου.



Σχήμα 49: Χειριστήριο συσκευής στην πρόσοψη της.



Σχήμα 50: Άποψη ολοκληρωμένης συσκευής (εύκολα διακρίνεται το προστατευτικό πλέγμα γύρω από την γυάλινη καμπάνα το οποίο υπάρχει εκεί για λόγους ασφαλείας).

5.9 Προδιαγραφές ασφαλείας :

- Τάση λειτουργίας 220 - 230 Volts 50 Hz Καλώδιο 3 x 1,5mm²
- Γειωμένο σασί (επαναλαμβανομένη γείωση ανά την κατασκευή) με αγωγό NYAF 1,5mm² χρωματικού κώδικα κίτρινο – πράσινο
- Ασφάλεια κυκλώματος κεραίας RF: τήξεως 0,25 A
- Ασφάλεια κυκλώματος βηματικού κινητήρα: τήξεως 2 A
- Ασφάλεια αντλίας κενού: θερμικό προστασίας από τον κατασκευαστή
- Ασφάλεια έναντι θραύσης υάλου: πλέγμα τύπου ντελμπουαγιέ αλουμινίου - MINI/A4

Κεφάλαιο 6^ο – Τεχνικές χαρακτηρισμού

Στο κεφάλαιο αυτό θα παρουσιαστούν οι τεχνικές που χρησιμοποιούνται για τη μελέτη και το χαρακτηρισμό της επιφανειακής μορφολογίας των υλικών που εισάγουμε προς καθαρισμό στο θάλαμο καθαρισμού με πλάσμα, πριν και μετά την επεξεργασία τους. Οι τεχνικές αυτές και τα σχετικά μηχανήματα είναι διαθέσιμα στο χώρο του ΤΕΙ. Παρακάτω, θα αναλυθεί διεξοδικά κάθε μια, όσο αφορά τον τρόπο λειτουργίας αλλά και τα αποτελέσματα που μας έδωσε σε σχέση με τα δείγματα στα οποία έγινε καθαρισμός με πλάσμα.

Αναφορικά οι μέθοδοι είναι:

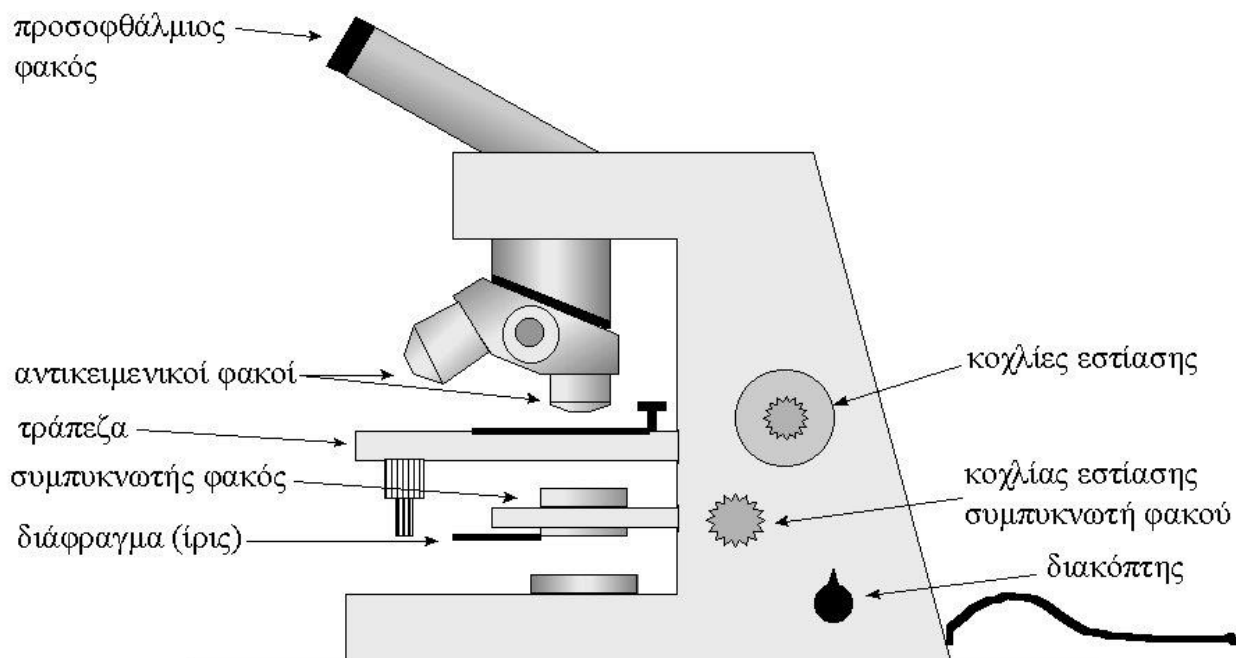
- Οπτικό μικροσκόπιο
- Ηλεκτρονική Μικροσκοπία Σάρωσης (Scanning Electron Microscopy - SEM)
- Μικροσκοπία Ατομικών Δυνάμεων (Atomic Force Microscopy, AFM)
- Μέτρηση της γωνίας επαφής (contact angle measurement)
- Μέτρηση με φασματοσκοπία FTIR

Με τις παραπάνω τεχνικές μπορούν να εξαχθούν συμπεράσματα για το πόσο υδρόφοβα ή υδρόφιλα είναι τα υλικά πριν και μετά τον καθαρισμό.

6.1 Οπτικό μικροσκόπιο

Το οπτικό μικροσκόπιο είναι οπτικό σύστημα που χρησιμοποιείται για την παρατήρηση, υπό μεγέθυνση, αντικειμένων με τη βοήθεια του φωτός. Η παρατήρηση μπορεί να γίνει είτε μέσω του ανακλώμενου είτε μέσω του διερχόμενου, από τα προς παρατήρηση αντικείμενα, φωτός. Το απλούστερο μικροσκόπιο είναι ο απλός μεγεθυντικός φακός, ο οποίος όμως δεν ξεπερνά μια μέγιστη μεγέθυνση της τάξης του είκοσι (20x) στην καλύτερη περίπτωση. Το σύνθετο μικροσκόπιο είναι ένα οπτικό όργανο που χρησιμοποιείται για την παρατήρηση υπό μεγέθυνση (μέχρι και 2000x), αντικειμένων που βρίσκονται κοντά στον παρατηρητή. Αποτελείται από τέσσερα βασικά στοιχεία: (α) μια πηγή φωτός, (β) έναν συγκεντρωτικό φακό, (γ) έναν αντικειμενικό φακό και (δ) έναν προσοφθάλμιο φακό. Το παρατηρούμενο αντικείμενο τοποθετείται πολύ κοντά σε ένα συγκλίνοντα φακό πολύ μικρής εστιακής απόστασης (τον αντικειμενικό ή αντοφθάλμιο φακό), ο οποίος σχηματίζει ένα πραγματικό είδωλο του. Το είδωλο αυτό μεγεθύνεται από ένα άλλο συγκλίνοντα φακό (τον προσοφθάλμιο φακό), ο οποίος σχηματίζει ένα φανταστικό είδωλο σε μια

απόσταση από το μάτι που βρίσκεται ανάμεσα στην ελάχιστη και τη μέγιστη απόσταση ευκρινούς οράσεως. Το μάτι παρατηρεί αυτό το είδωλο.



Σχήμα 51: Πλάγια όψη από οπτικό μικροσκόπιο προσοφθάλμιος φακός – αντικειμενικός φακός.

6.2 Ηλεκτρονική Μικροσκοπία Σάρωσης (Scanning Electron Microscopy - SEM)

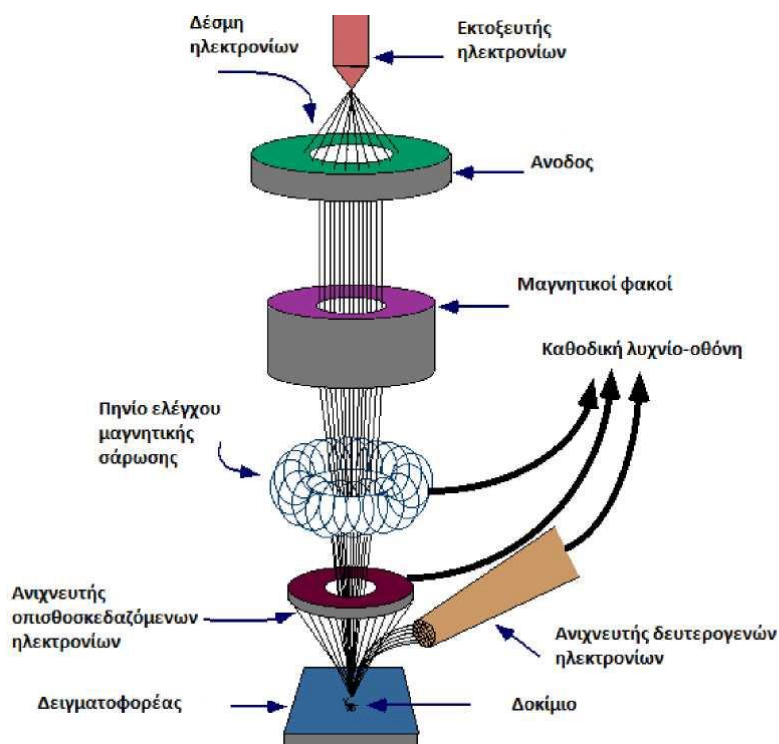
Η βασική ιδέα της λειτουργίας του είναι: μια ηλεκτρονική δέσμη μικρής διαμέτρου σαρώνει μια περιοχή της επιφάνειας του δείγματος. Τα ηλεκτρόνια της δέσμης που προσπίπτουν στην επιφάνεια του δείγματος διεγείρουν την περιοχή γύρω από το σημείο πρόσπτωσης και προκαλούν δευτερογενή εκπομπή ηλεκτρονίων χαμηλής ενέργειας (δευτερογενή ηλεκτρόνια). Ο αριθμός των δευτερογενών ηλεκτρονίων που εκπέμπονται ανά μονάδα χρόνου (δηλαδή η ένταση του σήματος) σχετίζεται με την δομή της επιφάνειας του δείγματος και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αποτύπωση της μορφολογίας της επιφάνειας.

Αναλυτικότερα, νήμα βολφραμίου (υπάρχουν και άλλα υλικά) το οποίο λειτουργεί σαν κάθοδος, θερμαίνεται σε υψηλή θερμοκρασία, προκαλώντας την εκπομπή των ηλεκτρονίων.

Τα εκπεμπόμενα ηλεκτρόνια κατευθύνονται προς την θετική άνοδο, στην οποία εφαρμόζεται δυναμικό 0.1-30kV. Λόγω των ισχυρών ελκτικών δυνάμεων που εφαρμόζονται στα ηλεκτρόνια, η άνοδος μπορεί να τα κατευθύνει και να τα επιταχύνει. Στη συνέχεια, ένα σύστημα 2 Η/Μ συγκεντρωτικών φακών εστιάζει την δέσμη πάνω στο δείγμα, σε μια κηλίδα διαμέτρου μόνο 5-20nm. Παράλληλα υπάρχουν δύο ζευγάρια πηνίων σάρωσης που αποκλίνουν την δέσμη ηλεκτρονίων, έτσι ώστε αυτή να σαρώνει μια συγκεκριμένη περιοχή στην επιφάνεια του δείγματος. Η δέσμη παράγει δευτερογενή ηλεκτρόνια στην περιοχή του δείγματος που προσπίπτει, αυτά συλλέγονται από έναν ανιχνευτή ηλεκτρονίων και στη συνέχεια μετατρέπονται σε εικόνα. Κατά την λειτουργία, ένα σύστημα άντλησης δημιουργεί κενό της τάξης των $10E-7$ mbar, κενό που είναι απαραίτητο ώστε να μειώνονται οι συγκρούσεις των ηλεκτρονίων της δέσμης με τα μόρια του αέρα και να αυξάνεται ο χρόνος ζωής του νήματος.

Τα βασικά μέρη ενός ηλεκτρονικού μικροσκοπίου σάρωσης είναι το σύστημα παραγωγής δέσμης ηλεκτρονίων, το σύστημα κατεύθυνσης και εστίασης της δέσμης, το σύστημα ανίχνευσης και το σύστημα κενού.

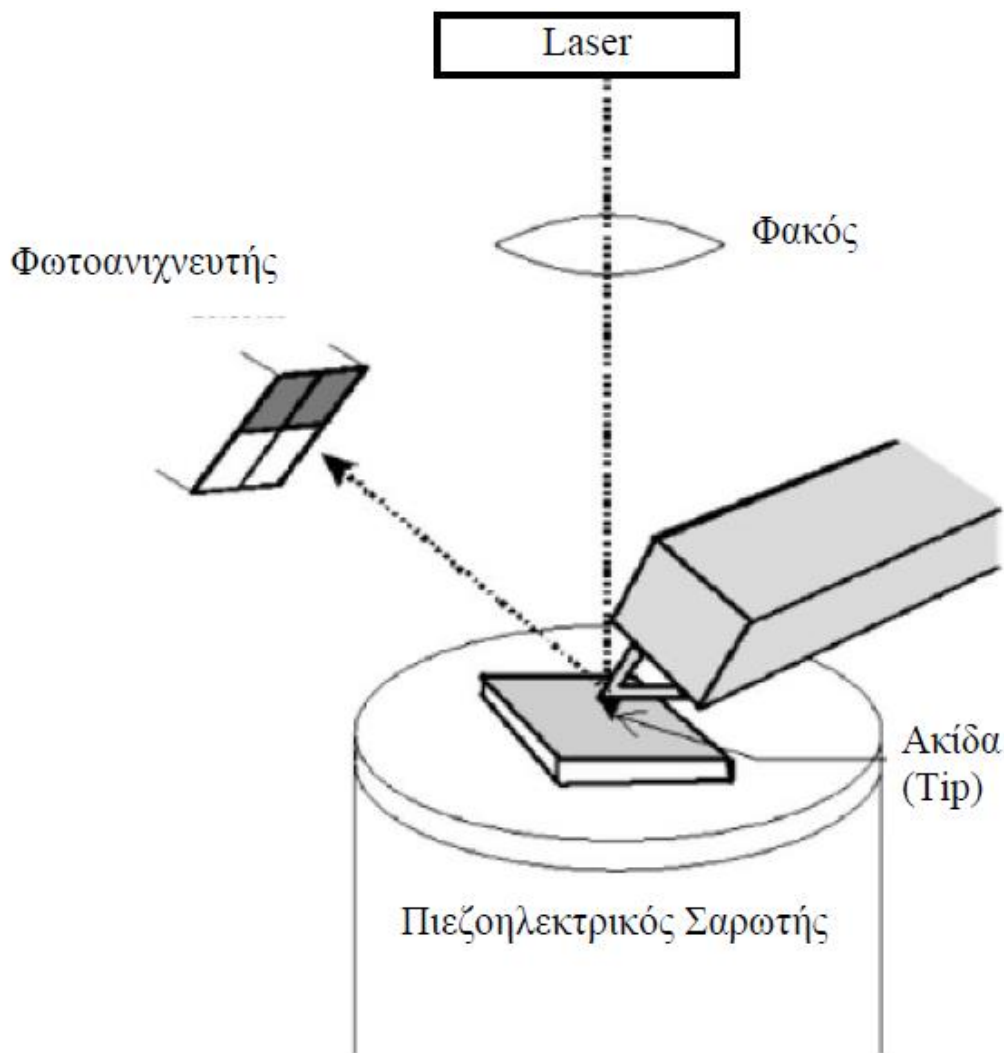
Παρακάτω (Σχ.52) δίνεται ένα σχήμα όπου παραστατικά φαίνονται τα μέρη και η διάταξη τους ώστε να έχουμε μικροσκοπική απεικόνιση ενός υλικού.



Σχήμα 52: Σχηματική αναπαράσταση διάταξης SEM.

6.3 Μικροσκοπία Ατομικών Δυνάμεων (Atomic Force Microscopy, AFM)

Η Μικροσκοπία Ατομικών Δυνάμεων (Atomic Force Microscopy) είναι μία τεχνική η οποία άρχισε να αναπτύσσεται τη δεκαετία του 1980 και δίνει τη δυνατότητα απεικόνισης επιφανειών σε ατομική κλίμακα. Η διάταξη του AFM αποτελείται από μία ακίδα (tip) με μήκος 5 μm και διάμετρο στην κορυφή της περίπου 10 nm. Η ακίδα βρίσκεται στην ελεύθερη άκρη μίας κυρτής δοκού (cantilever) με μήκος συνήθως 100-500 μm .



Σχήμα 53: Σχηματική αναπαράσταση διάταξης AFM.

Οι δυνάμεις που αναπτύσσονται μεταξύ της ακίδας και της επιφάνειας του δείγματος κάνουν τη δοκό να κάμπτεται ή να εκτρέπεται. Ένας ανιχνευτής μετράει την εκτροπή της δοκού καθώς το δείγμα εξετάζεται κάτω από την ακίδα. Η μέτρηση της εκτροπής της δοκού επιτρέπει σε έναν υπολογιστή να δημιουργήσει μία αναπαράσταση της μορφολογίας της επιφάνειας. Αρκετές δυνάμεις συνεισφέρουν στην εκτροπή της δοκού. Σε μεγάλο βαθμό, η απόσταση ακίδας-επιφάνειας καθορίζει το είδος των δυνάμεων που θα αναπτυχθούν. Υπάρχουν πολλοί διαφορετικοί τρόποι λειτουργίας του AFM. Κάθε ένας από αυτούς καθορίζεται κυρίως από το είδος των δυνάμεων που μετρούνται και από τον τρόπο που μετρούνται. Τα περισσότερα AFM χρησιμοποιούν οπτικές μεθόδους για να ανιχνεύσουν τη θέση της δοκού. Στην πιο συνηθισμένη περίπτωση, όπως αυτή του σχήματος 53, όπου μία δέσμη φωτός προερχόμενη από πηγή Laser ανακλάται στο πίσω μέρος της δοκού και συλλέγεται από τον ανιχνευτή (position-sensitive photo-detector, PSPD). Σαν αποτέλεσμα, το σύστημα μπορεί να ανιχνεύσει κάθετη κίνηση μεγέθους Angstrom. Υπάρχουν διάφοροι τρόποι λειτουργίας του AFM: επαφής (contact mode), μη-επαφής (non-contact mode), διακοπτόμενης επαφής (intermittent contact mode). Στη λειτουργία επαφής, η ακίδα βρίσκεται σε διαρκή επαφή με το υπόστρωμα. Έτσι όπως μετακινείται το δείγμα κάτω από την ακίδα, η δοκός εκτρέπεται και αναπαράγεται η τοπογραφία της επιφάνειας.

6.4 Μέτρηση της γωνίας επαφής

Για τη μέθοδο χαρακτηρισμού με τη μέτρηση της γωνίας επαφής έχει γίνει ήδη μια σύντομη περιγραφή στο πρώτο κεφάλαιο, όπου τονίστηκε πόσο αξιόπιστη είναι ως μέθοδος. Επίσης σε αυτό το κεφάλαιο δόθηκε και ο ορισμός της επιφάνειας στερεού. Πριν γίνει ανάλυση αυτής της μεθόδου, πρέπει να οριστεί και να σχολιαστεί μια άλλη έννοια, αυτή της διεπιφάνειας και των σχέσεων που αναπτύσσονται μεταξύ στερεών, υγρών και αέριων υλικών, αλλά ακόμα και το τι πραγματικά σημαίνει επαφή ή καλύτερα τι συμβαίνει όταν δυο σώματα βρίσκονται σε <<επαφή>>. Άλλωστε, τα φαινόμενα που μελετώνται σε αυτή τη μέθοδο χαρακτηρισμού σχετίζονται άμεσα με την έννοια της διεπιφάνειας.

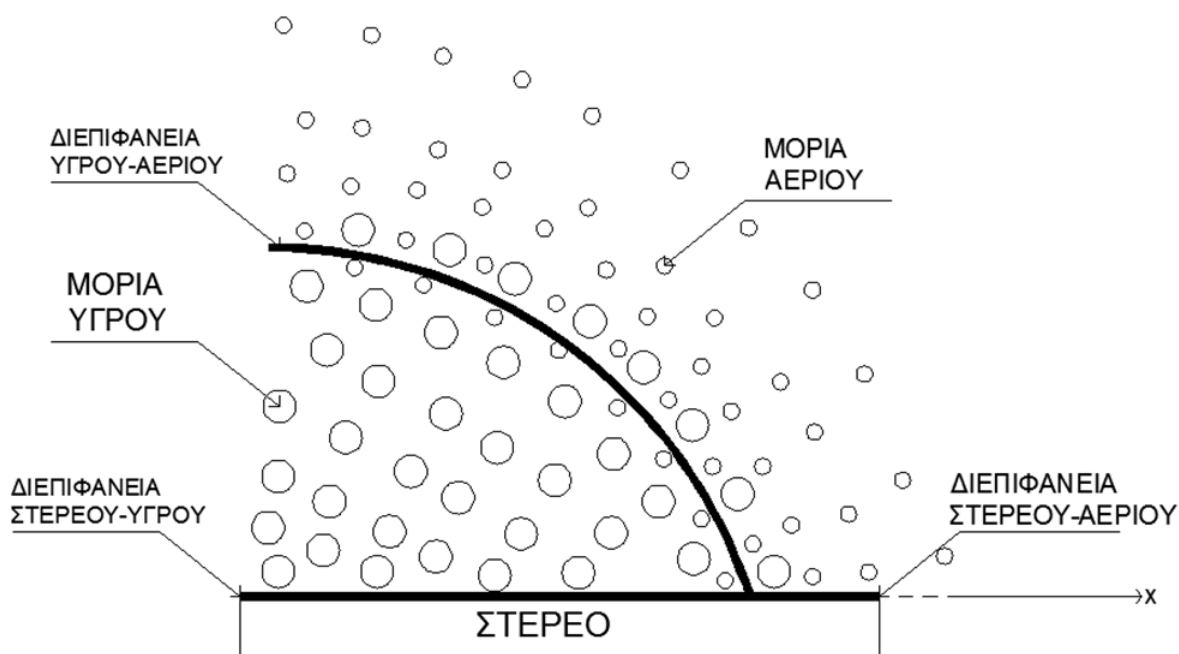
Ως διεπιφάνεια ορίζουμε το σύνορο επικοινωνίας μιας οντότητας με το περιβάλλον της, θεωρώντας πως κάθε τέτοια οντότητα ή υποσύστημα είναι διακριτή και μπορεί να επιτελέσει ένα σύνολο λειτουργιών. Σύμφωνα με τον παραπάνω ορισμό, η διεπιφάνεια είναι μια γεωμετρική 'μεμβράνη' μηδενικού πάχους που μπορεί να διαχωρίσει δύο διαφορετικές οντότητες. Γίνεται εύκολα αντιληπτό πως η επιφάνεια ενός ρευστού εξαρτάται άμεσα από τις αλληλεπιδράσεις των μορίων του ρευστού με γειτονικά μόρια (άλλου ρευστού, στερεού ή αερίου). Ως γνωστόν, τα

εξωτερικά μόρια έχουν την τάση να κινούνται προς το εσωτερικό του ρευστού, όπου τα ποσά της εσωτερικής ενέργειας είναι μικρότερα, μειώνοντας έτσι την επιφανειακή τους τάση.

Πρέπει να διευκρινίσουμε πως η επαφή της κάθε οντότητας με το περιβάλλον της αποτελεί κάτι αφηρημένο, καθώς δεν γνωρίζουμε πώς μια οντότητα θα αλληλεπιδράσει με κάποια γειτονική της ώστε να επέλθει στατική ή δυναμική ισορροπία.

Σε μικροσκοπική κλίμακα, τα φαινόμενα που λαμβάνουν χώρα κατά την αλληλεπίδραση δύο φάσεων είναι ιδιαίτερα πολύπλοκα. Μακροσκοπικά όμως, μπορούμε να φανταστούμε τη διεπιφάνεια ως μια τεντωμένη μεμβράνη στην οποία επιβάλλεται μια τάση και η ίδια αντιτίθεται στη παραμόρφωσή της. Η τάση αυτή αποτελεί την επιφανειακή τάση.

Στο Σχήμα 54 αναλύεται η συσχέτιση μεταξύ των μορίων αέρα, υγρού, και στερεού και πως αυτά διαχωρίζονται μέσω των διεπιφανειών αερίου/υγρού, στερεού/υγρού και στερεού/αερίου.



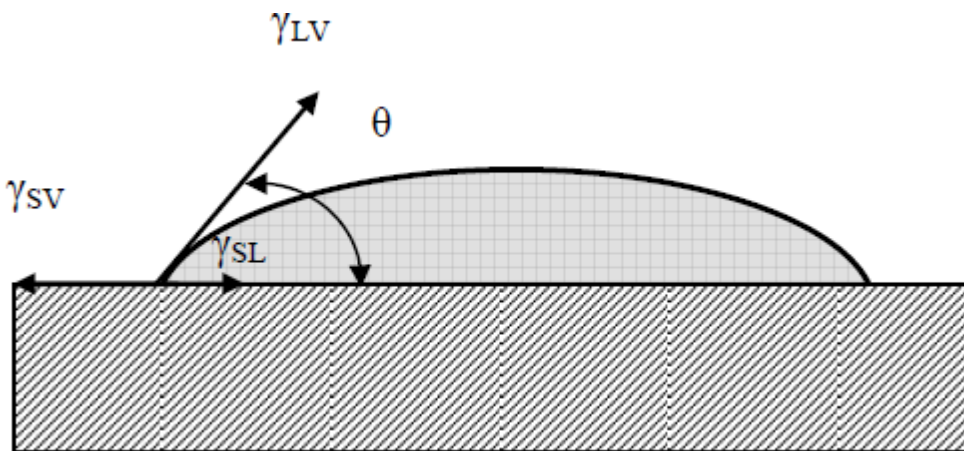
Σχήμα 54: Διεπιφάνειες αερίου/υγρού, στερεού/υγρού και στερεού/αερίου στην περίπτωση σταγόνας υγρού που επικάθεται σε στερεή επιφάνεια, σε περιβάλλον αέρα.

Το σχήμα, το οποίο θα λάβει η σταγόνα του υγρού κατά την εναπόθεση της πάνω σε μία στερεά επιφάνεια, εξαρτάται (εξαιρώντας την επίδραση της βαρύτητας), από τα σχετικά μεγέθη των διεπιφανειακών τάσεων, οι οποίες με τη σειρά τους καθορίζονται από τις σχετικές εντάσεις διαφόρων διαμοριακών αλληλεπιδράσεων.

Αν τα μόρια του υγρού έλκονται περισσότερο από τα μόρια του στερεού από ότι μεταξύ τους, τότε το υγρό απλώνεται πάνω στην επιφάνεια ή διαβρέχει το στερεό. Στην περίπτωση που η διαφορά μεταξύ των διαμοριακών δυνάμεων υγρού – στερεού και υγρού – υγρού είναι σημαντική, τότε το υγρό απλώνεται πλήρως στο στερεό σχηματίζοντας ένα μονομοριακό στρώμα. Στην άλλη οριακή περίπτωση, που οι μεταξύ των μορίων του υγρού διαμοριακές δυνάμεις είναι σημαντικά μεγαλύτερες από ότι μεταξύ των μορίων υγρού – στερεού, η διεπιφάνεια υγρού – στερεού τείνει στο μηδέν και το στερεό είναι πλήρως αδιάβροχο από το υγρό. Μεταξύ των δύο οριακών καταστάσεων που αναφέρθηκαν, υπάρχουν οι ενδιάμεσες καταστάσεις μερικής διαβροχής. Σε αυτές, η σταγόνα του υγρού σχηματίζει μια γωνία ισορροπίας με τη στερεή επιφάνεια, η οποία ονομάζεται γωνία επαφής.

Στο Σχήμα 1 της παραγράφου 1.3 παρουσιάστηκαν οι τρεις τυπικές περιπτώσεις γωνίας επαφής. Η περίπτωση (γ), του πλήρους αδιάβροχου στερεού, παρατηρείται σπάνια.

Επομένως το σχήμα που θα ακολουθήσει μία σταγόνα κατά την απόθεσή της σε στερεά επιφάνεια, θα είναι εκείνο που ελαχιστοποιεί την ελεύθερη ενέργεια του συστήματος. Από τα παραπάνω προκύπτει ότι η γωνία επαφής είναι το αποτέλεσμα της πρόσθετης ελεύθερης ενέργειας του συστήματος λόγω της παρουσίας διεπιφανειών, ο ίδιος δηλαδή λόγος που προκαλεί την εμφάνιση της επιφανειακής τάσης. Επομένως πρόκειται για δύο άρρηκτα συνδεδεμένα μεγέθη, όχι όμως ταυτόσημα.



Σχήμα 55: Η σχέση μεταξύ γωνίας επαφής και διεπιφανειακών τάσεων.

Ας θεωρήσουμε την κατάσταση του Σχήματος 55. Η διεπιφάνεια υγρού-αερίου καθορίζεται από διεπιφανειακή τάση γ_{LV} , η διεπιφάνεια υγρού-στερεού από τάση γ_{SL} και η διεπιφάνεια αερίου-

στερεού από τάση γ_{sv} . Τα σχετικά μεγέθη αυτών των διεπιφανειακών τάσεων καθορίζουν το σχήμα της σταγόνας σε ισορροπία. Στην ισορροπία θα πρέπει η συνισταμένη των δυνάμεων αυτών να ισούται με μηδέν. Από το μηδενισμό της συνισταμένης των προβολών των δυνάμεων στη στερεή επιφάνεια προκύπτει η σχέση:

$$\gamma_{sv} = \gamma_{ls} + \gamma_{lv} \cos\theta$$

Εξίσωση (13)

$$\cos\theta = \frac{\gamma_{sv} - \gamma_{ls}}{\gamma_{lv}}$$

Εξίσωση (14)

Η εξίσωση 14 είναι η εξίσωση Young για τη γωνία επαφής. Η ποσότητα $\cos\theta$ ονομάζεται διαβροχή και μεταβάλλεται από +1 (πλήρης διαβροχή, $\theta=0^\circ$) μέχρι -1 (αδιάβροχη επιφάνεια, $\theta=180^\circ$). Επομένως για να υπάρχει πλήρης διαβροχή πρέπει να είναι $(\gamma_{sv} - \gamma_{ls}) / \gamma_{lv} = 1$, οπότε $\theta=0^\circ$. Βέβαια αποδεικνύεται ότι δεν υπάρχει φυσικό σύστημα που να πληροί την παραπάνω συνθήκη. Έτσι για να υπάρχει μερική διαβροχή μιας επιφάνειας αρκεί να είναι $\gamma_{sv} > \gamma_{ls}$. Με άλλα λόγια, πλήρης διαβροχή υπάρχει όταν η γωνία επαφής τείνει στις 0° , ενώ μερική όταν $0 < \theta < 90^\circ$. Η τελευταία κατάσταση είναι και η πιο συνηθισμένη στη φύση. Ένα υλικό θεωρείται υδρόφοβο όταν η γωνία Young είναι μεγαλύτερη από 90° .

6.5 Μέτρηση με φασματοσκοπία FTIR

Η φασματοσκοπία υπερύθρου στηρίζεται στην αλληλεπίδραση της ύλης με το υπέρυθρο φως. Η αλληλεπίδραση αυτή, προκαλεί δονήσεις στο υλικό, οι οποίες εμφανίζονται σε ένα φάσμα υπερύθρου που μπορεί να βοηθήσει στην αναγνώριση της ταυτότητας του υλικού. Δηλαδή, η διαδικασία αυτή είναι πολύ χρήσιμη κατά τον χαρακτηρισμό υλικών.

Η χρήση της φασματοσκοπίας υπερύθρου έχει επεκταθεί σημαντικότερα λόγω της ανάπτυξης της φασματοσκοπίας υπερύθρου με μετασχηματισμό Fourier (FTIR), μια διαδικασία η οποία δεν απαιτεί σάρωση του μήκους κύματος (όπως για παράδειγμα στη φασματοσκοπία απορρόφησης στο ορατό όπου η ακτινοβολία αναλύεται και σαρώνεται). Η προσέγγιση αυτή προσφέρει τη δυνατότητα ταχείας λήψης πολλαπλών φασμάτων σε μικρό χρόνο, υπολογισμού του μέσου όρου τους, επεξεργασίας και αποθήκευσης των δεδομένων. Αυτό οδηγεί στην γρήγορη καταγραφή φασμάτων υψηλής ποιότητας.

Το βασικό τμήμα στην φασματοσκοπία FTIR είναι ένα συμβολόμετρο Michelson, το οποίο απαρτίζεται από δύο κάτοπτρα τοποθετημένα κάθετα μεταξύ τους, ένα εκ των οποίων είναι κινητό (το οποίο σαρώνει μια συγκεκριμένη απόσταση κατά την διάρκεια της μέτρησης), και ένα διαιρέτη δέσμης (beam splitter) που παρεμβάλλεται μεταξύ τους σε γωνία 45° (Σχ. 56).

Ο διαιρέτης χωρίζει μια δέσμη ακτινοβολίας σε δύο δέσμες, οι οποίες ακολουθούν διαφορετικές διαδρομές (διαφέρουν στο μήκος) και στο τέλος προστίθενται σε ένα ανιχνευτή αφού πρώτα περάσουν από το δείγμα.

Ο ανιχνευτής καταγράφει τις μεταβολές της έντασης της συμβολής των δύο δεσμών σαν συνάρτηση της διαφοράς των οπτικών διαδρομών.

Οι δύο δέσμες κατά την άφιξη τους στον ανιχνευτή έχουν διανύσει δρόμους που διαφέρουν κατά d που προκαλείται από την κίνηση του κινουμένου κατόπτρου και σχηματίζουν κροσσούς συμβολής.

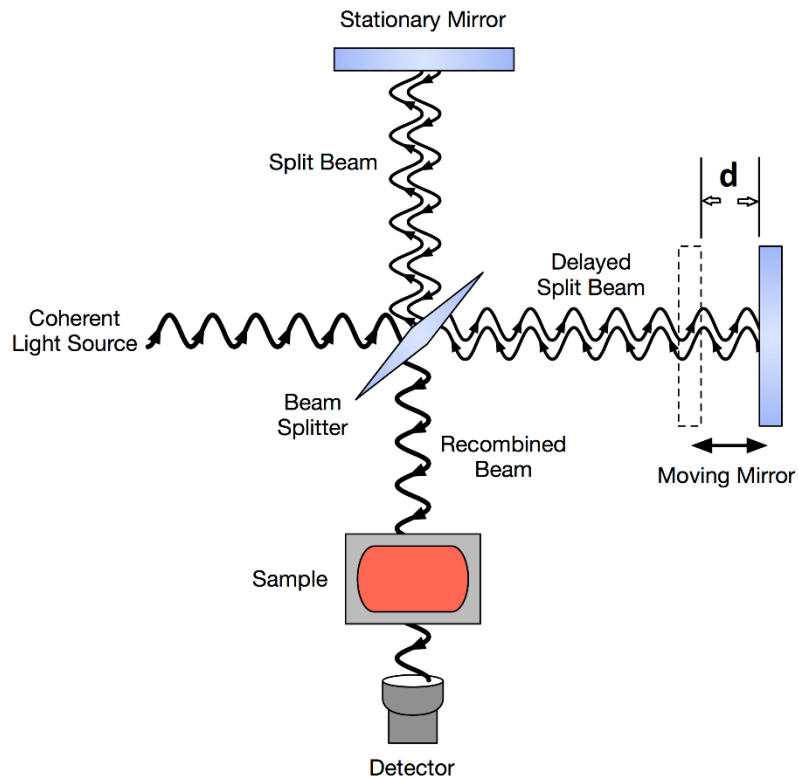
Η συμβολή όμως αυτή δεν είναι απλή καθώς το φως δεν είναι μονοχρωματικό. Σε κάθε διαφορά δρόμου, η διαφορά φάσης θα είναι διαφορετική για κάθε μήκος κύματος, άρα οι κροσσοί συμβολής θα αποτελούν ένα περίπλοκο σχέδιο εντάσεων που θα εξαρτάται και από το μήκος κύματος αλλά και την ένταση (λόγω απωλειών στο δείγμα).

Με μετασχηματισμό Fourier των κροσσών συμβολής προσδιορίζονται εντάσεις και μήκη κύματος και αναπαράγεται στο φάσμα απορρόφησης στο υπέρυθρο.

Είναι δυνατή επίσης η αφαίρεση φασμάτων (difference spectroscopy) και επομένως η ακριβής ανίχνευση πολύ μικρών μεταβολών που οφείλονται τόσο σε μεταβαλλόμενη σύσταση, όσο και στη φυσική κατάσταση του δείγματος.

Η ύπαρξη «βιβλιοθήκης» φασμάτων υπέρυθρου παρέχει τη δυνατότητα ανάλυσης του φάσματος ενός μείγματος συστατικών στα επί μέρους συστατικά του και επομένως τη δυνατότητα ποιοτικής/ποσοτικής ανάλυσης του μείγματος.

Επιπλέον, είναι δυνατή η μελέτη μοριακών αλλαγών και αλληλεπιδράσεων. Για παράδειγμα, δεσμοί υδρογόνου και ενδομοριακές αλληλεπιδράσεις προκαλούν συνήθως είτε μετατοπίσεις στη συχνότητα απορρόφησης, είτε αλλαγή στο συντελεστή μοριακής απορρόφησης.



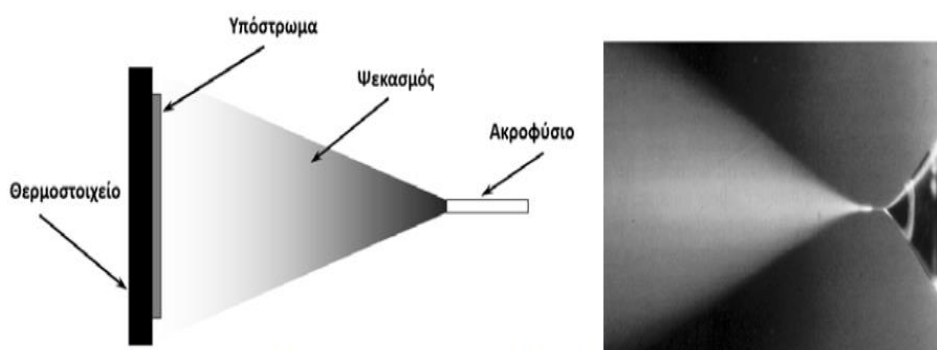
Σχήμα 56: Διάταξη φασματοσκοπίας FTIR.

Κεφάλαιο 7^ο – Αποτελέσματα χρήσης της διάταξης καθαρισμού με πλάσμα.

7.1 Οπτικός χαρακτηρισμός καθαρότητας δοκιμιού με SEM – αποτελέσματα

Με τη βοήθεια του ηλεκτρονικού μικροσκοπίου σάρωσης ελέγχθηκε η αποτελεσματικότητα της διάταξης πλάσματος ως προς τον καθαρισμό επιφανειών. Συγκεκριμένα πάνω σε δυο διαφορετικά γυάλινα υποστρώματα τύπου μικροσκοπίου (κοινό εργαστηριακό γυαλί που χρησιμοποιείται για τη μελέτη υλικών στο μικροσκόπιο) εναποθέσαμε οξείδιο του ψευδαργύρου ZnO με τη μέθοδο της τεχνικής πυρόλυσης ψεκασμού. Το οξείδιο του ψευδαργύρου ZnO είναι χημική ένωση οξυγόνου (O) και ψευδαργύρου (Zn), εξού και οξείδιο και υφίσταται ως λευκή σκόνη. Η εναπόθεση μέσω πυρόλυσης ψεκασμού είναι μια τεχνική γνωστή για την απλότητά της και τη δυνατότητα να παράγει μεγάλες επιφάνειες εναπόθεσης με μικρό κόστος. Στη τεχνική, ένα διάλυμα προωθείται με τη βοήθεια ενός αδρανούς αερίου (π.χ. άζωτο) έτσι ώστε να φθάσει στο επιθυμητό θερμαινόμενο υπόστρωμα υπό μορφή πολύ λεπτών σταγονιδίων Σχήμα 57.

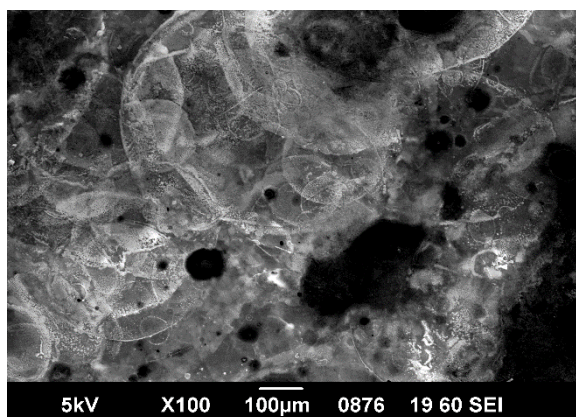
Τα συστατικά του διαλύματος αντιδρούν επάνω στο υπόστρωμα με την βοήθεια θερμοκρασίας, σχηματίζοντας την επιθυμητή χημική ένωση. Πρακτικά, οι ιδιότητες και το πάχος των εναποτεθειμένων δειγμάτων εξαρτώνται από την αναλογία ανιόντων / κατιόντων, το ρυθμό ψεκασμού, τη θερμοκρασία των υποστρωμάτων, την περιβάλλουσα ατμόσφαιρα, το προωθητικό αέριο, το μέγεθος των σταγονιδίων και το ρυθμό ψύξης μετά την εναπόθεση.



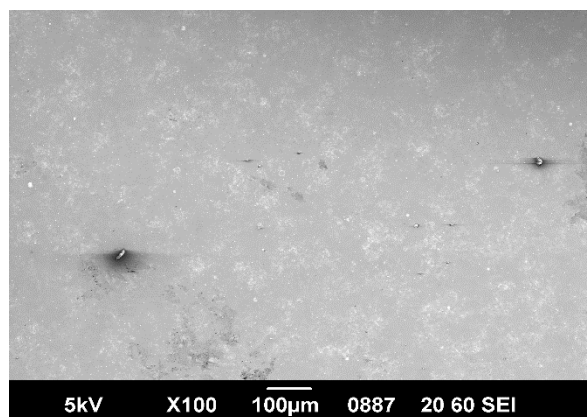
Σχήμα 57: Εναπόθεση μέσω πυρόλυσης ψεκασμού, ακροφύσιο ψεκασμού

Η διαφορά μεταξύ αυτών των δυο δοκιμίων είναι ότι το ένα υποβλήθηκε σε καθαρισμό με πλάσμα (από τη διάταξη της παρούσας εργασίας) για χρονικό διάστημα ενός λεπτού ενώ το άλλο όχι. Μετά τον καθαρισμό εναποτέθηκε σε αυτό ZnO. Ουσιαστικά, η εναπόθεση έγινε σε καθαρό και μη καθαρό γυαλί για να διαπιστώσουμε πως βελτιώνεται η διαδικασία μετά τον καθαρισμό. Το κάθε ένα δοκίμιο τοποθετήθηκε στο SEM και φωτογραφήθηκε υπό μεγέθυνση 100 ,1000, και 2000 φορές σε τυχαία σημεία.

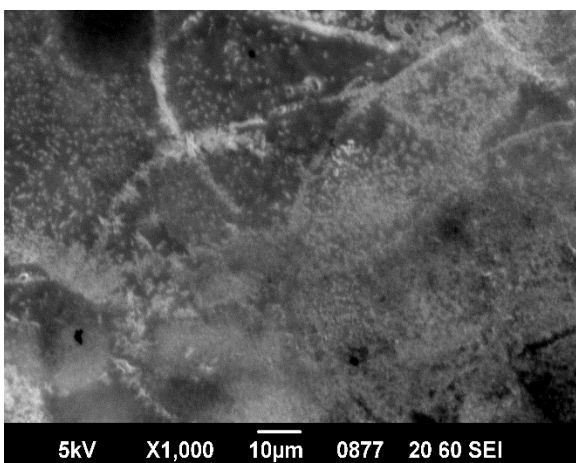
Παρακάτω (Σχήμα 58) Παρουσιάζονται εικόνες από το SEM του γυάλινου δοκιμίου που φέρει ZnO στην επιφάνειά του χωρίς πρώτα να έχει καθαριστεί και ακριβώς δίπλα εικόνα με την ίδια μεγέθυνση του δευτέρου γυάλινου δοκιμίου που φέρει ZnO στην επιφάνειά ενώ πρώτα καθαρίστηκε.



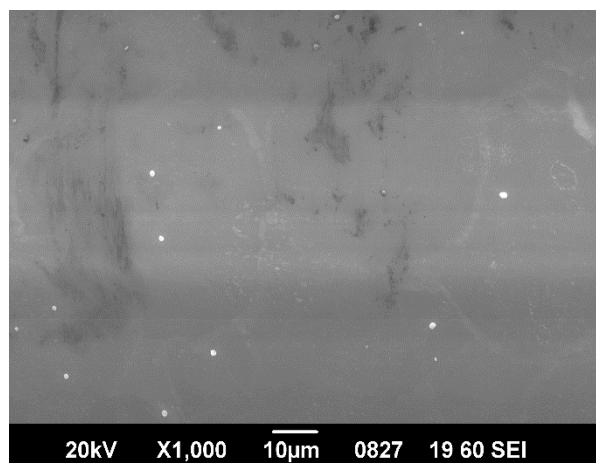
ZnO σε επιφάνεια που δεν καθαρίστηκε
Μεγέθυνση x100



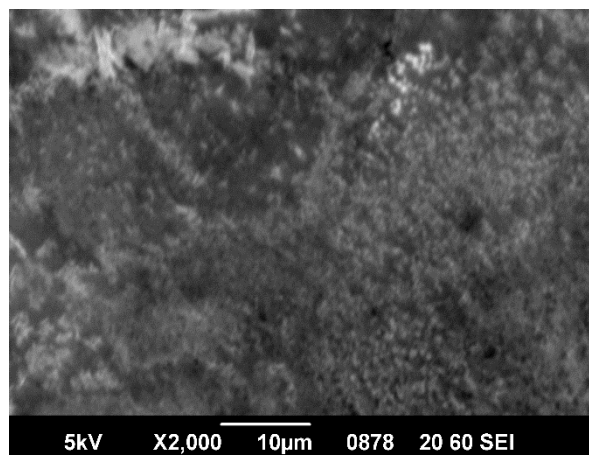
ZnO σε επιφάνεια που καθαρίστηκε
Μεγέθυνση x100



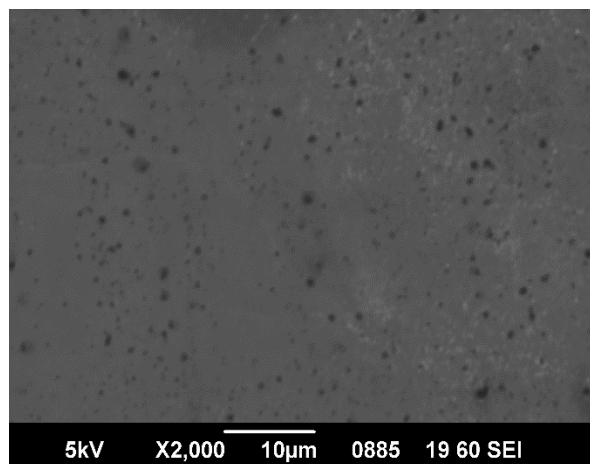
ZnO σε επιφάνεια που δεν καθαρίστηκε
Μεγέθυνση x1000



ZnO σε επιφάνεια που καθαρίστηκε
Μεγέθυνση x1000



ZnO σε επιφάνεια που δεν καθαρίστηκε
Μεγέθυνση x2000



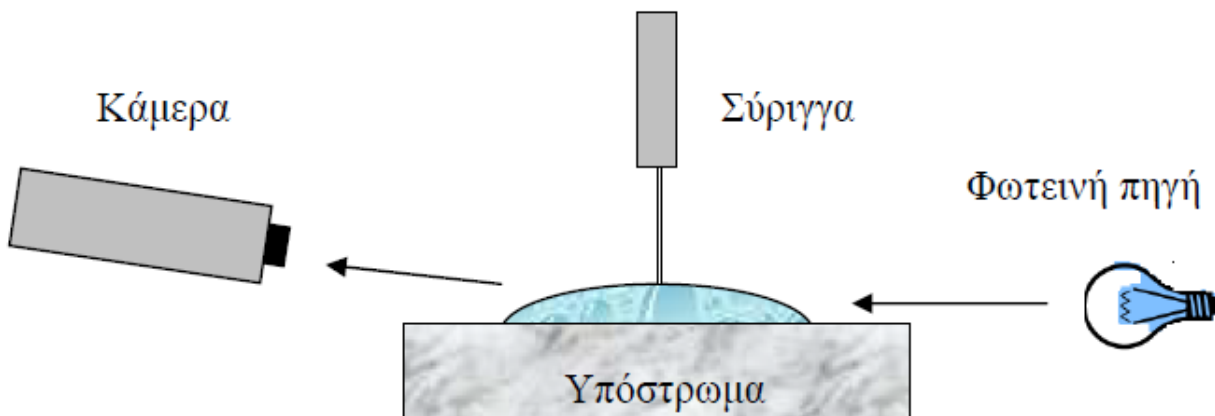
ZnO σε επιφάνεια που καθαρίστηκε
Μεγέθυνση x2000

Σχήμα 58: Εικόνες από SEM. Αριστερά παραθέτοντε τα δοκίμια με την εναπόθεση του ZnO σε μη καθαρή επιφάνεια ενώ δεξιά σε καθαρή.

Παρατηρώντας τις αριστερές φωτογραφίες (επιφάνειες με εναπόθεση ZnO χωρίς να προηγηθεί καθαρισμός) σε σχέση με αυτές από τα δεξιά (επιφάνειες με εναπόθεση ZnO όπου έχει προηγηθεί καθαρισμός) βλέπουμε ότι εμφανώς η καθαρισμένη επιφάνεια είναι πιο λεία και πιο ομαλή. Εύκολα βγαίνει το συμπέρασμα ότι η εναπόθεση του ZnO ήταν περισσότερο ομοιόμορφη. Ειδικά στη μεγέθυνση x100 διακρίνουμε τις σταγόνες του εναποθετημένου ZnO ανομοιόμορφα στοιβαγμένες, ενώ στην ίδια μεγέθυνση δεξιά το ZnO έχει τοποθετηθεί ομοιόμορφα στην καθαρή επιφάνεια. Αυτό αποδεικνύει ότι η επεξεργασία της επιφάνειας με πλάσμα πριν την εναπόθεση του ZnO προσέδωσε ιδιαίτερες ιδιότητες σε αυτή και βοήθησε στην διαδικασία της εναπόθεσης.

7.2 Μέτρηση με γωνιόμετρο – αποτελέσματα

Η μέτρηση της γωνίας επαφής πραγματοποιήθηκε με τη βοήθεια γωνιομέτρου (Σχήμα 59). Η σταγόνα τοποθετείται με κατάλληλο τρόπο πάνω στο δείγμα (στην περίπτωση μας γυάλινο υπόστρωμα), το οποίο βρίσκεται πάνω σε έναν μετακινούμενο υποδοχέα. Η σταγόνα φωτίζεται με τη βοήθεια φωτεινής πηγής και η διαδικασία καταγράφεται από κάμερα (Σχήμα 59).

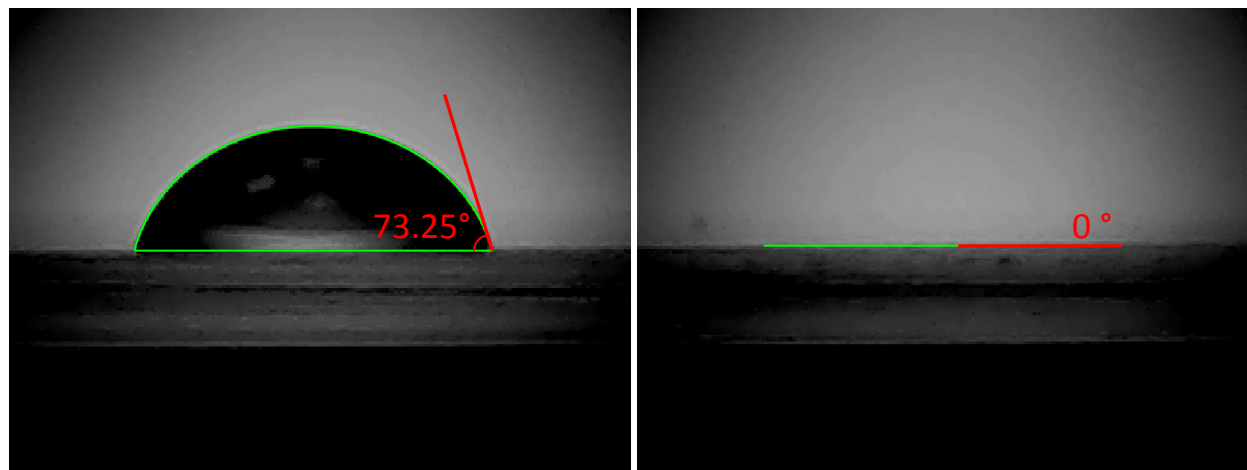


Σχήμα 59: Σχηματική αναπαράσταση της διάταξης του γωνιομέτρου.

Συγκεκριμένα, οι μετρήσεις της γωνίας επαφής για τις ανάγκες της εργασίας έγιναν με τη μέθοδο της επικαθήμενης σταγόνας (sessile drop). Σταγόνες απιονισμένου νερού όγκου 10 μL αφέθηκαν από εργαστηριακή μικροπιπέτα σε ένα σημείο του γυάλινου δοκιμίου πάνω στην επιφάνειά του, από απόσταση 1,5 mm, έτσι ώστε η βελόνα να παραμένει σε επαφή με τη σταγόνα. Στη συνέχεια, η βελόνα απομακρύνθηκε προκαλώντας τις μικρότερες δυνατές αναταράξεις στη σταγόνα.

Το αρχείο της εικόνας που καταγράφηκε από την κάμερα μεταφέρεται στον ηλεκτρονικό υπολογιστή σε ειδικό λογισμικό που χρησιμοποιείται αποκλειστικά για την μέτρηση της γωνίας επαφής αυτής της μεθόδου. Το εν λόγω λογισμικό ονομάζεται imageJ. Εδώ πρέπει να διευκρινιστεί ότι το δοκίμιο που χρησιμοποιήθηκε είναι κοινό εργαστηριακό γυαλί που χρησιμοποιείται για τη μελέτη υλικών στο μικροσκόπιο (δηλ. πάνω σε αυτό εναποθέτουμε το υλικό προς μελέτη ώστε να είναι εύκολη η μεταφορά του και η τοποθέτηση του κάτω από τον π.χ. αντικειμενικό φακό, στην περίπτωση του οπτικού μικροσκοπίου). Αρχικά, το γυαλί αυτό χρησιμοποιήθηκε κατευθείαν από την συσκευασία του και χωρίς να εναποθέσουμε πάνω στην επιφάνειά του κάποιο άλλο υλικό. Έτσι, μελετήθηκε η διαβροχή της αρχικής επιφάνειας και μετρήθηκε η σχετική γωνία. Στην συνέχεια, η επιφάνεια καθαρίστηκε με πλάσμα για χρόνο 1 min και μετρήθηκε ξανά η γωνία διαβροχής.

Παρακάτω (Σχ. 60) φαίνονται τα αποτελέσματα της γωνίας επαφής που σχημάτισε η σταγόνα που νερού πάνω στην γυάλινη επιφάνεια πριν και μετά τον καθαρισμό με πλάσμα από την διάταξη μας.



Πριν τον καθαρισμό με πλάσμα

Μετά τον καθαρισμό με πλάσμα

Σχήμα 60: Μέτρηση γωνίας επαφής με κάμερα γωνιομέτρου.

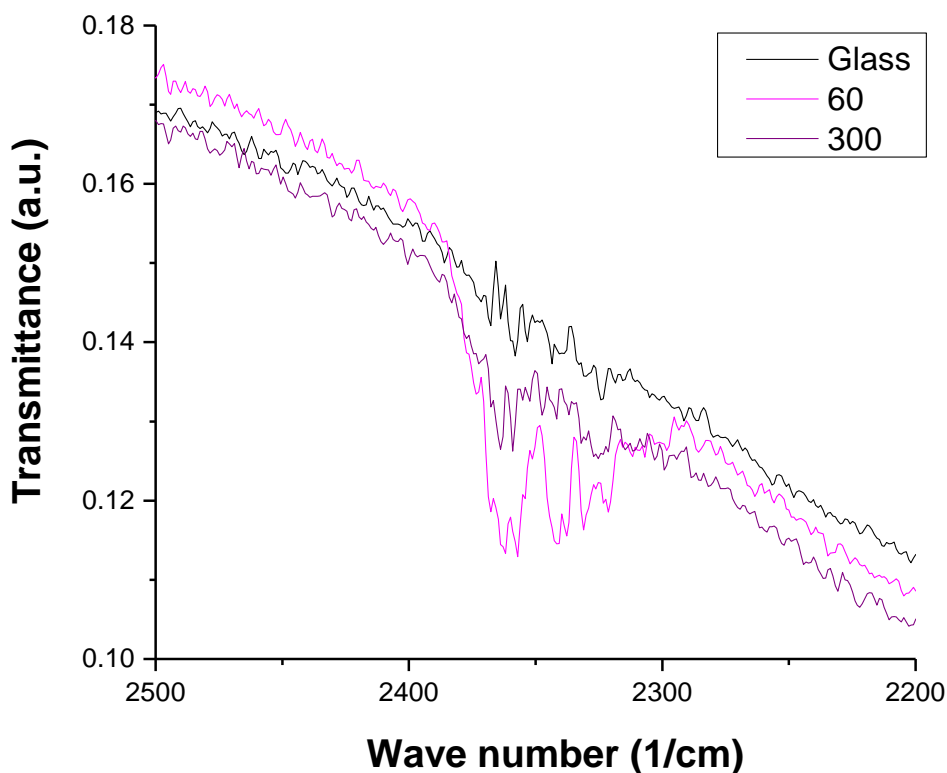
Σύμφωνα με όσα αναφέρθηκαν στην παράγραφο 1.3, η επιφάνεια πριν τον καθαρισμό με πλάσμα χαρακτηρίζεται ως υδρόφιλη με τη γωνιά επαφής να είναι στις $73,25^\circ$ ενώ μετά τον καθαρισμό, η επιφάνεια χαρακτηρίζεται ως υπερυδρόφιλη με τη γωνιά επαφής να είναι στις 0° . Αντίστοιχα μπορούμε με βεβαιότητα να πούμε ότι η διαφορά στην καθαρότητα επιφάνειας είναι εμφανής. Συγκεκριμένα η επιφάνεια μετά την έκθεσή της στο πλάσμα φαίνεται να είναι απόλυτα καθαρή μιας και δεν έχει ίχνος λιπαρότητας πάνω της. Απόδειξη αυτού είναι ότι το νερό απλώνεται εντελώς πάνω σε αυτή και τη διαβρέχει πλήρως (σχηματίζοντας ένα μονομοριακό στρώμα).

7.3 Μέτρηση με FTIR – αποτελέσματα

Για να ελέγξουμε την διάταξη καθαρισμού με πλάσμα μέσω της φασματοσκοπίας FTIR, χρησιμοποιήσαμε ένα υπόστρωμα (κοινό εργαστηριακό γυαλί που χρησιμοποιείται για τη μελέτη υλικών στο μικροσκόπιο ή στο φασματοσκόπιο). Στην επιφάνεια τού υποστρώματος αυτού εναποθέσαμε (απλή τοποθέτηση) στεατικό οξύ (κορεσμένο λιπαρό οξύ), αφού πρώτα αυτό αραιώθηκε σε νερό με τελική συγκέντρωση 20g/L. Ουσιαστικά, με αυτή την εναπόθεση προκαλέσαμε ρύπανση με λίπος στην επιφάνεια του γυάλινου υποστρώματος. Αρχικά καταγράφηκε το φάσμα του υποστρώματος χωρίς την τοποθέτηση του στεατικού οξέος, όπου

στην περιοχή γύρω στα 2500 cm^{-1} δεν παρουσιάζει κάποια κορυφή. Στη συνέχεια, το ίδιο υπόστρωμα, αφού τοποθετήθηκε πάνω του στεατικό οξύ, τέθηκε υπό καθαρισμό στη διάταξη πλάσματος για χρονικό διάστημα 60 sec και καταγράφηκε το φάσμα του. Η ίδια διαδικασία επαναλήφθηκε στο ίδιο υπόστρωμα με τη διαφορά ότι την δεύτερη φορά ο καθαρισμός διήρκησε 300 sec. Η διαδικασία που ακολουθήθηκε για την καταγραφή του φάσματος IR ήταν η εξής: βάζουμε το δείγμα για καθαρισμό στη διάταξη πλάσματος περιμένουμε μέχρι να περάσει ο προκαθορισμένος χρόνος (60 ή 300 sec), βγάζουμε το δείγμα και το τοποθετούμε στο φασματοσκόπιο (χωρίς να χαθεί χρόνος) και περιμένουμε μέχρι να ολοκληρωθεί η μέτρηση. Μετά βγάζουμε το δείγμα από το φασματοσκόπιο και περιμένουμε μισή ώρα ώστε να μειωθεί η θερμοκρασία του φασματοσκοπίου λόγω της λειτουργίας της πηγής ακτινοβολίας που περιέχει. Τέλος, τοποθετούμε ξανά το δείγμα πίσω στη διάταξη πλάσματος για καθαρισμό με τον επόμενο προκαθορισμένο χρόνο.

Παρατηρώντας τα φάσματα που καταγράφηκαν (Σχ. 61), βλέπουμε ότι οι καμπύλες κοντά στα 2500 cm^{-1} τείνουν να μειωθούν όσο αυξάνεται ο χρόνος καθαρίσματος, άρα απομακρύνεται το στεατικό οξύ.



Σχήμα 61: Διάγραμμα καμπύλων (αυθαίρετων μονάδων) διαπερατότητας / ενέργειας φωτονίου για δοκίμια γυαλιού εκτεθειμένα σε πλάσμα για διαφορετικούς χρόνους (60,300 sec).

Αυτό βέβαια δεν είναι απόδειξη περί καθαρότητας ή όχι του υποστρώματος, σίγουρα όμως δηλώνει ότι ο καθαρισμός με πλάσμα δημιούργησε μια μείωση στην κορυφή, άρα μια μείωση στην ποσότητα του στεατικού οξέος πάνω σε αυτό. Άρα, η συσκευή δουλεύει και για ρύπους του τύπου στεατικό οξύ. Το καθάρισμα όμως δεν είναι το ίδιο αποδοτικό όπως σε απλούς ρύπους από το περιβάλλον.

Πρέπει να σημειωθεί εδώ ότι η μέτρηση με φασματοσκοπία FTIR όπως πραγματοποιήθηκε ήταν εξαιρετικά δύσκολη με αυξημένο τον παράγοντα σφάλματος για τους παρακάτω τεχνικούς λόγους:

α) Το υπόστρωμα μετά το πέρας της προκαθορισμένης έκθεσης του στο πλάσμα έπρεπε να απομακρυνθεί από την πλατφόρμα της διάταξης και να τοποθετηθεί στο φασματοσκόπιο όσο είναι το δυνατό πιο γρήγορα καθώς ο χρόνος έκθεσης του στον ατμοσφαιρικό αέρα είναι

αρνητικός παράγοντας στην καθαρότητα επιφάνειας του (με την έννοια ότι σε λίγα λεπτά της ώρας δεν θα ισχύει η καθαρότητα που έδωσε το πλάσμα).

β) Η θέση που θα τοποθετηθεί το γυάλινο δοκίμιο μέσα στο φασματοσκόπιο είναι καθοριστικής σημασίας για τα αποτελέσματα που αυτό θα δώσει. Το ίδιο δοκίμιο δεν θα δώσει την ίδια καμπύλη αν τοποθετηθεί ξανά στο ίδιο φασματοσκόπιο το φάσμα αφορά διαφορετική περιοχή από την προηγούμενη μέτρηση. Επομένως, το ενδεχόμενο σφάλματος στην παραπάνω διαδικασία είναι πιθανότατο.

γ) Το ίδιο το φασματοσκόπιο δε λειτουργεί αξιόπιστα αν αναπτύξει θερμοκρασία εσωτερικά λόγω της λειτουργίας των πηγών ακτινοβολίας που διαθέτει. Οι πηγές αυτές, κατά τις συνεχόμενες μετρήσεις προκάλεσαν αύξηση της θερμοκρασίας σε όλο το σύστημα και σφάλματα στη μέτρηση. Αυτό σημαίνει ότι μετά από κάθε μέτρηση έπρεπε να αναμένουμε τουλάχιστο μισή ώρα μέχρι να πέσει η εσωτερική θερμοκρασία του φασματοσκοπίου και έπειτα να επαναλάβουμε τη διαδικασία της επόμενης μέτρησης, έτσι ώστε να ισχύουν οι ίδιες θερμοκρασίες εσωτερικά του φασματοσκοπίου κατά τις μετρήσεις.

Βάση των παραπάνω, συνεπάγεται ότι από την μέτρηση με φασματοσκόπιο FTIR μπορούμε να έχουμε μόνο ποιοτικές αλλά όχι ποσοτικές ενδείξεις ότι η διάταξη πλάσμα προσφέρει στον καθαρισμό επιφάνειας.

Κεφάλαιο 8^ο – Συμπεράσματα παρατηρήσεις

Με την ολοκλήρωση της εργασίας, τα συμπεράσματα που προκύπτουν είναι ότι η διάταξη plasma cleaning αποτελεί μια επιτυχημένη κατασκευή που διακρίνεται από στιβαρότητα, αξιοπιστία στη λειτουργία, απλότητα στο χειρισμό και χαμηλό κόστος κατασκευής.

Αποδείχτηκε μέσω ελέγχου του καθαρισμού συγκεκριμένων επιφανειών ότι η συσκευή είναι ικανή να καθαρίσει σε ικανοποιητικό βαθμό επιφάνειες υλικών, και ότι η διάταξη που αναπτύχθηκε στο πλαίσιο της εργασίας μπορεί πλέον να χρησιμοποιηθεί για εργαστηριακούς σκοπούς και συγκεκριμένα για καθαρισμό μιας επιφάνειας υλικού που βρίσκεται υπό μελέτη και κατεργασία. Ειδικότερα, στην ερεύνα για την ανάπτυξη νέων υλικών είναι απαραίτητο να θέλουμε καθαρή επιφάνεια ενός υλικού που πρόκειται να επεξεργαστεί ή που έχει ήδη επεξεργαστεί και θέλουμε να μελετήσουμε τις ιδιότητες του. Σε εφαρμογές τέτοιου τύπου, η εν λόγω διάταξη προσφέρει μια λύση υψηλού επιπέδου, η διαδικασία χειρισμού είναι εύκολη (σχεδόν αυτοματοποιημένη) και ένας ικανοποιητικός καθαρισμός μπορεί να επιτευχθεί περίπου ένα λεπτό της ώρας (ο ακριβής χρόνος εξαρτάται από το είδος του υλικού). Πρέπει βέβαια να τονιστεί ότι η άριστη ποιότητα του καθαρισμού που προσφέρει μια συσκευή καθαρισμού πλάσματος διαρκεί περιορισμένο χρόνο, καθώς σταδιακά, στη συνέχεια, η καθαρότητα της επιφάνειας υποβαθμίζεται λόγω του περιβάλλοντος. Επομένως, ο χειριστής πρέπει να δουλεύει με κάποια ταχύτητα, οπότε μετά τον καθαρισμό με πλάσμα, το καθαρό δείγμα επεξεργάζεται/χρησιμοποιείται άμεσα με κάποιον τρόπο. Τα σημεία που κάνουν ξεχωριστό τον καθαρισμό με πλάσμα σε σχέση με τα άλλα είδη καθαρισμού στη βιομηχανία και στο εργαστήριο είναι ο οικολογικός χαρακτήρας της διαδικασίας και η μη παραγωγή τοξικών αποβλήτων κατά τη διάρκεια της, ενώ η ικανότητα καθαρισμού φτάνει σε επίπεδο διαστάσεων νάνο, χωρίς να καταστρέφει την προς καθαρισμό επιφάνεια. Αυτό επιτυγχάνεται διότι κανένα στερεό, υγρό ή ακόμα και αέριο δεν έρχεται σε επαφή με την ρυπογόνα επιφάνεια αλλά μόνο το πλάσμα. Έτσι, το πλάσμα μπορεί να την καθαρίζει απόλυτα σε ελεγχόμενη περιοχή χωρίς να επηρεάζει άλλες περιοχές ή και το ίδιο το βασικό υλικό.

Αυτή την φιλοσοφία ακολουθεί η διάταξη που περιεγράφηκε στην παρούσα εργασία χωρίς να υστερεί σε τίποτα από μια αντίστοιχη συσκευή του εμπορείου.

Κάθε στάδιο κατασκευής μελετήθηκε με συστηματικό τρόπο πριν υλοποιηθεί, ενώ κάθε κομμάτι της συσκευής ή και η ίδια η διαδικασία δοκιμάστηκε πρακτικά πολλές φορές πριν ενσωματωθεί ή εφαρμοστεί στη λειτουργία της. Οπότε ολοκληρώνοντας κάθε στάδιο, δεν υπήρχε αμφιβολία αξιοπιστίας ή αστοχίας του εν λόγω κομματιού για τη μελλοντική του χρήση, διότι ήταν ήδη δοκιμασμένο και σχεδιασμένο να αντέχει πιο βαρύ έργο από αυτό που πραγματικά θα εκτελεί κατά τη ρουτίνα του. Η υπερβολή αυτή στην κατασκευή έγινε για να μπορούμε τελικά να μιλάμε για μια αξιόπιστη διάταξη βαρέως τύπου και σχεδίασης.

Τα αποτελέσματα καθαρισμού μπορούν να χαρακτηριστούν εντυπωσιακά, ειδικά στη μέτρηση γωνίας επαφής όπου είχαμε ξεκάθαρα γωνία 0° , κάτι που αντικειμενικά δεν αφήνει περιθώρια αμφιβολίας για το θετικό αποτέλεσμα στην λειτουργία της διάταξης. Ιδιαίτερα εντυπωσιακή ήταν και η εικόνα στο ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης, ως προς τη διαφορά της καθαρής και μη επιφάνειας. Το συμπέρασμα είναι ότι η διάταξη καθαρίζει απόλυτα και σε μικρό χρονικό διάστημα τα δοκίμια και μπορούμε να μιλάμε για μια επαγγελματικού επιπέδου επιστημονικής – εργαστηριακής χρήσης συσκευή.

Τέλος από τις διαστάσεις της πλατφόρμας είναι αυτονόητο ότι τα υλικά που μπορούν να καθαριστούν δεν μπορεί να έχουν ούτε πάρα μικρή ούτε πάρα πολύ μεγάλη διάσταση. Παράλληλα, τα δοκίμια πρέπει να μεταφέρονται στο χώρο της διάταξης καθώς η ίδια δεν είναι σχεδιασμένη για να μετακινείται εύκολα από ένα σημείο σε άλλο.

Βιβλιογραφία

- ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ ΑΝΟΙΚΤΑ ΑΚΑΔΗΜΑΪΚΑ ΜΑΘΗΜΑΤΑ - Φυσική Πλάσματος- Εισαγωγή. Διδάσκων : Αν. Καθ. Γ.Ν. Θουρμουλόπουλος (2009)
- Φυσική Πλάσματος- Κίνηση φορτισμένων σωματιδίων. Διδάσκων : Αν. Καθ. Γ.Ν. Θουρμουλόπουλος (2009)
- ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗ ΦΥΣΙΚΗ ΠΛΑΣΜΑΤΟΣ Αναστάσιος Αναστασιάδης Ινστιτούτο Διαστημικών Εφαρμογών και Τηλεπισκόπησης Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών - 9ο Σχολείο Φυσικής και Τεχνολογίας Σύντηξης Βόλος, 19 – 23 Απριλίου 2010 Hellenic Republic – EURATOM Association
- Φυσική Πλάσματος - Κανάρης Χ. Τσίγκανος Καθηγητής Πανεπιστημίου Αθηνών - Τμήμα Φυσικής (Αθήνα 2010)
- A Short Introduction to Plasma Physics *K. Wiesemann* AEPT, Ruhr-Universität Bochum, Germany
- Plasma Technology for Hyperfunctional Surfaces Edited by Hubert Rauscher, Massimo Perucca, and Guy Buyle
- Plasma Cleaning of Surfaces by A.Belkind and S.Gershman
- Ultra – pure cleaning with plasma with low pressure gas plasma PLASMAteck, inc copyright 2007
- Fundamentals of Plasma Physics Paul - M. Bellan Pasadena, California September 30, 2004
- Σημειώσεις από το μάθημα <<Προηγμένα Υλικά>> του μεταπτυχιακού προγράμματος σπουδών «ΠΡΟΗΓΜΕΝΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ, ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΥ & ΡΟΜΠΟΤΙΚΗΣ» του ΤΕΙ Κρήτης καθηγητής Κουδουμάς Εμμανουήλ
- <https://www.wikipedia.org/>
- Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας <<ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ ΓΙΑ ΑΜΜΟΒΟΛΕΣ – ΥΔΡΟΒΟΛΕΣ>> Μανίδης Αγγελής, Χατζηκωνσταντής Γεώργιος, Τσαρακλής Ζαχαρίας, Παπαϊωάννου Νεόφυτος.