

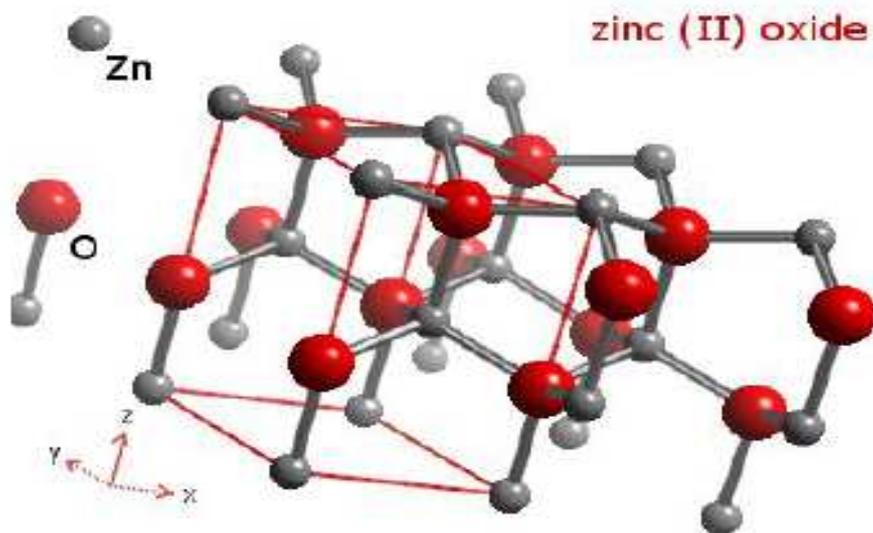
ΑΤΕΙ ΚΗΤΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΑΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΘΕΜΑ: Σύνθεση νανοδομών ZnO και μελέτη της
φωτοαγωγιμότητάς τους.**



ΜΗΛΙΩΝΗΣ ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ

A.M. 3652

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

A) ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

A1) Οξείδιο του ψευδαργύρου (ZnO).

A2) Εφαρμογές του οξειδίου του ψευδαργύρου (ZnO).

A3) Μέθοδοι εναπόθεσης του ZnO.

A4) Μέθοδος εναπόθεσης sol-gel.

A5) Μέθοδος εναπόθεσης ACG (Aqueous Chemical Growth).

A6) Ηλεκτρισμός, αγωγιμότητα, αντίσταση.

A7) Τεχνικές χαρακτηρισμού.

A7.1) Ηλεκτρονική Μικροσκοπία Σάρωσης (Scanning Electron Microscopy, SEM).

A7.2) Μικροσκοπία Ατομικής Δύναμης (Atomic Force Microscopy- AFM).

A7.3) Φασματοσκοπία ορατού- υπεριώδους (UV-VIS Spectrometry).

A8) Σκοπός εργασίας.

B) ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

B1) Ο καθαρισμός υποστρωμάτων.

B2) Sol-gel process (ZnO).

B2.1) Παρασκευή διαλύματος.

B2.2) spin-coating.

B2.3) Θερμαντική πλάκα.

B2.4) Δημιουργία ηλεκτρικών επαφών.

B2.5) Μέτρηση I-V δειγμάτων.

B2.6) Χαρακτηριστικές δειγμάτων.

B2.7) Συμπεράσματα.

B3) ACG (Aqueous Chemical Growth).

B3.1) Παρασκευή διαλύματος.

B3.2) Επεξεργασία δειγμάτων.

B3.3) Χαρακτηριστικές δειγμάτων.

B3.4) Μετρήσεις δειγμάτων.

B3.5) Φωτογραφίες δειγμάτων από μικροσκόπιο.

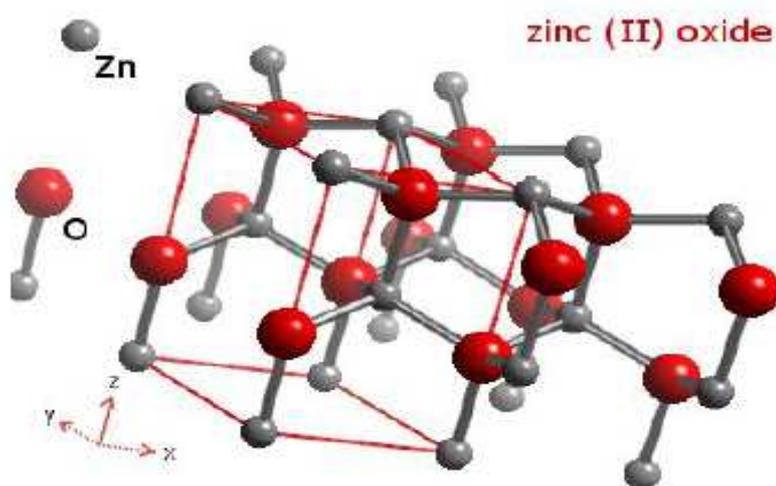
B3.6) Συμπεράσματα

B4) ΓΕΝΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΕΡΓΑΣΙΑΣ.

A) ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

A1) ΟΞΕΙΔΙΟ ΤΟΥ ΨΕΥΔΑΡΓΥΡΟΥ (ZnO):

Το οξείδιο του ψευδαργύρου, ZnO, είναι ένας ημιαγωγός τύπου n της ομάδας II-VI. Αποτελεί ένα τυπικό μέλος της οικογένειας εξαγωνικής δομής βουρτσίτη. Η κρυσταλλική δομή του ορυκτού wurtzite (εικόνα 1) που προκύπτει από την εξαγωνική διάταξη ανιόντων μέγιστης πυκνότητας (HCP) με πλήρωση των διαθέσιμων ενδοπλεγματικών κενών από κατιόντα έχει παραμέτρους πλέγματος $a = 3,250 \text{ \AA}$ και $c = 5,207 \text{ \AA}$. Στη δομή τύπου wurtzite το κατιόν του ψευδαργύρου περιβάλλεται από τέσσερα ανιόντα οξυγόνου τοποθετημένα στα άκρα ενός ελαφρά παραμορφωμένου τετραέδρου (ελάχιστες αποστάσεις Zn-O $1,992 \text{ \AA}$ και $1,973 \text{ \AA}$).



Εικόνα 1. Κρυσταλλική δομή του ZnO

Οι κυριότερες ιδιότητες του οξειδίου του ψευδαργύρου παρουσιάζονται στον πίνακα που ακολουθεί:

Ιδιότητα		Τιμή
Παράμετροι πλέγματος στους 300K:	a	0.32495 nm
	c	0.52069 nm
	a/c	1,602 (ιδανική τιμή της εξαγωνικής δομής:1,633)
	u	0,345
Πυκνότητα		5,606 g/cm ³
Σταθερή κρυσταλλική δομή στους 300K		Wurtzite
Σημείο τήξης		1975 °C
Θερμική αγωγιμότητα (W.cm ⁻¹ .°C ⁻¹)		0.6, 1-1.2
Συντελεστής γραμμικής διαστολής (°C ⁻¹)		a:6,5x10 ⁻⁶ , c:3,0x10 ⁻⁶
Διηλεκτρική σταθερά (DC)		8,656
Δείκτης διάθλασης		2.008, 2.029
Ενεργειακό χάσμα		3,37 eV (άμεσο)
Ενδογενής συγκέντρωση φορέων αγωγιμότητας		<10 ⁶ cm ⁻³
Ενέργεια εκπομπής φωτονίου		60 meV
Ενεργός μάζα ηλεκτρονίων		0,24
Ευκινησία ηλεκτρονίων για χαμηλή αγωγιμότητα τύπου n (300K)		200 cm ² /V.s
Ενεργός μάζα οπών		0,59
Ευκινησία οπών για χαμηλή αγωγιμότητα τύπου p (300K)		5-50 cm ² /V.s

A2) Εφαρμογές του οξειδίου του ψευδαργύρου (ZnO):

Το ZnO χρησιμοποιείται σε εφαρμογές όπως αισθητήρες αερίων, φωτοανιχνευτές, φίλτρα για επιφανειακά ηχητικά κύματα, ηλιακές κυψελίδες αλλά και ως βιοσυμβατό υλικό για άμεση χρήση στη βιοιατρική . Το μεγάλο φάσμα των εφαρμογών του έρχεται παρόλα αυτά να διευρύνει ακόμα περισσότερο η προσθήκη προσμίξεων στον ημιαγωγό . Έτσι , η χρήση του ZnO στα πλαστικά εστιάζεται, στη βελτίωση της μηχανικής αντοχής τους, στην αύξηση της ανθεκτικότητάς τους, αλλά και στην προστασία τους από την υποβάθμιση εξαιτίας της υπεριώδους ακτινοβολίας.

Η χρήση του ZnO στα ελαστικά, αφορά την επιτάχυνση της διαδικασίας σκλήρυνσης των ελαστικών και την προστασία αυτών από την υποβάθμιση που τους προκαλεί η υπεριώδης ακτινοβολία.

Άλλες χρήσεις του ZnO, σχετίζονται με την απομάκρυνση σημαντικών ποσοτήτων υδροκυανίου και υδρόθειου από τον καπνό του τσιγάρου (φίλτρα τσιγάρων), καθώς και την ιδιότητα του να κατασβήνει τη φωτιά σε περίπτωση πυρκαγιάς (πυροσβεστικά μέσα).

Χρησιμοποιείται στην κεραμική ως λευκή βαφή και γενικά στη βαφική, ως ενεργοποιητής στη βιομηχανία συνθετικού καουτσούκ (rubber), ως επικάλυψη σε φωτοαγωγίμες επιφάνειες σε φωτοτυπικά μηχανήματα και ως αντισηπτικό σε περιπτώσεις εγκαυμάτων.

Τα τελευταία χρόνια, λόγω του αυξανόμενου ενδιαφέροντος για εύκολη υλοποίηση ημιαγωγικών διατάξεων εκπομπής φωτός (Light Emitting Diodes,LED) και διόδων laser (Laser Diodes, LD) πράσινου, ιώδους ή υπεριώδους φωτός βασισμένων στο GaN, έχει βρεθεί ότι το ZnO μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως υπόστρωμα, καθώς εμφανίζει εκπληκτική ομοιότητα στην κρυσταλλική δομή (απόκλιση 2,2 %) με το GaN, ιδιαίτερα με τη μορφή λεπτών υμενίων .

Το ZnO ανάλογα με την τεχνική σύνθεσης του, απαντάται σε διάφορες νανοδομές (μορφές) όπως, νανοδακτύλιοι (nanoring), νανοτοιχώματα (nanowall), νανογέφυρες (nanobridge), νανοκαρφιά (nanonail), νανοραβδιά (nanorod), νανοβελόνες (nanoneedle).

Οι μορφές αυτές, έχουν άμεση σχέση με τις συνθήκες κατά τη διαδικασία της σύνθεσης, όπως η θερμοκρασία και το pH. Τα ανταγωνιστικά του πλεονεκτήματα έχουν κοινό σημείο αναφοράς με το TiO₂ και είναι τα εξής:

- Υψηλή ενέργεια διέγερσης - High free exciton binding energy(60meV)
- Δεν καταστρέφεται υπό την επίδραση την ακτινοβολίας
- Είναι διαυγές στο ορατό φως ακόμα και σε μεγάλα επίπεδα προσμίξεων
- Η παρουσία κατάλληλων υποστρωμάτων επιτρέπει την ομοιογενή αύξηση των κρυστάλλων.

A3) Μέθοδοι εναπόθεσης του ZnO:

Υπάρχουν πολλές μέθοδοι εναπόθεσης όπως η τεχνική sputtering με ραδιοσυχνότητες (rf sputtering), χημική εναπόθεση ατμών (chemical vapour deposition-CVD), spray pyrolysis, μοριακή επιταξία (molecular beam epitaxy-MBE) και εναπόθεση με παλμικό λέιζερ (PLD) αλλά θα αναφερθώ στις δυο μεθόδους που θα χρησιμοποιήσω παρακάτω.

A4) Μέθοδος εναπόθεσης sol-gel:

Η sol-gel μέθοδος εναπόθεσης, είναι ευρέως διαδεδομένη τεχνική για την παραγωγή λεπτών υμενίων και διαχωρίζεται σε δύο επιμέρους τεχνικές, την επικάλυψη με βύθιση (dip coating) και την επικάλυψη με περιστροφή (spin coating)(εικόνες 2,3).

Τα επιμέρους στάδια της εν λόγω τεχνικής είναι επτά και είναι τα εξής:

- Ανάμιξη

- Ζελατινοποίηση (πύκτωση)
- Γήρανση
- Ξήρανση
- Αφυδάτωση
- Συμπύκνωση

Κατά το στάδιο της ανάμιξης, το υγρό κολλοειδές σύστημα (sol) σχηματίζεται από την ανάμιξη των σωματιδίων με το διαλύτη, χωρίς να καταβυθίζονται λόγω διαχωρισμού φάσεων.

Κατά το στάδιο της ζελατινοποίησης, το ιξώδες του συστήματος οδηγεί στη δημιουργία του τελικού επίστρωματος. Η πυκνότητα του κολλοειδούς συστήματος αυξάνεται, με αποτέλεσμα ένα σωματίδιο του sol, να αντιστοιχεί σε ένα μέρος του μακρομορίου του gel (σημείο ζελατινοποίησης- gelation point), επομένως σταδιακά δημιουργείται ένα δίκτυο κολλοειδών σωματιδίων. Το σημείο αυτό είναι δύσκολο να καθοριστεί ενώ ο χρόνος που απαιτείται για να είναι εφικτή η αντιστοιχία ονομάζεται χρόνος ζελατινοποίησης.

Στο στάδιο της γήρανσης, πραγματοποιείται ο διαχωρισμός φάσεων στερεού – υγρού, το δίκτυο γίνεται όλο και συνεκτικότερο αφού συνεχίζονται οι αντιδράσεις πολυσυμπύκνωσης και οι πόροι μειώνονται σε διάσταση.

Στο στάδιο της ξήρανσης, πραγματοποιείται η απομάκρυνση του υγρού με εξάτμιση και μειώνεται ο όγκος του gel.

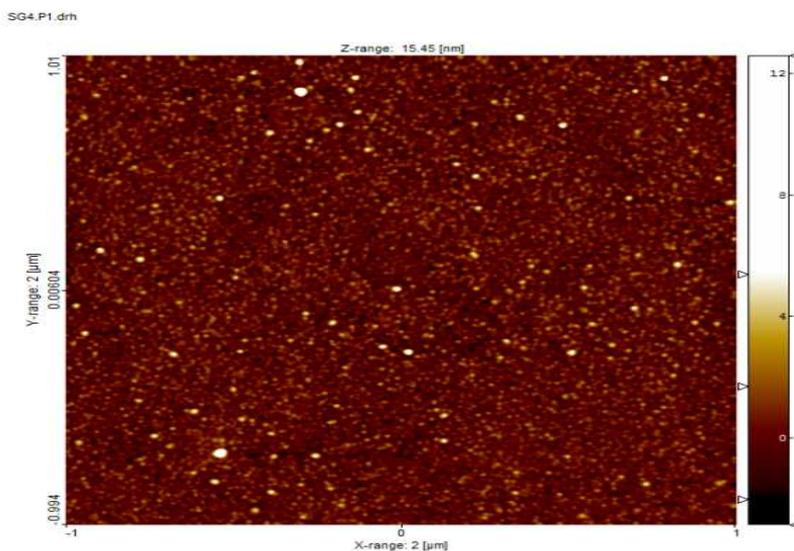
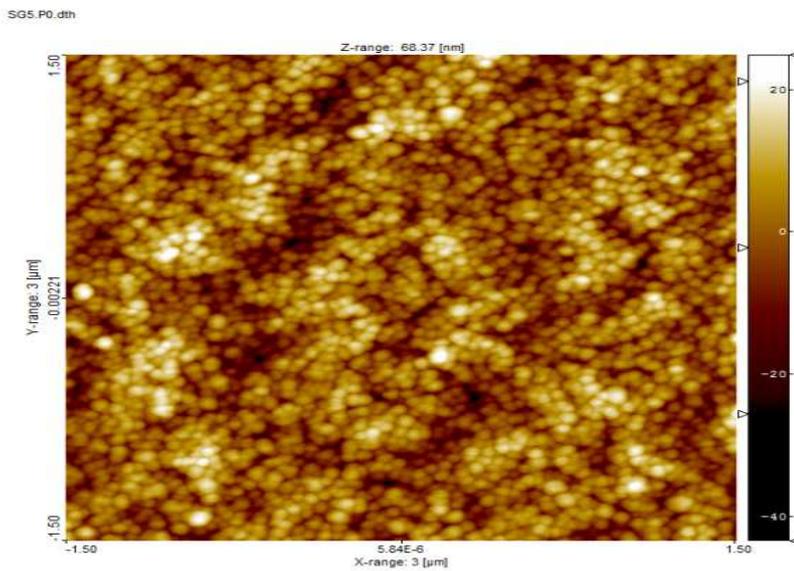
Τέλος, στο στάδιο της αφυδάτωσης και πυκνοποίησης, σχηματίζεται το σταθερό πορώδες στερεό, με αυξημένες μηχανικές αντοχές.

Τα ανταγωνιστικά πλεονεκτήματα της sol-gel τεχνικής, είναι τα εξής:

- Λαμβάνονται επιστρώματα μεγάλης καθαρότητας, με πολύ καλή ομοιογένεια σε μικρά πάχη (επιπέδου nm)

- Οι θερμοκρασίες των υποστρωμάτων είναι χαμηλές, οπότε μπορεί να πραγματοποιηθεί επίστρωση σε θερμικά ευαίσθητα υποστρώματα
- Δεν είναι διεργασία υψηλού κόστους.
- Δεν απαιτείται η χρήση εξειδικευμένου εξοπλισμού
- Υπάρχει η δυνατότητα έλεγχου της δομής του επιστρώματος
- Τα επιστρώματα λαμβάνονται εύκολα και σε μεγάλες ποσότητες

Το μειονέκτημα της τεχνικής sol-gel όμως αφορά το μεγάλο χρόνο παραγωγής των λεπτών υμενίων.



Εικόνες 2,3 . Δείγματα 6 seed και 1 seed.

A5) Μέθοδος εναπόθεσης ACG (Aqueous Chemical Growth):

Αυτή η μέθοδος επιτρέπει την παραγωγή νανο-, μέσο-, και μικρο-μοριακών λεπτών υμενίων καθώς επίσης δισδιάστατων και τρισδιάστατων δομών, χωρίς οποιεσδήποτε παρεμβάσεις στην ενεργοποίηση των υποστρωμάτων, ή της μείωσης της επιφανειακής τους τάσης και χωρίς κάποιες απαιτήσεις για τη θερμική σταθερότητα του συστήματος ή την κρυσταλλικότητα των δομών(εικόνα 4).

Δεδομένου ότι οι κρυσταλλίτες σχηματίζουν πυρήνες και αναπτύσσονται απευθείας επάνω στο υπόστρωμα σε χαμηλές θερμοκρασίες, προσφέρεται μια μεγάλη επιλογή υποστρωμάτων.

Ένα βασικό πλεονέκτημα της μεθόδου, αν όχι το σημαντικότερο, είναι η δυνατότητα σύνθεσης υλικών σε επιφάνειες μεγάλης κλίμακας, ενώ με τη χρήση μεγαλύτερων δοχείων και μεγαλύτερων υποστρωμάτων δίνεται η δυνατότητα να εναποθετηθούν πολύ μεγαλύτερες επιφάνειες.

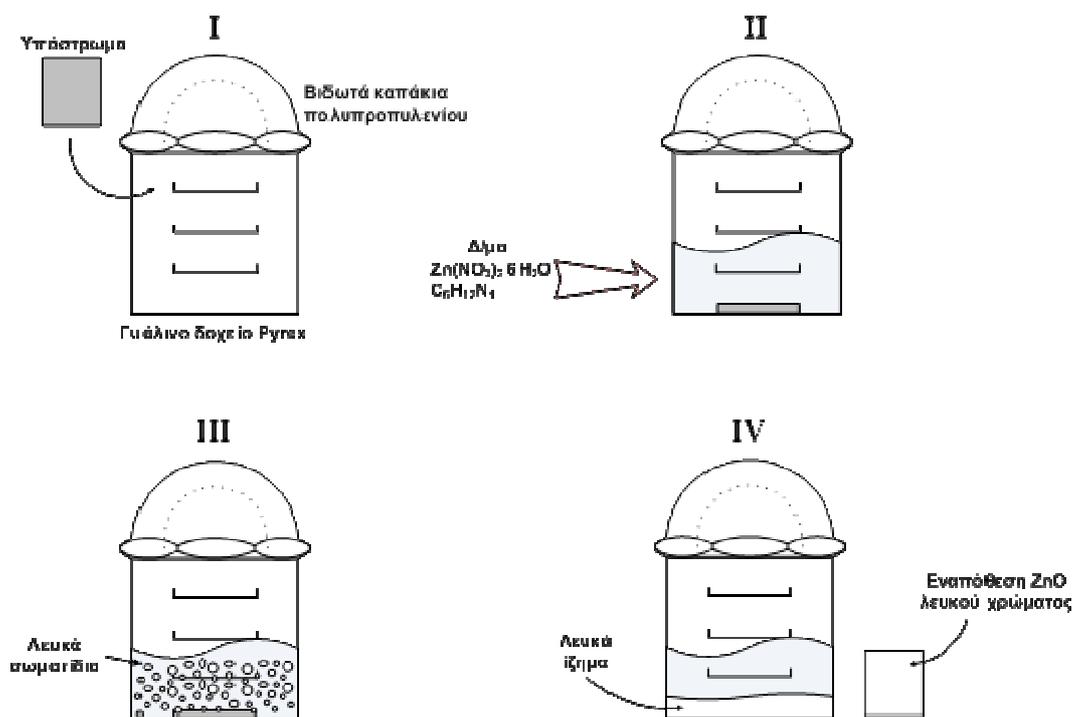
Πειραματικά, η τεχνική ACG αποτελείται απλά από τη θέρμανση ενός υδατικού διαλύματος μεταλλικών αλάτων παρουσία των υποστρωμάτων σε ήπιες θερμοκρασίες (κάτω από 100°C) σε ένα κλειστό δοχείο(εικόνες 5,6). Επομένως, αυτή η μέθοδος δεν απαιτεί ακριβό και περίπλοκο εξοπλισμό ή επικίνδυνα δοχεία υψηλής πίεσης. Είναι πλήρως ανακυκλώσιμη, ασφαλής και φιλική προς το περιβάλλον, δεδομένου ότι ο μόνος διαλύτης που χρησιμοποιείται είναι το νερό. Έτσι, δεν εγκυμονεί κινδύνους όπως αυτούς των οργανικών διαλυτών και της πιθανής τοξικότητάς τους λόγω της εξάτμισής τους.

Αφού απαλλαχτούν τα υποστρώματα και από τυχόν λίπη και κάθε είδους βρωμιές, προωθούνται σε πυρίμαχα γυάλινα δοχεία με βιδωτά καπάκια πολυπροπυλενίου για να γίνει η χημική σύνθεση. Κάθε δοχείο πληρώνεται με 50 ml ισομοριακού υδατικού διαλύματος νιτρικού ψευδαργύρου ($Zn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$) και εξαμεθυλ-τετραμίνης ($C_6H_{12}N_4$) 0.01 M. Τα δοχεία με το υπόστρωμα και το

διάλυμα τοποθετούνται σε ένα κοινό πυριαντήριο στους 95 οC και παραμένουν εκεί για αρκετές ώρες.

Παρατηρώντας τη χημική αντίδραση, διακρίνουμε στα πρώτα στάδιά της το σχηματισμό λευκών σωματιδίων που καταβυθίζονται με την πάροδο του χρόνου, ενώ μετά από ικανό χρόνο είναι εμφανές ένα στρώμα λευκού ιζήματος στον πυθμένα του δοχείου και ενός λεπτού στρώματος ZnO ίδιου χρώματος πάνω στο υπόστρωμα.

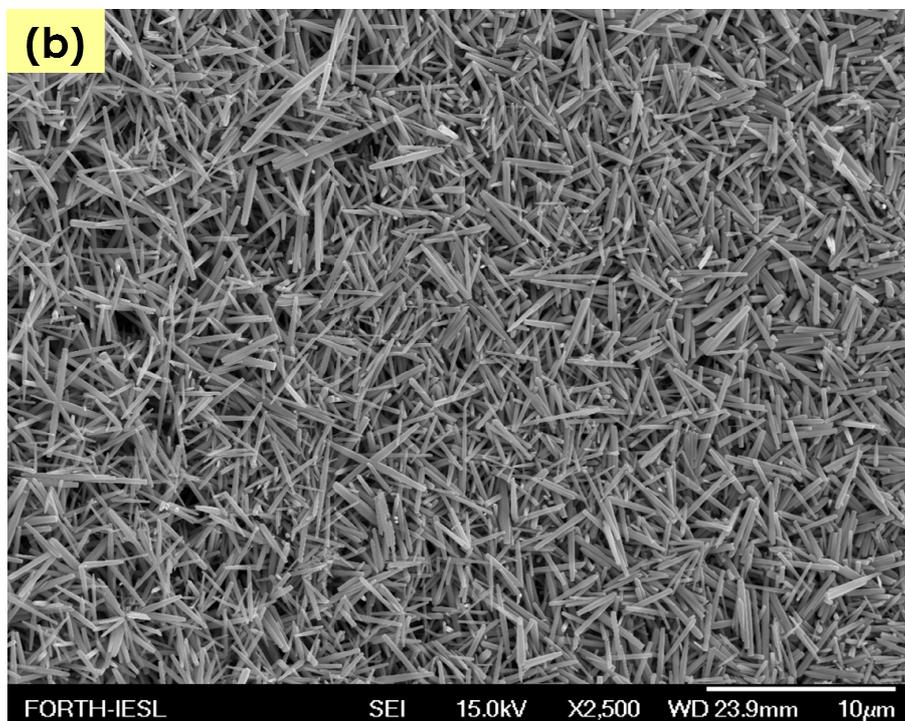
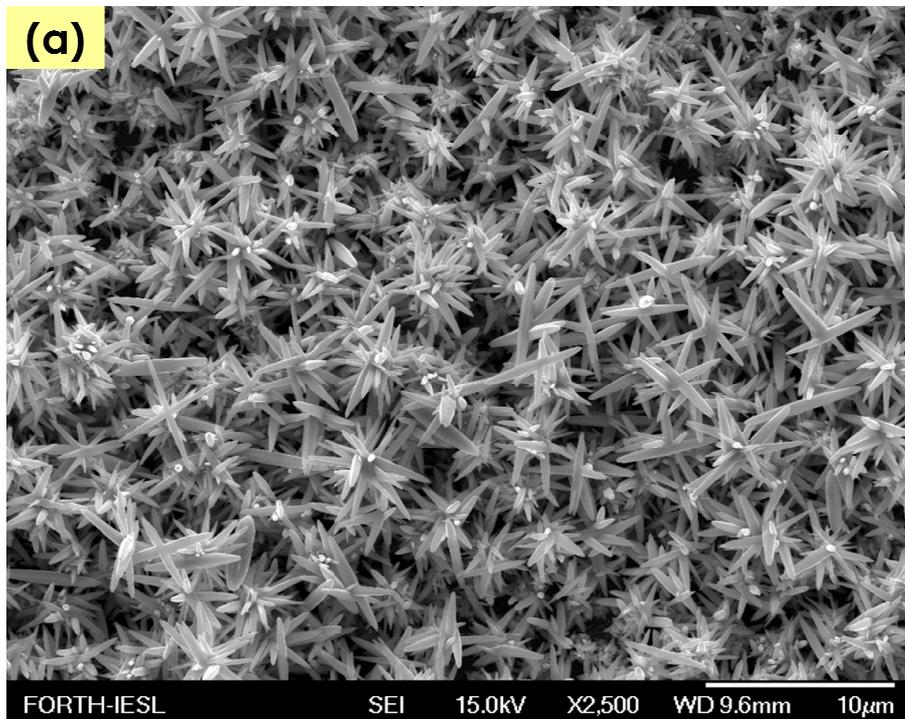
Μετά το πέρας του επιθυμητού χρόνου εναπόθεσης, εξάγονται τα υποστρώματα από τα δοχεία, ξεπλένονται με καθαρό νερό για να απομακρυνθούν τυχόν επιφανειακά άλατα και στεγνώνονται παρουσία αέρα στους 95 οC.



Εικόνα 4. Διαδικασία εναπόθεσης ZnO πάνω στο δείγμα.

Η αμίνη HMTA δρα καταλυτικά στην αντίδραση 1 ενώ ταυτόχρονα απελευθερώνεται φορμαλδεΐδη και αμμωνία που στη συνέχεια υδρολύεται δίνοντας υδροξυλιόντα (OH^-) που είναι απαραίτητα για την εξουδετέρωση των κατιόντων (Zn^{2+}) προς το σχηματισμό ZnO. Έτσι, ο $Zn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ κάτω από

συνθήκες θέρμανσης (95 οC) σε υδατικό περιβάλλον, δίνει κάποια σύμπλοκα του Zn από τα οποία στη συνέχεια προκύπτει ZnO ενώ παράλληλα εκλύονται NOx.



Εικόνες 5,6. Δείγματα με τεχνική acg

A6) Ηλεκτρισμός ,αγωγιμότητα,αντίσταση:

Το κινούμενο ηλεκτρικό φορτίο στην μονάδα του χρόνου αποτελεί το ηλεκτρικό ρεύμα, και κάθε μέσο που είναι φορέας τους ηλεκτρικού ρεύματος ονομάζεται αγωγός.

Τα υλικά ανάλογα με την ευκολία που παρέχουν στην κίνηση των ηλεκτρονίων χωρίζονται σε τρεις βασικές κατηγορίες:

I) Μονωτές ή διηλεκτρικά: Χαρακτηρίζονται τα υλικά στα οποία τα ηλεκτρόνια δεν μπορούν να μεταναστεύουν εύκολα. Χαρακτηριστικά υλικά αυτής της κατηγορίας υλικών είναι το γυαλί και τα πλαστικά.

II) Αγωγοί: Χαρακτηρίζονται τα υλικά στα οποία τα ηλεκτρόνια μπορούν εύκολα να μεταναστεύουν στο υλικό. Αυτό το φαινόμενο ονομάζεται αγωγιμότητα. Χαρακτηριστικό υλικό αυτής της κατηγορίας υλικών είναι ο χαλκός. Μερικά μέταλλα αυτής της κατηγορίας, σε μικρές θερμοκρασίες (κοντά στο απόλυτο μηδέν, αν και σήμερα υπάρχουν υλικά που γίνεται η μετάπτωση κοντά στους 74 K) γίνονται τέλειοι αγωγοί. Αυτά ονομάζονται υπεραγωγοί.

III) Ημιαγωγοί: Χαρακτηρίζονται τα υλικά που τα ηλεκτρόνιά τους έχουν ενδιάμεση ικανότητα στην αγωγιμότητα μεταξύ των αγωγών και των μονωτών.

Η αντίσταση αποτελεί μια χαρακτηριστική παράμετρο του υλικού και προσδιορίστηκε πειραματικά δια μέσου της σχέσης της διαφοράς δυναμικού στα άκρα ενός αγωγού και της έντασης του ρεύματος που διαρρέεται. Εκφράζει την δυσκολία διέλευσης των φορτίων μέσα από ένα υλικό και δίνεται από την σχέση:

$$R = \frac{V}{I} \quad (\Omega)$$

Η αντίσταση έχει μονάδες δυναμικού προς ρεύμα. Στο S.I. έχει μονάδες:

$$\Omega(\text{Ohm}) = \frac{\text{Volt}}{\text{Ampere}}$$

Η συνήθης διατύπωση του νόμου του Ohm είναι η εξής: Η διαφορά δυναμικού (η τάση) μεταξύ των άκρων ενός αγωγού ισούται με το γινόμενο της εντάσεως του ρεύματος I που τον διαρρέει και της αντίστασης του R . Δίνεται από την σχέση:

$$V = IR \quad (\text{V})$$

Στον νόμο του Ohm θεωρούμε ότι η αντίσταση είναι μία σταθερά ανεξάρτητη της έντασης του ρεύματος. Τότε λέμε ότι η αντίσταση αυτή υπακούει τον νόμο του Ohm ή τα στοιχεία είναι γραμμικά.

Στην πραγματικότητα, υπάρχουν στοιχεία που δεν υπακούουν τον νόμο του Ohm στα οποία η αντίστασή τους δεν είναι σταθερή. Τέτοια στοιχεία ονομάζονται μη γραμμικά και στα οποία απαιτείται η γραφική παράσταση της τάσης V συναρτήσει του ρεύματος I (γνωστή και ως παράσταση « $I - V$ ») για να γίνει γνωστή η συμπεριφορά τους. Σε αυτά τα στοιχεία η αντίστασή τους ορίζεται πάλι ως $R=V/I$ αλλά το R δεν είναι ανεξάρτητο του ρεύματος.

Ο αντίστροφος της αντίστασης R είναι η αγωγιμότητα G και εκφράζεται σε αντίστροφα Ohm ή mho (η λέξη Ohm όταν διαβαστεί ανάποδα). Δηλαδή:

$$G = \frac{1}{R} \quad (\text{mho})$$

Εναλλακτική μονάδα για την αγωγιμότητα είναι το siemens (S) όπου $1 \text{ siemens} = 1 \text{ mho}$

A7) Τεχνικές χαρακτηρισμού:

A7.1) Ηλεκτρονική Μικροσκοπία Σάρωσης (Scanning Electron Microscopy, SEM):

Το μικροσκόπιο ηλεκτρονικής σάρωσης (εικόνα 7) είναι ένα από τα πλέον χρήσιμα εργαλεία διερεύνησης της επιφάνειας ενός δείγματος. Για την παραγωγή μιας εικόνας ενός μικροσκοπίου ηλεκτρονικής σάρωσης, η επιφάνεια του δείγματος σαρώνεται με μια δέσμη ηλεκτρονίων, η οποία παράγεται από τη θέρμανση ενός μεταλλικού νήματος, στο επάνω μέρος του μικροσκοπίου. Η δέσμη ακολουθεί μια κάθετη πορεία, κατά μήκος της κολώνας του μικροσκοπίου και περνάει από ηλεκτρομαγνητικούς φακούς, προκειμένου να εστιαστεί και να κατευθυνθεί πάνω στο δείγμα. Μόλις η δέσμη προσπέσει στο δείγμα, τα ηλεκτρόνια (σκεδαζόμενα και δευτερεύοντα) διαχέονται και η ανακλώμενη δέσμη συλλέγεται από ένα σωλήνα

καθοδικών ακτίνων (ανιχνευτής), ο οποίος παράλληλα τη μετατρέπει σε σήμα, το οποίο στέλνει σε μια οθόνη.



Εικόνα 7. SEM

A7.2) Μικροσκοπία Ατομικής Δύναμης (Atomic Force Microscopy- AFM):

Η μικροσκοπία ατομικής δύναμης (Atomic Force Microscopy-AFM) είναι μια κατηγορία μικροσκοπίας ακίδας (Scanning Probe Microscopy) κατά την οποία μια λεπτή ακίδα σαρώνει την υπό μελέτη επιφάνεια και καταγράφοντας τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ δείγματος και ακίδας, αντλούνται πληροφορίες για τη μορφολογία του δείγματος σε επίπεδο τάξης μεγέθους νανομέτρου (nm)(εικόνα 8). Οι πιο γνωστές μέθοδοι μικροσκοπίας ατομικής δύναμης είναι: α) Μέθοδος ακίδας επαφής (Contact mode AFM) και β) Μέθοδος παλλόμενης ακίδας (Tapping mode AFM).



Εικόνα 8. AFM

A7.3) Φασματοσκοπία ορατού- υπεριώδους (UV-VIS Spectrometry):

Σε ένα φασματοσκόπιο υπεριώδους-ορατού (εικόνα 9), η παραγόμενη ακτινοβολία παράγεται από μια λάμπα. Η παραγόμενη δέσμη (εικόνα 19), περνάει από το δείγμα (το οποίο τοποθετείται σε ένα θάλαμο δειγμάτων), όπου ένα μέρος της απορροφάται από τις ηλεκτρονιακές μεταπτώσεις. Στη συνέχεια διέρχεται από μια σχισμή και διαχέεται σε μια δίοδο, όπου ανιχνεύεται η ακτινοβολία για τα διαφορετικά μήκη κύματος. Ή ακτινοβολία αυτή συγκρίνεται με μια δέσμη αρχικής ακτινοβολίας, που το όργανο έχει εκπέμψει και συλλέξει χωρίς να υφίσταται δείγμα προς μέτρηση στο θάλαμο δειγμάτων. Ο σκοπός της σύγκρισης αυτής αφορά τον ορισμό των μηκών κύματος για τις οποίες, το δείγμα υφίσταται τις ηλεκτρονιακές μεταπτώσεις.



Εικόνα 9. UV-VIS Spectrometry

A8) Σκοπός εργασίας:

Σκοπός της εργασίας αυτής είναι χρησιμοποιώντας το οξείδιο του ψευδαργύρου (ZnO) σε χαμηλές θερμοκρασίες να κάνουμε εναπόθεση του υλικού αυτού πάνω σε δείγματα από γυαλί χρησιμοποιώντας τη μέθοδο εναπόθεσης sol-gel και την μέθοδο εναπόθεσης acg. Θέλουμε τα δείγματα που θα δημιουργήσουμε να είναι διάφανα με καλή αγωγιμότητα για να διαπιστωθεί μετά από τις μετρήσεις αν έχουν καλές ηλεκτρικές ιδιότητες.

B) ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

Για να ξεκινήσουμε τη διαδικασία εναπόθεσης ZnO πάνω στα δείγματα μας πρώτα θα πρέπει να έχουμε δείγματα καθαρισμένα από σκόνες, αποτυπώματα κλπ.

B1) Ο καθαρισμός γίνεται με τον έξης τρόπο:

Τοποθετούμε τα δείγματα μας σε ενώ δοχείο και προσθέτουμε ένα διάλυμα το οποίο ονομάζεται piranha και αποτελείται από τρία μέρη H₂SO₄ (θειικό οξύ) και ένα μέρος H₂O₂ (υπεροξειδίο του υδρογόνου) το οποίο έχει την ιδιότητα, κατά την ανάμειξη των δυο αυτών μερών του διαλύματος να παράγεται μια θερμοκρασία περίπου στους 130 οC δημιουργώντας ακόμα και φυσαλίδες. Όποτε μετά από δέκα λεπτά περίπου και αφού έχει πέσει η θερμοκρασία του διαλύματος είναι έτοιμα για πλύσιμο. (Το διάλυμα αυτό είναι ιδιαίτερα καυστικό και απελευθερώνει και καπνό, γιαυτό το λόγο φοράμε γάντια και έχουμε ανοιχτό τον εξαερισμό).

Το πλύσιμο γίνεται ρίχνοντας με τον υδροβολέα απιονισμένο νερό στο δοχείο έως ότου τα δείγματα μας καθαριστούν και ξεπλυθούν από το διάλυμα καλά.

Τέλος παίρνουμε ένα δείγμα κάθε φόρα, με μια τσιμπίδα από το δοχείο που τα είχαμε και τα φύσαμε με N₂ (άζωτο) για να στεγνώσουν και να αποκρίνουμε τυχόν σκόνες.

Έπειτα παρασκευάζουμε το διάλυμα ανάλογα με την εκάστοτε τεχνική που ακλουθούμε . Για την εργασία αυτή έχουν χρησιμοποιηθεί δυο μέθοδοι:

B2) Sol-gel process (ZnO)

B2.1) Παρασκευή διαλύματος:

Για την παρασκευή (0.25) ml διαλύματος προσθέτουμε σε ένα δοχείο 1.125 ml mono ethil amine σε 25 ml methoxyethanol. Έπειτα βάζουμε στο δοχείο ένα μαγνήτη και τοποθετούμε το δοχείο σε μια συσκευή η οποία περιστρέφει το μαγνήτη αναδεύοντας το διάλυμα και λέγεται μαγνητικός θερμαινόμενος αναδευτήρας(εικόνα 2) . Με ένα θερμόμετρο το οποίο φέρει η συσκευή , και βυθίζουμε στο δοχείο , ανεβάζουμε την θερμοκρασία του διαλύματος σε μια επιθυμητή τιμή .Την θερμοκρασία του διαλύματος καθώς και τις στροφές στις

οποίες περιστρέφεται ο μαγνήτης μέσα στο διάλυμα τις ρυθμίζουμε εμείς ανάλογα με τις ανάγκες μας. Περιμένουμε να ανέβει η θερμοκρασία του διαλύματος στους 60 οC.

Παράλληλα ζυγίζουμε στην ζυγαριά ακριβείας (εικόνα 1) 3.4349 gr $Zn(CH_3COO)$ δηλαδή οξικού ψευδάργυρου.



Εικόνα 1. Ζυγαριά ακριβείας.

Μόλις το διάλυμα φτάσει στους 60 °C προσθέτουμε τον οξικό ψευδάργυρο που ζυγίσαμε και περιμένουμε να διαλυθεί τελείως. Έπειτα ρίχνουμε τη θερμοκρασία στο θερμοστάτη και περιμένουμε έως ότου η θερμοκρασία του διαλύματος πέσει σε θερμοκρασία περιβάλλοντος.

Τέλος μεταγγίζουμε το διάλυμα σε ένα δοχείο το οποίο σφραγίζεται με καπάκι και το διάλυμα είναι έτοιμο για χρήση (εικόνα 3).



Εικόνα 2. Μαγνητικός θερμαινόμενος αναδευτήρας.



Εικόνα 3. Το διάλυμα στο δοχείο που προανέφερα

B2.2) spin-coating:

Έπειτα τοποθετούμε ένα δείγμα κάθε φορά στο spin-coater (εικόνα 4) και με την πιπέτα ρίχνουμε πάνω στο δείγμα 10 μl από το διάλυμα.

Το spin-coater λειτουργεί με αέρα τον οποίο προμηθεύεται από ένα κομπρεσέρ. Έχει μια υποδοχή (εικόνα 5), όπου τοποθετείται το δείγμα, η οποία

μόλις θέσουμε το μηχάνημα σε λειτουργία συγκρατεί το δείγμα στη βάση κατά την περιστροφή.

Ρυθμίζουμε το spin-coater έτσι ώστε να περιστρέφει το δείγμα με 3000 rpm για 20 sec. Αυτό γίνεται για να απλωθεί ομοιόμορφα το διάλυμα πάνω στο δείγμα. Έτσι έχω περάσει 1 seed στο δείγμα , δηλαδή μια στρώση διαλύματος.



Εικόνα 4. Spin coater.



Εικόνα 5.Περιστρεφόμενη βάση τοποθέτησης δείγματος.

B2.3) Θερμαντική πλάκα:

Όταν τελειώσει το δείγμα από το spin-coater το τοποθετούμε στην θερμαντική πλάκα η οποία είναι προθερμασμένη κάθε φορά στην επιθυμητή θερμοκρασία.

Η θερμαντική πλάκα (εικόνα 6) είναι μια πλακά από ανθεκτικό μέταλλο η οποία έχει ένα θερμοζεύγος το οποίο θερμαίνεται μέσω ενός πίνακα ελέγχου (εικόνα 7) σε κάποια θερμοκρασία που επιλέγουμε εμείς.

Η ρύθμιση αυτή έχει γίνει για θερμοκρασίες από 60 °C έως και 300 °C.

Το κάθε seed ψήνεται για 10 λεπτά στην θερμαντική πλάκα και μόλις περάσει ο χρόνος αυτός ρίχνουμε τη θερμοκρασία στη θερμαντική πλάκα μέσω του πίνακα ελέγχου της, έως ότου έρθει σε θερμοκρασία δωματίου . Μετά βγάζουμε τα δείγματα από τη θερμαντική πλάκα και είναι έτοιμα για το επόμενο στάδιο.



Εικόνα 6. Θερμαντικές πλάκες.



Εικονα7. Πινάκας ελέγχου θερμαντικών πλακών.

Αν επαναλάβω τη διαδικασία με το spin-coater και τη θερμαντική πλάκα για το ίδιο δείγμα τότε περνώ στο δείγμα 2 seed ,3 ,4 ανάλογα με το πόσα seed θέλω για κάθε θερμοκρασία.

Με τη διαδικασία αυτή φτιάξαμε δείγματα των 1-4 seed σε θερμοκρασίες από 60 °C έως και 300 °C ανά 50 °C κάθε φορά.

Χρησιμοποιούμε τέτοιες θερμοκρασίες στην θερμαντική πλάκα γιατί σκοπός μας είναι να δούμε πως θα συμπεριφέρονται τα δείγματα με το διάλυμα που τους εναποθέσαμε σε χαμηλές θερμοκρασίες . Αν δηλαδή σε τόσο χαμηλές θερμοκρασίες στεγνώνει το διάλυμα πάνω στο δείγμα. Ακόμα αν το δείγμα παραμένει διάφανο μετά το πέρας τριών και τεσσάρων seed. Επίσης αν σε αυτές τις θερμοκρασίες το δείγμα παρουσιάζει κάποια αγωγιμότητα κλπ. Το ζητούμενο είναι να μείνει πάνω στο δείγμα μας μετά την απομάκρυνση αυτού από τη θερμαντική πλάκα μόνο οξειδίο του ψευδαργύρου, χωρίς κατάλοιπα άλλων ουσιών του διαλύματος.

B2.4) Δημιουργία ηλεκτρικών επαφών:

Αφού τελειώσουμε τις σειρές των δειγμάτων που θέλουμε πρέπει να βάλουμε ηλεκτρικές επαφές.

Παίρνουμε το κάθε δείγμα χωριστά και με ένα πινέλο με πολύ λεπτή μύτη περνάμε πάνω στα τετράγωνα δείγματα που έχουμε όσο το δυνατόν πιο άκρη μπορούμε μια γραμμή από silver conductive paste πιο απλά μια πάστα αργύρου (εικόνα 9).

Για να αραιώνουμε την πάστα αυτή χρησιμοποιούμε ασετόν (εικόνα 8). Προσέχουμε η γραμμή αυτή να είναι όσο το δυνατόν συνεχόμενη και ισοπαχής. Να μην έχει σπασίματα δηλαδή και να έχει το ίδιο πάχος από την αρχή ως το τέλος. Ακόμα πρέπει να είμαστε προσεκτικοί να μην ακουμπήσουμε την υπόλοιπη επιφάνεια του δείγματος στην οποία είναι απλωμένο το διάλυμα. Ακόμα επειδή τα δείγματα είναι ευαίσθητα σε υγρασία κλπ πρέπει να φυλάσσονται σε αεροστεγή συσκευασίες με κατάλληλα υλικά ώστε να τραβάνε τυχόν υγρασία.

Έπειτα αφού τελειώσουμε όλα τα δείγματα πρέπει να τα αφήσουμε για περίπου 4 με 5 ώρες να στεγνώσουν καλά οι επαφές.



Εικόνα 8. Υλικά για τη δημιουργία επαφών.



Εικόνα 9. Δείγμα με επαφές.

B2.5) Μέτρηση I-V δειγμάτων:

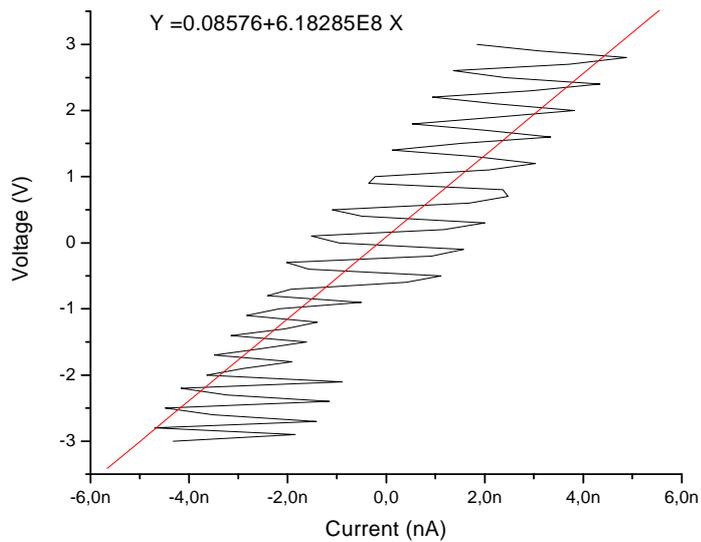
Τέλος μετράμε τα δείγματα με ένα ειδικό μηχάνημα μέτρησης I-V (εικόνα 10) το οποίο μας εμφανίζει στην οθόνη μια χαρακτηριστική καμπύλη για κάθε δείγμα. Η μέτρηση για κάθε δείγμα γίνεται υπό την επήρεια δυο παραγόντων . Πρώτα στο σκοτάδι και έπειτα υπό το φως μια λάμπας.

Για τους υπολογισμούς θα πρέπει να λάβουμε υπόψη το μήκος και το πλάτος του δείγματος το οποίο μετριέται από επαφή σε επαφή, καθώς και το πάχος του διαλύματος που υπάρχει πάνω στο δείγμα αλλά και οι ενδείξεις του μηχανήματος από τη μέτρηση στο σκοτάδι και υπό το φως της λάμπας.



Εικόνα 10. Μηχάνημα μέτρησης I-V.

Ο υπολογισμός της αντίστασης δίνεται από την κλίση της ευθείας του διαγράμματος I-V. Δίνουμε ένα εύρος τάσης μέσω των ακίδων που εφάπτονται στις επαφές του δείγματος, και το μηχάνημα μας εμφανίζει τη χαρακτηριστική I-V του δείγματος. Αυτό γίνεται διότι ισχύει ο νόμος του Ωhm ($R=V/I$). Τις τιμές των μεγεθών (V,I) τις έχουμε ορίσει εμείς αρχικά στο μηχάνημα και έπειτα μας εμφανίζει μια χαρακτηριστική καμπύλη όπως φαίνεται και στην φωτογραφία που ακολουθεί (εικόνα 11).



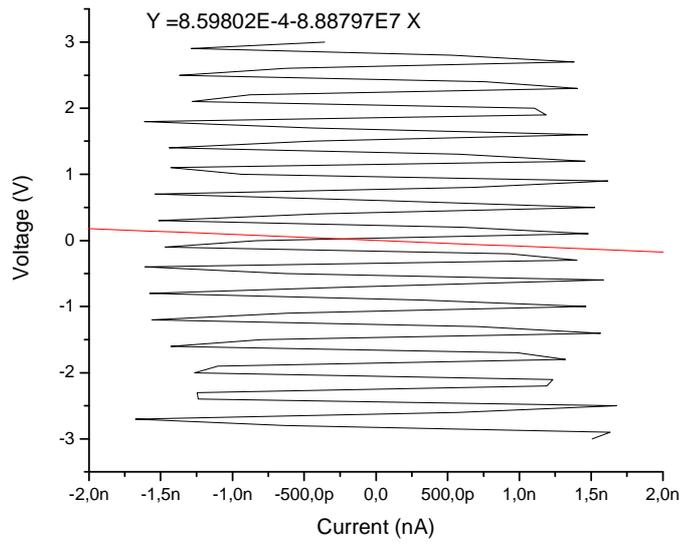
Εικόνα 11. Διάγραμμα 4 seed 250 °C.

Η κόκκινη γραμμή στο διάγραμμα είναι ένας μέσος όρος των σημείων δεξιά και αριστερά της και είναι και η κλίση της ευθείας δηλαδή η αντίσταση. Έτσι γίνεται ο υπολογισμός της αντίστασης για κάθε δείγμα που έχουμε.

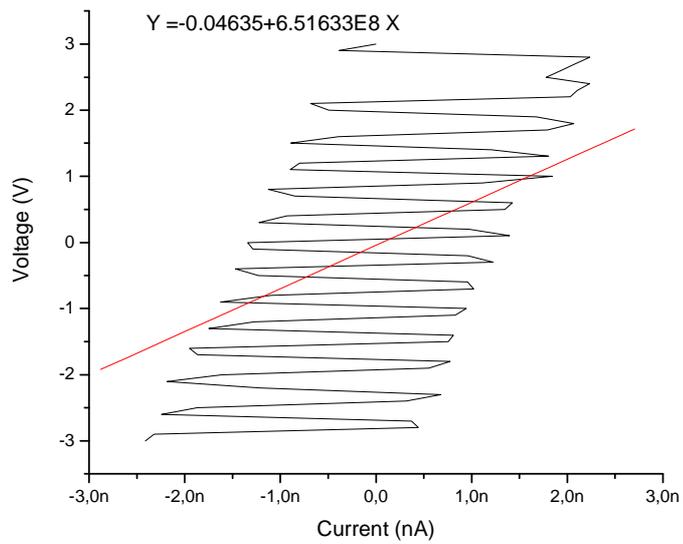
B2.6) Χαρακτηριστικές δειγμάτων:

Ακλουθούν δείγματα 1-4 seed σε θερμοκρασίες 60 °C και 300 °C.

1seed

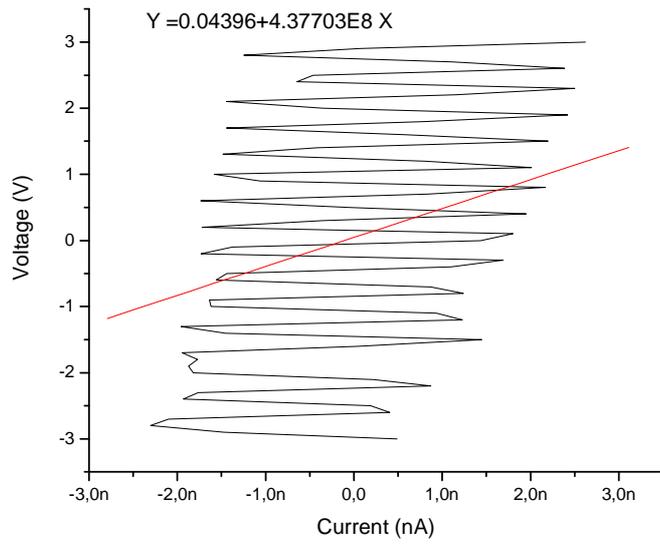


1 seed 60 °C

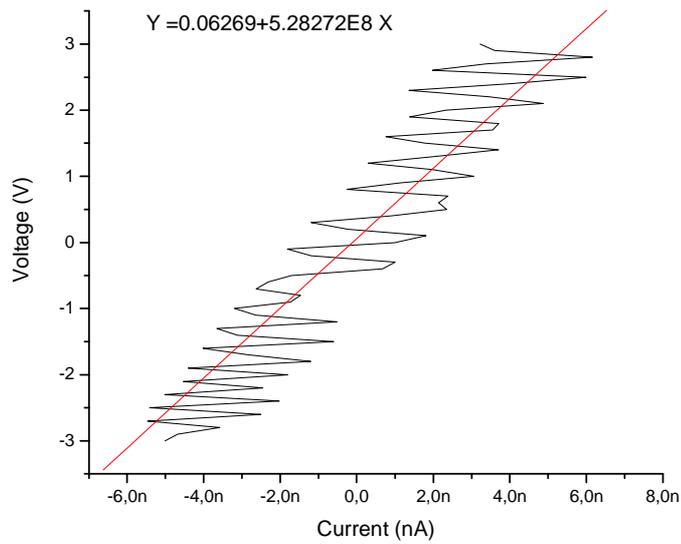


1 seed 200 °C

2 seed

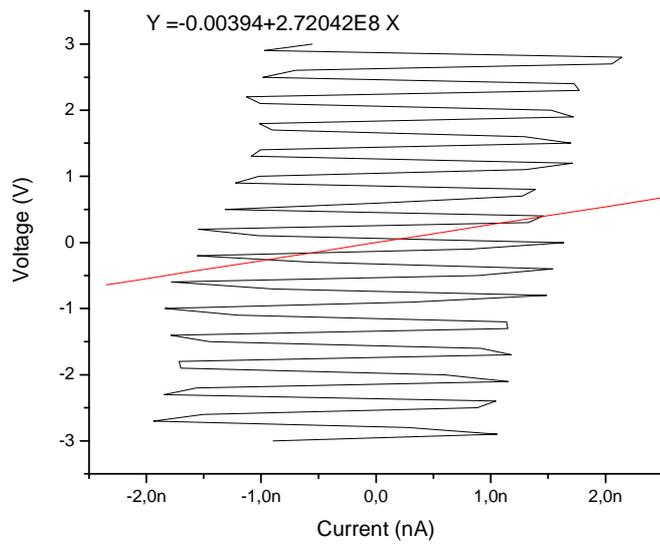


2 seed 100 °C

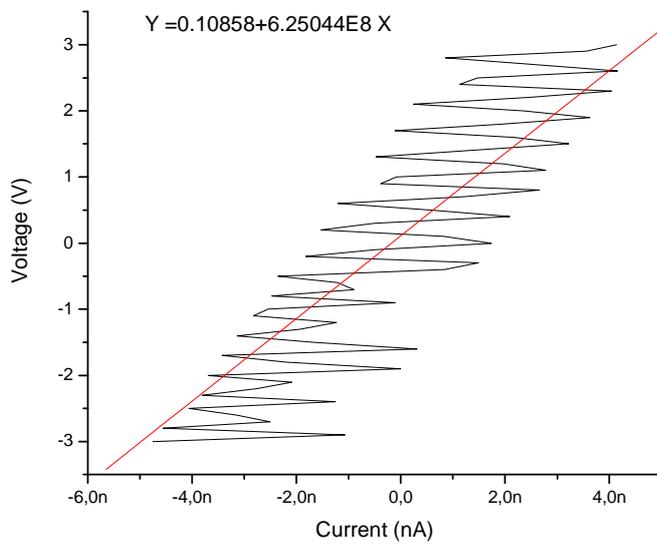


2 seed 250 °C

3 seed

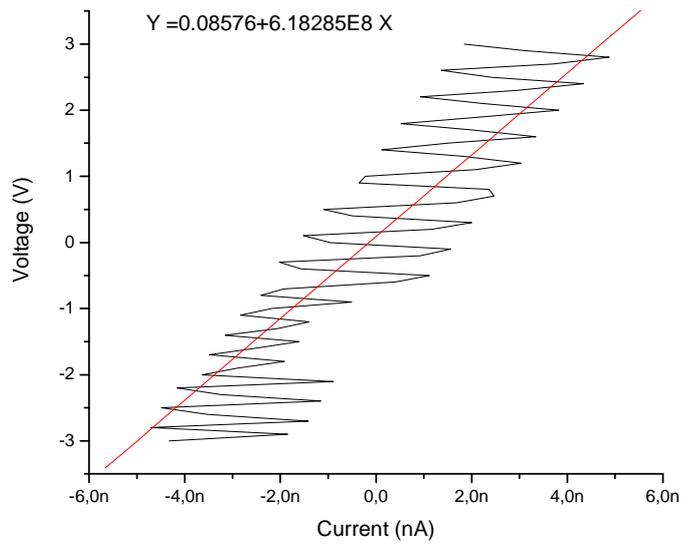


3 seed 150 °C

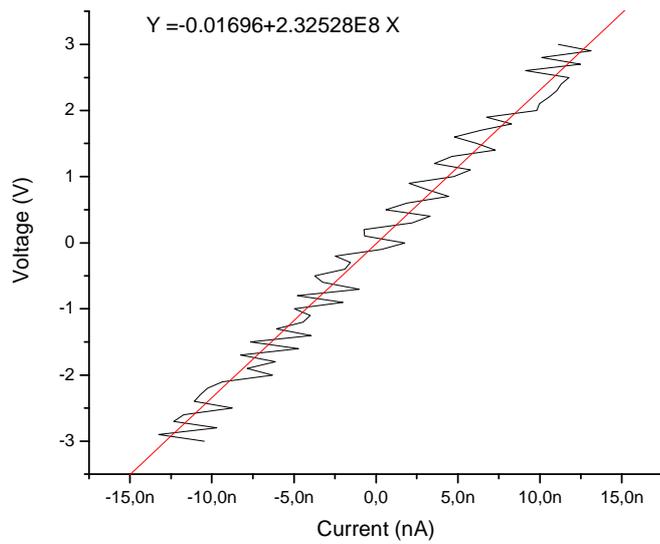


3 seed 250 °C

4 seed



4 seed 100 °C



4 seed 300 °C

B2.7) Συμπεράσματα:

Στις θερμοκρασίες αυτές που δουλέψαμε τα χημικά στοιχεία που περιέχει το διάλυμα δεν έδωσαν μια κρυσταλλικότητα στο δείγμα όπως περιμέναμε να γίνει στο μάτι, με αποτέλεσμα να μην μείνει στο δείγμα μόνο ZnO που θέλαμε. Αυτό συνεπάγεται ότι τα δείγματα δεν είχαν αγωγιμότητα ή είχαν κάποια πολύ μικρή. Για το λόγο αυτό δεν υπάρχει γραμμικότητα στην κλίση της ευθείας όπως φαίνεται και στα διαγράμματα.

Ακόμα στις πολύ μικρές θερμοκρασίες στο μάτι της τάξης των 60 °C παρατηρήσαμε ότι το διάλυμα δεν στέγνωσε πάνω στο δείγμα.

B3) ACG (Aqueous Chemical Growth)

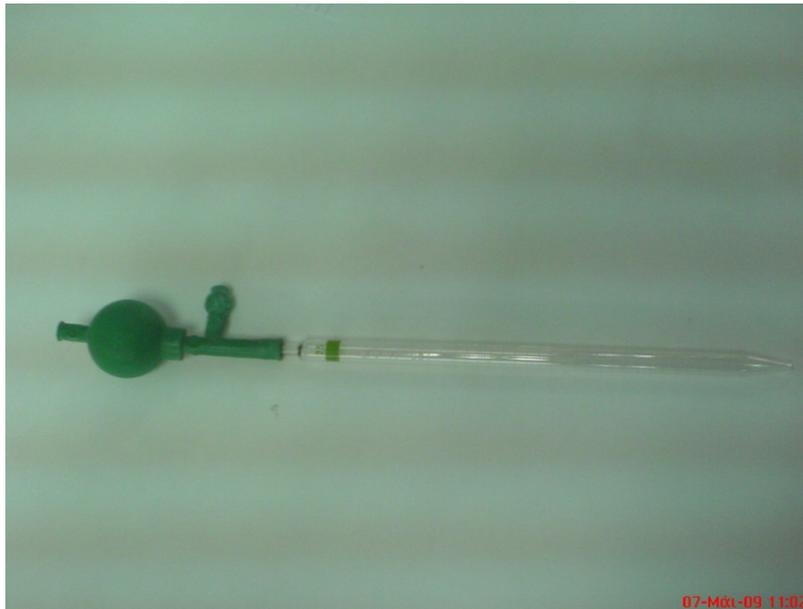
B3.1) Παρασκευή διαλύματος:

Στην τεχνική αυτή παρασκευάζουμε διάλυμα 0.001 M. Αυτό σημαίνει ότι σε 1 λίτρο διαλύματος θα υπάρχει 0.001 mole διαλυμένης ουσίας. Ακόμα θέλουμε οι ουσίες που θα διαλυθούν να είναι σε αναλογία 1:1. Αρχικά υπολογίζουμε την ποσότητα του διαλύματος που θέλουμε. Θα χρησιμοποιήσω 12 δείγματα σε μπολάκια των 50 ml. Αρά χρειάζομαι 600 ml διαλύματος και αν λάβω υπόψη και το 0.001 M που πρέπει να είναι το διάλυμα, χρειάζομαι 0.006 mole. Οι ουσίες που θα χρησιμοποιήσω είναι $Zn(NO_3)_2$ και $C_6H_{12}N_4$. Πρέπει όμως να συσχετίσω τα mole με τη μάζα που μετρώ εγώ στη ζυγαριά ακριβείας. Για το λόγο αυτό παίρνω το μοριακό βάρος των δυο στοιχείων. Το MB του $C_6H_{12}N_4$ =140.19 gr ενώ το MB του $Zn(NO_3)_2$ =297.47 gr. Πολλαπλασιάζω τα MB με το 0.006 που βρήκαμε πριν καταλήγω ότι χρειάζομαι τελικά 1.78482 gr $Zn(NO_3)_2$ και 0.84114 gr $C_6H_{12}N_4$

Μετρώ στην ζυγαριά αυτές τις δυο ποσότητες (εικόνα 1).

Σε ένα δοχείο βάζω 100 ml απιονισμένο νερό και το τοποθετώ στον μαγνητικό αναδευτήρα για να το αναδεύει (εικόνα 2). Ρίχνω πρώτα $Zn(NO_3)_2$ προσθέτω και άλλα 250 ml απιονισμένο νερό. Στη συνέχεια βάζω και $C_6H_{12}N_4$ και πάλι προσθέτω 250 ml απιονισμένο νερό. Αφού αναδευτούν καλά και γίνει διάφανο το διάλυμα είναι έτοιμο.

Με ένα βαθμονομημένο σωλήνα (εικόνα 12) μοιράζω το διάλυμα μου σε 12 μπουκάλια των 50 ml το καθένα τα οποία κλείνουν αεροστεγώς (εικόνα 13).



Εικόνα 12. Βαθμονομημένος σωλήνας με φούσκα .



Εικόνα 13. Μπουκάλι για την τεχνική acg.

B3.2) Επεξεργασία δειγμάτων:

Χρησιμοποιώ δείγματα κατασκευασμένα με την προηγούμενη τεχνική 1 και 3 seed και τα βάζω στον πυθμένα των μπουκαλιών αυτών. Με τη μόνη διαφορά ότι το

κάθε seed το ψήνω σε ένα φούρνο στους 100 °C για 24 ώρες και όχι σε μάτι όπως την προηγούμενη μέθοδο (sol-gel).

Χωρίζω τα μπουκάλια σε κατηγορίες των 2,5,10,24,48 ωρών και τα τοποθετώ στον ειδικό φούρνο. Η διαδικασία αυτή γίνεται για δείγματα του 1 seed, και για των 3 seed.

Ο φούρνος είναι προθερμασμένος στους 95 °C και δουλεύει συνέχεια σε αυτή τη θερμοκρασία. Καθώς ζεσταίνεται το διάλυμα μέσα στο φούρνο οι σκόνες πέφτουν προς τα κάτω και έχω μια εναπόθεση ZnO πάνω στα δείγματα μου.

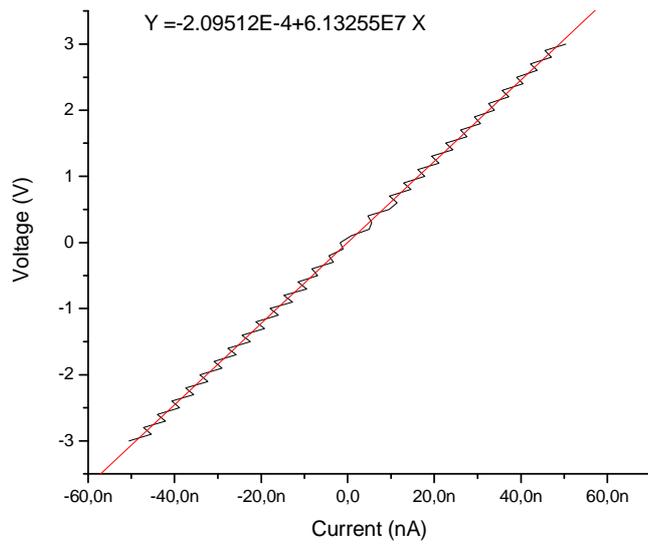
Κάθε δείγμα που βγάζω από το φούρνο το τοποθετώ σε ένα μεταλλικό ταψάκι και το ξαναβάζω για 10 λεπτά περίπου στο φούρνο για να στεγνώσει. Έπειτα το δείγμα είναι έτοιμο.

Μετά περνώ ηλεκτρικές επαφές στα δείγματα με τον ίδιο ακριβώς τρόπο που έκανα και στην προηγούμενη μέθοδο.

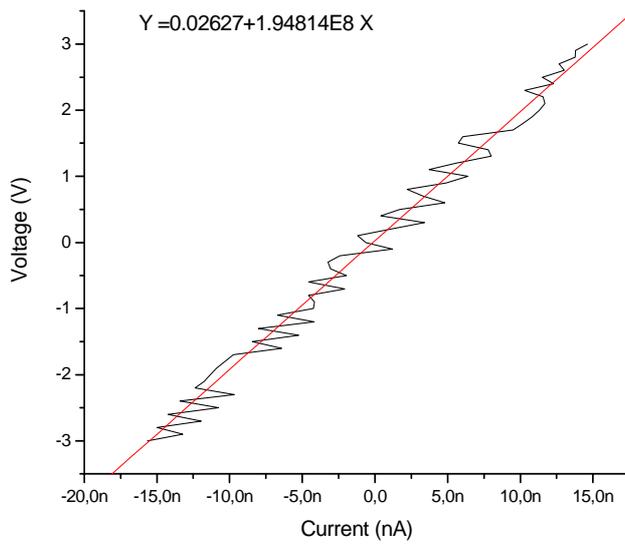
B3.3) Χαρακτηριστικές δειγμάτων:

Η μέτρηση των δειγμάτων γίνεται με τον ίδιο ακριβώς τρόπο όπως και στην προηγούμενη μέθοδο.

Ακλουθούν δείγματα 1 seed χωρίς λάμπα 5,10 ωρών.

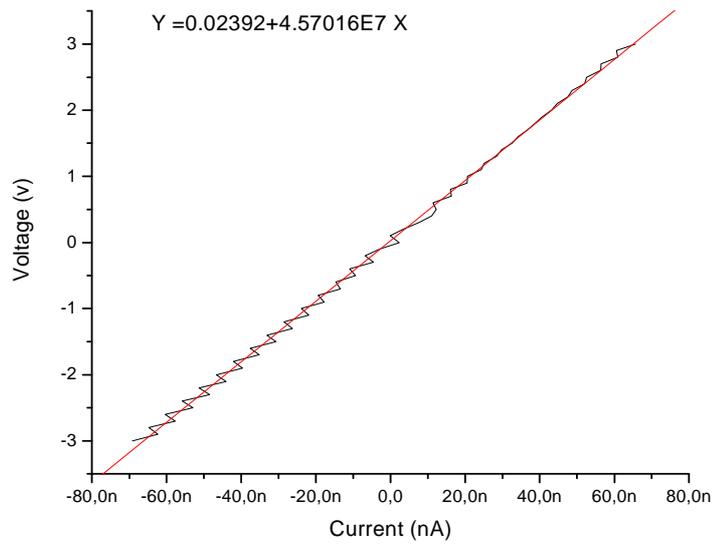


1 seed, 5h, 95 °C ,nl

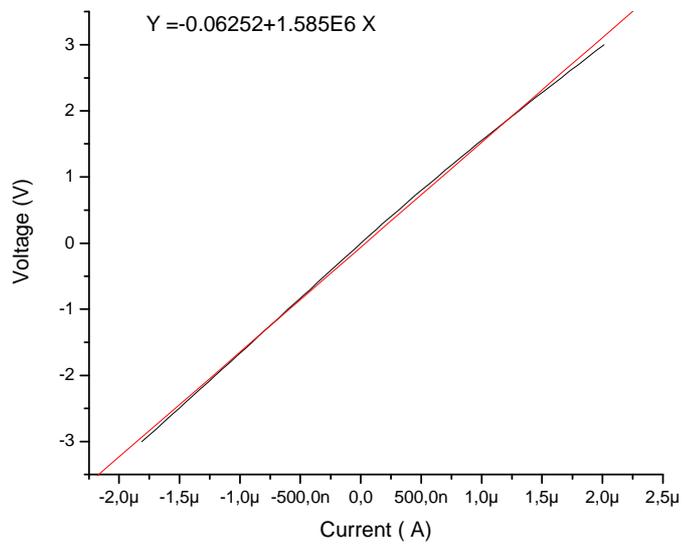


1 seed ,10h, 95 °C ,nl

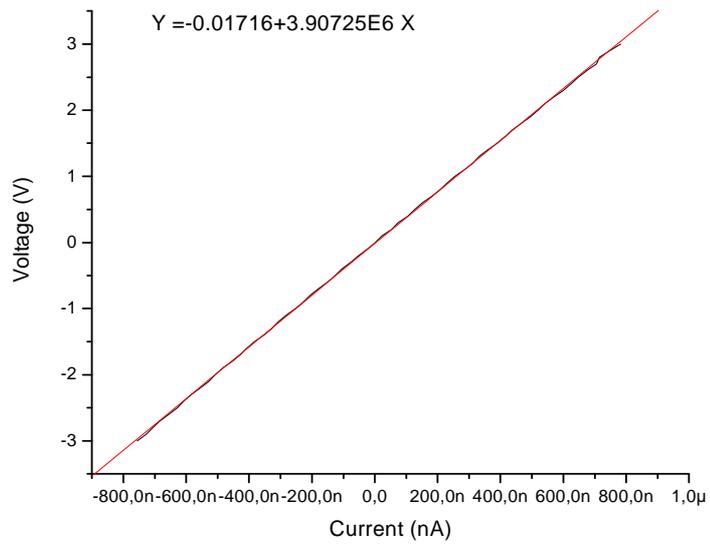
Ακολουθούν δείγματα 1 seed με λάμπα 2,5,10,24 ωρών.



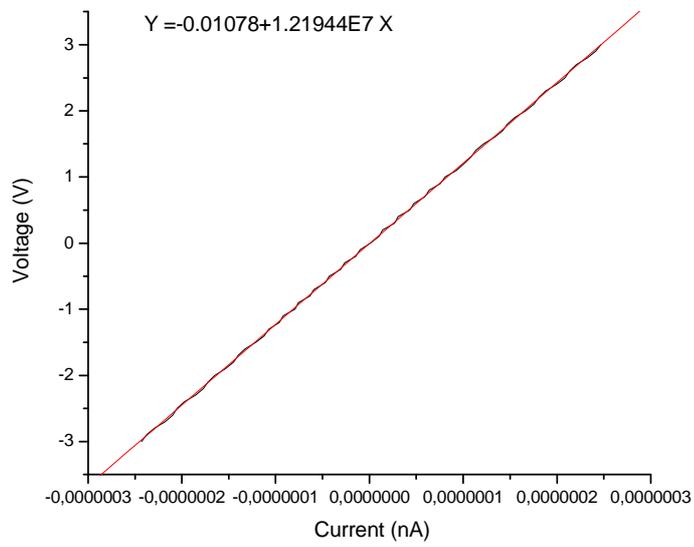
1 seed ,2h, 95 °C , wl



1 seed ,5h, 95 °C , wl

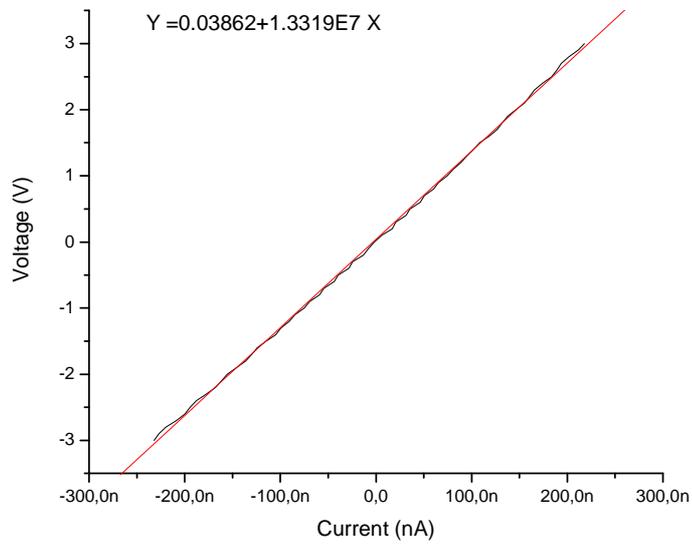


1 seed ,10h, 95 °C , wl

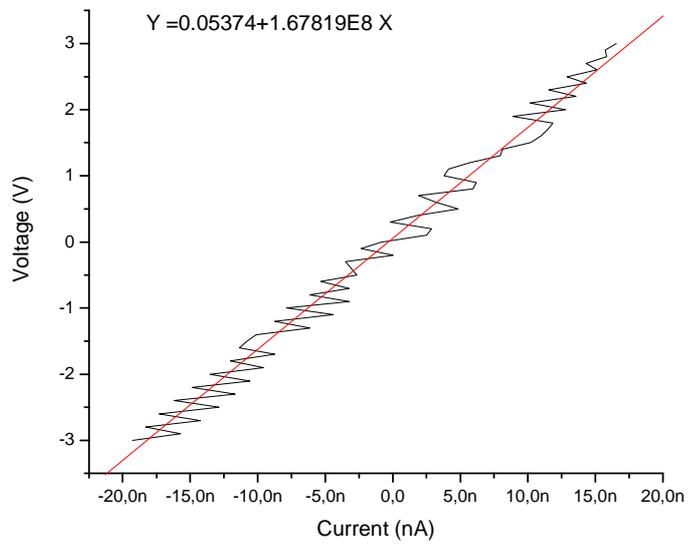


1 seed ,24h, 95 °C , wl

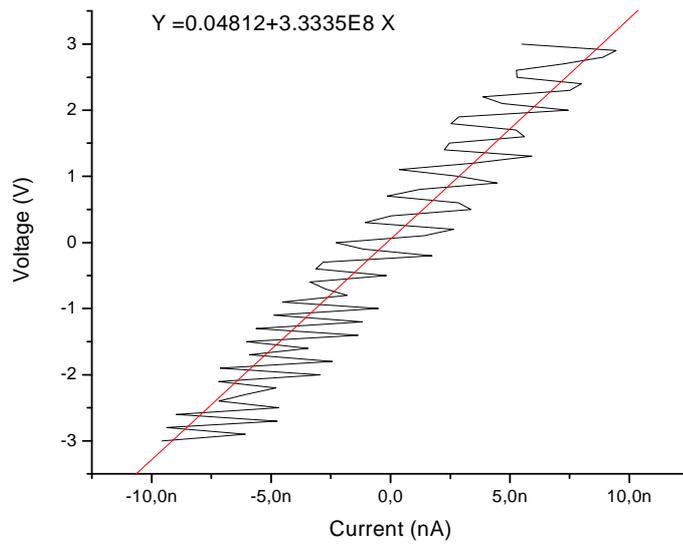
Ακλουθούν δείγματα 3 seed χωρίς λάμπα 5,10,48 ωρών.



3 seed ,5h, 95 °C , nl

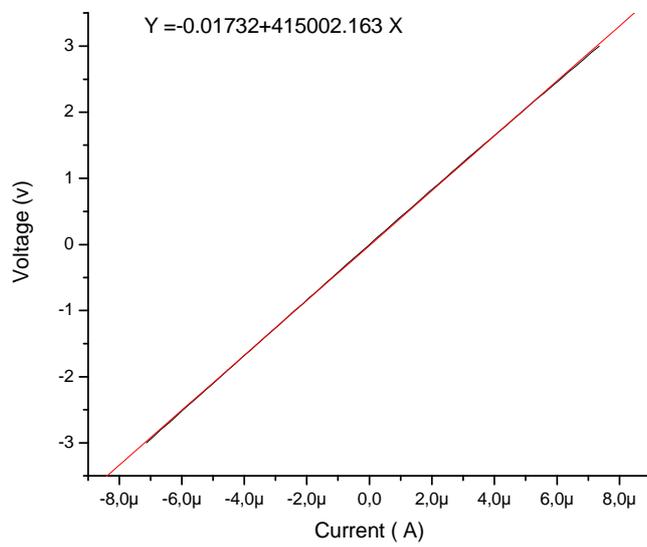


3 seed ,10h, 95 °C , nl

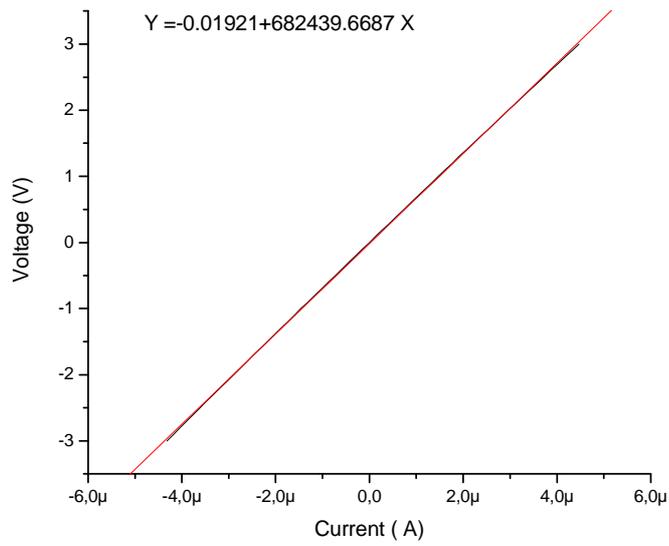


3 seed ,48h, 95 °C , nl

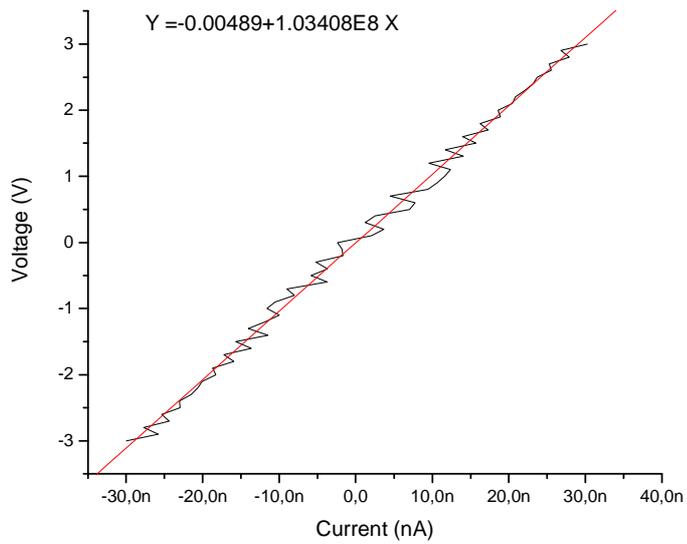
Ακολουθούν δείγματα 3 seed με λάμπα 5,10,24,48 ωρών.



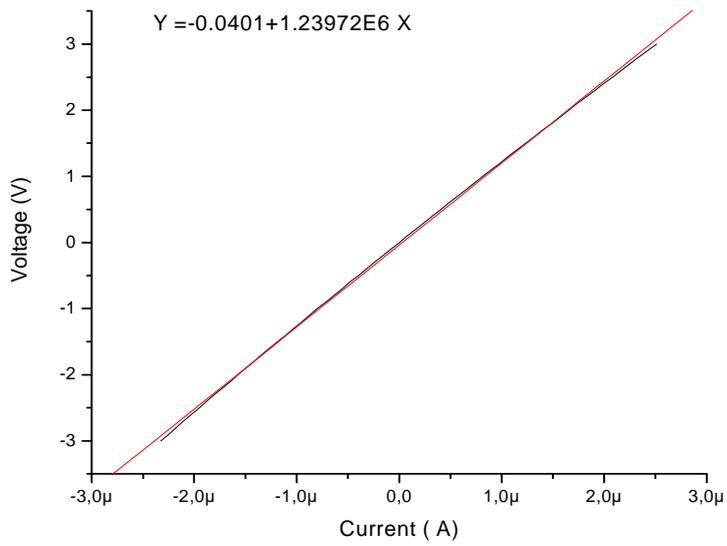
3 seed , 5h, 95 °C , wl



3 seed ,10h, 95 °C , wl

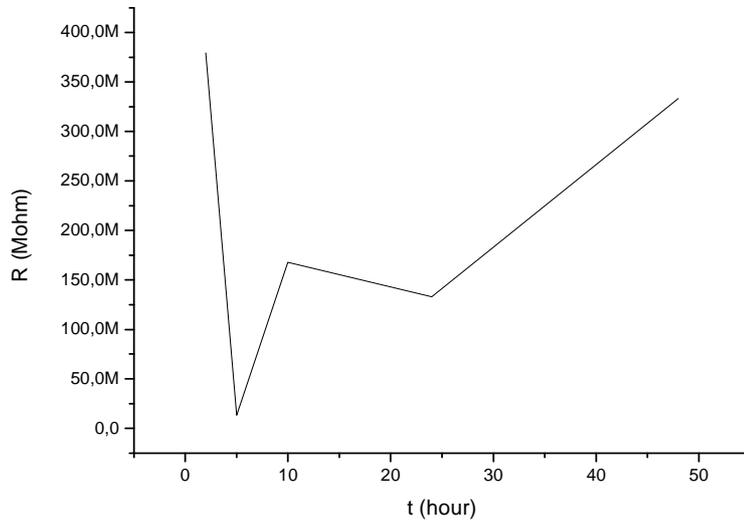


3 seed ,24h, 95 °C , wl

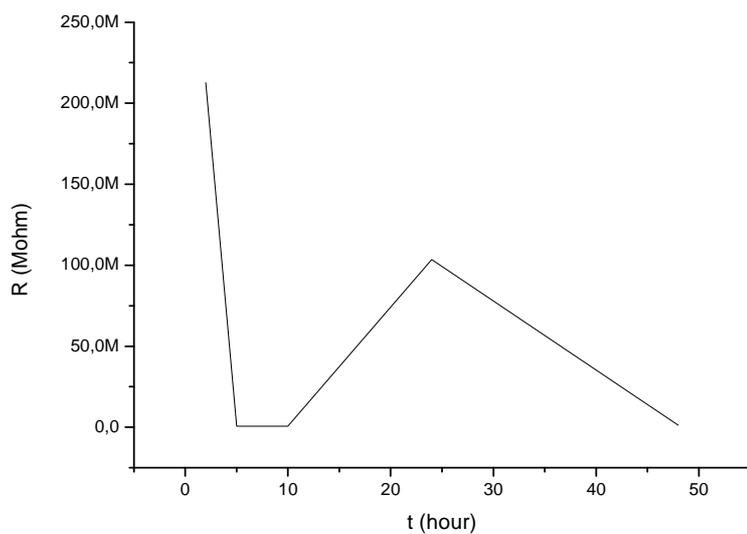


3 seed ,48h, 95 °C , wl

Ακολουθούν οι χαρακτηριστικές R-t για τα δείγματα των 3 seed με λάμπα και χωρίς.

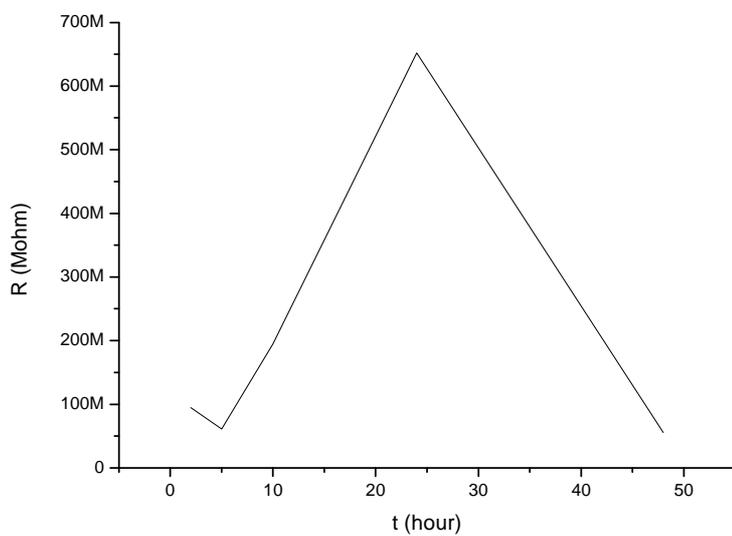


3 seed , 95 °C , nl

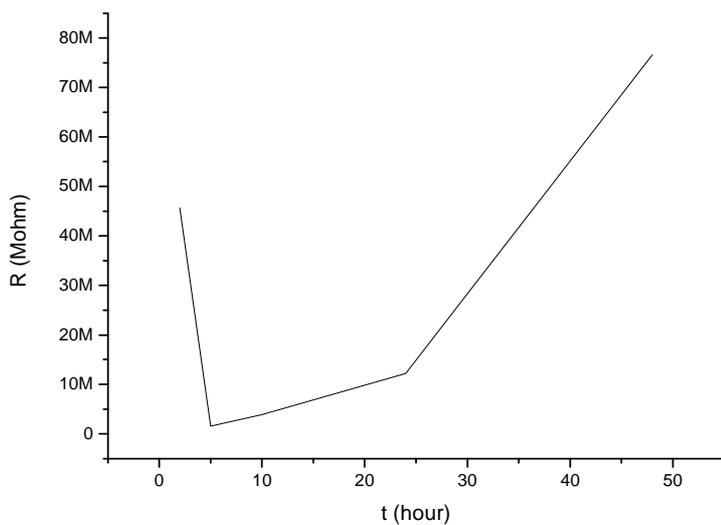


3 seed , 95 °C , wI

Ακολουθούν οι χαρακτηριστικές R-t για τα δείγματα των 1 seed με λάμπα και χωρίς.



1 seed , 95 °C , nI



1 seed , 95 °C , wI

B3.4) Μετρήσεις δειγμάτων:

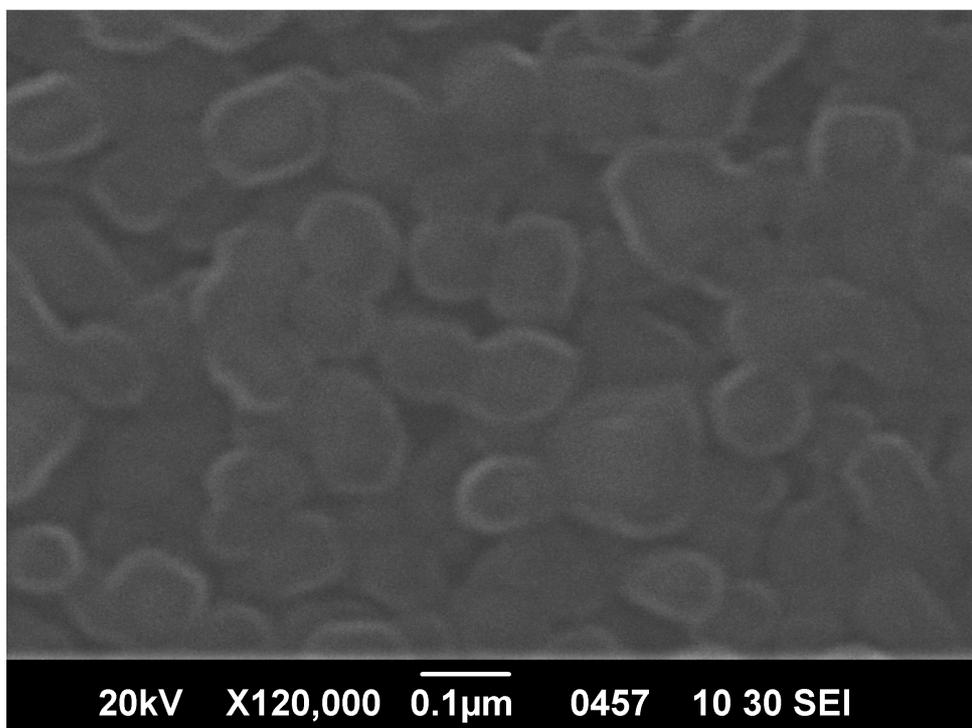
Δειγµατα	L(x)	W(y)	Rdark(y)	Rsolar(Y)
	cm	cm	Ω	Ω
ZnO 1x,95deg,2h	0,81	1,17	94729500	45701600
5h	0,8	0,94	61325500	1585000
10h	0,81	0,88	194814000	3907250
24h	0,84	0,93	651968000	12194400
48h	0,61	1,1	55363400	76577300
ZnO 3x,95deg,2h	0,91	1,12	379568000	212610000
5h	0,71	1,22	13319000	415002,163
10h	0,75	0,96	167819000	682439,669
24h	0,8	1,4	132957000	103408000
48h	0,8	1,16	333350000	1239720

Μετρήσεις δειγµάτων

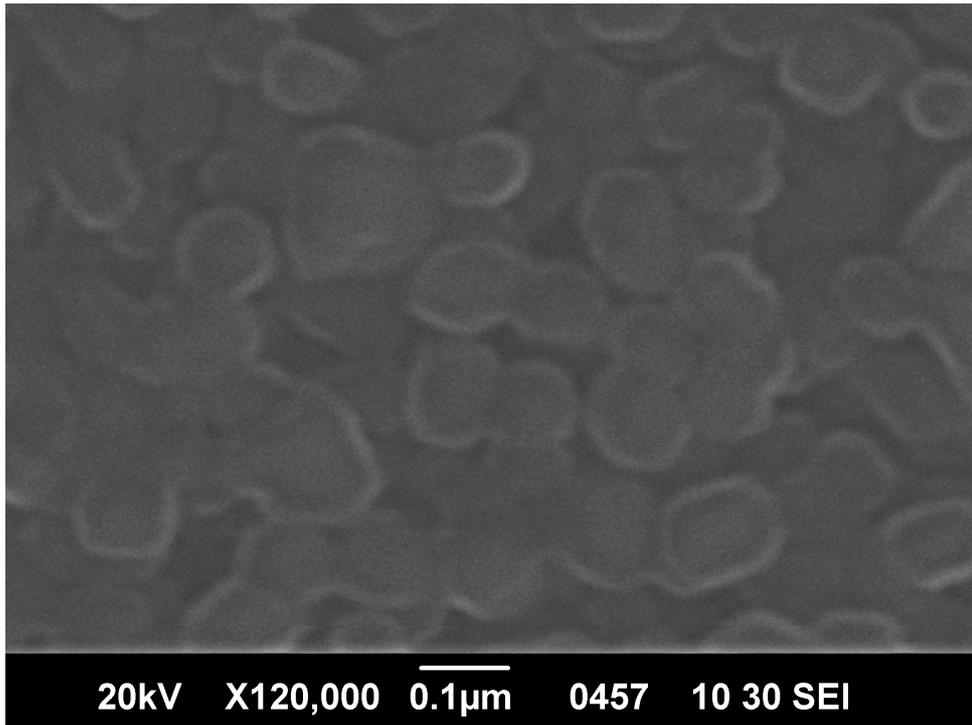
B3.5) Φωτογραφίες δειγμάτων από μικροσκόπιο:

Τέλος και αφού έχουμε ολοκληρώσει τις ηλεκτρικές μετρήσεις των δειγμάτων ,θα δούμε τα δείγματα μας στο μικροσκόπιο. Αυτό γίνεται για να δούμε την εικόνα του δείγματος μας σε μεγέθυνση πάντα. Αφού πρώτα τα καλύψουμε με άνθρακα τα τοποθετούμε στο μικροσκόπιο.

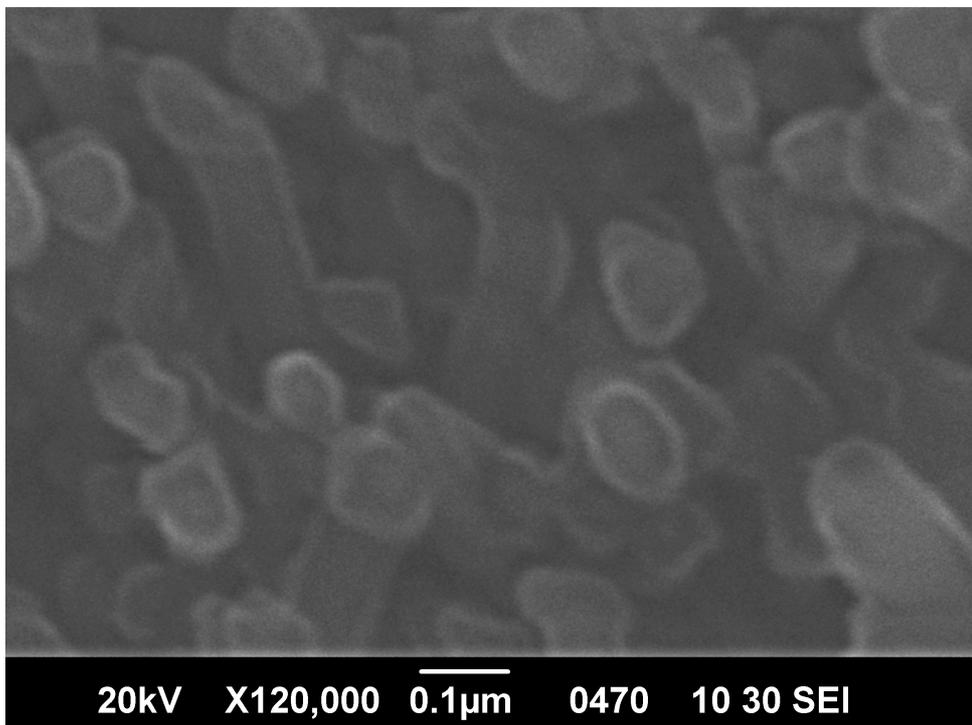
Ακλουθούν φωτογραφίες από μικροσκόπιο των δειγμάτων που υλοποιήθηκαν με τη μέθοδο asg. Πρόκειται για δείγματα 2,5,10,24 και 48 ωρών.



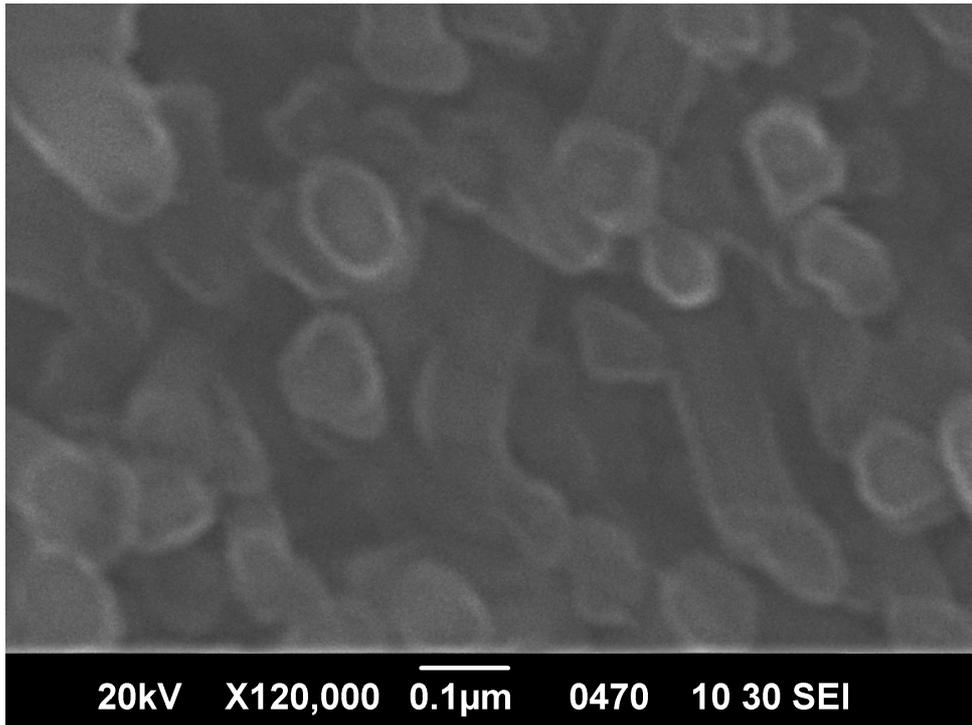
3 seed ,2h , 95 °C



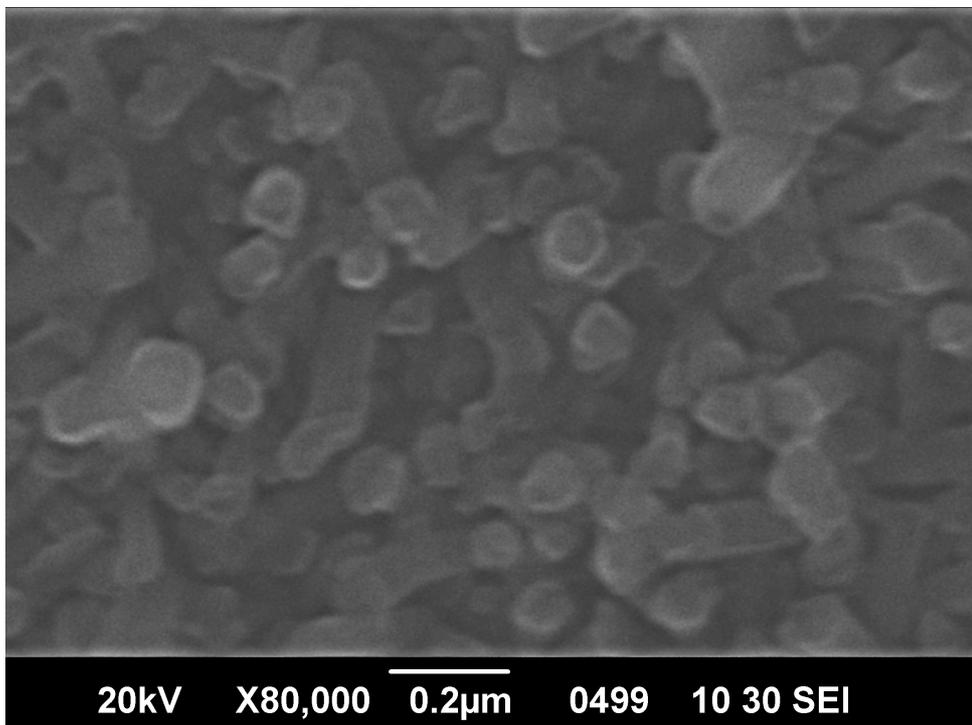
3 seed ,5h , 95 °C



3 seed ,10h, 95 °C



3 seed ,24h, 95 °C



3 seed ,48h , 95 °C

Όπως φαίνεται στις φωτογραφίες που προηγούνται δημιουργούνται λεπτά υμένα ZnO και κάθετες ράβδοι στο υπόστρωμα και όσο μεγαλώνει ο χρόνος που παραμένουν στο φούρνο αυτές πλαγιάζουν και μπλέκονται μεταξύ τους. Ακόμα αν παρατηρήσουμε προσεκτικά θα δούμε ότι αλλάζει και το πάχος των ράβδων καθώς και η απόσταση μεταξύ τους. Επίσης αν παρατηρήσουμε τα δείγματα βλέπουμε ότι οι ράβδοι αραιώνουν και πυκνώνουν με την πάροδο παραμονής τους στο φούρνο και αυτό συμβαίνει διότι το εναποτεθέν υλικό ξεκολλάει από το υπόστρωμα του δείγματος η μπορεί αλλού να ξεκολλάει και αλλού να μένει στη θέση του.

Για αυτόν το λόγο μπορεί ένα δείγμα 2 ωρών να έχει καλύτερες ιδιότητες από ένα των 24 ή 48 ωρών. Αλλά και πάλι αυτό δεν είναι απόλυτο. Εξαρτάται πάντα από την πυκνότητα και το πάχος και τη μορφή των ράβδων πάνω στο δείγμα. Όσο πιο κοντά είναι οι ράβδοι μεταξύ τους και όσο μεγαλύτερο πάχος και ύψος έχουν τόσο πιο εύκολα γίνεται η ροή των ηλεκτρονίων, αρά και τόσο καλύτερες ηλεκτρικές ιδιότητες θα έχει το δείγμα.

B3.6) Συμπεράσματα:

Όπως φαίνεται λοιπόν από τις μετρήσεις και τις χαρακτηρίστηκες των δειγμάτων, με τη μέθοδο αυτή (acg) έχουμε καλή αγωγιμότητα παρόλο που είμαστε πάλι σε χαμηλές θερμοκρασίες.

Έτσι λοιπόν όπως φαίνεται και από τον πίνακα η αντίσταση πέφτει όσο το δείγμα βρίσκεται υπό την επήρεια του φωτός κάτι που περιμέναμε να δούμε. Αυτό σημαίνει ότι τα δείγματα αυτά σε σχέση με τα άλλα στο σκοτάδι έχουν καλύτερες ηλεκτρικές ιδιότητες

B4) ΓΕΝΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΕΡΓΑΣΙΑΣ:

Αν συγκρίνουμε τις δυο τεχνικές που χρησιμοποιήσαμε και έχοντας σαν θερμοκρασίες αναφοράς τις θερμοκρασίες που χρησιμοποιήσαμε διαπιστώνουμε ότι η τεχνική acg έχει πιο πολλά πλεονεκτήματα από την sol-gel.

Τα δείγματα με την τεχνική acg παρουσιάζουν καλύτερη αγωγιμότητα σε σχέση με αυτά της sol-gel.

Τα δείγματα με την τεχνική acg έχουν καλύτερες ηλεκτρικές ιδιότητες.

Η τεχνική sol-gel είναι πιο απλή και πιο γρήγορα υλοποιήσιμη από την acg.

Στα δείγματα με την τεχνική sol-gel μπορούμε να υπολογίσουμε το πάχος τους ενώ σε αυτά με την acg όχι.

Στην τεχνική sol-gel στις πολύ χαμηλές θερμοκρασίες παρατηρήσαμε ότι το διάλυμα δεν στέγνωσε πάνω στο δείγμα.

Στην τεχνική acg είδαμε μέσω του μικροσκοπίου ότι η ομοιομορφία της επιφάνειας του δείγματος δεν είναι ανάλογη του χρόνου παραμονής αυτών στο φούρνο.

Στην τεχνική acg η αντίσταση των δειγμάτων έπεφτε κατά την πάροδο του χρόνου όταν τα μετρούσαμε υπό το φως λάμπας.

Με την τεχνική sol-gel δεν πήραμε ηλεκτρικές μετρήσεις διότι τα δείγματα είτε δεν είχαν αγωγιμότητα είτε παρουσίαζαν κάποια πολύ μικρή.

Τέλος θα μπορούσαμε να πούμε ότι στις θερμοκρασίες τις οποίες υλοποιήσαμε τα δείγματα μας, τα επιθυμητά αποτελέσματα ήταν απόρροια της τεχνικής εναπόθεσης ZnO acg.