



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
Διατμηματικό Πρόγραμμα
Μεταπτυχιακών Σπουδών (Δ.Π.Μ.Σ.)
**«ΕΠΙΣΤΗΜΗ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ
ΥΛΙΚΩΝ»**

**Ανάπτυξη και χαρακτηρισμός αισθητήρων ακετόνης
βασισμένων σε νανοσύνθετα λεπτά υμένια: ZnO:Au και
ZnO:Pd.**

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΑΛΕΞΙΑΔΟΥ ΜΑΛΑΜΑΤΕΝΙΑ

Διπλωματούχος Φυσικός Πανεπιστημίου Κρήτης

ΕΠΙΒΛΕΨΗ:

Δ.Ε. ΜΑΝΑΛΑΚΟΣ

Καθηγητής ΕΜΠ

ΑΘΗΝΑ, Ιανουάριος 2014



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
Διατμηματικό Πρόγραμμα
Μεταπτυχιακών Σπουδών (Δ.Π.Μ.Σ.)
**«ΕΠΙΣΤΗΜΗ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ
ΥΛΙΚΩΝ»**

**Ανάπτυξη και χαρακτηρισμός αισθητήρων ακετόνης
βασισμένων σε νανοσύνθετα λεπτά υμένια: ZnO:Au και
ZnO:Pd.**

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΑΛΕΞΙΑΔΟΥ ΜΑΛΑΜΑΤΕΝΙΑ

Διπλωματούχος Φυσικός Πανεπιστημίου Κρήτης

ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ:

Δ.Ε Μανωλάκος, Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Κ. Χαριτίδης, Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Ε. Χριστοφόρου, Καθηγητής Ε.Μ.Π.

ΑΘΗΝΑ, Ιανουάριος 2014

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα μεταπτυχιακή εργασία εκπονήθηκε στο Ινστιτούτο Θεωρητικής και Φυσικής Χημείας του Ιδρύματος Ερευνών, υπό την επίβλεψη της Σχολής των Χημικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσοβίου Πολυτεχνείου, στα Πλαίσια του Διατμηματικού Προγράμματος Σπουδών «Επιστήμη και Τεχνολογία Υλικών».

Αρχικά θεωρώ υποχρέωσή μου να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή της διπλωματικής μου εργασίας, κ. Δ. Μανωλάκο, Καθηγητή της σχολής Μηχανολόγων Μηχανικών του Ε.Μ.Π. για την ανάθεση και την συμβολή του σε κάθε φάση της δημιουργίας της παρούσας εργασίας. Η ολοκλήρωσή της θα ήταν αδύνατη χωρίς την πολύτιμη υποστήριξη και καθοδήγησή του.

Επιπλέον, εκφράζω ένα βαθύ ευχαριστώ στους Δρα Μιχάλη Κομπίτσα και Δρα Μαρία Κάνδουλα, ερευνητές του «Ινστιτούτου Θεωρητικής & Φυσικής Χημείας» του Εθνικού Ιδρύματος Ερευνών για την άριστη συνεργασία που είχαμε στα πλαίσια της ολοκλήρωσης αυτής της εργασίας καθώς και για την άμετρη βοήθεια και καθοδήγηση στη χρήση του εξοπλισμού του εργαστηρίου Εφαρμογών Laser.

Στη συνέχεια, θα ήταν μεγάλη παράλειψη να μην αναφέρω την Κα Παναγιώτα Κοράλη, υποψήφια διδάκτορα για την προθυμία της και τον πολύτιμο χρόνο που διέθεσε για να μου δώσει σημαντικά στοιχεία για την πραγματοποίηση αυτής της διπλωματικής. Ένα ιδιαίτερα μεγάλο «ευχαριστώ» και στον Κο Ηλία Χτζηθεωδορίδη, μέλος Δ.Ε.Π. της σχολής Μηχανικών Μεταλλείων Μεταλλουργών του Ε.Μ.Π. για τη διάθεση του ηλεκτρονικού μικροσκοπίου σάρωσης (SEM) και για την βοήθειά του στη διεξαγωγή των μετρήσεων. Καθώς και στην Μυρτώ Δαρδαβίλια, υποψήφια διδάκτορα της Σχολής Χημικών Μηχανικών του Ε.Μ.Π. για την πραγματοποίηση των μετρήσεων στο XRD.

Ευχαριστώ πολύ, την καλή μου φίλη Κουράση Μαρία, υποψήφια διδάκτορα του πανεπιστημίου του Southampton για τη συνεχή συμπαράσταση και τη στήριξή που μου προσέφερε καθόλη τη διάρκεια συγγραφής αυτής της εργασίας.

Τέλος θα ήθελα να εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου προς τους γονείς μου οι οποίοι υπήρξαν πάντα ένα ανεκτίμητο στήριγμα για εμένα και στους οποίους οφείλω όλη τη διαδρομή των σπουδών μου μέχρι σήμερα.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα εργασία παρουσιάζεται η ανάπτυξη και ο χαρακτηρισμός λεπτών υμενίων οξειδίου του ψευδαργύρου (ZnO) με νόθευση νανοσωματιδίων ευγενών μετάλλων. Συγκεκριμένα έγινε χρήση χρυσού (Au) και παλλαδίου (Pd). Αυτά τα υμένια μελετήθηκαν με σκοπό την χρήση τους σαν αισθητήρες αέριας ακετόνης.

Η ακετόνη αποτελεί επικίνδυνο προς εισπνοή αέριο από τους ανθρώπινους οργανισμούς. Η καθημερινή έκθεσή τους σε συγκεντρώσεις άνω των 500 ppm δημιουργεί προβλήματα υγείας, μπορεί όμως να παραχθεί και από τον ίδιο τον ανθρώπινο οργανισμό σε περιπτώσεις ασθενειών. Εκτός από τους έμβιους οργανισμούς, η ακετόνη δημιουργεί προβλήματα και στο περιβάλλον καθιστώντας την ανίχνευσή της μείζονος σημασίας.

Η μελέτη των αισθητήρων πραγματοποιήθηκε σε μια πειραματική διάταξη αποτελούμενη από: θάλαμο κενού, την συσκευή στήριξης, θέρμανσης και μέτρησης της ηλεκτρικής αντίστασης των υμενίων, τη βάση στήριξης του αισθητήρα, το σύστημα διαχείρισης αερίων και τα απαραίτητα ηλεκτρονικά όργανα. Η πίεση στον θάλαμο ήταν στατική γεγονός που προσομοιάζει τις κανονικές συνθήκες λειτουργίας του αισθητήρα σε βιομηχανικές εφαρμογές μιας και λαμβάνεται υπόψη η διάχυση της ακετόνης στο χώρο.

Μονοστρωματικά υμένια ZnO (ημιαγωγοί τύπου n) αναπτύχθηκαν με τη μέθοδο της παλμικής εναπόθεσης με laser και εν συνεχεία έγινε πάνω τους εναπόθεση νανοσωματιδίων χρυσού και παλλαδίου. Τα υμένια αναπτύχθηκαν κάτω από τις ίδιες συνθήκες, πίεση οξυγόνου 20 Pa και ροή ενέργειας του ND:YAG ήταν 24 mJ/pulse. Στα πρώτα δύο υμένια η εναπόθεση κράτησε 2 ώρες ενώ στα δεύτερα 3 ώρες. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα τα υμένια να διαφέρουν ως προς το πάχος τους. Η εναπόθεση των σωματιδίων Au, Pd έγινε και πάλι με την μέθοδο της παλμικής εναπόθεσης για ένα και δύο λεπτά. Ο χαρακτηρισμός των υμενίων έγινε με τις εξής μεθόδους: SEM, XRD, AFM.

Στην παρούσα εργασία βρέθηκε ότι η εναπόθεση νανοσωματιδίων ευγενών μετάλλων επέδρασε θετικά στην ανίχνευση ακετόνης. Όσο μεγαλύτερη ποσότητα σωματιδίων υπάρχει στο οξείδιο, τόσο μικρότερες συγκεντρώσεις ακετόνης μπορούμε να ανιχνεύσουμε σε χαμηλότερη θερμοκρασία λειτουργίας. Η θερμοκρασία λειτουργίας στην οποία έγινε η ανίχνευση της ακετόνης ήταν από 155°C - 200°C. Η μικρότερη συγκέντρωση ακετόνης που ανιχνεύτηκε ήταν 26 ppm στους T=200°C. Το αποτέλεσμα είναι θετικό καθώς στην βιομηχανία χαμηλές θερμοκρασίες λειτουργίας των αισθητήρων, σημαίνουν χαμηλό κόστος λειτουργίας. Η αύξηση του πάχους των υμενίων υπερέιχε του χρόνου απόκρισης, ο οποίος στα πιο παχιά υμένια μειώθηκε κατά πολύ. Η απόκριση αυξήθηκε στο παχύτερο δείγμα ZnO:Pd (3h+2min).

ABSTRACT

This thesis presents the development and characterization of zinc oxide (ZnO) thin films, doped with noble metal nanoparticles, such as gold (Au) and palladium (Pd). The films were tested as acetone sensors.

Inhaling of acetone is harmful for the human health. Daily exposure in acetone concentrations above 500 ppm causes health problems. Furthermore, acetone can be produced by the human body in case of diseases. Apart from being harmful for the human health, acetone can also cause problems for the environment. Therefore, efficient and low cost acetone sensors are indispensable.

The experimental setup for gas sensing measurements consists of: a vacuum chamber, the pump that evacuates chamber, the gas management system, the pump and the necessary electrical organs. The chamber pressure was static in order to simulate the real working conditions of the sensor for industrial applications, where the diffusion of acetone in the atmosphere needs to be taken into account.

The semiconducting (n type) zinc oxide thin films were developed using the pulsed layer deposition (PLD) method. Nanoparticles of gold and palladium were subsequently deposited on the surface of the films by PLD. The films were deposited under 20 Pa dynamic oxygen pressure. The energy of the ND:YAG laser pulses was 24 mJ/pulse. The deposition lasted for two hours for some samples and for three hours for the other samples, therefore we prepared ZnO films of varying thickness. The Au and Pd nanoparticles were carried out with 24 mJ/pulse under vacuum and lasted one and two minutes. For the films characterization was used those methods: SEM, XRD, AFM.

We find that the presence of the nanoparticles has a positive effect on the detection of acetone. As the quantity of metallic nanoparticles on the ZnO surface increases, the operating temperature, for which small concentrations of acetone are detected, decreases. The operating temperature of the sensors was in the range 155°C-200°C which leads to lower power consumption and increased operating safety compared to other metal oxide acetone sensors which operate at higher temperatures. The lowest acetone concentration that was detected in this thesis was 26 ppm with operating temperature, 200°C. The response time of the sensors decreased for thicker ZnO films. The maximum response was given by the thicker film.

ΠΕΡΙΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται μια εισαγωγή στις θεωρίες που διέπουν τα υλικά που βρίσκονται στην στερεά κατάσταση της ύλης και δίνονται βασικοί ορισμοί για την κρυσταλλική δομή και τις ιδιότητες των στερεών ως απόρροιά της. Επιπρόσθετα, γίνεται αναφορά στο ημιαγώγιμο οξειδίο που μελετήσαμε. Έπειτα δίνεται ο ορισμός των λεπτών υμενίων και περιγράφονται οι τρόποι ανάπτυξής τους.

Στο δεύτερο κεφάλαιο, αναλύονται οι μηχανισμοί της αίσθησης των αερίων από κρυσταλλικά μεταλλικά οξείδια αλλά και τα κριτήρια επιλογής τους ως υλικά ανίχνευσης αερίων. Στη συνέχεια γίνεται αναφορά στο αέριο πάνω στο οποίο γίνεται η μελέτη, την ακετόνη. Τέλος γίνεται επισκόπηση της βιβλιογραφίας όσον αφορά στα υλικά που έχουν χρησιμοποιηθεί σαν αισθητήρες ακετόνης.

Στο τρίτο κεφάλαιο περιγράφονται οι πειραματικές διαδικασίες, εναπόθεσης των υμενίων, ο τρόπος εξαγωγής των ηλεκτρικών μετρήσεων, καθώς και οι μέθοδοι οι οποίες ταυτοποιούν την κρυσταλλική τους δομή, την σύστασή τους και τα χαρακτηριστικά της επιφάνειάς τους.

Στο τέταρτο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων μας και τα αποτελέσματα χαρακτηρισμού των αισθητήρων. Τέλος αναφέρονται τα συγκεντρωτικά συμπεράσματα που εξήχθησαν από τα πειράματα και οι μελλοντικοί στόχοι που απορρέουν από αυτά για την περαιτέρω έρευνα και βελτίωση της αίσθησης των υλικών μας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1- ΛΕΠΤΑ ΥΜΕΝΙΑ ΗΜΙΑΓΩΓΙΜΩΝ ΟΞΕΙΔΙΩΝ

- 1.1 Η ηλεκτρονιακή δομή των στερεών και οι ηλεκτρικές τους ιδιότητες.
 - 1.1.1. Η Διάταξη των ηλεκτρονίων σε ενεργειακές στάθμες –Ατομική Θεωρία (σελ. 1)
 - 1.1.2. Η Διάταξη των ενεργειακών ζωνών σε μοριακές δομές- Θεωρία Ζωνών (σελ. 2-3)
 - 1.1.3. Οι ηλεκτρικές ιδιότητες των στερεών συναρτήσει της θερμοκρασίας, ως απόρροια της δομής τους. (σελ. 3-5)
 - 1.1.3.1. Βελτιστοποίηση ηλεκτρικών ιδιοτήτων ημιαγωγών με εμπλουτισμό ξένων ατόμων. (σελ. 5-7)
 - 1.1.4. Χαρακτηρισμός δομής ανάλογα με την δυνατότητα πρόβλεψης της θέσης των ατόμων της. (σελ. 7)
 - 1.1.4.1. Βασικοί ορισμοί. (σελ. 7-8)
 - 1.1.4.2. Τρόποι απόκλισης από τον ιδανικό κρύσταλλο-Ατέλειες. (σελ. 8-9)
 - 1.1.4.3. Ο μηχανισμός της διάχυσης των ατόμων στα όρια των κόκκων. (σελ 9)
 - 1.1.4.4. Συστηματική μελέτη κρυσταλλικών δομών. (σελ. 10)
 - 1.1.5. Οξείδιο του ψευδαργύρου ZnO. (σελ. 11-13)
- 1.2. Λεπτά υμένια -ορισμός. (σελ. 13-14)
 - 1.2.1. Τρόποι ανάπτυξης λεπτών υμενίων. (σελ. 14-15)
 - 1.2.1.1. Χημική εναπόθεση. (σελ. 15-16)
 - 1.2.1.2. Φυσική εναπόθεση. (σελ. 16)
 - 1.2.2. Παλμική εναπόθεση με Laser. (σελ. 16-17)
 - 1.2.2.1. Βασικές αρχές λειτουργίας PLD (σελ. 17-19)
 - 1.2.2.2. Αλληλεπίδραση laser-στόχου ανάλογα με την διάρκεια του παλμού. (σελ. 19-20)
 - 1.2.2.2.1. Αλληλεπίδραση laser-στόχου με παλμούς nanosecond. (σελ. 20-22)
 - 1.2.2.3. Αδιαβατική εκτόνωση του πλάσματος και εναπόθεση λεπτών υμενίων. (σελ. 22)
 - 1.2.2.4. Φωτοαποδόμηση με παλμικό laser σε ατμόσφαιρα δραστικού αερίου. (σελ. 23)
 - 1.2.2.5. Σχηματισμός και ανάπτυξη υμενίου. (σελ. 23-24)
 - 1.2.2.6. Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της μεθόδου. (σελ. 24)
 - 1.2.2.6.1. Υψηλό κενό και περιβάλλον αέριο. (σελ. 24-25)
 - 1.2.2.6.2. Μικρό μέγεθος στόχου. (σελ. 25)
 - 1.2.2.6.3. Μεταφορά της στοιχειομετρίας. (σελ. 25-26)
 - 1.2.2.6.4. Ιόντα μεγάλης κινητικής ενέργειας. (σελ. 26-27)
 - 1.2.2.6.5. Ρυθμιζόμενη ενέργεια σωματιδίων. (σελ. 27-28)
 - 1.2.2.6.6.Κόστος και ποιότητα. (σελ. 28)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2- ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ ΑΕΡΙΩΝ

2.1. Αίσθηση Αερίων

2.1.1. Ορισμός αίσθησης. (σελ. 29)

2.1.2. Ιστορία-Εφαρμογές-Προκλήσεις για την παραπέρα μελέτη του μηχανισμού της αίσθησης. (σελ. 29-32)

2.1.3. Κατηγορίες αισθητήρων. (σελ. 32)

2.1.4. Χαρακτηριστικά αισθητήρων. (σελ. 33-35)

2.1.5. Βασικές αρχές στην ανίχνευση αερίων από αισθητήρες ημιαγωγικών μεταλλικών οξειδίων. (σελ 35-36)

2.1.5.1. Χημεία επιφανειών. (σελ. 36-40)

2.1.5.2. Μοντέλο μεταφοράς φορτίου. (σελ. 40-41)

2.1.5.3. Εξειδίκευση στα πολυκρυσταλλικά οξείδια μετάλλων. (σελ 42-43)

2.1.6. Δυνατότητες της δομικής μηχανικής για την βελτιστοποίηση αισθητήρων από μεταλλικά οξείδια. (σελ. 43-44)

2.1.7. Κριτήρια επιλογής υλικού ανίχνευσης. (σελ. 45)

2.1.7.1. Επιλογή υλικού ανίχνευσης ανάλογα με τις ιδιότητες της επιφάνειάς του. (σελ. 45)

2.1.7.1.1. Πυκνότητα επιφανειακών καταστάσεων. (σελ. 45-46)

2.1.7.1.2. Παράμετροι προσρόφησης/εκρόφησης. (σελ. 46-47)

2.1.7.1.3. Καταλυτική δραστηριότητα (σελ. 47)

2.1.7.2. Επιλογή υλικού ανίχνευσης βάσει των ηλεκτρικών και φυσικών του ιδιοτήτων. (σελ. 48-49)

2.1.7.3. Ο ρόλος της σταθερότητας για την επιλογή του υλικού ανίχνευσης. (σελ. 49-51)

2.1.7.4. Ο ρόλος της δομής και της τεχνολογίας. (σελ. 51)

2.1.7.4.1. Δομικές παράμετροι υλικών ανίχνευσης. (σελ. 52)

2.1.7.4.2. Ικανότητα παραγωγής υλικών ανίχνευσης σε βιομηχανική κλίμακα (σελ. 52-53)

2.1.8. Αέριο προς ανίχνευση Ακετόνη. (σελ. 53-54)

2.1.9. Βιβλιογραφική ανασκόπηση υλικών και μεθόδων ανάπτυξής τους με σκοπό την χρήση τους ως αισθητήρες ακετόνης. (σελ. 54-55)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3- ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΕΣ ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ

- 3.1. Εναπόθεση λεπτών υμενίων με ένα laser. (σελ.56)
 - 3.1.1. Nd:YAG laser (σελ.57)
 - 3.1.2. Θάλαμος εναπόθεσης (σελ.57)
 - 3.1.3. Συσκευή για θέρμανση και στήριξη του υποστρώματος (σελ. 57-58)
 - 3.1.4. Μετρήσεις πίεσης (σελ. 59)
 - 3.1.5. Αντλίες (σελ. 59-60)
- 3.2. Πειραματική διαδικασία ανάπτυξης λεπτών υμενίων με τη μέθοδο της παλμικής εναπόθεσης (σελ. 61)
 - 3.2.1. Προετοιμασία δείγματος (σελ. 61-62)
 - 3.2.2. Διαδικασία εναπόθεσης υμενίων (σελ. 62)
 - 3.2.3. Διαδικασία εναπόθεσης νανοσωματιδίων Au, Pd (σελ. 63)
- 3.3. Ανάπτυξη και περιγραφή της διάταξης μελέτης αισθητήρων (σελ 63)
 - 3.3.1. Θάλαμος κενού (σελ. 63-64)
 - 3.3.2. Συσκευή στήριξης θέρμανσης και μέτρησης ηλεκτρικής αντίστασης των υμενίων (σελ 64-66)
 - 3.3.3. Σύστημα διαχείρισης Αερίων (σελ. 66-67)
 - 3.3.4. Το σύνολο των ηλεκτρικών οργάνων (σελ. 67-68)
- 3.4. Πειραματική διαδικασία ανίχνευσης ακετόνης. (σελ. 68-70)
- 3.5. Η μέθοδος XRD (X Ray Diffraction) (σελ.70-71)
 - 3.5.1. Περίθλαση ακτίνων X. Νόμος σκέδασης ή συνθήκη Bragg (σελ.71-72)
 - 3.5.2. Πειραματική διάταξη XRD (σελ. 72-74)
- 3.6. Μικροσκόπιο ατομικής δύναμης-AFM (σελ. 74)
 - 3.6.1. Βασικές αρχές λειτουργίας του AFM (σελ.75-77)
 - 3.6.1.1. Οι ανιχνευτές του AFM (σελ. 77-78)
 - 3.6.2. Τρόποι λειτουργίας απεικόνισης του AFM. (σελ. 78-79)
 - 3.6.2.1. Περιοχή ημιστατικής επαφής (contact mode) (σελ. 79)
 - 3.6.2.2. Περιοχή ταλαντούμενης επαφής (Non –contact mode) (σελ. 80)
 - 3.6.2.3. Περιοχή διακοπτόμενης επαφής (taping mode) (σελ. 80)
- 3.7. Ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης (Scanning Elecreon Microscope-SEM) και φασματοσκοπία διασποράς ενέργειας ακτίνων X –energy dispersive X ray spectroscopy EDX (σελ. 80)
 - 3.7.1. Αρχή λειτουργίας (σελ. 80-83)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4- ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΜΕΛΕΤΗ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ

- 4.1. Χαρακτηρισμός αισθητήρων
 - 4.1.1. Αποτελέσματα περίθλασης Ακτίνων X-XRD (σελ. 84-85)
 - 4.1.2. Αποτελέσματα Ατομικού μικροσκοπίου δύναμης (AFM) (σελ. 85-90)
 - 4.1.3. Αποτελέσματα Ηλεκτρονικής μικροσκοπίας σάρωσης (SEM) (σελ. 91-93)
 - 4.1.4. Αποτελέσματα μέτρησης πάχους- Προφιλόμετρο (93-94)
- 4.2. Δείγματα με στόχο την εφαρμογή τους σε αισθητήρες αερίου (σελ. 94-97)
 - 4.1.1. Αποτελέσματα ανίχνευσης ακετόνης (σελ. 97-106)
 - 4.2.2. Επίδραση της θερμοκρασίας λειτουργίας στην απόκριση του αισθητήρα (σελ. 107-109)

4.2.3. Επίδραση της θερμοκρασίας λειτουργίας στον χρόνο απόκρισης του αισθητήρα. (σελ. 109-112)

4.2.4. Επίδραση νανοσωματιδίων χρυσού και παλλαδίου στον χρόνο απόκρισης του αισθητήρα. (σελ.112-114)

4.2.5. Επίδραση των νανοσωματιδίων χρυσού και παλλαδίου στον χρόνο απόκρισης του αισθητήρα. (σελ. 114-116)

4.2.6. Περιγραφή του μηχανισμού επίδρασης νανοσωματιδίων Au και Pd στις ιδιότητες του ZnO. (σελ. 116-117)

4.3. Συμπεράσματα και μελλοντικοί στόχοι (σελ. 118)

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- {1} Δέρβος, Κωνσταντίνος; Βασιλείου Παναγιώτα (2009). «ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΑ ΥΛΙΚΑ ΣΗΜΕΙΩΣΕΙΣ.» 3ο Κεφάλαιο, Οι ηλεκτρικές ιδιότητες των υλικών. Αθήνα: Εθνικό Μετσόβειο Πολυτεχνείο.
- {2} Γ.Μ. Τσαγκαράκης, Δομή και ιδιότητες της στερεάς Κατάστασης, ΕΜΠ, Αθήνα 2001
- {3} Γ.Δ. Χρυσουλάκης, Δ.Ι. Παντελής, Επιστήμη και τεχνολογία των μεταλλικών υλικών, Εκδόσεις Παπασωτηρίου, Αθήνα 2003
- {4} C. Klingshirm, Chemical Physics and Physical Chemistry 8 (2007) 782
- {5} J. Hanes and J. N. Leger, Physica B 192 (1993), 233
- {6} S. H. Hahn, N. Barsan, U. Weimar, S.G. Ejakov, J.H. Visser, R.E. Soltis, Thin Solid Films 436 (2003) 17
- {7} G. Korotccenkov, Review, Materials Science and Engineering B 139 (2007) 1
- {8} Dr Geoff Martin, Engineering Coordinator Andor Technology Ltd, pulsed laser deposition and plasma plume investigations, Application note
- {9} Φ. Ρουμπάνη-Καλατζοπούλου, Μ. Κομπίτσας, Στοιχεία Φασματοσκοπίας και εφαρμογές των laser στη Χημεία, ΕΜΠ Απρίλιος 2000
- {10} Handbook of laser-Induced Breakdown Spectroscopy, David A. Cremers and Leon Radziemski, Wiley, England 2006, p.44-45
- {11} J. Ylänen, P Vuoristo Use of pulsed laser deposition in the production of thin films-a literature review, Tampere University of Technology, Institute of Material science, Report March 2006
- {12} <http://www.tkk.fi/Units/AES/projects/prlaser/thesis/thesis.html>
- {13} Διπλωματική εργασία Μαρία Αντωνιάδου, Χρήση λεπτών υμενίων NiO ως υλικό αίσθησης για την ανίχνευση υδρογόνου, Σχολή Χημικών Μηχανικών, Τομέας Επιστήμης και Τεχνολογίας Υλικών, ΕΜΠ 2008
- {14} Hans-Ulrich Krebs et al., Versatile thin film technique, p 1-14
- {15} Ερμ. Τυλιπάκη, Μέθοδος προσδιορισμού οπτικών ιδιοτήτων και πάχους λεπτών υμενίων ZnO που έχουν παραχθεί με τη μέθοδο της παλμικής εναπόθεσης με Laser, μεταπτυχιακή εργασία, τμήμα Χημικών Μηχανικών, Τομέας Επιστήμης και Τεχνολογίας των υλικών, ΕΜΠ , Αθήνα 2004
- {16} R. Eason, Pulsed laser deposition of thin films, Willwy USA 2007, σελ 191,192
- {17} D. Bäuerle, laser Processing and Chemistry, 2nd Edition, Springer, New York 1996, σελ,405-408

- {18} Ασπ. Σαράντη, Ανάπτυξη λεπτών υμενίων Ta, TaO_x και Ti_xNi_y με παλμική εναπόθεση με laser – Μέθοδος μείωσης των σωματιδίων με τη χρήση δεύτερου παλμικού Laser , Διπλωματική Εργασία, Τμήμα Χημικών Μηχανικών, Τομέας Επιστήμης και Τεχνολογίας των υλικών, ΕΜΠ, Αθήνα 2002
- {19} E. Gyorgy, I.N. Mihailescu, M. Kompitsas, A. Giannoudakos, Thin Solid Films 446 (2004) 178
- {20} E. Gyorgy, I.N. Mihailescu, M. Kompitsas, A. Giannoudakos, Applied Surface Science 195 (2002) 270
- {21} J.M.A.C. Pires Ph.D. Thesis, Thin Film for gas sensors
- {22} Δ. Βλάχος, Διδακτορική διατριβή, Αισθητήρες αερίων οξειδίων μετάλλων και η χρήση τους σε συστήματα τεχνητής όσφρησης
- {23} E. Comini, Review, Analytica Chimica Acta 568 (2006)28
- {24} N. Barsan, Sensors and Actuators B 121 (2007) 18
- {25} G. Kerotcenkov, V. Golovanov, V. Brinzari, A. Cornet, J. Morante, M. Ivaniv, Journal of physics (conference series) 15 (2005) 256
- {26} A. Friedberger, P. Kreisl, E. Rose, G. Muller, G Kuhner, J. Wollenstein, H. Bottner, Sensors and actuators B 93 (2003) 345
- {27} J. Hildenbrand, Diploma thesis, Simulation and Characterisation of a Micromachined Gas Sensor and Preparation for Model Order Reduction
- {28} Φ. Ρουμπάνη –Καλατζοπούλου, Χημική κινητική κατάλυση, ΕΜΠ, Αθήνα 1998
- {29} Ι.Χανδρινός, Στοιχεία-Αρχές Χημικής Κινητικής και Κατάλυσης, ΕΜΠ, Αθήνα 1997
- {30} M.E. Franke, T.J. Koplin, U. Simon, Metal and metal oxide nanoparticles in chemiresistors: does the nanoscale matter? Small 2 (2006) 36–50.
- {31} J. Haines and J.N. Leger, Physica B 192 (1993), 233.
- {32} Σταματάκη Μαρία, «Ανάπτυξη λεπτών υμενίων NiO με τη μέθοδο της Παλμικής Εναπόθεσης με Laser (PLD) και χαρακτηρισμός τους», Αθήνα, Οκτώμβριος 2006
- {33} S. Capone et al, Journal of Optoelectronics and Advanced Materials 5 (2003) 1335
- {34} G. Korotchenkov, sensors and Actuatos B: Chem 107 (2005) 209
- {35} Panchapakesan, R Cavicchi, S. Semancik, D DeVoe, Nanotechnology 17 (2006) 415
- {36} T. Sahm, A Gurlo, N. Barsan, U. Weimar, S.G. Ejakov, J.H. Visser, R.E. Soltis, Thin Solid Films 490 (2005) 43
- {37} M. Fleidcher, M. Meixner, Sensors and Actuators B: Chem, 43 (1997) 1

- {38} P.R. Willmott, Progress in Surface Science 76 (2004) 163
- {39} Shurong Wang n, LiweiWang,TailiYang, Xianghong Liu, Jun Zhang, Baolin Zhu, Shoumin Zhang, Weiping Huang,Shihua Wu, Journal of Solid State Chemistry 183 (2010) 2869–2876
- {40} Xiaochuan Liu, Huiming Ji, Yanfei Gu, Mingxia Xu, } Materials Science and Engineering B 133 (2006) 98–101
- {41} P.A. Murade, V.S. Sangawar, G.N. Chaudhari, V.D. Kapse ,A.U. Bajpeyee, Current Applied Physics 11 (2011) 451-456
- {42} J. K. Srivastava, Preeti Pandey, V. N. Mishra, R. Dwivedi, Journal of Natural Gas Chemistry 20(2011)179–183
- {43} Yidong Zhang, Weiwei He, Hongxiao Zhao, Pinjiang Li, Vacuum 95 (2013) 30-34
- {44} Marco Righettonia, Antonio Tricoli , Samuel Gassa, Alex Schmid, Anton Amann, Sotiris E. Pratsinis, Analytica Chimica Acta 738 (2012) 69– 75
- {45} R.S. Khadayate, J.V. Sali, P.P. Patil, Talanta 72 (2007) 1077–1081
- {46} Peng Gao, Huiming Ji, Yugui Zhou, Xiaolei Li, Thin Solid Films 520 (2012) 3100–3106
- {47} Jichao Shi, Gujin Hu, Yan Sun, Ming Geng, Jie Wu, Yufeng Liua, Meiyang Ge, Junchao Tao, Meng Cao, Ning Dai, Sensors and Actuators B 156 (2011) 820– 824
- {48} X.B. Li, S.Y.M F.M.Li, Y.Chen b, Q.Q.Zhang, X.H.Yang, C.Y.Wang, J.Zhu, Materials Letters100 (2013) 119–123.
- {49} Huiqing Fan, Xiaohua Jia, Solid State Ionics 192 (2011) 688–692
- {50} N.H. Al-Hardana, M.J. Abdullah, A. Abdul Aziz, Applied Surface Science 270 (2013) 480– 485
- {51} Yi Zeng, Tong Zhang, Mingxia Yuan, Minghui Kanga, Geyu Lua, Rui Wanga, Huitao Fan, Yuan He, Haibin Yang, Sensors and Actuators B 143 (2009) 93–98
- {52} Xin-jun Wang, Wei Wang, Yan-Li Liu, Sensors and Actuators B 168 (2012) 39– 45
- {53} Xueda Li, Yongqin Chang, Yi Long, Materials Science and Engineering C 32 (2012) 817–821
- {54} C.S. Prajapati,P.P.Sahay, Materials Science in Semiconductor Processing 16 (2013) 200–210
- {55} N.H. Al-Hardan M.J. Abdullah, A. Abdul Aziz, Applied Surface Science 270 (2013) 480– 485
- {56} Φασάκη Ιωάννα, « Ανάπτυξη Συστήματος Ανίχνευσης Υδρογόνου με βάση λεπτά υμένια NiO και TiO₂ και μελέτη λεπτών υμενίων ZnO για την οπτοηλεκτρονική» Αθήνα, 2009
- {57} Leybold-Heraeus, Vacuum Components and Standard Systems Division, Ctalogue HV 250

- {58} A. Chambers, R.K. Fitch, B.S. Halliday, Basic vacuum technology, Institute of Physics Publishing Bristol and Philadelphia, 1995.
- {59} Φ. Ρουμπάνη-Καλτζοπούλου, Μ. Κομπίτσας, «Εφαρμογές των Laser στην Χημεία» ΕΜΠ, Σεπτέμβριος 2005
- {60} ASM Handbook, material Characterization, Volume 10, Εκδόσεις ASM Internationan, 1998
- {61} Brundle R.C. Evans A.Ch., Wilson S., Materials Characterization, Εκδόσεις Butterworth-Heinemann and Manning Publications, 1992.
- {62} Κοράλη Παναγιώτα, «Μικρο-επεξεργασία λεπτού υμενίου (Mo) με laser για εφαρμογή στην φωτοβολταϊκή τεχνολογία», Αθήνα ,2010
- {63} Ηλεκτρική μικροσκοπία και μικροανάλυση Δρ. Φουρλαρης, Σημειώσεις ηλεκτρονικής μικροσκοπίας και μικροανάλυσης
- {64} L.F. Reyes, A. Hoel, S.Sauko, P. Heszler, V. Lantto, C.G. Granqvist, Sensors and Actuators B 117 (2006) 128
- {65} Park, 2011
- {66} B.C. MacDonald & Co, 2011)
- {67} Gadelmawla et al., 2002
- {68} H. Xia, Y. Wang, F. Kong, S. Wang, B. Zhu, X. Guo, et al., Au-doped WO₃-based sensor for NO₂ detection at low operating temperature, Sensors and Actuators B-Chemical 134 (2008) 133–139.
- {69} T. Gao, T.H. Wang, Synthesis and properties of multipod-shaped ZnO nanorods for gas-sensor applications, Applied Physics A-Materials Science and Processing 80 (2005) 1451–1454.
- {70} H. Teterycz, P. Halek, K. Wiśniewski, G. Halek, T. Koźlecki, I. Polowczyk, Oxidation of hydrocarbons on the surface of tin dioxide chemical sensors, Sensors 11 (2011) 4425–4437.
- {71} N.H. Al-Hardan, M.J. Abdullah, A. Abdul Aziz, Performance of Cr-doped ZnO for acetone sensing 484
- {72} R.S. Khadayate, J.V. Sali, P.P. Patil, Talanta 72 (2007) 1077.
- {73} S. Nicoletti et al. Sensors and Actuators B60 (1999) 90
- {74} S.R. Morrison, Sensors and Actuators 12 (1987) 425
- {75 } L.F. Reyes, A. Hoel, S. Saukko, P. Heszler, V. Lannto, C. G. Granqvist, Sensors and Actuators B 117 (2006) 128

ΒΙΟΓΡΑΦΙΚΟ ΣΗΜΕΙΩΜΑ

ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ: ΑΛΕΞΙΑΔΟΥ ΜΑΛΑΜΑΤΕΝΙΑ

ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΓΕΝΝΗΣΗΣ: 22-02-1987

ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΚΑΤΟΙΚΙΑΣ: Δήλου 12, Γαλάτσι, Αθήνα

ΤΗΛΕΦΩΝΟ ΚΑΤΟΙΚΙΑΣ: 210-2930288, 6978125333

ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΟΥ ΤΑΧΥΔΡΟΜΙΟΥ: alexiadoumel@gmail.com

ΣΠΟΥΔΕΣ:

2013: Απόφοιτη του Διατμηματικού Προγράμματος Σπουδών «Επιστήμη και Τεχνολογία Υλικών» του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου της Σχολής Χημικών Μηχανικών.
Τίτλος Μεταπτυχιακής εργασίας: Ανάπτυξη και χαρακτηρισμός αισθητήρων ακετόνης βασισμένα σε νανοσύνθετα λεπτά υμένια: ZnO:Au και ZnO:Pd.
Ο χαρακτηρισμός των λεπτών υμενίων έγινε με χρήση των εξής μηχανημάτων: SEM, XRD, AFM

2011: Πτυχίο Φυσικής, Σχολή Θετικών Επιστημών, Πανεπιστημίου Κρήτης

ΣΕΜΙΝΑΡΙΑ/ ΣΥΝΕΔΡΙΑ:

2011: EUREM (European Energy Manager)-Ελληνογερμανικό Επιμελητήριο.

2011: Συμμετοχή στο 2^ο Συμπόσιο της Πανελληνίας Ένωσης Εκπαιδευτικών Πολιτιστικών Θεμάτων (Π.Ε.Ε.ΠΟ.ΘΕ.)

2012: Συμμετοχή στο Ecotourism Carbontour Conference.

ΞΕΝΕΣ ΓΛΩΣΣΕΣ

Αγγλικά : Certificate of Lower in English (University of Cambridge)

Γερμανικά : Zertifikat Deutsch (Goethe Institute)

ΓΝΩΣΕΙΣ Η/Υ

Γενικές γνώσεις λειτουργίας και αρχιτεκτονικής υπολογιστών (hardware)

Γνώσεις Προγραμματισμού σε γλώσσα Fortran

Άψογη χρήση εφαρμογών Microsoft Office (word, excel, power point, κλπ.)

Χρήση προγραμμάτων Origin, Picolog

ΠΡΟΣΩΠΙΚΑ ΕΝΔΙΑΦΕΡΟΝΤΑ

Γνώσεις Σολφέζ-Πιάνου

Συμμετοχή σε ερασιτεχνική Θεατρική Ομάδα

Κολύμβηση