

ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΚΑΙ ΜΕΛΕΤΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ, ΔΟΜΙΚΩΝ ΚΑΙ ΝΑΝΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ ΛΕΠΤΩΝ ΥΜΕΝΙΩΝ NiO

Κουτουλάκη Αδαμαντία^{1,2}, Φασάκη Ιωάννα^{1,2}, Κομπίτσας Μιχάλης²,
Χαριτίδης Α. Κωνσταντίνος¹

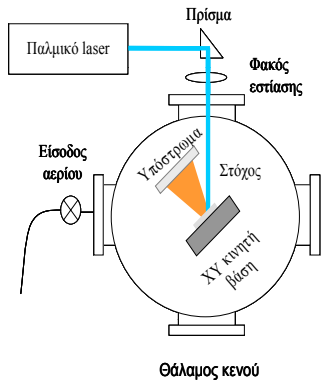
1. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο (ΕΜΠ), Σχολή Χημικών Μηχανικών, Ηρώων Πολυτεχνείου 9, 15780, Ζωγράφου, Αθήνα

2. Εθνικό Ίδρυμα Ερευνών, Ινστιτούτο Θεωρητικής και Φυσικής Χημείας, Λεωφόρος Βασιλέως Κωνσταντίνου 48, 11635 Αθήνα

ΠΕΡΙΛΗΨΗ :

Στόχος της παρούσας εργασίας είναι η ανάπτυξη και ο συσχετισμός ηλεκτρικών, δομικών και νανομηχανικών ιδιοτήτων. Λεπτά υμένα NiO αναπτύχθηκαν με τη μέθοδο της παλμικής εναπόθεσης με laser (Pulsed Laser Deposition, PLD) πάνω σε οξειδωμένο πυρίτιο (SiO₂/Si) σε διαφορετικές θερμοκρασίες υποστρώματος: θερμοκρασία δωματίου (RT, Room Temperature), 100, 200, 300 και 400 °C. Ο δομικός χαρακτηρισμός των δειγμάτων πραγματοποιήθηκε με τη μέθοδο της Περίθλασης Ακτίνων-X (X-Ray Diffraction, XRD). Παρατηρήθηκε ότι με την αύξηση της θερμοκρασίας του υποστρώματος (T_s) το υμένο από άμορφο γίνεται κρυσταλλικό. Οι ηλεκτρικές μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν με τη μέθοδο των τεσσάρων επαφών (Van Der Pauw). Παρατηρήθηκε ότι όσο αυξάνεται η θερμοκρασία του υποστρώματος, κατά την εναπόθεση, η ειδική ηλεκτρική αντίσταση αυξάνεται. Τέλος, πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις των νανομηχανικών ιδιοτήτων των υμενίων NiO. Βρέθηκε ότι η σκληρότητα και το μέτρο ελαστικότητας εξαρτώνται από την θερμοκρασία του υποστρώματος (και την ειδική ηλεκτρική αντίσταση).

Ανάπτυξη λεπτών υμενίων NiO με PLD

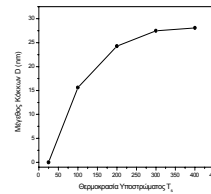
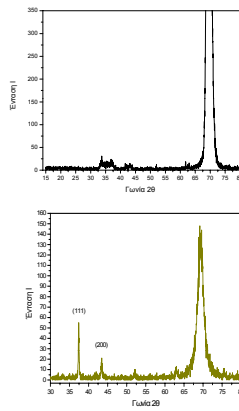


- Τα λεπτά υμένα NiO αναπτύχθηκαν με laser 248 nm πάνω σε πυρίτιο με ένα λεπτό στρώμα οξειδίου στην επιφάνειά του.

- Ο στόχος που χρησιμοποιήθηκε ήταν Ni και η εναπόθεση ελαβε χώρα σε ροή οξυγόνου (αντιδρών αέριο) σταθερής πίεσης 10 Pa.

- Η εναπόθεση έγινε σε θερμοκρασία δωματίου και σε θερμοκρασίες υποστρώματος 100, 200, 300 και 400°C.

Δομικός χαρακτηρισμός



- Τα περιθλασιγράμματα που παρουσιάζονται αφορούν τα λεπτά υμένα NiO αναπτυγμένα σε T_s= RT (πάνω) και 400°C (κάτω).

- Το υμένο που αναπτύχθηκε σε RT είναι άμορφο. Παρατηρείται ότι όσο αυξάνεται η θερμοκρασία του υποστρώματος T_s το NiO αποκτά κρυσταλλική δομή διότι εμφανίζονται τα κρυσταλλογραφικά επίπεδα (111) και (200).

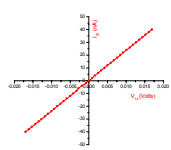
- Παρούσα για όλες τις θερμοκρασίες υποστρώματος είναι η κύρια κορυφή του Si (111).

- Υπολογίστηκε το μέσο μέγεθος των κόκκων μέσω του τύπου του Scherrer:

$$D = 0.9 \lambda_{X\text{-RAY}} / (FWHM) \times \cos\theta$$

- Παρατηρείται ότι το μέγεθος των κόκκων αυξάνεται με την αύξηση της T_s.

Ηλεκτρικές μετρήσεις



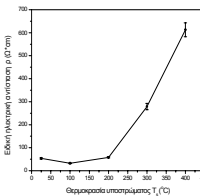
- Η ειδική ηλεκτρική αντίσταση ρ των υμενίων μετρήθηκε με τη μέθοδο των τεσσάρων επαφών (Van Der Pauw). Μια χαρακτηριστική καμπύλη I-V φαίνεται στο διπλανό σχήμα.

- Για τον υπολογισμό της ειδικής αντίστασης χρησιμοποιήθηκε ο τύπος:

$$\rho = (\pi / \ln 2) \times [(R_A + R_B) / 2] \times F$$

όπου F = R_A/R_B

- Στο διάγραμμα (κάτω) απεικονίζεται η εξάρτηση της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης ρ ως συνάρτηση της θερμοκρασίας υποστρώματος T_s. Παρατηρείται ότι η ειδική ηλεκτρική αντίσταση ρ αυξάνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας του υποστρώματος. Αυτό αποδίδεται στην αύξηση του μεγέθους των κόκκων με την αύξηση της T_s.



Νανομηχανικές ιδιότητες

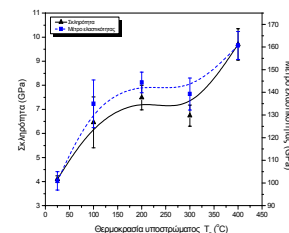
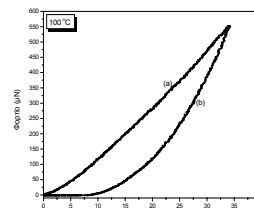
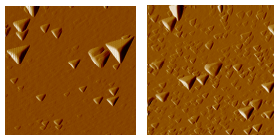


- Στο σχήμα πάνω δεξιά απεικονίζεται μια από τις χαρακτηριστικές καμπύλες φόρτισης-αποφόρτισης που λήφθηκαν για τα λεπτά υμένα NiO. Η καμπύλη φόρτισης είναι η (α) και η καμπύλη αποφόρτισης είναι η (β).

- Στο κάτω δεξιά σχήμα παρουσιάζεται η εξάρτηση της σκληρότητας (H) και του μέτρου ελαστικότητας (E) από τη θερμοκρασία υποστρώματος. Με την αύξηση της T_s αυξάνονται αντίστοιχα και η H και το E.

- Η εικόνα πάνω αριστερά απεικονίζει την διάταξη μέτρησης (Hysitron Triboscope) των νανομηχανικών ιδιοτήτων που έγινε με την μέθοδο της νανοσκληρομέτρησης.

- Οι εικόνες SPM κάτω αριστερά απεικονίζουν την επιφάνεια των λεπτών υμενίων NiO πριν την διεύδυση της αέρας του εγχάρκτη. Η αριστερή εικόνα αντιστοιχεί σε T_s=θερμοκρασία δωματίου και η δεξιά σε T_s=200°C. Γίνεται αμέσως αισθητή η επίδραση της T_s στην πυκνότητα της δομής των λεπτών υμενίων NiO.



Συμπεράσματα

Μελετήθηκε η επίδραση της θερμοκρασίας υποστρώματος στις δομικές, ηλεκτρικές και νανομηχανικές ιδιότητες.

- Σχετικά με τις ηλεκτρικές ιδιότητες, παρατηρήθηκε ότι η ειδική ηλεκτρική αντίσταση αυξάνεται με την αύξηση της T_s. Αυτό συμβαίνει γιατί υπάρχει μετατροπή του μη στοιχειομετρικού NiO σε στοιχειομετρικό με αποτέλεσμα μείωση των φορέων αγιγνότητας (οπές). Αυτό αποδίδεται α) στην αύξηση του μεγέθους των κόκκων, β) στην εξάλειψη μικροδομικών ατελειών π.χ. κενά Ni και ενδόθετα και γ) στην μείωση του ατομικού ποσοστού οξυγόνου μέσω προσρόφησης και εκρόφισης οξυγόνου.

- Σχετικά με τις νανομηχανικές μετρήσεις παρατηρήθηκε ότι η H και το E, επίσης, αυξάνονται με την αύξηση της T_s (και της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης). Αυτό, πιθανόν, να οφείλεται (α) στην αύξηση του μεγέθους των κόκκων και συνεπώς στην καλύτερη μεταξύ τους πρόσφυση και (β) στην αύξηση της πυκνότητας με την αύξηση της T_s λόγω ελασικοποίησης των ενδοπλευματικών κενών και των ασθενών δεσμών οξυγόνου, με αποτέλεσμα καλύτερη κρυσταλλικότητα και καλύτερη ποιότητα κρυσταλλιτή.