

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα εργασία αναπτύχθηκαν λεπτά υμένα CrN και TiN, καθώς και υπερπλεγματικά υμένα CrN/TiN με την τεχνική Closed Field Unbalanced Reactive Magnetron Sputtering. Η ανάπτυξη έλαβε χώρα στο σύστημα TEER UDP-450. Πρόκειται για έναν κυλινδρικό θάλαμο εναπόθεσης που είναι εξοπλισμένος με δύο στόχους αντιδιαμετρικά τοποθετημένους, ενώ ο δειγματοφορέας τοποθετείται στο κέντρο του θαλάμου σε ειδικό άξονα που έχει δυνατότητα περιστροφής σε τρεις διακριτές τιμές γωνιακής ταχύτητας. Ο δομικός και μορφολογικός χαρακτηρισμός των υμενίων έγινε με τις τεχνικές ακτίνων-X (ανακλαστικότητα-XRR, περίθλαση-XRD). Ο οπτικός χαρακτηρισμός έγινε με την τεχνική της φασματοσκοπικής ελλειψομετρίας (SE), ενώ η παραμετροποίηση των οπτικών συναρτήσεων έγινε με τη χρήση των μοντέλων Drude-Lorentz και Tauc-Lorentz. Τέλος, ο νανομηχανικός χαρακτηρισμός έγινε με την τεχνική της νανοεγχάραξης (NI).

Τα λεπτά υμένα CrN και TiN αναπτύχθηκαν για διάφορες τιμές της ροής του αντιδρώντος αερίου N₂ και της τάσης πόλωσης του υποστρώματος, ενώ παράλληλα αναπτύχθηκαν υμένα και σε περιστρεφόμενο υπόστρωμα για τις τρεις διαφορετικές τιμές της γωνιακής ταχύτητας του άξονα του δειγματοφορέα. Ο δομικός χαρακτηρισμός έδειξε ότι η ροή του N₂ είναι καθοριστικός παράγοντας για την ανάπτυξη των διαφόρων φάσεων (Cr₂N, CrN) του συστήματος Cr-N. Παράλληλα, καθορίστηκαν οι περιοχές όπου οι μεμονωμένες φάσεις του συστήματος Cr-N εμφανίζονται. Η τάση πόλωσης του υποστρώματος βρέθηκε ότι καθορίζει τον προτιμητέο προσανατολισμό ανάπτυξης, το μέγεθος της μοναδιαίας κυψελίδας, το εσωτερικό τασικό πεδίο και την πυκνότητα των αναπτυσσόμενων υμενίων, καθώς σχετίζεται με την κινητικότητα και την εμφύτευση των ιόντων του πλάσματος που βομβαρδίζουν το υμένιο κατά την ανάπτυξη του. Ειδικότερα, ο [100] κρυσταλλογραφικός προσανατολισμός είναι προτιμητέος η κινητικότητα των ατόμων του εναποθέτη αυξάνεται λόγω αύξησης της ενέργειας που μεταφέρεται από τα ιόντα του πλάσματος. Αντίθετα, όταν η ενέργεια που μεταφέρεται στο αναπτυσσόμενο υμένιο μειώνεται, λόγω της μείωσης της ενέργειας των ιόντων του πλάσματος, είτε λόγω εμφύτευσης τους στο εσωτερικό του υμενίου ο [111] προσανατολισμός ευνοείται. Επιπλέον, το μέγεθος της μοναδιαίας κυψελίδας αυξάνεται με αύξηση της τάσης πόλωσης του υποστρώματος, καθώς αυξάνεται ο αριθμός των ιόντων που εμφυτεύονται στο υπόστρωμα και, συνεπώς, η παραμόρφωση του πλέγματος. Αυτό συνεπάγεται, ταυτόχρονα, αύξηση της των εσωτερικών θλιπτικών τάσεων. Από την άλλη, κατά την ανάπτυξη υμενίων σε περιστρεφόμενο υπόστρωμα, το υπόστρωμα περνάει από περιοχές μεταβαλλόμενης πυκνότητας πλάσματος με αποτέλεσμα η ενέργεια που αθροιστικά μεταφέρεται στο αναπτυσσόμενο υμένιο να είναι μικρότερη σε σχέση με την αντίστοιχη ενέργεια που μεταφέρεται σε ακίνητο υπόστρωμα. Το γεγονός αυτό επιβεβαιώνεται και από τα αποτελέσματα του δομικού χαρακτηρισμού, όπου οι δομικοί και μορφολογικοί μετασχηματισμοί που εμφανίζονται μπορούν να αποδοθούν σε μειωμένο ιοντικό βομβαρδισμό. Ο οπτικός χαρακτηρισμός των υμενίων CrN αποκάλυψε τη σχέση μεταξύ δομής και μορφολογίας από τη μια, οπτικών-ηλεκτρονικών ιδιοτήτων από την άλλη. Έτσι, φάση Cr₂N εμφανίζει μεταλλικό χαρακτήρα, ενώ η φάση CrN είναι ημιαγωγός. Αυτό επιβεβαιώθηκε τόσο ποιοτικά από μετρήσεις SE στην περιοχή του οπτικού-υπεριώδους, όπου για την περίπτωση της φάσης CrN μη φαινόμενη ενέργεια πλάσματος των ελευθέρων ηλεκτρονίων στο μοντέλο έλαβε μηδενική τιμή Drude-Lorentz, όσο και ποσοτικά με επέκταση της φασματικής περιοχής στο υπέρυθρο οπότε κατέστη δυνατός ο υπολογισμός του ενεργειακού χάσματος από το μοντέλο Tauc-Lorentz. Στην περίπτωση του TiN τα αποτελέσματα του οπτικού χαρακτηρισμού έδειξαν ότι οι οπτικές παράμετροι του υλικού, όπως υπολογίζονται από την προσαρμογή των πειραματικών δεδομένων στο μοντέλο Drude-Lorentz με δύο ταλαντωτές ακολουθούν την αναφερόμενη στη βιβλιογραφία εξάρτηση από τις συνθήκες ιονισμού του πλάσματος κατά την διαδικασία ανάπτυξης. Παράλληλα, υπολογίστηκε το πάχος υμενίων TiN που αναπτύχθηκαν σε περιστρεφόμενο υπόστρωμα και στη συνέχεια ο ρυθμός εναπόθεσης του υλικού σε περιστρεφόμενο υπόστρωμα. Τα αποτελέσματα αποκάλυψαν ότι ο ρυθμός εναπόθεσης σε περιστρεφόμενο υπόστρωμα είναι το ~20% του ρυθμού εναπόθεσης σε ακίνητο υπόστρωμα στις ίδιες συνθήκες εναπόθεσης. Ο νανομηχανικός χαρακτηρισμός του απέδειξε ότι η μικτή φάση Cr₂N-CrN είναι σκληρότερη από την φάση CrN. Παράλληλα, η μελέτη της επίδρασης της τάσης πόλωσης του υποστρώματος στις νανομηχανικές ιδιότητες απέδειξε ότι η σκληρότητα μεγιστοποιείται σε περιπτώσεις που τα υμένα εμφανίζουν ξεκάθαρο κρυσταλλογραφικό προσανατολισμό. Από την άλλη, η σκληρότητα αυξάνεται με την αύξηση της πυκνότητας και των εσωτερικών τάσεων. Η μελέτη των νανομηχανικών ιδιοτήτων υμενίων που αναπτύχθηκαν σε περιστρεφόμενο υπόστρωμα αποτέλεσε μια επιπλέον απόδειξη της ανάλυσης που παρουσιάστηκε για την εξάρτηση των νανομηχανικών ιδιοτήτων των υμενίων από τα μικροδομικά και μορφολογικά χαρακτηριστικά τους.

Τα υπερπλεγματικά υμένα CrN/TiN αναπτύχθηκαν για διάφορες τιμές της τάσης πόλωσης του υποστρώματος στις τρεις διαφορετικές τιμές της ταχύτητας περιστροφής του άξονα του δειγματοφορέα. Η εκτίμηση της τιμής της διαπλεγματικής περιόδου Λ και του πάχους των μεμονωμένων στρωμάτων κατέστη δυνατή με βάση τα αντίστοιχα αποτελέσματα για τους ρυθμούς εναπόθεσης των αντίστοιχων μονοστρωματικών υμενίων και με βάση το γεγονός ότι κατά την περιστροφή το υπόστρωμα εκτίθεται στο στόχο κατά το ~20% του διαγραφόμενου τόξου. Ο υπολογισμός της τιμής της διαπλεγματικής περιόδου έγινε με την τεχνική XRD σε χαμηλές ($2\theta < 10^\circ$) και υψηλές ($2\theta > 10^\circ$) γωνίες ανάκλασης. Τα αποτελέσματα βρίσκονται σε συμφωνία με τα αντίστοιχα εκτιμώμενα άλλα και μεταξύ τους στην περίπτωση υμενίων που αναπτύσσονται για τάση πόλωσης του υποστρώματος $V_b = V_f$. Για μεγαλύτερες τιμές της τάσης πόλωσης του υποστρώματος ο αυξημένος ιοντικός βομβαρδισμός επάγει ενδοδιάχυση μεταξύ των διαδοχικών στρωμάτων με αποτέλεσμα οι υπολογιζόμενες τιμές να είναι μακριά από τις εκτιμώμενες. Ο υπολογισμός του πάχους των μεμονωμένων στρωμάτων έγινε με την τεχνική XRD σε υψηλές ($2\theta > 10^\circ$) γωνίες ανάκλασης, καθώς και με την τεχνική της φασματοσκοπικής ελλειψομετρίας. Στη δεύτερη περίπτωση το υπερπλεγματικό υμένιο θεωρήθηκε bulk και με τη χρήση της θεωρίας ενεργού μέσου του Bruggeman υπολογίστηκε το ποσοστό κάθε φάσεις στο υμένιο. Στη συνέχεια και με βάση την υπόθεση ότι η περιοδικότητα διατηρείται κατά τον άξονα