



Newsletter

1. 8 ^η γενιά Νανοεπιστημόνων	1
2. Διεθνή Συνέδρια & Σχολεία στις Νανοτεχνολογίες τον Ιούλιο σε Θεσσαλονίκη & Χαλκιδική	3
3. Ο Καθηγητής κ. Ιωάννης Μισιρλής σε μια συνέντευξη εφ' όλης της ύλης	7
4. Νέες Διδακτορικές Διατριβές στη Νανομηχανολογία, Νανοϊατρική και Νανομηχανική - Μονοστρωματικές και Πολυστρωματικές Νανοδομικές Επικαλύψεις.....	11
- Αιμοσφαιράκια και Αντιμικροβιακά Υλικά.....	15
- Μηχανικές Ιδιότητες Νανοδιάστατων Υλικών & Υπολογιστική Μηχανική.....	19
5. "KELVIN PROBE FORCE MICROCOPY": Μελετώντας τις Ηλεκτρικές Ιδιότητες των Επιφανειών	22
6. Νανομηχανικές Ιδιότητες Ζωντανών Κυττάρων	24
7. Πώς βλέπουν το N&N οι Εξωτερικοί Αξιολογητές του.....	26

1. 8^η Γενιά Νανοεπιστημόνων

Το ακαδημαϊκό έτος 2009 – 2010 του Διατμηματικού Μεταπτυχιακού Προγράμματος Σπουδών "Νανοεπιστήμες & Νανοτεχνολογίες - N&N", ξεκίνησε! Η εντακτική εκδήλωση υποδοχής της 8^{ης} γενιάς νανοεπιστημόνων πραγματοποιήθηκε τη Δευτέρα 12 Οκτωβρίου 2009 στην αίθουσα Α31 του Τμήματος Φυσικής της Σ.Θ.Ε. του Α.Π.Θ. Στην εκδήλωση παραβρέθηκαν Καθηγητές και υπεύθυνοι της οργάνωσης και λειτουργίας του μεταπτυχιακού προγράμματος, οι Πρόεδροι των Τμημάτων των Σχολών οι οποίες συμμετέχουν στην οργάνωση του μεταπτυχιακού, καθώς και πρωτοετείς και δευτεροετείς φοιτητές. Οι νεοεισακτέοι φοιτητές, 23 στον αριθμό, επιλέχθηκαν μέσα από ένα μεγάλο αριθμό αιτήσεων που φέτος ξεπερνούσε τις 60. Ο χαρακτήρας του μεταπτυχιακού προγράμματος N&N είναι διεπιστημονικός για αυτό, όπως κάθε χρονιά, οι νέοι υποψήφιοι "Νανοεπιστήμονες" προέρχονται από πολλά και διαφορετικά γνωστικά αντικείμενα. Οι επιτυχόντες φοιτητές είναι απόφοιτοι Σχολών Θετικών Επιστημών (Φυσικής, Βιολογίας, Χημείας,

Μοριακής Βιολογίας), Επιστημών Υγείας (Ιατρικής, Οδοντιατρικής) και της Πολυτεχνικής Σχολής (Χημικοί Μηχανικοί, Ηλεκτρολόγοι Μηχανικοί, Πολιτικοί Μηχανικοί, Μηχανολόγοι Μηχανικοί), γεγονός που αποδεικνύει το ευρύ φάσμα επιστημονικών πεδίων αλλά και εφαρμογών που βρίσκει η επιστήμη της Νανοτεχνολογίας.

Είναι πλέον φανερό πως απαιτείται η συνεργασία και η διεπιστημονικότητα διαφορετικών επιστημονικών πεδίων για την ανταλλαγή γνώσεων, την προώθηση και πρόοδο των επιστημών που δραστηριοποιούνται σε φαινόμενα Νανοκλίμακας. Μέσα από το μεταπτυχιακό πρόγραμμα το οποίο έχει διάρκεια δύο ακαδημαϊκά έτη (τέσσερα εξάμηνα) οι φοιτητές έχουν την δυνατότητα να επιλέξουν μαθήματα και να ειδικευτούν σε μία από τις παρακάτω κατευθύνσεις:

- **Τεχνολογία Λεπτών Υμενίων & Νανοτεχνολογία**
- **Νανομηχανική και Νανοϋλικά**
- **Νανοβιοτεχνολογία**

Οι κατευθύνσεις αυτές θα αποτελέσουν τα θεμέλια γνώσεων που θα χρειαστούν οι φοιτητές για να αντεπεξέλθουν και να εκπροσωπήσουν τη χώρα μας στις απαιτήσεις του γοργά αναπτυσσόμενου κλάδου των Νανοτεχνολογιών.

Η εκδήλωση υποδοχής ξεκίνησε με τον χαιρετισμό του Διευθυντή του Μεταπτυχιακού, Καθηγητή Στέργιο Λογοθετίδη, ο οποίος αφού εξήγησε με στατιστικά στοιχεία το μεγάλο ενδιαφέρον που έδειξαν οι υποψήφιοι από πολλές σχολές για το μεταπτυχιακό, συνέχισε με μία σύντομη παρουσίαση του προγράμματος σπουδών.



Ο Καθηγητής κ. Στ. Λογοθετίδης Διευθυντής του ΔΠΜΣ Ν&Ν

Ακολούθησε χαιρετισμός από τον Πρόεδρο του Τμήματος Φυσικής Καθηγητή κ. Κ. Μανωλικά, από τον Πρόεδρο του Γενικού Τμήματος Πολυτεχνικής Σχολής Α.Π.Θ. Καθηγητή κ. Α. Τροχίδη και από τον Πρόεδρο του Τμήματος Χημείας Α.Π.Θ. Καθηγητή κ. Α. Παπουτσή οι οποίοι επισήμαναν τη σπουδαιότητα του ΔΠΜΣ Ν&Ν στον ραγδαία αναπτυσσόμενο τομέα της νανοτεχνολογίας και τη διάθεση των διδασκόντων να βοηθήσουν τους νέους φοιτητές.



Ομιλία του Προέδρου του Τμήματος Φυσικής Καθηγητή κ. Κ. Μανωλικά



Ομιλία του Προέδρου του Γενικού Τμήματος Πολυτεχνικής Σχολής Καθηγητή κ. Α. Τροχίδη



Ομιλία του Προέδρου του Τμήματος Χημείας Καθηγητή κ. Α. Παπουτσή

Στη συνέχεια, χαιρετισμό απηύθυναν οι παλαιότεροι φοιτητές του μεταπτυχιακού οι οποίοι ευχήθηκαν καλή επιτυχία στους νεοεισαχθέντες, παρουσίασαν τη σπουδαιότητα των Ν&Ν και προσφέρθηκαν για αμέριστη βοήθεια και συνεργασία κατά τη διάρκεια της χρονιάς.

Έπειτα, οι φοιτητές του 1^{ου} έτους έκαναν μια παρουσίαση του εαυτού τους. Πιο συγκεκριμένα, αναφέρθηκαν στον τομέα από τον οποίο προέρχονται και στους λόγους που τους ώθησαν να επιλέξουν το Μεταπτυχιακό.

Κατά τη διάρκεια της εκδήλωσης, ιδιαίτερη βαρύτητα δόθηκε στο θεματικό Δίκτυο Νανοτεχνολογιών και Νανοβιοτεχνολογιών "NANONET" από τον υπεύθυνο κ. Στ. Λογοθετίδη. Ο κ. Λογοθετίδης ανέφερε ότι ο αριθμός των μελών του NANONET ολοένα και αυξάνεται, ώστε να αριθμεί σήμερα περισσότερα από 200 μέλη, τα οποία ανήκουν σε διαφορετικές επιστημονικές κοινότητες του ελλαδικού χώρου αλλά και του εξωτερικού. Στόχος του Δικτύου είναι οι συντονισμένες δραστηριότητες στην έρευνα, την ανάπτυξη και την εκπαίδευση στον τομέα των Ν&Ν.



Συζήτηση των πρωτοετών φοιτητών του Ν&Ν. Διακρίνεται ο Αν. Καθηγητής κ. Φράγκης να συζητά μαζί τους.

Το κλείσιμο της τελετής υποδοχής έγινε με την παρουσίαση τριών διπλωματικών εργασιών, από τις οποίες οι πρωτοετείς φοιτητές έλαβαν μία μικρή γεύση από τον κόσμο των νανοτεχνολογιών. Τα θέματα των εργασιών με τη σειρά που παρουσιάστηκαν ήταν:

- *“Ανάπτυξη και χαρακτηρισμός λεπτών υμενίων Pd για χρήση σε αισθητήρες ανίχνευσης Υδρογόνου”*, **Στυλιανού Κωνσταντίνος**,
- *“Έλεγχος της ικανότητας δέσμευσης /αποδέσμευσης οξυγόνου (OSC) κεραμικών υλικών με σκοπό τη χρήση τους στους TWCs”*, **Χρυσικοπούλου Μαρίνα**,

- *“Nanomechanics Molecular Dynamics”*, **Λουίζος Αλέξανδρος**.

Μετά το πέρας της εκδήλωσης, οι νέοι σπουδαστές είχαν την ευκαιρία να συνομιλήσουν με τους διδάσκοντες αλλά και με παλιούς σπουδαστές του N&N.

Σιλελόγλου Ναυσικά

Μεταπτυχιακή Φοιτήτρια ΔΠΜΣ N&N

2. Διεθνή Συνέδρια & Σχολεία τον Ιούλιο σε Θεσσαλονίκη & Χαλκιδική!!!

- “6th International Conference and 3rd International Summer School on N&N”

Για ακόμη μια χρονιά το Τμήμα Φυσικής του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης φιλοξένησε το 6^ο Διεθνές Συνέδριο στις Νανοεπιστήμες και Νανοτεχνολογίες (NN09). Το Συνέδριο πραγματοποιήθηκε την περίοδο 13 - 15 Ιουλίου 2009 και στέφθηκε με απόλυτη επιτυχία, ενισχύοντας έτσι το κύρος του θεσμού στην παγκόσμια επιστημονική και ερευνητική κοινότητα.

Το περιεχόμενο των παρουσιάσεων του NN09 κάλυψε ένα μεγάλο πλήθος θεματικών ενοτήτων όπως:

- **Organic Electronics & Nanoelectronics**
- **Nanobiotechnology and Nanomedicine**
- **Thin Films, Meta-Materials & Spintronics**
- **Nanomaterials, Nanoengineering & Nanomechanics**
- **Nanotechnology in Energy and Environment**
- **Computational Modelling at the Nanoscale**
- **Nanometrology, Instrumentation and Tools**
- **Commercialization of Nanotechnology**



Ο Καθηγητής Στέργιος Λογοθετίδης στην εναρκτήρια ομιλία του NN09

Ο Πρόεδρος του Συνεδρίου Καθηγητής Στέργιος Λογοθετίδης υποδέχθηκε 300 φοιτητές, καθηγητές, επιστήμονες, ερευνητές και αντιπροσώπους εταιρειών, από 33 χώρες, δίνοντας το βήμα στους συμμετέχοντες και προσκεκλημένους ομιλητές για ανοιχτές και εποικοδομητικές συζητήσεις σχετικά με τις καινούριες εξελίξεις στον τομέα των N&N. Σκοπός εξάλλου των συνεδρίων αυτών είναι η ανταλλαγή απόψεων, η γνωστοποίηση αποτελεσμάτων ερευνητικών προγραμμάτων αλλά και η ενημέρωση του ευρύτερου κοινού για το σημαντικό ρόλο που παίζει και άρχισε να διαδραματίζει η Νανοτεχνολογία στη ζωή μας. Μεγάλα ονόματα της διεθνούς και της ελληνικής επιστημονικής κοινότητας έλαβαν μέρος στο συνέδριο

και έδωσαν ομιλίες, τις οποίες ακολούθησαν αξιολογικές συζητήσεις.



Ο Καθηγητής Ε. Καξίρας από το Πανεπιστήμιο Harvard κατά τη διάρκεια της παρουσιάσής του

Ο Καθ. Ε. Καξίρας από το Πανεπιστήμιο Harvard και ο Καθ. Γ. Μαλλιάρας του Πανεπιστημίου Cornell των ΗΠΑ, ο Καθ. Κ. Jandt του Πανεπιστημίου Friedrich-Schiller της Γερμανίας και ο Καθ. S. Nowak του Helsinki University of Technology της Φινλανδίας, ο Καθ. Ι. Μισσιρλής του Πανεπιστημίου Πάτρας και η G.B Blanchet διευθύνων στέλεχος της εταιρείας Nano Terra των ΗΠΑ είναι μερικοί από τους ομιλητές που συμμετείχαν στο Συνέδριο και είχαμε την τύχη να παρακολουθήσουμε.

Στα πλαίσια του Συνεδρίου διεξάχθηκε το 3^ο Διεθνές Θερινό Σχολείο στις Νανοεπιστήμες και Νανοτεχνολογίες (SS09) στις 11, 12, 16 και 17 Ιουλίου. Πέρα από τη βασική θεματολογία του SS09 :

- **Organic Electronics & Nanoelectronics**
- **Nanobiotechnology & Nanomedicine**
- **Nanoscale Materials**
- **Computational Modelling at Nanoscale**
- **Thin Films, Nanomaterials Technology & Nanometrology**

για πρώτη φορά φέτος, η ροή των ομιλιών του Θερινού Σχολείου χωρίστηκε σε δυο κατευθύνσεις, όπου δίνονταν παράλληλα πιο εστιασμένες διαλέξεις στους τομείς των Οργανικών Ηλεκτρονικών και της Νανοβιοτεχνολογίας & Νανοϊατρικής.

Κατά τη διάρκεια του SS09 πραγματοποιήθηκαν και ξεναγήσεις σε εργαστηριακούς χώρους του Τμήματος Φυσικής και του ερευνητικού κέντρου ΕΚΕΤΑ όπου

παρουσιάστηκαν στους συμμετέχοντες σπουδαστές πρακτικές εφαρμογές στα ραγδαία αναπτυσσόμενα πεδία των Ν&Ν.

Στο τέλος κάθε ημέρας του NN09 ακολουθούσε Poster Session, όπου οι συμμετοχές ξεπέρασαν κάθε προσδοκία και συνεισέφεραν στην ενημέρωση των ερευνητών και των φοιτητών.



Στιγμιότυπο από διάλειμμα κατά τη διάρκεια του Συνεδρίου NN09

Όπως έχει καθιερωθεί τα τελευταία χρόνια, πραγματοποιήθηκε ελληνική βραδιά στην ταβέρνα «Νησάκι» στην ακτή του Θερμαϊκού, όπου με τη συνοδεία φαγητού, κρασιού και ελληνικής μουσικής καθηγητές, επιστήμονες και φοιτητές συζητήσαν σε χαλαρούς και πιο ανθρώπινους ρυθμούς .

Η τελευταία μέρα του NN09 έκλεισε με τη βράβευση των νέων ερευνητών που παρουσίασαν καινοτόμα και πρωτοπόρα αποτελέσματα στις εργασίες τους, τα οποία θα οδηγήσουν σε καινούριους ανεξερεύνητους τομείς των Ν&Ν.

Όπως κάθε χρόνο, το Διεθνές Συνέδριο και το Διεθνές Θερινό Σχολείο διοργανώθηκαν από το Διατμηματικό Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών “N&N”, το Θεματικό Δίκτυο Έρευνας “NanoNet” και το Εργαστήριο LTFN του Τμήματος Φυσικής.

Η σημασία και η εξέλιξη που παρουσιάζει ο τομέας των Ν&Ν επιβάλλει τη συνέχιση του θεσμού και την επόμενη χρονιά. Έτσι, το 7th International Conference on Nanosciences and Nanotechnologies θα λάβει χώρα στις 10-16 Ιουλίου του 2010 στην Ουρανούπολη Χαλκιδικής στο ξενοδοχείο “Alexandros Palace”. Σας περιμένουμε!

Μετά την επιτυχημένη διεξαγωγή του ISFOE08, το δεύτερο Διεθνές Συμπόσιο στα Εύκαμπτα Οργανικά Ηλεκτρονικά (ISFOE09), πραγματοποιήθηκε στις 8-10 Ιουλίου 2009 στο ξενοδοχείο Porto Carras, στη χερσόνησο της Σιθωνίας αυτή τη φορά, στη Χαλκιδική. Το Συμπόσιο έφερε σε επαφή επιστήμονες και μηχανικούς που ασχολούνται με την έρευνα, την ανάπτυξη και την κατασκευή εύκαμπτων οργανικών ηλεκτρονικών συνδυάζοντας οργανικά και ανόργανα υλικά, εύκαμπτα υποστρώματα, κατασκευαστικές μεθόδους, σχεδιασμό ηλεκτρονικών κυκλωμάτων, εύκαμπτες συσκευές, ενσωματώσεις συστημάτων και εφαρμογές των προϊόντων που προκύπτουν. Ο αριθμός των συμμετεχόντων στο Συμπόσιο αυξήθηκε κατά πολύ φέτος φτάνοντας τους 140 από 25 συνολικά χώρες.

Το ISFOE διοργανώθηκε από το Εργαστήριο LTFN του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης, με συνδιοργανωτή τον Διεθνή Οργανισμό Plastic Electronics Foundation και υποστηρίχθηκε από τα R&D προγράμματα της Ευρωπαϊκής Ένωσης: Flexonics, OLAtronics, Polynet και OPERA.



Η ομιλία του Δρ. M. Boucherche εκπροσώπου της Ευρωπαϊκής Ένωσης

Το επίσημο καλωσόρισμα για την έναρξη του ISFOE09 έγινε το απόγευμα της 8^{ης} Ιουλίου με την θεματική ενότητα: “Στρατηγική της Ευρώπης, των ΗΠΑ και της Ασίας για τα Οργανικά Ηλεκτρονικά”, στην οποία διακεκριμένοι επιστήμονες και αντιπρόσωποι εταιρειών παρουσίασαν τις δράσεις των πα-

ραπάνω περιοχών στο πεδίο των Οργανικών και μεγάλης κλίμακας ηλεκτρονικών. Επιπλέον, οι συντονιστές των σημαντικότερων χρηματοδοτούμενων από την Ευρωπαϊκή Ένωση R&D προγραμμάτων όπως: OLAtronics, Fast2light, FACESS και OPERA, παρουσίασαν εκτενώς τις ανακαλύψεις, τις μελλοντικές δράσεις και τις προοπτικές αυτών των προγραμμάτων.

Τα επιστημονικά πεδία που καλύφθηκαν στο Συμπόσιο ήταν:

- **Organic electronic materials (small molecule and polymers)**
- **Organic Multifunctional materials**
- **Organic/inorganic & hybrid materials and systems**
- **Flexible substrates & encapsulation methods & materials**
- **Molecular electronics and photonics**
- **Self organized molecules and systems**
- **Theory & modelling (materials, components and devices)**
- **Manufacturing (printing, vacuum) & quality control processes**
- **Flexible displays & lighting**
- **Flexible solar cells & batteries**
- **Flexible circuits & sensors**
- **Flexible RFIDs & textiles**



Στιγμιότυπο από το ISFOE09

Ορισμένες από τις πιο σημαντικές ομιλίες παρουσιάζονται στη συνέχεια.

Ο Καθηγητής Χατζηγιάννου του Πανεπιστημίου του Bordeaux της Γαλλίας παρουσίασε την ομιλία του με θέμα: **“Μακρομοριακός σχεδιασμός ημιαγωγικών πολυμερών προς την επίτευξη θερμοδυναμικά σταθερών οργανικών φωτοβολταϊκών ενεργών υλικών και συσκευών”**. Ο Καθηγητής Μαλλιάρης του Πανεπιστημίου Cornell των ΗΠΑ μας ενημέρωσε για: **“Τα Οργανικά Ηλεκτρονικά σε αλληλεπίδραση με τη Βιολογία”** και η Καθηγήτρια E. Fortunato του Νέου Πανεπιστημίου της Λισαβόνας για: **“Τα «πράσινα» Ηλεκτρονικά του μέλλοντος: ηλεκτρονικό χαρτί”**. Ο Δρ. M. Krebs της Varta Microbattery της Γερμανίας μας μίλησε στη διάλεξη του με θέμα: **“Ο δρόμος για πλήρως εκτυπώσιμες μπαταρίες”** και ο T. Anthopoulos λέκτορας στο Imperial College του Λονδίνου μας παρουσίασε την ομιλία του: **“Υψηλής-Κινητικότητας Διπολικά Οργανικά-Ανόργανα Υβριδικά Transistors”**.

Επιπλέον, επιλεγμένες εργασίες από τις ομιλίες που δόθηκαν θα εκδοθούν σε ειδικό τόμο στο Ευρωπαϊκό περιοδικό Journal-Applied Physics.



Κατά τη διάρκεια του Συμποσίου διεξάγονταν Poster Session και έκθεση επιστημονικών οργάνων

Το ISFOE09 έκλεισε με τη βράβευση των δυο νέων ερευνητών που παρουσίασαν την καλύτερη ομιλία και Poster αντίστοιχα, δηλώνοντας έτσι ότι η ανάπτυξη αυτού του ταχύτατα αναπτυσσόμενου τομέα της επιστήμης στηρίζεται κυρίως στη νέα γενιά επιστημόνων.

Το 3ο Διεθνές Συμπόσιο στα Εύκαμπτα Οργανικά Ηλεκτρονικά (ISFOE10) έχει ήδη προγραμματιστεί και θα πραγματοποιηθεί στις 7-9 Ιουλίου του 2010 στην Ουρανούπολη της Χαλκιδικής στο ξενοδοχείο “Eagles Palace”.

Περισσότερες πληροφορίες και για τα δύο συνέδρια μπορούν να βρεθούν στην ιστοσελίδα:

<http://isfoe.physics.auth.gr>



Οι βραβευθέντες R. Jackson, από το Georgia Institute of Technology (αριστερά) και P. Taylor, από το Cornell University Ithaca (δεξιά), των ΗΠΑ, με τον Πρόεδρο του ISFOE09 Καθ. κ. Σ. Λογοθετίδη

Λ.Φ.

3. Ο Καθηγητής κ. Ιωάννης Μισιρλής σε μια συνέντευξη εφ' όλης της ύλης

“Αν ένα κράτος, ένας λαός δε δει ότι τα θέματα παιδείας και έρευνας είναι αυτά που μακροπρόθεσμα θα στηρίξουν τη χώρα ώστε να αντέχει τους κραδασμούς, τότε τα πράγματα γίνονται πολύ δύσκολα”



Ο κ. Ιωάννης Μισιρλής, Καθηγητής Εμβιομηχανικής και Βιοϊατρικής Τεχνολογίας στο Τμήμα Μηχανολόγων και Αεροναυπηγών Μηχανικών του Πανεπιστημίου Πατρών, διευθυντής του εργαστηρίου Εμβιομηχανικής και Βιοϊατρικής Τεχνολογίας και διδάσκων στο Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών “Νανοεπιστήμες & Νανοτεχνολογίες” παρέθεσε για το Newsletter την παρακάτω συνέντευξη.

Κύριε Μισιρλή, το πρώτο σας πτυχίο είναι στη Χημική Μηχανική. Πώς προέκυψε η ενασχόλησή σας με την Εμβιομηχανική;

Μετά το πέρας των προπτυχιακών σπουδών μου στο Ε.Μ.Π, παρακολούθησα το Μεταπτυχιακό πρόγραμμα σπουδών μου στη Χημική Μηχανική στο Πανεπιστήμιο Syracuse στην Αμερική. Εκεί ήταν που συνειδητοποίησα ότι το αντικείμενό μου μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για στρατιωτικούς σκοπούς, οπότε και πήρα την απόφαση να μην ακολουθήσω κάποια σχετική κατεύθυνση.

Παράλληλα, εκείνη την εποχή στο Houston του Texas ξεκινούσε το πρώτο πρόγραμμα σχετικά με την κατασκευή τεχνητής καρδιάς. Είδα πως μπορούσα να χρησιμοποιήσω τις γνώσεις μου, του χημικού μηχανι-

κού, σε ένα θέμα που θα βοηθούσε τον άνθρωπο. Έτσι, ξεκίνησα το διδακτορικό μου στο Rice του Houston με το εξής θέμα: “Η λειτουργία των βαλβίδων της καρδιάς, από τη σκοπιά της μηχανικής και της επιστήμης των υλικών”.

Τώρα τελείτε χρέη Διευθυντού στο Εργαστήριο Εμβιομηχανικής και Βιοϊατρικής Τεχνολογίας στο Πανεπιστήμιο Πατρών. Τι ειδικότητες μπορεί να απασχολήσει το Εργαστήριο ερευνητικά;

Αυτή η περιοχή είναι καθαρά διεπιστημονική. Οι πιο πρόσφατοι μεταπτυχιακοί φοιτητές που κάνουν τη διδακτορική διατριβή τους στο εργαστήριό μας είναι χημικοί μηχανικοί, μηχανολόγοι μηχανικοί, φυσικοί, βιολόγοι, ένας χημικός και ένας ειδικευμένος στην επιστήμη των υλικών.

Η διεπιστημονικότητα μου φέρνει στο μυαλό τη Νανοτεχνολογία. Πόσο ασχολείται το Εργαστήριό σας με αυτή;

Οι νανοεπιστήμες υπήρχανε, απλά δεν τις αποκαλούσαμε έτσι. Η χημεία, η βιολογία και η φυσική, ούτως ή άλλως αναφέρονταν σε επίπεδο νανομέτρων.

Συνεπώς, η νανοκλίμακα είναι κάτι καινούργιο όσον αφορά το κομμάτι της τεχνολογίας - των κατασκευών. Υπάρχει ιδιαίτερο ενδιαφέρον για τις εφαρμογές σε αυτή την κλίμακα, διότι όταν κλασικές τεχνολογίες που χειριζόμασταν σε χιλιοστά και εκατοστά μεταφερθούν σε νανόμετρα μας δίνουν τη δυνατότητα να παρατηρήσουμε καινούργια φαινόμενα, κυρίως διεπιφανειακά, που δεν τα γνωρίζαμε πριν.

Προσπαθούμε να μελετήσουμε δομικά στοιχεία των επιφανειών σε επίπεδο μικρομέτρων και νανομέτρων ώστε να μπορούμε να παρατηρούμε συμπεριφορές που μέχρι τώρα συνέβαιναν χωρίς να το αντιλαμβανόμαστε. Μπορούμε να πάρουμε πλέον υπόψη μας αρχιτεκτονικά και τοπογραφικά δεδομένα, όπως η τραχύτητα μιας επιφάνειας, που συμβάλλουν ως παράγοντες σε φαινόμενα που μας ενδιαφέρουν.

Στο εργαστήριό μας, δεν ασχολούμαστε με νανοτεχνολογίες στον άβιο κόσμο. Αυτό που μας ενδιαφέρει είναι πώς πρωτεΐνες, βακτήρια, κύτταρα, ιστοί, όργανα συμπεριφέρονται και ορισμένα από αυτά αναγεννώνται όταν αλληλεπιδρούν με άβιες επιφάνειες. Δηλαδή, ενδιαφερόμαστε κυρίως για διεπιφάνειες υλικών, πιο συγκεκριμένα ενός τεχνητού κι ενός ζώντος υλικού.

Δηλαδή, οι μεταμοσχεύσεις πρέπει να κατέχουν σημαντικό ρόλο στην έρευνά σας.

Ο τομέας της Ιστοτεχνολογίας παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον. Η παραγωγή ιστού με τελικό στόχο, ίσως, και την παραγωγή ενός οργάνου προϋποθέτει τα κύτταρα που θα χρησιμοποιηθούν να «αναπαυθούν» σε επιφάνειες, αλλιώς δεν μπορούν να λειτουργήσουν. Στο εργαστήριο, επενεργούμε στις συνθήκες που επικρατούν σε συγκεκριμένα μοντέλα, τους βιοαντιδραστήρες, όπου μελετάμε τη συμπεριφορά των κυττάρων έτσι ώστε να βρούμε τις κατάλληλες για αυτά συνθήκες. Αυτές είναι διαφόρων ειδών: χημικές, όπου ασχολούμαστε με το τι είδους άτομα ή μόρια “βλέπουν” τα κύτταρα όταν συναντούν τις τε-

χνητές αυτές επιφάνειες, δομικές, όπου μας ενδιαφέρει η νανοδομή και η αρχιτεκτονική της, ηλεκτρικές, όπου ασχολούμαστε με τα φορτία που ενυπάρχουν και ενεργειακές, με το πόσο ενεργή είναι η επιφάνεια. Αυτό που χαρακτηρίζει το Εργαστήριό μας είναι ότι προκαλούμε μηχανικά ερεθίσματα στην επιφάνεια με μεθόδους, όπως η εφαρμογή τάσης, παραμόρφωσης, περιστροφής, ροής, ούτως ώστε τα κύτταρα να νιώσουν το περιβάλλον στο οποίο λειτουργούν. Φαίνεται πως στην «αναγεννητική ιατρική» τίποτα δεν μπορεί να λειτουργήσει άμα δεν υπάρχουν οι κατάλληλες δυνάμεις.

Ο τομέας της μεταφοράς φαρμάκων απασχολεί την έρευνα στο Εργαστήριό σας;

Όσον αφορά τη μεταφορά φαρμάκων (drug delivery), συνεργαζόμαστε με το Τμήμα Φαρμακευτικής Πατρών. Κύριο μέλημά μας είναι να κάνουμε πιο αιμοσυμβατά τα σωματίδια, κυρίως λιποσώματα, που επεξεργάζονται εκεί για τούτο το σκοπό. Εμείς, συνήθως, τοποθετούμε μόρια, όπως παρίνες, επάνω στις επιφάνειες αυτών των σωματιδίων τα οποία τους προσδίδουν ιδιότητες τέτοιες ώστε με τη μεταφορά τους, κυρίως μέσω του κυκλοφορικού συστήματος, στον οργανισμό να μην ερεθίζουν το σύστημα της θρομβογένεσης. Έχουμε κοινές δημοσιεύσεις με το Εργαστήριο Φαρμακευτικής Πατρών, γεγονός που δείχνει ότι η διεπιστημονικότητα από μόνη της ανοίγει δρόμους για συνεργασίες με άλλα τμήματα. Συνεργαζόμαστε επιπλέον και με άλλα τμήματα Φαρμακευτικής, Ιατρικής, Χημικού κ.α.

Πέρα από τις άλλες δραστηριότητές σας είστε και διδάσκων στο Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα σπουδών “Νανοεπιστήμες και Νανοτεχνολογίες”. Τι ακριβώς διδάσκετε;

Ο τίτλος του μαθήματος είναι Εμβιομηχανική και Βιοϋλικά. Είναι ένα πολύ εντατικό μάθημα με τέσσερα

τετράωρα σε δυο εβδομάδες και αυτό διότι η απόσταση δε μου επιτρέπει να παραμείνω περισσότερο στη Θεσσαλονίκη. Σε δυο εβδομάδες πρέπει να δώσεις στους μεταπτυχιακούς φοιτητές εναύσματα ώστε να ενδιαφερθούν να ερευνήσουν αυτό το τόσο ευρύ και διεπιστημονικό θέμα περαιτέρω. Το γεγονός ότι οι φοιτητές έχουν διαφορετικό υπόβαθρο, διότι προέρχονται από διαφορετικά επιστημονικά πεδία είναι μια πρόκληση για το διδάσκοντα, διότι στόχος του είναι να επιτύχει την καλύτερη δυνατή επικοινωνία με όλους τους φοιτητές. Αυτή η διδακτική διαδικασία είναι κάτι που με γοητεύει και τα παιδιά που παρακολουθούν το μάθημα έχουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον, αλλιώς δε θα ερχόμουν εδώ για έκτη συνεχή χρονιά, ενώ υπάρχουν όλες αυτές οι υποχρεώσεις στην Πάτρα.

Παρατηρείτε δηλαδή πως τα παιδιά δείχνουν ενδιαφέρον για το αντικείμενο αυτό.

Ναι. Για παράδειγμα φέτος, από τους δέκα μεταπτυχιακούς φοιτητές οι τρεις είναι γιατροί, οι άλλοι χημικοί, φυσικοί, χημικοί μηχανικοί και ένας τεχνολόγος επιστήμης υλικών και όπως προανέφερα, αντίστοιχες ειδικότητες κάνουν το διδακτορικό τους στο Εργαστήριό μας στην Πάτρα. Υπάρχει δηλαδή θέληση για κατανόηση από αυτές τις ειδικότητες σχετικά με την αλληλεπίδραση οποιουδήποτε βιολογικού τμήματος με τεχνητά υλικά.

Πιο συγκεκριμένα, αναφέρθηκε πολύ σε ένα μάθημά μας το θέμα των λοιμώξεων. Σχολιάστηκε εκτενώς ο μηχανισμός με τον οποίο τα βακτήρια εξαπλώνονται και οι τρόποι με τους οποίους η Εμβιομηχανική μπορεί να χρησιμοποιηθεί ώστε να τα αποτρέψει.

Σχετικά με το ενδιαφέρον και την εξέλιξη της Νανοτεχνολογίας στην Ελλάδα, ποια είναι η άποψή σας;

Εγώ μπορώ να σας μιλήσω πιο συγκεκριμένα για το πώς βλέπω να κινείται η Νανο-βιοτεχνολογία στην

Ελλάδα. Ενώ παρακολουθώ άλλες κυβερνήσεις να δίνουν κίνητρα για την ανάπτυξη προς αυτή την κατεύθυνση και να ιδρύουν ινστιτούτα Νανοβιοτεχνολογίας, σχεδόν όλες οι προσπάθειες που γίνονται στην Ελλάδα σε αυτό τον τομέα προέρχονται από ευρωπαϊκά ερευνητικά προγράμματα. Ένα μόνο πρόγραμμα είχε προκηρυχθεί από το Υπουργείο Παιδείας με σχετική θεματολογία, το “Ηράκλειτος 1”.

Κατά την άποψή μου, η ελληνική πολιτική έρευνας πάσχει. Όχι μόνο η χρηματοδότηση είναι ανεπαρκής για μια συνεχή ερευνητική προσπάθεια, αλλά δεν υπάρχει και μια σαφής κατεύθυνση για την αντιμετώπιση και την έρευνα σε αυτόν τον τομέα. Κάποτε υπήρχαν τα προγράμματα ΠΕΝΕΔ (Ενίσχυσης του Ερευνητικού Δυναμικού) που έληξαν το 2003. Δηλαδή, εδώ και έξι χρόνια δεν έχει προκηρυχθεί αντίστοιχο έργο.

Πώς με αυτή την πολιτική οι νέοι ερευνητές να παραμείνουν στην Ελλάδα; Μετά από προσωπική πείρα, ικανοί διδάκτορες που έχουν εκπαιδευθεί εδώ φεύγουν στο εξωτερικό αξιοποιώντας εκεί τις γνώσεις τους. Δεν υπάρχουν κίνητρα για να κρατήσουν εδώ το νέο δυναμικό της χώρας και να προσελκύσουν πάλι στην Ελλάδα τους έλληνες ερευνητές που διαπρέπουν στο εξωτερικό.

Αν ένα κράτος, ένας λαός δε δει ότι τα θέματα παιδείας και έρευνας είναι αυτά που μακροπρόθεσμα θα στηρίξουν τη χώρα ώστε να αντέχει τους κραδασμούς, τότε τα πράγματα γίνονται πολύ δύσκολα.

Ίσως το κράτος δεν έχει συνειδητοποιήσει τι θέλει.

Ίσως δεν έχει συνειδητοποιήσει, ίσως δεν ξέρει. Μπορεί να ακουστεί βαρύ, αλλά δε δικαιούται να μην ξέρει.

Η εξέλιξη της Νανοβιοτεχνολογίας στο εξωτερικό είναι, όμως, πολύ σημαντική.

Ναι, τα κίνητρα για μια τέτοια εξέλιξη είναι πολλά και όχι μόνο καθαρά επιστημονικά. Στις ΗΠΑ υπάρχει έντονη δραστηριότητα σε αυτό τον τομέα από το Υπουργείο Άμυνας για στρατιωτικές εφαρμογές. Άλλος καίριος στόχος είναι και οι εφαρμογές ενάντια στη Βιοτρομοκρατία, όπου δίνονται μεγάλα χρηματικά ποσά ώστε να κατασκευαστούν συσκευές που θα εντοπίζουν πολύ μικρές ποσότητες ιών ή βιοόπλων.

Γίνονται μεγάλες χρηματικές δαπάνες ενάντια ή υπέρ της Βιοτρομοκρατίας;

Αυτή είναι μια πολύ μεγάλη συζήτηση. Όταν η επιστήμη σε βοηθά να αμυνθείς σε κάτι, παράλληλα σου “ανοίγει τα μάτια” ώστε να το χρησιμοποιήσεις με τη σειρά σου.

Βέβαια, αυτή η τεχνολογία μπορεί να χρησιμοποιηθεί θετικά - για ανίχνευση ασθενειών, για παραγωγή πολύ πιο δραστικών φαρμάκων, χωρίς παρενέργειες, αφού θα είναι πιο στοχευμένα και πιο συμβατά. Υπάρχει, δηλαδή, το έδαφος για χρήση αυτής της τεχνολογίας έτσι ώστε να καλυτερεύσει η ποιότητα ζωής των ανθρώπων. Τουλάχιστον εγώ για αυτό το σκοπό εργάζομαι και προσπαθώ.

Από ό,τι κατάλαβα οι κινήσεις που γίνονται στην Ελλάδα σε αυτό τον τομέα βασίζονται πολύ σε πρωτοβουλίες των ίδιων των ερευνητών. Για παράδειγμα, η διοργάνωση συνεδρίων σχετικών με το θέμα, όπως το NN09 – SS09 που διεξάγεται για έκτη συνεχή χρονιά στο ΑΠΘ. Πώς βλέπετε το συγκεκριμένο γεγονός;

Το γεγονός ότι έρχομαι, για τέταρτη χρονιά, κι εγώ και άλλοι πολύ εξειδικευμένοι στο αντικείμενό τους επιστήμονες φανερώνει πως το Συνέδριο αυτό κρατάει ένα υψηλό επίπεδο στον τομέα αυτό. Εκείνο που με προβληματίζει καμιά φορά είναι ο ρυθμός με τον οποίο γίνεται. Αν δεν υπάρξει μια αύξηση του ερευνητικού δυναμικού και των προγραμμάτων στον τομέα της Νανοτεχνολογίας και συνεχίσει η διεξαγωγή του Συνεδρίου με την ίδια συχνότητα μπορεί να φτάσει

κάποια στιγμή σε ένα τέλμα, όπως έχει γίνει με Συνέδρια σε άλλα επιστημονικά πεδία. Η συνέπεια ήταν ότι ο ρυθμός διεξαγωγής τους έπαψε να είναι τόσο εντατικός.

Από την άλλη, ο τομέας αυτός εξελίσσεται ραγδαία, οπότε αυτό που χρειάζεται είναι να βρεθεί η ισορροπία εκείνη όπου ο ρυθμός διεξαγωγής του Συνεδρίου θα είναι σταθερός και τέτοιος ώστε να αντιστοιχεί στο νέο ερευνητικό δυναμικό και υλικό που προκύπτει. Ευελπιστώ πως με αυτό το νέο πρόγραμμα ΕΣΠΑ που λέγεται πως θα ξεκινήσει από το Σεπτέμβριο 2009 θα δοθούν περισσότερα κίνητρα προς την ανάπτυξη της έρευνας. Εγώ, βέβαια, επιφυλάσσομαι άμα δε δω την προκήρυξη και την υλοποίηση όσων έχουν λεχθεί, διότι η καθυστέρηση σε τέτοια ζητήματα είναι συνήθης. Υποτίθεται ότι το ΕΣΠΑ θα ξεκινούσε το 2007 με διάρκεια έξι ετών.

Σχετικά με αυτό που λέγατε για το ρυθμό διεξαγωγής του Συνεδρίου. Αφού το Συνέδριο στηρίζεται κατά πολύ σε ερευνητικά αποτελέσματα από το εξωτερικό, όπου η εξέλιξη είναι ραγδαία, γιατί να υπάρχει ο κίνδυνος να επηρεαστεί ο ρυθμός του;

Δεν με ανησυχούν οι επιστήμονες από το εξωτερικό οι οποίοι έρχονται και δίνουν τις διαλέξεις τους, σε καμία περίπτωση. Μιλώ για ένα διαφαινόμενο κίνδυνο, κυρίως, άμα δεν αλλάξει ο κόσμος που προσέρχεται για να παρακολουθήσει το Συνέδριο και να συμμετάσχει σε αυτό με τις εργασίες του.

Πέρυσι αποφασίστηκε από μια Επιτροπή ελέγχου των δαπανών στα Πανεπιστήμια ότι οι μεταπτυχιακοί φοιτητές δε δικαιούνται να παίρνουν αποζημίωση από τα χρήματα του τακτικού προϋπολογισμού ή από τα χρήματα που διαθέτει το Πανεπιστήμιο, ώστε να μπορούν να παρακολουθήσουν ένα Συνέδριο, παρά μόνο εάν διαθέσουν τα ίδια τα Εργαστήρια χρήματα από τα ευρωπαϊκά προγράμματα. Αυτό σημαίνει πως ένας μεταπτυχιακός φοιτητής θα σκεφτεί πολύ σοβαρά άμα με τα δικά του χρήματα θα επιλέξει να πάει σε

ένα Συνέδριο. Υπό αυτή την έννοια, θεωρώ πως είναι πολύ σημαντικό να υπάρχει δραστηριότητα τέτοια ώστε αυτά τα παιδιά να προσέρχονται στα Συνέδρια όχι μόνο για να ακούνε, αλλά και να παρουσιάζουν τη δική τους δουλειά και κατεύθυνση.

Υπάρχει, όμως, κόσμος που ενδιαφέρεται και στέλνει τις εργασίες του ώστε να συμπεριληφθούν στο πρόγραμμα του Συνεδρίου. Αυτές οι εργασίες περνάνε από αξιολόγηση ώστε να κριθεί το επίπεδό τους και να επιλεγθούν οι πιο αξιόλογες προς παρουσίαση. Η αξιολόγηση είναι ένα πολύ σημαντικό στοιχείο αυτού του Συνεδρίου.

Το Συνέδριο είναι πολυθεματικό. Οπότε άμα αποφασίζοταν να διεξάγεται κάθε δυο χρόνια, για παράδειγμα, θα μπορούσε στο μεσοδιάστημα να διοργανώνεται κάποιο αντίστοιχο γεγονός εστιασμένο σε κάποια

ή κάποιες από τις διάφορες θεματικές ενότητες που περιέχει. Σε αυτή την πιο εστιασμένη ενότητα που θα παρείχε τις ανάλογες εξελίξεις είναι πολύ πιθανό να έρχονταν και εξειδικευμένοι ερευνητές που δε θα έρχονταν κατά τα άλλα στο Συνέδριο με την πιο γενική θεματολογία.

Τέτοια ζητήματα συζητούνται και κατά τη διάρκεια του Συνεδρίου, όπως και οικονομικά ζητήματα και ζητήματα ηθικής, όσον αφορά τις χρήσεις νέων ερευνητικών αποτελεσμάτων που παρουσιάζονται εδώ.

Λ. Φ.

Φοιτήτρια

4. Νέες Διδακτορικές Διατριβές στη Νανομηχανολογία, Νανοϊατρική και Νανομηχανική

- Μονοστρωματικές και Πολυστρωματικές Νανοδομικές Επικαλύψεις

Στα πλαίσια του Διατμηματικού Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών “Νανοεπιστήμες & Νανοτεχνολογίες” πραγματοποιήθηκε η Διδακτορική Διατριβή με τίτλο “*Ανάπτυξη και Μελέτη Μονοστρωματικών και Πολυστρωματικών Νανοδομικών Επικαλύψεων*”. Τη Διατριβή αυτή ολοκλήρωσε και ανέπτυξε ο κ. Καλφαγιάννης Νικόλαος και πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια του Ερευνητικού Προγράμματος ΠΕΝΕΔ 03 με τίτλο “*Ανάπτυξη Τεχνολογίας Νανοδομικών και Υπερπλεγματικών Επικαλύψεων (Υπέρσκληρων – Βιοσυμβατών – Αντιμικροβιακών) με Εφαρμογές στη Μηχανολογία/Βιοϊατρική/Διακοσμητική*”.

Τα Νιτρίδια των Μετάλλων Μεταπτώσεως αποτελούν χαρακτηριστικά παραδείγματα υλικών με εξαιρετικές ιδιότητες όπως υψηλή σκληρότητα και ανθεκτικότητα, υψηλά Σ.Τ (~ 3000-4000 °C), βιοσυμβατότητα κ.α. Το

πλήθος των εφαρμογών τους αποδεικνύει και την εξαιρετική χρησιμότητά τους. Έτσι απαντούνται σε κοπτικά εργαλεία, τρυπάνια, ως φράγματα διαχύσεως σε ηλεκτρονικές διατάξεις, σε αλεξίσφαιρα γιλέκα και ως συστατικά σε υπέρσκληρα υλικά. Ανάμεσά τους, το TiN_x, το πιο μελετημένο ίσως υλικό της κατηγορίας αυτής παρουσιάζει ένα επιπλέον εξαιρετικό ενδιαφέρον. Εμφανίζει χρυσόμορφο χρώμα, ιδανικό για χρήσεις στη διακοσμητική. Ο χρωματισμός του TiN_x αποτελεί ενδογενές χαρακτηριστικό του υλικού (δεν οφείλεται δηλαδή σε φαινόμενα συμβολής), οφείλεται δε, στην απορρόφηση ενέργειας ενός φωτονίου, στην περιοχή του ορατού, από ένα ηλεκτρόνιο μιας κατειλημμένης στάθμης και τη μετάβασή του από την ταινία σθένους στην ταινία αγωγιμότητας. Πρόκειται δηλαδή για μία διαταϊνιακή μετάπτωση. Με τη βοήθεια

της Φασματοσκοπικής Ελλειψομετρίας έχουν ανιχνευτεί δύο διαταινιακές μεταπτώσεις πέρα από την περιοχή του ορατού. Αυτό σημαίνει ότι δεν μπορεί να ερμηνευτεί το χρώμα που παρουσιάζουν αυτά τα υμένα. Έτσι, τίθεται το ερώτημα πώς θα μπορούσαμε να ελέγξουμε το χρώμα των υμενίων κατά την ανάπτυξή τους με την τεχνική της *in-situ* και *real-time* Φασματοσκοπικής Ελλειψομετρίας (ΦΕ). Επιπλέον, ένα άλλο σημαντικό ερώτημα που αφορά στο ίδιο υλικό είναι η εξαιρετική σταθερότητα της δομής του, καθώς εμφανίζεται να διατηρεί την κυβική του φάση, για ένα μεγάλο εύρος στοιχειομετρίας ($0.6 \leq x \leq 1.2$).

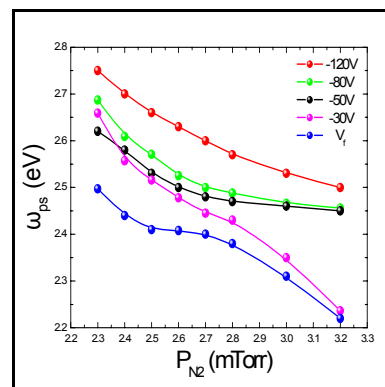
Μία άλλη σημαντική ένωση του Ti με πολλές εφαρμογές, είναι το TiB₂. Οι πολλαπλές του χρήσεις πηγάζουν από το γεγονός ότι το υλικό αυτό παρουσιάζει εξαιρετικά υψηλή σκληρότητα και υψηλό Σ.Τ. Ένα σημαντικό ζήτημα, που αφορά όλα τα βορίδια των μετάλλων μεταπτώσεως είναι η υπερστοιχειομετρία σε B που παρατηρείται σε σχέση με τους χρησιμοποιούμενους στόχους. Αν και η αιτία της υπερστοιχειομετρίας έχει εξηγηθεί, παρόλα αυτά δεν έχουν δοθεί απαντήσεις για την παρουσία σημειακών ατελειών δομής σε σχέση με την παρατηρούμενη υπερστοιχειομετρία. Επιπλέον δεν έχει γίνει συστηματική μελέτη των μηχανισμών ανάπτυξης λεπτών υμενίων TiB₂.

Επομένως, οι στόχοι της Διατριβής ήταν:

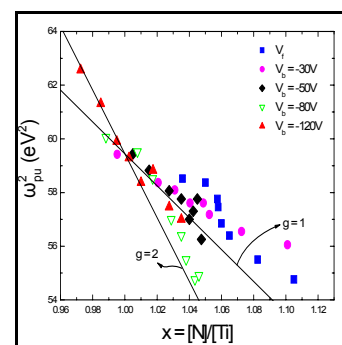
- Η ανάπτυξη μεθοδολογίας για τον *in-situ* χρωματικό έλεγχο υμενίων TiN_x για εφαρμογές στη διακοσμητική. Επίσης, η διερεύνηση του ρόλου των σημειακών ατελειών με υπολογιστικές και πειραματικές μεθόδους.
- Η ανάπτυξη υπέρ-σκληρών νανοδομικών επικαλύψεων TiB₂ για εφαρμογές σε κοπτικά εργαλεία και την προστασία επιφανειών από τη φθορά και η μελέτη των δομικών και ηλεκτρονικών τους ιδιοτήτων. Επίσης η μελέτη του μηχανισμού ανάπτυξης με χρήση της *in-situ* και *real-time* Φασματοσκοπικής Ελλειψομετρίας.

- Η ανάπτυξη και η μελέτη πολυστρωματικών δομών, όπως Ti/TiB₂ και TiN/CrN. Η διερεύνηση του ρόλου της Φασματοσκοπικής Ελλειψομετρίας (ΦΕ) στο δομικό χαρακτηρισμό πολυστρωματικών συστημάτων.

Αρχικά, για την περίπτωση των υμενίων TiN_x, με τη χρήση της *in-situ* και *real-time* ΦΕ, έγινε συσχέτιση των ηλεκτρονικών ιδιοτήτων και της χρωματικής τους απόκρισης. Τα υμένα TiN_x παρασκευάστηκαν με την τεχνική *dc unbalanced magnetron sputtering* σε διάφορες τιμές της τάσης πόλωσης στο υπόστρωμα (V_b) και για διάφορες τιμές της μερικής πίεσης του N₂ (P_{N_2}). Κατώτατο όριο στην τιμή της μερικής πίεσης του N₂ αποτέλεσε η σταθερότητα στο πλάσμα Ti-N. Ο απευθείας προσδιορισμός της φαινόμενης ενέργειας πλάσματος (ω_{ps}), χρησιμοποιήθηκε για τον προσδιορισμό της στοιχειομετρίας των υμενίων, με βάση παλαιότερες μελέτες [Harland G. Tompkins and Eugene A. Irene, "Handbook of Ellipsometry", Springer (2005), S. Logothetidis, I. Alexandrou, J. Stoemenos, Applied Surface Science, 86 185-189 (1995), W. Ensinger; Nuclear Instr. and Methods in Phys. B 127/128 796-808 (1997)]. Αναγνωρίστηκαν έτσι οι διαφορετικοί μηχανισμοί προσρόφησης του N₂ στα αναπτυσσόμενα υμένα.



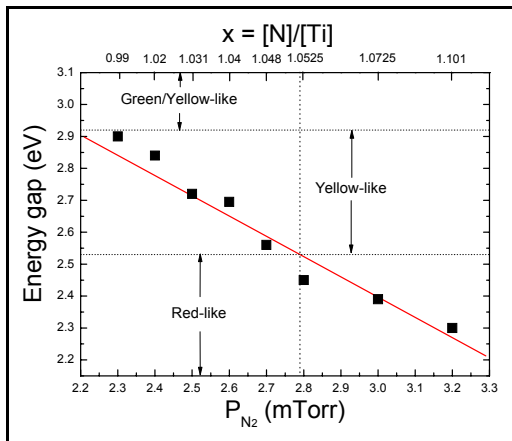
Μεταβολή της ω_{ps} σε συνάρτηση με τη μερική πίεση του N₂ και την επιβαλλόμενη τάση πόλωσης στο υπόστρωμα.



Η διακύμανση της τιμής της ενέργειας πλάσματος, ω_{ps} , με τη στοιχειομετρία για τις σειρές των υμενίων που αναπτύχθηκαν με $V_b = +20V - -120V$.

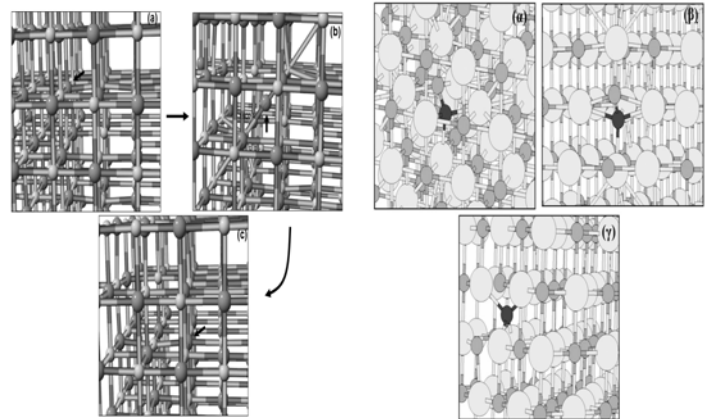
Έγινε ο υπολογισμός της ενεργειακής θέσης της έναρξης των διαταινιακών μεταπτώσεων (θεμελιώδους χάσματος) στην οποία οφείλεται ο χρωματισμός των υμενίων. Με τον τρόπο αυτό, καταδείχθηκε ότι μπορεί

να γίνει απευθείας έλεγχος του χρώματος των αναπτυσσόμενων υμενίων, γεγονός εξαιρετικά σημαντικό για εφαρμογές στη διακοσμητική.



Οι τιμές του ενεργειακού χάσματος για τα λεπτά υμενία TiN_x που αναπτύχθηκαν με $V_b = -30V$.

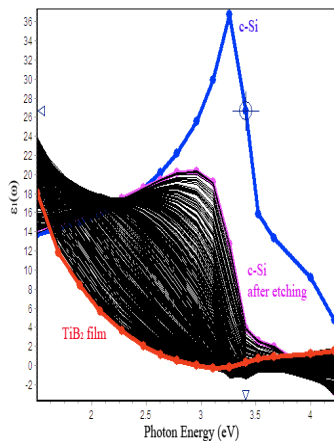
Παραμένοντας στο ίδιο υλικό, έγινε μια θεωρητική μελέτη για το σημαντικό ρόλο που παίζουν οι σημειακές ατέλειες N στη δομική σταθερότητα του TiN_x . Η μελέτη έγινε με τη χρήση υπολογιστικών μεθόδων από πρώτες αρχές και της θεωρίας της πυκνότητας του συναρτησοειδούς. Οι ατομικοί μηχανισμοί, στους οποίους οφείλεται η θερμική σταθερότητα του TiN_x συνδέονται με την αλληλεπίδραση ή και τη μετακίνηση σημειακών ατελειών, οι οποίες ενεργοποιούνται σε διαφορετικές θερμοκρασίες. Αρχικά, έγινε αναγνώριση των δομικών ιδιοτήτων και των αλληλεπιδράσεων ανάμεσα σε απομονωμένες σημειακές ατέλειες στο TiN . Βρέθηκε ότι η αλληλεπίδραση μεταξύ δύο γειτονικών οπών σε πλεγματοκή θέση N (V_N) είναι ελαφρώς απωθητική και ότι η μετακίνηση μια τέτοιας οπής έχει μια μεγάλη ενέργεια ενεργοποίησης της τάξης των 3.8eV. Το μεγάλο φράγμα διάχυσης για τα V_N υπογραμμίζει τη θερμική σταθερότητα υποστοιχειομετρικών υμενίων TiN_x . Η καταστολή της μετακίνησης των V_N οδηγεί στη διατήρηση της δομής FCC, ακόμα και μακριά από την ιδανική στοιχειομετρία.



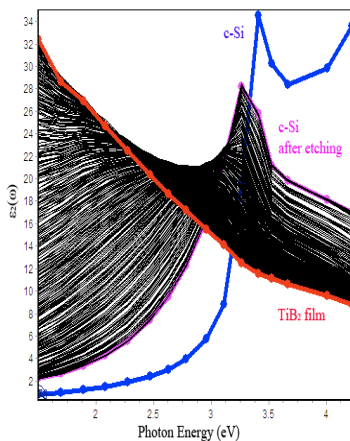
Διάχυση οπής N στο πλέγμα του TiN . Το φράγμα διάχυσης μιας τέτοιας μετακίνησης είναι υψηλό και ίσο με 3.9eV.

Διάχυση ενδόθετου N στο πλέγμα του TiN . Το φράγμα διάχυσης μιας τέτοιας μετακίνησης είναι ίσο με 1.3eV.

Η επίδραση του ιοντικού βομβαρδισμού στις δομικές και ηλεκτρονικές ιδιότητες λεπτών υμενίων TiB_2 μελετήθηκε διεξοδικά. Τα υμενία TiB_x αναπτύχθηκαν με την ίδια τεχνική που αναπτύχθηκαν και τα υμενία TiN_x . Η στοιχειομετρία των υμενίων TiB_x βρέθηκε να επηρεάζεται σε σημαντικό βαθμό από τον ιοντικό βομβαρδισμό που επάγει η εφαρμογή της τάσης πόλωσης στο υπόστρωμα $|V_b|$. Το x βρέθηκε να κυμαίνεται από 2.1 – 2.23. Βρέθηκε, επίσης, ότι η αύξηση του $|V_b|$ ευνοεί την ανάπτυξη των κρυσταλλινών στη διεύθυνση [001]. Επίσης, το μέγεθος της μοναδιαίας κυψελίδας, με όρους αυτούς των πλεγματοκών παραμέτρων a και c, αυξάνεται με μεταβολή του V_b από +16 σε -100V. Το γεγονός αυτό επιβεβαιώνεται από μετρήσεις που έγιναν στα υμενία για τον υπολογισμό των εσωτερικών τάσεων. Τα υμενία εμφανίζουν εσωτερικές συμπιεστικές τάσεις που επίσης αυξάνουν με την αύξηση του $|V_b|$, και οι οποίες καθορίζονται από την παρουσία σε ενδόθετες θέσεις στο πλέγμα ατόμων B. Με τη βοήθεια της *in-situ* και *real-time* ΦΕ, διευκρινίστηκαν οι μηχανισμοί με τους οποίους αναπτύχθηκαν τα υμενία, δίνοντας έμφαση στην ανάλυση των λίγων πρώτων δευτερολέπτων από την έναρξη της εναπόθεσης.

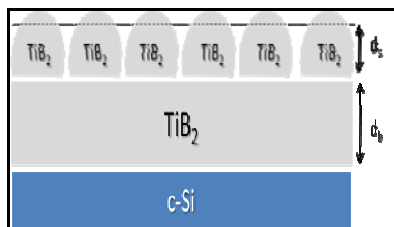


Η μεταβολή του πραγματικού μέρους της διηλεκτρικής συνάρτησης κατά τη διάρκεια της ανάπτυξης λεπτών υμενίων TiB_2 .

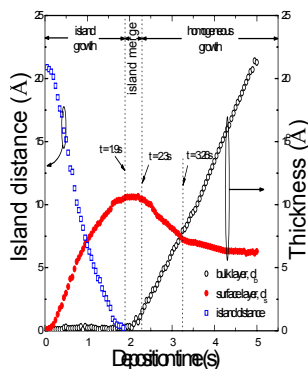


Η μεταβολή του φανταστικού μέρους της διηλεκτρικής συνάρτησης κατά τη διάρκεια της ανάπτυξης λεπτών υμενίων TiB_2 .

Έτσι, διαπιστώθηκε πως αρχικά έχουμε ανάπτυξη του υλικού σε νησίδες (μηχανισμός ανάπτυξης τύπου *Volmer-Weber*) ενώ από ένα κρίσιμο σημείο και μετά ($t \sim 3s$) η ανάπτυξη γίνεται κατά στρώματα (μηχανισμός ανάπτυξης *Frank Van der Merwe*).

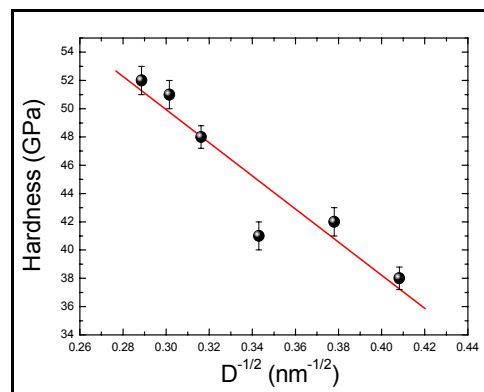


Αναπαράσταση του γεωμετρικού μοντέλου που χρησιμοποιήθηκε για την ανάλυση των ελλειψομετρικών δεδομένων κατά τη διάρκεια της ανάπτυξης λεπτών υμενίων TiB_2 .



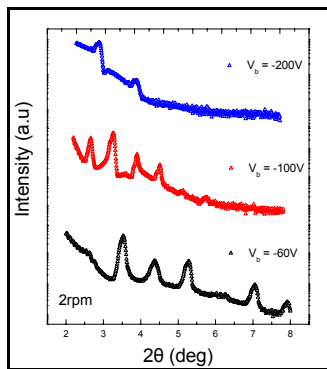
Η χρονική εξέλιξη των d_b και d_s για την περίπτωση λεπτού υμενίου TiB_2 που αναπτύχθηκε με $V_b = -60V$. Τα d_b και d_s που υπολογίζονται φαίνονται στη διπλανή εικόνα.

Τέλος, μελετήθηκαν οι μηχανικές ιδιότητες (σκληρότητα και μέτρο ελαστικότητας) των παραγόμενων υμενίων. Βρέθηκε ότι η ενίσχυση της σκληρότητας οφείλεται στην αύξηση της πυκνότητας των υμενίων, στην παρουσία ατελειών δομής και στο μέγεθος των κρυσταλλινών. Ειδικά η εξάρτηση της σκληρότητας από το μέγεθος των κρυσταλλινών υπακούει στο αντίστροφο φαινόμενο *Hall-Petch*.

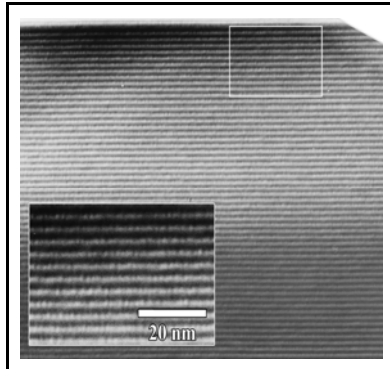


Η εξάρτηση της σκληρότητας λεπτών υμενίων TiB_2 από το μέσο μέγεθος των κρυσταλλινών.

Στο τελευταίο κομμάτι της διατριβής μελετήθηκαν πολυστρωματικά υμένια Ti/TiB_2 και TiN/CrN . Πρόκειται για υμένια που προκύπτουν από τη διαδοχική και εναλλασσόμενη εναπόθεση δύο διαφορετικών υλικών σε ένα υπόστρωμα, δημιουργώντας με αυτόν τον τρόπο μια περιοδική δομή. Η περιοδικότητα αυτή επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό τις ιδιότητες των υλικών που το αποτελούν και τη μηχανική του συμπεριφορά. Στην περίπτωση των υμενίων Ti/TiB_2 έγινε μελέτη με τεχνικές ακτίνων-Χ μικρών γωνιών και ΦΕ. Η μελέτη αποκάλυψε την επίδραση της ταχύτητας περιστροφής του δείγματος, κατά τη διάρκεια της ανάπτυξης, και της τάσης, που εφαρμόζεται στο υπόστρωμα, στα μορφολογικά χαρακτηριστικά των μεμονωμένων στρωμάτων των δύο υλικών στο πολυστρωματικό σύστημα. Η τραχύτητα των διεπιφανειών αυξάνεται με την αύξηση της ταχύτητας περιστροφής ενώ μειώνεται καθώς αυξάνεται το $|V_b|$. Όλα τα υμένια παρουσιάζουν πολύ καλή περιοδικότητα κατά μήκος της διεύθυνσης ανάπτυξης, ενώ μόνο στην περίπτωση των υμενίων που αναπτύχθηκαν για $V_b = -200V$ και ταχύτητα περιστροφής μεγάλη και ίση με $9rpm$, παρατηρείται μία διατάραξη στην περιοδικότητα, καθώς απουσιάζουν από τα ακτινογραφήματα μικρών γωνιών ανακλάσεις ανώτερων τάξεων. Τα αποτελέσματα αυτά έρχονται σε συμφωνία με τις παρατηρήσεις εικόνων ηλεκτρονικής μικροσκοπίας (TEM).



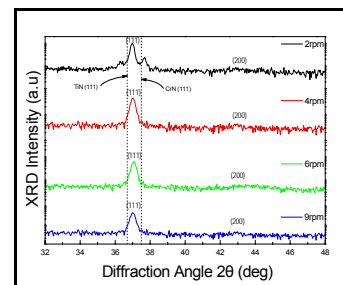
Ακτινογραφήματα περίθλασης μικρών γωνιών πολυστρωματικών υμενίων Ti/TiB₂



Εικόνα TEM από πολυστρωματικό υμένιο Ti/TiB₂.

Η πυκνότητα των ενδιαμέσων στρωμάτων επηρεάζεται επίσης σημαντικά από τις παραμέτρους εναπόθεσης. Τα αποτελέσματα των τεχνικών ακτίνων-Χ, όσον αφορά στον υπολογισμό της διαπλεγματικής περιόδου είναι σε απόλυτη συμφωνία μεταξύ τους. Ο συνδυασμός των αποτελεσμάτων ΦΕ, ακτίνων-Χ και TEM αποδεικνύει πως η χρήση της ΦΕ μπορεί να αποτελέσει ένα σημαντικό εργαλείο στη μελέτη πολυστρωματικών υμενίων. Τέλος, μελετήθηκε η επίδραση της διαπλεγματικής περιόδου στα μικροδομικά χαρακτηριστικά πολυστρωματικών υμενίων TiN/CrN. Σε όλες τις περιπτώσεις, κυρίαρχος προσανατολισμός

ανάπτυξης είναι ο [111]. Η παραμόρφωση της μοναδιαίας κυψελίδας δεν επηρεάζεται από την τιμή της ταχύτητας περιστροφής του δείγματος, γεγονός που υποδηλώνει ότι η παραμόρφωση των κρυστάλλων είναι εντοπισμένη σε συγκεκριμένες διευθύνσεις. Αυτό επιβεβαιώνεται και από την αύξηση της διαπλάτυνσης της ανάκλασης (111) των πολυστρωματικών υμενίων TiN/CrN.



Ακτινογραφήματα περίθλασης ακτίνων-Χ υψηλών γωνιών πολυστρωματικών υμενίων TiN/CrN.

Νικόλαος Καλφαγιάνης

Διδάκτωρ, ΔΠΜΣ “Νανοεπιστήμες & Νανοτεχνολογίες”

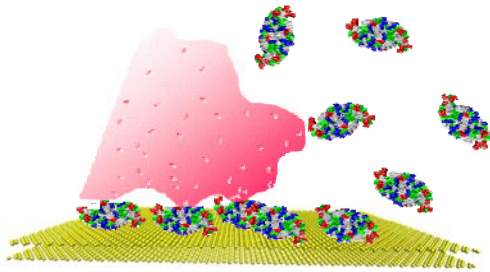
- Αιμοσυμβατά και Αντιμικροβιακά Υλικά

Στα πλαίσια του Διατμηματικού Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών “Νανοεπιστήμες & Νανοτεχνολογίες” πραγματοποιήθηκε η Διδακτορική Διατριβή με τίτλο “Ανάπτυξη και Μελέτη Αιμοσυμβατών και Αντιμικροβιακών Υλικών”. Η Διατριβή πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια του Ερευνητικού Προγράμματος ΠΕΝΕΔ 03 με τίτλο “Ανάπτυξη Τεχνολογίας Νανοδομικών και Υπερπλεγματικών Επικαλύψεων (Υπέρσκληρων – Βιοσυμβατών – Αντιμικροβιακών) με Εφαρμογές στη Μηχανολογία/Βιοϊατρική/Διακοσμητική”.

Η ανάπτυξη και η μελέτη νέων βιοϋλικών κατέχουν μεγάλο μέρος της επιστημονικής έρευνας, λόγω της

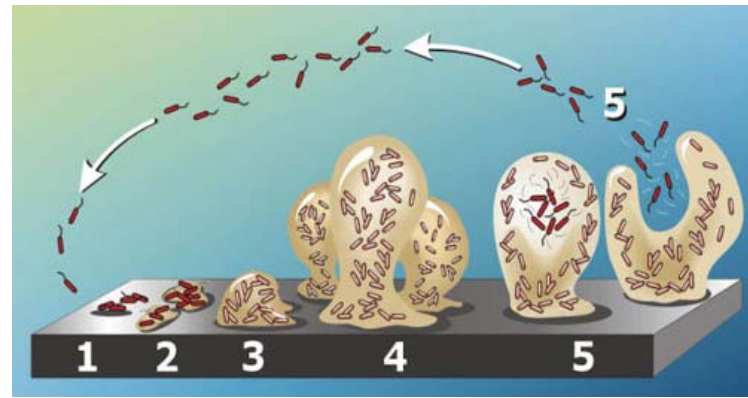
βελτίωσης της ποιότητας ζωής που υπόσχονται. Η μελέτη της πρωτεϊνικής προσρόφησης είναι ένα πολύ σημαντικό τμήμα της έρευνας αυτής, εφόσον το νερό και οι πρωτεΐνες είναι τα πρώτα στοιχεία που προσροφώνται σε μία ξένη προς το σώμα επιφάνεια, μόλις αυτή έρθει σε επαφή με τον οργανισμό, και η προσκόλληση των κυττάρων ακολουθεί χρονικά (Σχ.1). Το μεγαλύτερο πρόβλημα στην κατανόηση και περιγραφή του φαινομένου της πρωτεϊνικής προσρόφησης είναι η έλλειψη κατάλληλων τεχνικών που να επιτρέπουν την παρατήρησή της σε πραγματικό χρόνο, καθώς και την παρατήρηση της προσρόφησης παραπάνω από μίας πρωτεΐνης στην ίδια επιφάνεια. Άλ-

λο ένα πρόβλημα είναι η μεγάλη ποικιλία των παραγόντων που επηρεάζουν την προσρόφηση των πρωτεϊνών και που διαφέρουν ανάλογα με τη φύση της επιφάνειας.



Σχήμα 1. Σχηματική αναπαράσταση αλληλεπιδράσεων επιφάνειας βιοϋλικού – πρωτεϊνών – κυττάρων.

Άλλη μία παράμετρος πολύ σημαντική για την αποτελεσματικότητα ενός βιοϋλικού είναι οι αντιβακτηριδιακές του ιδιότητες. Μικρός αριθμός βακτηρίων από το δέρμα του ασθενούς ή από τα χέρια του προσωπικού ή από το περιβάλλον του νοσοκομείου για παράδειγμα, είναι πιθανό να μολύνουν το βιοϋλικό κατά τη χειρουργική επέμβαση για την εισαγωγή ενός εμφυτεύματος. Καθώς τα βακτήρια προσκολλώνται γρήγορα στις επιφάνειες, αρχίζουν να πολλαπλασιάζονται και να σχηματίζουν βακτηριακά συσσωματώματα πάνω σε μία επιφάνεια, τα οποία περιβάλλονται από εξωκυτταρική ουσία (slime). Αυτή η συσσωρευμένη βιομάζα των βακτηρίων μαζί με την περιβάλλουσα εξωκυτταρική ουσία είναι γνωστή ως biofilm. Μετά το σχηματισμό του biofilm, κάποια θυγατρικά κύτταρα (βακτήρια) φεύγουν από την εξωκυτταρική περιβάλλουσα ουσία (slime) είτε σταματώντας την παραγωγή της ή συνεχίζοντάς την, και είναι ελεύθερα να μετακινήσουν σε νέες περιοχές της επιφάνειας και να επαναλάβουν τη διαδικασία που περιγράφηκε (Σχ.2) [1].



Σχήμα 2. Σχηματική αναπαράσταση των φάσεων που περιλαμβάνονται στην ανάπτυξη biofilm [2].

Η νανοτεχνολογία, με τον συνδυασμό και τη συνεργασία των βασικών Επιστημών, παρέχει τεχνικές που διερευνούν λεπτομερώς τις ιδιότητες διάφορων υλικών (βιολογικών και μη) στη νανοκλίμακα και καθιστά ικανή την ελεγχόμενη παρασκευή υλικών άτομο προς άτομο, ώστε να έχουν τις επιθυμητές ιδιότητες.

Στην παρούσα διατριβή έγινε συσχέτιση των οπτικών και επιφανειακών ιδιοτήτων λεπτών υμενίων άμορφου υδρογονωμένου άνθρακα (a-C:H), άμορφου νιτριδίου του βορίου (a-BN) και διβοριδίου του τιτανίου (TiB₂) με την προσρόφηση δύο βασικών πρωτεϊνών του πλάσματος του αίματος (αλβουμίνης, που αποτρέπει τη δημιουργία θρόμβου και ινωδογόνου, που είναι βασικός παράγοντας του σχηματισμού θρόμβου). Επίσης, πραγματοποιήθηκε μελέτη σε πραγματικό χρόνο της προσρόφησης του ινωδογόνου σε διαφορετικές συνθήκες διαλύματος και σε υμένια a-C:H με διαφορετική επιφανειακή νανοδομή. Τέλος, έγινε μια πρώτη εκτίμηση της αντιβακτηριδιακής δράσης έναντι του βακτηρίου *Staphylococcus aureus* επιλεγμένων υμενίων a-C:H και TiB₂ και αναπτύχθηκαν πολυμερικά υμένια που περιέχουν νανοσωματίδια οξειδίου του ψευδαργύρου (ZnO), για τη μελέτη της δράσης τους κατά της προσκόλλησης του *S. aureus*.

Η μελέτη των οπτικών ιδιοτήτων των υμενίων και των προσροφημένων πρωτεϊνών, καθώς και η μελέτη της πρωτεϊνικής προσρόφησης σε πραγματικό χρόνο, έγιναν με την τεχνική της Φασματοσκοπικής Ελλειψο-

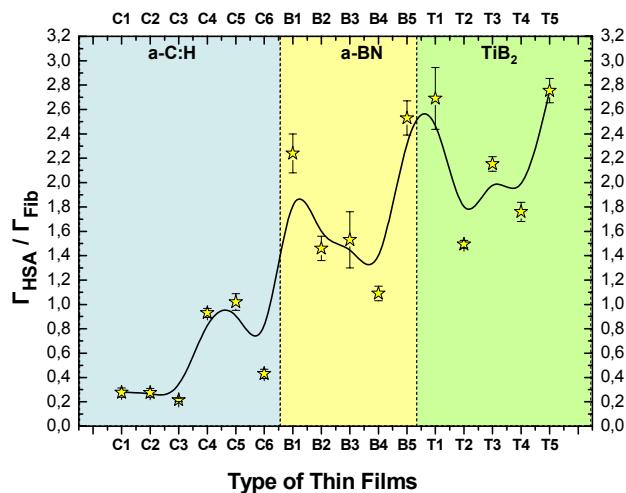
μετρίας (ΦΕ). Η επιφανειακή τοπογραφία των υμενίων και των προσροφημένων πρωτεϊνών μελετήθηκε με την τεχνική της Μικροσκοπίας Ατομικών Δυνάμεων (AFM). Για τη μελέτη της κατανομής του επιφανειακού ηλεκτρικού φορτίου και της υδροφιλικότητας των υμενίων χρησιμοποιήθηκαν οι τεχνικές της Μικροσκοπίας Ηλεκτρικών Δυνάμεων (EFM) και μετρήσεις γωνίας επαφής (Contact angle, CA).

Τα κύρια αποτελέσματα της διατριβής μπορούν να συνοψιστούν ως ακολούθως:

- Για την περίπτωση της αρχικής εκτίμησης αιμοσυμβατότητας μέσω της παρατήρησης της προσρόφησης αλβουμίνης (HSA) και ινωδογόνου (Fib), έγινε συσχέτιση των ιδιοτήτων των υμενίων προς μελέτη με το λόγο προσρόφησης αλβουμίνης / ινωδογόνου ($\Gamma_{HSA} / \Gamma_{Fib}$) (Σχ.3).

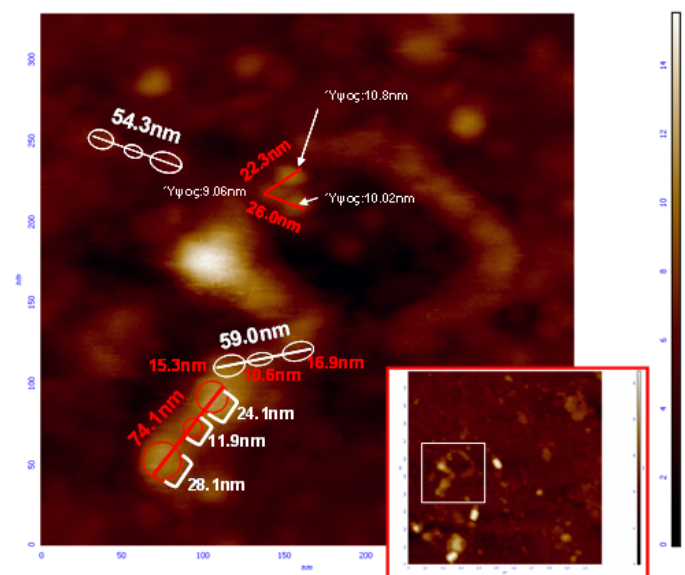
i) Στα υμένια a-C:H πρωταρχικό ρόλο παίζει η τραχύτητα των υμενίων, καθώς τα περισσότερο τραχιά δείγματα ευνοούν την προσρόφηση της HSA (η επιφανειακή τους τραχύτητα είναι συγκρίσιμη με το μέγεθος του πρωτεϊνικού μορίου της) και συνεπώς παρουσιάζουν τη μεγαλύτερη τιμή $\Gamma_{HSA} / \Gamma_{Fib}$.

ii) Οι τιμές του λόγου $\Gamma_{HSA} / \Gamma_{Fib}$ για τα υμένια που περιέχουν βόριο (a-BN και TiB_2) είναι υψηλότερες σε σύγκριση με αυτές των υμενίων a-C:H. Οι επιφανειακές ιδιότητες των υμενίων είναι κυρίως εκείνες που καθορίζουν την πρωτεϊνική προσρόφηση. Τα υμένια a-BN που περιέχουν το περισσότερο βόριο στην επιφάνεια (τα λιγότερο ηλεκτραρνητικά, σύμφωνα με τα αποτελέσματα της τεχνικής EFM) και είναι και τα περισσότερο υδρόφιλα, φαίνεται να έλκουν λιγότερο το ινωδογόνο και να μην ευνοούν την προσρόφηση του. Στα υμένια TiB_2 που περιέχουν περισσότερο B στην επιφάνειά τους (τα περισσότερο ηλεκτραρνητικά, σύμφωνα με τα αποτελέσματα της τεχνικής EFM) παρουσιάζουν τη μεγαλύτερη τιμή λόγου προσρόφησης αλβουμίνης / ινωδογόνου.



Σχήμα 3. Τιμές του λόγου προσρόφησης των πρωτεϊνών HSA και Fib για τα δείγματα a-C:H/Si, aBN/Si και TiB_2 /Si που μελετήθηκαν.

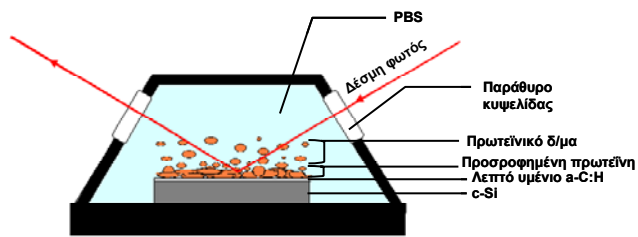
iii) Από τις εικόνες τοπογραφίας AFM φαίνεται ότι το προσροφημένο ινωδογόνο είτε διατηρεί το χαρακτηριστικό του σχήμα με τις τρεις σφαιρικές περιοχές, είτε παίρνει ωοειδή μορφή, ενώ μπορεί να έχει ευθεία διαμόρφωση, να κάμπτεται, και πολλές φορές τα μόρια είναι ενωμένα μεταξύ τους (Σχ.4).



Σχήμα 4. Εικόνα τοπογραφίας 350x350nm Fib / a-C:H#C2 (μεγέθυνση περιγεγραμμένης περιοχής από την εικόνα τοπογραφίας διαστάσεων 1x1μm στο ένθετο). Παρατηρούνται τα συσσωματώματα και η χαρακτηριστική δομή του μορίου του ινωδογόνου. Είναι σημειωμένες οι διαστάσεις του μορίου και των διάφορων δομών του.

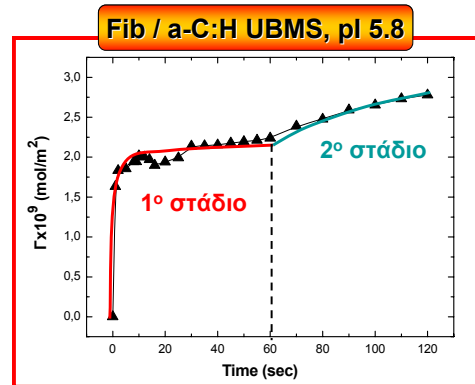
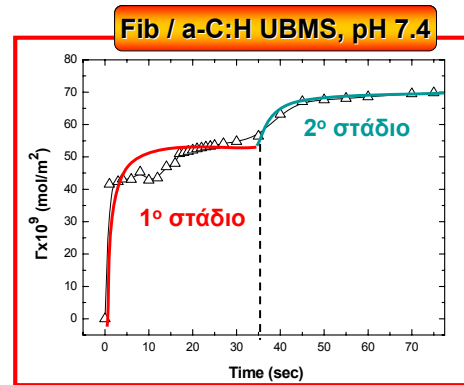
- Οι μηχανισμοί προσρόφησης του ινωδογόνου σε λεπτά υμένια a-C:H διερευνήθηκαν σε πραγματικό χρόνο με την τεχνική της ΦΕ, σε pH 7.4 και στο ισοηλεκτρικό του σημείο (pI 5.8). Οι μετρήσεις έγιναν σε γωνία πρόσπτωσης 60° και στην ενεργειακή περιοχή ορατού – υπεριώδους (1.5-4eV), ώστε να μην κατα-

στραφούν οι δομές της πρωτεΐνης, όπως φαίνεται στο Σχ.5.



Σχήμα 5. Σχηματική αναπαράσταση μέτρησης με την τεχνική ΦΕ του φαινομένου της πρωτεϊνικής προσρόφησης μέσα στην ειδική κυψελίδα.

Οι τιμές πάχους και ποσοστού όγκου του προσροφημένου ινωδογόνου επηρεάζονται σε μεγάλο βαθμό από την επιφανειακή τοπογραφία (νανοδομές) και την υδροφοβικότητα των λεπτών υμενίων a-C:H που μελετήθηκαν. Στο υμένιο με πολύ μικρές επιφανειακές νανοδομές δε διευκολύνεται η πρόσδεση του ινωδογόνου. Επίσης, η υδροφοβικότητά του αναγκάζει το μόριο του ινωδογόνου να αλλάζει διαμόρφωση, ώστε οι υδρόφιλες ομάδες του να μετακινούνται προς το εσωτερικό του και οι υδρόφοβες να εκτίθενται προς την επιφάνεια του υμενίου. Για το λόγο αυτό, οι τιμές πάχους και ποσοστού όγκου του προσροφημένου ινωδογόνου παρουσιάζουν διακυμάνσεις ενδεικτικές των αλλαγών στη διαμόρφωση των μορίων του ινωδογόνου κατά τη διάρκεια της προσρόφησης. Αντίθετα, για το πιο υδρόφιλο υμένιο με μεγαλύτερες επιφανειακές νανοδομές, παρατηρείται σταθερή αύξηση στις τιμές πάχους και ποσοστού όγκου του προσροφημένου ινωδογόνου.



Σχήμα 6. Επιφανειακή συγκέντρωση ινωδογόνου σε υμένιο a-C:H στα πρώτα sec της προσρόφησης του, σε pH 7.4 και σε pI (ισοηλεκτρικό σημείο) 5.8. Τα πειραματικά δεδομένα από τη ΦΕ σε συνδυασμό με τη χρήση κατάλληλου μοντέλου κινητικής αποκάλυψαν ότι το συνολικό φαινόμενο της πρωτεϊνικής προσρόφησης του ινωδογόνου πάνω στα υμένια a-C:H λαμβάνει χώρα σε δύο στάδια

Τα πειραματικά δεδομένα από τη ΦΕ σε συνδυασμό με τη χρήση κατάλληλου μοντέλου κινητικής αποκάλυψαν ότι το συνολικό φαινόμενο της πρωτεϊνικής προσρόφησης του ινωδογόνου πάνω στα υμένια a-C:H λαμβάνει χώρα σε δύο στάδια, όπως φαίνεται στο Σχ.6: ένα ταχύτατο πρώτο στάδιο, όπου λαμβάνει χώρα η προσρόφηση του μεγαλύτερου μέρους της ποσότητας της πρωτεΐνης, κι ένα δεύτερο βραδύτερο. Δύο πιθανά αίτια προτείνονται για την εμφάνιση δύο σταδίων στο φαινόμενο της προσρόφησης του ινωδογόνου πάνω στα υμένια a-C:H. Οι αιτίες της εμφάνισης δύο σταδίων πιθανώς να είναι: 1) ο απαραίτητος χρόνος εφesusχασμού ανάμεσα στα δύο στάδια, για να αποκτήσουν τα μόρια του ινωδογόνου τον κατάλληλο προσανατολισμό και διαμόρφωση πάνω στην επιφάνεια, ώστε τα υπόλοιπα πρωτεϊνικά μόρια να προσροφηθούν στην επιφάνεια του υμενίου που παραμένει διαθέσιμη, 2) η ύπαρξη περιοχών στην επιφάνεια του υμενίου με διαφορετικά τοπικά φορτία

που έλκουν διαφορετικές περιοχές του μορίου του ινωδογόνου. Έτσι, στο πρώτο ταχύτατο στάδιο προσροφάται το ινωδογόνο μέσω των θετικά φορτισμένων αλυσίδων του, οι οποίες είναι οι πρώτες που προσροφώνται σε μία επιφάνεια, ενώ στο δεύτερο βραδύτερο στάδιο ακολουθεί η προσρόφηση του ινωδογόνου μέσω των αρνητικά φορτισμένων περιοχών του.

- Όσον αφορά τη μελέτη των αντιβακτηριδιακών ιδιοτήτων υμενίων $\alpha\text{-C:H}$ και TiB_2 , έναντι του βακτηρίου *Staphylococcus aureus*, αυτά ευνοούν την προσκόλλησή του σε σύγκριση με το c-Si , αλλά τα υμένια $\alpha\text{-C:H}$ και TiB_2 που βρέθηκαν να έχουν μεγαλύτερες τιμές λόγου $\Gamma_{\text{HSA}} / \Gamma_{\text{Fib}}$ ευνοούν λιγότερο την προσκόλληση των βακτηρίων.

Τέλος, παρασκευάστηκαν νανοσωματίδια (NPs) οξειδίου του ψευδαργύρου (ZnO) σε θερμοκρασίες 23°C (με σύσταση ZnO και Zn(OH)_2 και μέγεθος 20-30nm), 70°C (σύσταση ZnO , μέγεθος 15-17nm) και 90°C (σύσταση ZnO , μέγεθος 25-30nm) και αναπτύχθηκαν πολυμερικά υμένια που περιέχουν ZnO NPs σε τρεις διαφορετικές συγκεντρώσεις. Το μέγεθος των NPs

παίζει ρόλο στις μικρές συγκεντρώσεις των NPs στα υμένια που αναπτύχθηκαν, εξαιτίας του αυξημένου λόγου επιφάνειας-όγκου που οδηγεί σε αυξημένη παραγωγή H_2O_2 , το οποίο διαπερνά την κυτταρική μεμβράνη και παρεμποδίζει την ανάπτυξη και την επιβίωση των βακτηρίων. Σε μεγάλη συγκέντρωση NPs όλα τα υμένια που τα περιέχουν παρουσιάζουν μεγαλύτερη αντιβακτηριδιακή δραστηριότητα σε σύγκριση με αυτή που έχει μόνο το πολυμερικό υμένιο.

[1] M. Katsikogianni and Y.F. Missirlis, M. Katsikogianni and Y.F. Missirlis Bacterial adhesion to biomaterials, *European Cells and Materials* Vol. 8. 2004 (pages 37-57).

[2]

<http://www2.binghamton.edu/biology/faculty/davies/research.htm>

Λουσινιάν Σουλβί

Διδάκτωρ, ΔΜΠΣ "Νανοεπιστήμες & Νανοτεχνολογίες"

- Μηχανικές Ιδιότητες Νανοδιάστατων Υλικών & Υπολογιστική Μηχανική

Η τεχνική της προστασίας των υλικών μέσω της επικάλυψής τους με σκληρά υμένια χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά σε ευρεία κλίμακα κατά τη δεκαετία του 1970 για την προστασία των κοπτικών εργαλείων και εργαλειομηχανών κατά τη μηχανουργική κατεργασία μετάλλων. Έκτοτε έχουν χρησιμοποιηθεί ευρέως για την προστασία μιας πληθώρας υλικών από μηχανικά ή θερμικά φορτία καθώς και από χημικές προσβολές. Οι νέες προκλήσεις που καλούνται να αντιμετωπίσουν τα υλικά κατά τη διάρκεια της ζωής τους ωθούν την έρευνα σε συνεχή αναζήτηση νέων υλικών και

καινοτόμων τεχνικών για την παραγωγή και το χαρακτηρισμό τους.

Τα σκληρά υμένια ανάλογα με τον αριθμό των στρώσεων τους κατατάσσονται σε *μονοστρωματικά* και *πολυστρωματικά* υμένια. Τα μονοστρωματικά σκληρά υμένια μπορεί να είναι μέταλλα, καρβίδια ή κεραμικά και εναποτίθενται είτε απευθείας στο υπόστρωμα ή μέσω ενός ενδιάμεσου υμενίου. Τα πολυστρωματικά υμένια έχουν ως κύρια δομική μονάδα ένα διυμένιο, δηλαδή ένα ζεύγος υμενίων από δύο διαφορετικά υλικά, το οποίο στοιχίζεται διαδοχικά καθ' ύψος δημι-

ουργώντας το πολυστρωματικό υμένιο. Το κύριο γεωμετρικό χαρακτηριστικό του πολυστρωματικού υμενίου είναι η πλεγματική σταθερά Λ , που αντιστοιχεί στο πάχος του διυμενίου. Η βελτίωση των τεχνικών παραγωγής όπως και νέες τεχνολογικές εφαρμογές των σκληρών υμενίων, είχαν ως αποτέλεσμα τη μείωση του πάχους των υμενίων σε μερικές εκατοντάδες ή ακόμα και δεκάδες νανόμετρα.

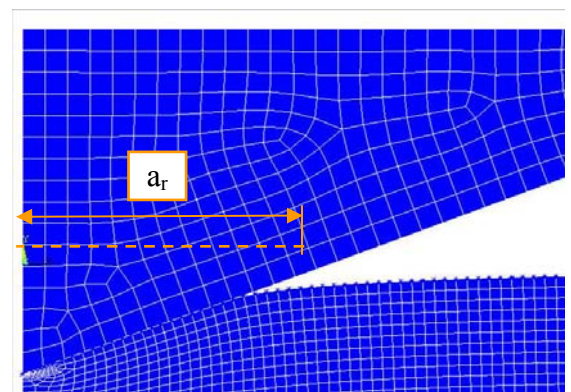
Παράλληλα με την εξέλιξη των σκληρών υμενίων, μια άλλη κατηγορία υλικών που έχουν προσελκύσει έντονο ερευνητικό ενδιαφέρον, ιδιαίτερα τα τελευταία χρόνια, είναι τα υβριδικά υλικά που σε συνδυασμό με ανόργανα υμένια και οργανικά υποστρώματα χρησιμοποιούνται για την ανάπτυξη εύκαμπτων ηλεκτρονικών διατάξεων (Flexible Electronic Devices, FEDs). Η χρήση τους σε μία πληθώρα εφαρμογών, όπως εύκαμπτες οθόνες (FOLEDs), εύκαμπτα φωτοβολταϊκά στοιχεία (OPVs) κ.ά., αυξάνει σημαντικά τις απαιτήσεις ως προς τις ιδιότητες τους. Πρέπει να έχουν εξαιρετικές μηχανικές ιδιότητες για να ανταπεξέρχονται στα φορτία κατά τη διαδικασία παραγωγής τους και την καθημερινή τους χρήση, ενώ παράλληλα άριστες πρέπει να είναι και οι οπτικές τους ιδιότητες. Επιπλέον θα πρέπει να παρέχουν υψηλή προστασία των ηλεκτρονικών τους κυκλωμάτων από διαβρωτικούς παράγοντες όπως το οξυγόνο και η υγρασία, δηλαδή να έχουν βελτιωμένες ιδιότητες φραγμού. Η κύρια διαφορά των υλικών αυτών σε σχέση με τα σκληρά υμένια είναι ότι συμπεριφέρονται ιζωδοελαστικά, δηλαδή ακόμα και με σταθερό φορτίο η παραμόρφωση τους αυξάνεται σε σχέση με το χρόνο (φαινόμενο ερπυσμού).

Τα ζητήματα που αντιμετωπίστηκαν κατά τη διάρκεια της διατριβής ήταν τα εξής:

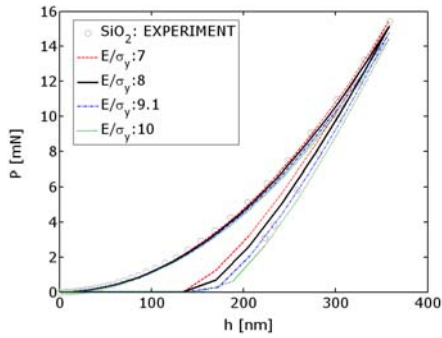
- **Ο υπολογισμός του ορίου διαρροής υλικών με γνωστό μέτρο ελαστικότητας μέσω της προσομοίωσης της νανοσκληρομέτρησης με τη μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων.**

Η προσομοίωση της συμπεριφοράς ενός υλικού με τη Μέθοδο των Πεπερασμένων Στοιχείων (ΜΠΣ) κατά τη νανοσκληρομέτρηση απαιτεί τη χρήση μια καταστατικής εξίσωσης υλικού η οποία θα λαμβάνει υπόψη την ελαστική και πλαστική παραμόρφωση που υφίσταται το υλικό κατά το στάδιο εφαρμογής του φορτίου. Η χρήση της καταστατικής εξίσωσης του ελαστικού-τέλεια πλαστικού υλικού κατά την προσομοίωση πειραμάτων νανοσκληρομέτρησης με τη ΜΠΣ, απαιτεί τον καθορισμό τριών βασικών παραμέτρων, του μέτρου ελαστικότητας, του λόγου Poisson και του ορίου διαρροής. Ενώ οι τιμές του μέτρου ελαστικότητας υλικών bulk μπορούν να υπολογιστούν με τη νανοσκληρομέτρηση, το όριο διαρροής είναι ένα μέγεθος που δεν υπολογίζεται πειραματικά σε κλίμακα νάνο. Επιπλέον, η τεχνική υπολογισμού του ορίου διαρροής σε υλικά bulk μπορεί να αποτελέσει τη βάση για την εξέλιξη μιας μεθόδου υπολογισμού των μηχανικών ιδιοτήτων εξαιρετικά λεπτών υμενίων, στα οποία υπάρχει έντονη επίδραση του υποστρώματος.

$$A_c = \pi \cdot a_r^2$$



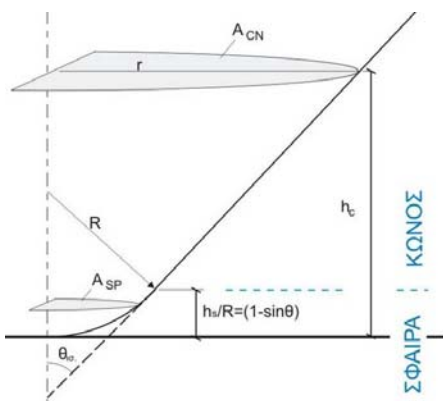
Σχήμα 1: Αξονοσυμμετρικό μοντέλο ΜΠΣ νανοσκληρομέτρησης, διακρίνεται η ονομαστική ακτίνα επαφής a_r .



Σχήμα 2: Παράδειγμα προσομοίωσης νανοσκληρομέτρησης σε SiO₂. Διακρίνεται η πειραματική καμπύλη φόρτισης-αποφόρτισης (γκρι κύκλοι) και οι καμπύλες που προέκυψαν με την προσομοίωση με τη ΜΠΣ για διάφορες τιμές του λόγου E/σ_y.

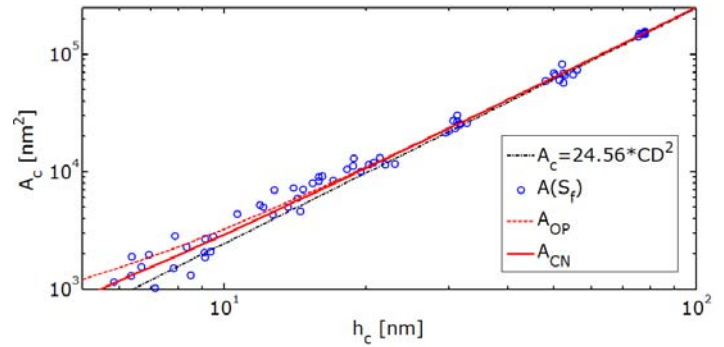
• Η βαθμονόμηση ακίδων Berkovich για χρήση σε σκληρά υμένια πάχους 100nm.

Η μέτρηση των μηχανικών ιδιοτήτων σκληρών υμενίων πάχους 100nm με τη μέθοδο της νανοσκληρομέτρησης, συνεπάγεται βάθη διείσδυσης της ακίδας της τάξης των μερικών δεκάδων νανομέτρων, προκειμένου να αποφευχθεί η επίδραση του υποστρώματος στις μετρήσεις. Σε τόσο μικρά βάθη διείσδυσης δεν μπορεί να αγνοηθεί η κυρτότητα της αιχμής της ακίδας όπως γίνεται στις συμβατικές μεθόδους βαθμονόμησης, σύμφωνα με τις οποίες η ακίδα θεωρείται τέλεια αιχμηρή.



Σχήμα 3: Σφαιροκωνική ισοδύναμη γεωμετρία ακίδας, με ακτίνα καμπυλότητας σφαιρικού τμήματος R, και περιεχόμενη γωνία κωνικού τμήματος θ₀.

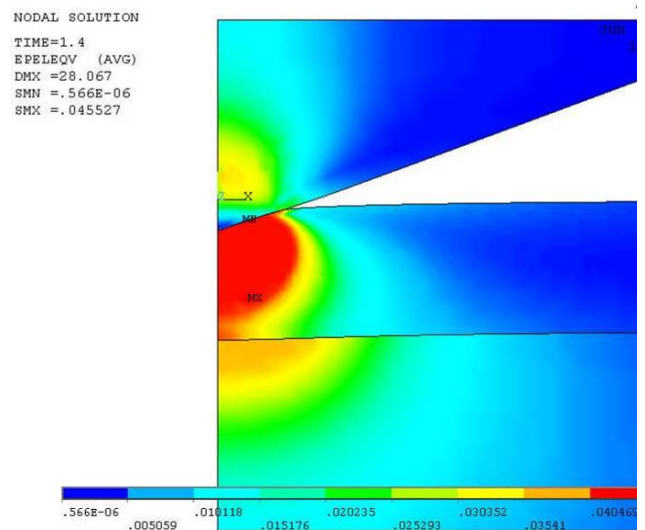
Το πρώτο ζήτημα που έπρεπε λοιπόν να διευθετηθεί ήταν η βαθμονόμηση των ακίδων που χρησιμοποιήθηκαν, ειδικά για μικρά βάθη διείσδυσης.



Σχήμα.4 Βαθμονόμηση ακίδας με (α) κλασική προσέγγιση ως τέλεια αιχμηρή (A_{OP}) και (β) ως σφαιροκωνική (A_{CN}). Η υπεροχή της προσέγγισης A_{CN} είναι φανερή

• Μηχανικές ιδιότητες μονοστρωματικών υμενίων TiB₂ και πολυστρωματικών υμενίων Ti/TiB₂ πάχους 100nm.

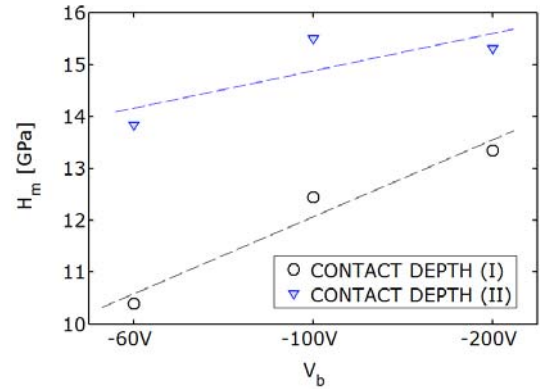
Τα νέα αυτά υλικά χαρακτηρίστηκαν ως προς τις μηχανικές τους ιδιότητες με την τεχνική της νανοσκληρομέτρησης και της νανοεγχάραξης. Οι τιμές της σκληρότητας και του μέτρου ελαστικότητας που υπολογίστηκαν συσχετίστηκαν με τη μικροδομή των υμενίων που προέκυψε από οπτικές τεχνικές ανάλυσης. Στην περίπτωση των μονοστρωματικών υμενίων αναπτύχθηκε μια τεχνική υπολογισμού του μέτρου ελαστικότητας και της σκληρότητας των υμενίων βασισμένη στη ΜΠΣ.



Σχήμα.5 Εκτίμηση κρίσιμου βάθους διείσδυσης ακίδας, για την αφαίρεση της επίδρασης υποστρώματος κατά τη νανοσκληρομέτρηση λεπτών υμενίων.

Με την τεχνική της νανοεγχάραξης μελετήθηκε η ποιότητα της συνάφειας υμενίου-υποστρώματος και

εντοπίστηκε το κρίσιμο φορτίο αποκόλλησης. Ειδικά για τα πολυστρωματικά υμένα ερευνήθηκε η σχέση του πάχους του διυμενίου και της νανοδομής τους με τις μηχανικές τους ιδιότητες.



Σχήμα.6 Επίδραση τάσης πόλωσης υποστρώματος V_b στη μέση τιμή της σκληρότητας (H_m) για πολυστρωματικά υμένα Ti/TiB₂ πάχους 100nm με ταχύτητας περιστροφής μεγαλύτερες των 4rpm.

Ζυγανιτίδης Ιωάννης

Διδάκτωρ, ΔΜΠΣ Νανοεπιστήμες & Νανοτεχνολογίες

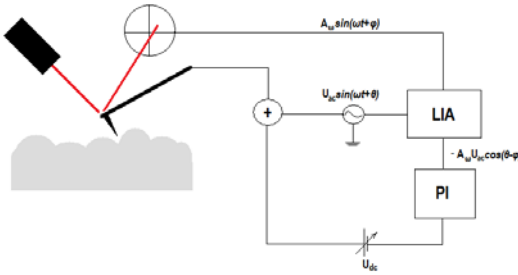
5. “KELVIN PROBE FORCE MICROSCOPY” : Μελετώντας τις ηλεκτρικές ιδιότητες των επιφανειών

Η τεχνική Kelvin Probe Force Microscopy είναι σχετικά νέα αλλά ραγδαία αναπτυσσόμενη. Οι εφαρμογές της επεκτείνονται σε ένα ευρύ φάσμα επιστημονικών πεδίων, όπως μικροηλεκτρονική, βιοχημεία και βιοφυσική, ιατρική, βιολογία κ.ά. Στόχος της είναι ο προσδιορισμός της κατανομής του επιφανειακού δυναμικού με τη μέγιστη χωρική αναλυτικότητα και διακριτική ικανότητα, ώστε μέσα από τη συσχέτισή της με τη μορφολογία και τη σύσταση των επιφανειών, να εξαχθούν συμπεράσματα για τις αντίστοιχες ηλεκτρικές και ηλεκτρονικές ιδιότητες των δειγμάτων. Η σημασία αυτού του εγχειρήματος είναι μεγάλη, καθώς πολλές διεργασίες που λαμβάνουν χώρα στη μικρο και νανοκλίμακα μπορούν να αποσαφηνιστούν και να οδηγήσουν σε βελτίωση της λειτουργίας διαφόρων διατάξεων (π.χ. μείωση της αντίστασης επαφής ηλεκτροδίων/ημιαγωγού στα τρανζίστορ, βελτιστοποίηση της σύστασης των οργανικών φωτοβολταϊκών ώστε να είναι αποδοτικότερος ο διαχωρισμός των εξιτονίων κ.ά).

Η αρχή στην οποία στηρίζεται η τεχνική είναι απλή. Αφορά στην ηλεκτροστατική αλληλεπίδραση ανάμεσα σε ένα αγώγιμο διεγέρτη (συνήθως επικαλυμμένο με κάποιο ευγενές μέταλλο, όπως Pt) και την επιφάνεια του υπό εξέταση δείγματος. Αν και υπάρχουν πολλές παραλλαγές της, συχνά προτιμάται αυτή της «διαδοχικής σάρωσης», που περιλαμβάνει τα παρακάτω στάδια:

- Προσδιορισμός της τοπογραφίας σε tapping mode.
- Απομάκρυνση του διεγέρτη σε προκαθορισμένη απόσταση από την επιφάνεια του δείγματος.
- Ανίχνευση των ηλεκτρικών αλληλεπιδράσεων ακολουθώντας την τοπογραφία. Η διαδικασία αυτή περιλαμβάνει την επιβολή επαλληλίας συνεχούς και εναλλασσόμενης τάσης στο διεγέρτη, με αποτέλεσμα την ταλάντωση του τελευταίου. Η καταγραφή του επιφανειακού δυναμικού γίνεται μέσω της προσπάθειας μηδενισμού της συνιστώσας του πλάτους που αντιστοιχεί στην πρώτη αρμονική της ταλάντωσης. Αυτό

επιτυγχάνεται με την κατάλληλη ρύθμιση της συνεχούς τάσης, όπως σημειώνεται στο Σχ. 1.



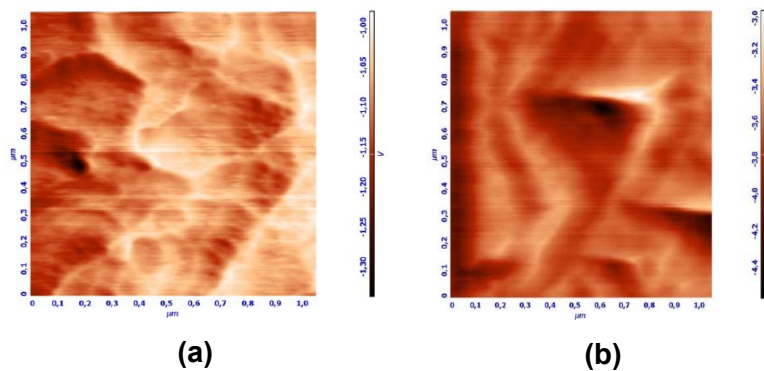
Σχήμα 1. Διάταξη Kelvin Probe Force Microscopy. Σημειώνονται τα βασικά τμήματα και σήματα που εμπλέκονται στην τεχνική. Το πλάτος A_ω του σήματος της φωτοδιόδου απομονώνεται από τον LIA και τροφοδοτεί τον PI ελεγκτή, ο οποίος ρυθμίζει κατάλληλα τη συνεχή τάση V_{dc} ώστε να μηδενιστεί το πλάτος A_ω . LIA: Lock in Amplifier, PI: proportional integral controller.

Η περιγραφή που προηγήθηκε είναι ένα αρκετά απλοποιημένο σχήμα και δεν αποδίδει την πολυπλοκότητα των μετρήσεων. Υπάρχει ένα πλήθος παραγόντων, όπως η γεωμετρία και οι ηλεκτρονικές ρυθμίσεις της μετρητικής διάταξης, η κατασκευή του διεγέρτη, το είδος και η τραχύτητα της επιφάνειας του δείγματος, οι περιβαλλοντικές συνθήκες που πραγματοποιούνται οι μετρήσεις, το υπόστρωμα επί του οποίου είναι ανεπτυγμένα τα υμένια κ.ά., που αφήνουν το «στίγμα» τους στις πραγματικές τιμές. Επομένως, χρειάζεται να υπάρχει φροντίδα ώστε τα πειράματα να εκτελούνται με την ελάχιστη δυνατή «εξωγενή» επίδραση, γεγονός που σημαίνει τουλάχιστον ελεγχόμενες περιβαλλοντικές συνθήκες και κατάλληλη ρύθμιση των παραμέτρων του συστήματος μέτρησης.

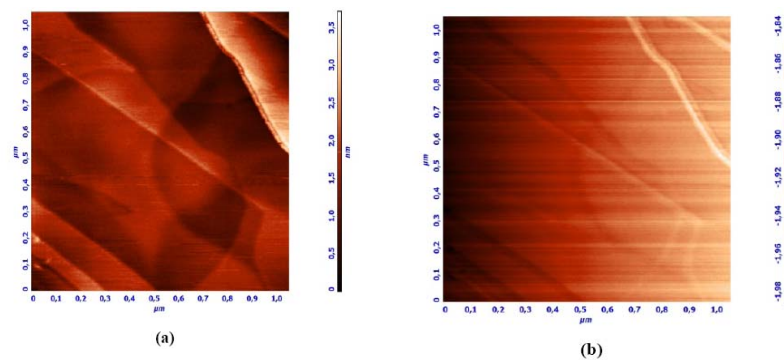
Ωστόσο, δεν έχουμε πάντα αυτή τη δυνατότητα, όπως, για παράδειγμα, όταν θέλουμε να προσδιορίσουμε τη συμπεριφορά των επιφανειών σε πραγματικές εφαρμογές. Στην περίπτωση αυτή, είναι επιτακτική η γνώση του τρόπου με τον οποίο παράγοντες, όπως η υγρασία, επεμβαίνουν στις μετρήσεις. Από την άλλη όμως, ακόμα και αν κατορθώσουμε να ελέγξουμε το περιβάλλον, δεν είναι βέβαιο ότι οι τιμές που λαμβάνουμε αντιστοιχούν στις επιφανειακές ιδιότητες

του δείγματος. Αυτό οφείλεται αφενός στην ευαισθησία των ηλεκτρονικών κυκλωμάτων της μετρητικής διάταξης και αφετέρου στο είδος του υποστρώματος επί του οποίου αναπτύσσεται το υμένιο. Για την πρώτη περίπτωση, δεν υπάρχει κάποια ιδιαίτερη συνταγή, εκτός από την κατάλληλη ρύθμιση του συστήματος με τη βοήθεια ενός προτύπου υλικού με καλά καθορισμένες ηλεκτρικές ιδιότητες. Για τη δεύτερη περίπτωση, δεν συντρέχει λόγος αμφιβολίας όταν τα υμένια είναι τέτοιου πάχους ώστε να εμποδίζουν την εκδήλωση οποιωνδήποτε επιδράσεων από το υπόστρωμα. Ωστόσο, αν η προηγούμενη προϋπόθεση δεν πληρείται, το είδος του υποστρώματος θα διαδραματίσει σημαντικό ρόλο στις τιμές του επιφανειακού δυναμικού(Σχ. 2).

Από τα παραπάνω, γίνεται σαφές πως η τεχνική Kelvin Probe Force Microscopy είναι ένα πολύτιμο εργαλείο για τη μελέτη των φαινομένων της μικρο- και νανοκλίμακας. Ωστόσο, η ευαισθησία της σε διάφορους παράγοντες επιβάλλει αφενός κατάλληλη ρύθμιση των πειραματικών συνθηκών και παραμέτρων που εμπλέκονται σε αυτή και αφετέρου την προσεκτική ερμηνεία των αποτελεσμάτων, όταν δεν είναι εφικτή η ελαχιστοποίηση των προαναφερθέντων «εξωγενών» επιδράσεων.



Σχήμα 2. Επιφανειακό δυναμικό επιφάνειας PTFE για υπόστρωμα (a) ανοξειδωτού ατσάλιου και (b) p- τύπου κρυσταλλικού πυριτίου. Διαστάσεις $1 \times 1 \mu\text{m}^2$.



Σχήμα 3. (a) Τοπογραφία και (b) επιφανειακό δυναμικό επιφάνειας HOPG για $V_{ac}=500\text{mV}$ και $LH=120\text{nm}$. Διαστάσεις $1 \times 1 \mu\text{m}^2$.

Μπάστας Νικόλαος
MSc "N&N"

6. Νανομηχανικές ιδιότητες Ζωντανών Κυττάρων

Τα κύτταρα αποτελούν τη βασική λειτουργική μονάδα της ζωής, αποτελούνται όμως και τα ίδια από μεγάλο αριθμό συστατικών με ιδιαίτερα μηχανικά χαρακτηριστικά. Για να είναι σε θέση να επιτελέσουν την πληθώρα και ποικιλία των λειτουργιών τους, τα κύτταρα υφίστανται και ελέγχουν μια σειρά από ενδοκυττάρια και εξωκυττάρια αντιδράσεις, πολλές από τις οποίες είτε επηρεάζονται από μηχανικά φαινόμενα είτε ρυθμίζονται από τις δυνάμεις που ασκούνται στο κύτταρο. Παρ' ό,τι έχει βρεθεί ότι οι μηχανικές ιδιότητες των κυττάρων επηρεάζουν σημαντικά αρκετούς παράγοντες της κυτταρικής λειτουργικότητας, μόλις τα τελευταία χρόνια έγινε αντιληπτή η παθογενετική σημασία των μηχανικών ιδιοτήτων των κυττάρων σε φυσιολογικές και παθολογικές καταστάσεις. Έτσι γίνεται διεθνώς ολοένα και πιο εκτεταμένη μελέτη της μηχανικής

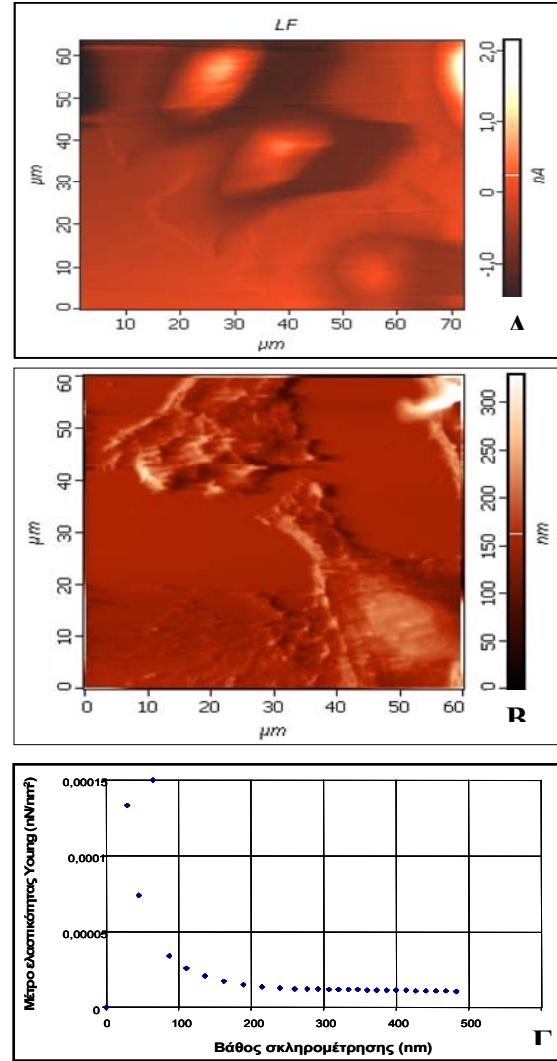
συμπεριφοράς διαφόρων τύπων κυττάρων με τη χρήση του μικροσκοπίου ατομικών δυνάμεων (AFM). Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι να μελετηθούν με τη χρήση του AFM οι μηχανικές ιδιότητες σε νεφρικά ποδοκύτταρα, κύτταρα ιδιαίτερης σημασίας σε νεφρικά νοσήματα, και σε κύτταρα HeLa που αποτελούν πρότυπο μελέτης καρκινικών κυττάρων. Η σημασία της εργασίας έγκειται αφενός στο σημαντικό ρόλο των κυττάρων αυτών στην παθογένεια αντίστοιχων νοσημάτων, αφετέρου στην απόκτηση, για πρώτη φορά, της τεχνογνωσίας στη μελέτη των μηχανικών ιδιοτήτων ζωντανών κυττάρων σε υγρό με τη χρήση του AFM στο εργαστήριο LTFN.

Οι μετρήσεις έγιναν σε θερμοκρασία δωματίου, μέσα σε υγρό (θρεπτικό υλικό ή PBS), στο fluid cell του AFM. Χρησιμοποιήθηκε η τεχνική contact mode, σε συσκευή AFM SMENA SOLVER (NT-MDT) και με τη

χρήση ανιχνευτών νιτριδίου του πυριτίου (Si_3N_4) κωνικού σχήματος, με σταθερά ελατηρίου 0,01 N/m, ακτίνα του tip 6nm και γωνία $\alpha = 18^\circ$. Μελετήθηκαν δυο

τύποι κυττάρων: α) κλασσικά ανθρώπινα καρκινικά κύτταρα τραχήλου μήτρας HeLa (κυτταρική σειρά: CCL-2, ATCC, Manassas, VA, USA), και β) νεφρικά ποδοκύτταρα από ποντικό (κυτταρική σειρά: murine E11 podocyte line, Immorto-Mouse H-2k^b-tsA58 strain, CELL LINES SERVICE, Heidelberg, Germany). Τα κύτταρα καλλιεργήθηκαν, σύμφωνα με τις οδηγίες του προμηθευτή, σε γυάλινες καλυπτρίδες επικαλυμμένες με κολλαγόνο (mouse tail collagen type II), και μετά από παρατήρηση στο οπτικό μικροσκόπιο, μεταφέρθηκαν στο fluid cell του AFM όπου υποβλήθηκαν άμεσα στις μετρήσεις.

Μετά τη λήψη τοπογραφικής εικόνας των κυττάρων (Εικ.1A & B), προχωρήσαμε στη σκληρομέτρηση του δείγματος σε διάφορα σημεία (πλέγμα 10x10 σημείων), από την οποία πήραμε τις αντίστοιχες καμπύλες του ύψους του tip στον άξονα z και της απόκλισης του βραχίονα. Με βάση το μοντέλο του Hertz, από τα δεδομένα των καμπυλών αυτών υπολογίστηκε η ασκούμενη δύναμη στο δείγμα και σχεδιάστηκαν οι καμπύλες δύναμης-βάθους σκληρομέτρησης στα αντίστοιχα σημεία και υπολογίστηκε σημείο προς σημείο το μέτρο ελαστικότητας του Young, το οποίο και απεικονίστηκε διαγραμματικά σε αντίστοιχες καμπύλες (Εικ.1Γ). Η ανάλυση των καμπυλών δύναμης-βάθους σκληρομέτρησης και μέτρου ελαστικότητας-βάθους σκληρομέτρησης έδειξε περιοχικές διαφοροποιήσεις που πιθανώς αντανακλούν τη συμβολή των επιμέρους υποκειμένων δομών του κυττάρου (πυρήνας, ινίδια ακτίνης, μικροσωληνίσκοι) στη μηχανική συμπεριφορά του. Οι μέσες τιμές του μέτρου ελαστικότητας των κυττάρων ήταν 9,1 kPa για τα κύτταρα HeLa και 11,9 kPa για τα νεφρικά ποδοκύτταρα αντίστοιχα, διαφορά που πιθανώς ερμηνεύεται από το στηρικτικό ρόλο των τελευταίων.



Εικ.1. Απεικόνιση κυττάρων HeLa (A), νεφρικών ποδοκυττάρων (B) και τυπική καμπύλη μέτρου ελαστικότητας-βάθους σκληρομέτρησης στο υπόστρωμα των κυττάρων HeLa (Γ).

Η μελέτη τόσο ανθρώπινων καρκινικών κυττάρων HeLa, όσο και νεφρικών ποδοκυττάρων ποντικών έδειξε ότι με τη χρήση του AFM μπορεί να μελετηθεί τόσο η τοπογραφία των κυττάρων με τρισδιάστατες εικόνες υψηλής ανάλυσης, όσο και οι μηχανικές ιδιότητές τους σημείο προς σημείο. Συμπερασματικά, με την τεχνογνωσία που προσφέρει, το AFM αποτελεί ένα πολύ χρήσιμο εργαλείο στη μελέτη της μορφολογίας και των νανο-μηχανικών ιδιοτήτων ζωντανών κυττάρων σε διάφορες φυσιολογικές και παθολογικές καταστάσεις.

7. Πώς βλέπουν το N&N οι Εξωτερικοί Αξιολογητές του



Prof. M. Damnjanovic



Prof. G. Kousoulas



Prof. K. Komvopoulos

The three assessors of the Interdisciplinary Postgraduate Program Professors Damnjanovic, Kousoulas and Komvopoulos, answer briefly five questions, each one from his own perspective, about the program.

- Professor M. Damnjanovic is specializing in Quantum mechanics and Mathematical physics at the Faculty of Physics at the University of Belgrade and a Corresponding Member of Serbian Academy of Sciences and Arts.*
- Professor K. G. Kousoulas is Director in the Division of Biotechnology and Molecular Medicine at the Department of Pathobiological Sciences at Louisiana State University School of Veterinary Medicine.*
- Professor K. Komvopoulos is Director of the Surface Mechanics and Tribology Laboratory at the Department of Mechanical Engineering at the University of California at Berkeley.*

How do you judge the program of the course and the directions offered regarding its discipline, which is Nanosciences and Nanotechnologies?

Damnjanovic: N&N is a quite modern and rapidly developed field. In fact, it is not a single scientific field, but a combination of techniques and theories from a number of well established disciplines. Therefore there is not a single concept of contents of N&N program; it depends on many factors (e.g., scientific background of the main organizers, available experimental techniques and teachers, purpose – whether students are preparing for scientific or industrial laboratories).

Kousoulas: Overall, I rate the Interscientific Postgraduate Program on Nanosciences & Nanotechnologies as excellent to outstanding.

Komvopoulos: The N&N Postgraduate Program has grown significantly since its inception and especially over the past two years to include more NN directions and faculty/researchers with a variety in backgrounds and expertise, particularly in biology and biosciences. The present spectrum appears to respond to ongoing trends in nanotechnology and nanosciences, providing a multi-faceted education to postgraduates.

Which aspects of this Postgraduate Program do you consider to be its strengths and weaknesses? For instance, how do you judge faculty expertise, teaching methods, students' potential, support offered to them?

Damnjanovic: I am not completely informed about all the issues mentioned. As I could see, the colleagues involved in the program are very competent, enthusiastic and the methods used are quite standard, with new

sophisticated experimental equipment at disposal. As far as students are concerned, they are exceptionally enthusiastic. However, the main problem, at least for the course I am teaching, is the diverse background of students; the course involves some quantum theory, which is always considered hard, but surely is unavoidable in nanoscience. Every year I have at first to understand what are the main difficulties for each student, and then try to help by making individual suggestions.

Kousoulas: Strengths of the program include the inclusion of a variety of topics of interest taught by internationally and nationally distinguished faculty, and the truly interdisciplinary nature of the coursework covering, physics, engineering, chemistry and biology. There are no particular weaknesses; however, there is need to continue providing real life examples of applications especially in the biomedical field.

Komvopoulos: The program maintains strength in nanomaterials, thin films, and nanometrics, but it can face much more growth in nanomechanics, nanofabrication techniques, functionalized materials/assays, and biomechanics at the molecular level.

Improvements may be sought in the integration of knowledge from various disciplines into targeted product development. Emphasis may be given on students' hands-on lab experience, particularly in the areas of nanofabrication, nanoscale testing, engineering measurements of biomaterials at the nanoscale, and new materials for flexible electronics.

How do you judge the progress of the Postgraduate Program through the years? Do you consider the foundation of Nanonet and the organization of N&N Conferences assisting elements to it?

Damnjanovic: As I can see, progress in the organization is obvious, as the rules and habits are well established. It seems to me, also, that students know what

they can expect from the program and courses - they probably consult former students.

I believe that NanoNet, N&N conference and N&N Summer School are very good in motivation of students and promotion of N&N Postgraduate Course. However, the main effect of these elements related to N&N Postgraduate Course is that both the conferences and Nanonet offer a possibility to face possible scientific/technological problems, which can give an idea for future engagement.

Kousoulas: I have witnessed the development of the Postgraduate Program since its inception. It is evident that the Course has steadily improved with regard to the included topics, the involvement of excellent students from diverse specialties and the substantial learning outcomes.

Komvopoulos: The number of post-graduate student enrollment in N&N, the dissertations completed annually, the increasing student active participation at the N&N Conference (presentations and posters), and personal interactions with faculty and students all point toward exemplary growth and enrichment of the program. The N&N Conference is a strong driving force for the post-graduate program as it enables student interactions with scientists from all over the world and technology/ideas to flow into the program.

What would you conclude about this Postgraduate Program comparing it to Postgraduate Courses with similar disciplines of your institutions?

Damnjanovic: This Course is much more complex in its scientific and technological disciplines. It is, also, more complicated to organize, with teachers from several departments and countries, and students from diverse fields, as well.

Kousoulas: The Postgraduate Program at the Aristotelian University of Thessaloniki is as good or better with any similar courses that I have had the opportunity to participate at my institution or elsewhere.

Komvopoulos: The program is in the right track and has obtained significant momentum. The involvement of more faculty and industry researchers with different (but complimentary) backgrounds should continue to be a priority, placing more emphasis on the contributions of participating scientists and faculty to the program's curriculum.

Is there any suggestion or comment in general that you would like to make as it comes to the improvement of the course?

Damnjanovic: I would like to know, and I am sure it would be also valuable information for students, where the former students are employed (organizations, science/administration/industry/teaching fields).

Also, it would be important for a teacher to know in advance the expectations (intentions) of students about their future employment. For instance, if I knew that most of my students would like to be employed in government administration, the contents of my lectures would be different from the case they would plan to continue in research.

Kousoulas: It would be particularly attractive to increasingly involve topics in biomedical applications and engage clinical faculty (physicians) and medical students to participate in some of the coursework. Furthermore, increased emphasis should be focused on highlighting current successes of nanotechnologies by referring to specific examples of reducing to practise certain discoveries and principles. The Program should include elements of intellectual property and business development issues. As part of the new "innovation ecosystem", we need to teach our students beyond fundamental scientific principles.

Komvopoulos: Additional courses should be planned (more electives), while some of the existing courses should be upgraded as nanotechnology evolves at a rapid pace. Students can also benefit a great deal from invited speakers and intensive (one to two week long) specialized courses that are lacking the current curriculum, such as nanofabrication, nanomechanics, mechanical measurements of biomaterials (tissue, cells, proteins, etc), biochemical treatments for enhanced biocompatibility, molecular dynamics, polymeric materials for electronics, nanotechnology for energy efficiency, etc.

Λ.Φ.

Φοιτήτρια