



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΚΟΣΜΗΤΟΡΑΣ

Ηρώων Πολυτεχνείου 9, 157 80 Πολυτεχνειούπολη Ζωγράφου • ΤΗΛ.: 7723572, FAX: 7723571

Αρ.Πρωτ.: 6295

Αθήνα, 26/9/16

**Προς τα Μέλη ΔΕΠ της
Σχολής Μηχ/γων
Μηχ/κών**

ΠΡΟΣΚΛΗΣΗ

Σας προσκαλούμε στην παρουσίαση της Διδακτορικής Διατριβής της **Κοράλλη Παναγιώτας** του Νικολάου, Διπλωματούχου **Μηχανολόγος Μηχανικός του ΕΜΠ**, που θα πραγματοποιηθεί την Δευτέρα 3 Οκτωβρίου 2016, ώρα 13:30μ.μ. στην Αίθουσα Διδασκαλίας του Τομέα Κατεργασιών των Υλικών (Κτίριο Ξ, 2^{ος} Όροφος) Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών Πολυτεχνειούπολη Ζωγράφου. Ο τίτλος της Διδακτορικής Διατριβής είναι ο εξής :

«Μικροκατεργασίες με Laser υλικών της φωτοβολταϊκής τεχνολογίας λεπτών υμενίων»

Επισυνάπτεται περίληψη της παραπάνω Διδακτορικής Διατριβής

Ο ΚΟΣΜΗΤΟΡΑΣ ΤΗΣ ΣΧΟΛΗΣ

Η. ΤΑΤΣΙΟΠΟΥΛΟΣ
Καθηγητής Ε.Μ.Π.



ΠΕΡΙΛΗΨΗ ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗΣ ΔΙΑΤΡΙΒΗΣ

Κοράλλη Παναγιώτας

Διπλωματούχου Μηχανολόγου Μηχανικού ΕΜΠ

Τίτλος: «Μικρο-κατεργασίες με laser υλικών της φωτοβολταϊκής τεχνολογίας λεπτών υμενίων»

Η χρήση λεπτών υμενίων στη φωτοβολταϊκή τεχνολογία γίνεται σε μία προσπάθεια για ελαχιστοποίηση του βάρους των χρησιμοποιούμενων υλικών και μείωση του κόστους. Παράλληλα, η εγχάραξη των παραγόμενων υμενίων αποτελεί το βήμα κλειδί για τη μετάβαση από μικρά και μεμονωμένα φωτοβολταϊκά στοιχεία στη μονολιθική ολοκλήρωσή τους, σε μεγάλης επιφάνειας φωτοβολταϊκά πλαίσια.

Σκοπός της παρούσας διδακτορικής διατριβής είναι η ανάπτυξη των διαφόρων τύπων λεπτών υμενίων για τη δημιουργία ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου χαλκοπυρίτη, η ανάπτυξη νέων υλικών και η μελέτη των ιδιοτήτων τους για τη συγκεκριμένη εφαρμογή, καθώς και η εγχάραξή τους με χρήση laser.

Αρχικά, αναπτύχθηκαν με τη μέθοδο της Παλμικής Εναπόθεσης με Nd:YAG laser λεπτά υμένια μολυβδαινίου (Mo) με στόχο την εφαρμογή τους ως οπίσθια μεταλλική επαφή του φωτοβολταϊκού στοιχείου. Οι εναποθέσεις πραγματοποιήθηκαν τόσο σε υποστρώματα γυαλιού, όσο και σε εύκαμπτα υποστρώματα τύπου PET, για διαφορετικές πιέσεις αργού (Ar) (5, 10 & 15 Pa) το οποίο χρησιμοποιήθηκε για την αποφυγή οξειδωσης των δειγμάτων. Τα εν λόγω δείγματα εξετάστηκαν τόσο για τις μορφολογικές όσο και για τις μηχανικές τους ιδιότητες.

Εν συνεχεία, με τη μέθοδο της Εξάχνωσης με Δέσμη Ηλεκτρονίων εναποτέθηκαν λεπτά υμένια χαλκοπυρίτη σε υποστρώματα γυαλιού, τα οποία χρησιμοποιούνται ως απορροφητές. Θέλοντας να εξετάσουμε την επίδραση νέων υλικών στη σύσταση του χαλκοπυρίτη, αντικαταστάθηκε σταδιακά το σελήνιο (Se) με τελλούριο (Te), σύμφωνα με τον στοιχειομετρικό τύπο $CuIn_{0.7}Ga_{0.3}Se_{1-x}Te_x$ για $x \in [0,1]$ με βήμα 0.2. Έτσι, παράχθηκαν λεπτά υμένια με έξι (6) διαφορετικές συστάσεις. Για κάθε σύσταση ακολούθησε θερμική επεξεργασία των λεπτών υμενίων και συγκεκριμένα ανόπτηση σε τέσσερις (4) διαφορετικές θερμοκρασίες σε ατμόσφαιρα αργού. Από τη μέχρι σήμερα γνώση μας, λεπτά υμένια χαλκοπυριτών τέτοιου τύπου δεν έχουν εναποτεθεί και διερευνηθεί για εφαρμογές στη

βιομηχανία φωτοβολταϊκών, γεγονός που αποτέλεσε κίνητρο για την παρούσα εργασία. Μελετήθηκαν εκτενώς οι δομικές, μορφολογικές και οπτοηλεκτρικές ιδιότητες των εν λόγω υμενίων. Επίσης, εφαρμόζοντας τη μέθοδο της Παραγωγής Πλάσματος που Επάγεται από Ακτινοβολία Laser (*Laser Induced Plasma Spectroscopy - LIPS*) πραγματοποιήθηκε στοιχειακή ανάλυση των λεπτών υμενίων.

Έπειτα, μελετήθηκε η ανάπτυξη λεπτών υμενίων οξειδίου του ψευδαργύρου (ZnO), με και χωρίς προσμίξεις άλλων στοιχείων, που αποτελεί το ημιαγώγιμο διαπερατό παράθυρο (πρόσθιο n-ηλεκτρόδιο) του φωτοβολταϊκού στοιχείου. Η ανάπτυξη των λεπτών υμενίων του ZnO έγινε α) με τη μέθοδο της Παλμικής Εναπόθεσης με laser (PLD) σε υπόστρωμα γυαλιού και β) με τη χημική μέθοδο του sol-gel spin coating. Για τις εναποθέσεις με τη μέθοδο της PLD χρησιμοποιήθηκε παλμικό Nd:YAG laser, μήκους κύματος ακτινοβολίας 355 nm, συχνότητας 10 Hz και οι εξής στόχοι: μεταλλικός στόχος Zn και κεραμικοί στόχοι In:ZnO (2%) και Al:ZnO (1.5%) που παρήχθησαν για λογαριασμό του Εργαστηρίου laser του Ινστιτούτου Θεωρητικής και Φυσικής Χημείας του Εθνικού Ιδρύματος Ερευνών (LATA/EIE). Για τις εναποθέσεις τη μέθοδο του sol-gel spin coating, χρησιμοποιήθηκαν διένυδρος οξικός ψευδάργυρος ($\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, Ferak - 01650), τριένυδρο νιτρικό αλουμίνιο ($\text{Al}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$, Chem-Lab 00.0121.0250) και οξικό ίνδιο ($\text{In}(\text{OOCCH}_3)_3$, Alfa Aesar 42230) αντίστοιχα. Ως διαλύτης και σταθεροποιητής του μείγματος χρησιμοποιήθηκαν 2-μεθόξυ αιθανόλη ($\text{C}_3\text{H}_8\text{O}_2$) and 2-αμινο αιθανόλη (DEA) αντίστοιχα. Όλα τα λεπτά υμένια υποβλήθηκαν σε μετρήσεις για το χαρακτηρισμό τους αναφορικά με τις δομικές, μορφολογικές και οπτοηλεκτρικές ιδιότητές τους.

Για τη βελτίωση των οπτικών ιδιοτήτων των λεπτών υμενίων του ZnO, με γνώμονα την περαιτέρω αύξηση της απόδοσης του φωτοβολταϊκού στοιχείου, εξετάστηκε η εναπόθεση νανοσωματιδίων χρυσού (Au). Με τη μέθοδο της PLD, έγιναν δοκιμές για διάφορες συνθήκες εναπόθεσης των νανοσωματιδίων πάνω σε υπόστρωμα γυαλιού και αφού ταυτοποιήθηκαν οι καταλληλότερες συνθήκες σύμφωνα με τις τιθέμενες προδιαγραφές (μικρού μεγέθους νανοσωματίδια, υψηλής ανακλαστικότητας), πραγματοποιήθηκε εναπόθεση αυτών πάνω στα προπαραχθέντα λεπτά υμένια ZnO. Με τη μέθοδο του sol-gel spin coating, χρησιμοποιήθηκε μίγμα $\text{HNO}_3:\text{HCl}$ το οποίο αναμείχθηκε με το διάλυμα του ZnO σε περιεκτικότητες 3% και 5%.

Τέλος, πραγματοποιήθηκε η μικρο – κατεργασία των διαφόρων τύπων λεπτών υμενίων που αναπτύξαμε στο εργαστήριο, καθώς και σε βιομηχανικά δείγματα ZnO της εταιρείας παραγωγής φωτοβολταϊκών Heliosphera. Για την εγχάραξη τους αναπτύχθηκε πειραματική διάταξη αποτελούμενη από ένα παλμικό Nd:YAG laser (μήκους κύματος

ακτινοβολίας 355 nm, συχνότητας 2 Hz και πυκνότητας ενέργειας $\sim 1,81\text{J}/\text{cm}^2$), διάφορα οπτικά εξαρτήματα (διάφραγμα, φίλτρα, φακοί) για τη μορφοποίηση και εστίαση της δέσμης του laser και μία κινούμενη τράπεζα πάνω στην οποία τοποθετούνταν τα υμένια. Κατά τη διάρκεια των πειραμάτων διερευνήθηκε συστηματικά η επίδραση της ενέργειας του laser και των οπτικών εξαρτημάτων στην ποιότητα και το πλάτος του καναλιού. Η δομή και η επιφάνεια του υμενίου και των καναλιών αντίστοιχα μελετήθηκαν με οπτικό μικροσκόπιο, προφιλόμετρο και AFM.