

ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΕΣ ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ ΝΑΝΟΝΗΜΑΤΩΝ ΠΥΡΙΤΙΟΥ: ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΜΕ ΠΛΑΣΜΑ, ΟΠΤΙΚΕΣ & ΗΛΕΚΤΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ

Α. Σμυρνάκης^{1,2}, Π. Δημητράκης¹, Ε. Γογγολίδης¹

¹Ινστιτούτο Νανοεπιστήμης & Νανοτεχνολογίας, ΕΚΕΦΕ "Δημόκριτος", Αγία Παρασκευή, 15310, Ελλάδα

²Σχολή Χημικών Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Ζωγράφου, 15780, Ελλάδα

Η κατασκευή δομών στην νανοκλίμακα, οι οποίες να χαρακτηρίζονται από ομοιογένεια και περιοδική οργάνωση, είναι σημαντική σε πολλούς τομείς της τεχνολογίας. Ιδιαίτερα, τα νανονήματα πυριτίου (SiNWs) τυγχάνουν εξαιρετικού ενδιαφέροντος εξ' αιτίας των δομικών, ηλεκτρικών και οπτικών τους ιδιοτήτων και της πιθανής τους εφαρμογής σε φωτοβολταϊκές διατάξεις, βιολογικούς και χημικούς αισθητήρες, διατάξεις ηλεκτρονιακής εκπομπής πεδίου, οπτικούς κυματοδηγούς, θερμοηλεκτρικά στοιχεία κ.α.[1]. Υπάρχουν δύο βασικές προσεγγίσεις ως προς την κατασκευή νανονημάτων πυριτίου: η προσθετική και η αφαιρετική προσέγγιση [2]. Στη παρούσα εργασία γίνεται η μελέτη των κατάλληλων διεργασιών για την κατασκευή κάθετων νανοκολόνων και νανονημάτων πυριτίου μεγάλου λόγου ασυμμετρίας, ακολουθώντας την αφαιρετική ή αλλιώς "εκ των άνω" προσέγγιση νανοκατασκευαστικής, έχοντας ως βασικό εργαλείο την κρυογενική διεργασία ανισοτροπικής εγχάραξης με πλάσμα. Πρόκειται για μία μέθοδο ανισοτροπικής εγχάραξης του πυριτίου σε υψηλής πυκνότητας πλάσμα με μίγμα αερίων SF₆ και O₂ σε κρυογενικές θερμοκρασίες (<-100°C) [3,4]. Για την σχηματοποίηση των νανονημάτων πυριτίου και την κατασκευή της μάσκας εγχάραξης χρησιμοποιήθηκαν: α) η λιθογραφία ηλεκτρονικής δέσμης (e-beam) για τέλεια περιοδική διάταξη των δομών και β) η αυτοοργάνωση κολλοειδών σωματιδίων πολυστερενίου (κολλοειδής λιθογραφία) για σχεδόν πλήρη περιοδικότητα. Με τη κρυογενική διεργασία επιτυγχάνουμε γρήγορο ρυθμό εγχάραξης του πυριτίου της τάξης των 2.5 - 3 μm/min και σε συνδιασμό με την υψηλή επιλεκτικότητα ως προς το υλικό της μάσκας εγχάραξης (85:1 για την ρητίνη AZ, 140:1 για το πολυστυρένιο) επιδεικνύουμε την κατασκευή νανονημάτων Si υψηλού λόγου ασυμμετρίας της τάξης του 40:1 [4].

Οι νανοδομημένες επιφάνειες που κατασκευάστηκαν παρουσιάζουν εξαιρετικά μειωμένη ανακλαστικότητα με ταυτόχρονη αύξηση της απορρόφησης των προσπιπτόντων φωτονίων η οποία μπορεί να προσφέρει σημαντικά οφέλη όταν οι δομές αυτές χρησιμοποιηθούν για παράδειγμα ως ενεργά μέρη μίας φωτοβολταϊκής διάταξης ή ενός φωτοανιχνευτή. Οι οπτικές ιδιότητες μελετήθηκαν με πειραματικών μετρήσεων ανακλαστικότητας με χρήση σφαίρας ολοκλήρωσης, όπου δείχνουμε πως οι επιφάνειες με τα νανονήματα πυριτίου εμφανίζουν χαμηλή ολική ανακλαστικότητα η οποία μπορεί να μειωθεί κάτω από το 2% σε μεγάλο εύρος του οπτικού φάσματος [4].

Τα τελευταία χρόνια υπάρχει έντονη ερευνητική δραστηριότητα πάνω στην εφαρμογή των νανονημάτων πυριτίου σε φωτοβολταϊκές διατάξεις [2,5]. Τα

πλεονεκτήματα που μπορεί να προσφέρει η χρήση SiNWs περιλαμβάνουν την χαμηλή ανακλαστικότητα και ισχυρή οπτική απορρόφηση, την βελτιωμένη απόδοση συλλογή φορέων φορτίων, τα εξαιρετικά ηλεκτρικά χαρακτηριστικά, τη χρήση χαμηλότερης ποιότητας και λιγότερης ποσότητας πυριτίου, καθώς και τη συμβατότητα με τις διεργασίες μικρο- και νανοκατασκευαστικής. Υπάρχουν δύο βασικές προσεγγίσεις στην κατασκευή φωτοβολταϊκών διατάξεων με νανονήματα πυριτίου: οι συστοιχίες SiNWs ακτινικής p-n επαφής και οι συστοιχίες SiNWs αξονικής p-n επαφής στις οποίες η p-n επαφή σχηματίζεται κατά μήκος της ακτίνας ή του άξονα του νανονήματος, αντίστοιχα. Οι συστοιχίες νανονημάτων Si που κατασκευάστηκαν χρησιμοποιούνται για την κατασκευή των φωτοβολταϊκών διατάξεων αξονικής και ακτινικής p-n επαφής. Έγινε μελέτη σε θέματα που αφορούν την ροή διεργασιών κατασκευής της διάταξης και της ηλεκτρικής παθητικοποίησης των νανονημάτων. Τέλος, πραγματοποιήθηκε ηλεκτρικός χαρακτηρισμός των διατάξεων των νανονημάτων όπου πάρθηκαν θετικά αποτελέσματα σε ρεύμα όσο αφορά το ρεύμα βραχυκυκλώσεως (I_{sc}) και τον παράγοντα πλήρωσης (FF) της απόδοσης της διάταξης.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η εργασία υποστηρίχτηκε από το Ερευνητικό Πρόγραμμα Αριστείας 695 “Plasma Directed Assembly and Organization-Plasma Nano Factory” το οποίο υλοποιείται στο πλαίσιο της Δράσης "ΑΡΙΣΤΕΙΑ Ι" του "ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗΣ ΚΑΙ ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗΣ" και συγχρηματοδοτείται από το Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο (ΕΚΤ) και Εθνικούς Πόρους.

ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- [1] Y. Wan, J. Sha, B. Chen, Y. Fang, Z. Wang, Y. Wang, Recent Patents on Nanotechnology, 3 (2009)
- [2] K.Q. Peng, S.T. Lee, Adv Mater, 23 (2011) 198-215.
- [3] K. Ellinas, A. Smyrnakis, A. Malainou, A. Tserepi, E. Gogolides, Microelectronic Engineering, 88 (2011) 2547-2551.
- [4] A. Smyrnakis, E. Almpanis, V.Constantoudis, N. Papanikolaou, E. Gogolides, Nanotechnology, accepted paper, scheduled for February 2015
- [5] T. Song, S.-T. Lee, B. Sun, Nano Energy, 1 (2012) 654-673.