

## ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΕΞΩΤΙΚΩΝ ΝΑΝΟΔΟΜΩΝ ΑΝΘΡΑΚΑ ΣΕ ΑΠΑΙΤΗΤΙΚΑ ΥΠΟΣΤΡΩΜΑΤΑ ΜΕΣΩ ΧΗΜΙΚΗΣ ΕΝΑΠΟΘΕΣΗΣ ΑΤΜΩΝ

Σ. Τέρμινε, Α. Φ. Τρομπέτα, Κ. Χαριτίδης\*

Εργαστήριο Προηγμένων, Σύνθετων, Νάνο Υλικών και Νανοτεχνολογίας (R-Nano Lab), Τομέας Επιστήμης και Τεχνικής Υλικών, Σχολή Χημικών Μηχανικών ΕΜΠ, Ηρώων Πολυτεχνείου 9, Ζωγράφου, Αθήνα, Ελλάδα

(\* [charitidis@chemeng.ntua.gr](mailto:charitidis@chemeng.ntua.gr))

### ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Τα τελευταία χρόνια η τεχνική της χημικής εναπόθεσης ατμών (Chemical Vapor Deposition- CVD) χρησιμοποιείται ευρέως για την ανάπτυξη ιεραρχικών δομών άνθρακα στη νανοκλίμακα, τόσο στον ερευνητικό τομέα όσο και στη βιομηχανία, δεδομένου της ευκολίας ελέγχου των παραμέτρων σύνθεσης και του χαμηλού κόστους παραγωγής<sup>[1-2]</sup>. Η επιταξιακή ανάπτυξη των νανοδομών από τις αέριες πρόδρομες ενώσεις άνθρακα εξαρτάται από το είδος και τη γεωμετρία του υποστρώματος καθώς και από τις παραμέτρους σύνθεσης, όπως η θερμοκρασία και ο χρόνος αντίδρασης, η ροή του φέροντος αερίου, η ύπαρξη και φύση των καταλυτικών σωματιδίων, κ.ά.<sup>[3-4]</sup>

Στη παρούσα εργασία εξετάστηκε η δυνατότητα ανάπτυξης νανοδομών άνθρακα (υμένια αμόρφου άνθρακα<sup>[5]</sup> – 2D, νανοσωλήνες – 1D, νανοϊνες – 1D, νανοσφαίρες άνθρακα – 0D, καθώς και εξωτικές δομές όπως νανοάνθη, νανοαφρός, κτλ) σε διάφορα υποστρώματα, όπως μονοκρύσταλλοι πυριτίου, ανοξειδωτο ατσάλι, κεραμικές επιφάνειες, σφαίρες αλούμινας (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) και ζirkονίας (ZrO<sub>2</sub>), προσροφητικά υλικά (ζεόλιθος, νανο-αλούμινα), ίνες και υφάσματα άνθρακα.

Δύο κύριες προσεγγίσεις ακολουθήθηκαν, οι οποίες σχετίζονται με την εισαγωγή του καταλύτη στον αντιδραστήρα: η μέθοδος του αιωρούμενου και η μέθοδος του υποστηριζόμενου καταλύτη<sup>[6]</sup>. Οι καταλύτες που επιλέχθηκαν περιείχαν το σίδηρο (Fe) ως κύριο συστατικό και συνδυάστηκαν με τα διαφορετικά υποστρώματα, καθώς και με άλλα μεταλλα μετάπτωσης, π.χ. κοβάλτιο (Co), μολυβδαίνιο (Mo). Παράλληλα, δοκιμάστηκαν διαφορετικές πηγές άνθρακα, σε αέρια, υγρή ή στερεή φάση (ακετυλένιο, αιθανόλη, τολουόλιο, καμφορά, κ.ά.), οι οποίες επιλέχθηκαν τόσο σε σχέση με τη χημεία τους όσο και με το περιβαλλοντικό αντίκτυπο που αυτές επιφέρουν<sup>[6]</sup>.

Η μορφολογία και η δομή των προϊόντων άνθρακα διερευνήθηκε μέσω ηλεκτρονικής μικροσκοπίας σάρωσης (SEM), ηλεκτρονικής μικροσκοπίας διέλευσης (TEM), διάθλαση ακτίνων Χ, φασματοσκοπία Raman και θερμοβαρυμετρική ανάλυση (TG). Παρατηρήθηκε ότι ανάλογα με το είδος και τη γεωμετρία του υποστρώματος, οι δομές που αναπτύσσονται παρουσιάζουν διαφορές στο μέγεθος, το πάχος, το σχήμα, τη διεύθυνση ανάπτυξης καθώς και στη δομική τους ακεραιότητα.

Η επιτυχής συσχέτιση των παραμέτρων της διεργασίας, σε σχέση με το δοθέν υπόστρωμα, μπορεί να οδηγήσει στο σχεδιασμό κατάλληλων νανοδομών άνθρακα και την επιλεκτική ανάπτυξή τους, για καινοτόμες και απαιτητικές τεχνολογικές εφαρμογές, όπως βιοϊατρικές εφαρμογές, αισθητήρες, μικροηλεκτρονική, υπερπυκνωτές<sup>[7]</sup>, κατασκευή συνθέτων υλικών πολυμερικής<sup>[8]</sup> και κεραμικής μήτρας<sup>[9]</sup>, επικαλυπτικά<sup>[10]</sup>, περιβαλλοντικές εφαρμογές, π.χ. καθαρισμός υδάτων, και κατάλυση. Στα ανωτέρω, λαμβάνεται υπόψη η οικονομική και παραγωγική αειφορία, καθώς με μία δεδομένη τεχνική είναι εφικτή η ανάπτυξη ποικιλίας νανοδομών.

### ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Manawi YM, Ihsanullah, Samara A, Al-Ansari T, Atieh MA. (2018). *Materials*. 11(5): 822
- [2] Pirard SL, Douven S, Pirard JP. (2017). *Front. Chem. Sci. Eng.* 11(2): 280–289
- [3] Coville NJ, Mhlanga SD, Nxumalo EN, Shaikjee A. (2011). *S. Afr. J. Sci.* 107(3/4), Art#418
- [4] Mukul K, Yoshinori A. (2010). *Jour. Nanosci. Techn.* 10(3): 3739-3758
- [5] Trompeta AFA, Koumoulos EP, Kartsonakis IA, Charitidis CA. (2017) *Manuf. Rev.* 4: 7
- [6] Trompeta AF, Koklioti M, Perivoliotis D, Lynch I, Charitidis CA. (2016). *J. Clean. Prod.* 129: 384-394
- [7] Bondavalli P, Pognon G, Koumoulos EP, Charitidis CA (2018). *MRS.* 3(1-2): 79-84 Trompeta A, Koumoulos EP,
- [8] Stavropoulos SG, Velmachos TG, Psarras GC, Charitidis CA. (2019). *Aerospace.* 6(1): 7
- [9] Karaxi EK, Kanellouliou IA, Karatza A, Kartsonakis IA, Charitidis CA. (2018) *Matec.* 188: 01019.
- [10] Koumoulos EP, Parousis T, Trompeta AFA, Kartsonakis IA, Charitidis CA. (2016) *Plast. Rubb. Comp.* 45(3): 106-117