

ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΑΓΩΓΙΜΟΥ ΕΚΤΥΠΩΤΙΚΟΥ ΜΕΛΑΝΙΟΥ ΥΔΑΤΙΚΗΣ ΒΑΣΗΣ ΜΕ ΠΙΓΜΕΝΤΟ ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΟ ΜΕ ΑΝΤΙΔΡΑΣΗ «ΕΝΟΣ ΣΤΑΔΙΟΥ»

Β. Μπέλεση^{1,2*}, Θ. Φιλιππακοπούλου¹, Α. Κουτσιούκης³, Δ. Γιασαφάκη⁴, Β. Παναγιωτοπούλου⁵, Χ. Μιτζήθρα⁴, Γ. Χαραλαμποπούλου⁴, Θ. Στεριώτης⁴, Β. Γεωργακίλας³

¹Τμήμα Γραφιστικής και Οπτικής Επικοινωνίας, Τομέας Τεχνολογίας Γραφικών Τεχνών, Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής, Ελλάδα

²Εργαστήριο Ηλεκτρονικών Διατάξεων και Υλικών, Τμήμα Ηλεκτρολόγων και Ηλεκτρονικών Μηχανικών Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής, Ελλάδα

³Τμήμα Επιστήμης Υλικών, Πανεπιστήμιο Πατρών, Ελλάδα

⁴Εθνικό Κέντρο Έρευνας Φυσικών Επιστημών «Δημόκριτος», Ελλάδα

⁵Ντρουκφάρμπεν Ελλάς, ΑΕΒΕ, Ασπρόπυργος, Αττική, Ελλάδα

[\(*vbelessi@uniwa.gr\)](mailto:*vbelessi@uniwa.gr)

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Από τις τεχνολογίες εκτύπωσης κυρίως η μεταξοτυπία, η βαθυτυπία, η φλεξογραφία και η εκτύπωση με έγχυση μελάνης, έχουν προσελκύσει το ερευνητικό ενδιαφέρον για την ανάπτυξη εύκαμπτων ηλεκτρονικών διατάξεων με την ταυτόχρονη χρήση αγώγιμων μελανιών, καθώς η συνολική διαδικασία είναι απλούστερη, λιγότερο χρονοβόρα και μειωμένου κόστους παραγωγής συγκριτικά με την επικρατούσα μέθοδο παραγωγής τυπωμένων κυκλωμάτων. Ο άργυρος δε, είναι το πλέον χρησιμοποιούμενο μέταλλο σε αγώγιμα μελάνια, λόγω της υψηλής αγωγιμότητάς του και της μικρής τάσης του για οξειδωση.

Στην παρούσα εργασία, παρουσιάζεται (i) μια νέα μέθοδος παραγωγής αγώγιμου εκτυπωτικού μελανιού υδατικής βάσης για βαθυτυπία-φλεξογραφία και μεταξοτυπία, στηριζόμενη στην ανάπτυξη υβριδικών υλικών ανηγμένου οξειδίου του γραφενίου-Ag, αυξημένης υδροφιλικότητας και μικρής επιφανειακής αντίστασης καθώς και (ii) τα εκτυπωτικά αποτελέσματά του. Η διαδικασία παραγωγής περιλαμβάνει αρχικά την ανάπτυξη αγώγιμου πιγμέντου και στηρίζεται στην χρήση αμινοφαινολοσουλφονικών παραγώγων για την κατάλληλη χημική τροποποίηση των πρώτων υλών σε ένα στάδιο. Η μέθοδος οδηγεί σε μελάνι που μπορεί να παραχθεί και να εφαρμοσθεί σε βιομηχανική κλίμακα σε συνδυασμό με ρητίνες που ήδη χρησιμοποιεί η βιομηχανία για την παραγωγή εκτυπωτικών μελανιών βαθυτυπίας-φλεξογραφίας. Το υλικό χαρακτηρίστηκε πλήρως με διάφορες τεχνικές όπως περίθλαση ακτίνων-Χ (XRD), θερμοσταθμική ανάλυση (TGA), φασματοσκοπία Raman, ηλεκτρονική μικροσκοπία σάρωσης (SEM), ηλεκτρονική μικροσκοπία διέλευσης (TEM) και ηλεκτρικές μετρήσεις.

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ: αγώγιμα μελάνια, παράγωγα γραφενίου, άργυρος, εκτυπωτικές μέθοδοι

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα μελάνια αποτελούνται από πιγμέντα ή χρωστικές που ενσωματώνονται σε συστήματα ρητινών, διαλυτών, διασπορέων και προσθέτων^[1]. Η συνύπαρξη όλων αυτών των συστατικών σε ένα συμβατικό εκτυπωτικό μελάνι, υπό τις κατάλληλες αναλογίες, είναι απαραίτητη προκειμένου να επιτευχθεί το βέλτιστο εκτυπωτικό αποτέλεσμα. Η ακριβής σύσταση ενός συμβατικού εκτυπωτικού μελανιού εξαρτάται από την εκτυπωτική μέθοδο (μεταξοτυπία, βαθυτυπία, φλεξογραφία, έγχυσης μελανιού) που θα επιλεγεί για την παραγωγή του τελικού προϊόντος, από το υπόστρωμα εφαρμογής (π.χ. χαρτί, χαρτόνι, πολυμερές, ύφασμα, ξύλο, μέταλλο) καθώς και την εφαρμογή για την οποία προορίζεται το προϊόν (π.χ. συσκευασία τροφίμων, περιοδικό). Τα συμβατικά όμως εκτυπωτικά μελάνια που χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές της έντυπης οπτικής

επικοινωνίας έχουν ουσιαστικές διαφορές και συγκεκριμένες απαιτήσεις σε σχέση με τα αγώγιμα μελάνια που προορίζονται για την αξιοποίηση εξειδικευμένων τεχνολογικών εφαρμογών όπως η ανάπτυξη εύκαμπτων τυπωμένων ηλεκτρονικών (π.χ. αισθητήρων, ηλεκτροδίων, μικροθερμαντήρων)^[2-9]. Για παράδειγμα, στην παρασκευή συμβατικών μελανιών, συστατικά όπως διασπορείς, ρητίνες και πρόσθετα χρησιμοποιούνται σε υψηλά ποσοστά, αρκεί να είναι αποδεκτές οι προδιαγραφές που θέτονται από τον ποιοτικό έλεγχο και σχετίζονται με αντοχές (μηχανικές, θερμικές ή σε χημικά μέσα), ρεολογικές ιδιότητες, εκτυπωσιμότητα και επίτευξη επιθυμητού χρώματος. Στην παρασκευή αγώγιμων μελανιών το ποσοστό όλων των προαναφερθέντων συστατικών είναι επιθυμητό να είναι ελάχιστο προκειμένου να επιτυγχάνονται επιπρόσθετα υψηλές τιμές αγωγιμότητας, εξαιρετική διασπορά των αγώγιμων πιγμέντων στον φορέα του μελανιού και ελάχιστη απαίτηση για μετεκτυπωτικές διαδικασίες (π.χ. θέρμανση)^[2-7].

Για την ανάπτυξη αγώγιμων μελανιών έχουν χρησιμοποιηθεί διάφορα υλικά/πιγμέντα όπως αγώγιμα πολυμερή, νανοσωλήνες άνθρακα, γραφένιο, μέταλλα και υβριδικά υλικά^[2-9]. Μεταξύ αυτών, τα υβριδικά μελάνια με βάση γραφενικά παράγωγα που περιέχουν μεταλλικά νανοσωματίδια αποτελούν έναν εναλλακτικό τρόπο για τη βελτίωση των ηλεκτρικών ιδιοτήτων των αγώγιμων μελανιών^[7] αν και συχνά παρουσιάζονται προβλήματα ανομοιογένειας της διασποράς του αργύρου^[10] αφού η παραγωγή σταθερών νανοσωματιδίων αργύρου (AgNPs) σε υδατικά μελάνια αποτελεί πρόκληση ή ακόμη απαιτούνται χρονοβόρες και σύνθετες μέθοδοι για την παραγωγή τους^[11]. Η *in situ* αναγωγή ιόντων αργύρου και η εναπόθεση νανοσωματιδίων στο γραφένιο είναι η πιο απλή και πλέον αποδοτική μέθοδος που πραγματοποιείται με διάφορα αναγωγικά όπως NaBH_4 , KOH , ασκορβικό οξύ^[11]. Απαιτεί όμως και αυτή, δύο στάδια: την αναγωγή των ιόντων αργύρου για το σχηματισμό νανοσωματιδίων και την αναγωγή του οξειδίου του γραφενίου (GO) σε αναχθέν οξείδιο (rGO). Έτσι, θεωρείται σημαντικό βήμα το να επιτευχθεί η παραγωγή αγώγιμου γραφενικού υβριδίου σε ένα στάδιο^[11], ιδιαίτερα δε όταν η αντίστοιχη συνθετική μέθοδος επιτρέπει την περαιτέρω τεχνολογική αξιοποίησή του. Έως τώρα, αυτό έχει επιτευχθεί κυρίως με χρήση φορμαλδεΐδης, ασκορβικού οξέος ή τανικού οξέος, τα οποία όμως διαθέτουν ασθενή αναγωγική δράση^[11-12]. Σε ορισμένες περιπτώσεις, έχει απαιτηθεί και ταυτόχρονη εφαρμογή μικροκυμάτων ή άλλης πηγής ενέργειας^[12]. Σημαντικά χαμηλές τιμές επιφανειακής αντίστασης (R_s) σε αυτά τα υβριδικά υλικά έχουν επιτευχθεί κατόπιν θερμικής επεξεργασίας σε θερμοκρασίες μεταξύ 100-400 °C^[12-15] που μεταφράζεται όμως σε αυξημένη κατανάλωση ενέργειας και αδυναμία χρήσης θερμοευαίσθητων υποστρωμάτων όταν τα υλικά αυτά προορίζονται για την ανάπτυξη αγώγιμων μελανιών υδατικής βάσης προς εφαρμογή στον τομέα των τυπωμένων ηλεκτρονικών.

Στην παρούσα εργασία παρουσιάζεται μια νέα μέθοδος παρασκευής υβριδικών υλικών ανηγμένου οξειδίου του γραφενίου-Ag που στηρίζεται στην χρήση ενός μόνο αντιδραστηρίου (αμινοφαινυλοσουλφονικό παράγωγο) για την ταυτόχρονη *in-situ* αναγωγή των ιόντων αργύρου αλλά και της επιφανειακής τροποποίησης του γραφενίου^[16]. Η διαδικασία παραγωγής των υλικών περιλαμβάνει την κατάλληλη χημική τροποποίηση των πρώτων υλών σε ένα στάδιο. Τα προκύπτοντα υλικά διαθέτουν εξαιρετική υδροφιλικότητα και ταυτόχρονα μικρή R_s , που καθιστά δυνατή την αξιοποίησή τους στην ανάπτυξη αγώγιμων εκτυπωτικών μελανιών υδατικής βάσης χωρίς προσθήκη επιφανειοδραστικών ή επιπλέον υδρόφιλων πολυμερών κλπ. για την αποτελεσματική σταθεροποίηση των γραφενίων και την ενσωμάτωση των υλικών σε συστήματα εμπορικών ρητινών. Επιπλέον, τα παραγόμενα με την προτεινόμενη μέθοδο μελάνια μπορούν να εκτυπωθούν με τρεις διαφορετικές τεχνολογίες εκτύπωσης, τη μεταξοτυπία (screen printing), τη βαθυτυπία (gravure) και την φλεξογραφία (flexography).

ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Υλικά

Για την σύνθεση των υλικών χρησιμοποιήθηκαν: Γραφίτης (μέγεθος σωματιδίων <20 μm), νιτρικό οξύ (65%, Riedel-de Haën), θειϊκό οξύ (95-97%, Aldrich), χλωρικό κάλιο (καθαρότητα > 99.0%, Merck), 2,5-διαμινοβενζοσουλφονικό οξύ ($\geq 98\%$, Aldrich), μείγματα ρητινών ακρυλικών ή/και ακρυλικών στυρενακρυλικών ρητινών (Joncryl 1685, Joncryl 8052, Joncryl MB90, BASF HELLAS). Τα στερεά επί ξηρού των ρητινών είναι 43.5, 46.5 και 44 %, αντίστοιχα.

Αναγωγή και επιφανειακή χημική τροποποίηση GO

Αρχικά παράχθηκε οξειδίο του γραφενίου (GO) μέσω ισχυρής οξείδωσης γραφίτη σύμφωνα με την τροποποιημένη μέθοδο Staudenmaier^[17]. Στη συνέχεια, προστέθηκε σε υδατική διασπορά GO (1.3 mg/ml) κατάλληλη ποσότητα AgNO₃ προκειμένου να παραχθούν τα αγώγιμα και υδρόφιλα προϊόντα της αντίδρασης με διαφορετικές % κ.β. περιεκτικότητες σε Ag. Στην παρούσα εργασία θα εστιάσουμε μόνο στο υλικό *f*-rGO/AgNPs με 8.5 κ.β.% Ag το οποίο στο εξής θα συμβολίζεται ως *f*-rGO/AgNPs. Ακολούθησε προσθήκη του 2,5-διαμινοβενζοσουλφονικού οξέος (2,5-DBSA) σε αναλογία $m_{GO} : m_{2,5-DBSA} = 1:2$ και θέρμανση του μείγματος της αντίδρασης με κατακόρυφο ψυκτήρα επαναροής (reflux)^[16]. Η έκπλυση του υλικού πραγματοποιήθηκε με νερό, αιθανόλη και ακετόνη. Τέλος, η ξήρανσή του έλαβε χώρα σε θερμοκρασία δωματίου.

Χαρακτηρισμός *f*-rGO

Πραγματοποιήθηκε πλήρης δομικός χαρακτηρισμός του *f*-rGO/AgNPs υλικού και μελέτη της σταθερότητας των διασπορών του σε διάφορους διαλύτες με την πάροδο του χρόνου^[16]. Πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις τεχνικής περίθλασης ακτίνων-X (XRD, D-500 Siemens, Cu K α , $\lambda = 1.54 \text{ \AA}$), ηλεκτρονιακής μικροσκοπίας σάρωσης (SEM) και διέλευσης (TEM/HRTEM) κατόπιν καθαρισμού των δειγμάτων με ημιπερατή μεμβράνη, θερμικής ανάλυσης (TGA), φασματοφωτομετρίας UV-Vis και επιφανειακής αντίστασης με τη μέθοδο τεσσάρων σημείων.

Παρασκευή αγώγιμων μελανιών για απορροφητικά υποστρώματα

Για την παρασκευή αγώγιμων μελανιών υδατικής βάσης για εφαρμογές βαθυτυπίας, φλεξογραφίας και μεταξοτυπίας, και αφού μελετήθηκαν διάφορα συστήματα εμπορικών ρητινών, παρασκευάστηκε ένα μελάνι με αναλογία πιγμέντου/ρητίνης 55/45 % κ.β. επί ξηρού (συμβολίζεται ως P55/R45), το οποίο τυπώθηκε ταυτόχρονα με βαθυτυπία/φλεξογραφία, και ένα ακόμη με αναλογία αγώγιμου πιγμέντου/ρητίνης 70/30 % κ.β. επί ξηρού (συμβολίζεται ως P70/R30), το οποίο εκτυπώθηκε με την μέθοδο της μεταξοτυπίας (Πίνακας 1). Το σύστημα ρητινών που χρησιμοποιήθηκε προέκυψε από ανάμειξη των Joncryl 1685, Joncryl 8052 και Joncryl MB90 σε αναλογία 60:20:20.

Πίνακας 1. Σύσταση και επιφανειακή αντίσταση του αγώγιμου μελανιού που εκτυπώθηκε με βαθυτυπία/φλεξογραφία (P55/R45) και του αγώγιμου μελανιού που εκτυπώθηκε με μεταξοτυπία (P70/R45).

Μελάνι	Λόγος συνολικών στερεών πιγμέντου - ρητίνης	Λόγος στερεών πιγμέντου - μελανιού	Λόγος στερεών ρητίνης - μελανιού	Συνολικά στερεά στο μελάνι (%)	Στερεά πιγμέντου στο μελάνι (%)	R _s (Ohm/sq)
P55/R45	55/45	0.55	0.45	21.8	13.8	9

P70/R30	70/30	0.70	0.30	29.5	23.4	6
---------	-------	------	------	------	------	---

Χαρακτηρισμός και ποιοτικός έλεγχος συστήματος ρητινών και μελανιών

Ο ποιοτικός έλεγχος του συστήματος ρητινών/μελανιών πραγματοποιήθηκε με εκτίμηση πρόσφυσης, θερμικής αντοχής, χρόνου ξήρανσης, αποκόλλησης κατά την τριβή και εκτίμηση αντοχής σε αλκαλικό ή όξινο περιβάλλον. Οι ρεολογικές μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν με το περιστροφικό ρεόμετρο (Malvern Kinexus Pro+) και γεωμετρία κώνου-πλάκας. Ο κώνος είχε διάμετρο 40mm και γωνία 40°. Η περιοχή τιμών του ιξώδους, γ ήταν μεταξύ 0,01-1000 s⁻¹, με λήψη 10 σημείων ανά δεκαδικό διάστημα. Η θερμοκρασία διατηρήθηκε σταθερή στους 25°C.

Εκτύπωση με διάφορες μεθόδους

Η ποιότητα εκτύπωσης των παραγόμενων μελανιών αρχικά ελέγχθηκε με τη χρήση K Hand Coater (KBars: No0-No2), αξιολογώντας ταυτόχρονα μεγάλη ποικιλία χάρτινων υποστρωμάτων. Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκαν δοκιμές σε ειδικές διατάξεις ποιοτικού ελέγχου χρησιμοποιώντας μόνο τα υποστρώματα με τις βέλτιστες ιδιότητες (επιχρισμένο και καλανδραρισμένο C 2846, IGT Testing Systems) και φωτογραφικό χαρτί υψηλής ποιότητας (high glossy, και extra premium high glossy, 265 g m⁻², @work).

-Εκτύπωση με τη μέθοδο της βαθυτυπίας:

Οι εκτυπωτικές δοκιμές πραγματοποιήθηκαν σε ειδική διάταξη ποιοτικού ελέγχου μελανιών βαθυτυπίας (IGT Printability Tester G1-5) με χρήση ειδικού εκτυπωτικού κυλίνδρου (402.226, IGT Testing Systems, όγκος κυψελίδων 16, 11, 9, and 7 mL/m²), ταχύτητα εκτύπωσης 0.6 m/sec και πίεση κυλίνδρου στο υπόστρωμα 200 N.

-Εκτύπωση με τη μέθοδο της φλεξογραφίας:

Οι εκτυπωτικές δοκιμές πραγματοποιήθηκαν σε ειδική διάταξη ποιοτικού ελέγχου μελανιών φλεξογραφίας (IGT Printability Tester F1) με χρήση άνιλοξ (402.413, IGT Testing Systems, 90 lines/cm, όγκος κυψελίδων 16 mL/m²). Τα μελάνια τυπώθηκαν με προμελανωμένο κύλινδρο, ταχύτητα εκτύπωσης 0.5 m/sec, πίεση κυλίνδρου άνιλοξ και πίεση εκτυπωτικού κυλίνδρου στο υπόστρωμα 50 N.

-Εκτύπωση με τη μέθοδο της έμμεσης μεταξοτυπίας:

Οι εκτυπωτικές δοκιμές πραγματοποιήθηκαν χειροκίνητα με χρήση σταθερής βάσης στήριξης του τελάρου. Χρησιμοποιήθηκε γάζα πολυεστερική (70 νήματα/cm).

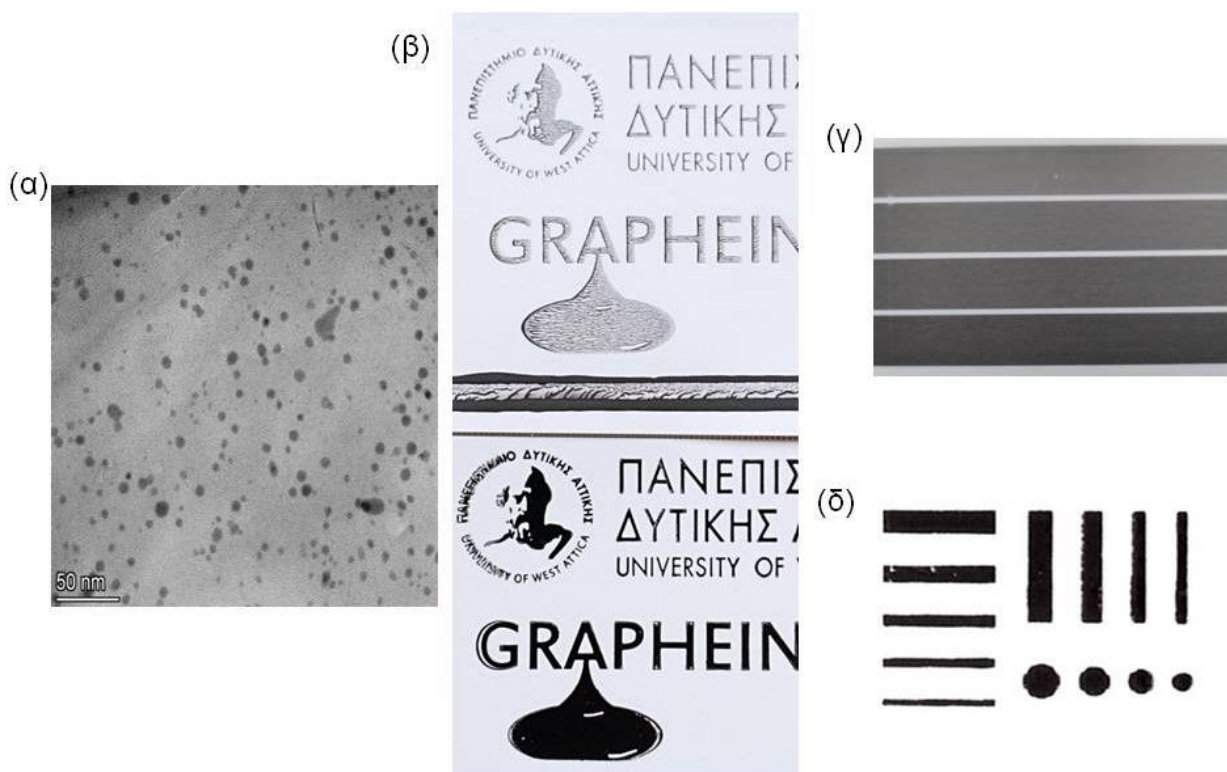
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Από τον δομικό χαρακτηρισμό του υλικού *f*-rGO/AgNPs προέκυψε η επιτυχημένη ταυτόχρονη αναγωγή των ιόντων Ag και του GO, με παράλληλη χημική τροποποίηση της επιφάνειας του τελευταίου^[4,16]. Από τις εικόνες TEM προκύπτει η διασπορά των AgNPs αργύρου (διαμέτρου ~12 nm) μεταξύ των νανοφύλλων γραφενίου ενώ σε ορισμένες περιπτώσεις τα νανοσωματίδια συντάσσονται σχηματίζοντας αλυσίδες (Σχήμα 1α). Το *f*-rGO/AgNPs διαπιστώθηκε πως έχει πολύ καλή διασπορά στους περισσότερους πολικούς διαλύτες που εξετάστηκαν όπως και το *f*-rGO^[4,7]. Η άριστη δε διασπορά του στο νερό προσφέρει το πλεονέκτημα της (i) αποφυγής χρήσης διασπορέων κατά την παρασκευή μελανιών υδατικής βάσης, (ii) τέλει διασποράς του στο μείγμα ρητινών, (iii) δυνατότητας χρήσης μικρής ποσότητας ρητινών αλλά και της (iv) επίτευξης μικρής τιμής R_s ως υλικό, μελάνι και τυπωμένο δοκίμιο.

Ακολούθησε, η παρασκευή μειγμάτων διαφόρων συστημάτων ρητινών σε ποικίλες αναλογίες, ο ποιοτικός έλεγχός τους και η επιλογή μιας βέλτιστης φόρμουλας ρητινών προκειμένου να παρασκευαστούν τα δύο μελάνια που μελετήθηκαν στην παρούσα εργασία. Η επιλογή των αναλογιών αγώγιμων και μη αγώγιμων συστατικών (P55/R45 και P70/R30) στηρίχθηκε σε

αποτελέσματα προηγούμενων μελετών οι οποίες υπέδειξαν πως εξασφαλίζεται η απαίτηση για μικρές τιμές R_s μετά την εκτύπωση αλλά και η επίτευξη κατάλληλου ιξώδους για την κάθε μια εκτυπωτική μέθοδο ξεχωριστά. Σημειώνεται, πως γενικότερα μικρότερη τιμή ιξώδους έχουν τα μελάνια βαθυτυπίας, μεγαλύτερη τιμή τα φλεξογραφικά και την υψηλότερη εκείνα της μεταξοτυπίας^[1-2]. Διαπιστώθηκε επίσης πως τα ρεολογικά χαρακτηριστικά των αγώγιμων μελανιών είναι σε συμφωνία με άλλα αγώγιμα μελάνια καθώς και με συμβατικό εμπορικό μελάνι που εξετάστηκε. Η κατάλληλη ρεολογική συμπεριφορά των μελανιών και η συνάφεια μελανιού-υποστρωμάτων συνέβαλε στην επίτευξη επιτυχημένων και λειτουργικών εκτυπώσεων (μικρές τιμές R_s , καλές εκτυπώσεις) με τρεις εκτυπωτικές μεθόδους.

Στο σχήμα 1 απεικονίζονται αντιπροσωπευτικά εκτυπωμένα θέματα με τις τρεις μεθόδους εκτύπωσης. Συγκεκριμένα, οι τιμές R_s στα τυπωμένα με βαθυτυπία δοκίμια είναι $R_s < 1.1$ kOhm/sq για κυψελλίδες όγκου 16 mL/m². Επίσης, $R_s < 725$ kOhm/sq για φλεξογραφικά δοκίμια με γραμμές εύρους 1mm και $R_s < 570$ kOhm/sq για εκτυπώσεις με την μέθοδο της μεταξοτυπίας. Όπως αναμένονταν, διαπιστώθηκε ότι με την μεταξοτυπία λαμβάνονται οι βέλτιστες τιμές R_s καθώς τα τυπωμένα δοκίμια έχουν μεγαλύτερο πάχος συγκριτικά με τις προηγούμενες μεθόδους. Σε αυτό το σημείο υπογραμμίζεται πως η λειτουργικότητα των τυπωμένων δοκιμίων μετά την εκτύπωση δίνει το στίγμα για την δυνατότητα αξιοποίησή τους σε τεχνολογικές εφαρμογές όπως ήδη έχει διαπιστωθεί και για το υλικό f-rGO^[8-9].



Σχήμα 1. (α) Εικόνα TEM του υλικού f-rGO/AgNPs. Τυπωμένο δοκίμιο με (β) φλεξογραφία, (γ) βαθυτυπία, (δ) μεταξοτυπία. Στο (β) η κάτω εικόνα είναι τυπωμένη με συμβατικό μελάνι φλεξογραφίας για σύγκριση της ποιότητας εκτύπωσης.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα εργασία υλοποιήθηκε στα πλαίσια της Δράσης ΕΡΕΥΝΩ – ΔΗΜΙΟΥΡΓΩ – ΚΑΙΝΟΤΟΜΩ που συγχρηματοδοτήθηκε από το Ευρωπαϊκό Ταμείο Περιφερειακής Ανάπτυξης (ΕΤΠΑ) της Ευρωπαϊκής Ένωσης και εθνικούς πόρους μέσω του Ε.Π. Ανταγωνιστικότητα, Επιχειρηματικότητα

& Καινοτομία (ΕΠΑνεΚ) (GRAPHEIN), κωδικός έργου: Τ1ΕΔΚ-02093.

Η δημοσίευση του άρθρου χρηματοδοτήθηκε πλήρως από το Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Kipphan H. (2001). Handbook of print media. Springer, Berlin.
- [2] Ng WTL, Hu G, Howe RCT, Zhu X, Yang Z, Jones CG, Hasan T. (2019). Springer, Berlin.
- [3] Qin Y, Ouyang X, Lv Y, Liu W, Liu Q, Wang S. (2023). *Coatings*, 13, 1769.
- [4] Belessi V, Petridis D, Steriotis T, Spyrou K, Manolis GK, Psycharis V, Georgakilas V. (2019). *SN Appl. Sci.*, 1(77), 1-15.
- [5] Koutsoukias A, Belessi V, Georgakilas V. (2021). *Green Chem.*, 23, 5442-5448.
- [6] Koutsoukias A, Vrettos K, Belessi V, Georgakilas V. (2023). *Appl. Sci.*, 13, 7600.
- [7] Giasafaki D, Mitzithra C, Belessi V, Filippakopoulou T, Koutsoukias A, Georgakilas V, Charalambopoulou G, Steriotis T. (2022). *Nanomaterials* 12 (19), 3443.
- [8] Barmpakos D, Belessi V, Schelwald R, Kaltsas G. (2021). *Nanomaterials*, 11(8), 2025.
- [9] Barmpakos D, Belessi V, Xanthopoulos N, Krontiras Ch, Kaltsas G. (2022). *Sensors* 22(3), 1173.
- [10] Singh MK, Titus E, Krishna R, Hawaldar RR, Goncalves G, Marques AP, Gracio J. (2012). *J. Nanosci. Nanotechnol.*, 12(8), 6731-6736.
- [11] He K, Zeng Z, Chen A, Zeng G, Xiao R, Xu P, Huang Z, Shi J, Hu L, Chen G. (2018). *Small*, 1800871.
- [12] Long T, Hu L, Dai HX, Tang YX. (2014). *Appl. Phys. A* 116, 25–32.
- [13] Deng D, Feng S, Shi M, Huang H. (2017). *J. Mater. Sci: Mater. Electron.* 28, 15411–15417.
- [14] Zhang, W.; Bi, E.; Li, M.; Gao, L. (2016). *Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects* 490, 232–240.
- [15] Yang W, Wang C, Arrighi V, Vilela F. (2017). *J. Mater. Sci. Mater. Electron.* 28, 8218–8230.
- [16] Water-based conductive printing ink with a pigment produced by one-step reaction, international application No. PCT/EP2023/068591 (not yet published) based on the National (Greek) protection title 1010492, National (Greek) application No. 20220100543, 07 July 2022.
- [17] Staudenmaier L. *Ber. Dtsch. Chem. Ges.*, 1898, 31, 1481.