

ΑΝΑΠΤΥΞΗ, ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΝΑΝΟΣΥΝΘΕΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ Polydimethylsiloxane (PDMS) ΜΕ ΕΝΙΣΧΥΣΗ BaTiO₃, BaSrTiO₃, MWCNTs, GNP

Α. Χ. Πασιδής*, Γ. Χ. Ψαρράς

Εργαστήριο Ευφύων Υλικών & Νανοδιηλεκτρικών, Τμήμα Επιστήμης των Υλικών, Πανεπιστήμιο Πατρών, Πάτρα 26504, Ελλάδα

*patsidis@upatras.gr, URL: smatlab.upatras.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα μελέτη εξετάστηκαν οι διηλεκτρικές, μηχανικές και θερμικές ιδιότητες ως συνάρτηση της συγκέντρωσης και της διασποράς των πολικών κεραμικών σωματιδίων των συστημάτων ελαστομερικής μήτρας με νανοεγκλείσματα τιτανικού βαρίου (BaTiO₃) και νανοσωματίδια του μεικτού οξειδίου τιτανίου-στρόντιου-βαρίου (BaSrTiO₃). Επιπλέον, έγινε ενσωμάτωση νανοεγκλεισμάτων αλλοτροπικών μορφών άνθρακα, όπως νανοσωληνές άνθρακα πολλαπλού τοιχίου (MWCNTs) και αποφλοιωμένων γραφιτικών νανοσιπέδων (exfoliated graphite nanoplatelets, GnP) με σκοπό να προσδιοριστεί η επίδραση της συγκέντρωσης, του μεγέθους και της γεωμετρίας των νανο-εγκλεισμάτων στη συμπεριφορά των νανოსύνθετων υλικών.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

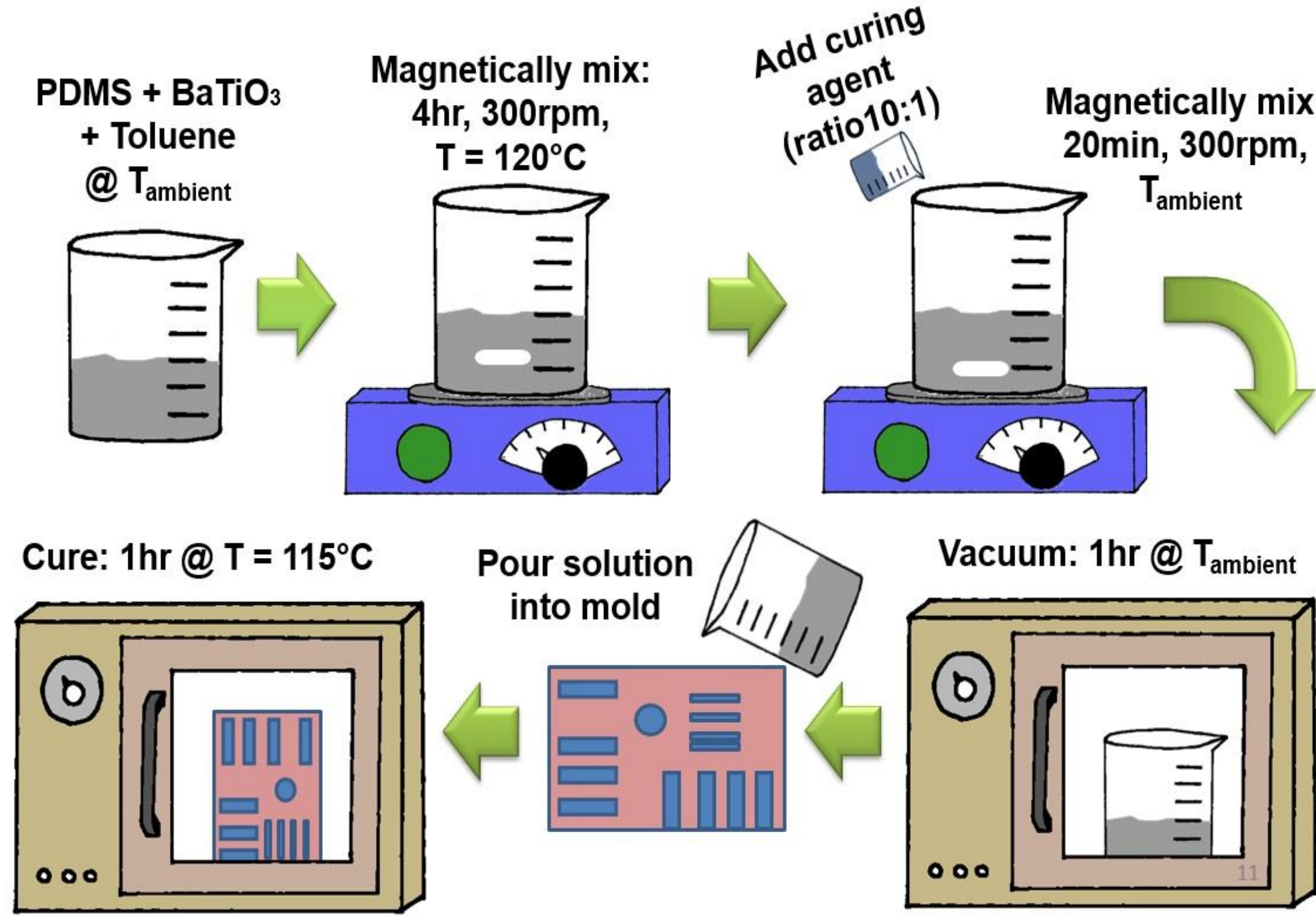
Οι συνεχώς εξελισσόμενες τεχνολογικές εφαρμογές δημιουργούν νέες απαιτήσεις ως προς τη συμπεριφορά των τεχνικών υλικών. Πολλές φορές η ικανοποίηση των απαιτήσεων αυτών προϋποθέτει την ανάπτυξη νέων καινοτόμων υλικών με προηγμένες ιδιότητες και λειτουργίες [1-7]. Η επιλογή των υλικών για μία συγκεκριμένη εφαρμογή, μέχρι πρόσφατα, βασιζόταν στις τιμές των διαφόρων ιδιοτήτων των υλικών (π.χ. μέτρο ελαστικότητας, ειδική αγωγιμότητα, δείκτης διάθλασης κλπ). Τα προηγμένα υλικά καλούνται να ανταποκριθούν στην εξυπηρέτηση των συνεχώς μεταβαλλόμενων κοινωνικών αναγκών, με αυτό τον τρόπο πέρα από τις ονομαστικές τιμές διαφόρων ιδιοτήτων προκύπτει ως ζητούμενο η πολυλειτουργικότητα της συμπεριφοράς τους. Έτσι, γεννιέται η ανάγκη σχεδιασμού και ανάπτυξης πολυλειτουργικών υλικών στα οποία θα μπορεί να αποθηκευτεί και να ανακτηθεί ενέργεια και πληροφορία, θα παρουσιάζουν ελεγχόμενη μεταβολή της πόλωσης, καλή δυναμική μηχανική απόκριση και δυνατότητα εργασίας σε διαβρωτικό περιβάλλον. Τα νανοςύνθετα υλικά ελαστομερικής μήτρας που ενσωματώνουν τόσο κεραμικά όσο και ανθρακικά νανοσωματίδια, αποκτούν αυξημένο επιστημονικό και τεχνολογικό ενδιαφέρον λόγω της προηγμένης απόδοσής τους.

Σε αυτή τη μελέτη, διαφορετικού τύπου νανοσωματίδια είναι ενσωματωμένα σε μια ελαστομερική μήτρα (PDMS). Τα χρησιμοποιούμενα υλικά πλήρωσης είναι νανοσωματίδια BaTiO₃, BaSrTiO₃, MWCNTs και GNP.

ΜΕΘΟΔΟΙ & ΥΛΙΚΑ

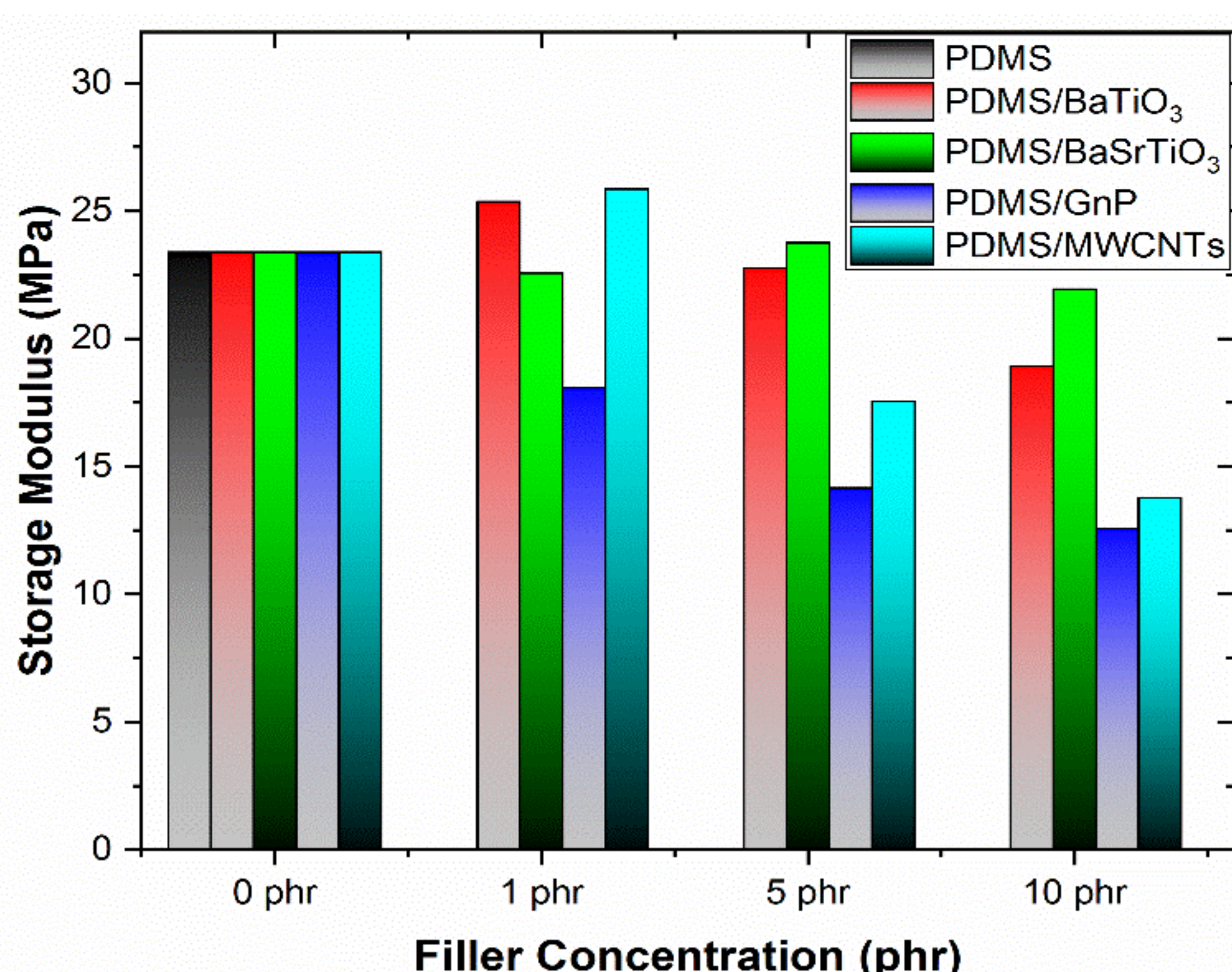
Τα σύνθετα δείγματα παρασκευάστηκαν χρησιμοποιώντας εμπορικά διαθέσιμα πρωτογενή υλικά. Συγκεκριμένα, ως μητρική φάση χρησιμοποιήθηκε το πολυδιμεθυλοσιλοξάνιο (PDMS) με χημικό τύπο CH₃[Si(CH₃)₂O]_nSi(CH₃)₃ και παρέχεται από την εταιρεία Dow Corning. Ως ενισχυτική φάση χρησιμοποιήθηκαν πολικά κεραμικά νανοσωματίδια BaTiO₃ και BaSrTiO₃ της εταιρείας Sigma Aldrich με διάμετρο νανοσωματιδίων μικρότερη των 100 nm. Επιπροσθέτως χρησιμοποιήθηκαν νανοεγκλείσματα MWCNTs 3-15 τοιχώματα και μήκος 1-10 μm και νανοεγκλείσματα GnP μέσου πάχους 1-4nm της εταιρείας PlasmaChem.

Για τη μελέτη της δυναμικής μηχανικής απόκρισης χρησιμοποιήθηκε η συσκευή DMA (DMA, Q800, TA Instruments). Οι ιξωδοελαστικές ιδιότητες των νανοςύνθετων μελετήθηκαν χρησιμοποιώντας τη μέθοδο κάμψης τριών σημείων (3 point bending) με πακτωμένα τα άκρα ως συνάρτηση της θερμοκρασίας (30 °C - 200 °C, ρυθμός θέρμανσης 5 °C / min), εφαρμόζοντας μια σταθερή δύναμη 100 mN σε συχνότητα 1 Hz. Η ηλεκτρική απόκριση των δοκιμών εξετάστηκε μέσω της Ευρωζωνικής Διηλεκτρικής Φασματοσκοπίας (BDS) στην περιοχή συχνοτήτων από 10⁻¹ Hz έως 10⁶ Hz. Η θερμοκρασία κυμαινόταν μεταξύ 30 °C και 200 °C σε βαθμίδες των 5 °C. Η διαδικασία παρασκευής αποτελείται από τα ακόλουθα στάδια:



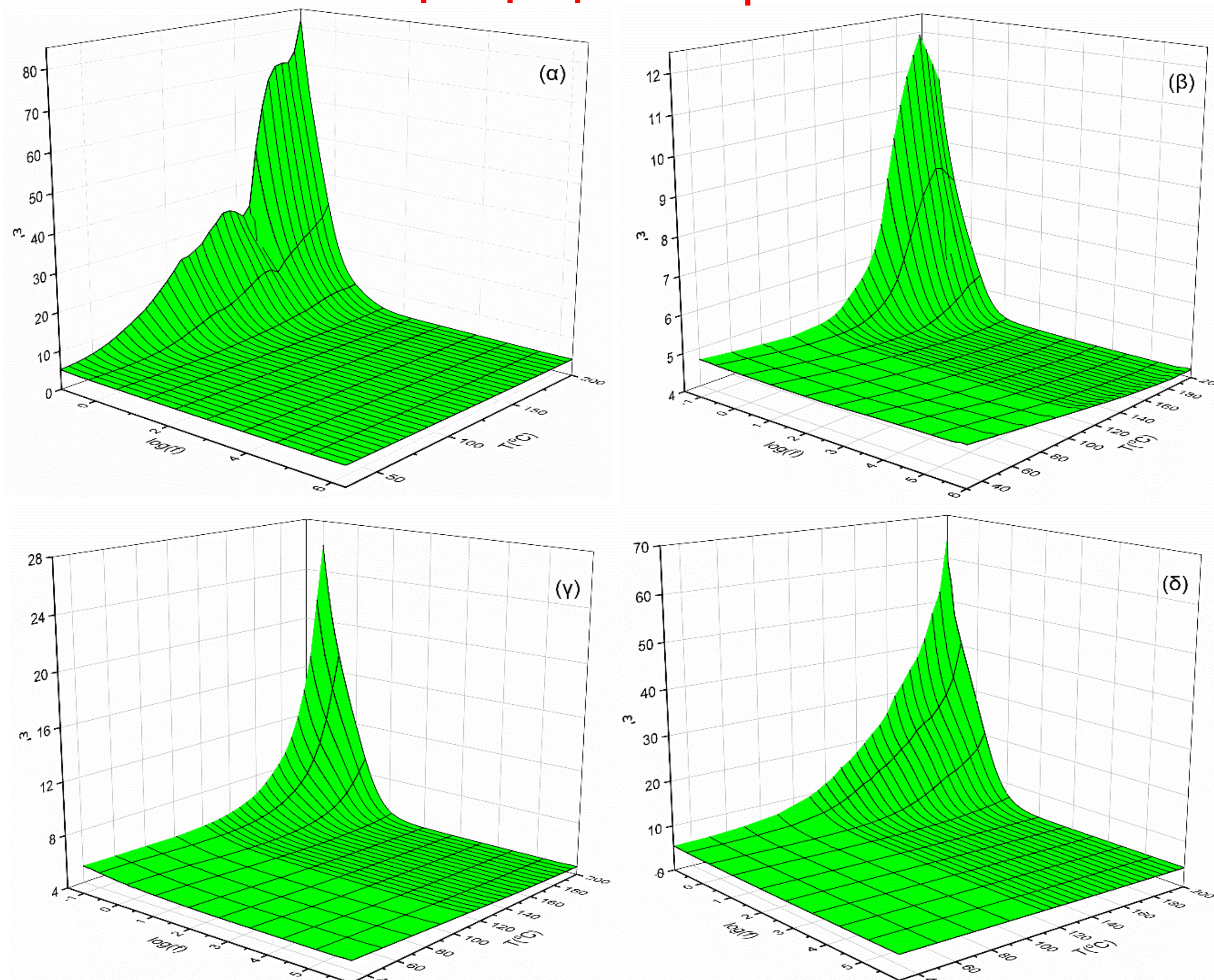
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ & ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Θερμομηχανικός Χαρακτηρισμός: DMA

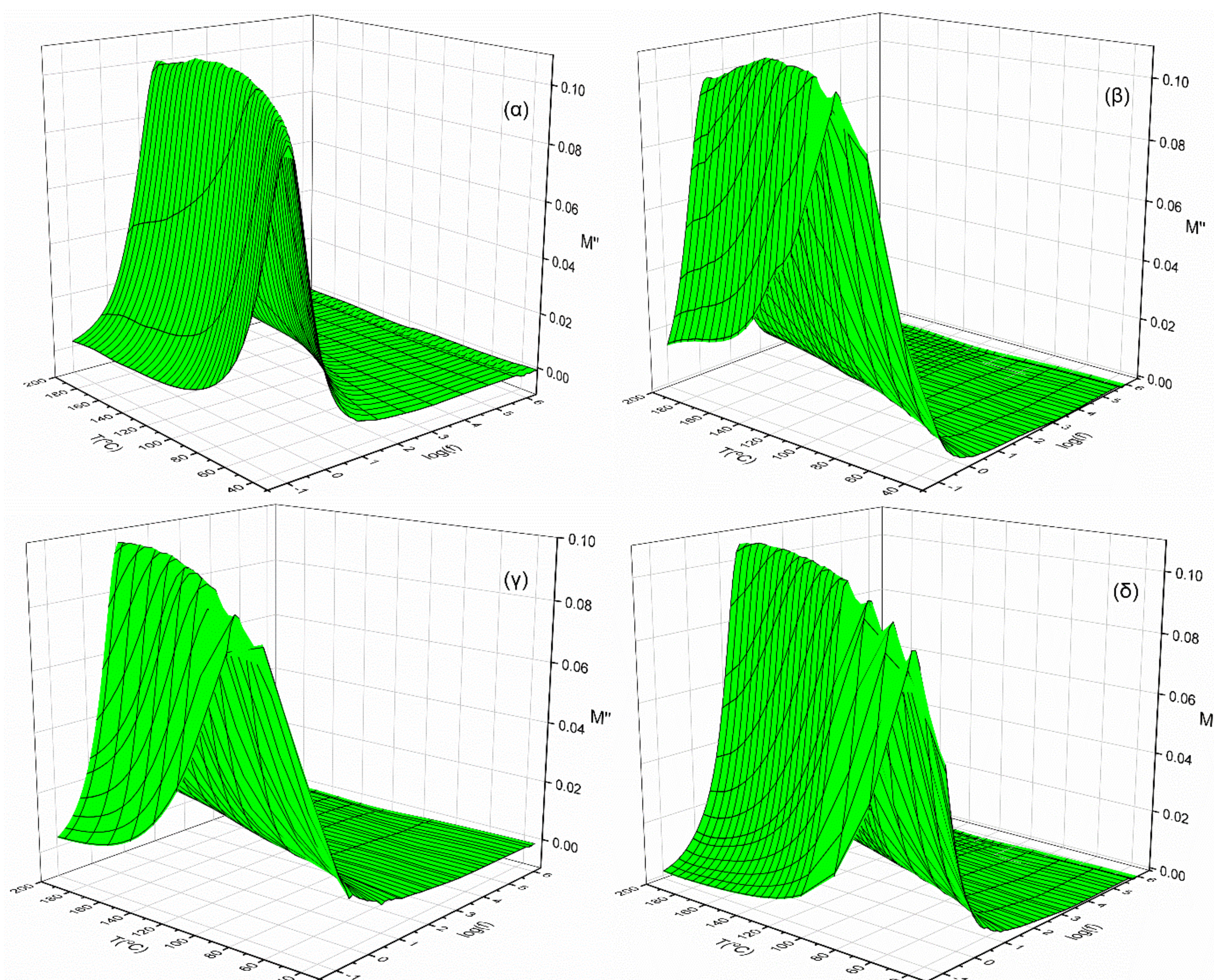


Εικόνα 1. Ραβδογράμματα του μέτρου αποθήκευσης συναρτήσει της περιεκτικότητας στους 200 °C.

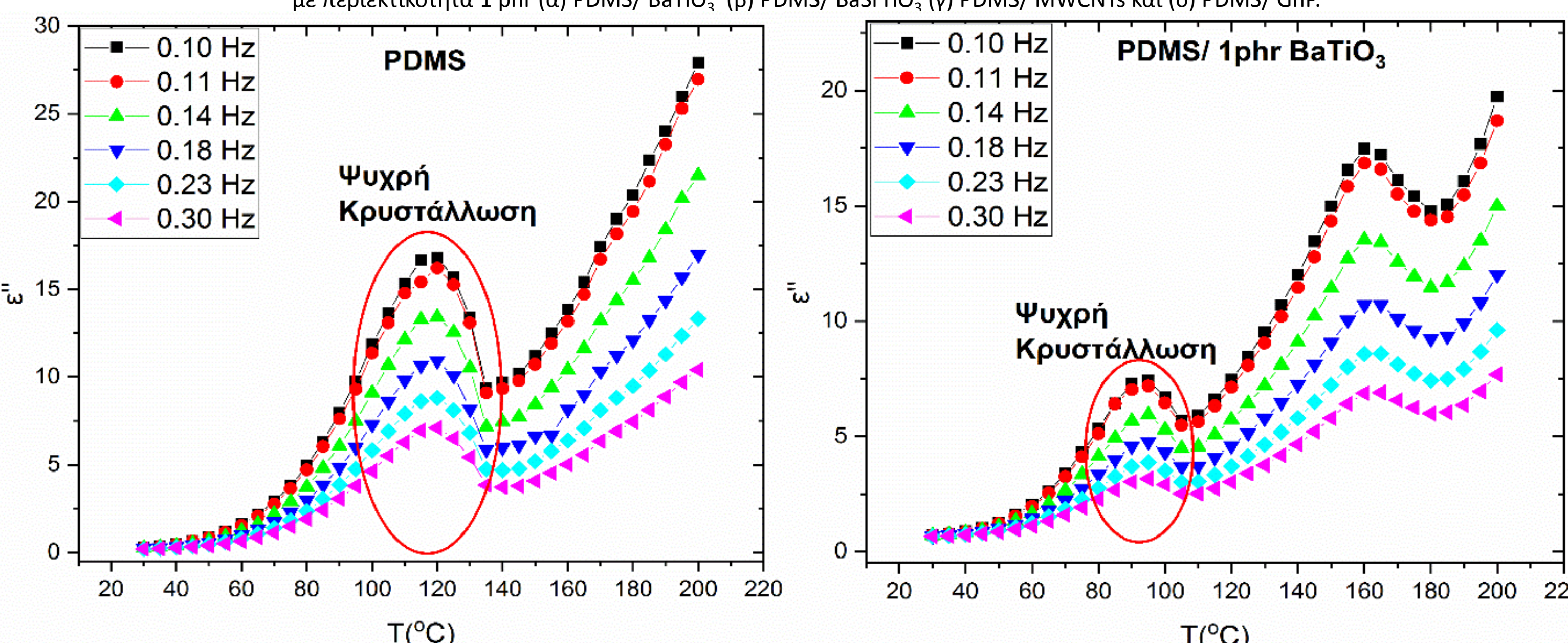
Διηλεκτρική Ανάλυση: BDS



Εικόνα 2. Μεταβολή του πραγματικού μέρους της ηλεκτρικής διαπερατότητας (ε') συναρτήσει της συχνότητας (log(f)) και της θερμοκρασίας (T) για τα δοκίμια με περιεκτικότητα 1 phr (α) PDMS/ BaTiO₃ (β) PDMS/ BaSrTiO₃ (γ) PDMS/ MWCNTs και (δ) PDMS/ GnP.



Εικόνα 3. Μεταβολή του φανταστικού μέρους του ηλεκτρικού μέτρου (ε'') συναρτήσει της συχνότητας (log(f)) και της θερμοκρασίας (T) για τα δοκίμια με περιεκτικότητα 1 phr (α) PDMS/ BaTiO₃ (β) PDMS/ BaSrTiO₃ (γ) PDMS/ MWCNTs και (δ) PDMS/ GnP.



Εικόνα 4. Καμπύλες μεταβολής του φανταστικού μέρους της ηλεκτρικής διαπερατότητας (ε'') συναρτήσει της θερμοκρασίας (T).

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα εργασία πραγματοποιήθηκε ανάπτυξη, θερμομηχανικός και διηλεκτρικός χαρακτηρισμός των νανοςύνθετων υλικών ελαστομερικής μήτρας PDMS ενισχυμένα με πολικά κεραμικά νανοσωματίδια. Από τα πειραματικά αποτελέσματα για την ιξωδοελαστική συμπεριφορά προκύπτει ότι η αύξηση της συγκέντρωσης σε νανοεγκλείσματα στα δοκίμια προκαλεί μείωση της τιμής του μέτρου αποθήκευσης. Τέλος, μέσω της διηλεκτρικής φασματοσκοπίας ευρέως φάσματος μελετήθηκε η ηλεκτρική απόκριση των νανοςύνθετων. Τα φαινόμενα που καταγράφονται περιλαμβάνουν συνεισφορά τόσο από την ελαστομερική μήτρα όσο και από την ενισχυτική φάση. Η ηλεκτρική διαπερατότητα αυξάνεται με την αύξηση της περιεκτικότητας σε νανοεγκλείσματα και της θερμοκρασίας και μείωση της συχνότητας. Στα 3D διαγράμματα $M'' = F(\log(f), T)$, καταγράφεται μία αρνη διεργασία χαλάρωσης η οποία αποδίδεται στο φαινόμενο της διεπιφανειακής πόλωσης. Στα διαγράμματα του $\epsilon'' = F(T)$ καταγράφεται μία ακόμη διεργασία η οποία σχετίζεται με την ψυχρή κρυστάλλωση του PDMS, που αντιστοιχεί σε μια διεργασία αλλαγής φάσης.

Smart materials & nanodielectrics laboratory

σμάτ - lab

smatlab.upatras.gr

REFERENCES

1. S. Nayak, T.K. Chaki, D. Khastgir. Ind. Eng. Chem. Res., 53 (2014) 14982–14992.
2. S. Nayak, M. Rahaman, A.K. Pandey, D.K. Setua, T.K. Chaki, D. Khastgir. J. Appl. Polym. Sci. 127 (2012) 784–796.
3. A. Patsidis, G.C. Psarras. Exp. Pol. Lett. 4 (2008) 234–243.
4. G. Ioannou, A. Patsidis, G.C. Psarras. Comp. A., 42 (2011) 104–110.
5. A.C. Patsidis, K. Kalaitzidou, G.C. Psarras. Mater. Chem. Phys., 135 (2012) 798.
6. A.C. Patsidis, K. Kalaitzidou, D.L. Anastassopoulos, A.A. Vradis, G.C. Psarras. J. Chinese Adv. Mater. Soc., 2 (2014) 207–221.
7. A.C. Patsidis, K. Kalaitzidou, G.C. Psarras. J. Therm. Anal. Calorim., 116 (2014) 41–49.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

«Η παρούσα Μεταδιδακτορική έρευνα υλοποιείται με υποτροφία του ΙΚΥ η οποία χρηματοδοτείται από την Πράξη «Ενίσχυση Μεταδιδακτόρων Ερευνητών/Ερευνητριών» από τους πόρους του ΕΠ «Ανάπτυξη Ανθρώπινου Δυναμικού, Εκπαίδευση και Διά Βίου Μάθηση» με άξονες προτεραιότητας 6,8,9 και συγχρηματοδοτείται από το Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο – ΕΚΤ και το ελληνικό δημόσιο».