

Πανεπιστήμιο Πατρών, Σχολή Θετικών Επιστημών,
Τμήμα Επιστήμης των Υλικών

Ηλεκτρική απόκριση μονωτικών
υλικών σε εναλλασσόμενο
πεδίο – φαινόμενα ηλεκτρικής
χαλάρωσης

Χαρακτηρισμός Πολυμερών

Εργαστηριακός εξοπλισμός: ηλεκτρική γέφυρα (impedance analyzer), διηλεκτρικό κελί, φούρνος-διάταξη ηλεκτρομαγνητικής θωράκισης, κατάλληλο λογισμικό για την συλλογή των πειραματικών δεδομένων, ηλεκτρονικός υπολογιστής.

Προαπαιτούμενες γνώσεις: θεωρία των διπολικών ροπών, ηλεκτρική πόλωση, απόκριση των διηλεκτρικών υλικών σε συνεχές και εναλλασσόμενο πεδίο, υπέρθεση θερμοκρασίας συχνοτήτων (Κεφάλαια 1-3 των σημειώσεων).

1. Εισαγωγή

Διεργασίες χαλάρωσης παρατηρούνται σε πολλές κατηγορίες υλικών, όπως οι ύαλοι, τα πολυμερή, τα κεραμικά, οι υγροί κρύσταλλοι, τα σύνθετα υλικά, υλικά με ανισοτροπία και υλικά με αταξία δομής (disordered solids). Ο όρος χαλάρωση (αποκατάσταση) υποδηλώνει την επιστροφή ενός συστήματος σε ισορροπία και συχνά αναφέρεται ως η χρονικά εξαρτώμενη επιστροφή στην ισορροπία μετά την μεταβολή των επιρροών που δρούσαν στο σύστημα. Η μεταβαλλόμενη επιρροή στο πείραμα της άσκησης είναι το εναλλασσόμενο ηλεκτρικό πεδίο.

Στους μονωτές η συγκέντρωση ευκίνητων φορτίων είναι πολύ μικρή με αποτέλεσμα η εφαρμογή ηλεκτρικού πεδίου να μην οδηγεί σε μακροσκοπική κίνηση φορέων φορτίου (ηλεκτρικό ρεύμα). Από την άλλη μεριά η εφαρμογή ηλεκτρικού πεδίου προκαλεί φαινόμενα πόλωσης, καθώς παρατηρείται διαχωρισμός του κέντρου κατανομής θετικού και αρνητικού φορτίου σε κάθε στοιχειώδη όγκο του υλικού και το δείγμα παρουσιάζει επιφανειακά φορτία, αντιθέτου προσήμου, στις πλευρές που βρίσκονται σε επαφή με τους οπλισμούς του πυκνωτή. Η πόλωση που προκύπτει, οφείλεται σε διεργασίες προσανατολισμού μόνιμων ή επαγόμενων διπόλων και σε φαινόμενα ατομικής και ηλεκτρονικής παραμόρφωσης, εξαιτίας σχετικής μετακίνησης των κέντρων θετικού και αρνητικού φορτίου. Συστήματα που παρουσιάζουν ετερογένεια εμφανίζουν και ένα επιπλέον είδος πόλωσης την διεπιφανειακή. Η διεπιφανειακή πόλωση σχετίζεται με την συγκέντρωση μη δέσμιων φορτίων στην διεπιφάνεια των φάσεων του υλικού, όπου και σχηματίζουν μεγάλα δίπολα που προσπαθούν να παρακολουθήσουν την κίνηση του εφαρμοζόμενου ηλεκτρικού πεδίου.

Σε ένα διηλεκτρικό υλικό τα φαινόμενα χαλάρωσης που καταγράφονται συνδέονται με την προσπάθεια όλων των ειδών των διπολικών ροπών, να προσανατολιστούν παράλληλά με το εφαρμοζόμενο ηλεκτρικό πεδίο.

Στην άσκηση αυτή μελετώνται οι διηλεκτρικές ιδιότητες ενός δείγματος εποξειδικής ρητίνης στο διάστημα συχνοτήτων 10^{-1} Hz έως 10^7 Hz συναρτήσει της θερμοκρασίας.

2. Θεωρία

Η απόκριση ενός διηλεκτρικού σε εφαρμοζόμενο εναλλασσόμενο ηλεκτρικό πεδίο εξαρτάται από μία σειρά παραμέτρων στις οποίες περιλαμβάνονται: το πλάτος και η συχνότητα του εφαρμοζόμενου πεδίου, η

θερμοκρασία και η μοριακή δομή του υλικού. Σε κάθε αναστροφή του πεδίου, τα δίπολα προσπαθούν να προσανατολιστούν παράλληλα με αυτό. Μία διαδικασία που απαιτεί έναν πεπερασμένο χρόνο, ο χρόνος αυτός ονομάζεται χρόνος χαλάρωσης. Σε συνθήκες στατικού ηλεκτρικού πεδίου το χαρακτηριστικό μέγεθος που αντιπροσωπεύει το διηλεκτρικό υλικό είναι η γνωστή διηλεκτρική σταθερά. Σε συνθήκες εναλλασσόμενου πεδίου η διηλεκτρική σταθερά γενικεύεται στην μιγαδική ηλεκτρική διαπερατότητα, ποσότητα που εξαρτάται από την συχνότητα του πεδίου και δίνεται από την σχέση:

$$\varepsilon^* = \varepsilon' - i\varepsilon'' \quad (1)$$

όπου ε' και ε'' το πραγματικό και φανταστικό μέρος της ηλεκτρικής διαπερατότητας που συνδέονται μεταξύ τους ως εξής:

$$\tan \delta = \frac{\varepsilon''}{\varepsilon'} \quad (2)$$

όπου $\tan \delta$ η εφαπτομένη ή παράγοντας των απωλειών σχετίζεται με την διαχεόμενη στο υλικό ενέργεια ανά κύκλο φόρτισης.

Εκτός από τον φορμαλισμό της ηλεκτρικής διαπερατότητας, για την περιγραφή διεργασιών ηλεκτρικής χαλάρωσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν και οι ισοδύναμοι φορμαλισμοί της ειδικής αγωγιμότητας εναλλασσόμενου (σ_{ac}) και του ηλεκτρικού μέτρου (M^*).

Η σ_{ac} ειδική αγωγιμότητα ορίζεται από την σχέση:

$$\sigma_{ac} = \varepsilon_0 \omega \varepsilon'' \quad (3)$$

όπου ε_0 η ηλεκτρική διαπερατότητα του κενού, ω η κυκλική συχνότητα του πεδίου και ε'' το φανταστικό μέρος της ηλεκτρικής διαπερατότητας (διηλεκτρικές απώλειες).

Το μιγαδικό ηλεκτρικό μέτρο ορίζεται ως η αντίστροφη ποσότητα της μιγαδικής ηλεκτρικής διαπερατότητας σύμφωνα με την σχέση:

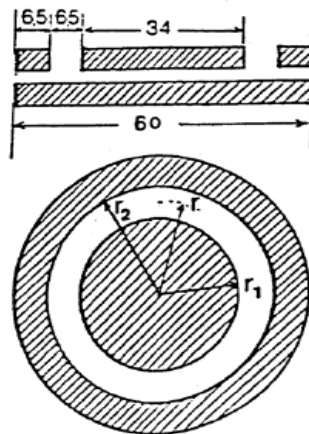
$$M^* = \frac{1}{\varepsilon^*} = \frac{1}{\varepsilon' - i\varepsilon''} = \frac{\varepsilon'}{\varepsilon'^2 + \varepsilon''^2} + i \frac{\varepsilon''}{\varepsilon'^2 + \varepsilon''^2} = M' + iM'' \quad (4)$$

3. Πειραματικό μέρος

Οι διηλεκτρικές μετρήσεις πραγματοποιούνται μέσω της συσκευής Alpha-N analyzer της εταιρείας Novocontrol, που οδηγείται από ηλεκτρονικό υπολογιστή μέσω κατάλληλου λογισμικού, Σχήμα 1. Το διηλεκτρικό κελί που περιέχει το δοκίμιο αποτελείται από δύο οπλισμούς (υψηλού και χαμηλού δυναμικού) και ένα ηλεκτρόδιο φρουρό για την απάλειψη παρασιτικών χωρητικότητων, Σχήμα 2. Η μεταβολή της θερμοκρασίας γίνεται με θερμοστατούμενο ειδικό φούρνο.



Σχήμα 1: Η χρησιμοποιούμενη στο εργαστήριο διάταξη διηλεκτρικής φασματοσκοπίας.



Σχήμα 2: Οι γεωμετρικές διαστάσεις του κελιού μέτρησης σε mm.

Αρχικά μετράται το πάχος του υπό εξέταση δοκιμίου. Στην συνέχεια το δοκίμιο τοποθετείται στο εσωτερικό του διηλεκτρικού κελιού, ακολούθως πραγματοποιούνται οι συνδέσεις των ηλεκτρικών επαφών μεταξύ κελιού μέτρησης και ηλεκτρικής γέφυρας. Ρυθμίζεται ο φούρνος στην επιλεχθείσα θερμοκρασία. Μετά την επίτευξη της θερμοκρασίας εκτελούμε την πρώτη σάρωση συχνοτήτων συλλέγοντας τις πειραματικές τιμές. Στην συνέχεια

θέτουμε υψηλότερη θερμοκρασία και ακολουθούμε την ίδια διαδικασία όπως προηγουμένως. Διεξάγουμε σαρώσεις σε όσες θερμοκρασίες μας ζητηθεί.

4. Υπολογισμοί / Ερωτήσεις

(α) Κατασκευάστε τα διαγράμματα $\varepsilon' = f(\log f)$, $\varepsilon'' = f(\log f)$, $M' = f(\log f)$, $M'' = f(\log f)$ και $\sigma_{ac} = f(\log \omega)$ για κάθε μία από τις εξετασθείσες θερμοκρασίες. Σημειώστε ότι για κάθε είδος διαγράμματος τα πειραματικά σημεία των τριών θερμοκρασιών θα καταχωρηθούν στην ίδια γραφική παράσταση.

(β) Εάν είναι εφικτό υπολογίστε τον χρόνο χαλάρωσης σε κάθε θερμοκρασία, χρησιμοποιώντας κατάλληλο διάγραμμα. Δικαιολογείστε και σχολιάστε την απάντησή σας.

(γ) Εάν είναι εφικτό υπολογίστε την ενέργεια ενεργοποίησης της καταγραφόμενης διεργασίας χαλάρωσης.

5. Βιβλιογραφία

1. C. J. F. Böttcher, Theory of Electrical Polarization, Elsevier, Amsterdam 1973.
2. L. Solymar, D. Walsh, Electrical Properties of Materials, 6th edition, Oxford University Press, 1999.
3. B. K. P. Scaife, Principles of Dielectrics, Clarenton Press, Oxford, 1989.
4. Chelkowski, Dielectric Physics, Elsevier, 1980.
5. B. Tareev, Physics of Dielectric Materials, MIR, Moscow 1979.
6. A. von Hippel, Dielectrics and Waves, Artech House, 1995.
7. Γ. Χ. Ψαρράς, Ευφυή Υλικά, Πανεπιστήμιο Πατρών, 2004.