

83

ΜΗ ΓΡΑΜΜΙΚΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑ ΜΟΝΟΚΡΥΣΤΑΛΛΩΝ V_2O_5

Χ. Καρακώτσου, Ι. Καλόμοιρος, Μ. Χανιάς,
Α. Αναγνωστόπουλος, Ι. Σπυριδέλης

Τομέας Φυσικής Στερεάς Κατάστασης 313-1,
Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης,
540 06 Θεσσαλονίκη

Ι. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στην εργασία αυτή γίνεται μελέτη της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του V_2O_5 , στην περιοχή θερμοκρασιών από 200 - 300K. Οι χαρακτηριστικές I-U είναι S-τύπου και εμφανίζουν ένα τμήμα αρνητικής διαφορικής αντίστασης (NDR), που η κλίση του είναι τόσο μεγαλύτερη, όσο χαμηλότερη είναι η θερμοκρασία. Τέτοιες καμπύλες I-U φαίνονται στο σχήμα 1. Τα φαινόμενα αυτά οφείλονται συχνά στη θέρμανση του κρυστάλλου λόγω φαινομένου Joule. Η περιοχή αρνητικής διαφορικής αντίστασης, αποδίδεται στη δημιουργία νηματιδίου υψηλής αγωγιμότητας.

Το κύριο μέρος της εργασίας, αποτελεί η μελέτη της αγωγιμότητας του V_2O_5 , στην περιοχή της αρνητικής διαφορικής αντίστασης, των χαρακτηριστικών I-U.

II. ΩΜΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ

Η αγωγιμότητα στην ωμική περιοχή ακολουθεί έναν εκθετικό νόμο της μορφής,

$$\sigma = \sigma_0 \exp(-\Delta E/kT) \quad (1)$$

όπως φαίνεται στο σχήμα 2.

Για την περιοχή θερμοκρασιών $200 K < T < 270 K$, βρέθηκε από την κλίση του διαγράμματος $\ln \sigma - 10^3/T$, ότι $\Delta E = 0.264 eV$.

Σε θερμοκρασίες $T > 270 K$ βρέθηκε $\Delta E = 0.16 eV$, που αντιστοιχεί στην ενέργεια ενεργοποίησης της ευκίνησας [1],[2].

III. ΠΕΡΙΟΧΗ ΑΡΝΗΤΙΚΗΣ ΔΙΑΦΟΡΙΚΗΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ.

Υπεύθυνος για τη περιοχή της αρνητικής διαφορικής αντίστασης θεωρήθηκε κάποιος ηλεκτροθερμικός μηχανισμός, επειδή παρατηρήθηκαν τα εξής:

α) σημαντική αύξηση της θερμοκρασίας του δείγματος στην περιοχή αυτή. Η θερμοκρασία του δείγματος μετρήθηκε με τη βοήθεια θερμοζεύγους που εφαρμόστηκε στην επιφάνεια του δείγματος. Ενδεικτικές τιμές της θερμοκρασίας του δείγματος στην περιοχή μετά το κατώφλι, φαίνονται στην I-U χαρακτηριστική του σχήματος 3.

β) μετατόπιση της τιμής της τάσης κατωφλίου, σε ολοένα και μεγαλύτερες τιμές, καθώς ελαττώνονταν η θερμοκρασία του περιβάλλοντος, όπως φαίνεται στο σχήμα 4.

Στην περίπτωση αυτή και με την παραδοχή (συνθήκη) ότι στη σταθεροποιημένη κατάσταση ($dT/dt=0$) η απαγωγή της θερμότητας δεν γίνεται ακτινικά, ισχύει η εξίσωση της θερμικής ισορροπίας [3],

$$(8k/d^2)(T - T_0) + \sigma(T, E)E^2 = 0, \quad (2)$$

όπου

- k = ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας
- d = η απόσταση μεταξύ των ηλεκτροδίων
- σ = η ηλεκτρική αγωγιμότητα
- E = η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου

Με τη βοήθεια της παραπάνω εξίσωσης, και θεωρώντας για το συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας k , την τιμή που αναφέρεται στη βιβλιογραφία, υπολογίστηκαν οι τιμές της αγωγιμότητας στη μη γραμμική περιοχή των χαρακτηριστικών I-U.

Προκύπτει, πως και στην περίπτωση αυτή ο νόμος είναι εκθετικός :

$$\sigma = \sigma_0 \exp(-E/kT) \quad (3)$$

και είναι $E = 0.19$ eV, κοντά δηλαδή στην τιμή της ενέργειας ενεργοποίησης που μετρήθηκε και πριν το κατώφλι. Το διάγραμμα της αγωγιμότητας στη μη γραμμική περιοχή σαν συνάρτηση της αντίστροφης θερμοκρασίας $10^3/T$ φαίνεται στο σχήμα 5.

IV. ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΤΩΝ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

1. Αναπαραγωγή της θερμοκρασίας

Αν το φαινόμενο οφείλεται σε θερμική διαδικασία, τότε η θερμοκρασία στα διάφορα σημεία της καμπύλης I-U δίνεται από τον τύπο [4]:

$$T = \Delta E T_0 \{ \Delta E + k T_0 [\ln (R/R_{TH}) - 1] \}^{-1} \quad (4)$$

όπου

- ΔE = η ενέργεια ενεργοποίησης
- R = η στατική αντίσταση σε κάθε σημείο της I-U
- R_{TH} = η στατική αντίσταση στο κατώφλι τάσης.

Οι τιμές που προκύπτουν από την παραπάνω θεωρητική εξομοίωση, βρίσκονται σε καλή συμφωνία με τις πειραματικές, όπως φαίνεται στο σχήμα 6.

2. Προσδιορισμός της διαμέτρου του νηματιδίου

Απο τις τιμές της αγωγιμότητας που υπολογίστηκαν στην περιοχή μετά το κατώφλι, υπολογίστηκε η ενεργός διατομή του δείγματος στην περιοχή της αρνητικής διαφορικής αντίστασης, απο τη σχέση:

$$S = \frac{1}{\sigma} \frac{I}{U} d \quad (5)$$

Στο σχήμα 7 φαίνεται η εξάρτηση της διατομής του δείγματος S από τις τιμές του ρεύματος I , για θερμοκρασία περιβάλλοντος $T_0 = 250$ K.

Από το σχήμα 7 προκύπτει ότι, η ενεργός διατομή S του δείγματος εξαρτάται άμεσα από τις τιμές του ρεύματος I και τείνει να εξισωθεί, για μεγάλες τιμές του ρεύματος, με την ολική διατομή A του δείγματος. Η εξάρτηση αυτή της ενεργού διατομής απο το ρεύμα θυμίζει την εξάρτηση της διαμέτρου του νηματιδίου απο τις

τιμές του ρεύματος, στην περίπτωση που η περιοχή της αρνητικής διαφορικής αντίστασης οφείλεται στο σχηματισμό ενός καναλιού (νηματιδίου) υψηλής αγωγιμότητας εξ' αιτίας της αύξησης της θερμοκρασίας.

Στην περίπτωση αυτή στο εσωτερικό του κρυστάλλου συνυπάρχουν δύο φάσεις, με διαφορετική αγωγιμότητα η καθεμιά (σχήμα 8). Οι J. Peinke et.al[5] έδωσαν την ποσοτική περιγραφή του μοντέλου αυτού, θεωρώντας ότι οι δύο καταστάσεις αγωγιμότητας, αντιστοιχούν σε παράλληλη σύνδεση δύο αντιστάσεων R_1 , R_2 . Έτσι, η αναπαράσταση της χαρακτηριστικής I-U, μπορεί να γίνει με εφαρμογή του τύπου που ισχύει όταν δύο αντιστάσεις συνδέονται παράλληλα:

$$U(I) = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = \frac{r_2}{\delta + (1-\delta)\chi} I \quad (6)$$

όπου

$$r_i = \rho_i(d/A) \quad \delta = r_2/r_1 = \rho_2/\rho_1$$

και

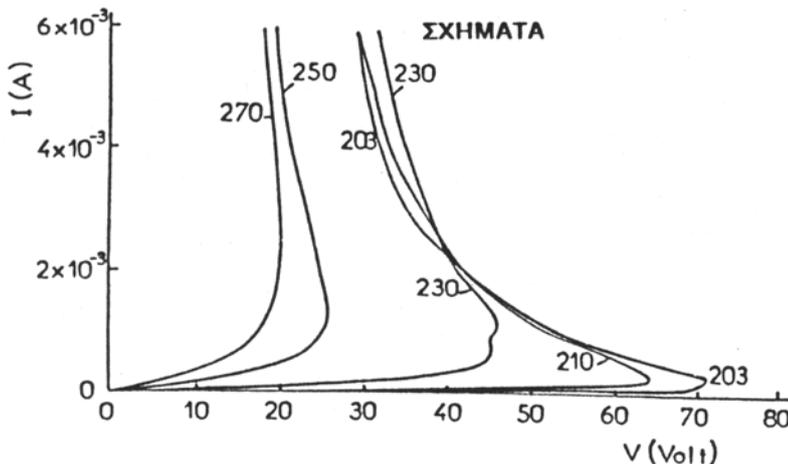
A : η συνολική διατομή
 ρ_1, ρ_2 : οι ειδικές αντιστάσεις των δύο φάσεων
 S : η διάμετρος του νηματιδίου

Από τις τιμές της αγωγιμότητας που υπολογίστηκαν στις περιοχές πριν (φάση 1) και μετά από το κατώφλι (φάση 2) και από τις τιμές που υπολογίστηκαν για τη διατομή S, προσομοιώνουμε με ικανοποιητικό τρόπο τις χαρακτηριστικές I-V, που μετρήθηκαν πειραματικά, όπως φαίνεται στο σχήμα 9.

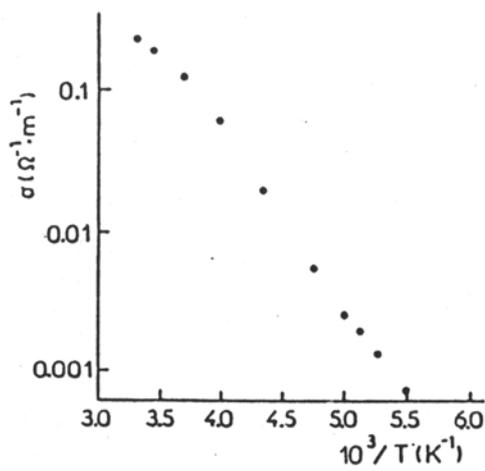
V. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Οι S-τύπου χαρακτηριστικές I-U, μελετήθηκαν σύμφωνα με το ηλεκροθερμικό πρότυπο, προκειμένου να ερμηνευτεί η φυσική διεργασία που είναι υπεύθυνη για το τμήμα της αρνητικής διαφορικής αντίστασης.

Το πρότυπο αυτό, αναπαράγει ικανοποιητικά τις τιμές της θερμοκρασίας του δείγματος στην NDR και ταυτόχρονα υποδεικνύει ότι υπεύθυνος μηχανισμός είναι η δημιουργία νηματιδίου, του οποίου η διάμετρος μεταβάλλεται σύμφωνα με το νόμο του σχήματος 7. Η θεώρηση αυτή είναι πλήρως ικανή να περιγράψει ποσοτικά και να αναπαράγει τις χαρακτηριστικές I-U, που μετρήσαμε σε διάφορες θερμοκρασίες.

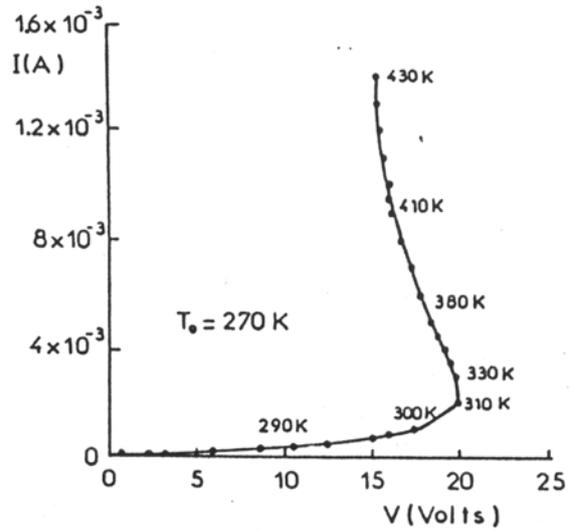


ΣΧΗΜΑ 1 : I-V χαρακτηριστικές που μετρήθηκαν σε μονοκρυστάλλους V_2O_5 σε διάφορες θερμοκρασίες.



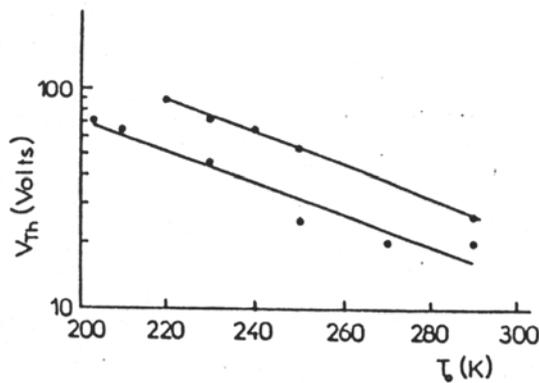
ΣΧΗΜΑ 2:

Ωμική αγωγιμότητα στους κρυστάλλους V_2O_5 με την αντίστροφη θερμοκρασία περιβάλλοντος.



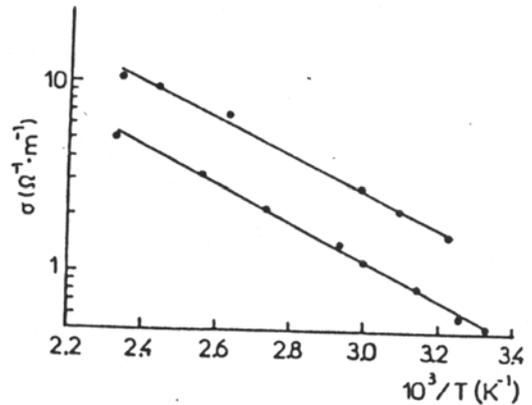
ΣΧΗΜΑ 3:

Τιμές της θερμοκρασίας του δείγματος T όπως μετρήθηκαν σε μια τυπική χαρακτηριστική I-U.



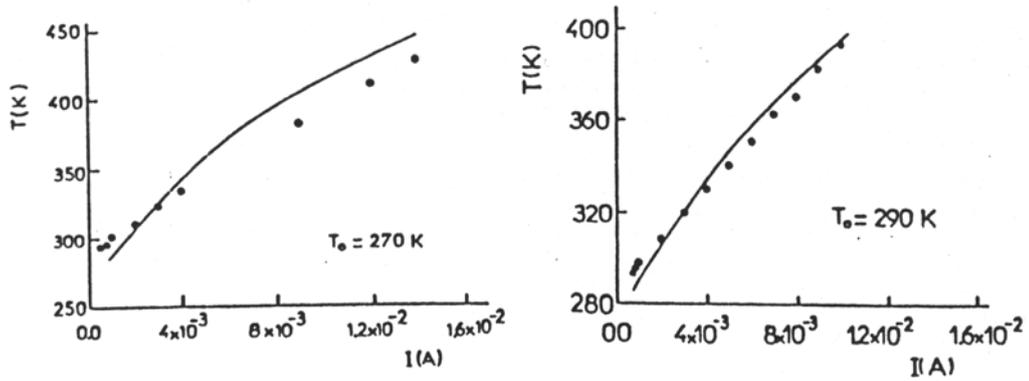
ΣΧΗΜΑ 4:

Εξάρτηση της τιμής της τάσης κατωφλίου από τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος όπως μετρήθηκε σε δύο δείγματα V_2O_5 .

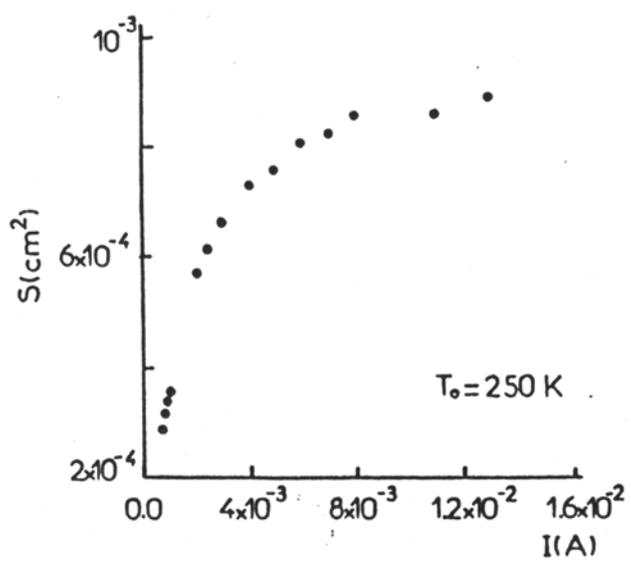


ΣΧΗΜΑ 5:

Αγωγιμότητα με τη θερμοκρασία του δείγματος στο μη γραμμικό τμήμα των I-U χαρακτηριστικών, όπως υπολογίστηκαν από τον τύπο (3) για δύο διαφορετικές θερμοκρασίες περιβάλλοντος.



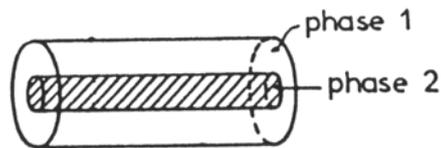
ΣΧΗΜΑ 6 : Θερμοκρασίες του δείγματος με τις τιμές του ρεύματος (διάκριτα σημεία) για θερμοκρασία περιβάλλοντος $T_0 = 270$ K (α) και $T_0 = 290$ K (β). Η συνεχής γραμμή παριστάνει τη θεωρητική προσομοίωση που έγινε με εφαρμογή της σχέσης 4.



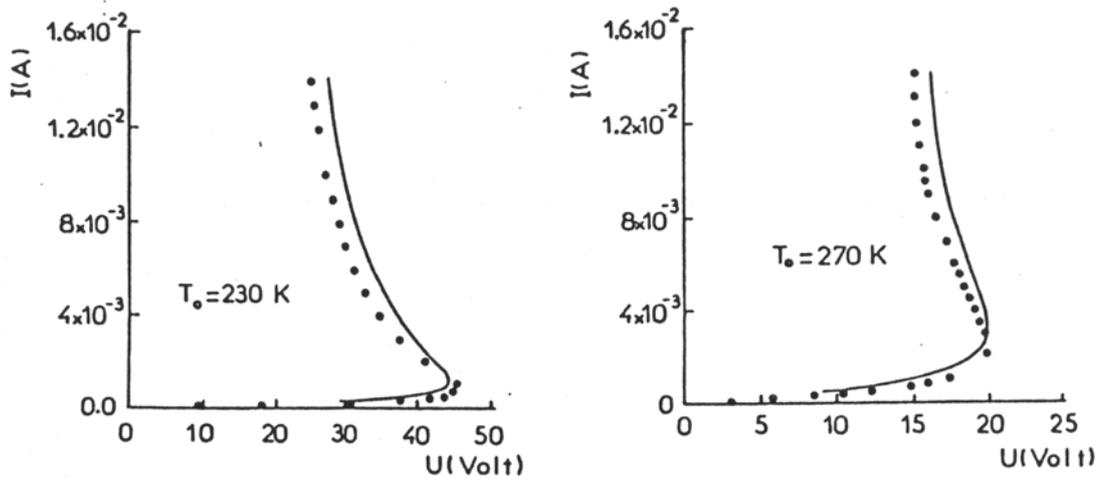
ΣΧΗΜΑ 7 : Ενεργός διατομή S του δείγματος με τις τιμές του ρεύματος I , όπως υπολογίστηκαν από τη σχέση (5), χρη-

25
34
(K⁻¹)

ο μη
λογι-
ρα-



ΣΧΗΜΑ 8 : Σχηματισμός του νηματιδίου στο δείγμα που αποτελείται από τις φάσεις 1 και 2.



ΣΧΗΜΑ 9 : Αναπαράγωγή των πειραματικών I-U (διάκριτα σημεία) με τον τύπο (6) (συνεχείς γραμμές) για $T_0 = 230$ K (a) και $T_0 = 270$ K (b).

ΑΝΑΦΟΡΕΣ

1. V.A. Joffe, I.B. Patrino, Phys. Stat. Sol **40**, 389 (1970).
2. C. Sanchez, M. Henry, J.C. Grenet, G. Livage, J. Phys. C **15**, 7133 (1982).
3. D.M. Kroll, Phys. Rev. B **9**, 1966 (1974).
4. A. Abdell-A. Al., A. Elshajie, M.M. El Zaidia and A.A. Amar, Physika B **154**, 105 (1988).
5. J. Peinke, D.B. Scheid, B. Rohricht and J. Parisi, Z. Phys. B **66**, 65 (1987).