

Γενικές οδηγίες Πειραματικού Μέρους (20 μονάδες)

12 Ιουλίου 2016

Η πειραματική εξέταση διαρκεί 5 ώρες και βαθμολογείται με 20 μονάδες.

Πριν από την εξέταση

- Δεν πρέπει να ανοίξετε τους φακέλους με τις εκφωνήσεις πριν από το ηχητικό σήμα που δηλώνει την έναρξη του διαγωνισμού.
- Η έναρξη και η λήξη της εξέτασης δηλώνονται από ένα ηχητικό σήμα. Επίσης κάθε μία ώρα θα πραγματοποιείται αναγγελία του χρόνου που έχει παρέλθει. Το ίδιο θα γίνει και 15 λεπτά πριν τη λήξη της εξέτασης (πριν το τελικό ηχητικό σήμα).

Κατά τη διάρκεια της εξέτασης

- Ειδικά Φύλλα Απαντήσεων διατίθενται για την αναγραφή των απαντήσεών σας. Σημειώστε τις μετρήσεις/απαντήσεις σας σε κατάλληλους πίνακες, πλαίσια ή γραφήματα στο αντίστοιχο Φύλλο Απαντήσεων (που φέρει την ένδειξη Α). Για κάθε Πρόβλημα θα υπάρχουν κενά Φύλλα Προχείρου για πράξεις και υπολογισμούς (που φέρουν την ένδειξη $W=work$). Σιγουρευτείτε ότι χρησιμοποιείτε πάντα τα Φύλλα Προχείρου που αντιστοιχούν στο Πρόβλημα με το οποίο εργάζεστε (δείτε τον αριθμό του Προβλήματος στην κεφαλίδα). Αν στο Φύλλο Απαντήσεων, γράψετε κάτι που δεν επιθυμείτε να βαθμολογηθεί, θα πρέπει να το διαγράψετε. Χρησιμοποιήστε μόνο την εμπρόσθια όψη του Φύλλου Απαντήσεων.
- Στις απαντήσεις σας φροντίστε να είστε κατά το δυνατόν ακριβείς: χρησιμοποιείτε όσο πιο συχνά μπορείτε εξισώσεις, λογικούς τελεστές και σχήματα για να καταγράψετε τη σκέψη σας, Αποφύγετε τη χρήση μακροσκελών προτάσεων.
- Αναλυτικός υπολογισμός σφαλμάτων δεν απαιτείται εκτός αν ζητείται ρητώς από την εκφώνηση. Θα πρέπει όμως να δώσετε το κατάλληλο πλήθος σημαντικών ψηφίων, όποτε αναγράφετε αριθμητικά αποτελέσματα. Επίσης θα πρέπει να επιλέξετε το κατάλληλο πλήθος σημείων / πλήθος επαναλήψεων μιας μέτρησης, εκτός αν σας δίνονται συγκεκριμένες οδηγίες.
- Συχνά ενδέχεται να μπορείτε να απαντήσετε σε ένα ερώτημα χωρίς υποχρεωτικά να έχετε λύσει όλα τα προηγούμενα.
- Δεν επιτρέπεται η μετακίνησή σας από τη θέση εξέτασής σας χωρίς άδεια. Αν χρειαστείτε βοήθεια (να ξαναγεμίσετε το μπουκαλάκι σας με νερό, να αναφέρετε χαλασμένο υπολογιστή τσέπης, να πάτε στην τουαλέτα, κ.λπ.) παρακαλείστε να καλέσετε κάποιον από τους Οδηγούς Ομάδων, χρησιμοποιώντας μία από τις τρεις σημαίες ("Refill my water bottle, please" για νερό, "I need to go to the toilet, please" για τουαλέτα, ή "I need help, please" σε κάθε άλλη περίπτωση), την οποία θα τοποθετήσετε στο ειδικό στήριγμα που θα υπάρχει στον χώρο εργασίας σας

Στο τέλος της εξέτασης

- Στο τέλος της εξέτασης οφείλτε να σταματήσετε να γράφετε αμέσως.
- Τακτοποιήστε τα Φύλλα κάθε Προβλήματος με την ακόλουθη σειρά: Εξώφυλλο (cover sheet - C), Ερωτήσεις (questions - Q), Φύλλα Απαντήσεων (answer sheets - A), Φύλλα Προχείρου (work sheets - W).

- Τοποθετήστε όλα τα Φύλλα ενός Προβλήματος στον αντίστοιχο φάκελο. Επίσης τοποθετήστε το Φύλλο Γενικών Οδηγιών (G) στον εναπομείναντα ξεχωριστό φάκελο. Σιγουρευτείτε ότι ο κωδικός σας είναι ορατός μέσα από το άνοιγμα κάθε φακέλου. Επίσης παραδώστε τυχόν κενά Φύλλα. Δεν επιτρέπεται να πάρετε μαζί σας κανένα Φύλλο φεύγοντας από το χώρο της εξέτασης.
- Τοποθετήστε τη γραφική σας ύλη (2 στυλό, 1 μαρκαδόρος, 1 μολύβι, 1 ψαλίδι, 1 χάρακας, 2 ζευγάρια ωτοασπίδων) καθώς και τον υπολογιστή τσέπης που σας δόθηκε ή τον προσωπικό σας (εφόσον διαθέτετε) στη διαφανή τσάντα μεταφοράς και κλείστε τη με το φερμουάρ.
- Περιμένετε στο χώρο εργασίας σας μέχρι τη συλλογή των φακέλων σας. Αμέσως μετά τη συλλογή όλων των φακέλων ο Οδηγός της Ομάδας σας θα σας συνοδεύσει εκτός του χώρου εξέτασης. Πάρτε τη διαφανή τσάντα μεταφοράς μαζί σας και παραδώστε τη στην έξοδο. Επίσης μην ξεχάσετε να πάρετε μαζί σας το μπουκαλάκι νερού.

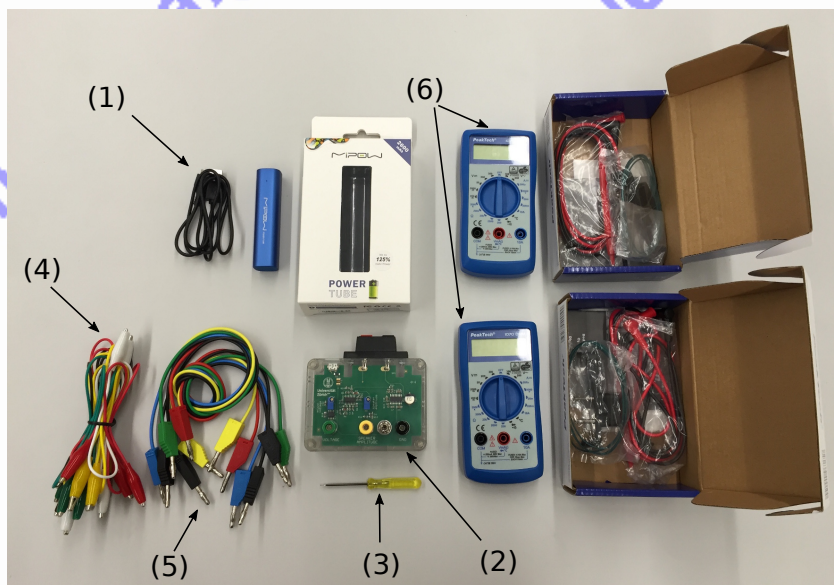
Θεματικές Ενότητες

Πείραμα E-I:	Ηλεκτρική αγωγιμότητα σε δύο διαστάσεις	10 μονάδες
Πείραμα E-II:	Σπόροι που αναπηδούν - Ένα μοντέλο για τις αλλαγές φάσης και τις καταστάσεις αστάθειας	10 μονάδες

Τμήμα του διατιθέμενου εξοπλισμού χρησιμοποιείται από κοινού στα πειράματα E-I και E-II. Μεταξύ άλλων το τροφοδοτικό και η γεννήτρια σημάτων (συχνοτήτων) χρησιμοποιούνται από κοινού, αλλά με διαφορετικές ρυθμίσεις.

Προσοχή: κατά την αφαίρεση του πειραματικού εξοπλισμού από το κουτί συσκευασίας, μην ανασηκώσετε το ηχείο από τον πλαστικό κύλινδρο που έχει στερεωθεί στην παλλόμενη μεμβράνη.

Εξοπλισμός που χρησιμοποιείται και στα δύο πειράματα

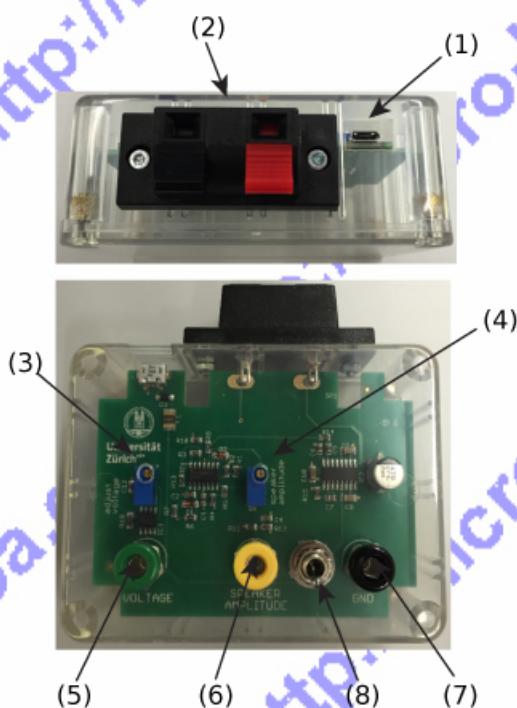


Εικόνα 1: Εξοπλισμός κοινός στα δύο πειράματα.

1. Θήκη μπαταριών με καλώδιο USB
2. Ρυθμιζόμενη γεννήτρια σημάτων (συχνοτήτων) τροφοδοτούμενη από τη θήκη μπαταριών
3. Μικρό κατσαβίδι
4. Δέκα καλώδια με "κροκοδειλάκια"
5. Έξι καλώδια με βύσματα των 4 mm
6. Δύο ψηφιακά πολύμετρα

Μπορείτε επίσης να χρησιμοποιήσετε οτιδήποτε από τη γραφική ύλη που σας δόθηκε για να εκτελέσετε την πειραματική διαδικασία.

Γεννήτρια συχνοτήτων



Εικόνα 2.

1. Υποδοχή USB για την τροφοδοσία της γεννήτριας
2. Ακροδέκτες ηχείου (χρησιμοποιούνται μόνο στο E-II)
3. Ποτενσιόμετρο για τη ρύθμιση της σταθερής τάσης (χρησιμοποιείται μόνο στο E-I)
4. Ποτενσιόμετρο για τη ρύθμιση του πλάτους ταλάντωσης του ηχείου (χρησιμοποιείται μόνο στο E-II)
5. Υποδοχή συνεχούς DC τάσης (χρησιμοποιείται μόνο στο E-I)
6. ακροδέκτης για την καταγραφή του πλάτους εξόδου του ηχείου (χρησιμοποιείται μόνο στο E-II)
7. Γείωση για όλα τα κυκλώματα
8. Διακόπτης on/off για τη λειτουργία του ηχείου και καταγραφή του πλάτους εξόδου σε αυτό

Για να τροφοδοτήσετε τη γεννήτρια συνδέστε το USB καλώδιο της θήκης μπαταριών στην υποδοχή USB της γεννήτριας (1).

Λάβετε υπόψη σας ότι απαιτούνται αρκετές περιστροφές του ποτενσιόμετρου για να καλύψετε όλο το εύρος τιμών τους. Τα ποτενσιόμετρα δε διαθέτουν μηχανικά εμπόδια για την παύση της περιστροφής τους όταν φτάνουν στα άκρα της κλίμακάς τους.

Ψηφιακά πολύμετρα

Τα ψηφιακά πολύμετρα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για μετρήσεις έντασης ρεύματος και τάσης. Να συνδέετε πάντοτε τα δύο καλώδια στις υποδοχές με τις ενδείξεις "VmAΩ" και "GND" και να επιλέγετε μεταξύ έντασης/τάσης (current/voltage) και την κλίμακα μετρήσεων χρησιμοποιώντας τον περιστρεφόμενο επιλογέα.

Ηλεκτρική αγωγιμότητα σε δύο διαστάσεις (10 μονάδες)

Παρακαλείστε να διαβάσετε τις Γενικές Οδηγίες στον ξεχωριστό φάκελο πριν ξεκινήσετε το πρόβλημα αυτό.

Εισαγωγή

Στην προσπάθειά τους να αναπτύξουν την επόμενη γενιά συσκευών βασισμένων στην τεχνολογία ημιαγωγών, όπως κυκλώματα (τσιπ) υπολογιστών ή ηλιακές κυψέλες, οι ερευνητές αναζητούν υλικά με ξεχωριστές ιδιότητες μεταφοράς, π.χ. χαμηλή ειδική αντίσταση. Οι μετρήσεις των ιδιοτήτων αυτών πραγματοποιούνται χρησιμοποιώντας δείγματα πεπερασμένων διαστάσεων, επαφές με πεπερασμένη αντίσταση και ειδική γεωμετρία. Οι παράμετροι αυτές πρέπει να ληφθούν υπ' όψη προκειμένου να εξαχθούν οι πραγματικές τιμές των ιδιοτήτων των υλικών. Επιπρόσθετα, ενδέχεται ένα πολύ λεπτό κομμάτι του υλικού να επιδεικνύει διαφορετική συμπεριφορά από ένα άλλο ογκωδέστερο.

Στο πείραμα αυτό θα διερευνήσουμε τη μέτρηση ηλεκτρικών ιδιοτήτων. Θα χρησιμοποιήσουμε δύο εναλλακτικούς ορισμούς:

- **Αντίσταση R :** Αντίσταση ονομάζουμε την ηλεκτρική ιδιότητα ενός δείγματος ή μιας συσκευής. Είναι η ποσότητα που μετράμε σε ένα δείγμα συγκεκριμένων διαστάσεων.
- **Ειδική αντίσταση ρ :** Η ειδική αντίσταση είναι η ιδιότητα του υλικού που καθορίζει την αντίστασή του. Εξαρτάται από το ίδιο το υλικό και από εξωτερικές παραμέτρους όπως η θερμοκρασία, αλλά όχι από την γεωμετρία του δείγματος.

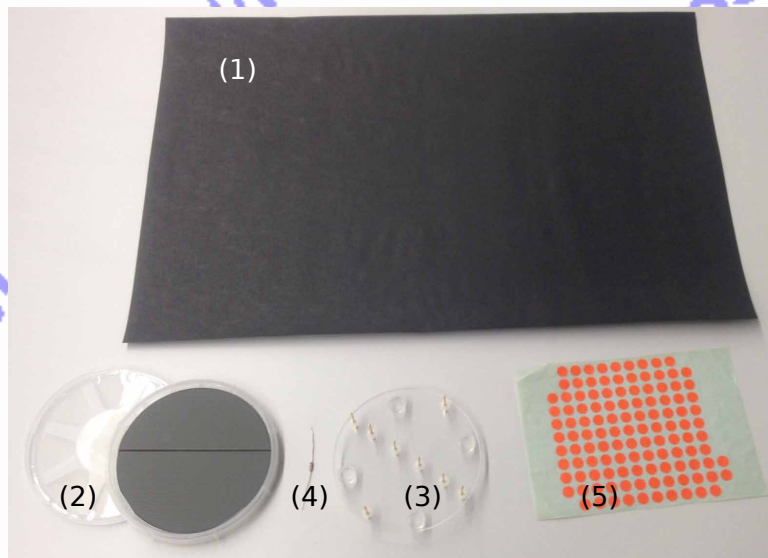
Συγκεκριμένα θα μετρήσουμε την αποκαλούμενη *επιφανειακή ειδική αντίσταση*. Ορίζεται ως το πηλίκο της ειδικής αντίστασης ενός πολύ λεπτού φύλλου διαιρεμένης με το πάχος του.

Θα διερευνήσουμε την επίδραση των ακόλουθων παραμέτρων στη μέτρηση της ηλεκτρικής αντίστασης λεπτών δειγμάτων του υλικού:

- το κύκλωμα μετρήσεων,
- τη γεωμετρία της μέτρησης,
- τις διαστάσεις του δείγματος.

Ως δείγματα θα χρησιμοποιήσουμε ένα φύλλο αγωγίμου χαρτιού και ένα επιμεταλλωμένο λεπτό πλακίδιο πυριτίου.

Λίστα υλικών



Εικόνα 1: Πρόσθετος εξοπλισμός για το πείραμα αυτό.

1. Αγωγίμο χαρτί επενδεδυμένο με γραφίτη
2. Πλακίδιο πυριτίου με επίστρωση λεπτού φιλμ χρωμίου (σε πλαστική βάση)
3. Φύλλο πλέξιγκλας με 8 ακίδες που διαθέτουν ελατήριο.
4. Ένας ωμικός αντιστάτης
5. Έγχρωμα αυτοκόλλητα

Σημαντικές προφυλάξεις

- Το πλακίδιο πυριτίου μπορεί εύκολα να σπάσει αν πέσει ή καμφθεί. Μην αγγίζετε ή γδέρνετε τη γυαλιστερή μεταλλική επιφάνεια.

Οδηγίες

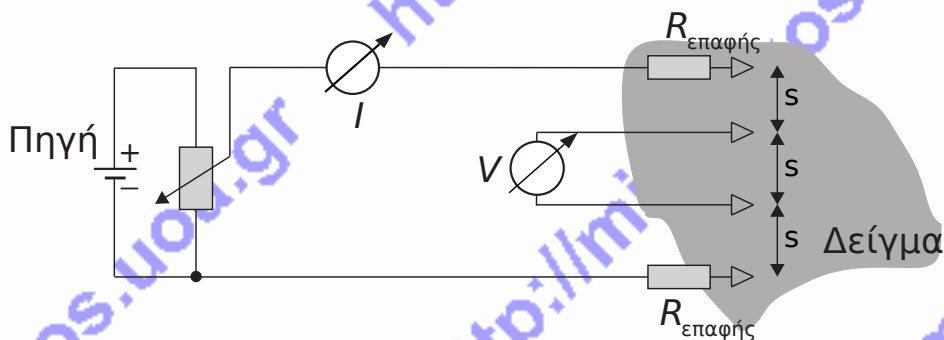
- Στο πείραμα αυτό η γεννήτρια θα χρησιμοποιηθεί ως πηγή συνεχούς (DC) τάσης. Στη ρύθμιση αυτή παράγει μια σταθερή διαφορά δυναμικού μεταξύ των ακροδεκτών τάσης (5) και γείωσης *GND* (7). Οι αριθμοί αναφέρονται στη φωτογραφία των Γενικών Οδηγιών.
- Η διαφορά δυναμικού (κλίμακα: 0- 5 V) μπορεί να ρυθμιστεί με το αριστερό ποτενσιόμετρο που φέρει την ένδειξη *adjust voltage* (3) χρησιμοποιώντας ένα κατσαβίδι.
- Κατά την εκτέλεση του πειράματος βεβαιωθείτε ότι το τμήμα της γεννήτριας που ελέγχει το ηχείο είναι εκτός λειτουργίας χρησιμοποιώντας το διακόπτη on/off. Ελέγξτε το μετρώντας την τάση μεταξύ των ακροδεκτών καταγραφής πλάτους του ηχείου (6) και γείωσης *GND* (7). Όταν το τμήμα αυτό είναι εκτός λειτουργίας, η τάση μεταξύ των δύο ακροδεκτών πρέπει να είναι μηδέν.

Μέρος Α. Μετρήσεις Τεσσάρων Σημείων (4-point-probe ή 4PP) (1.2 μονάδες)

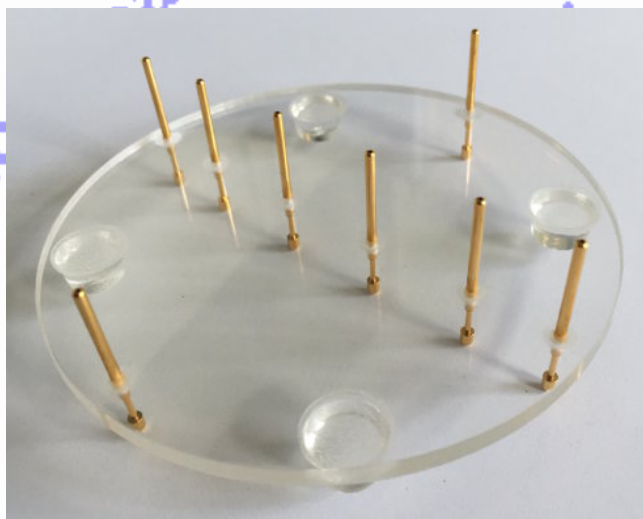
Προκειμένου να μετρήσουμε με ακρίβεια την αντίσταση ενός δείγματος, οι επαφές που χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση της τάσης θα πρέπει να διαχωριστούν από τις επαφές για τη μέτρηση της έντασης.

Δεδομένου ότι απαιτούνται τέσσερις επαφές για μια μέτρηση, η τεχνική αυτή ονομάζεται Μέτρηση Τεσσάρων Σημείων (four-point-probe ή 4PP). Οι 4 επαφές τοποθετούνται συμμετρικά κάνοντας τη γεωμετρία της διάταξης την απλούστερη δυνατή: Το ρεύμα I διαρρέει το δείγμα διαμέσου μίας από τις εξωτερικές επαφές (η οποία αποκαλείται πηγή), και στη συνέχεια μέσω όλων των δυνατών διαδρομών στο δείγμα και εξέρχεται μέσω της άλλης επαφής (καταβόθρα). Στο ενδιάμεσο, η τάση V μετριέται κατά μήκος μιας διαδρομής του δείγματος μήκους s .

Η διαδικασία απλουστεύεται από τη συμμετρία της διάταξης, δηλ. τοποθετώντας όλες τις επαφές σε σταθερή απόσταση s μεταξύ τους, όπως φαίνεται στο ακόλουθο σχήμα:



Η καμπύλη I ως προς V παριστάνει τη χαρακτηριστική του δείγματος και επιτρέπει τον προσδιορισμό της αντίστασης του δείγματος. Ακολούθως θα χρησιμοποιήσουμε μόνο την τεχνική 4PP. Αρχικά θα χρησιμοποιήσουμε τη γραμμική ισαπέχουσα διαρρύθμιση τεσσάρων εκ των οκτώ επαφών όπως δείχνει η φωτογραφία.



Εικόνα 2: Ακρυλική γυάλινη πλάκα για τις μετρήσεις 4PP, με τις 4 βεντούζες και τις 8 επαφές.

Για την επόμενη μέτρηση χρησιμοποιήστε ολόκληρο το φύλλο του αγωγίμου χαρτιού.

Σημαντικές υποδείξεις για όλες τις ακόλουθες μετρήσεις:

- Η μεγάλη πλευρά του χαρτιού είναι η πλευρά αναφοράς. Οι τέσσερις επαφές θα πρέπει να ευθυγραμμιστούν παράλληλα προς την πλευρά αυτή.
- Χρησιμοποιήστε την επενδεδυμένη (μαύρη) πλευρά του χαρτιού και όχι την πίσω (καφέ) όψη! Μπορείτε να σημαδέψετε την σωστή πλευρά με τα έγχρωμα αυτοκόλλητα.
- Ελέγξτε ότι το χαρτί δε φέρει οπές ή τομές.
- Για τις μετρήσεις αυτές τοποθετήστε τις επαφές όσο πιο κοντά στο κέντρο του δείγματος είναι δυνατό.
- Πιέστε τις επαφές με αρκετή δύναμη ώστε να εξασφαλίσετε καλή σύνδεση. Οι πλαστικές βεντούζες θα πρέπει απλώς να αγγίζουν την επιφάνεια.

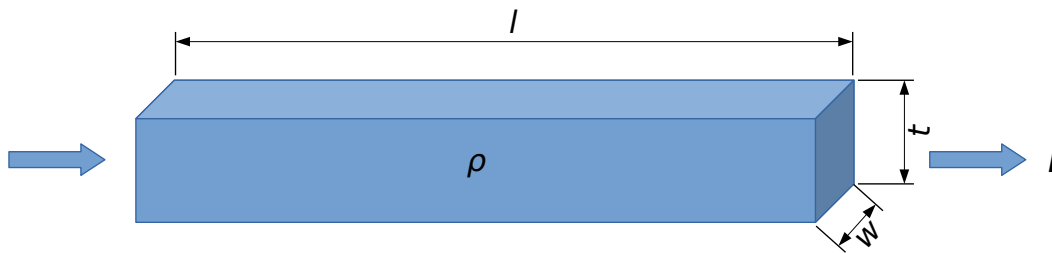
A.1	Μέτρηση 4PP: Μετρήστε την πτώση δυναμικού V κατά μήκος ενός τμήματος μήκους s σε συνάρτηση με την ένταση I που διαρρέει το τμήμα αυτό. Εκτελέστε συνολικά τουλάχιστον 4 μετρήσεις. Καταγράψτε τις μετρήσεις σας σε πίνακα και σχεδιάστε τη γραφική παράσταση ως προς την τάση V της έντασης του ρεύματος I στο γράφημα Graph A.1 .	0.6pt
------------	---	-------

A.2	Προσδιορίστε την ηλεκτρική αντίσταση $R = \frac{V}{I}$ από το γράφημα Graph A.1 .	0.2pt
------------	--	-------

A.3	Χρησιμοποιήστε το γράφημα Graph A.1 για να προσδιορίσετε το σφάλμα ΔR της αντίστασης R κατά τη μέτρηση 4PP.	0.4pt
------------	--	-------

Μέρος Β. Επιφανειακή ειδική αντίσταση (0.3 μονάδες)

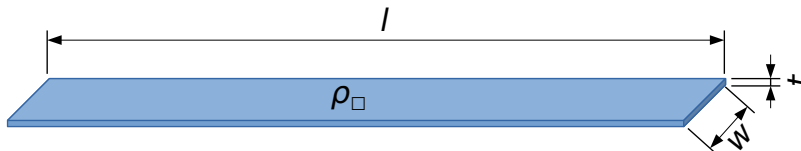
Η ειδική αγωγιμότητα ρ αντιστοιχεί σε μια ιδιότητα του υλικού, μέσω της οποίας η αντίσταση ενός τρισδιάστατου αγωγού δεδομένων διαστάσεων και γεωμετρίας μπορεί να υπολογιστεί. Στην περίπτωση μας θα θεωρήσουμε μια ράβδο μήκους l , πλάτους w , και πάχους t :



Η ηλεκτρική αντίσταση R του άνω αγωγού (μεγάλου πάχους) δίνεται από τη σχέση:

$$R = R_{3D} = \rho \cdot \frac{l}{w \cdot t} \quad (1)$$

Ομοίως, μπορούμε να ορίσουμε την αντίσταση του δισδιάστατου αγωγού πάχους $t \ll w$ και $t \ll l$:



$$R = R_{2D} = \rho_{\square} \cdot \frac{l}{w}, \quad (2)$$

χρησιμοποιώντας την *επιφανειακή ειδική αντίσταση* $\rho_{\square} \equiv \rho/t$. Η μονάδα της είναι Ohm: $[\rho_{\square}] = 1 \Omega$.

Σημαντικό: Η εξ. 2 ισχύει μόνο για ομογενή πυκνότητα ρεύματος και σταθερό δυναμικό σε μια επίπεδη τομή του αγωγού κάθετη στο μήκος του. Για την περίπτωση σημειακών επαφών αυτό δεν ισχύει. Αντιθέτως, στην περίπτωση αυτή μπορεί να αποδειχθεί ότι η ειδική αντίσταση συνδέεται με την αντίσταση με τη σχέση:

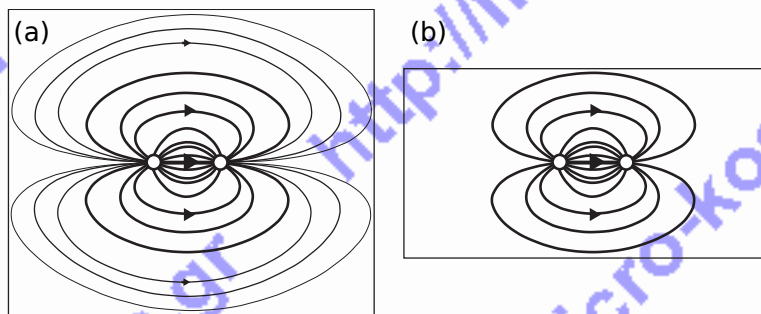
$$\rho_{\square} = \frac{\pi}{\ln(2)} \cdot R \quad (3)$$

για $l, w \gg t$.

- | | | |
|------------|---|-------|
| B.1 | Υπολογίστε την ειδική αντίσταση του χαρτιού $\rho_{\square}$ από τη μέτρηση 4PP του Μέρους Α. Θα συμβολίσουμε αυτή την τιμή με ρ_{∞} (και με R_{∞} την αντίσταση που μετρείται από το Μέρος Α) επειδή οι διαστάσεις του χαρτιού είναι κατά πολύ μεγαλύτερες από τις αποστάσεις των επαφών s : $l, w \gg s$. | 0.3pt |
|------------|---|-------|

Μέρος C. Μετρήσεις για διαφορετικές διαστάσεις δείγματος (3.2 μονάδες)

Μέχρι τώρα οι διαστάσεις του δείγματος πεπερασμένων διαστάσεων w και l δεν λήφθηκαν υπόψη. Αν το δείγμα γίνει μικρότερο, διαρρέεται από λιγότερο ρεύμα για δεδομένη τιμή τάσης: Αν εφαρμόσουμε μια τάση μεταξύ δύο σημειακών επαφών (λευκοί κύκλοι), το ρεύμα θα ρέει προς όλες τις πιθανές μη διασταυρούμενες διαδρομές όπως απεικονίζεται από τις καμπύλες του σχήματος: όσο μεγαλύτερο το μήκος της γραμμής τόσο ασθενέστερο το ρεύμα, όπως υποδεικνύεται από το πάχος σχεδίασης. Για ένα μικρό δείγμα (b) και για την ίδια τιμή τάσης, το συνολικό ρεύμα μειώνεται εξ αιτίας των λιγότερων διαθέσιμων διαδρομών. Συνεπώς η μετρούμενη αντίσταση αυξάνεται:



Η (εμφανειακή) ειδική αντίσταση είναι ανεξάρτητη από το μέγεθος του δείγματος. Προκειμένου λοιπόν να αντιστοιχίσουμε τη μετρούμενη αντίσταση σε ειδική αντίσταση με βάση την Εξ. 3, πρέπει να εισάγουμε έναν παράγοντα διόρθωσης $f(w/s)$:

$$\rho_{\square} = \frac{\pi}{\ln(2)} \cdot \frac{R(w/s)}{f(w/s)}. \quad (4)$$

Για δείγμα μήκους $l \gg s$ ο παράγοντας f εξαρτάται μόνο από το λόγο w/s και είναι μεγαλύτερος της μονάδας: $f(w/s) \geq 1$. Χάριν απλότητας θα εστιάσουμε στην εξάρτηση από το πλάτος w και απλώς θα εξασφαλίσουμε ότι το δείγμα είναι αρκετά μεγάλου μήκους για τις μετρήσεις μας. Υποθέτουμε ότι η τιμή προσεγγίζει το σωστό αποτέλεσμα $\rho_{\square}$ για μεγάλες διαστάσεις:

$$R(w/s) = R_{\infty} \cdot f(w/s) \quad \text{with} \quad f(w/s \rightarrow \infty) \rightarrow 1.0. \quad (5)$$

C.1 Χρησιμοποιώντας την τεχνική 4PP, μετρήστε την αντίσταση $R(w, s)$ για 4 τιμές του λόγου w/s εντός της κλίμακας 0.3 ως 5.0 και καταγράψτε τα αποτελέσματά σας στον πίνακα **Table C.1**. Εξασφαλίστε ότι το μήκος του δείγματος είναι μεγαλύτερο του πενταπλάσιου της απόστασης των επαφών: $l > 5s$ και ότι το μήκος l των δειγμάτων λαμβάνεται πάντα κατά μήκος της ίδιας (μεγάλου μήκους) πλευράς του χαρτιού.
Για κάθε τιμή του λόγου w/s μετρήστε την τάση για 4 διαφορετικές τιμές του ρεύματος και υπολογίστε τη μέση τιμή της αντίστασης $R(w/s)$ των 4 αυτών μετρήσεων. Καταγράψτε τα αποτελέσματά σας στον πίνακα **Table C.1**.

C.2 Υπολογίστε την τιμή $f(w/s)$ για κάθε μία από αυτές τις μετρήσεις.

Μέρος D. Παράγοντας γεωμετρικής διόρθωσης: νόμος κλίμακας (1.9 μονάδες)

Είδατε στο Μέρος C ότι η μετρούμενη ειδική αντίσταση μεταβάλλεται με το λόγο w/s . Ξεκινώντας με τις μετρήσεις του Μέρους C επιλέγουμε την ακόλουθη γενική συνάρτηση για να περιγράψουμε τα δεδομένα στην κλίμακα των μετρήσεων:

$$\text{Generic fit function: } f(w/s) = 1.0 + a \cdot \left(\frac{w}{s}\right)^b \quad (6)$$

Σημειώστε ότι για μεγάλες τιμές του w/s , το $f(w/s)$ πρέπει να ισούται με 1.0.

D.1 Χρησιμοποιώντας την Εξ. 6 και τα δεδομένα $f(w/s)$, από το Μέρος C, επιλέξτε τον κατάλληλο τύπο μιλιμετρέ χαρτιού (γραμμικό **Graph D.1a**, ημιλογαριθμικό **Graph D.1b**, ή λογαριθμικό **Graph D.1c**) για να σχεδιάσετε την αντίστοιχη γραφική παράσταση. 1.0pt

D.2 Εκτιμήστε τις τιμές των παραμέτρων a και b από τη γραφική σας παράσταση. 0.9pt

Μέρος Ε. Το πλακίδιο πυριτίου και η μέθοδος van der Pauw (3.4 μονάδες)

Στη βιομηχανία ημιαγωγών, η γνώση της ηλεκτρικής (επιφανειακής) αντίστασης των ημιαγωγών και των λεπτών μεταλλικών στρωμάτων είναι πολύ σημαντική, επειδή καθορίζει τις ιδιότητες των συσκευών. Στη συνέχεια θα εργαστείτε με το πλακίδιο πυριτίου. Το πλακίδιο ημιαγωγού είναι επικαλυμμένο με ένα πολύ λεπτό στρώμα μεταλλικού χρωμίου (γυαλιστερή επιφάνεια).

Ανοίξτε τη θήκη (στρέψτε κατά τη φορά της ένδειξης RELEASE) και βγάλτε το πλακίδιο έξω. Προσέξτε να μην το ρίξετε, να μην το σπάσετε, να μην το γρατζουνίσετε και να μην αγγίξετε τη γυαλιστερή επιφάνεια. Για τη λήψη των μετρήσεων, τοποθετήστε το στο τραπέζι με τη γυαλιστερή επιφάνεια προς τα πάνω.

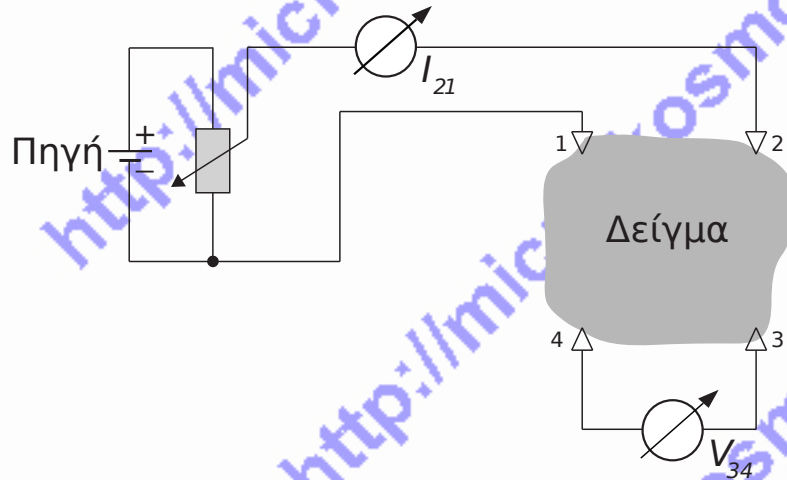
E.1 Χρησιμοποιήστε την προηγούμενη διάταξη μέτρησης 4PP για να μετρήσετε ως 0.4pt
προς την τάση V το ρεύμα I .
Στο Φύλλο Απαντήσεων σημειώστε τον Αριθμό Αναφοράς του δικού σας πλα-
κιδίου πυριτίου, που θα βρείτε στην πλαστική βάση.

E.2 Σχεδιάστε την αντίστοιχη γραφική παράσταση στο **Graph E.2** και προσδιορί- 0.4pt
στε την αντίσταση R_{4PP} .

E.3 Για να προσδιορίσουμε τη διόρθωση για ένα κυκλικό δείγμα όπως το πλακίδιο 0.2pt
πυριτίου, θα προσεγγίσουμε το πλάτος w του δείγματος με τη διάμετρο $D = 100 \text{ mm}$ του πλακιδίου. Με βάση την υπόθεση αυτή υπολογίστε το λόγο w/s . Χρησιμοποιήστε τη συνάρτηση της Εξ. 6 και τις τιμές σας των παραμέτρων a και b για να προσδιορίσετε τον παράγοντα διόρθωσης $f(w/s)$ για τις μετρήσεις του πλακιδίου.

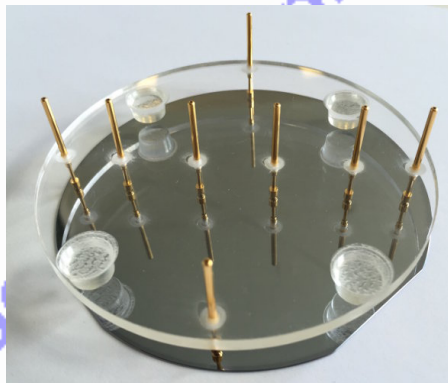
E.4 Υπολογίστε την επιφανειακή ειδική αντίσταση $\rho_{\square}$ του καλύμματος χρωμίου με 0.1pt
βάση την Εξ. 4.

Για να μετρήσει με ακρίβεια την επιφανειακή ειδική αντίσταση χωρίς να πρέπει να καταφύγει σε γεω-
μετρικές διορθώσεις, ο L.J. van der Pauw, μηχανικός της εταιρείας Philips, ανέπτυξε ένα απλό μοντέλο
μετρήσεων: τα 4 καλώδια συνδέονται στην περιφέρεια του ενός δείγματος τυχαίου σχήματος όπως φαί-
νεται στην εικόνα (αριθμημένα από 1 μέχρι 4). Το ρεύμα ρέει διαμέσου δύο διαδοχικών καλωδίων, π.χ.
τα καλώδια 1 και 2, και η τάση μετريέται μεταξύ των καλωδίων 3 και 4. Αυτό δίνει μια τιμή αντίστασης
 $R_{I,V} = R_{21,34}$.



Για λόγους συμμετρίας ισχύει $R_{21,34} = R_{34,21}$ και $R_{14,23} = R_{23,14}$. Ο van der Pauw απέδειξε ότι για ένα δείγμα τυχαίου αλλά συμπαγούς (δηλ. χωρίς οπές) σχήματος και σημειακές επαφές, ισχύει η ακόλουθη εξίσωση:

$$e^{-\pi R_{21,34}/\rho\Box} + e^{-\pi R_{14,23}/\rho\Box} \equiv 1. \quad (7)$$



Εικόνα 3: Η συσκευή 4PP στο επιμεταλλωμένο πλακίδιο πυριτίου. Προσέξτε την Τομή στη δεξιά πλευρά.

Συνδέστε 4 επαφές κατά τρόπο ώστε να σχηματίζουν τετράγωνο. Συνδέστε δύο διαδοχικές επαφές στην πηγή ρεύματος με το αμπερόμετρο και τις άλλες δύο με το βολτόμετρο. Περιστρέψτε το τετράγωνο μέχρι όπου μία από τις πλευρές του να γίνει παράλληλη με την Τομή του πλακιδίου.

E.5

Σχεδιάστε τον προσανατολισμό των επαφών που διαρρέονται από ρεύμα και τον προσανατολισμό της Τομής του πλακιδίου. Μετρήστε την τάση V για τουλάχιστον 6 διαφορετικές τιμές της έντασης I , περίπου ομοιόμορφα κατανομημένες. Καταχωρήστε τα αποτελέσματα στον πίνακα **Table E.5**.

0.6pt

E.6 Επαναλάβετε τη διαδικασία τοποθετώντας τις επαφές που διαρρέονται από ρεύμα σε διεύθυνση κάθετη της προηγούμενης. Καταχωρήστε τα αποτελέσματα στον πίνακα **Table E.6**. 0.6pt

E.7 Χρησιμοποιώντας όλες τις μετρήσεις σας χαράξτε μια γραφική παράσταση στο γράφημα **Graph E.7** χρησιμοποιώντας διαφορετικά χρώματα ή/και σύμβολα. Υπολογίστε τη μέση τιμή της $\langle R \rangle$ από τις δύο καμπύλες. 0.5pt

E.8 Αντικαθιστώντας όλες τις αντιστάσεις $R_{kl,mn}$ με $\langle R \rangle$, λύστε την Εξ. 7 ως προς $\rho_{\square}$ και υπολογίστε την επιφανειακή ειδική αντίσταση $\rho_{\square}$ του στρώματος χρωμίου. 0.4pt

E.9 Συγκρίνετε τα αποτελέσματα των μετρήσεων που λήφθηκαν με τη γραμμική διάταξη (**E.4**) με τα αποτελέσματα της μεθόδου van der Pauw (**E.8**). Υπολογίστε τη διαφορά τους ως σχετικό επί τοις εκατό σφάλμα. 0.1pt

E.10 Τα στρώματα χρωμίου (Cr) έχουν ονομαστικό πάχος 8 nm. Χρησιμοποιήστε την τιμή αυτή και τα τελικά αποτελέσματα της μεθόδου van der Pauw για να υπολογίσετε την ειδική αντίσταση του Cr χρησιμοποιώντας τις Εξ. 1 και 2. 0.1pt

Πείραμα 1: Ηλεκτρική αγωγιμότητα σε δύο διαστάσεις (10 μονάδες)

Γράψτε τους αριθμούς από το 0 έως το 9 στον ακόλουθο πίνακα:

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9

Μέρος Α. 4PP μετρήσεις (1.2 μονάδες)

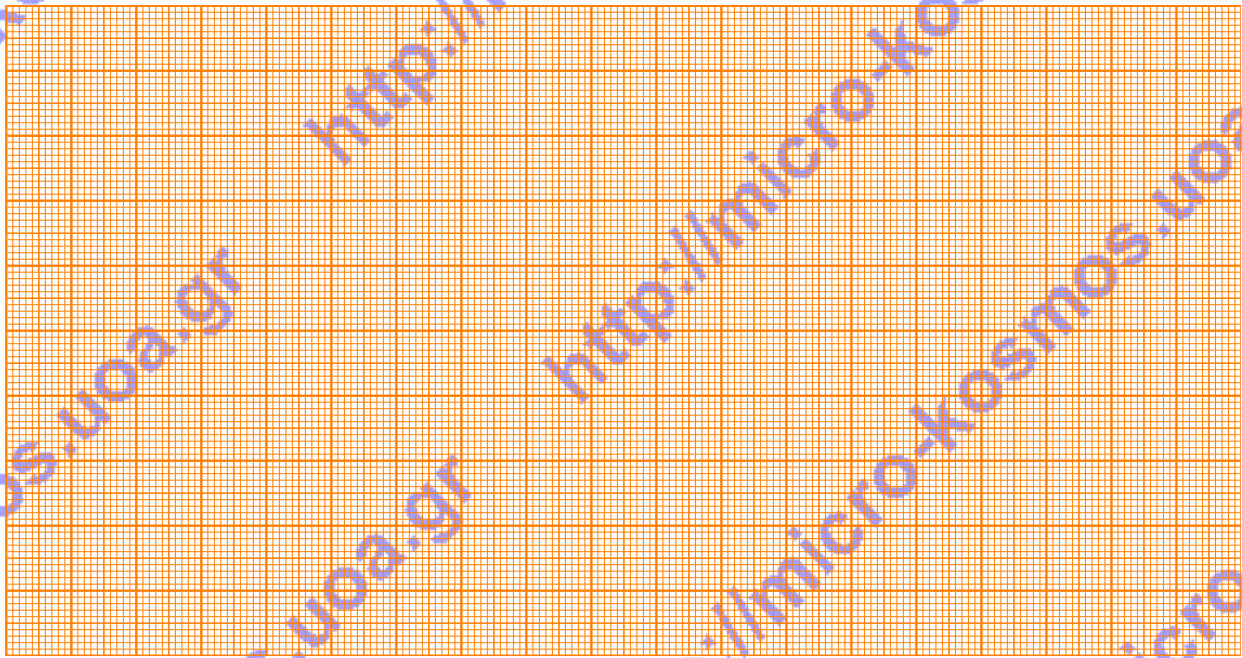
A.1 (0.6 pt)

$s =$

I	V	I	V

Χαράξτε τη γραφική παράσταση στο **Graph A.1**.

Graph A.1: I ως προς V



A.2 (0.2 pt)

$R =$

A.3 (0.4 pt)

$\Delta R =$

Μέρος Β. Ειδική αντίσταση χαρτιού (0.3 μονάδες)

B.1 (0.3 pt)

$\rho_{\square} \equiv \rho_{\infty} =$

Χρησιμοποιήστε τον πίνακα Table C.1 για τα αποτελέσματά σας.

Μέρος D. Παράγοντας γεωμετρικής διορθωσης (1.9 μονάδες)

D.1 (1.0 pt)

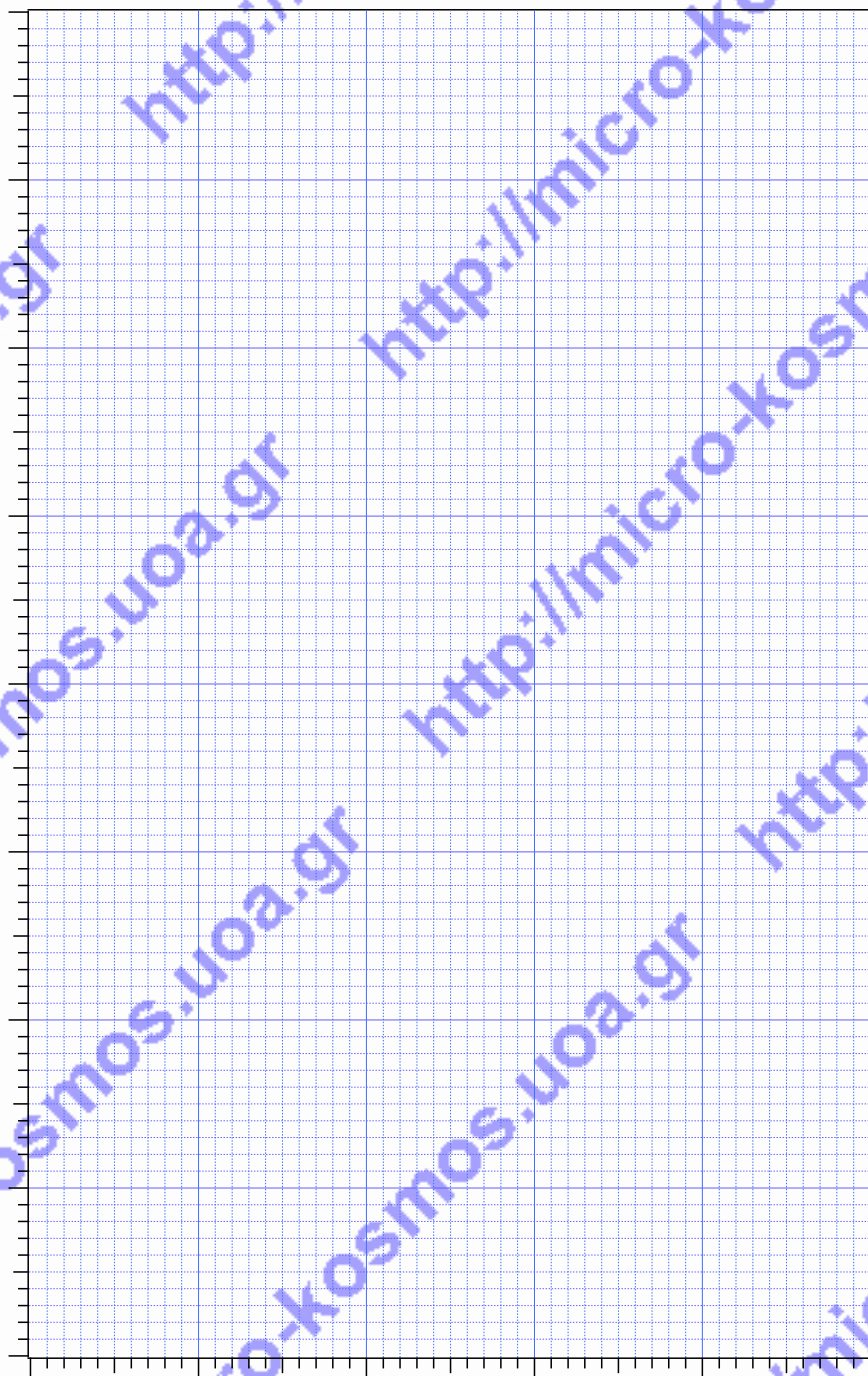
Χαράξτε τη γραφική παράσταση στο κατάλληλο μιλιμετρέ χαρτί: γραμμικό (Graph **D.1a**), ημι-λογαριθμικό (**D.1b**) ή λογαριθμικό (**D.1c**) στις επόμενες σελίδες.

D.2 (0.9 pt)

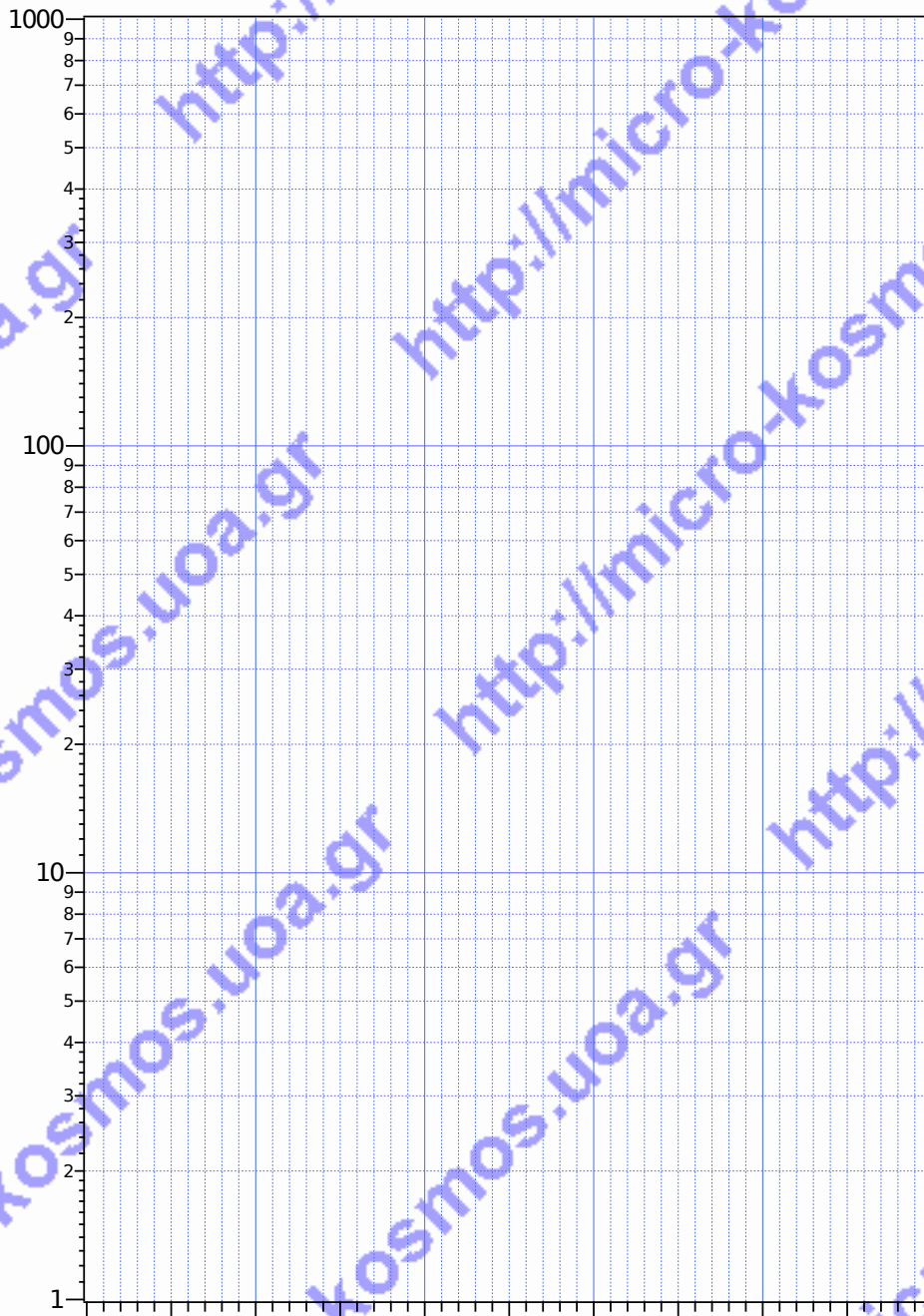
$a =$

$b =$

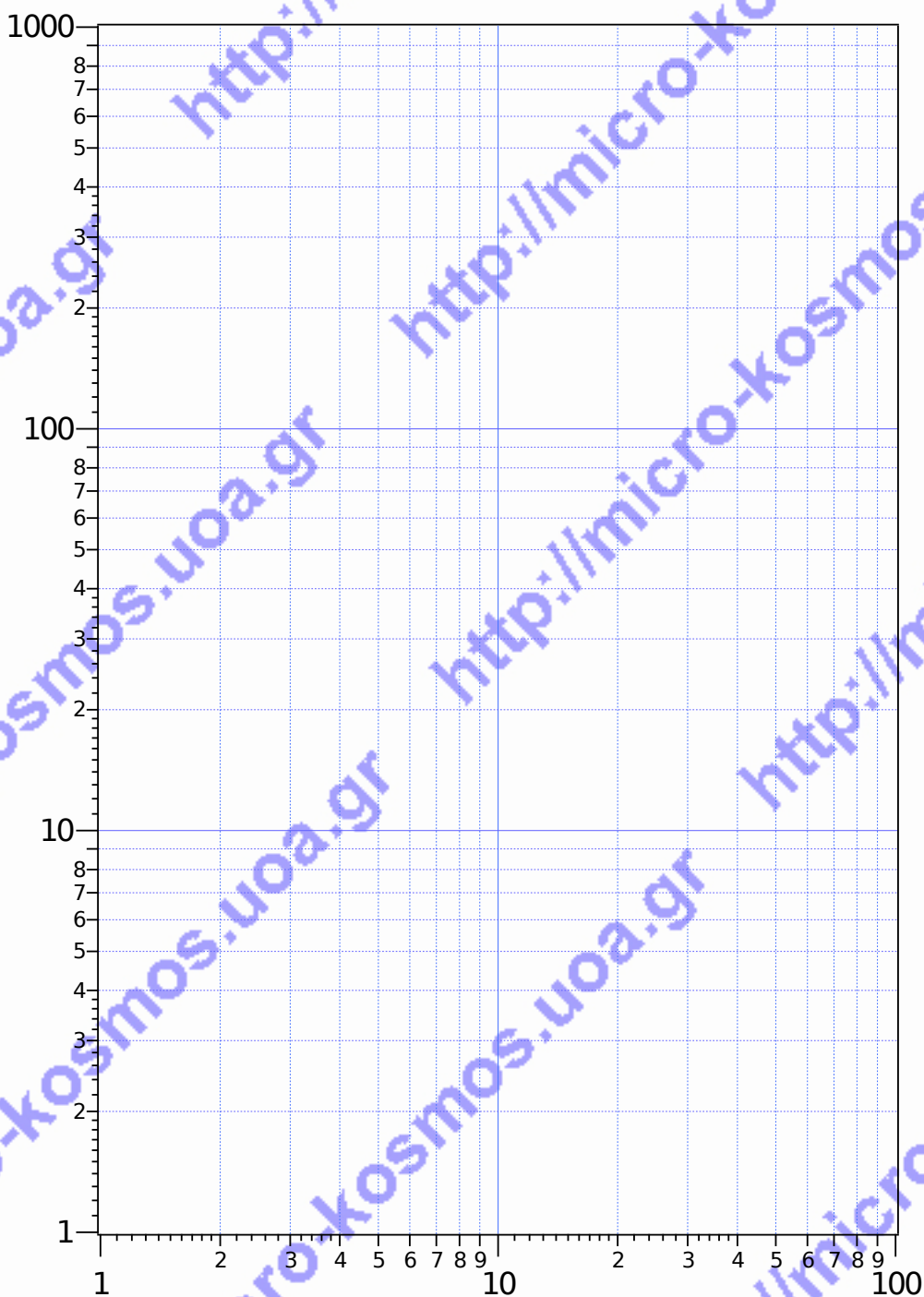
Graph D.1a: γραμμικό χαρτί μιλιμετρέ:



Graph D.1b: ημι-λογαριθμικό χαρτί μιλιμετρέ:



Graph D.1c: λογαριθμικό χαρτί μιλιμετρέ:



Μέρος Ε. Το πλακίδιο πυριτίου και η μέθοδος van der Pauw (3.4 μονάδες)

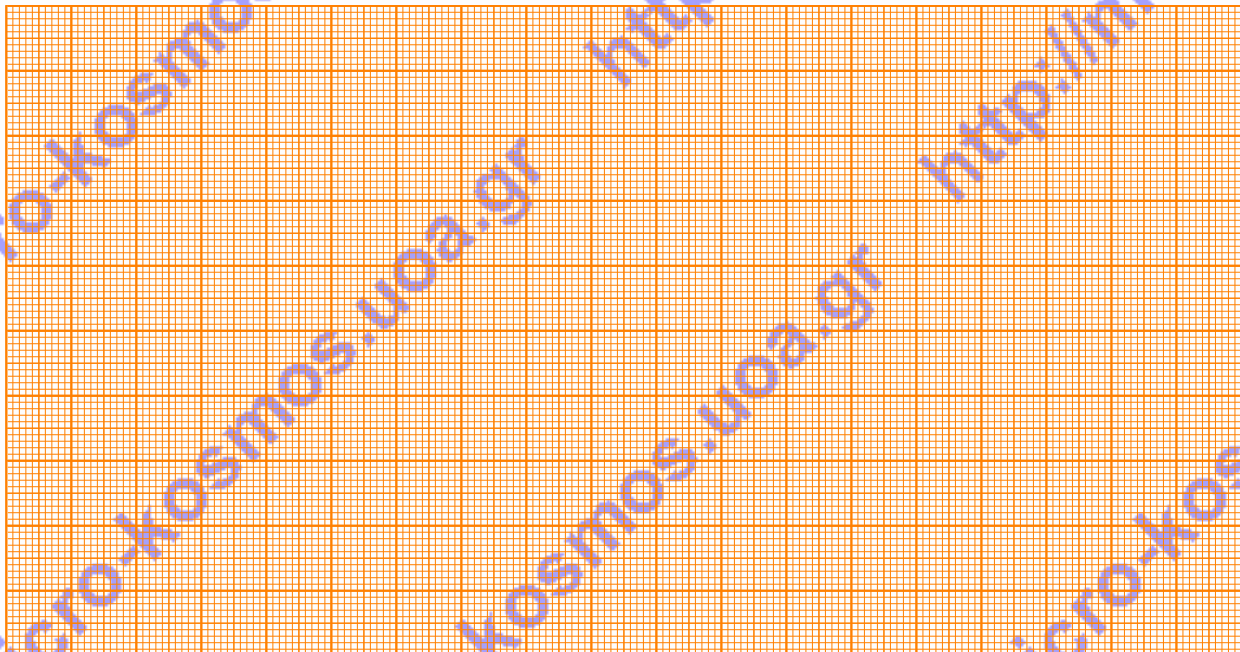
Σημειώστε τον Αριθμό Αναφοράς του πλακιδίου σας εδώ:

E.1 (0.4 pt)

I	V	I	V

E.2 (0.4 pt)

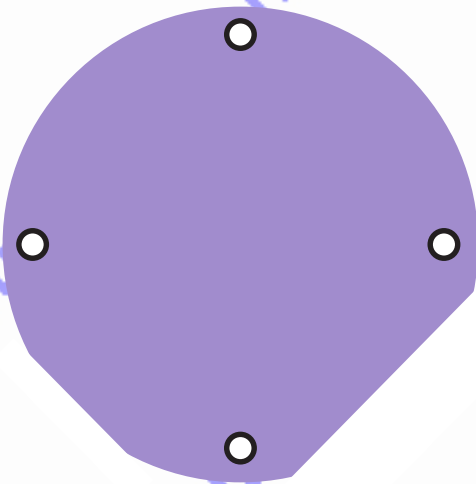
Graph E.2: I ως προς V



$$R_{4PP} =$$

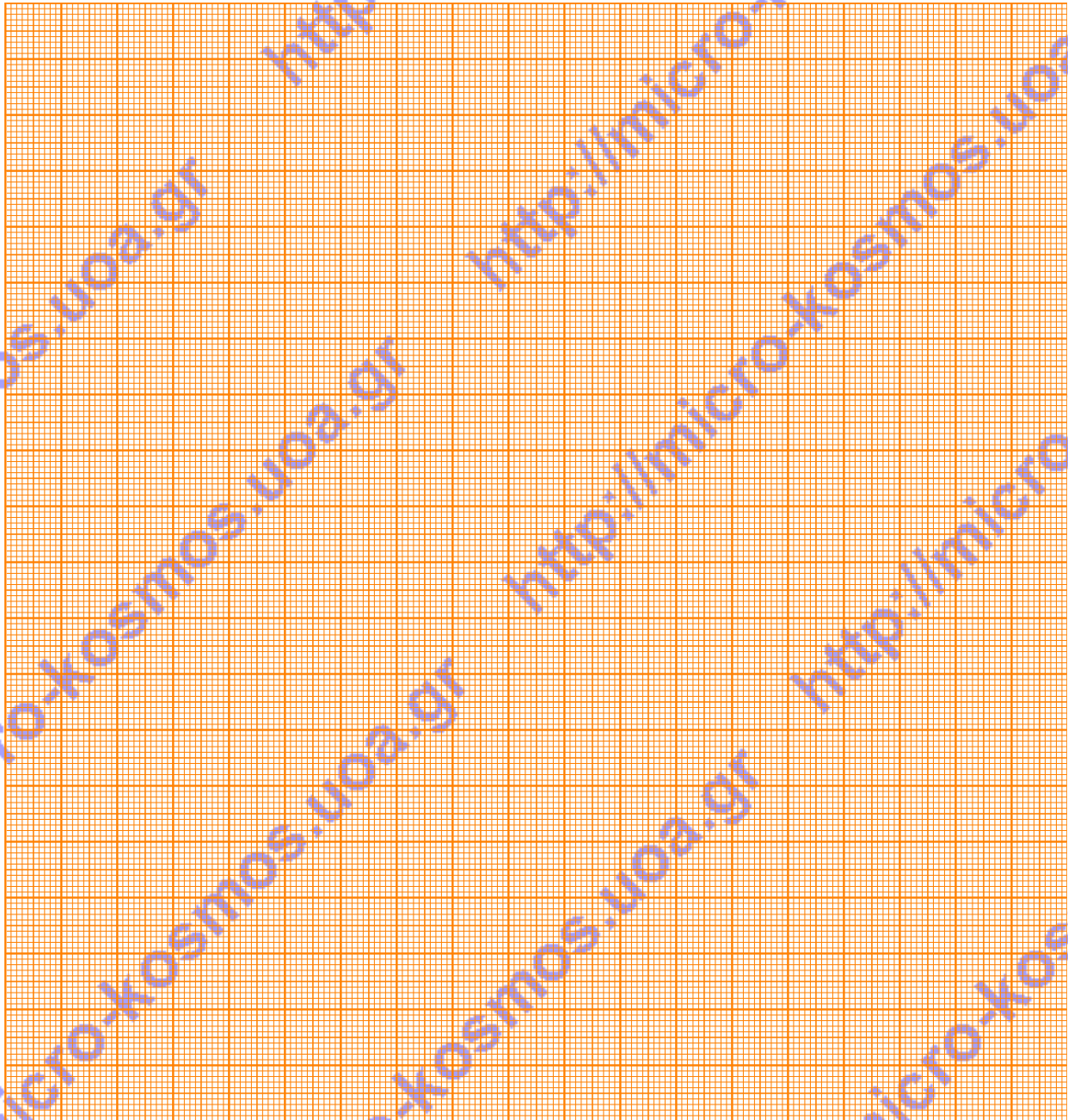
$$f(w/s) =$$
 $\rho_{\square}(4\text{PP})$ [illegible]

Σχέδιο (προσανατολισμός του ρεύματος):

[illegible]

E.7 (0.5 pt)

Graph F.7: I ως προς V



$\langle R \rangle =$

E.8 (0.4 pt)
Υπολογισμός:

$$\rho_{\square}(\text{vdP}) =$$

E.9 (0.1 pt)

$$\frac{\Delta \rho_{\square}}{\rho_{\square}(\text{vdP})} = \quad = \quad \%$$

E.10 (0.1 pt)

Ειδική αντίσταση του λεπτού φύλλου Cr $\rho =$