

République Algérienne Démocratique et
Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur
et de la Recherche Scientifique



Université de Jijel

Faculté des Sciences et de la Technologie
Département d'électronique

*Mémoire de fin d'études pour l'obtention
du diplôme de Master En Electronique*

Option : *Microélectronique*

Thème

**Réalisation d'un banc de mesure de la
conductivité/résistivité électrique par
la méthode des quatre pointes**

➤ Présenté par:

- ❖ BOUDJATIT *Abde Samia*
- ❖ AIMENE *Wissam*

➤ Encadré par:

- ❖ MEZDOUR *Douniazad*

Promotion 2018/2019

Remerciement

Avant tous louange et sincère remerciement à «ALLAH» le tout puissant de nous avoir accordé toute la volonté, la santé et la patience durant la réalisation de ce modeste mémoire ainsi que le long de notre cursus d'étude.

Nous tenons à remercier, notre encadreur, madame Mezdour douniazad, pour tous les précieux conseils, et la confiance qu'ils nous a toujours témoignée, et pour son soutien.

Nos vifs remerciements vont également aux membre du jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre recherche en acceptant d'examiner notre travail.

Nos remerciements vont ainsi à tous les enseignants qui nous ont suivis durant notre cursus de formation.

Nos vif remerciement à nos familles et amis d'avoir donné jour après jour autant d'amour notre cursus de formation.

Enfin, nous remercions toutes les personnes qui nous ont aidés de près ou de lois ne serait-ce que par le simple signe d'encouragement.

Dédicaces

*Je m'incline devant Dieu tout puissant qui m'a ouvert la porte
du savoir et m'a aidé à la franchir.*

Je dédie mon travail :

*A ceux qui ont passé des nuits trop longues pour mon bonheur, et
qui se sont fatiguées pour mon repos Ma grande mère et Ma mère.*

A ma famille.

A mes collègues de promotion .

D'électronique 2019.

*Et à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin pour que ce projet soit
fait, je vous dis merci.*

ABDE SAMIA

Dédicaces

De tout mon cœur je dédie ce travail

A celle qui a su me consolider durant

Tous les moments de ma vie

Ma chère mère Akila

A celui qui m'a guidé par ses

Précieux conseils

Mon chère père Lakhdar

A mon frères : Radouane

A mes sœurs : Sihem et Layla

A toute ma famille Aimene

A tous mes amis : Amina, Basma

A mes collègues de promotion

D'électronique 2019

A mon binôme Abde samia et toute la famille Boudjatit

Et à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin pour que ce projet soit fait, je vous dis merci.

Wissam

Liste des figures

Chapitre I

Figure I.1 : Résistance d'un fil conducteur	04
Figure I.2 : Effet hall.....	05
Figure I.3 : configuration de la mesure effet hall.....	06
Figure I.4 : méthode de mesure à deux pointes.....	08
Figure I.5 : Expérience de mesure de la résistance carrée par la méthode des quatre pointes.....	09
Figure I.6 : lame plate complètement uniforme.....	10
Figure I.7 : Échantillon avec une ligne de symétrie.....	11
Figure I.8 : Les trois types d'échantillons souvent utilisés.....	12
Figure I.9 : Facteur de correction tenant compte de la dissymétrie.....	13
Figure I.10 : Représentation schématique de la technique des pointes disposé en carrée.....	13
Figure I.11 : Paramètre géométrique d'une résistance.....	14
Figure I.12 : Méthode des quatre pointes alignées (VALDES).....	15
Figure I.13 : Dispositif de mesure de la résistivité par la méthode des pointes alignées.....	16
Figure I.14 : Forme des équipotentielles dans le cas d'une couche mince (a) et dans le cas d'un échantillon massif (b).....	17
Figure I.15 : Dispositif Jandel de mesure de la résistivité par la méthode des quatre pointes.....	19

Chapitre II

Figure II.1 : Amplificateur de tension.....	21
--	----

Figure II.2 : l' Amplificateur inverseur.....	22
Figure II. 3 : Amplificateur non inverseur.....	22
Figure II.4 : Brochage du LM324.....	24
Figure II.5 : Amplificateur non-inverseur avec $G = 100$	25
Figure II.6 : Conception du circuit imprimé par Sprint-Layout 4.....	25
Figure II.7 : Circuit d'amplification réalisé.....	26
Figure II.8 : Ancien dispositif des quatre pointes alignées (LEM).....	27
Figure II.9 : Les quatre pointes en argent.....	28
Figure II.10 : Cristal d'argent pur.....	29
Figure II. 11 : Description de la carte Arduino Uno	30
Figure II .12 : Moteurs pas à pas.....	31
Figure II .13 : Shield L298.....	32
Figure II .14 : Nouveau dispositif des quatre pointes	32
FigureII.15 : Mesure expérimentale de la conductivité électrique par quatre pointes: (a) Positionnement de l'échantillon et des pointes, (b) Mesure de la tension amplifiée.....	33

/E1-#_~^1#E°B~^1#

Liste des tableaux

Tableau II.1 : Résultats expérimentaux obtenus par la méthode des quatre pointes pour quelques métaux.....34

Table des matières

Introduction générale.....	01
 Chapitre I	
Introduction	03
I.1.Généralité sur les propriétés électriques des matériaux	03
I.1.1.Notion de la résistivité électrique.....	03
I.1.2. Conductivité électrique.....	04
I.1.3. Mobilité.....	04
I.2.Techniques de mesure de la résistivité.....	05
I. 2.1. Mesure par effet hall.....	05
I. 2.2. Mesure de la résistivité par méthode des pointes.....	07
I. 2. 2.1. Méthode de mesure à deux pointes.....	08
I. 2. 2.2. Méthode des quatre pointes.....	09
I. 3. Différents dispositifs de mesure des quatre pointes.....	10
I. 3.1. Méthode des pointes carrée.....	10
I. 3.1.1. Théorème de vander paw.....	10
I. 3.1.2. Facteur de correction.....	12
I. 3.1. 3. Notion de la résistance carrée.....	14
I.3.2.Méthode des pointes alignées (VALDES).....	15
I.4. Instrumentation.....	18
I.4.1.Ccaractéristiques.....	18
I.5. Conclusion.....	19

Chapitre II

II.1. Introduction.....	21
II .2. Amplificateurs de tensions.....	21
II.3. Montages à amplificateurs opérationnels.....	21
II.3.1. Montage inverseur.....	22
II.3.2. Montage non inverseur.....	22
II.4. Conception d'un amplificateur de tension- Critères de choix.....	23
II.4.1. Choix de l'amplificateur LM324- Description générale.....	23
a. Caractéristiques.....	23
b. Avantages.....	24
II.5. Réalisation du circuit d'amplification.....	24
II.5.1. Schéma électronique.....	25
II. 5. 2. Etapes de développement du circuit imprimé.....	26
II. 6 .Réalisation du dispositif des quatre pointes alignées	27
II. 6. 1. Réalisation des quatre pointes en argent	27
a. L'argent : Généralités et historique	28
b. Propriétés et Utilisation de l'argent.....	28
II. 6. 2. Carte Arduino.....	29
a. Description de la carte	30
b. Connectique.....	30
II.6.3. Moteur pas à pas	31
II.6.4 .Dispositif final réalisé.....	32
II.7. Etalonnage et test du dispositif.....	33
II.8.Conclusion	34
Conclusion générale	36

Liste des abréviations

I-V : Courant-tension.

Eg : Bande interdite

SC : Semi-conducteur

Si : Silicium

GaAS : l'arséniure de galium

LEM : Laboratoire d'études des matériaux

AOP : amplificateur opérationnelle

Introduction Générale

Depuis quelques années, les matériaux semi-conducteurs sont très étudiés et leurs applications ont connu un énorme progrès. Actuellement, les chercheurs s'intéressent de plus en plus aux propriétés électriques des semi-conducteurs, vu leurs utilisations pour la réalisation aussi bien d'éléments passifs (résistance dans les mémoires RAM, connexions ... etc.) que pour les éléments actifs tel que les transistors à effet de champ utilisés dans la fabrication des circuits intégrés.

La microélectronique s'est dotée de nombreux moyens d'analyse des semi-conducteurs mais seulement certains sont adaptables à la caractérisation des couches minces et massives tels que la méthode des quatre pointes. Cette technique disponible au niveau de notre université permet des mesures sur des couches minces dont l'épaisseur est connue. Par ailleurs un banc de mesure pour les échantillons massifs existe au niveau de laboratoire LEM, mais il est limité pour une certaine gamme de conductivité (conducteur, semi-conducteur). Peu sensible et inefficace pour les échantillons peu conducteurs. Notre travail s'intéresse à réaliser un banc de mesure similaire permettant de mesurer dans une gamme plus large.

Dans le premier chapitre, nous avons présenté quelque méthodes de mesure de la résistivité électrique, nous nous sommes intéressés en particulier à la méthode des quatre pointes sur laquelle est basé notre travail.

Dans le deuxième chapitre nous avons exposé les étapes de réalisation d'un banc de mesure de la conductivité par la méthode des quatre pointes en utilisant le circuit intégré LM324.

Nous terminons ce mémoire par une conclusion générale

Chapitre I Caractérisation, résistivité et méthode de mesure

Mis en forme : Bordure : Bas:
(Épais-fin peu espacés, Accent 2, 3 pt
Épaisseur du trait, Par rapport au texte
: 10 pt Espacement des bordures :)

Mis en forme : Police :(Par défaut)
+Titres (Cambria), 16 pt, Police de
script complexe :+Titres CS (Times
New Roman), 16 pt

Mis en forme : Justifier en bas,
Taquets de tabulation : 8 cm, Centré

Mis en forme : Droite : 2,5 cm,
Haut : 2,5 cm, Bas : 2,5 cm, Largeur :
21 cm, Hauteur : 29,7 cm, Distance
de l'en-tête par rapport au bord : 0 cm,
Distance du bas de page par rapport au
bord : 0 cm

Chapitre I Caractérisation, résistivité et méthode de mesure

I.1.1. Introduction

La résistivité électrique est généralement utilisée pour caractériser les propriétés électroniques de couche minces ou massives. Cette propriété est le paramètre électrique principal de divers matériaux utilisés dans l'industrie électronique.

Nous présentons dans ce chapitre les notions de résistivité/conductivité électrique ainsi que les méthodes de caractérisation de cette propriété, notamment les mesures par effet Hall, et la technique des pointes.

La conductivité et la résistivité des plaques sont les principaux paramètres

électriques de divers matériaux utilisés dans l'industrie électronique, parmi les matériaux électroniques, les semi-conducteurs occupent une place prépondérante en raison de leur importance dans la fabrication de systèmes électroniques intégrés, la résistivité est généralement utilisée pour caractériser les propriétés électroniques des couches minces ou massives.

Nous présentons dans ce chapitre les notions et des méthodes de caractérisation

Pour étudier les matériaux, notamment la mesure Hall, la mesure courant-tension et la technique des pointes.

I.1.2. Généralité sur les propriétés électriques des matériaux

I.1.1. Notion de la résistivité électrique, Notions de conductivité électrique et résistivité

Mis en forme : Bordure : Bas: (Épais-fin peu espacés, Accent 2, 3 pt Épaisseur du trait, Par rapport au texte : 10 pt Espacement des bordures :)

Mis en forme : Police : (Par défaut) + Titres (Cambria), 16 pt, Police de script complexe : + Titres CS (Times New Roman), 16 pt

Mis en forme : Police : (Par défaut) + Titres CS (Times New Roman), 16 pt, Gras, Police de script complexe : + Titres CS (Times New Roman), 16 pt

Mis en forme : Français (France)

Mis en forme : Français (France)

Mis en forme : Justifié, Interligne : 1,5 ligne

Mis en forme : Français (France)

Mis en forme : Justifié

Mis en forme : Police : 16 pt, Police de script complexe : 16 pt

Mis en forme : Justifié, Interligne : Multiple 1,15 li

Mis en forme : Police : (Par défaut) + Titres CS (Times New Roman), 16 pt, Non Gras, Police de script complexe : + Titres CS (Times New Roman), 16 pt, Non Gras

Mis en forme : Police : (Par défaut) + Titres CS (Times New Roman), 16 pt, Police de script complexe : + Titres CS (Times New Roman), 16 pt

Mis en forme : Police : (Par défaut) + Titres CS (Times New Roman), 16 pt, Gras, Police de script complexe : + Titres CS (Times New Roman), 16 pt

Mis en forme : Justifier en bas

Mis en forme : Police : (Par défaut) + Titres CS (Times New Roman), Police de script complexe : + Titres CS (Times New Roman)

Mis en forme : Police : 14 pt, Police de script complexe : 14 pt

Mis en forme : Police : 14 pt, Police de script complexe : 14 pt

Mis en forme : Police : 14 pt, Police de script complexe : 14 pt

Mis en forme : Police : (Par défaut) + Titres CS (Times New Roman), 14 pt, Gras, Police de script complexe : + Titres CS (Times New Roman), 14 pt

Mis en forme : Police : (Par défaut) + Titres CS (Times New Roman), 14 pt, Police de script complexe : + Titres CS (Times New Roman), 14 pt

Mis en forme : Police : (Par défaut) + Titres CS (Times New Roman), 14 pt, Gras, Police de script complexe : + Titres CS (Times New Roman), 14 pt

Mis en forme ...

Chapitre I Caractérisation, résistivité et méthode de mesure

La résistivité des matériaux est la résistance au courant électrique, certains matériaux résistent mieux au courant que d'autres. La loi d'Ohm stipule que lorsqu'une source de tension (V) est appliquée entre deux points d'un circuit, un courant électrique (I) Flux entre eux encouragé par la présence de la différence de potentiel entre ces deux pointes.

La quantité de courant électrique qui circule est limitée par la quantité de résistance (R) présente. En d'autres termes, la tension encourage le courant à circuler (le mouvement de charge), mais c'est la résistance qui le décourage.- [1].

Définition

La résistance dépend à la fois des dimensions du conducteur et de sa nature. Par exemple, la résistance d'un fil (figure (figure -1.1) est proportionnelle à sa longueur l et inversement proportionnelle à sa section s :

$$R = \rho \frac{l}{S}$$

(1.1)

avec :

R en (Ω) : résistance électrique d'un matériau de section S (m^2) et d'épaisseur l en (m).

Le coefficient ρ est caractéristique d'un matériau donné et se nomme résistivité.

L'unité de résistivité est l'ohm-mètre (symbole $\Omega \cdot m$) puisque l s'exprime en mètres et S en mètres carrés [2].

Mis en forme

Mis en forme

Mis en forme

Mis en forme

Mis en forme

Mis en forme

Mis en forme

Mis en forme

Mis en forme

Mis en forme

Mis en forme

Mis en forme

Mis en forme

Mis en forme

Mis en forme

Mis en forme

Mis en forme

Mis en forme

Mis en forme

Mis en forme

Mis en forme

Mis en forme

Mis en forme

Mis en forme

Mis en forme

Mis en forme

Mis en forme

Mis en forme

Mis en forme

Mis en forme

Mis en forme

Commentaire [MDZ1]: C'est la

Mis en forme

Mis en forme

Mis en forme

Mis en forme

Mis en forme

Mis en forme

Mis en forme

Mis en forme

Mis en forme

Mis en forme

Mis en forme

Mis en forme

Mis en forme

$$\rho = R \frac{S}{l} \text{ en } (\Omega \cdot \text{m}): \text{résistivité électrique transversale.}$$

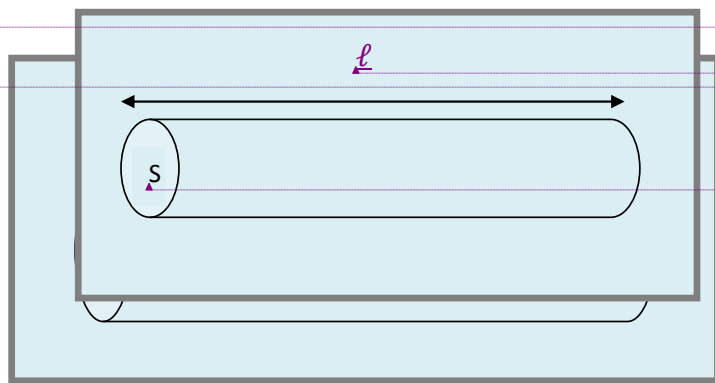


Figure 1.1 : Résistance d'un fil conducteur

Résistance d'un fil conducteur.

1.1.2. La conductivité électrique

La conductivité d'un matériau est égale à la conductance d'un conducteur cylindrique (constitué de ce matériau) divisé par sa section et multipliée par sa longueur [3].

On définit la résistivité par la relation :

$$\rho = R \frac{S}{l}$$

avec :

ρ en $(\Omega \cdot \text{cm})$: résistivité électrique transversale.

R en $(\Omega \cdot \text{cm})$: résistivité électrique d'un composite se section S (cm^2) et d'épaisseur en (cm).

La conductivité $\sigma = \frac{1}{\rho}$ s'exprime en unité correspondante $(\Omega^{-1} \cdot \text{cm}^{-1})$.

1.12.3.1. La mobilité

A vertical column of 45 identical buttons on the right side of the page. Each button contains the text "Mis en forme" followed by three dots "...".

Chapitre I Caractérisation, résistivité et méthode de mesure

— La mobilité des porteurs de charge est une notion utilisée en physique pour caractériser

les milieux conducteurs du courant électrique. Elle est notée μ , et relie la vitesse moyenne d'un porteur de charge électrique du milieu (électron, trou, ion, etc.) au champ électrique qu'il subit via la relation suivante:

$$v_d = \mu E$$

(I.2)

La mobilité est une caractéristique très importante du matériau, car elle traduit la capacité qu'ont les porteurs à se déplacer dans le matériau. C'est donc un facteur déterminant pour les dispositifs. Ceci est très important pour des domaines comme l'optoélectronique, ou les télécommunications. [14.]

I.2.2.

Techniques de mesure de la résistivité

I.2.1. Mesures par effet Hall

La résistivité, mesurée par la méthode des quatre points ou par Van der Pauw,

dépend de la concentration d'électrons et de trous n et p et de leur mobilité μ_n , μ_p et la charge électrique q respectivement, selon la relation suivante;

$$\rho = \frac{1}{q(n\mu_n + p\mu_p)} \quad (I.3)$$

Un courant électrique traversant un matériau soumis à un champ magnétique engendre une tension perpendiculaire à ce champ et aux lignes de courant (figure I-13).

Dans certaines

conditions, cette tension croît par paliers, effet caractéristique de la physique quantique [15].

Notons que le Prix Nobel de physique a été attribué en 1985 pour l'effet Hall quantique

Mis en forme : Police : (Par défaut) + Titres (Cambria), 16 pt, Police de script complexe : + Titres CS (Times New Roman), 16 pt

Mis en forme : Bordure : Bas: (Épais-fin peu espacés, Accent 2, 3 pt Épaisseur du trait, Par rapport au texte : 10 pt Espacement des bordures :)

Mis en forme

Mis en forme : Justifié

Mis en forme

Mis en forme

Mis en forme

Mis en forme : Centré

Mis en forme

Mis en forme

Mis en forme

Mis en forme

Mis en forme

Mis en forme

Mis en forme

Mis en forme

Mis en forme

Mis en forme

Mis en forme

Mis en forme

Mis en forme

Mis en forme

Mis en forme : Justifié

Mis en forme

Mis en forme : Justifié

Mis en forme

Mis en forme

Mis en forme : Justifier en bas

Mis en forme

Mis en forme

Mis en forme

Mis en forme

Mis en forme

Mis en forme

Mis en forme

Mis en forme

Mis en forme : Justifié

Mis en forme

Mis en forme : Centré

Mis en forme : Anglais (Canada)

Mis en forme : Anglais (Canada)

Mis en forme : Anglais (Canada)

Chapitre I Caractérisation, résistivité et méthode de mesure

Quantique entier et en 1998 pour l'effet Hall quantique fractionnaire. Pour effectuer la mesure Hall, on utilise la même configuration Van der Pauw avec les quatre connections,

En Satisfaisant les trois conditions de Van der Pauw. On applique un champ magnétique dans la Direction perpendiculaire au plan de l'échantillon, on impose un courant et on mesure la

Tension de comme illustré (figure I. 2) Hall, dans la

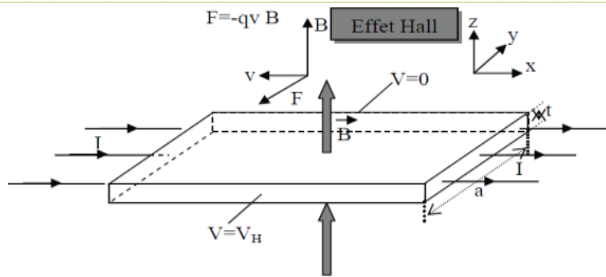
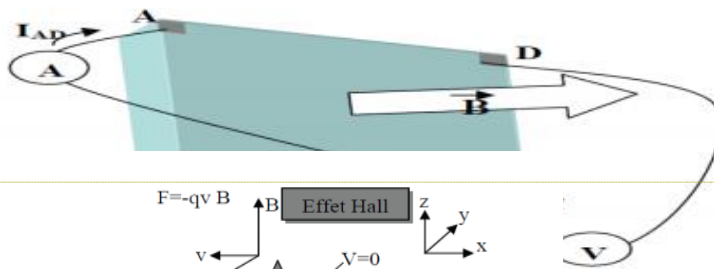


Figure I.2 : Effet Hall

En pratique on injecte un courant I entre 2 contacts de la diagonale et on mesure la Tension V l'autre diagonale en appliquant un champ magnétique B comme présenté sur la Figure (Figure I. 3).

Mis en forme : Police : (Par défaut) + Titres (Cambria), 16 pt, Police de script complexe : + Titres CS (Times New Roman), 16 pt

Mis en forme : Bordure : Bas: (Épais-fin peu espacés, Accent 2, 3 pt Épaisseur du trait, Par rapport au texte : 10 pt Espacement des bordures :)

Mis en forme : Police : (Par défaut) + Titres CS (Times New Roman), 12 pt, Gras, Police de script complexe : + Titres CS (Times New Roman), 12 pt, Gras

Mis en forme : Centré

Mis en forme : Police : 14 pt, Police de script complexe : 14 pt

Mis en forme : Justifié

Mis en forme : Police : (Par défaut) + Titres CS (Times New Roman), 12 pt, Police de script complexe : + Titres CS (Times New Roman), 12 pt

Chapitre I Caractérisation, résistivité et méthode de mesure

Figure I.3 : Configuration de la mesure Effet Hall

La tension Hall nous renseigne sur le type et la concentration des porteurs:

Si le matériau est de type N (électrons majoritaires), la tension Hall est donnée par :

$$V_H = - \frac{1}{nq\tau} \frac{IB}{t} < 0$$

Et si le matériau est de type P (trous majoritaires), la tension Hall est donnée par :

$$V_H = + \frac{1}{p\tau} \frac{IB}{t} > 0$$

Le signe de V_H nous renseigne donc sur le type de porteurs libres

La concentration en surface N_s est calculé par l'équation suivante :

$$N_s = \frac{IB}{qV_H t}$$

La concentration des porteurs en volume N_B est :

$$N_B = N_s / t$$

Il est possible à partir de la tension de Hall de déterminer la concentration en porteurs de charges. A partir de cette valeur, et en connaissant la mobilité des porteur de charge, il est possible d'obtenir la résistivité :

$$\rho = \frac{t}{\mu q N_s}$$

On vient de voir qu'en théorie c'est une seule mesure à effectuer (V_H), c'est-à-dire

appliquer un courant entre deux contacts opposés sur la diagonale et mesurer la tension sur l'autre diagonale avec l'application d'un champ magnétique, mais en pratique on effectue douze mesures, en modifiant la configuration et en inversant le sens du champ magnétique et le courant injecté, ceci afin de s'affranchir des tensions parasites et de minimiser les erreurs

Mis en forme : Police : (Par défaut) + Titres (Cambria), 16 pt, Police de script complexe : + Titres CS (Times New Roman), 16 pt

Mis en forme : Bordure : Bas: (Épais-fin peu espacés, Accent 2, 3 pt Épaisseur du trait, Par rapport au texte : 10 pt Espacement des bordures :)

Mis en forme : Centré

Mis en forme : Droite

Mis en forme : Justifié

Mis en forme : Justifié, Interligne : 1,5 ligne, Taquets de tabulation : 8 cm, Centré

Mis en forme

Mis en forme

Mis en forme

Mis en forme : Justifié

Mis en forme : Justifié, Interligne : 1,5 ligne

Mis en forme

Mis en forme

Mis en forme

Mis en forme : Justifié

Mis en forme : Justifié

Mis en forme : Justifié, Interligne : 1,5 ligne

Mis en forme

Mis en forme

Mis en forme : Justifié

Mis en forme : Centré, Interligne : 1,5 ligne

Mis en forme : Police : 14 pt, Police de script complexe : 14 pt, Français (France)

Mis en forme : Justifié

Mis en forme : Centré

Mis en forme : Police : 14 pt, Police de script complexe : 14 pt

Mis en forme

Mis en forme : Justifié

Chapitre I Caractérisation, résistivité et méthode de mesure

expérimentales. Ceci est d'autant plus indispensable que la tension de Hall est souvent relativement faible. [17].

Conductivité

I.22.21. Mesure de la résistivité par méthode des pointes

Elles offrent la particularité de permettre la détermination directe de la résistivité électrique de l'échantillon sans passer par la mesure de sa résistance. Ces méthodes utilisent des contacts ponctuels disposés à la surface de l'échantillon, contacts généralement réalisés par des pointes métalliques qui ont donné le nom à ces méthodes. Celles-ci utilisent un système à deux pointes, trois pointes, quatre pointes alignées ou disposées en carré sur la surface de l'échantillon. On s'intéresse beaucoup plus à la méthode des quatre pointes [48].

I.2.22.1. Méthode de mesure à deux pointes

Dans le cas de la mesure de la conductivité électrique par la méthode dite à deux pointes, l'échantillon est soumis à une tension électrique comme le montre la Figure (I.4), la connaissance du courant électrique traversant l'échantillon et les dimensions géométriques de ce dernier permet le calcul de la conductivité électrique en utilisant la relation suivant [4] :

$$\sigma = \frac{I \cdot L}{V \cdot S} \quad (I.9)$$

Mis en forme : Bordure : Bas: (Épais-fin peu espacés, Accent 2, 3 pt Épaisseur du trait, Par rapport au texte : 10 pt Espacement des bordures :)

Mis en forme : Police : (Par défaut) +Titres (Cambria), 16 pt, Police de script complexe : +Titres CS (Times New Roman), 16 pt

Commentaire [MDZ3]: Citer d'autres méthodes

Mis en forme : Police : (Par défaut) +Titres CS (Times New Roman), 14 pt, Gras, Police de script complexe : +Titres CS (Times New Roman), 14 pt

Mis en forme : Police : (Par défaut) +Titres CS (Times New Roman), 14 pt, Police de script complexe : +Titres CS (Times New Roman), 14 pt

Mis en forme : Police : (Par défaut) +Titres CS (Times New Roman), 14 pt, Gras, Police de script complexe : +Titres CS (Times New Roman), 14 pt

Mis en forme : Police : (Par défaut) +Titres CS (Times New Roman), 14 pt, Police de script complexe : +Titres CS (Times New Roman), 14 pt

Mis en forme

Mis en forme : Justifier en bas

Mis en forme : Justifié

Mis en forme

Mis en forme

Mis en forme

Mis en forme

Mis en forme

Mis en forme

Mis en forme

Mis en forme

Mis en forme

Mis en forme

Mis en forme

Mis en forme

Mis en forme

Mis en forme

Mis en forme : Justifié

Mis en forme

Mis en forme

Mis en forme

Mis en forme

Mis en forme

Mis en forme

Mis en forme

Mis en forme : Centré

Chapitre I Caractérisation, résistivité et méthode de mesure

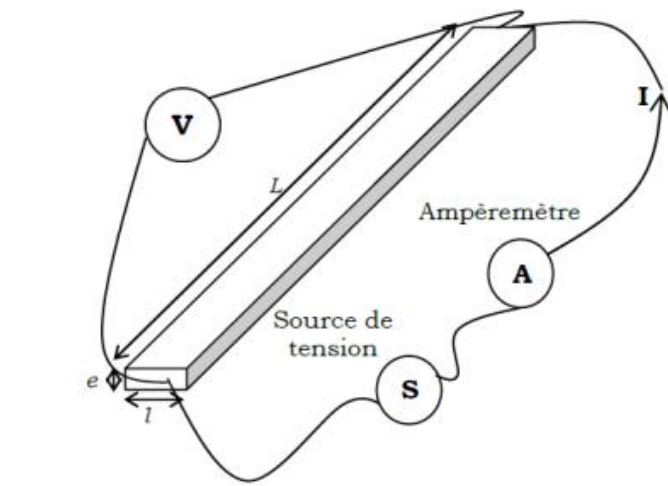


Figure I-24 : Méthode de mesure à deux pointes

Figure I.4 [9]

$$\sigma = \frac{I \cdot L}{V \cdot S} \quad (I.9)$$

Telle que :

Telle que :

σ : La conductivité électrique.

L : La longueur entre les deux pointes de contact.

e : l'épaisseur de l'échantillon

l : la longueur de l'échantillon

$S = e \cdot l$: La section de l'échantillon.

Cette méthode a plusieurs inconvénients car elle est sensible aux éléments suivants qui peuvent influencés la mesure :

- La résistance de contact des deux pointes.

-L'emplacement des pointes n'est pas uniforme dans la section de passage du courant.

Mis en forme : Police : (Par défaut) + Titres (Cambria), 16 pt, Police de script complexe : + Titres CS (Times New Roman), 16 pt

Mis en forme : Bordure : Bas: (Épais-fin peu espacés, Accent 2, 3 pt Épaisseur du trait, Par rapport au texte : 10 pt Espacement des bordures :)

Mis en forme : Police : (Par défaut) + Titres CS (Times New Roman), 14 pt, Police de script complexe : + Titres CS (Times New Roman), 14 pt

Mis en forme : Justifier en bas, Retrait : Avant : -0,25 cm

Mis en forme : Centré

Mis en forme : Police : (Par défaut) + Titres CS (Times New Roman), Police de script complexe : + Titres CS (Times New Roman)

Mis en forme : Police : (Par défaut) + Titres CS (Times New Roman), Police de script complexe : + Titres CS (Times New Roman)

Mis en forme : Justifié

Mis en forme : Police : (Par défaut) + Titres CS (Times New Roman), Police de script complexe : + Titres CS (Times New Roman)

Mis en forme

Mis en forme

Mis en forme

Mis en forme

Mis en forme : Justifié

Mis en forme

Mis en forme

Mis en forme

Mis en forme

Mis en forme

Mis en forme

Mis en forme : Justifié

Mis en forme

Mis en forme

Mis en forme : Justifié

Mis en forme

Mis en forme

Mis en forme

Mis en forme

Mis en forme

Mis en forme

Mis en forme

Mis en forme

Mis en forme

Mis en forme

Mis en forme

Mis en forme

Chapitre I Caractérisation, résistivité et méthode de mesure

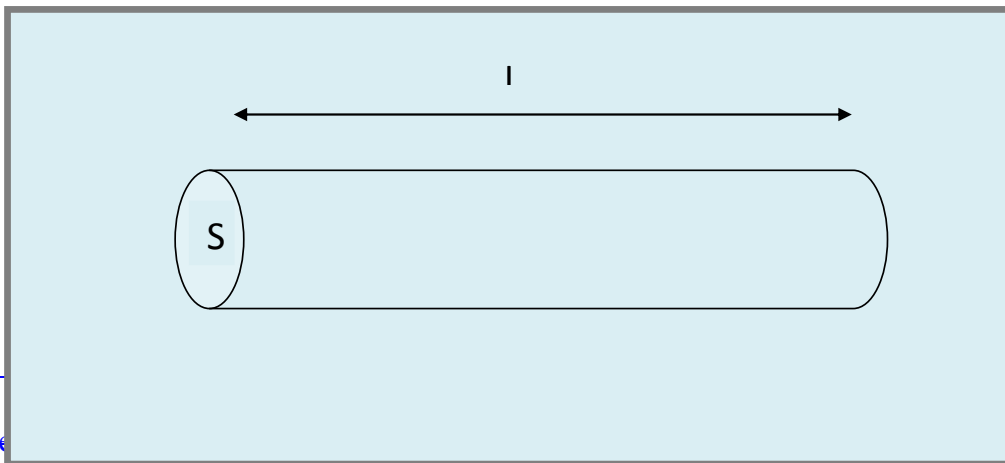
Les résistances internes des appareils de mesures.

I.22.2.2. 3. H-1 Mesure de la résistivité par méthode des pointes

Résistivité

La résistance dépend à la fois des dimensions du conducteur et de sa nature.
Par exemple, la résistance d'un fil (figure 1.1) est proportionnelle à sa longueur L et inversement proportionnelle à sa section s :

$$R = \rho \frac{L}{S}$$



Le
résistivité. L'unité de résistivité est l'ohm mètre (symbole $\Omega \cdot m$) puisque L s'exprime en mètres et s en mètres carrés.

Mis en forme : Police : (Par défaut) + Titres (Cambria), 16 pt, Police de script complexe : + Titres CS (Times New Roman), 16 pt

Mis en forme : Bordure : Bas: (Épais-fin peu espacés, Accent 2, 3 pt Épaisseur du trait, Par rapport au texte : 10 pt Espacement des bordures :)

Mis en forme : Police : (Par défaut) + Titres CS (Times New Roman), Police de script complexe : + Titres CS (Times New Roman), Non Gras, Non Exposant/ Indice

Mis en forme : Police : 14 pt, Police de script complexe : 14 pt

Mis en forme : Police : (Par défaut) + Titres CS (Times New Roman), 14 pt, Police de script complexe : + Titres CS (Times New Roman), 14 pt

Mis en forme : Police : (Par défaut) + Titres CS (Times New Roman), 14 pt, Police de script complexe : + Titres CS (Times New Roman), 14 pt

Mis en forme : Police : (Par défaut) + Titres CS (Times New Roman), 14 pt, Gras, Police de script complexe : + Titres CS (Times New Roman), 14 pt

Mis en forme : Police : (Par défaut) + Titres CS (Times New Roman), 14 pt, Police de script complexe : + Titres CS (Times New Roman), 14 pt

Mis en forme : Police : (Par défaut) + Titres CS (Times New Roman), 14 pt, Gras, Police de script complexe : + Titres CS (Times New Roman), 14 pt

Mis en forme : Police : (Par défaut) + Titres CS (Times New Roman), 14 pt, Police de script complexe : + Titres CS (Times New Roman), 14 pt

Mis en forme : Police : (Par défaut) + Titres CS (Times New Roman), 14 pt, Police de script complexe : + Titres CS (Times New Roman), 14 pt

Mis en forme : Police : (Par défaut) + Titres CS (Times New Roman), 14 pt, Police de script complexe : + Titres CS (Times New Roman), 14 pt

Mis en forme : Police : (Par défaut) + Titres CS (Times New Roman), 14 pt, Police de script complexe : + Titres CS (Times New Roman), 14 pt

Chapitre I Caractérisation, résistivité et méthode de mesure

Mis en forme : Police : (Par défaut) + Titres (Cambria), 16 pt, Police de script complexe : + Titres CS (Times New Roman), 16 pt

Mis en forme : Bordure : Bas: (Épais-fin peu espacés, Accent 2, 3 pt Épaisseur du trait, Par rapport au texte : 10 pt Espacement des bordures :)

Méthode des quartes pointes

Mis en forme : Police : (Par défaut) + Titres CS (Times New Roman), 14 pt, Police de script complexe : + Titres CS (Times New Roman), 14 pt

Définitions

Mis en forme : Police : (Par défaut) + Titres CS (Times New Roman), 14 pt, Non Gras, Police de script complexe : + Titres CS (Times New Roman), 14 pt

La technique de mesure de la différence de tension (chute de potentiel)

Mis en forme : Police : (Par défaut) + Titres CS (Times New Roman), 14 pt, Police de script complexe : + Titres CS (Times New Roman), 14 pt

Entre deux des quatre électrodes d'une sonde à quatre points, afin de déterminer la conductivité ou la résistivité de surface d'une éprouvette, est bien établie dans le courant continu (quasi continu) ou quasi régime de. Elles offrent la particularité de permettre la détermination directe de la résistivité électrique de l'échantillon sans passer par la mesure de sa résistance. Ces méthodes utilisent des contacts ponctuels disposés à la surface de l'échantillon, contacts généralement réalisés par des pointes métalliques qui ont donné le nom à ces méthodes. Celles-ci utilisent un système à deux pointes, trois pointes, quatre pointes alignées ou disposées en carré sur la surface de l'échantillon. On s'intéresse seulement à la méthode des quatre pointes.

Commentaire [MDZ4]: Compléter la phrase

a-Méthode des quatre quatre pointes

Mis en forme : Police : (Par défaut) + Titres CS (Times New Roman), 14 pt, Police de script complexe : + Titres CS (Times New Roman), 14 pt

Mis en forme : Justifié

Mis en forme : Police : (Par défaut) + Titres CS (Times New Roman), Non Gras, Police de script complexe : + Titres CS (Times New Roman), Non Gras

Mis en forme : Police : (Par défaut) + Titres CS (Times New Roman), Non Gras, Police de script complexe : + Titres CS (Times New Roman), Non Gras

Mis en forme : Police : (Par défaut) + Titres CS (Times New Roman), Non Gras, Police de script complexe : + Titres CS (Times New Roman), Non Gras

Mis en forme : Police : (Par défaut) + Titres CS (Times New Roman), Police de script complexe : + Titres CS (Times New Roman)

Mis en forme : Police : (Par défaut) + Titres CS (Times New Roman), Gras, Police de script complexe : + Titres CS (Times New Roman), Gras

Mis en forme : Police : (Par défaut) + Titres CS (Times New Roman), Police de script complexe : + Titres CS (Times New Roman)

Mis en forme : Police : (Par défaut) + Titres CS (Times New Roman), Non Gras, Police de script complexe : + Titres CS (Times New Roman), Non Gras

Mis en forme : Police : (Par défaut) + Titres CS (Times New Roman), Police de script complexe : + Titres CS (Times New Roman)

La technique de mesure de la différence de tension (chute de potentiel) entre deux des quatre électrodes d'une sonde à quatre pointes, afin de déterminer la conductivité ou la résistivité de surface d'une éprouvette, est bien établie dans le courant continu (quasi continu) ou quasi régime de DC. Cette technique est largement utilisée dans l'industrie des semi-conducteurs pour mesurer la résistivité superficielle des semi-conducteurs, ainsi que pour mesurer la conductivité des métaux. [510]

Cette technique est largement utilisée dans l'industrie des semi-conducteurs pour mesurer la résistivité superficielle des semi-conducteurs, ainsi que pour mesurer la conductivité des métaux. La technique de mesure de la différence de tension (chute de potentiel) entre deux des quatre électrodes d'une sonde à quatre points, afin de déterminer la

Chapitre I Caractérisation, résistivité et méthode de mesure

conductivité ou la résistivité de surface d'une éprouvette, est bien établie dans le courant continu (quasi continu) ou quasi régime de

Deux pointes servent d'amenée de courant I , les deux autres servent de prise de potentiel V .

On mesure le rapport-rapport $\frac{\Delta V}{I}$. Ce rapport peut être relié à la résistivité du matériau de l'échantillon, la relation dépendra de la forme, des dimensions de l'échantillon, de la disposition et la géométrie des pointes.

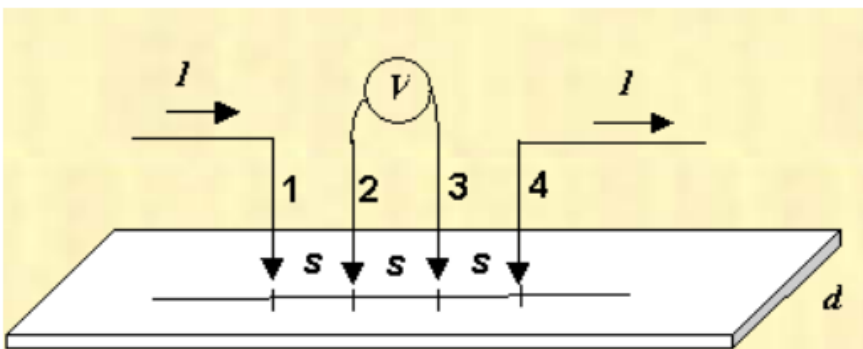
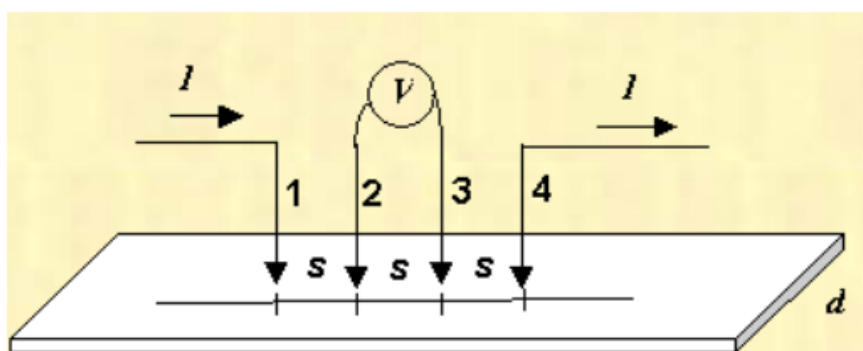


Figure I.5 : Eexpérience de mesure de la résistance carrée par la méthode des quatre pointes

Mis en forme : Police : (Par défaut) +Titres (Cambria), 16 pt, Police de script complexe : +Titres CS (Times New Roman), 16 pt

Mis en forme : Bordure : Bas: (Épais-fin peu espacés, Accent 2, 3 pt Épaisseur du trait, Par rapport au texte : 10 pt Espacement des bordures :)

Commentaire [MDZ5]: Compléter la phrase

Mis en forme : Police : (Par défaut) +Titres CS (Times New Roman), 12 pt, Police de script complexe : +Titres CS (Times New Roman), 12 pt

Mis en forme : Police : (Par défaut) +Titres CS (Times New Roman), Police de script complexe : +Titres CS (Times New Roman)

Mis en forme : Police : (Par défaut) +Titres CS (Times New Roman), Police de script complexe : +Titres CS (Times New Roman)

Mis en forme : Police : (Par défaut) +Titres CS (Times New Roman), Police de script complexe : +Titres CS (Times New Roman)

Mis en forme : Police : (Par défaut) +Titres CS (Times New Roman), Gras, Police de script complexe : +Titres CS (Times New Roman), Gras

Code de champ modifié

Mis en forme : Police : (Par défaut) +Titres CS (Times New Roman), Gras, Police de script complexe : +Titres CS (Times New Roman), Gras

Mis en forme : Police : (Par défaut) +Titres CS (Times New Roman), Police de script complexe : +Titres CS (Times New Roman)

Mis en forme : Police : (Par défaut) +Titres CS (Times New Roman), Police de script complexe : +Titres CS (Times New Roman)

Mis en forme : Gauche, Espace Après : 10 pt, Interligne : Multiple 1,15 li, Taquets de tabulation : Pas à 2,54 cm

Mis en forme : Police : (Par défaut) +Titres CS (Times New Roman), 12 pt, Police de script complexe : +Titres CS (Times New Roman), 12 pt

Mis en forme : Gauche, Taquets de tabulation : 0,92 cm, Gauche + 8 cm, Centré

Chapitre I Caractérisation, résistivité et méthode de mesure

Fig.I.3.experience de mesure de la résistance carregar la méthode des quatre points

I.3.Différents dispositifs des quatre pointes

I.3.1.3.4 La Méthode des quatre pointes carrées

La méthode de VAN DER PAUW permet de mesurer la résistivité dans le cas d'un échantillon plan de forme quelconque muni de quatre contacts disposés sur l'échantillon qui doit être d'épaisseur homogène. La surface de prise de contact doit être faible vis à vis de la surface de l'échantillon.

La méthode de VAN DER PAUW permet de mesurer la résistivité dans le cas d'un échantillon plan de forme quelconque muni de quatre contacts disposés sur l'échantillon figure I.4.1. L'échantillon doit être d'épaisseur homogène et la surface de pris de contact doit être faible vis à vis de la surface de l'échantillon.

le Théorème de VAN DER PAUW :

Considérons une lame plate, complètement uniforme et prenons 4 petits contact A.B.C et D.

à des positions arbitraires sur le contour de l'échantillon.

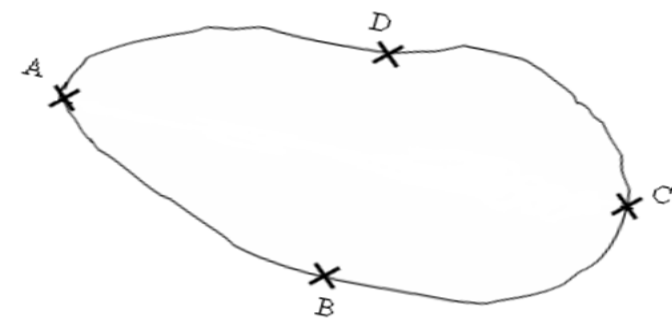


Figure I.6.: Lame plate complètement uniforme

Mis en forme : Police : (Par défaut) + Titres (Cambria), 16 pt, Police de script complexe : + Titres CS (Times New Roman), 16 pt

Mis en forme : Bordure : Bas: (Épais-fin peu espacés, Accent 2, 3 pt Épaisseur du trait, Par rapport au texte : 10 pt Espacement des bordures :)

Mis en forme : Police : Gras, Police de script complexe : Gras

Mis en forme : Police : Gras, Police de script complexe : Gras

Mis en forme : Non souligné

Mis en forme : Police : (Par défaut) + Titres CS (Times New Roman), 14 pt, Non souligné, Police de script complexe : + Titres CS (Times New Roman), 14 pt

Mis en forme : Police : (Par défaut) + Titres CS (Times New Roman), 14 pt, Non souligné, Police de script complexe : + Titres CS (Times New Roman), 14 pt

Mis en forme : Police : (Par défaut) + Titres CS (Times New Roman), 14 pt, Non souligné, Police de script complexe : + Titres CS (Times New Roman), 14 pt

Mis en forme : Justifié, Ne pas ajuster l'espace entre le texte latin et asiatique, Ne pas ajuster l'espace entre le texte et les nombres asiatiques

Mis en forme : Français (France)

Mis en forme : Français (France)

Mis en forme

Mis en forme

Mis en forme : Justifié, Retrait : Avant : 0 cm

Mis en forme : Police : Gras, Police de script complexe : Gras

Mis en forme

Mis en forme

Mis en forme : Police : 12 pt, Police de script complexe : 12 pt

Mis en forme : Police : 12 pt, Police de script complexe : 12 pt

Mis en forme : Police : 12 pt, Police de script complexe : 12 pt

Mis en forme : Police : 12 pt, Police de script complexe : 12 pt

Mis en forme : Police : 12 pt, Police de script complexe : 12 pt

Mis en forme : Justifié, Retrait : Première ligne : 1,25 cm

Mis en forme : Justifié

Mis en forme

Mis en forme : Centré

Mis en forme : Justifié

Chapitre I Caractérisation, résistivité et méthode de mesure

Mis en forme : Bordure : Bas:
(Épais-fin peu espacés, Accent 2, 3 pt
Épaisseur du trait, Par rapport au texte
: 10 pt Espacement des bordures :)

Mis en forme : Police : (Par défaut)
+ Titres (Cambria), 16 pt, Police de
script complexe : + Titres CS (Times
New Roman), 16 pt

On applique un courant I_{AB} entre A et B. Nous mesurons la d.d.p. $-V_D - V_C$ et définissons :

$$R_{AB,CD} = \frac{V_D - V_C}{I_{AB}} \quad (10)$$

(10)

De même nous définissons :

$$R_{BC,DA} = \frac{V_A - V_D}{I_{BC}} \quad (11)$$

(11)

Mis en forme : Français (France)

Mis en forme : Français (France)

Mis en forme : Français (France)

Mis en forme : Français (France)

La méthode de mesure est basée sur le théorème qu'entre $R_{AB,CD}$ et $R_{BC,DA}$ existe la relation :

Mis en forme : Justifié

$$\exp\left\{-\frac{\pi d}{\rho} R_{AB,CD}\right\} + \exp\left\{-\frac{\pi d}{\rho} R_{BC,DA}\right\} = 1 \quad (12)$$

(12)

Où d est l'épaisseur de lame et ρ sa résistivité.

Si d et la résistance $R_{AB,CD}$ et $R_{BC,DA}$ sont connues, l'équation ne renfermera qu'une inconnue ρ .

La situation est particulièrement intéressante si l'échantillon possède une ligne de symétrie.

Dans ce cas, A et C sont placées sur la ligne de symétrie figure (1,7), tandis que B et D seront disposés symétriquement par rapport à cette ligne, ainsi :

$$R_{AB,CD} = R_{BC,DA}$$

Mis en forme : Justifié, Retrait : Avant
: 0 cm

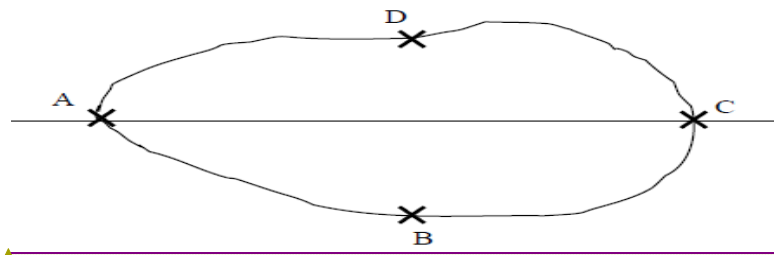


Figure I.7: un Échantillon avec qui possède une ligne de symétrie

Mis en forme : Police : (Par défaut) + Titres (Cambria), 16 pt, Police de script complexe : + Titres CS (Times New Roman), 16 pt

Mis en forme : Bordure : Bas: (Épais-fin peu espacés, Accent 2, 3 pt Épaisseur du trait, Par rapport au texte : 10 pt Espacement des bordures :)

Mis en forme : Police : (Par défaut) + Titres CS (Times New Roman), 9 pt, Police de script complexe : + Titres CS (Times New Roman), 9 pt

Mis en forme : Centré

Mis en forme : Justifié

L'équation (I.6) devient :

$$2 \exp \left\{ -\frac{\pi d}{\rho} R_{AB,CD} \right\} = 1 \quad (I.13)$$

d'où :

$$\rho = \frac{\pi d}{\ln 2} R_{AB,CD}$$

Mis en forme : Français (France)

Mis en forme : Français (France)

Mis en forme : Français (France)

Mis en forme : Français (France)

Mis en forme : Français (France)

Mis en forme : Français (France)

Mis en forme : Français (France)

Mis en forme : Français (France)

Mis en forme : Français (France)

I.3.1.b. Facteur de correction:

La détermination de la résistivité nécessite la prise en compte de la forme géométrique de l'échantillon, de ses dimensions, du substrat et de la nature de substrat. Valdès [6] a résumé les principaux cas que l'on peut rencontrer en utilisant la technique des quatre pointes linéaires et les corrections nécessaires pour que les résultats soient exploitables.

Vander Pauw propose une géométrie sous forme de trèfle afin de minimiser les erreurs liées à la taille finie des contacts. Green et Gunn [71], ont montré que l'on pouvait utiliser des échantillons de formes quelconques (rectangulaires, carrées, ...), beaucoup plus facile à réaliser technologiquement.

Mis en forme : Police : 14 pt, Police de script complexe : 14 pt

Mis en forme : Police : 12 pt, Non Gras, Police de script complexe : 12 pt, Non Gras

Mis en forme : Gauche

Mis en forme : Police : Gras, Police de script complexe : Gras

Mis en forme : Police : Gras, Police de script complexe : Gras

Chapitre I Caractérisation, résistivité et méthode de mesure

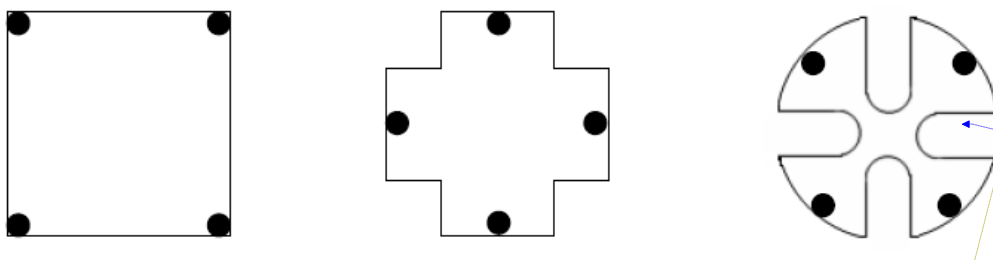
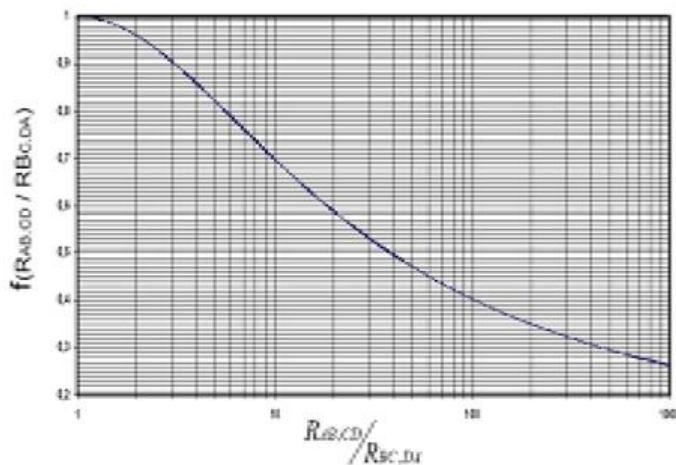


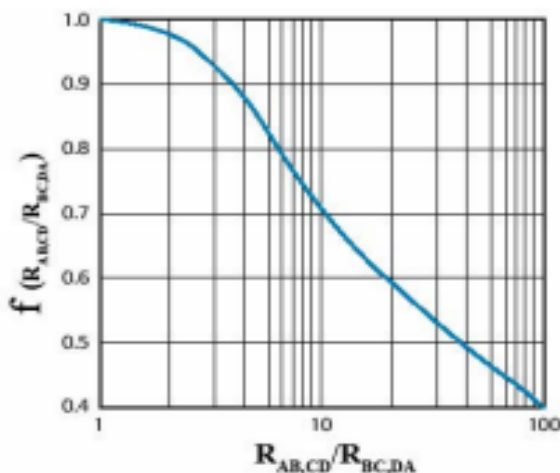
Figure I.8 : Lesreprésente trois types d'échantillons souvent utilisées

Afin d'éliminer ce facteur de correction, le travail sera sur nous avons travaillé avec des échantillons de forme carrée.

Ainsi, la détermination de la résistivité nécessite parfois la prise en compte d'une part de l'éventuelle dissymétrie des contacts ou de l'inhomogèneinhomogénéité de la couche et d'autre part des dimensions relatives des contacts par rapport à la taille de l'échantillon. Ces effets sont pris en considération au moyen de facteurs de correction multiplicatifs. Sur laLa figure (I.9) représente le facteur de correction en tenant compte de la dissymétrie.



Chapitre I Caractérisation, résistivité et méthode de mesure



Mis en forme : Police : (Par défaut) + Titres (Cambria), 16 pt, Police de script complexe : + Titres CS (Times New Roman), 16 pt

Mis en forme : Bordure : Bas: (Épais-fin peu espacés, Accent 2, 3 pt Épaisseur du trait, Par rapport au texte : 10 pt Espacement des bordures :)

Mis en forme : Police : (Par défaut) + Titres CS (Times New Roman), 12 pt, Police de script complexe : + Titres CS (Times New Roman), 12 pt

Mis en forme : Centré

Figure I.9 : représente le facteur de correction tenant compte de la dissymétrie [8]

Mis en forme : Justifié

Mis en forme : Justifié

On constate que dans le cas des échantillons carrés homogène le terme correctif est voisin de 1. Par ailleurs le terme correcteur introduit par la taille finie des contacts pour les géométries carrées est représentée sur la figure (I.8). On remarque qu'un choix judicieux des dimensions relatives des contacts conduit à une valeur du terme correctif proche de l'unité. Dans ces conditions, pour des échantillons carrés, l'expression de la résistivité peut s'écrire :

Mis en forme : Justifié

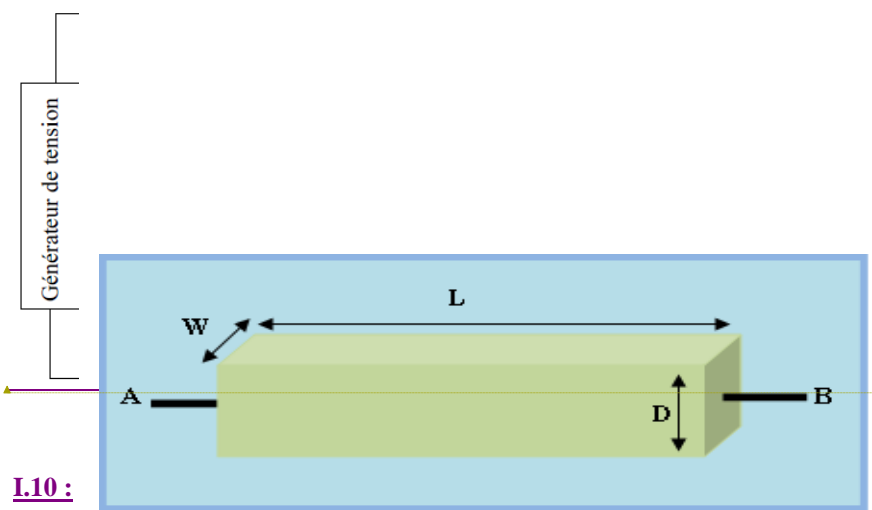
$$\rho = \frac{\pi d}{\ln 2} \cdot \frac{R_{AB,CD} + R_{BC,DA}}{2} \quad (I.14)$$

Mis en forme : Français (France)

Mis en forme : Français (France)

Mis en forme : Police : Gras, Police de script complexe : Gras

Mis en forme : Police : Gras, Police de script complexe : Gras



Figure

I.10 :

Représentation schématique de la technique des pointes disposée en carrée

Mis en forme : Bordure : Bas: (Épais-fin peu espacés, Accent 2, 3 pt Épaisseur du trait, Par rapport au texte : 10 pt Espacement des bordures :)
Mis en forme : Police : (Par défaut) +Titres (Cambria), 16 pt, Police de script complexe : +Titres CS (Times New Roman), 16 pt
Mis en forme : Police : (Par défaut) +Titres CS (Times New Roman), 14 pt, Police de script complexe : +Titres CS (Times New Roman), 14 pt, Italique
Mis en forme : Centré

I.3.1.c. Notion de résistance carrée

Le développement des semi-conducteurs a donné une grande importance aux techniques applicables aux couches minces. Les mesures de résistivité occupent une place très importante parmi les méthodes de caractérisation dans cette technologie bien que, dans un semi-conducteur, la résistivité ne soit pas un paramètre idéal puisqu'elle dépend à la fois de deux grandeurs: la concentration des porteurs et leur mobilité.

La résistivité ρ est en effet donnée par la formule: La valeur de la résistance, fonction de la résistivité du matériau et de ses dimensions géométriques (voir figure I.11), est donnée par l'équation (I.15)

Mis en forme : Police : 12 pt, Non Gras, Police de script complexe : 12 pt, Non Gras
Mis en forme : Police de script complexe : Non Italique, Vérifier l'orthographe et la grammaire
Mis en forme : Justifié

Mis en forme : Justifié
Mis en forme : Police : (Par défaut) +Titres CS (Times New Roman), 12 pt, Police de script complexe : +Titres CS (Times New Roman), 12 pt

Figure I.11 : Paramètre géométrique d'une résistance

Chapitre I Caractérisation, résistivité et méthode de mesure

Mis en forme : Police : (Par défaut) + Titres (Cambria), 16 pt, Police de script complexe : + Titres CS (Times New Roman), 16 pt

Mis en forme : Bordure : Bas: (Épais-fin peu espacés, Accent 2, 3 pt Épaisseur du trait, Par rapport au texte : 10 pt Espacement des bordures :)

Mis en forme : Justifié

Mis en forme : Justifié, Taquets de tabulation : Pas à 4,19 cm

Mis en forme : Justifié

$$\rho = \frac{1}{(q \cdot p \cdot u \cdot p)} \quad \text{Pour un matériau de type p} \quad \text{(I.15)}$$

$$\rho = \frac{1}{(q \cdot n \cdot u \cdot n)} \cdot P \quad \text{Pour un matériau de type n} \quad \text{(I.16)}$$

Mis en forme : Justifié

Avec q: charge d'un porteur ($q = e$)

Mis en forme : Justifié

n et p: densités des porteurs.

La valeur de la résistance, fonction de la résistivité du matériau et de ses dimensions géométriques (voir figure I.11), est donnée par:

$$R_{AB} = \rho \cdot \frac{L}{S}$$

Mis en forme : Police : 16 pt, Police de script complexe : 16 pt

ρ : Résistivité du matériau.

L : longueur.

D : profondeur.

S : w. D : surface de la section transversale.

Si $W = L$:

Mis en forme : Anglais (États Unis)

Mis en forme : Justifié

Chapitre I Caractérisation, résistivité et méthode de mesure

Figure I.11 : Paramètre géométrique d'une résistance

Si $W = L$:

$$R_{AB} = \frac{\rho}{D} = R_{\square} \quad (I.15)$$

R_{\square} est la résistance de couche ou résistance par carré, c'est la résistance offerte par un carré qui ne dépend que de la résistivité de l'épaisseur de couche. Son unité est ohms par carré, Ω / \square . [912].

I. 3.2.Méthode des quatre pointes alignées (VALDES(VALDES))

Ces méthodes utilisables pour un lingot, une couche déposée sur un substrat isolant ou isolée par une jonction sont très bien adaptées à l'étude des semi-conducteurs et des métaux ne présentant pas de caractéristiques extrêmes extrêmes [10].

Nous considérerons seulement deux cas :

1° Le cas d'une couche massif : c'est une mesure sur lingot;

2° Le cas d'un échantillon bidimensionnel (l'épaisseur W est petite devant la distance entre les pointes) : c'est une mesure sur couche mince ;

La résistivité d Du matériau peut être calculée en supposant que les distances entre les 4 pointes sont respectivement a, b et c [13].

Mis en forme : Bordure : Bas: (Épais-fin peu espacés, Accent 2, 3 pt Épaisseur du trait, Par rapport au texte : 10 pt Espacement des bordures :)

Mis en forme : Police : (Par défaut) + Titres (Cambria), 16 pt, Police de script complexe : + Titres CS (Times New Roman), 16 pt

Mis en forme : Gauche

Mis en forme : Justifié

Mis en forme : Anglais (États Unis)

Mis en forme : Police : Gras, Police de script complexe : Gras, Anglais (États Unis)

Mis en forme : Anglais (États Unis)

Mis en forme : Centré

Mis en forme : Police : Gras, Police de script complexe : Gras, Anglais (États Unis)

Mis en forme : Police : Gras, Police de script complexe : Gras, Anglais (États Unis)

Mis en forme : Justifié

Mis en forme : Français (France)

Mis en forme : Police : Gras, Police de script complexe : Gras

Mis en forme : Français (France)

Mis en forme : Français (France)

Mis en forme : Justifié

Mis en forme : Justifié

Commentaire [MDZ6]: Semi-infini?

Mis en forme : Justifié

Mis en forme : Police : Gras, Police de script complexe : Gras

Mis en forme : Police : Gras, Police de script complexe : Gras

Mis en forme : Justifié

Chapitre I Caractérisation, résistivité et méthode de mesure

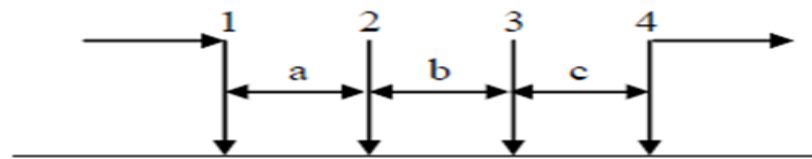


Figure I.12 : Méthode de quatre pointes alignées

La méthode des quatre pointes alignées et équidistantes a été étudiée et élaborée par plusieurs auteurs [114-136].

Quatre pointes métalliques sont alignées sur la surface de l'échantillon. On mesure la différence de potentiel V induite entre deux pointes lors du passage du courant I entre les deux autres. Le dispositif de mesure comprend donc une cellule à quatre pointes de contact électrique, un générateur très stable, un ampèremètre et un voltmètre électronique comme le montre la figure (I-13). Le générateur alimente en courant les deux pointes (électrodes) extérieures, et le voltmètre mesure la tension générée entre les deux pointes médianes (électrodes) par le courant traversant l'échantillon.

Mis en forme : Police : (Par défaut) + Titres (Cambria), 16 pt, Police de script complexe : + Titres CS (Times New Roman), 16 pt

Mis en forme : Bordure : Bas: (Épais-fin peu espacés, Accent 2, 3 pt Épaisseur du trait, Par rapport au texte : 10 pt Espacement des bordures :)

Mis en forme : Police : (Par défaut) + Titres CS (Times New Roman), 12 pt, Police de script complexe : + Titres CS (Times New Roman), 12 pt

Mis en forme : Police : Non Gras, Police de script complexe : Non Gras

Mis en forme : Justifié

Mis en forme : Police : Gras, Police de script complexe : Gras

Mis en forme : Police : Gras, Police de script complexe : Gras

Chapitre I Caractérisation, résistivité et méthode de mesure

$$R = \rho \frac{L}{A} = \frac{\pi \rho V}{Ln(2) I} = 4.53 \frac{\rho V}{I} \quad (I.1920)$$

Dans le cas d'un échantillon massif (Figure I.14), les équipotentielles sont des demi-sphères et la résistance mesurée entre la pointe 2 et la pointe 3 est calculée en intégrant des résistances infinitésimales comprises dans le quart de la couronne de sphère comprise entre les pointes en question et centrées à la pointe 1, les parties de l'échantillon à l'extérieur de cette portion ne peuvent intéresser la chute de potentiel entre 2 et 3. L'aire de cette couronne en partant de la pointe 1 et pour un rayon r est πr^2 , ce qui donne :

$$dR = \rho \frac{dr}{\pi r^2} \quad (I.21)$$

Et :

$$R = \frac{\rho}{\pi} \int_s^{2s} \frac{dr}{r^2} = -\frac{\rho}{\pi} \left[\frac{1}{r} \right]_s^{2s} = \frac{\rho}{\pi} \frac{1}{2s} \quad (I.22)$$

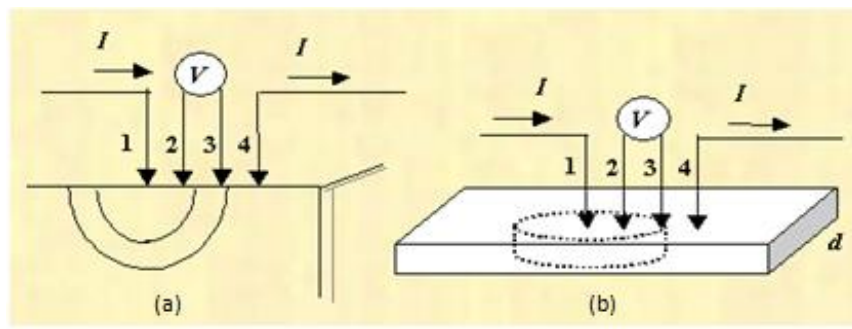
Or :

$$R = \frac{V}{I} \quad (I.223)$$

Et donc :

$$\rho = 2\pi s \frac{V}{I} = 2\pi s \frac{V}{I} \quad (I.234)$$

- Mis en forme : Bordure : Bas: (Épais-fin peu espacés, Accent 2, 3 pt Épaisseur du trait, Par rapport au texte : 10 pt Espacement des bordures :)
- Mis en forme : Police : (Par défaut) +Titres (Cambria), 16 pt, Police de script complexe : +Titres CS (Times New Roman), 16 pt
- Mis en forme : Police de script complexe : Non Gras
- Mis en forme
- Mis en forme
- Mis en forme : Police : Gras, Anglais (États Unis)
- Mis en forme
- Mis en forme : Justifié
- Mis en forme : Justifié
- Mis en forme : Justifié
- Mis en forme : Justifié
- Mis en forme : Centré
- Mis en forme : Police : 14 pt, Gras, Police de script complexe : 14 pt, Gras, Français (France)
- Mis en forme
- Mis en forme : Police : Gras, Police de script complexe : Gras
- Mis en forme : Français (France)
- Mis en forme : Justifié
- Mis en forme : Police : Gras, Police de script complexe : Gras, Français (France)
- Mis en forme : Centré
- Mis en forme
- Mis en forme
- Mis en forme
- Mis en forme
- Mis en forme : Après : -1,14 cm
- Mis en forme
- Mis en forme
- Mis en forme : Justifié
- Mis en forme
- Mis en forme : Centré
- Mis en forme
- Mis en forme
- Mis en forme
- Mis en forme
- Mis en forme : Justifié
- Mis en forme : Centré
- Mis en forme



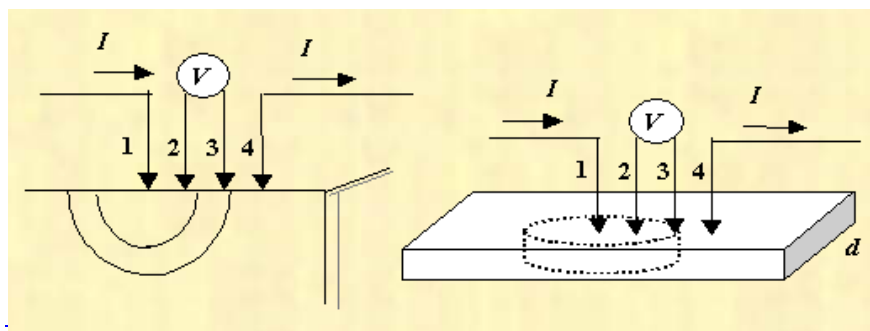
Mis en forme : Bordure : Bas: (Épais-fin peu espacés, Accent 2, 3 pt Épaisseur du trait, Par rapport au texte : 10 pt Espacement des bordures :)

Mis en forme : Police : (Par défaut) +Titres (Cambria), 16 pt, Police de script complexe : +Titres CS (Times New Roman), 16 pt

Mis en forme : Police : (Par défaut) +Titres CS (Times New Roman), 12 pt, Police de script complexe : +Titres CS (Times New Roman), 12 pt

Figure I.14: Forme des équipotentiels dans le cas d'une couche mince (a) et dans le cas d'un échantillon massif (b).

Mis en forme : Police : Gras, Police de script complexe : Gras



Mis en forme : Police : (Par défaut) +Titres CS (Times New Roman), 12 pt, Police de script complexe : +Titres CS (Times New Roman), 12 pt

Mis en forme : Police : Gras, Police de script complexe : Gras

Figure I.14 : Les équipotentiels forment des cylindres dans le cas d'une couche mince et des demi-sphères dans le cas d'un échantillon massif

Mis en forme : Justifié

I.4. Instrumentation

Il existe sur le marché différents dispositifs de mesures par quatre pointes tel celui de figure (I.15) : plus adapté à la mesure de la résistance carrée des couches minces à température ambiante.

Mis en forme : Justifié

Mis en forme : Justifié



Figure I.15: Dispositif Jandel de mesure de la résistivité par la méthode des quatre pointes [14].

I.4.1. Caractéristique

Les mesures avec ce dispositif sont sujettes aux limitations suivantes:

- Les pointes doivent pouvoir établir un contact ohmique avec le matériau.
- Les matériaux de très faible résistivité (Aluminium, Or, Platine) nécessitent le maximum de courant fourni par la source.
- Seuls des films très minces de 100 angströms jusqu'à 1 micron d'épaisseur peuvent être mesurés. Les échantillons dont la résistance de couche attendue est inférieure à 1 ohm par carré nécessitent un meilleur voltmètre. distinguant 10 microvolts.
- Le courant est limité à 10 mA en raison des effets de chauffage et de densité de courant excessive au niveau des pointes.
- Les matériaux de haute résistivité en couche mince (Tranches de silicium pour implantation ionique, silicium sur saphir) peuvent être mesurés en utilisant des courants très faibles (1 microampère ou moins) et en essayant d'éviter une indication de tension supérieure à 200 mv. On peut mesurer une résistance de couche allant jusqu'à 10^7 ohms par carré.

Mis en forme : Police : (Par défaut) + Titres (Cambria), 16 pt, Police de script complexe : + Titres CS (Times New Roman), 16 pt

Mis en forme : Bordure : Bas: (Épais-fin peu espacés, Accent 2, 3 pt Épaisseur du trait, Par rapport au texte : 10 pt Espacement des bordures :)

Mis en forme : Police : (Par défaut) + Titres CS (Times New Roman), 12 pt, Police de script complexe : + Titres CS (Times New Roman), 12 pt

Mis en forme : Centré

Mis en forme : Justifié

Mis en forme : Justifié

Chapitre I Caractérisation, résistivité et méthode de mesure

Mis en forme : Bordure : Bas:
(Épais-fin peu espacés, Accent 2, 3 pt
Épaisseur du trait, Par rapport au texte
: 10 pt Espacement des bordures :)

Mis en forme : Police : (Par défaut)
+ Titres (Cambria), 16 pt, Police de
script complexe : + Titres CS (Times
New Roman), 16 pt

- Les mesures de faibles valeurs posent de nombreux problèmes e. g. bruit électrique dû à un mauvais contact, aux tensions induites thermiquement, aux tensions de décalage générées par les dispositifs de la source de courant et aux fuites générales des fiches, etc.

Mis en forme : Justifié

I.5. Conclusion

La méthode des quatre pointes existe au niveau du laboratoire LEM de l'université de Jijel aussi bien pour les couches minces que massives. Ces dernières doivent être bonnes conductrices pour donner un signal exploitable par le banc de mesure. Les échantillons plus résistifs nécessitent une amplification de la tension mesurée. Le chapitre suivant décrit les solutions proposées pour optimiser les mesures.

Mis en forme : Justifié

Chapitre I Caractérisation, résistivité et méthode de mesure

I.4.1 caractéristique

IV.4.4.le théorème de VAN DER PAUW :

Considérons une lame plate, complètement uniforme et prenons 4 petits contacts A, B, C et D.

A des positions arbitraires sur le contour de l'échantillon.

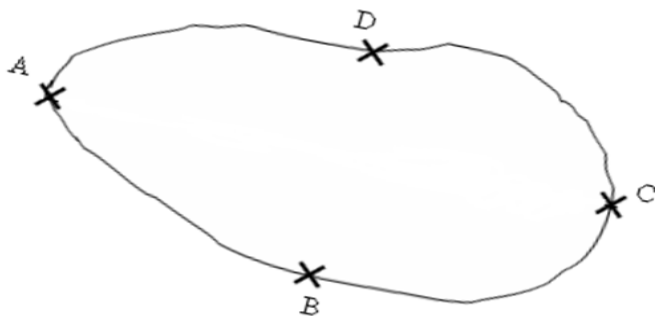


Fig.I.4.: Lame plate complètement uniforme

On applique un courant I_{AB} entre A et B. Nous mesurons la d.d.p. $V_d - V_c$ et définissons :

$$R = \frac{V_d - V_c}{I_{AB}}$$

(La méthode van Der Pauw est utilisée dans le cas où l'échantillon a une forme quelconque.

L'échantillon doit être d'épaisseur homogène et la surface de contact doit être faible vis-à-vis de la surface de l'échantillon.

Un contact métallique est déposé aux quatre coins de l'échantillon impérativement aux bords de ce dernier. Notons que ce dernier doit lui-même avoir la forme d'un carré. Un

Mis en forme : Police : (Par défaut) + Titres (Cambria), 16 pt, Police de script complexe : + Titres CS (Times New Roman), 16 pt

Mis en forme : Bordure : Bas: (Épais-fin peu espacés, Accent 2, 3 pt Épaisseur du trait, Par rapport au texte : 10 pt Espacement des bordures :)

Mis en forme : Police : 14 pt, Gras, Police de script complexe : 14 pt, Gras

Mis en forme : Justifié, Espace Après : 6 pt, Interligne : 1,5 ligne, Taquets de tabulation : 6,33 cm, Gauche

Mis en forme : Police : 12 pt, Non Gras, Police de script complexe : 12 pt, Non Gras

Mis en forme : Justifié

Mis en forme : Police : 12 pt, Non Gras, Police de script complexe : 12 pt, Non Gras

Mis en forme : Police : (Par défaut) + Titres CS (Times New Roman), 12 pt, Police de script complexe : + Titres CS (Times New Roman), 12 pt

Mis en forme : Police : Gras, Police de script complexe : Gras

Mis en forme : Police : Non Gras, Police de script complexe : Non Gras

Mis en forme : Police : 14 pt, Non Gras, Police de script complexe : 14 pt, Non Gras

Mis en forme : Justifié, Espace Après : 6 pt, Interligne : 1,5 ligne, Taquets de tabulation : 6,33 cm, Gauche

Mis en forme : Police de script complexe : Non Gras

Mis en forme : Justifié

Mis en forme : Police : 14 pt, Gras, Police de script complexe : 14 pt, Gras

Mis en forme : Police : 12 pt, Gras, Police de script complexe : 12 pt, Gras

Mis en forme : Police : Gras, Police de script complexe : Gras

Mis en forme : Police : Gras, Police de script complexe : Gras, Français (France)

Mis en forme : Français (France)

Mis en forme : Police : Gras, Police de script complexe : Gras

Mis en forme : Police : (Par défaut) + Titres CS (Times New Roman), Police de script complexe : + Titres CS (Times New Roman)

Chapitre I Caractérisation, résistivité et méthode de mesure

Le courant est appliqué entre deux points consécutifs et la tension

- Mis en forme : Police : (Par défaut) + Titres (Cambria), 16 pt, Police de script complexe : + Titres CS (Times New Roman), 16 pt
- Mis en forme : Bordure : Bas: (Épais-fin peu espacés, Accent 2, 3 pt Épaisseur du trait, Par rapport au texte : 10 pt Espacement des bordures :)
- Mis en forme : Police : (Par défaut) + Titres CS (Times New Roman), Police de script complexe : + Titres CS (Times New Roman), Indice
- Mis en forme : Police : (Par défaut) + Titres CS (Times New Roman), Police de script complexe : + Titres CS (Times New Roman)
- Commentaire [MDZ7]: ???completer la phrase
- Mis en forme : Police : (Par défaut) + Titres CS (Times New Roman), Police de script complexe : + Titres CS (Times New Roman)
- Mis en forme : Police : (Par défaut) + Titres CS (Times New Roman), Police de script complexe : + Titres CS (Times New Roman)

Notion de résistance carrée

Le développement des semi-conducteurs a donné une grande importance aux techniques applicables aux couches minces. Les mesures de résistivité occupent une place très importante parmi les méthodes de caractérisation dans cette technologie bien que, dans un semi-conducteur, la résistivité ne soit pas un paramètre idéal puisqu'elle dépend à la fois de deux grandeurs: la concentration des porteurs et leur mobilité.

- Mis en forme : Police : (Par défaut) + Titres CS (Times New Roman), 14 pt, Police de script complexe : + Titres CS (Times New Roman), 14 pt, Gras, Non Italique
- Mis en forme : Police : (Par défaut) + Titres CS (Times New Roman), Police de script complexe : + Titres CS (Times New Roman)

La résistivité ρ est en effet donnée par la formule:

$$\rho = \frac{1}{q \cdot n \cdot \mu_n} \quad \text{Pour un matériau de type N} \quad (2)$$

- Mis en forme : Police : (Par défaut) + Titres CS (Times New Roman), Gras, Police de script complexe : + Titres CS (Times New Roman), Gras

an matériau de type p

$$\rho = \frac{1}{q \cdot p \cdot \mu_p} \quad \text{Pour un matériau de type P} \quad (3)$$

- Mis en forme : Police : (Par défaut) + Titres CS (Times New Roman), Police de script complexe : + Titres CS (Times New Roman)

$$(q \cdot p \cdot \mu_p)$$

- Mis en forme
- Mis en forme
- Mis en forme

Avec q: charge d'un porteur ($q = e$)

n et p: densités des porteurs.

- Mis en forme : Gauche
- Mis en forme
- Mis en forme
- Mis en forme

La valeur de la résistance, fonction de la résistivité du matériau et de ses dimensions géométriques, est donnée par:

$$R_{AB} = \rho \cdot \frac{L}{S} \quad (4)$$

ρ : résistivité du matériau.

- Mis en forme : Justifié, Retrait : Avant : 0,63 cm

- Mis en forme
- Mis en forme
- Mis en forme
- Mis en forme

Chapitre I Caractérisation, résistivité et méthode de mesure

L : longueur

D : profondeur

S : w. D : surface de la section transversale

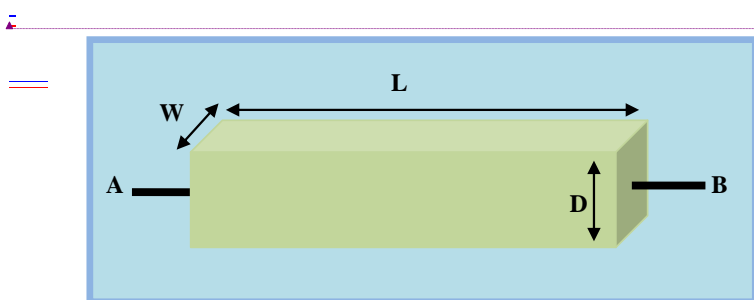


Figure : I. 2 : Paramètre géométrique d'une résistance

Si $W=L$:

$$R_{AB} = \frac{\rho}{D} = R_{\square}$$

R_{\square} est la résistance de couche ou résistance par carré, c'est la résistance offerte par un carré qui ne dépend que de la résistivité de l'épaisseur de couche. Son unité est ohms par carré, Ω / \square .

Méthode des quatre pointes alignées

Ces méthodes utilisables pour un lingot, une couche déposée sur un substrat isolant ou isolée par une jonction sont très bien adaptées à l'étude des semi-conducteurs et des métaux ne présentant pas de caractéristiques extrêmes.

Nous considérerons seulement deux cas :

1° Le cas d'un échantillon semi défini ; c'est une mesure sur lingot;

2° Le cas d'un échantillon bidimensionnel (l'épaisseur W est petite devant la distance entre les pointes): c'est une mesure sur couche mince ;

Nous considérons de plus dans ce cas que le diamètre de contact entre chaque pointe et l'échantillon est petit devant la distances (e) entre deux pointes et que la vitesse de

Mis en forme : Police : (Par défaut) + Titres (Cambria), 16 pt, Police de script complexe : + Titres CS (Times New Roman), 16 pt

Mis en forme : Bordure : Bas: (Épais-fin peu espacés, Accent 2, 3 pt Épaisseur du trait, Par rapport au texte : 10 pt Espacement des bordures :)

Mis en forme : Police : (Par défaut) + Titres CS (Times New Roman), Police de script complexe : + Titres CS (Times New Roman)

Mis en forme : Justifié, Retrait : Avant : 0,63 cm, Taquets de tabulation : Pas à 16 cm

Mis en forme : Justifié, Retrait : Avant : 0,63 cm

Mis en forme : Justifié, Retrait : Avant : 0,63 cm, Taquets de tabulation : Pas à 6,13 cm

Mis en forme : Justifié, Retrait : Avant : 0,63 cm

Mis en forme : Justifié, Retrait : Avant : 0,63 cm, Taquets de tabulation : Pas à 1,25 cm + 2,5 cm + 3,75 cm + 4,78 cm

Mis en forme : Police : (Par défaut) + Titres CS (Times New Roman), Police de script complexe : + Titres CS (Times New Roman)

Mis en forme : Police : (Par défaut) + Titres CS (Times New Roman), Police de script complexe : + Titres CS (Times New Roman)

Code de champ modifié

Mis en forme : Police : (Par défaut) + Titres CS (Times New Roman), Police de script complexe : + Titres CS (Times New Roman)

Mis en forme : Justifié, Retrait : Avant : 0,63 cm, Taquets de tabulation : Pas à 2,54 cm

Mis en forme

Mis en forme

Mis en forme

Mis en forme

Mis en forme

Mis en forme

Mis en forme

Mis en forme

Mis en forme : Justifié, Retrait : Avant : 0,63 cm, Première ligne : 0 cm

Mis en forme

Commentaire [MDZ8]: Semi-infini?

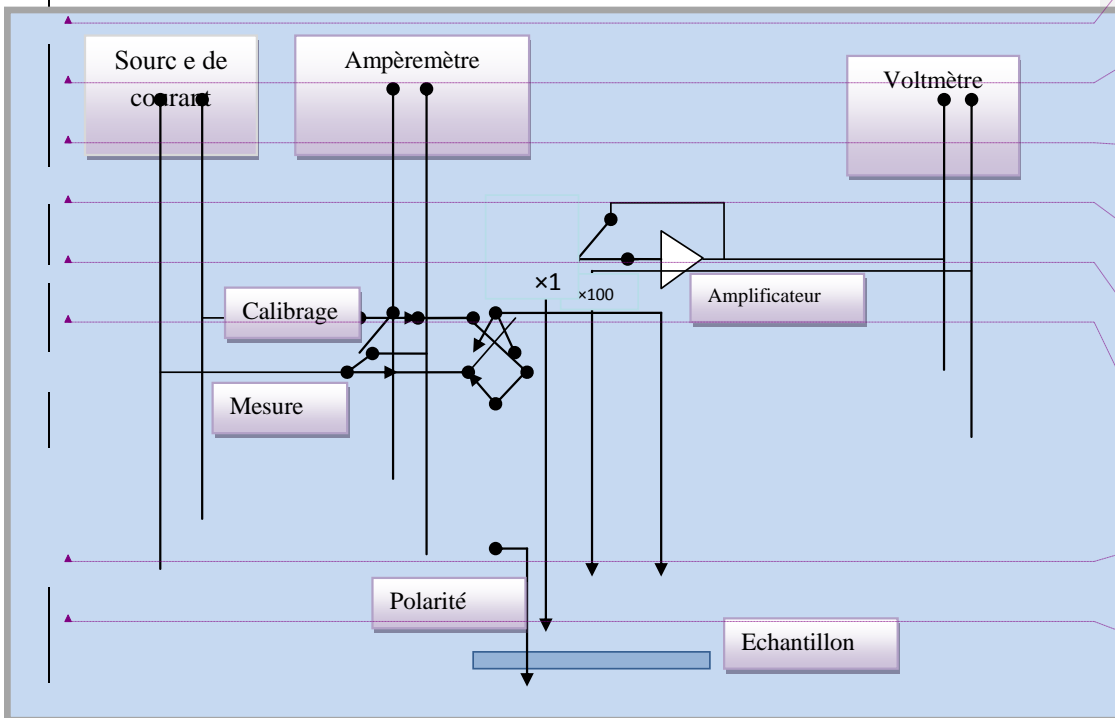
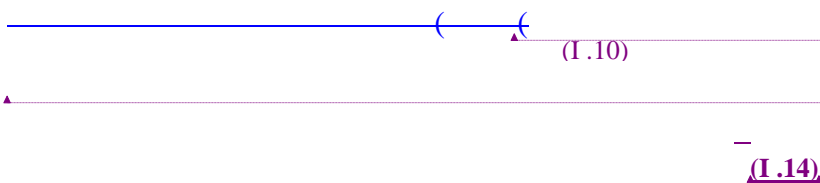
Mis en forme

Mis en forme

Chapitre I Caractérisation, résistivité et méthode de mesure

recombinaison à l'interface pointe-échantillon est élevée et ne perturbe pas la conductivité du matériau.

La méthode des quatre pointes alignés et équidistants a été étudiée et élaborée par plusieurs auteurs [1]. Quatre pointes métalliques sont alignées sur la surface de l'échantillon. On mesure la différence de potentiel V induite entre deux pointes lors du passage du courant I entre les deux autres. Le dispositif de mesure comprend donc une cellule à quatre pointes de contact électrique, un générateur très stable, un ampèremètre et un voltmètre électronique comme le montre la figure I-3. Le générateur alimente en courant les deux pointes (électrodes) extérieures, et le voltmètre mesure la tension générée entre les deux pointes médianes (électrodes) par le courant traversant l'échantillon.



Mis en forme : Bordure : Bas: (Épais-fin peu espacés, Accent 2, 3 pt Épaisseur du trait, Par rapport au texte : 10 pt Espacement des bordures :)

Mis en forme : Police : (Par défaut) +Titres (Cambria), 16 pt, Police de script complexe : +Titres CS (Times New Roman), 16 pt

Mis en forme : Justifié, Retrait : Avant : 0,63 cm

Mis en forme : Police : (Par défaut) +Titres CS (Times New Roman), Police de script complexe : +Titres CS (Times New Roman), (Complexe) Arabe (Arabie saoudite)

Mis en forme : Police : (Par défaut) +Titres CS (Times New Roman), Police de script complexe : +Titres CS (Times New Roman)

Mis en forme : Français (France)

Mis en forme : Police : (Par défaut) +Titres CS (Times New Roman), 16 pt, Gras, Police de script complexe : +Titres CS (Times New Roman), 16 pt, Gras

Mis en forme : Police : (Par défaut) +Titres CS (Times New Roman), Police de script complexe : +Titres CS (Times New Roman)

Mis en forme : Police : Gras, Police de script complexe : Gras

Mis en forme : Police : 12 pt, Gras, Police de script complexe : 12 pt, Gras

Mis en forme : Police : (Par défaut) +Titres CS (Times New Roman), Police de script complexe : +Titres CS (Times New Roman)

Mis en forme : Police : (Par défaut) +Titres CS (Times New Roman), Police de script complexe : +Titres CS (Times New Roman)

Mis en forme : Police : (Par défaut) +Titres CS (Times New Roman), Police de script complexe : +Titres CS (Times New Roman)

Mis en forme : Police : (Par défaut) +Titres CS (Times New Roman), Police de script complexe : +Titres CS (Times New Roman)

Mis en forme : Police : (Par défaut) +Titres CS (Times New Roman), Police de script complexe : +Titres CS (Times New Roman)

Mis en forme : Police : (Par défaut) +Titres CS (Times New Roman), Police de script complexe : +Titres CS (Times New Roman)

Mis en forme : Police : (Par défaut) +Titres CS (Times New Roman), Police de script complexe : +Titres CS (Times New Roman)

Mis en forme ...

Chapitre I Caractérisation, résistivité et méthode de mesure

Mis en forme : Police : (Par défaut) + Titres (Cambria), 16 pt, Police de script complexe : + Titres CS (Times New Roman), 16 pt

Mis en forme : Bordure : Bas: (Épais-fin peu espacés, Accent 2, 3 pt Épaisseur du trait, Par rapport au texte : 10 pt Espacement des bordures :)

Mis en forme : Police : (Par défaut) + Titres CS (Times New Roman), Police de script complexe : + Titres CS (Times New Roman)

Mis en forme : Police : (Par défaut) + Titres CS (Times New Roman), Police de script complexe : + Titres CS (Times New Roman)

Mis en forme : Justifier en bas

Figure I-3: Détermination de résistivité par la méthode des pointes alignées

Cette technique est largement utilisée dans l'industrie des semi-conducteurs pour mesurer la résistivité superficielle des semi-conducteurs, ainsi que pour mesurer la conductivité des métaux [1].

La méthode des quatre pointes carrées

La méthode van Der Pauw est utilisée dans le cas où l'échantillon forme quelque

L'échantillon doit être d'épaisseur homogène et la surface de contact doit être faible vis-à-vis de la surface de l'échantillon

Un contact métallique est déposé aux quatre coins de l'échantillon, et impérativement

au bord ce dernier, Notons que ce dernier doit lui-même avoir la forme d'un carré, Un décorant est appliqué entre deux points consécutifs (112) et la tension :

Mis en forme : Police : (Par défaut) + Titres CS (Times New Roman), Gras, Police de script complexe : + Titres CS (Times New Roman)

Mis en forme : Police : (Par défaut) + Titres CS (Times New Roman), Police de script complexe : + Titres CS (Times New Roman)

Commentaire [MDZ9]: ???completer la phrase

Mis en forme : Police : (Par défaut) + Titres CS (Times New Roman), Police de script complexe : + Titres CS (Times New Roman)

Mis en forme : Police : (Par défaut) + Titres CS (Times New Roman), Police de script complexe : + Titres CS (Times New Roman)

Notion sur la résistance carrée

Le développement de semi-conducteurs a donné une grande importance aux techniques applicables aux couches minces. Les mesures de résistivité occupent une place très importante parmi les méthodes de caractérisation dans cette technologie bien que, dans un semi-conducteur, la résistivité ne soit pas un paramètre idéal puisqu'elle dépend à la fois de deux grandeurs : la concentration des porteurs et leur mobilité.

La résistivité ρ est en effet donnée par la formule :

$$\rho = \frac{1}{q \cdot n \cdot \mu_n} \text{ Pour un matériau de type N}$$

$$\rho = \frac{1}{q \cdot p \cdot \mu_p} \text{ Pour un matériau de type P}$$

$$\rho = \frac{1}{q \cdot p \cdot \mu_p} \text{ Pour un matériau de type P}$$

$$(q \cdot p \cdot \mu_p)$$

Avec charge d'un porteur ($= e$) n et densités de porteurs.

Mis en forme : Police : (Par défaut) + Titres CS (Times New Roman), Police de script complexe : + Titres CS (Times New Roman)

Mis en forme : Police : (Par défaut) + Titres CS (Times New Roman), Police de script complexe : + Titres CS (Times New Roman)

Mis en forme : Police : (Par défaut) + Titres CS (Times New Roman), Police de script complexe : + Titres CS (Times New Roman)

Chapitre I Caractérisation, résistivité et méthode de mesure

La valeur de la résistance, fonction de la résistivité du matériau et de ses dimensions géométriques, est donnée par :

$$R_{AB} = \rho \cdot \frac{L}{S}$$

ρ : résistivité du matériau.

L : longueur.

D : profondeur.

S : w. D : surface de la section transversale.

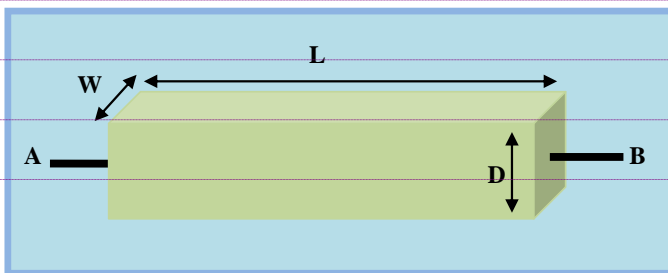


Figure : I. 7 : Paramètre géométrique d'une résistance

Si $W = D$:

$$R_{AB} = \frac{\rho}{D} = R \quad \square$$

Mis en forme : Police : (Par défaut) + Titres (Cambria), 16 pt, Police de script complexe : + Titres CS (Times New Roman), 16 pt

Mis en forme : Bordure : Bas: (Épais-fin peu espacés, Accent 2, 3 pt Épaisseur du trait, Par rapport au texte : 10 pt Espacement des bordures :)

Mis en forme : Police : (Par défaut) + Titres CS (Times New Roman), Police de script complexe : + Titres CS (Times New Roman)

Mis en forme : Police : (Par défaut) + Titres CS (Times New Roman), Police de script complexe : + Titres CS (Times New Roman)

Mis en forme : Police : (Par défaut) + Titres CS (Times New Roman), Police de script complexe : + Titres CS (Times New Roman)

Mis en forme : Police : (Par défaut) + Titres CS (Times New Roman), Police de script complexe : + Titres CS (Times New Roman)

Mis en forme : Police : (Par défaut) + Titres CS (Times New Roman), Police de script complexe : + Titres CS (Times New Roman)

Mis en forme : Police : (Par défaut) + Titres CS (Times New Roman), Police de script complexe : + Titres CS (Times New Roman)

Mis en forme : Police : (Par défaut) + Titres CS (Times New Roman), Police de script complexe : + Titres CS (Times New Roman)

Mis en forme : Police : (Par défaut) + Titres CS (Times New Roman), Police de script complexe : + Titres CS (Times New Roman)

Mis en forme : Police : (Par défaut) + Titres CS (Times New Roman), Police de script complexe : + Titres CS (Times New Roman)

Mis en forme : Police : (Par défaut) + Titres CS (Times New Roman), Police de script complexe : + Titres CS (Times New Roman)

Mis en forme : Police : (Par défaut) + Titres CS (Times New Roman), Police de script complexe : + Titres CS (Times New Roman)

Chapitre I Caractérisation, résistivité et méthode de mesure

R est la résistance de couche ou résistance par carré, c'est la résistance offerte par un carré qui ne dépend que de la résistivité de l'épaisseur de couche. Son unité est ohms par carré, Ω/\square .

Mesure de la résistivité par méthode des pointes

Elles offrent la particularité de permettre la détermination directe de la résistivité électrique de l'échantillon sans passer par la mesure de sa résistance. Ces méthodes utilisent des contacts ponctuels disposés à la surface de l'échantillon, contacts généralement réalisés par des pointes métalliques qui ont donné le nom à ces méthodes. Celles-ci utilisent un système à deux

pointes, trois pointes, quatre pointes alignées ou disposées en carré sur la surface de l'échantillon. On s'intéresse seulement à la méthode des quatre pointes.

Deux pointes servent d'amenée de courant I , les deux autres servent de prise de potentiel V .

On mesure le rapport $\frac{\Delta V}{I}$. Ce rapport peut être relié à la résistivité du matériau de l'échantillon, la relation dépendra de forme, des dimensions de l'échantillon, de la disposition et la géométrie des pointes.

Mis en forme : Bordure : Bas: (Épais-fin peu espacés, Accent 2, 3 pt Épaisseur du trait, Par rapport au texte : 10 pt Espacement des bordures :)

Mis en forme : Police : (Par défaut) +Titres (Cambria), 16 pt, Police de script complexe : +Titres CS (Times New Roman), 16 pt

Mis en forme : Police : (Par défaut) +Titres CS (Times New Roman), Police de script complexe : +Titres CS (Times New Roman)

Mis en forme : Police : (Par défaut) +Titres CS (Times New Roman), Police de script complexe : +Titres CS (Times New Roman)

Mis en forme : Police : (Par défaut) +Titres CS (Times New Roman), Police de script complexe : +Titres CS (Times New Roman)

Mis en forme : Police : (Par défaut) +Titres CS (Times New Roman), Police de script complexe : +Titres CS (Times New Roman)

Mis en forme : Police : (Par défaut) +Titres CS (Times New Roman), Police de script complexe : +Titres CS (Times New Roman)

Mis en forme : Police : (Par défaut) +Titres CS (Times New Roman), Police de script complexe : +Titres CS (Times New Roman)

Mis en forme : Police : (Par défaut) +Titres CS (Times New Roman), Police de script complexe : +Titres CS (Times New Roman)

Mis en forme : Police : (Par défaut) +Titres CS (Times New Roman), Police de script complexe : +Titres CS (Times New Roman)

Mis en forme : Police : (Par défaut) +Titres CS (Times New Roman), Police de script complexe : +Titres CS (Times New Roman)

Mis en forme

Mis en forme

Mis en forme : Gauche

Mis en forme

Mis en forme

Mis en forme

Mis en forme : Centré

Mis en forme

Mis en forme

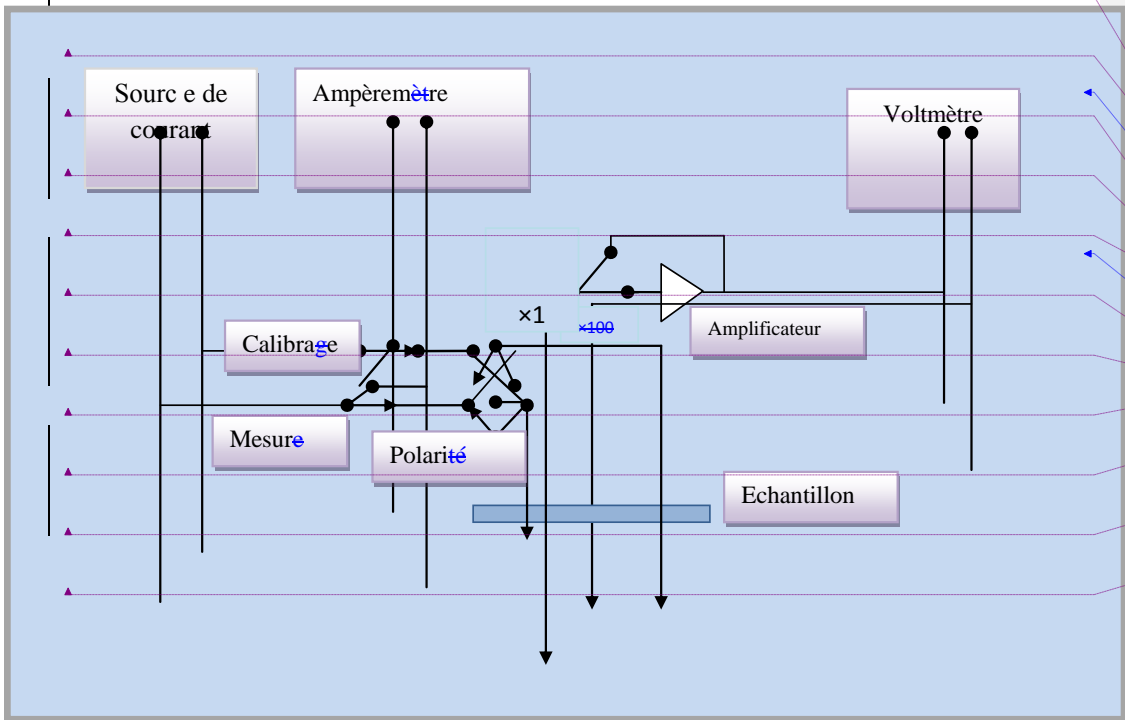
Mis en forme

Mis en forme

Mis en forme

Mis en forme

Mis en forme



Chapitre I Caractérisation, résistivité et méthode de mesure

Mis en forme : Police : (Par défaut) + Titres (Cambria), 16 pt, Police de script complexe : + Titres CS (Times New Roman), 16 pt

Mis en forme : Bordure : Bas: (Épais-fin peu espacés, Accent 2, 3 pt Épaisseur du trait, Par rapport au texte : 10 pt Espacement des bordures :)

~~Ces méthodes sont utilisables pour un lingot, une couche déposée sur un substrat isolant ou isolée par une jonction sont très bien adaptées à l'étude des semi-conducteurs et des métaux ne présentant pas de caractéristiques extrêmes.~~

~~Nous considérerons seulement deux cas :~~

~~1° Le cas d'un échantillon **semi défini** : c'est d'une mesure sur lingot ;~~

~~2° Le cas d'un échantillon bidimensionnel (l'épaisseur W est petite devant la distance entre les pointes) : c'est d'une mesure sur mince ;~~

~~Nous considérons de plus dans ce que le diamètre de contact entre chaque pointe et l'échantillon est petit devant la distance (e) entre deux pointes et que la vitesse de recombinaison à l'interface pointe échantillon est élevée et ne perturbe pas la conductivité du matériau.~~

Commentaire [MDZ10]: Semi-infini?

Mis en forme : Police : (Par défaut) + Titres CS (Times New Roman), Police de script complexe : + Titres CS (Times New Roman)

Mis en forme : Police : (Par défaut) + Titres CS (Times New Roman), Police de script complexe : + Titres CS (Times New Roman)

Méthode des quatre pointes alignées

~~La méthode des quatre pointes alignés et équidistants a été étudiée et élaborée par plusieurs auteurs.~~

~~Quatre pointes métalliques sont alignées sur la surface de l'échantillon. On mesure la différence de potentiel V induite entre deux pointes lors du passage du courant I entre les deux autres. Le dispositif de mesure comprend donc une cellule à quatre pointes de contact électrique, un générateur très stable, un ampèremètre et un voltmètre électronique comme le montre la figure~~

~~Le générateur alimente en courant les deux pointes (électrodes) extérieures, et le voltmètre mesure la tension générée entre les deux pointes médianes (électrodes) par le courant traversant l'échantillon.~~

Mis en forme : Police : (Par défaut) + Titres CS (Times New Roman), Police de script complexe : + Titres CS (Times New Roman)

Mis en forme : Police : (Par défaut) + Titres CS (Times New Roman), Police de script complexe : + Titres CS (Times New Roman)

1°) Cas d'un échantillon de grandes dimensions (lingot)

Chapitre I Caractérisation, résistivité et méthode de mesure

Mis en forme : Bordure : Bas: (Épais-fin peu espacés, Accent 2, 3 pt Épaisseur du trait, Par rapport au texte : 10 pt Espacement des bordures :)

Mis en forme : Police :(Par défaut) +Titres (Cambria), 16 pt, Police de script complexe :+Titres CS (Times New Roman), 16 pt

Mis en forme : Police :(Par défaut) +Titres CS (Times New Roman), Police de script complexe :+Titres CS (Times New Roman)

Mis en forme : Police :(Par défaut) +Titres CS (Times New Roman), Police de script complexe :+Titres CS (Times New Roman)

Mis en forme : Justifier en bas, Taquets de tabulation : 2,54 cm,Gauche

Mis en forme : Justifier en bas

Mis en forme : Justifier en bas

(I.19)

(I.16)

Mis en forme : Police :12 pt, Non Gras, Non Italique, Police de script complexe :12 pt, Non Gras, Italique

Mis en forme : Police :12 pt, Non Gras, Non Italique, Police de script complexe :12 pt, Non Gras, Italique

Mis en forme : Police :(Par défaut) +Titres CS (Times New Roman), Police de script complexe :+Titres CS (Times New Roman), Italique

Mis en forme : Police :Gras, Police de script complexe :Gras

Mis en forme : Police :Gras, Police de script complexe :Gras

Mis en forme : Police :(Par défaut) +Titres CS (Times New Roman), Police de script complexe :+Titres CS (Times New Roman)

Mis en forme : Justifier en bas

Mis en forme : Police :(Par défaut) +Titres CS (Times New Roman), Police de script complexe :+Titres CS (Times New Roman)

Mis en forme

Mis en forme

Mis en forme

Mis en forme

Mis en forme : Justifié

Mis en forme : Justifié, Espace Après : 6 pt, Interligne : 1,5 ligne

Mis en forme : Justifié

Mis en forme : Police :Gras, Police de script complexe :Gras

Mis en forme

Mis en forme

Mis en forme

On vient de voir qu'en théorie c'est une seule mesure à effectuer (VH), c'est à dire

Appliquer un courant entre deux contacts opposés sur la diagonale et mesurer la tension sur l'autre diagonale avec l'application d'un champ magnétique, mais en pratique on effectue douze mesures, en modifiant la configuration et en inversant le sens du champ magnétique et le courant injecté, ceci afin de s'affranchir des tensions parasites et de minimiser les erreurs expérimentales. Ceci est d'autant plus indispensable que la tension Hall est souvent relativement faible.

I.5. Banc de mesure de la Résistivité à Quatre Pointes:

C'est une méthode de mesure rapide et très avantageuse pour la mesure

De la résistivité. Quatre pointes alignées et distantes du même espacement sont appliquées par simple pression sur l'échantillon à analyser.

L'appareil nous donne le courant I et la tension U. Ceci permet de s'affranchir des contacts, tant du point de vue de leur valeur que de leur nature (ohmique ou redresseur). Il n'est donc pas nécessaire de déposer des plots de contact ni de définir une géométrie précise. Connaissant l'épaisseur d on remonte ainsi à la résistivité qui sera déduite par une formule adéquate.

I.5.1. Instrumentation

a-Keithley 2182A

Chapitre I Caractérisation, résistivité et méthode de mesure

Le nanovoltmètre à deux voies modèles 2182A est optimisé pour réaliser des mesures de tension stables et à faible bruit résiduel, et pour caractériser de manière fiable et répétable des matériaux et des composants à faible résistance. Il fournit une vitesse de mesure plus élevée et des performances de bruit nettement meilleures que les solutions de mesure basse tension alternatives. Il offre un mode delta simplifié pour effectuer des mesures de résistance en combinaison avec une source de courant inversé [1].



Fig1.9Keithley2182A

Le nanovoltmètre à deux voies modèle 2182A permettant de couvrir la gamme de De tension 1 nV – 100 V (en source et en mesure de tension), et sa Sensibilité de 1 nV.

b-Keithley6220

La source de courant continu 6220 et la source de courant alternatif et continu 6221 associent la facilité d'utilisation à un bruit résiduel de courant exceptionnellement faible. Une source de courant faible est essentielle pour les applications dans les environnements de test allant de la R&D à la production, en particulier dans les industries des semi-conducteurs, des nanotechnologies et des supraconducteurs. Grâce à leur précision de source élevée et à leurs fonctions de contrôle intégrées, les modèles 6220 et 6221 sont parfaitement adaptés aux applications telles que les mesures Hall, les mesures de résistance utilisant le mode delta, les mesures de pulse et les mesures de conductance différentielle [1].

La source de courant continu 6220 permettant de couvrir la gamme de courant $\pm (100 \text{ fA} - 100 \text{ mA})$ (en source et en mesure de courant).

Mis en forme : Police : (Par défaut) + Titres (Cambria), 16 pt, Police de script complexe : + Titres CS (Times New Roman), 16 pt

Mis en forme : Bordure : Bas: (Épais-fin peu espacés, Accent 2, 3 pt Épaisseur du trait, Par rapport au texte : 10 pt Espacement des bordures :)

Mis en forme : Police : (Par défaut) + Titres CS (Times New Roman), Gras, Police de script complexe : + Titres CS (Times New Roman), Gras

Mis en forme : Police : (Par défaut) + Titres CS (Times New Roman), Police de script complexe : + Titres CS (Times New Roman)

Mis en forme : Police : (Par défaut) + Titres CS (Times New Roman), Police de script complexe : + Titres CS (Times New Roman)

Mis en forme : Police : (Par défaut) + Titres CS (Times New Roman), Gras, Police de script complexe : + Titres CS (Times New Roman), Gras

Mis en forme : Police : (Par défaut) + Titres CS (Times New Roman), Police de script complexe : + Titres CS (Times New Roman)

Mis en forme : Police : (Par défaut) + Titres CS (Times New Roman), Police de script complexe : + Titres CS (Times New Roman)

Mis en forme : Police : (Par défaut) + Titres CS (Times New Roman), 16 pt, Gras, Police de script complexe : + Titres CS (Times New Roman), 16 pt, Gras

Mis en forme : Police : (Par défaut) + Titres CS (Times New Roman), Police de script complexe : + Titres CS (Times New Roman)

Mis en forme : Police : (Par défaut) + Titres CS (Times New Roman), Gras, Police de script complexe : + Titres CS (Times New Roman), Gras

Mis en forme : Police : (Par défaut) + Titres CS (Times New Roman), Police de script complexe : + Titres CS (Times New Roman)

Mis en forme : Police : (Par défaut) + Titres CS (Times New Roman), Police de script complexe : + Titres CS (Times New Roman)

Chapitre I Caractérisation, résistivité et méthode de mesure

Parmi ses caractéristiques :

-Impédance de sortie de 10-14 Ω

-Mémoire source de 65 000 points

Conformité de la tension de sortie de 0,1 V à 105 V par échelons de 10 mV pour Évite les dommages potentiels aux composants susceptibles de subir une surtension.



Fig. I.10 Keithley 6220

e-Multiposition Wafer Probe (multipositions de plaquette Sound)

L'instrument comprend un métal de base recouvert d'une peinture en poudre blanche portant une colonne de Delrin supportant le tiroir vertical, l'élevateur d'arbre en fonctionnement et le micro commutateur. La glissière verticale porte la tête de la sonde, fixée par une vis de serrage. La tête de la sonde est tellement micro-switch qu'elle n'est pas sous tension, il n'est pas possible de prendre contact.

La table de plaquettes coulisse vers l'opérateur pour permettre à la plaquette d'être centralisée, après quoi la vanne de contrôle du vide peut être actionnée pour la maintenir en place. Les anneaux permettent de centrer différentes tailles. La sonde de plaquette multi position de 6" a des motifs circulaires sur la plaquette avec des diamètres de 25 mm, 50 mm, 75 mm, 100 mm et 125 mm. Le système de 8" a des cercles de 125 et 150 mm. Lorsque la table est poussée à la limite de sa course, une mesure peut être effectuée en son centre. Les positions radiales du

Mis en forme : Police : (Par défaut) +Titres (Cambria), 16 pt, Police de script complexe : +Titres CS (Times New Roman), 16 pt

Mis en forme : Bordure : Bas: (Épais-fin peu espacés, Accent 2, 3 pt Épaisseur du trait, Par rapport au texte : 10 pt Espacement des bordures :)

Mis en forme : Police : (Par défaut) +Titres CS (Times New Roman), Police de script complexe : +Titres CS (Times New Roman)

Mis en forme : Police : (Par défaut) +Titres CS (Times New Roman), Gras, Police de script complexe : +Titres CS (Times New Roman), Gras

Mis en forme : Police : (Par défaut) +Titres CS (Times New Roman), Police de script complexe : +Titres CS (Times New Roman)

Mis en forme : Police : (Par défaut) +Titres CS (Times New Roman), 16 pt, Police de script complexe : +Titres CS (Times New Roman), 16 pt

Mis en forme : Police : (Par défaut) +Titres CS (Times New Roman), Police de script complexe : +Titres CS (Times New Roman)

Mis en forme : Police : (Par défaut) +Titres CS (Times New Roman), 16 pt, Police de script complexe : +Titres CS (Times New Roman), 16 pt

Mis en forme : Police : (Par défaut) +Titres CS (Times New Roman), Police de script complexe : +Titres CS (Times New Roman)

Mis en forme : Justifié

Chapitre I Caractérisation, résistivité et méthode de mesure

four à angle droit sont désignées par une bille d'indexation à ressort dans la table rotative. La distance radiale de mesure est indiquée par un agencement similaire sur la plaque index à glissière linéaire. Paramètres indésirables. Ainsi, par exemple, on pourrait choisir de mesurer au centre et quatre points à un rayon de 50 mm.

Un blindage métallique mis à la terre protège la plaquette de la lumière et du bruit électrique pendant la mesure. Il est prévu que le bouclier se soulève lorsque la sonde est complètement chargée.

Parmi ces Caractéristiques principales :

Préréglé facilement pour mesurer la plaquette de une à neuf positions.

Capacité de plaquette de huit pouces sur le mandrin à vide — modèle six pouces disponible.

Sonde à levier avec fils de courant commutés pour empêcher les arcs.

Précision de repositionnement à ± 1 mm.

Glissières de précision nécessitant peu d'entretien.

Zone de mesure enveloppée pour éliminer les interférences lumineuses et électriques.

Comprend une tête de sonde cylindrique Jandel.

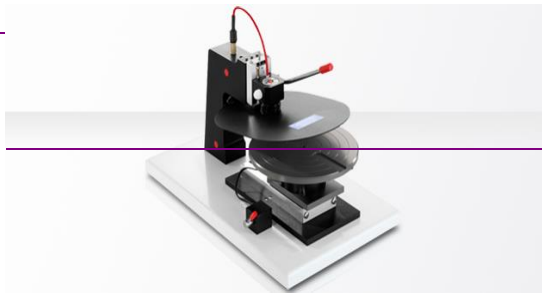
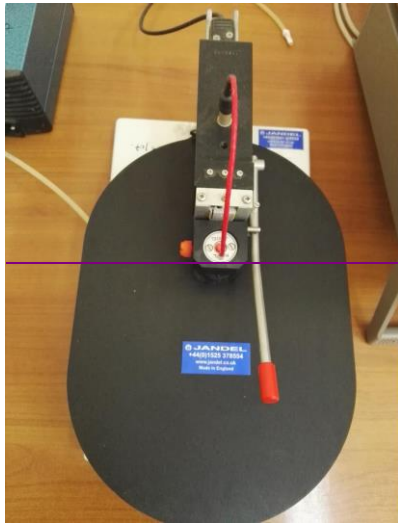


Fig. I.11 multiposition Wafer Probe (jandel)

Mis en forme : Police : (Par défaut) + Titres (Cambria), 16 pt, Police de script complexe : + Titres CS (Times New Roman), 16 pt

Mis en forme : Bordure : Bas: (Épais-fin peu espacés, Accent 2, 3 pt Épaisseur du trait, Par rapport au texte : 10 pt Espacement des bordures :)

Mis en forme : Justifié

Mis en forme : Police : (Par défaut) + Titres CS (Times New Roman), Police de script complexe : + Titres CS (Times New Roman)

Mis en forme : Français (France)

Mis en forme : Police : (Par défaut) + Titres CS (Times New Roman), Police de script complexe : + Titres CS (Times New Roman), Français (France)

Mis en forme : Police : (Par défaut) + Titres CS (Times New Roman), Gras, Police de script complexe : + Titres CS (Times New Roman), Gras, Français (France)

Mis en forme : Police : (Par défaut) + Titres CS (Times New Roman), Gras, Police de script complexe : + Titres CS (Times New Roman), Gras

Mis en forme : Français (France)

Mis en forme : Justifié, Espace Après : 6 pt, Interligne : 1,5 ligne, Taquets de tabulation : 6,33 cm, Gauche

Chapitre I Caractérisation, résistivité et méthode de mesure

~~5 La méthode des quatre pointes existe au niveau du laboratoire LEM de l'université de Jijel aussi bien pour les couches minces que massives. Ces dernières doivent être bonnes conductrices pour donner un signal exploitable par le banc de mesure. Les échantillons plus résistifs nécessitent une amplification de la tension mesurée. Le chapitre suivant décrit les solutions proposées pour optimiser les mesures.~~

Mis en forme : Police :(Par défaut) +Titres (Cambria), 16 pt, Police de script complexe :+Titres CS (Times New Roman), 16 pt

Mis en forme : Bordure : Bas: (Épais-fin peu espacés, Accent 2, 3 pt Épaisseur du trait, Par rapport au texte : 10 pt Espacement des bordures :)

Mis en forme : Français (France)

Mis en forme : Français (France)

Mis en forme : Police :11 pt, Police de script complexe :11 pt, Français (France)

Mis en forme : Français (France)

Mis en forme : Police :(Par défaut) +Titres CS (Times New Roman), Gras, Police de script complexe :+Titres CS (Times New Roman), Gras

Mis en forme : Justifié

Mis en forme : Police :(Par défaut) +Titres CS (Times New Roman), Police de script complexe :+Titres CS (Times New Roman)

Mis en forme : Justifier en bas

Mis en forme : Justifier en bas

Chapitre I Caractérisation, résistivité et méthode de mesure

Mis en forme : Bordure : Bas:
(Épais-fin peu espacés, Accent 2, 3 pt
Épaisseur du trait, Par rapport au texte
: 10 pt Espacement des bordures :)

Mis en forme : Police :(Par défaut)
+Titres (Cambria), 16 pt, Police de
script complexe :+Titres CS (Times
New Roman), 16 pt

II. Introduction

Dans ce chapitre nous nous de réaliser un banc de mesure de la conductivité par la méthode des quatre pointes en utilisant comme composant de base l'amplificateur opérationnel. Le dispositif existant au niveau du laboratoire LEM étant inadapté pour la mesure des faibles tensions, ce chapitre décrit les étapes suivies pour amplifier le signal de façon à pouvoir le mesurer par un simple milli-voltmètre. Les différents éléments du banc de mesure réalisé y seront présentés ainsi que les mesures-test.

II .1. Amplificateurs de tension

Un amplificateur de tension (Figure I.1) est une structure qui permet de multiplier une tension d'entrée V_E faible par un gain A_V et d'obtenir une tension V_S plus importante telle que:[15]

$$V_S = A_V \times V_E \quad (\text{II. 1})$$

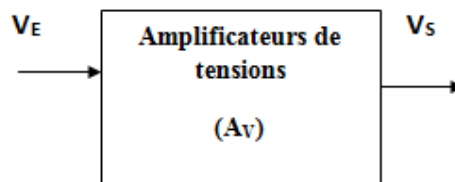


Figure II.1. Amplificateur de tension.

On peut citer plusieurs dispositifs répondant à cette propriété. Les transistors et amplificateurs opérationnels en font partie. C'est ce dernier que l'on choisit d'utiliser. Il est lui-même constitué – entre autres – de plusieurs transistors.

II.2. Montages à amplificateurs opérationnels

Les amplificateurs opérationnels entrent dans l'élaboration de montages qui vont permettre d'amplifier un signal d'entrée. Pour ce faire, on fait en sorte de se placer en régime linéaire. L'amplificateur opérationnel est un composant électronique constitué de deux pattes qui servent à l'alimentation électrique du dispositif par un générateur délivrant deux tensions continues. Le système comporte deux entrées $e +$ et $e -$ et une sortie S [15].

II.2.1. Montage inverseur

Dans ce type de montage, il y a un rebouclage de l'entrée - sur la sortie (Figure II.2). Ceci assure un fonctionnement en mode linéaire. La contre réaction sur l'entrée inverseuse par l'intermédiaire de R_2 donne une tension de sortie inversée. Cette dernière est exprimée par [15]:

$$V_S = -\frac{R_2}{R_1} \times V_E \quad (\text{II. 2})$$

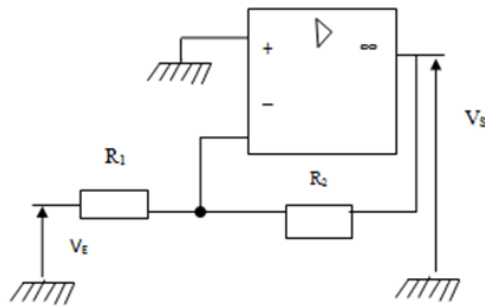


Figure II.2: Amplificateur inverseur.

II.2.2. Montage non inverseur

Le montage non inverseur est très similaire à l'inverseur (Figure II.3). Cette fois-ci, les signaux sont par contre en phase. La tension de sortie est du même signe que celle de V_E car la tension d'entrée est connectée sur l'entrée +. On est toujours en régime linéaire grâce à la contre réaction. La tension de sortie est exprimée par:

$$V_S = (1 + R_1/R_2) \times V_E \quad (\text{II. 3})$$

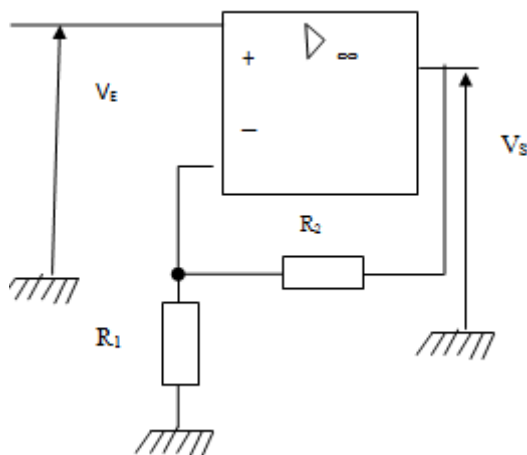


Figure II.3: Amplificateur non inverseur.

II.3. Conception d'un amplificateur de tension- Critères de choix

Les amplificateurs sont très utilisés dans les chaînes d'acquisitions de grandeurs physiques afin d'amplifier les tensions fournies par les capteurs ce qui permet d'obtenir une plus grande précision. La limite de fonctionnement des amplificateurs dépend des tensions de saturations de l'amplificateur. On peut définir la variation maximale de la tension d'entrée par:

$$\Delta V_{EMAX} = \frac{V_{SAT+} - V_{SAT-}}{|AV|} \quad (\text{II. 4})$$

La conception d'un amplificateur de tension dépend de l'application qui en est faite et passe par:

- La définition du cahier des charges de l'amplificateur (valeur de A_V , choix du type d'amplificateur : inverseur ou non inverseur);
- Le calcul des éléments résistifs de l'amplificateur choisi;
- Le choix du type d'amplificateur (notamment en choisissant un amplificateur linéaire dont la tension d'entrée de décalage (d'offset) devra être très inférieure à la tension minimale d'entrée);
- La mise en œuvre du montage [16].

II.3.1. Choix de l'amplificateur LM324 - Description générale

Le LM324 est un circuit intégré à 14 pattes, composé de quatre amplificateurs opérationnels indépendants (Amplis op) (Figure II.4). C'est un amplificateur permettant des gains en tension élevés, ayant une entrée différentielle et, généralement, une seule sortie. La tension de sortie est de plusieurs fois supérieure à la différence de tension entre les bornes d'entrée d'un ampli-op. Les amplis-op du LM324 utilisent une seule alimentation et la nécessité d'une double alimentation est éliminée. Ils peuvent être utilisés comme des amplificateurs, des comparateurs, des oscillateurs, redresseurs etc [16].

II.3.1.1. Caractéristiques

- Gain important en courant continu (100 dB).
- Large bande passante (1MHz).
- Importante plage de tension d'alimentation:
 - Alimentation unique 3 V à 30 V

- Alimentation double $-/+1.5\text{ V}$ à $-/+15\text{ V}$
- Courant d'alimentation très faible (800 mA) totalement indépendant de la tension d'alimentation (1 mw/Ampli à 5 V).
- Faible tension de décalage d'entrée 2 mV cc et faible courant de décalage d'entrée 5 nA cc.
- Plage des tensions d'entrée différentielles égale à la tension d'alimentation.

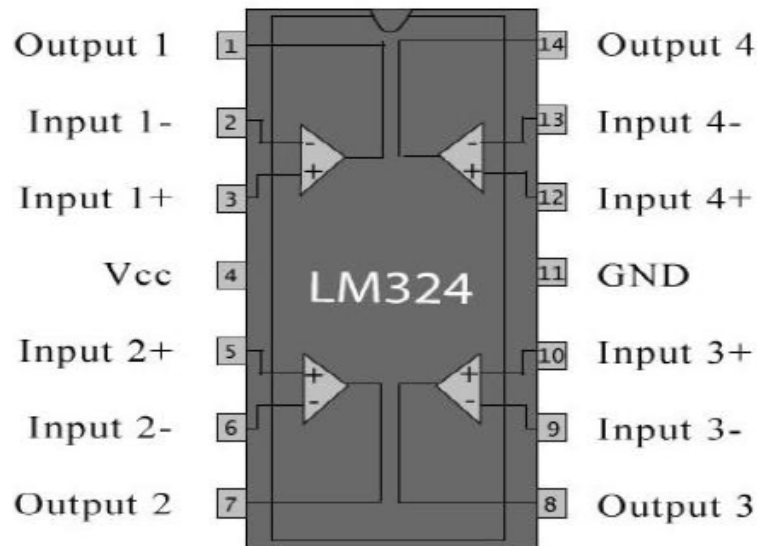


Figure II.4: Brochage du LM324.

II.3.1.2. Avantages

- Élimine la nécessité d'une alimentation double.
- Quatre amplificateurs opérationnels à compensation interne dans un seul boîtier.
- Compatible avec toutes les formes de logique.
- Permet l'utilisation de batteries ou de piles [16].

II.4 Réalisation du circuit d'amplification

Le circuit d'amplification est construit autour du LM324 composé de quatre amplificateurs opérationnels indépendants. Chaque amplificateur est relié à deux résistances de $1\text{ M}\Omega$ et $10\text{ k}\Omega$ pour obtenir un gain de 100 (Figure II.5). La sortie de chaque amplificateur est connectée à l'entrée de l'amplificateur suivant pour obtenir un gain composite des quatre ampli-op de sorte que la sortie de chaque ampli-op puisse être assimilée à un calibre de tension deux ordres de grandeurs supérieur au précédent.

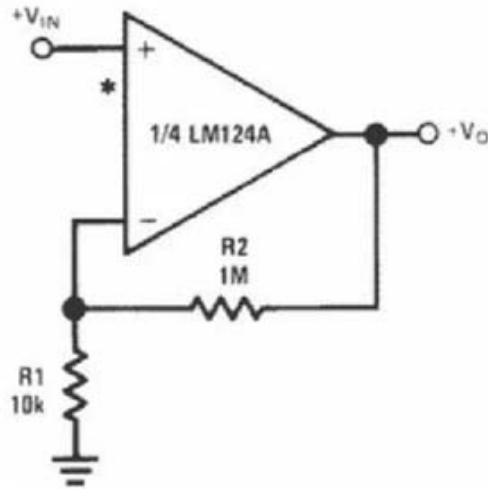


Figure II.5: Amplificateur non-inverseur avec $G = 100$.

II.4.1. Schéma électronique

A l'aide du logiciel Sprint-Layout 4 qui est un outil très simple d'utilisation conçu pour la création de circuits imprimés "simple" et "double face" et à partir de la figure II.5 on a conçu le schéma de la figure II.6. Le circuit contient les composants suivants:

- Trois résistances de $10\text{ k}\Omega$ notées R_1 .
- Trois résistances de $1\text{ M}\Omega$ notées R_2 .
- Un circuit intégré de type LM324.

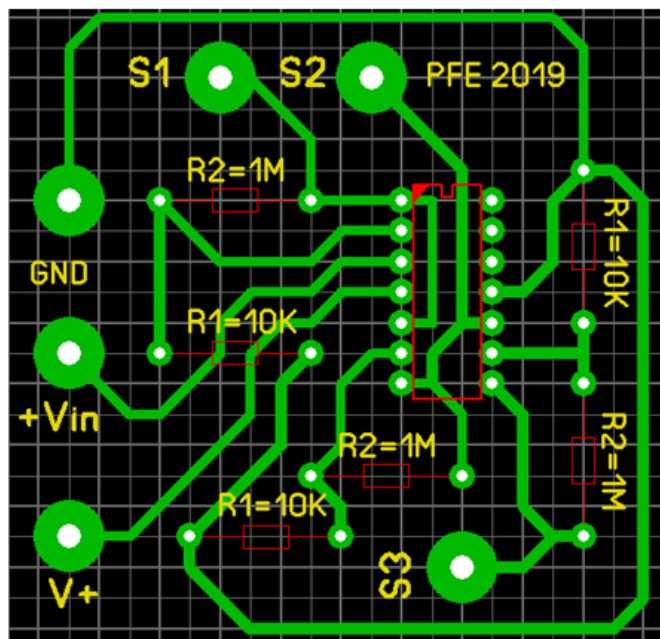


Figure II.6: Conception du circuit imprimé par Sprint-Layout 4.

II.4.2. Etapes de développement du circuit imprimé

Voici, en étapes, le mode opératoire suivi pour fabriquer le circuit imprimé en utilisant un typon:

Etape 1: Découpage à l'aide d'une cisaille, de la plaque époxy cuivrée aux dimensions du futur circuit imprimé.

Etape 2: Réalisation du typon avec une couleur sombre (noir, bleu) sur un calque transparent.

Etape 3: L'insolation: après enlèvement du scotch de protection, l'ensemble (carte+ typon) est introduit dans l'insoleuse pour une durée de 1 minute et 30 secondes.

Etape 4: Révélation: une fois la carte exposée au UV, elle sera placée dans une solution basique telle que $NaOH$ ou KOH , la durée ne dépassant pas les 5 secondes.

Etape 5: Rinçage, pour éliminer la couche de résine diluée par KOH , la carte est rincée à l'eau courante jusqu'à l'élimination de la résine non désirée.

Etape 6: Développement à l'acide: la carte est placée dans la développeuse emplie d'acide (perchlorure de fer) pour une durée de 10 mn.

Etape 7: Rinçage à l'eau courante pour éliminer l'acide sur les deux parties de la carte ainsi développée.

Etape 8: Perforation, à l'aide d'une mèche de diamètre (0.8 mm) de toutes les pastilles.

A la fin de ces étapes, et après soudage des composants, nous avons obtenu le circuit d'amplification illustré par la figure II.7.

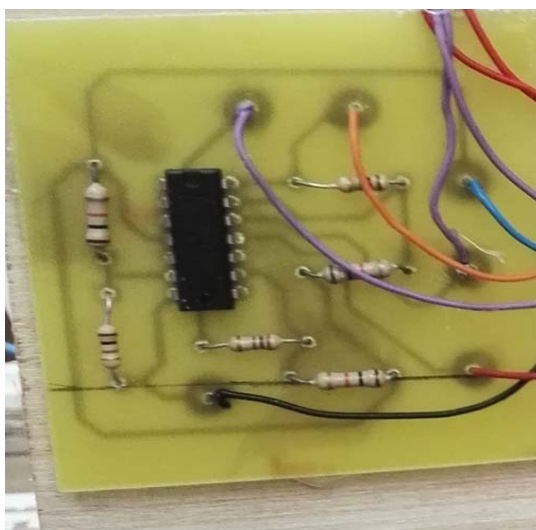


Figure II.7: Circuit d'amplification réalisé.

II. 5. Réalisation du dispositif des quatre pointes alignées

La figure II.8 représente un dispositif élémentaire existant au laboratoire LEM et utilisé pour la mesure de la résistivité par la technique des quatre pointes. Ce dispositif est constitué de quatre pointes métalliques reliées à des fils électriques assurant l'injection du courant et la collecte de la tension. Le mouvement vertical des pointes est contrôlé manuellement grâce à système vis-écrou. La fin de parcours est marquée par une rondelle. La position des pointes est mesurée par une règle fixée sur un support de bois et repérée par la rondelle, ce qui permet de reproduire les mesures après plusieurs manipulations. Dans le but d'optimiser la mesure de la résistivité d'échantillons massifs nous avons procédé à la modification des différents éléments constituant le montage en commençant par les quatre pointes.



Figure II.8: Ancien dispositif des quatre pointes alignées (LEM).

II.5.1. Réalisation des quatre pointes en argent

La figure II.9 représente quatre pointes métalliques réalisées chez un bijoutier, les machines du hall technologique ne pouvant accéder à des diamètres aussi fins que ceux des aiguilles. Les pointes ont un diamètre de 0.5 mm et sont séparées par une distance de 2 mm. Pour plus de sensibilité, le choix a été porté sur un métal noble tel que l'argent, un très bon conducteur relativement moins cher par rapport à l'or.



Figure II.9: Les quatre pointes en argent.

I.5.1.1. L'argent: Généralités et historique

L'argent est connu depuis l'Antiquité. On estime que son extraction a commencé aux environs de 3000 ans avant J.-C. en Anatolie, dans la Turquie actuelle.

- Symbole : Ag
- Numéro atomique : 47
- Électrons par niveau d'énergie : 2, 8, 18, 18, 1
- Masse atomique : 107.87 Uma
- Série : métaux de transition
- Point de fusion : 2162 °C
- Point d'ébullition : 2212 °C

I.5.1.2. Propriétés et utilisation de l'argent

Métal blanc brillant, l'argent est très ductile et malléable, un peu plus dur que l'or. Il possède la conductivité électrique la plus élevée parmi les métaux, meilleure encore que celle du cuivre. De plus, il reste conducteur même sous forme oxydée. C'est aussi le métal avec la plus importante conductivité thermique.

Les applications de l'argent sont très diverses. En orfèvrerie et en joaillerie, il sert de métal de recouvrement. C'est aussi un métal employé dans certaines pièces de monnaie. Sa conductivité électrique le prédestine au secteur électronique. La photosensibilité des sels d'argent était employée en photographie argentique. Dans le domaine musical, l'argent permet de fabriquer des instruments et les membranes des haut-parleurs. Les nanotechnologies emploient aussi l'argent, notamment pour les textiles [17].



Figure II.10: Cristal d'argent pur.

II.5.2. Carte Arduino

La carte Arduino est une plateforme utilisée pour réaliser des projets électroniques plus développés. Elle est composée d'un circuit physique programmable dit microcontrôleur et de logiciels utilisés pour créer et télécharger le code de l'ordinateur à la carte [18]. Elle permet de réaliser plusieurs projets tels que:

- Contrôler les appareils domestiques;
- Robotique;
- Jeu de lumière;
- Télécommander un appareil mobile;
- Etc...

Dans notre cas cette carte est utilisée pour contrôler le mouvement des pointes via un moteur pas à pas.

I.5.2.1. Description de la carte

Comme le montre la figure II.11, la carte utilisée contient les éléments suivants:

- Le microcontrôleur: considéré comme le cerveau de la carte.
- L'alimentation: C'est celle du microcontrôleur: 5 V régulée (port USB) ou 7 à 12 V provenant de l'alimentation externe.
- Visualisation: par des LED de taille millimétrique. Elles sont là pour tester le matériel branché au microcontrôleur. Les autres LED servent pour l'émission et réception lors du téléchargement de programmes dans le microcontrôleur [19].

I.5.2.2. Connectique

Les connecteurs sont:

0 à 13: Entrée/Sortie numérique;

A0 à A5: Entrée/Sortie Analogique;

GND: La masse (0 V);

5 V: Alimentation +5 V;

3.3 V: Alimentation + 3.3 V;

Vin: Alimentation non stabilisée.

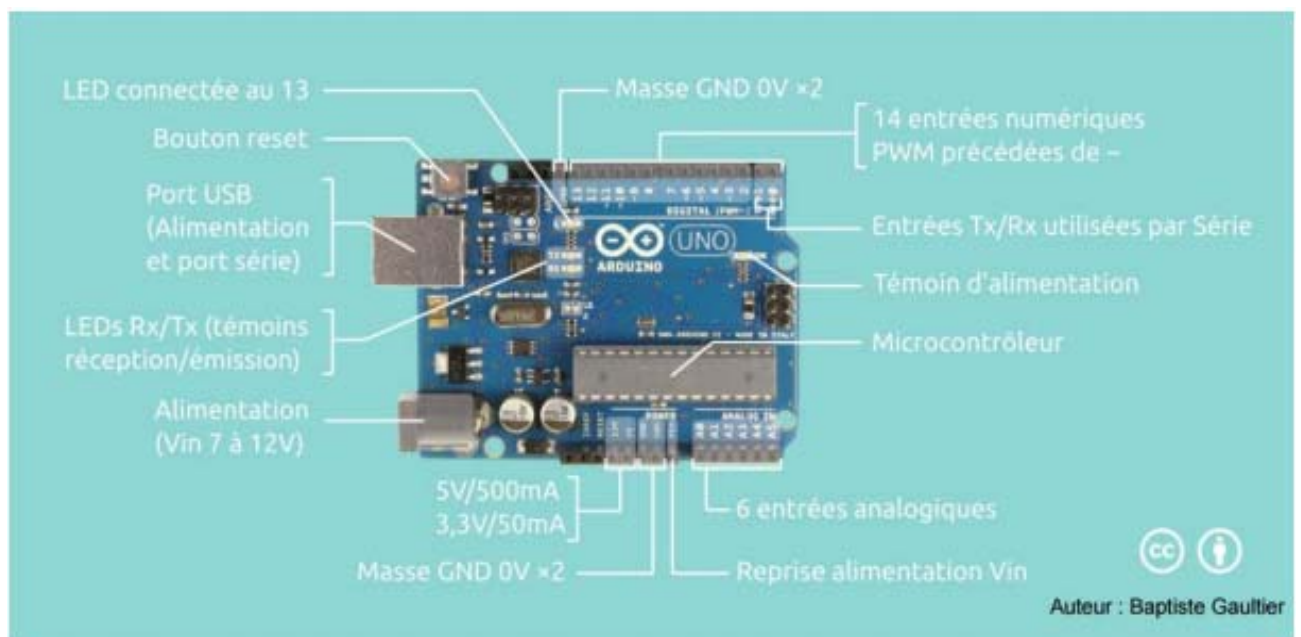


Figure II.11: Description de la carte Arduino Uno [19].

II.5.3. Moteur pas à pas

Les moteurs pas à pas sont des moteurs électriques d'une conception particulière, différentes des moteurs classiques. Leur structure permet, par une commande électronique appropriée, d'obtenir une rotation du rotor d'un angle égal à n fois un angle élémentaire appelé « pas » [10]. Il fut inventé en 1936 par Marius Lavet, un ingénieur français des Arts et Métiers, pour l'industrie horlogère [21]. Leur véritable développement est lié à l'avènement de la micro-informatique (microprocesseur). Le moteur pas à pas peut effectuer deux fonctions:

- Convertir l'information numérique en un positionnement angulaire.
- Convertir l'énergie électrique en énergie mécanique.



Figure II.13: Moteurs pas à pas.

La commande des moteurs pas à pas se fait par microcontrôleur. Dans notre cas nous allons commander les moteurs par une carte de prototypage Arduino. Le Shield L298 (Figure II.13) permet de commander deux moteurs à courant continu dans les deux sens de rotation avec variation de vitesse, la commande se fait grâce à un programme d' Arduino.



Figure II.13: Shield L298.

II.5.4. Dispositif final réalisé

La figure II.14 représente le dispositif réalisé pour la technique des quatre pointes. Nous avons utilisé des pointes en argent dont le mouvement vertical est assuré par un moteur pas à pas. Ce dispositif comprend un circuit d'amplification avec trois calibres permettant l'amplification des faibles tensions mesurées aux bornes des échantillons.

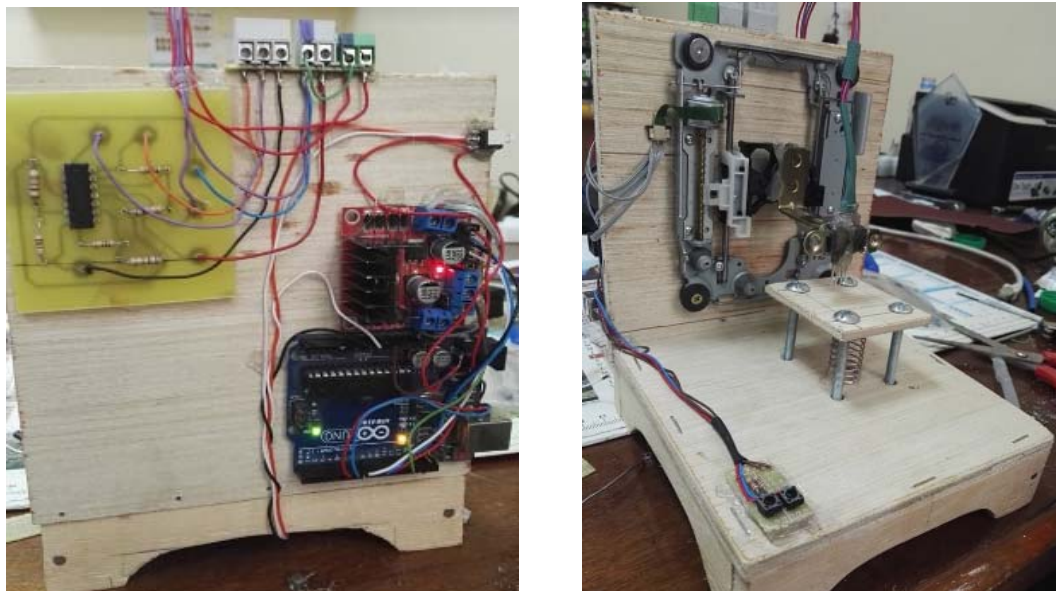
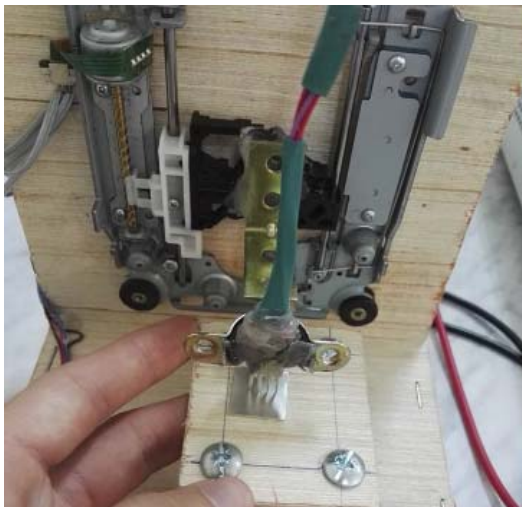


Figure II.14: Nouveau dispositif des quatre pointes.

II.6. Etalonnage et test du dispositif

La figure II.15 représente une mesure expérimentale sur un échantillon d'argent par la méthode des quatre pointes après une amplification avec un gain de 10^4 . Connaissant la conductivité de l'argent, cette mesure permet d'estimer les erreurs introduites par les différents éléments du dispositif (ampèremètre, voltmètre, résistances, fils électriques) en supposant que la résistance de contact entre les pointes et l'échantillon est très faible.



(a)



(b)

Figure II.15: Mesure expérimentale de la conductivité électrique par quatre pointes:

(a) Positionnement de l'échantillon et des pointes, (b) Mesure de la tension amplifiée.

En utilisant les équations du chapitre précédent, nous avons pu calculer la résistivité/conductivité de quelques métaux ainsi que les erreurs en comparant les résultats avec les valeurs de la littérature.

Les valeurs mesurées sont très écartées des valeurs théoriques connues pour ces métaux. Les erreurs calculées sont issues des différents éléments du dispositif (voltmètre, ampèremètre, résistances, fils de connexion et circuit d'amplification qui ne donne pas une amplification de gain parfait).

Notre dispositif est fonctionnel pour la mesure de la conductivité des métaux mais il reste non performant pour les semi-conducteurs. En effet, les différents tests sur des couches

minces de silicium ont été non concluants, probablement et à juste titre à cause de l'épaisseur très faible des couches par rapport au diamètre des pointes.

Type d'échantillon (métaux)	Courant d'alimentation I (A)	Tension mesurée V (μ v)	Conductivité électrique σ_{exp} (MS/m)	σ théorique σ_{th} (MS/m)	Erreur $(\sigma_{\text{exp}} - \sigma_{\text{th}}) / \sigma_{\text{th}}$
Argent	0.2	55.6	0.289	61.4 [22]	0.995
Aluminium	0.2	66.2	0.240	35.4 [22]	0.993
Laiton	0.2	74.5	0.213	-----	-----

Tableau II.1: Résultats expérimentaux obtenus par la méthode des quatre pointes pour quelques métaux.

Conclusion

D'après les mesures, on peut conclure que si le banc de mesure réalisé permet de calculer la conductivité des métaux avec une grande marge d'erreur, il reste inefficace pour les semi-conducteurs. En perspective on propose de réaliser des pointes plus fines et d'augmenter le gain d'amplification par d'autres techniques.

Conclusion générale

Notre travail a pour objectif de réaliser un banc de mesure de la conductivité électrique par la technique des quatre pointes, Nous nous sommes basé pour la réalisation de ce projet sur l'amplification de la tension aux bornes des échantillons qui est généralement très faible à cause du mauvais contact pointes –matériaux surtout pour les matériaux semi-isolants. Pour l'amplification nous avons choisi le LM324 qui permet trois étages d'amplification.

Le choix de l'argent pour les pointes a été déterminant pour la fiabilité des mesures. En effet des mesures effectuées sur un échantillon d'argent ont permis d'estimer la marge d'erreur commise lors des mesures en excluant la résistance de contact supposée très faible dans ce cas. Les écarts entre les valeurs théoriques et expérimentales sont dus aux erreurs systématiques des appareils de mesures (Ampèremètre, voltmètre), erreurs de lecture...

D'après les résultats, cette réalisation reste inefficace pour les métaux et inexploitable pour les semi-conducteurs. On propose de réaliser des pointes plus fines et d'augmenter le gain d'amplification par d'autres techniques.

Références Bibliographique

- [1] T. Baghdadli, "Etude des propriétés structurales et électroniques de nouveaux matériaux à base d'alliages III-N pour l'optoélectronique", Thèse de doctorat, Université de Metz, 2009.
- [2] P. Mayé, "Aide-mémoire composants électronique", Dunod, Paris, France 2010.
- [3] cnrtl.fr/conductivité, consulté le 20 juillet 2019.
- [4] S. Bensaid, "Contribution à la caractérisation et à la modélisation électromagnétique et thermique des matériaux composites anisotropes", Thèse de Doctorat, Université de Nantes, 2006.
- [5] N. Bowler, "Sciences et technologies de la mesure", Four-point potential drop measurements for materials characterization, Vol 22, 2011, p. 1.
- [6] L.B.Valdes, proc. Instn. Radio. Engrs, Vol, 42 ,1954.
- [7] M. A. Green, M. W. Gun, "State Electron", 1971.
- [8] VanDerPauw, L.J., A Method of Measuring Specific Resistivity and Hall Effect of Discs of Arbitrary Shapes. Philips Res Repts, 1958. 13: p. 9.
- [9] A. Sayah, G. A. Racine, "Travaux pratiques en salle blanche", Ecole polytechnique de Lausanne, édition 2002.
- [10] L. B. Valdès, Proc.Instn.Radio.Engrs., Vol. 42, 1994.
- [11] R. A. Bianchi, "Technique de conception des circuits analogiques pour les applications à haut température, en technologie sur substrat de silicium", Thèse de doctorat, Institut national des sciences appliquées de Lyon, 1999.
- [12] M. P Guetierrez, H. Y. Li, J. Patton, "Thin film surface resistivity", 2002.
- [13] J. A. Nichols, D. J. Gundlach, T. N. Jackson, Appl. Phys. Lett., Vol. 38, 2003, p. 2366.
- [14] Notes on the use of the Jandel multiposition probe, Jandel engineering limited, Grand union house, Linslade U. K., 2007.
- [15] G. Berthome, Synthèse_amplificateurs_ tension.pdf, <http://gilles.berthome.free.fr>, consulte le 23 avril 2019.
- [16] K, Soulaf. L. Abdesslam, "Etude et Réalisation d'un cardio tachymètre à affichage numérique", Mémoire de master, Université Aboubakr Belkaid, Tlemcen, 2013.
- [17] <https://www.futura-sciences.com/sciences/.../chimie-argent-14862/>, consulté le 12 juillet 2019.
- [18] R. Ilham., "Etude, simulation et réalisation de mini-générateurs BF et d'un mini-voltmètre AC-DC piloté par une carte Arduino Uno R3", Mémoire de master, Université Aboubakr Belkaïd, Tlemcen, 2017.

[19] <https://wiki.mdl29.net/lib/exe/fetch.php?media=elec:arduino-pour-bien-commencer-en-electronique-et-en-programmation.pdf>, consulté le 28juin2019.

[20] MDPMOTOR: Motors systems solutions. www.mdpmotor.fr/documentation/lexique/pas-a-pas/definition.html, year = Mise en ligne 2015, consulté le 14juillet2019.

[21] Wikipédia : Moteurs pas à pas. www.fr.wikipedia.org/wiki/Moteur_Pas_%C3%A0_pas, consulté le 14juillet 2019.

[22] "tableau de conductivité des métaux dans la littérature" Chimie du solide public.iutenligne.net, consulte le 22 juillet 2019.

Résumé

Ce travail décrit les étapes de réalisation d'un banc de mesure de la résistivité par la technique des quatre pointes. Les tensions mesurées étant généralement très faibles, notre travail c'est basé sur le circuit d'amplification de la tension. Le choix de l'argent pour les pointes a été déterminant pour la fiabilité des mesures. En effet des mesures effectuées sur un échantillon d'argent ont permis d'estimer la marge d'erreur commise lors des mesures en excluant la résistance de contact supposée très faible dans ce cas. Les écarts entre les valeurs théoriques et expérimentales sont dus aux erreurs systématiques des appareils de mesures (Ampèremètre, voltmètre), erreurs de lecture...

D'après les résultats, cette réalisation reste inefficace pour les métaux et inexploitable pour les semi-conducteurs. On propose de réaliser des pointes plus fines et d'augmenter le gain d'amplification par d'autres techniques.

Mots clés : résistivité, amplificateur de tension, méthode des quatre points