

# MP 18 SEMI CONDUCTEURS

31 mars 2016

François Damon & Johan Pinaud

*Qu'est-ce qu'un semiconducteur ? C'est un conducteur qui  
ne conduit qu'un jour sur deux.*

J'AI HONTE # TRAHISON À KAAMELOTT

## Commentaires du jury

## Bibliographie

↗ *Quaranta Tome III*

→ Manip effet hall et conductivité du Ge, temps de vie des porteurs

↗ *Quaranta Tome IV*

→ Résistance d'une CTN en fonction de T

↗ *Sextant*

→ Temps de vie des porteurs

## Expériences

- ☞ Evolution de R avec T pour une thermistance
- ☞ Mesure de la résistivité, du nombre de porteurs et mobilité via effet Hall du germanium
- ☞ Temps de vie des porteurs dans une photorésistance
- ☞ Détermination du gap d'une diode laser

## Table des matières

<b>1</b>	<b>Evolution de la résistance avec la température d'un semi conducteur</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Etude d'un semi conducteur extrinsèque</b>	<b>3</b>
2.1	Résistivité . . . . .	3
2.2	Détermination du nombre de porteurs . . . . .	3
<b>3</b>	<b>Applications des semi conducteurs</b>	<b>5</b>
3.1	Etude d'une photorésistance . . . . .	5
3.2	Etude d'une diode laser . . . . .	5

## Introduction

La physique des semi conducteurs a connus de nombreux succès notamment en électronique (prix Nobel 1956) dont les applications sont aujourd'hui multiples (microprocesseurs, diodes laser etc.). Une des particularités des matériaux semi conducteur est que leur bande de conduction n'est pas peuplée à température nulle (contrairement aux conducteurs). Pour autant, le gap en énergie  $e_g$  séparant leur bande de conduction de leur bande de valence est petite  $\simeq 1\text{eV}$  (relativement à un isolant) ce qui leur confère leurs propriétés de conduction particulière. Nous allons voir au cours de ce montage le lien existant entre ces propriétés macroscopiques (conductivité, photorésistance) et leurs propriétés microscopiques (nombre de porteur).

## 1 Evolution de la résistance avec la température d'un semi conducteur

Les thermistances à coefficient de température négative (CTN) sont constituées de matériaux semi conducteurs agglomérés dont la résistance diminuent lorsque la température augmente. Ce comportement opposé à celui des métaux se comprend assez bien étant donné que plus  $T$  est grand, plus l'énergie thermique des électrons est grande et ils ont alors une plus grande probabilité de passer dans la bande de conduction : le matériau devient alors conducteur.

On prends entre ses doigts une CTN et on montre en même temps que la résistance diminue.

**Toutefois, le comportement d'un semi conducteur devient similaire à celui d'un métal aux fortes température.**

La résistance d'une CTN peut s'écrire (dans l'approximation des hautes températures) :

$$R(T) = R_0 \exp\left(\frac{e_g}{2k} \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0}\right)\right)$$

avec  $R_0$  la résistance à  $T_0$ , température de référence.

### Evolution de la résistance d'une thermistance en fonction de la température

➤ Quaranta tome III

⊖ 2 h de préparation

L'idée est de mesurer la résistance d'une CTN pour différentes températures. Pour cela, on utilise un ballon sur une plaque chauffante, contenant de l'eau dans lequel on fait tremper la CTN et un thermocouple. Il suffit alors de laisser thermaliser et de prendre plusieurs points (d'où les deux heures de préparation). On trace alors le logarithme de la résistance en fonction de l'inverse de  $T$  : la pente est directement proportionnelle à l'énergie du gap  $e_g$ . Petite astuce : on a d'abord réalisé la manip avec une CTN  $1.7\text{ k}\Omega$ , et on a obtenu une droite pas mal, seul problème, aucune doc et le gap auquel on est remonté ne correspondait à rien de connu. On a refait la manip avec une CTN de  $47\text{ k}\Omega$  : on a une doc pour ces CTN (dans les classeurs bleus en salle de TP d'élec. Une valeur du coeff  $B = \frac{e_g}{2k_B}$  est donné.

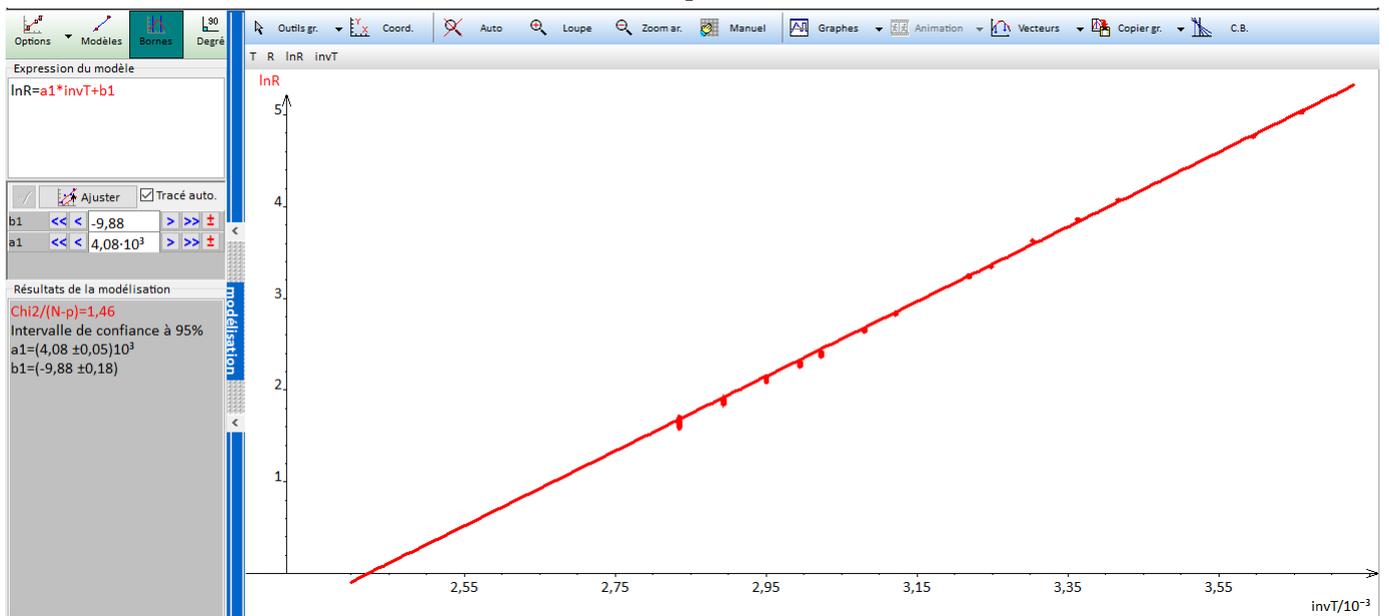
L'incertitude sur  $R$  est donnée par la notice de l'ohmmètre soit  $0.1\%$  du calibre utilisé soit ici  $\Delta R = 4\Omega$ . De même l'incertitude sur  $T$  est obtenue à partir de la notice constructeur, soit  $\Delta T = 0.2^\circ\text{C}$ .

Régressi nous donne alors l'incertitude sur la pente soit

$$B = 4080 \pm 50\text{K}$$

La valeur donnée par le constructeur est :  $B = 4090\text{K}$ . Notre valeur est alors totalement compatible avec la théorie. En terme de gap, on a :  $e_{g_{th}} = 0.67\text{ eV}$  et  $e_{g_{exp}} = 0.68 \pm 0.01\text{ eV}$ . (incertitude de  $1\%$  sur  $B$  donc de  $1\%$  sur  $e_g$ . Ces résultats sont cohérents avec le fait que la CTN utilisée est en Ge. On remarque alors que les CTN peuvent et sont en pratiques utilisés comme capteur de température. De plus, l'énergie de gap est très supérieure à l'énergie thermique  $kT = 0.025\text{ eV}$ , ce qui confirme que les semi conducteurs sont peu conducteurs à température ambiante.

**Dans la notice, il n'est pas dit qu'elle est faite de Ge, on le déduit plutôt de nos résultats.**



## 2 Etude d'un semi conducteur extrinsèque

Nous allons étudier le cas d'un semi conducteur extrinsèque de type n, du germanium dopé par des porteurs de charge négatifs (des atomes de la Vème colonne).

### 2.1 Résistivité

#### Résistivité d'un barreau de Ge

⚡ Quaranta III

⌚ 15 min de préparation

Utiliser la plaquette pour sonde à effet Hall. On impose différents courants dans la plaque de Ge (entre 0 et 30 mA, utilisez pour cela un module Hameg en mode courant) et on relève la tension directement aux bornes du Ge. On trace ensuite tout simplement  $U$  en fonction de  $I$ . On remonte ainsi à la résistivité du Ge. On peut tout aussi bien faire directement une seule mesure à l'ohmmètre, mais autant tracer la droite pour le peu que ça coûte.

Le constructeur donne un ordre de grandeur de la valeur de la résistivité du Ge  $\rho \in [2; 2.5] \Omega cm$ . On a ici encore comme incertitude celle du constructeur concernant les valeurs de  $I$  et  $U$ . On obtient après modélisation par une droite linéaire la valeur de  $R = 44.6 \pm 1.2 \Omega$ . Les dimensions de l'échantillon de Ge sont  $a \times b \times c = 20 \times 10 \times 1$  mm, on en déduit alors la valeur de la résistivité  $R_{es} = \frac{1}{\sigma} = \frac{RS}{l} = 2.2 \Omega.cm$ .

Niveau incertitudes, il n'y a rien sur les dimensions du semi-conducteurs. On considèrera une incertitude à 5% sur chaque dimension, ce qui n'est pas aberrant pour une fabrication industrielle. D'où :

$$\frac{\Delta R_{es}}{R_{es}} = \sqrt{\left(\frac{\Delta R}{R}\right)^2 + \left(\frac{\Delta a}{a}\right)^2 + \left(\frac{\Delta b}{b}\right)^2 + \left(\frac{\Delta c}{c}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{\Delta R}{R}\right)^2 + 3\left(\frac{\Delta a}{a}\right)^2} = 0.03$$

Enfin, on a :

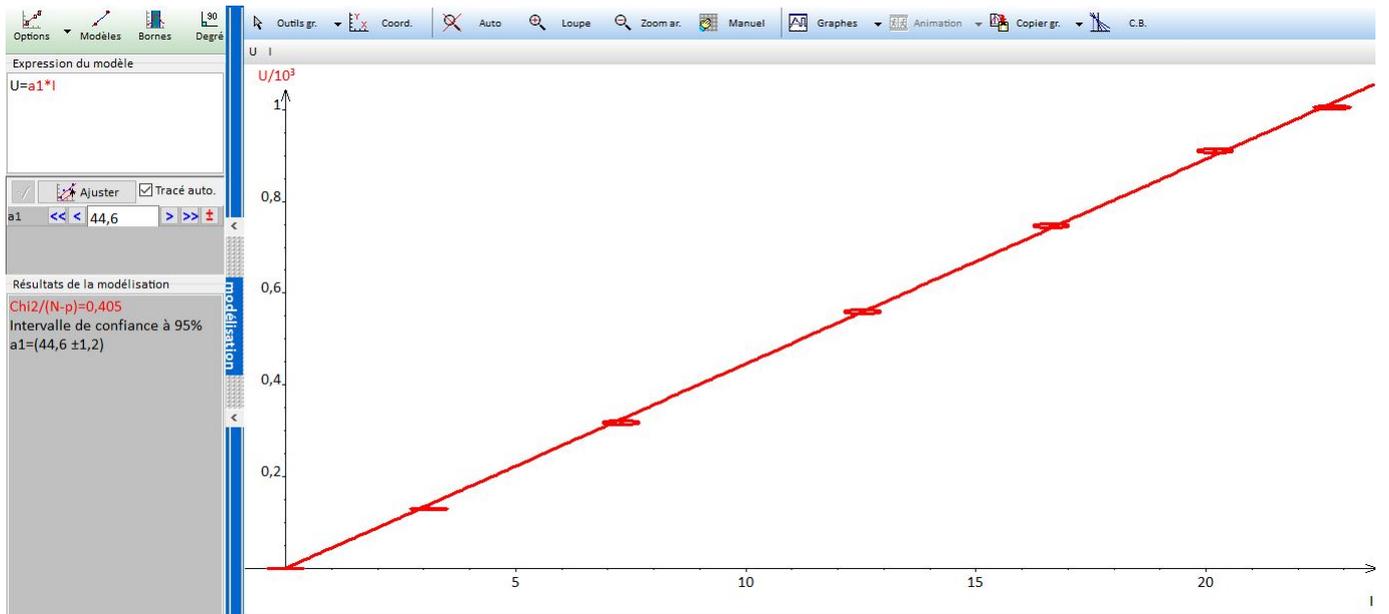
$$\rho_{exp} = 2.2 \pm 0.1 \Omega.cm$$

La valeur obtenue est en accord avec la valeur constructeur.

### 2.2 Détermination du nombre de porteurs

Pour déterminer expérimentalement le nombre de porteur, on met à profit l'effet Hall. En effet, lorsque l'on place un échantillon conducteur soumis à un courant dans un champ magnétique orthogonal à la direction du courant, il apparaît une tension de Hall, inversement proportionnel au nombre de porteurs. Le nombre de porteurs indiqué par le constructeur sur la notice est  $n_{cons} = 7.10^{20} m^{-3}$

**Pour un métal,  $n \simeq 10^{28}$ . La tension de Hall est alors plus difficile à mesurer.**



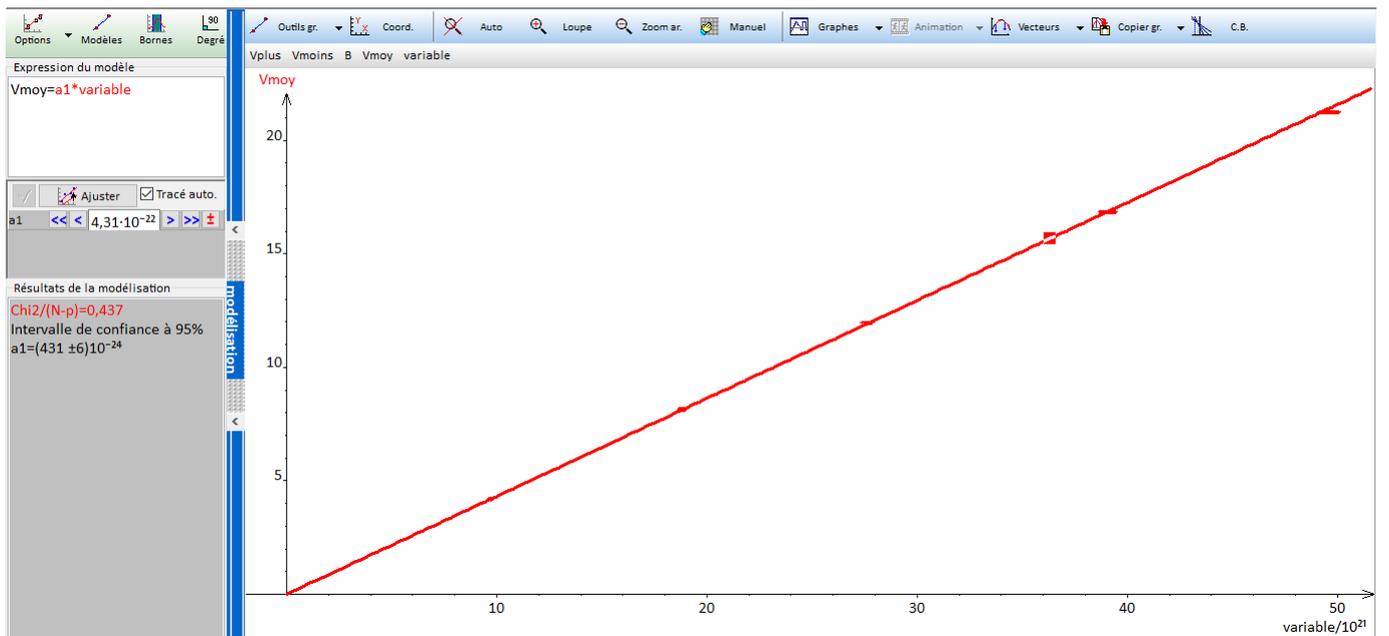
### Nombre de porteurs

⚙ Quaranta III

⌚ 30 min de préparation

Pour cette manip, vous aurez besoin : de la plaquette à effet Hall, de 2 multimètres assez précis, d'un électroaimant et de son alim de puissance (d'ailleurs si vous savez où est passé la deuxième alim de puissance de type P53.14, celle qui va jusqu'à 20A, ce serait bien de le fait savoir aux techniciens), d'un teslamètre commercial. On impose un courant  $I$  dans le barreau de Ge, (on a pris  $I=20$  mA) et on mesure  $B$  et  $V_H$  pour différentes valeurs de  $B$ . On trace ensuite  $V_H$  en fonction de  $B$ , il y a proportionnalité directe entre la tension de Hall et le champ  $B$  selon la relation :  $V_H = R_H \frac{IB}{c}$ , avec  $R_H = -\frac{1}{ne}$ . Il ne nous a pas semblé pertinent de réaliser un étalonnage du champ magnétique en fonction de l'intensité dans l'électroaimant, étant donné que l'on veut juste une mesure du champ. En revanche, il existe une tension résiduelle même sans champ  $B$ , du coup pour s'en affranchir on fait les mesures pour dans les deux sens ( $I < 0$  et  $I > 0$ ) et on trace la moyenne des deux tensions obtenues en fonction de  $\frac{IB}{ec}$ .

On obtient :



On trouve une pente  $\frac{1}{n_{exp}} = (431 \pm 6) \times 10^{-24} m^3$  Cela permet de remonter au nombre de porteurs à savoir :

$$n_{exp} = 2.32 \pm 0.02 \times 10^{21} m^{-3}$$

, à comparer avec la valeur donnée par la notice, à savoir  $n_{cons} = 7 \times 10^{20} m^{-3}$ . On retrouve donc le même ordre de grandeur. Toutefois, il n'est pas possible d'obtenir mieux qu'un ordre de grandeur, ne sachant pas vraiment d'où sort la "valeur constructeur", qui est juste notée au crayon sur la doc..

## 3 Applications des semi conducteurs

### 3.1 Etude d'une photorésistance

☛ Une photorésistance est un semi conducteur de haute résistivité. Si la lumière incidente est suffisamment intense, les photons ont assez d'énergie pour promouvoir des électrons de la bande de valence dans la bande de conduction, il y a création de trous dans la bande de valence et d'un courant. Ces composants peuvent être utilisés pour comparateur de flux lumineux (rarement comme fluxmètre directement). Lorsqu'un électron est promu de la bande de valence à celle de conduction il apparaît un courant. Si on coupe le flux lumineux, les électrons de la bande de conduction vont repasser dans la bande de valence en se recombinant avec un trou. Toutefois, ce temps de recombinaison est beaucoup plus grand que celui de transition valence vers conduction. En effet, la densité de porteur dans la bande de valence est beaucoup plus importante que dans celle de conduction et les électrons ont alors tendance à rester dans la bande de conduction. Pour déterminer ce temps de transition, on réalise l'expérience suivante :

#### Mesure du temps de recombinaison d'électron-trou dans une photorésistance

☛ Inspiré du Quaranta III et Sextant

⊖ 20 min en préparation

On utilise une photorésistance que l'on place dans un circuit tout simple : un générateur de tension continue +12V, une résistance de charge de 1 kΩ. On éclaire la photorésistance avec un stroboscope avec une fréquence de quelques hertz. On observe l'image du courant créé en regardant la tension aux bornes de la résistance de charge. On compare ce signal avec celui reçu par une photodiode polarisée en inverse dans un second circuit avec une résistance de charge de 90 Ω (Il ne faut pas prendre une résistance de charge trop grande si on veut être dans la partie de réponse plate de la photodiode, Cf. Montage photorécepteur). La photodiode a un temps de réponse beaucoup plus court que celui de la photorésistance, cela permet d'être sûr que la décroissance ayant l'air d'une exponentielle observée à l'oscillo n'est pas due au stroboscope lui-même qui pourrait ne pas donner des pulses de lumière. On peut exporter les mesures sur Latis pro et à l'aide de l'outil tangente, mesurer un temps de décroissance caractéristique.

On choisit une méthode de détermination par tangente car le modèle exponentiel donné dans le quaranta est faux et par ailleurs, on s'en rend bien compte si on essaye de faire le fit nous même. On obtient un temps  $\tau \simeq 2$  ms. Cette valeur est cohérente avec les valeurs attendues, de l'ordre de la dizaine de ms.

### 3.2 Etude d'une diode laser

#### Mesure du gap d'une diode laser

☛ pas de ref

⊖ 5min

On envoie une diode laser sur un spectro en l'atténuant avec un filtre atténuateur. On mesure la longueur d'onde du laser, on en déduit la valeur du gap, sachant que  $e_g = \frac{hc}{\lambda}$

On trouve  $\lambda = 653.9 \pm 0.4 nm$  soit un gap  $e_g = 1.73$  eV, ce qui est un ordre de grandeur satisfaisant. (pas de doc avec laquelle comparer).

## Conclusion

Ce montage a été l'occasion d'aborder l'étude de matériaux semi conducteurs, qui ont des applications variées, allant de l'électronique domestique aux capteurs de température en passant par les sources de lumières ou les détecteurs de flux lumineux.

**Commentaires/Questions/Mouif :**