

# M18 : Semi-Conducteurs

Rapport du jury : La variété des matériaux semi-conducteurs fait qu'il est parfois difficile de savoir quel est le matériau utilisé dans un composant commercial, ou quel est le dopage dans certaines plaquettes. Les candidats mesurent alors des propriétés sans pouvoir les comparer à quoi que ce soit. Il vaut donc mieux utiliser des composants de caractéristiques connues. Par ailleurs, il est essentiel de connaître quelques ordres de grandeur, en particulier celui de l'énergie de gap et de la densité de porteurs.

## Introduction:

Les semi-conducteurs ont des applications très variées, mais ils ont une importance toute particulière dans notre quotidien via l'électronique que nous utilisons. Ces matériaux, grâce à une résistivité comprise entre celles des métaux et des isolants, ont une énergie de gap qui leur est caractéristique: grandeurs que nous chercherons à mesurer dans ce montage. Nous allons aussi mettre en évidence un effet très riche, l'effet Hall qui nous sert en tant que physiciens à quantifier les champs magnétiques.

## I- Propriétés de transport : germanium dopé P à T ambiante

### 1) Mesure de la résistivité

→ On va mesurer la tension longitudinale  $U_L$ .

-On alimente le SC avec alim continue 0-15 V.

-On prend multimètre qu'on branche en série entre alim et SC pour avoir I + Multimètre Keithley pour avoir  $U_L$ .

En déduire résistivité voir formule poly → Comparer à valeur constructeur.

Voir Excel

Discuter incertitudes (dues aux instruments de mesure) et la température de la salle car le constructeur ne donne pas la température associée à la valeur tabulée.

→ Comparer avec la résistivité des métaux : celle des métaux est beaucoup plus faible  
 $\sim 10^{-6} \Omega.cm$

### 2) Effet Hall, mesure de la concentration en porteurs

Poly M18 - et Poly M15-16 - Annexe

On peut utiliser un petit électroaimant (carcasse de transformateur, bobines branchées en série), mettre l'échantillon de germanium dopé p (trous majoritaires) entre les aimants (sans les toucher) afin de mesurer la tension effet Hall qui est directement reliée au champ B : principe de la sonde à effet hall.

- On alimente les bobines de l'électro aimant en continu avec grosse alim .

Vérifier sens du courant et direction champ magnétique (voir [1],règle du tir bouchon) (on peut aussi vérifier le sens avec une plaque à ligne de champs).

- Montrer au jury qu'on a utilisé une cale pour le parallélisme des aimants et pour l'entrefer.
- On alimente le SC par 15V.
- Utilisation d'un teslamètre pour avoir le champ B dans l'entrefer.

Au tableau : schéma des phénomènes au sein d'un SC. (Cf annexe M15-16)

Réaliser plusieurs mesures de  $U_{hall}$  pour différentes valeurs de B (modifier le courant envoyé dans les bobines) →  $U_{hall}$  en fonction de B : voir que c'est linéaire. La tension de Hall est très faible, il faut utiliser un microvoltmètre (Keithley 2000 allumé depuis au moins 30 min, utiliser des fils courts et éloigner les différentes alimentations, calibre le plus petit et en vitesse de mesure lente : RATE → SLOW).

Attention à l'offset, en effet sans champ B il est possible qu'il y ait tout de même une tension  $U_{hall}$ , sûrement due au fait que les connections pour  $U_{hall}$  sur le semi conducteur ne soient pas totalement en face et donc pas sur la même équipotentielle (si on suppose les lignes de champs bien parallèles : car lignes de champs perpendiculaires aux équipotentielles) entraînant sur la mesure de  $U_{hall}$  un offset. On peut regarder aussi  $U_{long}$  (composante longitudinale de la tension) et on peut remonter avec le courant appliqué à R :  $U=RI$ , résistance du matériau. Il faut donc enlever cet offset pour bien avoir une relation de proportionnalité linéaire.

$U_{long}$  pas uniforme (peut changer selon température).

→ **C'est pour ça qu'on doit toujours régler à 0 le teslamètre**

On peut avec la pente remonter à n (nombre de trous/ $m^3$ ). voir poly M15-16 p29

Pour avoir I : Ampèremètre en série entre SC et alim et e=épaisseur échantillon  $\sim 1mm$ .  
ici environ  $10^{20}$  trous/ $m^3$ . Voir Excel

Discussion : dans un métal  $10^{28}$ , ce n'est donc pas intéressant d'utiliser des métaux dans une sonde effet hall car  $U_{hall}$  inversement proportionnelle à n, donc si n augmente  $U_{hall}$  diminue donc difficulté à mesurer U avec un métal, c'est pourquoi on utilise un SC. Ceci s'explique pour un même courant, dans un SC le mouvement des charges est plus rapide que celui d'un métal.

**Capteur hall** : il faut source de courant et mesurer la tension (et l'amplifie : directement introduit dans le capteur) → ils peuvent avoir des dérives, expliquant aussi l'offset. La température peut aussi influencer : germanium (gap assez faible) → affecte la mobilité

Déduire aussi **mobilité**. M17-18 - IV.1.3

Voir Excel

Discussion : la mobilité des électrons est supérieure à celle des trous. C'est toujours le cas car les électrons responsables du "déplacement des trous" sont des électrons de valence, donc liés au noyau, ils se déplacent plus difficilement que les électrons de la bande de conduction qui ont déjà quitté leur site atomique.

## II- Comportement en température

M17-18 - IV.2

Attention dans le poly : on décrit la manip pour une plaquette différente de celle utilisée.  
(Celle du poly = celle de l'oral normalement)

Plaquette de l'agreg : on a un potentiomètre pour pouvoir faire varier le courant circulant dans le SC + Utilisation d'un thermocouple plutôt qu'une PT100 pour la mesure de la température.

La plaquette doit être horizontale (soudures qui fondent → ça coule).

Cas d'une PT100 :

-Retrouver formule qui relie la résistance avec la température (voir M5, Callendar)  
→ On met un Ohmmètre au niveau du branchement de la plaquette et on retrouve la température.

On va mesurer  $U_{hall}$  et  $U_L$  et R (PT100).

**Attention à pas dépasser la résistance pour laquelle la température dépasse 175 °C, sinon les soudures vont fondre (~160 Ohm) !!!**

Montage :

- Les mesures étant difficile de prendre à la volée, il est conseillé de prendre en vidéo la manipulation lors de la redescente en température.
- On branche grosse alimentation sur branchement Chauffage de la plaquette et on se place à 5V.
- La résistance au niveau de la PT100 va se mettre à augmenter progressivement.
- Valeurs de  $U_{hall}$  et  $U_L$  et R augmentent rapidement donc on fait un film et on relève après les valeurs.
- On calcule la température à partir de R.

On trace  $\ln(U_L)$  en fonction de  $1/T$  (**attention, mettre en Kelvin les températures obtenues!**).

Regressi : On modélise la 1ere partie de la courbe (pour des hautes températures : comportement linéaire) par une affine et on relève le coeff directeur.

Prendre en compte les incertitudes des mesures.

→ On en déduit  $E_G$ . Voir poly p.15 et Excel

Le germanium dopé P, se comporte comme un SC intrinsèque à haute température.  
Attention il faut se placer à des températures assez hautes pour être dans zone intrinsèque mais en même temps, ne pas dépasser 175°C.

Discussion: Le faible gap du germanium ne le prédispose pas à une utilisation dans les dispositifs de puissance puisqu'il passe rapidement en conduction intrinsèque lorsque la

température augmente. Le silicium est mieux adapté (gap plus élevé et début de conduction intrinsèque à environ 500°C).

-Puis on trace de  $U_{hall}$  en fonction de T.

→ On remarque l'inversion de  $U_{hall}$  pour des températures élevées : caractéristique d'un SC dopé P.

-Discuter avec l'analyse du poly.

## 2 choix pour la partie III

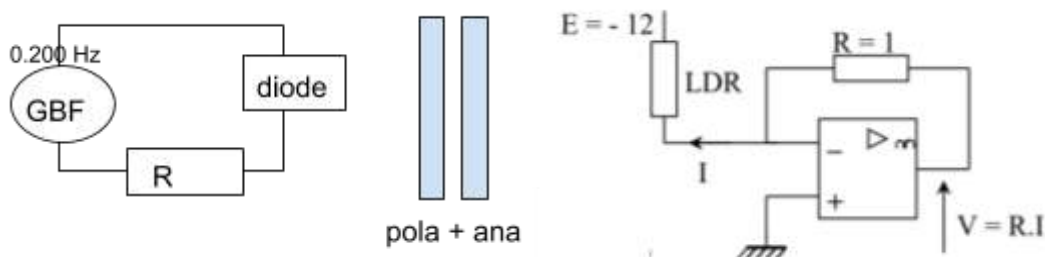
### III- Temps de réponse de la photorésistance

M17-18 - IV.4.2 + Physique expérimentale, M. Fruchart, P. Lidon

L'absorption de photons d'énergie des photons d'énergie supérieur au gap génère des paires électron-trou lorsqu'on éclaire un échantillon de semi-conducteur. Lorsque l'éclairement s'interrompt, les concentrations des porteurs retournent vers leur valeur à l'équilibre avec une constante de temp caractéristique qui est le temps de vie des porteurs photocréés. Exemple de la vie de tous les jours : photorésistance utilisée pour les capteurs jour/nuit.

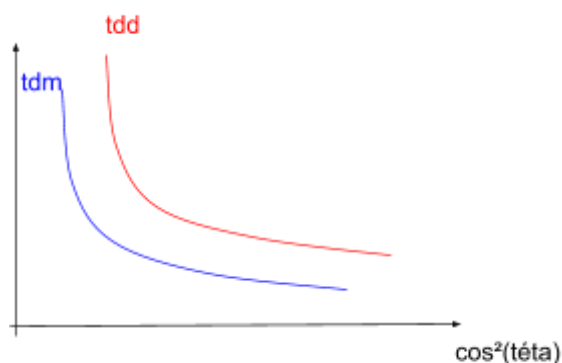
But : Mesurer temps de montée/descente avec oscillo.

Utilisation d'une diode en lui imposant une fréquence de 0,200 Hz (très basse fréquence car le temps de réponse de la photorésistance (SC : sulfure de cadmium) est long donc on veut que la diode ne clignote pas trop vite) ou alors utiliser un stroboscope électronique (10 Hz). (Avec une diode : peut être qu'on doit prendre en compte le temps de réponse de la diode... Risque d'avoir des questions).



A l'oscillo, on relève les temps de montée et de descente pour différents angles de l'analyseur ( $\cos^2(\Theta)$  est proportionnel à l'intensité → Loi de Malus).

On remarque que :



On remarque que le temps de descente > temps de montée → La recombinaison électron/trous se fait + lentement que la création de porteurs.

Remarques: quand on l'a fait ce n'était pas très visible surtout quand  $\cos^2(\Theta)$  tend vers 1

**OU**

### III - Propriété optique

Un SC est transparent si les photons ont une énergie insuffisante pour exciter des électrons de la BV vers la BC et devient opaque dans le cas contraire, si il dépasse le gap entre les deux bandes. On va chercher à mesurer le gap.

Cf Poly M17-M18 pour plus d'infos : on utilise un SC avec un gap direct pour faciliter l'analyse : Séléniure de zinc dopé au manganèse.

(Montage différent en fonction des polys)

Montage: QI + semi conducteur + spectromètre (Spectrovisio)

-On fait le blanc et le noir du spectro

-On relève  $\lambda_{abs}$  (incertitude spectro)

- $E_{gap} = hc/\lambda = 1,24/\lambda (\mu m)$  (incertitude E)

On peut comparé  $E_{gap}$  (non dopé), or ici on a probablement un gap dopé.

$E_{gap}$  correspond à l'énergie nécessaire pour passer de la bande de valence à la bande de conduction.

#### **Conclusion:**

Les SC sont présents dans tous les dispositifs électroniques aujourd'hui ; intéressants quant au fait de pouvoir être contrôlés (dopage). Ici, on a montré les ODG associés aux propriétés de ces SC intrinsèques comme dopés. D'autres appli : panneau solaire, LED, transistor, phototransistor etc.

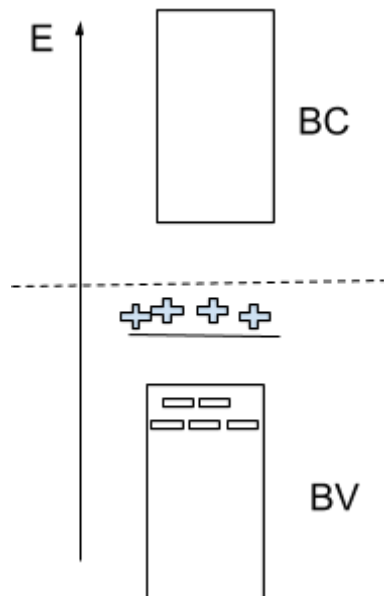
#### **Questions :**

-Différences de comportement en température pour les métaux et les SC :

Métal : R augmente avec T

SC : R diminue avec T en régime intrinsèque car on augmente la quantité de porteurs → du à Boltzmann : on augmente T, on augmente la population des états de + haute énergie

Représentation d'un SC dopé P



-Connaître des valeurs de gap pour différents SC  
 Ge : 0,7 eV ; Si : 1,1 eV ; GaAs : 1,4 eV ; GaP : 2,3 eV

- Pour la photorésistance : est ce que c'est bien son temps de réponse qu'on mesure ?  
 Oui car les effets électriques type capa de l'oscillo et du câble coax sont négligeables.

-Savoir redémontrer la formule de l'effet Hall  
 Voir poly p4-5