MP18 - Matériaux Semi-Conducteurs

12 juin 2021

Nicolas Barros & Abel Feuvrier

Oui
Mr C

Le seigneur Perceval trouve que ça fait trop, alors ils sont partis pour le clan des Semi-Croustillants

Dame Mevanwi, Kaamelott Saison 5

Niveau : L3

Commentaires du jury

- 2010 à 2017 : 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
- 2008 : Il est essentiel de savoir différencier les régimes de conduction intrinsèque et extrinsèque.

Bibliographie

- ✍ *Poly de TP*, **Jérémy Ferrand**
  - ⟶ Le semi conducteur intrinsèque dans le bloc de cuivre, la sonde à effet hall
- ✍ *Jolidon bleu*, **FLTCLD**
  - ⟶ La photorésistance
- ✍ *Quaranta III*, **Lucieng**
  - ⟶ regarder à semi-conducteur
- ✍ *Optique expérimentale*, **Sextant**
  - ⟶ photodiode
- ✍ *The Oxford Solid State Basics*, **Simon**
  - ⟶ Chapitres 17 er 18 juste ce qu'il faut

Points à faire en préparation

- Résistance d'un semi conducteur intrinsèque
- Sonde à effet Hall en germanium
- Etude d'une photorésistance

Expériences

- ☕ Résistance d'un semi conducteur intrinsèque
- ☕ Sonde à effet Hall en germanium
- ☕ Étude d'une photorésistance

Table des matières

1 Semi-conducteurs intrinsèque : évolution de la résistance avec la température **2**

2 Semi-conducteurs dopés : application à l'effet Hall **2**

3 Une application : la photorésistance **3**

Introduction

Du blablebli sur les semiconds. Intrinseque extrinseque. PN. OG du gap, ce que ça change par rapport aux autres. Contextualisation sur la révolution que ça a apporté

1 Semi-conducteurs intrinsèque : évolution de la résistance avec la température

✍ Quaranta p 429, poly Ferrand électromag, Kittel chapitre cristaux semiconds equations 25-40, Simon p192

On commence par étudié un semi-conducteur intrinsèque, c'est à dire pur, non dopé. Une formule très jolie et générale en physique des semi conducteurs est la loi d'action des masses :

$$n(T)p(T) = \frac{1}{2}\left(\frac{k_B T}{\pi\hbar^2}\right)^3 (m *_e m*_p)^{3/2} e^{-\epsilon_g/k_B T} \tag{1}$$

les m* étant des masses effectives, définies grâce à $\frac{\hbar^2}{m*(k)} = \frac{\partial^2 E}{\partial k^2}$. Dans ce cas précis, d'un semi-conducteur intrinsèque, la présence d'un électron dans la bande de conduction signifie la présence d'un trou dans la bande de conduction. On a donc n=p, et l'equation au dessus se simplifie. La conductivité électrique est la somme de deux termes correspondant à la contribution des électrons et des trous

$$\sigma = ne\mu_e + pe\mu_t \tag{2}$$

On comprend donc bien maintenant que, vu qu'aux températures ordinaires c'est la variation exponentielle qui domine (Quaranta III p429), la résistance électrique d'un semi-conducteur intrinsèque dépend de son énergie de gap et de la température, selon la relation :

$$R(T) = R_0 \exp\left(\frac{\epsilon_g}{2k_B}\left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0}\right)\right) \tag{3}$$

En mesurant la résistance d'un semi-conducteur à différentes températures, on peut donc en déduire son énergie de gap.

☕

Mesure de l'énergie de gap d'un semi-conducteur intrinsèque

✍ Quaranta et poly Ferrand ⏲ hop

Matos : thermistance P102.5, thermocouple P102.16+thermomètre P102.27, ohmmètre Fluke, alim P53.2 ou autre
Tout est dans le poly. À noter que pour une fois c'est pas avec de la flotte qu'on fixe la température.

On attend $\epsilon \simeq 0.76$ eV.

2 Semi-conducteurs dopés : application à l'effet Hall

✍ Quaranta, poly Ferrand électromag

On va mesurer la densité de porteurs de charges (et éventuellement leur mobilité) d'un semi-conducteur dopé grâce à l'effet Hall.

On considère une sonde à effet Hall de dimension transverse l_z, dans laquelle circule une intensité i et qui mesure un champ B. La tension de Hall U_H est alors liée à la densité de porteurs de charge n (de charge q) par la formule :

$$U_H = \frac{1}{nq}\frac{iB}{l_z} = R_H \frac{iB}{l_z} \tag{4}$$

Avec $R_H = \frac{1}{nq}$ la constante de Hall, du matériau ici dopé P . C'est pas une résistance. Attention (Par ailleurs, la densité de porteurs de charge dépend de la température selon la relation :

$$n(T) = T^{3/2} \exp\left(-\frac{\epsilon_g}{2k_B T}\right) \tag{5}$$

avec ϵ_g l'énergie de gap. On a donc, pour une intensité i et un champ B fixés :

$$U_H(T) = \frac{iB}{ql_z} T^{-3/2} \exp\left(\frac{\epsilon_g}{2k_B T}\right) \tag{6}$$

.)

Mesure de la constante de Hall

✍ Poly Ferrand électromag ⏲ electroaimaaant

Matos : électroaimant P66.30 + alim solide + ampèremètre, module P64.30 + plaquette P64.36 + générateur P64.37

On trace U_H en fonction de B pour différentes valeurs de I dans l'electroaimant allant de 1 à 8A. Plusieurs choses :

- Méthode Ferrand : On fait d'abord un étalonnage en courant croissant, puis on refait des points en tracant U_H en fonction de I et on réutilise ensuite nos étalonnage pour passer en B

  Plus rapide : On utilise un teslametre en cours de route pour chopper B à chaque point mesurer B à différents I. Faut avoir la place de faire passer la sonde. Les rageux vont dire qu'on vérifie la l'expression du champ de Hall à l'aide d'un teslametre à effet Hall. Checkmate. Faire taire les rageux

- Si on fait la deuxième méthode, faut avoir une petite intuition de B= f(I). Il commence à saturer autour de 4-5A donc faut pas aller trop vite initialement

i = 50 mA réglé à la molette, $l_z = 1$ mm. On choppe R_H, puis n, attendu de l'ordre de $7.10^{20} m^{-3}$. Si le temps, revenir à la mobilité mais je suis pas convaincu de l'utilité. On va mesurer $U_H(T)$ et en déduire ϵ_g. Le protocole est dans le poly Ferrand.

En ordre de grandeur, on attend $n \simeq 10^{21}$ m^{-3} et $\epsilon_g \simeq 0.67$ eV.

Y a plein d'infos sympas dans le poly Ferrand. En cas de soucis de CTN, faire l'évolution avec la température à ce moment là.

3 Une application : la photorésistance

La théorie est dans le Sextant ou dans le Jolidon bleu.

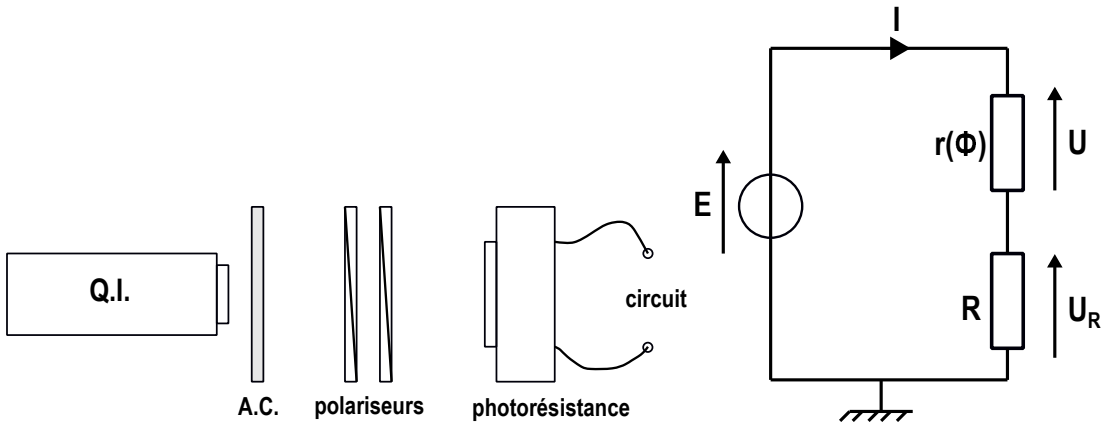

FIGURE 1 – Schéma du montage optique et électrique nécessaire au tracé de la caractéristique statique de la photorésistance

Caractéristique statique de la photorésistance

✍ Jolidon bleu p.142 ⏲ 3 min

Prendre la photorésistance (P18.12/3). Se placer à flux donné, on peut en préparer un en live et un en direct.

On prend une tension E d'environ 5V et R d'un kOhm. Pour éviter des problèmes de masse, on obtient grâce à ce montage U = E -U_R et I = U_R/R. On va faire ça point par point, c'est une droite, easy win. Le reste du blabla est dans Jolidon.

A quoi sert ce montage ? Vérifier qu'à flux donné, notre composante possède bien un caractère résistif, c'est une résistance ! On va donc pouvoir mesurer sa grandeur d'intérêt (sa... résistance) directement à l'ohmmètre. On va ainsi voir comment sa grandeur d'intéret photosensible (R) varie en fonction du flux incident, en cherchant par exemple une certaine loi linéaire.

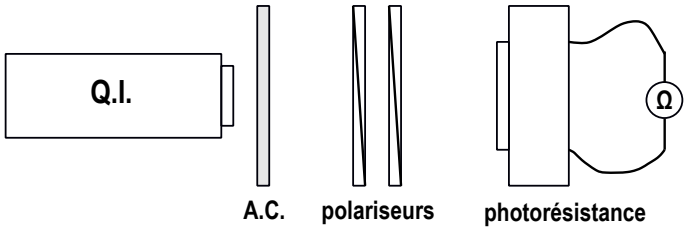

Figure 2 – Le précédent, mais maintenant y a juste à mettre une résistance au bout et bienr régler ses polariseurs

Etude de la (non)linéarité d'une photorésistance

✍ Jolidon bleu p.152 ⏲ 4 min

On prend deux bons polariseurs, et on les aligne bien pour recevoir un minimum de flux en quadrature(prendre son temps pour bien régler àa c'est important). On pourra utiliser quantitativement la résistance pour s'assurer qu'on a bien un minima pour $\theta = 90°$. Ensuite on trace $R_{moy} = \frac{R(+\theta)+R(-\theta)}{2}$ en fonction de $cos^2(\theta)$, grandeur proportionnelle au flux lumineux d'après la loi de Malus. Et là c'est clairement pas linéaire, on va même devoir faire du loglin ! On peut également tracer la conductance moyenne, selon $g_{moy} = \frac{1}{2}(\frac{1}{R(+\theta)} + \frac{1}{R(-\theta)})$. Tester l'ajustement proposé sur la page d'après, avec un coup de bol ça peut marcher mais j'ai mes doutes

Aller voir le Jolidon pour savoir pourquoi on prend des deux côtés comme ça (on passe d'erreur en ϵ à ϵ^2, ainsi que pourquoi on définit la conductance comme ça. Qualitativement : la création de paires élecrons-trous consécutive à l'absorption de photons incidents dans le milieu semi conducteur augmente la conductivité du matériau. Mais là à moins de se concentrer sur des flux très faibles, c'est fortement non-linéaire. Il est où le problème ? Y a que des solutions dans tout ça. En effet les variations de la résistance sont maximales au voisinage de l'obscurité, ce qui fait de la photorésistance un détecteur d'obscurité de choix. On peut comparer sa résistance à une résistance connue, et ainsi détecter le passage d'un flux lumineux au delà d'un certain seuil. Une application naturelle qu'on va démontrer est le déclanchement d'un système d'éclairage .

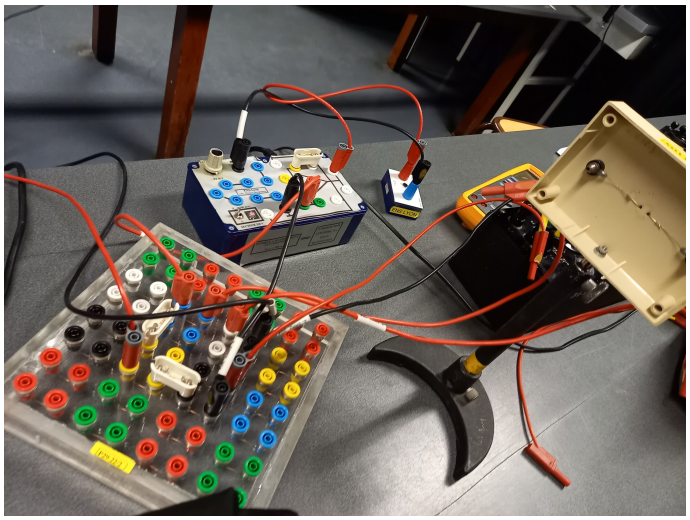

Figure 3 – Photo un peu nulle d'un montage sympa

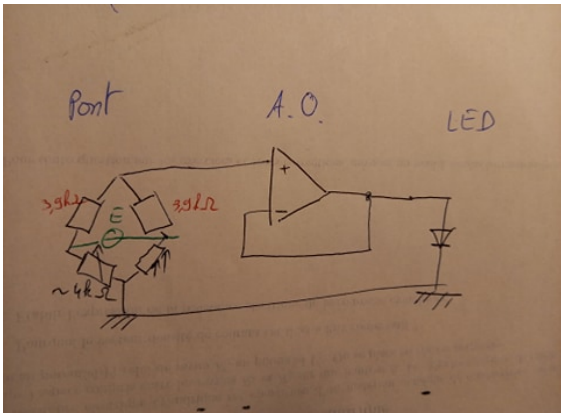

Figure 4 – C'est à peu près ça. Par contre pour le sens des tensions faut improviser. E=4-5V pour allumer la LED sans la cramer.

Attention ça va être tout noir

✍ L'impro ⏲ 2min si déjà monté

Matériel : une boite à décades, une plaquette de résistance, 2 résistances) 3,7 kOhms, fils, un AO, une LED.

L'idée, c'est que la photorésistance peut se concevoir comme du "tout ou rien". En l'absence de flux, résistance infinie. À luminosité ambiante, allez 1-2kOhms. L'idée est de comparer cette résistance à une autre résistance "seuil", qu'on prendra autour de 3,7 kOhms (mais on peut faire varier) . Pour un soucis de simplicité, choisir aussi des résistances de 3,7 kOhms pour les deux autres résistances du pont. Pour le choix de la tension de polarisation : on ne doit pas griller la diode!!! Pour assurer ça, au vu de nos valeurs de résistances, il suffit de prendre E inférieur à 2 V_{max}, et on risque rien. En effet, avec gros pont diviseur, si notre photorésistance a une resistance infinie, on enverra au max V_max dans la diode. On utilise un montage suiveur intercalé entre la diode et la pont de Wheatstone, parce que sinon on ponctionne de l'intensité, ou y a une chute de tension, bref ça marche pas.

Pour le montage, utiliser des voltmètres et tenter des trucs jusqu'à que ça marche. Tant que ça s'allume et qui ça grille pas ça va.

Présenter le montage. Montrer que la diode est éteinte. Se rapprocher de l'interrupteur. Éteindre la lumière. La LED s'allume. Le jury se lève, vous applaudit, démissionne de son poste en prépa et vous le confie.