

M 18 : Semi-conducteurs (oral blanc) de Melle Clara Schattner  
Correcteur : Manuel Combes

Noir : Clara

Orange : Questions Manuel

Vert : Commentaires Manu

Intro : C'est quoi un semi-conducteur ? Comparaison conducteur isolant. Conducteur : bande de valence et conduction se chevauchent, isolant : elles sont loin. Il y a des matériaux qui sont entre les deux, les bandes ne se chevauchent pas et l'énergie entre les deux, l'énergie de gap, est assez faible pour avoir des propriétés intéressantes.

### I – Evolution de la résistance dans un semi-conducteur

On va remonter à l'énergie de gap du germanium.

- On sait que  $R = R_0 e^{\frac{E_g}{k_B T}}$
- Si on trace **ln(R) en fonction de 1/T**, on remonte à la résistance.
- Présentation de la plaquette du germanium non dopé. Remarque : il y a un offset sur la mesure de température qu'on obtient à l'aide d'un voltmètre. Remarque 2 : on prend les points à la descente car ainsi le refroidissement est uniforme.
- On arrête le chauffage et on note quelques points de U à i fixé (pas besoin d'y toucher, ça reste constant). Remarque qualitative : tension augmente quand T diminue. Plus T est haut, plus les électrons auront d'énergie pour franchir le gap et conduire le courant, la résistance est donc plus faible.
- L'offset de température a changé par rapport à la préparation. Du coup, petit souci pour les valeurs. L'intensité aussi a changé (pour faire la deuxième expérience, Clara a oublié de remettre i à la valeur idoine pour l'exp 1 à la fin de l'exp 2 en préparation), zut alors...
- Clara fait donc le calcul à la main pour la résistance. Belle réactivité !
- Clara ajoute trois points à sa courbe de préparation.
- Régression affine. Valeur de la pente :  $4,4 \cdot 10^3$ . Les incertitudes sur la tension et la température dominant. Ce n'est pas l'incertitude de mesure mais celle de lecture qui domine car les valeurs changent beaucoup lors du refroidissement. On obtient une valeur de  $0,2 \cdot 10^2$  pour la pente en regardant les pentes max et min passant dans les barres d'incertitudes (c'est bof mais au contraire de celles d'Igor, on sait ce qu'on fait), d'où le nombre de chiffres significatifs.
- Le résultat est de  $(0,76 \pm 0,03)$  eV pour **0,67 eV théorique**. C'est le bon ordre de grandeur. Les écarts sont peut-être dus au manque de pureté de la plaque qui a peut-être un gap plus grand.

Pourquoi l'incertitude de lecture est-elle si mauvaise ? Pourquoi ça varie tant à haute température ? Quelle loi décrit cette variation ? Conducto-convection de Newton. Dans la couche limite thermique, il y a de la conduction près de la plaque.

Vous avez dit que vous n'aviez pas la bonne valeur sur l'énergie de gap. Vous avez légitimement grossi les incertitudes. Mais vous avez dit que le germanium n'était peut-être pas pur. Est-ce vrai ? Que dit la notice ? Que c'est pur... Donc, votre mesure est précise mais elle n'est pas juste, donc ? Une erreur systématique de résistance ? C'est possible, il y a des résistances de contact et de fils. Cependant, normalement on s'y affranchit avec ? Montage 4 fils. Oui mais ça a pas l'air fait. Donc si c'est mal câblé, n'hésitez pas à présenter ça en disant qu'il y a une erreur systématique et en proposant un montage 4 fils pour améliorer ce problème. Comme ça, la chasse aux biais est un leitmotiv de votre manip. C'est très valorisé.

### II – Semi-conducteur dopé n

On s'intéresse à un autre type. On a mis des impuretés (atomes chargés +) qui modifient les propriétés du matériau, on veut donc alors remonter au nombre de porteurs d'un semi-conducteur dopé n.

- On utilise la force de Lorentz qui agit sur les porteurs de charge et qui les fait migrer vers un côté de la plaque et on mesure la tension aux bornes de la plaque -> Effet Hall.
- On regarde le sens du champ entre les pôles de l'électroaimant et on pourrait ainsi remonter, en fonction du signe de la tension de Hall, au type de porteurs majoritaires dans la plaque, à savoir, trous ou électrons (P ou N). Remarque sur l'électroaimant : on a choisi des pièces polaires plates afin d'avoir un champ homogène dans l'entrefer de l'électroaimant.
- Clara place le semi dans l'électroaimant. Mesure le champ et la tension à i fixé. Elle répète l'opération deux fois.
- Remarque sur la mesure du champ à l'aide du teslamètre : on mesure le champ des deux côtés (en retournant la sonde) car le zéro n'est pas parfait et on fait la moyenne.
- Problème : les points pour le champ magnétique en fonction de la tension de Hall ne vont pas du tout avec les valeurs obtenues en préparation. Autre problème : la droite ne passe pas par 0.
- On obtient tout de même une pente avec les valeurs de préparation :  $19,3 \pm 0,2$  T.V<sup>-1</sup>. On en déduit le nombre de porteurs :  $n = \frac{\text{pente} \times i}{q \times a} = (5,9 \pm 0,1) \cdot 10^{20}$  porteurs.
- C'est une valeur cohérente au niveau de l'ordre de grandeur mais Clara n'a pas de valeur tabulée de ça dans la notice.

Revenons sur l'erreur de manip en présentation. A quoi est-ce dû ? Le matériau de l'électroaimant est-il doux ou dur ? Le cycle ne joue pas car j'ai mesuré au teslamètre. Ok. C'est peut être un problème d'offset. Il aurait fallu le régler avant.

La sonde du teslamètre est-elle directionnelle ? Oui. Pourquoi ? Car c'est comme ce que j'ai expliqué mon petit. Bien.

Pourquoi n'avez-vous pas pris les incertitudes d'Igor ? Car il ne prend pas en compte les incertitudes de ma mesure. Et il les calcule comment ? Méthode des moindres carrés. Le petit Alain Lombard a dit qu'Igor gonflait les incertitudes si elles n'avaient pas les mêmes valeurs pour chaque point, c'est donc bien du caca.

Vous avez fait comment alors ? J'ai pris les deux points extrêmes et j'ai fait les deux pentes entre le max pour l'un et le min pour l'autre et le min pour l'un et le max pour l'autre.

Votre incertitude sur le nombre de porteurs ? Propagation des incertitudes dues à la pente. Et celles sur l'épaisseur de la plaque ? Pas donné par la notice... Ma cocotte, c'est important à estimer ça ! Et votre formule de propagation alors, c'est quoi ? J'ai sommé les variances. Dans l'industrie, on ne fait pas ça, on met pas de carrés. C'est un choix, quelle est l'hypothèse qui est faite quand on met les carrés et quand on les met pas ? Une histoire de variables indépendantes. Oui mais pourquoi ?  $I = a + b + c$ . Vous cherchez à quantifier l'incertitude sur I. Je veux donner un résultat pour lequel je suis sûr que la vraie valeur de I soit dans mes incertitudes (hypothèse pessimiste -> C'est un peu ce que vous faites pour votre incertitude sur la pente)), je somme donc les incertitudes (pour pas aller en prison). En recherche, vous avez deux valeurs, la valeur expérimentale et l'incertitude, ces deux valeurs sont alors du même degré d'importance. Si vous êtes trop pessimiste, vous enlevez de l'importance à

l'incertitude. Vous faites l'hypothèse que les valeurs que vous obtenez avec des incertitudes sont des gaussiennes et indépendantes. Si vous summez les variances, c'est ce que vous faites. Le jury attend que vous fassiez une telle discussion sur les incertitudes et que vous sachiez ce que vous manipulez. N'hésitez pas à écrire les calculs d'incertitudes sur votre tableau. Il faut prendre les dix minutes nécessaires au traitement d'incertitudes. A mon avis c'est un tiers de la note.

Enfin dans votre montage, vous avez fait deux mesures, quelles autres manipulations pouvez-vous faire avec les mêmes dispositifs ? Mesure de la différence de  $R$  avec la température pour les dopés N. Aussi mesure de la mobilité des porteurs. Vous aviez le nombre de porteurs donc vous auriez pu directement avoir  $\rho = SR/L$  la résistivité qui est tabulée, elle.

### III – Caractéristique d'une photodiode

On va faire une expérience qualitative à l'aide d'une quartz-iode avec polariseur et analyseur et une photodiode en série avec un GBF et une résistance.

- Jonction PN, sous une tension, les électrons vont vouloir aller dans la zone P pour rétablir la neutralité électrique -> Apparition d'une zone de déplétion qui crée un champ  $E$  qui peut-être compensé par une tension appliquée.
- Le cas où elle est compensée, on a donc un la partie qui monte.
- Le cas où la tension accentue le phénomène, on est polarisé en inverse.

Pourquoi a priori la jonction est-elle neutre ?

A l'équilibre il y a toujours une diffusion d'électrons ? Oui de la zone N vers P. Donc le schéma est faux non ? Oui.

Quand vous éclairez la jonction, que lui arrive-t-il ? On lui apporte de l'énergie, donc il va y avoir plus d'électrons dans la bande de conduction. On crée donc des paires électrons trous ? Oui donc on a un courant. Pourquoi  $i$  s'annule alors ? Si il n'y a pas de courant, alors il n'y a pas de mouvement des charges. Si  $U$  vaut zéro, on éclaire alors le  $i$  est négatif. Pourquoi ? Je ne sais pas. Où est le forçage de  $U$  sur le schéma ?

Vous ne maîtrisez pas trop cette partie. Les rapports de jury disent bien que deux manipulations quantitatives suffisent pour avoir une bonne note. Si vous ne maîtrisez pas cette partie, enlevez là sans soucis !

Conclusion : On rappelle, as usual.

Remarque sur effet hall : la sonde qu'on a utilisée utilise l'effet hall.

Autres manipulations possibles :

- Transdiode -> Mauvaise idée.
- Absorption du silicium -> A l'aide d'un monochromateur on remonte à l'énergie de gap.

**ALLEZ A FOND DANS LE TRAITEMENT D'INCERTITUDES ET DANS LA DISCUSSION ! TOUS LES LIVRES DE CLASSE PREPA FONT UNE THEORIE SUR LES INCERTITUDES.**

Ce serait bien de faire des incertitudes de type A, statistique pour mettre en œuvre une discussion sur quand propager, quand statistiquer. Par exemple, ici, vous pouvez calculer

$\Delta R$  pour chaque point et faire une étude statistique pour avoir une incertitude sur la pente. Intéressez vous aux deux manières si vous pouvez pour les comparer.