

**Rapport sur le MP 18 :
Semi-conducteurs**

Correcteurs : julien.salort@ens-lyon.fr
david.lopes_cardozo@ens-lyon.fr

Même si cela n'est pas toujours possible, il faudra au maximum conclure une expérience en mettant en avant une caractéristique fondamentale des semi-conducteurs, par exemple comparer la densité de porteurs dans un semi-conducteur dopé à celle d'un semi-conducteur intrinsèque et mettre en avant l'importance de la possibilité de doper les semi-conducteurs, notamment pour fabriquer des jonctions de semi-conducteurs, donc des diodes, des transistors et conséquemment des portes logiques. La dernière manipulation sur la diode Laser n'a été présentée que succinctement : les parties I et II.1) pourraient être condensées car, présentées ainsi, elles apparaissent redondantes, ce qui laisserait bien assez de temps pour la dernière manipulation, voire pour une autre expérience simple.

Il n'est pas utile de faire référence au montage précédent (Métaux). Attention à ne pas tourner le dos au jury.

Introduction

I. Semi-conducteur pur : CTN

Dans cette partie, la dépendance en température de la résistivité d'une thermistance CTN a été étudiée.

Attention, le terme « pur » n'est pas approprié, il vaudrait mieux parler de semi-conducteur « intrinsèque » voire même de « comportement intrinsèque ». Ici, rien ne garantit que la CTN ne soit pas constituée d'un semi-conducteur dopé, ou alors il faudrait s'en assurer en trouvant les caractéristiques constructeur. Le comportement de la conductivité en température est effectivement celui correspondant au régime intrinsèque, qu'on observe dans les semi-conducteurs non dopés, mais, comme cela a été montré dans la partie II.1), ce régime est également présent dans une certaine gamme de températures pour les semi-conducteurs dopés. Présentée telle quelle, cette partie donnait la fausse impression qu'on étudiait un semi-conducteur pur, ce qui n'est en rien garanti ni fondamental à l'expérience et est redondant avec la partie II.1). Par contre, elle pourrait être présentée comme une application (partie III) des semi-conducteurs à la mesure de température pour laquelle le comportement « intrinsèque », que ce soit dans un semi-conducteur dopé ou non, est exploité.

Avec une CTN, on vérifie bien que la conductivité est proportionnelle à $\exp(-E_g/k_B T)$. Il est à noter que, plus précisément, dans le régime intrinsèque la conductivité est proportionnelle à $T^{3/2} \exp(-E_g/k_B T)$, mais le terme exponentiel domine sur celui en $T^{3/2}$ dans la gamme de température étudiée ici.

II. Semi-conducteur dopé

1) Conductivité

En utilisant une plaquette à effet Hall, la dépendance de la conductivité d'un semi-conducteur dopé avec la température a été mesurée. On identifie bien deux régimes : extrinsèque où la conductivité est indépendante de T et intrinsèque, comme dans la partie I. Comme discuté lors des questions, deux autres régimes, qu'il suffit d'avoir en tête (a priori, ils sont beaucoup plus difficiles à atteindre expérimentalement) existent : lorsque $k_B T \gg E_g$ le semi-conducteur se comporte comme un métal et à très basse température on peut « geler » les porteurs de charges apportés par les impuretés dopantes (régime d'ionisation extrinsèque), la conductivité chutant brutalement.

2) Effet Hall

La manipulation n'a pas donné des résultats cohérents avec ceux de la préparation, nous n'avons pas réussi à déterminer pourquoi. Essayez au maximum de maintenir les conditions expérimentales inchangées entre préparation et présentation. Ne supprimez pas les points pris en direct, même s'ils sont incohérents, le jury voudra peut-être revenir dessus.

Quelques questions :

- Quels sont les porteurs de charge dominants ? On peut le savoir car le signe de la constante de Hall en dépend.
- Comparer la densité de porteurs à celle du Germanium non dopé.
- Avec un semi-conducteur intrinsèque, aurait-on un effet Hall ? Oui, bien que les densités d'électrons et de trous soient alors égales, car les mobilités des électrons et des trous sont différentes. L'effet est plus difficile à mesurer que dans un semi-conducteur dopé. Si les mobilités des électrons et des trous étaient égales (en norme, car le signe dépend de la charge du porteur) il n'y aurait pas d'effet Hall mesurable car alors, dit simplement, l'effet Hall sur les trous et celui sur les électrons se compenseraient exactement.
- Comment marche un Teslamètre ? Comment s'affranchir de la dépendance en température pour mesurer un champ magnétique ?
- Est-ce que la tension de Hall tend vers 0 quand la température tend vers l'infini ? Non, a priori à haute température un semi-conducteur fini par se comporter comme un métal et il y a aussi un effet Hall dans les métaux.

III. Applications

1) Photorésistance

Ne pas confondre photorésistance et photodiode. Les deux exploitent l'effet photoélectrique interne (l'absorption d'un photon n'arrache pas un électron à la structure (effet externe) mais excite cet électron de la bande de valence dans la bande de conduction) mais la photorésistance est un unique semi-conducteur alors que la photodiode est formée d'une jonction de semi-conducteurs.

Les résultats obtenus en direct n'étaient pas cohérents avec ceux obtenus en préparation, cela était probablement lié à la forte luminosité dans la pièce. Même si cela n'est pas forcément le seul paramètre important, il faut toujours lors d'une manipulation d'optique s'isoler au maximum des possibles lumières parasites : fermer les volets, mettre une boîte autour du montage...

Question : l'effet est-il réversible ? Non, a priori, si on mettait une tension aux bornes de la photorésistance, elle ne produirait pas de lumière. En principe pourtant, l'électroluminescence, phénomène inverse de l'effet photoélectrique interne, est possible mais sous certaines conditions : par exemple il faut que le semi-conducteur ait un gap « direct », qu'il n'absorbe pas tout le rayonnement qui pourrait être émis... On peut également obtenir une électroluminescence en utilisant des jonctions de semi-conducteurs dopés : par exemple les fameuses DEL (diodes électro-luminescentes).

En mesurant le coefficient de la loi de puissance liant résistance et flux lumineux, on reste un peu sur notre faim, car cela ne peut pas être relié à une caractéristique fondamentale du semi-conducteur. Une autre expérience possible serait la mesure du temps de recombinaison des paires électrons-trous en mesurant le temps réponse de la photorésistance. Il est aussi possible d'étudier une photodiode et de présenter ainsi une jonction de semi-conducteurs (on pourra par exemple remonter au rendement quantique).

2) Diode Laser

Une diode Laser n'est pas l'inverse d'une photorésistance. Comme discuté ci-dessus, une photodiode est une jonction de semi-conducteurs, ce qui la distingue déjà d'une photorésistance. Une diode Laser est une jonction de semi-conducteurs électroluminescente munie d'une cavité Laser (la jonction de semi-conducteurs peut-être construite de telle manière que les matériaux aient les bonnes propriétés optiques pour former une cavité optique). Par spectroscopie, on peut remonter à l'énergie de gap, mais encore une fois, la conclusion semble alors quelque peu faible. Il faut au moins la comparer à une valeur tabulée, et insister sur l'intérêt des diodes Laser.