MP 18 : Semi-Conducteurs

Léa & Guilhem.

Biblio : [1] Introduction à l'électronique — DONNINI
[2]. Optique Expérimentale — SEXTAN
[3]. Dico de Physique Exp IV. — DONNINI - QUARANTA
[4] Expériences d'Électronique — DUFFAIT.
[5] Dico Physiq. Exp III — DONNINI - QUARANTA

Plan :

I. Caractérisation des Semi-conducteurs

1 - Influence de la T° sur un SC intrinsèque [4] p110 - [3] p543.
2 - Semi-Conducteur extrinsèque - Dopage - Densité de Porteurs [5] - p432.

II. Application : LA CELLULE PHOTOVOLTAÏQUE

1 - Caractéristique [2] p85
2 - Optimisation du fonctionnement [2] p85
3 - Rendement.

INTRO :

Les semi-conducteurs sont des matériaux présentant une conductivité électrique intermédiaire entre les métaux et les isolants. Cela est dû au fait que la bande de conduction des SC est séparée de la Bande de Valence par une bande d'énergie interdite, le gap. Ils conduisent donc mais bien qu'un métal mais mieux qu'un isolant ($E_g \simeq 1eV$ pour SC contre $\simeq 6eV$ pr les isolants). C'est au 19ème siècle que ces propriétés ont été observées (par M. Faraday). Depuis, les SC ont largement "envahis" la vie quotidienne. Ils sont en effet primordiaux en électronique et ce, car ils offrent la possibilité de contrôler la qté de courant et la direc° du courant qui les traverse.

Le but de ce TP est de mettre en évidence certaines caractéristiques des SC (à savoir l'énergie de gap pour un SCI et la densité de porteurs pour un SCE) et d'étudier ensuite un exemple pratique de l'utilisa° des semi-conducteurs = la cellule photovoltaïque.

I. Caractérisation des Semi-Conducteurs:

1. Influence de la T° sur un semi-conducteur intrinsèque: [3] p 543 / [4] p110.

L'agitation thermique dans un SC I permet à des e^- de la Bande de Valence BV à passer dans la bande de Conduction BC et donc, d'assurer la conduction dans le milieu. (Déplacem^t des e^- dans BC et des trous ds la BV)

La densité volumique d'e^- et de e^+ pour un semi-cond. intrinsèque est fonction de la T° et est donnée par: $\boxed{n = p = AT^{3/2} e^{-E_g/2kT}}$ E_g = gap à 0K.

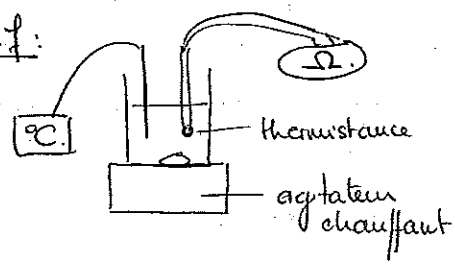
La conductivité du matériau s'écrivant $\sigma = (n\mu_n + p\mu_p)e$ est d'autant plus importante que n et p sont grand donc T.

On cherche à vérifier expérimentalement la loi de dépendance de R avec la température pour une thermistance CTN (coefficient Négatif de T°)

$$\boxed{R(T) = R_0 e^{\frac{E_g}{2k}\left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0}\right)}}$$ avec R_0 = résistance à T_0.

On s'attend à avoir une exponentielle ↘ et en traçant $\ln R = f\left(\frac{1}{T}\right)$ on pourra remonter à E_g.

Dispositif:



R mesuré à l'Ohmètre

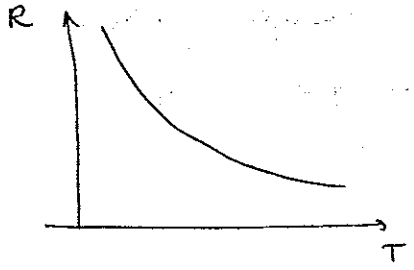
T " au thermomètre num.

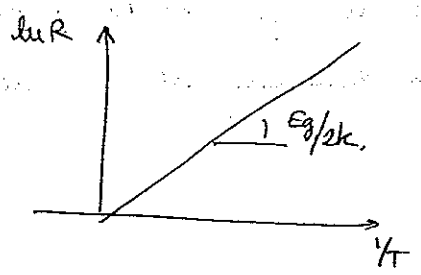
Thermistance utilisée: CTN caractérisée par sa valeur de R à 20°C R = 47Ω.

Rq: Il faut que le courant qui circule ds la thermistance ne soit pas tp élevé pr éviter échauffem^t du matériau.

Mesure: R = Ω ± Ω

T = ± °C.





$\boxed{E_g = \quad}$

<u>OdG:</u> Pr le Germanium $E_g = 0{,}66\,eV$
Silicium $E_g = 1{,}12\,eV$

On ne sait pas en quoi est fait la thermistance précisement mais on trouve un bon ordre de grandeur. Pour 1 SC $0{,}3\,eV \leq E_g \leq 1\,eV$

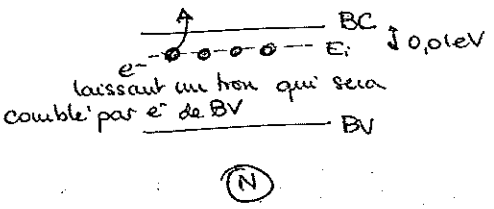
E_g est à comparer avec kT à 300k : $kT = \frac{1}{40}\,eV = 0{,}025\,eV$
$\Rightarrow$ Peu conducteur à Tamb.

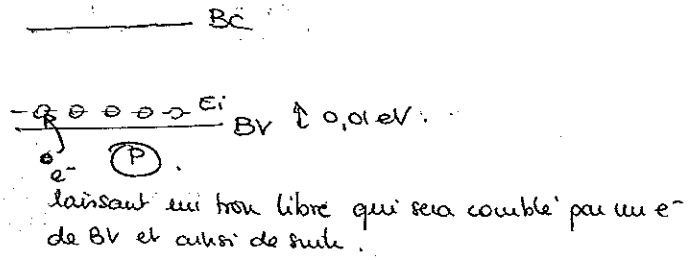
C'est pourquoi on dope les SC pour qu'ils soient + conducteurs.

<u>Rq:</u> A noter aussi la forte dépce de R aux T° usuelles $\rightarrow$ thermistances st utilisées cô thermomètre après étalonnage.

2. Semi-conducteurs extrinsèques - Dopage - Densité de porteurs (5) p 432.

On distingue les SC dopés N et dopés P. Le Dopage ajoute un niveau d'energie intermédiaire (proche de BC pour N et proche de BV pour P - De l'ordre de 0,01 eV) dans la bande interdite. Il est donc plus facile pour les e^-/e^+ de passer ds BC/BV. On ajoute des impuretés des colonnes III et V de la CP.

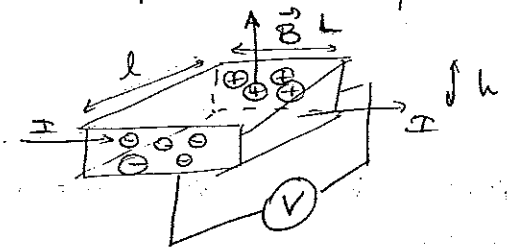




Même une faible quantité d'impuretés modifie grandement le comportement electrique du SC.
Le nbre de porteurs est déterminé par la [ ] en impureté, c'est pourquoi on parle de conduction <u>EXTRINSÈQUE</u>

Nous allons etudier cette caractéristique (densité de porteurs).
Il est en effet possible de mesurer la densité et la mobilité des porteurs dans un echantillon de SC dopé grâce à l'effet Hall.

Les porteurs soumis à un courant et à un chp externe $\vec{B}$ vont être déné ($\vec{F} = q\vec{v} \wedge \vec{B}$) vers les parois latérales $\Rightarrow$ ddp aux bornes de l'échantillon. V_H.



Porteur soumis à $F_E = \frac{qV_H}{l}$

$F_B = \frac{IB}{nlh}$

en régime permanent $F_E = F_B$ $\Rightarrow$ $\boxed{V_H = \frac{IB}{nqh}}$.

<u>Dispositif</u>: On dispose d'un mcx de Germanium dopé n.
(<u>Dimension</u>: $L \times l \times h = 20 \times 10 \times 1$ mm).

→ On trace d'abord la courbe d'étalonnage $B = f(i)$ pour connaître B ds l'électroaimant. (B mesuré au teslamètre)

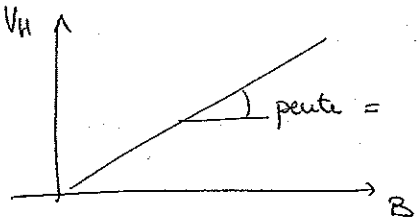
<u>Rq</u>: Utiliser des pièces plates ds l'entrefer pr avoir chp uniforme.

→ On place ensuite le barreau de Ge. Il est parcouru par un courant <u>$I = 14{,}3$ mA</u>.

On mesure V_H avec un mV et on trace $V_H = f(B)$.

i_{alim} = $\Rightarrow$ B =

V_H = ±



$\rightarrow n = \frac{I}{\text{pente} \, qh}$ $h = 1$ mm.

On trouve $\boxed{n = \quad}$

<u>OdG</u>: Pour un semi-conducteur intrinsèque : $n \simeq 10^{18}\ m^{-3}$
Pour un métal $n \simeq 10^{28}\ m^{-3}$.

<u>Rq</u>: Effet Hall non mesurable avec des métaux (n tp élevé). $\Rightarrow$ utilisa° des SC dopés ds les teslamètres pr mesure de champ (d'où nécessité de connaître les caractéristiques du SC utilisé ds la sonde).

On peut également remonter à la mobilité des porteurs de charges en mesurant la conductivité du sc.

En effet $\sigma = nq\mu = \frac{L}{l.h}\frac{1}{R}$ ... R = résistance du barreau mesurée à l'ohmètre.

$$\Rightarrow \boxed{\mu = \frac{L}{nqlhR}}$$

On mesure R = ...

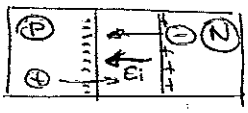
$$\boxed{\mu = \quad}$$

ODG : pour le Germanium $\mu_n = 3900\ cm^2.V^{-1}.s^{-1}$ pr les e^-.

En pratique, on n'utilise pas seulem^t un sc dopé ou 1 sc dopé P ou fait des associations pour que ce soit encore mieux !
On va donc s'interesser maintenant à une des (nbreuses) application de la jonction PN : la cellule photovoltaïque.

II. APPLICATIONS DES SCE : LA CELLULE PHOTOVOLTAÏQUE :

Cellule photovoltaïque = jonction PN.
= élem^t de base du panneau solaire.



système déséquilibré → diffusion de l'excès de trou côté N d'e^- côté P.

Zone P se charge < 0
Zone N ——— > 0 ⇒ Appari^n d'1 chp Ei qui stoppe la diffusion.

Au centre, zone de déplétion dépourvue de porteurs maj.

Si on applique un chp à la j$^{\circ}$: 2 effets :

→ chp de m̄ sens que Ei (j$^{\circ}$ polarisée en inverse) ⇒ on renforce Ei, zone de déplétion agit cō 1 isolant

→ chp de sens opposé (en direct) ⇒ ∃ seuil pr lequel e^-/e^+ peuvent franchir la zone de déplétion ⇒ j$^{\circ}$ passante.

Une cellule photovoltaïque = photodiode qui fonctionne en generateur.

Les cellules photovoltaïques st optimisées pr fournir la puissance maximale pour un eclairem energetique dt l

La cellule photovoltaïque reçoit un flux de photons. L'energie d'1 photon absorbé est transfeteé à un electron de la BV vers BC. Sous l'action du champ regnant dans la jonction, il est collecté et apparait une ddp aux bornes de la cellule en circuit ouvert $\sim \frac{E_g}{2q}$ (=> Tension d'autant + gde que E_g gd)

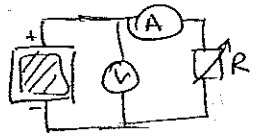
De plus + le gap est petit, + il y aura de photons qui auront energies suffisantes pour exciter les electrons. => + E_g petit, + courant ↑.

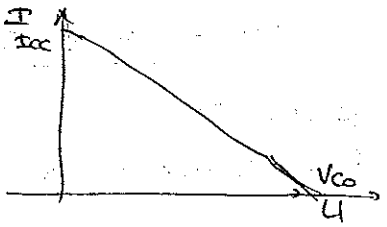
ccl. compromis à faire sur E_g pour avoir une puissance max.

En general, on prend du Si ($E_g \simeq 1,1\,eV$).

1. Caractéristique : [2] p85

On trace I en fonc° de U pour un même eclairement e.



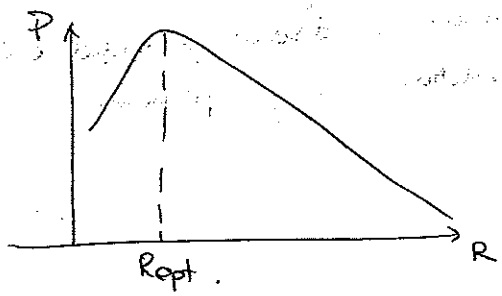


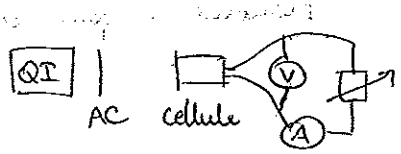
2. Optimisa° du fonctionnem de la cellule. [2] p85.

On se propose de mesurer la valeur de la charge adaptée ie la valeur de la charge pour laquelle la puissance electrique obtenue est maximale.

Pour avoir une ordre d'idée de la valeur de R on estime sa valeur en faisant le rapport $\frac{V_{co}}{I_{cc}} = \frac{\text{tension en circuit ouvert}}{\text{intensité de court circuit}} \simeq \frac{500\,mV}{5\,mA} \simeq 100\,\Omega$.

On fait varier R de 0 à 100Ω et on trace $P = f(R)$. Sous eclairage cst.





3 - Calcul du rendement.

A R = Ropt. On mesure U =
I = $\Rightarrow$ $P_{délivrée}$ =

Au luxmètre on mesure le Φ_{inc} = klux

On converti les klux en watt sachant que la surface de la cellule vaut $S = 1,13.10^{-3} m^2$ et que $1 \text{ lux} \simeq 1,5.10^{-3} \text{ Watt}.m^{-2}$

La puissance d'éclairement vaut donc $P_{éclair} = \Phi(\text{lux}) \times 1,5 \times S$

$P_{éclairement}$ =

$\eta = \frac{P_{éclair^t}}{P_{délivrée}} \times 100$. $\Rightarrow$ $\boxed{\eta = \quad}$

CCL: c'est faible (voire très faible) $\Rightarrow$ c'est pq on fait des associations série / parallèle pour fabriquer les panneaux solaires. où on arrive à des rendem' de 15 à 20%.

CONCLUSION: Ce qu'il faut retenir de ce TP c'est qu'on a pu remonter à des grandeurs microscopiques caractéristiques des semi-conducteurs. et cela leur confèrent leur propriétés électriques remarquables. De ce fait ce sont des bons candidats, on l'a vu, pour des instruments thermométriques, pr des mesures de champ, des détecteurs de particules sans oublier les composants électroniques (diode, transistor ....)