

M P 18

Matériaux semi-conducteurs.

Pi - Max 2011/2012.

Biblio : - Serban
- Oullark

- Quarantz IV / III

- Dispositifs et circuits intégrés semi-conducteurs (Vapille - Castagne)
Dunod [pour la culture].

Plan

I. Influence de T sur un SC intrinsèque

II. Mesure de la densité de porteurs sur un SC extrinsèque

III. Cellule photovoltaïque.

Intro

* les semi-conducteurs sont intermédiaires entre isolants

↳ bande de conduction vide à 0 K

↳ bande de valence pleine à 0 K. [comme la mer de J.Y.]

⇒ Bande de conduction n remplie qd $T \uparrow$ (E_{gap})

$$\begin{cases} E_{gap} \sim 1 \text{ eV} \\ kT_{amb} \sim \frac{1}{40} \text{ eV} \end{cases}$$

* Si un e^- transite dans conduction → création de trous

↳ 2 type de porteurs : $\begin{cases} \text{trous} \rightarrow p \\ e^- \rightarrow n \end{cases}$

* Possibilité de dopage p ou n pour contrôler la conductivité.

* Faire distinction SC

- intrinsèque : sans impuretés ni défauts (non dopé)

- extrinsèque : impuretés ou défauts volontairement ou non introduits.

* Pour SC typique : $n = 10^{22} \text{ cm}^{-3}$ (nombre e^-)

conductivité : $10^{-3} \rightarrow 10^3 \text{ } \Omega \cdot \text{cm}$ (SC dopés)

$\frac{1}{T}$: Influence de $\frac{1}{T}$ sur un SC intrinsèque

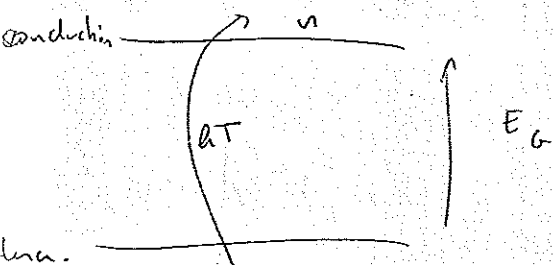
Objectif : mesure de l'énergie de gap.

Duflot p. 110 Quenec p. 563

Formule : $R(T) = R_0 \frac{3k}{e} + \frac{E_g}{2kT}$

On considère SC intrinsèque, la conductivité n'est due qu'à

la bande de valence. Si on chauffe, n augmente, $R \searrow$



* On prend un CTN à 7 Ω

* En préparation, mesure de $R(T)$ dans bain d'eau + ou - chaude.

En live, mesure de $R(T)$ avec T = température de l'en du robinet.

• Mesure de T : Fluke 85 : précision $\pm 1,1^\circ\text{C}$

• Mesure de R : Fluke 187 : précision : $0,05\%$ $\pm$ 10 digit (fiche technique).

On trace : $\ln R = f\left(\frac{1}{T}\right) \rightarrow$ droite. (en échelle $\ln$, la barre $T^{-3/2}$ est constante sur notre plage de mesure)

On trouve : $E_g \approx 0,5 \text{ eV}$

Ordre : Germanium : 0,66 eV
Si : 1,12 eV
GaP : 0,67 eV

$\Rightarrow$ bon ordre de grandeur.

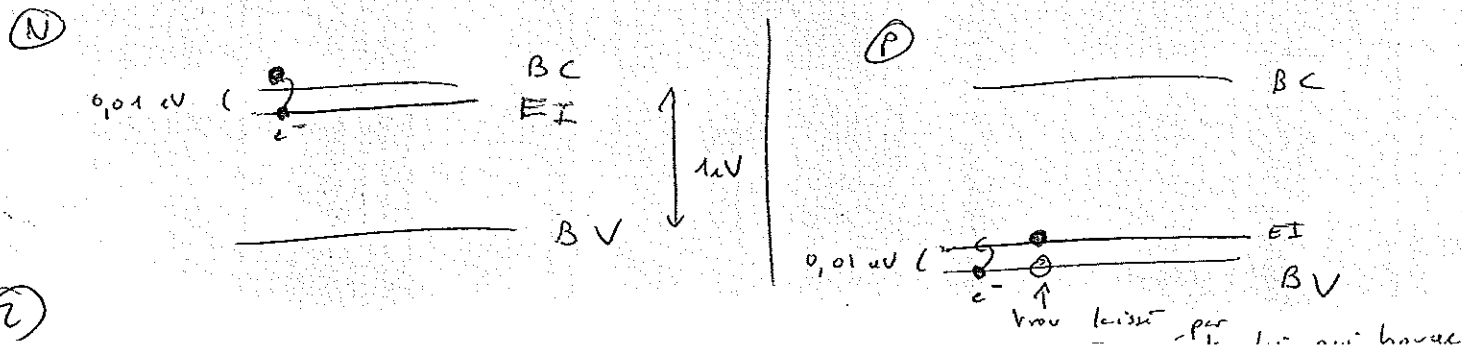
Or $kT_{\text{amb}} \approx \frac{1}{40} \text{ eV} \ll E_g \rightarrow$ mauvais conducteur
 $\rightarrow$ dopage pour contrôler conductivité.

Rq : $R(T)$ varie bcp $\rightarrow$ sert à étalonner thermomètre.

II . Mesure de densité de porteurs sur un SC extrinsèque.

$\rightarrow$ Quatrième IV.

$\rightarrow$ SC dopé N ou P $\Rightarrow$ rajoute un niv. d'E intermédiaire dans la bande interdite. Il est + facile pour les e^- ~~passer~~ d'aller dans la bande de conduction pour le N. Pour le P, c'est les trous qui vont bouger. A T_{amb} , c'est gouverné par le dopage.

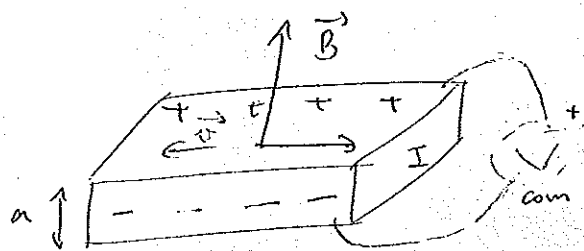


Rg : les e^- du dopage P ne participent pas à la conduction car ils sont localisés sur un atome de dopage.

⇒ les impuretés contrôlent la conductivité : caractéristique extérieure
 ⇒ mot clé à utiliser souvent !

• Par effet Hall, on va mesurer la densité de porteurs.
 ⇒ il y a deux plaquettes, à la fois le dopage P ne marche pas bien (chauffage et polar HS).

Dopé (n)



Force : $-q\vec{v} \wedge \vec{B}$: envoie les e^- vers le bas.

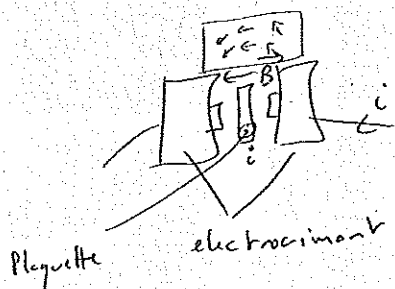
⇒ on peut déterminer le dopage avec mes de la tension

⇒ pour dopé (P), comme les porteurs sont des trous de charges positive, la tension est inversée.

Pour montrer ça, la plaquette P marche (uniquement pour ça)

Manip qualitative : sens de V_H selon dopage.

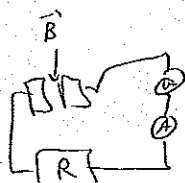
→ Pour le sens de $\vec{B}$, utiliser une plaquette avec piliers de piliers / boussoles



Manip quantitative : mesure de n .

Pour mesurer n , plusieurs étapes.

• En préparation → mesur de $\vec{B}$ électromagnétique en fonction de I .

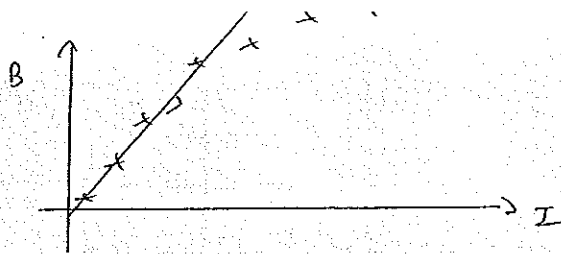


⇒ on utilise un sonde à effet Hall

→ Δ à l'ampérage.

→ R : rhéostat

On trace



La mesure de B différentielle (de chaque côté de la sonde).

On se place dans la zone linéaire : $B = \alpha I_{\text{sat}} + b$

* Mesure de V_H en direct : on connaît I_{sat} donc B .

→ soit mesure différentielle.

→ soit on a bien réglé le potentiomètre de la plaquette pour mettre V_H résiduel à 0

(on peut faire les deux pour plus de sûreté).

On trace

$$V_H = \frac{1}{na} IB$$

I → courant qui passe dans la SC

↳ incertitudes : mesure sur Fluke 187, cf doc.

On trace $V_H = f(IB)$ → droite passant par (0,0).

NB : Prévoir un testeur en cas où étalonnage fautive.

On mesure $n \approx 2 \cdot 10^{21} \text{ m}^{-3}$

odg : - SC intrinsèque : $n \approx 10^{18} \text{ m}^{-3}$
- métal : $n \approx 10^{28} \text{ m}^{-3}$

Rq : → Effet Hall dans métaux → non mesurable (n trop gd).

↳ on utilise donc un SC dopé.

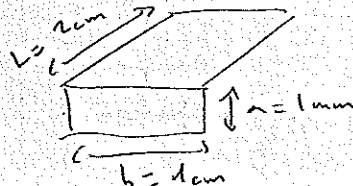
On en déduit la mobilité μ

↳ Mesure de R : résistance plaquette à vide. (sans fusible).

$$R \approx 39 \Omega$$

$$\Rightarrow \mu = \frac{L}{n q a h R}$$

(L, l, h données / fiche technique).



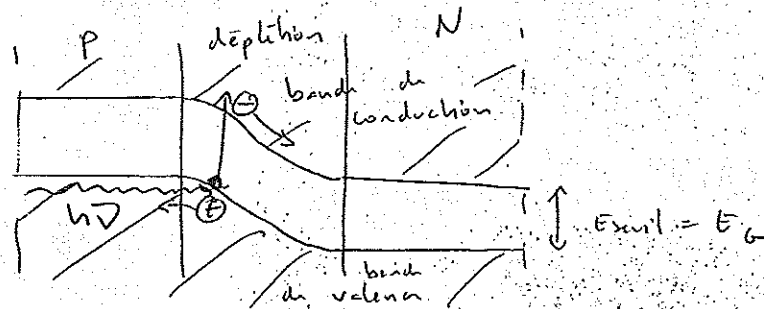
On trouve $\mu = 1 \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$
...to cm^2

0da : Germanium : $\rho_{e-} = 3900 \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$

III - Cellule photovoltaïque -

- Jonction PN : une application industrielle.
- Substrat / Diffusé.
- C'est un photodiode désigné pour fonctionner à l'obscurité.

Principe fonction énergie



Pour + de détail, cf le bouquin SC en biblio.

- Cellule photovoltaïque : fonctionnement générateur

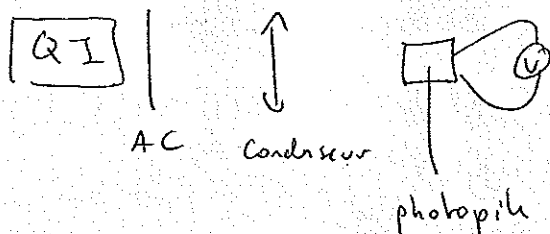
Un photon arrive, son énergie est transférée à un e^- qui va $BC \rightarrow BC$. Sous l'action du champ dans la zone de déplétion, il bouge ~~→ courant~~ et est collecté aux bornes de la cellule $\rightarrow$ apparition ddp en circuit ouvert $V_{oc} = \frac{E_g}{2q}$

Si E_g faible, plus d' e^- montent $\rightarrow i \uparrow$

Cel : compromis pour maximiser $V \times i$

- On va chercher à mesurer le rendement de la cellule.

(a) Mesure flux incident

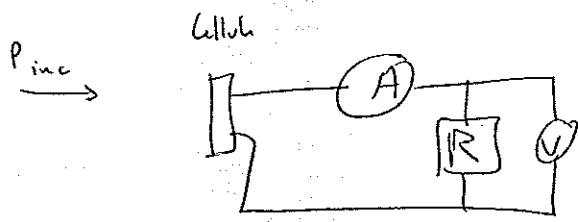


Par un photopile V et $\phi_{incident}$
On utilise un photopile car c'est le seul détecteur qui absorbe tous les rayonnements incidents.

$\Rightarrow$ mesure P_{inc}

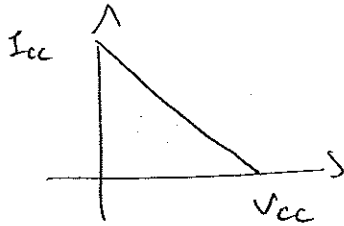
⚠ Photopile $\rightarrow$ corps noir : long $\approx$ thermique (plusieurs secondes).
 $\rightarrow$ super sensible (détecte le rayonnement thermique humain !)

⑥ Caractéristique & cellule / optimisation



(Puissancemètre pas adapté, utiliser 2 flukes).

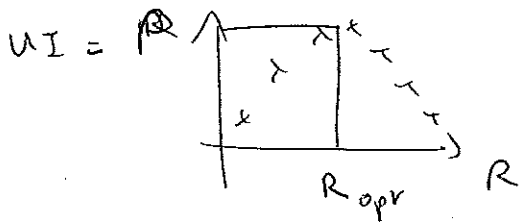
$I = f(U)$ en faisant varier R .



• Important $V_{cc} \sim \frac{E_g}{2q} \sim \frac{E_g}{2} \text{ (eV)}$

$V_{cc} \rightarrow R = \infty$
 $I_{cc} \rightarrow R = 0$ $\rightarrow$ importants.

On trace $P = f(R)$



$$P_{max} = f(R_{opt})$$

$\rightarrow R_{opt}$: charge adaptée
 $\hat{=}$ la cellule optimise
 la puissance fournie.

Normaliser : $R_{opt} \approx \frac{V_{cc}}{I_{cc}}$

⑦ Rendement

$$\eta = \frac{P_{max}}{P_{inc}} \rightarrow \text{très faible.}$$

$\hookrightarrow$ il faut faire des associations pour que ça soit rentable.

Conclusion

Les SC c'est cool, ça fait des droites
 et c'est utile !