

Effet Hall

On appelle *effet Hall* l'apparition d'un champ électrique transversal et, par suite, d'une différence de potentiel dans un métal ou un semi-conducteur parcouru par un courant électrique lorsqu'on l'introduit dans une induction magnétique perpendiculaire à la direction du courant. On pratique on utilise les semi-conducteurs dopés afin de déterminer le nombre de porteurs de charges (par unité de volume) dans le cas du germanium.

1 Théorie

Soit un long conducteur parallélépipédique connecté à une batterie et dont la longueur a la direction du vecteur unitaire \vec{e} orienté dans le sens du courant. En l'absence de l'induction magnétique, le champ électrique \vec{E} a le sens et la direction de \vec{e} . Les charges q se déplacent à la vitesse \vec{v} de même direction que \vec{e} et de même sens si $q > 0$.

Si à présent on applique une induction magnétique \vec{B} perpendiculaire à \vec{E} , q subit la force de Lorentz :

$$\vec{F}_m = q\vec{v} \wedge \vec{B}$$

Le dessus du conducteur se charge positivement (excès de charge) tandis que le dessous se charge négativement, créant ainsi un champ électrique \vec{E}_H normal à \vec{E} . q est alors aussi soumise à une force électrique dirigée vers le bas :

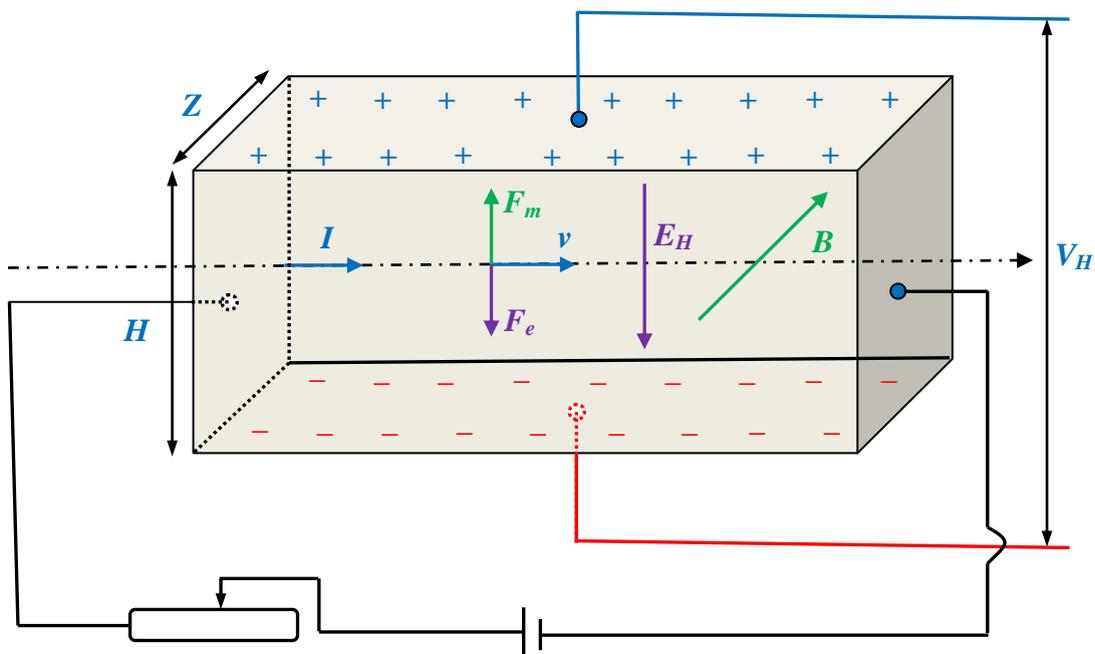
$$\vec{F}_e = q\vec{E}_H$$

s'opposant à l'effet de la force :

$$\vec{F}_m = q\vec{v} \wedge \vec{B}$$

La migration des charges s'arrête quand les deux forces sont égales, donc quand :

$$E_H = v \cdot B$$



Il règne alors entre les faces du conducteur une tension appelée *tension de Hall* :

$$V_H = E_H H$$

Où H est la hauteur du parallélépipède). Dès lors :

$$V_H = vBH$$

Comme la vitesse des électrons est liée à l'expression du courant I par la relation :

$$I = Nqav$$

(où N est le nombre de porteur de charges par m^3 et $a = H.Z$ la section du conducteur. On obtient ainsi :

$$V_H = \frac{IB}{NqZ}$$

La quantité $R_H = \frac{1}{Nq}$ est appelée le coefficient de Hall.

Ce résultat est remarquable car il permet de déterminer le nombre de porteurs de charges (par m^3), une grandeur microscopique, à partir des mesures macroscopiques du courant dans la plaque, de l'induction et de la tension de Hall :

$$N = \frac{IB}{qZV_H}$$

Pour une plaque de $Z = 1$ mm, on obtient :

$$N = \frac{1}{1.6 \times 10^{-22}} \times \frac{IB}{V_H}$$

2 Les semi-conducteurs

La conductivité électrique d'un matériau dépend de l'énergie nécessaire pour qu'un de ses électrons puisse quitter les deux atomes qu'il contribue à lier :

- Pour les isolants, W vaut plusieurs eV
- Pour les conducteurs, W est quasi-nulle
- Pour les semi-conducteurs, W vaut environ 1eV

Contrairement à ce qui se passe pour les conducteurs, la résistance des matériaux semi-conducteurs diminue avec la température : l'agitation thermique facilite la rupture des liaisons covalentes et provoque la conductibilité du cristal.

Pour chaque rupture de liaison, il apparaît un électron libre et la structure de l'atome correspondant présente un "trou". Cette *lacune* a tendance à être comblée (pour revenir à un état d'énergie plus basse) par un électron provenant d'un atome voisin auquel il manquera à son tour un électron, et ainsi de suite.

Ex : à 27°C (300K)

- Il y a dans le germanium pur $2,5 \cdot 10^{13}$ paires électron-trou pour $4,52 \cdot 10^{22}$ atomes (par cm^3).
- Le cuivre possède $1,2 \cdot 10^{23}$ électrons conducteurs pour $0,85 \cdot 10^{23}$ atomes (par cm^3 c.à.d. 1,3 électrons de conductivité par atome).

On peut améliorer la faible conductivité à température ordinaire des semi-conducteurs purs en les *dopant*, c.à.d en leur ajoutant une petite quantité d'impuretés de type connu :

- Si dans un cristal de germanium pur, on introduit des atomes d'un élément possédant un électron de valence en plus, on obtient un semi-conducteur de *type n* car la conduction sera essentiellement assurée par les électrons libres provenant de l'impureté.
- Si par contre, on introduit des atomes d'un élément possédant un électron de valence en moins que le germanium, la conduction se fera par déplacement des lacunes : on obtient un semi-conducteur de *type p* car les porteurs de charges sont majoritairement positifs.

Les semi-conducteurs de type *n* et *p* présentent des effets Hall.

- Pour le type *n*, l'induction magnétique modifie la répartition des électrons : l'effet Hall apparaît donc dans le même sens que dans les métaux.
- Pour le type *p*, c'est la répartition des lacunes qui change : on observe l'effet inverse.