



TAREAS

- Comprobación del efecto Hall en germanio dotado.
- Medición de la tensión de Hall en dependencia con la corriente y con el campo magnético a temperatura ambiente.
- Determinación, del signo, la densidad y la movilidad de los portadores de carga a temperatura ambiente.
- Medición de la tensión de Hall en dependencia con la temperatura de la muestra.
- Determinación de la temperatura de inversión y diferenciación entre la conducción extrínseca e intrínseca en germanio dotado en p.

OBSERVACIÓN

La dependencia con la temperatura de la conductividad eléctrica de los cristales de germanio utilizados se estudia en detalle en el experimento UE6020100.



OBJETIVO

Estudio de los mecanismos de la conducción eléctrica en germanio dotado, tomando como base el efecto Hall

RESUMEN

El efecto Hall se observa en materiales que conducen la corriente eléctrica cuando se encuentran en un campo magnético B . El signo de la tensión de Hall cambia dependiendo si la corriente continua I está conformada por portadores de carga positivos o negativos. Por lo tanto, el efecto Hall ofrece un instrumento importante para la determinación de los mecanismos de transporte de cargas en semiconductores dotados. En el experimento se estudian cristales de germanio dotados, en una gama de temperaturas entre 300 K y 450 K, para diferenciar si la conducción eléctrica ha sido posible por dotación o por la activación térmica de electrones de la banda de valencia en la banda de conducción haciendo posible la conducción intrínseca o propia.

EQUIPO REQUERIDO

Número	Aparato	Artículo N°
1	Aparato básico del efecto Hall	1009934
1	n-Ge sobre placa de circuito impreso	1009760
1	p-Ge sobre placa de circuito impreso	1009810
1	Sensor de campo magnético ± 2000 mT	1009941
1	Bobina D con 600 espiras	1000988
1	Núcleo en U	1000979
1	Par de piezas polares y arco tensor para el efecto Hall	1009935
1	Transformador con rectificador 3/ 6/ 9/ 12 V, 3 A (230 V, 50/60 Hz)	1003316
1	Transformador con rectificador 3/ 6/ 9/ 12 V, 3 A (115 V, 50/60 Hz)	1003315
1	Fuente de alimentación CC, 0 – 20 V, 0 – 5 A (230 V, 50/60 Hz)	1003312
1	Fuente de alimentación CC, 0 – 20 V, 0 – 5 A (115 V, 50/60 Hz)	1003311
1	Multímetro digital P3340	1002785
1	3B NETlog™ (230 V, 50/60 Hz)	1000540
1	3B NETlog™ (115 V, 50/60 Hz)	1000539
1	Juego de 15 cables de experimentación de seguridad, 75 cm	1002843
Recomendado adicionalmente:		
1	3B NETlab™	1000544

FUNDAMENTOS GENERALES

El efecto Hall se observa en materiales conductores de corriente, cuando se encuentran en un campo magnético B . Este efecto tiene su origen en la fuerza de Lorentz, la cual desvía los portadores de carga perpendicularmente a la dirección de la corriente y al campo magnético activo. La separación de las cargas da origen a un campo eléctrico E_H , perpendicular a la dirección de la corriente, el cual compensa la fuerza de Lorentz y origina una tensión de Hall U_H entre los bordes de la muestra. El signo de la tensión de Hall cambia dependiendo si la misma corriente se origina por portadores de carga negativos o positivos. Su magnitud depende de la densidad de portadores de carga. Por lo tanto, el efecto Hall presenta un instrumento importante para la determinación del mecanismo del transporte de cargas en un material conductor de la corriente, el cual se utiliza frecuentemente para el estudio de semiconductores dotados.

En el experimento se estudian cristales de germanio dotados, en una gama de temperaturas entre 300 K y 450 K. Los cristales son realizados como una muestra de forma plana de longitud a , ancho b y espesor d , a través de la cual fluye la corriente I en dirección longitudinal. El campo magnético B atraviesa la muestra perpendicularmente a la corriente. De allí se genera la tensión de Hall

$$(1) \quad U_H = R_H \cdot \frac{B \cdot I}{d}$$

con el coeficiente de Hall

$$(2) \quad R_H = \frac{1}{e} \cdot \frac{n_p \cdot \mu_p^2 - n_n \cdot \mu_n^2}{(n_p \cdot \mu_p + n_n \cdot \mu_n)^2}$$

$e = 1,602 \cdot 10^{-19}$ As: Carga elemental

Las densidades, n_n de los electrones en la banda de conducción, n_p de los electrones de defecto en la banda de valencia, así como las movilidades, μ_n de los electrones y μ_p de los electrones de defecto, son magnitudes del material y dependen de la temperatura T de la muestra.

Además de la tensión de Hall, en el experimento se mide la caída de tensión U en dirección longitudinal de la muestra, para determinar la conductividad eléctrica

$$(3) \quad \sigma = e \cdot (n_n \cdot \mu_n + n_p \cdot \mu_p)$$

y la llamada movilidad de Hall

$$(4) \quad \mu_H = R_H \cdot \sigma = \frac{n_p \cdot \mu_p^2 - n_n \cdot \mu_n^2}{n_p \cdot \mu_p + n_n \cdot \mu_n}$$

Las densidades de portadores de cargas n_n y n_p son influidas por la dotación del material, es decir por el enlace de átomos ajenos en el cristal. En caso de la dotación-p, átomos aceptadores enlazan electrones de la banda de valencia y generan huecos en la banda de valencia – los llamados electrones de defecto. En caso de una dotación-n átomos donadores entregan cada uno un electrón en la banda de conducción.

Los cristales dotados son electricamente neutros, las cargas positivas y negativas se compensan. Por lo tanto

$$(5) \quad n_n + n_A = n_p + n_D$$

n_A : Concentración de aceptadores

n_D : Concentración de donadores

Además n_n y n_p están acoplados a la regla de equilibrio de concentraciones porque se establece un equilibrio dependiente de la temperatura, se crea por unidad de tiempo la misma cantidad pares de electrón-electrón de defecto como aquellos que se recombinan. Se establece:

$$(6) \quad n_n \cdot n_p = n_i^2$$

n_i Densidad de portadores de carga en conducción propia pura o intrínseca (ver experimento UE6020100)

Por lo tanto, en total se tiene

$$(7) \quad n_n = \sqrt{n_i^2 + \frac{(n_A - n_D)^2}{4}} + \frac{n_D - n_A}{2}$$

$$(8) \quad n_p = \sqrt{n_i^2 + \frac{(n_A - n_D)^2}{4}} + \frac{n_A - n_D}{2}$$

A temperatura ambiente, las concentraciones n_A resp. n_D son mucho mayores que la concentración de portadores de carga en caso de conducción propia pura. Por lo tanto

$$(9) \quad R_H = -\frac{1}{n_D \cdot e} \quad \mu_H = -\mu_n,$$

en dotación-n y 300 K

$$(10) \quad R_H = \frac{1}{n_A \cdot e} \quad \mu_H = \mu_p,$$

en dotación-p y 300 K

El signo y la densidad de portadores de carga se pueden leer directamente a partir de los coeficientes de Hall. La movilidad de los portadores de carga corresponde a la movilidad Hall.

EVALUACIÓN

Como al aumentar la temperatura se tienen más y más portadores de carga a disposición para el transporte de corriente, la tensión de Hall disminuye, hasta llegar al valor cero. Para germanio dotado-p cambia el signo de la tensión de Hall, porque al aumentar la conducción propia domina la influencia de los electrones, cuya movilidad μ_n es mayor. Por debajo de la llamada temperatura de inversión domina la conducción eléctrica hecha posible por la dotación, por encima de la temperatura de inversión domina la conducción propia o intrínseca del germanio. Para altas temperaturas los cristales dotados-p y los dotados-n no se pueden diferenciar, porque

$$n_n = n_p = n_i, \quad R_H = -\frac{1}{n_i \cdot e} \cdot \frac{\mu_n - \mu_p}{\mu_n + \mu_p}, \quad \mu_H = -(\mu_n - \mu_p)$$

La dependencia con la temperatura de las movilidades μ_n y μ_p no se hace más observable en el coeficiente de Hall, porque en ambos casos es válida:

$$\mu \sim T^{-\frac{3}{2}} \quad (\text{ver también el experimento UE6020100})$$

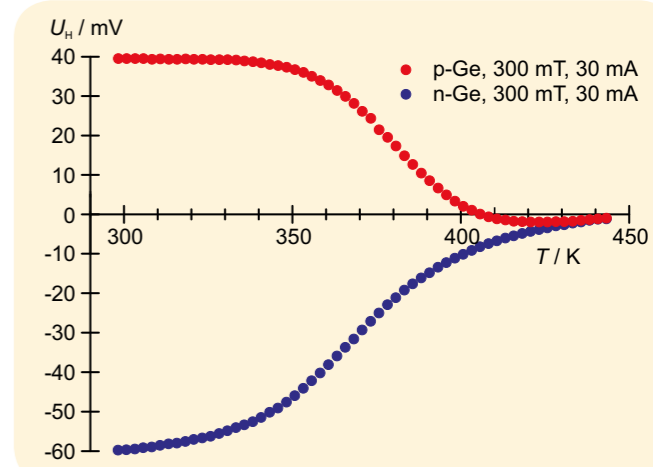


Fig. 1: Tensión de Hall en germanio dotado-p y en germanio dotado-n como función de la temperatura T