



FUNZIONI

- Dimostrazione dell'effetto Hall nel germanio drogato.
- Misurazione della tensione di Hall in funzione di corrente e campo magnetico a temperatura ambiente.
- Determinazione del segno, della densità e della mobilità dei portatori di carica a temperatura ambiente.
- Misurazione della tensione di Hall in funzione della temperatura del campione.
- Determinazione della temperatura di inversione e distinzione tra conduzione estrinseca e intrinseca nei germanio drogato p.

NOTA

La dipendenza dalla temperatura della conducibilità elettrica dei cristalli di germanio utilizzati viene analizzata più in dettaglio nell'esperimento UE6020100.

SCOPO

Analisi dei meccanismi della conduzione elettrica in germanio drogato mediante studio dell'effetto Hall

RIASSUNTO

L'effetto Hall si verifica in nei materiali conduttori in un campo magnetico B . Il segno della tensione di Hall cambia a seconda che la stessa corrente I venga trasmessa da portatori di carica positivi o negativi. Il suo valore dipende dalla densità dei portatori di carica. Pertanto, l'effetto Hall rappresenta uno strumento importante per la determinazione dei meccanismi del trasporto della carica in semiconduttori drogati. Nell'esperimento vengono analizzati cristalli di germanio drogati a temperature comprese tra 300 K e 450 K, per distinguere la conduzione elettrica causata dal drogaggio e la conduzione intrinseca consentita dall'attivazione termica degli elettroni della banda di valenza che raggiungono la banda di conduzione.

APPARECCHI NECESSARI

Numero	Apparecchio	Cat. n°
1	Apparecchio di base per effetto Hall	1009934
1	n-Ge su circuito stampato	1009760
1	p-Ge su circuito stampato	1009810
1	Sensore campo magnetico ± 2000 mT	1009941
1	Bobina D con 600 spire	1000988
1	Nucleo a U	1000979
1	Coppia di espansioni polari e staffe di fissaggio per effetto Hall	1009935
1	Trasformatore con raddrizzatore 3/ 6/ 9/ 12 V, 3 A (230 V, 50/60 Hz)	1003316 o
1	Trasformatore con raddrizzatore 3/ 6/ 9/ 12 V, 3 A (115 V, 50/60 Hz)	1003315
1	Alimentatore CC 0 – 20 V, 0 – 5 A (230 V, 50/60 Hz)	1003312 o
1	Alimentatore CC 0 – 20 V, 0 – 5 A (115 V, 50/60 Hz)	1003311
1	Multimetro digitale P3340	1002785
1	3B NETlog™ (230 V, 50/60 Hz)	1000540 o
1	3B NETlog™ (115 V, 50/60 Hz)	1000539
1	Set di 15 cavi di sicurezza per esperimenti, 75 cm	1002843
Ulteriormente consigliato:		
1	3B NETlab™	1000544

3

BASI GENERALI

L'effetto Hall si verifica nei materiali conduttori in un campo magnetico B . La sua causa risiede nella forza di Lorentz, che devia i portatori di carica che costituiscono la corrente elettrica I che percorre un campione di materiale trasversalmente rispetto al campo magnetico e alla direzione della corrente. La separazione delle cariche genera un campo elettrico E_H perpendicolare alla direzione della corrente, che compensa la forza di Lorentz e crea una tensione di Hall U_H tra i lati del campione. Il segno della tensione di Hall cambia a seconda che la stessa corrente I trasmessa da portatori di carica positivi o negativi. Il suo valore dipende dalla densità dei portatori di carica. Pertanto, l'effetto Hall rappresenta uno strumento importante per la determinazione del meccanismo del trasporto della carica nei materiali conduttori, ed è utilizzato spesso per analizzare i semiconduttori drogati.

Nell'esperimento vengono analizzati cristalli di germanio drogati a temperature comprese tra 300 K e 450 K. I cristalli sono realizzati come campioni piani con lunghezza a , larghezza b e spessore d attraverso cui scorre la corrente I in direzione longitudinale. Il campo magnetico B attraversa il campione perpendicolarmente rispetto alla corrente. Ne risulta la tensione di Hall

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

con il coefficiente di 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: Carica fondamentale

Le densità n_n degli elettroni nella banda di conduzione, n_p delle lacune elettroniche nella banda di valenza, nonché le mobilità μ_n degli elettroni e μ_p delle lacune elettroniche sono grandezze materiali e dipendono dalla temperatura del campione T .

Oltre alla tensione di Hall, nell'esperimento si misura la caduta di tensione U in direzione longitudinale del campione per determinare la conducibilità elettrica

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

e la cosiddetta mobilità di Hall

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

Le densità dei portatori di carica n_n e n_p sono influenzate dal drogaggio, ovvero dall'integrazione di atomi esterni nel cristallo. In caso di drogaggio p, gli atomi accettori legano gli elettroni dalla banda di valenza, causando così fori nella banda di valenza – le cosiddette lacune elettroniche. In caso di drogaggio n, gli atomi donatori cedono ciascuno un elettrone alla banda di conduzione.

I cristalli drogati sono elettricamente neutri, pertanto le cariche negative e positive si compensano. In questo modo è vale

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

n_A : Concentrazione degli accettori
 n_D : Concentrazione dei donatori

Inoltre, n_n e n_p sono accoppiati tramite la legge dell'azione di massa, poiché all'equilibrio dipendentemente dalla temperatura, per unità di tempo si formano e si ricombinano molte coppie di elettroni-lacune elettroniche. Vale:

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

n_i densità dei portatori di carica con una mera conduzione intrinseca (vedere esperimento UE6020100)

In totale pertanto

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

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

A temperatura ambiente, le concentrazioni n_A e/o n_D sono notevolmente più grandi rispetto alla densità dei portatori di carica in caso di mera conduzione intrinseca n_i . Pertanto,

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

con drogaggio n e 300 K

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

con drogaggio p e 300 K

È possibile rilevare segno e densità dei portatori di carica direttamente dal coefficiente di Hall. La mobilità dei portatori di carica corrisponde alla mobilità di Hall.

ANALISI

Poiché con l'aumentare della temperatura sono disponibili sempre più portatori di carica, la tensione di Hall diminuisce fino a raggiungere lo zero.

Per il germanio drogato p, il segno della tensione di Hall cambia in quanto al crescere della conduzione intrinseca cresce anche l'influsso degli elettroni la cui mobilità μ_n è maggiore. Al di sotto della cosiddetta temperatura di inversione domina la conduzione elettrica consentita dal drogaggio, al di sopra di essa la conduzione intrinseca.

A temperature elevate, i cristalli drogati n e p non sono più distinguibili, poiché

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

La dipendenza dalla temperatura delle mobilità μ_n e μ_p non è riconoscibile nel coefficiente di Hall, in quanto in entrambi i casi vale: $\mu \sim T^{-3/2}$ (vedere anche esperimento UE6020100)

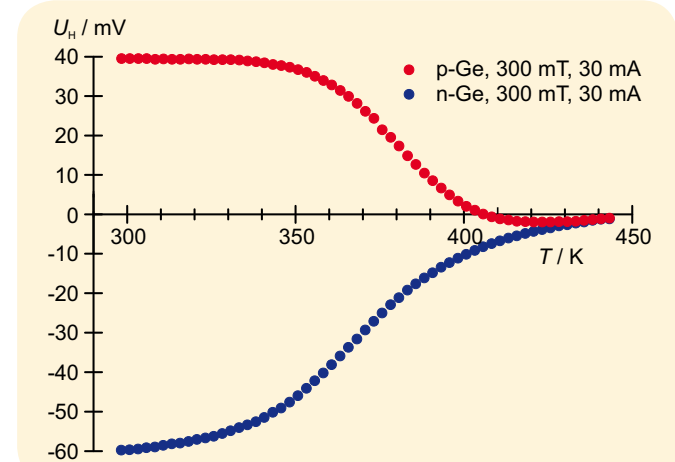


Fig. 1: Tensione di Hall nel germanio drogato p e n come funzione della temperatura T