UE6020200 YARI İLETKENLERDE HALL-ETKİSİ

DENEY PROSEDÜRLERİ

- **Katkılı germanyumdaki Hall etkisinin gösterilmesi.**
- **Akım ve oda sıcaklığındaki manyetik alanın fonksiyonu olarak Hall geriliminin ölçülmesi.**
- **Yük taşıyıcıların oda sıcaklığındaki işaretinin, yoğunluğunun ve hareketlerinin belirlenmesi.**
- **Numune sıcaklığı fonksiyonu olarak Hall geriliminin ölçülmesi.**
- **p-katkılı germanyum durumunda dışınlı ve saf iletkenlik arasında farklılık gösteren sıcaklık terselmesinin belirlenmesi.**

NOT

Kullanılan germanyum kristallerinin elektrik iletkenliğinin sıcaklık bağımlılığı denklem UE6020100'de incelenmiştir.

AMAÇ

Katkılı germanyum içerisindeki elektrik iletim mekanizmasının Hall etkisiyle incelenmesi.

ÖZET

Hall etkisi bir manyetik alan *B* içerisinde bulunan elektrik iletken materyallerin içerisinde meydana gelir. Hall gerilimin işareti aynı akımın *I* ya pozitif ya da negatif yük taşıyıcılar tarafından meydana getirildiğine bağlı olarak değişir. Bunun değeri yük taşıyıcıların yoğunluğuna bağlıdır. Sonuç olarak Hall etkisi katkılı yarı iletkenlerde yük taşıma mekanizmasının belirlenmesi için oldukça önemlidir. Bu deneyde katkılı germanyum kristalleri 300 K ve 450 K arasındaki sıcaklıklarda katkı sayesindeki elektrik iletkenliği ve elektronların termal aktivasyonları (valans banttan kondüksiyon bandına olan) sayesinde ki saf iletkenlikleri arasındaki farkı netleştirmek için incelenmişlerdir.

GEREKLİ CİHAZLAR

Miktar	Cihazlar	Ürün no.
1	Temel Hall Etkisi Aparatı	1009934
1	Baskılı Devre Kartı üzerinde n-katkılı Germanyum	1009760
1	Baskılı Devre Kartı üzerinde p-katkılı Germanyum	1009810
1	Manyetik alan sensörü ±2000 mT	1009941
1	Gösterim Dönüş Çekirdeği D için Birincil ve İkincil Bobin Dönüş sayısı 600	1000988
1	U Çekirdek D	1000979
1	Hall Etkisi için Kenetleme Flanşı D ve Kutup Çarığı Çifti	1009935
1	Rektifayerli Transformatör3/ 6/ 9/ 12 V, 3 A (230 V, 50/60 Hz)	1003316 veya
	Rektifayerli Transformatör3/ 6/ 9/ 12 V, 3 A (115 V, 50/60 Hz)	1003315
1	DC Güç Kaynağı 0 – 20 V, 0 – 5 A (230 V, 50/60 Hz)	1003312 veya
	DC Güç Kaynağı 0 – 20 V, 0 – 5 A (115 V, 50/60 Hz)	1003311
1	Dijital Multimetre P3340	1002785
1	3B NET*log*™ (230 V, 50/60 Hz)	1000540 veya
	3B NET*log*™ (115 V, 50/60 Hz)	1000539
1	Takım 15 emniyetli deney kablosu, 75 cm	1002843
Ayrıca önerilir:		
1	3B NET*lab*™	1000544

TEMEL İLKELER

Hall etkisi bir manyetik alan B içerisinde bulunan elektrik iletken materyallerin içerisinde meydana gelir. Bu etki manyetik alana nazaran materyal örneği boyunca dikey elektrik akımı *I* üreten yük taşıyıcıları ve akımın yönünü saptıran Lorentz kuvvetine dayandırılabilir. Yük ayrımı akım yönüne dikey olan elektrik alanında E_H sonuçlanır ve örnek uçları arasında Lorentz Hall gerilimi U_H üretirken kuvvetini tazmin eder. Hall geriliminin işareti aynı akımın *I* pozitif ya da negatif yük taşıyıcılar tarafından birinden ortaya çıkarıldığına bağlı olarak değişir. Değeri yük taşıyıcıların yoğunluğuna bağlıdır. Hall etkisi sonuç olarak iletken materyallerdeki yük taşıma mekanizmasını belirlemek adına önemli bir etkidir ve genellikle katkılı yarı iletkenler üzerinde yapılan çalışmalarda kullanılır.

Bu deneyde katkılı germanyum kristalleri 300 K ve 450 K arasındaki sıcaklıklarda incelenmiştir. Kristaller uzunluğu *a*, genişliği *b* ve kalınlığı *d* olan ve boylamasına akım *I* ileten düz numuneler şeklinde bulunmaktadır. Manyetik alan *B* her örneğe dikey olarak akımla yayılır. Çıkan Hall gerilimi:

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

Hall katsayısı

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

$e = 1.602\ 10^{-19}$ amper-saniye (elemanter yük)

Sırasıyla elektronların ve tekabül eden deliklerin hareketliliklerinin μ_n ve μ_p yanı sıra sırasıyla kondüksiyon bandındaki ve elektron deliklerindeki elektronların yoğunlukları numunenin sıcaklığına *T* bağlı olan madde miktarlarıdır.
Bu deneyde Hall geriliminin yanı sıra numunedeki boylamsal gerilim düşüşü *U* de elektrik iletkenliği belirlemek için ölçülmüştür:

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

Ayrıca bu süreçte Hall hareketliliği de belirlenmiştir:

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

Yük taşıyıcıların yoğunlukları n_n ve n_p katkı yapılarak etkilenir, diğer bir deyişle kristale, yabancı atomlar dahil edilir. p-katkısı durumunda alıcı atomlar elektronları valans bandından bağlarlar ve böylece bu bantta elektron delikleri üretirler. n-katkısı durumunda donör atomların her biri kondüksiyon bandına bir elektron sağlarlar.
Katkılı kristaller elektriksel olarak nötrdür; yani negatif ve pozitif yükleri birbirlerini iptal eder. Buna göre:

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

n_A: Alıcıların konsantrasyonu
n_D: Donörlerin konsantrasyonu

Dahası, n_n ve n_P kütleler etkisi kanunuyla çiftleştirilir (ısı bağımlılık dengesinde eşit olan birim zamanı şekillendiren elektron delikleri çiftlerinin sayısı). Aşağıdaki denklem uygulanır:

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

ni tamamen saf iletkenlik durumunda yük taşıyıcı yoğunluğudur (deney UE6020100)

Bu sebeple genel olarak:

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

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

Oda sıcaklığında yoğunluk n_A ve n_D tamamen saf iletkenlik ni durumunda yük taşıyıcı yoğunluğundan daha yüksektir. Sonuç olarak:

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

300 K'da n-katkısıyla

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

300 K'da p-katkısıyla

Dolayısıyla, yük taşıyıcıların işaretleri ve yoğunlukları doğrudan Hall katsayısından okunabilir. Yük taşıyıcıların hareketliliği Hall hareketliliğine eşittir.

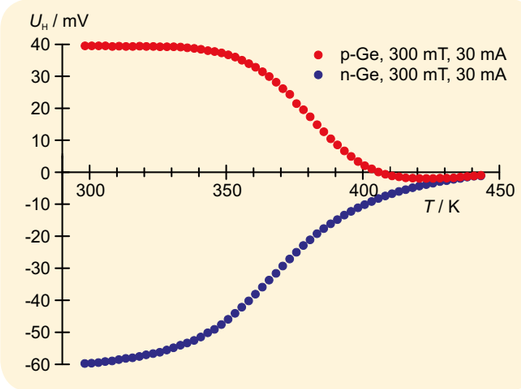
DEĞERLENDİRME

Artan sıcaklıkla birlikte daha fazla taşıyıcı, elektrik iletmek için uygun hale geldiğinde, Hall gerilimi sıfır değerini gösterene kadar düşer. p-katkılı germanyum durumunda Hall geriliminin işareti değişir; çünkü artan saf iletkenlik hareketliliği μn daha yüksek olan elektronların dominant eksine yol açar. Katkıyla yapılan elektrik iletimi terselm sıcaklığının altında baskın gelirken saf iletkenlik terselme sıcaklığının üzerinde baskın gelir.
Yüksek sıcaklıklarda n-katkılı ve p-katkılı kristaller artık ayırt edilemezler; çünkü:

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

Hareketliliğin μ_n ve μ_p sıcaklık bağımlılığı Hall katsayısında kanıt değildir; çünkü her iki durumda da:

$\mu \sim T^{-\frac{3}{2}}$ (ayrıca, deney UE6020100'e bakın)



Şekil 1: Sıcaklığın *T* fonksiyonu olarak p-katkılı ve n-katkılı germanyumda Hall gerilimi.