UE6020100

YARI İLETKENLERDE ELEKTRİK İLETİMİ

AMAÇ

Germanyumda bant aralığının belirlenmesi

ÖZET

Yarıiletkenler yalnızca yüksek sıcaklıklarda ölçülebilen elektrik iletkenliğini sergilerler. Bu sıcaklığa bağlılığın nedeni kondüksiyon bandı, valans bandı ve içerisinde saf, katkısız yarıiletken materyallerin elektronlar tarafından tamamen işgal edilmediği ara bölgeden oluşan elektronun enerji seviyelerinin bant yapılarıdır. Sıcaklık arttıkça daha fazla elektron valanstan kondüksiyon bandına doğru valansın içerisinde 'delikler' bırakarak termal olarak uyarılır. Bu delikler elektrik alanın etkisi altında sanki pozitif parçalarmış gibi hareket ederler elektronların yaptığı kadar akıma katkıda bulunurlar. Saf, katkısız germanyumun iletkenliğini belirlemek için bu deneyde kristal boyunca sabit bir akım gönderilir ve gerilim düşüşü sıcaklık fonksiyonu olarak ölçülür. Ölçülen veriler iyi bir yaklaşıma üssel fonksiyon tarafından tanımlanabilir bu yüzden bantların aralığı anahtar parametre olarak ortaya çıkar.

DENEY PROSEDÜRLERİ

- **Sıcaklığın fonksiyonu olarak katıksız germanyumun elektrik iletkenliğini ölçün**
- **Valans ve kondüksiyon bantları arasındaki bant ayrılığını belirleyin**

NOT

Pratikte saf, katkısız yarıiletkenlerin saf iletkenliği çok da önemli sayılmaz. Genellikle kristallerin akımın akışlarını kötü yönde etkileyen kusurları vardır. Yüksek saflıktaki kristaller bunları daha iletken yapmak için donör ya da alıcı atomlar eklenmesiyle özel olarak hedeflenirler.
Bu şekilde ekleme yapılmış olanların etkisi burada anlatılan incelemeler n ve p-katkılı germanyumunun karşılaştırılmasını dâhil etmek gerçekleştirildiğinde görülür. Ekleme yapılmış kristalin oda sıcaklığındaki iletkenliği saf kristallerinkinden daha yüksektir. Yüksek sıcaklıklarda dahi saf iletkenliğe ulaşır (Şekil 4). Hall katsayılarının sıcaklığa bağlılığı Deney UE6020200'de daha detaylı olarak incelenecektir.

GEREKLİ CİHAZLAR

Miktar	Cihazlar	Ürün no.
1	Baskılı Devre Kartı üzerinde Katkısız Germanyum	1008522
1	Temel Hall Etkisi Aparatı	1009934
1	Hazne ayağı, 1 kg	1002834
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	Dijital Multimetre P3340	1002785
1	Çift emniyetli deney kablosu, 75 cm	1002849
1	Bir çift Deney Güvenlik Kablosu, 75 cm, mavi, kırmızı	1017718
Ayrıca önerilir:		
1	Baskılı Devre Kartı üzerinde p-katkılı Germanyum	1009810
1	Baskılı Devre Kartı üzerinde n-katkılı Germanyum	1009760
1	3B NET*log*™ (230 V, 50/60 Hz)	1000540 veya
	3B NET*log*™ (115 V, 50/60 Hz)	1000539
1	3B NET*lab*™	1000544

TEMEL İLKELER

Elektrik iletkenli maddenin yapısına bağlıdır. Bu sebeple maddeleri iletkenliklerine göre sınıflandırmak oldukça yaygındır. İletkenlikleri yalnızca yüksek sıcaklıklarda ölçülebilen katı cisimler yarıiletken olarak adlandırılırlar. Sıcaklığa bağlı olmanın bu sebebi kondüksiyon bandı, valans bandı ve içerisinde saf, katkısız yarıiletken materyallerin elektronlar tarafından tamamen işgal edilemediği ara bölgeden oluşan elektronun enerji seviyelerinin bant yapılarıdır.
Taban durumunda valans bandı elektronlar tarafından işgal edilen en yüksek bantken kondüksiyon bandı işgal edilmemiş en yüksek ikinci banttır. Bu bantlar arasındaki aralık E_g olarak adlandırılır ve maddenin kendisine bağlıdır. Germanyum için bu miktar yaklaşık olarak 0.7 eV'dir. Sıcaklık arttıkça daha fazla elektron valanstan kondüksiyon bandına doğru valansın içerisinde 'delikler' bırakarak termal olarak uyarılır. Bu delikler elektrik alanın etkisi altında sanki pozitif parçalarmış gibi hareket ederler elektronların yaptığı kadar akıma katkıda bulunurlar (Şekil 1).

(1) $$j = \sigma \cdot E$$

σ: yarıiletken materyaller için elektrik iletkenliği

Elektronlar ve delikler farklı ortalama sürüklenme hızlarıyla hareket ederler:

(2) $$v_n = -\mu_n \cdot E \quad \text{ve} \quad v_p = \mu_p \cdot E$$

μ_n: Elektronların hareketliliği
μ_p: Deliklerin hareketliliği

Elektronların termak olarak valans bandından kondüksiyon badına uyarılmalarından kaynaklanan iletkenlik yeteneği saf iletkenlik olarak adlandırılır.
Termal denge durumunda kondüksiyon bandındaki elektronların sayısı valans bandındaki deliklerin sayısına eşittir.Bu sebeple saf kondüksiyon durumunda akım yoğunluğu aşağıdaki gibi yazılabilir:

(3) $$j_i = -e \cdot n_i \cdot v_n + e \cdot n_i \cdot v_p = e \cdot n_i \cdot (\mu_n + \mu_p) \cdot E\,;$$

yani saf iletkenlik σ

(4) $$\sigma_i = e \cdot n_i \cdot (\mu_n + \mu_p)\text{'dir.}$$

Elektronlar ya da delikler için akım taşıyıcının yoğunluğunun sıcaklığa bağlılığı ni:

(5) $$n_i = 2 \cdot \left(\frac{2\pi}{h^2} \cdot \sqrt{m_n m_p} \cdot kT\right)^{\frac{3}{2}} \cdot \exp\left(-\frac{E_g}{2kT}\right)$$

$k = 8{,}617 \cdot 10^{-5}\,\frac{\text{eV}}{\text{K}}$: Boltzmann sabiti,

h: Planck sabibi
m_n: Elektronların etkin kütlesi
m_p: Deliklerin etkin kütlesi
T: Numune sıcaklık

Hareketlilik μ_n ve μ_p de ayrıca sıcaklığa bağlıdır. Oda sıcaklığının üzerindeki sıcaklık aralıkları için aşağıdaki formül uygulanır:

(6) $$\mu \sim T^{-\frac{3}{2}}$$

Sıcaklık bağımlılığıyla ilgili olarak dominant terim üssel bir ifadedir. Bu da yüksek sıcaklıklardaki saf iletkenliğin aşağıdaki yapıda ifade edilebildiği anlamına gelir:

(7) $$\sigma_i = \sigma_0 \cdot \exp\left(-\frac{E_g}{2kT}\right).$$

Bu deneyde saf, katkısız germanyumun iletkenliğini belirlemek için bir kristal boyunca sabit bir akım I gönderilir ve voltaj düşüşü U sıcaklığın fonksiyonu olarak ölçülür. İletkenlik σ ilişki sayesinde ölçülmüş verilerden hesaplanabilir

(8) $$U = a \cdot E \text{ resp. } I = b \cdot c \cdot j$$

a, b, c: kristalin boyutu

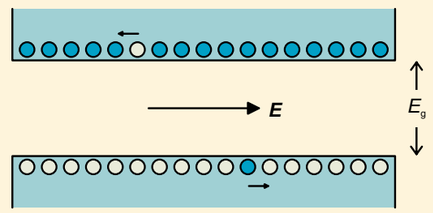
(9) $$\sigma = \frac{I}{U} \cdot \frac{a}{b \cdot c}$$

DEĞERLENDİRME

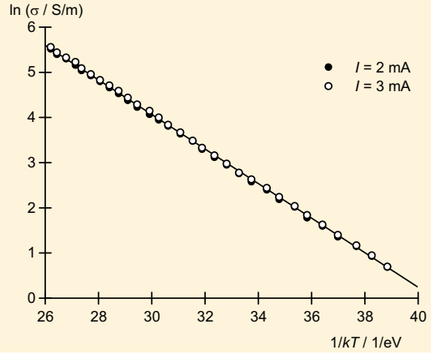
Denklem (7) aşağıdaki şekilde yeniden yazılabilir:

$$\ln \sigma = \ln \sigma_0 - E_g \cdot \frac{1}{2\,kT}$$

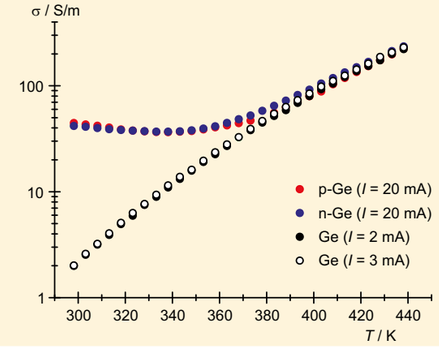
Dolayısıyla $y = \ln \sigma$, $x = \frac{1}{2\,kT}$ karşısına çizilir ve bant ayrılığı E_g ortaya çıkan doğrunun gradyanından bulunabilir.



Şekil 1: Her ikisi de elektrik alan etkisine E bağlı olarak sürtünen kondüsyon bandında bir elektron ve valans bandında bir delik olan yarıiletken banların yapıları



Şekil 2: Sıcaklığın T fonksiyonu olarak T af germanyumun karşısındaki voltaj düşüşü U



Şekil 3: Saf ve katkılı germanyumun iletkenliklerinin karşılaştırılması