



OBJETIVO

Determinação do intervalo de banda do germânio

RESUMO

Semicondutores somente apresentam condutividade elétrica mensurável em temperaturas altas. A razão para esta dependência da temperatura é a estrutura da banda dos níveis de energia eletrônicos com uma banda de valência, uma banda condutora e uma zona intermediária que, com material semiconductor puro, não dopado, não pode ser ocupada por elétrons. Com o aumento da temperatura, cada vez mais elétrons são ativados termicamente da banda de valência para a banda condutora e deixam "buracos" na banda de valência. Os buracos se movimentam

sob a influência de um campo elétrico como partículas de carga positiva e também contribuem com a densidade da corrente, assim como os elétrons. Para a determinação da condutividade em germânio puro na experiência, não dopado, uma corrente constante é enviada pelo cristal e a queda correspondente da tensão em dependência da temperatura é medida. Os dados de medição podem ser descritos, com boa aproximação, por uma função exponencial, em que a distância entre as bandas surge como parâmetro.

TAREFAS

- Medição da condutividade elétrica de gerânio não dopado em dependência da temperatura.
- Determinação do intervalo entre as bandas entre banda de valência e banda condutora.

OBSERVAÇÃO

Na prática, a condutividade intrínseca de semicondutores puros não dopados tem papel secundário. Geralmente, os cristais apresentam pontos de distúrbio. Frequentemente, até cristais muito puros são transformados em condutores por dopagem com átomos doadores ou aceitadores. A influência desta dopagem pode ser mostrada, realizando as análises apresentadas aqui em germânio com dopagem tipo p e tipo n. A condutividade dos cristais dopados é significativamente maior à temperatura ambiente que a do cristal puro, porém se aproxima da condutividade intrínseca em temperaturas altas, vide Fig. 3. A dependência da temperatura do coeficiente de Hall dos cristais de germânio utilizados é analisada em detalhes na experiência UE6020200.



APARELHOS NECESSÁRIOS

| Número | Instrumentos | Artigo Nº |
|------------------------------------|--|---------------|
| 1 | Ge não dopado sobre placa condutora | U8487010 |
| 1 | Aparelho básico para efeito Hall | U8487000 |
| 1 | Base em tonel 1000 g | U13265 |
| 1 | Transformador com retificador 3/ 6/ 9/ 12 V, 3 A (230 V, 50/60 Hz) | U33300-230 ou |
| | Transformador com retificador 3/ 6/ 9/ 12 V, 3 A (115 V, 50/60 Hz) | U33300-115 |
| 1 | Multímetro digital P3340 | U118091 |
| 1 | Par de cabos de segurança para experiências, 75 cm | U13812 |
| 1 | Par de cabos de segurança para experiências, 75cm, vermelho/azul | U13816 |
| Adicionalmente recomendado: | | |
| 1 | Ge dopado tipo p sobre placa condutora | U8487020 |
| | Ge dopado tipo n sobre placa condutora | U8487030 |
| 1 | 3B NETlog™ (230 V, 50/60 Hz) | U11300-230 ou |
| | 3B NETlog™ (115 V, 50/60 Hz) | U11300-115 |
| 1 | 3B NETlab™ | U11310 |

FUNDAMENTOS GERAIS

A condutividade elétrica é uma grandeza altamente dependente do material. Portanto, é comum classificar os materiais de acordo com sua condutividade elétrica. Como semicondutores são designados sólidos que somente apresentam condutividade elétrica mensurável em temperaturas altas. A razão para esta dependência da temperatura é a estrutura da banda dos níveis de energia eletrônicos com uma banda de valência, uma banda condutora e uma zona intermediária que, com material semiconductor puro, não dopado, não pode ser ocupada por elétrons.

Em seu estado básico, a banda de valência é a banda com mais elétrons e a banda condutora a segunda banda mais alta, não ocupada por elétrons. A distância entre ambas as bandas é denominada intervalo de banda E_g e é uma grandeza dependente do material. No germânio, ela é de cerca de 0,7 eV. Com o aumento da temperatura, cada vez mais elétrons são ativados termicamente da banda de valência para a banda condutora e deixam "buracos" na banda de valência. Os buracos – também denominados de elétrons defeituosos – se movimentam sob a influência de um campo elétrico E como partículas de carga positiva e também contribuem com a densidade da corrente, assim como os elétrons,

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

σ : condutividade elétrica do material semiconductor

(vide Fig. 1). Os elétrons e elétrons defeituosos se movimentam com velocidades médias de deriva diferentes.

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

μ_n : Mobilidade dos elétrons

μ_p : Mobilidade dos elétrons defeituosos

Esta condutividade elétrica possibilitada por estímulo de elétrons da banda de valência para a banda condutora é denominada como condução intrínseca (intrinsic conduction).

O número de elétrons na banda condutora corresponde, no equilíbrio térmico, ao número de elétrons defeituosos na banda de valência. Assim, a densidade da corrente em caso de condução intrínseca pode ser descrita como

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

ou seja, a condutividade intrínseca é

$$(4) \quad \sigma_i = e \cdot n_i \cdot (\mu_n + \mu_p),$$

onde a dependência da temperatura da densidade dos portadores de carga n_i é dada pelos elétrons ou elétrons defeituosos por

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

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

h : Constante de Planck

m_n : Massa efetiva dos elétrons

m_p : Massa efetiva dos elétrons defeituosos

T : Temperatura da prova

As mobilidades μ_n e μ_p também dependem da temperatura. No âmbito de temperatura acima da temperatura ambiente, vale

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

O termo dominante para a dependência da temperatura da condutividade, entretanto, é dado, em todos os casos, pela função exponencial. Daí, se pode representar a condutividade intrínseca na forma

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

Para a determinação, na experiência, da condutividade em germânio puro, não dopado, uma corrente constante I é enviada pelo cristal e a queda correspondente da tensão em dependência da temperatura é medida. Dos dados de medição pode-se calcular, por conta das relações

$$(8) \quad U = a \cdot E \quad \text{ou} \quad I = b \cdot c \cdot j \quad a, b, c \text{ medições do cristal}$$

a condutividade σ :

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

ANÁLISE

A equação (7) pode ser transcrita para a forma:

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

Assim, aplica-se $y = \ln \sigma$ contra $x = \frac{1}{2kT}$ e se determina o intervalo entre bandas E_g da inclinação da reta resultante.

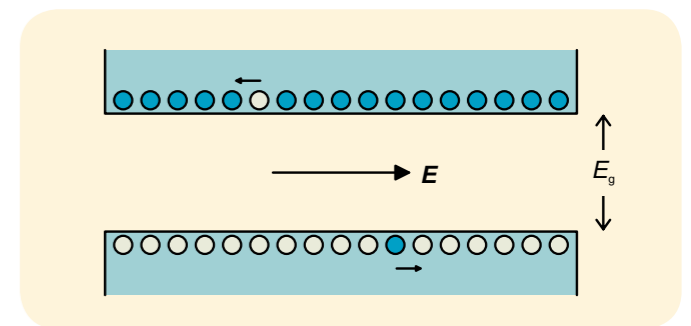


Fig. 1: Estrutura da banda do semiconductor com um elétron na banda condutora e um elétron defeituoso na banda de valência, que derivam sob a influência do campo elétrico E

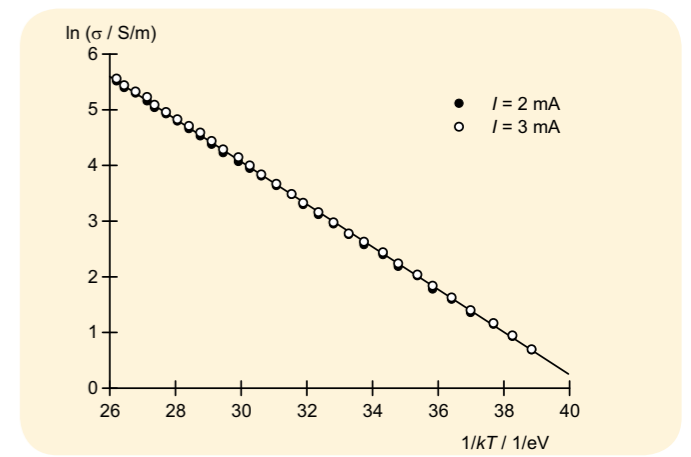


Fig. 2: Representação para determinação da distância de banda E_g no germânio

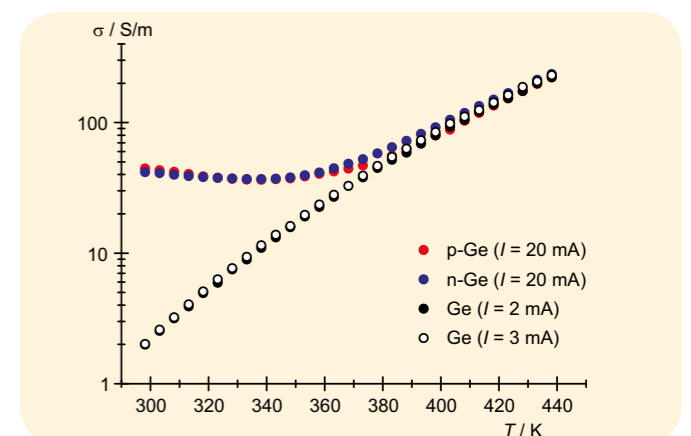


Fig. 3: Comparação da condutividade de germânio puro e dotado