

# PENGARUH SUHU TERHADAP GAP ENERGI BAHAN SEMIKONDUKTOR GERMANIUM

JORENA

**Abstrak :** Telah dilakukan pengukuran celah energi  $E_g$  (0) suatu semikonduktor Germanium berdasarkan karakteristik  $I - V$  pada sambungan p-n pada berbagai suhu di antara 0 sampai dengan 100 °C. Hal tersebut bertujuan untuk mengetahui pengaruh suhu terhadap gap energi suatu bahan semikonduktor Germanium. Untuk menjawab tujuan tersebut terlebih dahulu ditentukan gap energi pada suhu 0 °K. Diperoleh hasil bahwa  $E_g$  turun dengan naiknya suhu yang disebabkan karena terjadinya penurunan tegangan persambungan ( $V_D$ ) terhadap kenaikan suhu. Pengukuran pada suhu 0 K menghasilkan  $E_g$  0,72 eV, cukup mendekati nilai menurut beberapa referensi standard energi gap pada nol Kelvin 0,74 eV.

**Kata Kunci :** Gap energi; Bahan Semikonduktor; Semikonduktor Germanium

**Abstract :** It had been done an energy gap measurement ( $E_g$ ) of Ge semikonduktor based on I-V characteristic of p-n junction at various temperatur from 0° until 100 °C. The objective of this research is to find out temperature effect of Ge semikonduktor energy. Therefore, it was started by determination of energy gap measurement on 0 °K. Result show that  $E_g$  decrease by temperature raising because of the junction voltage ( $V_D$ ) decrease. Measurement of energi gap 0 °K is 0,72 eV, close enough to the standart value about 0,74

**Key word :** energy gap, semikonduktor, Ge semikonduktor

## PENDAHULUAN

Semikonduktor merupakan bahan yang mempunyai kehantaran di antara logam dan isolator. Dalam elektronika bahan semikonduktor yang paling sering digunakan adalah jenis Silikon. Kebanyakan piranti elektronika menggunakan tegangan rendah atau arus lemah/searah, oleh karena itu komponen-komponen diperlukan alat elektrik dapat melewatkan arus pada satu arah saja atau akan mengalirkan arus bila diberi panjar maju sementara tidak akan mengalirkan

arus bila dibeai panjar mundur. Komponen elektronika sederhana yang berperilaku demikian disebut sebagai dioda.

Berdasarkan kemurniannya dibedakan antara semikonduktor / intrinsik dan semikonduktor / ekstrinsik, Untuk pembuatan digunakan dioda semikonduktor ekstrinsik, yang merupakan persambungan antara bahan semi konduktor type p dan bahan semi konduktor type n

Pada umumnya semikonduktor peka terhadap perubahan suhu, oleh karenanya maka suhu berja pada alat-alat elektronika

juga terbatas. Pada 0 °K bahan semikonduktor dapat bersifat sebagai isolator dan pada suhu kamar (27 °C atau 300 K) dapat bersifat sebagai konduktor<sup>(4)</sup>. Dari keadaan ini terjadi perbedaan karakteristik arus-tegangan pada dioda yang dapat diartikan sebagai pengaruh suhu terhadap rapat pembawa muatan dan celah energi (energy gap) bahan semikonduktor tersebut pada saat dioda mengalami variasi suhu, baik akibat pengaruh lingkungan atau panas yang diakibatkan disipasi energi

Pengukuran celah energi bahan semikonduktor dapat dilakukan dengan cara menyelidiki karakteristik sambungan p-n pada suatu dioda. Watak arus-tegangan (I-V) ideal dari suatu sambungan p-n dinyatakan dengan persamaan arus pada sambungan<sup>(1,4)</sup>

$$I = I_s \left[ \exp\left(\frac{e V}{k_B T}\right) - 1 \right] \tag{1}$$

$I_s$  adalah arus jenuh pada saat sambungan mengalami panjar balik/maju,  $e$  muatan electron,  $k_B$  tetapan Boltzman,  $V$  tegangan sambungan dan  $T$  adalah suhu mutlak pada sambungan. Arus jenuh  $I_s$  sendiri bergantung pada suhu menurut persamaan<sup>(1,4)</sup>

$$I_s = A T^{(3+\gamma/2)} \exp\left[\frac{-E_g(T)}{k_B T}\right] \tag{2}$$

$A$  adalah tetapan,  $E_g(T)$  celah energi minimum antara pita valensi dan pita konduksi serta  $\gamma$  adalah suatu tetapan yang dikaitkan dengan mobilitas ( $\mu$ ), koefisien difusi ( $D$ ) dan umur hidup ( $\tau$ ) dari

pembawa muatan minoritas. Pembahasan diatas mengabaikan fenomena rekombinasi dan pembangkitan pembawa muatan di daerah deplesi pada sambungan p-n. Selain itu celah energi pada kedua sisi sambungan dianggap sama besar.

Nilai tetapan  $\gamma$  pada persamaan (2) di atas sangat bergantung pada sifat ketergantungan mobilitas dan koefisien difusi terhadap suhu yang dipengaruhi oleh konsentrasi atom-atom pengotor (impuritas). Untuk semikonduktor murni (intrinsik) berlaku hubungan<sup>(1,4)</sup>:

$$\frac{D}{\tau} \propto T^\gamma \tag{3}$$

Sementara  $D$  dan  $\mu$  memenuhi kaitan Einstein

$$D = \frac{\mu k_B T}{e} \tag{4}$$

Secara empiris ketergantungan mobilitas (lubang atau electron) pada suhu di persanaan-ungkapan<sup>(1,4)</sup>:

$$\mu \propto T^x \tag{5}$$

Dengan:

$x$  adalah suatu tetapan empiris yang nilainya dianggap sama untuk pembawa-pembawa muatan minoritas dan mayoritas.

Di dalam penelitian ini dilakukan injeksi tingkat rendah (low level injection) yang berarti bahwa rapat pembawa-pembawa muatan yang diinjeksikan jauh lebih kecil daripada rapat pembawa-pembawa muatan minoritas diteruskan oleh persamaan:

$$\tau = \frac{1}{\sigma N_t V_{th}} \tag{6}$$

$\sigma$  adalah tampang (penampang) lintang tangkapan bagi pembawa-pembawa muatan minoritas,  $N_t$  adalah konsentrasi dari hasil rekombinasi dan  $V_{th}$  adalah kelajuan termal yang di ungkapkan sebagai:

$$V_{th} = (3 k_B T / m^*)^{1/2} \tag{7}$$

Atau  $V_{th} \sim T^{1/2}$  dengan  $m^*$  massa efektif pembawa-pembawa muatan minoritas. Selanjutnya dengan menganggap bahwa  $\sigma$  dan  $N_t$  tidak bergantung pada suhu maka  $\tau \sim T^{1/2}$ , sehingga dari persamaan (3) diperoleh :

$$\gamma = X + \frac{3}{2} \tag{8}$$

Menurut "Physics of semiconductor devices" 1985 nilai  $\gamma$  bergantung pada sifat sambungan: untuk p<sup>+</sup>-n germanium:  $x = -2,3$  sehingga  $\gamma = -0,8$

Celah energi semikonduktor sebagai fungsi suhu mutlak diberikan oleh ungkapan:

$$E_g(T) = E_g(0) - \frac{\alpha T^2}{\beta + T} \tag{9}$$

$E_g(T)$  adalah celah energi pada suhu T (dalam eV),  $E_g(0)$  adalah celah energi pada suhu 0 K serta  $\alpha$ (dalam eV K<sup>-1</sup>) dan  $\beta$  (dalam K) adalah tetapan-tetapan. Nilai tetapan  $\alpha$  dan  $\beta$  untuk bahan Silikon dan Germanium diberikan dalam tabel 1. berikut<sup>(1,4)</sup>:

**Tabel 1.** Nilai tetapan  $\alpha$  dan  $\beta$  untuk bahan Silikon dan Germanium

Bahan	$\alpha$ (10 <sup>-4</sup> eV K <sup>-1</sup> )	$\beta$ (K)
Germanium	4,774	235

Substitusi persamaan (2) kepersamaan (1) dan penggunaan persamaan (9) serta pengambilan nilai logaritma alamiah kedua ruasnya menghasilkan ungkapan ( $eV \gg k_B T$ )

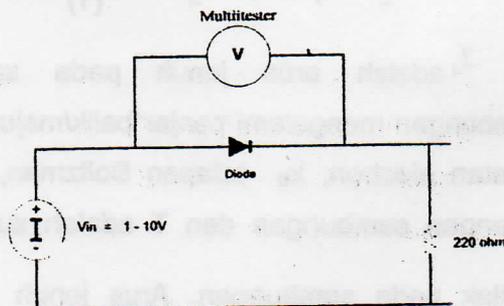
$$eV' = [ k_B \ln(I / A) ] T + E_g(0) \tag{10}$$

Dengan

$$eV' = eV + k_B T \left( 3 + \frac{\alpha}{2} \right) \ln T + \frac{\alpha T^2}{\beta + T} \tag{11}$$

### METODOLOGI PENELITIAN

Pengamatan dilakukan untuk I=1 Amper tetap sehingga dengan perubahan suhu T akan diperoleh beberapa nilai eV' dalam electron volt menurut persamaan (10) di atas. Grafik yang menyatakan hubungan antara eV' dengan T merupakan garis lurus. Nilai  $E_g(0)$  diperoleh dari hasil ekstrapolasi grafik eV' terhadap suhu 0. Diagram rangkaian seperti gambar diperlihatkan seperti gambar 1.



**Gambar 3.** Gambar 3: Graf Rancangan 2<sup>4</sup> dengan Fraksi ¼

Gambar 1. Rangkaian pengukuran tegangan dioda pada berbagai suhu<sup>(2,3)</sup>. Pengukuran untuk berbagai tegangan V pada cuplikan hendaknya dimulai pada suhu jauh di bawah suhu kamar, dengan cara mencelupkan cuplikan ke dalam bejana berisi air dan es. Suhu cuplikan dapat

dinaikkan dengan cara mengangkat cuplikan dari bejana pendingin setelah mencapai suhu kamar dapat dimulai menggunakan pemanas. Pengamatan dilakukan untuk interval suhu sekurang-kurangnya 5 °C

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

**Penentuan Celah Energi  $E_g$**

Untuk menentukan celah energi  $E_g$  (T) pada berbagai temperatur pada bahan semikonduktor Germanium terlebih dahulu ditentukan gap energi pada temperatur 0 °K atau  $E_g(0)$ .

**Penentuan celah energi  $E_g(0)$**  Data yang diperoleh hasil pengukuran dihitung nilai  $eV'$  (eV) untuk setiap temperatur sample dioda dengan menggunakan persamaan (11)

$$eV' = eV + k_B T \left( 3 + \frac{\alpha}{2} \right) \ln T + \frac{\alpha T^2}{\beta + T}$$

ekivalen dengan nilai  $eV'$  (eV) pada persamaan (10):

$$eV' = [ k_B \ln(I/A) ] T + E_g(0)$$

Dalam eksperimen pengamatan dengan  $I=1$  Amper tetap, maka persamaan (10) dapat dibuat persamaan regresi linier:

$$Y = a_0 + a_1 X$$

Dengan:

- $eV'$  (eV) diasumsikan sebagai Y
- $E_g(0)$  diasumsikan sebagai  $a_0$
- $k_B \ln(I/A)$  diasumsikan sebagai  $a_1$
- T diasumsikan sebagai x

$$a_1 = \frac{n \sum xy - \sum x \sum y}{n \sum x^2 - (\sum x)^2} \tag{12}$$

$$a_0 = \bar{y} - a_1 \bar{x} \tag{13}$$

Grafik yang menyatakan hubungan antara  $eV'$  (eV) dengan T garis lurus dengan  $E_g(0)$  adalah hasil ekstrapolasi grafik ke nilai temperatur 0 °K Perhitungan Nilai  $eV'$  (eV) sesuai dengan persamaan (11).

Dari tabel 2 dibawah ini dibuat persamaan regresi linier dengan koefesien  $a_0$  dan  $a_1$  ditentukan dengan masing-masing persamaan (13) dan (12) ,dihasilkan nilai regresi linier  $eV'$  (eV) terhadap T seperti tabel 3.

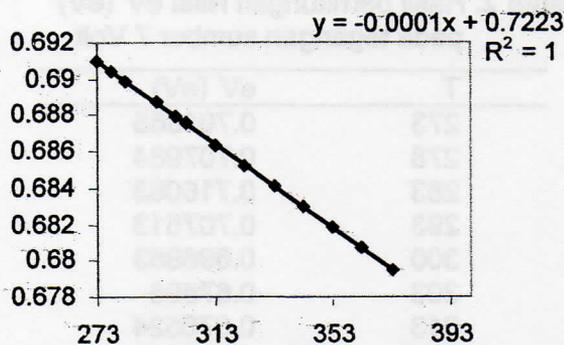
**Tabel 2.** Hasil perhitungan Nilai  $eV'$  (eV) pada tegangan sumber 7 Volt

T	$eV'$ (eV)
273	0.701865
278	0.707984
283	0.716063
293	0.707513
300	0.696863
303	0.67596
313	0.676524
323	0.678201
333	0.67936
343	0.682249
353	0.686238
363	0.6952
373	0.704006

**Table 3.** Hasil linieritas nilai  $eV'$  terhadap T pada sumber 7 Volt

T	Sampel IN4001 (Ge)	
Derajat Kelvin	$V_D$ (Volt)	$eV'$ (eV)
273	0,2465	0,699633
278	0,2423	0,698883
283	0,2402	0,698134
293	0,2111	0,696635
300	0,1860	0,695586
303	0,1588	0,695136
313	0,1386	0,693637
323	0,1193	0,693138
333	0,0995	0,690639
343	0,0812	0,689140
353	0,0640	0,687641
363	0,0516	0,686142
373	0,0390	0,684644

Dari Tabel 3. Data Hasil Linieritas Nilai eV Terhadap T (K) pada tegangan Sumber 7 Volt pada sampel IN4001 (Ge). Pada eksperimen ini pengamatan dilakukan dengan I tetap, bila dilakukan pengamatan dengan bermacam-macam dengan suhu T maka akan diperoleh beberapa nilai eV menurut persamaan (10). Grafik yang diperoleh menyatakan hubungan antara eV dengan T akan merupakan garis lurus dengan  $E_g(0)$  yang merupakan hasil ekstrapolasi ke nilai suhu 0 °K.



**Gambar 2.** Grafik yang menghubungkan eV dengan T (K)

Dari grafik 2 menunjukkan  $E_g(0) = 0,7223$  sesuai dengan persamaan regresi linier yang ditunjukkan pada persamaan (10.) Nilai Gap Energi  $E_g(T)$  Terhadap Suhu. Setelah diperoleh nilai  $E_g(0)$  maka nilai gap energi pengaruh suhu dapat ditentukan dengan persamaan (9). Hasil perhitungan nilai  $E_g(T)$  dapat dilihat pada tabel 3

Dari tabel 4 terlihat bahwa ada hubungan gap energi dengan suhu. Dengan kenaikan suhu terlihat adanya kenaikan gap energi. Halini disebabkan karena adanya kenaikan tegangan pada persambungan p-n

**Tabel 4.** Nilai  $E_g(T)$

No.	T ( °K )	$E_g(T)$ eV
1.	273	0,674260
2.	283	0,670488
3.	293	0,666678
4.	300	0,663989
5.	303	0,662832
6.	313	0,658952
7.	323	0,655040
8.	333	0,651098
9.	343	0,647127
10.	353	0,643129
11.	363	0,639105
12.	373	0,635056

## KESIMPULAN

Dari hasil penelitian ini dapat ditarik kesimpulan bahwa energi gap  $E_g(0)$  untuk Germanium adalah 0,72 eV . Nilai ini diperoleh dari grafik eV terhadap T dimana  $E_g(0)$  adalah nilai ekstrapolasi pada sumbu y. Grafik eV terhadap suhu merupakan garis lurus yang menyatakan ada hubungan antara suhu dengan energi. Diperoleh hasil bahwa  $E_g$  turun dengan naiknya suhu yang ini disebabkan karena terjadinya penurunan tegangan persambungan ( $V_D$ ) terhadap kenaikan suhu. Pengukuran pada suhu 0 °K menghasilkan  $E_g$  0,72 eV, cukup mendekati nilai menurut beberapa referensi standar energi gap pada nol Kelvin 0,74 eV

## SARAN

Mendapatkan hasil yang lebih baik pengukuran hendaknya dilakukan pada

interval suhu yang tidak terlalu besar dan dilakukan dengan secepat mungkin guna menghindari suhu tidak berkurang.

Untuk penelitian lebih lanjut agar diusahakan perlakuan temperatur sampel dibawah 0 °C dan diatas 100 °C dan penggunaan alat penelitian yang spesifik dan alat ukur yang mempunyai ketelitian yang cukup tinggi.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Jorena, 2000, *Penentuan Celah Energi pada Bahan Semikondukto*
- Allison J, 1971, *Electronic Engineering Materials and Devices*, TMH Edition, Mc Graw-Hill, Inc, Bambay-New Delhi
- Millman, Halkias, 1971, *Integrated Electronic*, jilid 1, Mc Graw-Hill, Inc New York.
- Reka Rio,1982, *Masamori Lida, Fisika dan Teknologi Semikonduktor*, Pradnya Paramita, Jakarta.
- Sze, S.M, 1985, *Physics of Semiconductor Devices*, John Wiley & sons, New York.