

MATERI III

BAHAN SEMIKONDUKTOR

A. Tujuan

1. Tujuan Umum

Mahasiswa memahami bahan semikonduktor

2. Tujuan khusus

- a. Mahasiswa dapat menjelaskan pengertian bahan semikonduktor
- b. Mahasiswa dapat menghitung konsentrasi elektron bebas pada bahan semikonduktor intrinsik
- c. Mahasiswa dapat menjelaskan terjadinya bahan semikonduktor tipe N
- d. Mahasiswa dapat menghitung kenaikan daya hantar jenis akibat pengotoran semikonduktor intrinsik

B. Materi

1. Pokok Bahasan : Bahan semikonduktor

Sub Pokok bahasan :

- a. Pengertian bahan semikonduktor
- b. Semikonduktor instrinsik
- c. Semikonduktor tipe P
- d. Semikonduktor tipe N

2. Uraian materi

a. Pengertian Bahan semikonduktor

Bahan semi konduktor adalah bahan yang daya hantar listriknya antara konduktir dan isolator. Tahanan jenis bahan semi konduktor antara sekitar $10^{-3} \Omega\text{m}$ sampai dengans sekitar $10^{+3} \Omega\text{m}$. Atom-atom bahan semi konduktor membentuk krrystal dengan struktur tetrahedral, dengan ikatan kovalen. Bahan semi konduktor yang banyak dipakai dalam elektkronika adalah silikon (Si) dan Germanium (Ge). Pada 0°K SI mempunyai lebar pita terlarang (energy gap) 0,785 eV, sedang untuk Ge 1,21 eV.

Baik Si maupun Ge mempunyai elektron valensi 4. Ada 2 jenis nahan semikonduktor yaitu semikonduktor intrinsik (murni) dan semikonduktor ekstrinsik (tidak murni). Untuk semikonduktor ekstrinsik ada 2 tipe yaitu tipe P dan tipe N.

b. Semi konduktor instrinsik

Semikonduktor instrinsik (murni) adalah semi konduktor yang tidak ataupun belum terkontaminasi oleh atom-atom asing. Pada 0 °K pita valensi penuh, pita konduksi kosong sehingga bersifat sebagai isolator. Pada suhu yang lebih tinggi misal pada suhu kamar ada elektron pada pita valensi yang energinya melebihi energi gap sehingga dapat meloncat dari pita valensi ke pita konduksi menjadi elektron bebas dengan meninggalkan kekosongan pada pita valensi. Kekosongan ini disebut hole (lubang) dan dianggap bermuatan positif sebesar muatan elektron. Dengan demikian jika digambarkan pita energinya adalah seperti gambar III-1.

Gambar III-1 Keadaan pita energi bahan semikonduktor instrinsik

Jika digambarkan ikatan kovalen atom-atomnya dan susunan kristalnya dalam dua dimensi maka tampak seperti pada gambar III-2. tiap atom terikat oleh ikatan kovalen dengan empat atom yang terikat. Dalam gambar ikatan kovalen dilukiskan dengan 2 garis lengkung putus-putus dengan 2 elektron valensi di dalamnya yang digambarkan dengan titik hitam. Lingkaran dengan tanda +4 di dalamnya menunjukkan ion-ion, yaitu inti atom beserta elektron-elektronnya kecuali 4 elektron valensi. Gambar III-2 a untuk keadaan 0 °K, sedang gambar III-2 b untuk keadaan suhu kamar. Tampak pada gambar III-2 a bahwa semua elektron valensi terikat erat di dalam ikatan kovalen, tak ada yang menjadi elektron bebas. Ini sesuai dengan gambar III-1a dimana pita valensi penuh, pita konduksi kosong.

Pada gambar III-2b tampak ada elektron yang keluar dari ikatan kovalen dan menjadi elektron bebas dengan meninggalkan

lubang (hole) pada ikatan. Ini sesuai dengan gambar III-1a dimana elektron pada pita valensi yang meloncat ke pita konduksi menjadi elektron bebas dengan meninggalkan hole pada pita valensi.

Gambar III-2 Ikatan dan susunan kristal semikonduktor intrinsik dalam dua dimensi

Jadi semikonduktor intrinsik pada suhu 0 °K bersifat sebagai isolator, dan pada suhu agak tinggi bersifat sebagai konduktor karena adanya pembentukan pasangan-pasangan elektron bebas hole yang keduanya berlaku sebagai pembawa ikatan.

Jika konsentrasi (jumlah per volume) elektron bebas dalam semi konduktor intrinsik dinyatakan dengan n_i dan konsentrasi hole dengan p_i maka berlaku

$$n_i = p_i \quad (III.1)$$

Ketertgantungan konsentrasi pembawa muatan dalam semikonduktor intrinsik terhadap suhu dapat ditentukan berdasarkan statistik Fermi Dirac, dan menghasilkan formulasi sebagai berikut :

$$n_i^2 = A_0 T^3 \epsilon^{-E_{GO}/kT} \quad (III.2)$$

A_0 = tetapan tak bergantung suhu

T = suhu kelvin

E_{GO} = energi gap pada 0 °K dalam eV

K = konstante Boltzman dalam eV/°K

ϵ = 2,7

Daya hantar jenis dan tahanan jenis semikonduktor intrinsik diberikan oleh persamaan-persamaan

$$\sigma = en_i (\mu_n + \mu_p) \quad (III.3)$$

$$\rho = \frac{1}{en_i (\mu_n + \mu_p)} \quad (III.4)$$

σ = daya hantar listrik

ρ = tahanan jenis

μ_n = mobilitas elektron bebas

μ_p = mobilitas hole

c. Semi konduktor tipe N

Semi konduktor tipe N termasuk dalam semi konduktor ekstrinsik (tak murni). Semi konduktor ekstrinsik adalah semikonduktor intrinsik yang mendapat pengotoran (doping) atom-atom asing. Konsentrasi pengotoran ini sangat kecil, dengan perbandingan atom pengotor (asing) dengan atom asli berkisar antara 1 : 100 juta sampai dengan 1 : 1 juta

Tujuan ini adalah agar bahan kaya akan satu jenis pembawa muatan saja (Elektron bebas saja atau hole saja) dan untuk memperbesar daya hantar listrik.

Semikonduktor tipe N ialah semikonduktor ekstrinsik, yang diperoleh dari semikonduktor intrinsik yang dikotori dengan atom asing yang bervalensi 5 seperti As, Pb, P.

Karena perbandingan atom pengotor dengan atom asli sangat kecil, maka setiap atom pengotor (asing) dikelilingi oleh atom-atom asli. Elektron valensi yang ke 5 dari atom pengotor tidak terikat dalam ikatan kovalen sehingga menjadi elektron bebas. Dengan demikian pada bahan ini jumlah elektron bebas akan meningkat sesuai jumlah atom pengotornya sehingga elektron bebas menjadi pembawa muatan mayoritas dan hole (yang terbentuk akibat suhu) menjadi pembawa muatan minoritas. Karena pembawa muatan mayoritasnya adalah elektron bebas, sedang elektron bebas bermuatan negatif, maka semikonduktor yang terbentuk diberi nama semi konduktor tipe N. dalam hal ini N kependekan dari kata Negatif, yakni jenis muatan mayoritasnya. Jadi tidak berarti bahwa semikonduktor ini bermuatan negatif. Semikonduktor ini tetap netral.

Karena atom pengotor memberikan kelebihan elektron-elektron dalam ikatan kovalen, maka disebut donor (atom donor). Setelah donor memberikan kelebihan elektronnya, maka akan menjadi ion positif.

Jika keadaan ikatan dan pita tenaganya digambarkan maka akan tampak seperti gambar III-3 di bawah.

Gambar III-3 keadaan ikatan dan pita tenaga semikonduktor tipe N

Jika konsentrasi elektron bebas pada semikonduktor tipe N ini dinyatakan dengan n_n sedang konsentrasi holenya dinyatakan dengan p_n dan konsentrasi atom donor dinyatakan dengan N_D maka berlaku :

$$n_n \approx N_D \quad (\text{III.5})$$

Menurut hukum massa aksi hasil kali konsentrasi pembawa muatan positif dengan pembawa muatan negatif dalam keseimbangan termal merupakan suatu tetapan yang tidak bergantung pada donor dan aseptor yang besarnya n_2^2 . Maka berdasarkan hukum ini berlaku

$$n_n p_n \approx N_D$$

$$p_n = \frac{n_2^2}{n_n} = \frac{n_2^2}{N_D} \quad (\text{III.7})$$

Daya hantar jenis listriknya dapat dicari dari hubungan sebagai berikut :

$$\sigma = e(n_n \mu_n + p_n \mu_p)$$

$$\sigma = e \left(N_D \mu_n + \frac{n_2^2}{N_D} \mu_p \right) \quad (\text{III.8})$$

jika p_n diabaikan terhadap n_n maka

$$\sigma = e N_D \mu_n \quad (\text{III.9})$$

d. Semikonduktor P

Semikonduktor ini diperoleh dari semikonduktor intrinsik yang dikotori dengan atom asing yang bervalensi 3, misalnya Al, atau Ga. Karena perbandingan atom pengotor dengan atom asli sangat kecil, maka setiap atom pengotor hanya bervalensi 3 maka hanya menyediakan 3 elektron dalam ikatan kovalen, sehingga ada kekurangan (kekosongan = lubang = hole). Dengan demikian pengotoran ini menyebabkan meningkatnya jumlah hole atau dengan

kata lain hole sebagai pembawa muatan mayoritas. Sedang pembawa muatan minoritasnya adalah elektron bebas yang terbentuk adalah elektron bebas yang terbentuk akibat suhu. Karena pembawa muatan mayoritasnya hole, sedang hole bermuatan positif maka semikonduktor yang terbentuk disebut semikonduktor tipe P. dalam hal ini P kependekan dari kata positif, yakni jenis muatan mayoritasnya. Jadi bukan berarti semikonduktor ini bermuatan positif, tetapi semikonduktor ini tetap netral, seperti halnya semikonduktor tipe N. karena atom pengotor menyediakan kekurangan, maka disebut aseptor (atom aseptor). Hole mudah diisi oleh elektron dan elektron yang mengisi meninggalkan hole baru dan seterusnya sehingga ada gerakan hole. Setelah hole diisi oleh elektron, aseptor akan menjadi ion negatif.

Keadaan ikatan dan pita tenaga dari semikonduktor ini dapat ditunjukkan pada gambar III-4 dibawah

Gambar III-4 Keadaan ikatan dan pita tenaga semikonduktor tipe P

Jika konsentrasi elektron bebas pada semikonduktor tipe P ini disebut n_p , konsentrasi holenya p_p dan konsentrasi aseptornya N_A maka analog pada semikonduktor tipe N berlaku persamaan-persamaan :

$$P_p \approx N_A \quad (\text{III.10})$$

$$n_p p_p = n_2^2 \quad (\text{III.11})$$

$$n_p = \frac{n_2^2}{p_p} = \frac{n_2^2}{N_A}$$

$$n_p \ll p_p$$

$$\sigma = e \left(N_A \mu_p + \frac{n_2^2}{N_A} \mu_n \right) \quad (\text{III.12})$$

dan jika n_p diabaikan terhadap p_p maka

$$\sigma = e N_A \mu_p \quad (\text{III.13})$$

contoh soal :

konsentrasi atom Ge adalah $4,41 \times 10^{22}$ atom/cm³. Jika tiap 10^8 atom Ge dikotori 1 atom donor, dan $\mu_n = 3800$ cm²/Vs, tentukan σ

Jawab :

$$N_D = \frac{1}{10^8 / 4,41 \times 10^{22}} = \frac{4,41 \times 10^{22}}{10^8} = 4,41 \times 10^{14} \frac{\text{atom}}{\text{cm}^3}$$

$$\begin{aligned}\sigma &= eN_D\mu_n \\ &= 1,6 \times 10^{-19} \times 4,41 \times 10^{14} \times 3800 \\ &= 0,268 (\Omega\text{cm})^{-1}\end{aligned}$$

3. Sumber belajar

- a. Millman, J., Halkias, C. C. Integrated Electronics. Tokyo : Mc Graw kogakusha, Ltd. 1979.
- b. Yohanes, H. C. Dasar-Dasar Elektronika. Jakarta : Ghalia Indonesia, 1979

C. Kegiatan Belajar Mengajar

1. Pendekatan/Metode

Metode Ceramah

Ceramah tentang pengertian bahan semikonduktor, semikonduktor intrinsik, semikonduktor tipe P, dan semikonduktor tipe N

2. Alat/bahan

OHP untuk menyampaikan kuliah

D. Penilaian

1. Jelaskan secara rinci pengertian bahan semikonduktor baik mengenai daya hantar jenis, unsur, struktur elektron, ikatan antar atom, maupun struktur kristalnya.
2. Tentukan konsentrasi elektron bebas pada silikon pada suhu 27°C jika $E_{Go} = 1,21$ eV dan $k = 8,62 \times 10^{-5} (\text{°K})^{-1}$.
3. Jelaskan terjadinya semikonduktor tipe P
4. Jelaskan terjadinya semikonduktor tipe N

5. Diketahui ni dari Ge pada $300 \text{ }^\circ\text{K} = 2,5 \times 10^{13} \text{ cm}^{-3}$. μ_n dan μ_p masing-masing $3800 \text{ cm}^2 (\text{Vs})^{-1}$ dan $1800 \text{ cm}^2 (\text{Vs})^{-1}$.

Tentukan σ dari Ge murni ini.

Jika tiap 10^{10} atom Ge dikotori 1 atom donor, tentukan kenaikan σ nya.