

Modul - 4

SEMIKONDUKTOR

**Disusun Sebagai Materi Pelatihan Guru-Guru
SMA/MA Provinsi Nangro Aceh Darussalam**

Disusun oleh:

Dr. Agus Setiawan, M.Si
Dr. Dadi Rusdiana, M.Si
Dr. Ida Hamidah, M.Si
Dra. Ida Kaniawati, M.Si
Dra. Setiya Utari, M.Si
Selly Feranie, S.Pd, M.Si
Endi Suhendi, S.Si, M.Si



Jurusan Pendidikan Fisika
Fakultas Pendidikan Matematika dan IPA
Universitas Pendidikan Indonesia
Juli 2007

Semikonduktor

Pengantar

Semikonduktor merupakan material zat padat yang memiliki harga resistivitas antara $10^{-2} - 10^9 \Omega \cdot \text{cm}$. Terdapat dua jenis tipe semikonduktor yaitu semikonduktor intrinsik dan semikonduktor ekstrinsik. Semikonduktor intrinsik merupakan semikonduktor murni tanpa atom pengotor, sedangkan semikonduktor ekstrinsik merupakan semikonduktor yang telah diberi atom pengotor. Pemberian atom pengotor pada semikonduktor dapat menyebabkan munculnya dominasi muatan pembawa. Bila konsentrasi elektron lebih banyak dari konsentrasi hole maka akan terbentuk semikonduktor tipe-n demikian pula sebaliknya bila hole lebih banyak dari elektron maka akan terbentuk semikonduktor tipe-p.

A. Material Semikonduktor

Bila ditinjau dari sifat listriknya, suatu bahan zat padat dapat dikelompokkan menjadi beberapa bagian:

1. Bahan isolator yang memiliki harga resistivitas antara $10^{14} - 10^{22} \Omega \cdot \text{cm}$
2. Bahan semikonduktor yang memiliki harga resistivitas antara $10^{-2} - 10^9 \Omega \cdot \text{cm}$
3. Bahan konduktor yang memiliki harga resistivitas $10^{-5} \Omega \cdot \text{cm}$

Ketiga jenis bahan tersebut banyak dimanfaatkan untuk bahan baku pembuatan komponen-komponen elektronik, misalnya bahan isolator banyak digunakan sebagai lapisan dielektrik pada kapasitor metal-oksida-semikonduktor, bahan semikonduktor digunakan sebagai lapisan aktif pada komponen-komponen elektronik maupun komponen optoelektronik sedangkan konduktor sering digunakan untuk pembuatan kontak pada komponen elektronik.

Fokus pembahasan kita pada modul ini adalah tentang bahan semikonduktor. Setiap bahan semikonduktor memiliki karakteristik fisis tertentu sehingga dalam aplikasinya harus merujuk pada karakteristik fisisnya tersebut sebagai contoh untuk aplikasi sensor sinar ultraviolet yang tingkat sensitifitasnya tinggi tentu kita harus memilih bahan yang memiliki energi gap yang cukup lebar seperti semikonduktor galium nitrida dengan energi gap sekitar 3,4 eV. Kita bisa juga menggunakan bahan silikon untuk aplikasi sensor ultraviolet namun divais ini kurang sensitif dibandingkan bahan galium nitrida.

Pada awal perkembangannya bahan semikonduktor yang pertama kali dieksplorasi adalah Germanium, namun sampai saat ini bahan semikonduktor yang banyak diteliti untuk bahan baku pembuatan divais elektronik maupun optoelektronik adalah Silikon dengan pertimbangan bahan silikon cukup melimpah di alam ini dan harganya relatif murah. Selain silikon material lain yang banyak dipelajari dan diteliti adalah material paduan dari golongan II-VI atau III-V dalam tabel periodik (gambar 1) baik *binary* (paduan 2 unsur) maupun

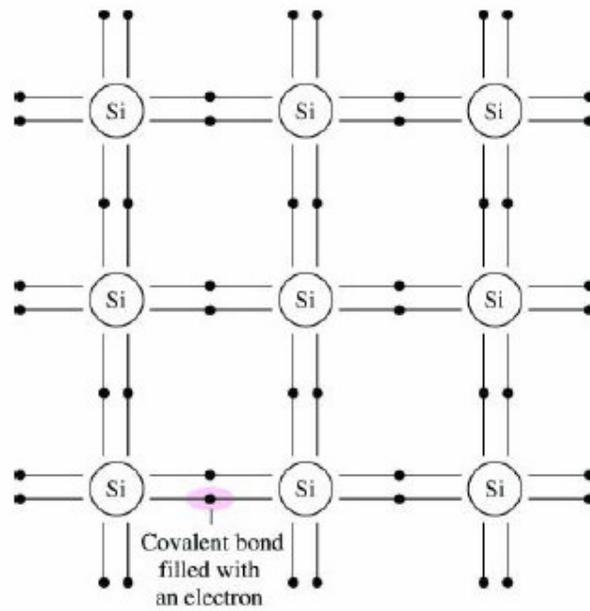
ternary (paduan 3 unsur) seperti ZnO, GaN, AlN, InN, GaAs, GaSb, AlGaIn, AlGaSb, GaNAs dan sebagainya dimana material-material paduan tersebut masing-masing memiliki ciri khas dan keunikan tersendiri baik dari sifat listrik maupun sifat optiknya yang aplikasinya dapat disesuaikan dengan karakteristik fisiknya masing-masing.

		IIIA	IVA	VA	VIA	
	5	10.811 B Boron	6 12.01115 C Carbon	7 14.0067 N Nitrogen	8 15.9994 O Oxygen	
	13	26.9815 Al Aluminum	14 28.086 Si Silicon	15 30.9738 P Phosphorus	16 32.064 S Sulfur	
IIB	30	65.37 Zn Zinc	31 69.72 Ga Gallium	32 72.59 Ge Germanium	33 74.922 As Arsenic	34 78.96 Se Selenium
	48	112.40 Cd Cadmium	49 114.82 In Indium	50 118.69 Sn Tin	51 121.75 Sb Antimony	52 127.60 Te Tellurium
	80	200.59 Hg Mercury	81 204.37 Tl Thallium	82 207.19 Pb Lead	83 208.980 Bi Bismuth	84 (210) Po Polonium

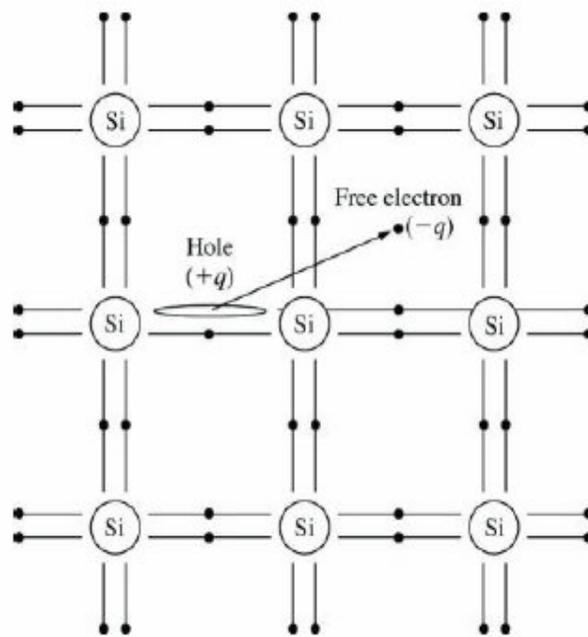
Gambar 1 Unsur-unsur yang banyak digunakan sebagai bahan semikonduktor

B. Model Ikatan atom pada bahan Semikonduktor

Kristal semikonduktor tersusun dari atom-atom yang letaknya saling berdekatan dan saling berikatan satu sama lain membentuk suatu ikatan kristal yang disebut ikatan kovalen. Sebagai ilustrasi dari model ikatan kristal tersebut, di bawah ini digambarkan terbentuknya ikatan kristal pada bahan Silikon. Gambar 2a menunjukkan ilustrasi ikatan kovalen dari atom Silikon pada kondisi temperature nol Kelvin, untuk kasus ini setiap atom Silikon menyumbangkan satu electron untuk tiap pasangan ikatan kovalen. Apabila kristal semikonduktor tersebut diberi energi termal dengan kata lain temperaturnya dinaikan, maka penambahan energi termal tersebut dapat menyebabkan putusnya ikatan kovalen, hal ini dapat membangkitkan pasangan elektron-hole dimana elektron tersebut dapat bebas dari keadaan valensi ke keadaan konduksi sedangkan kekosongan yang ditinggalkan elektron akan menjadi hole seperti nampak pada gambar 2b.



(a)

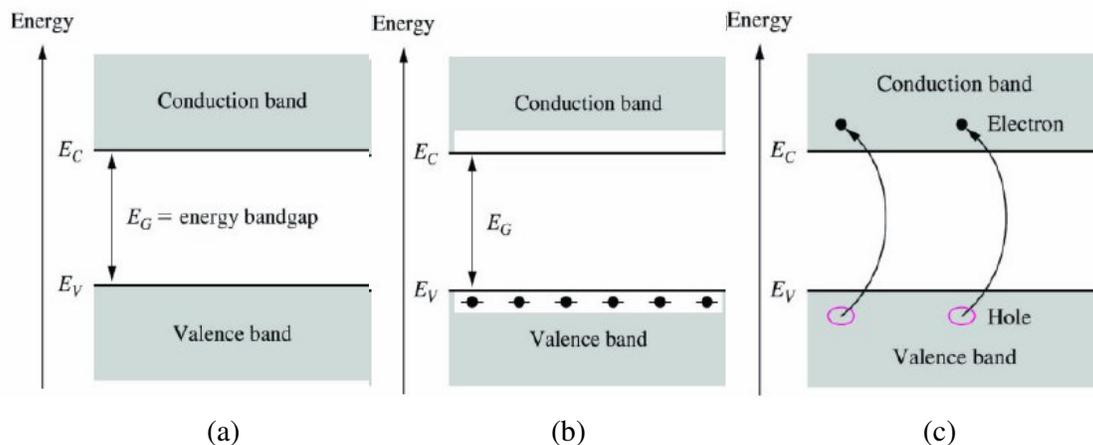


(b)

Gambar 2 Gambaran ikatan kovalen atom silikon pada kondisi (a) temperatur nol Kelvin, (b) pada temperatur di atas nol Kelvin

C. Model Pita Energi Semikonduktor

Setiap atom penyusun kristal semikonduktor memiliki sejumlah elektron valensi pada kulit terluarnya yang menempati keadaan valensi (gambar 3b), keadaan elektron valensi ini memiliki tingkat energi yang besarnya E_V . Elektron valensi ini berkontribusi pada pembentukan ikatan kovalen antara atom-atom penyusun kristal semikonduktor. Sedangkan keadaan dimana elektron sudah terbebas dari ikatan kovalen disebut keadaan konduksi dengan tingkat Energi E_C (gambar 3a). Apabila kristal semikonduktor tersebut temperaturnya dinaikan maka akan ada penambahan energi termal yang menyebabkan terputusnya ikatan kovalen yang terbentuk. Pemutusan ikatan kovalen ini akan menghasilkan elektron bebas yang sudah dalam keadaan konduksi dengan tingkat energi E_C . Pada gambar 3c diilustrasikan keadaan elektron konduksi dimana setelah terjadinya pemutusan ikatan kovalen, elektron valensi pada tingkat energy E_V akan berpindah kekeadaan konduksi dengan tingkat Energi E_C . Selisih antara tingkat energi konduksi dengan tingkat energi valensi ini dinamakan energi celah pita (energy gap) dimana energi gap tersebut merupakan energi minimal yang dibutuhkan untuk memutuskan ikatan kovalen pada kristal semikonduktor.



Gambar 3. Model pita energi bahan semikonduktor

Tabel 1 Energi gap bahan semikonduktor

Semiconductor	Bandgap Energy E_G [eV]
Carbon (diamond)	5.47
Silicon	1.12
Germanium	0.66
Tin	0.082
Gallium arsenide	1.42
Gallium nitride	3.49
Indium phosphide	1.35
Boron nitride	7.50
Silicon carbide	3.26
Cadmium selenide	1.70

D. Tipe Semikonduktor

Bahan semikonduktor dapat dibedakan dari jenis muatan pembawanya, yaitu semikonduktor intrinsik dan semikonduktor ekstrinsik. Semikonduktor intrinsik merupakan semikonduktor murni yang belum diberikan atom pengotor (impuritas). Apabila semikonduktor intrinsik ini dipanaskan maka akan terbentuk pasangan elektron-hole dimana elektron bermuatan negative dan hole dapat dianggap sebagai muatan positif. Konsentrasi elektron pada semikonduktor intrinsik sama dengan konsentrasi hole-nya yang dirumuskan :

$$n_i^2 = B \cdot T^3 \exp\left(-\frac{E_G}{kT}\right)$$

E_G = Energi celah pita semikonduktor dalam eV

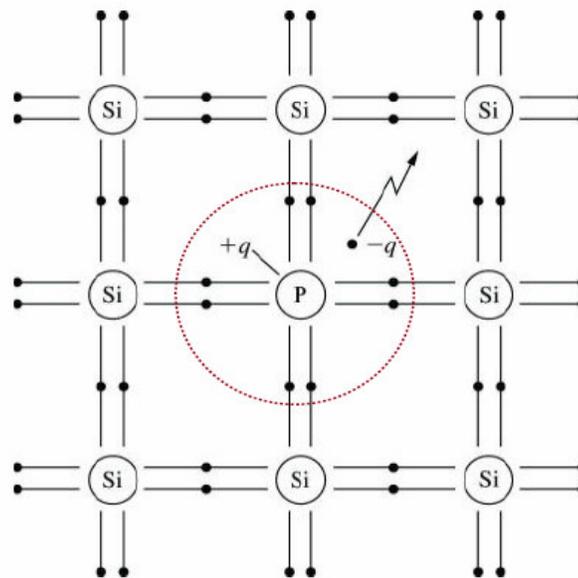
B = Konstanta Bahan (untuk Si $B=1,08 \times 10^{31} \text{ K}^{-3} \text{ cm}^{-6}$)

T = temperatur (K)

k = konstanta Boltzmann $8,62 \times 10^{-5} \text{ eV/K}$

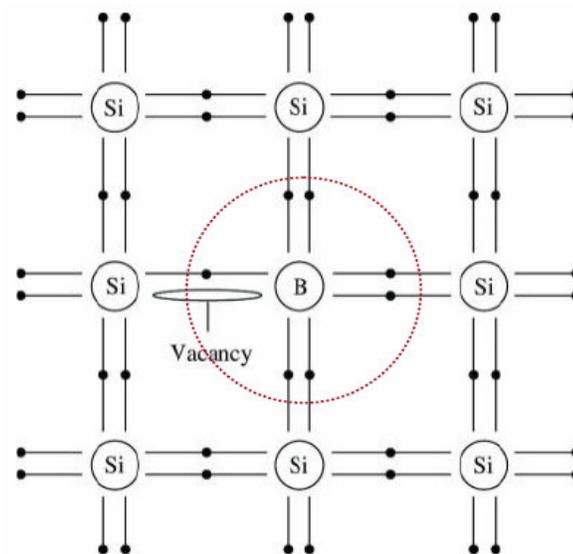
$n_i \approx 10^{10} \text{ cm}^{-3}$ untuk silikon pada temperatur kamar

Sedangkan pada semikonduktor ekstrinsik konsentrasi elektron dan konsentrasi hole-nya tidak sama hal ini disebabkan oleh adanya penambahan muatan pembawa akibat adanya atom pengotor. Sebagai contoh pemberian atom pengotor fosfor yang memiliki elektron valensi 5 pada semikonduktor silikon yang bervalensi 4 akan menyebabkan adanya satu elektron yang tidak terpasangkan untuk membentuk ikatan kovalen akibatnya elektron ekstra ini dapat menyumbangkan pada konsentrasi elektron keseluruhan. Semikonduktor jenis ini dinamakan semikonduktor tipe-n (negatif) karena didominasi oleh muatan pembawa elektron (gambar 4)



Gambar 4 kristal silikon yang diberi pengotor fosfor

Apabila kristal Silikon diberi atom pengotor Boron yang memiliki elektron valensi 3 maka akan terbentuk ikatan kovalen yang tidak sempurna karena terdapat satu kekosongan (hole) yang tidak terisi elektron. Sehingga dengan demikian muatan pembawa pada kristal silikon yang telah diberi pengotor Boron akan didominasi oleh muatan positif (hole) sehingga kristal silikon akan bertipe-p (positif) (gambar 5)



Gambar 5 Kristal Silikon yang telah diberi atom pengotor Boron

E. Tipe arus listrik pada Semikonduktor

Keberadaan elektron dan hole pada semikonduktor akan mempengaruhi karakteristik listrik pada bahan tersebut. Ada dua jenis arus listrik yang terjadi pada semikonduktor yaitu arus hanyut (drift) dan arus difusi.

1. Arus Hanyut (Drift)

Ketika semikonduktor diberi medan listrik E , maka partikel-partikel bermuatan dalam semikonduktor tersebut akan bergerak (hanyut) dengan laju yang berbanding lurus dengan medan listriknya.

$$\mathbf{v}_n = -\mu_n \mathbf{E} \quad \text{Laju hanyut elektron}$$

$$\mathbf{v}_p = \mu_p \mathbf{E} \quad \text{Laju hanyut}$$

Dimana

v_n dan v_p adalah laju dari elektron dan hole (cm/s)

μ_n dan μ_p adalah mobilitas dari elektron dan hole (cm²/V.s)

Rapat arus drift untuk elektron adalah:

$$\mathbf{j}_n = qn \mu_n \mathbf{E} \quad (\text{A/cm}^2)$$

Rapat arus drift untuk hole adalah:

$$\mathbf{j}_p = qp \mu_p \mathbf{E} \quad (\text{A/cm}^2)$$

Sehingga rapat arus total drift pada semikonduktor adalah penjumlahan dari rapat arus drift elektron dengan rapat arus drift hole :

$$\mathbf{j}_T = \mathbf{j}_n + \mathbf{j}_p = q(n \mu_n + p \mu_p)\mathbf{E} = \sigma \mathbf{E}$$

Konduktivitas muatan pembawa pada semikonduktor:

$$\sigma = q(n \mu_n + p \mu_p) \quad (1/\Omega \cdot \text{cm})$$

$$\text{Dan resistivitasnya } \rho = 1/\sigma \quad (\Omega \cdot \text{cm})$$

2. Arus Difusi

Arus difusi terjadi akibat adanya perbedaan konsentrasi muatan pembawa. Arus difusi akan mengalir dari daerah yang berkonsentrasi tinggi ke daerah yang memiliki konsentrasi rendah. Arus difusi akan sebanding dengan gradien konsentrasi yang dirumuskan :

Arus difusi untuk hole

$$\mathbf{j}_p^{diff} = (+q)D_p \left(-\frac{\partial p}{\partial x} \right) = -qD_p \frac{\partial p}{\partial x} \quad [\text{A/cm}^2]$$

Arus difusi untuk elektron

$$\mathbf{j}_n^{diff} = (-q)D_n \left(-\frac{\partial n}{\partial x} \right) = +qD_n \frac{\partial n}{\partial x} \quad [\text{A/cm}^2]$$

Konstanta D_p dan D_n adalah konstanta difusivitas dari hole dan elektron

Rapat arus total dalam semikonduktor adalah penjumlahan dari arus drift dengan arus difusi yang dirumuskan :

Rapat arus total untuk elektron

$$\mathbf{j}_n^T = q\mu_n n\mathbf{E} + qD_n \frac{\partial n}{\partial x}$$

Rapat arus total untuk hole

$$\mathbf{j}_p^T = q\mu_p p\mathbf{E} - qD_p \frac{\partial p}{\partial x}$$