

BAB II

DASAR TEORI

2.1. SEMIKONDUKTOR

Germanium (Ge) dan Silikon (Si) adalah contoh-contoh dari bahan semikonduktor, yaitu suatu bahan yang tidak merupakan konduktor maupun isolator yang mempunyai lebar pita terlarang yang relatif kecil (~ 1 eV). Sedangkan untuk isolator (~ 6 eV) dan konduktor atau logam tidak mempunyai lebar pita terlarang.

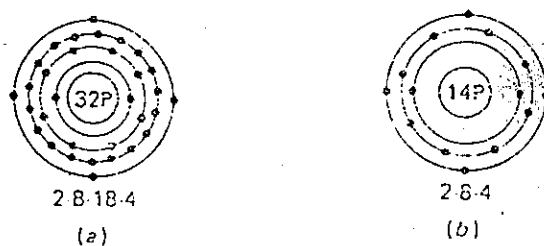
Gambar dibawah (gambar 1) memperlihatkan sebuah atom Ge dan Silikon. Di pusatnya terdapat sebuah inti dengan 32 proton untuk Ge dan 14 untuk Silikon. Elektron-elektron yang mengelilinginya tersebar dalam berbagai lintasan mengikuti pola : (Malvin, 1989)

$$2, 8, 18, \dots, 2n^2$$

dimana n adalah nomor lintasan.

Bilangan-bilangan tersebut merupakan jumlah elektron paling banyak yang dapat berada dalam orbit ke- n . Jadi dengan hanya melihat pada elektron-elektron valensinya kita dapat membedakan sebuah semikonduktor dan konduktor.

Apabila elektron valensinya delapan, bahan tersebut bersifat sebagai isolator.



Gambar 1 Atom-atom semikonduktor

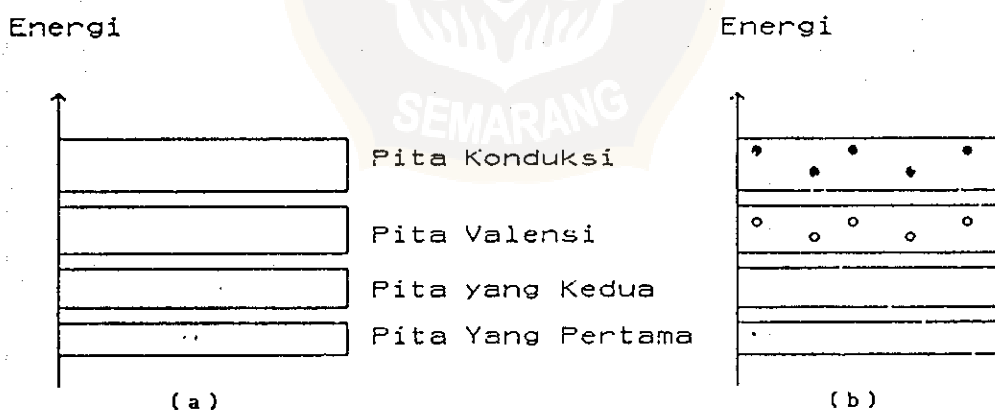
- (a) Germanium
- (b) Silikon

Oleh karena itu banyaknya elektron dalam lintasan valensi merupakan petunjuk untuk konduktivitas listrik. Konduktor-konduktor mempunyai sedikit elektron valensi, semikonduktor mempunyai sebia elektron valensi dan isolator mempunyai banyak elektron valensi. Disamping Ge dan Si masih banyak contoh semikonduktor yang lain misalnya gabungan (senyawa) antara golongan III dan V unsur-unsur pada sistem periodik yaitu InGa, InP dan sebagainya. Semikonduktor semikonduktor ini sering dipergunakan sebagai bahan "Infra Red Diodes" (Dioda Infra Merah). Pada dewasa ini negara-negara industri (Jerman, Jepang dan USA) telah meneliti bahan-bahan

semikonduktor ZnSn (unsur golongan II dan VI) untuk dibuat "Blue Laser Diodes" (Dioda Laser Biru).

2.1.1. PITA ENERGI

Tingkatan energi masing-masing elektron dalam batas-batas tertentu ditentukan oleh setiap muatan dalam kristal. Pada keadaan temperatur nol mutlak semua elektron-elektron yang bergerak dalam lintasan yang pertama mempunyai tingkatan-tingkatan energi (di Silikon) yang sedikit berbeda, karena tidak ada dua elektronpun yang mempunyai muatan lingkungan elektron yang tepat sama. Seperti yang terlihat dalam gambar di bawah ini. (gambar 2a) Malvin, 1989)



Gambar 2 Pita Energi dalam Kristal (Malvin, 1989)

- a. Pada temperatur nol mutlak
- b. Pada temperatur diatas nol mutlak

Lintasan pertama dan kedua membentuk pita energi dan selanjutnya semua elektron dari lintasan yang ketiga membentuk pita valensi. Kemudian gugusan dari lintasan-lintasan yang diperkenankan yang berada di atas pita valensi disebut pita konduksi yang merupakan pita dari elektron-elektron bebas.

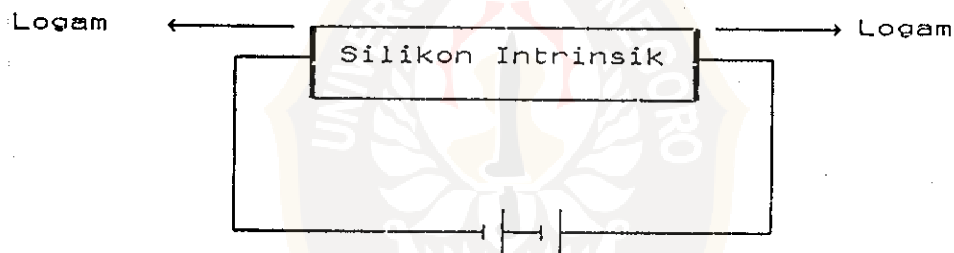
Apabila temperatur lebih besar dari nol mutlak maka energi termal akan mematahkan beberapa ikatan kovalen sehingga elektron dalam pita valensi akan pindah ke pita konduksi. Setiap sebuah elektron pindah ke dalam pita konduksi sebuah lubang terbentuk dalam pita valensi. Oleh karena itu pita valensi tidak akan pernah penuh karena lubang menggambarkan adanya lintasan yang dapat diisi. Semakin tinggi temperatur, makin banyak elektron yang dimasukkan ke dalam pita konduksi (gambar 2b)

2.1.2. SEMIKONDUKTOR INTRINSIK

Semikonduktor Intrinsik adalah semikonduktor murni dimana atom-atom penyusunnya merupakan murni unsur tersebut. Jika suatu kristal Silikon masuk dalam sistem dengan temperatur nol mutlak maka elektron-elektron

valensinya akan terikat erat dan tidak dapat meninggalkan atom karena ikatan kovalen yang menaunginya. meskipun dalam hal ini ada tegangan yang terpasang, kristal Silikon akan berperilaku sebagai isolator karena tidak ada elektron bebas yang dapat menghasilkan arus.

Apabila temperatur diatas nol mutlak, elektron akan memperoleh energi cukup untuk melepaskan diri dari ikatan dan masuk ke dalam pita konduksi. Dari perpindahan ini akan timbul arus dimana maikn tinggi temperatur makin besar arusnya.



Gambar 3 Sebuah kristal Silikon Intrinsik dengan ujung terlapsi logam. (Malvin, 1989)

Gambar diatas (gambar 3) menunjukkan kristal Silikon Intrinsik yang terlapsi logam dalam pengaruh tegangan luar yang berakibat elektron bebas mempunyai kecenderungan untuk pindah ke kanan. Gerakan tersebut terjadi dengan perpindahan elektron dari satu lintasan besar ke lintasan

besar yang ada di dekatnya.

Hal yang terjadi pula pada lubang dengan arah yang berlawanan dengan elektron. Lubang akan bergerak ke kiri menempati daerah yang ditinggalkan oleh elektron. Energi termal dapat menyebabkan terjadinya banyak pasangan elektron-lubang sehingga akan terjadi aliran tunak dari lubang dalam pita valensi (ke kiri).

Dalam hal ini lubang bukan suatu muatan positif tapi lubang merupakan kekosongan dalam pita valensi, tempat yang sebelumnya diisi oleh elektron valensi yang mengelilingi inti atom.

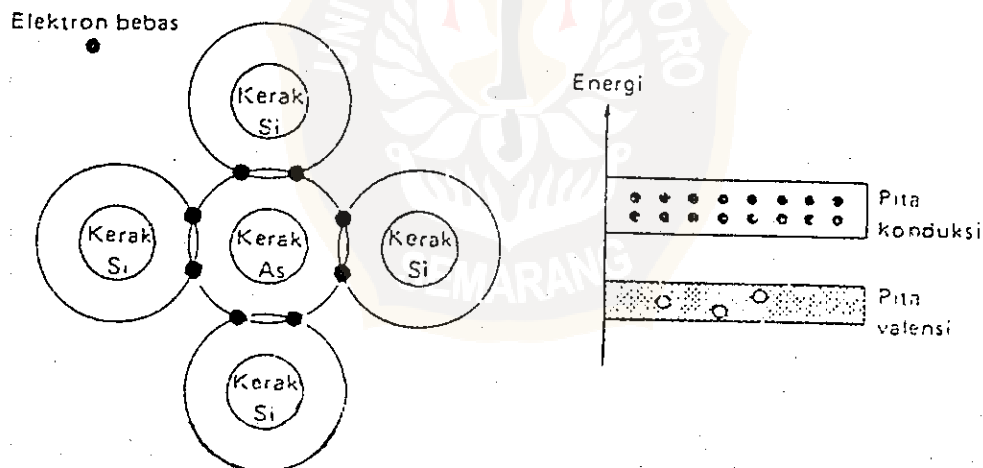
2.1.3. SEMIKONDUKTOR EXTRINSIK

Suatu semikonduktor Intrinsik tidak dapat memperoleh arus yang cukup besar untuk bermanfaat pada temperatur kamar, sehingga untuk itu dibutuhkan suatu doping atom-atom tak murnian pada semikonduktor intrinsik guna meningkatkan konduktivitasnya. Semikonduktor ini dinamakan semikonduktor Extrinsik.

2.1.3.1. Semikonduktor Tipe-N

Untuk meningkatkan elektron maka dibutuhkan doping berupa atom-atom bervalensi lima yang meliputi antara lain Arsenikum, Anti-monium dan Phospor. Dalam hal ini penulis menggunakan semikonduktor ekstrinsik berdoping Phospor sebagai salah satu sampelnya.

Kelebihan satu elektron tersebut merupakan elektron bebas yang bergerak dalam lintasan pita konduksi. Pemberian masing-masing atom Phospor sebuah elektron bebas dapat diatur dengan mengatur banyaknya tak murnian donor yang dibutuhkan.

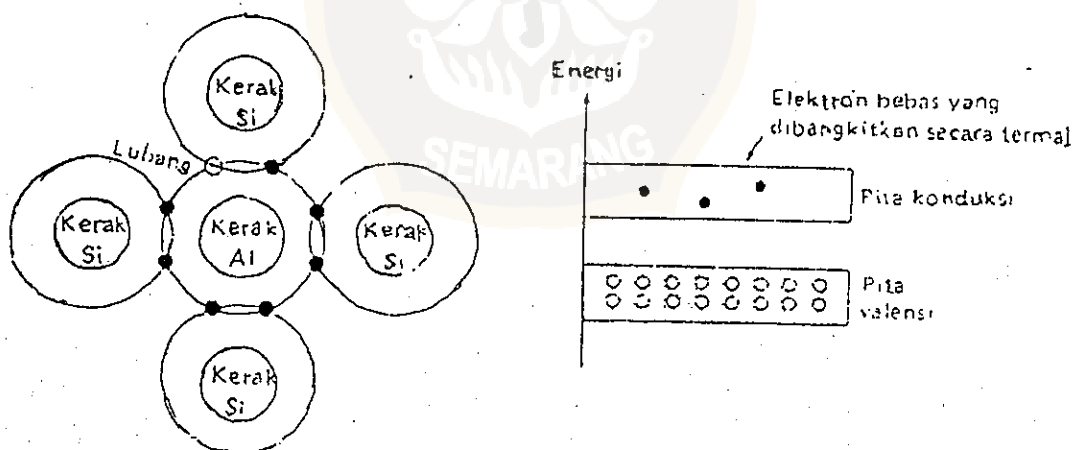


Gambar 4 Pemberian tak murnian atom bervalensi lima
(Malvin, 1989)

Dalam hal ini pita valensi mengandung beberapa Silikon berdoping lima yang disebut juga semikonduktor tipe-n dengan elektron sebagai pembawa mayoritas dan lubang sebagai pembawa minoritas.

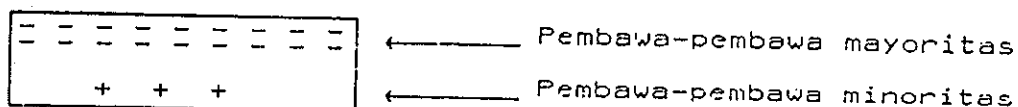
2.1.3.2. Semikonduktor Tipe-P

Untuk meningkatkan lubang dalam kristal silikon murni diperlukan doping berupa takmurnian atom-atom dengan valensi tiga yaitu Aluminium, Boron dan Galium. Dengan tiga elektron valensi maka akan terjadi satu lubang tidak berpasangan. Doping dengan atom takmurnian valensi tiga tersebut dinamakan Akseptor, oleh krn setiap lubang yang terbentuk dlm rekombinasi dapat menerima sebuah elektron.

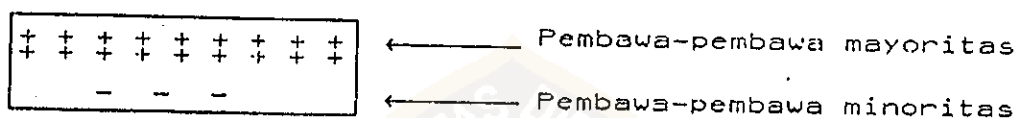


Gambar 5 Pemberian takmurnian dengan valensi tiga (Malvin, 1989)

Semikonduktor ini disebut juga semikonduktor tipe-p dengan lubang sebagai pembawa mayoritas dan elektron sebagai pembawa minoritas.



Gambar 6 Tipe-n mempunyai kelebihan elektron bebas



Gambar 7 Tipe-p mempunyai kelebihan lubang

2.2. MOBILITAS DAN KONDUKTIVITAS

Dalam logam elektron-elektron yang paling luar, atau valensi, berhubungan dengan beberapa ion sama kuatnya, sehingga kaitannya dengan atom-atom secara keseluruhan hampir tidak ada. Sehingga hanya pita energi tidak sepenuhnya diisi oleh elektron valensi dan bahwa diatannya tidak ada tingkatan-tingkatan yang terlarang. Dari setiap

atom sekurang-kurangnya ada satu elektron yang bergerak bebas dalam logam di bawah pengaruh medan yang diterapkan. Kadang-kadang ada dua atau tiga elektron dari setiap atomnya yang bebas, tergantung dari jenis logamnya.

Menurut teori gas elektron dari logam, elektron-elektron terus-menerus bergerak yang arahnya selalu berubah-ubah setelah mengalami tumbukan dengan ion-ion yang berat (yang hampir selalu diam). Jarak rata-rata antara dua tumbukan disebut jarak bebas rata-rata. Oleh karena gerak ini acak, maka pada suatu saat elektron yang bergerak melalui suatu satuan luas dalam logam dalam dua arah yang berlawanan rata-rata sama banyaknya.

Akibat dari kekuatan medan elektrostatis ini elektron akan terus-menerus dipercepat dan kecepatan elektron akan makin tinggi, seandainya tak terjadi tumbukan dengan ion. Akan tetapi dalam setiap tumbukan tak elastik dengan ion, elektron akan kehilangan energi dan suatu keadaan stasioner akan dicapai dimana kecepatan hanyut v akan diperoleh. Kecepatan hanyut ini arahnya berlawanan dengan arah medan listrik. (Millman, 1986)

Kecepatan dalam waktu t antara dua tumbukan adalah at , dimana $a = q\varepsilon/m$ adalah percepatan. Oleh karena itu kecepatan hanyut v ini akan berbanding lurus dengan ε .
Jadi :

$$v = \mu \varepsilon \quad (2.1)$$

dimana μ ($m^2/volt.Coulomb$) disebut mobilitas dari elektron. Dengan kata lain partikel yang bermuatan (pembawa) bergerak dalam benda padat dan sering bertubrukan dengan kisi-kisi kristal dan juga dengan ketidakmurnian. Secara percobaan dapat dibuktikan adanya perbandingan yang menghubungkan antara medan ε dan kecepatan pembawa v . Dalam kesetimbangan kekuatan medan listrik ε karena efek Hall menghasilkan gaya, yg bekerja pada pembawa yang mengimbangi gaya magnetik atau :

$$q \varepsilon = B q v \quad (2.2)$$

Dimana q besarmuatan pembawa :

$$\varepsilon = V_H / w \quad (2.3)$$

w adalah jarak antara permukaan 1 dan 2 :

$$J = \rho v = I / w d \quad (2.4)$$

dengan J adalah rapat arus

ρ adalah rapat muatan

d adalah tebal cuplikan dalam arah medan magnet

Dari persamaan diatas diperoleh

$$V_H = \varepsilon w = B v w = B J w / \rho = B J / \rho d \quad (2.5)$$

Apabila V_H , B, I dan d diukur maka rapat muatan ρ dapat ditentukan.

Biasanya digunakan Tetapan Hall R_H yang didefinisikan :

$$R_H \approx 1 / \rho \quad (2.6)$$

sehingga

$$R_H = V_H d / B I \quad (2.7)$$

Apabila penghantaran terutama disebabkan oleh muatan dengan salah satu tanda, konduktivitas σ dihubungkan

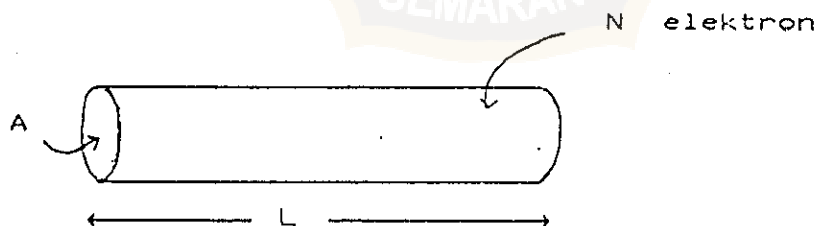
dengan μ :

$$\sigma = \rho \mu \quad (2.8)$$

Apabila konduktivitas yang diukur bersama tetapan Hall, mobilitas dapat ditentukan dari

$$\mu = \sigma R_H \quad (2.9)$$

Apabila dalam konduktor sepanjang L terdapat N elektron dan apabila waktu yang diperlukan sebuah elektron untuk menempuh jarak L dalam logam T detik, maka banyak elektron yang memotong setiap penampang kawat persatuan waktu adalah N/T .



Gambar 8 Perhitungan rapat arus (Millman, 1986)

Jadi muatan total perdetik yang melalui setiap luas yang menurut definisi sama dengan arus dalam ampere, diberikan oleh : (millman,1986)

$$I = N q/T = N q v/L \quad (2.10)$$

karena L/T adalah arus hanyut rata-rata v m/s dari elektron-elektron. Rapat arus yang dinyatakan dengan simbol J didefinisikan sebagai arus persatuan luas dari medium sama (uniform) maka :

$$J = I/A \quad (2.11)$$

Dimana J dalam A/m^2 dan A adalah luas penampang (dalam m^2) dari konduktor. Menurut (2.10) maka :

$$J = N q v/L A \quad (2.12)$$

LA adalah volume yang mengandung N elektron, sehingga N/LA adalah rapat elektron n (dalam elektron $/m^3$), jadi :

$$n = N/L A \quad (2.13)$$

dan persamaan (2.12) menjadi :

$$J = n q v = \rho v \quad (2.14)$$

dimana $\rho = nq$ adalah rapat muatan dalam C/m^3

Penurunan ini tak tergantung pada bentuk dari medium yang menghantar. Oleh karena itu Gambar 8 tidak harus melukiskan kawat konduktor. Gambar itu dapat melukiskan tabung pijar gas ataupun bagian isi daripada semikonduktor. Konduktivitas dari persamaan (2.14) dan (2.1) (Reka, 1987)

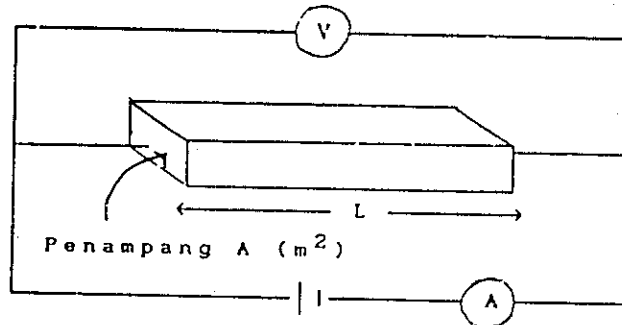
$$J = n q v = n q \mu \epsilon = \sigma \epsilon \quad (2.15)$$

σ adalah konduktivitas yang merupakan kebalikan dari resistivitas r . Misalkan arus I mengalir pada batang semikonduktor dengan penampang tetap A dan panjang L dan diberi tegangan V pada batang itu (seperti gambar 9). Kepadatan arus J adalah I/A dan medan listrik ϵ adalah V/L persamaan (2.15) menjadi : (Reka, 1987)

$$I/A = V/r L \quad (2.16)$$

sehingga

$$r = A V / L I \quad (2.17)$$



Gambar 9 Susunan percobaan untuk mengukur konduktivitas (Reka, 1987)

2.2.1. MEKANISME ARUS MENGALIR

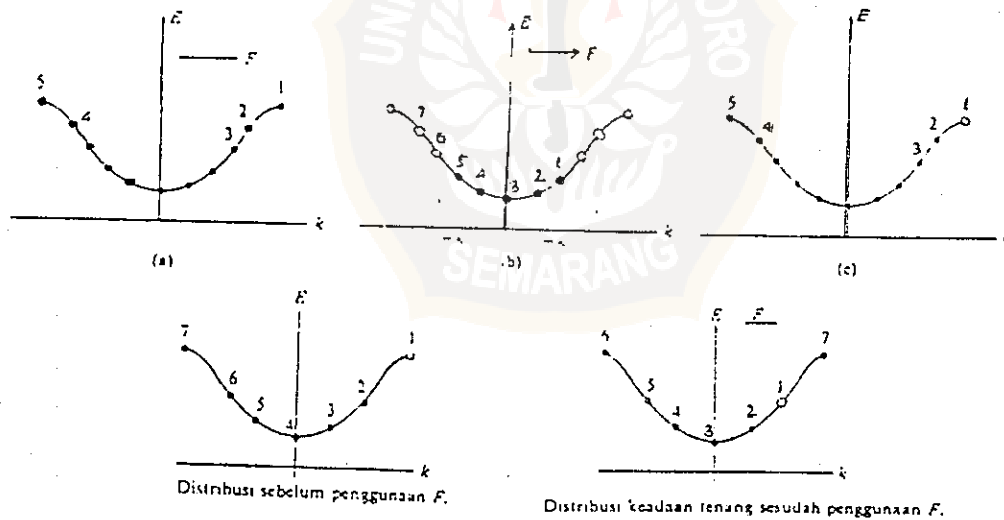
Bila medan listrik F diberikan dengan arah sama dengan K maka elektron pada lokasi 1 akan berpindah ke lokasi 2 kemudian dari 2 ke 3 dst dan elektron ke 5 berpindah ke lokasi 1 karena refleksi Bragg. Sehingga menyebabkan tidak ada perbedaan antar elektron tersebut. Keadaan setelah perpindahan elektron seperti di atas akan sama seperti bila $F = 0$ dan tidak ada arus listrik mengalir karena jalur terisi penuh oleh elektron yang seperti terlihat pada gambar 10a.

Bila jalur terisi sebagian seperti gambar 10b maka untuk arus mengalir disebabkan sebagai berikut. Dalam gambar 10b elektron ke 5 berpindah ke 6 elektron 4 ke 5 sehingga 1 menjadi kosong.

Gambar 10c menunjukkan keadaan elektron sebelum dan sesudah dikenakan medan listrik F sehingga mencapai distribusi keadaan yang tenang.

$$v_2 + v_3 + v_4 + v_5 + v_6 = v_5 + v_6 \quad (2.18)$$

dimana diambil relasi $v_2 + v_4 = 0$ dan $v_3 = 0$



Gambar 10 Pengisian jalur energi oleh elektron

Pada gambar 10d arus listrik dapat dihitung sebagai berikut J_A adalah arus yang disebabkan oleh elektron 2 hingga 7 maka :

$$J_A = \Sigma(-q)v_1 \quad (2.19)$$

Dianggap ada elektron pada lokasi 1. J_1 menyatakan arus karena elektron itu maka $J_1 = qv_1$

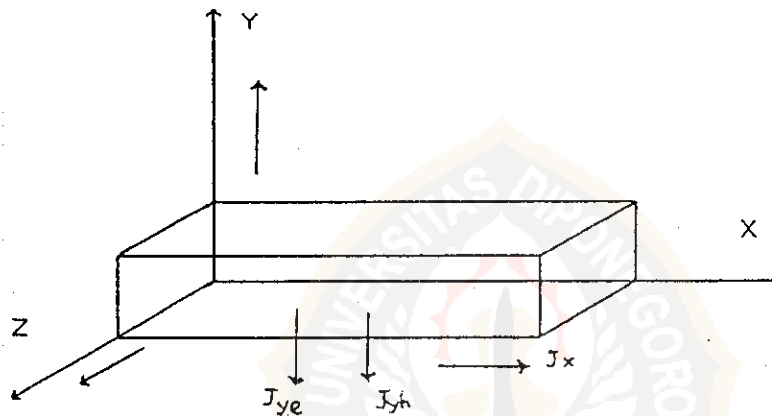
Bila keadaan penuh dengan elektron seperti gambar 10a maka tidak ada listrik yang mengalir karena

$$J = \Sigma (-q)v_1 = 0 \quad (2.20)$$

karena $J = J_A + J_1$ maka akan didapatkan $J_A = -J_1 = qv_1$.
 Persamaan diatas menunjukkan bahwa distribusi elektron kecuali pada lokasi yang kosong adalah ekuivalen dengan muatan positif $+q$ yang terdapat pada tempat yang kosong itu. Maka dengan bukti ini lokasi yang kosong disebut hole.

2.2.2. TETAPAN HALL

Di dalam semikonduktor yang bersifat bipolar (mengandung pembawa-pembawa muatan yang berlawanan) yang masing-masing mempunyai mobilitas μ_n untuk elektron bebas dan μ_p untuk lubang.



Gambar 11 Tetapan Hall dalam dua pembawa. (Jain, 1972)

Partikel-partikel tersebut bergerak dalam arah yang berlawanan dalam medan listrik ϵ , oleh karena mereka mempunyai tanda yang berlawanan, masing-masing arus mempunyai arah yang sama. Oleh karena itu rapat arus J diberikan oleh persamaan : (Jain, 1972)

$$J_x = J_{xe} + J_{xh} \quad (2.21)$$

Elektron dan lubang keduanya bergerak sebagai akibat medan listrik luar sehingga mengakibatkan gaya Lorentz di dalam medan magnet B_z . Gaya yang dialami oleh keduanya bergerak ke arah yang sama : (Jain, 1972)

$$\vec{F}_e = -e (\vec{V}_e \times \vec{B}) \quad (2.22)$$

$$\vec{F}_h = e (\vec{V}_h \times \vec{B}) \quad (2.23)$$

karena \vec{V}_e dan \vec{V}_h adalah kecepatan hanyut elektron dan lubang sebagai akibat dari medan luar akan menyamping pada arah yang sama dengan gaya Lorentz. Keduanya akan dibelokkan ke permukaan yang sama yaitu pada sumbu y . Dalam persamaan dari rapat arus J_{ye} untuk elektron dan J_{yh} untuk lubang yang membelok pada arah yang sama, resultan mereka harus seimbang dengan rapat arus total J_h sama dengan medan listrik Hall ϵ_y . (Jain, 1972)

$$\sigma \epsilon_y = \sigma_e \epsilon_{ye} + \sigma_h \epsilon_{yh} \quad (2.24)$$

dengan $\epsilon_y = R_H J_x B_z$

$$\epsilon_{ye} = R_{He} J_{xe} B_z$$

$$\epsilon_{yh} = R_{Hh} J_{xh} B_z$$

maka :

$$\sigma R_H J_x B_z = \sigma_e R_{He} J_{xe} B_z + \sigma_h R_{Hh} J_{xh} B_z \quad (2.25)$$

dengan $J_x = \sigma \epsilon_x$

$$J_{xe} = \sigma_e \epsilon_x$$

$$J_{xh} = \sigma_h \epsilon_x$$

sehingga diperoleh : (Jain,1972)

$$\sigma^2 R_H \epsilon_x B_z = \sigma_e^2 R_{He} \epsilon_{xe} B_z + \sigma_h^2 R_{Hh} \epsilon_{xh} B_z \quad (2.26)$$

Akhirnya persamaan diatas disederhanakan menjadi :

$$R_H = \frac{\sigma_e^2 R_{He} + \sigma_h^2 R_{Hh}}{\sigma^2} = \frac{\sigma_e^2 R_{He} + \sigma_h^2 R_{Hh}}{(\sigma_e + \sigma_h)^2} \quad (2.27)$$

Persamaan (2.27) adalah Tetapan Hall total dari bahan yang berhubungan dengan Tetapan Hall, konduktivitas dari elektron dan lubang.

Jika dimasukkan konduktivitas yang berhubungan dengan konsentrasi pembawa dan mobilitas dari pembawa yaitu :

$$\sigma_e = e \mu_n n$$

$$\sigma_h = e \mu_p p$$

sehingga

$$R_H = \frac{e^2 \mu_n^2 n^2 R_{He} + e^2 \mu_h^2 p^2 R_{Hh}}{(e \mu_n n + e \mu_h p)^2} \quad (2.28)$$

dengan menghilangkan faktor e^2 maka dpt disederhanakan :
(Jain, 1972)

$$R_H = \frac{\mu_n^2 n^2 R_{He} + \mu_h^2 p^2 R_{Hh}}{(\mu_n n + \mu_h p)^2} \quad (2.29)$$

Bila diketahui :

Tetapan Hall lubang adalah $R_{Hh} = \frac{3 \pi}{8 e p}$

Tetapan Hall elektron adalah $R_{He} = - \frac{3 \pi}{8 e n}$

maka :
$$R_H = \frac{3 \pi}{8 e p} \left(\frac{-(\mu_n^2 n) + \mu_h^2 p}{(\mu_n n + \mu_h p)^2} \right) \quad (2.30)$$

* untuk bahan semikonduktor Tipe-P maka $p \gg n$ dengan

$\mu_h \approx \mu_n$ maka Tetapan Hallnya $R_{Hh} = \frac{3 \pi}{8 e p} = R_H$

* untuk bahan semikonduktor Tipe-N maka $n \gg p$ dengan

$\mu_h \approx \mu_n$ maka Tetapan Hallnya $R_{He} = - \frac{3 \pi}{8 e n} = R_H$

* untuk bahan semikonduktor murni dimana $p = n = n_i$ maka
 Tetapan Hallnya : (Jain,1972)

$$R_H = \frac{3 \pi}{8 e n_i} \frac{-(\mu_n^2) + \mu_h^2}{(\mu_n + \mu_h)^2} = \frac{3 \pi}{8 e n_i} \frac{-(\mu_n^2) + \mu_h^2}{(\mu_n + \mu_h)^2} \quad (2.31)$$

2.2.3. HUKUM AKSI-MASSA

Penambahan takmurnian tipe-n, ternyata akan mengurangi banyaknya lubang dan bila ditambahkan takmurnian tipe-p akan menurunkan rapat elektron bebas di bawah konsentrasi elektron dalam semikonduktor intrinsik.

Teori secara analitis menunjukkan bahwa perkalian dari rapat muatan negatif yang bebas dan muatan yang positif, dalam kesetimbangan termal merupakan suatu tetapan dan tidak bergantung pada banyaknya donor dan akseptor yang dimasukkan. Hubungan ini disebut Hukum Aksi-Massa yaitu : (Millman,1986)

$$np = n_i^2 \quad (2.32)$$

Rapat intrinsik n_i merupakan fungsi dari temperatur.

2.2.4. RAPAT MUATAN DALAM SEMIKONDUKTOR

Persamaan diatas $np = n_i^2$, memberikan suatu hubungan antara rapat (konsentrasi) elektron n dan rapat lubang p . Rapat-rapat ini memenuhi hukum netralitas yg dirumuskan :

$$N_D + p = N_A + n \quad (2.33)$$

dimana :

N_D = rapat atom donor

N_A = rapat atom akseptor

Misal bahan tipe-n dengan $N_A = 0$, sehingga menyebabkan elektron lebih banyak dari lubang ($n \gg p$) dalam semikonduktor tipe-n, maka persamaan (2.33) menjadi :

$$n = N_D \text{ atau } n_n = N_D \quad (2.34)$$

Dalam bahan tipe-n, konsentrasi elektron bebas kira-kira sama dengan rapat atom donor. Rapat lubang p_n dalam semikonduktor tipe-n dapat diperoleh dari persamaan (2.31) yang dapat ditulis $n_n p_n = n_i^2$ Jadi :

$$p_n = \frac{n_i^2}{N_D} \quad (2.35)$$

Untuk semikonduktor tipe-p

$$n_p p_p = n_i^2 \quad p_p = N_A \quad n_p = \frac{n_i^2}{N_A} \quad (2.36)$$

Apabila kita dapat menambahkan donor pada kristal tipe-p atau menambahkan akseptor pada bahan tipe-n maka banyak donor akan sama dengan banyak akseptor yang mengisi semikonduktor, maka semikonduktor tersebut akan tetap intrinsik. Lubang dari akseptor bergabung dengan elektron konduksi dari donor tidak menghasilkan pembawa muatan yang bebas. Jadi dari persamaan (2.33) dengan $N_D = N_A$ maka $p = n$ sehingga persamaan (2.32), $n^2 = n_i^2$ atau $n = n_i =$ konsentrasi intrinsik. Apabila atom donor ditambahkan pada semikonduktor tipe-p melebihi rapat akseptor ($N_D > N_A$), maka bahan tersebut akan berubah dari tipe-p menjadi tipe-n. Untuk itu persamaan (2.34) dan (2.35), N_D diganti dengan $N_D - N_A$.

2.2.5. MOBILITAS DAN KONDUKTIVITAS SEMIKONDUKTOR

Suatu semikonduktor adalah bipolar (mengandung pembawa muatan yang berlawanan) dimana satu pembawa negatif mempunyai mobilitas μ_n dan yang lain positif dengan mobilitas μ_p . Rapat arus J dari partikel yang bergerak dalam medan listrik ϵ adalah : (Millman, 1986)

$$J = (n \mu_n + p \mu_p) q \epsilon = \sigma \epsilon \quad (2.37)$$

dimana : n = besarnya konsentrasi elektron bebas.

p = besarnya konsentrasi lubang

σ = konduktivitas

Dari persamaan (2.37) diatas, diperoleh harga konduktivitas (σ) untuk dua pembawa muatan adalah :

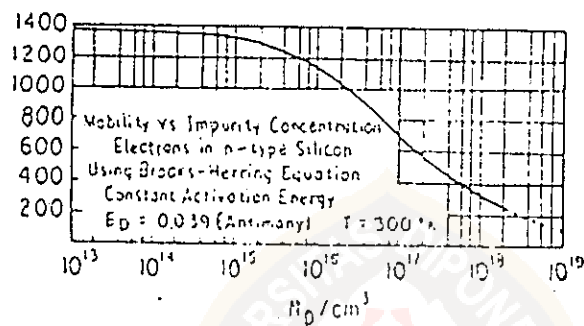
$$\sigma = (n \mu + p \mu) q$$

2.2.6. HUBUNGAN MOBILITAS DAN RESISTIVITAS

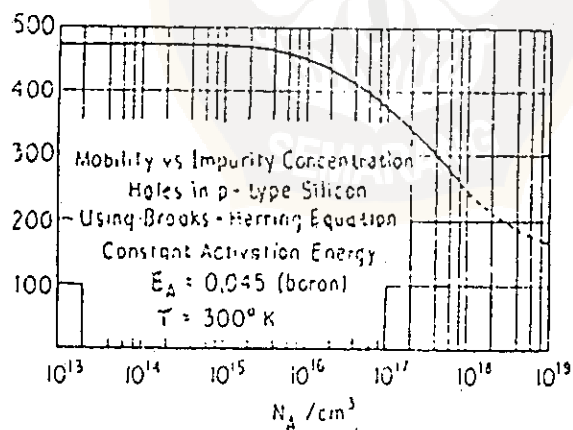
Hubungan mobilitas dan resistivitas dapat dilihat dari persamaan dibawah :

$$r = \frac{1}{(n \mu + p \mu) q} \quad (2.38)$$

dengan r = resistivitas μ_n = mobilitas elektron
 q = muatan elektron μ_p = mobilitas lubang (hole)
 Sehingga dari persamaan rumus (2.37) tersebut diatas
 ditarik kesimpulan bahwa harga mobilitas tergantung
 daripada temperatur dan konsentrasi ketakmurnian.

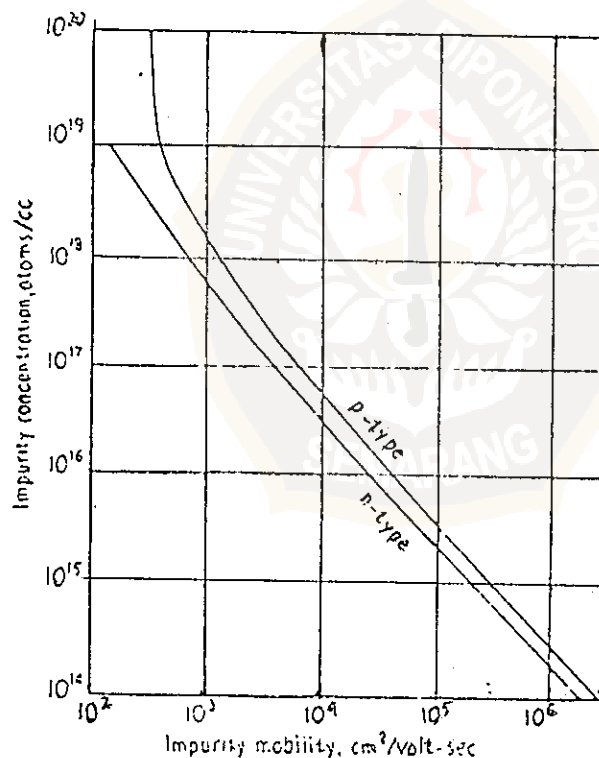


Gambar 12 Grafik Mobilitas Elektron thd Konsentrasi Ketakmurnian dalam Silikon tipe-n.
 $E_D = 0,039$ ev & $T = 300^\circ\text{K}$ (Cronemeyer, 1965)



Gambar 13 Grafik Mobilitas Lubang thd Konsentrasi Ketakmurnian dalam Silikon tipe-p.
 $E_D = 0,045$ ev & $T = 300^\circ\text{K}$ (Cronemeyer, 1965)

Gambar 12 dan 13 memperlihatkan μ_n dan μ_p sebagai fungsi dari konsentrasi ketakmurnian pada temperatur ruang. Pada gambar tersebut diperkirakan bahwa di semikonduktor tidak terjadi kompensasi. Pada saat terjadi kompensasi kemungkinan mobilitas masih dapat diamati dengan menghitung mobilitas ketakmurnian μ_i untuk derajat kompensasi yang diinginkan dan kemudian dikombinasikan dengan mobilitas kisi untuk mendapatkan mobilitas total.



Gambar 14 Grafik Mobilitas ketakmurnian thd Konsentrasi Ketakmurnian dalam Silikon tipe-n tipe-p.
 $T = 300^\circ\text{K}$ (Cronemeyer, 1965)

Jika terdapat kompensasi maka persamaannya dapat ditulis dibawah ini : (Cronemeyer, 1965)

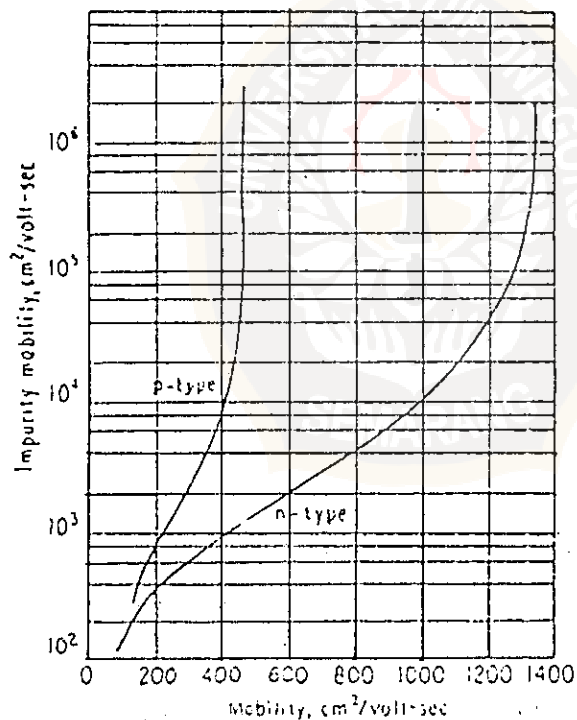
$$\mu_{IC} = \frac{[N_A - N_D]}{N_A + N_D} \mu_{IU} \quad (2.39)$$

yang mana :

μ_{IC} = mobilitas ketakmurnian yang terkompensasi

N_A = jumlah akseptor dan N_D = jumlah donor

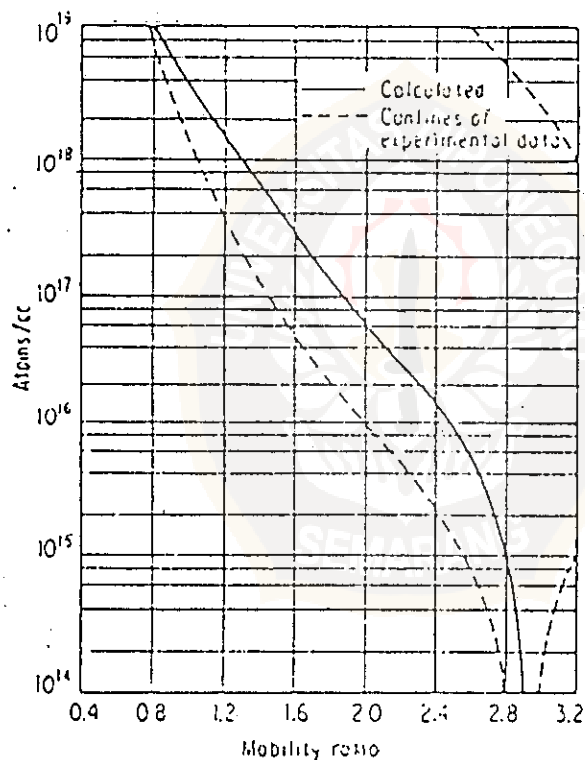
μ_{IU} = mobilitas ketakmurnian dari material yang tidak terkompensasi ($N_A - N_D$) ketakmurnian/cm³



Gambar 15 Grafik Mobilitas total thd mobilitas Ketakmurnian dalam Silikon tipe-n tipe-p. $T = 300^{\circ}K$ (Cronemeyer, 1965)

Jadi jika N_A dan N_D diketahui, maka harga μ_I yg baru dpt dihitung. Jadi kombinasi dari kurva ini dan μ_I akan dapat dihitung dgn mengikuti evaluasi dr mobilitas kompensasi.

2.2.7. MOBILITAS HANYUT (DRIFT MOBILITY)



Gambar 16 Grafik Rasio Mobilitas thd Konsentrasi Ketak murnian dlm Silikon. $T=300^{\circ}\text{K}$ (Cronemeyer, 1965)

Mobilitas hanyut merupakan mobilitas dari pembawa muatan minoritas yang sesuai dengan perkiraan terhadap pembawa muatan mayoritas. Dengan ini bisa diartikan bahwa rasio $\mu_p/\mu_n \approx b$ dapat dihitung dari gambar 16.

