BAB II

DASAR TEORI

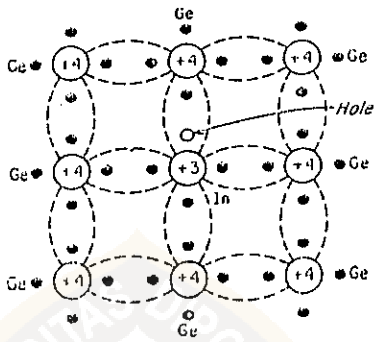
2.1. Semikonduktor.(Millman,1958)

Pada dasarnya konduktivitas suatu bahan sebanding dengan banyaknya elektron bebas (n) dalam bahan tersebut. Untuk konduktor yang bagus , n sangat besar ($\cong 10^{28}$ elektron/m^3) sedang untuk isolator sangat kecil ($\cong 10^7$ elektron/m^3) serta untuk semikonduktor terletak diantara dua nilai tersebut. Elektron valensi pada semikonduktor tidak dapat bergerak sebebas elektron valensi pada logam, karena terikat pada suatu ikatan antara dua ion.

Silikon dan germanium merupakan semikonduktor yang paling banyak dipakai. Struktur kristal dari kedua bahan tersebut terdiri atas sel-sel tiga dimensi yang seragam dan berbentuk tetrahedron dengan sebuah atom pada masing-masing sudutnya. Struktur ini dapat dilihat pada gambar 2.1. Setiap atom Si dan Ge mempunyai 4 elektron pada pita valensi , yang dipakai untuk mengadakan ikatan dengan empat tetangganya. Inti yang diam sebagai ion positif dengan muatan +4q. Dalam keadaan suhu 0 K, ikatan ini tak terusik bahkan semikonduktor tak dapat menghantarkan listrik. Bila suhu naik, misalnya pada suhu kamar, maka elektron akan mendapat cukup tenaga untuk berpindah dari pita valensi ke pita konduksi menjadi elektron bebas. Ikatan yang ditinggalkan (pita valensi) menjadi kekurangan satu elektron dan timbul kekosongan yang disebut lubang. Tenaga yang diperlukan untuk

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

melepaskan ikatan ini adalah 0,72 eV untuk Ge dan 1,1 eV untuk Si pada suhu kamar. Lubang yang terjadi dengan mudah dapat diisi oleh elektron elektron dari atom tetangganya, yang berarti menciptakan lubang pada tempat sebelumnya. Sehingga dengan demikian, lubang dapat bergerak sebagai pembawa muatan positif melawan arah gerak elektron.



Gambar 2.1. Struktur kristal Germanium(Millman,1958)

Dalam bahan semikonduktor murni jelas bahwa jumlah elektron sama dengan jumlah lubang, karena timbul bersama-sama. Dengan naiknya suhu kemungkinan terjadinya pasangan elektron dan lubang menjadi lebih besar. Sehingga bahan menjadi lebih mudah menghantarkan arus listrik. Jadi pada semikonduktor murni $n = p = n_i$.

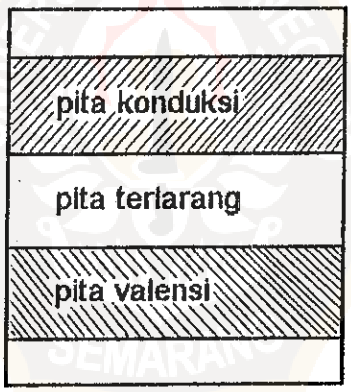
2.2. Struktur Pita Energi dalam Semikonduktor.

Secara umum semikonduktor adalah suatu materi dengan pita energi yang tertinggi terisi sementara pita energi berikutnya yang dipisahkan

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

dengan celah energi yang kosong atau terisi tapi sangat sedikit. Dengan celah energi dalam orde 1 eV, maka akan mudah bagi elektron untuk berpindah melintasi celah tersebut menuju ke pita berikutnya bila temperatur cukup tinggi, dan elektron tersebut kemudian akan menjadi elektron konduksi dan menyebabkan semikonduktor menjadi penghantar. Struktur pita energi semikonduktor dapat dilihat pada gambar 2.2.

Karakteristik semikonduktor dapat diubah dengan menambahkan suatu ketakmurnian ke dalamnya. Bermacam-macam ketakmurnian menyebabkan semikonduktor mempunyai sifat yang berbeda dengan semikonduktor intrinsik (murni). Secara umum akan terdapat tingkat energi tambahan dalam pita terlarang dan akibatnya akan mempunyai konduktivitas yang lebih tinggi dari semikonduktor intrinsik.



Gambar 2.2. Struktur pita energi dalam semikonduktor.(Spangenberg,1957)

Menurut Spangenberg suatu ketakmurnian dalam bentuk atom bebas dengan valensi 3 atau 5 terdapat pada struktur kristal silikon dan germanium. Jika atom asing mempunyai valensi 5, keempat elektron

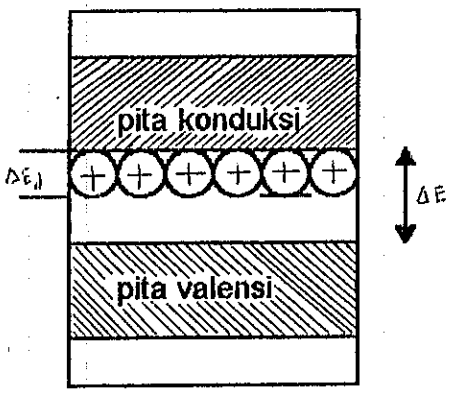
This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

terluar akan mengadakan ikatan dengan atom aslinya dan elektron kelima akan menjadi elektron bebas.

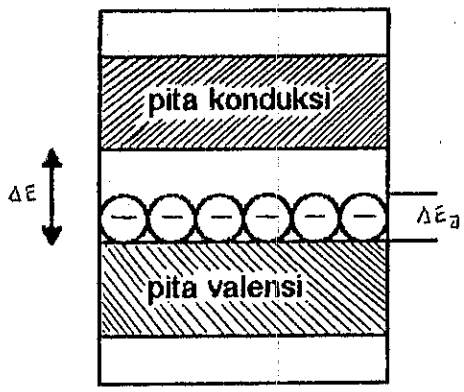
Semikonduktor tak murni yang mempunyai elektron bebas sebagai pembawa muatan disebut semikonduktor tipe-n. Dalam semikonduktor tersebut terdapat tingkat energi tambahan yang tergabung dalam atom takmurnian yang mempunyai satu elektron valensi tambahan, yang terletak sedikit dibawah pita konduksi dalam pita terlarang, seperti pada gambar 2.3. Tingkat energi energi tambahan ini besarnya hanya dalam orde seperseratus eV dibawah pita konduksi. Sebagai hasilnya elektron valensi bebas dengan mudah memperoleh energi tambahan yang cukup untuk mencapai pita konduksi. Karena itu, takmurnian ini disebut donor, karena memberikan sebuah elektron pada pita konduksi.

Dengan cara yang sama, sebuah atom dengan valensi 3 dapat di masukkan dalam struktur kristal atom tetravalen. Jika ini terjadi, maka terdapat kekurangan 1 elektron dalam struktur ikatan kristal, dan menghasilkan sebuah lubang. Dalam semikonduktor ini juga terdapat suatu tingkat energi ekstra yang tergabung dalam atom ketakmurnian. Tingkat energi ini juga dalam orde seperseratus eV dan terletak sedikit diatas pita valensi, seperti pada gambar 2.4. Dalam hal ini elektron pada pita valensi akan memperoleh energi yang cukup untuk naik ke pita energi tambahan. Jika itu terjadi maka lubang yang tertinggal pada pita valensi akan berperan sebagai pembawa muatan dan berlaku sebagai elektron positif.

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)



Gambar 2.3. Pita energi semikonduktor tipe-n.(Spangenberg,1957)



Gambar 2.4. Pita energi semikonduktor tipe-p(Spangenberg,1957)

Proses konduksi lubang ini terjadi pada semikonduktor tipe-p. Dan atom ketakmurniannya disebut akseptor. (Spangenberg,1957)

2.3. Proses Konduksi dalam Semikonduktor.

Bila ditinjau sebuah semikonduktor murni pada O K, tidak ada elektron pada pita konduksi yang tereksitasi dari pita valensi. Dapat dianggap sebuah elektron tereksitasi dari pita valensi ke pita konduksi. Hasilnya adalah lubang pada pita valensi dan elektron pada pita konduksi. Jika suatu medan listrik $\vec{E}$ di kenakan pada kristal, elektron dan lubang akan bergerak pada arah yang berlawanan.

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

Hal ini dapat dilihat pada gambar 2.5 dengan q adalah muatan listrik dari pembawa, $\vec{v}$ adalah kecepatan dan $\vec{J}$ adalah rapat arus.

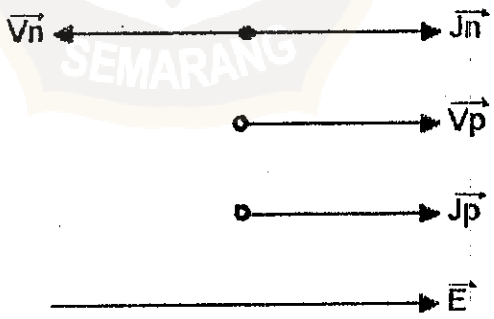
Dari persamaan

$$\vec{J} = nq\vec{v} \qquad A/cm^2 \qquad (2.1)$$

dengan n (atau p) adalah rapat elektron atau lubang, didapatkan bahwa rapat arus $\vec{J_n}$ dan $\vec{J_p}$ dari elektron dan lubang adalah

$$\vec{J_n} = -ne\vec{v_n}, \quad \vec{J_p} = pe\vec{v_p} \qquad A/cm^2 \qquad (2.2)$$

Persamaan itu menunjukkan bahwa $\vec{J_n}$ dan $\vec{J_p}$ mempunyai arah yang sama, seperti dalam gambar 2.5, karena elektron dan lubang bergerak dengan arah yang berlawanan. Elektron dan lubang dalam semikonduktor masing-masing mempunyai kontribusi pada rapat arus totalnya.



Gambar 2.5. Kecepatan vektor $\vec{v_n}$ dan $\vec{v_p}$ dan vektor rapat arus $\vec{J_n}$ dan $\vec{J_p}$ dalam medan listrik $\vec{E}$.(Iida,1982)

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

Dari hukum Ohm, untuk elektron

$$\vec{J_n} = \sigma_n \vec{E} = -ne\vec{v_n} \qquad A/cm^2 \qquad (2.3)$$

dengan σ_n adalah konduktivitas elektron (/ohm-cm). Demikian juga untuk lubang.

Kuantitas kelincahan (mobilitas / μ) elektron dan lubang bila dinyatakan dalam persamaan vektor

$$\vec{v_n} = -\mu_n \vec{E} \qquad cm/dtk \qquad (2.4)$$

$$\vec{v_p} = \mu_p \vec{E} \qquad cm/dtk \qquad (2.5)$$

dengan tanda negatif dalam persamaan tersebut berarti arah elektron berlawanan dengan medan listrik $\vec{E}$. Mobilitas adalah kuantitas positif. Dengan menggabungkan persamaan 2.3-2.5 didapatkan

$$\vec{J_n} = ne\mu_n \vec{E} = \sigma_n \vec{E} \qquad A/cm^2 \qquad (2.6)$$

$$\vec{J_p} = pe\mu_p \vec{E} = \sigma_p \vec{E} \qquad A/cm^2 \qquad (2.7)$$

dan rapat arus total $\vec{J} = \vec{J_n} + \vec{J_p}$, sehingga

$$\vec{J} = (ne\mu_n + pe\mu_p)\vec{E} = \sigma \vec{E} \qquad A/cm^2 \qquad (2.8)$$

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

dengan konduktivitas total σ dari elektron dan lubang adalah

$$\sigma = e(n\mu_n + p\mu_p) = \sigma_n + \sigma_p \qquad (\text{ohm-cm})^{-1} \qquad (2.9)$$

Mobilitas pembawa ditentukan oleh tumbukan antara pembawa dengan berbagai ketakmurnian dalam kristal. Konduktivitas dapat juga dinyatakan sebagai

$$\sigma = ne^2\tau_n/m_0 \qquad (\text{ohm-cm})^{-1} \qquad (2.10)$$

dengan n adalah rapat elektron bebas, m_0 adalah massa elektron dan τ_n adalah waktu tumbukan untuk elektron. Dengan membandingkan kedua persamaan diatas maka

$$\mu_n = e\tau_n/m_0 \qquad \text{cm}^2/\text{volt-dtk} \qquad (2.11)$$

bila elektron mempunyai massa efektif m_0^*, maka

$$\mu_n = e\tau_n/m_0^* \qquad \text{cm}^2/\text{volt-dtk} \qquad (2.12)$$

untuk elektron. Dan analog untuk lubang

$$\mu_p = e\tau_p/m_p^* \qquad \text{cm}^2/\text{volt-dtk} \qquad (2.13)$$

dengan m_p^* adalah massa efektif lubang dan τ_p adalah waktu tumbukan untuk lubang.(Dalven,1990)

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

2.4. Fotokonduktivitas

Jika suatu semikonduktor disinari dengan cahaya yang berenergi kuantum lebih besar daripada energi celah ε_0 antara pita valensi dan pita konduksi, maka kuanta tersebut akan mengeksitasi elektron dari pita valensi ke pita konduksi dan menghasilkan pasangan elektron dan lubang. Hal tersebut menyebabkan naiknya konsentrasi pembawa muatan dan dapat dikatakan sebagai kenaikan konduktivitas.

Bila suatu semikonduktor mempunyai jumlah elektron $n = n_0$ dan lubang $p = p_0$ pada saat semikonduktor tidak disinari, maka sesuai persamaan (2.9) konduktivitas gelapnya adalah

$$\sigma_d = e(n_0\mu_n + p_0\mu_p) \quad (\text{ohm-cm})^{-1} \qquad (2.14)$$

dengan μ_n dan μ_p adalah mobilitas elektron dan lubang. Bila semikonduktor tersebut disinari sehingga konsentrasi elektron bertambah sebesar Δn dan konsentrasi lubang bertambah sebesar Δp maka perubahan konduktivitasnya adalah

$$\Delta\sigma = e(\mu_n\Delta n + \mu_p\Delta p) \quad (\text{ohm-cm})^{-1} \qquad (2.15)$$

Kepekaan dari semikonduktor dapat dikatakan sebagai jumlah cahaya yang dibutuhkan untuk membuat $\Delta\sigma = \sigma_d$; semakin sedikit cahaya yang dibutuhkan, semakin peka semikonduktor tersebut. Semikonduktor foto yang baik juga mempunyai konduktivitas gelap yang kecil.

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

Bila waktu hidup elektron dan lubang adalah τ_n dan τ_p , maka bila terdapat q pasangan elektron dan lubang yang dihasilkan per detik akan didapat

$$\Delta n = q\tau_n, \quad \Delta p = q\tau_p \tag{2.16}$$

dan pertambahan konduktivitas total adalah

$$\Delta\sigma = eq(\mu_n\tau_n + \mu_p\tau_p) \qquad (\text{ohm-cm})^{-1} \tag{2.17}$$

Untuk semikonduktor foto yang baik, $(\mu_n\tau_n + \mu_p\tau_p)$ haruslah besar.

Secara umum, baik elektron maupun lubang mempunyai andil pada arus. Meskipun mungkin $\mu_n\tau_n$ dan $\mu_p\tau_p$ mempunyai nilai yang berbeda dikarenakan perbedaan mobilitas maupun waktu hidup. Pemberi andil yang dominan pada pertambahan konduktivitas adalah yang mempunyai nilai $\mu\tau$ lebih besar. Hal tersebut biasa terjadi pada semikonduktor foto, kadang-kadang elektron memberikan andil yang besar, sementara untuk semikonduktor foto yang lain lubang memberikan andil yang lebih besar.

Karena begitu besarnya jumlah elektron pada pita valensi dan kekosongan pada pita konduksi, maka penyerapan cahaya akan sangat kuat untuk $h\nu > \varepsilon_0$. Dalam kristal sempurna, tidak ada cahaya yang diserap untuk $h\nu < \varepsilon_0$. Dengan adanya ketakmurnian atau ketidaksempurnaan kisi, yang mungkin timbul dari tingkat donor maupun akseptor, penyerapan cahaya dapat terjadi untuk $h\nu < \varepsilon_0$ meskipun kecil. Cahaya akan mengeksitasi elektron dari donor pada pita valensi ke pita

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

konduksi, sehingga terbentuk elektron bebas, atau elektron dari pita valensi ke kekosongan akseptor pada pita konduksi, sehingga terbentuk lubang.

Dengan adanya perubahan konduktivitas dapat kita hitung arus fotonya (I). Misal hanya satu macam pembawa yang mempunyai andil pada arus dan kuat medan listrik $\vec{E} = \vec{V}/L$, dengan $\vec{V}$ adalah tegangan yang diberikan pada semikonduktor dan L adalah panjang semikonduktor, μ adalah mobilitas dan τ adalah waktu hidupnya, q adalah jumlah pasangan elektron-lubang yang dihasilkan per meter kubik per detik dan $Q = qLA$ adalah jumlah muatan total yang dihasilkan per detik. Dari persamaan 2.4 dan 2.5 dapat dituliskan $\vec{v} = \mu\vec{E}$ dengan $\vec{v}$ adalah kecepatan hanyut dari pembawa sehubungan dengan medan listrik $\vec{E}$. Dan dapat ditentukan waktu hanyut rata-rata dari satu elektroda ke elektroda lainnya.

$$\tau_d = L/u_d = L/\mu E = L^2/\mu V \quad \text{dtk} \qquad (2.18)$$

Dari persamaan (2.17) maka besar arus foto I dapat dituliskan

$$I = \Delta\sigma EA = e\mu q\tau EA = eQ\tau\mu E/L = eQG \quad \text{A} \qquad (2.19)$$

Jika seluruh pembawa muatan yang dibangkitkan oleh cahaya dikumpulkan, maka untuk tiap muatan dapat dituliskan $I = eQ$. Dan besaran G

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

$$G = \tau\mu V/L^2 = \tau/\tau_d \qquad (2.20)$$

disebut faktor penguat dalam proses fotokonduksi. (van der Ziel,1958)

Menurut Ryder (1958), selain penguatan arus, fotokonduksi juga menyebabkan penguatan tegangan. Penguatan tegangan tersebut (ΔV) ditimbulkan oleh penyinaran dengan frekuensi cahaya ν dan energi foton sebesar $h\nu$. Karena pada semikonduktor terdapat celah energi sebesar ϕ, maka energi foton tersebut harus lebih besar dari celah energi semikonduktor. Sehingga energi foton yang dipasok adalah

$$h\nu = \phi + e\Delta V \qquad eV \qquad (2.21)$$

dengan $e\Delta V$ adalah energi maksimal dari elektron yang diperoleh dari foton. Dengan demikian besarnya penguatan tegangan dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\Delta V = \frac{h\nu}{e} - \frac{\phi}{e} \qquad V \qquad (2.22)$$

2.5. Hubungan p-n.

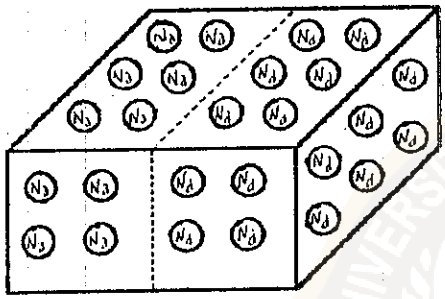
Hubungan p-n merupakan dasar dari elektronika semikonduktor. Hubungan p-n tidak bisa dibentuk dengan hanya menghubungkan semikonduktor tipe-p dan tipe-n saja. Akan didapat hubungan p-n bila diubah sebagian dari substrat kristal menjadi tipe-n dengan menambah

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

donor dan bagian lain menjadi tipe-p dengan menambah akseptor. Dengan kata lain hubungan p-n harus mempunyai struktur kristal yang kontinyu. Gambar 2.5 menunjukkan sketsa kasar dari struktur ini. Gambar 2.6 menunjukkan proses yang disederhanakan dalam bentuk bidang. Dalam gambar ini (-) dan (+) menunjukkan masing-masing akseptor dan donor yang diionisasikan dan (•) dan (o) menunjukkan elektron dan lubang. Gambar (a) menunjukkan hubungan tepat sesudah terbentuk: akseptor membentuk semikonduktor tipe-p dan donor membentuk semikonduktor tipe-n yang disertai dengan jumlah elektron dan lubang yang sama, dan kedua daerah tersebut sifat listriknya netral. Lubang dan elektron itu merupakan pembawa bebas dan dapat berdifusi ke daerah yang mempunyai konsentrasi rendah dan berekombinasi satu sama lain. Misalnya karena lubang dalam tipe- p lebih tinggi konsentrasinya daripada lubang pada tipe-n, mereka berdifusi dari tipe-p ke tipe-n. Proses yang sama terjadi pada elektron. Tetapi proses ini tidak terjadi terus menerus. Misalnya pada lubang, bila lubang itu meninggalkan daerah tipe-p dan menghilang ke dalam tipe-n karena berekombinasi, sebuah akseptor akan diionisasikan menjadi negatif dalam daerah tipe-p tersebut, yang membentuk muatan ruang negatif. Hal yang sama terjadi pada elektron yang meninggalkan muatan ruang positif pada daerah tipe-n. Hal itu membangkitkan medan listrik yang mulai dari ruang yang bermuatan positif, berakhir pada ruang yang bermuatan negatif. Medan listrik ini menghambat lubang untuk berdifusi dari daerah tipe-p ke daerah tipe-n, juga demikian elektron terhambat untuk berdifusi dari tipe-n ke tipe-p.

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

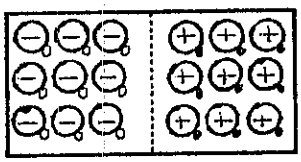
Seperti diperlihatkan pada gambar (b), medan listrik bertambah kuat bila lebih banyak pembawa berdifusi dan berekombinasi. Akhirnya aliran pembawa berhenti setelah terdapat kesetimbangan antara difusi dan hanyutan pembawa-pembawa. Keadaan itu disebut keadaan setimbang. Dalam keadaan setimbang ini di dalam hubungan p-n terbentuk daerah:



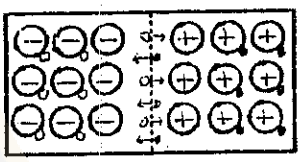
Na = takmurnian akseptor

Nd = takmurnian donor

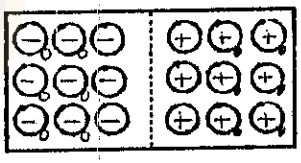
Gambar 2.6. Hubungan p-n dan pembagian takmurnian (Iida,1982)



a. Langsung sesudah pembentukan



b. Pembawa berdifusi da berekombinasi



c. Seimbang

Gambar 2.7. Proses pembentukan hubungan p-n. (-) menyatakan ion akseptor o sebuah lubang. (+) ion donor dan • elektron. (Iida,1982)

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

1. daerah tipe -p netral; daerah yang menunjukkan jumlah lubang sama dengan jumlah akseptor.
2. daerah muatan ruang tipe-p; menunjukkan akseptor diionisasikan negatif.
3. daerah muatan ruang tipe-n; menunjukkan donor diionisasikan positif.
4. daerah tipe-n netral; menunjukkan jumlah donor sama dengan jumlah elektron.

Daerah (2) dan (3) bersama-sama disebut daerah muatan ruang atau lapisan pengosongan (deplesi). Dalam daerah ini terdapat medan listrik walaupun pada hubungan p-n tidak diberi tegangan.(Iida,1982)

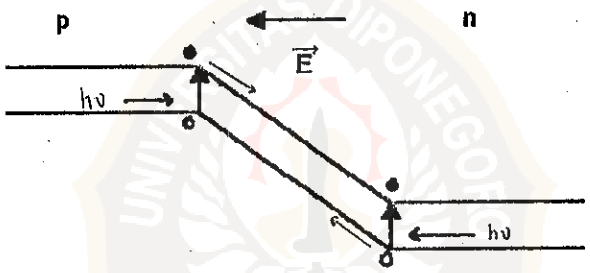
2.6. Fotodioda.

Fotokonduktivitas dalam semikonduktor dapat juga terjadi dalam struktur non homogen seperti dalam semikonduktor hubungan p-n. Bila ditinjau sebuah fotodioda, suatu hubungan p-n dengan bias balik yang daerah sambungannya disinari dengan foton berenergi $h\nu$ yang lebih besar dari celah energi pada semikonduktor. Seperti pada gambar 2.8 foton yang diabsorbsi menimbulkan pasangan elektron-lubang. Pasangan tersebut dihasilkan dalam suatu panjang difusi pada daerah pengosongan pada persambungan (daerah yang menunjukkan elektron yang dihasilkan dari penyinaran berada pada daerah-p dan lubang berada pada daerah-n) dan menambah rapat pembawa muatan minoritas. Pembawa minoritas ini kemudian didorong ke arah energi penghalang oleh medan listrik pada sambungan, sehingga meningkatkan arus balik jenuhnya. Arus balik yang

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

melalui persambungan ini akan menjadi besar dengan adanya penyinaran dibanding dengan pada keadaan gelap.

Untuk detektor yang sensitif, diinginkan agar daerah pengosongan lebar sehingga pembawa muatan yang dihasilkan lebih banyak. Salah satu caranya adalah dengan menggunakan struktur p-intrinsik-n , dengan resistivitas daerah intrinsik lebih besar daripada daerah p dan n. Dalam hal ini tegangan balik hampir seluruhnya melintasi daerah intrinsik, sehingga lebar lapisan deplesi hampir sama dengan lebar daerah intrinsik.



Gambar 2.8. Hubungan p-n bias balik sebagai fotodioda. Elektron dan lubang terbentuk pada dua sisi hubungan oleh foton dan berdifusi ke sambungan. Medan listrik menyapu pembawa minoritas menuruni energi penghalang dan menambah arus balik jenuh. (Dalven,1990)

Fotodioda menggunakan prinsip absorbsi foton oleh semikonduktor, sehingga mempunyai ambang batas absorbsi foton yang ditentukan oleh energi jurang dari semikonduktor. Fotodioda yang menggunakan sistem

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

p-i-n antara lain yang materinya berasal dari unsur golongan III-VI. (Dalven,1990)

Diatas telah dibahas bahwa arus foto berbanding lurus dengan intensitas cahaya. Dan menurut Bapat (1982), sensitivitas dari fotodioda didefinisikan sebagai perbandingan antara arus keluaran (arus foto) terhadap intensitas cahaya datang atau dapat dituliskan:

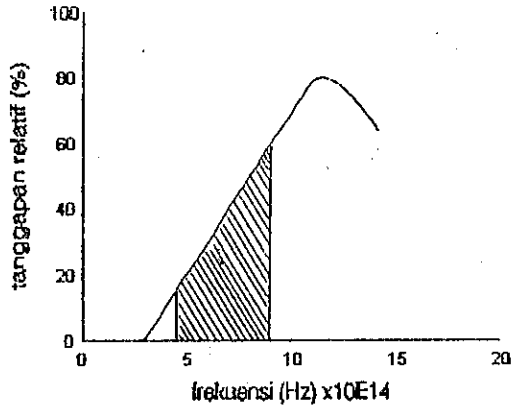
$$m_l = i/L \qquad A/lm \qquad (2.23)$$

dengan m_L adalah sensitivitas fotodioda, i adalah arus foto dan L adalah intensitas cahaya datang. Pada dasarnya arus foto akan semakin besar sebanding dengan bertambahnya intensitas cahaya datang. Karena semakin besar intensitas maka makin banyak foton yang datang dan semakin banyak pula pasangan elektron-lubang yang dihasilkan.

Fotodioda seperti halnya peralatan optik lainnya mempunyai tanggapan spektral pada jangkau tertentu. Pada frekuensi tertentu fotodioda tersebut akan sangat peka sebaliknya pada frekuensi lain tidak terlalu peka lagi.

Tanggapan spektral dari fotodioda dapat dilihat pada gambar 2.9. Pada gambar, daerah yang diarsir menunjukkan daerah frekuensi cahaya tampak. Salah satu cara untuk mengetahui tanggapan spektralnya adalah dengan mengetahui kenaikan tegangan, bila fotodioda tersebut disinari dengan cahaya pada frekuensi tertentu. (Ryder,1958)

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)



Gambar 2.9. Tanggapan spektral Fotodioda (Ryder, 1958)

2.7. Penerapan Fotodioda

Tak dapat dipungkiri bahwa dewasa ini hampir semua perangkat elektronika telah menggunakan komponen-komponen mikro. Komponen-komponen mikro itu sendiri menggunakan bahan dasar dari semikonduktor. Dan dengan kemajuan teknologi dapat diciptakan berbagai alat canggih dengan dimensi yang kecil. Hal tersebut menyebabkan teknologi tabung hampa semakin ditinggalkan, karena dinilai tidak efisien lagi. Antara fotodioda semikonduktor dengan fotodioda tabung hampa mempunyai perbedaan penting sebagai berikut:

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

	Tabung Hampa	Semikonduktor
Arus gelap (mikroampere)	0	20
Koefisien temperatur	0	I_0 berlipat dua tiap 10^0 C
Kepekaan (mikroampere/lumen)	0.04	>10
Ukuran	Besar	Kecil
Karakteristik	Stabil	Berubah menurut waktu
Tanggapan frekuensi	>100 MHz	<1 MHz
Operasi dng rangkaian pendek	Tidak	Ya
Operasi dng rangkaian terbuka	Tidak	Ya

Tabel 2.1. Perbandingan fotodioda tabung hampa dengan fotodioda semikonduktor. (Millman,1957)

Penerapan fotodioda yang paling lazim saat ini adalah pada komunikasi dengan sistem serat optis. Pada sistem komunikasi ini fotodioda sebagai detektor cahaya biasa dipasangkan dengan dioda pemancar cahaya (Light Emitting Diode, LED). Pasangan peralatan ini biasa disebut 'opto-couple' atau pasangan perangkat optis. Selain digunakan dalam komunikasi sistem serat optis, pasangan ini juga dapat digunakan dalam aplikasi medis. Biasanya pasangan ini digunakan dalam perangkat pelindung pasien dari dampak berbahaya yang dapat ditimbulkan oleh perangkat elektronik. Karena meskipun biasanya tegangan yang digunakan rendah, tetapi seringkali bagian dari rangkaian tersebut dihubungkan langsung dengan tubuh pasien, sehingga dapat saja berakibat fatal bila terjadi kesalahan. Pasangan tersebut akan mendeteksi dan mematikan peralatan bila terjadi kesalahan.

Selain kegunaan diatas, fotodioda juga seringkali diterapkan dalam hal sebagai berikut:

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

* Pembacaan kartu komputer dan pita berlubang.
* Sistem deteksi cahaya.
* Pembacaan jejak suara (soundtrack) dari film.
* Saklar dengan pengaktifan cahaya.
* Pencacahan barang dalam garis produksi yang menyelingi cahaya.

(Millman,1992)

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)