

PENYEARAH DIODA SEMIKONDUKTOR



BIBLIOTEK PERPUSTAKAAN IKIP PADANG	
TERIMA TEL	19-6-95
SUMBER/HARGA	hd
KOLEKSI	KK1
Oleh INVENTARIS	958/Pd/95. p.1.1
Drs. Usme IKASI	621.385 usm..pD

Dosen PT. Elektro FPTK IKIP Padang

Disampaikan pada:
Penyuluhan Ketrampilan Elektronika :
Bagi Siswa Kelas I SMA YAPI Padang
Tanggal : 23 Maret 1992
di Padang

Diterbitkan Oleh UPT MRC FPTK IKIP Padang

1992

PENYEARAH DIODA SEMIKONDUKTOR

Oleh: Drs. Usmeldi

I. PENDAHULUAN

Sesuai dengan perkembangan dan kemajuan teknologi elektronika, para ahli telah menemukan suatu alat penyearah arus listrik yaitu dioda semikonduktor. Penggunaan dioda semikonduktor ini lebih praktis jika dibandingkan dengan alat penyearah tabung vacum doide.

Sebagai bahan pokok dari dioda semikonduktor ini adalah bahan semikonduktor seperti germanium (Ge) atau silikon (Si). Meskipun banyak bahan semikonduktor lainnya yang telah ditemukan, namun bahan tersebut kurang praktis digunakan pada alat-alat elektronika. Semikonduktor adalah suatu bahan yang lebih sukar melewatkan arus listrik jika dibandingkan dengan bahan konduktor, tetapi lebih mudah jika dibandingkan dengan bahan isolator.

Selanjutnya kita akan membahas secara terperinci struktur kristal semikonduktor murni dan semikonduktor campuran, prinsip kerja dioda semikonduktor, dan beberapa rangkaian penyearah arus listrik yang menggunakan dioda semikonduktor.

II. SEMIKONDUKTOR

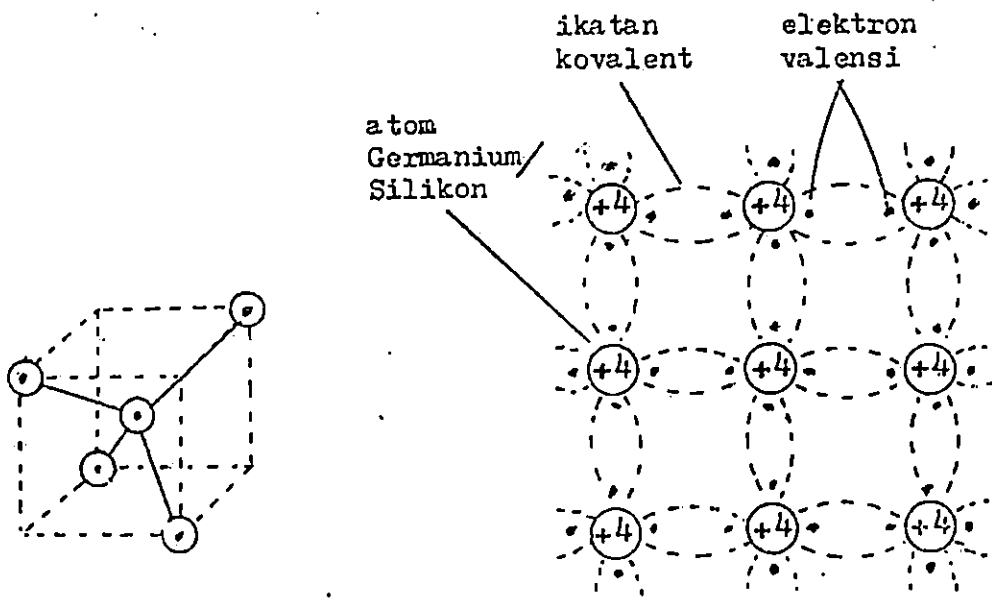
A. Struktur Kristal Semikonduktor Murni

Semikonduktor adalah suatu bahan yang tahanan jenisnya mempunyai harga diantara konduktor dan isolator, yaitu antara 10^{-2} ohm cm sampai 10^{-6} ohm cm. Dalam sistem berkala unsur-unsur kimia pada golongan IV kebanyakan bersifat semikonduktor, diantaranya yang terpenting adalah silikon dan germanium. Bahan semikonduktor ini mempunyai 4 elektron valensi. Atom-atom tersusun sebagai tetrahedral (susunan

kristal intan) oleh adanya ikatan valensi yang memungkinkan untuk berikatan dengan elektron dari atom lainnya.

Bila bahan semikonduktor ini dimampatkan maka terjadilah pembentukan struktur kristal yang di dalamnya terdapat atom-atom yang berjarak sama, dimana setiap cm^3 kristalnya mengandung $4,52 \cdot 10^{23}$ atom (Polling, 1951). Bahan ini dinamakan semikonduktor intrinsik (murni), jika keadaannya ditinjau secara kimia adalah murni dan padanya tidak terdapat kerusakan susunan kristalnya.

Susunan kristal tetrahedral agak sukar dibayangkan, namun kalau kita perhatikan tiap-tiap atomnya terikat oleh 4 ikatan kovalen dengan 4 atom yang terdekat. Oleh sebab itu untuk mendapatkan gambaran yang jelas tentang ikatan kovalen serta mekanisme hantaran listrik yang terjadi dalam bahan semikonduktor, biasanya dipergunakan gambar dua dimensi dari susunan kristalnya, seperti pada gb 1.



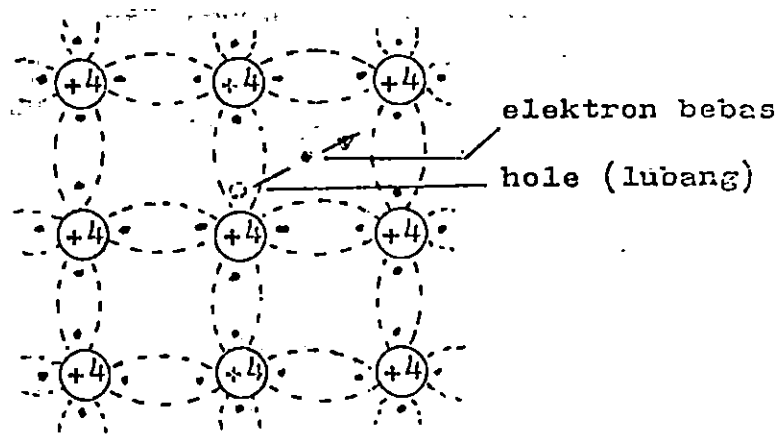
Gambar 1. Susunan kristal semikonduktor
 a. Susunan kristal tetrahedral
 b. Gambar dua dimensi pada suhu 0°C

Lingkaran dengan tanda +4 di dalamnya melukiskan ion-ion silikon atau germanium, yaitu inti-inti atom beserta elektron-elektronnya, kecuali 4 elektron valensinya (elektron yang berada pada orbit terluar). Ikatan kovalen dilukiskan dengan dua garis lengkung putus-putus dengan dua elektron valensi di dalamnya. Elektron-elektron di dalam ikatan kovalen ini dapat dilepaskan dari ikatannya dengan memberikan sejumlah energi tertentu.

B. Terjadinya Elektron Bebas Akibat Pengaruh Panas

Pada kristal semikonduktor murni setiap elektron merupakan bagian dari ikatan kovalen, sehingga tidak mempunyai sifat-sifat penghantar listrik, karena tidak mempunyai pembawa muatan listrik (elektron bebas). Kristal-kristal itu akan mempunyai daya hantar, apabila beberapa dari elektron itu terlepas dari ikatan kovalennya. Pelepasan elektron tersebut memerlukan energi, untuk germanium energi yang diperlukan sebesar 0,75 elektron volt dan untuk silikon sebesar 1,12 elektron volt (Deward, 1966).

Pada suhu tertentu misalnya suhu ruangan (300°K) akan terjadi gerakan simpang siur dari elektron pada jaringan kristal yang disebabkan oleh energi panas, akibatnya ada elektron terlepas dari ikatan kovalen dan menjadi elektron bebas. Elektron bebas ini tidak akan tertarik atau tertolak oleh elektron dan inti dari kristal. Jika diberikan suatu medan listrik dari luar, terhadap gerakan elektron bebas itu akan terbentuk suatu gerakan tetap ke arah elektroda positif dan mengakibatkan arus listrik dibawa oleh elektron, dan elektron tersebut dinamakan pembawa arus. Pada gb 2 dapat dilihat terbentuknya elektron bebas akibat energi panas, untuk kristal silikon atau germanium.



Gambar 2. Elektron bebas akibat pengaruh panas di dalam kristal silikon atau germanium

Tempat kosong yang ditinggalkan oleh elektron di dalam susunan kristal, akibat elektron melepaskan diri dari ikatan kovalennya disebut hole atau lubang (Yohannes,1975). Karena elektron-elektron di dalam kristal selalu berusaha menyusun diri kembali di dalam pasangan kovalen, maka elektron tunggal yang tetap pada atomnya berusaha untuk berpasangan kembali dengan elektron baru. Hal ini dilakukan dengan cara menarik elektron lain dari pasangan terdekat bila pengaruh panas dari jaringan kristal berulang-ulang mengeluarkan elektron untuk suatu usaha pemindahan. Jadi ruangan yang ditinggalkan elektron seolah-olah mempunyai daya tarik terhadap elektron yang muatannya negatif, maka ruang yang disebut hole dianggap mempunyai muatan positif. Jadi hole adalah hasil muatan positif karena pemindahan elektron dari ikatan kovalen, dan peranannya sama dengan peranan elektron dimana muatan negatifnya diganti dengan positif.

C. Pembentukan Semikonduktor Impuriti

Pada semikonduktor intrinsik, jumlah elektron bebas sama dengan jumlah hole dan jumlahnya sangat sedikit sehingga tahanan jenisnya sangat besar. Supaya bahan semikonduktor ini dapat dipergunakan untuk penghantar atau untuk penyusunan bahan dasar piranti elektronis, diperlukan baha yang kaya dengan satu jenis pembawa muatan yaitu elektron atau hole.

Dengan memasukkan atom-atom asing yang bervalensi 3 atau 5 dengan prosentase yang sangat kecil kepada semikonduktor murni, dapat dihasilkan semikonduktor ekstrinsik (tidak murni). Jadi yang penting dalam pembuatan semikonduktor impuriti (campuran) adalah unsur tambahan yang dapat mengatur sendiri susunan kristal semikonduktor.

Penambahan atom asing kepada bahan semikonduktor murni dinamakan doping. Prosentase atau tingkat doping ini biasanya sekitar 1 atom asing per 100 juta atom asli (Yohannes,1975). Suatu contoh misalnya dengan doping 1:100 juta atom asing ke dalam kristal germanium, tahanan jenis germanium ini akan berkurang menjadi 1/12 kali.

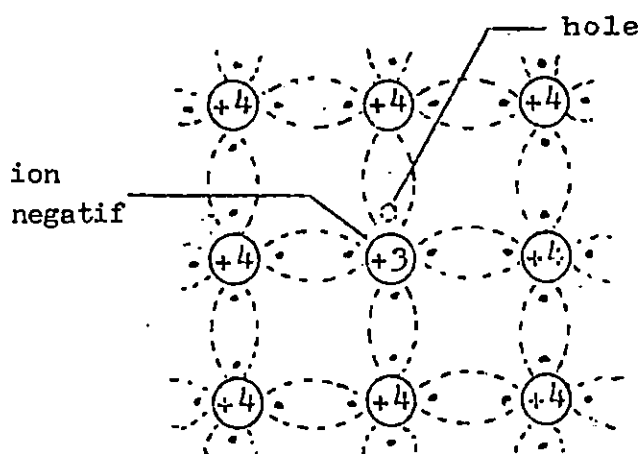
Jenis atom pencampur yang bervalensi 3 adalah Aluminium (Al), Gallium (Ga), Indium (In) dan Boron (B) (Polling,1951). Dalam pencampuran atom ini kekurangan satu elektron dan berusaha untuk menarik elektron yang terdekat padanya untuk melengkapi kekurangannya. Oleh karena campuran ini menerima satu elektron dari bahan germanium atau silikon maka dinyatakan sebagai pencampur penerima atau akseptor impuriti.

Jenis atom pencampur yang bervalensi 5 adalah Arsenit (As), Antimon (Sb), Pospor (P) dan Bismuth (Bi) (Polling,1951). Dalam pencampuran atom ini kelebihan satu elektron, elektron ini mudah sekali melepaskan diri dari ikatan atomnya dan menjadi bebas. Sehingga meningkatkan sifat penghantar dari

bahan germanium atau silikon. Atom pencampur ini disebut donor impuriti, karena menyumbangkan satu elektronnya kepada germanium atau silikon.

1. Semikonduktor Type P

Bila suatu atom pencampur bervalensi 3 ditambahkan kepada semikonduktor murni dengan prosentase doping seperti di atas, berarti jumlah atom asingnya jauh lebih kecil dari pada atom aslinya dalam kristal. Karena itu masing-masing atom asing jauh terpisah satu sama lainnya, sehingga masing-masing atom asing itu dikelilingi oleh 4 atom asli, seperti pada gb 3.



Gambar 3. Gambar dua dimensi semikonduktor type P

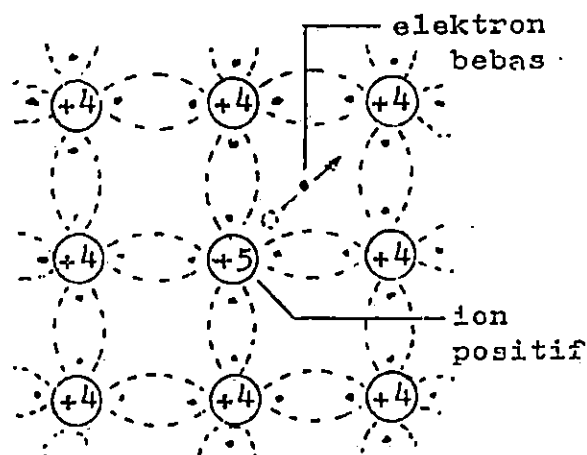
Pada gb 3 dapat dilihat bahwa atom pencampur dikelilingi oleh 4 atom asli. Untuk membentuk ikatan kovalen, atom yang bervalensi 3 ini kekurangan satu elektron. Karena itu dengan menambah energi sedikit saja pada elektron kristal asli, elektron ini dapat meloncat dari ikatan kovalennya dan mengisi kekurangan pada atom akseptor disertai dengan pembentukan hole pada ikatan kovalen yang ditinggalkan. Karena menerima satu elektron, maka atom akseptor menjadi ion negatif yang terikat di tempat.

Energi untuk membentuk hole dan ion negatif adalah energi ionisasi atom akseptor yang besarnya sekitar 0,01 elektron volt untuk germanium dan untuk silikon sebesar 0,05 elektron volt (Kagnov,1970).

Jadi dengan atom akseptor dihasilkan hole tanpa disertai elektron bebas, sehingga semikonduktor campuran yang terjadi dinamakan semikonduktor jenis P. Untuk semikonduktor type P ini, terbentuknya hole disertai dengan terbentuknya ion negatif yang tidak dapat bergerak. Jadi hole merupakan pembawa muatan mayoritas dan elektron merupakan pembawa muatan minoritas.

2. Semikonduktor Type N

Bila suatu atom pencampur bervalensi 5 ditambahkan kepada semikonduktor murni dengan prosentase doping seperti di atas, berarti jumlah atom asingnya jauh lebih kecil dari pada atom aslinya dalam kristal. Karena itu masing-masing atom asing jauh terpisah satu sama lainnya, sehingga masing-masing atom asing itu dikelilingi oleh 4 atom asli, seperti pada gb 4.



Gambar 4. Gambar dua dimensi semikonduktor type N

Pada gb 4 dapat dilihat bahwa atom pencampur dikelilingi oleh 4 atom asli. Dari lima elektron valensinya hanya 4 saja yang diperlukan untuk mengisi keempat ikatan kovalen. Sedangkan elektron kelima terikatnya kurang erat pada atomnya, dengan memberikan energi yang kecil saja kepada atom pencampur tersebut, maka elektron ini dapat dibebaskan. Karena terjadi elektron bebas, maka semikonduktor yang dihasilkan dengan menambah atom donor ini dinamakan semikonduktor jenis N. Dengan membebaskan satu elektron valensinya maka atom donor menjadi ion positif yang terikat di tempat. Pada semikonduktor type N, terbentuknya elektron bebas tidak disertai dengan terbentuknya hole, tetapi terbentuk ion positif yang tidak dapat bergerak.

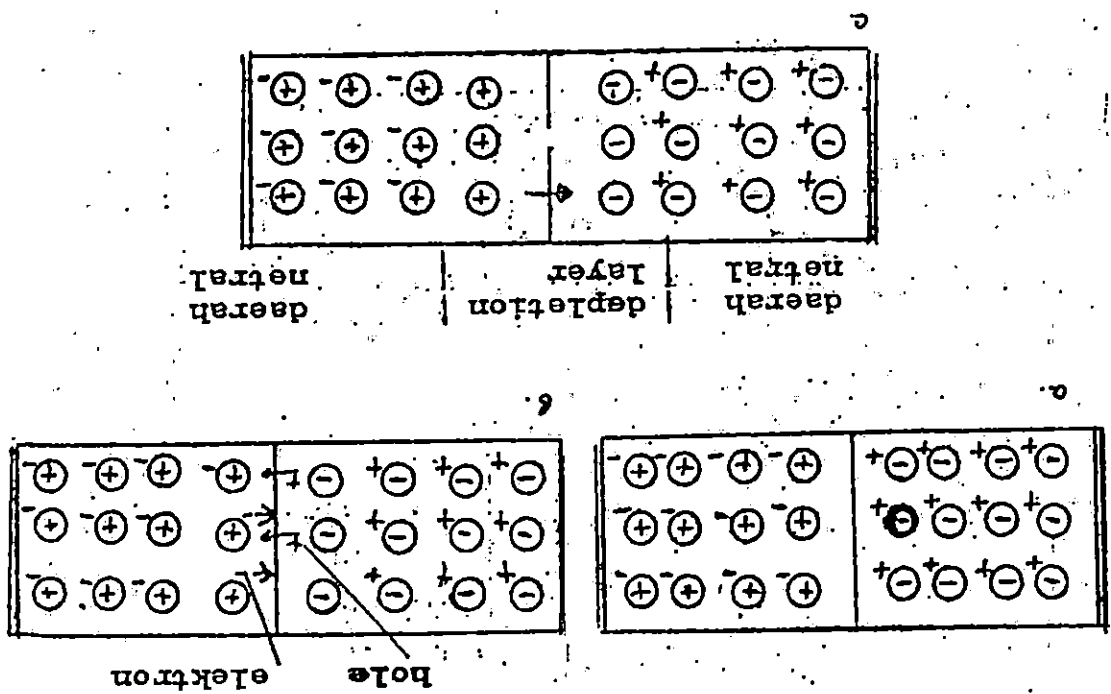
Energi untuk membebaskan elektron valensi atom donor dinamakan energi ionisasi atom donor yang besarnya sekitar 0,01 elektron volt untuk germanium dan untuk silikon sebesar 0,05 elektron volt. Jadi dengan energi yang sangat kecil ini semua donor telah membebaskan kelebihan elektronnya. Disamping elektron bebas yang berasal dari atom donor ada juga yang berasal dari atom asli. Jadi elektron bebas merupakan pembawa muatan mayoritas dan hole merupakan pembawa muatan minoritas.

III. DIODA SEMIKONDUKTOR

Gandengan dari bahan semikonduktor type P dan semikonduktor type N akan membentuk suatu komponen yang disebut dioda. Adapun proses penggandengan tidak terjadi begitu saja tanpa ada efek. Setelah terjadi penggandengan maka elektron-elektron bebas dari semikonduktor type N akan berdifusi ke semikonduktor

Proses perpindahan elektron ini hanya berlangsung dalam waktu singkat, ion-ion negatif tetap tinggal di tempat dan membentuk lapisan pada daerah semikonduktor tipe P, demikian juga ion positif tetap tinggal di tempat dan membentuk lapisan pada daerah semikonduktor tipe N. Kedua lapisan tersebut dikenal dengan lapisan depletion (depletion layer). Lapisan depletion ini

- Gambar 5. Proses difusi elektron dan hole pada PN junction
- Semikonduktor tipe P dan tipe N baru saja digandengkan
 - Elektron dan hole berdifusi
 - PN junction dalam keadaan seimbang



type P mengisi hole yang terdekat. Sedangkan hole di semikonduktor tipe P berdifusi ke semikonduktor tipe N dan diisi oleh elektron-elektron bebas yang terdekat. Proses difusi elektron bebas dan hole ini dapat dilihat pada gambar 5.

berfungsi sebagai rintangan (barrier) terhadap elektron bebas dan hole yang akan berdifusi (Terman, 1955).

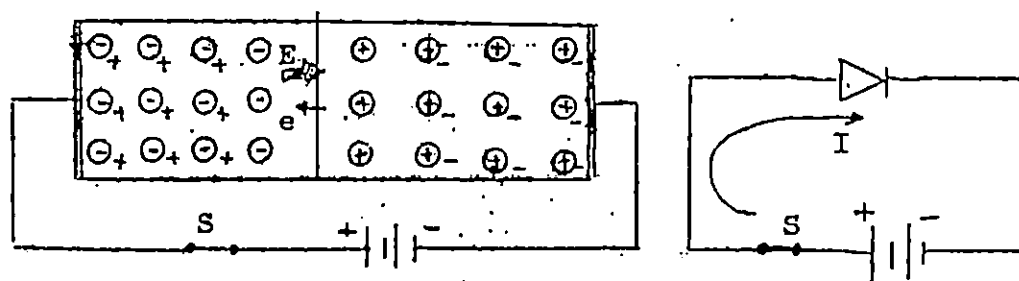
Lapisan positif pada daerah N dan lapisan negatif pada daerah P. Dua lapisan muatan tersebut akan membangkitkan medan listrik yang mempunyai arah dari semikonduktor type P ke semikonduktor type N, akibatnya difusi elektron bebas ke daerah P dan difusi elektron ke daerah N akan berhenti, setelah ada keseimbangan. Keadaan ini disebut keadaan seimbang. Dalam keadaan seimbang pada PN junction (gandengan PN) terbentuk daerah type P netral, daerah muatan ruang type P, daerah muatan ruang type N dan daerah type N netral.

Daerah type P netral artinya adalah daerah dimana jumlah hole sama dengan jumlah penerima (akseptor). Daerah muatan ruang type P adalah daerah dimana penerima diionisasikan negatif. Daerah muatan ruang type N adalah daerah dimana pemberi (donor) diionisasikan positif. Daerah type N netral adalah daerah dimana jumlah elektron sama dengan jumlah donor.

A. Forward Bias

Junction dioda pada hakekatnya adalah gandengan dari bahan semikonduktor type P dan type N. Karakteristik pokok yang dimiliki oleh dioda semikonduktor adalah sifatnya tidak simetri, maksudnya arus yang melewati dioda pada arah tertentu jauh lebih besar dari pada arus yang arahnya berlawanan. Oleh karena itu dalam pemakaian dioda sering digunakan sebagai perata arus. Dioda dikatakan dalam keadaan forward bias (mendapat tegangan arah maju) bila daerah P dihubungkan dengan kutub positif sumber tegangan searah (baterai) dan daerah N dihubungkan dengan kutub negatif baterai,

seperti pada gambar 6 (Pederson,1966).

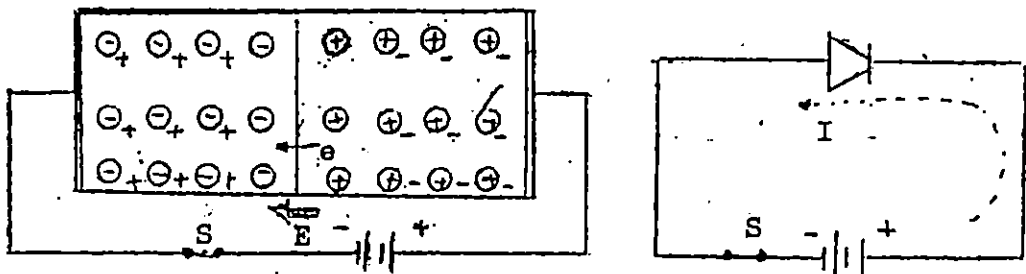


Gambar 6. Dioda mendapat tegangan arah maju

Bila saklar S masih dalam keadaan terbuka maka di dalam kristalnya hanya ada medan listrik e yang berasal dari tegangan barrier dengan arah dari P ke N. Medan listrik ini akan mencegah elektron bebas dari daerah N masuk ke daerah P dan mencegah hole dari daerah P masuk ke daerah N, sehingga pada rangkaian ini belum ada arus yang mengalir. Bila saklar ditutup, tegangan sumber akan terhubung dengan dioda. Di dalam kristal akan terjadi medan listrik E yang arahnya berlawanan dengan medan listrik e . Medan listrik E ini akan mendorong elektron dan hole, maka akan terjadi aliran elektron dan hole. Hal ini disebabkan karena medan listrik E jauh lebih besar dari pada medan listrik e . Dengan demikian arus akan mengalir dalam rangkaian dioda ini dari kutub positif baterai ke kutub negatifnya.

B. Reverse Bias

Dioda dikatakan mendapat tegangan arah balik (reverse bias) bila daerah P (anoda) dihubungkan dengan kutub negatif baterai dan daerah N (katoda) dihubungkan dengan kutub positif baterai, seperti terlihat pada gambar 7 (Pederson,1966).



Gambar 7. Dioda mendapat tegangan arah balik

Medan listrik E yang ditimbulkan akan searah dengan medan listrik e sehingga akan saling memperkuat. Akibatnya elektron dari daerah N tidak dapat bergerak menuju ke daerah P begitu pula hole-nya. Hal ini berarti bahwa dioda tersebut tidak mengalirkan arus. Dalam prakteknya, pada rangkaian reverse bias masih ada arus yang mengalir tetapi sangat kecil, hal ini dapat dijelaskan sebagai berikut:

Di dalam struktur kristal dioda hanya elektron-elektron bebas untuk type N yang berasal dari pemberian atom donor, tetapi sebenarnya daya hantar ini ditentukan oleh dua faktor, yaitu:

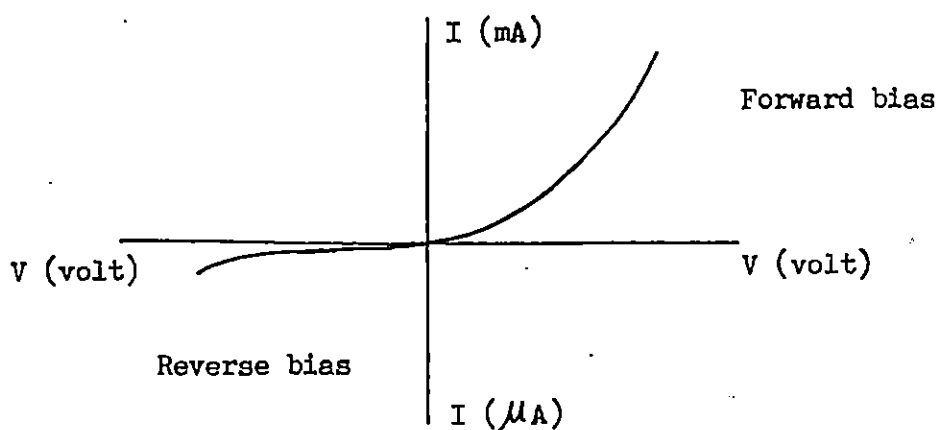
1. Elektron-elektron bebas yang dihasilkan oleh atom donor ini peranannya sangat penting untuk menghantarkan arus.
2. Elektron bebas dan hole yang dihasilkan oleh pecahnya ikatan kovalen akibat panas yang diberikan oleh temperatur ruangan. Elektron dan hole ini jumlahnya sedikit bila dibandingkan dengan elektron-elektron dari atom donor.

Keadaan ini juga berlaku pada bahan type P. Dengan demikian pada saat reverse bias elektron-elektron yang ada pada daerah P oleh medan E ditarik masuk ke daerah N dan sebaliknya hole yang ada di daerah N akan bergerak masuk ke daerah P. Dengan demikian jelaslah mengapa pada saat reverse bias masih ada

arus yang sangat kecil yang mengalir dan arus ini akan naik bila temperatur dioda naik.

C. Karakteristik Dioda

Karakteristik dioda biasanya dibedakan atas dua karakteristik yaitu karakteristik forwrd dan karakteristik reverse. Untuk membuat karakteristik dioda yang menunjukkan besarnya arus pada bermacam-macam tegangan yang diberikan adalah seperti pada gambar 8.



Gambar 8. Karakteristik dioda

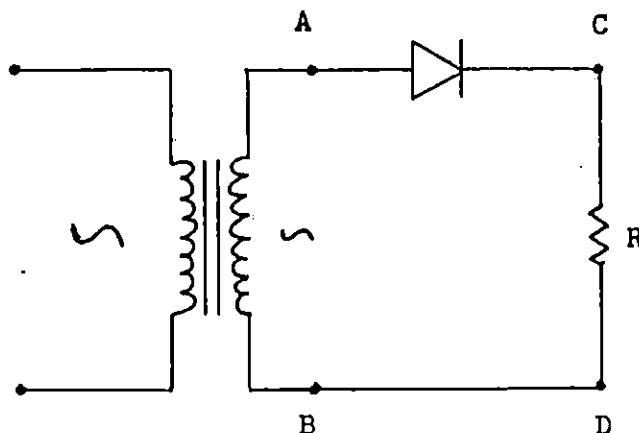
Untuk membuat karakteristik dioda perlu kita lakukan dua kali percobaan, yaitu bagian forward dan bagian reverse. Karakteristik forward dapat dilakukan dengan mengatur tegangan yang masuk pada dioda. Dari tiap-tiap pemberian tegangan, kita ukur arus yang mengalir. Untuk mendapatkan bagian reversenya kita harus memberikan tegangan dengan polaritas yang terbalik, dan diperlukan tegangan yang lebih besar dari tegangan pada forward bias. Arus yang mengalir pada setiap pemberian tegangan diukur dengan mikroamperemeter karena arus ini sangat kecil. Selanjutnya kedua hasil percobaan ini disatukan dalam satu grafik, sehingga diperoleh kurva karakteristik dioda tersebut.

IV. RANGKAIAN PENYEARAH ARUS

Sebagaimana yang telah kita uraikan di atas, bahwa dioda mempunyai sifat hanya dapat melewatkan arus bila mendapat tegangan arah maju, dan bersifat menahan bila mendapat tegangan arah balik. Sehubungan dengan sifatnya ini, maka dioda dapat digunakan untuk perata arus atau untuk menyearahkan arus bolak balik (AC) menjadi arus searah (DC). Kita mengetahui bahwa arus bolak balik merupakan suatu gelombang sinusoidal, yang mana dalam setiap setengah periode, selalu berganti arah (arah positif dan arah negatif). Selanjutnya kita akan membahas beberapa rangkaian penyearah arus AC menjadi DC, yang lebih dikenal dengan power supply atau adaptor.

A. Penyearah Setengah Gelombang

Dioda dapat digunakan untuk penyearah arus bolak balik (AC). Pada saat mendapat tegangan arah maju, dioda bersifat menghantar dan pada saat mendapat tegangan arah balik dioda bersifat tidak menghantar atau menahan.



Gambar 9. Rangkaian penyearah setengah gelombang

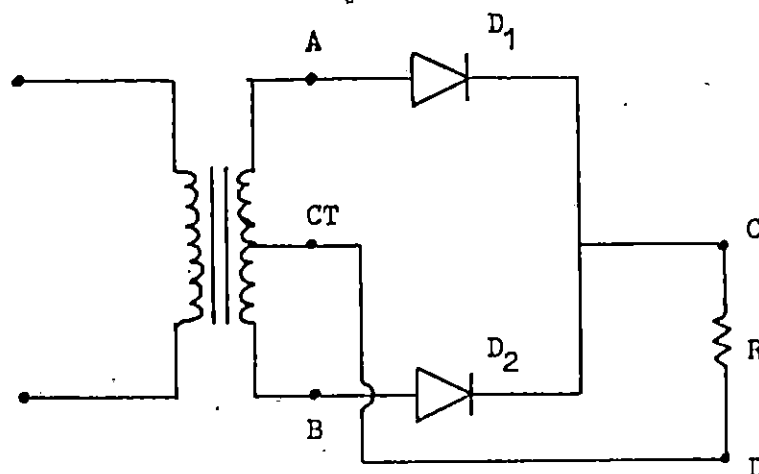
Gambar 9 adalah penyearah setengah gelombang. Tegangan output dari trafo berupa tegangan AC, dimana setiap setengah periode, berganti arah positif dan negatif. Pada saat setengah periode pertama, titik A positif dan B negatif, berarti dioda mendapat tegangan arah maju. Arus melalui tahanan R dari titik C ke D. Pada saat setengah periode kedua, titik A negatif dan B positif, berarti dioda mendapat tegangan arah balik, dioda bersifat menahan, arus tidak ada. Demikianlah seterusnya kerja dioda setiap setengah periode, sehingga pada rangkaian tersebut arus yang melalui R hanya ada pada saat dioda mendapat tegangan arah maju. Arus melalui R setiap setengah periode dengan arah dari titik C ke D.

Tegangan dan arus DC yang dihasilkan dapat dihitung dengan rumus;

$$V_{DC} = \frac{V_m}{\pi} \quad V_m = \frac{1}{2} V_{pp}$$

$$I_{DC} = \frac{I_m}{\pi}$$

B. Rangkaian Penyearah Gelombang Penuh



Gambar 10. Rangkaian penyearah gelombang penuh

Gambar 10 adalah penyearah gelombang penuh. Tegangan output dari trafo berupa tegangan AC, dimana setiap setengah periode, berganti arah positif dan negatif. Pada saat setengah periode pertama, titik A positif dan B negatif, berarti dioda D_1 mendapat tegangan arah maju.

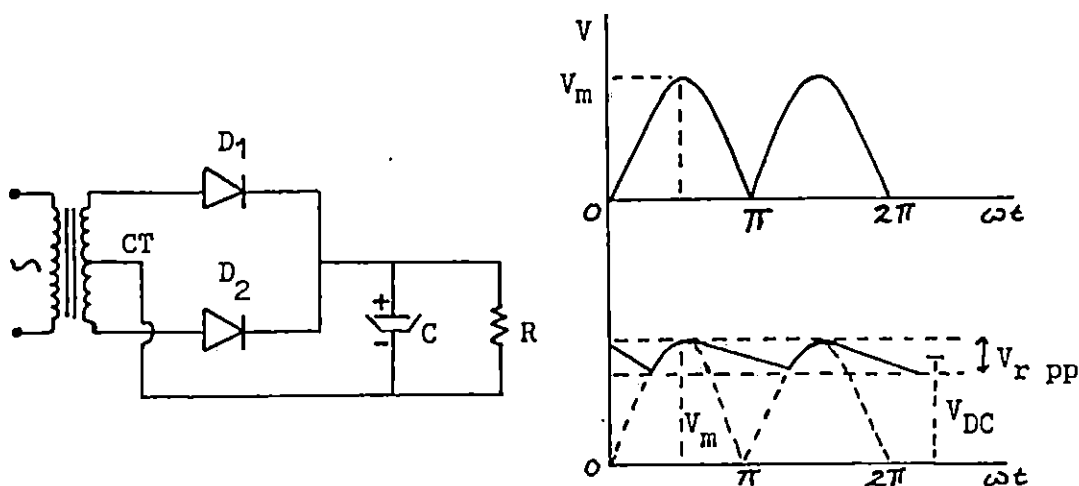
Arus melalui tahanan R dari titik C ke D. Dioda D_2 mendapat tegangan arah balik, dioda ini tidak melewatkan arus (menahan). Pada saat setengah periode kedua, titik A negatif dan B positif, berarti dioda D_1 mendapat tegangan arah balik, dioda bersifat menahan. Dioda D_2 mendapat tegangan arah maju, arus mengalir dengan arah dari titik C ke D. Demikianlah seterusnya kerja dioda setiap setengah periode, sehingga pada rangkaian tersebut selalu ada arus melalui R dengan arah dari titik C ke D.

Tegangan dan arus DC yang dihasilkan dapat dihitung dengan rumus;

$$V_{DC} = \frac{2 V_m}{\pi} \qquad V_m = \frac{1}{2} V_{pp}$$

$$I_{DC} = \frac{2 I_m}{\pi}$$

C. Penyearah Gelombang Penuh Dengan Kapasitor Penyaring



Gambar 11. Rangkaian penyearah gelombang penuh dengan kapasitor penyaring

Kerja dioda sebagai penyaring atau perata arus searah dapat diamati pada rangkaian gb 1. D_1 dan D_2 adalah dioda sebagai penyearah arus bolak balik. Kapasitor C pada rangkaian tersebut akan meratakan arus output yang dihasilkan, karena kapasitor dapat menyimpan dan memberikan arus. Pada saat tegangan searah naik mencapai maksimum, maka kapasitor mengisi (menyimpan arus) dan kemudian tegangan searah turun maka kapasitor akan memberikan arus (mengosongkan) secara lambat sampai tegangan searah naik kembali, dan seterusnya. Demikianlah kerja kapasitor seolah-olah kapasitor mempertahankan tegangan searah pada daerah maksimum sehingga terbentuk gelombang ripple (kerut).

Besar tegangan ripple ditentukan oleh nilai kapasitor, semakin besar nilai kapasitor akan semakin kecil tegangan ripple. Pada alat penyedia daya diusahakan agar tegangan ripple sekecil mungkin sehingga tegangan rata-ratanya (V_{DC}) setara dengan tegangan DC batrai.

Faktor ripple dapat dihitung dengan rumus,

$$r = \frac{V_{r \text{ rms}}}{V_{DC}} \times 100\%$$

Tegangan efektif ripple adalah,

$$V_{r \text{ rms}} = \frac{V_{r \text{ maks}}}{3} = \frac{V_{r \text{ pp}}}{2\sqrt{3}}$$

Tegangan rata-ratanya,

$$V_{DC} = V_m - \frac{V_{r \text{ pp}}}{2} \quad \text{atau,} \quad V_{DC} = I_{DC} R$$

DAFTAR PUSTAKA

- Deward Hendrik, Lazarus David (1966); Modern Elektronik, London, Addison Wesley, Publishing Company.
- Kagnov I (1970); Electronic in Industry, Moscow, Peac Publisher.
- O.Pederson Donald, I.Studer Jack, R.Whinnery John (1966); Introduction to Electronic System Circuit and Device, New York, Mc.Graw-Hill Book Company.
- Polling C & Tjokrodonoerdjo R.Harsono (1951); Ilmu Kimia Anorganik II B, Semarang, Mahameru.
- Terman FE (1955); Electronic & Radio Engineering, Kogakusha Company Ltd.
- Yohannes HR (1975); Dasar-dasar Elektronika, Bagian Teknik Listrik, Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada.