

## Tunnel Diode

Dioda *p-n junction* yang telah dibahas sebelumnya memiliki konsentrasi ketidakmurnian 1 banding  $10^8$ . Dengan *doping* sebanyak ini, *depletion layer* yang menimbulkan *potential barrier* pada *junction*, memiliki lebar dalam ukuran mikron. *Potential barrier* menahan aliran arus *carrier* antar kedua sisi *junction*. Jika konsentrasi ketidakmurnian bahan dioda sangat tinggi, misalnya 1 banding  $10^3$  (sebanding dengan kerapatan  $10^{19} \text{ cm}^{-3}$ ), karakteristik dioda akan berubah total. Dioda semacam ini pertama kali diperkenalkan tahun 1958 oleh Esaki, yang memberikan penjelasan teoritik yang benar mengenai karakteristik volt-amper-nya.

Fenomena Tunneling. Lebar *junction barrier* berbanding terbalik terhadap akar konsentrasi ketidakmurnian, sehingga lebar *junction barrier* pada *tunnel diode* akan tereduksi hingga nilainya kurang dari  $100 \text{ \AA}$  ( $10^{-6} \text{ cm}$ ). Ketebalan ini hanya sekitar seperlimapuluh panjang gelombang cahanya tampak.

Telah diketahui bahwa satu partikel harus paling tidak harus memiliki energi sebesar *potential-energy barrier* untuk berpindah dari satu sisi dioda ke sisi lainnya. Namun, jika *barrier*-nya demikian tipis (seperti pada dioda Esaki), persamaan Schrödinger mengindikasikan adanya peluang besar bagi elektron untuk menembus *barrier*. Perilaku mekanika-kuantum ini dinamakan *tunneling* (terobosan / terowongan), sehingga dioda yang dibuat dengan ketidakmurnian-tinggi dinamakan dioda *tunnel*. Karakteristik volt-amper dioda *tunnel* dapat dilihat pada gambar berikut.

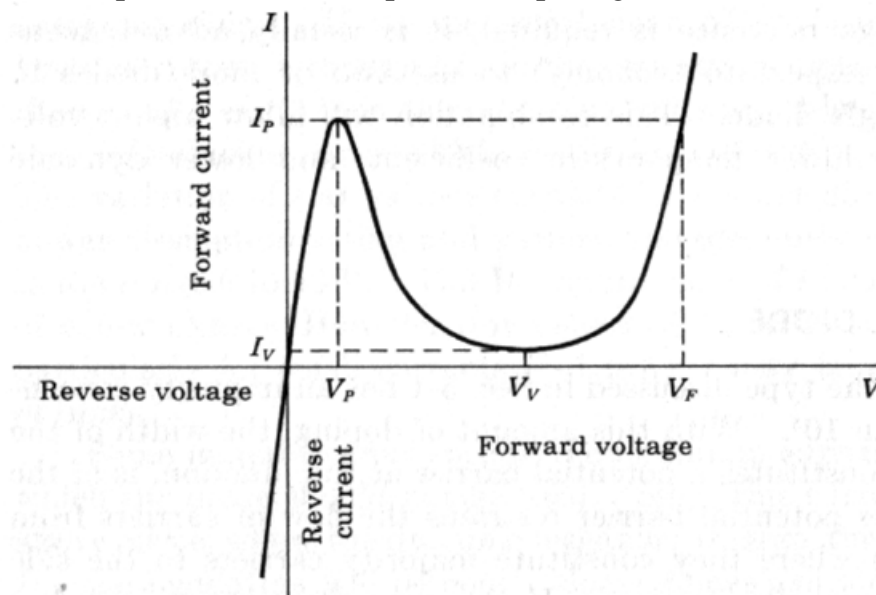


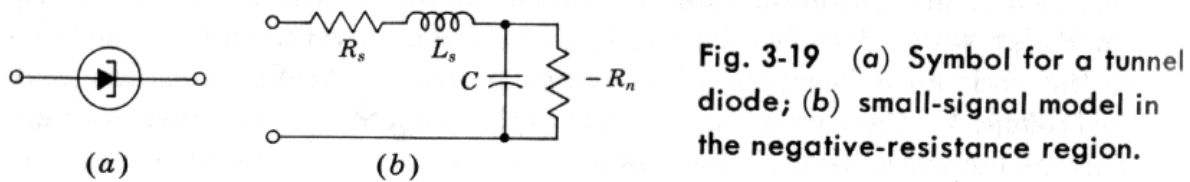
Fig. 3-18 Volt-ampere characteristic of a tunnel diode.

Karakteristik dioda tunnel. Dari gambar di atas terlihat bahwa dioda-tunnel adalah konduktor yang sempurna jika diberi bias mundur. Demikian juga untuk bias maju dengan nilai tegangan yang kecil (hingga 50 mV untuk Ge), resistansinya relatif kecil (sekitar 5 ohm). Pada arus puncak  $I_p$  yang berhubungan dengan tegangan  $V_p$ , gradien bernilai nol. Jika  $V$  sedikit lebih besar dari  $V_p$ , arus mengecil, konduktansi dinamik  $g = dI/dV$  bernilai negatif. Dioda-tunnel memperlihatkan karakteristik *resistansi*

negatif antara arus puncak  $I_p$  dan nilai minimum  $I_V$ , yang dinamakan *arus lembah* (*valley current*). Pada *tegangan lembah*  $V_V$  dimana  $I = I_V$ , konduktansi kembali bernilai 0, dan di atas titik ini, resistansi kembali dan tetap bernilai positif. Pada titik yang dinamakan *peak forward voltage*,  $V_F$ , arus kembali mencapai nilai  $I_p$ . Jika tegangan diperbesar, arus akan melewati nilai  $I_p$ .

Untuk arus dengan nilai antara  $I_V$  dan  $I_p$ , kurva memiliki tiga nilai tegangan, karena satu nilai arus dalam area ini dapat dihasilkan oleh tiga macam tegangan. Karakteristik seperti ini membuat dioda-tunnel menjadi sangat berguna pada rangkaian digital.

Gambar berikut menunjukkan simbol rangkaian standar untuk dioda-tunnel.



**TABLE 3-1** Typical tunnel-diode parameters

	Ge	GaAs	Si
$I_P/I_V$ .....	8	15	3.5
$V_P$ , V.....	0.055	0.15	0.065
$V_V$ , V.....	0.35	0.50	0.42
$V_F$ , V.....	0.50	1.10	0.70

Model arus-lemah (*small-signal model*) dioda-tunnel yang beroperasi pada area *resistansi-negatif* ditunjukkan pada gambar 3.19b di atas. Resistansi negatif  $-R_n$  memiliki nilai minimum pada titik perubahan arus antara  $I_p$  dan  $I_V$ . Induktansi serial  $L_s$  tergantung pada panjang kawat penghantar dan bentuk geometri paket dipol. Kapasitansi *junction*,  $C$ , tergantung pada *bvias* dan biasanya diukur pada *titik lembah*. Nilai umum untuk parameter-parameter dioda-tunnel ini pada arus puncak  $I_p = 10$  mA adalah  $-R_n = -30 \Omega$ ,  $R_s = 1 \Omega$ ,  $L_s = 5$  nH, dan  $C = 20$  pF.

Satu aplikasi yang menarik dari dioda tunnel adalah sebagai *saklar kecepatan sangat tinggi*. Karena proses terobosan (*tunneling*) terjadi dengan kecepatan cahaya, respon transien hanya dibatasi oleh kapasitansi *shunt* (kapasitansi *junction* dan perkabelan) dan arus pengendali puncak. Waktu *switching* dalam order nanodetik hingga 50 ps dapat diperoleh melalui dioda ini.

Aplikasi ke dua dari dioda tunnel adalah sebagai osilator frekuensi tinggi (*microwave*).

Dioda tunnel komersial biasanya terbuat dari *germanium* atau *galium arsenide*.

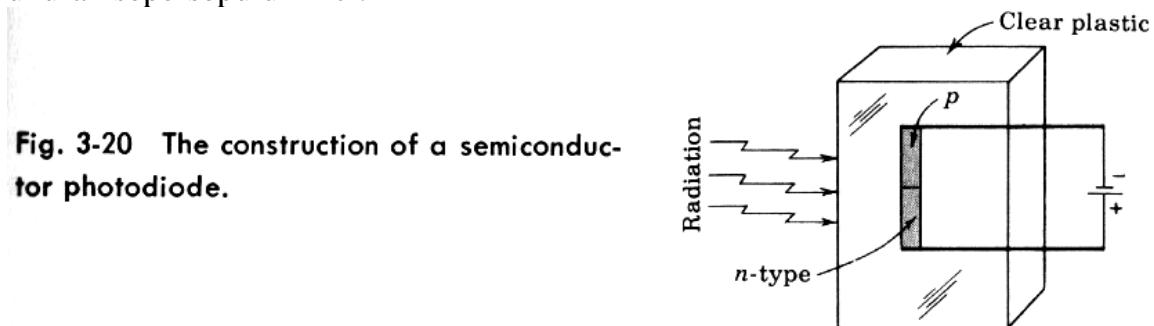
Sulit untuk membuat dioda-*tunnel* silikon dengan rasio  $I_p/I_V$  yang tinggi. Tabel 3.1 di atas menunjukkan beberapa karakteristik penting dari dioda jenis ini. Perhatikan bahwa galium arsenide memiliki rasio  $I_p/I_V$  tertinggi dan selisih  $V_F - V_P$  tertinggi (sekitar 1 V), dibandingkan dengan germanium (sekitar 0,45 V). Arus puncak  $I_P$  ditentukan oleh konsentrasi *ketidakmurnian* (resistivitas) dan area *junction*. Untuk aplikasi komputer, sering digunakan dioda dengan  $I_P$  antara 1 hingga 100 mA. Titik puncak ( $V_P, I_P$ ), yang berada dalam area *tunneling*, tidak terlalu sensitif terhadap temperatur. Namun, titik lembah ( $V_V, I_V$ ) yang dipengaruhi oleh arus injeksi, cukup sensitif terhadap temperatur.

Kelebihan yang dimiliki oleh dioda *tunnel* adalah murah, *noise* rendah, sederhana, berkecepatan tinggi, imun terhadap lingkungan, dan berdaya rendah.

Kelemahan dioda-*tunnel* adalah selisih tegangan-keluaran rendah dan hanya merupakan komponen-dua-terminal. Yang terakhir ini menyebabkan tidak ada isolasi input-output, sehingga menimbulkan kesulitan dalam disain rangkaian.

### Photodiode semikonduktor

Jika *junction p-n* dengan bias mundur disinari, terjadi perubahan arus yang hampir linier terhadap flux cahaya. Gejala ini dimanfaatkan pada *photodiode* semikonduktor. Komponen ini terdiri atas *junction p-n* yang dibuat dalam plastik transparan. Radiasi hanya bisa diberikan pada satu permukaan *junction*. Sisi yang lain biasanya dicat hitam atau ditutupi lempengan logam. Komponen ini sangat kecil dengan order ukuran sepersepuluh inci.



**Fig. 3-20** The construction of a semiconductor photodiode.

Karakteristik Volt-Amper. Jika photodiode mendapat tegangan balik dengan nilai sepersepuluh volt, akan terjadi arus yang hampir konstan (tidak tergantung pada besarnya bias mundur).

Arus "gelap" (*dark current*, lihat gambar) berhubungan dengan arus saturasi mundur, karena pembentukan *carrier* minoritas secara termal. Jika cahaya dijatuhkan pada permukaan, terbentuk pasangan *carrier*, yang kemudian akan berdifusi ke *junction* dan menyeberangi *junction* sehingga menimbulkan arus.

Arus saturasi mundur  $I_0$  pada dioda *p-n* proporsional terhadap konsentrasi *carrier* minoritas  $p_{no}$  dan  $n_{no}$ . Jika *junction* disinari, muncul sejumlah pasangan *hole-elektron* baru, proporsional terhadap jumlah foton. Dengan demikian dengan bias mundur

yang besar akan terbentuk arus  $I = I_o + I_s$ , dengan  $I_s$  adalah arus *short-circuit* yang proporsional terhadap intensitas cahaya. Dengan demikian, karakteristik volt-ampere photodiode semikonduktor adalah :

$$I = I_s + I_o (1 - e^{V/\eta V_T}) \tag{3.34}$$

Nilai  $V$  positif untuk tegangan maju dan negatif untuk bias mundur. Parameter  $\eta$  bernilai satu untuk germanium dan 2 untuk silikon.  $V_T$  adalah tegangan ekuivalen untuk suhu (lihat persamaan 3.10)/

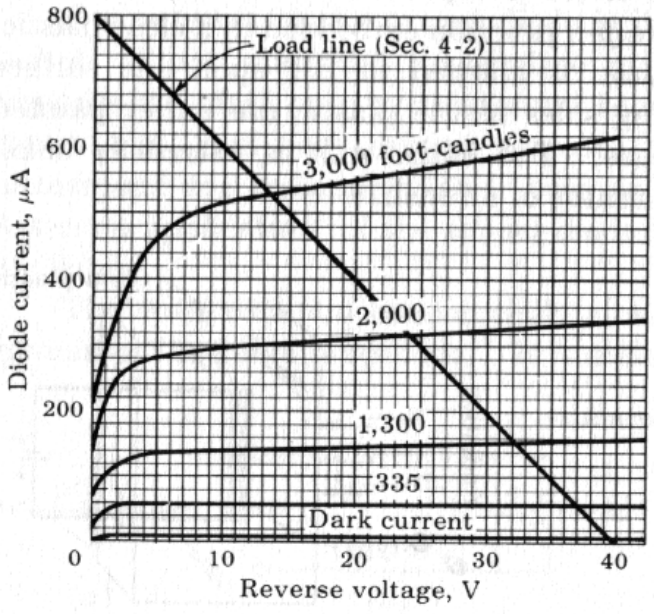


Fig. 3-21 Volt-ampere characteristics for the 1N77 germanium photodiode. (Courtesy of Sylvania Electric Products, Inc.)

Sensitivitas terhadap Posisi Iluminasi. Arus pada photodiode semikonduktor terbias mundur bergantung pada difusi *carrier* minoritas di *junction*. Jika radiasi difokuskan pada satu titik kecil yang jauh dari *junction*, *carrier* minoritas terinjeksi bisa melakukan rekombinasi sebelum berdifusi pada *junction*. Dengan demikian, arus yang mengalir menjadi lebih kecil dibandingkan kalau peristiwa ini terjadi pada posisi yang lebih dekat dengan *junction*. Arus pada photodiode merupakan fungsi jarak terhadap *junction*, seperti ditunjukkan oleh gambar 3.22 di bawah ini. Kurva pada gambar bersifat *asimetris*, karena perbedaan panjang difusi *carrier* minoritas di sisi *p* dan *n*.

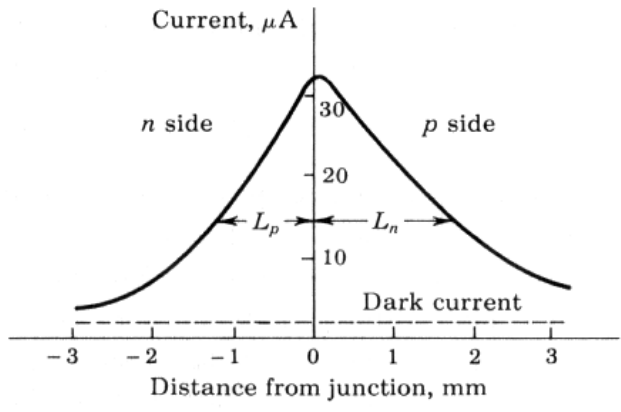


Fig. 3-22 Sensitivity of a semiconductor photodiode as a function of the distance of the light spot from the junction.