

PHOTODETECTOR

Ref : Keiser



Detektor Silikon PIN

Syarat foto detektor

- High response atau sensitifitas
- Noise rendah
- Respon cepat atau bandwidth lebar
- Tidak sensitif thd variasi suhu
- Kompatibel dgn fiber
- Murah
- Tahan lama

Detektor foto yg ada

- Photomultiplier (photocathode + multiplier dlm vacuum tube)
- Pyroelectric detector (konversi photon ke panas → konstanta dielektrik)
- Semiconductor-based photoconductor (pin dan APD) cocok u fiber optik.

Photon Multiplier Tube

PMT Types

a) Side-On Type



b) Head-On Type



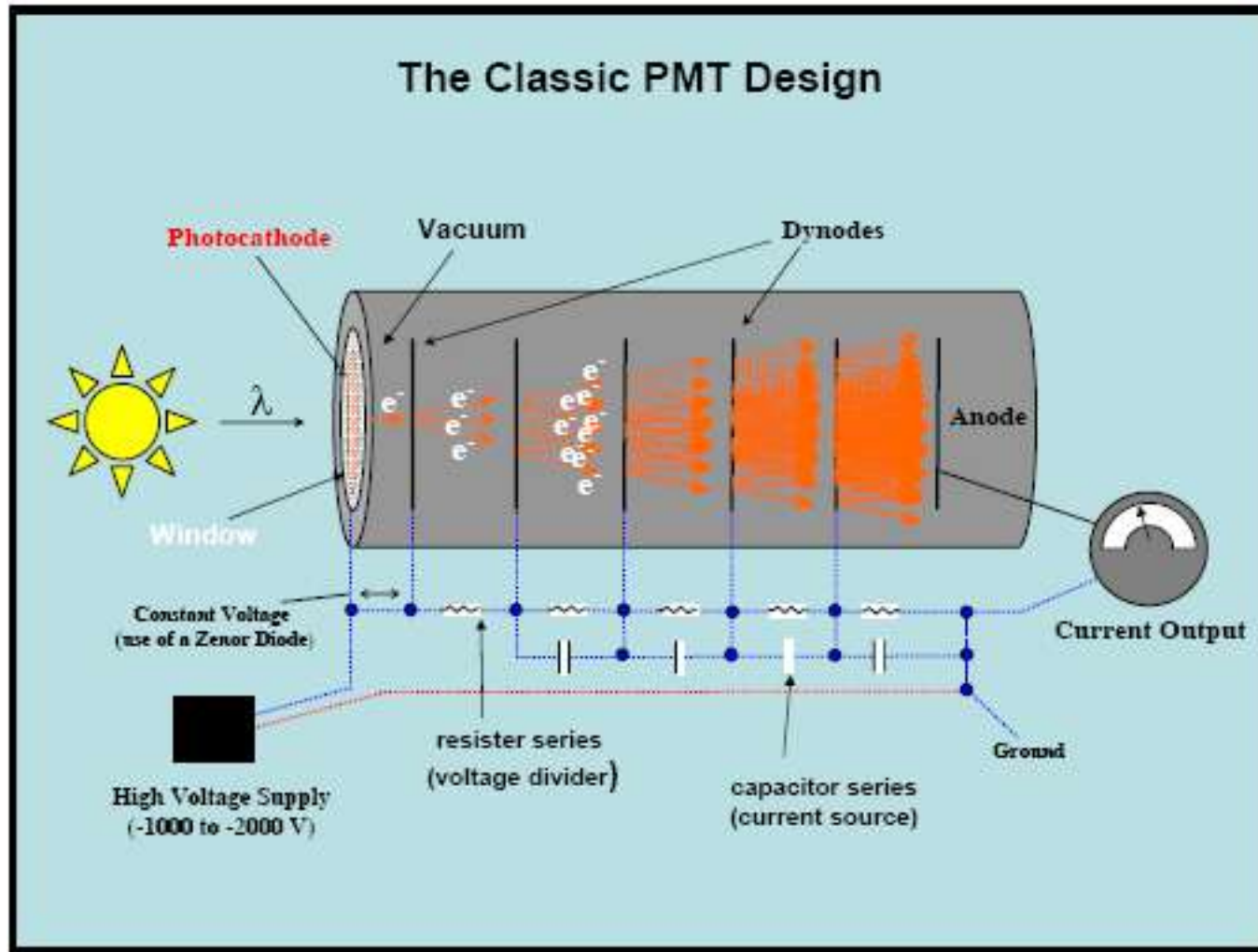
Microchannel Plate Detector (MCP)



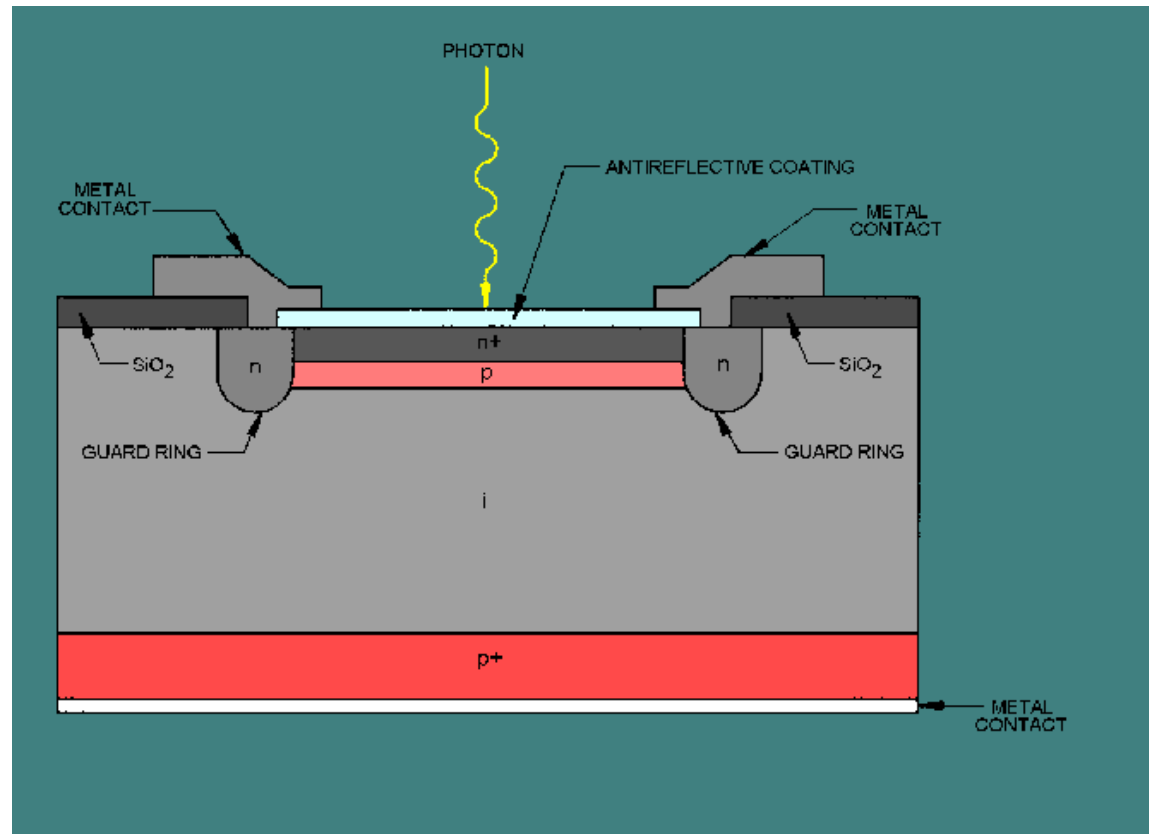
MCP & Electronics
(ISS Inc. Champaign, IL USA)

For fast modulation $f > 500$ MHz

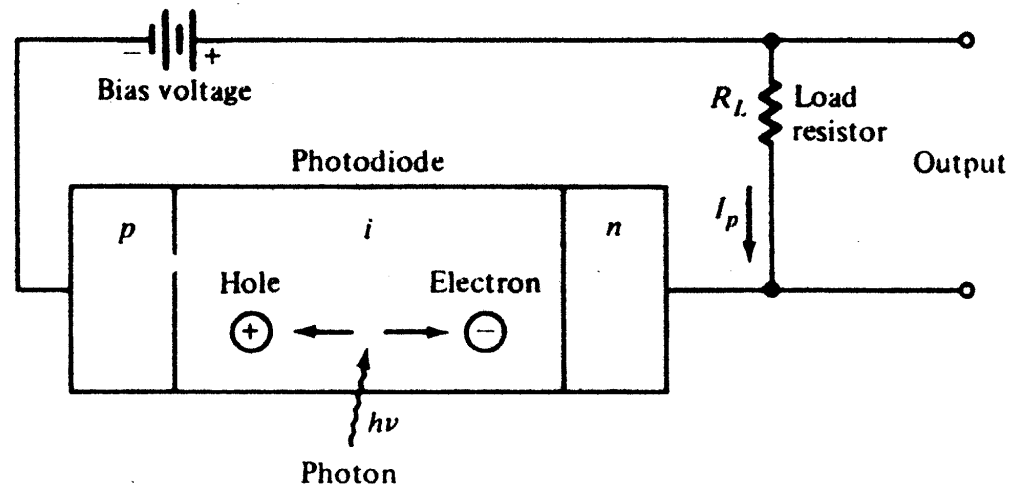
PHOTO MULTIPLIER TUBE



Detektor PIN



Konfigurasi detektor PIN



Sirkit dioda foto pin diberi tegangan mundur

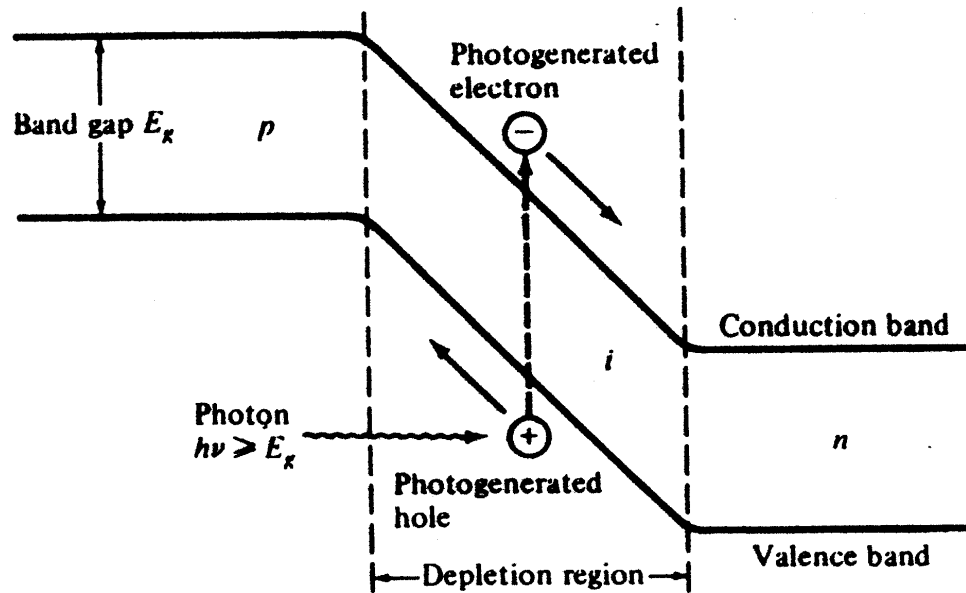


Diagram pita energi dioda foto pin

Photon datang memiliki energi \geq energi band-gap \rightarrow photon akan memberikan energinya dan membangkitkan elektron (di depletion region) dr pita valensi ke pita konduksi \rightarrow photocarrier.

Carrier bermuatan mengalir melalui material, beberapa pasangan elektron-hole berekombinasi dan hilang. Elektron bergerak sejauh L_n sedang hole bergerak sejauh L_p .

Jarak tsb disebut panjang difusi.

Waktu yg dibutuhkan berekombinasi disebut carrier lifetime, elektron selama τ_n dan hole selama τ_p .

$$L_n = \sqrt{D_n \tau_n}$$
$$L_p = \sqrt{D_p \tau_p}$$

D_n : koefisien difusi elektron

D_p : koefisien difusi hole

Radiasi optis yg diserap material semikonduktor :

$$P(x) = P_0(1 - e^{-\alpha_s(\lambda)x})$$

$\alpha_s(\lambda)$: koefisien absorpsi pd panj gel λ

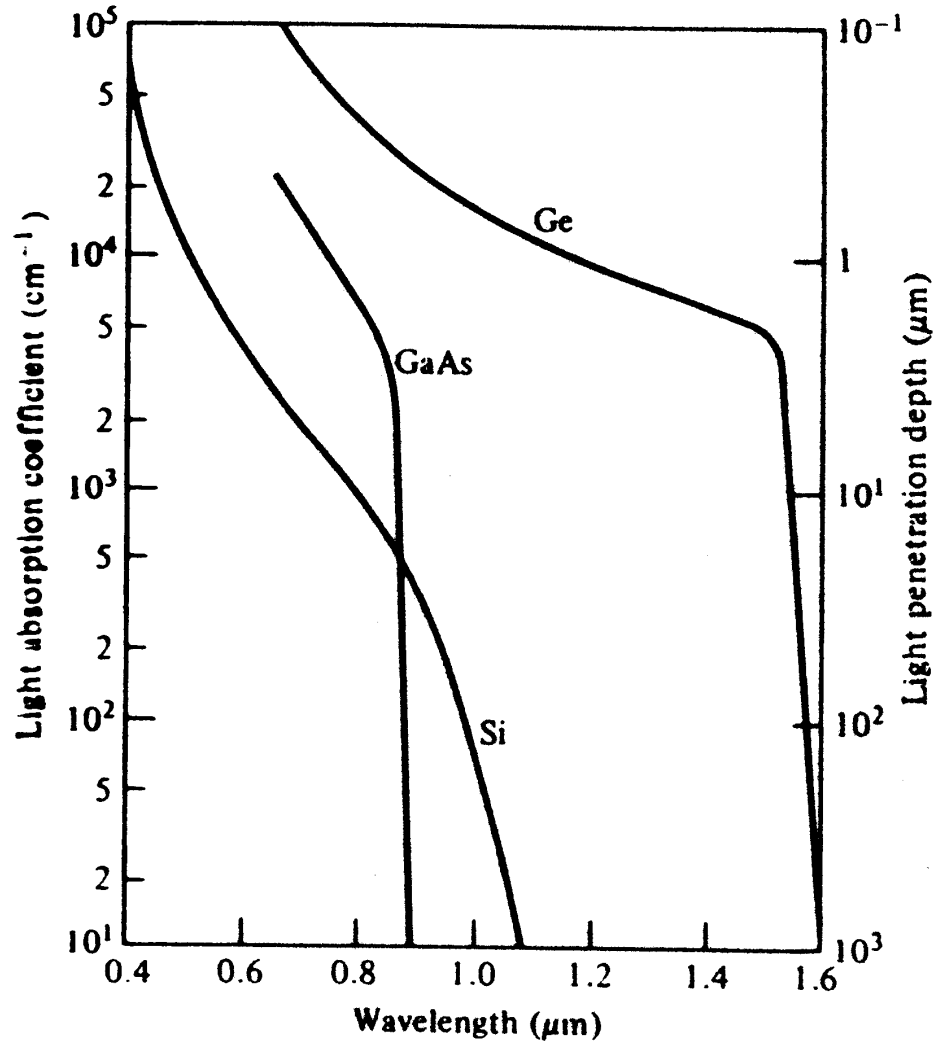
P_0 : daya optis datang

$P(x)$: daya optis diserap sejauh x

Upper wavelength cutoff :

$$\lambda_c(\mu m) = \frac{hc}{E_g} = \frac{1,24}{E_g(eV)}$$

Panj gel cutoff Si sekitar 1,06 μm , dan Ge sekitar 1,6 μm



Koefisien absorpsi sbg fungsi panj gelombang

Contoh

Dioda-foto terbuat dr GaAs, memiliki energi band gap 1,43 eV pd 300° K.

Panjang gel cutoff :

$$\lambda_c = \frac{hc}{E_g} = \frac{(6,625 \times 10^{-34} \text{ J.s})(3 \times 10^8 \text{ m / s})}{(1,43 \text{ eV})(1,6 \times 10^{-19} \text{ J / eV})} = 0,869 \mu\text{m}$$

atau $\lambda_c = \frac{1,24}{1,43} = 0,867 \mu\text{m}$

Dioda-foto tidak akan beroperasi utk photon dng panjang gelombang lebih dari 867 nm

Jika daerah deplesi memiliki lebar w , maka daya diserap :

$$P(w) = P_0 (1 - e^{-\alpha_S w})$$

Jika memperhatikan reflektifitas permukaan dioda-foto R_f , maka arus foto primer I_p :

$$I_p = \frac{q}{hf} P_0 (1 - e^{-\alpha_S w}) (1 - R_f)$$

q : muatan elektron

hf : energi photon

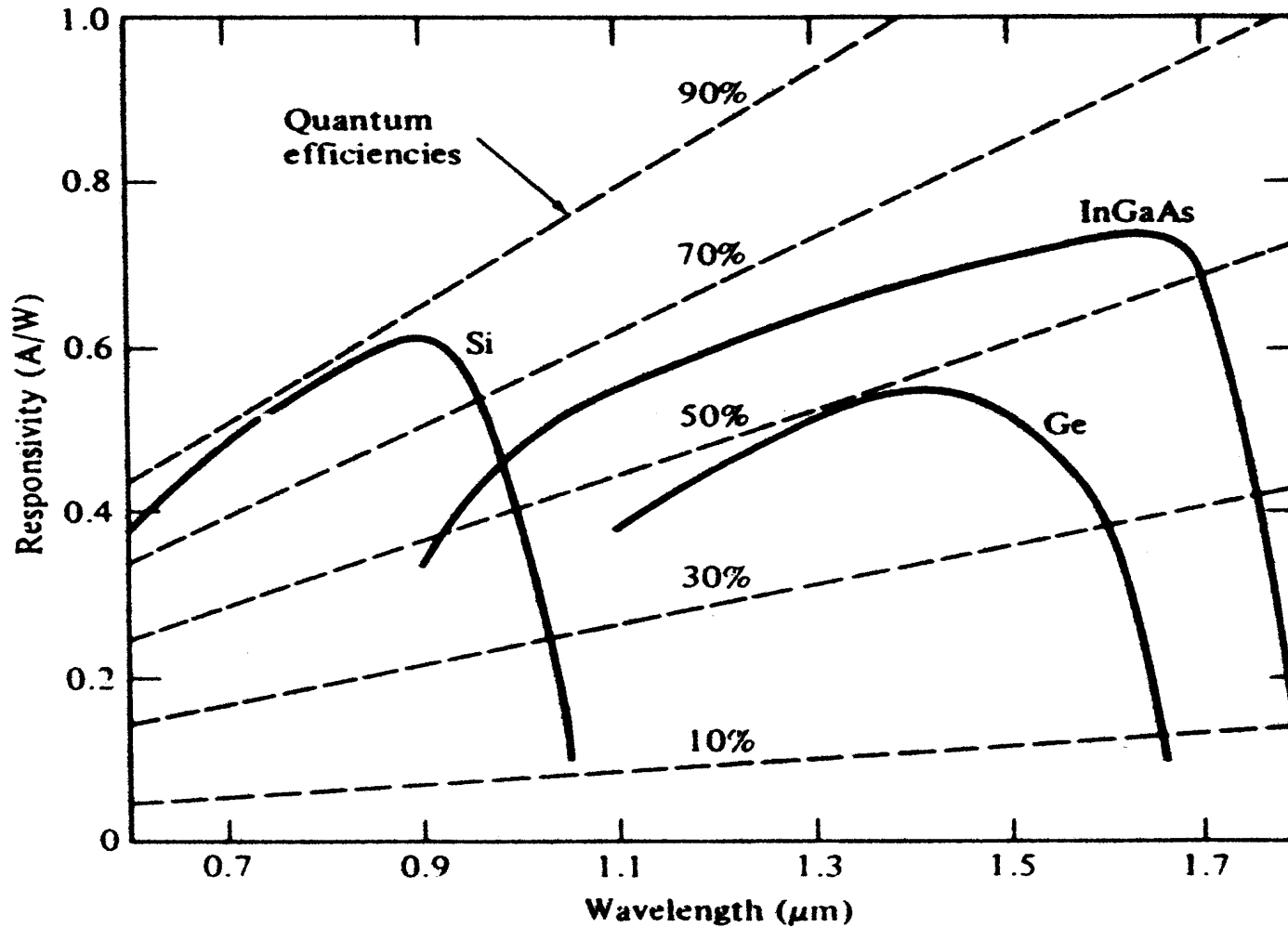
Efisiensi kuantum :

$$\eta = \frac{\text{Jumlah elektron hole yg dibangkitkan}}{\text{Jumlah photon datang}} = \frac{I_p / q}{P_0 / hf}$$

Responsivitas :

$$\mathfrak{R} = \frac{I_p}{P_0} = \frac{\eta q}{hf} \quad [\text{A/W}]$$

Parameter ini sangat berguna karena menspesifikasikan arus foto yg dibangkitkan tiap satuan daya.



Perbandingan responsivitas dan efisiensi kuantum sbg fungsi panjang gelombang

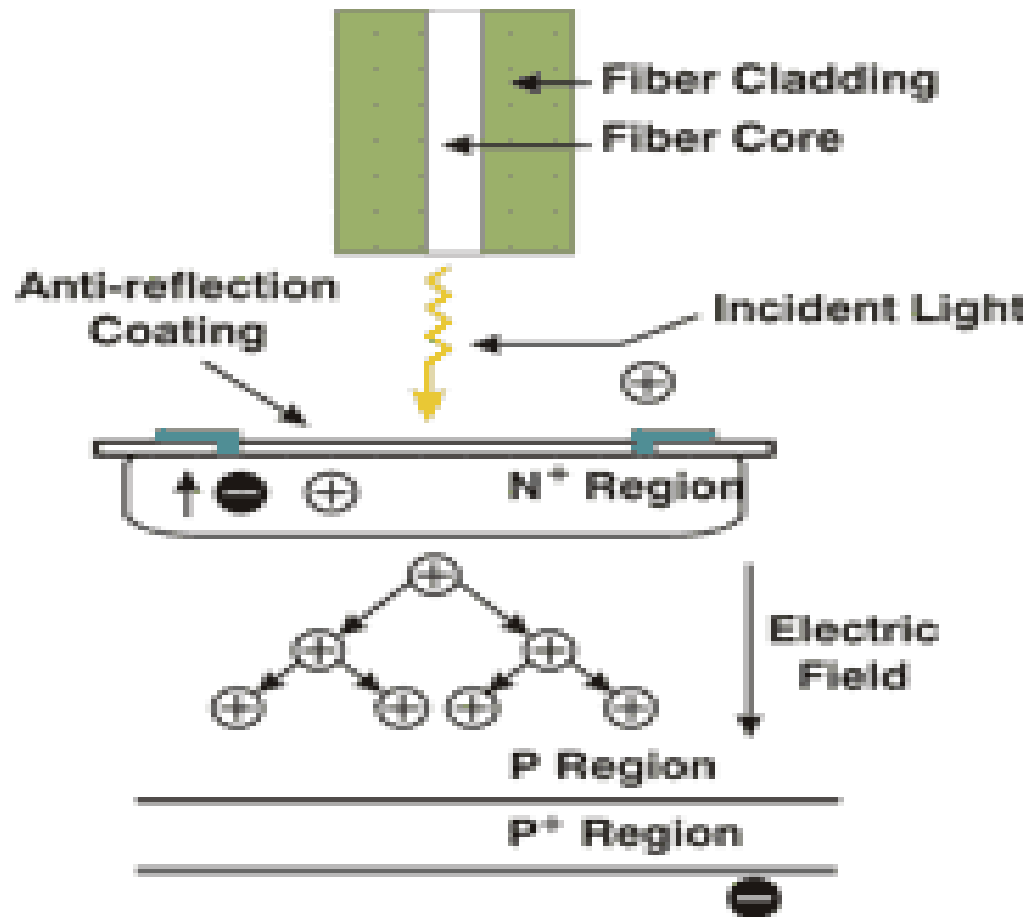
Contoh

InGaAs pd panj gel $1100 \text{ nm} < \lambda < 1600 \text{ nm}$, memiliki efisiensi kuantum 60 %.

Berapa responsivitasnya pd panj gel 1300 nm ?

Jika daya optis yg datang $10 \mu\text{W}$, berapa arus foton yg dibangkitkan ?

Avalanche Photodiode (APD)



Avalanche Photodiode

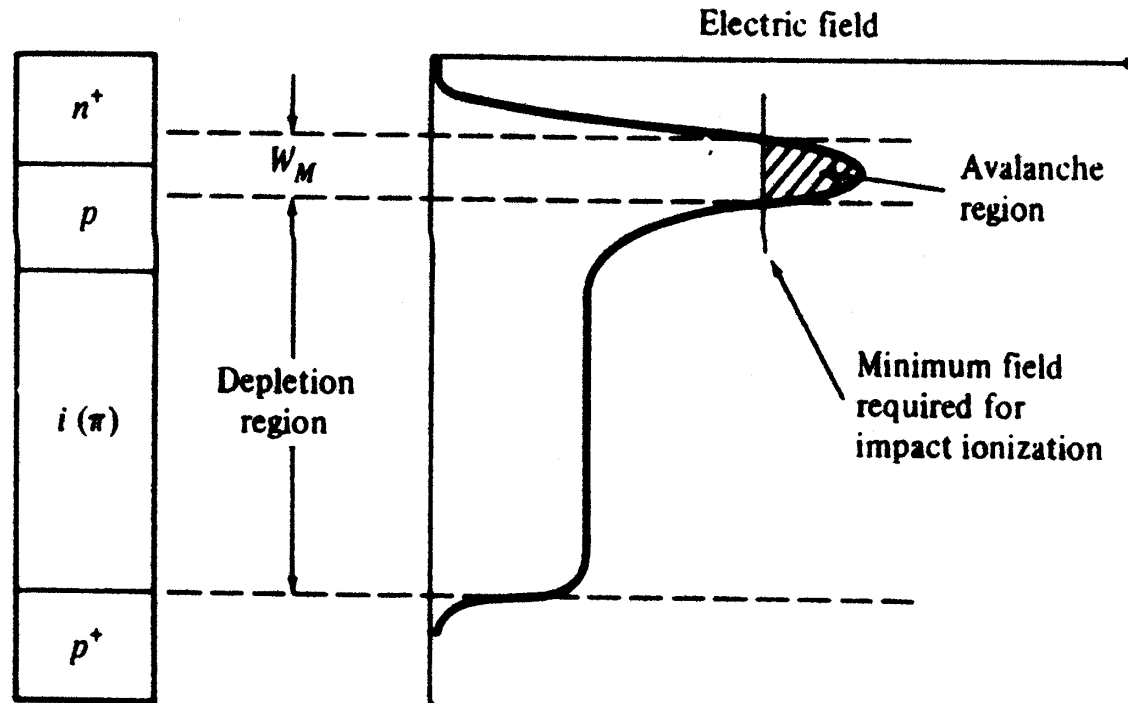
APD secara internal melipat gandakan arus foto sinyal primer sebelum memasuki sirkit penguat → meningkatkan sensitifitas penerima.

Mekanisme pelipatgandaan elektron/hole disebut impact ionization.

Carrier baru yg dibangkitkan juga dipercepat oleh medan listrik kuat, shg menguatkan energi utk impact ionization selanjutnya.

Phenomena tsb disebut efek avalanche.

Dibawah tegangan breakdown jumlah carrier yg dibangkitkan tertentu, sedangkan diatas tegangan breakdown carrier yg dibangkitkan dpt tak terbatas.



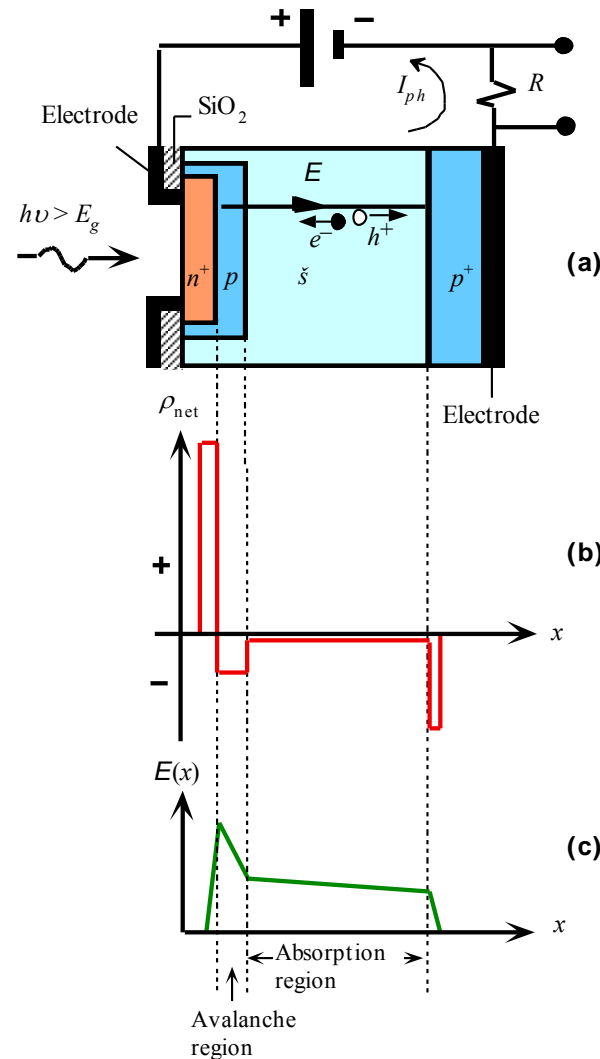
Konstruksi $p^+\pi pn^+$ reach-through APD (RAPD)

p -type : resistivitas tinggi

p^+ : heavily doped p -type

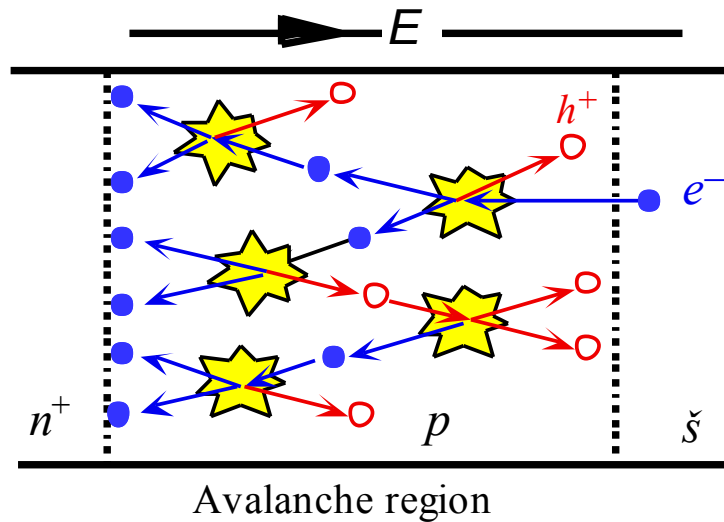
n^+ : heavily doped n -type

π : bahan intrinsik tdk murni krn kurang hati2 shg tercampur p doping

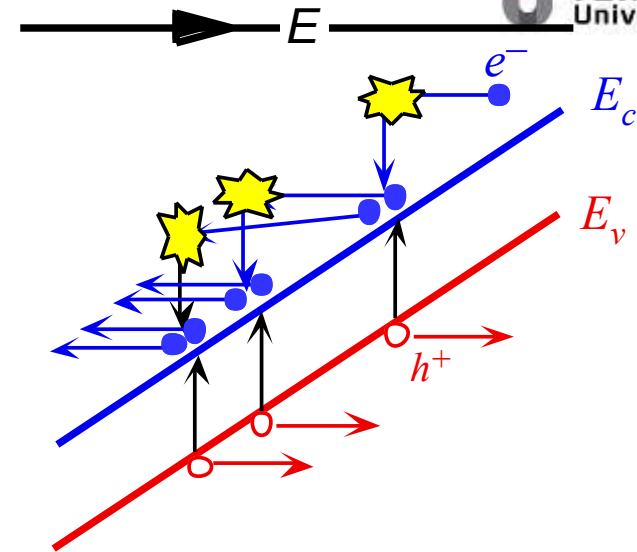


(a) A schematic illustration of the structure of an avalanche photodiode (APD) biased for avalanche gain. (b) The net space charge density across the photodiode. (c) The field across the diode and the identification of absorption and multiplication regions.

© 1999 S.O. Kasap, *Optoelectronics* (Prentice Hall)



(a)

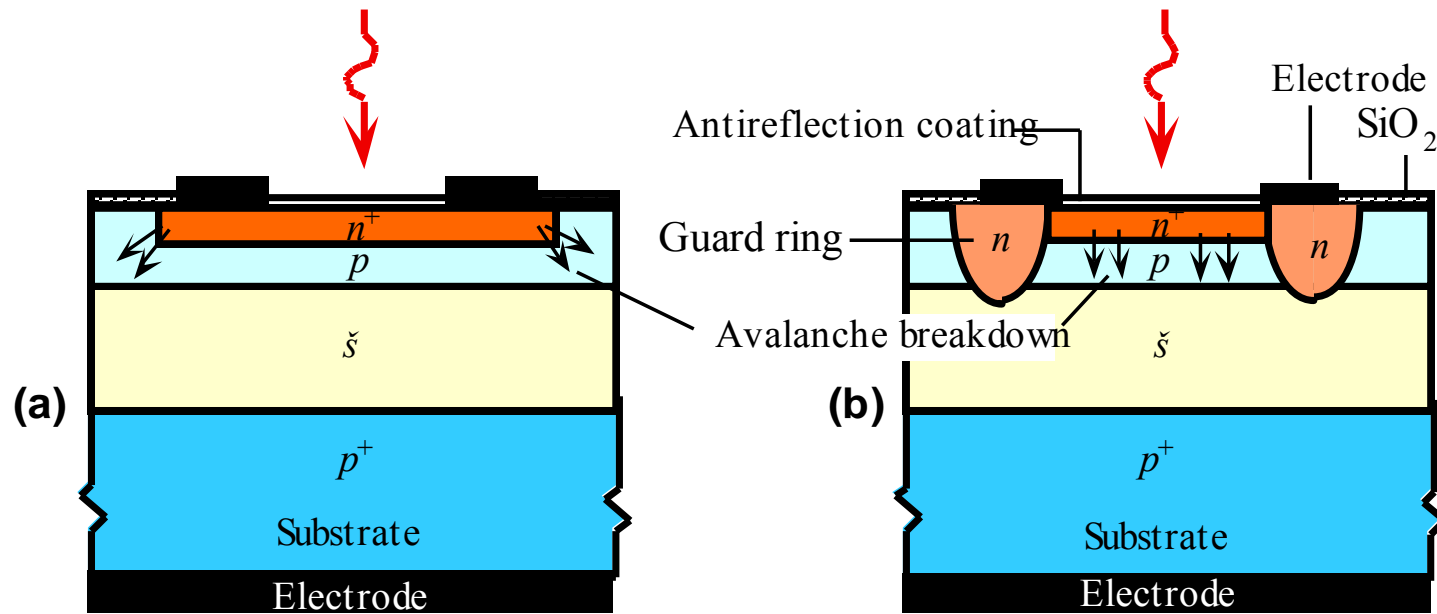


(b)

(a) A pictorial view of impact ionization processes releasing EHPs and the resulting avalanche multiplication. (b) Impact of an energetic conduction electron with crystal vibrations transfers the electron's kinetic energy to a valence electron and thereby excites it to the conduction band.

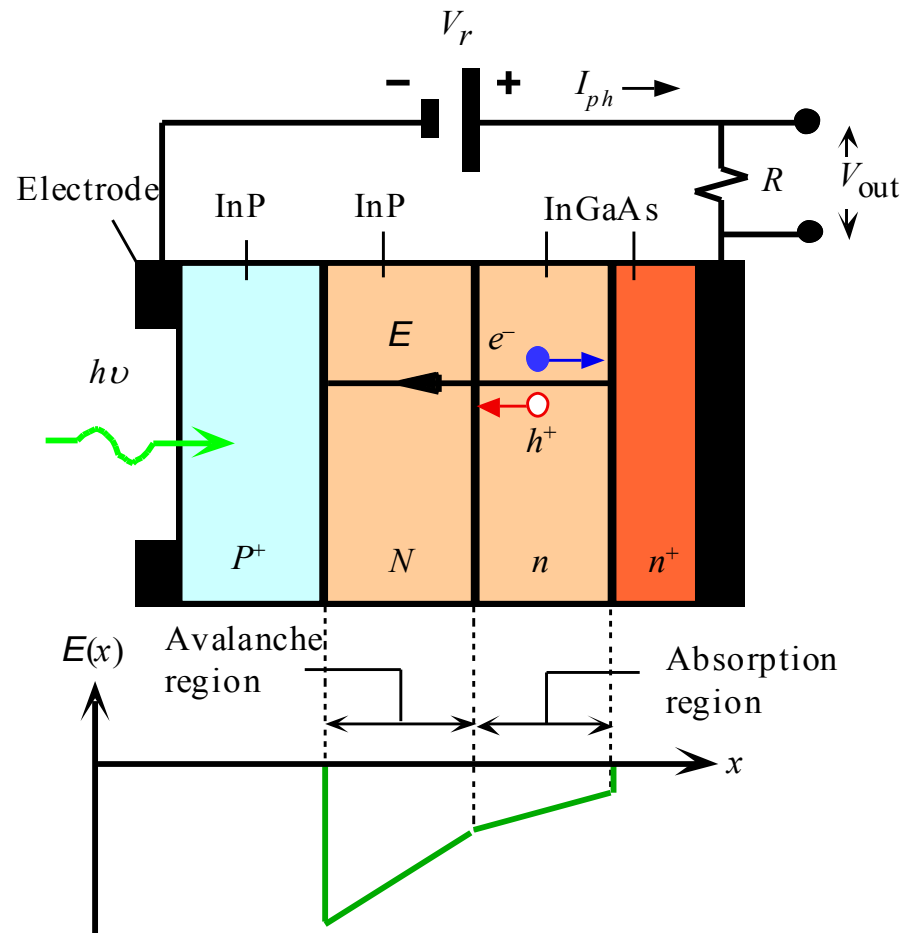
© 1999 S.O. Kasap, *Optoelectronics* (Prentice Hall)

EHP : Electron Hole Pair



(a) A Si APD structure without a guard ring. (b) A schematic illustration of the structure of a more practical Si APD

© 1999 S.O. Kasap, *Optoelectronics* (Prentice Hall)



Simplified schematic diagram of a separate absorption and multiplication (SAM) APD using a heterostructure based on InGaAs-InP and N refer to p and n -type wider-bandgap semiconductor.

© 1999 S.O. Kasap, *Optoelectronics* (Prentice Hall)

Pd penggunaan normal RAPD bekerja pd modus depleted penuh.

Cahaya memasuki device mel daerah p^+ dan diserap bahan π yg bekerja sbg daerah pengumpul carrier yg dibangkitkan oleh photon.

Saat diserap photon memberikan energi, shg membangkitkan pasangan elektron-hole yg kemudiandipisahkan oleh medan listrik di daerah π .

Elektron yg dibangkitkan oleh photon bergeser dr daerah π ke pn^+ junction yg terdapat medan listrik kuat.

Pd daerah medan listrik kuat terjadi pelipat gandaan carrier.

Ionization rate : jumlah rata2 pasangan elektron-hole yg dibangkitkan persatuan jarak tempuh.

Banyak bahan memiliki laju ionisasi elektron α berbeda dng laju ionisasi hole β .

Perbandingan $k = \beta/\alpha$ merupakan ukuran unjuk kerja photodetector.

Faktor multiplikasi :

$$M = \frac{I_M}{I_P}$$

I_M : rata2 arus keluaran multiplikasi total

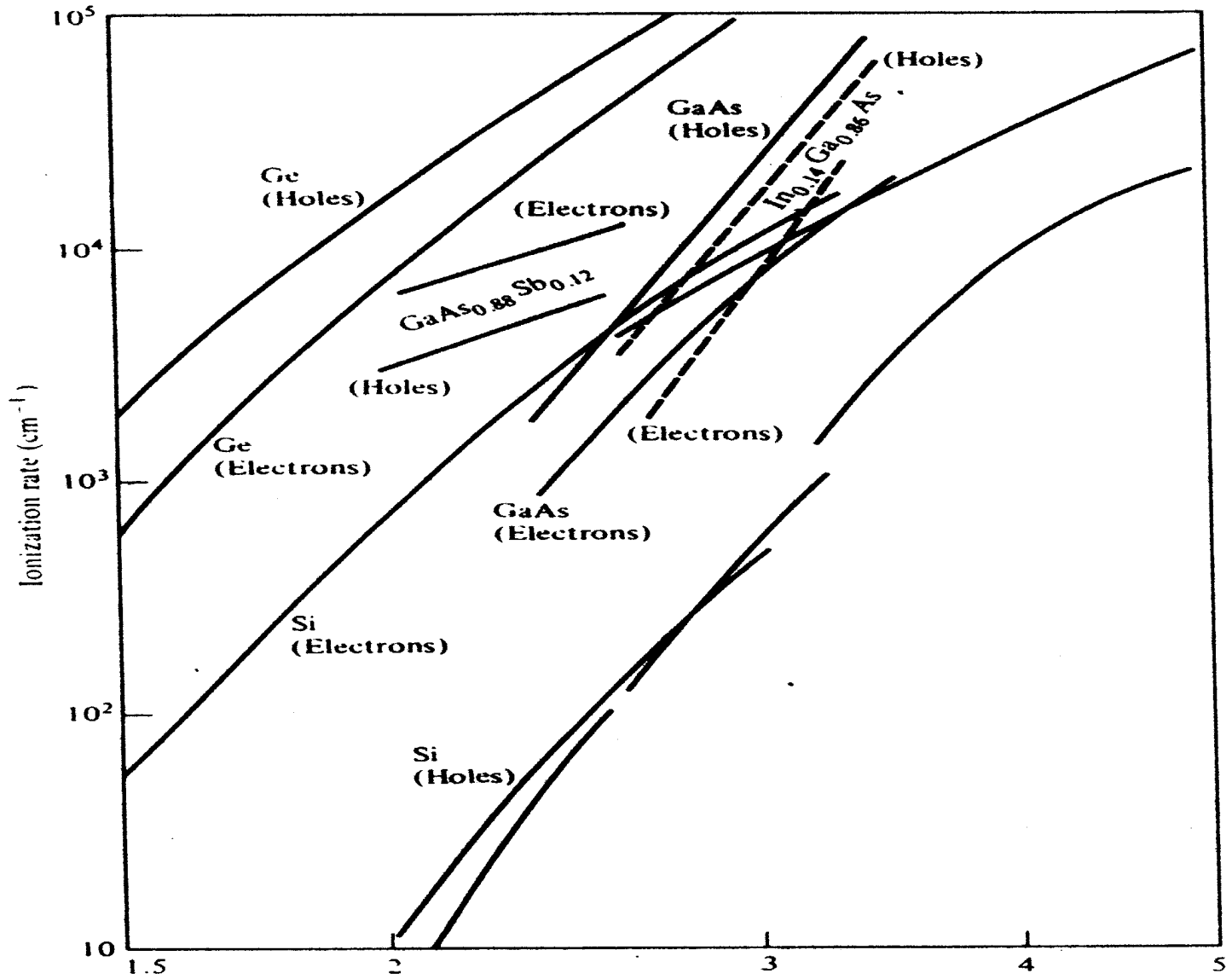
I_P : arus foto tanpa multiplikasi primer

Dlm praktek mekanisme avalanche adalah proses statistik, krn tidak semua pasangan carrier yg dibangkitkan dlm dioda menghasilkan multiplikasi sama == > M : harga rata2.

Responsivitas :

$$\mathcal{R}_{APD} = \frac{\eta q}{hf} M = \mathcal{R}_0 M$$

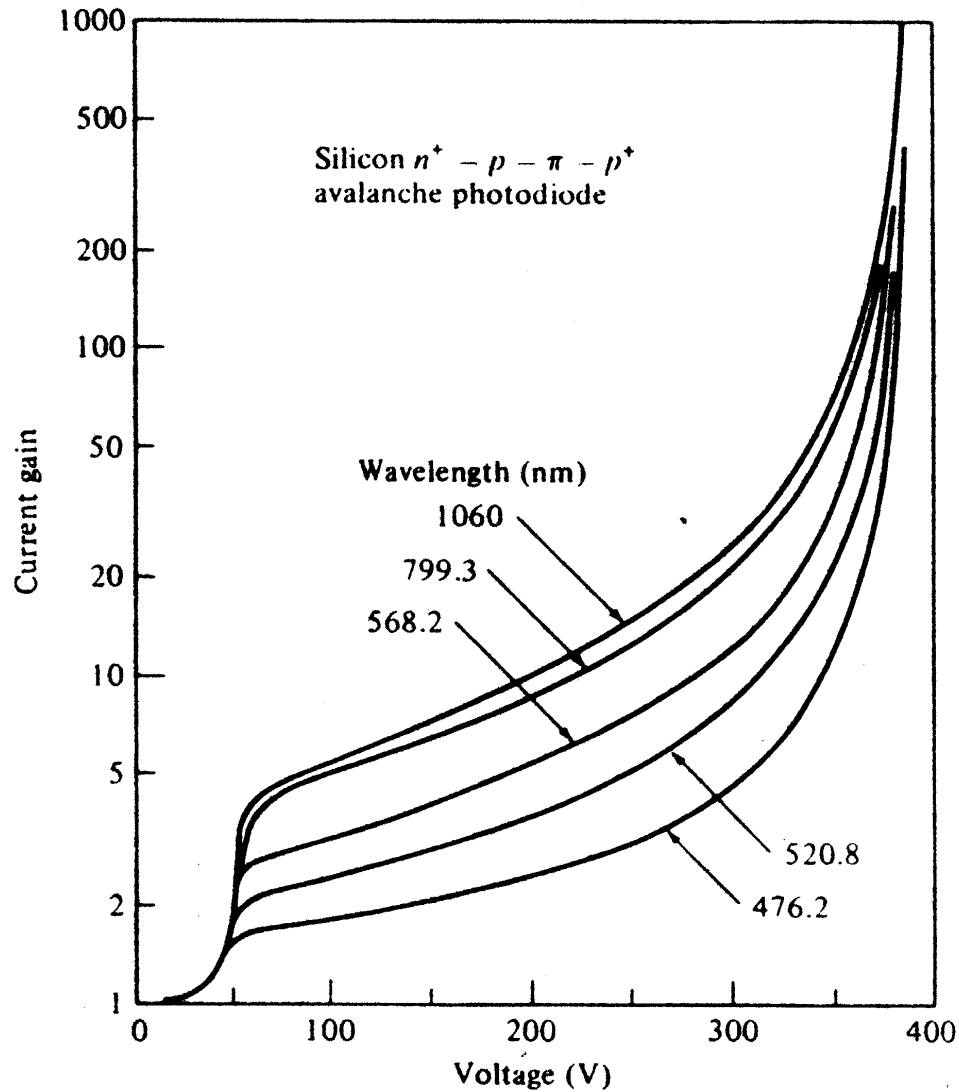
Fakultas Teknik Elektro



Laju ionisasi carrier hasil percobaan

Contoh

Suatu APD memiliki efisiensi kuantum 65 % pd panjang gelombang 900 nm. Jika daya optis 0,50 μ W menghasilkan arus foto multiplikasi 10 μ A, berapa faktor multiplikasi M ?



Pengaruh teg bias thd penguatan arus

Ping-Pong (Full-Duplex) LED

