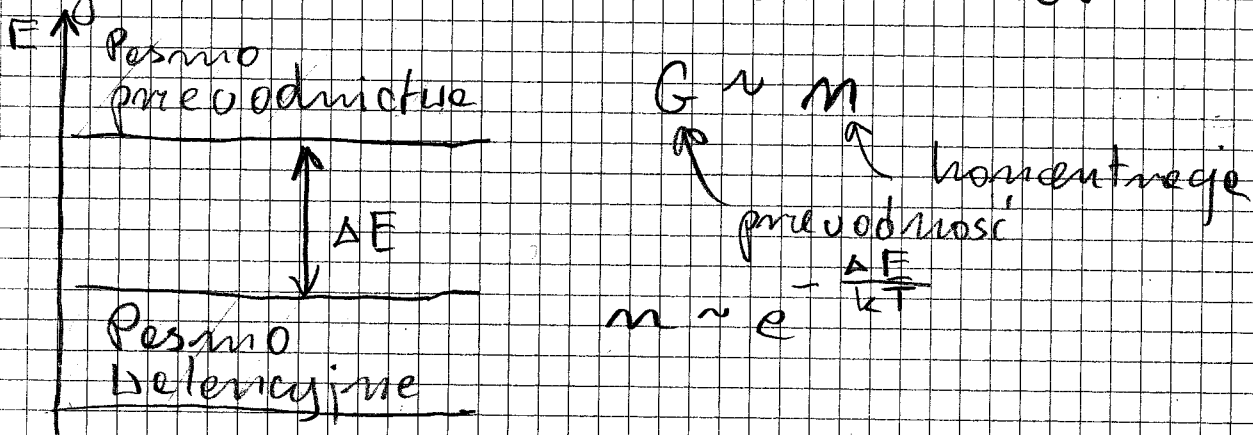


Wykład 2 - dioda

Półprzewodniki samoistne
Przewodnictwo jest proporcjonalne do koncentracji nośników, a koncentracje zależą od temperatury zgodnie z rozkładem Boltzmanna.



Półprzewodniki domieszkuje
Wprowadzenie do sieci krystalicznej pierwiastka 4-ko wartościowego atomu B lub 5-ko wartościowych powoduje wprowadzenie elektronów na poziomych akceptorowych tuż powyżej pasma walecyjnego lub oddzielenych tuż poniżej pasma przewodnictwa

Domieszkuje

Typ n (domieszka 5-wartościowe) Typ p (domieszka 3-wartościowe)

pasmo przewodnictwa

poziom donorowy

poziom akceptorowy

pasmo walecyjne

Elektrony są bardzo łatwo uzbudzone termicznie z poziomu donorowego do pasma przewodnictwa i z pasma walecyjnego na poziom akceptorowy

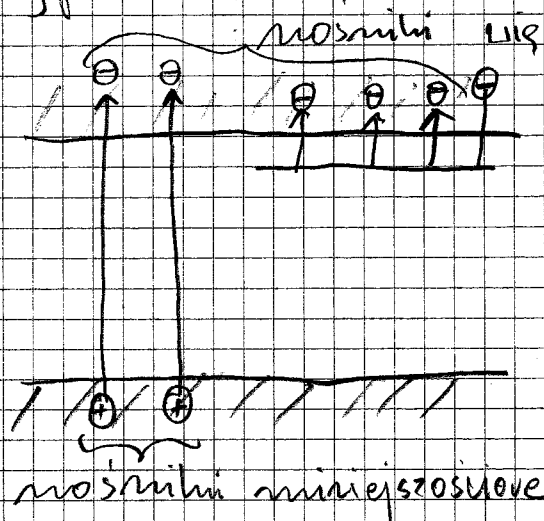
Półprzewodnik typu n - dodatkowe elektrony
w pasmie przewodnictwa mogą być nośnikami

Półprzewodniki typu p - dziury po elektronach
wzbudzonych do poziomów akceptorowych
mogą być nośnikami

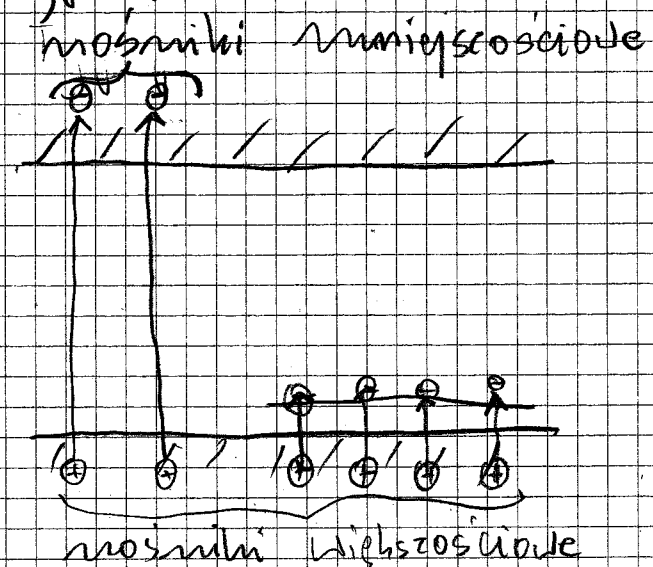
Uwaga! Oprócz tych nośników większościowych istnieje
pewna liczba nośników mniejszościowych

(dziury w p-p typu n i elektrony w n-p typu p)
wygenerowanych jest w półprzewodniku semialiumin
poprzez termiczne wzbudzenie ponad przerwę energ.

Typ n:



Typ p



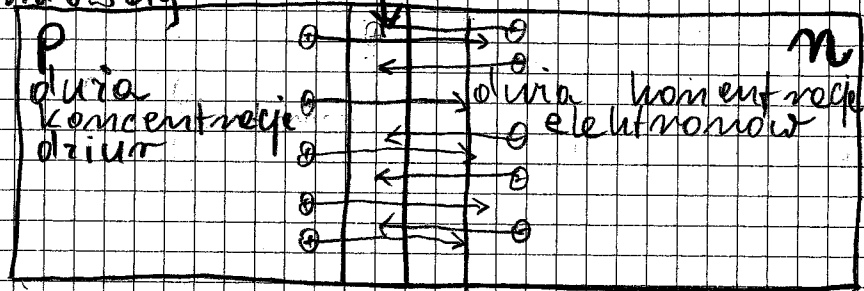
Koncentracje nośników mniejszościowych jest
zawsze wielkości mniejsze niż nośników
większościowych, ale jak się dalej okaże, ich obecność
może mieć duże znaczenie.

Należy pamiętać, że półprzewodniki domieszkowane,
mimo obecności swobodnych elektronów lub
dziur są elektrycznie obojętne.

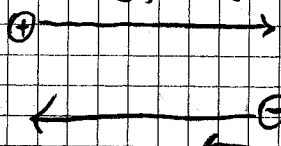
Złącze p-n

Ten obszar ładuje się wenne elektronami, które tu przedyfundowały

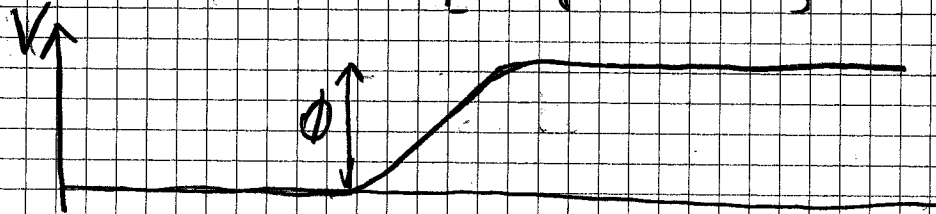
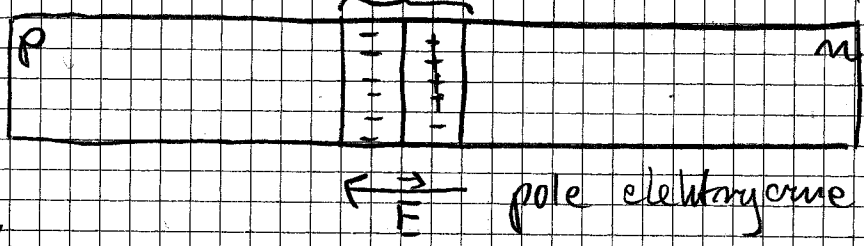
Ten obszar ładuje się dodatnio od dziur, które przedyfundowały



dyfuzja:

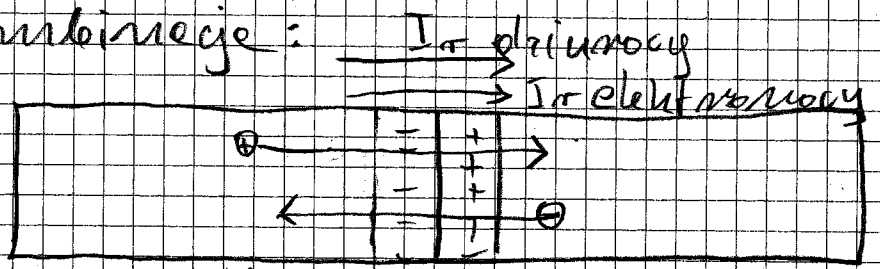


obszar zubożony (nie ma swobodnych nośników)



Pole elektryczne pomiędzy metalowymi obszarami przy granicy półprzewodników skutkuje różnicą potencjału. Ustala się równowaga, nie zmienia się rozkład gęstości ładunku, ale nośniki mogą ciągle migrować

Rekombinacje:



Nośniki wzbudzone termicznie do ostatecznie wyższej energii mogą pokonać barierę potencjału, przedyfundować do drugiego półprzewodnika i tam zrekombinować.

Chocier kierunki migracji druz; elektronow sa przeciwnie, to prąd rekombinacji plynie w tym samym kierunku, od p do n.

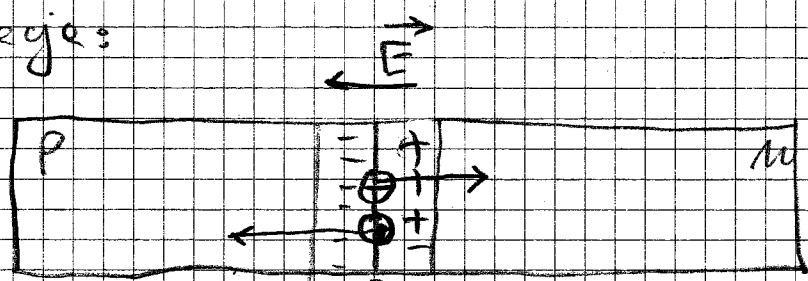
Wygodny przed rekombinacji jest proporcjonalny do liczby nosnikow o energii wiekszej od wysokosci bariery.

$$I_0 \sim \int_{e\phi}^{\infty} e^{-\frac{E}{kT}} dE = -kT \left(e^{-\frac{E}{kT}} \right) \Big|_{e\phi}^{\infty} = -kT (0 - e^{-\frac{e\phi}{kT}})$$

W ustalonej temperaturze:

$$I_0 = I_A e^{-\frac{e\phi}{kT}}$$

Generacja:



W obszarze metalodowym powstaje termiczne (lub optyczne) wzbudzone pare nosnikow.

Wygenerowane nosniki migruja pod wplywem pola E w obszarze metalodowym.

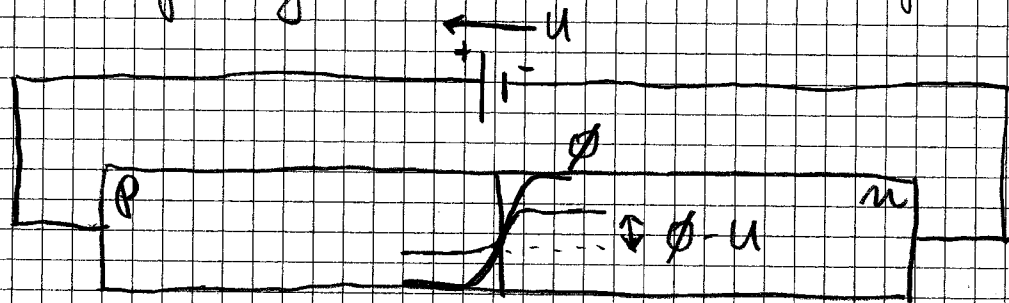
- dziury w kierunku p
- elektrony w kierunku n

Wygodny przed generacji: od n do p

Bez przylozonego zewnetrznego napiecia nie plynie prąd przez ΔT_{sc} , a wiec:

$$I_G = I_R = I_A e^{-\frac{e\phi}{kT}}$$

Z teorii spolaryzowanej w kierunku przewodzenia:



Zmniejsza się próg potencjału do $\phi - U$
 Rosnące liczba nośników zolobnych powoduje
 próg potencjału.
 Prąd rekombinacji rośnie do wartości

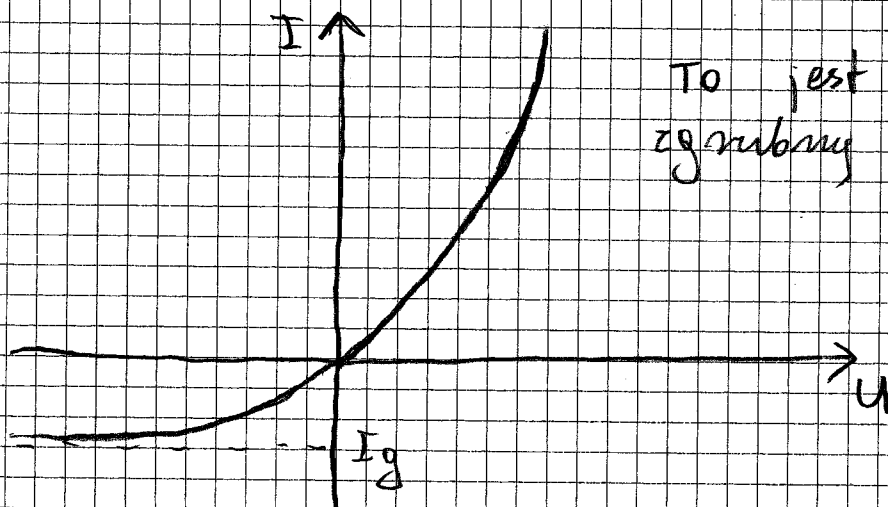
$$I_r = I_A e^{-\frac{e(\phi - U)}{kT}}$$

Prąd generacji zależy w pierwszym przybliżeniu
 od temperatury i szerokości przerwy energetycznej
 nie onie zmienia się po przyłożeniu napięcia.
 Wygodny prąd:

$$I = I_r - I_g = I_A e^{-\frac{e(\phi - U)}{kT}} - I_A e^{-\frac{e\phi}{kT}} =$$

$$= I_A e^{-\frac{e\phi}{kT}} (e^{\frac{eU}{kT}} - 1) = I_g (e^{\frac{eU}{kT}} - 1)$$

(równanie Shockleya)



To jest bardzo
 zgrubny model

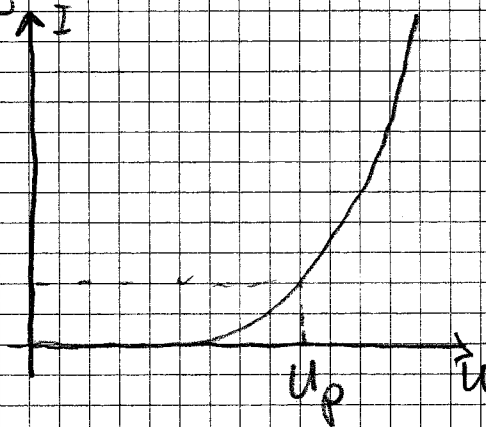
Bardziej realistyczny model:

Max 1-2

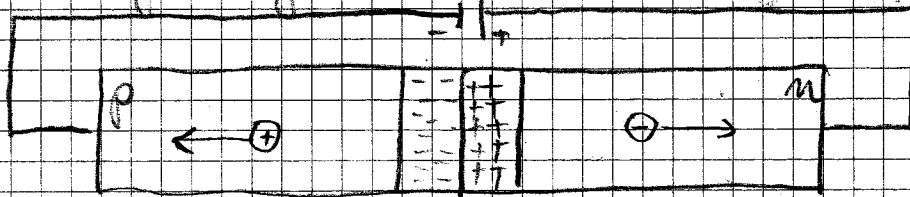
$$U(I) = \frac{MkT}{e} \ln\left(\frac{I}{I_g} + 1\right) + I r_{\leftarrow}$$

opór pasywny

Napięcie przewodzenia - napięcie, przy którym przed osiągnięciem umiarkowanej wartości I następuje gwałtowny wzrost I .
Zależy od materiału diody



Złoty pierze spolaryzowane - w kierunku zaprogramowanym

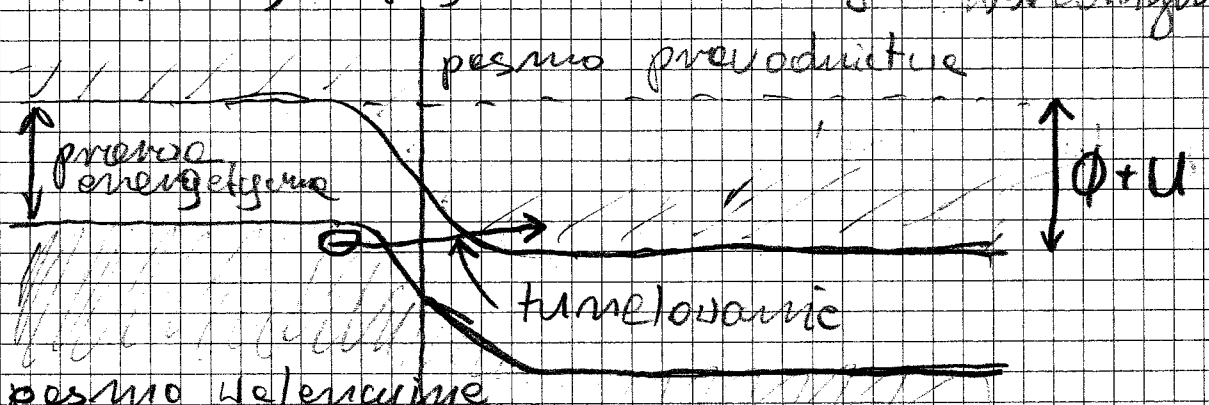


Bariera potencjału niszczy, przed rekombinacją maleje, ale przed generacją plynie w kierunku od n do p. Nosniki minoritarne też mogą przewodzić (prąd ale niewielki, bo jest ich mało)

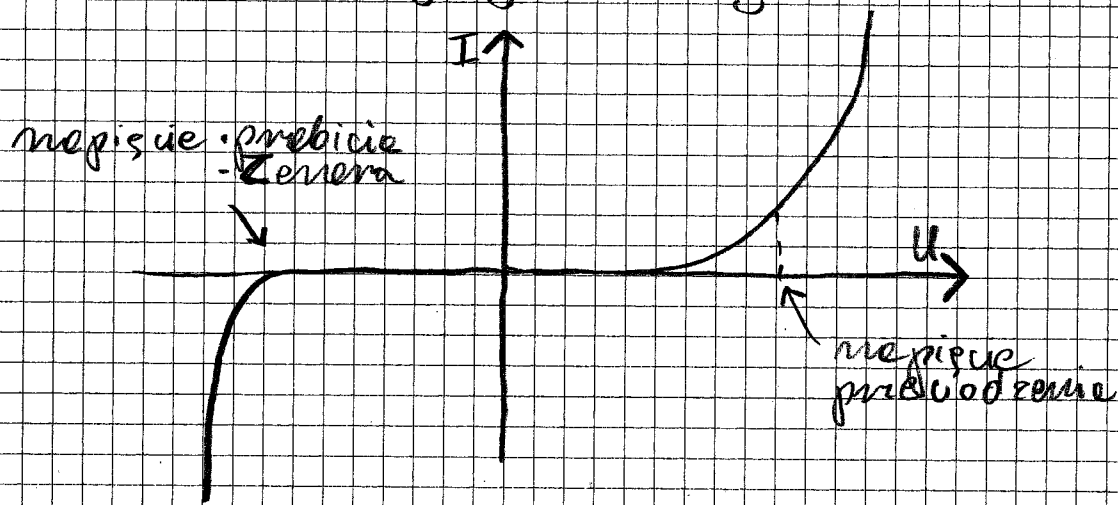
Przebieg - przy dużym napięciu wzmocni się silnie przyspieszenie, co prowadzi do generacji wolnych nośników w wyniku zderzeń z atomami sieci - kolimowe generacje nośników

Efekt Zenera - tunelowanie elektronów przez barierę potencjału, przy dostatecznie dużym napięciu

Struktura węgla



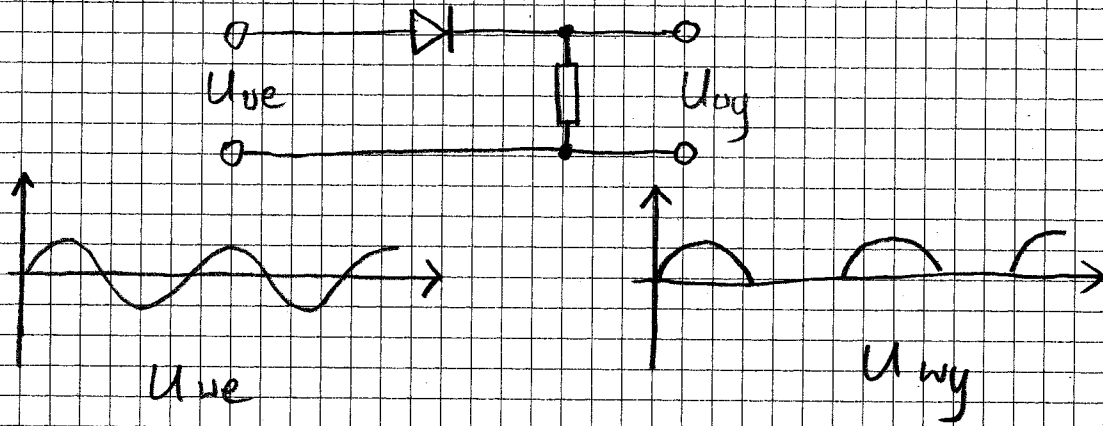
Pełna charakterystyka diody:



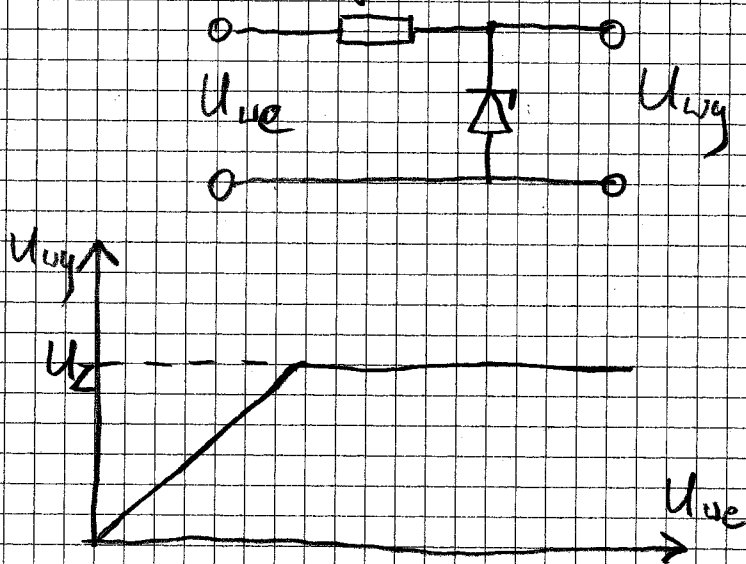
Diode Zenera - dioda z kontrolowanym w procesie produkcji napięciem przebicia

Podstawowe układy

Przestawnik jedno-półprzewodnikowy



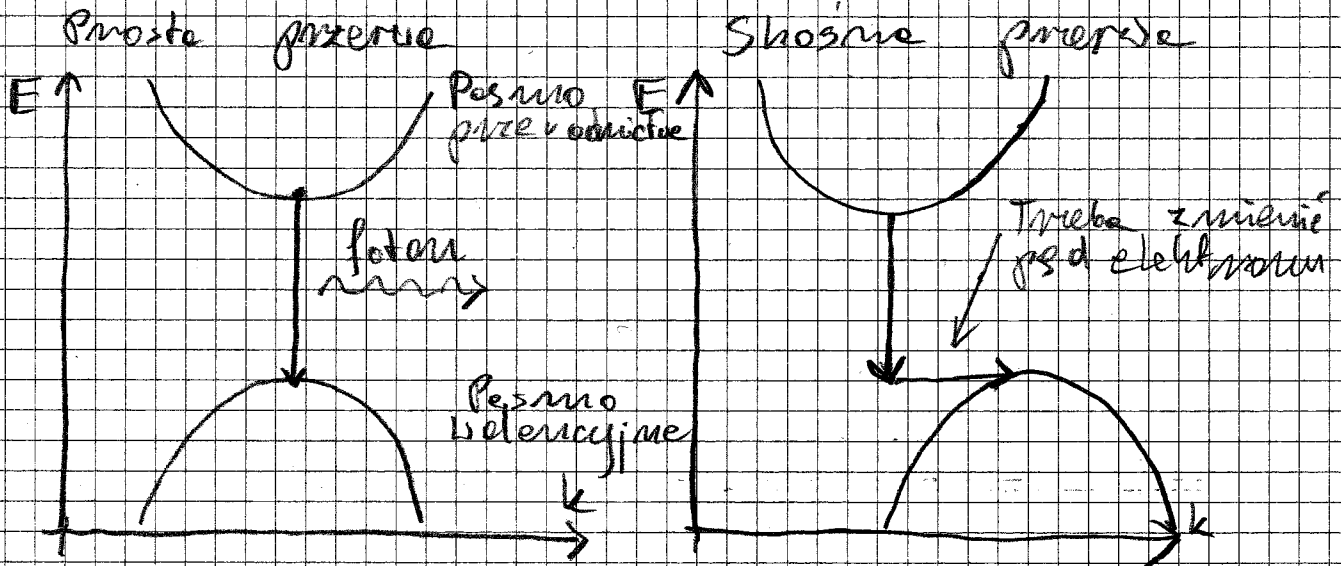
Stabilizator napięcia



Diode elektroluminescencyjna (LED)

Zależności dyspersyjnej: $E = E(k)$

wektor pędu elektronu w sieci krystalicznej (psd)
 $\vec{p} = \hbar k$

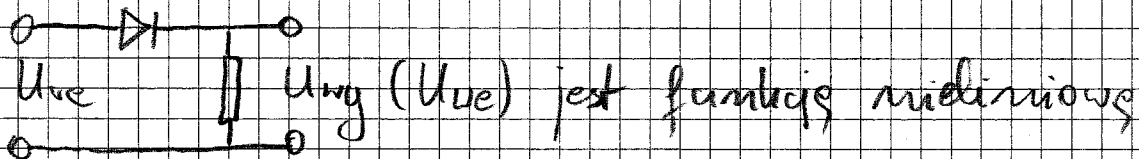


Przejście nie wymaga zmiany psd

psd fotonu \ll psd elektronu
 Emisja fotonu niemożliwa

Rekombinacja z emisją fotonu możliwa w półprzewodnikach z prostą przerwą (GaAs, GaP, GaN), a niemożliwa w p.p. z przerwą skosną (Si, Ge)

Zjawiska nieliniowe



Rozwinięcie w szereg Taylora:

$$U_{wy}(U_{we}) = a_0 + a_1 U_{we} + a_2 U_{we}^2 + a_3 U_{we}^3 + \dots$$

Przykład - nieliniowość kwadratowa

$$U_{we} = U_0 \cos \omega t = U_0 \frac{e^{i\omega t} + e^{-i\omega t}}{2}$$

$$U_{we}^2 = \frac{U_a^2}{4} (e^{2i\omega t} + 2 + e^{-2i\omega t}) =$$

$$= \frac{U_a^2}{2} (1 + \cos 2\omega t)$$

↑
↑

stały podkład
drugie harmoniczne

Procesy nieliniowe powodują powstanie nowych częstotliwości w widmie sygnału.

Układy z el. nieliniowymi (R, L, C) nie wprowadzają nowych częstotliwości do widma.

$$U_{we} = A \cos \omega_1 t + B \cos \omega_2 t = \frac{A}{2} (e^{i\omega_1 t} + e^{-i\omega_1 t}) + \frac{B}{2} (e^{i\omega_2 t} + e^{-i\omega_2 t})$$

$$U_{we}^2 = \left(\frac{A}{2}\right)^2 (e^{2i\omega_1 t} + 2 + e^{-2i\omega_1 t}) + \left(\frac{B}{2}\right)^2 (e^{2i\omega_2 t} + 2 + e^{-2i\omega_2 t}) +$$

$$+ \frac{AB}{2} (e^{i(\omega_1 + \omega_2)t} + e^{-i(\omega_1 + \omega_2)t} + e^{i(\omega_1 - \omega_2)t} + e^{-i(\omega_1 - \omega_2)t}) =$$

$$= \frac{A^2}{2} (1 + \cos 2\omega_1 t) + \frac{B^2}{2} (1 + \cos 2\omega_2 t) +$$

$$+ AB (\cos(\omega_1 + \omega_2)t + \cos(\omega_1 - \omega_2)t)$$

↑
↑
↑

iloczyn amplitud (modulacja)
mieszanie częstotliwości

Diode pojemnościowa - warikap \rightarrow ∇

Zmniejszając napięcie na drodze spolaryzowanej szeregowo z nieliniową szerokością obszarów zubożonego, a tym samym szerokość warstwy sprężonej tekamli - zmniejsza się pojemność diody - kondensator o pojemności regulowanej przy zmiennym napięciu.