

# **Źródła promieniowania optycznego – problemy bezpieczeństwa pracy**

**Lab. Fiz. II**

# Reakcje w tkankach wywołane przez promieniowanie optyczne (podczerwień, widzialne, ultrafiolet):

- Reakcje termiczne – ze wzrostem temperatury
- Reakcje fotochemiczne

# Reakcje promieniowania optycznego w tkankach:

- Powierzchniowe (skóra), milimetry w głąb
- Oko – centymetry w głąb

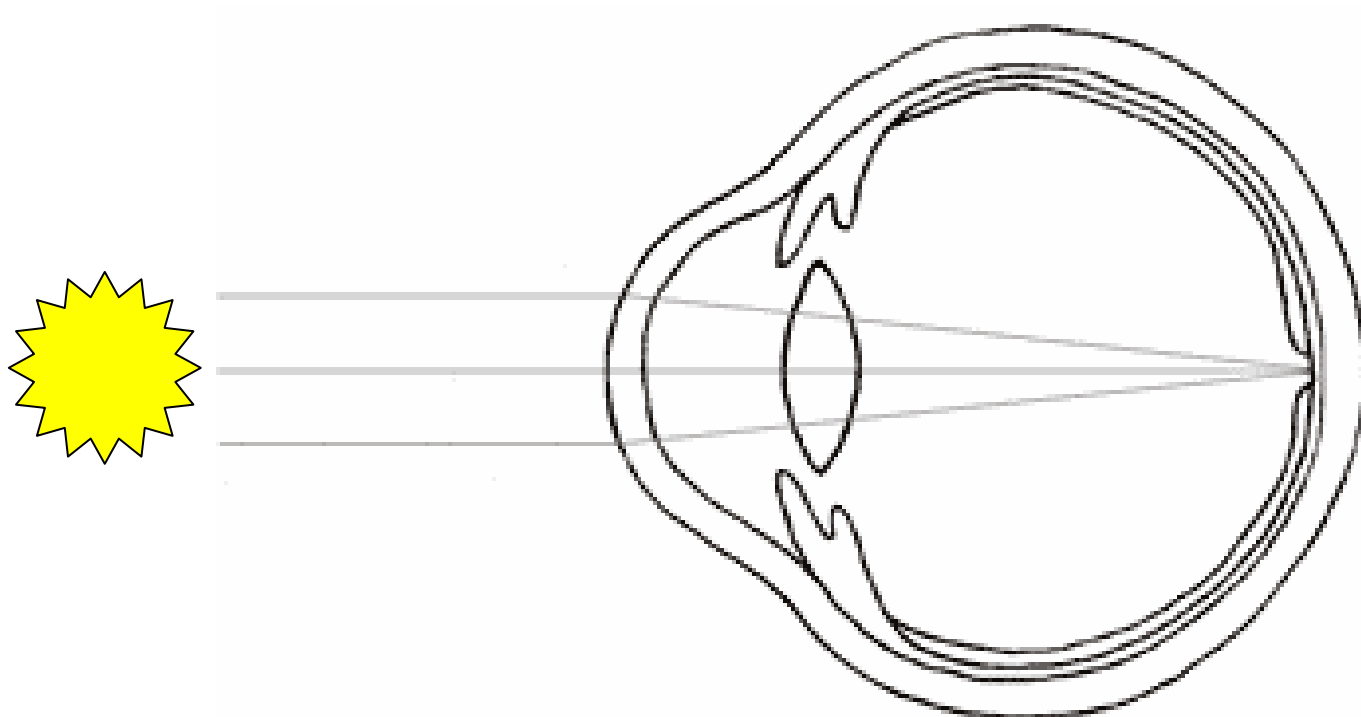
# Źródła promieniowania optycznego:

- spójnego – lasery
- Niespójnego – świeczka, żarówka, lampy spektralne, diody elektroluminescencyjne

## Fizjopatologiczne oddziaływanie promieniowania optycznego

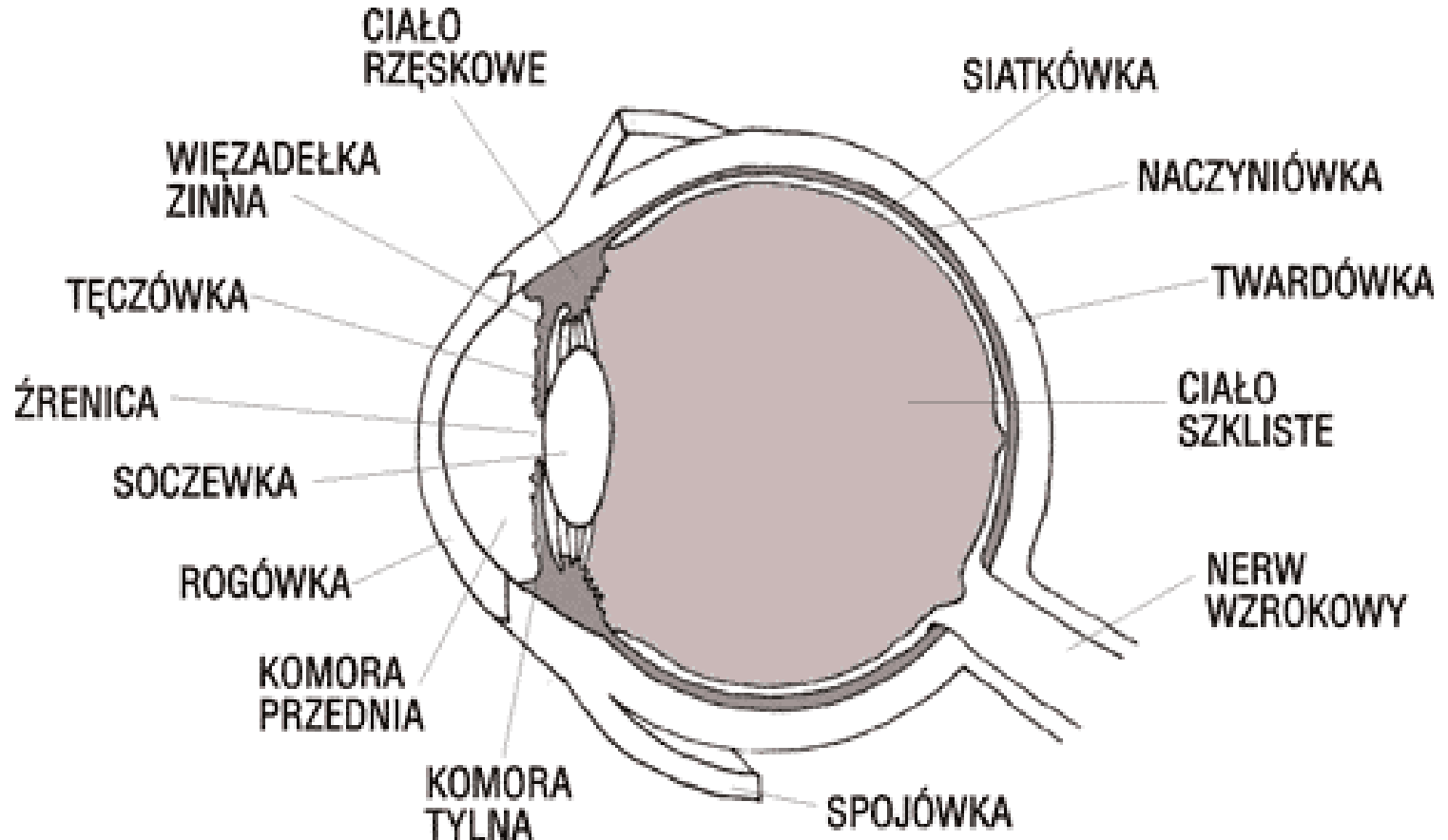
<b>Zakres widmowy</b>	<b>Oko</b>	<b>Skóra</b>
<b>Nadfiolet C (200-280 nm)</b> <b>Nadfiolet B (280-315 nm)</b>	Popromienne zapalenie spojówki i rogówki	Rumień (oparzenia słoneczne) rak skóry, wzrost pigmentacji
<b>Nadfiolet A (315-400 nm)</b>	zaćma	Czernienie melaniny Reakcje fotoalergiczne Oparzenia skóry

<b>Światło widzialne (400-780 nm)</b>	Fotochemiczne i termiczne uszkodzenie siatkówki	Oparzenia skóry, reakcje fotoalergiczne
<b>Podczerwień A (780-1400 nm)</b>	Zaćma, oparzenia siatkówki	Oparzenia skóry
<b>Podczerwień B (1.4-3.0 <math>\mu\text{m}</math>)</b>	Oparzenie rogówki, zmętnienie płynu komory przedniej, zaćma	Oparzenia skóry
<b>Podczerwień C (3.0-1000 <math>\mu\text{m}</math>)</b>	Oparzenie rogówki	Oparzenia skóry



Bieg promieni świetlnych w prawidłowo funkcjonującym oku

[www.zdrowie.med.pl/oczy/anat\\_i\\_fizjo/a\\_oczy.html](http://www.zdrowie.med.pl/oczy/anat_i_fizjo/a_oczy.html)



## Budowa oka

[www.zdrowie.med.pl/oczy/anat\\_i\\_fizjo/a\\_oczy.html](http://www.zdrowie.med.pl/oczy/anat_i_fizjo/a_oczy.html)



# **Pasma wysokiej transmisji promieniowania optycznego w tkankach ocznych**

<b>Tkanka</b>	<b>Pasmo wysokiej transmisji</b>	<b>Transmisja</b>
Rogówka	400 - 1300 nm	ponad 80 %
Ciecz wodnista	300 – 1100 nm	(80-90) %
Soczewka	450 – 1000 nm	~90 %
Ciało szkliste	350 – 900 nm	ponad 80 %

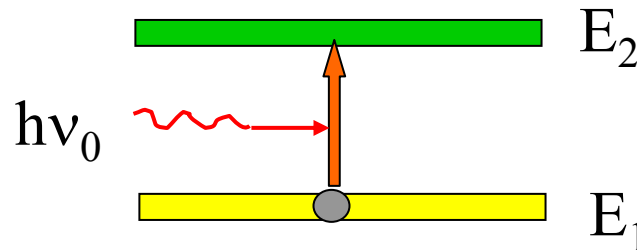
Przyjęta w medycynie dopuszczalna dawka promieniowania optycznego wynosi:

$$2.91 \frac{J}{cm^2} \cong 30 \frac{mJ}{mm^2}$$

Dodatkowo wprowadza się współczynniki związane z długością fali.

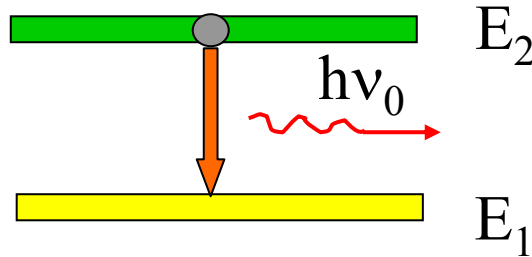
# Absorpcja, emisja spontaniczna i wymuszona

**Absorpcja** - przejście elektronu z niższego stanu energetycznego atomu do wyższego z pochłonięciem fotonu. Atom wzbudzony do stanu energii  $E_2$  pozostaje w tym stanie przez pewien czas.

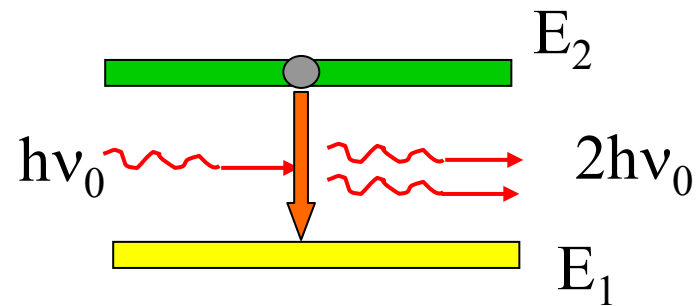


**Emisja spontaniczna** - samorzutne przejście elektronu ze stanu wyższego do stanu niższego połączone z emisją fotonu

**Emisja wymuszona** - przejście elektronu ze stanu wyższego do stanu niższego połączone z emisją fotonu pod wpływem padającego promieniowania. Wyemitowane zostaje promieniowanie o tych samych właściwościach, które ma promieniowanie wymuszające.



Emisja  
spontaniczna



Emisja wymuszona

# Oddziaływanie promieniowania laserowego z tkankami

Zakres gęstości energii:  $1 \text{ mJ/cm}^2 - 1 \text{ MJ/cm}^2$

Sposób oddziaływania determinują takie czynniki jak pochłanianie wody i hemoglobiny oraz gęstość mocy.

- Koagulacja
- Zwęglanie
- Parowanie
- Fragmentaryzacja i rozrywanie

# LASER (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation)

**Laser** jest generatorem promieniowania elektromagnetycznego charakteryzującego się monochromatycznością i kierunkowością, dużą gęstością mocy spektralnej oraz wysokim stopniem spójności czasowej i przestrzennej.

Pierwszy laser skonstruowany został przez Maimana w 1960 r. Materiałem aktywnym był rubin ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) domieszkowany chromem ( $\text{Cr}^{3+}$ ), umieszczony między dwoma zwierciadłami stanowiącymi rezonator optyczny.

# LASERY

- Lasery gazowe - atomowe, jonowe, molekularne
- Lasery na ciele stałym np. półprzewodnikowe
- Lasery barwnikowe
- Lasery chemiczne
- Lasery na centrach barwnych
- Lasery na swobodnych elektronach

# Podstawowe elementy lasera

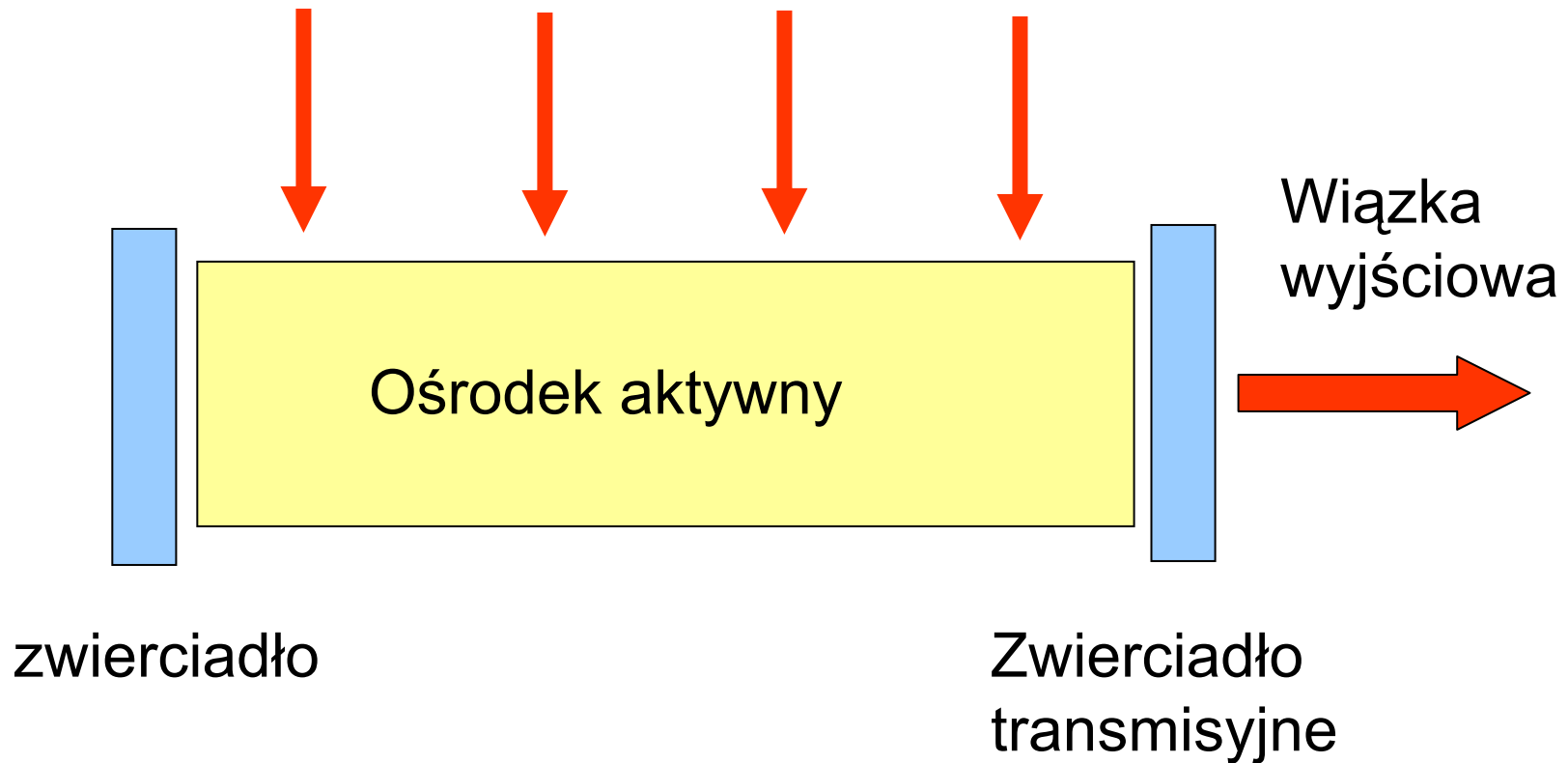
- **Ośrodek aktywny**, mający zdolność wzmocnienia fali świetlnej (zbiór atomów, cząsteczek, ciało stałe).
- **Układ pompujący**, który ośrodek aktywny wzbudza do wyższego stanu energetycznego. Zadaniem tego układu jest doprowadzenie ośrodka aktywnego do stanu **inwersji obsadzeń** - liczba atomów  $N_2$  w wyższym stanie energetycznym jest większa od liczby atomów  $N_1$  w niższym stanie energetycznym.
- **Rezonator optyczny**

**Inwersja obsadzeń:**

$N_2 > N_1$  z warunkiem energii poziomów  $N_2 > N_1$



## Pompowanie ośrodka aktywnego



# Rezonator optyczny

Funkcje rezonatora optycznego:

- **Wprowadzenie dodatniego sprzężenia zwrotnego** do układu wzmacniającego. Sprzężenie zwrotne polega na częściowym odbiciu wiązki promieniowania od zwierciadeł rezonatora z powrotem do ośrodka wzmacniającego.
- **Wzbudzenie pola elektromagnetycznego** tylko o takich częstotliwościach  $\nu$  dla których spełniony jest warunek:

$$2L = n \frac{\lambda}{2} \quad \longrightarrow \quad \nu = n \frac{v}{2L}$$

- **Uzyskanie kierunkowości** promieniowania.

L - długość rezonatora,  
n - liczba całkowita,  
 $\lambda$  - długość fali w  
rezonatorze,  
 $v$  - prędkość fali w  
rezonatorze

# Własności promieniowania laserowego

- **Kierunkowość**
- **Monochromatyczność** - niemożliwe jest uzyskanie jednej ściśle określonej długości fali i częstotliwości, laser emituje promieniowanie w wąskim pasmie  $\Delta\nu$
- **Koherencja (spójność) czasowa** - związana jest ze stopniem monochromatyczności, różnice w paśmie  $\Delta\nu$  powodują, że po pewnym czasie punkty w przekroju wiązki przestaną być ze sobą w fazie
- **Koherencja (spójność) przestrzenna** - płaszczyzny w przekroju wiązki powinny być stałe w fazie, w dużych odległościach pojawiają się różnice fazy

# Wiązki gaussowskie

Rezonator optyczny pozwala otrzymać wiązki świetlne o małej rozbieżności. Teoria wiązki gaussowskiej podaje dokładny opis wiązki generowanej przez laser. Równanie Helmholtza, wynikające z równań Maxwella opisuje rozkład pola  $E(x,y,z)$ .

$$\Delta E + k^2 E = 0$$

Rozwiązanie tego równania można przyjąć w formie:

$$E(x,y,z) = u(x, y, z)\exp(-ikz)$$

Dla przypadku propagacji fali w kierunku  $z$  wolnozmienną amplitudą  $u$  otrzymuje się równanie różniczkowe

$$\frac{\partial u}{\partial x^2} + \frac{\partial u}{\partial y^2} - 2ik \frac{\partial u}{\partial z} = 0$$

$k$  – wektor falowy

Rozwiązując to równanie otrzymuje się wyrażenie na pole  $E$  wiązki świetlnej. Jest to opis **wiązki gaussowskiej**.

$$E(x, y, z) = \frac{C}{w} \exp(-ikz) \underbrace{\exp\left(i\Phi - \frac{ik}{2} \frac{\rho^2}{R}\right)}_{\text{Zmiana fazy}} \underbrace{\exp\left(-\frac{\rho^2}{w^2}\right)}_{\text{zmiana amplitudy}}$$

Zmiana fazy

zmiana amplitudy

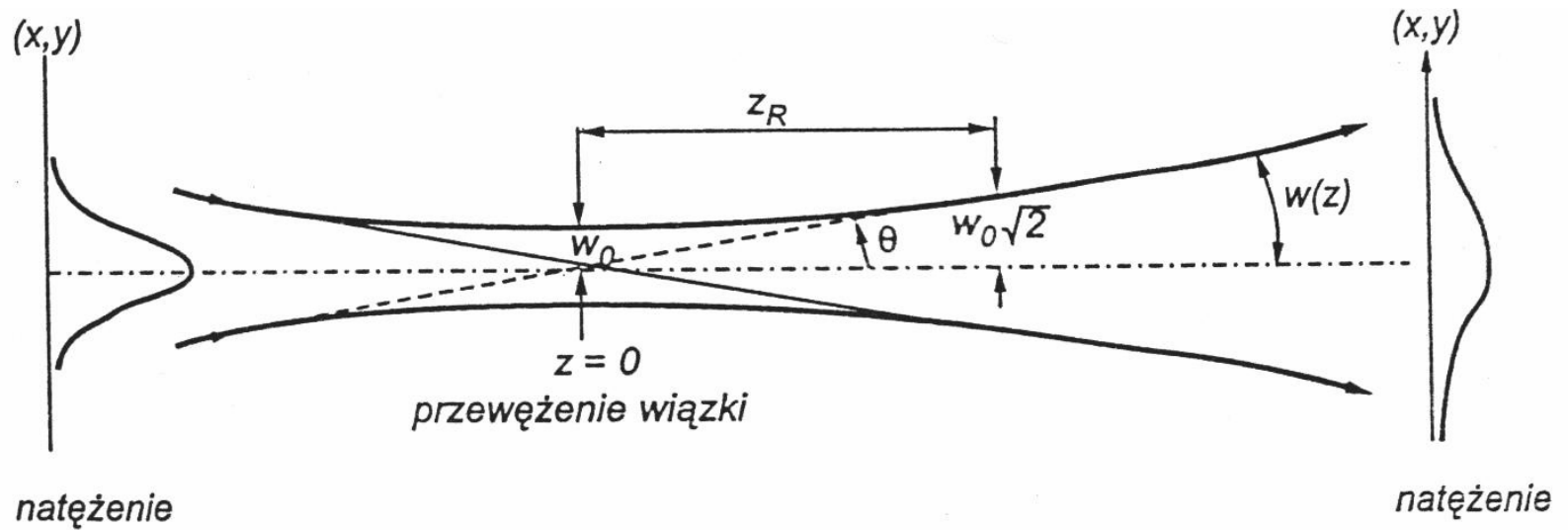
gdzie

$$\rho^2 = x^2 + y^2$$

$$w^2 = w_0^2 \left[ 1 + \left( \frac{\lambda z}{\pi w_0^2} \right)^2 \right]$$

$$R(z) = z \left[ 1 + \left( \frac{\pi w_0^2}{\lambda z} \right)^2 \right]$$

$$\phi(z) = \arctg\left( \frac{\lambda z}{\pi w_0^2} \right)$$



$$\theta = \frac{\lambda}{\pi w_0}$$

$$w(z) = w_0 \sqrt{1 + \frac{z^2}{z_R^2}}, \quad z_R = \frac{\pi w_0^2}{\lambda}$$

Wiązka gaussowska

# Rezonatory

- Otwarte typu Fabry-Perota (zwierciadlane)
- otwarte z periodyczną strukturą,
- falowodowe

- Stabilne
- niestabilne

- z falą stojącą
- z falą biegnącą

# Laser helowo-neonowy

Ośrodek aktywny: neon.

Hel pełni rolę pomocniczą w procesie pompowania. Atomy helu wzbudzone w wyniku zderzeń z elektronami przekazują energię ze swoich poziomów do górnych poziomów atomów neonu ułatwiając otrzymanie inwersji obsadzeń.

Akcja laserowa wzbudzana jest stałoprądowym wyładowaniem jarzeniowym.

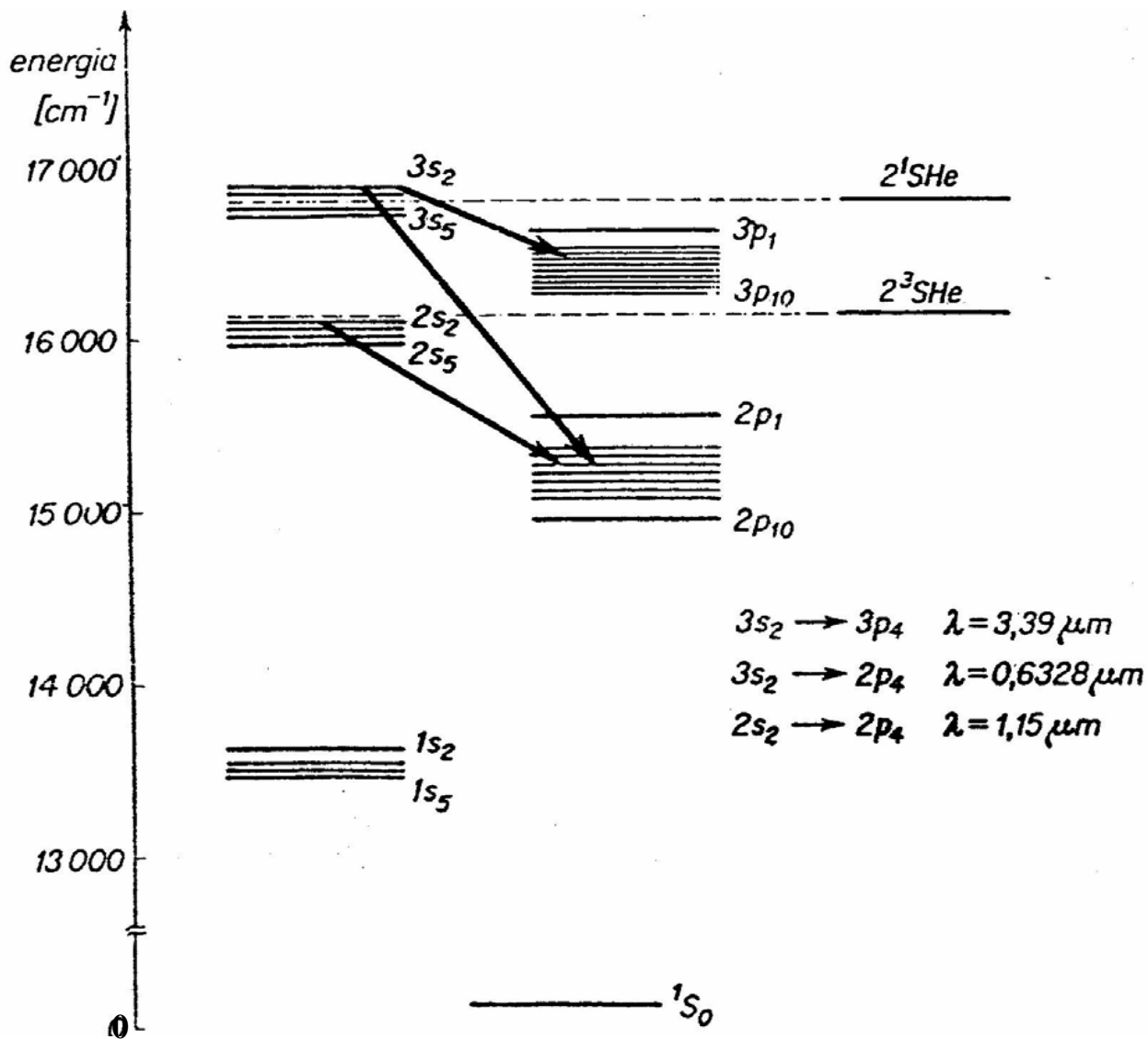
Najważniejsze długości fali emisji wymuszonej:

3.39  $\mu\text{m}$

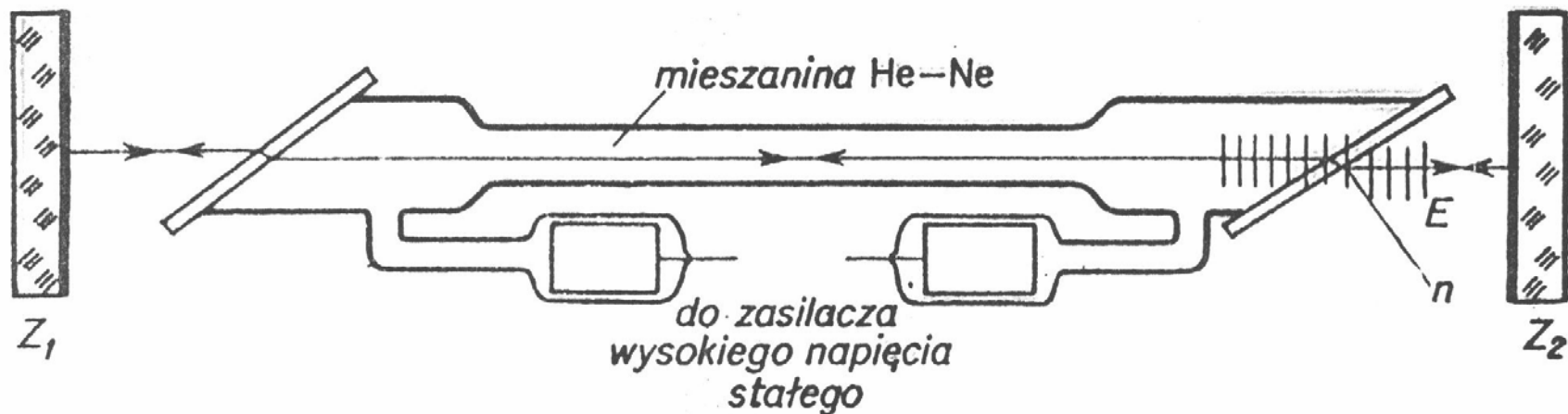
1.15  $\mu\text{m}$

0.633  $\mu\text{m}$





Schemat wybranych poziomów energetycznych neonu oraz koincydujących z nimi poziomów helu



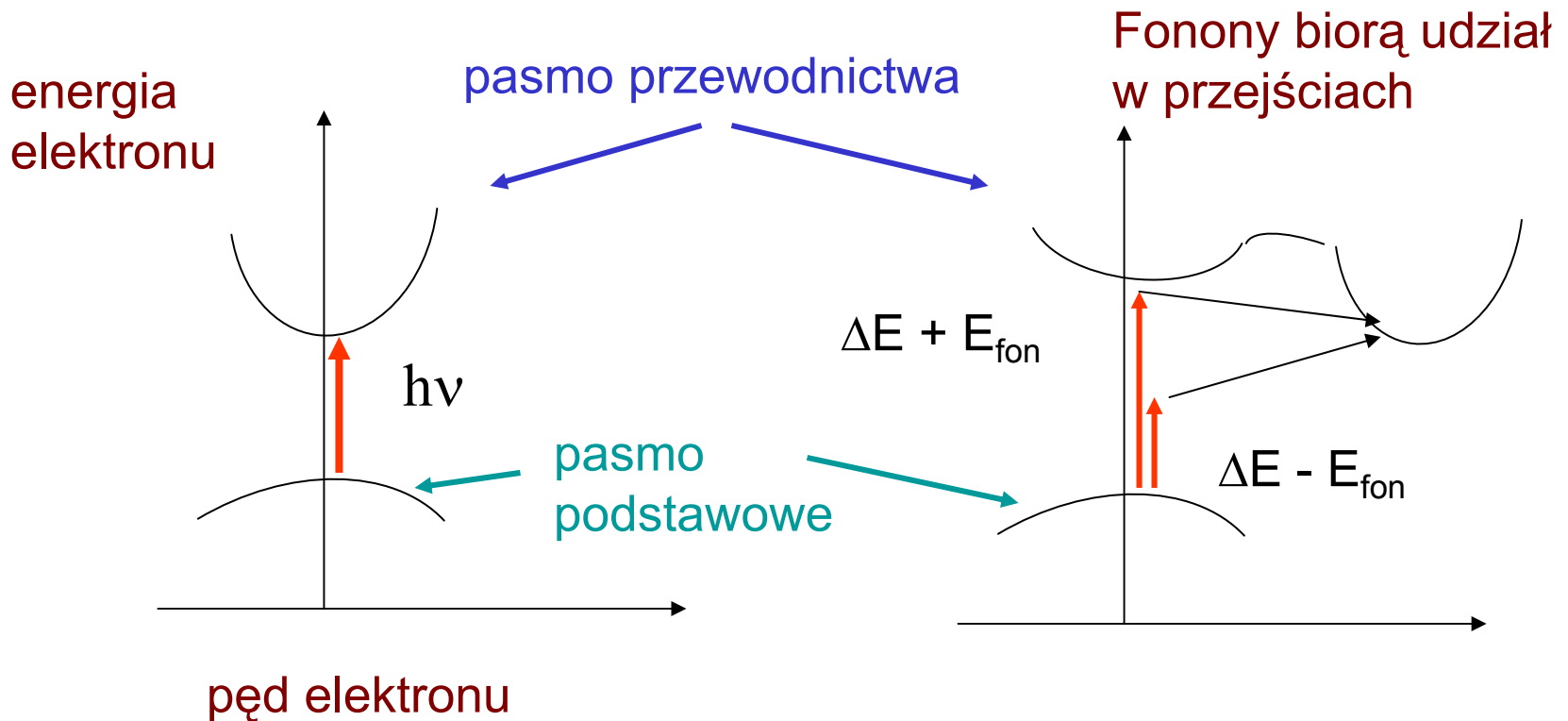
Rura wyładowcza lasera He-Ne zamknięta obustronnie płytkami brewsterowskimi i umieszczona pomiędzy zwierciadłami rezonatora

# Lasery półprzewodnikowe

Generację fotonów uzyskuje się w wyniku przejścia nadmiarowych elektronów z pasma przewodnictwa do pasma podstawowego. Jest to proces rekombinacji promienistej par elektron - dziura, zachodzący w półprzewodnikach o prostej przerwie wzbronionej. Inwersja obsadzeń otrzymywana jest w wyniku przepływu znacznego prądu przez złącze p-n spolaryzowane w kierunku przewodzenia. Dochodzenie do stanu równowagi w obszarze przyłączowym zachodzi poprzez intensywną rekombinację, której towarzyszy emisja fotonów.

Obszar aktywny ma większy współczynnik załamania niż obszary sąsiednie, powstaje w ten sposób falowód optyczny, co podnosi wydajność procesów emisji wymuszonej.

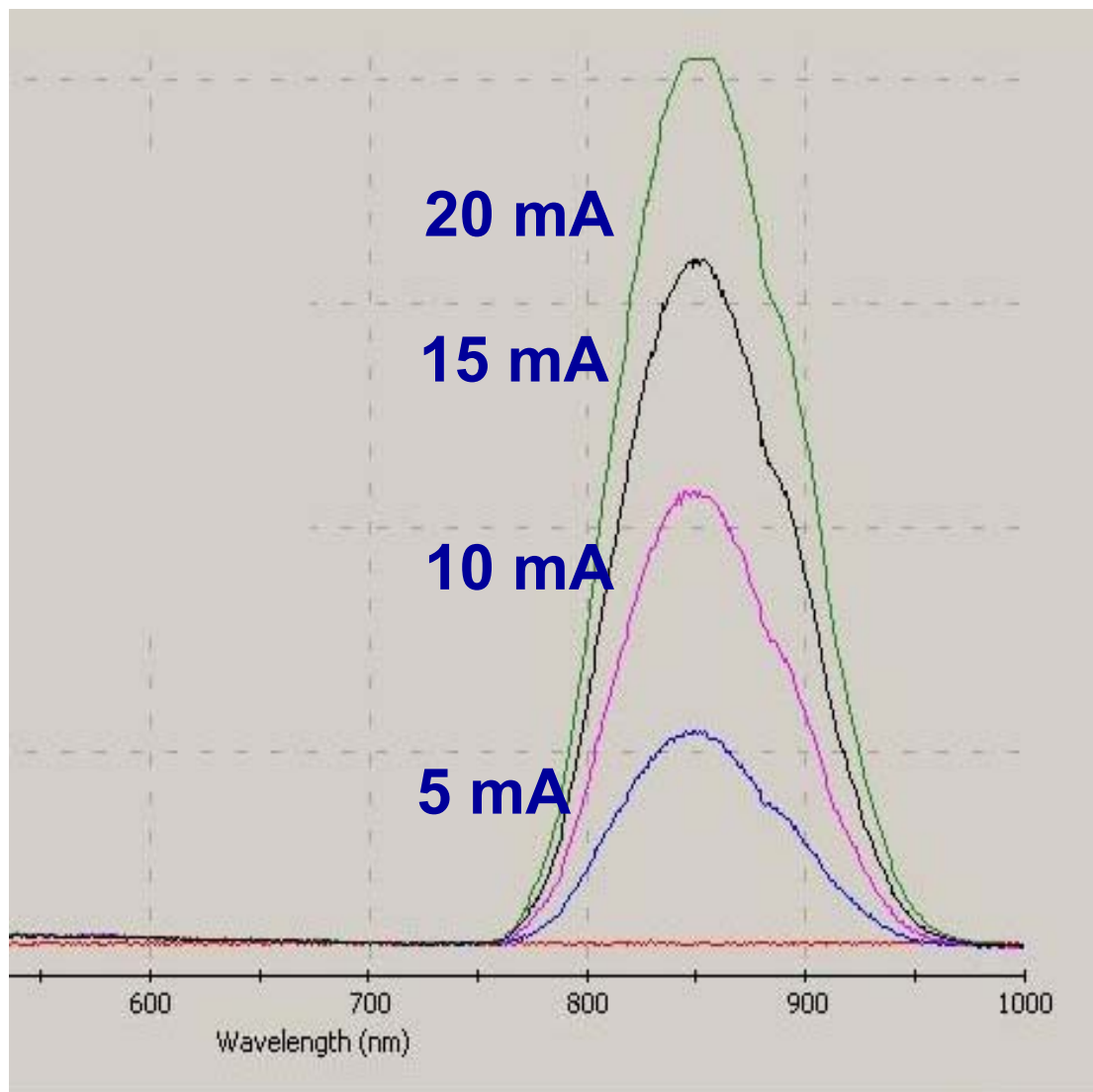
# Absorpcja w półprzewodnikach



Materiały o przejściach prostych - diody LED i lasery

Materiały o przejściach skośnych - detektory

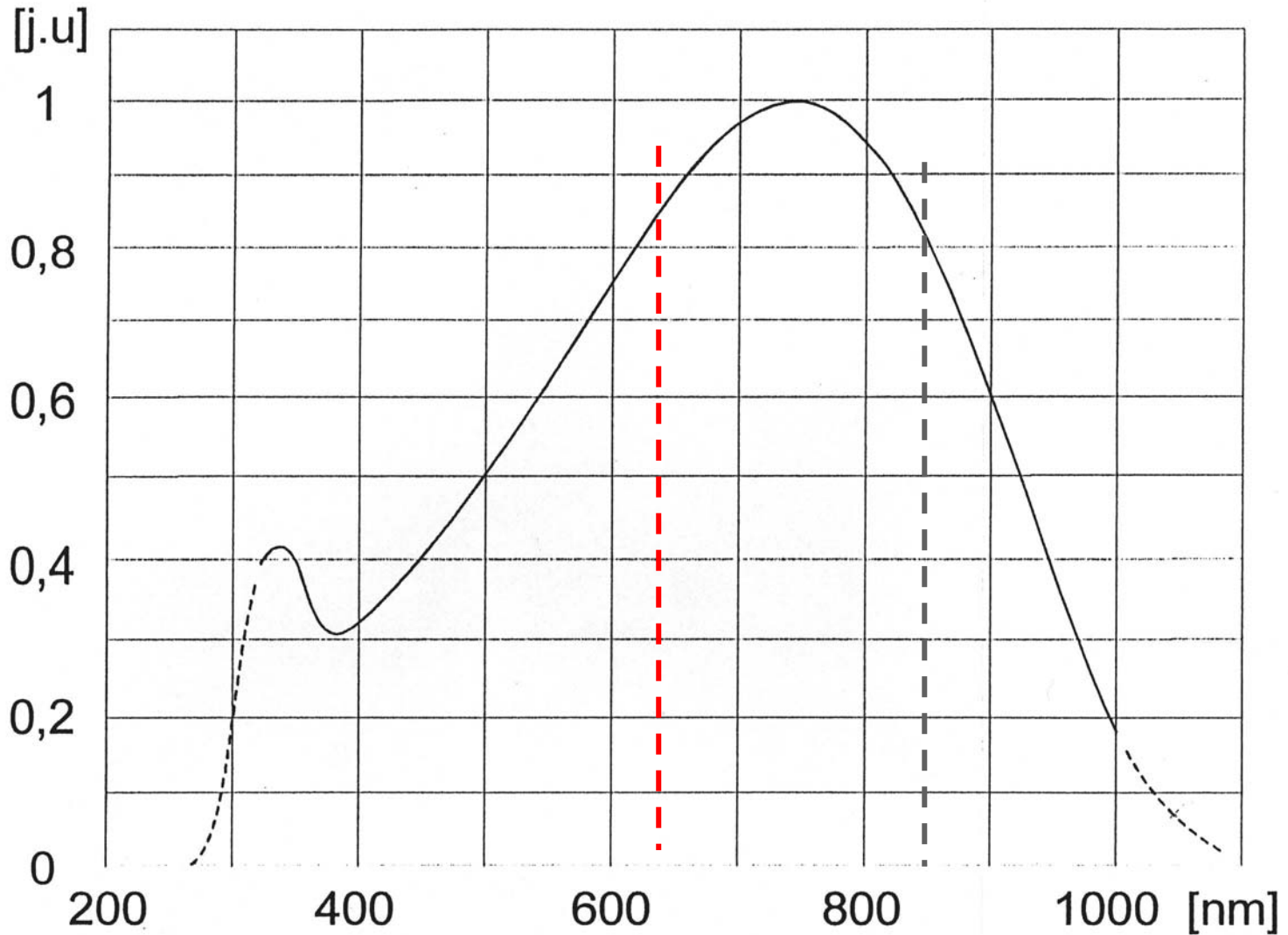
# Charakterystyki widmowe diody elektroluminescencyjnej w funkcji prądu I



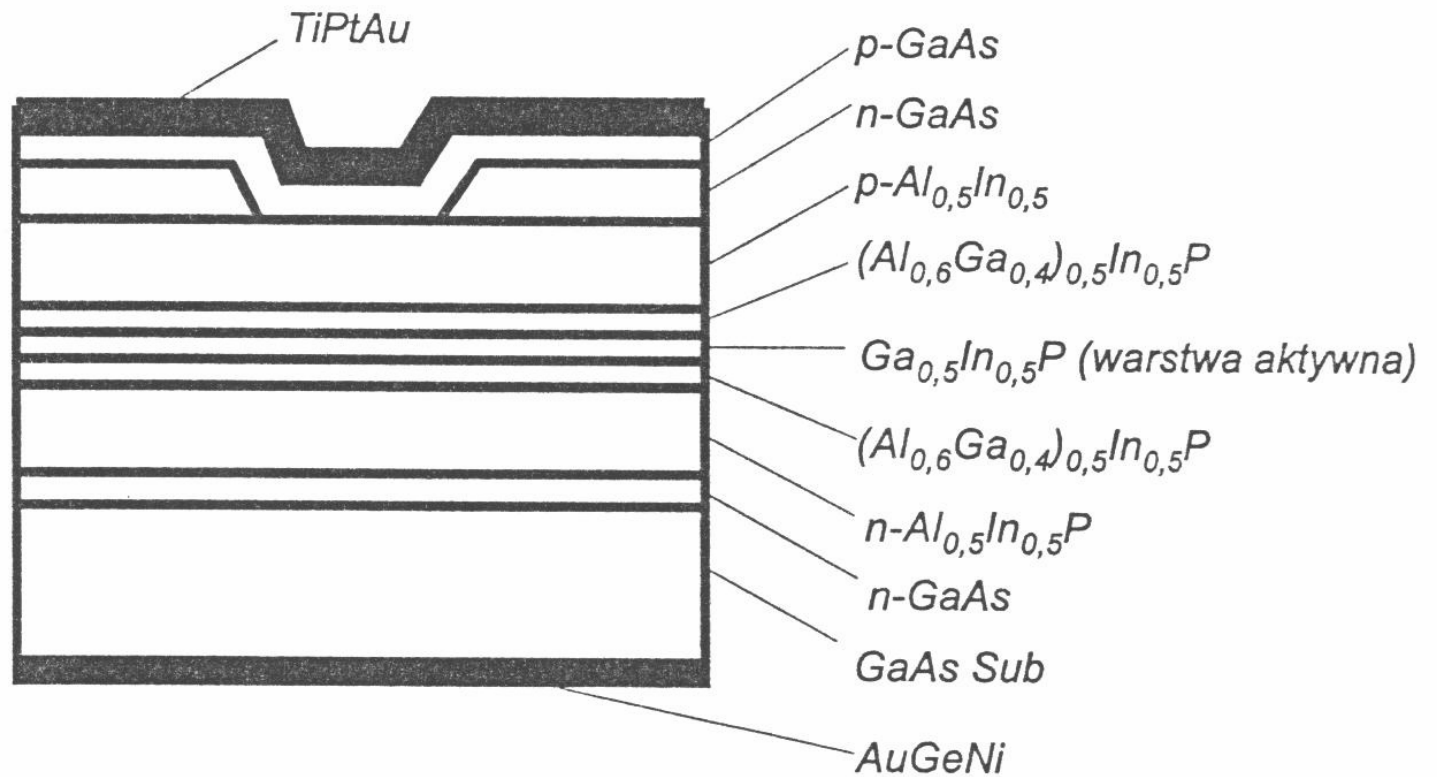
# Dane techniczne miernika mocy świetlnej MMP 780

- Zakres spektralny detektora: 320-1000 nm
- Typ detektora głowicy: S7911(Hamamatsu)
- Średnica detektora: 100  $\mu\text{m}$
- Powierzchnia detekcyjna: 0.078 mm<sup>2</sup>
- Czulość maksymalna detektora: 0.47 A/W
- Zakresy pomiarowe: 1  $\mu\text{W}$ , 10  $\mu\text{W}$ , 100  $\mu\text{W}$ , 1 mW

## Powierzchnia detektora 0.079 mm<sup>2</sup>



Charakterystyka spektralna detektora *miernika mocy*



Laser krawędziowy z heterostrukturą



# Literatura

- Robert Resnick, Dawid Halliday - Fizyka, PWN 1998
- Warszawa, Franciszek Karczmarek - Wstęp do fizyki laserów, Warszawa 1979, PWN
- Adam Kujawski, Paweł Szczepański - Lasery, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, 1999
- Bruno Crossignani, Giancarlo de Marchis, Andrzej Tadeusiak - Światłowody w telekomunikacji, Warszawa 1987, WKiŁ
- W. Karłow - Wykłady z fizyki laserów, Warszawa 1998, WNT