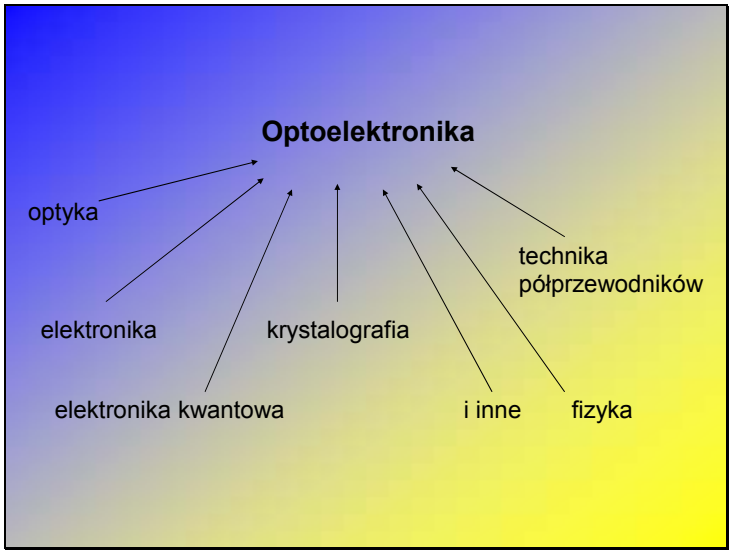
Slajd 1

OPTOELEKTRONIKA

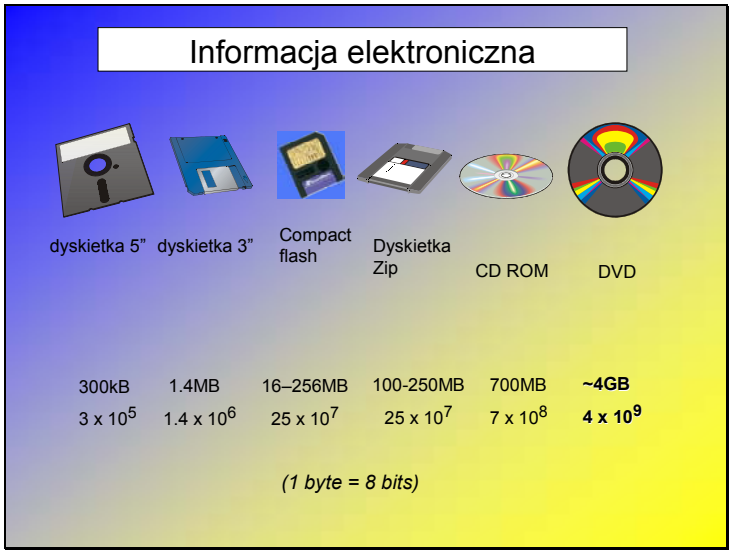
Optoelektronika obejmuje badania i zastosowania efektów wzajemnego oddziaływania światła z elektronami ośrodków, czyli efektów wykorzystywanych przy budowie urządzeń generujących, przekazujących, analizujących i przetwarzających informacje.

W matematycznych modelach mówi się o przekształceniach:
Elektron – światło (np. źródła światła)
Światło – światło (np. procesy transmisji światła)
Światło – elektron (np. fotoprzetworniki)
We współczesnej elektronice wykorzystywane są fale światła o długości z przedziału 200 nm do 50 um.

Slajd 2


Optoelektronika
optyka
elektronika
elektronika kwantowa
krystalografia
i inne
fizyka
technika
półprzewodników

Slajd 3

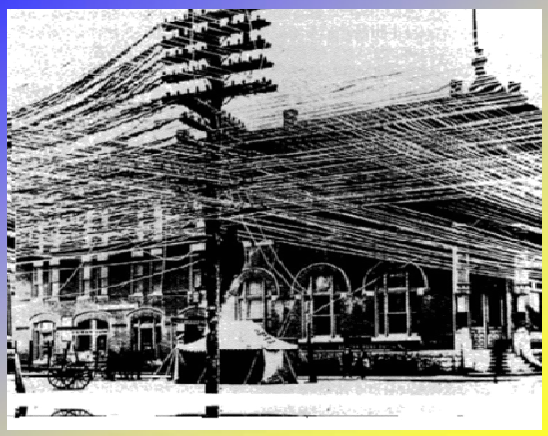

Informacja elektroniczna
dyskietka 5”
dyskietka 3”
Compact flash
Dyskietka Zip
CD ROM
DVD
300kB
1.4MB
16–256MB
100-250MB
700MB
~4GB
3 x 10^5
1.4 x 10^6
25 x 10^7
25 x 10^7
7 x 10^8
4 x 10^9
(1 byte = 8 bits)

Slajd 4

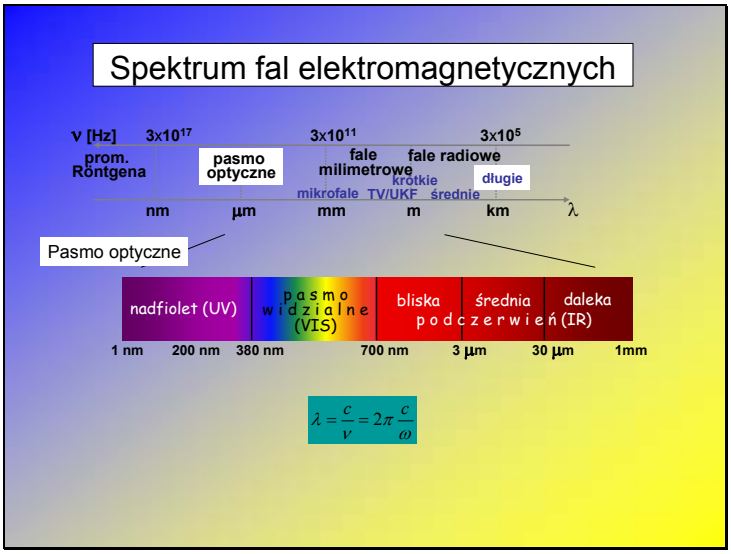
Szybkość przepływu informacji
1Hz ~ 1Bit/sec (lub troche więcej)
Telefon
~ 3kHz 3000
Modem
~ 56kHz 56000
Telewizja
~ 5MHz 5,000,000
Sieć lokalna
~ 100MHz 100,000,000
London
Tokyo
Podwodny kabel światłowodowy
~ 2.4Gb/s 2,400,000,000
Najbliższa przyszłość:
40Gb/s 40,000,000,000

Slajd 5

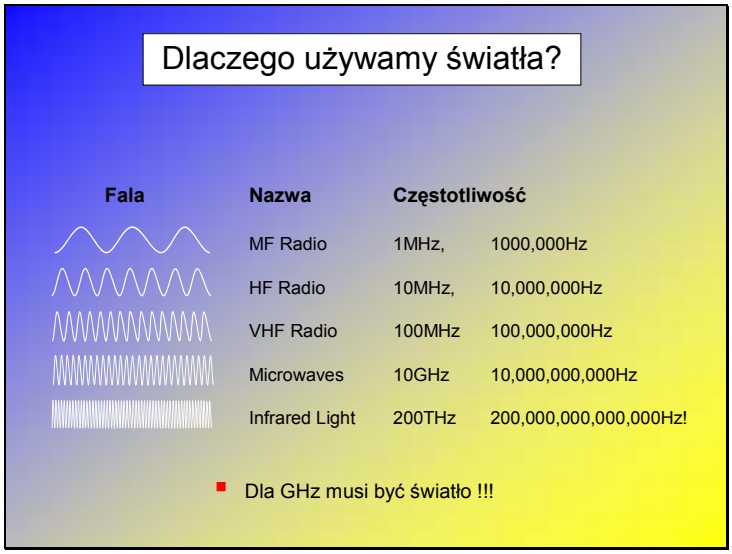
Gdyby nie multipleksacja



Slajd 6


Spektrum fal elektromagnetycznych
ν [Hz]
3x10^17
3x10^11
3x10^5
prom. Röntgena
pasmo optyczne
fale milimetrowe
fale radiowe
krótkie
długie
mikrofale
TV/UKF
średnie
nm
µm
mm
m
km
λ
Pasmo optyczne
nadfiolet (UV)
pasmo widzialne (VIS)
bliska
średnia
daleka
podczerwień (IR)
1 nm
200 nm
380 nm
700 nm
3 µm
30 µm
1mm
$\lambda = \frac{c}{\nu} = 2\pi \frac{c}{\omega}$

Slajd 7


Dlaczego używamy światła?
Fala
Nazwa
Częstotliwość
MF Radio
1MHz,
1000,000Hz
HF Radio
10MHz,
10,000,000Hz
VHF Radio
100MHz
100,000,000Hz
Microwaves
10GHz
10,000,000,000Hz
Infrared Light
200THz
200,000,000,000,000Hz!
Dla GHz musi być światło !!!

Slajd 8

Podstawowe pojęcia fotometrii

Długość fali decyduje o barwie, a intensywność o jaskrawości

Strumień świetlny **Φ** – liczba kwantów światła (fotonów), które w jednostce czasu przechodzą przez powierzchnię **F** - *lumen* [lm]

Dla punktowego źródła światła zdefiniowano kąt bryłowy
Ω= powierzchnia kuli / (promień)^2, *steradian* [sr]

Światłość (mówi o jaskrawości) **I=dΦ/dΩ**, kandela [cd=lm/sr]
Czyli źródło światła ma światłość 1 cd jeżeli emituje strumień świetlny równy 1 lm przez powierzchnię widzianą pod kątem 1 sr.

Jasność świetlenia powierzchni **F** jest natężenie oświetlenia
E=d**Φ/dF**$_n$, lux [lx=lm/m^2]

Slajd 9

Przykładowe wartości:

0,1..0,2 lx – natężenie przy pełni księżyca

0,2..2 lx – można czytać gazetę

500..1000 lx – zalecane natężenie oświetlenia miejsca do pisania

50 000 lx – światło dzienne

Sprawność żarówki:
Znamionowa moc P=10 W = około 10 cd światłości. Czyli wypromieniowuje pod kątem bryłowym strumień świetlny Φ=4 pi [sr] * 10 [cd] = 126 [lm] odpowiada to mocy świetlnej P_L=0,185 W przy długości fali λ=555 nm. Czyli żarówka ma sprawność $\eta=P_L/P$=2%

Slajd 10

Parametry fali elektromagnetycznej podlegające modulacji

Eo - amplituda
Φ - faza
P - polaryzacja
λ (ω) - długość fali (częstotliwość)

Slajd 11

Elementy optoelektroniczne

Źródła światła	Detektory światła	Wyświetlacze
Lasery:	Detektory termiczne:	Plazmowe
gazowe	piroelektryczne	Elektroluminescencyjne
cieczowe	inne	Katodoluminescencyjne
na ciele stałym	Detektory fotonowe	Ciekłokrystaliczne
na swobodnych elektronach	fotopowielacze	Trójwymiarowe
półprzewodnikowe	fotodiody p-n i fotoogniwa	
światłowodowe	fotodiody p-i-n	
Diody elektroluminescencyjne	fotodiody lawinowe	
	diody Schottky'ego	
	fotorezystory	
	fototranzystory	
	transoptory	
	oko	

Slajd 12

Diody elektroluminescencyjne

Dioda elektroluminescencyjna (LED), dioda półprzewodnikowa złączowa (ze złączem p–n), emitująca promieniowanie elektromagnetyczne w wyniku zamiany energii nośników prądu (elektronów, dziur) na energię promieniowania (fotonów) w procesie rekombinacji promienistej. Emisja promieniowania następuje podczas przepływu prądu przez diodę polaryzowaną w **kierunku przewodzenia**. Natężenie, a także światłość i moc promieniowania DEL są w szerokim zakresie wprost proporcjonalne do wartości tego prądu, natomiast długość fali promieniowania zależy od rodzaju (w tym składu, domieszek) półprzewodnika.

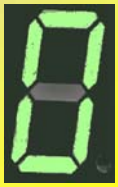
Slajd 13

Obecnie są produkowane diody świecące o barwie czerwonej, pomarańczowej, żółtej, zielonej, a nawet niebieskiej, oraz diody pracujące w podczerwieni. DEL są stosowane we wskaźnikach optoelektronicznych , w układach automatyki przemysłowej, czytnikach taśm perforowanych, przetwornikach kodowych itp.

Slajd 14

Dioda LED z elektrycznego punktu widzenia pełni taką samą rolę jak zwykła dioda.
Przy polaryzacji w kierunku przewodzenia oraz przepływie prądu o wartości kilkunastu mA dioda świeci.

Wyświetlacz LED
•Kilka diod połączonych wspólną katodą lub anodą może stanowić wyświetlacz
•Przy wielu segmentach może być konieczne zastosowanie dodatkowych układów wzmacniających wydajność prądową

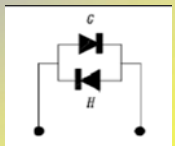


Slajd 15

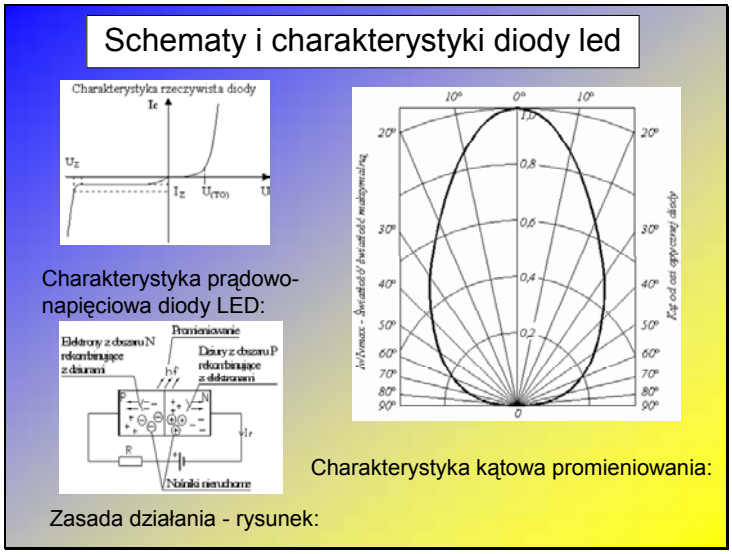
LED -parametry

- Długość fali emitowanego promieniowania
- Natężenie światła
- Prąd przewodzenia (typowy, maksymalny)
- Kąt świecenia
- Napięcie przewodzenia

Połączenie dwóch diod LED przeciwsobnie pozwala na uzyskanie diody dwukolorowej
W zależności od kierunku przepływu prądu dioda świeci na różny kolor



Slajd 16

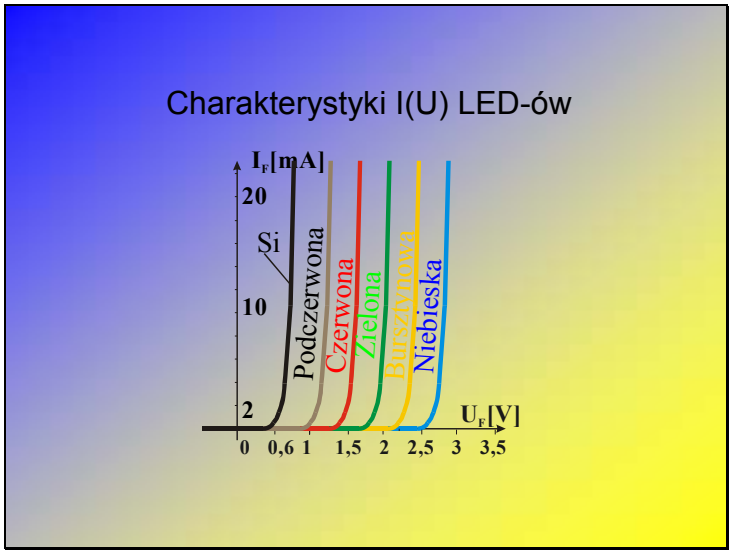

Schematy i charakterystyki diody led
Charakterystyka rzeczywista diody
Charakterystyka prądowo-napięciowa diody LED:
Charakterystyka kątowa promieniowania:
Zasada działania - rysunek:

Slajd 17

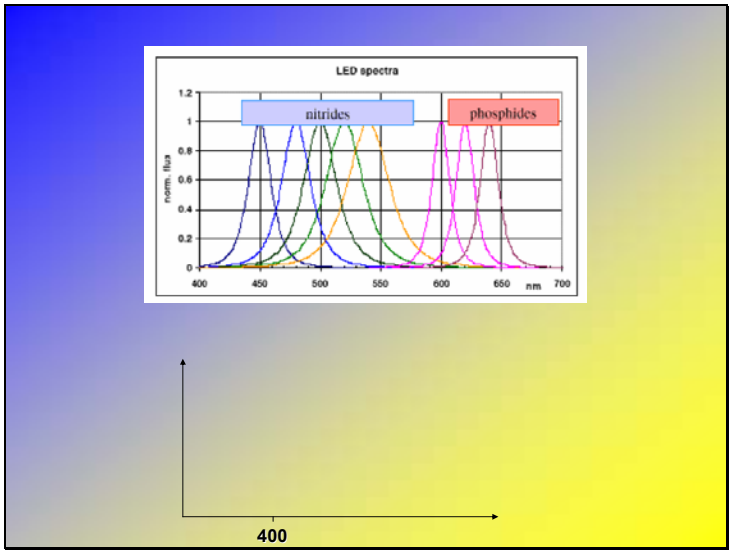
Zalety diod elektroluminescencyjnych:

- mały pobór prądu
- mała wartość napięcia zasilającego
- duża sprawność
- mała moc strat
- małe rozmiary
- duża trwałość
- duża wartość luminacji

Slajd 18


Charakterystyki I(U) LED-ów
I_F[mA]
20
10
2
Si
Podczerwona
Czerwona
Zielona
Bursztynowa
Niebieska
U_F[V]
0
0,6
1
1,5
2
2,5
3
3,5

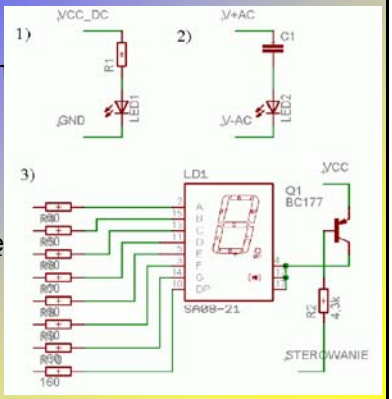
Slajd 19


LED spectra
nitrides
phosphides
norm. flux
1.2
1
0.8
0.6
0.4
0.2
0
400
450
500
550
600
650
nm
700
400

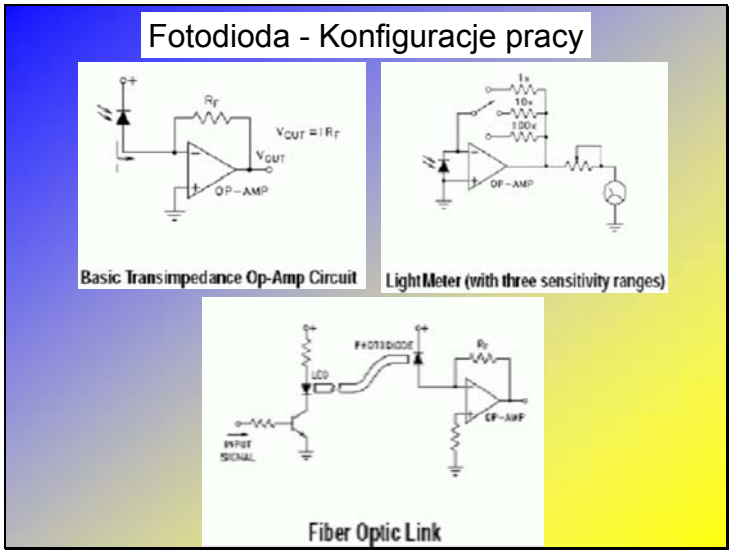
Slajd 20

LED –konfiguracje pracy

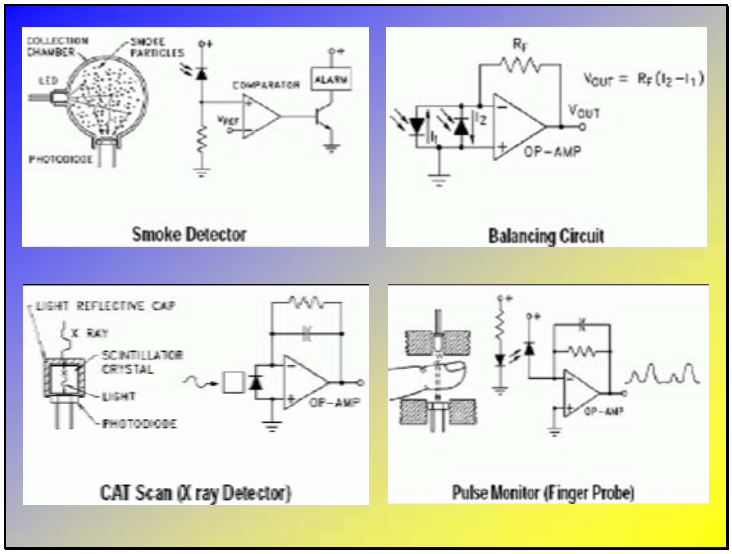
1) sygnalizator włączenia zasilania przy napięciu stałym
2) sygnalizator włączenia zasilania przy napięciu zmiennym (jeśli amplituda napięcia przekracza napięcie wsteczne LED, należy zastosować dodatkową diodę prostowniczą)
3) sterowanie wyświetlaczem LED –pin sterowanie uaktywnia wyświetlacz, piny A,B,C… odpowiadają za kolejne segmenty (oba aktywne ‘0’)



Slajd 21


Fotodioda - Konfiguracje pracy
Rf
VOUT = I Rf
VOUT
OP-AMP
Basic Transimpedance Op-Amp Circuit
1x
10x
100x
OP-AMP
Light Meter (with three sensitivity ranges)
PHOTODIODE
LED
Rf
OP-AMP
INPUT SIGNAL
Fiber Optic Link

Slajd 22


COLLECTION CHAMBER
SMOKE PARTICLES
LED
PHOTODIODE
COMPARATOR
ALARM
Smoke Detector
R_F
$V_{OUT} = R_F(I_2 - I_1)$
V_{OUT}
OP-AMP
Balancing Circuit
LIGHT REFLECTIVE CAP
X RAY
SCINTILLATOR CRYSTAL
LIGHT
PHOTODIODE
OP-AMP
CAT Scan (X ray Detector)
OP-AMP
Pulse Monitor (Finger Probe)

Slajd 23

Właściwości	LED	Diody laserowe	Diody laserowe jednomodowe
Szerokość widmowa [nm]	20-100	1-5	<0,2
Czas narostu [ns]	2-250	0,1-1	0,05-1
Pasmo modulacji [MHz]	<300	2000	6000
Sprawność sprzęgania[1)]	bardzo mała	średnia	duża
Pasujące włókno	wielomodowe SI[2)] wielomodowe GRIN[3)]	wielomodowe GRIN jednomodowe	jednomodowe
Czułość temperaturowa	mała	duża	duża
Złożoność obwodu	prosty	złożony	złożony
Czas życia [h]	10^5	10^4-10^5	10^4-10^5
Koszt	mały	duży	największy
Główne zastosowania	linie średniej długości, średnie szybkości transmisji danych	długie linie, duże szybkości transmisji danych	bardzo długie linie, bardzo duże szybkości transmisji danych

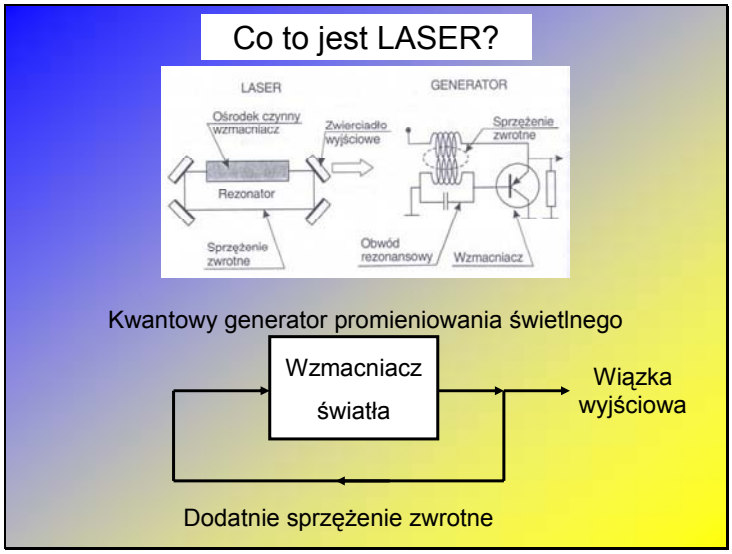
Slajd 24

LASERY

Light ***Amplification*** by Stimulated Emission of Radiation

1. **LASERY GAZOWE**
   - LASERY ATOMOWE
   - LASERY JONOWE
   - LASERY MOLEKULARNE
   - LASERY EKSCYMEROWE
2. **LASERY NA CIELE STAŁYM**
   - LASERY POMPOWANE LAMPAMI WYŁADOWCZYMI
   - LASERY POMPOWANE LASERAMI PÓŁPRZEWODNIKOWYMI !!!
   - LASERY ŚWIATŁOWODOWE !!!
3. **LASERY PÓŁPRZEWODNIKOWE !!!**
4. **LASERY BARWNIKOWE**
5. **LASERY NA SWOBODNYCH ELEKTRONACH**
6. **LASERY CHEMICZNE**

Slajd 25


Co to jest LASER?
LASER
GENERATOR
Ośrodek czynny
wzmacniacz
Zwierciadło
wyjściowe
Sprzężenie
zwrotne
Rezonator
Sprzężenie
zwrotne
Obwód
rezonansowy
Wzmacniacz
Kwantowy generator promieniowania świetlnego
Wzmacniacz
światła
Wiązka
wyjściowa
Dodatnie sprzężenie zwrotne

Slajd 26

Cechy promieniowania laserowego

Duża gęstość energii

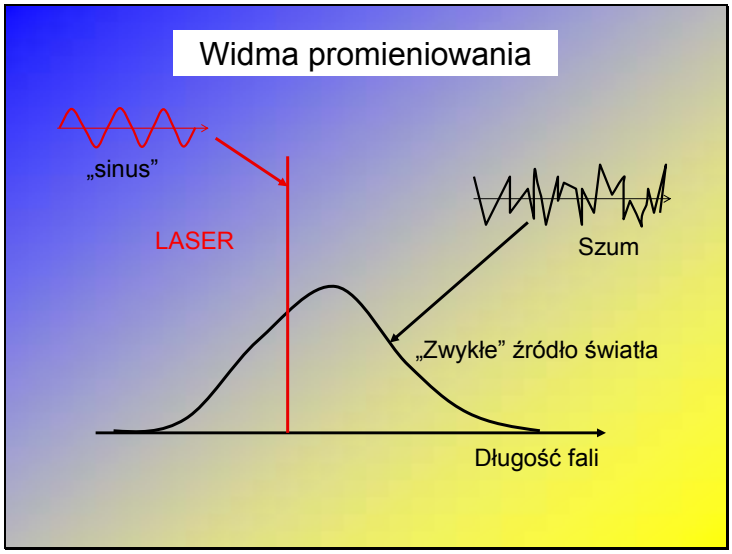
Wąskie widmo (monochromatyczność)

Dobra jakość wiązki (quasi-równoległa)

Koherencja - czasowa

- przestrzenna

Slajd 27


Widma promieniowania
„sinus”
LASER
Szum
„Zwykłe” źródło światła
Długość fali

Slajd 28

Koherencja

Koherencja – zdolność fali do interferencji z samą sobą - spójność

Czasowa – stabilność fazy w czasie

Przestrzenna – stabilność frontu falowego w czasie

Slajd 29

Pompowanie ośrodka wzmacniającego

Pompowanie jest wzbudzaniem atomów, cząsteczek umożliwiającym uzyskanie inwersji obsadzeń.

Sposoby pompowania:

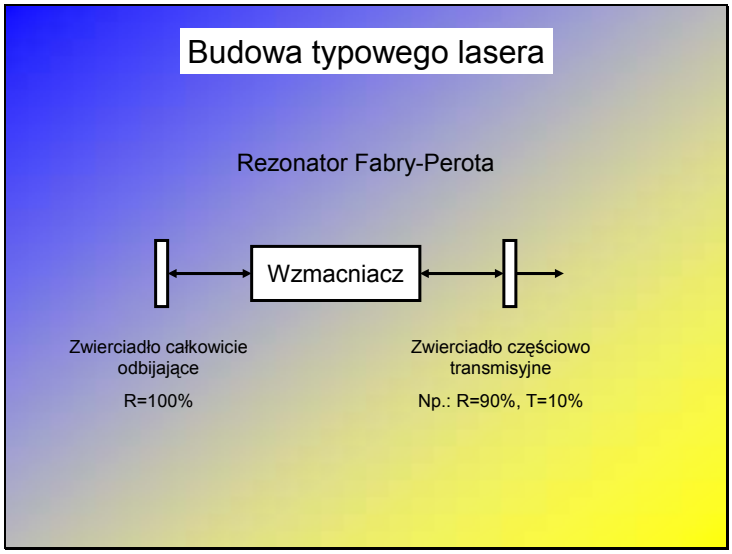
Elektryczne – zderzenia z elektronami podczas wyładowania

Optyczne – oświetlenie ośrodka promieniowaniem o odpowiedniej długości fali

Elektryczne – wstrzykiwanie nośników mniejszościowych w obszar złącza półprzewodnikowego

Reakcje chemiczne, rozprężanie adiabatyczne....

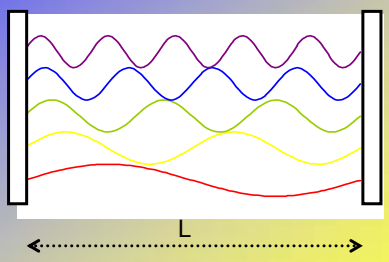
Slajd 30


Budowa typowego lasera
Rezonator Fabry-Perota
Wzmacniacz
Zwierciadło całkowicie odbijające
R=100%
Zwierciadło częściowo transmisyjne
Np.: R=90%, T=10%

Slajd 31

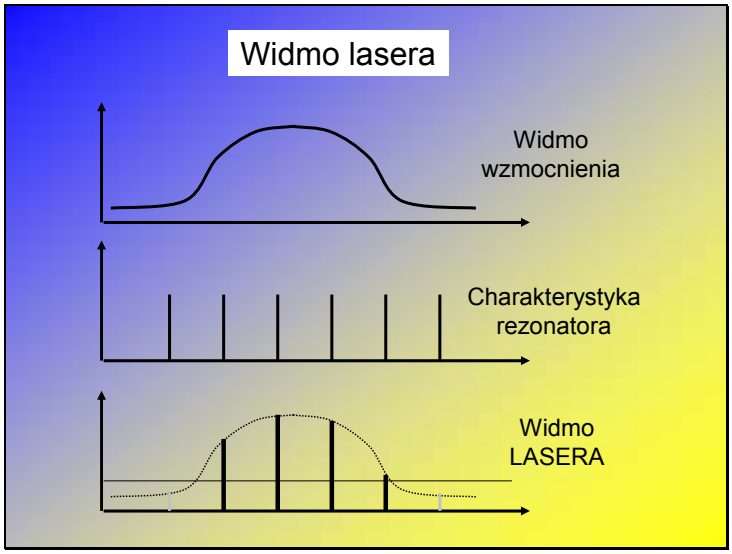
Rezonator Fabry-Perota

Rezonator taki stanowi dodatnie sprzężenie zwrotne w laserze tylko dla określonych długości fali – w rezonansie.

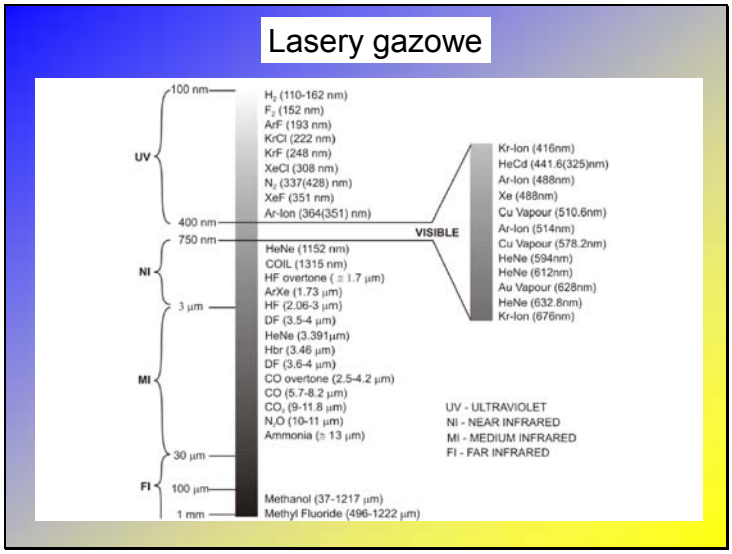


Warunek rezonansu: $L=n*\lambda/2$

Slajd 32


Widmo lasera
Widmo
wzmocnienia
Charakterystyka
rezonatora
Widmo
LASERA

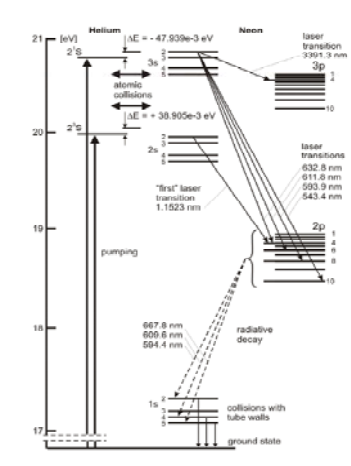
Slajd 33


Lasery gazowe
100 nm
UV
400 nm
750 nm
NI
3 μm
MI
30 μm
FI
100 μm
1 mm
H2 (110-162 nm)
F2 (152 nm)
ArF (193 nm)
KrCl (222 nm)
KrF (248 nm)
XeCl (308 nm)
N2 (337(428) nm)
XeF (351 nm)
Ar-Ion (364(351) nm)
HeNe (1152 nm)
COIL (1315 nm)
HF overtone (≅ 1.7 μm)
ArXe (1.73 μm)
HF (2.06-3 μm)
DF (3.5-4 μm)
HeNe (3.391μm)
Hbr (3.46 μm)
DF (3.6-4 μm)
CO overtone (2.5-4.2 μm)
CO (5.7-8.2 μm)
CO2 (9-11.8 μm)
N2O (10-11 μm)
Ammonia (≅ 13 μm)
Methanol (37-1217 μm)
Methyl Fluoride (496-1222 μm)
VISIBLE
Kr-Ion (416nm)
HeCd (441.6(325)nm)
Ar-Ion (488nm)
Xe (488nm)
Cu Vapour (510.6nm)
Ar-Ion (514nm)
Cu Vapour (578.2nm)
HeNe (594nm)
HeNe (612nm)
Au Vapour (628nm)
HeNe (632.8nm)
Kr-Ion (676nm)
UV - ULTRAVIOLET
NI - NEAR INFRARED
MI - MEDIUM INFRARED
FI - FAR INFRARED

Slajd 34

Lasery He-Ne

Typowa rura lasera He-Ne:
- Wypełniona He i Ne w stosunku 5:1 do 20:1
- Ciśnienie – dziesiąte części kPa
- Długość – 0d 10cm do 100cm
- Średnica – 2mm – 8mm
- Typowy prąd przy wyładowaniu ciągłym arzeniowym od 5 do 100 mA
- Rezonatory wewnętrzne i zewnętrzne
- Emitowane światło jest spolaryzowane liniowo



Slajd 35

Lasery He-Ne

- Ok. 30 linii emisyjnych (od 593,9 nm do 3,39 μm)
- Szeroko stosowane ze względu na:
- Łatwość obsługi
- Prostota konstrukcji
- Niezawodność działania.
- Typowe parametry:
- Najczęściej wykorzystywana długość fali 632,82 nm
- Moc – 0,5 – 50 mW
- Średnica wiązki – 0,5 – 2,0 mm
- Rozbieżność wiązki – 0,5 – 2 mrad
- Stabilność – 5%/h
- Długość koherencji – od 0,1 m do kilku m,
- Trwałość – do 20 000h
- Sprawność na ogół nie przekracza 0,1%

Slajd 36

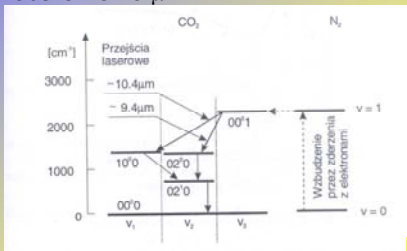
Lasery molekularne

Cząsteczki charakteryzują się większą różnorodnością poziomów energetycznych niż atomy.
Poprzez wzbudzanie cząsteczek do wyższych poziomów elektronowych uzyskuje się akcje laserowe nawet w obszarze UV. Podczerwień i daleka podczerwień jest dostępna dzięki przejściom między stanami oscylacyjno-rotacyjnymi w cząsteczkach.

Slajd 37

Lasery CO_2

Ogromna wydajność (jak na laser gazowy) – ok. 40%).
Możliwe linie emisyjne ok. 9,4 μm i 10,4 μm.
Z rury o długości 1 m uzyskuje się moc 50 W.
Zastosowanie przepływu gazów pozwoliło uzyskać 1 kW
Przy pracy impulsowej można uzyskać wzrost mocy do 1MW.
Przy wysokich ciśnieniach – strojenie w zakresie kilku mikrometrów w obszarze 10 μm.



Slajd 38

Lasery ekscymerowe

Lasery ekscymerowe należą do klasy laserów emitujących w UV. Ośrodkiem aktywnym są cząsteczki będące stabilne wyłącznie w stanach wzbudzonych (ekscymery – w skład cząsteczki wchodzą atomy tego samego pierwiastka, ekscypleksy – atomy różnych pierwiastków).
Wykorzystywane pierwiastki – gazy szlachetne – He, Ar, Ne, Kr, Xe.
Przykładowe długości fali – $\Delta\lambda$ = 5nm, λ_{max} = 172,5 nm – laser ksenonowy
λ= 193 nm - laser ArF – jedna z najkrótszej długości fal możliwych do uzyskania i to z dużą wydajnością energetyczną.
Pompowanie: wysokoenergetyczną wiązką elektronów lub wysokoprądowym wyładowaniem elektrycznym.

Slajd 39

Lasery cieczowe

Lasery barwnikowe – ośrodek czynny – roztwór organicznych związków nieorganicznych.
Pasmo absorpcji – 200 nm – 1000 nm.
Szerokie pasmo emisji – dowolna długość fali laserowej od ultrafioletu do bliskiej podczerwieni (przy zmianie barwników) w sposób ciągły, np. Rodamina 6G emituje w zakresie od 540 nm do 620 nm.
Efektywne źródła piko i femtosekundowych impulsów.

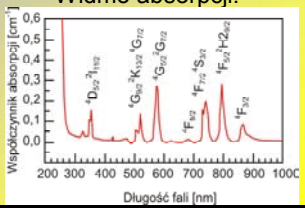
Slajd 40

Lasery na ciele stałym

Laser tytanowo-szafirowy (Ti:Al2O3):
Ośrodek czynny – kryształ korundu Al2O3 domieszkowany TiO3 w stężeniu około 1%
Pompowanie optyczne
Zakres emisji od 350 nm do 110 nm z przerwą między 500 nm, a 700 nm.

Laser Neodymowy:
Ośrodek czynny – kryształ YAG Y3Al5O12 domieszkowany Nd
Pompowanie optyczne
Zakres emisji 1,06415 μm i 1,059 μm (dla Nd:szkło)
Stosowane jako domieszka w światłowodach

Widmo absorpcji:



Slajd 41

Lasery półprzewodnikowe

Krzem nie ma znaczenia - przerwa energetyczna skośna - nie świeci w normalnych warunkach

Główną grupę półprzewodników używanych do budowy laserów półprzewodnikowych stanowią związki $\mathbf{A_{III}B_V}$

A – Ind Gal Glin; In, Ga, Al (gr. III okładu okresowego)

B – Arsen Fosfor Azot; As, P, N (gr. V okładu okresowego)

Szerokość przerwy zabronionej określa energię generowanego fotonu

Slajd 42

Typowe materiały

materiał	λ[μm]
AlGaInP	0.65-0.68
$Ga_{0.5}In_{0.5}P$	0.67
$Ga_{1-x}Al_xAs$	0.62-.090
GaAs	0.90
$In_{0.2}Ga_{0.8}As$	0.98
$In_{1-x}Ga_xAs_yP_{1-y}$	1.10-1.65
$In_{0.73}Ga_{0.23}As_{0.58}P_{0.42}$	1.31
$In_{0.58}Ga_{0.42}As_{0.9}P_{0.1}$	1.55

GaN – 350-450nm

$$\lambda[\mu m] = \frac{1{,}24}{E_g[eV]}$$

Slajd 43

Podstawowy typ laserów w optoelektronice, bo:
Łatwość modulacji natężenia promieniowania,
Niewielkie napięcie zasilania,
małe wymiary,
Duże moce wyjściowe

Wady:
Trudności w zbudowaniu laserów świecących w przedziale widzialnym od niebieskiego do zielonego.

Slajd 44

RezonatoryDBR – zwierciadła Bragga

Rezonatory:

Odbicie Fresnela:

$$R = \frac{(n_1 - n_2)^2}{(n_1 + n_2)^2}$$

gdzie:

n_1 – współczynnik załamania warstwy 1,
n_2 – współczynnik załamania warstwy 2.

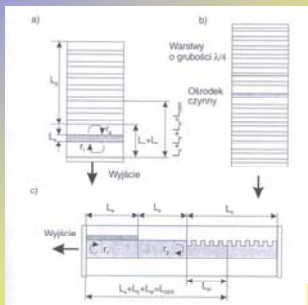
Jeżeli: $n_1 = 1{,}45$
$n_2 = 1{,}50$

to: *R=0,03 %*

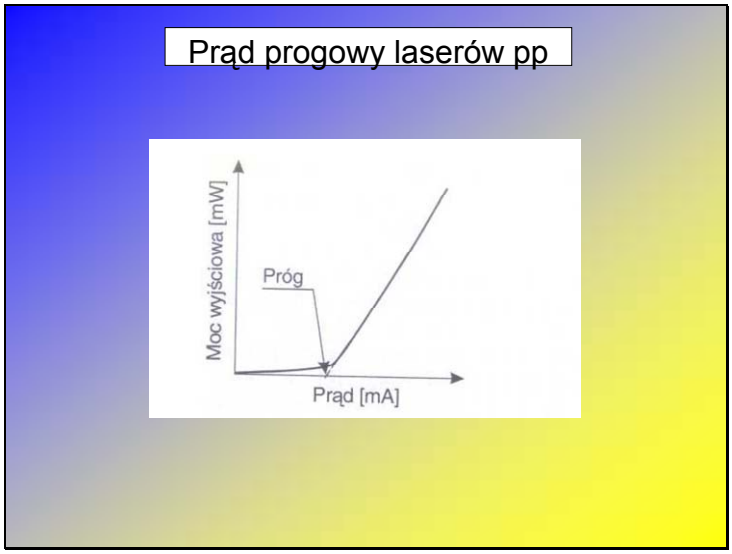
Pomiędzy powietrzem (n=1), a GaAs (n=3,6)

R=0,32%

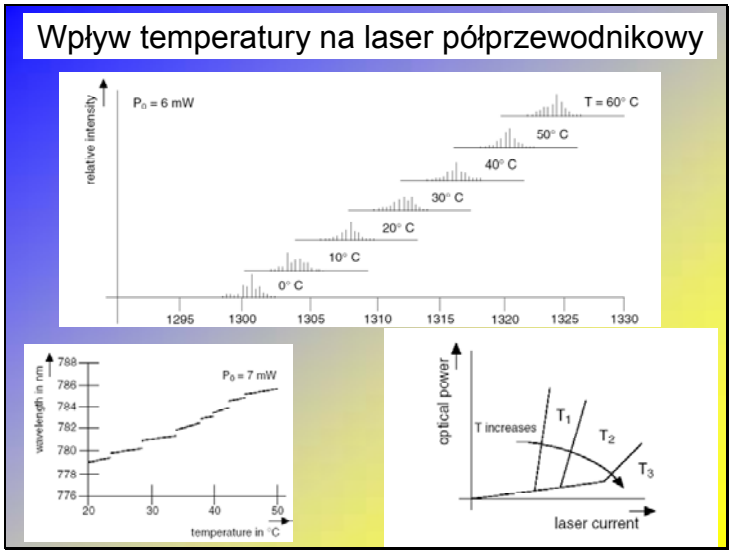
DBR – zwierciadła Bragga



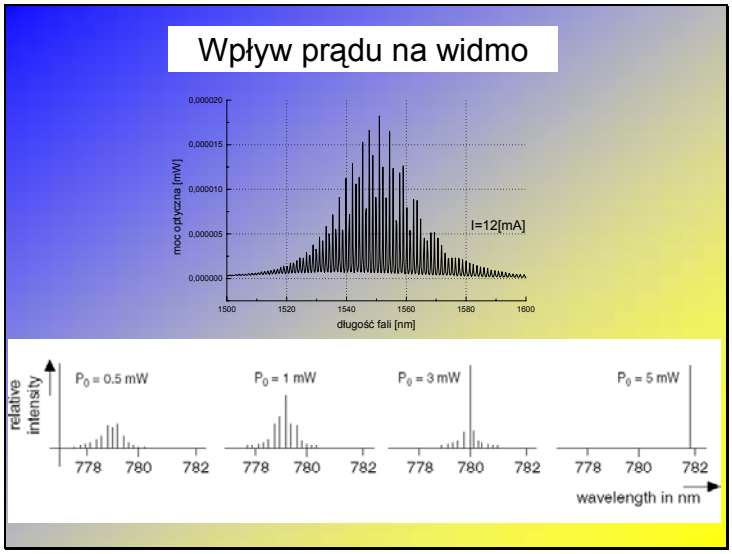
Slajd 45



Slajd 46

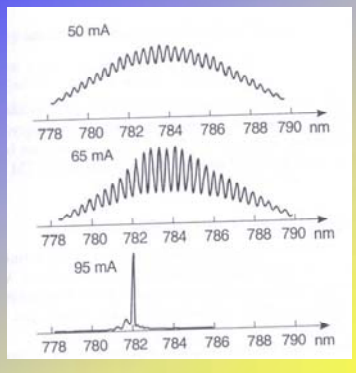

Wpływ temperatury na laser półprzewodnikowy
relative intensity
P0 = 6 mW
T = 60° C
50° C
40° C
30° C
20° C
10° C
0° C
1295
1300
1305
1310
1315
1320
1325
1330
wavelength in nm
P0 = 7 mW
788
786
784
782
780
778
776
20
30
40
50
temperature in °C
optical power
T increases
T1
T2
T3
laser current

Slajd 47


Wpływ prądu na widmo
moc optyczna [mW]
0,000020
0,000015
0,000010
0,000005
0,000000
I=12[mA]
1500
1520
1540
1560
1580
1600
długość fali [nm]
relative intensity
P0 = 0.5 mW
P0 = 1 mW
P0 = 3 mW
P0 = 5 mW
778
780
782
wavelength in nm

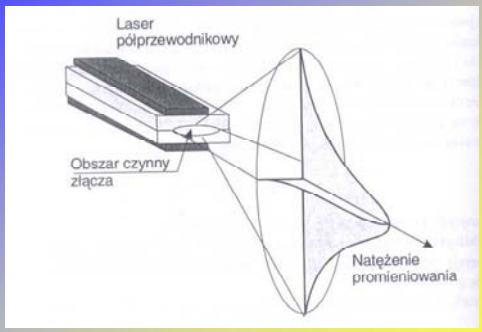
Slajd 48

Widmo emisji laserów pp



Slajd 49

Rozkład przestrzenny promieniowania



Slajd 50

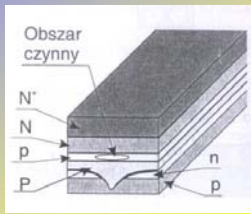
Typy laserów pp

Diody – homozłaczowe

Homozłącze – złącze p-n wykonane z jednego rodzaju półprzewodnika

Znacznie mniejszy prąd progowy, wykonane z materiałów typu: GaAs i $Al_xGa_{1-x}As$

Heterozłączowe



Laser paskowy V-Channeled Substrite Inner Stripe,
Zwykle małe mocy, zwykle używane w CD-ROM

Slajd 51

Lasery niebieskie i UV

Podstawowy materiał – Arsenek Galu InGaN, z tego związku zbudowano Lasery i DEL od UV (371nm) do zieleni (520nm). Początkowo jako podłoże do epitaksji stosowano szafir, na który nakładano pasek azotku galu – różna struktura krystalograficzna – duża liczba dyslokacji.
Polski wkład – Inst. Wysokich Ciśnień PAN w Warszawie – laser półprzewodnikowy na trudnym technologicznie GaN (405nm). Materiał wcześniej znany do budowy fotorezystorów. Wkład polegał na wytworzeniu (nie istniejącego w przyrodzie) wysokiej jakości kryształu GaN i zastosowaniu do jako podłoża. Pozwoliło to zmniejszyć dyslokacje 10^5 razy.

Slajd 52

Na studniach kwantowych

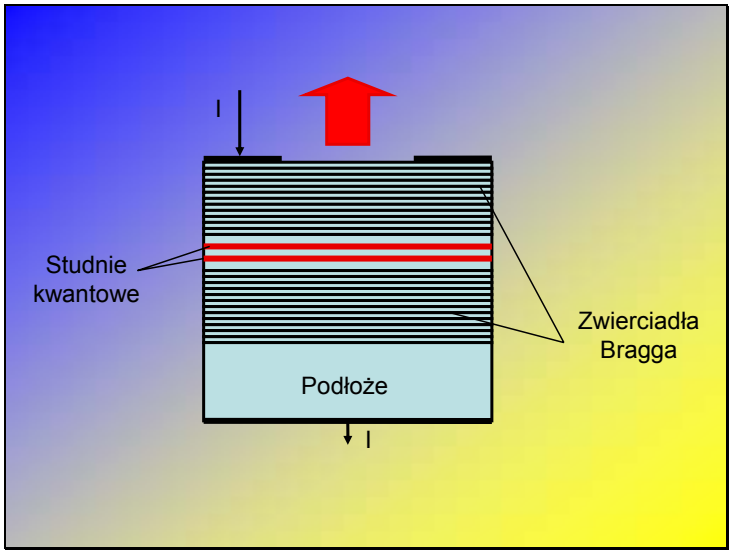
Obszar czynny, gdzie zachodzi rekombinacja wynosi kilkanaście, a nawet mniej nm. Pojedyncza studnia przypomina laser heterozłączowy, np. GaAs o niewielkiej grubości połączony z obustron z $Al_xGa_{1-x}As$.
Wielokrotnie mniejszy prąd progowy
Węższa linia spektralna
Konstrukcje: z 1 studnią, z wieloma studniami

Slajd 53

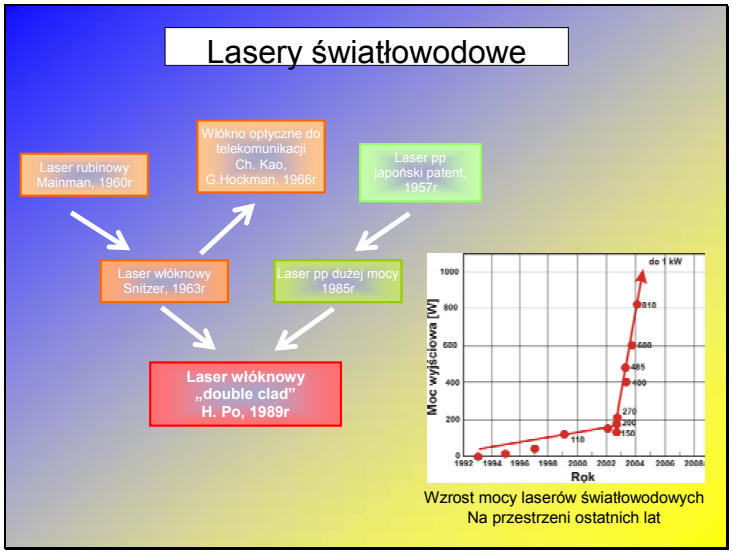
Lasery typu VCSEL –
Vertical Cavity Surface Emitting Laser

Emitują prostopadle do powierzchni złącza z zwierciadłami Bragga DBR. Emitują z dużej powierzchni o prawie dowolnym rozkładzie promieniowania. Duży odstęp między modami – pracują na 1 modzie podłużnym.
Mały prąd progowy kilka μA, mimo to, duża gęstość prądu (100A/cm^2)
Łatwość do sprzęgania ze światłowodami.

Slajd 54

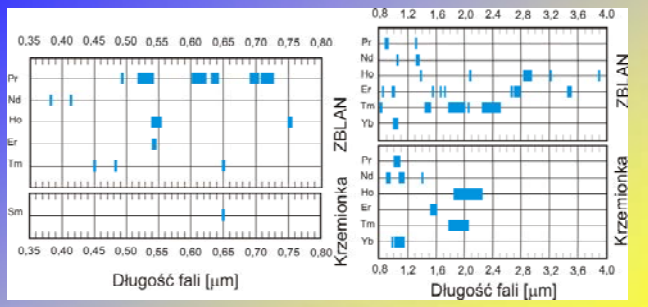


Slajd 55



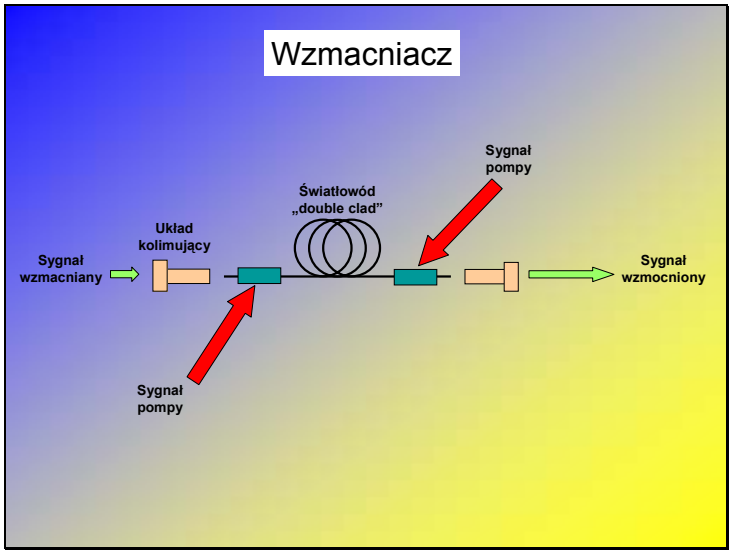
Wzrost mocy laserów światłowodowych
Na przestrzeni ostatnich lat

Slajd 56

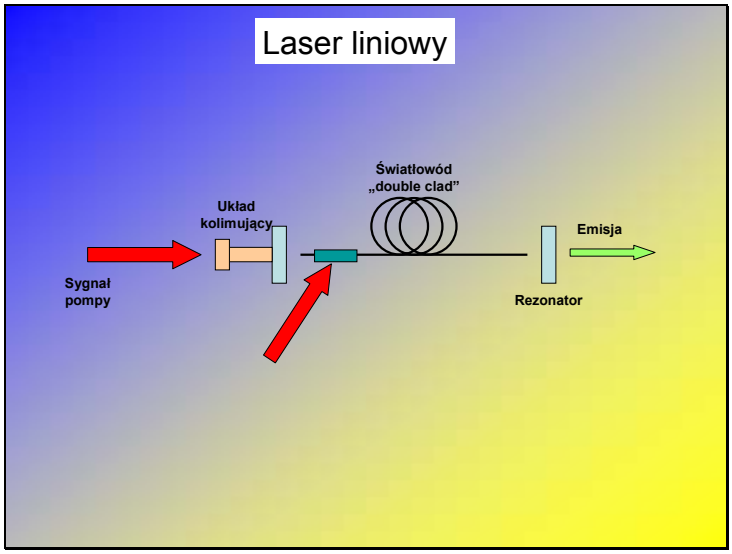


Pasma emisji poszczególnych pierwiastków

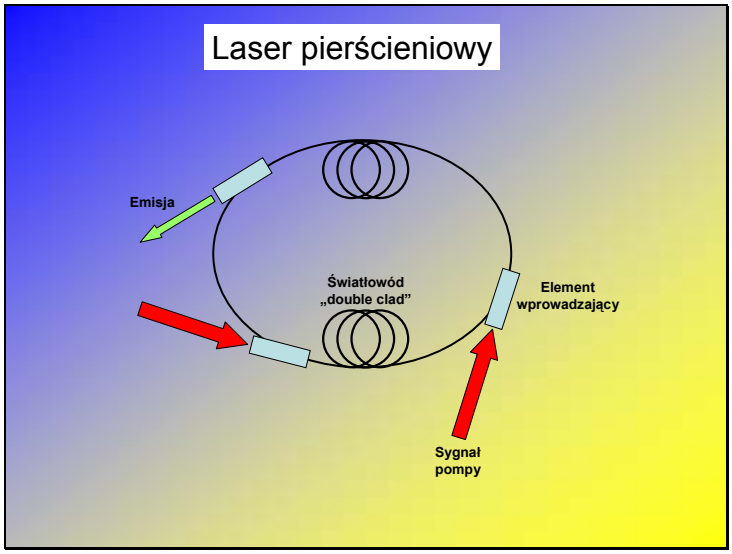
Slajd 57


Wzmacniacz
Sygnał pompy
Światłowód „double clad”
Układ kolimujący
Sygnał wzmacniany
Sygnał wzmocniony
Sygnał pompy

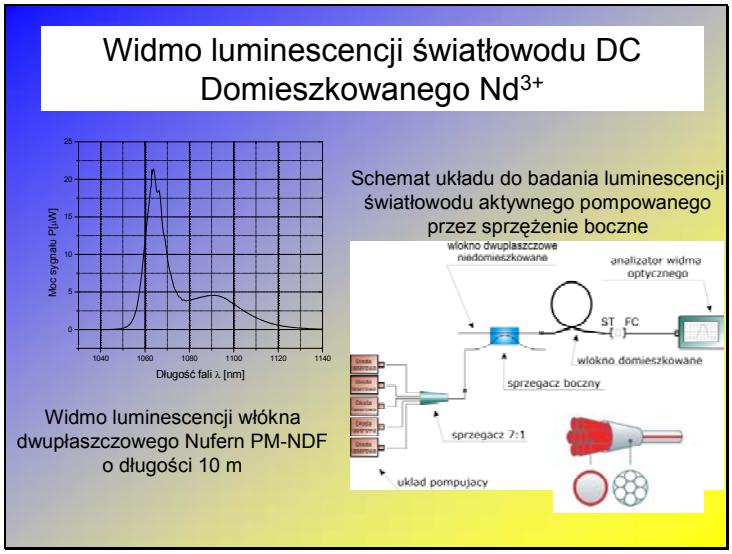
Slajd 58


Laser liniowy
Światłowód
„double clad”
Układ
kolimujący
Emisja
Sygnał
pompy
Rezonator

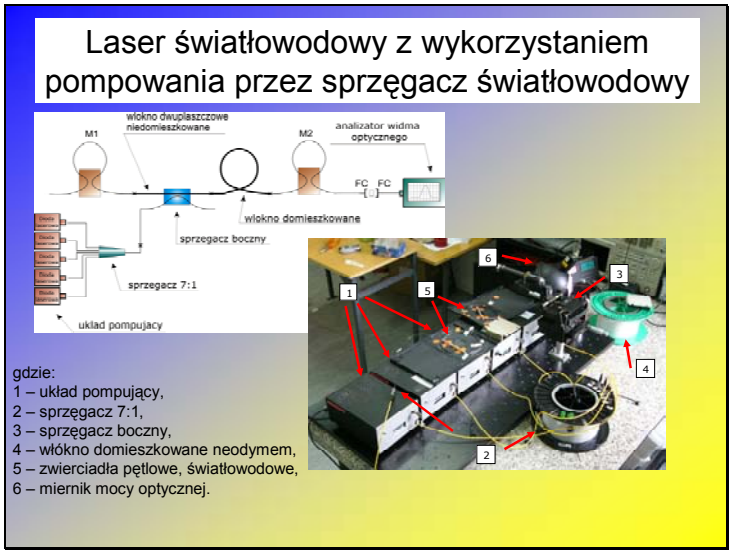
Slajd 59


Laser pierścieniowy
Emisja
Światłowód
„double clad”
Element
wprowadzający
Sygnał
pompy

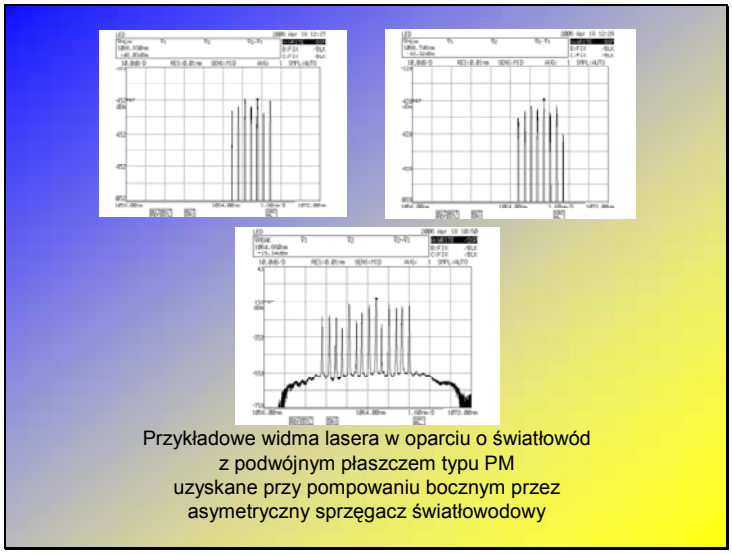
Slajd 60


Widmo luminescencji światłowodu DC Domieszkowanego Nd^{3+}
Moc sygnału P[μW]
Długość fali λ [nm]
Widmo luminescencji włókna dwupłaszczowego Nufern PM-NDF o długości 10 m
Schemat układu do badania luminescencji światłowodu aktywnego pompowanego przez sprzężenie boczne
włókno dwupłaszczowe niedomieszkowane
analizator widma optycznego
ST
FC
włókno domieszkowane
sprzęgacz boczny
sprzęgacz 7:1
układ pompujący

Slajd 61


Laser światłowodowy z wykorzystaniem pompowania przez sprzęgacz światłowodowy
włókno dwuplaszczowe niedomieszkowane
M1
M2
analizator widma optycznego
FC
FC
włókno domieszkowane
sprzęgacz boczny
sprzęgacz 7:1
układ pompujący
1
2
3
4
5
6
gdzie:
1 – układ pompujący,
2 – sprzęgacz 7:1,
3 – sprzęgacz boczny,
4 – włókno domieszkowane neodymem,
5 – zwierciadła pętlowe, światłowodowe,
6 – miernik mocy optycznej.

Slajd 62



Przykładowe widma lasera w oparciu o światłowód
z podwójnym płaszczem typu PM
uzyskane przy pompowaniu bocznym przez
asymetryczny sprzęgacz światłowodowy

Slajd 63

Modulacja promieniowania świetlnego

Jakie parametry fali świetlnej można modulować?

Amplituda

•Faza

•Częstotliwość (długość fali)

•Polaryzacja

Slajd 64

Detektory światła

Detekcja fal – kiedy mówimy o optyce?

- **detekcja liniowa**

  anteny → pomiar **pola elektrycznego** $E_0 e^{-i\omega t}$ $\quad E = E_1 + E_2$

- **detekcja nieliniowa**

  odbiorniki energii

  oko, reakcje chemiczne (emulsje fotograficzne),
  efekt fotoelektryczny (fotodiody, fotopowielacze)
  liczniki fotonów, etc.

  → pomiar **natężenia fali** EM $\quad I \propto |E(t)|^2 = |E_0 e^{-i\omega t}|^2 = |E_0|^2$

Gdy $E = E_1 + E_2$, wtedy w natężeniu pojawiają się człony interferencyjne

$$I \propto |E_1 + E_2|^2 = |E_{10}|^2 + |E_{20}|^2 + E_{10}E_{20}^{*} e^{-i(\varphi_1 - \varphi_2)} + E_{10}^{*} E_{20} e^{+i(\varphi_1 - \varphi_2)}$$

Slajd 65

Granica optyka $\leftrightarrow$ fale radiowe (mm)?

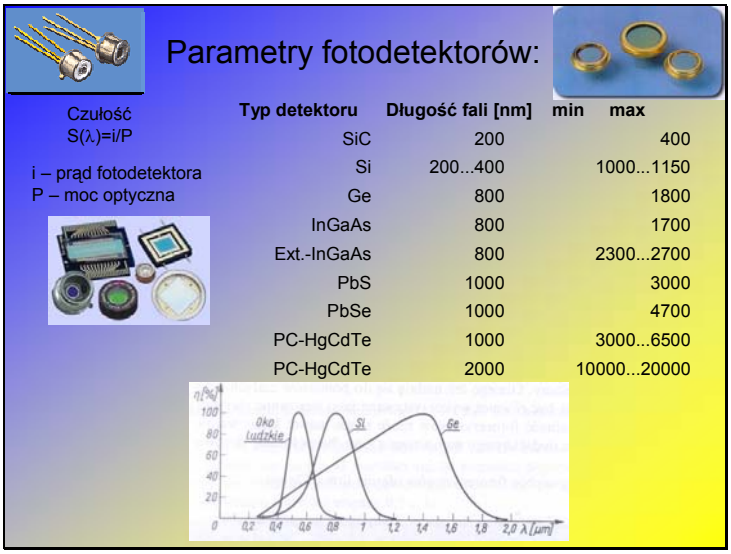
-gdy możemy „nadążyć” za zmianami E(t) – fale radiowe

- gdy nie nadążamy i rejestrujemy tylko obwiednię $I \propto |E|^2$ – optyka

Slajd 66

Detektory termiczne	Detektory fotonowe
Pod wpływem światła zmienia się temperatura elementu aktywnego, co może spowodować zmianę objętości, ciśnienia, przewodnictwa elektrycznego itp. Elementu proporcjonalnie do zaabsorbowanej energii. Mniejsza szybkość działania Zależne od częstotliwości promieniowania (długości fali)	Zaabsorbowane fotony (wew lub zewnętrzny efekt fotoelektryczny) powodują mierzalną zmianę rozkładu nośników w elemencie aktywnym. Większa szybkość działania Zależność sygnału detektora od częstotliwości promieniowania (długości fali)

Slajd 67


Parametry fotodetektorów:
Czułość
S(λ)=i/P
i – prąd fotodetektora
P – moc optyczna
Typ detektoru Długość fali [nm] min max
SiC 200 400
Si 200...400 1000...1150
Ge 800 1800
InGaAs 800 1700
Ext.-InGaAs 800 2300...2700
PbS 1000 3000
PbSe 1000 4700
PC-HgCdTe 1000 3000...6500
PC-HgCdTe 2000 10000...20000
η [%]
100
80
60
40
20
0
Oko ludzkie
Si
Ge
0,2 0,4 0,6 0,8 1 1,2 1,4 1,6 1,8 2,0 λ [μm]

Slajd 68

Czas narastania i opadania

Odpowiedz detektora na skokową zmianę sygnału optycznego. Czas w którym sygnał zmienia się od 10 do 90% poziomu maksymalnego

Stosunek sygnał-szum SNR

Ogranicza pomiar słabych sygnałów optycznych

Wydajność kwantowa

η = liczba uwolnionych elektronów / liczba padających fotonów

Prąd ciemny

Prąd przy całkowicie zaciemnionym zaciemnionym fotodetektorze. Silnie zależy od temperatury, ogranicza pomiar dla słabych sygnałów świetlnych.

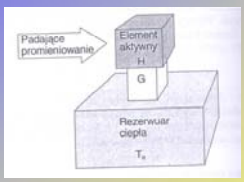
Dynamika

Maksymalny zakres zmian natężenia promieniowania dla którego odpowiedz detektora jest liniowa

Slajd 69

Detektory termiczne

Modelowy detektor termiczny



Detektory piroelektryczne

Najszybciej działające detektory termiczne, czułe na szybkość zmian natężenia promieniowania. Światło jest absorbowane przez kryształ ferromagnetyczny z trwałym momentem dipolowym umieszczony między okładkami kondensatora. Pod wpływem ciepła zmienia się polaryzacja i powstaje ładunek powierzchniowy. Różnica potencjałów między okładkami mówi o zaabsorbowanej energii.

Slajd 70

Detektory fotonowe

Próżniowe

-fotokomórka

-fotopowielacz

Półprzewodnikowe

-fotodioda

-fotorezystor

-fototranzystor

-fotoogniwo

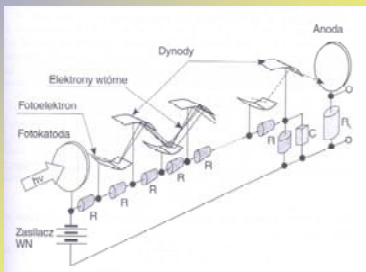
Slajd 71

Fotokomórki próżniowe

Fotony wybijają elektrony z materiału fotoczułego pokrywającego fotokatodę w *zewnętrznym efekcie fotowoltaicznym.*

Fotopowielacze

Bardzo czułe – zliczanie fotonów
Duże rozmiary
Zasilanie od kilkuset do kilku tysięcy woltów
Zakres pracy – zwykle λ<1,1nm



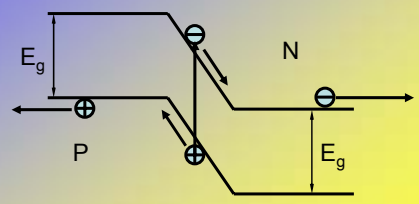
Slajd 72

Fotodioda p-n

Złącze p-n spolaryzowane w kierunku zaporowym.

Pod wpływem fotonu o energii większej od E_g

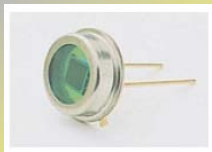
generacja pary elektron-dziura w obszarze złącza



Mała sprawność, mała szybkość działania

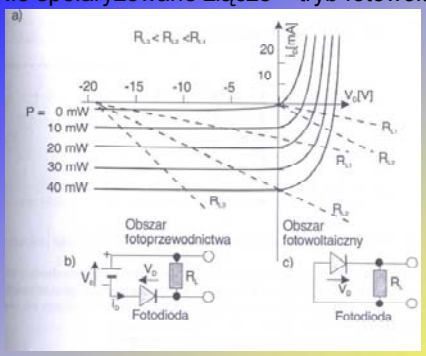
Slajd 73

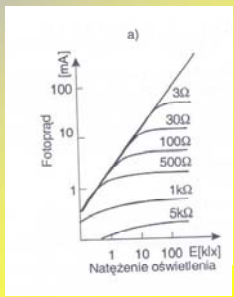
W stanie ciemnym (przy braku oświetlenia) przez fotodiodę płynie tylko prąd ciemny, będący prądem wstecznym złącza określonym przez termiczną generację nośników. Oświetlenie złącza powoduje generację dodatkowych nośników i wzrost prądu wstecznego złącza, proporcjonalny do natężenia padającego promieniowania.



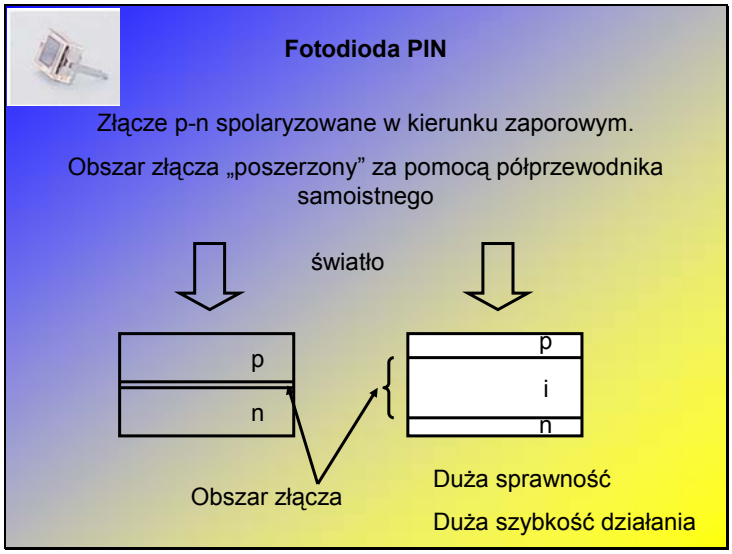
Slajd 74

Może pracować w dwóch trybach:
Spolaryzowane w kierunku zaporowym – tryb fotoprzewodnictwa
Nie spolaryzowane złącze – tryb fotowoltaiczny





Slajd 75


Fotodioda PIN
Złącze p-n spolaryzowane w kierunku zaporowym.
Obszar złącza „poszerzony” za pomocą półprzewodnika samoistnego
światło
p
n
p
i
n
Obszar złącza
Duża sprawność
Duża szybkość działania

Slajd 76

Fotodiody „specjalne”

Lawinowe (APD)

Bardzo duża czułość (sprawność kwantowa większa niż 1)

Szybkość porównywalna z diodami PIN

Zasilane wysokim napięciem

Shottkyego

Bardzo szybkie (złącze matal półprzewodnik) – 100GHz

Mała czułość („płytkie” złącze)

Fotoogniwo

Złącze p-n o bardzo dużej powierzchni

Generacja par elektron-dziura powoduje powstanie SEM na elektrodach ogniwa

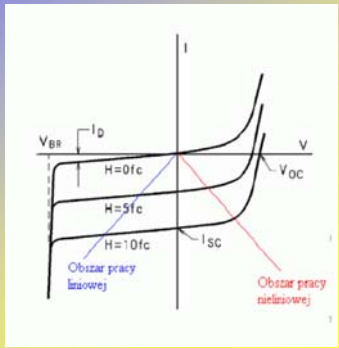
Slajd 77

•Fotodioda lawinowa jest elementem pracującym w zakresie przebicia lawinowego złącza pn.

•Fotodioda lawinowa jest najbardziej czułym, półprzewodnikowym detektorem światła. Fotoprąd jest tak duży, jak w zwykłej fotodiodzie, ale jest wzmacniany w warstwie, gdzie fotoelektrony są przyspieszane przez silne pole elektryczne. Pociąga to za sobą dalsze elektrony, które z kolei pociągają następne. Jest to tak zwany efekt lawinowy. Sygnał jest wzmacniany wewnętrznie ok. 100 razy. Diody lawinowe są czułe na różnice napięcia i temperatury i dlatego muszą być bardzo dokładnie kompensowane.

Slajd 78

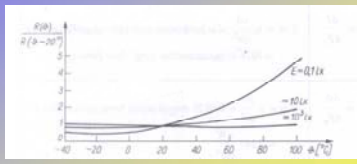
Należy pamiętać, żeby fotodioda pracowała w liniowym zakresie pracy, co wiąże się z jej odpowiednią polaryzacją w kierunku zaporowym



Slajd 79

Fotorezystor

Fotorezystorem nazywa się element półprzewodnikowy bezzłączowy, który pod wpływem promieniowania świetlnego silnie zmienia swoją rezystancję. Część roboczą (światłoczułą) fotorezystora stanowi cienka warstwa półprzewodnika osadzona na podłożu dielektrycznym wraz z elektrodami metalowymi doprowadzającymi prąd ze źródła zewnętrznego.



Zależność rezystancji od temperatury fotorezystora

Slajd 80

Fotorezystory–podział

•Siarczek kadmu CdS–czuły na światło widzialne
•Selenek kadmu CdSe–czuły na światło podczerwone

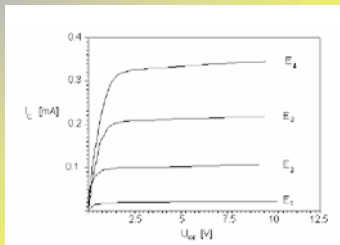
Fotorezystory-parametry

•Rezystancja przy oświetleniu E = 10lx
•Rezystancja przy oświetleniu E = 100lx
•Rezystancja ciemna po 1 sekundzie
•Czułość maksymalna dla długości fali
•Dopuszczalne moc maksymalna
•Czas przełączania

Slajd 81

Fototranzystory –zasada działania

•Działają jak zwykłe tranzystory
•W obudowie okno umożliwiające podświetlenie bazy
•Padające promieniowanie na bazę spolaryzowanego fototranzystora powoduje powstanie nośników



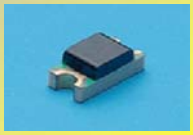
Slajd 82

Fototranzystor –podział ze względu na:

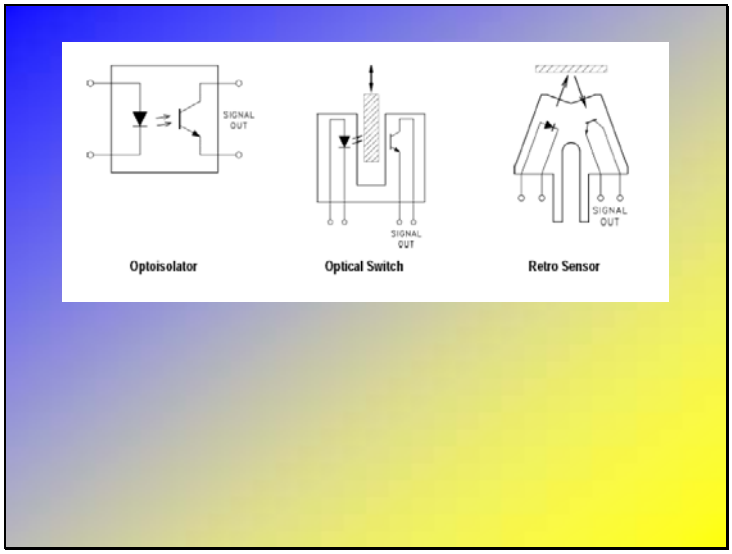
•długość fali promieniowania, na które czuły jest fototranzystor
•obudowy –przezroczyste, ciemne
•dodatkowe elementy wewnętrzne

Fototranzystor -parametry

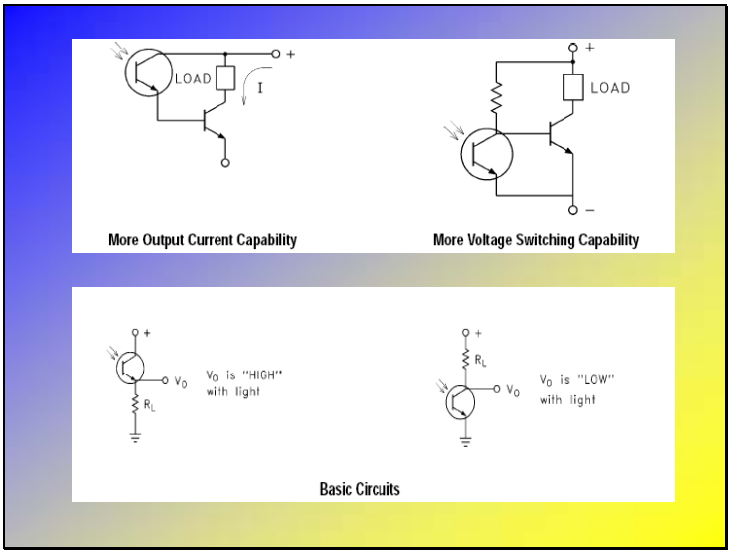
•Maksymalne napięcie Uce
•Prąd świecenia przy odpowiednim napięciu Uce oraz natężeniu promieniowania
•Kąt detekcji
•Maksymalny prąd kolektora Ic
•Rodzaj obudowy (czarna, przezroczysta)
•Charakterystyka czułości
•Czas narastania/opadania



Slajd 83


SIGNAL OUT
SIGNAL OUT
SIGNAL OUT
Optoisolator
Optical Switch
Retro Sensor

Slajd 84


LOAD
I
+
More Output Current Capability
LOAD
+
−
More Voltage Switching Capability
+
V_O
R_L
V_O is "HIGH" with light
+
R_L
V_O
V_O is "LOW" with light
Basic Circuits

Slajd 85

Sensory optyczne -porównanie

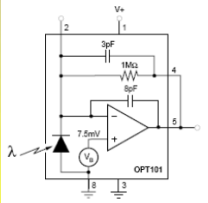
•Najczęściej używanymi sensorami optycznymi są fotodiody PIN oraz fototranzystory, rzadziej fotorezystory
•Fotodiody PIN mają szerokie pasmo działania i niskie szumy (mają lepsze parametry od zwykłych fotodiod)
•Fototranzystory są bardziej czułe na promieniowanie, od razu wzmacniają sygnał. Są jednak nieco wolniejsze, bardziej szumią
•Fotodiody lawinowe są najczulsze ze wszystkich elementów, wymagają jednak kompensacji temperatury i napięcia, są drogie
•Fotorezystorysą również czułymi elementami, są jednak wolne. Zaletą jest niski koszt.

Slajd 86

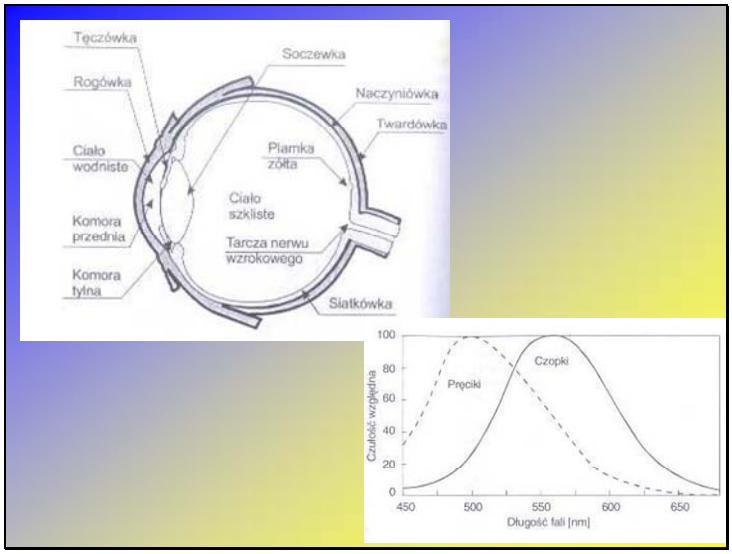
Gotowe przetworniki optyczne

Istnieją gotowe przyrządy, które wraz z fotodetektorem posiadają układ obrabiający sygnał elektryczny do użytecznej postaci

Przykładem liniowego przetwornika światło –napięcie jest układ OPT101 Oprócz liniowej charakterystyki przejściowej pozwala na zredukowanie szumów fotodiody oraz eliminacje błędów związanych z prądami upływu



Slajd 87


Tęczówka
Soczewka
Rogówka
Naczyniówka
Twardówka
Ciało wodniste
Plamka żółta
Ciało szkliste
Komora przednia
Tarcza nerwu wzrokowego
Komora tylna
Siatkówka
Czułość względna
Pręciki
Czopki
Długość fali [nm]
100
80
60
40
20
0
450
500
550
600
650

Slajd 88

Krzywa Czułości Oka

λ	V(λ)	λ	V(λ)	λ	V(λ)
380 nm	2.0000E-04	530 nm	8.6200E-01	685 nm	1.1872E-02
385 nm	3.9556E-04	535 nm	9.1505E-01	690 nm	8.2100E-03
390 nm	8.0000E-04	540 nm	9.5400E-01	695 nm	5.7723E-03
395 nm	1.5457E-03	545 nm	9.8004E-01	700 nm	4.1020E-03
400 nm	2.8000E-03	550 nm	9.9495E-01	705 nm	2.9291E-03
405 nm	4.6562E-03	555 nm	1.0000E+00	710 nm	2.0910E-03
410 nm	7.4000E-03	560 nm	9.9500E-01	715 nm	1.4822E-03
415 nm	1.1779E-02	565 nm	9.7875E-01	720 nm	1.0470E-03
420 nm	1.7500E-02	570 nm	9.5200E-01	725 nm	7.4015E-04
425 nm	2.2678E-02	575 nm	9.1558E-01	730 nm	5.2000E-04
430 nm	2.7300E-02	580 nm	8.7000E-01	735 nm	3.6093E-04
435 nm	3.2584E-02	585 nm	8.1623E-01	740 nm	2.4920E-04
440 nm	3.7900E-02	590 nm	7.5700E-01	745 nm	1.7231E-04
445 nm	4.2391E-02	595 nm	6.9483E-01	750 nm	1.2000E-04
450 nm	4.6800E-02	605 nm	5.6654E-01	755 nm	8.4620E-05
455 nm	5.2122E-02	610 nm	5.0300E-01	760 nm	6.0000E-05
460 nm	6.0000E-02	615 nm	4.4172E-01	765 nm	4.2446E-05
465 nm	7.2942E-02	620 nm	3.8100E-01	770 nm	3.0000E-05
470 nm	9.0980E-02	625 nm	3.2052E-01	775 nm	2.1210E-05
475 nm	1.1284E-01	630 nm	2.6500E-01	780 nm	1.4989E-05
480 nm	1.3902E-01	635 nm	2.1702E-01	785 nm	1.0584E-05
485 nm	1.6987E-01	640 nm	1.7500E-01	790 nm	7.4656E-06
490 nm	2.0802E-01	645 nm	1.3812E-01	795 nm	5.2592E-06
495 nm	2.5808E-01	650 nm	1.0700E-01	800 nm	3.7028E-06
500 nm	3.2300E-01	655 nm	8.1652E-02	805 nm	2.6076E-06
505 nm	4.0540E-01	660 nm	6.1000E-02	810 nm	1.8365E-06
510 nm	5.0300E-01	665 nm	4.4327E-02	815 nm	1.2950E-06
515 nm	6.0811E-01	670 nm	3.2000E-02	820 nm	9.1092E-07
520 nm	7.1000E-01	675 nm	2.3454E-02	825 nm	6.3564E-07
525 nm	7.9510E-01	680 nm	1.7000E-02		

Slajd 89

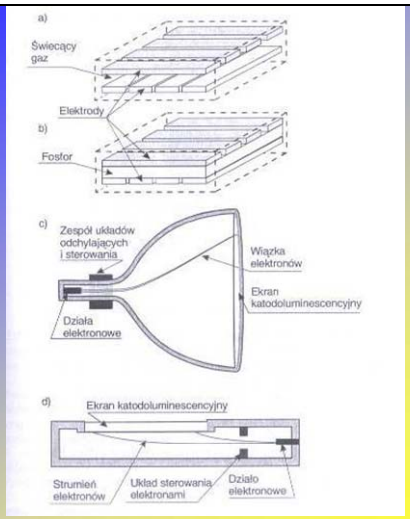
Wyświetlacze

Typy wyświetlaczy:
Macierzowe uniwersalne wskaźniki alfanumeryczne, których działanie oparte jest na wyładowaniu w gazach, luminescencji (elektroluminescencji) półprzewodników czy aktywności optycznej kryształów
- przenośne ekrany służące do zobrazowania informacji, najczęściej ciekłokrystaliczne
- wielkoformatowe wyświetlacze do zastosowań telewizyjnych, które można łączyć w jeszcze większe ekrany

Inny podział: Aktywne i Pasywne

Pasywne wyświetlacze zmieniają padające na nie lub przechodzące przez nie promieniowanie w obszarze aktywnym, dzięki takim efektom jak: rozpraszanie, absorpcja, zmiana płaszczyzny polaryzacji itd. LCD, *Liquid Crystal Display*, należą do tej grupy.

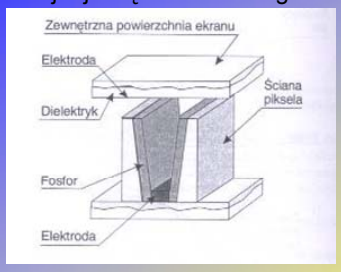
Slajd 90


a)
Świecący gaz
Elektrody
b)
Fosfor
c)
Zespół układów odchylających i sterowania
Wiązka elektronów
Ekran katodoluminescencyjny
Działa elektronowe
d)
Ekran katodoluminescencyjny
Strumień elektronów
Układ sterowania elektronami
Działo elektronowe

Slajd 91

Wyświetlacze plazmowe – *Plasma Display Panel* - PDP

PDP składa się z dwu warstw prostopadle zorientowanych elektrod w odległości ułamka milimetra, między którymi znajduje się mieszanina gazów, zwykle neonu i ksenonu.



Przyłożenie napięcia do elektrod powoduje wyładowanie i świecenie gazu w miejscu krzyżowania elektrod. Świecenie gazu w obszarze UV wywołuje świecenie luminoforu na odpowiednie kolory RGB (tak jak w CRT)

Zalety: duży kąt widzenia i duży kontrast (2x większe niż CRT), duże rozmiary np. 70" i odporność na zakłócenia elektromagnetyczne
Wady: wielkość piksela (0,8 do 1,1mm), trudności z czernią i bielą.

Slajd 92

Wyświetlacze elektroluminescencyjne

W budowie wyświetlaczy elektroluminescencyjnych wykorzystuje się tzw. klasyczną elektroluminescencję materiałów półprzewodnikowych świecących pod wpływem zmiennego lub stałego prądu.

Używane materiały to: Fosfor z domieszką:
ZnS:Mn – czerwony
ZnS:Tb – zielony
(Mg, Ba) Al2S4:Eu – niebieski
W celu uzyskania innych kolorów: inne domieszki pierwiastkami ziem rzadkich oraz ich związkami.

Zalety: duża trwałość (1000h)
Wady: duży pobór mocy, mała sprawność, trudności z uzyskaniem pełnej gamy kolorów

Slajd 93

Wyświetlacze katodoluminescencyjne – *Cathode Ray Tube* - CRT

Świecenie materiału przy wzbudzaniu wiązką elektronów – wykorzystywane w klasycznych telewizorach i monitorach.

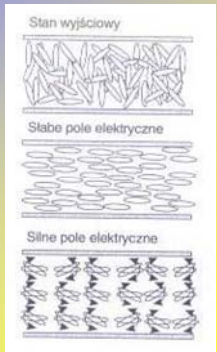
Działa elektronowe – przyspieszanie elektronów w polu elektrycznym – płytki odchylające – ekran (cienka folia aluminiowa - 0.1 μm i warstwa fosforu). Barwne ekrany pokryte są luminoforem ($Zn_xCd_{1-x}S$ – zielony, ZnS:Ag – niebieski, Y_2O_2S:Eu,Tb)

Standardowy ekran CRT TV w Europie ma obraz z łożony z 625 linii (PAL), w USA 525 linii (system NTSC).
Nowy standard High-Definition CRT ma 1125 linii – obraz z 2 półramek wyświetlanych naprzemiennie. W Europie częstotliwość odświeżania wynosi 25 Hz.

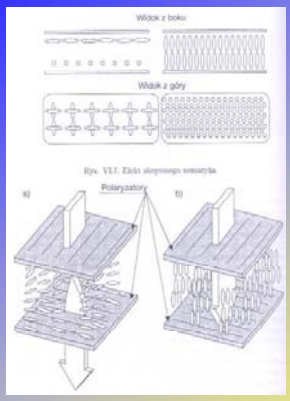
Slajd 94

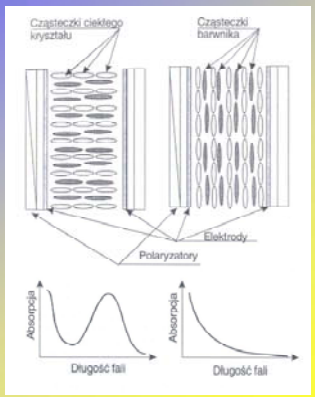
Wyświetlacze ciekłokrystaliczne –
Liquid Crystal Display - LCD

Ciekły kryształ – ciecz posiadające niektóre właściwości kryształu – odrębny stan skupienia – mezofaza – coś pomiędzy ciałem stałym, a cieczą izotropową.



Slajd 95


Widok z boku
Widok z góry
Polaryzatory
a)
b)


Cząsteczki ciekłego kryształu
Cząsteczki barwnika
Elektrody
Polaryzatory
Absorpcja
Długość fali
Absorpcja
Długość fali

Slajd 96

Zalety:
Łatwość obsługi
Niewielkie wymagania energetyczne (do wysterowania wystarczy kilka V i pojedyncze mA)
Dobry kontrast obrazu
Brak części ruchomych – duża niezawodność

Cecha Charakterystyczna: działają dzięki transmisji lub odbiciu światła, a nie emisji

Wady:
Stosunkowe duże czasy przełączania
Silna zależność parametrów od temperatury

Slajd 97

Optoelektronika w praktyce

Wybrane zastosowania:

Medycyna
- Chirurgia
- Onkologia
- Okulistyka
- Stomatologia
- Dermatologia
- Biostymulacja
- Akuponktura
- Kosmetyka

Tomografia optyczna

Ekologia:
- Lidary
- Badanie wód
- Badanie meteorologiczne

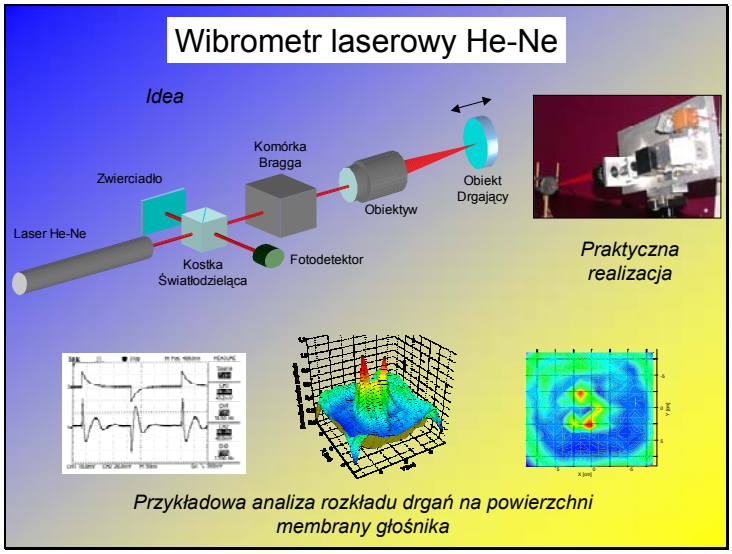
Telekomunikacja

Pamięć optyczna

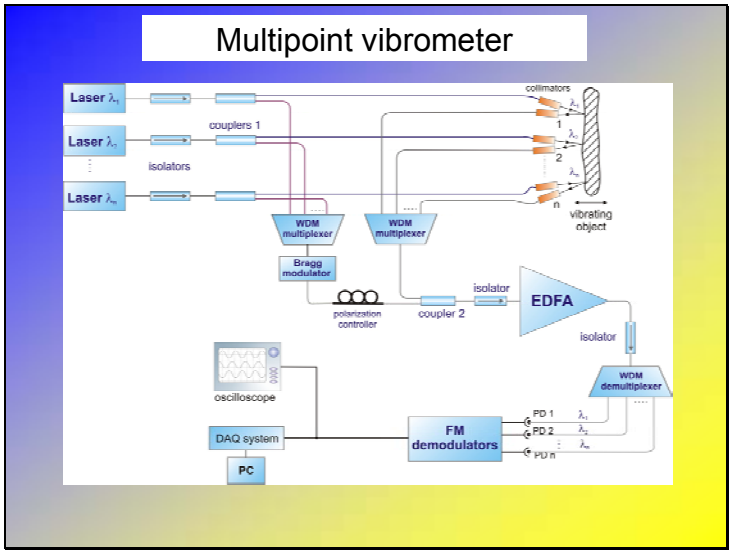
Czujniki światłowodowe:
- zmiany natężeń światła
- zmiany długości fali
- zmiany polaryzacji światła
- zmiany fazy światła
  - żyroskop

Czytnik kodów paskowych

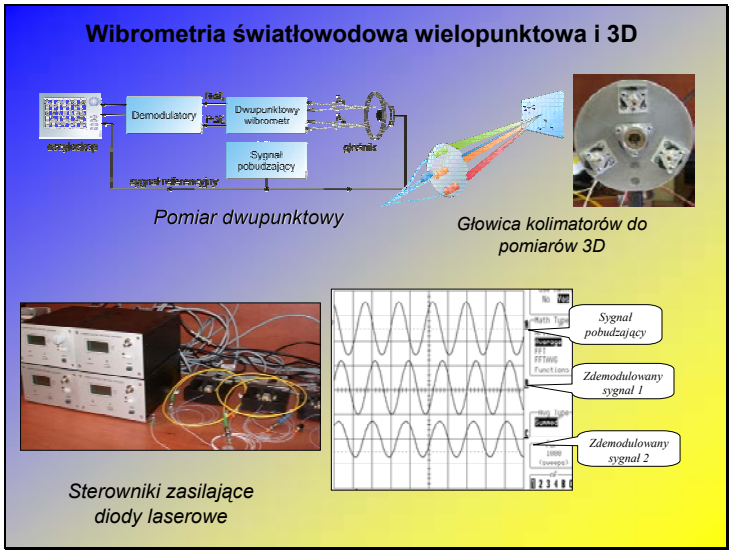
Slajd 98


Wibrometr laserowy He-Ne
Idea
Komórka Bragga
Zwierciadło
Obiektyw
Obiekt Drgający
Laser He-Ne
Kostka Światłodzieląca
Fotodetektor
Praktyczna realizacja
Przykładowa analiza rozkładu drgań na powierzchni membrany głośnika

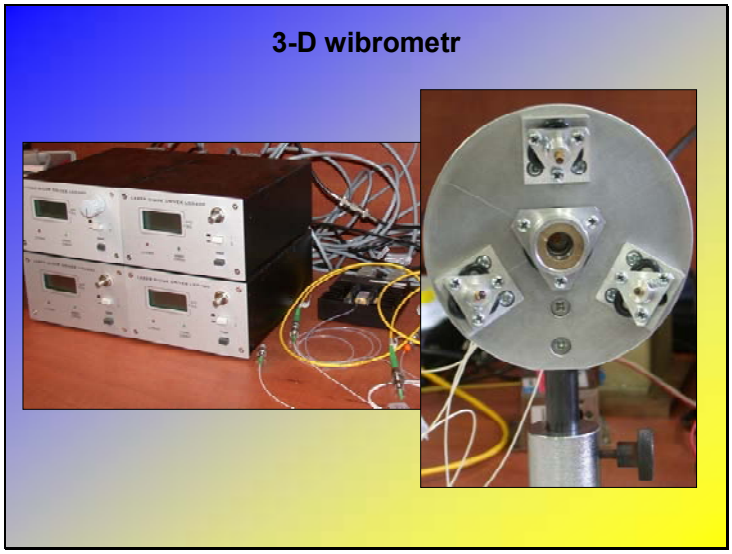
Slajd 99


Multipoint vibrometer
Laser λ1
Laser λ2
Laser λn
isolators
couplers 1
collimators
1
2
n
vibrating object
WDM multiplexer
WDM multiplexer
Bragg modulator
polarization controller
coupler 2
isolator
EDFA
isolator
WDM demultiplexer
oscilloscope
DAQ system
PC
FM demodulators
PD 1
PD 2
PD n

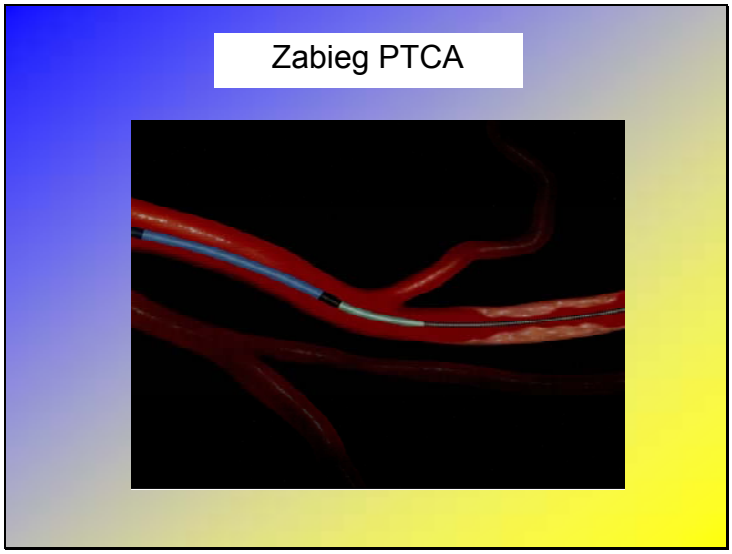
Slajd 100


Wibrometria światłowodowa wielopunktowa i 3D
Demodulatory
Dwupunktowy wibrometr
Sygnał pobudzający
Pomiar dwupunktowy
Głowica kolimatorów do pomiarów 3D
Sygnał pobudzający
Zdemodulowany sygnał 1
Zdemodulowany sygnał 2
Sterowniki zasilające diody laserowe

Slajd 101



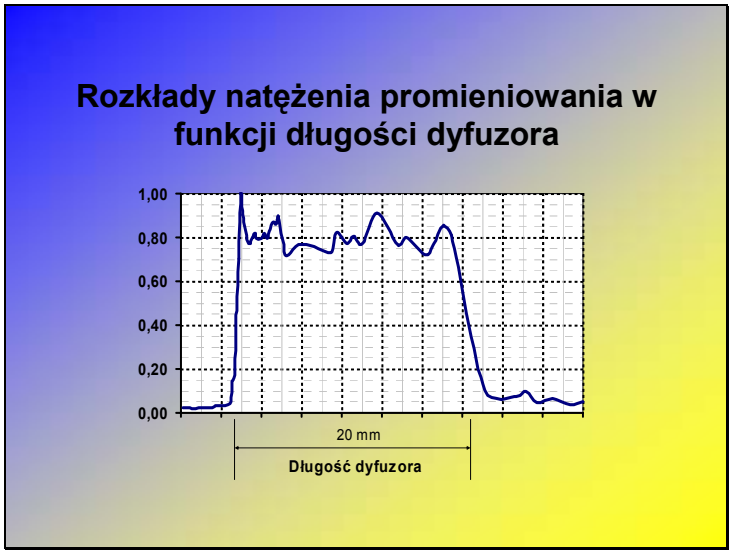
Slajd 102



Slajd 103

Balonik ze stentem

Slajd 104


Rozkłady natężenia promieniowania w funkcji długości dyfuzora
1,00
0,80
0,60
0,40
0,20
0,00
20 mm
Długość dyfuzora

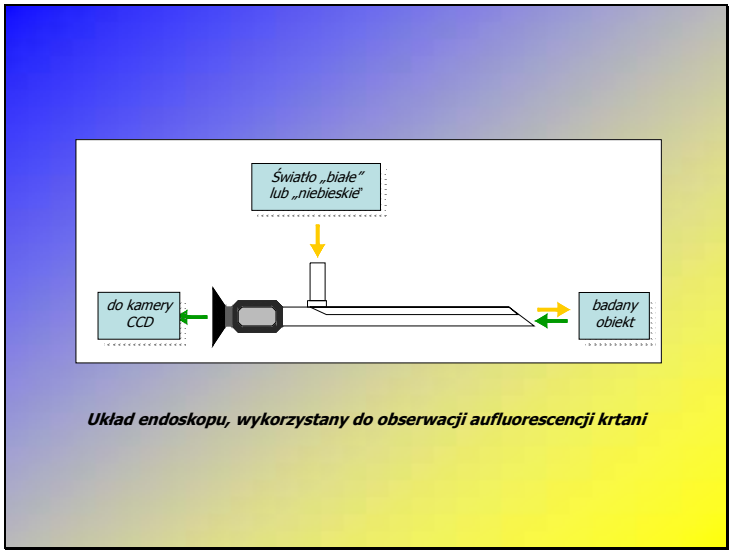
Slajd 105

Urządzenie do naświetlań wewnątrznaczyniowych

Parametry:

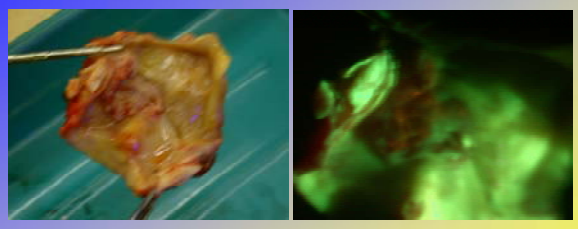
- laser pp. (długość fali 808 nm)
- moc wyjściowa lasera 2 W
- złącza SMA 270
- światłowód z pokryciem polimerowym 200/270

Slajd 106



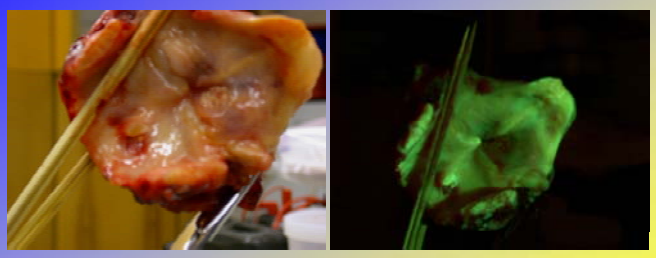
Układ endoskopu, wykorzystany do obserwacji aufluorescencji krtani

Slajd 107



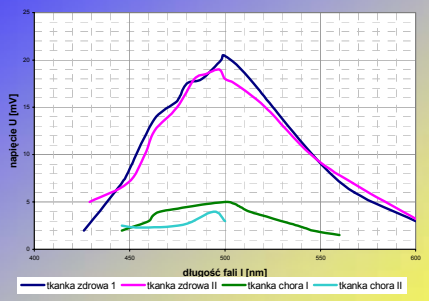
Obraz zarejestrowany przez kamerę CCD w świetle białym oraz w układzie fluorescencyjnym

Slajd 108



Obraz zarejestrowany przez kamerę CCD w świetle białym oraz w układzie fluorescencyjnym

Slajd 109



Charakterystyki spektralne tkanek ludzkich zdrowych i chorych.