



ŚWIATŁOWODY

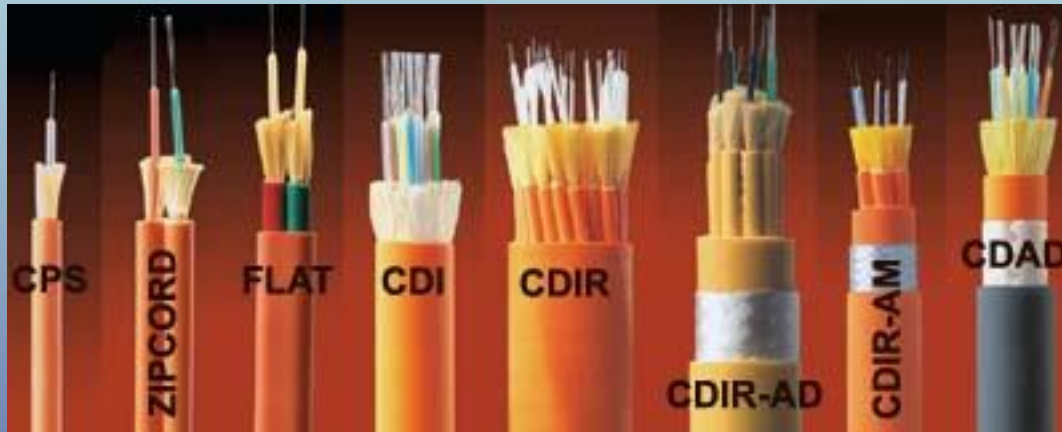


Definicja

Światłowód - falowód służący do przesyłania promieniowania świetlnego.

Pierwotnie miał postać metalowych rurek o wypolerowanych ściankach, służących do przesyłania wyłącznie promieniowania podczerwonego.

Obecnie w formie włókien dielektrycznych - najczęściej szklanych, z otuliną z tworzywa sztucznego, charakteryzującego się mniejszym współczynnikiem załamania światła niż wartość tego współczynnika dla szkła.



Światłowody wkroczyły już do każdej dziedziny przesyłania informacji.

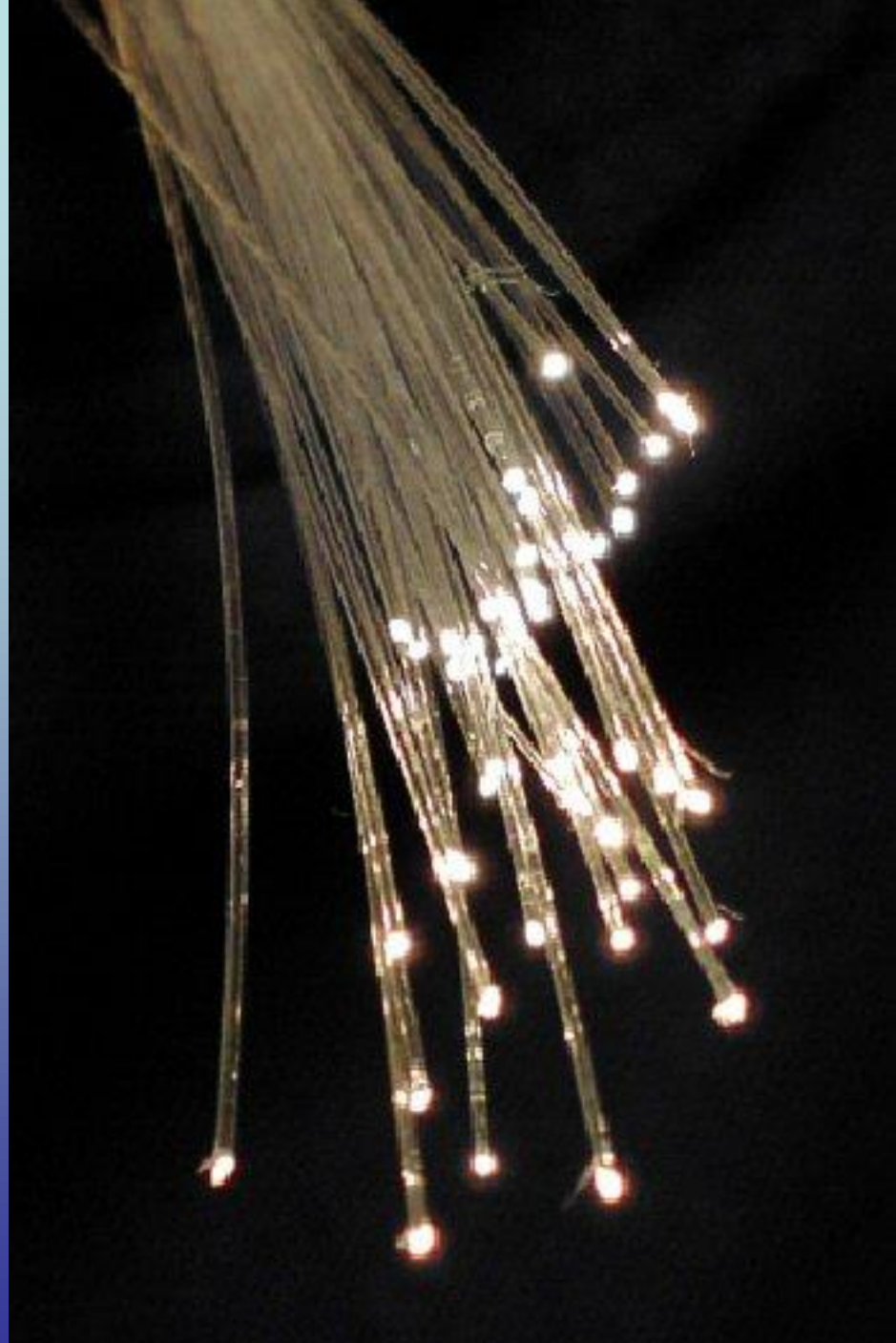
Obecnie są powszechnie stosowane w **telekomunikacyjnych łączach dalekosiężnych i międzycentralowych, sieciach telewizji kablowej oraz lokalnych sieciach komputerowych**, gdzie zastępują tory miedziane lub wszędzie tam, gdzie zastosowanie kabla miedzianego jest niemożliwe z powodu zbyt dużej odległości pomiędzy węzłami sieci.



Zastosowanie światłowodów jako medium transmisyjnego w znacznym stopniu zwiększyło szybkość i niezawodność wymiany informacji.

Światłowód jest bowiem medium transmisyjnym o wysokich parametrach i wykazuje całkowitą odporność na zakłócenia elektromagnetyczne.

Nie bez znaczenia jest również czynnik ekonomiczny. Światłowód wykonywany ze szkła kwarcowego jest bardzo tani w porównaniu z miedzianym kablem koncentrycznym.

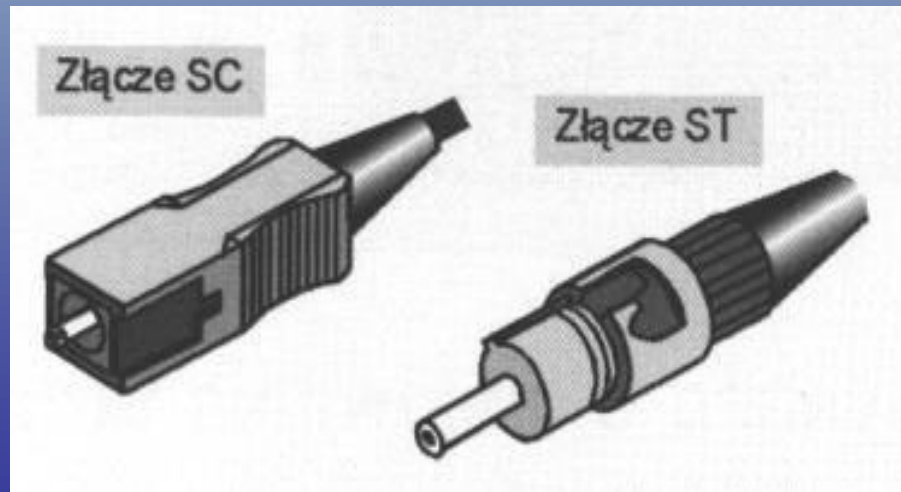


Zalety światłowodów:

- duża szybkość transmisji danych
- niezawodność (nie ulegają korozji)
- nie generują żadnych sygnałów elektrycznych i magnetycznych, dzięki czemu nie powodują zakłóceń
- całkowita odporność na zakłócenia zewnętrzne
- małe straty sygnału
- nie można się do nich podłączyć, dzięki czemu zapewniają bezpieczeństwo danych
- duża trwałość – rzędu 25 lat
- niewielki koszt światłowodu

Wady światłowodów:

- instalację musi przeprowadzać wykwalifikowany personel
- wysoka cena oprzyrządowania
- wyższe koszty instalacji



Możliwe błędy montażowe

(przy średnicy światłowodu rzędu kilku mikrometrów jest to bardzo prawdopodobne)

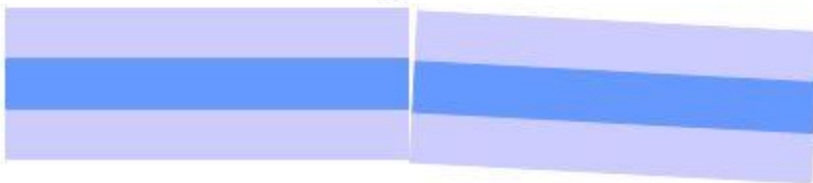
przerwa



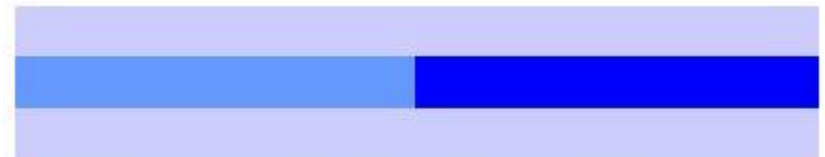
złe ustawienie poprzeczne



złe ustawienie katowe



różne współczynniki załamania



różne rodzaje światłowodów



różne średnice światłowodów



Zastosowanie światłowodów:

1. Łącza telefoniczne: w jednym z pierwszych zbudowanych systemów, światłowodowe kable połączyły budynki urzędów telefonicznych w Chicago, oddalone od siebie o 1 km i o 2,4 km. Kable zawierały po 24 włókna optyczne, z których każde mogło przenosić 672 kanały telefoniczne. Możliwość realizacji międzymiastowych linii z kablami światłowodowymi stała się faktem, kiedy zademonstrowano łącze optyczne o długości ponad 100 km bez wzmacniaków. Dziś możliwa jest nawet budowa podmorskiej linii światłowodowej ułożonej na dnie Oceanu Atlantyckiego.

Zastosowanie światłowodów (cd.)

2. Usługi abonenckie (sieci)
3. Linie telekomunikacyjne wzdłuż linii energetycznych i sieci kolejowych
4. Rozgłośnie telewizyjne: Niewielki ciężar kabla światłowodowego jest bardzo wygodny przy transmisjach na żywo, umożliwia bowiem znaczną swobodę ruchu minikamer. Sygnał może być przekazywany w paśmie podstawowym w postaci analogowej. Szerokość pasma 6 MHz jest w zupełności wystarczająca.
5. Telewizja kablowa

Zastosowanie światłowodów (cd.)

6. Zdalna kontrola i ostrzeganie: duża odporność na zakłócenia elektromagnetyczne oraz mała podatność na zniszczenie wskutek wyładowań atmosferycznych są w tych zastosowaniach szczególnie istotne.
7. Do transmisji obrazu i mocy w zastosowaniach medycznych
8. Pociski sterowane światłowodami.
9. Lokalne sieci komputerowe

Zastosowanie światłowodów (cd.)

10. Komputery: do transmisji danych w postaci cyfrowej takich, jakie powstają w komputerach, np. wykonywanie połączeń między centralnym procesorem a urządzeniami peryferyjnymi, między centralnym procesorem a pamięcią oraz między różnymi procesorami. Małe rozmiary i niewielki ciężar, dobre zabezpieczenie informacji wynikające z zamknięcia promieniowania wewnątrz włókna optycznego sprawiają, że światłowody są odpowiednim torem do transmisji danych, bez względu na odległość.

Zastosowanie światłowodów (cd.)

11. Okablowanie samolotów i statków: istotną zaletą w zastosowaniach na statkach i w samolotach jest zmniejszone ryzyko iskrzenia i pożaru, które są jednymi z największych zagrożeń dla komunikacji morskiej i powietrznej
12. W pomiarach obciążeń, naprężeń, odkształceń, przemieszczeń

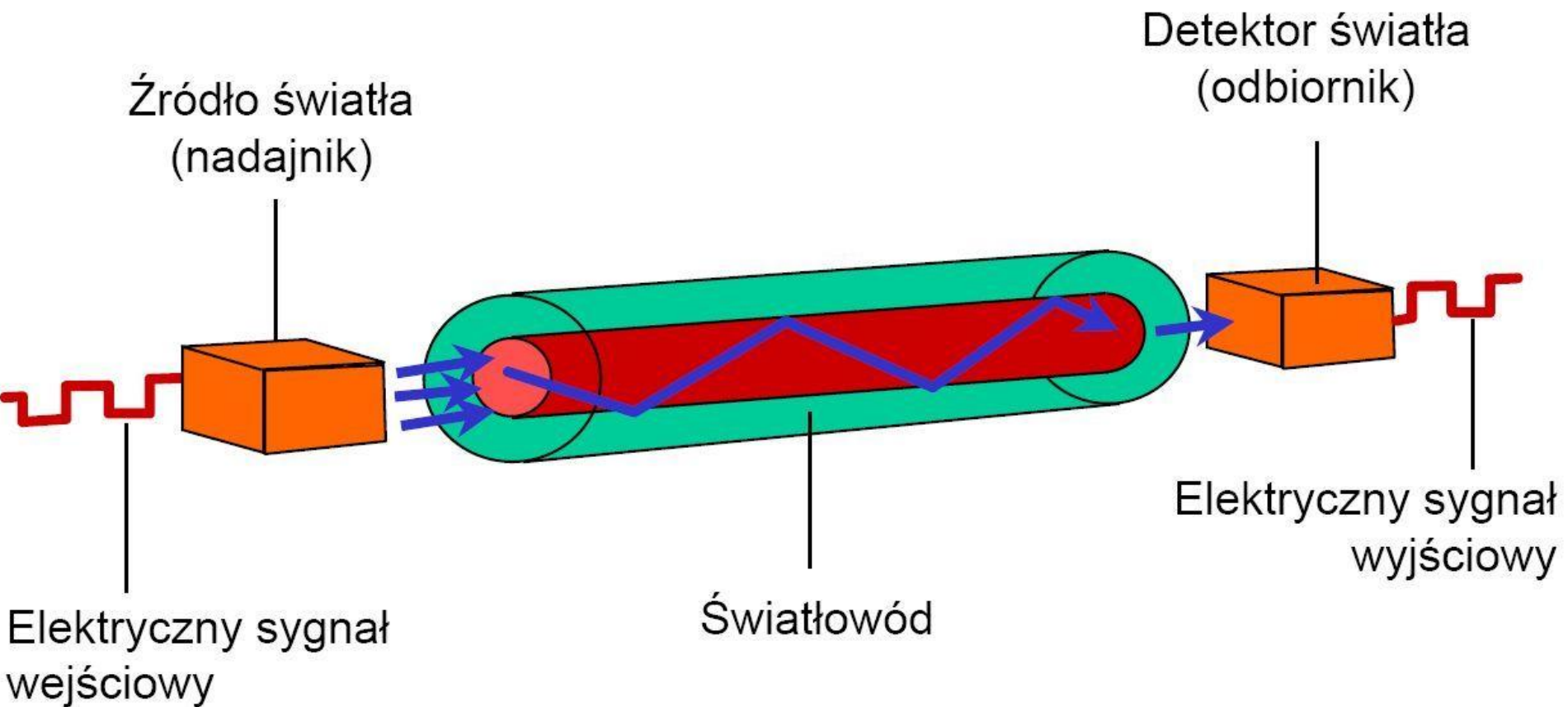
Zastosowanie światłowodów (cd.)

13. Jako czujniki drgań, odległości, przezroczystości (wody, atmosfery)
14. W diagnostyce i badaniach silników spalinowych; Do monitorowania składu mieszanki paliwowo-powietrznej
15. Do pomiaru temperatury, ciśnienia, naprężeń oraz pola elektrycznego



ZASADA DZIAŁANIA ŚWIATŁOWODU

Transmisja światłowodowa polega na przekazaniu wiązki światła, którego źródłem może być laser lub dioda LED. Po drugiej stronie światłowodu jest ona odbierana przez element światłoczuły np. fotodiodę. Aby zapewnić prawidłową i szybką transmisję, wiązka światła jest modulowana. Zapobiega to mogącym pojawiać się zniekształceniom sygnału.



Generacje światłowodów

- **pierwsza generacja** (okno 850nm) - w roku 1972 amerykańska firma Corning Glass uzyskuje światłowodowe włókno wielomodowe o tłumienności około 4dB/km dla fali o długości 850nm, co pozwoliło na uzyskanie pojemności transmisyjnej ok. 50Mb/s i skokowej charakterystyce załamania wiązki świetlnej

Generacje światłowodów

- **druga generacja** (okno 1300nm) - w roku 1987 udało się po raz pierwszy zastosować światłowód jednomodowy o prawie zerowej dyspersji (dla fali 1300nm) i zmniejszonym tłumieniu jednostkowym (do około 0,4dB/km)

Generacje światłowodów

- **trzecia generacja** (okno 1550nm) charakteryzuje się najmniejszą tłumiennością jednostkową (od 0,16 do 0,2 dB/km), co ma bezpośredni wpływ na zasięg (pozwala na zwiększenie odległości między regeneratorami do około 200km). Podstawową niedogodnością jest występowanie wysokiej dyspersji (15-20 ps/km*nm)

Generacje światłowodów

- **czwarta generacja** wiąże się z wprowadzeniem szerokopasmowych wzmacniaczy optycznych EDFA, komutacji i zwielokrotnienia falowego WDM
- **piątą generację** tworzą najnowsze osiągnięcia w zakresie transmisji tzw. solitonowej (co teoretycznie prowadzi do nieograniczonego wzrostu pojemności transmisyjnej BL)

Budowa włókna światłowodowego

Światłowody wykonywane są ze szkła kwarcowego (dwutlenek krzemu), w których medium transmisyjne stanowi rdzeń - domieszkowane, szklane włókno kwarcowe, otoczone płaszczem, który wykonany jest z materiału o niższym współczynniku załamania światła niż rdzeń.



Budowa włókna światłowodowego

- 1. **Włókno optyczne**, złożone z dwóch rodzajów szkła o różnych współczynnikach załamania:
 - część środkowa – **rdzeń (Core)**, najczęściej o średnicy 62,5 μm (rzadziej 50 μm)
 - część zewnętrzną – **płatcz zewnętrzny (Cladding)**, o średnicy 125 μm ;
- 2. Warstwa akrylowa
- 3. Tuba – izolacja o średnicy 900 μm .
- 4. Oplot kewlarowy.
- 5. Izolacja zewnętrzna.

Mod

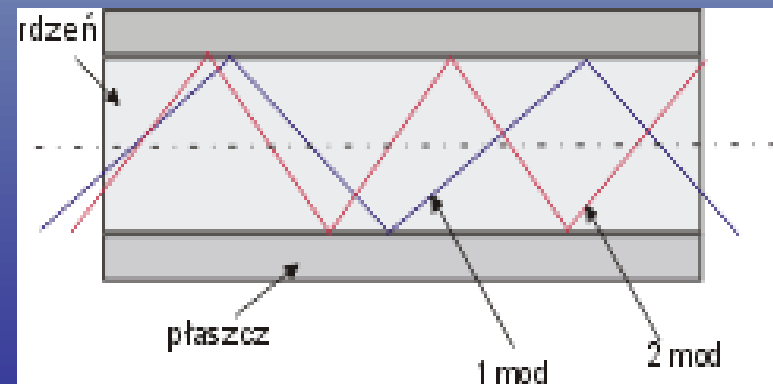
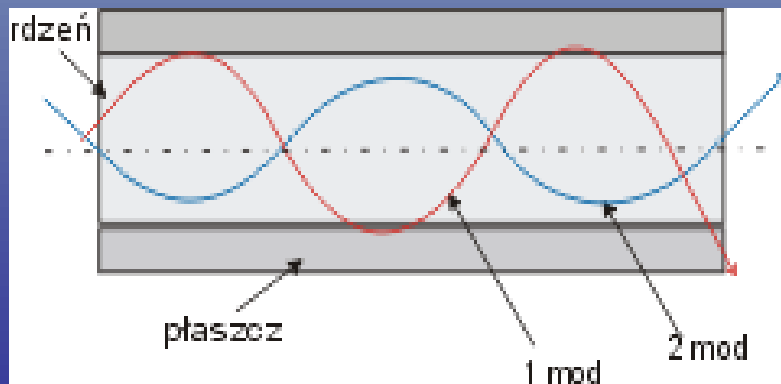
Propagowane we włóknie promienie świetlne zwane są modami światła i definiuje się je jako monochromatyczną wiązkę, rozchodzącą się wzdłuż falowodu z charakterystyczną dla siebie tzw. prędkością fazową.

Typy światłowodów

Ze względu na ilość wiedzionych modów przez światłowód, włókna dzieli się na **wielomodowe** i **jednomodowe**.

Światłowody wielomodowe

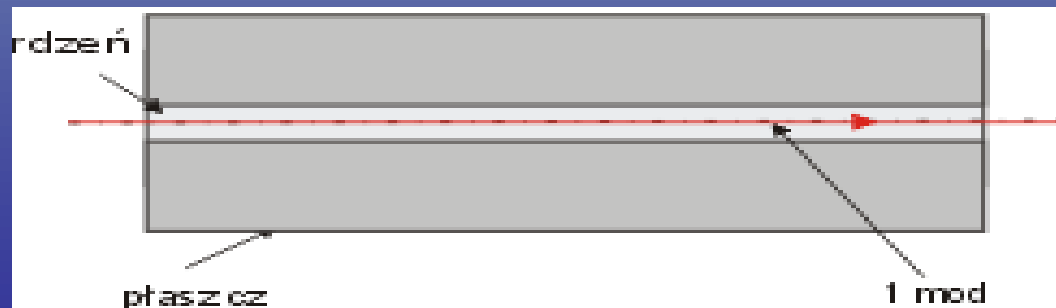
Światłowody wielomodowe przesyłają wiele modów (fal) o różnej długości, co powoduje rozmycie impulsu wyjściowego i ogranicza szybkość lub odległość transmisji. Źródłem światła jest tu dioda LED



Światłowody jednomodowe

Światłowody jednomodowe są efektywniejsze i pozwalają transmitować dane na odległość do 100 km bez wzmacniacza.

Źródłem światła jest tu laser. Dzięki temu, że sygnał ten prawie wcale nie ulega rozproszeniu, nawet najbardziej zewnętrzne części jego wiązki nie zaczynają nawet dotykać wewnętrznych ścianek włókna przewodzącego, nie mówiąc o jakichkolwiek odbiciach



Nadajniki optyczne

Diody elektroluminescencyjne LED (Light-Emitting Diode)

Diody elektroluminescencyjne są źródłami światła wykorzystującymi zjawisko emisji tzw. spontanicznej, emitującymi światło o mocy wzrastającej w przybliżeniu liniowo ze wzrostem prądu zasilania

Nadajniki optyczne

Lasery światłowodowe

Lasery światłowodowe są to urządzenia wytwarzające spójną wiązkę promieniowania elektromagnetycznego, działającą na zasadzie emisji wymuszonej.

Lasery ze studniami kwantowymi

W laserach tych obszar czynny jest cieńszy od 100 nm, a więc jest on znacznie mniejszy od długości fali.

Nadajniki optyczne

Lasery jednomodowe

Współczesne systemy transmisyjne bardzo często stwarzają konieczność jednomodowej pracy lasera.

Selektywność wyboru modu podłużnego może zostać poprawiona przez zastosowanie selektywnego rozproszonego sprzężenia zwrotnego.

Odbiorniki optyczne

Detektory promieniowania świetlnego mają za zadanie wykrycie tego promieniowania i określenie jego właściwości.

Detektory przekształcają otrzymaną moc promieniowania na prąd elektryczny, który później podlega wzmacnianiu i dalszej obróbce elektrycznej.

Odbiorniki optyczne

Aby detektory promieniowania mogły służyć telekomunikacji światłowodowej muszą spełniać szereg warunków:

- duża dokładność odzyskiwania sygnału
- duża czułość w odpowiednich pasmach promieniowania 0,8-0,9 μm , kompatybilne z laserami ALGaAs (arsenek galu) i LED (krzem); 1,1-1,6 μm (kompatybilne z diodami laserowymi)
- duża elektryczna odpowiedź na odebrany optyczny sygnał
- małe szумы własne, dla osiągnięcia dużego stosunku sygnału do szumów
- mały wpływ czynników zewnętrznych (temperatury) na pracę fotodetektora
- małe wymiary
- niewielki pobór mocy
- wysoka niezawodność i niski koszt

Odbiorniki optyczne

Fotodioda półprzewodnikowa

Fotodiody półprzewodnikowe spolaryzowane w kierunku zaporowym, są **najprostszym rodzajem** odbiorników stosowanych w **detekcji bezpośredniej**

Odbiorniki optyczne

Fotodioda lawinowa

Fotodioda lawinowa ma strukturę fotodiody półprzewodnikowej, lecz wyróżnia ją zastosowanie odpowiednio dużego napięcia wstecznego w celu uzyskania efektów jonizacji

Wzmacniacze optyczne

Stosowane w łączności światłowodowej wzmacniacze optyczne są to

- wzmacniacze falowodowe - światłowodowe (domieszkowane tzw. pierwiastkami ziem rzadkich)
- półprzewodnikowe
- wzmacniacze wykorzystujące zjawiska nieliniowe zachodzące we włóknach.

Własności światłowodów

Tłumienie

Jedną z podstawowych wad światłowodów jest tłumienie, które nie zmienia kształtu sygnału, zmniejsza jedynie jego moc.

Własności światłowodów (cd)

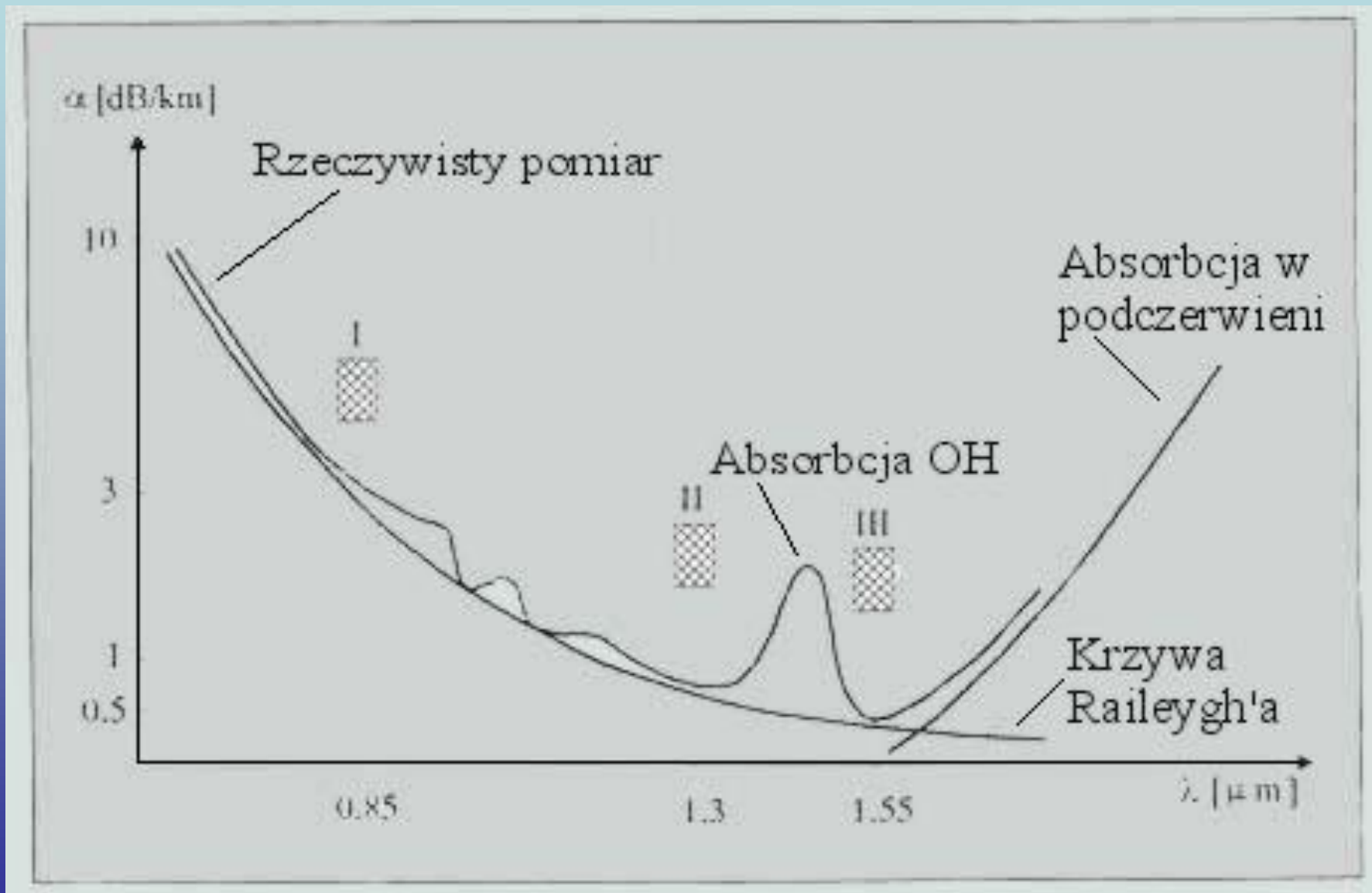
Tłumienie powodowane jest przez straty falowe wynikające z niedoskonałości falowodu.

Należą do nich:

- absorpcja, czyli pochłanianie energii przez cząstki światłowodu
- rozpraszanie energii powodowane fluktuacjami gęstości materiału rdzenia oraz fluktuacjami współczynnika załamania w rdzeniu i w płaszczu przy jego granicy z rdzeniem
- rozpraszanie energii spowodowane niedoskonałościami włókna powstałymi już w fazie produkcji.

Własności światłowodów (cd.)

I, II i III – okna transmisyjne



Okna transmisyjne

Tłumienie zależne od długości fali odgrywa istotną rolę w transmisji światłowodowej, w związku z tym wyróżnia się trzy okna przydatne do prowadzenia transmisji o obniżonej tłumienności.

Okna transmisyjne

- **I okno transmisyjne** - obejmuje fale w okolicy $0,85\mu\text{m}$, dość wysokie tłumienie powyżej 1dB/km . O atrakcyjności tego okna stanowi dostępność tanich źródeł światła, jednak zakres jego zastosowań sprowadza się tylko do małych odległości transmisyjnych rzędu kilkunastu kilometrów.
- **II okno transmisyjne** - na fali $1,3\mu\text{m}$, tłumienie około $0,4\text{dB/km}$, zasięg transmisji od 75 do 100km .
- **III okno transmisyjne** - na fali $1,55\mu\text{m}$, tłumienie mniejsze niż $0,2\text{dB/km}$, zasięg transmisji od 150 do 200km .

Dyspersja

- **Dyspersja**, czyli poszerzenie impulsu docierającego na koniec włókna (rozproszenie impulsu), jest drugim czynnikiem po tłumieniu w wyraźny sposób ograniczającym zasięg transmisji w systemach światłowodowych.
- Rozróżnia się dwa typy dyspersji. Jest to dyspersja **międzymodowa**, oraz dyspersja **chromatyczna**.

Dyspersja

Dyspersja modowa - występuje w światłowodach wielomodowych, w światłowodach gradientowych jest nieznaczna. Impuls światła wiedziony przez światłowód jest superpozycją wielu modów, z których prawie każdy, na skutek różnych kątów odbicia od granicy rdzenia, ma do przebycia inną długość drogi między odbiornikiem a nadajnikiem.

Dyspersja

Dyspersja chromatyczna (związana z barwą światła)

Składają się na nią dwa zjawiska: dyspersja materiałowa i falowodowa.

- * ***dyspersja materiałowa*** powodowana jest zmianą współczynnika załamania szkła kwarcowego w funkcji długości fali.
- * ***dyspersja falowa*** - częściowo powodowana jest wędrowaniem wiązki przez płaszcz światłowodu.

Normalizacja międzynarodowa

Zakres zmian długości fali

- W telekomunikacji stosowane są pojęcia **transmisyjnych pasm (okien) optycznych**.
- Światłowody kwarcowe wielomodowe stosowane są w dwóch pasmach:
 - a) pierwsze okno optyczne - 850 nm
 - b) drugie okno optyczne - 1300 nm
- Światłowody kwarcowe jednomodowe stosowane są w pasmach:
 - a) drugie okno optyczne - 1310 nm
 - b) trzecie okno optyczne - 1550 nm

Normalizacja międzynarodowa

Światłowody wielomodowe zgodne z zaleceniem CCITT G.651

- średnica rdzenia około 50 μm
- średnica płaszczka około 125 μm
- błąd koncentryczności < 6%
- błąd niekołowości < 6%
- apertura numeryczna - przeważnie w zakresie 0,18 - 0,24
- współczynnik tłumienności jednostkowej:
 - < 4 dB/km dla okna 850 nm
 - < 2 dB/km dla okna 1300 nm

Koniec prezentacji