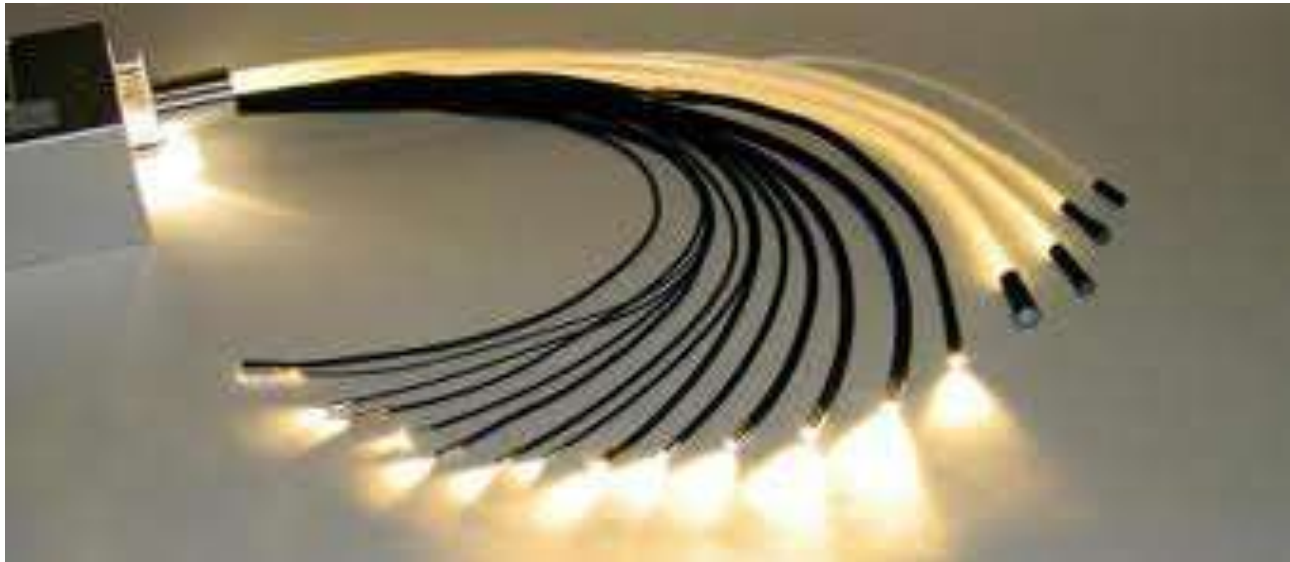


Tory i kable światłowodowe



HISTORIA TORÓW ŚWIATŁOWODOWYCH

sięga roku 1870, w którym fizyk brytyjski J. Tyndall zademonstrował transmisję wiązki świetlnej wzdłuż dielektrycznej przewodnicy. Prowadnicą był strumień wody, wypływający małym otworem z zamkniętego naczynia oświetlonego wewnątrz.

W 1880 roku Aleksander Graham Bell wykonał telefon świetlny – fotofon, w którym źródłem światła było Słońce, modulatorem membrana, a fotodetektorem komórka selenowa.

Teoria dielektrycznego falowodu – światłowodu została opracowana w 1910 roku. Jej twórcami byli Hondros i Debye.

ROZWÓJ TECHNIKI ŚWIATŁOWODOWEJ

Datuje się od lat 60. ubiegłego wieku i był możliwy dzięki opracowaniu:

- lasera półprzewodnikowego (1960),**
- pierwszego światłowodu kwarcowego o tłumieniu 20 dB/km opracowanego przez Kaprona i współpracowników w firmie Corning Glass (1970),**
- diody elektroluminescencyjnej na zakres $\lambda=850 \mu\text{m}$ (1972),**
- laserów półprzewodnikowych na pasmo $1,3 \mu\text{m}$ (1978) i na pasmo $1,5 \mu\text{m}$ (1980),**
- światłowodowych wzmacniaczy optycznych (1989).**

Technika światłowodowa w Polsce była rozwijana głównie przez ośrodki akademickie i instytuty badawcze.

W roku 1964 pojawiła się pierwsza krajowa dioda elektroluminescencyjna wykonana w Instytucie Technologii Elektronowej PAN, a w 1980 roku został zainstalowany pierwszy odcinek linii światłowodowej (2 km) o przepływności 2,2 Mbit/s z użyciem światłowodu wykonanego w Uniwersytecie Marii Curie-Skłodowskiej w Lublinie.

PODSTAWOWE CECHY TRANSMISJI ŚWIATŁOWODOWEJ

- Szybkość transmisji:** Nośnikiem informacji jest światło – fala elektromagnetyczna o częstotliwości $3 \times 10^{14} \text{ Hz}$. Pojemność kanału transmisji można zwielokrotnić przesyłając jednym światłowodem fale o różnych „kolorach”.
- Zasięg transmisji:** Bardzo małe tłumienie szkła krzemionkowego i całkowite wewnętrzne odbicie na granicy rdzenia umożliwiają transmisję bez regeneracji na znaczne odległości.
- Mody światłowodu:** Wiele właściwości światłowodu, w tym pojęcie modu, można wyjaśnić tylko uwzględniając fakt, że światło to fala elektromagnetyczna rozchodząca się w falowodzie o małych wymiarach poprzecznych.

MOD – próba wyjaśnienia co to...

W falowodzie lub rezonatorze modem nazywamy jedną z dopuszczalnych struktur pola elektromagnetycznego. Dopuszczalne struktury pola możemy obliczyć korzystając z równań Maxwella...



Brzmi strasznie... Zaczniemy jeszcze raz.

A więc prosto mówiąc:

- Rozumienie modu jako kanału wydaje się być najbardziej intuicyjne.**
- Powstanie w światłowodzie modów powodujemy, wprowadzając promień światła pod różnymi kątami.**

CHARAKTERYZACJA ŚWIATŁOWODÓW -- JEDNOSTKI

1. Długość fali światła wyraża się w:

$$\mu\text{m} = 10^{-6}\text{m}$$

$$\text{nm} = 10^{-9}\text{m}$$

2. Tłumienie światłowodu wyraża się w dB/km:

$$A [\text{dB/km}] = 10 \cdot \lg (P_{\text{wy}}/P_{\text{we}})/L$$

ZALETY I WADY

ZALETY

- Ogromna przepustowość informacyjna (szerokie pasmo przenoszenia) pojedynczego włókna**
- Małe straty, co oznacza przesyłanie sygnałów na znaczne odległości**
- Większa odległość pomiędzy wzmacniaczami sygnału**
- Całkowita niewrażliwość na zakłócenia elektromagnetyczne**
- Prawie niemożliwy podsłuch przesyłanych danych, wyeliminowanie przesłuchów międzykablowych**
- Mała waga i małe wymiary**
- Bezpieczeństwo pracy**

-Względnie niski koszt który ciągle spada

ZALETY c.d.

-Duża niezawodność łączy światłowodowych, prostota obsługi

-Sprostanie przyszłym wymaganiom co do wydajności transmisji

WADY

- obecność niepożądanych procesów nieliniowych,

- kontrola dyspersji rdzenia,

- nieustalony stan polaryzacji światła,

- problemy ze wzbudzaniem od czoła,

- możliwość uszkodzenia mechanicznego włókna, mikrozgięcia

BUDOWA



PODSTAWOWA KLASYFIKACJA ŚWIATŁOWODÓW

Ze względu na strukturę, charakterystyki modowe i stosowane materiały światłowody możemy dzielić na następujące grupy:

- włókniste i planarne (struktura),**
- jednomodowe i wielodomowe (charakterystyka modowa),**
- skokowe i gradientowe (rozkład współczynnika załamania w rdzeniu),**
- szklane, plastikowe, półprzewodnikowe (materiał),**
- pasywne, aktywne, specjalne (zastosowania).**

TORY PRZEWODOWE W KABLACH ŚWIATŁOWODOWYCH

stanowią (głównie) włókna szklane, w których są przesyłane fale świetlne leżące w zakresie bliskim podczerwieni, będące nośnikami informacji.

Ze względu na materiał rdzenia wyróżniamy światłowody (PODZIAŁ ZE WZGLĘDU NA MATERIAŁ):

- **szklane**

- plastikowe

- cieczowe

- krystaliczne

Światłowody wykonane z innych materiałów niż szkło są wykorzystywane do specyficznych o ograniczonych zastosowań. Np. włókna z plastikowe są stosowane na małe odległości rzędu kilku metrów.

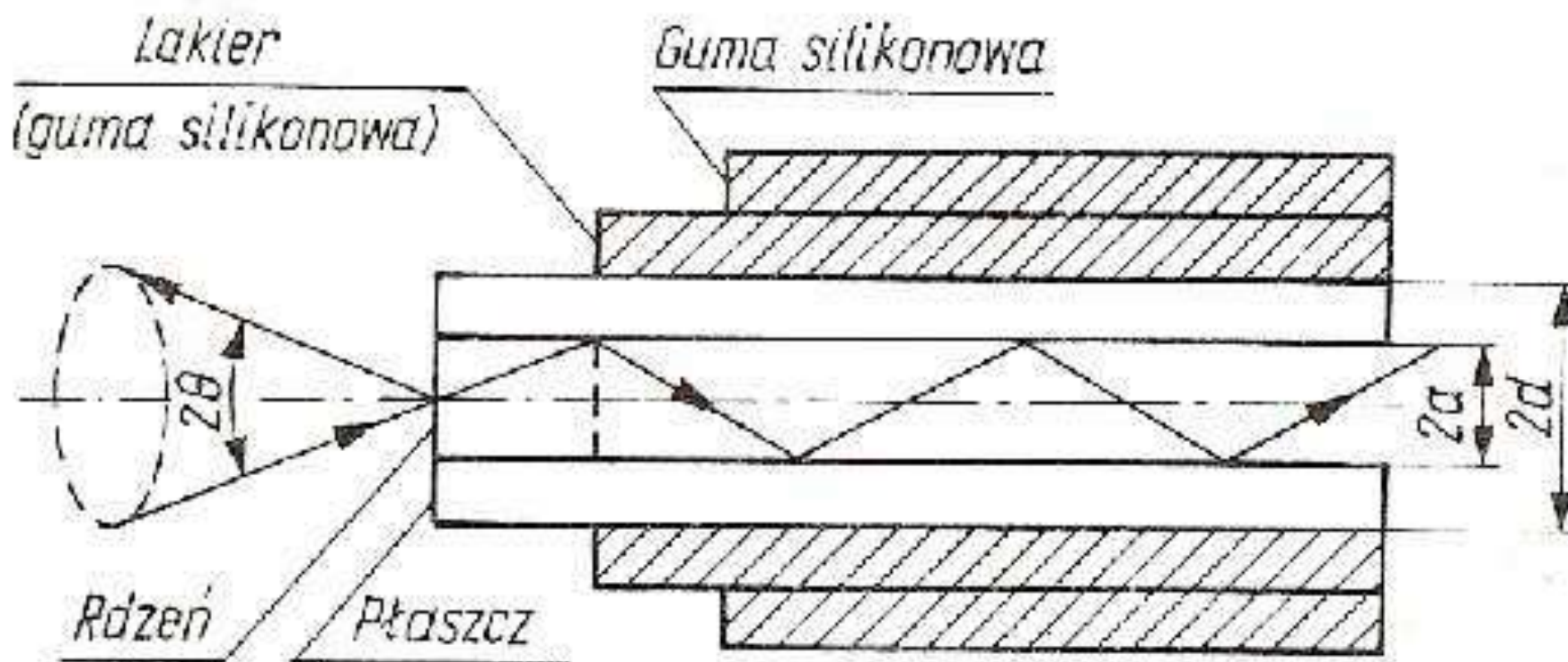
Światłowodowe włókna szklane, zwane światłowodami, są wytwarzane z czystego szkła kwarcowego, przy czym ośrodek włókna nie jest jednorodny, lecz składa się z dwóch warstw o współczynniku załamania światła, nałożonych na siebie współosiowo.

Część wewnętrzna światłowodu nazywana jest rdzeniem, część zewnętrzna – płaszczem.

Współczynnik załamania w rdzeniu jest nieco wyższy niż w płaszczu.

Czasem rdzeń składa się z wielu włókien.

Na płaszcz nałożone są powłoki ochronne zabezpieczające światłowód przed uszkodzeniami mechanicznymi oraz przed wilgocią. Powłoki ochronne są wytwarzane z lakieru termoutwardzalnego, gumy silikonowej lub teflonu.

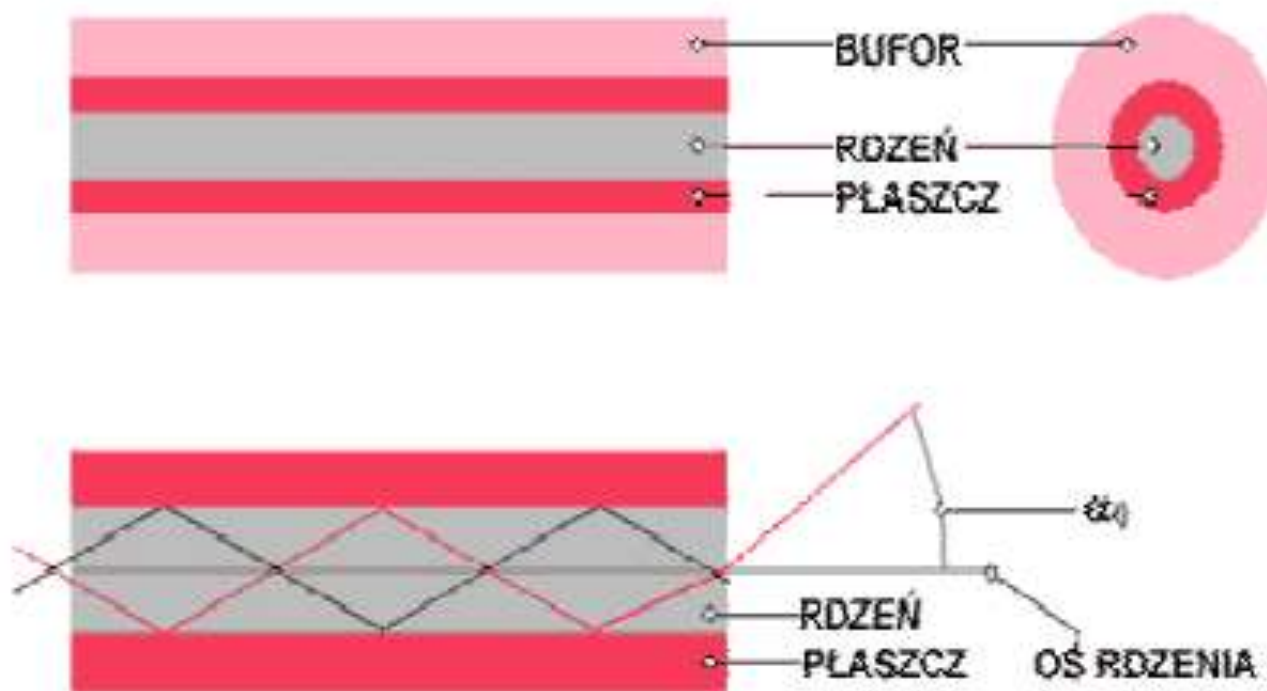


Światłowód kwarcowy z pokryciem ochronnym i jego własności: 2θ – stożek akceptacji, $2a$ – średnica rdzenia, $2d$ – średnica płaszczu, lakier i guma silikonowa – materiały pierwszego i drugiego pokrycia

Płaszcz światłowodu zrobiony jest z czystego szkła (SiO_2) mającego niższy współczynnik załamania niż rdzeń.

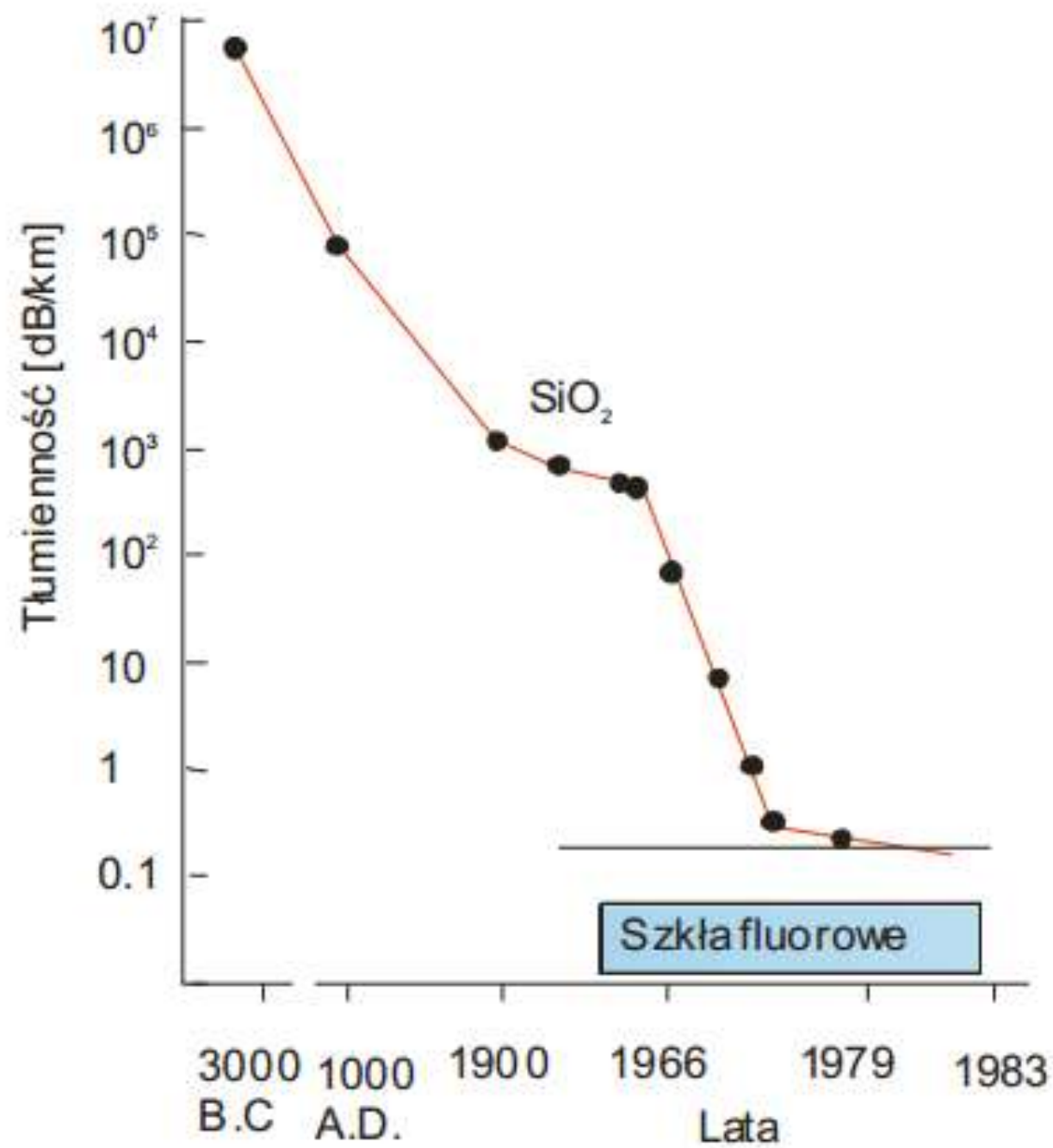
Różnica współczynników załamania pozwala światłu poruszać się w rdzeniu.

Granica rdzenia - płaszcz działa jak lustro, nie pozwalając wydostać się światłu poza rdzeń. Włókno światłowodowe działa zatem na zasadzie całkowitego odbicia wewnątrz rdzenia.



ZASADNICZĄ TRUDNOŚCIĄ w tworzeniu światłowodu jest uzyskanie szkła wolnego od zanieczyszczeń i domieszek, które powodują wzrost tłumienia.

Zasadniczą zaletą transmisji światłowodowej jest możliwość przenoszenia bardzo szerokich pasm częstotliwości przy małych stratach.



Tłumienność szkła w latach

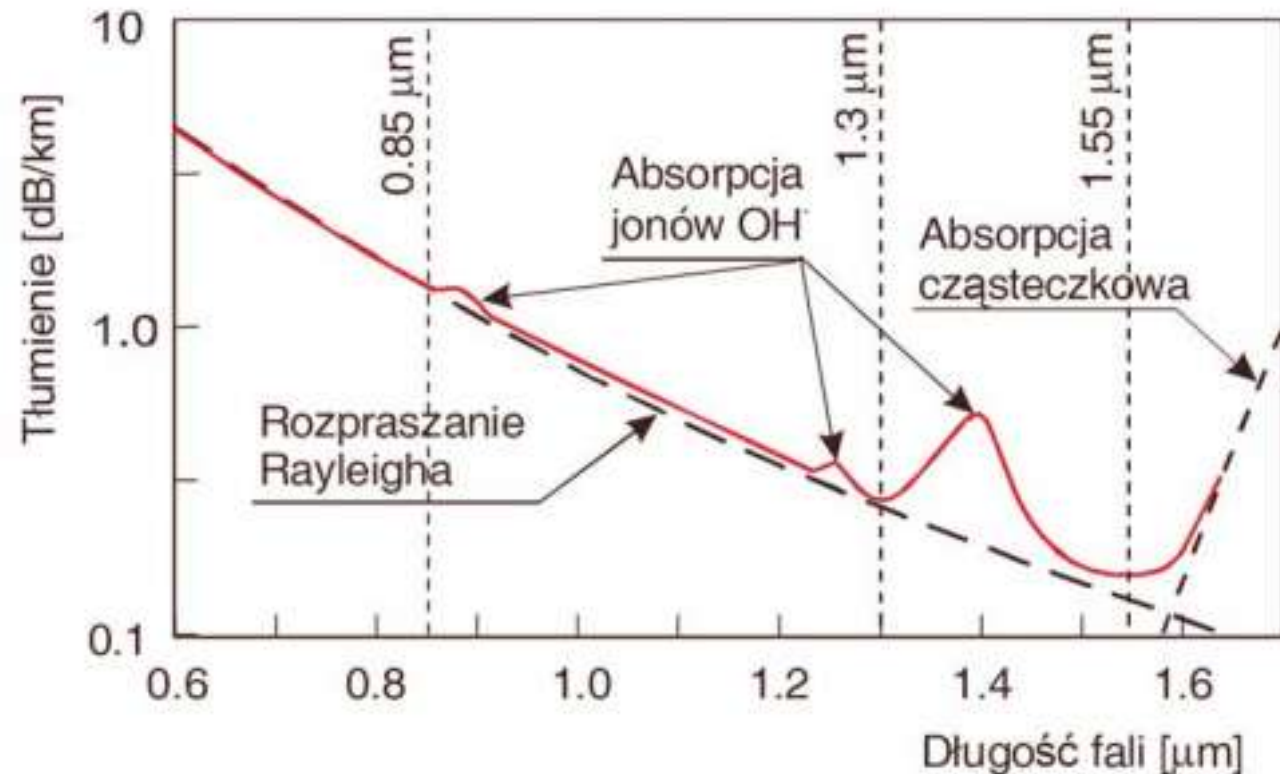
TŁUMIENNOŚĆ WSPÓŁCZESNEGO ŚWIATŁOWODU

Szkło tlenkowe: SiO_2

1. Ogon absorpcji podczerwonej – absorpcja cząsteczkowa,
2. Ogon absorpcji niebieskiej – rozpraszanie Reyleigha, przejścia międzypasmowe w materiale,
3. Absorpcja przez zanieczyszczenia - jony OH^- , jony pierwiastków przejściowych,
4. Rozpraszanie Mie, rozpraszanie wymuszone.

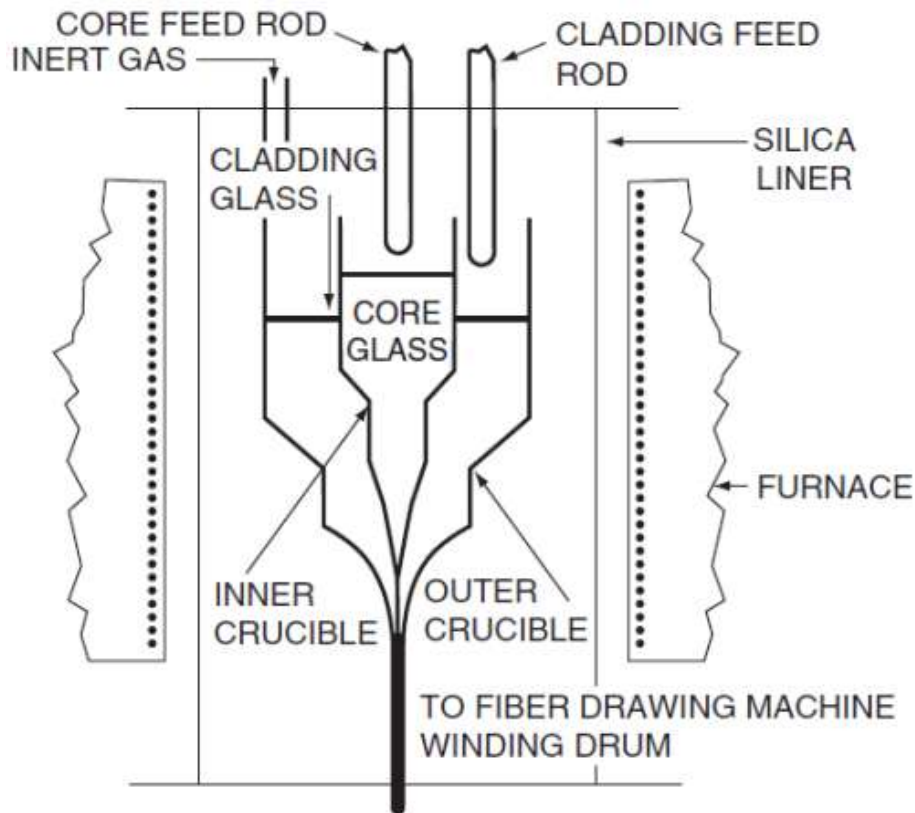
Szkło fluorowe ZBLAN (ZrF_4 – BaF_2 – LaF_3 – AlF_3 – NaF)

- niska energia fononów
- mała tłumienność w obszarze widzialnym



METODY WYTWARZANIA

TECHNIKA DWUTYGŁOWA WYTWARZANIA WŁÓKIEN



Ta technika są wytwarzanie włókna komercyjne o stratach 5dB@900 nm, jednakże niskostratne włókna na II i III okno transmisyjne nie są osiągalne.

Odpowiednio czyste materiały rdzenia i płaszcz, poprzez kontrolowanie temperatury i czasu kontaktu obu składowych w zbiorniku płaszcz pozwalają na dyfuzję materiału i wytworzenie włókna gradientowego.

Pomimo dość prostej i eleganckiej metody wytwarzania, od samego początku, technika ta boryka się z problemem zanieczyszczeń z tygla zmniejszających czystość materiału.

TECHNIKI OSADZANIA Z OPARÓW

Powstałe w początkowych latach 70 ubiegłego wieku mogą być klasyfikowane jako wewnętrzny lub zewnętrzny proces. Obie stosują utlenianie oparów trójchlorku krzemu celem wytworzenia submikronowych cząstek amorficznego krzemu.

Inne opary chlorku takie jak trójchlorek germanu i chlorotlenek fosforu są stosowane jako źródło domieszki do krzemu.

Osadzanie zewnętrzne używa wodorowania płomieniowego dzięki czemu opary chlorku przechodzą przez proponowo-tlenowe palniki i wytwarzają „osad” cząstek SiO_2 . wokół swoistych meandrów stanowiących zaczątek preformy.

Proces wewnętrzny używa tego samego typu reaktantów razem z tlenem, ale reakcja zachodzi wewnątrz krzemowej rury bez wodoru. Wysokie temperatury niezbędne do osadzenia cząstek są otrzymywane poprzez palniki tlenowo-wodorowe, które przemieszczają się wzdłuż rury obracanej w specjalnej tokarce. Cząstki te są osadzane na wewnętrznych ścianach rury, w postaci kolejnych warstw.

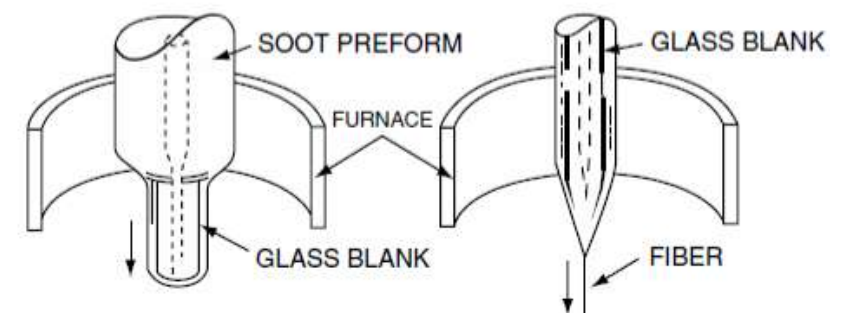
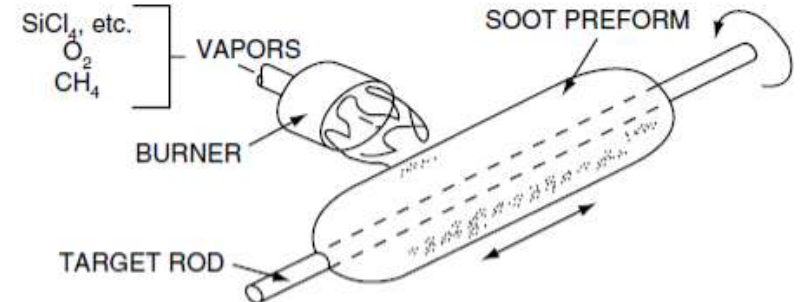
ZEWNĘTRZNE OSADZANIE Z OPARÓW – OVD

Opracowany przez Corning Glass Works proces OVD jest jednym z najczęściej stosowanym do produkcji włókien.

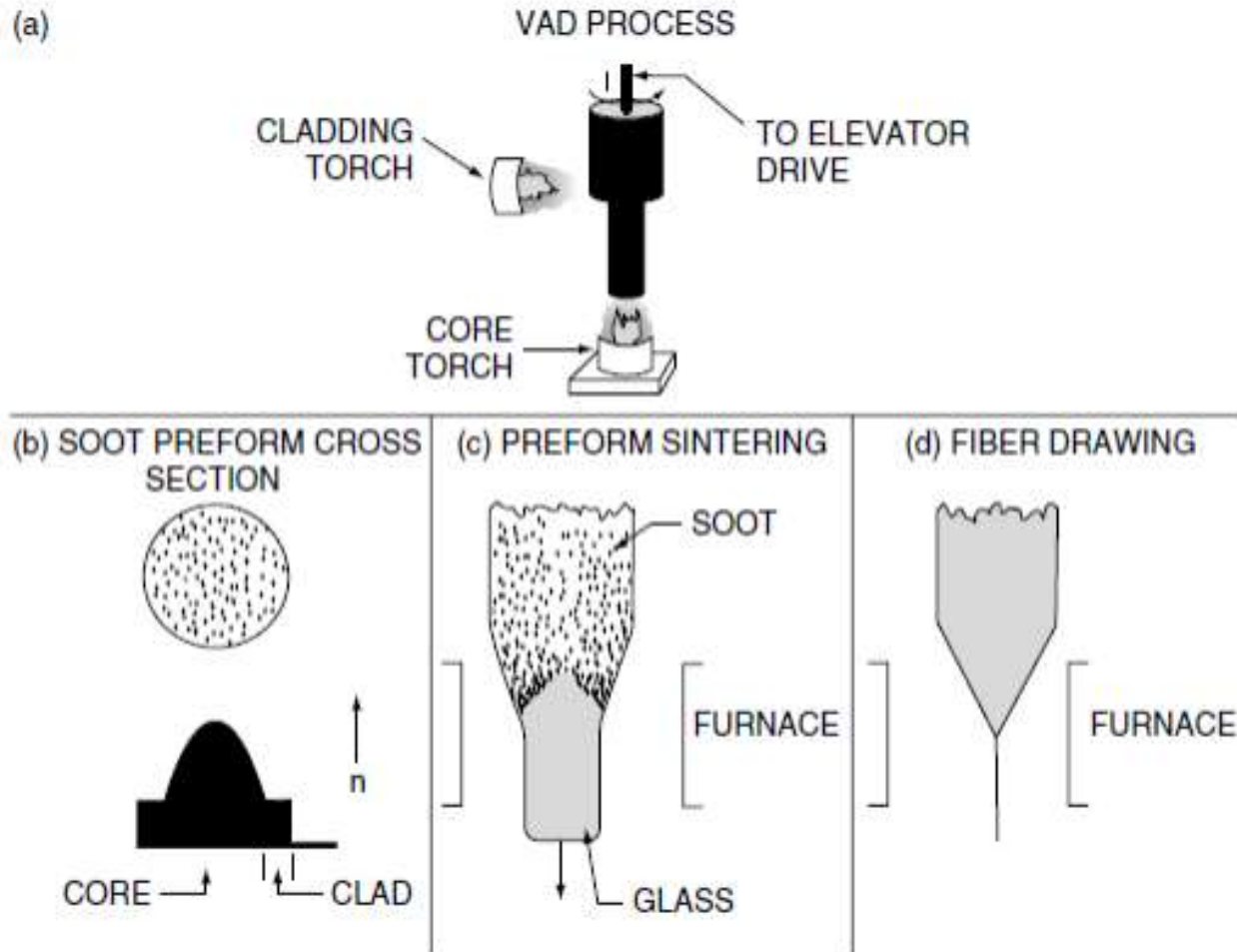
1.Podczas procesu osadzania krzem i domieszkowane cząstki krzemu są wytwarzane w metanowo/tlenowym płomieniu podczas reakcji hydrolizy. Krzemowa, domieszkowana preforma jest formowana poprzez wielowarstwowe osadzanie oparów na pręcie w trakcie jego równomiernego obrotu oraz przesuwu palnika wzdłuż target.

2.Porowata preforma podlega osuszaniu w dwuchlorku celem usunięcia cząsteczek wody i metalicznych zanieczyszczeń.

3.Spiekanie do postaci gładkiego bloku szklanego w wysokiej temp. celem zwiększenia gęstości preformy.



VAD – OSADZANIE PIONOWO-OSIOWE



Przewaga VAD nad OVD to możliwość wytworzenia preform mocno domieszkowanych. Jest to wariant metody OVD, gdzie materiał rdzenia oraz płaszcz mogą być nanoszone razem lub osobno.

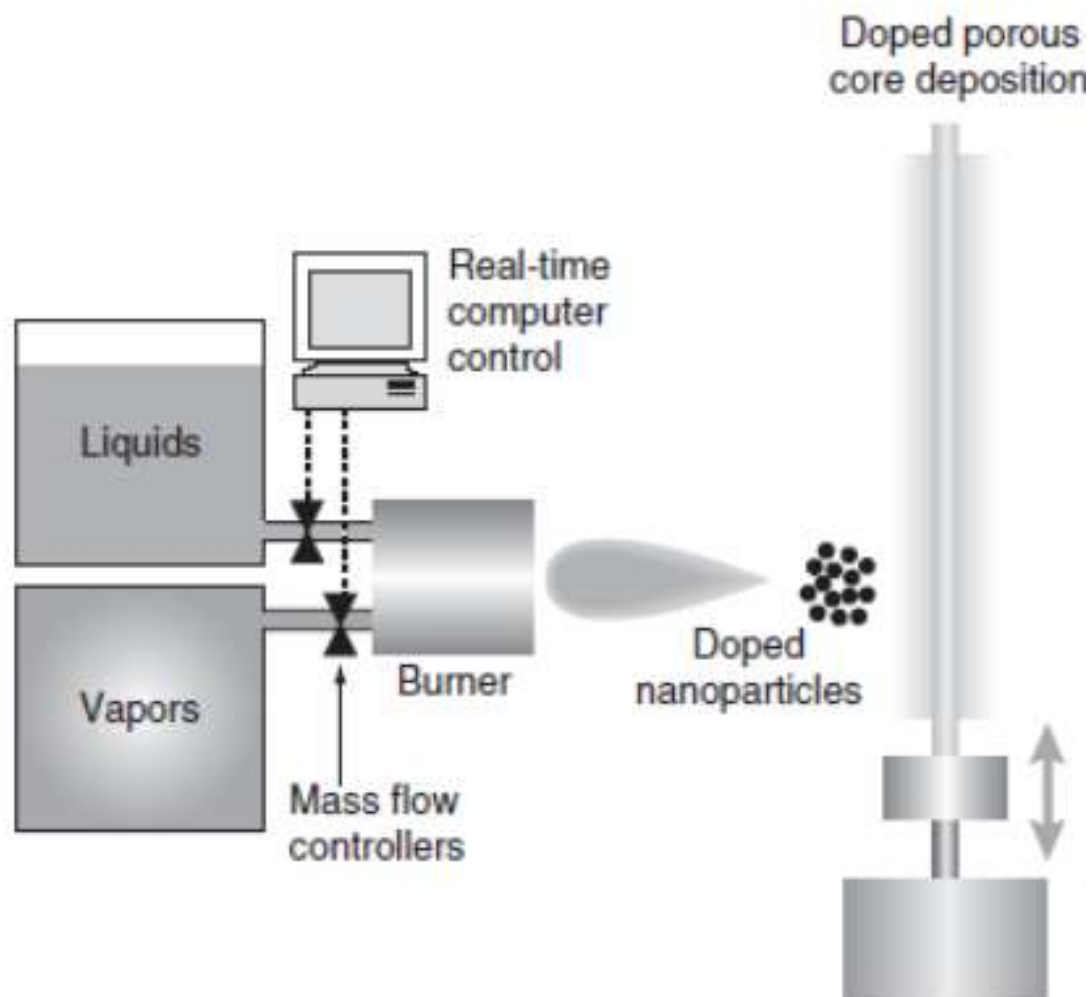
FIG. 3 Proces VAD: a) wzrost z zarodka, b) profil preformy po usunięciu zarodka, c) spiekanie preformy,

DND – BEZPOŚREDNIE NANOSZENIE NANOCZĄSTEK

Jest nowoczesną technologią wytwarzania włókien laserujących oraz wzmacniających (włókna domieszkowane pierwiastkami ziem-rzadkich).

Generalnie można powiedzieć, że jest to forma OVD, gdzie nanocząstki (10-100nm)

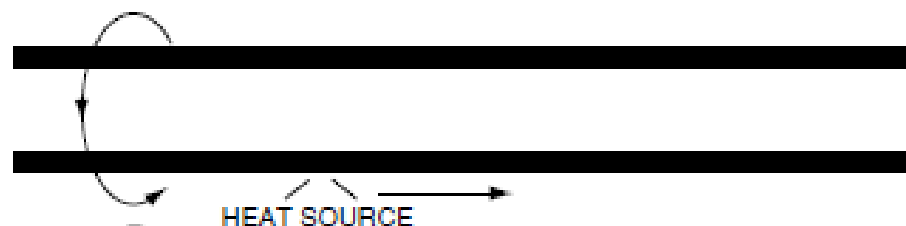
dostarczane są w postaci ciekłej lub gazowej i osadzane na aluminiowym nie krzemowym podłożu – dalej jak OVD.



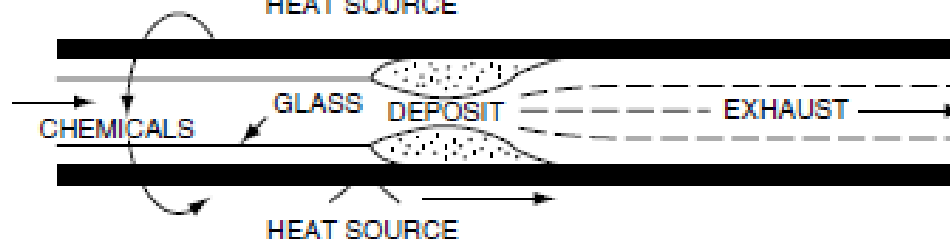
MCVD – ZMODYFIKOWANE CHEMICZNE OSADZANIE Z OPARÓW

Wyrasta ona z technologii CVD stosowanej w przemyśle elektronicznym do wytwarzania domieszkowanych warstw wewnątrz krzemowych rurek. Modyfikacja polega na zwiększeniu szybkości procesu poprzez ponad 10-krotne zwiększenie szybkości przepływu gazu w rurze. W MCVD typowo nanosi się od 30 do 100 warstw.

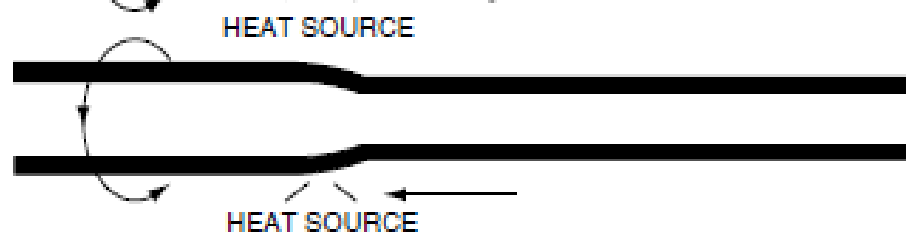
I. TUBE SETUP



II. DEPOSITION



III. COLLAPSE



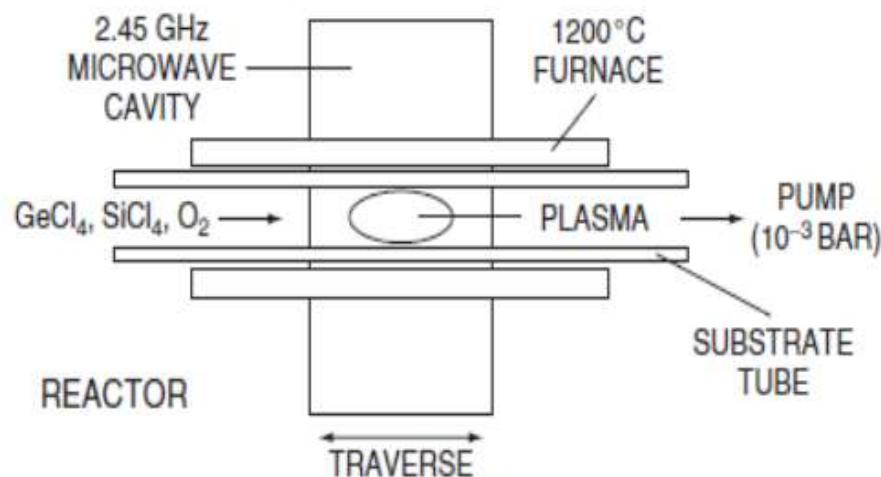
IV. FIBER DRAWING



PCVD – PLAZMOWE CHEMICZNE OSADZANIE Z OPARÓW

Jest to proces podobny do MCVD ze względu użycia tego samego typu materiałów do osadzenia wewnątrz krzemowej rury jej kolapsu, a następnie wyciągnięcia we włókno. Zasadnicza różnica pomiędzy tymi dwoma procesami polega na tym, że utlenianie odczynników w rurze jest inicjowane przez nieizotermalną mikrofalową plazmę w rurze a nie poprzez zewnętrzne jej ogrzewanie.

W procesie PCVD większość z nanoszonych materiałów ma formę oparów, a nie jako osadów które występują w metodzie MCVD. W konsekwencji metoda ta zapewnia prawie 100% nanoszenie dwutlenku germanu i krzemu (problem z usuwaniem OH) oraz nie prowadzi do problemów związanych z przegrzaniem rury. Potrzebuje jednak technologii wytwarzania plazmy za pomocą mikrofalowego pieca działającego pod ciśnieniem kilku Torów i częstotliwości ok. 2.45 GHz.



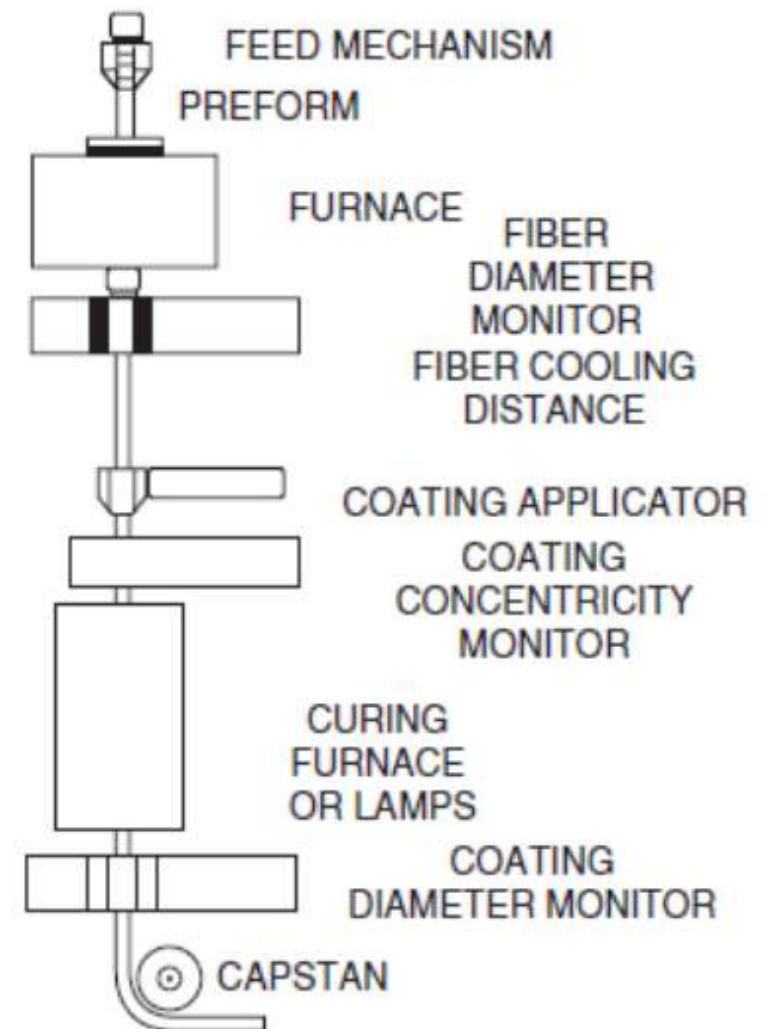
PROCESY SOL-ŻEL

Omówione procesy pozwalają na wytworzenie włókien o niskich do poziomu granicznych strat krzemu oraz długości rzędu 10km.

Zasadnicza korzyść to obniżenie masy włókna i kosztów materiału pokrycia oraz tym samym możliwość wzrostu długości włókna do setek kilometrów z jednej per formy.

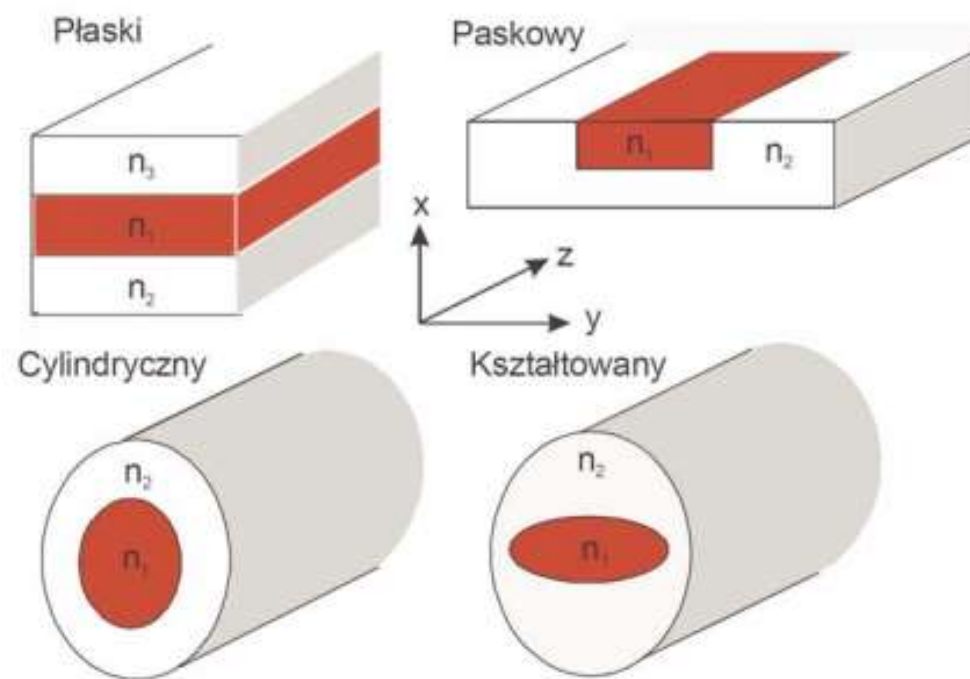
WYCIĄGANIE WŁÓKNA

Preforma – 1 m długości i średnica od 2.0 do 7.5 cm – wyciągana we włókno o średnicy 125 μm .



RÓŻNORODNOŚĆ ŚWIATŁOWODÓW

RODZAJE ŚWIATŁOWODÓW (ze wg. na strukturę):



ROZRÓŻNIA SIĘ ŚWIATŁOWODY (ze wg. na charakterystykę modową):

- jednomodowe – o bardzo małej średnicy rdzenia równej długości fali świetlnej, w których jest przesyłany tylko jeden rodzaj fali,**
- wielomodowe – o znacznie większej średnicy rdzenia niż długość fali świetlnej, w których może rozchodzić się wiele rodzajów fal o danej długości.**

W światłowodzie każdy mod rozchodzi się z różną prędkością, wskutek czego w światłowodach wielomodowych powstaje zjawisko dyspersji modowej, polegające na tym, że impulsy świetlne odbierane na wyjściu toru są poszerzone w stosunku do impulsów na wejściu toru. W celu zmniejszenia tego zjawiska są konstruowane światłowody gradientowe o zmniejszającym się współczynniku załamania światła w rdzeniu w miarę oddalania się od jego osi.

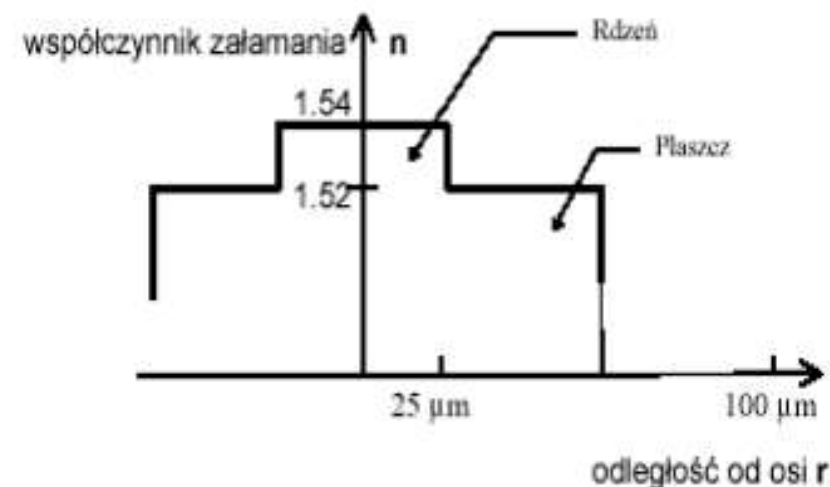
ŚWIATŁOWODY WIELOMODOWE

Włókno wielomodowe (MM-MultiMode) zostało zaprojektowane z myślą o przesyłaniu wielu modów światła. Włókno wielomodowe występuje w kilku rozmiarach, każdy przystosowany do wymogów innych sieci. Średnica rdzenia włókna podawana jest w mikrometrach i określa jego rodzaj.

Produkowane obecnie włókna wielomodowe mają rdzenie o rozmiarach: $50\mu\text{m}$, $62.5\mu\text{m}$ i $100\mu\text{m}$.

Najczęściej używana, zalecana w ANSI X3T9.5 dla sieci FDDI (Fiber Distributed Data Interface) jest średnica $62.5\mu\text{m}$.

Średnica płaszczki wynosi $125\mu\text{m}$ i jest standardem przemysłowy m. Włókno jest zazwyczaj określane symbolem: $62.5/125\mu\text{m}$



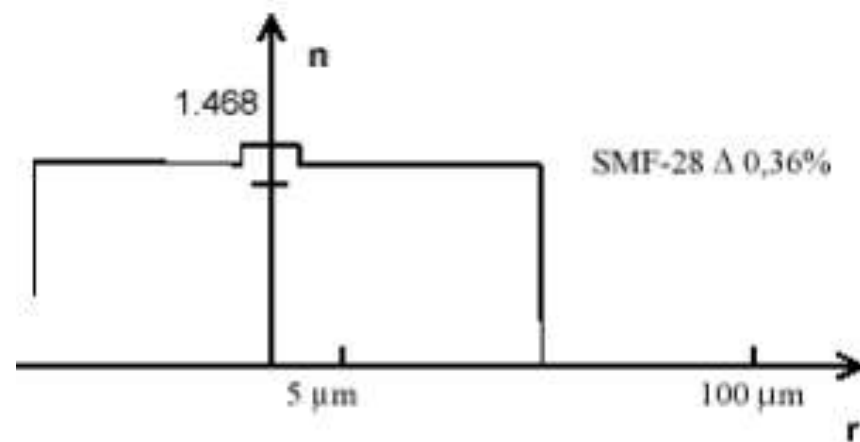
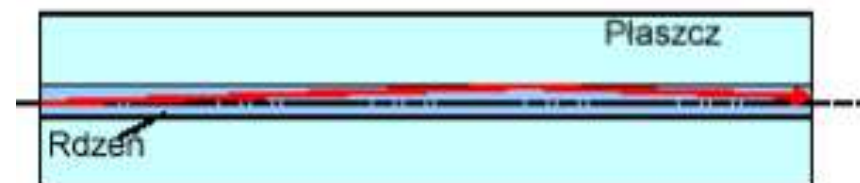
ŚWIATŁOWODY JEDNOMODOWE

Światłowody jednomodowe (SM-SingleMode) są stosowane w sieciach teletransmisyjnych. Włókno jednomodowe zostało zaprojektowane z myślą o przesyłaniu pojedynczego modu światła. Współpracuje z laserem o bardzo wąskiej wiązce światła i może przenosić ogromne ilości informacji na bardzo duże odległości.

Średnica rdzenia zazwyczaj zawiera się w przedziale $8.5\mu\text{m}$ - $9.5\mu\text{m}$.

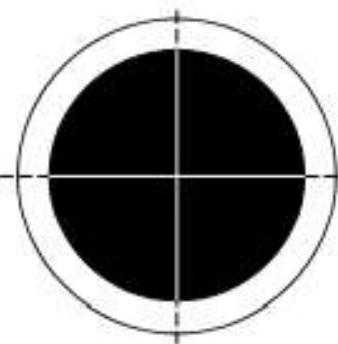
Płaszcz włókna ma standardową średnicę $125\mu\text{m}$.

Włókno jednomodowe jest wybierane przez projektantów ze względu na niemal nieograniczone pasmo przenoszenia i niezwykle niską tłumienność. Pozwala na wydłużenie odległości pomiędzy wzmacniaczami nawet do 150 kilometrów i więcej.



Światłowod skokowy wielomodowy posiada rdzeń o średnicy 50 do 1000 μm (praktycznie 50 do 200 μm). W światłowodzie tym propaguje wiele rodzajów fal (modów) pod różnymi kątami, co oznacza, że różne porcje energii mają do przebycia różne drogi i - w konsekwencji - pokonują one światłowod w różnym czasie. W wyniku tego krótki impuls optyczny wprowadzony do światłowodu po przebyciu go ulega rozszerzeniu. Efekt ten określany jest mianem dyspersji modowej i ogranicza pasmo przepustowe światłowodu.

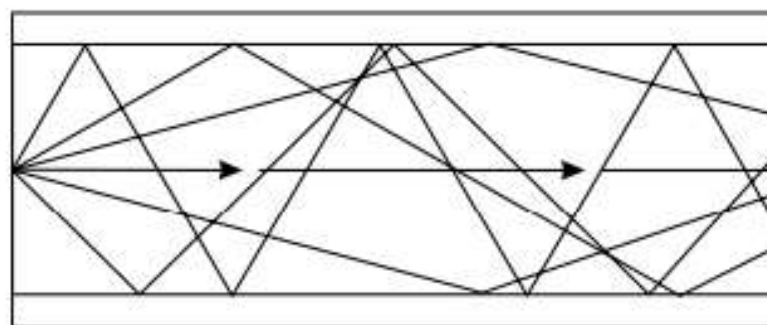
Przekrój
poprzeczny
światłowodu



Profil
współczynnika
załamania



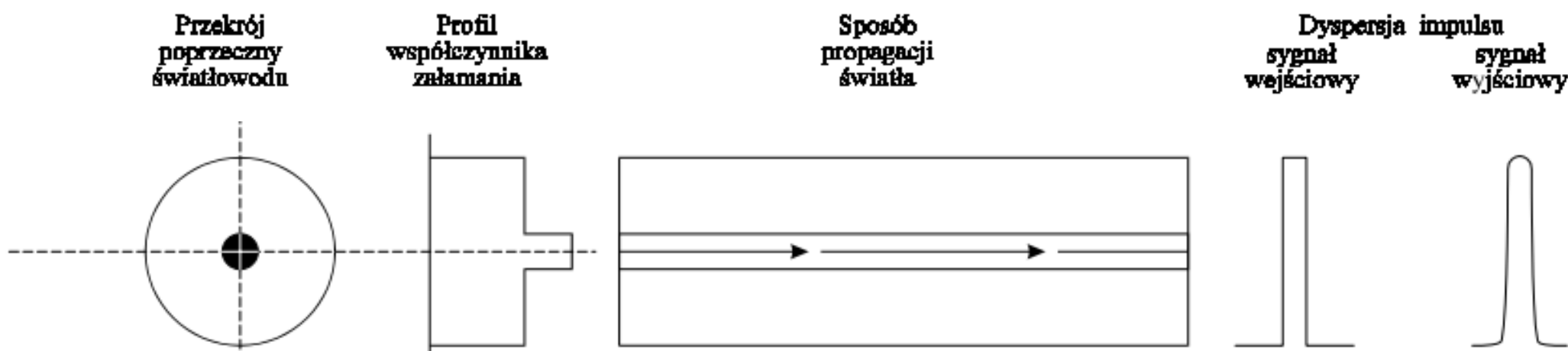
Sposób
propagacji
światła



Dyspersja impulsu
sygnał
wejściowy sygnał
wyjściowy

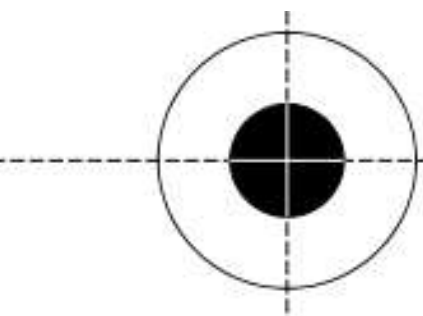


Światłowod jednomodowy jest także światłowodem skokowym, ale dzięki małej średnicy rdzenia - poniżej $10\text{ }\mu\text{m}$ - propaguje w nim tylko jeden mod. Nie ma zatem różnicowania dróg i czasów propagacji. Dzięki temu nie występuje w tym typie światłowodu dyspersja modowa. Ograniczenie pasma przepustowego wynika natomiast ze zróżnicowania szybkości propagacji światła w zależności od długości fali. Efekt ten nosi nazwę dyspersji chromatycznej.

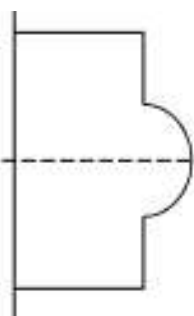


Światłowod gradientowy posiada płynnie zmieniający się wzdłuż promienia współczynnik załamania. Nie ma w tym światłowodzie wyraźnej granicy pomiędzy rdzeniem, a płaszczem. Promień świetlny nie odbija się zatem, a ugina przechodząc przez warstwy o różnym współczynniku załamania. Oznacza to, że szybkość propagacji także się zmienia, przy czym im dalej od osi światłowodu, tym jest ona większa. Przy odpowiednim ukształtowaniu profilu współczynnika załamania uzyskuje się efekt wzajemnej kompensacji wydłużenia drogi i wzrostu prędkości. W idealizowanym przypadku dyspersja modowa zanika. Praktycznie - uzyskuje się znaczne poszerzenie pasma przepustowego w stosunku do światłowodu skokowego - przekraczające nawet rząd wielkości.

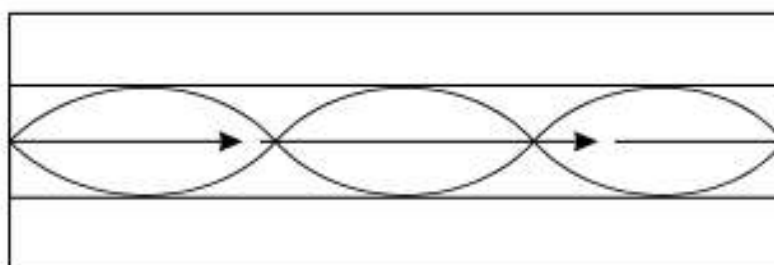
Przekrój
poprzeczny
światłowodu



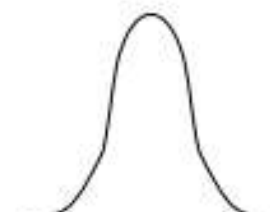
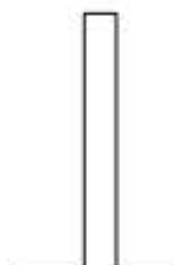
Profil
współczynnika
załamania



Sposób
propagacji
światła

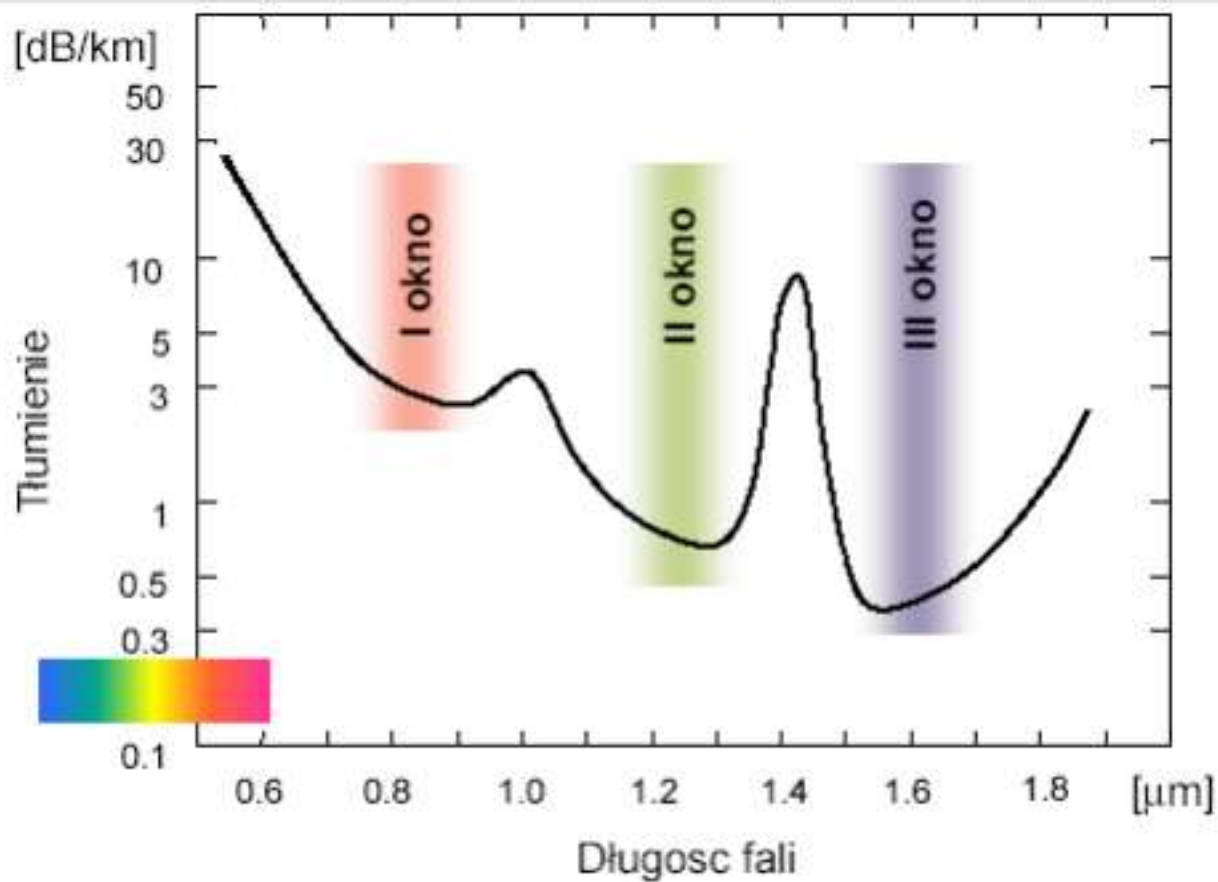


Dyspersja impulsu
sygnał wejściowy sygnał wyjściowy



OKNA TELEKOMUNIKACYJNE I GENERACJE SYSTEMÓW ŚWIATŁOWODOWYCH

Tłumienie włókna ze szkła kwarcowego w funkcji długości fali światła



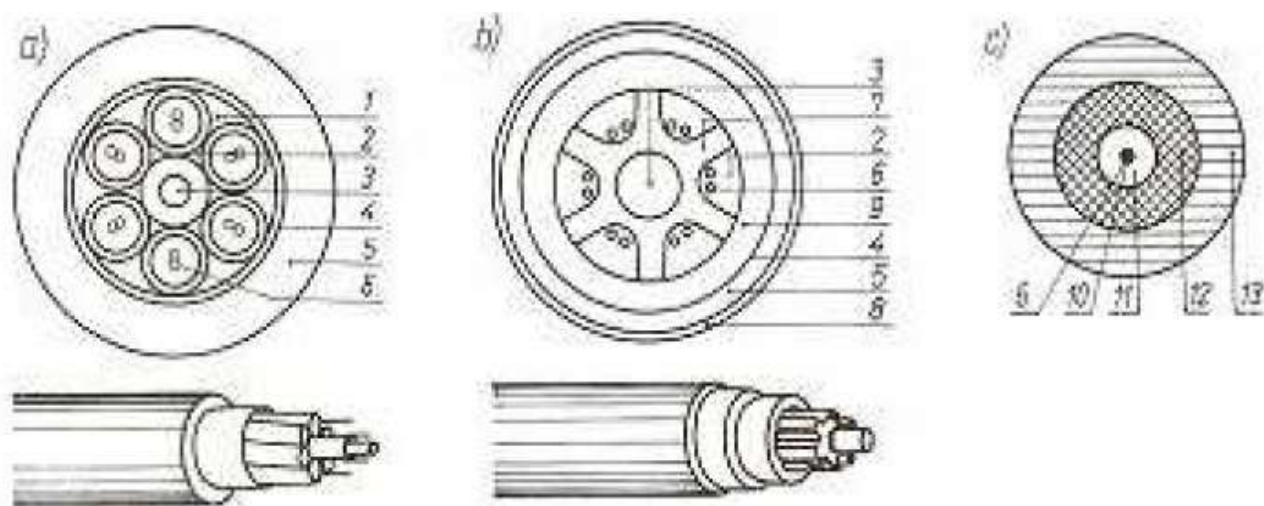
Światłowody pierwszej generacji – wykorzystujące pierwsze okno długości fal, zawierające włókna wielomodowe gradientowe, przystosowane do przesyłania fal świetlnych o długości 850 nm,

Światłowody drugiej generacji – stanowią włókna optyczne wielomodowe gradientowe, przystosowane do transmisji fal świetlnych o długości 1300 nm, leżących w drugim oknie długości fal,

Światłowody trzeciej generacji – zawierające włókna jednomodowe, przystosowane do przesyłania fal świetlnych o długości 1300nm lub 1550nm.

Kable światłowodowe są produkowane w różnych rozwiązaniach konstrukcyjnych, podstawowe z nich to konstrukcje:

- swobodna rurkowa (tubowa) – włókna są rozmieszczone w rurkach plastikowych, zawierających od 1 do 10 włókien światłowodowych,
- rozetowa – kabel posiada specjalnie wyprofilowany rdzeń rozetowy, w którym są układane włókna,
- ścista – włókno światłowodowe pokryte jest ściśle powłoką z tworzyw sztucznych.



Konstrukcje kabli światłowodowych: a) swobodna; b) rozetowa; c) ścista, 1 – pokrycie wtórne w postaci luźnej tuby, 2 – wypełnienie żelazem tiksotropowym, 3 – centralny element wzmacniający, 4 – taśma owijająca, 5 – powłoka zewnętrzna, 6 – włókna światłowodowe, 7 – rdzeń rozetowy, 8 – dodatkowe pokrycie wzmacniające, 9 – powłoka z przędzy aramidowej, 10 – pokrycie pierwotne, 11 – pokrycie wtórne poliamidowe, 12 – wzmocnienie włókien szklanych, 13 – powłoka zewnętrzna [1, s. 177]

PARAMETRY ŚWIATŁOWODÓW

- Optyczne: tłumienie, dyspersja, straty Fresnela, współczynnik załamania, różnica współczynników załamania rdzenia i płaszcz, apertura numeryczna, modowość, częstotliwość (grubość) znormalizowana V , grubość odcięcia modu (długość fali odcięcia), maksymalna moc prowadzona
- Geometryczne: średnica rdzenia i płaszcz, błąd koncentryczności pola modu i eliptyczność płaszcz
- Mechaniczne: wytrzymałość na rozciąganie i zginanie

TŁUMIENIE ŚWIATŁOWODU

Tłumienność optyczna (Attenuation) określa ilość traconego światła w rdzeniu włókna przy założeniu, że natężenie impulsu świetlnego I w funkcji odległości z opisuje wyrażenie:

$$I(z) = I_0 \exp(-a z)$$

Gdzie

a - jest współczynnikiem pochłaniania,

I_0 - natężeniem początkowym.

Wykładniczy charakter strat pozwala opisywać je w postaci logarytmicznej - w decybelach.

3dB = 50%

20 dB = 1%

30 dB = 0,1%

40 dB = 0,01%

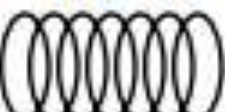
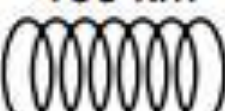
Przykład: Obliczyć tłumienie linii światłowodowej o długości 20 km, jeżeli tłumienność światłowodu wynosi 0,2dB/km.

Odp. $20 \text{ km} \times 0,2 \text{ dB/km} = 4\text{dB}$.

Tłumienność światłowodów

tłumienie światłowodu =
absorpcja + rozpraszanie

$$\alpha = \alpha_A + \alpha_R$$

3 dB/km;	1 mW		$1 \cdot 10^{-33} \text{ W}$	☹
0.4 dB/km;	1 mW		$0.1 \text{ }\mu\text{W}$	
0.2 dB/km;	1 mW		$10 \text{ }\mu\text{W}$	

DŁUGO UGOŚĆ FALI ŚWIATŁA, A PROPAGACJA

Tłumienność optyczna sygnału jest zazwyczaj określana dla dwóch różnych długości fali:

- 850nm i 1300nm dla światłowodów wielomodowych lub**
- 1310nm i 1550nm dla światłowodów jednomodowych.**

Tłumienność dla fali o długości 850nm jest większa niż dla fali o długości 1300nm, jednak umożliwia zastosowanie jako nadajników tanich diod LED. Typowe włókno światłowodowe dla długości fali 850nm posiada tłumienność około 4 dB/km, a dla 1300nm 1.5 dB/km.

W praktyce, zastosowanie źródła światła o długości fali 1300nm pozwala na dwukrotne wydłużenie odcinka pomiędzy nadajnikiem i odbiornikiem przy zachowaniu tego samego poziomu tłumienia.

PASMO PRZENOSZENIA W PASMO PRZENOSZENIA WŁÓKIEN ŚWIATŁOWODOWYCH

Pasmo przenoszenia (Bandwidth) jest wartością określającą bezpośrednio przepustowość kabla. Wyrażane jest ono w MHz×km i jest jednym z najważniejszych parametrów określających światłowody.

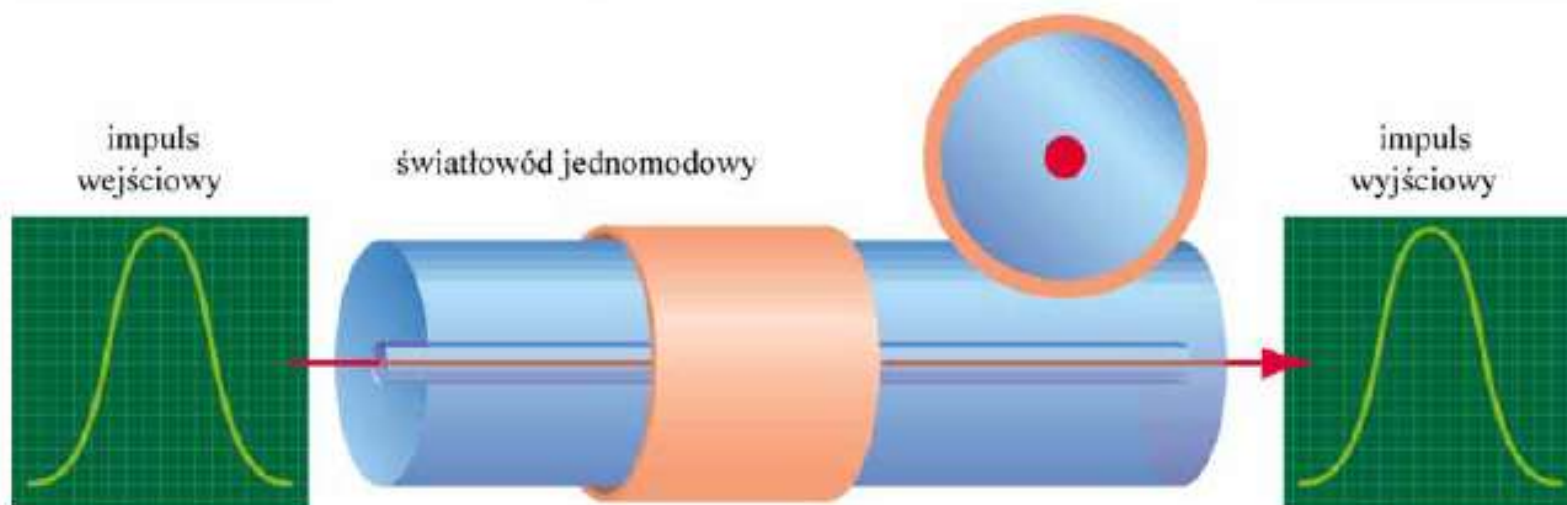
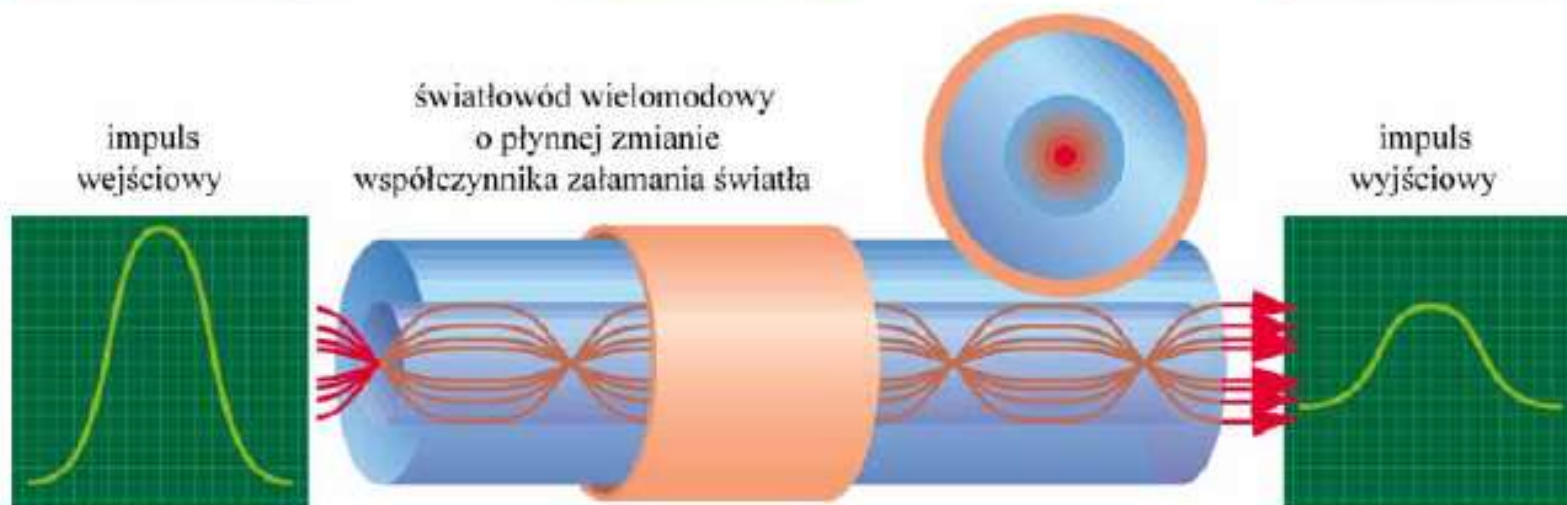
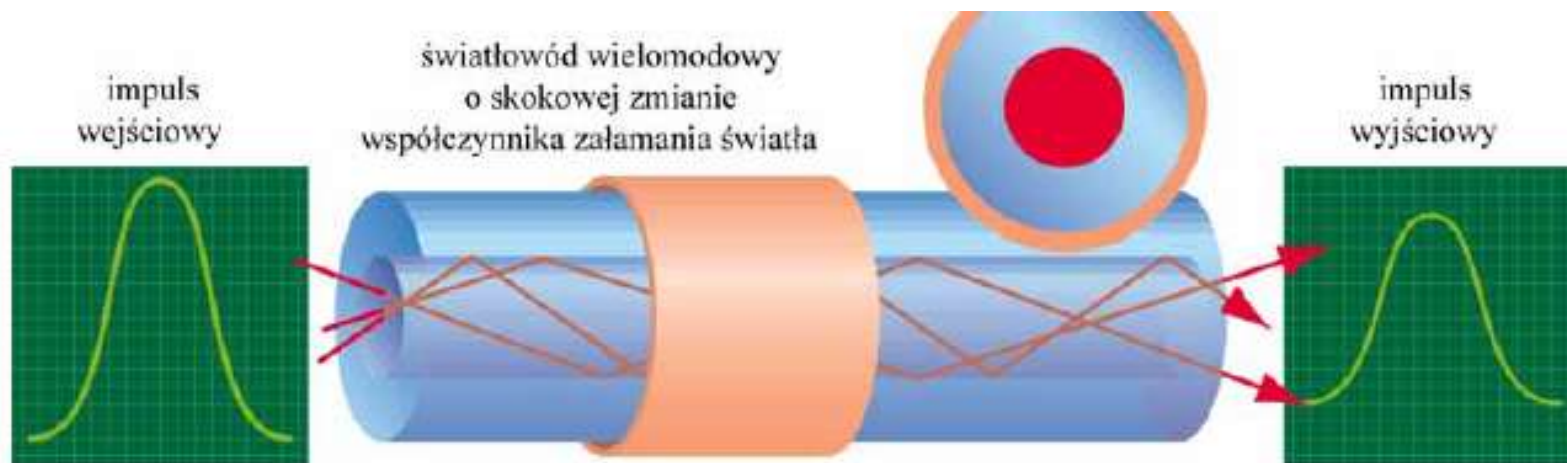
Zasadniczym zjawiskiem ograniczającym pasmo przenoszenia jest dyspersja. W uproszczeniu, dyspersja jest rozszerzeniem czyli zniekształceniem impulsu świetlnego na linii nadajnik-odbiornik.

Występują dwa podstawowe rodzaje dyspersji: modowa i chromatyczna. Obydwa zjawiska wpływają szczególnie na ograniczenie pasma przenoszenia włókien wielomodowych. Światłowody jednomodowe zasilane laserami o bardzo wąskim widmie wykazują bardzo niewielką dyspersję co pozwala na osiągnięcie częstotliwości rzędu GHz.

DYSPERSJA SZCZEGÓŁOWO

Dyspersja jest to zjawisko poszerzenie (rozmycia) impulsu. Powodowana jest przez to, że światło przy określonej długości fali ma odpowiednią szerokość widma. Im szersze widmo tym więcej promieni przemieszcza się w rdzeniu. Promienie te przebywają różną drogę, przez co czas przebycia promienia przez włókno jest różny. W rezultacie na wyjściu pojawia się szerszy impuls, który rośnie wraz ze wzrostem długości światłowodu. Przepływność transmisyjna włókna jest, więc określona przez to, jak blisko siebie można transmitować kolejne impulsy bez ich wzajemnego nakładania się na siebie (przy zbyt bliskich impulsach nie ma sposobu ich rozpoznania). Dyspersja ogranicza długość światłowodu, przez który może być transmitowany sygnał. Rozróżnia się dwa typy dyspersji. Dyspersję międzymodową występującą w światłowodach wielomodowych, oraz dyspersję chromatyczną występującą w włóknach jednomodowych.

Dyspersja modowa - występuje w światłowodach wielomodowych. 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 modowa światłowodów skokowych przekracza znacznie wszystkie pozostałe dyspersje. Dodatkowo z powodu dużego tłumienia jednostkowego tych włókien docierający sygnał ma wyraźnie inny kształt i niniejszą amplitudę. Zniekształcenie to rośnie wraz z długością światłowodu. Ograniczenie dyspersji modowej i zwiększenie pasma światłowodów wielomodowych do 1200 MHz*km uzyskano wprowadzając włókna gradientowe.



Dyspersja chromatyczna - z racji tego, że światłowody jednomodowe propagują tylko jeden mód, nie występuje tutaj zjawisko dyspersji międzymodowej. Uwidacznia się natomiast inny, dotychczas niewidoczny rodzaj dyspersji, dyspersja chromatyczna. Składają się na nią dwa zjawiska: dyspersja materiałowa i falowodowa. Dyspersja materiałowa powodowana jest zmianą współczynnika załamania szkła kwarcowego w funkcji długości fali. Ponieważ nie istnieje źródło światła ściśle monochromatyczne, gdyż każdy impuls światła składa się z grupy rozproszonych częstotliwości optycznych rozchodzących się z różną prędkością, docierający po przebyciu fragmentu włókna mód charakteryzuje się rozmyciem w czasowym. Dyspersja falowa częściowo powodowana jest wędrowaniem wiązki przez płaszcz światłowodu. Szybkość rozchodzenia się zależy od właściwości materiałowych płaszcza.

Typowe wartości parametrów światłowodów

typ światłowodu	średnica		NA	szerokość pasma	tłumienność jednostkowa
	rdzenia	płatczka			
-----	μm		-----	MHz	dB/km
gradientowy	50	125	0,2	400	3 (850 nm)
gradientowy	62,5	125	0,27	250	4 (850 nm)
jednomodowy	8	125	-----	> 1 GHz	0,5 (1300 nm)

C.D.N

