

## WŁÓKNA ŚWIATŁOWODOWE DO OŚWIETLACZY

Ewa Ponińska, Dariusz Pysz, Longin Kociszewski, Ryszard Stępień

Technologia wytwarzania grubordzeniowych włókien światłowodowych ze szkieł wieloskładnikowych, polega na zastosowaniu metody pręt-rura w połączeniu z metodą polimer clad silica (PCS). Pozwala ona na wytworzenie światłowodów o większym przekroju czynnym niż klasyczna metoda PCS i zarazem lepszych własnościach mechanicznych, niż metoda dwutyglowa. Metoda ta stwarza równocześnie większe możliwości modyfikacji właściwości światłowodów.

### 1. WSTĘP

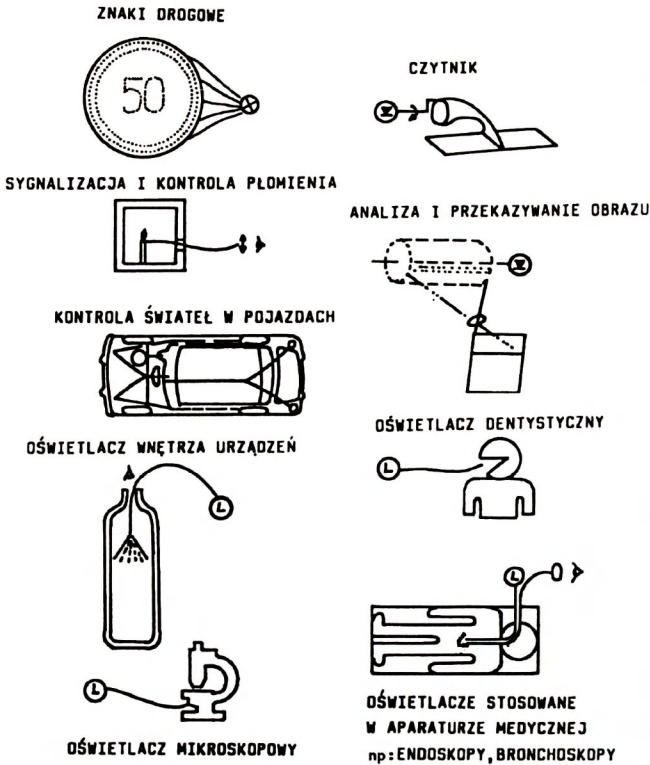
Postęp w nauce, technice i medycynie sprawia, że wzrasta zapotrzebowanie na włókna o dużej efektywności przenoszenia światła, podwyższonej wytrzymałości mechanicznej i wysokiej odporności termicznej.

Włókna takie znajdują szerokie zastosowanie jako:

- wiązki oświetleniowe endoskopów, urządzeń operacyjnych, mikroskopów,
- kable do transmisji promieniowania laserowego dużej mocy,
- elementy świecące w znakach drogowych,
- elementy sygnalizacji świetlnej w pojazdach,
- elementy dekoracyjne lamp oświetleniowych.

Przykłady zastosowań włókien grubordzeniowych zilustrowano na Rys.1. Obecnie do przesyłania światła w urządzeniach medycznych (endoskopy, zestawy operacyjne) stosowane są włókna światłowodowe wytwarzane całkowicie z materiałów szklanych. Są to włókna o średnicy  $30\div 50\ \mu\text{m}$ , otrzymywane zwykle metodą podwójnego tygla, w których powierzchnia rdzenia stanowi od 70 do 80 % powierzchni całkowitej przekroju włókna. Z takich włókien wytwarzane są wiązki o średnicy kilku milimetrów i długości na ogół nie przekraczającej dwóch metrów.

Z powodu niskiej wytrzymałości mechanicznej włókien, trwałość takich wiązek jest bardzo ograniczona. W miarę użytkowania, na skutek pęknięcia, szybko wzrasta ilość włókien nieprzewodzących światła i spada ogólna transmisja wiązki.



Rys. 1. Przykład zastosowań włókien światłowodowych.

Fig. 1. Examples of the thickcore optical fibers applications.

wynoszą odpowiednio 200 i 380  $\mu\text{m}$ , powierzchnia czynna stanowi jedynie  $\sim 28\%$  powierzchni przekroju poprzecznego włókna. W przypadku wiązki z takich włókien efektywność przenoszenia światła nie przekracza 20%.

W niniejszym artykule przedstawiono, opracowaną w Instytucie Technologii Materiałów Elektronicznych, zmodyfikowaną metodę wytwarzania grubordzeniowych włókien światłowodowych, które charakteryzują się większą powierzchnią czynną i dobrymi własnościami mechanicznymi.

## 2. SPOSÓB WYTWARZANIA GRUBORDZENIOWYCH WŁÓKIEN ŚWIATŁOWODOWYCH

Do wytwarzania grubordzeniowych włókien światłowodowych wybrano zmodyfikowaną metodę PCS. Polega ona na wyciąganiu cienkich od 50 do 200  $\mu\text{m}$  włókien

Innym rodzajem włókien, które są powszechnie używane i znajdują zastosowanie w wielu dziedzinach, to włókna typu polimer clad silica (PCS). Są to włókna składające się ze szklanego rdzenia pokrytego dwoma rodzajami lakierów. Średnica rdzenia, zależnie od potrzeb, wynosi od 200 do 1500  $\mu\text{m}$ . Włókna tego typu stosowane są do celów telekomunikacji lokalnej, a także do przesyłania promieniowania laserowego dużej mocy. Charakteryzują się one doskonałymi własnościami mechanicznymi. Jednak ich możliwości zastosowania do celów oświetleniowych są ograniczone ze względu na stosunkowo małą wydajność świetlną zależną od powierzchni czynnej włókien. Dla standardowego włókna PCS 200/380, którego średnica rdzenia i średnica całkowita

szklanych o zwiększonej powierzchni czynnej, a zarazem posiadających dużą elastyczność i wytrzymałość na zerwanie. Zastosowano metodę pręt-rura. Dla nadania włóknom odpowiedniej wytrzymałości mechanicznej, pokrywano je cienką (od 20 do 30  $\mu\text{m}$ ) warstwą lakieru. Metoda taka zapewnia lepsze możliwości doboru proporcji średnicy rdzenia i średnicy zewnętrznej włókna, a także modyfikacji właściwości światłowodów przez dobór odpowiednich szkieł na rdzeń i korę.

## 2.1. DOBÓR MATERIAŁÓW I SPRAWDZENIE ZAŁOŻEŃ TECHNOLOGICZNYCH

Jako materiał na rdzeń i korę zastosowano szkła krzemianowe. Zdecydowały o tym następujące czynniki:

- dobre własności transmisyjne wystarczające dla torów oświetlających długości kilku metrów używanych w urządzeniach medycznych i technicznych,
- szeroki zakres możliwości modyfikowania własności tego typu szkieł (współczynnika załamania światła, współczynnika rozszerzalności termicznej, własności termicznych), co pozwala na wytwarzanie struktur optymalnych pod względem optycznym (tłumienność, transmisja spektralna, apertura numeryczna) i mechanicznym (naprężenia wewnętrzne, elastyczność, wytrzymałość na zerwanie),
- istniejące w Instytucie Technologii Materiałów Elektronicznych możliwości technologiczne i duże doświadczenie w wytopie szkieł tego typu. Zastosowanie pieca indukcyjnego (gdzie szkło jest mieszane za pomocą mieszadła oraz prądami wysokiej częstotliwości) pozwala na otrzymanie szkła o wysokiej jakości (czystość, jednorodność, pęcherzowatość), co jest niezwykle istotne przy wytwarzaniu włókien światłowodowych,
- opanowane zostały umiejętności przygotowywania preform ze szkieł krzemianowych (szlifowanie i polerowanie prętów rdzeniowych, kalibracja rur korowych).

W Tabeli 1 podano zestawy szkieł krzemianowych tworzące optymalne układy światłowodowe rdzeń-kora (pręt-rura).

**Tabela 1.** Zestawy szkieł krzemianowych do wytwarzania włókien światłowodowych.

**Table 1.** Silicate glasses for optical fibers manufacturing.

Lp	Szkło rdzeniowe	Szkło korowe	Apertura numeryczna
1	Zr3 XV	SK222	0,518
2	SK42	SNK	0,509
3	F2	N 16	0,554

Skład chemiczny szkieł rdzeniowych przedstawiono w Tabeli 2. Głównymi składnikami tych szkieł są:  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{ZrO}_2$ ,  $\text{PbO}$ ,  $\text{BaO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ . Własności fizykochemiczne szkieł rdzeniowych i korowych zestawiono w Tabeli 3.

**Tabela 2.** Skład chemiczny wielokładnikowych szkieł rdzeniowych (% mas.).**Table 2.** Chemical composition of core glasses (weight %).

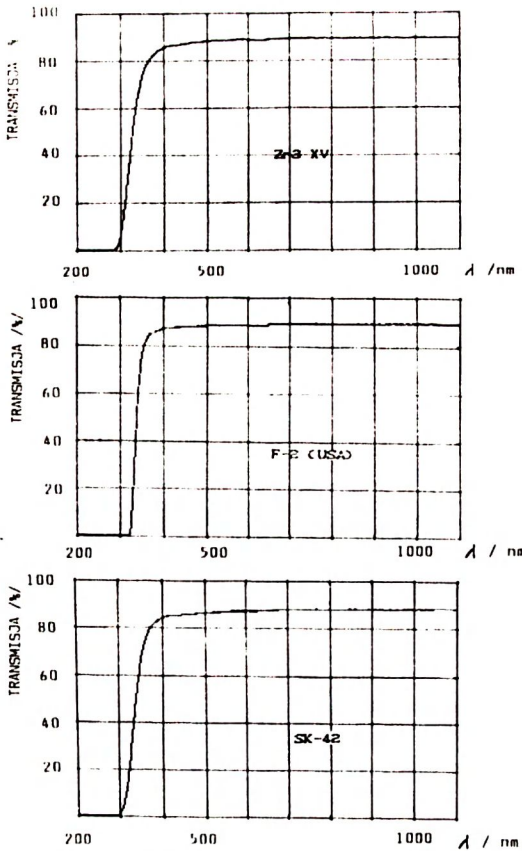
Tlenek	Typ szkła		
	Zr3XV	SK42	F2
SiO <sub>2</sub>	40.5	39.0	45.7
ZrO <sub>2</sub>	17.5	-	-
B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	10.0	14.0	-
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-	5.0	-
PbO	-	-	45.0
BaO	12.0	42.0	-
CaO	5.0	-	-
Na <sub>2</sub> O	12.0	-	3.5
K <sub>2</sub> O	3.0	-	5.0
CaF <sub>2</sub>	-	3.0	-
As <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.4	0.3	0.8
Sb <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.8	-	-

**Tabela 3.** Własności fizykochemiczne szkieł.**Table 3.** Basic properties of core and cladding glasses.

Lp	Parametr	Szkła rdzeniowe			Szkła korowe		
		Zr3XV	SK42	F2	SK222	SNK	N16
1	Temperatury charakterystyczne w mikroskopie grzewczym Leitz [°C]						
	- zaoblenie	675	700	540	710	695	620
	- kula	790	820	695	890	870	820
	- półkula	850	900	820	950	1040	960
2	Współczynnik liniowej rozszerzalności cieplnej dla zakresu temp. 20÷300°C (10 <sup>-7</sup> K <sup>-1</sup> )	90,0	66,1	88,9	83,0	60,1	87,7
3	Współczynnik liniowej rozszerzalności cieplnej dla zakresu temp. 20÷450°C (10 <sup>-7</sup> K <sup>-1</sup> )	94,5	68,0	-	89,0	60,2	91,0
4	Temperatura transformacji TG (°C)	577	631	447	542	569	538
5	Dylatometryczna temperatura mięknięcia DTM (°C)	640	681	494	610	642	607
6	Współczynnik załamania światła n <sub>D</sub>	1,608	1,587	1,620	1,520	1,503	1,522

**Tabela 4.** Własności lakieru De Soto.**Table 4.** Properties of De Soto 950x101 coating resin.

Lp.	Parametry	Symbol lakieru
1.	Lepkość (25°C) [mPa]	5000
2.	Twardość [Shore D]	70
3.	Wytrzymałość na zerwanie [MPa]	38
4.	Współczynnik załamania światła n <sub>D</sub>	1.54



Rys. 2. Krzywe transmisji spektralnej w świetle widzialnym dla szkieł rdzeniowych.

Fig. 2. Spectral transmission of core glasses in VIS region.

nałożenie pokrycia zewnętrznego (lakier), a następnie przez lampę UV, której promieniowanie utwardza pokrycie. Prędkość podawania preformy i wyciągania włókna były dobrane w celu uzyskania żądanej średnicy i jej utrzymania w ciągu całego procesu. Średnica włókna przed i po pokryciu warstwą lakieru była mierzona przez miernik laserowy. Włókno nawijano na bęben o średnicy ~ 32 cm.

Ustalono, że w procesie wytwarzania włókien światłowodowych pokrywanych lakierami szczególną uwagę należy zwrócić na centralne położenie włókna w stosunku do powłoki lakieru. Niecentryczne ustawienie włókna w otworze dyszy powoduje, że włókno ma niecentryczną powłokę. W skrajnych przypadkach może się tworzyć struktura typu "pawie oczko", co bardzo niekorzystnie wpływa zarówno na elastyczność, jak i wytrzymałość włókna.

Istotną rolę w procesie pokrywania włókna lakierem odgrywa również stosunek średnicy włókna bez pokrycia do średnicy otworu dyszy. Zbyt duża różnica tych średnic

Na Rys.2 przedstawiono krzywe transmisji spektralnej w świetle widzialnym dla szkieł rdzeniowych.

Na pokrycie światłowodów, którego zadaniem jest nadanie włóknom elastyczności, wytrzymałości na zerwanie oraz ochrona przed uszkodzeniem i czynnikami środowiskowymi wybrano lakier firmy De Soto o symbolu 950 x101 utwardzany promieniowaniem UV. Własności tego lakieru zestawiono w Tabeli 4.

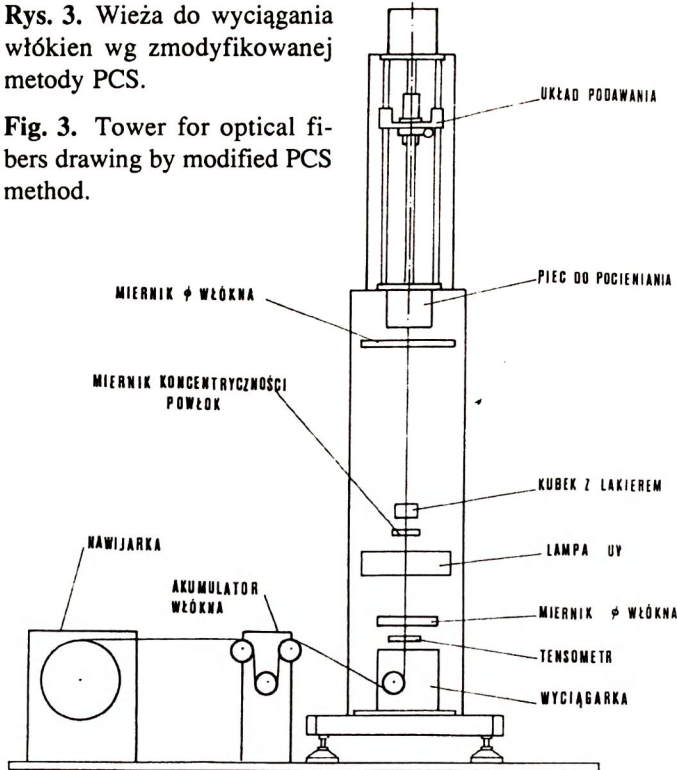
Próby wytwarzania włókien grubo-rdzeniowych przeprowadzono na wieży do wyciągania światłowodów, po uprzednim uzupełnieniu jej wyposażenia i przygotowaniu do wyciągania włókien światłowodowych o średnicy rzędu 50÷200  $\mu\text{m}$  wg zaproponowanej zmodyfikowanej metody PCS (Rys.3).

Formowanie włókien przebiegało w następujących warunkach.

Preforma składająca się z pręta ze szkła F2 i rury N16 została umieszczona w uchwycie stolika XY i wprowadzona do pieca, gdzie była ogrzewana w piecu oporowym z wąską strefą grzewczą (30 mm). Wyciągane włókno przechodziło przez kubek z dyszą umożliwiającą

Rys. 3. Wieża do wyciągania włókien wg zmodyfikowanej metody PCS.

Fig. 3. Tower for optical fibers drawing by modified PCS method.



sprawia, że tworzy się warstwa nie utwardzonego lakieru, który może spływać tworząc nierównomierne pokrycie.

Pierwsze próby wytwarzania włókien grubordzeniowych miały na celu praktyczne sprawdzenie poprawności założeń proponowanej metody, działania urządzeń oraz uzyskania danych do ostatecznego wyboru materiałów wsadowych. Z praktyki wynika, że dopiero parametry jakościowe wytwarzanych światłowodów decydują o poprawności wyboru materiałów zastosowanych do ich wyciągania.

Wytworzono trzy rodzaje włókien o różnych średnicach ze szkieł tworzących układy światłowodowe zgodnie z tabelą 1. Otrzymane wyniki okazały się bardzo interesujące. Dzięki zastosowaniu metody pręt-rura uzyskano, w porównaniu z klasyczną metodą PCS, korzystniejszy stosunek średnicy rdzenia do grubości kory (Tabela 6).

Nie wszystkie jednak typy wytworzonych włókien spełniały stawiane im wymagania. W niektórych wykonaniach włókna posiadały małą elastyczność spowodowaną dużą grubością włókna, zbyt małym udziałem rdzenia lub małą wytrzymałością włókna na zerwanie.

Jako najlepszy zestaw wytypowano szkła Schotta: F2 jako rdzeń i N16 jako korę, pozostałe szkła zostały wyeliminowane. Szkło SK 42 z uwagi na to, że wytworzone z niego światłowody są bardzo kruche, a Zr3XV dlatego, że wyciągnięte z tego szkła światłowody mają lekko zielonkawe zabarwienie i niższą transmisję, co ograniczyłoby zakres ich stosowania.

## 2.2. WYTWARZANIE WŁÓKIEN GRUBORDZENIOWYCH PRZEZNACZONYCH DO CELÓW OŚWIETLENIOWYCH

Do wytworzenia włókien użyto preformę wykonaną ze szkieł F-2 i N-16 o następujących wymiarach:

- średnica pręta 31,0 mm
- średnica wewnętrzna rury 31,5 mm
- średnica zewnętrzna rury 34,0 mm.

Na pokrycie zewnętrzne włókien zastosowano lakiery firmy De Soto 950x101 utwardzane promieniowaniem UV. Nakładanie lakieru odbywało się przy użyciu dysz o średnicy wylotu 300  $\mu\text{m}$ , 160  $\mu\text{m}$  lub 90  $\mu\text{m}$ . Dla poszczególnych dysz planowano wykonanie włókien o następujących średnicach (bez pokrycia lakierem):

dysza 300  $\mu\text{m}$  - włókna o średnicach : 120  $\mu\text{m}$ , 150  $\mu\text{m}$ , 180  $\mu\text{m}$ ,

dysza 160  $\mu\text{m}$  - włókna o średnicach : 120  $\mu\text{m}$ , 130  $\mu\text{m}$ , 140  $\mu\text{m}$ ,

dysza 90  $\mu\text{m}$  - włókna o średnicach : 60  $\mu\text{m}$ .

W Tabeli 5 przedstawiono parametry procesów wyciągania włókien.

**Tabela 5.** Parametry procesów technologicznych wyciągania włókien.

**Table 5.** Parameters of the optical fibers drawing technological processes.

Lp	Parametr	Średnice dysz						
		300 $\mu\text{m}$		160 $\mu\text{m}$		90 $\mu\text{m}$		
1	Temp.wyciągania [°C]	785		805	807	807	810	
2	Prędkość podawania [mm/min]	0,1-0,2		0,1-0,2	0,1	0,1	0,05	
3	Prędkość wyciągania [mm/min]	15-25		18	15	12,5	28	
4	Temp. Nakładania lakieru [°C]	40		45	50	50	50	
5	Napężenie [ g ]	15-25		22	24	27	14	
6	Typ włókna $\phi_r / \phi_z$	120/300	150/300	190/300	120/160	130/160	140/160	60/90

### 2.3. PARAMETRY WYROBU

**Tabela 6.** Parametry wytworzonych włókien.

**Table 6.** Parameters of manufactured optical fibers.

Lp	Parametry	Typ włókna						
		120/300	150/300	180/300	120/160	130/160	140/160	60/90
1	$\phi$ rdzenia [ $\mu\text{m}$ ]	112,2	132,6	168,3	116	122	132	61
2	$\phi$ włókna nie pokryte przez lakier [ $\mu\text{m}$ ]	122,4	147,9	183,6	25	130	142	65
3	$\phi$ włókna pokrytego lakierem [ $\mu\text{m}$ ]	224,4	239,7	265,2	162	162	168	91
4	Grubość kory [ $\mu\text{m}$ ]	5,1	7,6	7,6	4	4	5	2
5	Grubość lakieru [ $\mu\text{m}$ .]	51	46	40,8	18	16	13	13
6	Elastyczność włókna bez lakieru ( $\phi$ pętli w mm)	bd.*	bd.	bd.	10-12	11-15	20-22	bd
7	Elastyczność włókna pokrytego lakierem ( $\phi$ pętli w mm)	5-6	7-10	10-13	6-7	7-9	11-12	2
8	Powierzchnia czynna włókna bez lakieru [%]	84	80	84	86	86	86,4	87,8
9	Powierzchnia czynna włókna pokrytego lakierem [%]	25	30,6	40	51,2	56,5	61,7	44,9

\* bd. - brak danych

W Tabeli 6 zamieszczono pomierzone i wyliczone parametry wytworzonych włókien. Pomiary średnic włókien wykonywano przy użyciu mikroskopu Jenapol. Powierzchnię czynną wyliczono jako stosunek powierzchni rdzenia do powierzchni całkowitej poprzecznego przekroju włókna.

Z wybranych rodzajów włókien wykonano kable oświetleniowe, których parametry zestawiono w Tabeli 7.

**Tabela 7.** Parametry kabli oświetleniowych.

**Table 7.** Illumination cables parameters.

Lp	Parametr	Typ włókna			
		180/300	120/300	130/160	120/160
1	Długość kabla [cm]	85	85	85	85
2	Średnica wiązki [mm]	2,5	2,5	3	3
3	Moc przenoszonego światła [mW]	87	53	130	129
4	Średnice użytych włókien [ $\phi_r / \phi_z$ ]	168,3/265,2	112,2/224,4	122/162	116/162

Pomiary mocy przenoszenia światła wykonano na mierniku mocy Molectron MAX 500A.

### 3. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

1. Wykonano grubordzeniowe włókna światłowodowe.
2. We włóknach nie pokrytych lakierem uzyskano udział powierzchni czynnej, wynoszący 80-86%, a w skrajnych przypadkach 87,9%.
3. Pokrycie włókien warstwą lakieru zwiększyło ich elastyczność od 30 do 40 %.
4. Włókna wykonane z zastosowaniem dyszy o średnicy otworu 160  $\mu\text{m}$ , dzięki wysokiej elastyczności i dużej powierzchni czynnej (50 do 60 %) nadają się do wytwarzania oświetlaczy medycznych i technicznych.

### BIBLIOGRAFIA

- [1] Kapany N.S.: Fiber optics. Principles and applications. New York, London. 1967
- [2] Paszkowski B: Technologia włókien światłowodowych. Warszawa, 1977
- [3] Wolf H: Handbook of fiber optics: theory and applications. Gerland STPM Press, New York, 1978
- [4] Di Marcello F.V., Kurkjian C.R., Williams I.C.: Fiber drawing and strength properties. AT&T Bell Laboratories. Murray Hill, New Jersey, 1985
- [5] Światłowody ze szkła wieloskładnikowych - III Krajowa Szkoła Optoelektroniki, Materiały i Technologie Światłowodowe; Kazimierz n/Wisłą ,1989



- [6] Yeh Ch: Handbook of fiber optics. Theory and applications. Academic Press, San Diego, 1990
- [7] Katzir A.: Optical fibers in medicine VII. SPIE Proc. 1992, vol 1649
- [8] Kociszewski L., Stępień R., Buźniak J., Ponińska E., Romaniuk R.: Basic properties and applications of advanced glass optical fibers. Prace ITME, 1993, zeszyt 39
- [9] Stępień R., Kociszewski L., Ponińska E., Haraśny K.: Topienie szkła w piecu indukcyjnym. Materiały Elektroniczne, vol 21, 1993, nr 3
- [10] Oxford Electronics Ltd: Optical fibers, 1994

## OPTICAL FIBERS FOR FIBER OPTIC ILLUMINATORS

### Summary

The technology of drawing of the thick - core lightguides made from multi-component glasses by rod-in-tube method connected with polimer clad silica (PCS) method has been presented. Such a technology allows to manufacture lightguides with larger effective cross-section (in comparison to PCS method) and better mechanical properties (in comparison to double-crucible method). Simultaneously it gives much more possibilities of lightguides properties modification, depending on properties of glasses used.