

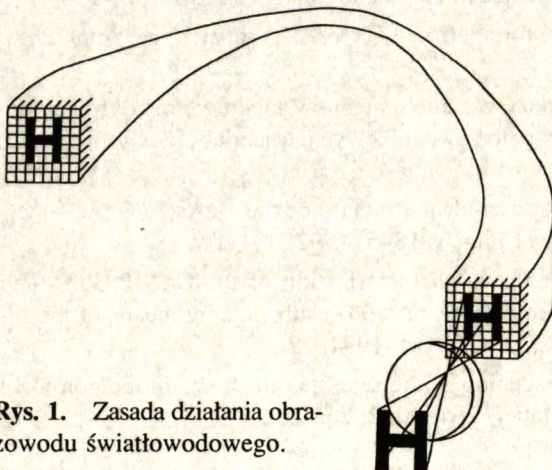
## OPRACOWANIE METODY WYTWARZANIA ULTRACIENKICH PRĘTÓW OBRAZOWODOWYCH

Longin Kociszewski, Ryszard Stępień, Dariusz Pysz

Przedstawiono zalety endoskopu wykorzystującego ultracienki szklany pręt obrazowodowy. Opracowano specjalne szkło optyczne z wysoką zawartością  $ZrO_2$  na rdzeń światłowodowych prętów i wieloprętów. Opanowano kolejne operacje technologiczne wytwarzania cienkich prętów obrazowodowych. Wykonano serię prętów o średnicy 2 mm i długości max 1000 mm. Zbadano ich zdolność wodzenia obrazu o wysokiej rozdzielczości. Stwierdzono ich pełną przydatność do konstruowania mikroendoskopów typu igłowego.

### WSTĘP

Zastosowanie techniki światłowodowej stworzyło możliwości konstruowania urządzeń pozwalających na przenoszenie obrazu na odległość, zwanych **endoskopami**. Są to urządzenia, których podstawową częścią jest wiązka światłowodowa o odpowiedniej strukturze umożliwiająca przenoszenie obrazu (Rys. 1).



Rys. 1. Zasada działania obrazowodu światłowodowego.

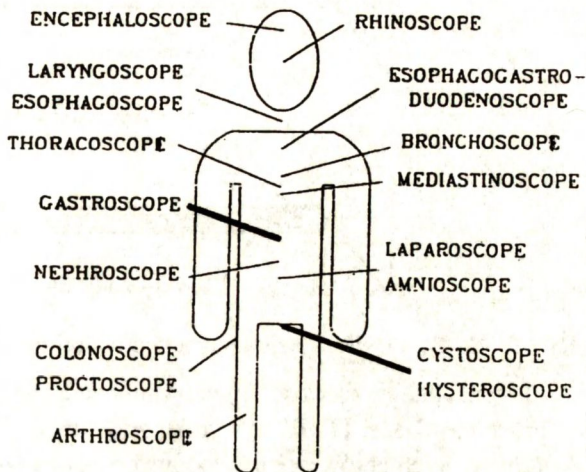
Najpowszechniej znane i stosowane, zwłaszcza w technice badań medycznych, są endoskopy elastyczne.

Jednak należy zauważyć, że mimo tej powszechności, zakres stosowania endoskopów jest ograniczony. Wynika to z ich obowiązkowej do tej pory, "względnie" dużej średnicy, która wynosi zwykle około 10 mm [1]. Z tego też względu zastosowanie ich ogranicza się w zasadzie do obserwacji przewodu pokarmowego.

W związku z powyższym pro-

wadzone prace naukowo-badawcze i technologiczne zmierzają w kierunku opracowania endoskopów pozwalających na obserwację innych obszarów ciała, jak również na skuteczniejszą obserwację w zastosowaniach technicznych. Zakres możliwości zastosowań medycznych zilustrowano na (Rys. 2) [2].

Głównym celem tych prac jest opracowanie endoskopu o możliwie najmniejszej średnicy. Jak dotychczas na świecie wytworzono endoskopy, których średnica zmniejszona została do około 4 mm. Są to endoskopy typu prętowego pozbawione elastyczności. Dotychczas powszechnie produkowane na świecie endoskopy typu prętowego nie posiadają światłowodowego elementu obrazowodowego. Obraz jest przekazywany przez szereg sekwencyjnie ułożonych mikrosoczewek. Szereg ten w wielu przypadkach składa się z kilkudziesięciu soczewek. Zasadę działania takiego endoskopu przedstawiono na (Rys. 3A).

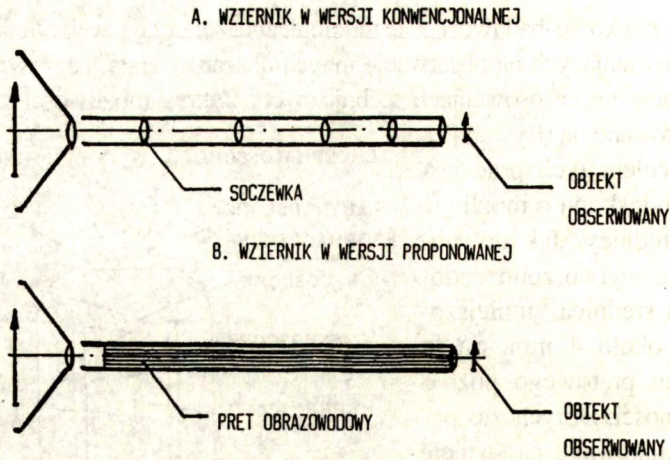


**Rys. 2.** Zakres możliwości stosowania endoskopów w medycynie (linią grubą zaznaczono obszar zastosowania endoskopu elastycznego) [2].

Oprócz niewątpliwych zalet jego podstawowymi wadami są:

- 1 - niemożność dalszego zmniejszania średnicy,
- 2 - niemożność zakrzywienia toru przekazywania obrazu, co zmniejsza ich możliwości aplikacyjne,
- 3 - niezwykle trudny proces wytwarzania mikrosoczewek szklanych, zwłaszcza pod względem jakości i powtarzalności. Powtarzalność mikrosoczewek możliwa jest tylko przy zastosowaniu obróbki szlifierskiej i polerskiej sterowanych komputerowo. Z tego względu na skalę produkcyjną wytwarzanie endoskopów typu prętowego opanowało na świecie tylko kilka wytwórni. Koszt takiego urządzenia jest bardzo wysoki i z reguły nie niższy niż kilkanaście tysięcy USD,
- 4 - wytwarzanie endoskopu typu soczewkowego w warunkach polskich jest praktycznie niemożliwe, co potwierdziły z resztą przeprowadzone w latach 80-tych próby, w ramach programu CPBR-08-12.

W polskiej infrastrukturze technicznej atrakcyjnym wydawało się podjęcie prób wytwarzania endoskopu typu prętowego z wykorzystaniem elementów światłowodowych o zdolnościach obrazowodowych. Koncepcja opracowania takiego endoskopu zilustrowana została na (Rys. 3B).



Rys. 3. (A, B) Dwie wersje konstrukcji endoskopu prętowego.

Potencjalne możliwości opracowania endoskopu z prętym obrazowodowym powstały w Pracowni Szkła ITME w wyniku zdobytych doświadczeń przy wytwarzaniu światłowodowych elementów obrazowodowych opracowanych do noktowizji pasywnej.

Pomyślna realizacja takiego endoskopu przyniosłaby szereg interesujących korzyści:

- możliwość wytwarzania w kraju endoskopów nowej generacji,
- możliwość wytwarzania endoskopu prętowego o zminimalizowanej średnicy i zakrzywionym torze przekazywania obrazu.

Przy zastosowaniu techniki światłowodowej znikają istniejące dotychczas ograniczenia średnicy, jak to ma miejsce w przypadku dotychczas produkowanych endoskopów. Średnice obrazowodów światłowodowych mogą być zmniejszone nawet poniżej 1 mm [3]. Ze względu na dużą atrakcyjność zastosowania obrazowodów światłowodowych w technice endoskopowej podjęto prace w tym kierunku.

Celem podstawowym było opanowanie sposobu wytwarzania endoskopu sztywnego, w którym elementem przenoszącym obraz, w miejsce dotychczas stosowanych soczewek, byłyby światłowodowy pręt obrazowodowy.

Osiągnięcie tego zamierzenia wymagało opanowania syntezy materiałów szklanych, o odpowiednich właściwościach do wytwarzania pojedynczych światłowodów, a następnie z ich udziałem całych struktur światłowodowych. W tym celu niezbędne są dwa rodzaje szkła:

1 - szkło rdzeniowe charakteryzujące się:

- a) wysokim współczynnikiem załamania światła ( $n_D = 1,58 \div 1,80$ ),
- b) wysoką przepuszczalnością światła w zakresie widzialnym ( $T > 85\%$ ),
- c) niską dyspersją średnią,
- d) możliwie niską temperaturą mięknięcia,
- e) brakiem wyraźnej skłonności do odszklania (krystalizacji) w trakcie wielokrotnego rozgrzewania do temperatury mięknięcia (w operacjach pocieniania).

2 - szkło płaszczowe (korowe), które przede wszystkim powinno posiadać:

- a) niski współczynnik załamania ( $n_D = 1,49 \div 1,52$ ),
- b) niską temperaturę mięknienia.

Parametry fizyczne tych dwóch rodzajów szkieł muszą spełniać następujące zależności:

$$n_{D1} > n_{D2} \quad (1)$$

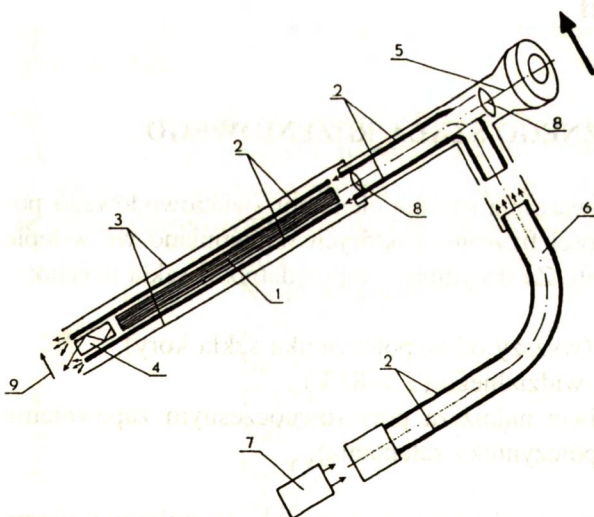
$$\alpha_1 \geq \alpha_2 \quad (2)$$

$$T_{K1} \approx T_{K2} \quad (3)$$

gdzie:  $n_D$  - współczynnik załamania  
 $\alpha$  - współczynnik rozszerzalności cieplnej  
 $T_K$  - temperatura charakterystyczna w mikroskopie grzewczym, w której próbka przyjmuje kształt kuli; odpowiednio dla rdzenia (1) i kory (2).

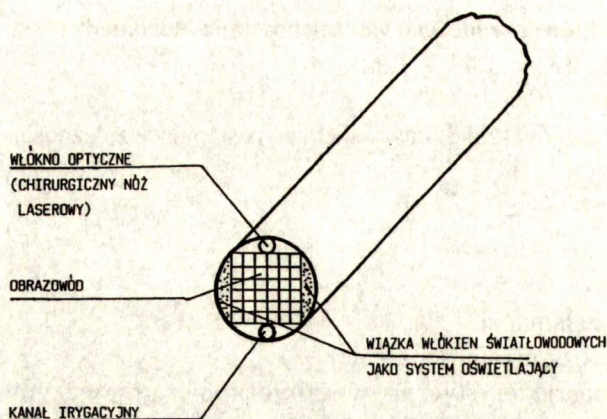
Zależność (1) warunkuje wodzenie światła w torach światłowodowych dzięki wystąpieniu zjawiska całkowitego wewnętrznego odbicia. Spełnienie warunku (2) zapewnia pręcikom światłowodowym wysoką wytrzymałość mechaniczną dzięki wystąpieniu naprężeń ściskających w warstwach zewnętrznych. Spełnienie zależności (3) oznacza, że krzywe lepkości obydwu szkieł przecinają się w punkcie należącym do zakresu temperatur termicznego przetwarzania (pocieniania) szkieł.

Z obydwu szkieł drogą pocieniania preformy (pręta w rurze) formuje się pręciki światłowodowe. Kolejne operacje składania wiązek pręcików i ich pocieniania prowadzą do uzyskania prętowych struktur światłowodowych o zdolnościach przenoszenia obrazu.



Rys. 4. Ilustracja endoskopu światłowodowego (ITME).

1. Światłowodowy pręt obrazowodowy.
2. Światłowodowy system oświetlający I.
3. Rurka metalowa zabezpieczająca.
4. Obiektyw prętowy typu SELFOC.
5. System okularowy z wbudowanym światłowodowym systemem oświetlającym II.
6. Światłowód elastyczny - system oświetlający III.
7. Oświetlacz halogenowy.
8. Soczewki szklane (system okularowy).
9. Obiekt obserwowany.



Rys. 5. Czoło projektowanego endoskopu typu "compact".

Wytworzone pręty obrazowodowe mogą posiadać długość do kilkudziesięciu centymetrów. Umożliwia to konstruowanie urządzeń wziernikowych (endoskopowych) nowej generacji nie wytwarzanych do tej pory. Przy istniejącej w kraju infrastrukturze technicznej (brak super precyzyjnych maszyn, w tym nawijarek do włókna, urządzeń pomiarowych, odpowiednich badań z zakresu fizyki powierzchni) wytwarzanie analogicznych jak na świecie endoskopów elastycznych oraz soczewkowych jest niemożliwe. Natomiast doświadczenie badawcze i zestaw zgromadzonych specjalistycznych maszyn i urządzeń stworzyły w ITME realne możliwości wytwarzania światłowodowego endoskopu prętowego. Celem ostatecznym zamierzeń byłby endoskop ze światłowodowym prętem obrazowodowym posiadający system irygujący dezynfekujący, system oświetlający, system transmitujący światło lasera dużej mocy. Idea docelowa takiego endoskopu została zilustrowana na (Rys. 4 i 5).

## BADANIA I DOBÓR WŁASNOŚCI FIZYKOCHEMICZNYCH MATERIAŁÓW SZKLANYCH

### DOBÓR SKŁADU CHEMICZNEGO SZKŁA RDZENIOWEGO

Aby szkło nadawało się do wytwarzania rdzenia elementu światłowodowego powinno posiadać odpowiednie własności fizyczne, o których wspomniano we wstępie niniejszego opracowania (str. 48 - 49). Za decydujące o przydatności szkła uznano:

#### 1) właściwości optyczne:

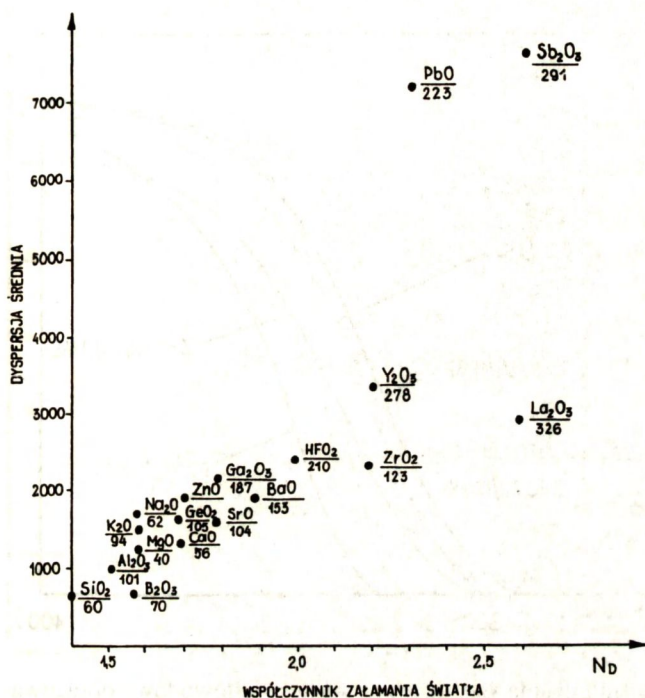
- współczynnik załamania (wyższy od współczynnika szkła kory),
- przepuszczalność światła widzialnego ( $T > 85\%$ ),
- dypersja średnia (możliwie najniższa przy równoczesnym zapewnieniu względnie wysokiego współczynnika załamania),

#### 2) właściwości termiczne:

- współczynnik rozszerzalności cieplnej (wyższy lub co najmniej równy współczynnikowi kory),

b) przebieg krzywej lepkości, czyli zależność lepkości od temperatury (prze-cina się z krzywą lepkości szkła kory w punkcie wyznaczającym tempera-turę kolejnych pocienień prętów i wieloprętów).

Odpowiednio dobrane właściwości termiczne i reologiczne umożliwiły kompozy-



towanie złożonych struktur i tekstur obrazowodowych. Natomiast odpowiednio do-brane właściwości optyczne odpowiedzialne są za jakość i poziom wodzenia światła i obrazu. Na podstawie wcze-sniejszych badań [4, 5] usta-lono, że najbardziej opty-malne szkło do celów wytwarzania obrazowodów świa-tłowodowych powinno skła-dać się z elementów che-micznych występujących na (Rys. 6) możliwie najbli-żej lewego dolnego rogu. W celu obniżenia dyspersji zrezygnowano ze stosowania PbO, jako składnika pod-wyższającego współczynnik załamania (Rys. 6). Kompromisowym rozwiązaniem oka-zało się zastosowanie dwu-

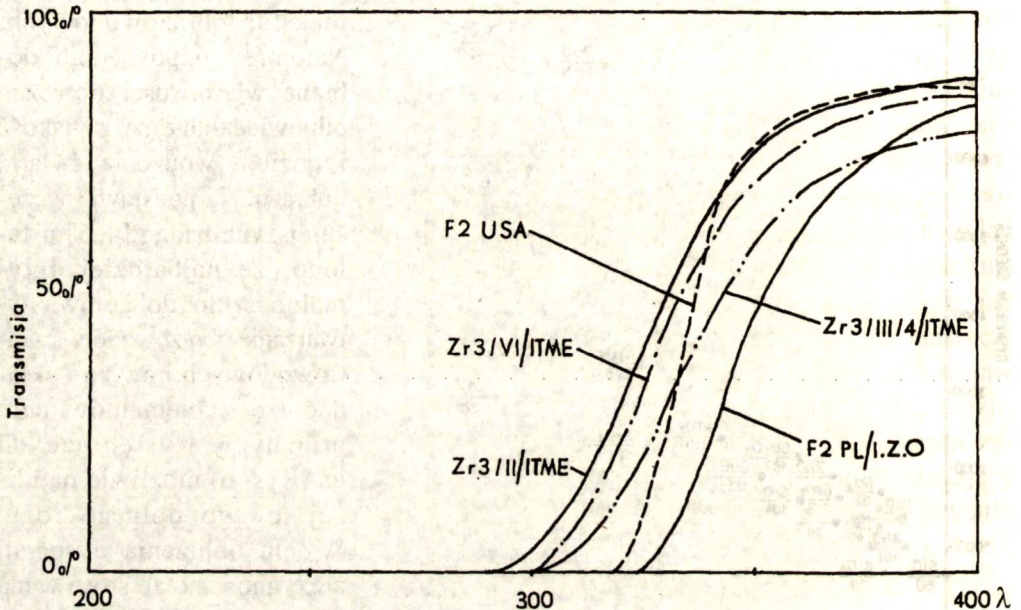
Rys. 6. Wpływ składników chemicznych na parametry optyczne szkła.

tlenu cyrkonu ( $ZrO_2$ ), który podwyższając współczynnik załamania, nie powoduje tak drastycznego wzrostu dyspersji, jak ma to miejsce w przypadku PbO.

Po uwzględnieniu wymienionych okoliczności ostatecznie zaprojektowano synte-zę szkła rdzeniowego o następującym składzie surowcowym:

$SiO_2$	-	46.2%
$Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$	-	31.4%
$ZrO_2$	-	10.0%
$BaCO_3$	-	15.5%
$CaCO_3$	-	10.7%
$NaNO_3$	-	5.8%
$K_2CO_3$	-	9.9%
$Al_2O_3$	-	5.7%
$As_2O_3$	-	0.5%

Szkoło topiono w tyglu platynowym w temperaturze 1420°C. Temperatura klarownia wynosiła 1480°C, a temperatura odprężania 550°C. Ww. szkło oznaczono symbolem Zr-3. Porównanie właściwości transmisyjnych tego szkła oraz szkła typu F-2, powszechnie stosowanego w technice wytwarzania światłowodów, przedstawiono na (Rys. 7).



Rys. 7. Porównanie zdolności transmitowania światła przez szkła światłowodowe opracowane w ITME ze szklami stosowanymi w świecie.

Porównywano przede wszystkim właściwości transmisyjne w zakresie bliskiego ultrafioletu. Ustalono, że zakres ten jest wskaźnikowy dla oceny zdolności transmisyjnych, zarówno w zakresie widma widzialnego jak i bliskiej podczerwieni [6]. Im krótsze fale jest zdolne transmitować szkło, tym wytworzone z niego w prawidłowy sposób światłowody mają mniejszą tłumienność światła. Zwrócić również należy uwagę na ustaloną niezwykle istotną współzależność.

Im szkło posiada większą zdolność przepuszczania promieniowania ultrafioletowego tym mniejsza jest również jego dyspersja średnia.

Ma to duże znaczenie w optyce klasycznej, a szczególnie w optyce światłowodowej dla prawidłowości odwzorowania przeniesionego obrazu. Znajomość tej zależności jest również pomocna przy projektowaniu optymalnych składów szkła.

W projektowaniu struktur obrazowodowych należy uwzględnić, oprócz optycznych, również inne właściwościach szkieł niezbędne do uzyskania optymalnego efektu światło-i obrazowodowego. Uzyskane w naszym przypadku parametry dla szkła Zr-3 podano w tabeli 1.

Tabela 1. Własności szkła rdzeniowego Zr-3.

Lp.	Parametr	Wynik pomiaru
1.	Współczynnik rozszerzalności termicznej $-\alpha_{20}^{300} [10^{-7} K^{-1}]$ $-\alpha_{20}^{450} [10^{-7} K^{-1}]$	104.0 109.3
2.	Temperatura transformacji Tg [°C]	550
3.	Dylatometryczna temperatura mięknięcia D T M [°C]	620
4.	Temperatury charakterystyczne w mikroskopie grzewczym Leitz'a [°C] - zaoblenia - kuli - półkuli - rozplynięcia	720 825 900 1100
5.	Współczynnik załamania światła $n_D$	1.585

Konieczność dopasowywania tak dużej liczby parametrów jest jednocześnie ilustracją złożoności problemów z zakresu inżynierii materiałowej.

## DOBÓR WŁAŚCIWOŚCI SZKIEŁ KOROWYCH

Struktura światłowodowa, dla właściwego wodzenia światła, wymaga zarówno odpowiednich parametrów szkła rdzeniowego jak i kory. Szkło rdzeniowe i szkło korowe powinny mieć odpowiednio dobrane parametry fizykochemiczne. Dopasowanie właściwości szkieł jest szczególnie restrykcyjne w zakresie parametrów termicznych, w tym współczynnika rozszerzalności termicznej oraz temperatur mięknięcia szkieł. Nieodpowiednie ich dobranie powoduje w ogóle niemożność uformowania światłowodów, bądź ich niewłaściwe parametry mechaniczne, np. dużą kruchość. W realizowanym procesie technologicznym korę światłowodu tworzy rura szklana, której wytworzenie jest, jak dotychczas, możliwe jedynie w warunkach fabrycznych. W związku z tym dobór szkieł korowych był ograniczony do asortymentu rur szklanych produkowanych w hutach szkła. Po uwzględnieniu różnych aspektów, konieczny był wybór spośród rur wyprodukowanych przez Krośnieńskie Huty Szkła i Zakłady Schotta w Niemczech.



Parametry fizyczne szkieł korowych zestawiono w tabeli 2.

**Tabela 2.** Parametry fizyczne szkieł korowych.

Lp.	Parametr	Szko Krosno	Szko Schott
1.	Współczynnik załamania światła	1.5163	1.5150
2.	Współczynnik rozszerzalności termicznej $\alpha_{20}^{300} \cdot 10^{-7} \text{K}^{-1}$	91.1	89.1
3.	Temperatura transformacji Tg [°C]	533	540
4.	Dylatometryczna temp. mięknięcia DTM [°C]	612	610
5.	Temperatura zaoblenia [°C]	586	630
6.	Temperatura kuli [°C]	840	830

Po przeanalizowaniu parametrów zestawionych w tabelach 1 i 2 uznano, że korzystniejsze będzie stosowanie szkła z Krośnieńskiej Huty Szkła ze względu na dobre właściwości porównywalne ze szkłem Schotta, jak i łatwiejszą dostępność i niższą cenę.

## ZJAWISKA REKRYSZTALIZACJI I DYFUZJI WZAJEMNEJ SZKIEŁ

Szko rdzeniowe stanowiące element centralny światłowodu posiada określone właściwości termiczne. Ich uwzględnienie w procesie technologicznym jest konieczne, zwłaszcza w aspekcie wpływu szkodliwości poszczególnych parametrów. Ustalono kolejność parametrów pod względem szkodliwości ich wpływu:

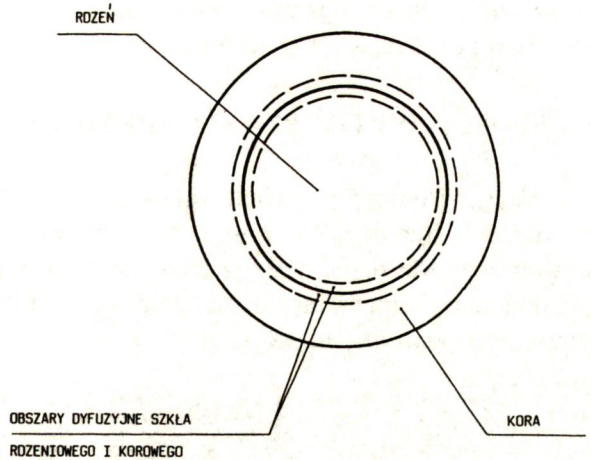
- skłonność szkła do rekryształizacji w procesie powtórnego ogrzewania,
- zjawiska wzajemnej dyfuzji w procesach powtórnego ogrzewania.

Przy nieodpowiednim składzie chemicznym, szkło przejawia tendencję do rekryształizacji w czasie wytwarzania i przetwarzania światłowodów. Uniknięcie tych tendencji jest niezwykle istotne przy dobieraniu szkieł na rdzenie światłowodów. W przypadku nadmiernej skłonności do rozrostu mikrokryształów w szkło, zwłaszcza rdzeniowym, może zachodzić zjawisko blokowania przez kryształy toru świetlnego w poszczególnych światłowodach. W trakcie prowadzenia badań zagadnienie wyeliminowania skłonności szkła do rekryształizacji było jednym z najbardziej żmudnych i pracochłonnych.

Uzyskano szkło, które nie posiada tych skłonności w stosowanych temperaturach przecieniania prętów i wieloprętów. Szko rdzeniowe i korowe w trakcie powtórnego ogrzewania w procesie formowania prętów i wieloprętów światłowodowych mają skłonność do wzajemnej dyfuzji. Proces ten powoduje zanikanie optycznej ostrości granicy

między rdzeniem i korą światłowodu, co ma duży wpływ na kontrast przenoszonego obrazu oraz na zmniejszenie się wartości apertury numerycznej (Rys. 8).

**Rys. 8.** Strefy dyfuzji wzajemnej szkła w przecie światłowodowym.



## BADANIE WPŁYWU SPOSOBU WYTWARZANIA STRUKTURY OBRAZOWODOWEJ NA JAKOŚĆ PRZENOSZONEGO OBRAZU

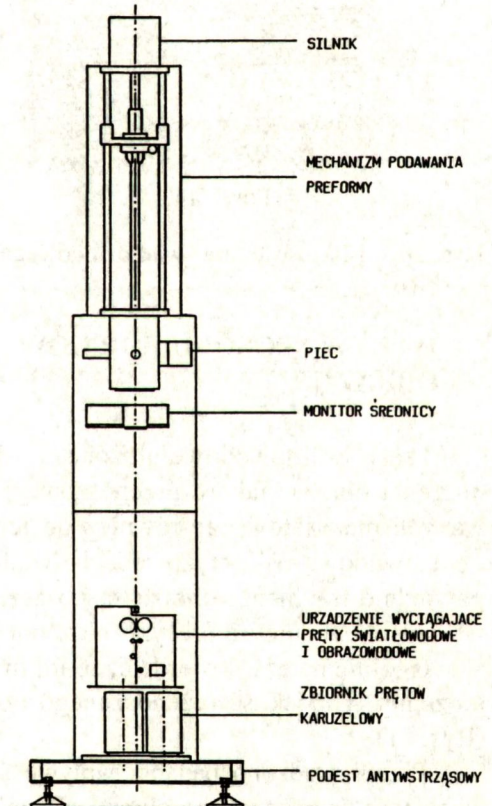
### SPOSÓB WYTWARZANIA ELEMENTÓW ŚWIATŁOWODOWYCH

Podstawowymi elementami światłowodowymi były przeciki o średnicy 0,3 mm. Przeciki te wytwarzano przez umieszczenie okrągłego pręta ze szkła rdzeniowego o  $\phi 30$  mm w rurze szklanej o średnicy wewnętrznej 31 mm. Zestaw taki nazywany jest "preformą". Preformę mocowano w urządzeniu, zwanym "wieżą", służącym do przecieniania prętów szklanych (Rys. 9).

Najważniejszymi częściami składowymi wieży są:

- 1 - urządzenie podające preformę,
- 2 - piec z wąską strefą grzewczą,
- 3 - urządzenie wyciągające przeciki (wyciągarka).

Temperatura pieca została dopasowana do parametrów termicznych szkła zestawionych w tabelach 1 i 2. Ustalono przy tym,

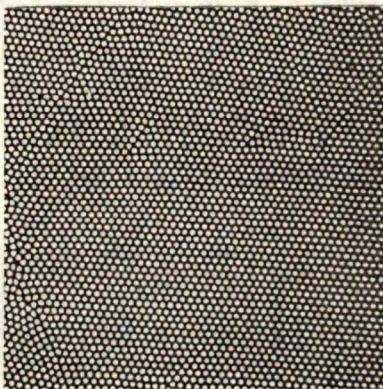


**Rys. 9.** Wieża do pocieniania - schemat.

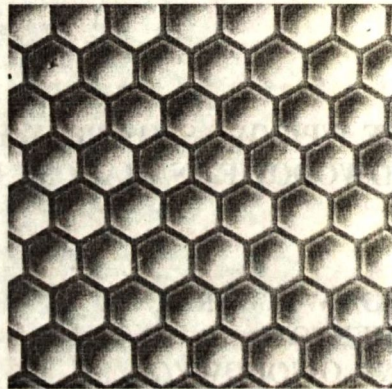
że najwłaściwszą temperaturą pocieniania jest temperatura kształtu kuli oznaczona w mikroskopie Leitz'a z urządzeniem grzewczym.

## SPOSÓB WYTWARZANIA PRĘTÓW OBRAZOWODOWYCH

Wytworzone pręty światłowodowe o  $\phi$  0,3 mm były myte, a następnie układane w wiązkę o średnicy  $\phi$  41 mm, spinaną za pomocą obejm z cienkich pasków blachy kowarowej. Następnie wiązka taka mocowana była na wieży i po podgrzaniu do odpowiedniej temperatury, przecieniana. W efekcie uzyskiwano wielopręty o strukturze przedstawionej na (Rys. 10).



Pow. 50x



Pow. 700x

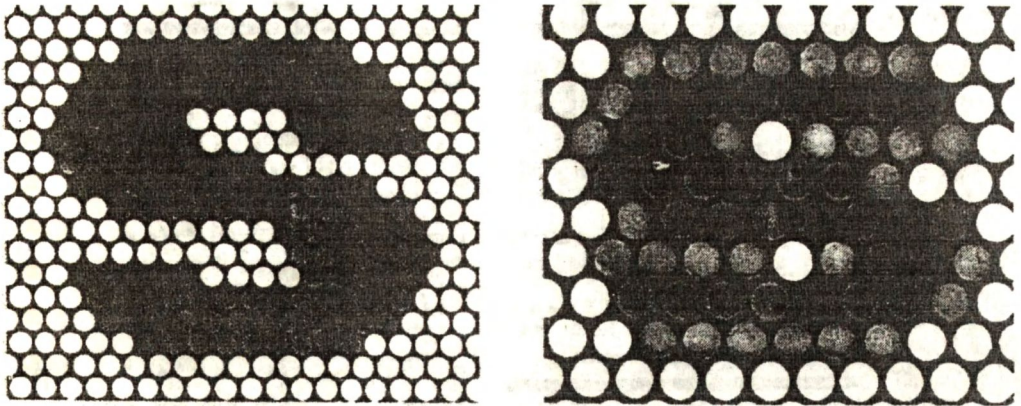
Rys. 10. Mikrostruktura światłowodowego pręta obrazowodowego.

## WPLYW SPOSOBU FORMOWANIA NA JAKOŚĆ PRZENOSZONEGO OBRAZU

Pręty światłowodowe ułożone w odpowiednią teksturę posiadają zdolność przenoszenia obrazu. Jakość przenoszonego obrazu zależy nie tylko od jakości zastosowanych materiałów, ale również od ich odpowiedniego przetworzenia na strukturę obrazowodową. W obrazowodach światłowodowych elementami przesyłającymi odpowiednie fragmenty obrazu są poszczególne światłowody - "piksele", od których własności, średnicy i precyzji ułożenia zależy jakość obrazu.

Ogólnie należy stwierdzić, że im mniejsza średnica pikseli i im mniej wad w ich ułożeniu, tym jakość przenoszonego obrazu jest lepsza. Zostało to zilustrowane na (Rys. 11).

Przeprowadzono badania wpływu średnicy wielopręta obrazowodowego na rozdzielczość przenoszonego obrazu. Współzależności te zestawiono w tabeli 3.



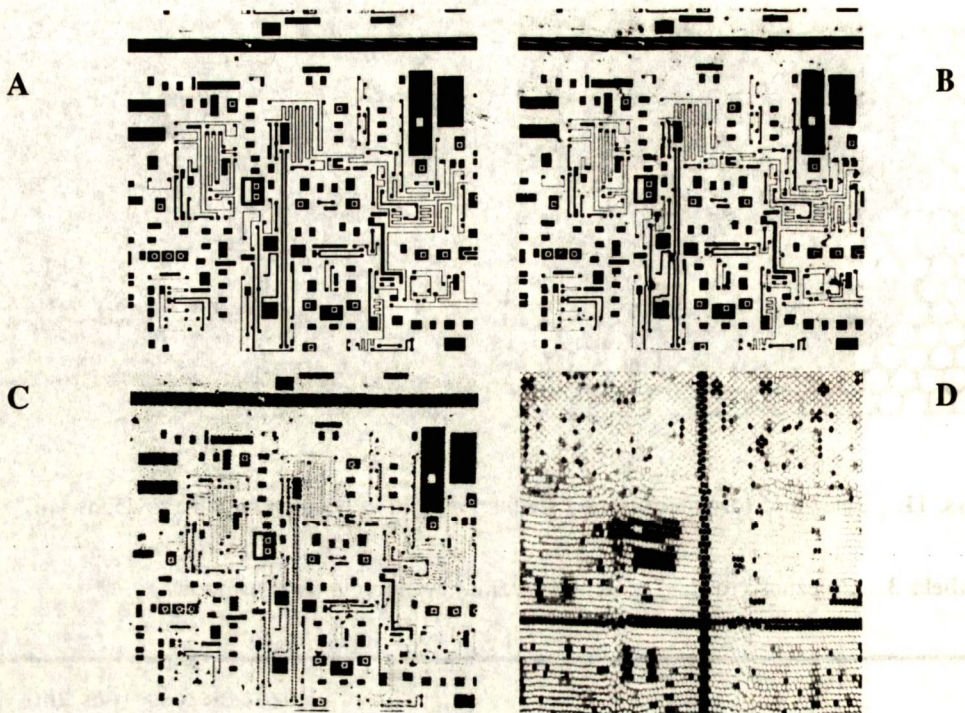
Rys. 11. Zależność rozdzielczości od średnicy pikseli w wielopręciu obrazowodowym.

Tabela 3. Zależność rozdzielczości od średnicy wielopręta obrazowodowego.

Lp	Średnica wielopręta	Rozdzielczość (par linii na 1 milimetr ) (pl/mm)
1	2,5 mm	25 pl/mm
2	2,2 mm	27 pl/mm
3	1,3 mm	40 pl/mm

Z danych zestawionych w tabeli 3 wynika, że przy stosowaniu opisanej technologii formowania prętów obrazowodowych, odpowiednią rozdzielczość (taką samą lub wyższą niż w dotychczas wytwarzanych endoskopach elastycznych) uzyskiwano przy średnicy wielopręta około 2,5 mm. Jednocześnie widoczne są możliwości jakie posiada opracowana metoda w zakresie powiększania rozdzielczości. Przeprowadzono porównanie obrazów mikroskopowych struktury mikroelektronicznej obserwowanej bezpośrednio oraz przez obrazowód światłowodowy. Porównanie to przedstawiono na (Rys. 12).

Badanie wykonano w ten sposób, że na obserwowaną strukturę wzorcową nakładano płytkę wyciętą poprzecznie z pręta obrazowodowego. Z porównania fotografii widać, jak dokładność przenoszenia obrazu przez obrazowód prętowy zależy od średnicy pojedynczego "piksela".



Rys. 12. Porównanie zdolności przenoszenia obrazu wzorcowego.

- A. Obraz przenoszony bezpośrednio przez mikroskop,
- B. Obraz obserwowany przez obrazowód o  $\phi$  piksela  $6 \mu\text{m}$ ,
- C. Obraz obserwowany przez obrazowód o  $\phi$  piksela  $10 \mu\text{m}$ ,
- D. Obraz obserwowany przez obrazowód elastyczny, stosowany w medycynie.

## PODSUMOWANIE

1. Przeprowadzono badania nad opanowaniem syntezy szkła do zastosowań światłowodowych, w szczególności do wytwarzania światłowodowych prętów obrazowodowych. Uzyskano szkło o nowych właściwościach odmienne od właściwości szkieł stosowanych dotychczas na rdzeń światłowodowy. Stało się to możliwe dzięki badaniom nad ustaleniem współzależności pomiędzy formułą chemiczną szkła, sposobem jego syntetyzowania a podstawowymi właściwościami. Korzystne właściwości optyczne i termiczne uzyskano głównie dzięki wprowadzeniu do szkła stosunkowo dużej ilości dwutlenku cyrkonu, który zastąpił powszechnie dotychczas stosowany tlenek ołowiu.

2. Opracowane materiały szklane przetworzono na pręty światłowodowe, a następnie na struktury obrazowodowe. Uzyskano udane światłowodowe pręty obrazo-

wodowe o długości do 1 metra i średnicy poniżej 2 mm.

3. Zbadano współzależności pomiędzy średnicą pręta a jakością przenoszonego obrazu.

4. Stworzono podstawę do przystąpienia do opracowania endoskopu światłowodowego o zminimalizowanej średnicy.

## BIBLIGRAFIA

- [1] Remote Visual Inspection. Prospekt firmy OLYMPUS - Japonia
- [2] Technical Symposium, Novel optical fiber. Techniques for medical application. San Diego 1984, Proc. SPIE 0494
- [3] Kociszewski L., Pysz D.: Fiber optic image guide rod as ultrathin endoscopy. Optical fibers in medicine VI, Los Angeles 1991, Proc. SPIE 1420
- [4] Kociszewski L., Stępień R., Ponińska E.: Optymalizacja właściwości wieloskładnikowych szkieł krzemianowych dla celów światłowodowych. IV Krajowe Sympozjum - Światłowody i ich zastosowanie, Warszawa 1986
- [5] Kociszewski L., Stępień R. Szkło do wytwarzania włókien światłowodowych, Patent RP nr 139042, data zgłoszenia 1983.12.30; data ogłoszenia 1985.07.02; data opublikowania 1988.03.30
- [6] Scott B., Rawson H.: The preparation of glasses having high transmission in near infrared. Society of Glass Technology, Symposium 1970
- [7] Compound glass optical fiber. Prospekty firmy MORITEX Corporation (Japonia)
- [8] Kociszewski L., Buźniak J., Pysz D., Romaniuk R.: Wpływ struktury na jakość przenieszonego obrazu w obrazowodach światłowodowych. Materiały Sympozjum Technika Przetwarzania Obrazu - Warszawa 22-23.09.1988
- [9] Kociszewski L., Buźniak J., Stępień R., Romaniuk R.: High quality medical image-guides by mosaic - assembling optical fiber technology. Optical fiber in medicine. Los Angeles 1988, Proc.SPIE 906 s.97-106
- [10] Technical Symposium, Optical fibers in Medicine and Biology, San Diego, 1985, Proc.SPIE 0576
- [11] Symposium - Fiber/LASE '86., Optical fibers in medicine II, Cambridge 1986, Proc.SPIE 0713
- [12] Symposium O-E/LASE '88, Optical fibers in medicine III, Los Angeles, Proc SPIE 0906

Praca została wykonana w ramach projektu badawczego 7 7342 91 02 finansowanego przez Komitet Badań Naukowych