



SZKŁO I CERAMIKA



50 LAT

KOLEGIUM REDAKCYJNE

Redaktor naczelny — prof. dr inż. Wacław Tuszyński
Zastępca red. nac. — prof. dr hab. inż. Władysław Włosiński

Sekretarz redakcji — Anna Maria Potarska

Redaktorzy działowi — dr inż. Gabriela Wróblewska,
prof. dr hab. inż. Bolesław Ziemia

Projekt okładki — Julian Wrzos

**RADA PROGRAMOWA I KOMITET REDAKCYJNY
DZIAŁU ACTA CERAMICA**

doc. dr hab. inż. S. Gąsiorek, doc. dr inż. M. Grochowski, prof. dr inż. E. Görlich, mgr inż. E. Janas, mgr H. Jasicka, prof. dr hab. inż. S. Mrowec, prof. dr inż. F. Nadachowski, doc. dr inż. J. Nowakowska, prof. dr hab. inż. R. Pampuch (przewodniczący - prof. dr hab. inż. J. Ranachowski (wiceprzewodniczący), prof. dr hab. inż. L. Stoch (sekretarz), prof. dr inż. W. Tuszyński, prof. dr hab. inż. W. Włosiński, dr inż. J. Wójcicki

REDAKCJA: ul. Mokotowska 4/6, 00641 Warszawa, pok. 41, tel. 25-60-61 w. 33 lub 25-49-09

Warunki prenumeraty od 1985 r.

Prenumeratory zbiorowi — jednostki gospodarki społecznej, instytucje i organizacje społeczne zamawiają prenumeratę dokonując wpłaty na blankiecie „polecenie przelew” rozszerzonym na potrzeby Wydawnictwa o część dotyczącą zamówienia. Blankiety te będą dostarczane przez Zakład Kolportażu.

Prenumeratory indywidualni — osoby fizyczne zamawiają prenumeratę dokonując wpłaty w UPT lub NBP na blankiecie Wydawnictwa lub blankiecie NBP. Na odwrocie wszystkich odcinków blankietu należy wpisać tytuł czasopisma, okres prenumeraty, liczbę zamawianych egzemplarzy oraz wartość wpłaty.

Wpłacać należy na konto NBP III O/M Warszawa 1036-7490-139-11.

Prenumerata ulgowa — przysługuje wyłącznie osobom fizycznym — członkom SNT, studentom i uczniom szkół zawodowych. Warunkiem prenumeraty ulgowej jest poświadczenie blankietu wpłaty (przed jej dokonaniem) na wszystkich odcinkach pieczęcią Koła SNT, wyższej uczelni lub szkoły. Sposób zamawiania prenumeraty taki sam jak dla prenumeraty indywidualnej.

Prenumerata ze zleceniem wysyłki za granicę — zamawia się tak jak prenumeratę indywidualną. Dodatkowo należy podać na blankiecie wpłaty nazwisko i dokładny adres odbiorcy. Cena prenumeraty ze zleceniem wysyłki za granicę jest dwukrotnie wyższa.

Wpłaty na prenumeratę przyjmowane są w terminach:
— do 10 listopada na I kwartał, I półrocze i cały rok następny,

— do 28 lutego na II, III, IV kwartał i II półrocze,

— do 31 maja na III, IV kwartał i II półrocze,

— do 31 sierpnia na IV kwartał.

UWAGA Wpłaty na dwumiesięcznikip rzyjmowane są na okresy półroczne lub roczne.

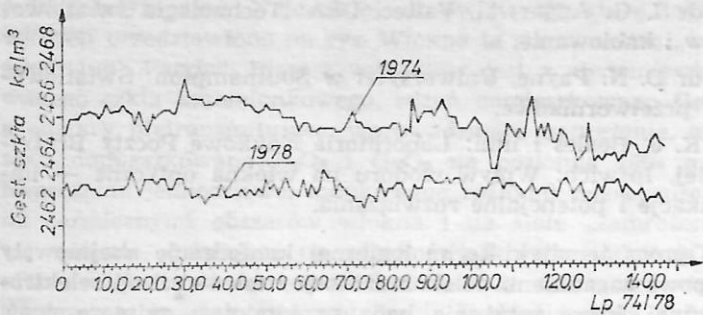
Informacji o prenumeracie udziela — Zakład Kolportażu Wydawnictwa NOT — SIGMA, ul. Bartycka 20, 00-716 Warszawa lub skr. poczt. 1004 00-950 Warszawa, tel. 40 00 21 w. 249, 293, 297, 299 oraz 40 35 89. Egzemplarze archiwalne czasopism — można nabyć za gotówkę w Klubie Prasy Technicznej w Warszawie ul. Mazowiecka 12 tel. 27 43 65 oraz w Dziale Handlowym Wydawnictwa ul. Bartycka 20 skr. poczt. 1004 00-950 Warszawa na rachunek dla instytucji lub za zaliczeniem pocztowym dla osób fizycznych.

Cena prenumeraty SZKŁA i CERAMIKI wynosi roczna 1020 zł, półroczna 510 zł, ulgowa roczna 360, półroczna 180 zł.

WZGraf. Z-d 2, zam. 627/85, 1350, R-17

SPIS TREŚCI

Służyć przemysłowi i nauce — Anna Maria Potarska	121
Andrzej L. Dawidowicz — Wpływ obróbki termicznej na niektóre właściwości powierzchni szkielek mikroporowatych	123
Roman Filipiak, Marek Grochowski — Synteza sterowania składu chemicznego szkła	126
Ryszard Romaniuk — X Europejska Konferencja Telekomunikacji Światłowodowej i II Międzynarodowa Konferencja Czujników Światłowodowych	129
Alicja Karwan, Zbigniew Rak — Możliwości otrzymywania szkliv kolorowych na osnowie tufu porfirowego	133
Krystyna Prohaska — Badania wpływu dodatku tlenku antymonu na parametry elektryczne tworzyw z układu CaTiSiO ₅ -CaTiO ₃	136
Jan Furgała, Ewa Fill, Zenon Mielczarek — Ocena przydatności skaleniokwarcu „Andrzej” po rozfrakcjonowaniu na mokro do produkcji wyrobów porcelany stołowej	138
Mirosław Grylicki, Anna Komorowska — Synteza i badania niektórych właściwości ortokrzemianu barowo-wapniowo-magnezowego Ba ₂ CaMgSi ₂ O ₈	141
KARTKI Z HISTORII 40-LECIA PRL	
Wojsko wyzwalało ziemie polskie — szklarze uruchamiali huty — Jan Bieńczyk	144
40 lat WROZAMETU	149
Z żałobnej karty	
Wanda Telakowska — oprac. Z.M. Stadnicki	154
Jan Byszewski	154
INFORMACJE	
II Sympozjum naukowe na temat „Stanu i perspektyw badań nad dziejami szkła w Polsce” odbędzie się w 1986 roku — Jerzy Olczak	156
Problemy polskiego przemysłu emalierskiego. IV Sympozjum Emalierskie — IV kwartał 1986 roku	156
NOWE KSIĄŻKI — oprac. Gabriela Wróblewska	135
ZE ŚWIATA	
Nowości Degussa AG — oprac. Gabriela Wróblewska	157
Informacje o wynalazkach zgłoszonych do ochrony w Polsce — oprac. Jerzy Stańko	158
Spis treści rocznika 1985	159
Projekt wkładki „WROZAMETU” wykonał Julian Wrzos	



Rys. 6. Gęstość szkła w latach 1974 i 1978

wyniki symulacji dla dwu przypadków wyboru liczby surowców sterujących przedstawiono na rysunkach 4 i 5. Algorytm, w którym sterowaniu poddawane są trzy wagi do odważania surowców, tj. piasku, wapienia i dolomitu, był przedmiotem wdrożenia. Efektywności działania algorytmu dokonano porównując analogiczne lata w dwu kampaniach pieca szklarskiego (okres pracy bez korekcji składu chemicznego i okres pracy systemu sterowania z korekcją składu chemicznego). Kryterium oceny działania algorytmu korekcji był ważny parametr technologiczny produktu wyjściowego (tafli szklanej), jakim jest gęstość szkła. Na rysunku 6 przedstawiono wyniki pomiaru gęstości szkła w kolejnych czterech latach 1974—78.

Wnioski

W wyniku wdrożenia algorytmu korekcji składu chemicznego zestawu szklarskiego nastąpiło znaczne zmniejszenie wahań gęstości szkła, dla odchylenia standardowego 2,5-krotne, natomiast dla różnicy pomiędzy wartością maksymalną i minimalną blisko 3-krotne. Znajduje to swoje odbicie w efektach wymiernych uzyskiwanych w wyniku wdrożenia komputerowego systemu sterowania w hucie.

Przedstawione wyniki syntezy układu sterowania składem chemicznym szkła pozwalają na dalsze badania, prowadzące do optymalizacji wdrożonego algorytmu, jak również na badania symulacyjne poprzedzające wdrożenia korekcji składu chemicznego w innych hutach szkła.

Artykuł nadesłano 2.V.1985 r.

Oznaczenia

- a_{kj} — element macierzy A
- b_j — element wektora B
- \underline{B} — wektor, wymiar $s \times 1$
- i, j, k — indeksy zmiennych
- l — liczba tlenków stabilizowanych
- m — liczba tlenków w składzie modułowym i surowcach
- M, M_0 — masa modułowa zestawu, masa modułowa średnia
- n — liczba surowców
- p — numer porcji zestawu
- $P_i, P_j, P_k, P_{ij}, P_{ik}$ — zmienne pomocnicze
- Q_M — wskaźnik jakości sterowania
- q — górna granica horyzontu obserwacji
- r_j — resztowy skład chemiczny surowca j
- r_{Nj} — niestabilizowany resztowy skład chemiczny surowca j
- r_{NM} — niestabilizowany modułowy skład chemiczny zestawu
- r_{NM_0} — niestabilizowany modułowy zadany skład chemiczny zestawu
- r_{NZ} — zmienna pomocnicza
- s — liczba surowców sterujących
- S_{ij} — elementy macierzy S
- S — macierz składu chemicznego surowców, wymiar $m \times n$
- u_j — element wektora U
- u_j^{\max} — maksymalny zakres wagi surowca j
- \underline{U} — wektor naważek, wymiar $n \times 1$
- \underline{U}_s — wektor naważek sterujących, wymiar $s \times 1$
- \underline{U}_{sp} — wektor utworzony z wektora U_s po odrzuceniu 1 elementu, wymiar $(s \times 1) \times 1$
- w_i — element wektora W
- W — wektor wag stabilizacji, wymiar $n \times 1$
- x_i — element wektora X
- X_{Mi} — element wektora X_M
- X_{M_0} — element wektora X_{M_0}
- \underline{X} — wektor składu chemicznego zestawu, wymiar $(m+1) \times 1$
- \underline{X}_M — wektor modułowego składu chemicznego zestawu, wymiar $m \times 1$
- \underline{X}_{M_0} — wektor danego modułowego składu chemicznego zestawu, wymiar $m \times 1$
- \underline{X}_{sz} — wektor składu chemicznego szkła
- Z — masa porcji zestawu
- φ — charakterystyka statyczna pieca szklarskiego, jako obiektu sterowania składem chemicznym szkła.

Piśmiennictwo

- [1] Mańczak K., Grochowski M., Nahorski Z.: Szkło i Ceramika nr 7, 1971
- [2] Filipiak R.: Sterowanie składem chemicznym masy szklanej, Praca doktorska (w rękopisie). Politechnika Warszawska, Warszawa.
- [3] Grochowski M., Mańczak K., Tuszyński W.: Szkło i Ceramika nr 9, 1973.

X Europejska Konferencja Telekomunikacji Światłowodowej i II Międzynarodowa Konferencja Czujników Światłowodowych

Stuttgart 3-7 września 1984 r.

Jednym z głównych nurtów tematycznych X Konferencji Światłowodów była technologia szklanych światłowodów włóknistych, choć wydaje się, że zbliżamy się już do zrozumienia absolutnych ograniczeń materiałowych. W tym przypadku głównymi materiałami pozostają na razie szkła wysokokrzemionkowe słabo domieszkowane lub ultraczyste szkło krzemionkowe. Jak dotąd klasyczna technologia szkła krzemionkowego nie miała do czynienia nigdy z takimi wymaganiami, jakie stawia współczesna technika światłowodowa. Miarą tych wymagań jest np. zawartość grup hydroksylowych w rdzeniu światłowodu. W najlepszym przypadku uzyskano stężenie $P_{OH} = 0,15 \cdot 10^{-9}$ w szkłe krzemionkowym syntetyzowanym z fazy gazowej.

Można powiedzieć, że technika światłowodowa stanowiła w ostatnim dziesięcioleciu istotny czynnik decydujący o postępie w niektórych dziedzinach technologii pewnych grup szkła i materiałów amorficznych. Wydaje się również, że można stwierdzić śledząc rozwój techniki światłowodowej, że przez co najmniej 10 następnych lat dynamiczny rozwój tej dziedziny będzie wymagał dalszego rozszerzenia frontu badań technologicznych w zakresie innych szkła. Spojrzenie na literaturę światową z zakresu technologii szkła np. sprzed 10 lat pozwala stwierdzić, że nikt nie przewidywał wówczas, nawet w najśmielszych pracach teoretycznych, że uda się kiedykolwiek oczyścić szkło krzemionkowe do tego stopnia, że dojdzie się do absolutnych ograniczeń fizycz-

nych w tłumieniu materiału amorficznego. Chodzi tutaj oczywiście o rozpraszanie Rayleigha od strony krótkofalowej widma przepuszczalności i rozpraszanie multifononowe od strony długofalowej. Dziś od tej granicy dzieli nas bardzo niewiele, ale tylko dla niektórych szkieł wysokokrzemionkowych. A przecież czynione są, na potrzeby techniki światłowodowej, poszukiwania wśród innych grup szkieł, przezroczystych w pasmie 1 — kilkanaście mikrometrów. Technolodzy spodziewają się tu otrzymania tłumienności własnej szkieł na poziomie poniżej 0,01 dB/km, co oznacza, że dwukrotny spadek mocy optycznej występuje po przejściu przez materiał o grubości 300 km. Dzisiaj jeszcze w tych materiałach otrzymuje się tłumienie powyżej 1 dB/km. Obniżono także znacznie straty niektórych tworzyw sztucznych, jak np. PMMA, do poziomu kilku dB/km. Technika światłowodowa pozwoliła na znacznie dokładniejsze zrozumienie absolutnych ograniczeń tłumienia szkieł i ich dyspersji własnej, opisywanej w przybliżeniu klasycznym równaniem Sellmeiera. Należy podkreślić, że wiele z osiągnięć technologicznych w dziedzinie szkieł i materiałów amorficznych dla techniki światłowodowej zostało już w praktyce wykorzystanych do innych celów. Dotyczy to np. badanych ostatnio kompozytów szkło-polimerowych oraz kompozytów metalopolimerowych. Także ultraczyste szkła syntetyzowane z fazy gazowej metodami stosowanymi w technice światłowodowej stosuje się w specjalnych technologiach elektronicznych i chemicznych.

Wszystkie z wymienionych problemów technologii szkła na potrzeby techniki światłowodowej znalazły odzwierciedlenie na jubileuszowej X Europejskiej Konferencji Telekomunikacji Światłowodowej połączonej w tym roku z II Międzynarodową Konferencją Czujników Światłowodowych. Obie konferencje, które można ująć wspólnym tytułem „Technika Światłowodowa” lub „Optoelektronika Światłowodowa” zgromadziły ok. 1200 uczestników, a wśród nich wielu przedstawicieli czołowych producentów szkła z przodujących w tej dziedzinie krajów jak: Schott Glass, Special Glass GmbH, Nippon Sheet Glass, Heraeus Quarzschmelze GmbH, Quartz et Silice z Francji, Corning Glass Works, Carl Zeiss itp. Obie konferencje zorganizowało Stowarzyszenie Elektryków Niemieckich przy współpracy czołowych organizacji inżynierskich elektryków i optyków z Zachodniej Europy, USA i Japonii.

W zakresie problematyki technologicznej szkieł i szklanych światłowodów włókniстых obie konferencje obejmowały następujące grupy zagadnień:

• Technologia światłowodowa:

- postępy w procesach technologicznych VAD, MCVD, ALPD (ang. vapour axial deposition, modified chemical vapour deposition, axial-lateral plasma deposition)
- domieszkowanie szkła krzemionkowego fluorem,
- technologia światłowodów specjalnych: polaryzacyjnych, wielordzeniowych, czujnikowych, do zakresu średniej podczerwieni,

• Parametry technologiczne i właściwości włókien optycznych:

- odporność światłowodów na wodę i wodór,
- właściwości mechaniczne i ich zależność od rodzaju pokrycia szkła,
- poprawa właściwości transmisyjnych (tłumienie i dyspersja chromatyczna),

• Projektowanie światłowodów i kabli optycznych,

• **Metrolologia technologiczna dla techniki światłowodowej.**
 Sesje tematyczne uzupełniono kilkoma referatami przeglądowymi, dotyczącymi bezpośrednio technologii światłowodów:

- dr I. G. Aggarwal, Valtec, USA: Technologia światłowodów i kablowanie,
- dr D. N. Payne, Uniwersytet w Southampton: Światłowodowy przetwornikowe,
- K. J. Beales i inni: Laboratoria Naukowe Poczty Brytyjskiej, Ipswich: Wpływ wodoru na włókna optyczne — implikacje i potencjalne rozwiązania.

Oprócz tematyki technologicznej konferencje obejmowały typowe zagadnienia telekomunikacji i telemetrii optoelektronicznej, które tutaj nie będą przedmiotem zainteresowań. Zainteresowanych czytelników odsyłam do materiałów konferencyjnych, które są dostępne u autora niniejszego tekstu.

Postępy w dziedzinie technologii włókien i kabli optycznych

Nadal podstawowym kierunkiem rozwoju technologii włókien optycznych dla telekomunikacji, a także dla systemów telemetrycznych jest minimalizacja strat i dyspersji, z tym że obecnie poszukuje się intensywnie absolutnej granicy materiałowej tych wielkości. Zanotowano kolejne rekordy w dziedzinie strat. Straty optyczne poniżej 1 dB/km uzyskano w bardzo szerokim pasmie 0,95—1,8 μm , 0,4 dB/km w pasmie 1,25—1,70 μm , a poniżej 0,2 dB/km w pasmie 1,4—1,65 μm . Minimalne tłumienia włókien wykonanych metodami: OVD, MCVD, VAD (ang. outside vapour deposition, modified chemical vapour deposition, vapour axial deposition) wynoszą: 0,14, 0,15, 0,16 dB/km w obszarze spektralnym 1,56—1,6 μm . Straty przyrostowe dla hydroksylogowego piku rezonansowego w pasmie 1,4 μm wynoszące dotąd 0,1 dB/km zostały obniżone w najlepszym przypadku do poziomu 0,01 dB/km, co świadczy o koncentracji $P_{OH} = 0,15 \cdot 10^{-9}$. Należy tu zaznaczyć, że stężenie grup hydroksylogowych w najwyższej jakości rurach krzemionkowych jest rzędu $100 \cdot 10^{-6}$, a więc sześć rzędów wielkości wyższe. Rury takie służą jako surowiec wyjściowy w metodach CVD. Przypuszcza się obecnie, że uda się obniżyć absolutne straty czysto krzemionkowych włókien optycznych (jako, że prawie tylko takie są obecnie przedmiotem zainteresowania jednomodowej techniki telekomunikacyjnej) do średniego poziomu 0,1 dB/km, co pozwoli na przeprowadzanie eksperymentów transmisyjnych z kablami optycznymi o długości ok. 500 km bez pośredniczących wzmacniaków elektronicznych bądź optycznych. Wymienione rekordowe włókna optyczne były typu DCF (ang. depressed cladding fibres), a więc z domieszką fluoru w płaszczu, obniżającą jego współczynnik załamania oraz ultraczystym niedomieszkowanym rdzeniem. Płaszcz tych włókien, o grubości co najmniej siedmiokrotnie przekraczającej średnicę rdzenia, był syntetyzowany z fazy gazowej w czasie procesu CVD i stanowił jednocześnie dyfuzyjny bufor hydroksylogowy pomiędzy rdzeniem a krzemionkową rurą wyjściową (gdyż, jak wspomniano wysokiej jakości rury do wytwarzania światłowodów zawierają ok. $100 \cdot 10^{-6}$ OH).

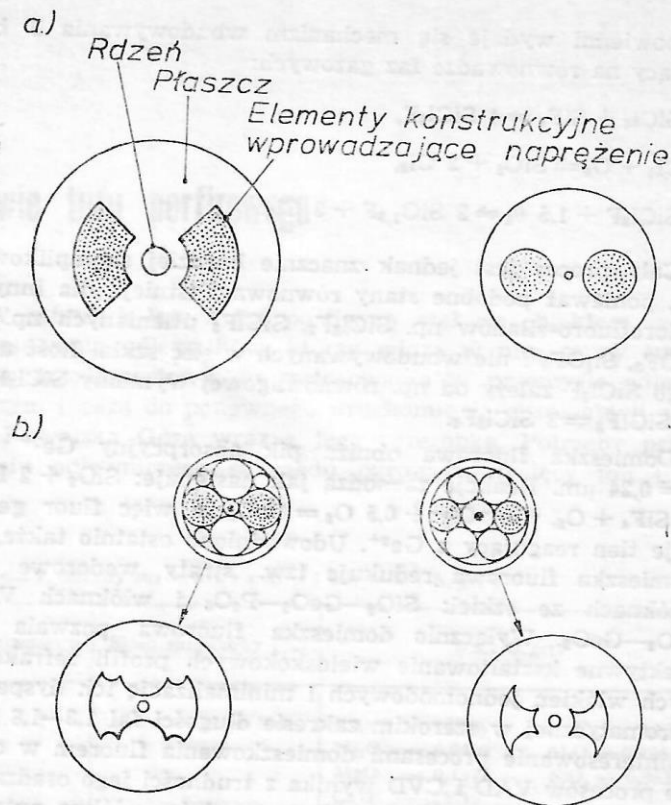
Głównym przedmiotem zainteresowania technologów zajmujących się włóknami telekomunikacyjnymi są obecnie światłowodowy jednomodowe typu FDF i DCF (ang. flatened dispersion fibres) o wieloskokowym profilu refrakcyjnym, minimalizującym dyspersją chromatyczną wielopunktowo w pasmie 1,3—1,8 μm praktycznie do poziomu kilku ps/nm/km, a teoretycznie do poziomu ułamków ps/nm/km. Wieloskokowy profil refrakcyjny kształtuje dyspersję włókna i jego odporność na mikrozgięcia przez wpływ na pole zanikające modu podstawowego, a także na kolejność następnych modów po HE_{11} .

Do celów światłowodowych systemów konherentnych duże zainteresowanie budzą włókna optyczne jednomodowe

jednopolaryzacyjne. Najczęściej stosowaną strukturę takich włókien przedstawiono na rys. Włókna te noszą nazwę „muszka” lub „Panda”. Płaszcz wykonany jest z niedomieszkowanego szkła krzemionkowego, rdzeń domieszkowano GeO_2 a obszary nietransmitujące, wprowadzające naprężenie, wysoko domieszkowano B_2O_3 i GeO_2 na poziomie 16% mol. Naprężenie jednoosiowe, indukowane różnymi właściwościami termicznymi obszarów włókna i na stałe „zamrożone” we włóknie, działające na rdzeń światłowodu indukuje w nim dwójłomność optyczną. Światłowody takie wykonuje się trzema zasadniczymi metodami: osadzanie szkła z fazy gazowej i trawienie selektywne HF w wysokiej temperaturze, zakleszczanie kilku prętów szklanych w rurze płaszczowej, wiercenie dwóch otworów w preformie jednomodowej, przygotowanej wcześniej metodą CVD. Jeśli chodzi o metodę pręta i rury, najczęściej stosuje się metodę pięcio-, siedmio- i dziewięcioprętową. Centralny pręt z odpowiednio przygotowanego szkła stanowi rdzeń, dwa pręty tworzą ostatecznie obszary wprowadzające naprężenia a pozostałe pełnią rolę wypełniaczy. Temperatury mięknięcia szkła prętów wybrane muszą być tak (np. przez dodatkowe stosowanie odryfundowującej w wysokiej temperaturze domieszki P_2O_5), aby ostatecznie utworzone zostały wewnątrz rury płaszczowe obszary o odpowiednich kształtach. Za pomocą wymienionych metod wytwarza się obecnie światłowody niskostratne o tłumienności poniżej 1 dB/km dla fali o długości 1,3 μm . Obok tłumienia fali modu podstawowego, drugim parametrem tłumiennościowym włókien jednopolaryzacyjnych jest współczynnik wygaszania drugiego modu prostopadle spolaryzowanego do modu podstawowego. W innej przedstawionej wersji technologii światłowodów jednopolaryzacyjnych pręty szklane przeznaczone na rdzeń i konstrukcyjne elementy naprężeniowe wytworzono metodą VAD. Specjalnie skonstruowany palnik plazmowy pozwolił na wytworzenie szkła borokrzemowego, zawierającego do 22% masowych domieszki. Doprowadziło to do dalszego zwiększenia termicznego współczynnika rozszerzalności tego szkła do wartości ok. $35 \cdot 10^{-7} \text{ K}^{-1}$.

Technologie sadziowe wytwarzania włókien optycznych optymalizowane są w kierunku zwiększenia ich efektywności materiałowej, która wynosiła dotąd kilkanaście procent. W metodzie osiowego budowania preformy (VAD), polegającej na syntezie szkła z fazy gazowej, stosuje się skomplikowane konstrukcje wielokrotnych palników strefowych w celu zwiększenia uzysku materiałowego przy osadzaniu SiO_2 i domieszki fluorowej. Za pomocą metody dwupalnikowej uzyskiwano, przy dużej szybkości osadzania porowate preformy szklane o długości od 1 do 3,5 m i średnicy do 15 cm, o wadze od 2,5 do 7 kg. Z takiej preformy można wyciągnąć włókno optyczne wielomodowe o długości ponad 1000 km. Całkowita sprawność osadzania materiału wynosiła ok. 60%.

W metodzie MCVD, sprawność osadzania wynosiły do tej pory ok. 50% dla SiO_2 i 15% dla GeO_2 . Ostatnio poprawiono te liczby odpowiednio do 100% i 25% przez chłodzenie zewnętrznej powierzchni rury azotem parującym z ciekłego źródła i wstawienie dodatkowego elementu grzejącego na osi rury krzemionkowej. Tendencją rozwojową metody MCVD jest stosowanie coraz większych krzemionkowych rur wyjściowych, w celu powiększenia sprawności wytwarzania włókien. Dzieje się to jednak kosztem sprawności osadzania. Wewnątrz rury o dużej średnicy istnieją stosunkowo duże różnice temperatur w jej przekroju poprzecznym. W pobliżu ścianek temperatura może być zbyt wysoka i wówczas mimo wysokiej sprawności osadzania, sprawność powstawania GeO_2 jest niska. Przy odsuwaniu się od wewnętrznej powierzchni rury, sprawność powstawania GeO_2 rośnie przy utrzymywaniu się dużej sprawno-



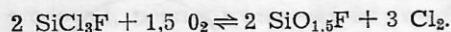
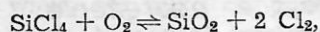
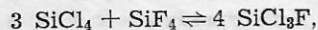
Rys. Jednomodowy, jednopolaryzacyjny światłowód typu „muszka” i „Panda”, a — idealna struktura włókien, b — wytwarzanie włókien typu „muszka” kombinowaną metodą CVD i pręt-rura, przedstawiono sytuację przed i po wyciągnięciu włókna

ści osadzania. Natomiast w pobliżu osi rury krzemionkowej z powodu zbyt niskiej temperatury formowanie dwutlenku germanu może w ogóle nie zachodzić. Zanotowano również znaczne postępy w sprawności metody ALPD, będącej zmodyfikowaną metodą APD. Szkło rdzeniowe syntetyzowane jest z SiCl_4 a do plazmowego palnika płaszczowego dodawany jest F. Źródłem ciepła są generatory mikrofalowe 3 MHz, 50–100 kW.

Badane są wszelkie aspekty domieszkowania ultraczystych szkła krzemionkowych fluorem oraz zależność jakości tego domieszkowania od parametrów procesu technologicznego np. poziomu innych domieszek. Na przykład, straty w jednomodowym włóknie optycznym o rdzeniu $\text{GeO}_2\text{—SiO}_2$ i płaszczu $\text{P}_2\text{O}_5\text{—F—SiO}_2$ o względnych różnicach współczynników załamania (w odniesieniu do czystego szkła krzemionkowego) $\Delta n_- = 1\text{—}3\%$ i $\Delta n_+ = 5\%$, wahały się w granicach 0,19–0,23 dB/km dla $\lambda = 1,5 \mu\text{m}$. Straty te zależą od naprężenia podczas wyciągania włókna. We włóknach o silnej depresji współczynnika załamania dyfuzja F do rdzenia wymagała zastosowania dodatkowego domieszkowania rdzenia za pomocą GeO_2 (kompensującej wartość wsp. załamania), co prowadziło do dodatkowych strat całkowitych włókna.

Do tej pory główny model wbudowywania domieszki fluorowej do szkła krzemionkowego bazował na reakcji równowagi faz gaz/ciało stałe: $\text{SiF}_4 (\text{gaz}) + 3 \text{SiO}_2 \rightleftharpoons 4 \text{SiO}_{1,5}\text{F}$ (ciało stałe), gdzie $\text{SiO}_{1,5}\text{F}$ reprezentuje tetraedr koordynowany atomem Si, związany z łańcuchem zakończonym atomem F i trzema atomami O tworzącymi sieć. Wymaga to, żeby ilość fluoru w ostatecznie uformowanym szkłe była proporcjonalna do cząstkowego ciśnienia fluoru w czwartej potęgze. Taki związek został udowodniony we włóknach typu VAD podczas procesu konsolidacji preformy. Natomiast podczas wysokotemperaturowego procesu VAD nie udało się skutecznie domieszkować szkła fluorem. Dla procesu IVPO (ang. internal vapour phase oxidation) bardziej

odpowiedni wydaje się mechanizm wbudowywania F bazujący na równowadze faz gazowych:



Cały proces jest jednak znacznie bardziej skomplikowany, ponieważ podobne stany równowagi istnieją dla innych chlorofluoro-silanów np. SiCl_2F_2 , SiClF_3 utlenianych np. do SiOF_2 , Si_2OF_6 i nie wbudowywanych w sieć szkła. Ilość użytego SiCl_3F zależy od np. równowagowej wymiany $\text{SiCl}_3\text{F} + \text{SiClF}_3 \rightleftharpoons 2 \text{SiCl}_2\text{F}_2$.

Domieszka fluorowa obniża pik absorpcyjny Ge^{2+} dla $\lambda = 0,24 \mu\text{m}$. Reakcje zachodzą jak następuje: $\text{SiO}_2 + 2 \text{F} \rightleftharpoons \text{SiF}_4 + \text{O}_2$, $\text{Ge}^{2+} + \text{O}_2 \rightleftharpoons \text{GeO}_2$, a więc fluor generuje tlen reagujący z Ge^{2+} . Udowodniono ostatnio także, że domieszka fluorowa redukuje tzw. straty wodorowe we włóknach ze szkielek: $\text{SiO}_2\text{—GeO}_2\text{—P}_2\text{O}_5$ i włóknach VAD $\text{SiO}_2\text{—GeO}_2$. Wyłącznie domieszka fluorowa pozwala na efektywne kształtowanie wieloskokowych profili refrakcyjnych włókien jednomodowych i minimalizację ich dyspersji chromatycznej w szerokim zakresie długości fal 1,3—1,8 μm . Zainteresowanie procesami domieszkowania fluorem w czasie procesów VAD i CVD wynika z trudności jego osadzania i silnej zależności ostatecznych parametrów włókna optycznego (profilu refrakcyjnego i tłumienia) od sposobu domieszkowania i warunków hydrolizy płomieniowej.

Wiele zainteresowania budzi nadal problem wodoru w światłowodach ultraniskostratnych, choć wydaje się, że technolodzy zblżyli się powoli do jego definitywnego rozwiązania. Tematowi temu poświęcono całkowicie odrębną sesję tematyczną podczas konferencji, a także obszerny referat przeglądowy. Problem „strat wodorowych” przybiera na wadze w przypadku zastosowania długich kabli światłowodowych w trudnych warunkach środowiskowych (kable przemysłowe, kable podmorskie itp.). Wyróżnia się obecnie trzy składowe straty wodorowych: związane z dyfuzją wodoru molekularnego (powodujące straty w pasmie długofalowym 1,5 μm), wodorem uwięzionym w szkłe w postaci grup hydroksylowych (o maksimum absorpcji w pasmie w przybliżeniu równym 1,4 μm , zależnie od pozycji grupy w quasi-sieci szkła) oraz niewyjaśnione dotąd straty indukowane wodorem w pasmie krótkofalowym, dla długości fal poniżej 0,9 μm . Badano wszechstronnie wpływ wodoru i wody na różne rodzaje włókien optycznych jedno- i wielomodowych wykonanych z różnych szkieł. Pokazano związki grup hydroksylowych z różnymi domieszkami w szkłe światłowodu.

Liniovą metodą produkcji jednowłóknowych kabli optycznych (ang. PCL, pulling and cabling in line) została zwielokrotniona do postaci wielowłóknowej (ang. MCL, multipulling and cabling in line). Wyciąganych kilka włókien optycznych z pieca wielostrefowego pokrywanych jest w czasie rzeczywistym odpowiednimi pokryciami indywidualnymi, warstwami zabezpieczającymi i natychmiast kablowanymi w czasie jednego ciągłego procesu technologicznego. Wydaje się, że ta metoda może być znakomitym rozwiązaniem przy szybkiej produkcji kabli specjalnych.

Zauważono po raz pierwszy stabilny wzrost tłumienia jednomodowych włókien z czystego szkła krzemionkowego, pokrytych silikonowym buforem sieciowanym ultrafioletem i cienkim twardym panczerem np. nylonowym, po odwracalnych badaniach mechanicznych. Ocenia się, że przyleganie pierwotnego silikonowego pokrycia włókna jest niezwykle ważne z punktu widzenia precyzyjnej oceny właściwości mechanicznych włókien szklanych i kabli optycznych kładzionych w trudnych warunkach środowiskowych (np. długie kable optyczne podmorskie). Podczas silnego na-

prężenia całego włókna, światłowód szklany i oba pokrycia są razem rozciągnięte. Natychmiast po próbie włókno ulega szybkiej relaksacji, następnie po kilku sekundach zredukowane jest naprężenie twardego panczerza. W tym okresie pozostaje jeszcze naprężenie w miękkim buforze, ze względu na jego długi czas relaksacji. Podczas procesów naprężania i relaksacji warstwa miękkiego bufora może ślizgać się po powierzchni szkła i w rezultacie nierównomierny rozkład bufora może powodować powstanie mikrozgieć włókna optycznego. Gdy po kilku godzinach naprężenie bufora ulegnie relaksacji, tłumienie włókna może jeszcze wzrosnąć, do poziomu określonego niejednorodnościami gumy silikonowej.

Dwuwarstwowe pokrycie przylegające jest przedmiotem badań optymalizacyjnych. Parametrami zmiennymi są tutaj: grubość warstw, moduł Younga, współczynnik rozszerzalności termicznej i stopień wzajemnego przylegania. Na przykład, określono eksperymentalnie, że moduł Younga warstwy zewnętrznej powinien wynosić ok. 500 N/mm². Zbyt duża wartość modułu jest niekorzystna z punktu widzenia wzrostu strat struktury w niskich temperaturach. Natomiast moduł Younga warstwy wewnętrznej powinien być w obszarze 2 N/mm², a wartość siły przylegania do szkła na jednostkę długości włókna większa niż 1 N/mm. Przy spełnieniu takich warunków otrzymuje się strukturę stabilną termicznie, mechanicznie i optycznie w zakresie temperatur 230—350 K. Materiałami pokrywającymi są na ogół akrylaty (krzemianowe, epoksydowe, uretanowe).

Swoją skromny wkład w rozwój technologii światłowodów jednomodowych i badania ich podstawowych właściwości wniosły na forum omawianych konferencji także niektóre laboratoria krajowe. Zaprezentowano mianowicie pracę, wykonaną w Oddziale Badawczo-Produkcyjnym Światłowodów Huty Szkła Białostok i Instytucie Podstaw Elektroniki Politechniki Warszawskiej (dr J. Dorosz, dr R. Romaniuk), dotyczącą technologii i właściwości jednomodowych włókien optycznych wielordzeniowych wykonanych z pewnych grup szkieł wieloskładnikowych. Po raz pierwszy wykonano światłowody jednomodowe o większej ilości rdzeni niż dwa i przeprowadzono eksperymenty pomiarowe polegające na transmisji w takich włóknach fal niezależnych i sprzężonych pomiędzy rdzeniami. Opisano zastosowaną metodę technologiczną wyciągania światłowodów wielordzeniowych o minimalnej średnicy rdzenia ok. 2 μm .

Materiały konferencyjne zostały wydane w postaci kilku obszernych tomów, włączając w to także referaty spóźnione. Materiały nie zawierają jednakże większości referatów przeglądowych. Konferencjom towarzyszyły wystawy: wydawnictw z zakresu techniki światłowodowej, a także aparatury technologicznej, pomiarowej i transmisyjnej. Na wystawach dostępne były dodatkowe materiały informacyjne, przygotowane zarówno przez wystawców, jak i przez organizatorów konferencji. Obie połączone konferencje techniki światłowodowej stanowiły ważne wydarzenie naukowe i techniczne. W czasie konferencji przedstawiono wiele nowych koncepcji rozwoju techniki światłowodowej. Wydaje się, że najpoważniejszym osiągnięciem, prezentowanym na konferencji i łączącym w sobie postępy w dziedzinach technologii światłowodowej i elementów optoelektronicznych współpracujących ze światłowodem był opis optycznego systemu transmisyjnego na światłowodzie jednomodowym o odległości międzywzmacniakowej po raz pierwszy przekraczającej 200 km, przy szybkości transmisji ponad 400 Mbit/s i poziomie błędów mniejszym od 10⁻⁹.

Artykuł nadesłano 12.XI.1984 r.

Ryszard Romaniuk
Instytut Podstaw Elektroniki
Politechnika Warszawska

WROZAMET

Zakłady Sprzętu Grzejnego „Wrozamet”

ul. Żmigrodzka 143
50-961 Wrocław

telefon 25-10-31 do 35, telex 0712557

