

Załącznik nr 2

AUTOREFERAT

„Studia nad kształtowaniem parametrów włókien optycznych”

1. Imię i Nazwisko: **Kazimierz Jędrzejewski**, Instytut Systemów Elektronicznych Politechnika Warszawska, Nowowiejska 15/19, 00-665 Warszawa, kpj@ise.pw.edu.pl
2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe/artystyczne – z podaniem nazwy, miejsca i roku ich uzyskania oraz tytułu rozprawy doktorskiej
 - magistra inżyniera: Politechnika Warszawska, Wydział Elektroniki, 1970, specjalność: elektronika ciała stałego
 - doktora nauk fizycznych: Politechnika Warszawska, Wydział Fizyki Technicznej i Matematyki Stosowanej, 1978, specjalność: fizyka ciała stałego
 - Rozprawa doktorska: pt. „Badanie domenowej struktury magnetycznej cienkich warstw kobaltowych metodą mikroskopii elektronowej”, obrona 29.04.1978
3. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych/artystycznych

1974 - do chwili obecnej: Politechnika Warszawska; Wydział Elektroniki i Technik Informacyjnych, Instytut Systemów Elektronicznych, 00-665 Warszawa, ul. Nowowiejska 15/19

1999 - 2010: Instytut Technologii Materiałów Elektronicznych, ul. Wólczyńska 133, Warszawa
4. Wskazanie osiągnięcia wynikającego z artykułu 16 ust.2
5. Jako „osiągnięcie naukowe, uzyskane po otrzymaniu stopnia doktora, stanowiące znaczny wkład autora w rozwój określonej dyscypliny naukowej” wskazuję cykl publikacji dotyczący kształtowania parametrów włókien optycznych. Impact factor IF i liczba cytowań podane są wg Web of Knowledge, o ile nie ma innej uwagi przy publikacji. Wartości IF są zgodne z rokiem publikacji. Dane IF otrzymałem z Biblioteki Politechniki Wrocławskiej za pośrednictwem BG PW (do 1996r.) i Biblioteki Głównej Politechniki Warszawskiej (od 1996r). Zgodnie z Komunikatem nr 2/2012 Centralnej Komisji przy publikacjach wykorzystanych do tego opracowania podaję „precyzyjnie określony przez habilitanta, w tym także procentowo, jego wkład w autorstwo” oraz mój wkład w autorstwo oceniany przez innych współautorów, których udało mi się odszukać, z odpowiednim komentarzem. W miarę możliwości podaję ten wkład wg oceny osób wiodących projekt lub pierwszych autorów publikacji. Dodatkowo, w załączniku 8, zamieszczam otrzymane od nich e-maile z ich oceną dotyczącą % wkładu poszczególnych osób.

Tytuły publikacji wykorzystanych do tego opracowania:

1. „Properties of home-made MCVD, PCS and DC/TC optical fibers in radiation environments”

RS Romaniuk, **K Jedrzejewski**, P Panta

Source: Proceedings of the Society of Photo Optical Instrumentation Engineers, Volume: 404 pages: 96-101, published: 1984, IF brak, liczba cytowań = 2 (Web of Science). W ramach publikacji prowadziłem badania tłumienia spektralnego 3 różnych typów włókien prod. krajowej pod względem ich własności transmisyjnych w funkcji dawki ze źródła promieniowania Co60 i akceleratora elektronów. Ze względu na pojawienie się relaksacji efektów napromieniowania zjawisko analizowane było w długiej skali czasu, również w podwyższonych temperaturach w komorze klimatycznej. Wg mojej oceny mój wkład w publikację wynosi 35 %.

Wg oceny Prof. R. Romaniuka, Politechnika Warszawska 35 %. Jako główny autor przedstawił również w załączniku 8 ocenę wkładu trzeciego współautora.

2. „Optimal design of optical fibers for electric current measurement”

HO Edwards, **KP Jedrzejewski**, RI Laming, DN Payne

Applied optics 28 (11), 1977-1979. IF brak z danego roku, IF (2011)=1,748, liczba cytowań =4 (Web of Science).. Zaprojektowałem i zrealizowałem światłowody jednomodowe ze szkła optycznych, w tym wysokoołowowych biorąc pod uwagę wartość stałej Verdet surowca. Przeprowadziłem badania tłumienia spektralnego i pomiary porównawcze stałej Verdet we włóknach. Zmniejszyłem dwójfomność strukturalną włókna obracając preformę na wieży wyciągowej. Wg mojej oceny mój wkład w publikację wynosi 30%.

Nie dostałem odpowiedzi od żadnego współautora publikacji, a w moim dorobku ta praca jest bardzo istotna z punktu widzenia technologii światłowodów.

3. „Laser-diode-pumped neodymium-doped fibre laser with output power in excess of 1 Watt”

JD Minelly, ER Taylor, **KP Jedrzejewski**, J Wang, DN Payne, CLEO'92: Conference on Lasers & Electro-Optics, Anaheim, USA, May 1992, paper CwE6, liczba cytowań = 12 (Google Scholar). Mój wkład w pracę polegał na opracowaniu technologii, zaprojektowaniu, wykonaniu elementów preformy i zrealizowaniu, po raz pierwszy całkowicie ze szkła, włókna jednomodowego domieszkowanego Nd z podwójnym płaszczem. Ponadto prowadziłem pomiary spektralne i optymalizację wyboru szkła i struktury współczynników załamania w przekroju włókna. Wg mojej oceny mój wkład w publikację wynosi 35%.

Wg oceny Dr J. Minelly, głównego autora 40%. Załączam również list od głównego autora pracy Dr J Minelly, Coherent. Inc. oceniający naszą współpracę naukową. Jako główny autor przedstawił również w załączniku 8 ocenę wkładu pozostałych współautorów.

4. “High power diode-pumped Nd3+ fibre laser”

JD Minelly, **KP Jedrzejewski**, ER Taylor, J Wang, DN Payne, T Raven, I Mannonen, DP Fernie, J Hayden, Conference on Biomedical Fiber Optic Instrumentation, Los Angeles, USA, Jan. 24-27 1994, Proc. SPIE, volume: 2131, p.292-300, 1994, liczba cytowań = 1 (Web of Science). Mój wkład w pracę polegał na zaprojektowaniu, wykonaniu elementów preformy i zrealizowaniu włókna jednomodowego z podwójnym płaszczem domieszkowanego Nd, tym razem z rdzeniem umieszczonym mimośrodowo. Prowadziłem pomiary spektralne i optymalizację położenia rdzenia w przekroju włókna. Włókno było w

założeniu kompatybilne ze strukturą typu PCS. Wg mojej oceny mój wkład w publikację wynosi 30%.

Wg oceny Dr J. Minelly, głównego autora 30%. Załączam również list od głównego autora pracy Dr J Minelly, Coherent. Inc. oceniający naszą współpracę naukową. Jako główny autor przedstawił również w załączniku 8 ocenę wkładu pozostałych współautorów.

5. „Nd3+-doped single mode fibre superfluorescent source with 320 mW output power”
JD Minelly, PR Morkel, **KP Jedrzejewski**, ER Taylor, J Wang, DN Payne
Electronics Letters 29 (18), 1613-1614, IF = 1,093, liczba cytowań = 9 (Web of Science).
Moja praca to projekt i wykonanie światłowodu dwupłaszczowego o prostokątnym płaszczu wewnętrznym wykorzystanego zarówno jako źródło i wzmacniacz, dodatkowo wykonywałem pomiary spektralne i optymalizację strat. Wg mojej oceny mój wkład w publikację wynosi 20%.

Wg oceny Dr J. Minelly, głównego autora 30%, wg Dr P Morkel 15 %. Załączam list oceniający naszą współpracę od głównego autora pracy Dr J. Minelly, Coherent. Inc.. Jako główny autor przedstawił również w załączniku 8 ocenę wkładu pozostałych współautorów.

6. “ Yb3+ sensitised Er3+ doped silica optical fibre with ultrahigh transfer efficiency and gain”
JE Townsend, WL Barnes, **KP Jedrzejewski**, SG Grubb, Electronics Letters 27 (21), p.1958-1959, 1991, IF = 1,168, liczba cytowań = 60 (Web of Science). Jestem projektantem i wykonawcą specjalnego światłowodu wykonanego ze szkła fosforanowych współdomieszkowanych Er/Yb. Prowadziłem badania i optymalizację parametrów realizowanych włókien w funkcji poziomów domieszkowania. Nowy typ szkła wymagał opracowania procesów polerowania chemicznego i odmiennej technologii wyciągania włókna na wieży. Wg mojej oceny mój wkład w publikację wynosi 25%.

Wg oceny prof. W.L. Barnes, Exeter University, Wlk. Bryt. 25%. Jako główny koordynator badań ze strony ORC przedstawił on również w załączniku 8 ocenę wkładu pozostałych współautorów.

7. „+ 21 dBm erbium power amplifier pumped by a diode-pumped Nd: YAG laser”
SG Grubb, WF Humer, RS Cannon, TH Windhorn, SW Vendetta, KL Sweeney, PA Leilabady, WL Barnes, **KP Jedrzejewski**, JE Townsend
Photonics Technology Letters, IEEE 4 (6), p.553-555, 1992, IF = 1,789, liczba cytowań = 24 (Web of Science) Praca zbliżona tematycznie do [6], badania dotyczyły budowy i badania wzmacniacza Er/Yb. Jestem projektantem i wykonawcą światłowodu jednomodowego wykonanego ze szkła fosforanowych z rdzeniem domieszkowanym Er/Yb. Prowadziłem badania i optymalizację parametrów realizowanych włókien. Nowy typ szkła wymagał optymalizacji procesów polerowania chemicznego i wyciągania na wieży. Wg mojej oceny mój wkład w publikację wynosi 20%.

Wg oceny prof. W.L. Barnes, Exeter University, Wlk. Bryt. 20%. Jako główny koordynator badań ze strony ORC przedstawił on również w załączniku 8 ocenę wkładu pozostałych współautorów.

8. „Short-pulse, high-power Q-switched fiber laser”
PR Morkel, **KP Jedrzejewski**, ER Taylor, DN Payne
Photonics Technology Letters, IEEE 4 (6), p.545-547, 1992, IF = 1,789, liczba cytowań = 27 (Web of Science). Jestem projektantem i wykonawcą specjalnego światłowodu

wykonanego ze szkielec fosforanowych domieszkowanego Nd. Prowadziłem badania i optymalizację parametrów realizowanych włókien w funkcji tłumienia spektralnego, gdyż o sprawności kwantowej włókna decydowała precyzja wykonania i stan powierzchni elementów preformy oraz jakość kolapsu. Wg mojej oceny mój wkład w publikację wynosi 25%.

Wg oceny głównego autora Dr P. Morkel 25 %. Jako główny autor i jedyny, który odpowiedział na pismo, przedstawił również w załączniku 8 ocenę wkładu pozostałych współautorów.

9. „Q-switched neodymium-doped phosphate glass fiber lasers”

PR Morkel, KP Jedrzejewski, ER Taylor

Quantum Electronics, IEEE Journal of 29 (7), p. 2178-2188, 1993, IF= 2,993, liczba cytowań = 17 (Web of Science). Praca stanowi rozszerzenie publikacji [8] od strony teorii. Poza wykonaniem specjalnego światłowodu mój wkład dotyczył dalszej optymalizacji czasu życia i sprawności kwantowej przez poprawę parametrów spektralnych włókna. Wg mojej oceny mój wkład w publikację wynosi 20%.

Wg oceny głównego autora Dr P. Morkel 25%. Jako główny autor i jedyny, który odpowiedział na pismo, przedstawił również w załączniku 8 ocenę wkładu pozostałych współautorów.

10. „High power, short pulse acousto-optically Q-switched fibre laser”

I Abdulhalim, CN Pannell, L Reekie, KP Jedrzejewski, ER Taylor, DN Payne

Optics communications 99 (5), p.355-359, 1993, IF = 1,110, liczba cytowań = 7 (Web of Science). Zrealizowałem w ramach tej publikacji zoptymalizowany wcześniej światłowód zbliżony do zastosowanego w [8,9]. Wg mojej oceny mój wkład w publikację wynosi 25%.

Wg oceny osoby wiodącej projekt Dr C.N. Pannell, obecnie w Gooch & Housego PLC 25%. Jako główny koordynator projektu i który odpowiedział na moją prośbę, przedstawił również w załączniku 8 ocenę wkładu pozostałych współautorów.

11. „Cavity dumping of neodymium-doped fibre lasers using an acoustooptic modulator”

I Abdulhalim, CN Pannell, KP Jedrzejewski, ER Taylor

Optical and quantum electronics 26 (11), p.997-1001, 1994, IF = 1,303, liczba cytowań = 5 (Web of Science). Zrealizowałem zoptymalizowany wcześniej światłowód zbliżony do zastosowanego w [8,9]. Wg mojej oceny mój wkład w publikację wynosi 25%.

Wg oceny osoby wiodącej projekt Dr C.N. Pannell, obecnie w Gooch and Housego PLC, 25%. Jako główny koordynator i który odpowiedział na moją prośbę, przedstawił również w załączniku 8 ocenę wkładu pozostałych współautorów.

12. „High-gain superfluorescent neodymium-doped single-mode fiber source”

PR Morkel, KP Jedrzejewski, ER Taylor, DN Payne

Photonics Technology Letters, IEEE 4 (7), p.706-708, 1992, IF = 1,789, liczba cytowań = 5 (Web of Science). Mój wkład w publikację to realizacja i optymalizacja parametrów włókna wykorzystanego w pracy. Dla przeprowadzenia optymalizacji i oceny warunków sprzężenia ze źródłem pompującym wykonałem również identyczny światłowód niedomieszkowany. Wg mojej oceny mój wkład w publikację wynosi 25%.

Wg oceny głównego autora Dr P. Morkel 25%. Jako główny autor i jedyny, który odpowiedział na moją prośbę, przedstawił również w załączniku 8 ocenę wkładu pozostałych współautorów.

13. „High-gain fibre power amplifier tandem-pumped by a 3W multi-stripe diode”
 JD Minelly, RI Laming, JE Townsend, WL Barnes, **KP Jedrzejewski**, DN Payne, OFC'92, paper TuG2, San Jose, USA, 1992, liczba cytowań = 8 (Google Scholar). Dla celów tej publikacji zaprojektowałem i wykonałem specjalny światłowód domieszkowany Nd stanowiący źródło sygnału pompującego oraz światłowód fosforanowy domieszkowany Er/Yb wykorzystany jako wzmacniacz. Wg mojej oceny mój wkład w publikację wynosi 25%.

Wg oceny Dr J. Minelly, głównego autora 25%. Załączam również list oceniający naszą współpracę od głównego autora pracy Dr J Minelly, Coherent. Inc.. Jako główny autor przedstawił również w załączniku 8 ocenę wkładu pozostałych współautorów.
14. „Tapered-beam expander for single-mode optical-fibre gap devices”
KP Jedrzejewski, F Martinez, JD Minelly, CD Hussey, FP Payne
 Electronics Letters 22 (2), p.105-106, 1986, IF = 1,351, liczba cytowań = 35 (Web of Science). W ramach tej publikacji zrealizowałem i zoptymalizowałem układ grzewczy dla procesu przewężania termicznego, opracowałem technologię pokrywania włókna dodatkowym płaszczem (o wysokim współczynniku załamania), wykonałem układy pomiarowe do śledzenia procesu kolapsu i wyciągania oraz przeprowadziłem badania i analizę przyrządu z przerwą (gap device). Wg mojej oceny mój wkład w publikację wynosi 45%.

Wg ocen opiekuna projektu Prof. C.D. Hussey, University of Limerick, Irlandia i Prof. F. Martinez, Meksyk wynosi 40%, wg Dr J.Minelly 50%. Prof. C.D. Hussey jako główny koordynator pracy przedstawił również w załączniku 8 ocenę wkładu pozostałych współautorów.
15. „Biconical fused taper-a universal fibre devices technology”
K Jedrzejewski
 Opto-Electronics Review, vol.8, p.153-159, 2000, IF brak z danego roku, IF (2011)=0,966, liczba cytowań = 7 (Web of Science). W ramach pracy opracowałem technologię przewężania włókien jednomodowych, wykonałem niezbędne urządzenia technologiczne i aparaturę pomiarową. Opracowałem technologię wykonywania przewężanych termicznie sprzęgaczy kierunkowych o modelowanych charakterystykach spektralnych.
16. “Acousto-optically tuned single-mode in-line fiber attenuator”
K Jedrzejewski, M Franczyk, A Leszczynski
 Proc.SPIE, vol. 3731, p.103-106, 1999, IF brak, liczba cytowań = 5 (Web of Science). Mój wkład w publikację to projekt i realizacja układu pobudzania sygnałem akustooptycznym, technologia realizacji przewężeń pojedynczego włókna, opracowanie metod pomiarowych. Wg mojej oceny mój wkład w publikację wynosi 45%.

Wg oceny obu pozostałych współautorów 45%, oceny przedstawione są w załączniku 8.
17. „Spectral characteristics of tapered LPG device as a sensing element for refractive index and temperature”
 T Allsop, F Floreani, **KP Jedrzejewski**, PVS Marques, R Romero, DJ Webb, I Bennion,
 Journal of lightwave technology 24 (2), p.870, 2005, IF = 2,824, liczba cytowań = 17 (Web of Science). Mój wkład w pracę to opracowanie technologii wykonywania przewężeń pojedynczego włókna o minimalnych stratach własnych oraz wykonanie serii przewężeń o określonych długościach i nachyleniach zboczy stożków przewężenia zgodnie z

wymaganiami wykonawcy siatek długookresowych. Wg mojej oceny mój wkład w publikację wynosi 25%.

Wg oceny głównego autora Dr T. Allsop, głównego autora, Aston University, Birmingham Wlk. Bryt. 25%. Jako główny autor i jedyny, który odpowiedział na pismo, przedstawił również w załączniku 8 ocenę wkładu pozostałych współautorów.

18. „Refractive index sensing with long-period grating fabricated in biconical tapered fibre”

T Allsop, F Floreani, **K Jędrzejewski**, P Marques, R Romero, D Webb, I Bennion
Electronics letters vol.41 (8), p.471-472, 2006, IF = 1,016, liczba cytowań = 10 (Web of Science). Mój wkład w pracę to opracowanie technologii wykonywania przewężeń pojedynczego włókna o minimalnych stratach własnych oraz wykonanie serii przewężeń o określonych długościach i nachyleniach zboczy stożków przewężenia.
Wg mojej oceny mój wkład w publikację wynosi 25%.

Wg oceny głównego autora Dr T. Allsop, Aston University, Birmingham UK, 27%. Jako główny autor i jedyny, który odpowiedział na pismo, przedstawił również w załączniku 8 ocenę wkładu pozostałych współautorów.

19. „Polarimetric and Bragg Optical Fiber Sensors for Stress Distribution and Temperature Measurements in Composite Materials”

P Lesiak, M Szlag, K Milenko, TR Woliński, AW Domański. **K Jędrzejewski** and A Boczkowska

Source: Acta Physica Polonica A volume: 120 Issue: 4 Pages: 698-701 Published: OCT 2011, IF = 0,444, liczba cytowań = 1 (from All Databases). Mój wkład w publikację to wykonanie siatek Bragga metodą maski fazowej o zadanych parametrach spektralnych, również na włóknach Hi-Bi, umieszczenie zestawu identycznych siatek w odpowiednich strukturach kompozytowych, badanie własności siatek w obecności naprężeń i w funkcji temperatury, pomiary i analiza zjawisk. Wg mojej oceny mój wkład w publikację wynosi 20%.

Wg oceny koordynatora projektu Prof. A.Domańskiego, Wydział Fizyki Politechnika Warszawska 20%. Jako główny koordynator projektu przedstawił również w załączniku 8 ocenę wkładu pozostałych współautorów.

20. „Comparison of Bragg and Polarimetric Optical Fiber Sensors for Stress Monitoring in Composite Materials”

AW Domanski, P Lesiak, K Milenko, D Budaszewski, M Chychłowski, S Ertman, M Tefelska, TR Wolinski, **K Jędrzejewski**, L Lewandowski, W Jasiewicz, J Helsztynski and A Boczkowska

Source: Acta Physica Polonica A volume: 116 Issue: 3 Pages: 294-297 Published: SEP 2009, IF = 0,467, liczba cytowań = 13 (from All Databases).. Mój wkład w publikację to wykonanie siatek Bragga metodą maski fazowej o wybranych parametrach spektralnych, umieszczenie siatek w strukturach kompozytowych, projekt i wykonanie urządzenia do pomiarów spektralnych w obecności naprężeń, pomiary parametrów siatek Bragga i analiza wyników. Wg mojej oceny mój wkład w publikację wynosi 15%.

Wg oceny koordynatora projektu Prof. A. Domańskiego, Wydział Fizyki Politechnika Warszawska 15%. Jako główny koordynator projektu przedstawił również w załączniku 8 ocenę wkładu pozostałych współautorów.

21. „Fabrication of corrugated Ge-doped silica fibers”

P Wróbel, T Stefaniuk, TJ Antosiewicz, A Libura, G Nowak, T Wejrzanowski, M Andrzejczuk, KJ Kurzydłowski, **K Jedrzejewski**, T Szoplik

Optics Express 20 (13), p.14508-14513, 2012, IF (2011)=3,587, liczba cytowań = 0 (Web of Science). Mój wkład dotyczył wykonywania siatek Bragga o odpowiednim okresie, poszukiwanie odpowiedniego światłowodu i parametrów siatek Bragga pod względem jakości dedykowanego polerowania. Wg mojej oceny mój wkład w publikację wynosi 20%.

Wg oceny koordynatora projektu Prof. T. Szoplika, Wydział Fizyki Uniwersytet Warszawski, 20%. Jako główny koordynator projektu przedstawił również w załączniku 8 ocenę wkładu pozostałych współautorów.

Omówienie celu naukowego/artystycznego ww. pracy/prac i osiągniętych wyników wraz z omówieniem ich ewentualnego wykorzystania

Z tematyką naukową w dziedzinie optoelektroniki jestem związany od 1974 r. Zostałem zatrudniony w Zakładzie Miernictwa Instytutu Podstaw Elektroniki (obecnie Systemów Elektronicznych) w zespole naukowym pod kierunkiem prof. Jerzego Helsztyńskiego. Zespół zajmował się od 1978r. zagadnieniami metrologicznymi związanymi z pomiarami parametrów cylindrycznych, telekomunikacyjnych włókien optycznych, zwłaszcza pomiarów tłumienności, rozkładu pola i współczynnika załamania oraz zastosowaniami światłowodu w postaci czujnika pomiarowego [1]. W okresie ponad 10-letniej współpracy (1985-1996) z Optical Fibre Group (obecnie Optoelectronics Research Centre) Uniwersytetu w Southampton, Wlk. Bryt. skryształizowały się moje naukowe zainteresowania nad ogólnie pojętym tematem kształtowania parametrów włókien optycznych. Z perspektywy czasu, kształtowanie dotyczyło z jednej strony wprowadzania dość znaczących zmian parametrów samego włókna w wyniku zamiany standardowo stosowanej bardzo czystej krzemionki, jak to ma miejsce we włóknach telekomunikacyjnych, na materiały wieloskładnikowe umożliwiające uzyskanie większych możliwości uzyskania specyficznych własności szkła, a co za tym idzie parametrów światłowodu. Z drugiej strony przez cały czas zajmowałem się modyfikacją parametrów gotowego krzemionkowego światłowodu telekomunikacyjnego. Były to elementy pasywne i aktywne toru lub sieci światłowodowej z przeznaczeniem do zastosowań głównie w telekomunikacji i metrologii. Elementy te nazwano podzespołami światłowodowymi w analogii do słownictwa stosowanego w elektronice. W przeważającej liczbie przypadków realizowałem i badałem parametry i zastosowanie podzespołów wykonanych ze światłowodów jednomodowych, które mają prosty i jednoznacznie określony rozkład pola transmitowanego modu.

Światłowody i podzespoły ze szkła optycznych

Dla zwiększenia możliwości kształtowania parametrów włókien optycznych opracowano technologię światłowodów ze szkła wieloskładnikowych. Materiałem wyjściowym były tzw. szkła optyczne, dobrze scharakteryzowane i powtarzalne pod względem parametrów. Zasadnicze parametry szkła: różnice współczynników załamania zestawu szkła (dla określenia zakresu jednomodowości), współczynniki rozszerzalności termicznej (wytrzymałość mechaniczna), charakterystyczne temperatury dla określenia parametrów wyciągania są dostępne w katalogach. Wykorzystana metoda wykonywania światłowodów w technologii rura/pręt jest naturalna w idei. Rura stanowi obszar płaszczka, umieszczony w środku pręt jest rdzeniem włókna. Dopasowane wymiarami, połączone razem, stanowią preformę, którą należy włożyć do odpowiednio zaprojektowanego pieca, poddać procesowi termicznego złączenia elementów i wyciągania w postać światłowodu. Opracowałem metodę frezowania i wiercenia w specjalnie wykonanym i uruchomionym urządzeniu ultradźwiękowym przy zastosowaniu kalibrowanych narzędzi diamentowych o specyfikowanej gradacji ziarna. W światłowodzie zrealizowanym w tej technologii dodatkowym źródłem strat były

nierównomierności powierzchni wywołane procesami wiercenia i szlifowania. Szczególnie dotyczyło to powierzchni między płaszczem i rdzeniem. Opracowałem specjalną procedurę polerowania chemicznego w obecności mieszaniny stężonych HF i H_2SO_4 . Przy zmianie składu chemicznego szkła, procedura i skład mieszanki oraz warunki polerowania musiały być modyfikowane. Dodatkowe wygładzanie powierzchni uzyskuje się również w procesie wyciągania włókna na wieży. Zaprojektowałem piec o specyficznym wyprofilowanej strefie grzejnej, w którym dodatkowo termicznie wygładzane były powierzchnie elementów składowych preformy (odpowiednik tzw. polerowania płomieniowego). Dla uzyskania wysokiej stabilności temperatury wewnątrz pieca i otrzymania powtarzalności procesów rozwiązaniem było zastosowanie sterowników PID. Dla uzyskania włókna jednomodowego, konieczne było kilkakrotne powtarzanie procesu wyciągania. Dla poprawy warunków kolapsu wykorzystano podciśnienie na wieży wyciągowej. W rezultacie powstały liczne światłowody jednomodowe o specyficznych kształtach i rozkładach współczynnika załamania w przekroju poprzecznym w postaci: wielordzeniowej, D, panda, z kanałami powietrznymi, z elektrodami metalicznymi, o specyficznych kształtach rdzenia i inne, które wykorzystywano w dalszych pracach. Niektóre z tych rozwiązań były na tyle interesujące, że zostały przedstawione poniżej.

Wykorzystanie zjawiska rotacji Faraday'a w światłowodzie umożliwia pomiar prądu elektrycznego i pola magnetycznego. Zazwyczaj stosowane są krzemionkowe włókna dwójłomne. Jednak stała Verdet w wysokoołowowych szklach optycznych jest kilkakrotnie wyższa w porównaniu z czystą krzemionką. Wartość ta była określana w pracy doświadczalnie przez porównywanie z krzemionką w gotowych włóknach. Zaprojektowałem i wykonałem specjalne włókna jednomodowe ze szkła wysokoołowowych (np. SF6/SF57-59) o bardzo wysokiej stałej Verdet [2]. Stwierdzono, że czujnik wykonany ze światłowodu bardziej tradycyjnego (F2/F7) jest jednak najkorzystniejszy ze względu na relatywnie niskie straty przy krótkich odcinkach włókna czujnikowego (<50m) i posiada szersze pasmo przenoszenia w porównaniu z SF57-59, nie mówiąc o SiO_2 . Kompatybilność F2/F7 z tradycyjnym światłowodem była również brana pod uwagę. Ze względu na bardzo wysoką wartość współczynnika załamania szkła SF57-59 i w konsekwencji dużą wartość NA średnica rdzenia przy pracy jednomodowej wynosiła zaledwie 1,25 μm . Znacząco utrudniało to wprowadzanie światła do włókna. W badanych włóknach, dla ułatwienia pomiarów w polu magnetycznym, 10x zmniejszono dwójłomność związaną z niedoskonałościami geometrii włókna przez obrót preformy w procesie wyciągania.

Z czasem okazało się, że znacznie bardziej atrakcyjne było zastosowanie tej technologii do realizacji podzespołów czynnych: wzmacniaczy i laserów światłowodowych, w których rdzenie wykonane zostały ze szkła optycznych domieszkowanych jonami ziem rzadkich.

Opracowałem światłowód dwupłaszczowy, w którym płaszcz wewnętrzny miał kształt prostokąta [3]. Był idealnie dopasowany wymiarami do powierzchni czynnej lasera pompującego. Nie uniknęliśmy stosowania optyki sprzęgającej pompę ze źródłem, ale dzięki takiemu rozwiązaniu udało się maksymalizować sprawność sprzężenia. Nowością było zastosowanie zewnętrznego płaszcza ze szkła. Umożliwiło to wzrost maksymalnej mocy

lasera pompującego GaAlAs do ponad 3 W (w tej pracy), a nawet 15 W bez efektów niszczących włókno. Płaszcz zewnętrzny był wykonany ze szkła optycznego w układzie szkieł LF8/F2/F7+3%wag.Nd (w kolejności od zewnątrz). Płaszcz zewnętrzny optymalizowano dla uzyskania jak największej wartości apertury numerycznej ($NA=0,42$) i jednocześnie zapewnienia niewielkich poziomów naprężeń między płaszczami. W trakcie badań okazało się, że naprężenia wewnętrzne znacząco wpływają na parametry emisyjne lasera. Po optymalizacji, umożliwiło to wykonanie światłowodowego lasera neodymowego o pracy ciągłej pracującego w paśmie $1,06\ \mu\text{m}$ z mocą wyjściową 1,07 W i sprawnością kwantową ponad 65%. Rezultat ten był rekordowy (w chwili publikacji) pod względem mocy wyjściowej. W nieco zmodyfikowanej strukturze (uproszczonej pod względem złożoności elementów preformy i równocześnie pozwalającej złagodzić ograniczenia gęstości mocy pompy), tym razem z cylindrycznymi płaszczami i niesymetrycznie umieszczonym rdzeniem moc wyjściowa wyniosła ponad 5 W przy pracy ciągłej [4]. Taka struktura umożliwiła uzyskanie, w całkowicie wykonanym ze szkła układzie elementów, kompatybilnej wartości apertury numerycznej zgodnej z jednomodowymi krzemionkowymi światłowodami telekomunikacyjnymi (rdzeń/płaszcz $NA=0,13$) i niezwykle wysoką wartość apertury numerycznej między płaszczami, co ułatwiało wprowadzanie sygnału pompującego.

Ze zbliżonego układu szkieł opracowano strukturę prostokątną dwupłaszczową o nieco innych wymiarach [5]. Z dwóch odcinków takiego światłowodu domieszkowanego 3% wag. Nd wykonane zostało dwustopniowe źródło superluminescencyjne połączone ze wzmacniaczem optycznym. Uzyskana moc wyjściowa wyniosła 320 mW przy szerokości widmowej 4,5 nm. Istotą pracy było zmniejszenie wpływu sprzężenia zwrotnego wywołanego wewnętrznym wstecznym rozpraszaniem Rayleigha: dzięki słabemu pompowaniu źródła superluminescencyjnego i zastosowaniu dodatkowego izolatora optycznego między dwoma sekcjami włókna.

Sprawność pompowania szkła krzemionkowego domieszkowanego tylko erbem jest ograniczana absorpcją do wyższych poziomów energetycznych (ESA - excited state absorption). Takie problemy były charakterystyczne w dotychczasowych rozwiązaniach. W tym opracowaniu dodanie jonów Yb umożliwiło poszerzenie pasma absorpcji sygnału pompującego w przedziale od 800 aż do 1100 nm dzięki efektywnemu transferowi energii do jonów Er. Matryca wykonana ze szkła fosforanowego (potasowo-glinowo-barowego) domieszkowana Er/Yb była już wcześniej optymalizowana ze względu na potencjalne zastosowanie w laserach dużej mocy służących do inicjacji syntezy termojądrowej w latach 70-tych ub. wieku. Uzyskano kilka próbek wykonanych ze specjalnego szkła fosforanowego (Schott SEP) domieszkowanego równocześnie Er i Yb o różnych poziomach domieszkowania. W trakcie prowadzonych prac okazało się, że najlepszy skład to $1\cdot 10^3$ ppm Er/ $9\cdot 10^5$ ppm Yb. Układ poziomów energetycznych pozwolił na pompowanie wzmacniacza Er/Yb specjalnie wykonanym „mikrolaserem” Nd:YAG przy długości fali $1,06\ \mu\text{m}$ za pośrednictwem jonów Yb. Opracowany światłowod był jednomodowy dla $1064\ \mu\text{m}$. Jako płaszcz wybrano szkło APC7 uzyskując kompatybilną z włóknem telekomunikacyjnym aperturę numeryczną $NA=0,14$. Z tego światłowodu zbudowano wzmacniacz w paśmie 1550 nm, w którym wzmocnienie wyniosła ponad 40dB przy jednostronnym pompowaniu, a całkowita moc prawie 18dBm przy pompowaniu dwukierunkowym [6]. Na bazie doświadczeń z poziomami domieszkowania Er i Yb zrealizowano światłowod krzemionkowy z rdzeniem domieszkowanym P/Al/Si o składzie odpowiednio 6/5/89 %mol.. Wykonany z tego szkła wzmacniacz pompowany dwustronnie wykazał rekordową wartość mocy wyjściowej ponad 21 dBm przy pompowaniu dwustronnym [7]. Elementy składowe preformy ze szkła

fosforanowego nie reagowały na chemiczne polerowanie w wykorzystywanej wcześniej mieszance $\text{HF}/\text{H}_2\text{SO}_4$. Problem ten rozwiązano polerując szkło w specjalnym, doświadczalnie dobieranym, odczynniku zasadowym własnego pomysłu. Proces wyciągania takiego włókna wymagał znacznie stabilniejszej kontroli temperatury pieca w porównaniu ze szklami poprzedniego typu ze względu na bardziej stromą charakterystykę zmian lepkości w funkcji temperatury tego szkła. Ten problem został również pomyślnie rozwiązany.

Osnowa fosforanowa jest również bardzo korzystna dla umiejscowienia w niej jonów Nd, ze względu na wysokie wartości przekroju czynnego wymuszonej emisji i względnie długie czasy życia w stanie pobudzonym. Wykonany światłowód o składzie rdzenia: szkło LG750 domieszkowane 1-3 %wag. Nd i APC4 jako płaszcz prawie doskonale zachowywał widmo fluorescencji i czas życia w stanie wzbudzonym materiału wyjściowego. Jak się okazało w trakcie licznych badań było to możliwe dzięki starannej obróbce powierzchni rury i pręta. W rezultacie powstał laser impulsowy z przełączaną dobrocią rezonatora o mocy szczytowej ponad 1kW [8,9], czasie trwania impulsu 1-2 ns i częstotliwości powtarzania impulsu do 1 kHz. Pompowanie zostało zrealizowane laserem półprzewodnikowym 812 nm o niewielkiej mocy wyjściowej (100 mW). Włókno było jednomodowe od $\lambda=780$ nm. Taki laser może stanowić doskonałe źródło sygnału dla zastosowań w reflektometrach (OTDR) i czasowo multipleksowanych sieciach czujnikowych. Moc wyjściową na poziomie 1 kW można uzyskać zasilając podzespół ze źródła elektrycznego o mocy ułamka W. Długość fali tego lasera wyniosła 1,053 μm , po zastąpieniu zwierciadła wyjściowego siatką dyfrakcyjną laser można było przestraszać (40 nm), jednak było to związane z 10-krotnym spadkiem wartości mocy wyjściowej.

Światłowód fosforanowy z rdzeniem ze szkła LG750 domieszkowanego 1% wag. Nd został specjalnie wykonany do budowy lasera impulsowego o przełączanej dobroci, tym razem z wykorzystaniem modulatora akustooptycznego o wysokiej sprawności dyfrakcji zbudowanego na bazie kryształu TeO_2 [10]. Jak wynikało z pomiarów z 50 mW mocy lasera pompującego (812 nm) 13 mW zostało zaabsorbowane w domieszkowanym rdzeniu. Dla określenia wartości strat między wyjściem lasera pompującego a poziomem mocy absorbowanej konieczne było wykonanie specjalnego włókna placebo o identycznych parametrach tylko z niedomieszkowanym rdzeniem. Takie postępowanie było kłopotliwe, ale jedyne możliwe dla oceny poprawności sprzężenia. Otrzymaliśmy impulsy o szerokości 2,8 ns, mocy szczytowej $>0,7$ kW i częstotliwości powtarzania ponad 1 kHz dla rzędu „0” i powyżej 150 mW dla rzędu „1”. Te wyniki były najlepsze na świecie w chwili publikacji dla takiego typu światłowodowego lasera impulsowego. Wyniki te były niewiele gorsze od otrzymanych wcześniej dla układu z modulatorem elektrooptycznym. Zastosowania takiego lasera to: systemy multipleksacji czasowej i badanie zjawisk optyki nieliniowej.

Ze światłowodu tego samego typu zrealizowano konfigurację z przełączanym tłumieniem wnątki (cavity dumping). W laserach z przełączaną dobrocią energia przechowywana jest w atomach pobudzonych, w tym zaś przypadku w polu radiacyjnym (radiation field) – przez 99% odbicie światła na zwierciadle umieszczonym na wiązce rzędu „0” [11]. Dzięki tej technice można uzyskać impulsy o wysokiej częstotliwości powtarzania przy utrzymaniu wysokiej mocy średniej. Przy pompowaniu laserem (812 nm) o mocy 90 mW średnia moc wyjściowa wykonanego źródła wyniosła 9 mW przy częstotliwości powtarzania 0,5-8 MHz i

szerokościach impulsów w zakresie 20-120 ns. Po wzmocnieniu we wzmacniaczu optycznym źródło takie może być wykorzystane jako źródło impulsów dla OTDR w pośrednim przedziale częstotliwości powtarzania impulsów między źródłami o przełączanej dobroci (niska) i z synchronizacją modów (wysoka).

Podobny światłowód fosforanowy z rdzeniem LG750 z 1 %wag. Nd, jednomodowy dla 800 nm (zmierzona $NA=0,2$), wykorzystany został do budowy światłowodowego źródła superluminescencyjnego. Światłowód umieszczono w kapilarze szklanej dla zapewnienia sztywności włókna (50 mm). Od strony wyjścia był on polerowany pod kątem 14° dla zabezpieczenia przed sygnałem zwrotnym [12]. W ten sposób powstało źródło o względnie niewielkiej spójności czasowej, dużej spójności przestrzennej i dużej mocy wyjściowej. W układzie tym uzyskano moc wyjściową ponad 5mW, szerokość widmową ok. 5 nm przy mocy lasera pompującego 45 mW (dla 810 nm). Wartość progowa mocy dla obserwacji superfluorescencji była 3x niższa niż uzyskiwano w poprzedzających pracach. Zaproponowaliśmy zastosowanie takiego źródła w multipleksowanych czujnikach i żyroskopie światłowodowym Sagnaca. Nie ma ono wad stosowanego odpowiednika - lasera półprzewodnikowego: wykazuje dobrą stabilność temperaturową, kompatybilność ze światłowodem czujnikowym, nie wykazuje efektów polaryzacyjnych. Propagowana długość fali 1,05 μm była ponadto atrakcyjna ze względu na możliwość stosowania detekcyjnych diod krzemowych.

Po połączeniu dwóch zaprezentowanych elementów wykonanych ze szkła optycznych zrealizowano włóknowy wzmacniacz erbowy o wysokim poziomie mocy wyjściowej [13]. Dwupłaszczowy laser LF8/F2/F7+3%wag.Nd $\lambda=1,053 \mu\text{m}$ długości 1,2 m stanowił źródło pompujące dla fosforokrzemionkowego wzmacniacza typu Er/Yb o długości 2,4 m. W tym układzie otrzymano moc wyjściową ponad 20 dBm (106 mW) i wzmocnienie niskosygnałowe 45 dB.

Podane przykłady były pionierskimi rozwiązaniami w chwili ich realizacji, a rezultaty były rekordowe pod względem uzyskiwanych maksymalnych mocy wyjściowych. Wykazały doskonałe parametry wyjściowe prezentowanych podzespołów mimo, z założenia, wysokiej stratności zastosowanych szkła. Obecnie nauka w tej dziedzinie poszła o 3 rzędy wartości mocy wyjściowych w górę. Stosuje się nadal podobne rozwiązania do przykładów wyżej przedstawionych.

Przewężenia światłowodów telekomunikacyjnych

Oddziaływanie na własności propagacyjne w światłowodzie jest interesujące ze względu na możliwości lokalnych zmian funkcji światłowodu lub w zastosowaniach czujnikowych. Aby dotrzeć do pola modu w rdzeniu można polerować szkło mechanicznie lub chemicznie. Obie metody są kłopotliwe i czasochłonne. Pierwszą z nich stosuje się zasadniczo do włókien wielomodowych. Polerowanie chemiczne jest niebezpieczne. Nadal wydaje się, że przewężenie gotowego włókna światłowodowego jest najlepszym sposobem dotarcia z zewnątrz i z boku do pola transmitowanego modu. Jest to szczególnie korzystne we włóknach jednomodowych.

Celem prezentowanej pracy było badanie właściwości transmisyjnych złącza wykonanego z wykorzystaniem dwóch przewężeń [14]. Taki element został nazwany „band-gap” sugerując m.in. możliwości umieszczenia elementu czujnika w przerwie między dwoma światłowodami. W rezultacie prace dotyczyły zmniejszania strat związanych z odsunięciem obu końcówek w złączach. Zastosowano światłowód jednomodowy domieszkowany germanem o skokowym rozkładzie współczynnika załamania wykonany w technologii MCVD. Wg teorii, wyłącznie światłowody, nazywane „matched-clad” nadawały się na przewężenia. W innych włóknach (np. typu W), pojawiały się oscylacje sygnału wyjściowego związane z pojawianiem się modów wyższych rzędów, a skutkiem było silne tłumienie. W czasie wieloletniego doświadczenia z wykonywaniem przewężeń nie miałem podstaw, aby tę tezę podważyć. Światłowód pracował jednomodowo dla 633nm (SM600). Źródłem światła był laser He-Ne. Dzięki temu sygnał wyjściowy był również monitorowany wzrokowo, zarówno w polu bliskim i dalekim (techniką skanowania). Wartości sygnałów wejściowego i wyjściowego były mierzone za pomocą detektora Si, zastosowano technikę pomiarową z odniesieniem („cut-back”) dla eliminacji wpływu toru pomiarowego na wartość pomiaru. Jako grzejnik został wykorzystany, w tej wersji układu przewężania, „miniaturowy” piec elektryczny ze specjalnie ukształtowanym wkładem grafitowym i o odpowiednim rozkładzie profilu temperatury. Piec był analogiczny do stosowanych w wieżach wyciągowych dla krzemionki. Wymagał intensywnego chłodzenia wodnego, atmosfery ochronnej i stosowania przesłon. Przewężanie włókna odbywało się grawitacyjnie (światłowód był umieszczony pionowo). Starannie oczyszczony światłowód był wkładany w dodatkową rurkę o nieco niższym od płaszcza współczynnika załamania (Vycor). Było to konieczne dla zwiększenia sztywności samego przewężenia w pomiarach. Taka struktura szkieł w technikach laserów światłowodowych nazywana jest obecnie światłowodem „z podwójnym płaszczem”. Kształt rozkładu temperatury strefy grzejnej kilkakrotnie weryfikowano dla uzyskania poprawnego kolapsu między rurką i włóknem. W połączeniu z precyzyjną kontrolą temperatury pieca (PID) było to decydujące o jakości przewężenia. Obecność drugiego płaszcza niekorzystnie wpływała na wartość strat w procesie wyciągania. Część światła przechodziła do płaszcza wewnętrznego i była tłumiona w pokryciu. Straty przewężenia bez kapilary wynosiły <0,05dB. Przewężenia z kapilarą o stratach >0,5dB odrzucano, gdyż pojawiające się w przewężeniu mody płaszczone zakłócały obserwowany obraz rozkładu pola.

Rozkład pola modu mierzono na wyjściu pobudzonego światłowodu tnąc przewężenie co kilka milimetrów i korzystając z układu pomiarowego w polu bliskim (skanowanie obrazu z mikroskopu połączanego z kamerą). Stosowano standardowy przyrząd do cięcia włókien. Dla poprawnego cięcia nietypowych średnic przewężeń zmieniano jedynie wartość naprężania włókien.

Okazało się, że przy zmniejszaniu średnicy rdzenia w przewężeniu - średnica pola modu rośnie. Z teorii wiadomo, że wraz ze zmniejszaniem średnicy rdzenia maleje wartość częstotliwości znormalizowanej i pole modu podstawowego rozprzestrzenia się do płaszcza. Zmiana wymiarów pola modu w przewężeniu powodowała zmniejszenie rozbieżności wiązki w powietrzu. Złącze składające się z dwóch przewężeń zostało w rezultacie nazwane

ekspanderem pola w analogii do rozwiązań nie-światłowodowych. Zastosowanie przewężenia w złączach pozwoliło, w tym przypadku, na 6x zwiększenie tolerancji na rozsunięcia wzdłużne. W wyniku tej pracy otrzymano podzespół, w którym przewężenie wykazywało cechy soczewki optycznej. Publikacja ta była wielokrotnie cytowana w literaturze. Szczególnie cenny był kontakt z dr J.D. Love, który dane eksperymentalne wykorzystywał w swoich pracach teoretycznych. Praca ta pozwoliła na lepsze zrozumienie zjawisk zachodzących w podzespołach wykonywanych tą techniką (sprzęgacze, filtry, multipleksery w technologii BFT) a w szczególności potwierdziła wprowadzoną ideę tzw. „warunku adiabatyczności”, koniecznego w trakcie formowania przewężenia dla uniknięcia strat.

W ramach grantu CPBR 8.12, cel 68C1, pt.3 (1990 r.) pt. „Wyniki eksperymentów wytwarzania światłowodowych sprzęgaczy kierunkowych w wyniku kształtowania ich przekroju” i korzystając ze zdobytego wcześniej doświadczenia zaprojektowałem, zbudowałem i uruchomiłem na terenie ISE PW urządzenie do realizacji sprzęgaczy kierunkowych metodą dwustożkowego termicznego przewężania. Początkowo przewężanie realizowane było metodą grawitacyjną, potem wykonano w zespole układ do poziomego wyciągania włókien, w którym możliwa była znacznie lepsza kontrola kształtu obu stożków. Opis możliwości tej technologii i wykonywanych w ISE podzespołów przedstawiony został w pracy [15]. Zamknięty wewnątrz pieca układ światłowodów z [14] był trudny do obserwacji, kontroli i modyfikacji w trakcie przewężania. Samo monitorowanie poziomu sygnału wyjściowego nie wystarczało. Zrezygnowano z pieca z grzaniem elektrycznym. Zastosowałem względnie prosty w budowie palnik propan-butan/tlen z precyzyjnymi regulacjami dozowania obu składników mieszanki. Najprostszy sprzęgacz kierunkowy wykonany opisaną wyżej techniką termicznego przewężania (BFT) składa się z dwóch połączonych ze sobą światłowodów przewężanych równocześnie w odpowiednio wysokiej temperaturze. Jesteśmy w ISE obecnie jednymi z nielicznych wykonawców jednomodowych podzespołów przewężanych na nietypowe, nitelekomunikacyjne długości fal. Nie realizujemy masowej produkcji standardowych elementów BFT nie dysponując legalizowanymi przyrządami do ich specyfikowania zgodnie z normami. Wykonujemy sprzęgacze kierunkowe 2x2 o dowolnym stopniu podziału mocy wyjściowej, w tym sprzęgacze o spłaszczonej charakterystyce spektralnej, dwuoknowe, multi-i demultipleksery, filtry i tłumiki w zakresie długości fal dostępnych jednomodowych włókien światłowodowych, tj. 600-1650 nm wszystkim zainteresowanym, zwłaszcza jednostkom naukowo-badawczym. Przewężenia pojedynczych włókien były również z powodzeniem realizowane w tym układzie grzewczym. Do przewężenia dołącza się (dokleja) przetwornik akustooptyczny wywołując falę stojącą – był to mechaniczny pierwowzór siatki Bragga [16]. Dzięki temu można wykonać tłumiki transmitowanego sygnału, które są przestrajane niewielkim napięciem i uzyskać efekt przełączania wykorzystując zjawisko w sprzęgaczu kierunkowym. Innym przykładem jest współpraca z Aston University, dzięki której opublikowaliśmy prace [17, 18]. W obu przypadkach na wykonane w ISE PW przewężenia o określonych charakterystykach zboczy nanoszono w Birmingham siatki długookresowe (LPG) wykorzystując je jako element

czujnikowy do pomiaru współczynnika załamania i temperatury otoczenia. Przewężenie pojedynczego światłowodu lub sprzęgacza kierunkowego jest niezwykle wrażliwe na warunki otoczenia ze względu na obecność pola modu na zewnętrznej powierzchni tej struktury. Bardziej zaawansowane prace o podobnym charakterze są obecnie kontynuowane w ISE PW i finansowane w ramach projektu NCN nr 4707/B/T02/2011/40 „Światłowodowe siatki na przewężeniach”.

Siatki Bragga

Współpraca z ORC Southampton, a zwłaszcza z Aston, pokazała jak wielkie znaczenie dla telekomunikacji i metrologii mają siatki Bragga wykonywane bezpośrednio na włóknach krzemionkowych lub z nimi kompatybilnych (specjalne światłowody fotoczułe). Siatka Bragga jest filtrem optycznym o charakterystyce pasmowo-zaporowej z możliwością uzyskania bardzo wąskiej charakterystyki spektralnej. Idea powstawania siatki Bragga polega na oświetlaniu włókna z boku periodycznym światłem UV powstającym w wyniku interferencji, co wywołuje lokalne, periodyczne zmiany współczynnika załamania (w rdzeniu włókna). Zastosowania siatek Bragga dotyczą istotnych, przełomowych zastosowań w telekomunikacji (DWDM, kompensacja dyspersji), technikach laserów światłowodowych i metrologii (czujniki naprężeń i temperatury). Po kilku latach starań otrzymaliśmy w 2000 r. grant inwestycyjny KBN nr 3586/IA/134/2000 (kierownik inwestycji - projekt, nadzór i realizacja laboratorium światłowodowych siatek Bragga), dzięki któremu zbudowano od podstaw laboratorium siatek Bragga. W ramach tego grantu kupiony został laser argonowy pracy ciągłej o mocy 100 mW pracujący na drugiej harmonicznej 244 nm, odpowiedni stół optyczny izolowany od wpływu czynników zewnętrznych oraz oprzyrządowanie w postaci niezbędnych elementów optycznych i mechanicznych. W 2002 roku wykonywano już pierwsze siatki. Ze względu na wysokie koszty zakupu specjalnych światłowodów fotoczułych, zrealizowano w 2003 r. system wysokociśnieniowego wodorowania włókien (KBN nr 4269/IB/134/2003, kierownik inwestycji: projekt, nadzór i realizacja laboratorium wodorowania włókien i podzespołów światłowodowych). Wodorowanie (kilkanaście dni, ciśnienie ok. 130 bar) zwiększa o kilka rzędów wielkości podatność rdzenia na promieniowanie UV i w konsekwencji wprowadza znaczące zmiany współczynnika załamania. Umożliwia to wykorzystywanie tanich światłowodów telekomunikacyjnych do realizacji siatek Bragga. Dzięki kolejnym grantom: 7 T11 02521, „Siatki dyfrakcyjne na rdzeniu światłowodu”, (uruchomiono dwie technologie: maski fazowej i interferometryczną), PZB-MIN 009/T11/2003, podzadanie nr. 7.1.3. „Opracowanie technologii i konstrukcji oraz wykonanie światłowodowych siatek Bragga”, podzadanie nr. 7.1.3., (opracowano sposoby wykonywania siatek Bragga w szerokim zakresie spektralnym 800 – 1650nm) i 3 T10C 00828 „System multipleksowanych braggowskich czujników światłowodowych” (wykonaliśmy model multipleksowanego systemu siatek z możliwością łatwego zwielokrotniania liczby czujników do pomiarów naprężeń, wibracji i temperatury) - laboratorium zostało wyposażone w odpowiedni sprzęt optyczny i mechaniczny oraz wysokiej klasy przyrządy pomiarowe do monitorowania i badania realizowanych siatek Bragga m.in. optyczne analizatory widma i przestrajane lasery. Obecnie wykonujemy siatki Bragga standardowe, apodyzowane, zmiennookresowe, skośne,

długookresowe, o dowolnych parametrach w zakresie możliwości transmisyjnych włókna telekomunikacyjnego i dwójtłomnego w dwóch rozwiązaniach technologicznych: z maską fazową i interferometrycznie. Metoda maski fazowej jest traktowana jako wzorcowa i bardzo stabilna, ale nie pozwala na zmiany długości fali Bragga w szerokim zakresie długości fal (tylko ok. +2 nm). Przy zmianie długości fali wymagane jest kupno nowej, odpowiedniej maski. W metodzie interferometrycznej wartość kąta między dwoma wiązkami pozwala na znaczne modyfikacje długości fali braggowskiej w zakresie co najmniej 1000-1650 nm. W zależności od zastosowanej technologii szerokość widmowa realizowanych siatek wynosi od 40 pm do 10 nm. Siatki Bragga służą zasadniczo w naszych badaniach jako zwierciadła laserów włóknowych i do celów metrologicznych. Realizujemy również siatki na przewężeniach włókien łącząc obie technologie opracowane i zrealizowane w ISE PW. Wykonywanie takich siatek stało się możliwe dzięki finansowaniu w ramach prowadzonego obecnie grantu NCN nr 4707/B/T02/2011/40 „Światłowodowe siatki na przewężeniach”. Poza innowacyjnością kształtu charakterystyk spektralnych uzyskiwanych za pomocą chirpu wywołanego przewężeniem wykonamy badania charakterystyk dyspersyjnych i spektralnych w funkcji naprężenia i temperatury tak wykonanych siatek. Wykonane siatki były również umieszczane w strukturach kompozytowych (włókno szklane i żywice epoksydowe). Służyły do pomiaru lokalnych naprężeń [19, 20]. Możliwe są również niestandardowe zastosowania siatek Bragga [21]. Na wykonanych siatkach Bragga na światłowodzie SM780 realizowane były przez zespół chemicznie polerowane stożkowe przewężenia o periodycznie zmiennej strukturze powierzchni wywoływanej lokalnymi zmianami współczynnika załamania. Ich przeznaczenie to mikroskop z sondą skanującą w polu bliskim (SNOM).

Laboratorium siatek Bragga jest obecnie modernizowane i wyposażane w nowy sprzęt umożliwiający poszerzenie możliwości realizacyjnych siatek na inne typy szkieł oraz szeroko pojętej automatyzacji procesów w ramach projektów POIG: ROBAL i FOTEH.

