

# ŚWIATŁOWODOWA SIATKA BRAGGA

Materiały przeznaczone dla studentów kierunku  
*Zaawansowane Materiały i Nanotechnologia* w IFUJ – rok akademicki 2017/18  
prowadzący: prof. dr hab. Jarosław Koperski

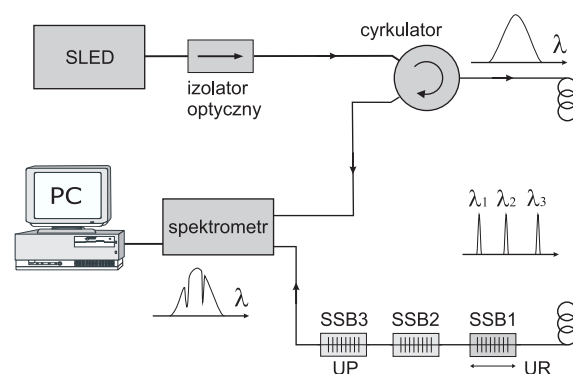
Ćwiczenie poświęcone jest badaniu właściwości tzw. światłowodowych siatek Bragga (SSB) w kontekście ich zastosowania w układach czujnikowych: temperatury, ciśnienia lub/i odkształcenia. SSB jest światłowodem, w którym współczynnik załamania światła rdzenia zmienia się w sposób periodyczny. Periodyczność taka jest zazwyczaj uzyskiwana poprzez naświetlanie światłowodu czulego na promieniowanie UV, przestrzennie modulowaną silną wiązką lasera UV. Wprowadzona do takiego światłowodu szeroka spektralnie wiązka światła ulega częściowo odbiciu od struktury zmodulowanego przestrzennie współczynnika załamania. Długość fali dla której następuje odbicie zwana jest długością fali Bragga i silnie zależy od okresu wytworzonej siatki i średniej wartości współczynnika załamania rdzenia. Te wielkości zależą z kolei od parametrów zewnętrznych takich jak temperatura, ciśnienie czy odkształcenie jakiemu poddany jest światłowód, co sprawia, że SSB znalazły mnóstwo zastosowań czujnikowych.

## Zagadnienia do samodzielnego przestudiowania

1. Dioda superluminescencyjna jako półprzewodnikowe źródło światła [1].
2. Światłowody - prowadzenie światła, rodzaje światłowodów i sposoby wprowadzania światła do światłowodów [1].
3. Światłowodowe siatki Bragga [2] – warunek Bragga, właściwości widma odbitego, zjawisko fotoczulności w światłowodach, efekt termo-optyczny, efekt foto-elastyczny, metody wytwarzania siatek Bragga, fizyczne podstawy ich zastosowań czujnikowych (pomiaru temperatury, odkształcenia).
4. Pomiar długości fali za pomocą spektrometru siatkowego – jego budowa, działanie i podstawowe parametry [3].

## Aparatura i materiały

Schemat układu eksperymentalnego został przedstawiony na rysunku 1 i zawiera: diodę superluminescencyjną (SLED) emitującą promieniowanie w zakresie 1480 nm – 1610 nm, kable światłowodowe, izolator optyczny, cyrkulator optyczny, światłowód z 3 siatkami Bragga, spektrometr siatkowy na zakres długości fal od 1500 nm do 1600 nm, miernik mocy optycznej oraz przymiar do pomiaru długości światłowodu pomiędzy uchwytami. Używany w ćwiczeniu światłowód to światłowód kwarcowy w osłonie ceramicznej typu ORMOCER (*organic modulated ceramic* firmy FBGS-Technologies), w którego rdzeniu – na długości 8 mm w 3 różnych miejscach – zostały zapisane siatki Bragga o  $\lambda_B$  równym ok. 1548, 1551 i 1554 nm.

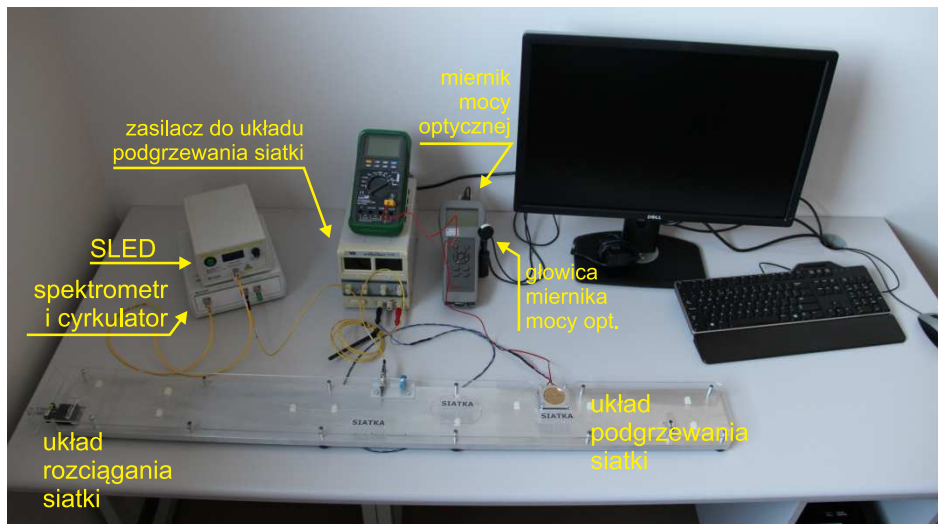


Rysunek 1: Schemat blokowy systemu czujnika ze światłowodowymi siatkami Bragga (SSB). Dioda superluminescencyjna (SLED) emituje promieniowanie w zakresie od 1480 nm do 1550 nm. Izolator optyczny zabezpiecza diodę SLED przed jej uszkodzeniem światłem odbitym wstecz od kolejnych elementów optycznych. Cyrkulator optyczny kieruje światło z SLED do SSB, a światło odbite od siatki do spektrometru (I-MON firmy Ibsen na zakres 1500 – 1600 nm z liniową matrycą fotodiod jako detektorem) mierzącego jego widmo i długość fali Bragga ( $\lambda_B$ ). Siatki SSB3 i SSB1 są zamontowane odpowiednio w układzie rozciągającym (UR) i układzie podgrzewającym (UP). Do podgrzewania (zmiany temperatury siatki) używane jest ogniwo Peltiera, a do pomiaru jej temperatury termopara.

## Program ćwiczenia

Zasadniczy program ćwiczenia obejmuje:

1. Pomiar mocy optycznej diody SLED i jej widma w zależności od natężenia prądu zasilania.
2. Rejestrację widma promieniowania odbitego i przechodzącego przez SSB. W tym celu zmontować układ jak na rysunku 1.
3. Rejestrację długości fali Bragga siatki w zależności od temperatury. Pomiar temperatury odbywa się przy pomocy termopary.  
UWAGA: zmiana prądu o 0.5 A odpowiada zmianie temperatury o około 20 °C.



Rysunek 2: Układ eksperymentalny.

4. Rejestrację długości fali Bragga siatki w zależności od odkształcenia/wydłużenia światłowodu. Wydłużanie światłowodu dokonuje się za pomocą śruby mikrometrycznej, nie więcej jednak niż o 5 mm.

- Przed każdym podłączeniem światłowodów sprawdzić jakość ich końcówek za pomocą mikroskopu.
- Uruchamianie diody SLED i spektrometru może się odbywać wyłącznie za zgodą i w obecności prowadzącego ćwiczenie.

## Opracowanie wyników

1. Na podstawie zmierzonej w punkcie (1) zależności moc optyczna - natężenie prądu zasilania wyznaczyć jej postać funkcyjną.
2. Na podstawie zarejestrowanych zmian długości fali Bragga z temperaturą wyznaczyć współczynnik czułości badanej SSB na zmiany temperatury wyrażony w  $\text{pm}/^\circ\text{C}$  oraz względny wyrażony jako  $\Delta\lambda/\lambda_B$ .
3. Na podstawie zarejestrowanych zmian długości fali Bragga z odkształceniem wyznaczyć odpowiedni współczynnik czułości badanej SSB wyrażony w  $\text{pm}/\mu\epsilon$  oraz względny wyrażony jako  $\Delta\lambda/\lambda_B$ .

**UWAGA: niniejsza instrukcja nie wystarcza do przygotowania się do ćwiczenia**

## Dodatek A: Światłowodowa siatka Bragga jako czujnik odkształcenia i temperatury

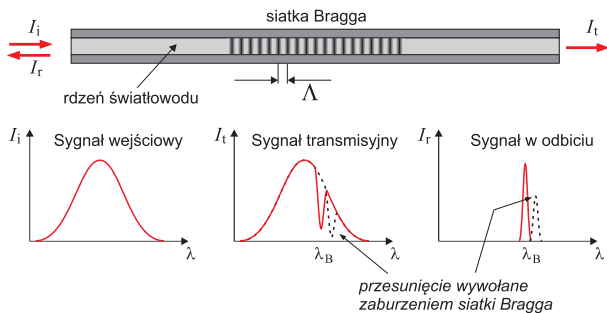
Światłowodowa siatka Bragga (SSB) to światłowód, w którego części współczynnik załamania rdzenia zmienia się w sposób okresowy. Pomimo, że doniesienia o pierwszych światłowodowych siatkach Bragga pojawiły się już w 1978 roku [4], to intensywne badania nad ich właściwościami rozpoczęły się dopiero 10 lat później [5] po opanowaniu metody ich wytwarzania. Siatki tego typu otrzymuje się poprzez naświetlenie specjalnego światłowodu promieniowaniem UV o przestrzennie modulowanym rozkładzie natężenia. Jeżeli szeroka spektralnie wiązka światła (na przykład z diody superelektroluminescencyjnej) zostaje wprowadzona do takiego światłowodu i oddziałuje z wytworzoną siatką, wówczas promieniowanie o długości fali Bragga,  $\lambda_B$  w wąskim zakresie spektralnym 0.2 nm zostaje odbite, a transmisja pozostałych długości fal odbywa się bez zakłóceń (patrz rysunek 1). Jeżeli okres siatki wynosi  $\Lambda$  to długość fali Bragga spełnia warunek:

$$\lambda_B = 2n_{eff}\Lambda, \quad (1)$$

gdzie  $n_{eff}$  jest efektywnym współczynnikiem załamania rdzenia światłowodu. Szerokość spektralna odbitego sygnału zależy głównie od długości siatki, i dla większości siatek wynosi od około 0.05 do 0.3 nm. Zaburzenie siatki, czy to poprzez zmianę jej okresu, czy

Ponieważ w ćwiczeniu wykorzystywane są niezwykle delikatne elementy optyczne, wobec tego od studenta wymaga się stosowania do poniższych zasad.

- Nie wolno dotykać końcówek światłowodów ani innych powierzchni optycznych, gdyż może to spowodować ich trwałe uszkodzenie.
- Końcówki nieużywanych światłowodów i wejścia elementów zestawu oraz spektrometru – jeśli nie są używane – należy zabezpieczać odpowiednimi zaślepkami.
- Nie związać światłowodów w pętle o promieniu mniejszym niż 4 cm.



Rysunek 3: Właściwości transmisyjne i odbiciowe światłowodowej siatki Bragga (SSB).

też współczynnika załamania, powoduje przesunięcie długości fali Bragga. Zmiany  $\lambda_B$  można wykrywać mierząc rozkład spektralny sygnału odbitego lub sygnału przechodzącego. Zastosowania SSB jako czujnika wynikają z zależności  $\lambda_B$  od odkształcenia światłowodu powodowanego zarówno jego wydłużeniem (prowadzącym do zmiany okresu siatki  $\Lambda$ ) jak i zmianą efektywnego współczynnika załamania szkła na skutek efektów elasto-optycznych. Ponadto,  $\Lambda$  zależy od temperatury poprzez termiczną rozszerzalność szkła i efekt termo-optyczny czyli zależność współczynnika załamania szkła od temperatury. Uwzględniając wyżej wymienione efekty, zmianę  $\Lambda$  powodowaną zarówno odkształceniem jak i temperaturą można zapisać jako [2]:

$$\frac{\Delta\lambda_B}{\lambda_B} = (1 - \rho_e)\varepsilon + (\alpha + \eta)\Delta T. \quad (2)$$

W powyższym równaniu,  $\varepsilon$  oznacza względne wydłużenie siatki (równe względnemu wydłużeniu światłowodu),  $\rho_e$  współczynnik elasto-optyczny, a  $\alpha$  i  $\eta$  odpowiednio współczynniki rozszerzalności termicznej światłowodu i termo-optyczny.

Typowe przesunięcia długości fali Bragga pod wpływem odkształcenia/strain wynoszą 0.64 pm/ $\mu\varepsilon$ , 1.0 pm/ $\mu\varepsilon$  i 1.2 pm/ $\mu\varepsilon$  dla długości fal odpowiednio 830 nm, 1300 nm i 1550 nm. Jednostką odkształcenia jest strain ( $\varepsilon$ ), to znaczy odkształcenie ma wartość 1  $\mu\varepsilon$ , jeżeli światłowód o długości 1 m został wydłużony o 1  $\mu\text{m}$ . Z kolei temperaturowe zmiany wynoszą 6.8 pm/ $^\circ\text{C}$ , 10.0 pm/ $^\circ\text{C}$  i 13.0 pm/ $^\circ\text{C}$  dla długości fal odpowiednio 830, 1300 i 1550 nm.

To co odróżnia czujniki SSB od innych czujników światłowodowych to to, że informacja o zachodzących zmianach interesującego nas parametru zostaje zapisana jako zmiana długości fali, a nie natężenia. Taki sposób detekcji ma szereg zalet. Przede wszystkim, rejestrowana długość fali nie zależy od poziomu strat w światłowodzie i na złączach pomiędzy światłowodami i układami sprzęgającymi oraz jest ona odporna na ewentualne fluktuacje natężenia źródła światła. Dodatkowo, taki sposób kodowania informacji pozwala na rozmieszczenie szeregu czujników w ramach pojedynczego światłowodu, z których każdy przypisany jest do innego obszaru spektralnego używanego źródła światła (ang. *wavelength division addressing/multiplexing*).

To z kolei umożliwia kontrolę przestrzennego rozkładu odkształcenia (lub temperatury).

## Literatura

- [1] B. Ziętek, *Optoelektronika*, Wydawnictwo UMK, Toruń 2005.
- [2] Marcelo M. Werneck, Regina C. S. B. Allil, Bessie A. Ribeiro and Fábio V. B. de Nazaré (2013). *A Guide to Fiber Bragg Grating Sensors, Current Trends in Short- and Long-period Fiber Gratings*, Dr. Christian Cuadrado-Laborde (Ed.), InTech, DOI: 10.5772/54682. Available from: <http://www.intechopen.com/books/current-trends-in-short-and-long-period-fiber-gratings/a-guide-to-fiber-bragg-grating-sensors>
- [3] Instrukcja do ćwiczenia: *Badanie struktury izotopowej atomu wodoru za pomocą spektrometru siatkowego*, IIPF IFUJ Kraków 2005.
- [4] K.O. Hill, Y. Fujii, D.C. Johnson, B.S. Kawasaki, *Photosensitivity in optical fiber waveguides, application to reflection filter fabrication*, Appl. Phys. Lett. **32**, 647 (1978).
- [5] G. Meltz, W.W. Morey, W.H. Glen, *Formation of Bragg gratings in optical fibers by a transverse holographic method*, Opt. Lett **14**, 823 (1989).