



Optymalizacja parametrów światłowodowych czujników do pomiaru temperatury

Grzegorz Dziubiński^{}, Damian Harasim^{*},
Krzysztof Skorupski^{*}, Kanat Mussabekov^{*},
Aliya Kalizhanova^{**}, Ainur Toigozhinova^{**}*
^{}Politechnika Lubelska*

*^{**}Kazakh National Research Technical University
named after K.I. Satpayev*

1. Wstęp

W dzisiejszych czasach istnieje wiele urządzeń, których awaria może wiązać się nie tylko ogromnymi stratami finansowymi, ale także zagrożeniem dla otaczającego nas środowiska naturalnego. Wobec tego, ważnym zagadnieniem jest skuteczne diagnozowanie stanu m. in. elementów elektronicznych oraz badanie warunków ich pracy. Wczesne wykrycie usterki pozwala na wprowadzenie działań zapobiegawczych i uniknięcie poważnych konsekwencji.

Systemy pomiarowe oparte o układy optoelektroniczne znajdują zastosowania w diagnostyce maszyn oraz procesów (Kotyra 2014). Szczególne miejsce zajmują czujniki światłowodowe, które charakteryzują się szeregiem zalet, wśród których najważniejszymi są odporność na zakłócenia elektromagnetyczne, niewielka masa oraz możliwość wbudowania ich wewnątrz mierzonej struktury (Pereira i in. 2016). W przypadku układów czujnikowych opartych o światłowodowe siatki Bragga (Fiber Bragg Gratings), ważnymi zaletami są także niezależność dokładności pomiaru od fluktuacji źródła światła oraz możliwość budowania bardziej skomplikowanych układów pomiarowych poprzez umieszczenie wielu czujników na pojedynczym włóknie światłowodowym. Światło-

wodowe siatki Bragg w zastosowaniach czujnikowych od lat cieszą się niesłabnącym zainteresowaniem ze strony naukowców z całego świata. Ich podstawową właściwością jest zdolność do odbijania promieniowania świetlnego o ściśle określonej długości fali, przy jednoczesnej transparentności dla światła o innych długościach fal (Kashyap 1999, Kenneth & Meltz 1997). Oparcie pomiaru na determinowaniu przesunięcia względnie centralnej długości fali sprawia, że fluktuacje mocy optycznej źródła światła nie wpływają na jego dokładność. Istnieje wiele metod wyznaczania długości fali Bragga, także pozwalających na jej wyznaczenie na podstawie widm zawierających silne zaszumienie (Chen i in. 2013, Negri i in. 2011). Liniowe przetwarzanie wielkości mierzonej na przesunięcie charakterystycznej długości fali zwanej centralną długością fali Bragga sprawia, że są one naturalnymi przetwornikami wielkości fizycznych takich jak siła (Ciężczyk & Kisała 2016, Harasim & Gulbakhar 2015, Kisała & Ciężczyk 2015), temperatura czy naprężenie (Kisała 2015, Majumder i in. 2008).

Parametrem, który w szczególny sposób wpływa na kształt widma siatki Bragga jest apodyzacja. W najprostszym przypadku wyróżniamy siatki jednorodne, w których głębokość modulacji współczynnika załamania prążków interferencyjnych jest identyczna na całej długości struktury. Mnogość szczególnych zastosowań światłowodowych struktur periodycznych wymusiła zaimplementowanie do technik ich wytwarzania funkcji apodyzacyjnych, które wymuszały zmienną głębokość modulacji współczynnika załamania prążków siatki.

Jednym z najczęściej wykorzystywanych sposobów przesłuchiwania czujnika temperatury opartego o światłowodową siatkę Bragga jest filtracja za pomocą drugiej, wytworzonej w identycznych warunkach początkowych siatki o tej samej centralnej długości fali (Harasim & Kisała 2015). W takim układzie, istotnym parametrem warunkującym przydatność danej struktury periodycznej jest minimalizowanie tzw. wstęg bocznych *ang. side lobes* (Abdulina & Vlasov 2014). Jednym ze sposobów osiągnięcia tego efektu jest apodyzacja poprzez zmianę głębokości modulacji zmian współczynnika załamania w rdzeniu światłowodu wzdłuż jego osi. Wytwarzanie struktur periodycznych o dowolnych apodyzacjach często wiąże się z koniecznością przebudowy układu a zatem możliwość wykorzystania modeli matematycznych do symulacji widma siatki o wskazanej apodyzacji jest uzasadniona.

2. Model matematyczny apodyzowanych siatek Bragga

Jedną z metod symulacji stanowi metoda macierzy przejścia – TMM *ang. Transfer Matrix Method* (Demirdag & Yildirim 2016) która pozwala wyznaczyć charakterystykę spektralną elementów optycznych w oparciu o teorię modów sprzężonych oraz macierzowy opis fali elektromagnetycznej, która przechodzi poprzez kolejne periody światłowodu (Khalid i in. 2012).

W podejściu tym zakładamy, że cała długość siatki L , zostaje podzielona na ściśle określoną liczbę sekcji N , tak aby każda w ten sposób utworzona sekcja o długości $\Delta z = L / N$ mogła być traktowana jako jednorodna. Macierz przejścia opisująca i -tą sekcję zdefiniowana będzie poprzez (Wójcik & Kisała 2010):

$$T_i = \begin{bmatrix} \cosh(\gamma \Delta z) - \frac{\sigma}{\gamma} \sinh(\gamma \Delta z) & -i \frac{\kappa}{\gamma} \sin(\gamma \Delta z) \\ i \frac{\kappa}{\gamma} \sin(\gamma \Delta z) & \cosh(\gamma \Delta z) - \frac{\kappa}{\gamma} \sinh(\gamma \Delta z) \end{bmatrix} \quad (1)$$

Dla powyższej definicji przyjmuje się ponadto, że κ jest składową zmienną współczynnika sprzężenia dla kontrastu współczynnika załamania $\nu = 1$, analizowanej długość fali λ i przyjętej funkcji apodyzacyjnej $g(z)$:

$$\kappa = \frac{\Pi}{\lambda} \cdot \nu \cdot \bar{\delta}_{eff}(z) \quad (2)$$

$$\bar{\delta}_{eff}(z) = \bar{\delta}_{eff} \cdot g(z) \quad (3)$$

Podczas symulacji siatek Bragga na wartość składowej zmiennej współczynnika sprzężenia κ wpływ ma dobór funkcji obwiedni współczynnika załamania światła (2). Całkowity współczynnik sprzężenia jest określony równaniem (4). Wiadomo ponadto, że λ_B jest długością fali Bragga, natomiast n_{eff} to efektywny współczynnik załamania światła.

$$\hat{\sigma} = \delta + \sigma - \frac{1}{2} \frac{d\phi}{dz} \quad (4)$$

$$\delta = 2\Pi n_{eff} \left(\frac{1}{\lambda} - \frac{1}{\lambda_B} \right) \quad (5)$$

$$\sigma = \frac{2\kappa}{v} \quad (6)$$

Parametr γ dla macierzy przejścia określony jest następująco:

$$\gamma = \sqrt{\kappa^2 + \sigma^2} \quad (7)$$

Charakterystyka całej siatki może zostać opisana natomiast poprzez:

$$\begin{bmatrix} R_0 \\ S_0 \end{bmatrix} = \prod_{i=1}^N T_i \cdot \begin{bmatrix} R_N \\ S_N \end{bmatrix} = T \begin{bmatrix} R_N \\ S_N \end{bmatrix} \quad (8)$$

$$T = [T_N] \cdot [T_{N-1}] \cdots [T_3] \cdot [T_2] \cdot [T_1] \quad (9)$$

Wartości parametrów macierzy \mathbf{T} mogą zostać wykorzystane do wyznaczenia charakterystyk zarówno fali odbitej (10) jak również transmitowanej (11). Elementy indeksowane \mathbf{T}_{ij} wskazują wtedy na wartości elementów pod i -tą kolumną oraz j -tym wierszem macierzy przejścia.

$$R = \frac{T_{21}}{T_{11}} \quad (10)$$

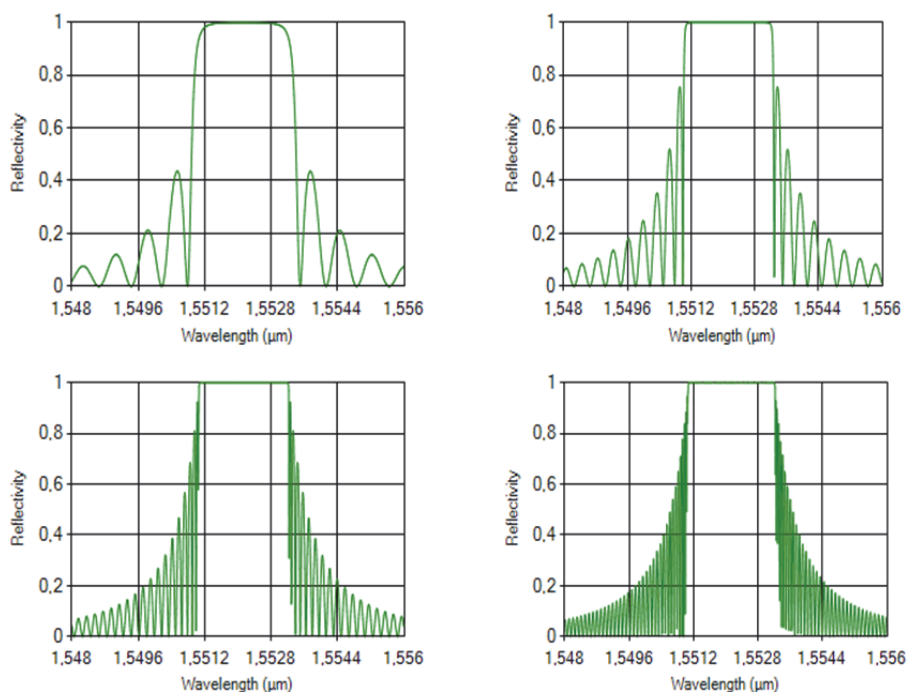
$$S = \frac{1}{T_{11}} \quad (11)$$

3. Modelowanie widm przy wykorzystaniu autorskiej aplikacji symulacyjnej

Poznanie charakterystyk jak i podstawowych parametrów światłowodowych siatek Bragga możliwe jest bez konieczności ich wytwarzania. Niezbędne są jednak do tego narzędzia symulacyjne. To za ich pomocą możliwe jest ograniczenie do minimum ryzyka wytworzenia nieprawidłowej siatki, jak również wystarczająco wczesne dostosowanie jej do docelowego zastosowania. Właściwy dobór funkcji apodyzacyjnej pozwala dodatkowo zoptymalizować charakterystykę siatki uwzględniając przy tym jej docelowe miejsce zastosowania np. jako filtr optyczny, bądź czujnik pomiarowy (Wójcik & Kisała 2009).

Wykorzystane autorskie narzędzie symulacyjne oparte na modelu matematycznym TMM, wykorzystane zostało w celu zasymulowania zmiany widma transmisyjnego dla różnych długości siatki Bragga.

W tym celu wykorzystano siatkę o długością fali Bragg 1550 nm z efektywnym współczynnikiem załamania 1,447. Rezultaty symulacji przedstawione zostały na poniższym rysunku 1.

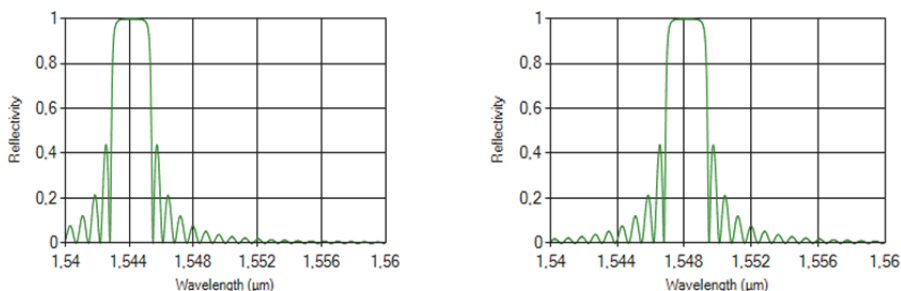


Rys. 1. Charakterystyki widma transmisyjnego dla zmieniających się długości siatki Bragga (1 mm, 2 mm, 4 mm, 8 mm)

Fig. 1. Transmission spectrum characteristics for given Bragg lengths (1 mm, 2 mm, 4 mm, 8 mm)

Zasadność wykorzystywanego narzędzia potwierdzona została poprzez dodatkowe symulacje dla różnych długości fali Bragga (1546 nm, 1550 nm). Wyniki przeprowadzonych obserwacji umieszczone zostały na kolejnych wykresach, rysunek 2.

Możliwości, jakie zostały przedstawione to zaledwie fragment dostępnych parametrów symulacji. Możliwe jest bowiem dodatkowe określenie funkcji apodyzacyjnej wykorzystywanej przy zapisie siatek Bragga. Ten jednak temat poruszony zostanie nieco szerzej w jednym z kolejnych podrozdziałów niniejszego artykułu.



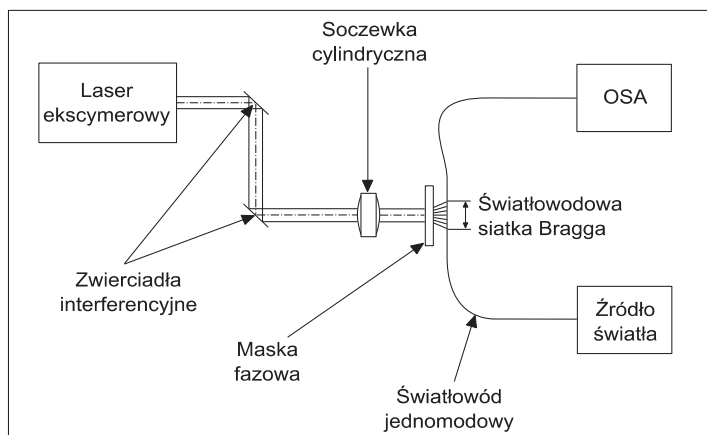
Rys. 2. Charakterystyki widma transmisyjnego dla różnych długości fali Bragga (1546 nm, 1550 nm)

Fig. 2. Transmission spectrum for different Bragg wavelengths (1546 nm, 1550 nm)

4. Pomiary rzeczywistych charakterystyk

Pomiary charakterystyk rzeczywistych czujników temperatury opartych o światłowodowe siatki Bragga zostały wykonane przy wykorzystaniu komory klimatycznej oraz siatki Bragga, wytworzonej w ściśle określonych warunkach. Rys 3. przedstawia schematyczny układ do wytwarzania periodycznych struktur światłowodowych z wykorzystaniem maski fazowej. W układzie tego rodzaju, silna wiązka promieniowania w zakresie ultrafioletowym kierowana jest na soczewkę eliptyczną która skupia światło w jednej płaszczyźnie. Skupiona wiązka promieniowania przechodzi przez maskę fazową w której wytworzony jest wzór interferencyjny, który zapewnia tworzenie prążków interferencyjnych na powierzchni włókna światłowodowego poddawanego naświetlaniu.

Prążki interferencyjne trafiające w poszczególne fragmenty rdzenia światłowodu powodują wystąpienie okresowej zmiany współczynnika załamania w obrębie rdzenia, która tworzy zwierciadło Bragga. Należy zwrócić uwagę na fakt, iż im wyższa energia skupiona w obrębie jednego prążka tworzonego przez wzór interferencyjny maski fazowej, tym głębsza jest powodowana przez naświetlanie światłowodu modulacja współczynnika załamania w obrębie struktury periodycznej. W przypadku wytwarzania siatek Bragga z wykorzystaniem okresowej maski fazowej, apodyzacja siatki określana jest przez rozkład natężenia promieniowania przekroju wiązki generowanej przez laser ekscymerowy w osi wzdłużnej względem osi rdzenia światłowodu w którym siatka jest wytwarzana.



Rys. 3. Schemat układu do wytwarzania periodycznych struktur światłowodowych z użyciem maski fazowej

Fig. 3. Scheme of setup for periodic structures fabrication in optical fibers using phase mask method

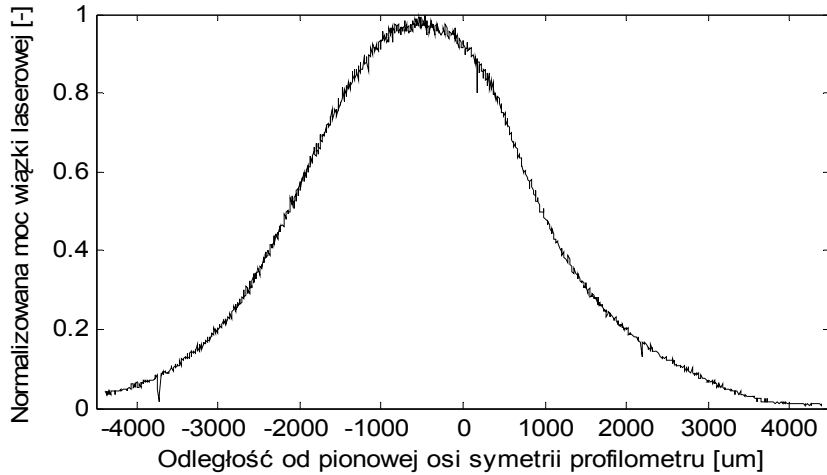
Wykres zamieszczony na rysunku 4 ilustruje profil przekroju wiązki promienia lasera wykorzystywanego do wytwarzania siatek Bragga. Użyty do pomiaru profilometr mierzy natężenie promieniowania wzdłuż wybranej osi ze skokiem $1 \mu\text{m}$. Przy założeniu, że wiązka laserowa ma szerokość wynoszącą 8 mm , jej profil został określony w 8000 punktach pomiarowych.

Na podstawie zmierzonego profilu wiązki laserowej wyznaczono funkcję aproksymującą przy użyciu narzędzi pakietu MatLab. W procesie analizy zdecydowano, iż do przybliżenia przebiegu profilu apodyzacji użyte zostanie dopasowanie do funkcji krzywej Gaussa o postaci:

$$f(x) = a \cdot \exp\left(-\left(\frac{x-b}{c}\right)^2\right) \quad (12)$$

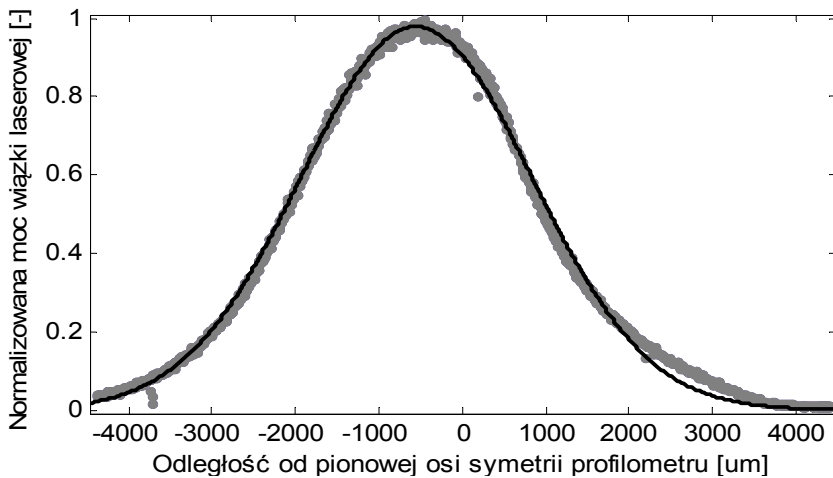
gdzie:

$$a = 0,9787; b = -551,7; c = 1960.$$



Rys. 4. Rzeczywisty profil wiązki promieniowania lasera wykorzystywanego do wytwarzania siatek Bragga

Fig. 4. Measured beam profile of laser used for the manufacturing of fiber Bragg gratings



Rys. 5. Wykres rzeczywistego profilu wiązki laserowej z naniesioną krzywą aproksymującą

Fig. 5. Real laser beam profile with Gaussian curve approximation

Dopasowanie krzywej Gaussa z podanymi wyżej współczynnikami pozwoliło uzyskać dobre parametry statystyczne (współczynnik determinacji $R^2 = 0,9964$ oraz pierwiastek błędu średnio-kwadratowego RMSE wynoszący 0,0204). Na rysunku 5 zestawiono rzeczywisty przebieg profilu wiązki laserowej oraz krzywej aproksymującej o parametrach wyrażonych wzorem (12).

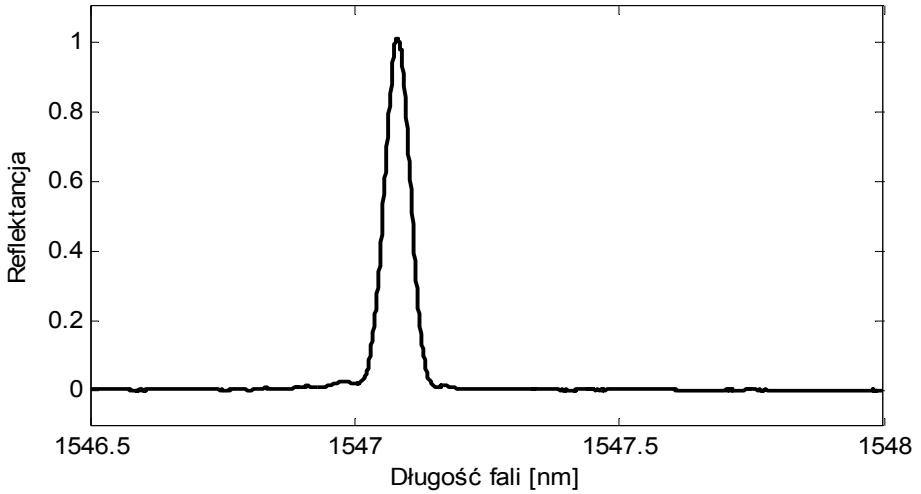
5. Model matematyczny, a fizyczny układ optyczny

Symulowanie układów optycznych za pomocą narzędzi komputerowych, które opierają się na modelach matematycznych może okazać się bardzo użyteczne, jednak warto zdać sobie sprawę, że język maszynowy nie jest w stanie w pełni odzwierciedlić fizycznego układu optycznego i wszystkich panujących zjawisk fizycznych. W tej części artykułu dokonano porównania symulowanej charakterystyki z rzeczywistym widmem odbiciowym. Poznano zatem jak bardzo odbiegać może symulowany obiekt od rzeczywistego układu.

W ramach eksperymentu wytworzona została siatka Bragga w układzie analogicznym do schematu ukazanego na rysunku 3. Wykorzystano jednorodną maskę fazową o stałym okresie na całej długości. Do wypalania struktury periodycznej w rdzeniu włókna światłowodowego użyto lasera o profilu wiązki wprowadzającym apodyzację o funkcji określonej wzorem (12). Na rysunku 6. Ukazane zostało spektrum odbiciowe zmierzone przy użyciu analizatora widma z rozdzielczością wynoszącą 0,02 nm.

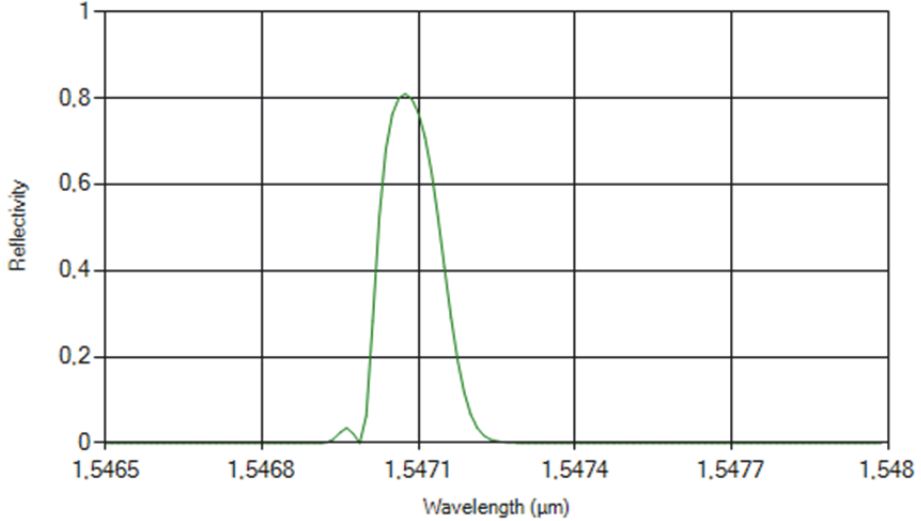
W przypadku modelu matematycznego analogiczne parametry siatki zostały wprowadzone jako dane wejściowe dla narzędzia symulacyjnego (uwzględniono przy tym zdefiniowaną uprzednio funkcję apodyzacyjną). Wyniki tej symulacji przedstawione zostały na rysunku 7.

Porównanie widma przedstawionego na rysunku 6 oraz charakterystyki symulacyjnej ukazanej na rysunku 7 wyraźnie ukazuje zgodność charakteru wykonanej siatki Bragga z modelem wykorzystanym w aplikacji. Obie charakterystyki zgodnie wykazują, że wykorzystanie apodyzacji o profilu zgodnym z krzywą Gaussa o odpowiednio dobranych parametrach powoduje wygaszenie wstęg bocznych charakterystycznych dla jednorodnych FBG.



Rys. 6. Charakterystyka spektralna widma odbiciowego dla fizycznego układu optycznego

Fig. 6. Reflectance spectrum of a real optical system

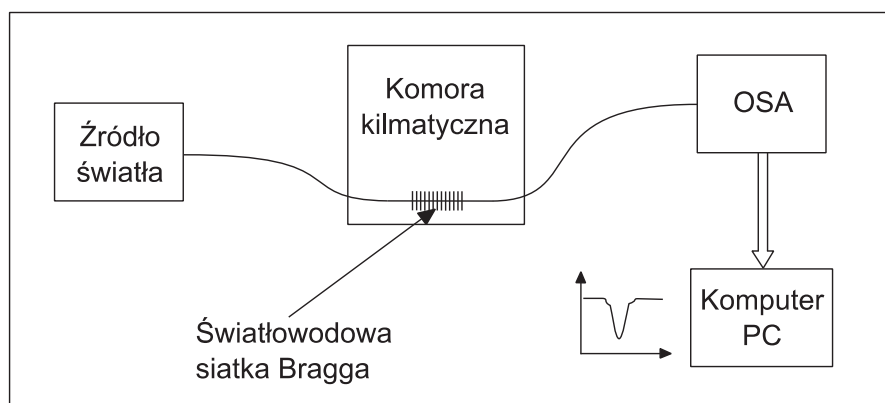


Rys. 7. Symulowane widmo odbiciowe siatki o apodyzacji zgodnej z profilem wiązki laserowej

Fig. 7. Simulated reflected spectrum of FBG apodized with laser profile

6. Charakterystyka przetwarzania czujnika temperatury

Pomiary mające na celu wyznaczenie czułości temperaturowej czujnika opartego o FBG polegają na wyznaczeniu długości fali Bragga na podstawie charakterystyk spektralnych zmierzonych dla szeregu różnych temperatur. Najczęściej stosowaną metodą wyznaczania centralnej długości fali jest wyszukiwanie ekstremum (minimum w przypadku widma transmisyjnego lub maksimum dla widma odbiciowego). Rysunek 8. ukazuje schemat układu pomiarowego w którym do zadawania temperatury wykorzystano komorę klimatyczną. Podczas pomiarów wilgotność względna utrzymywana była na stałym poziomie 30%.



Rys. 8. Schemat układu do wyznaczenia charakterystyki przetwarzania czujnika temperatury

Fig. 8. Scheme of FBG temperature sensor processing characteristic determination setup

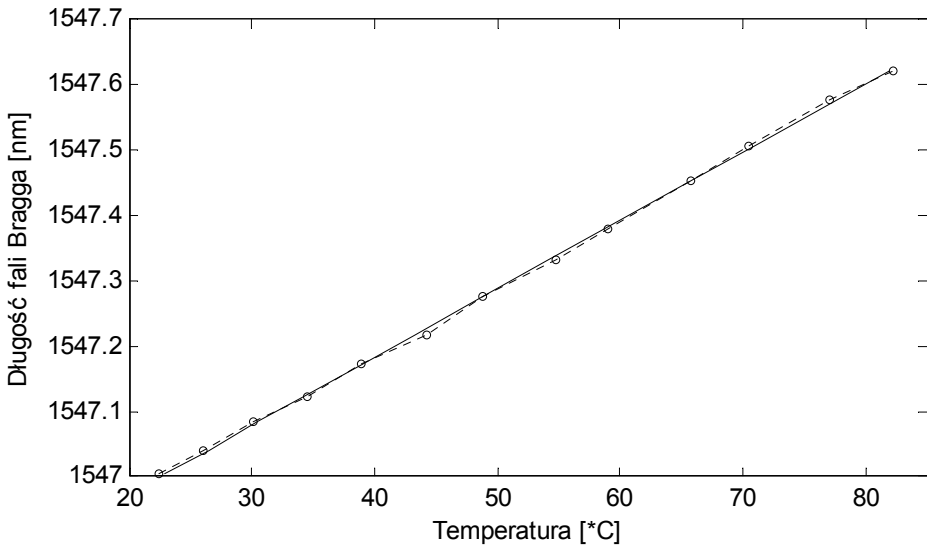
Wykres zamieszczony na rysunku 9. przedstawia charakterystykę przetwarzania badanego czujnika temperatury wraz z prostą regresji liniowej uzyskanej na podstawie punktów pomiarowych.

Współczynnik korelacji liniowej uzyskany dla punktów charakterystyki w zmierzonym zakresie temperatur wynosi $r = 0.9997$ a odchylenie standardowe $s = 0,473$. Parametry te pokazują, że charakter przetwarzania zmian temperatury na zmiany długości fali Bragga jest liniowy. Czułość układu rozumiana jako wartość przesunięcia centralnej długości fali na 1 stopień Celsjusza może być wyrażona jako stosunek róż-

nicy długości fali Bragga w zmierzonych temperaturach przez różnicę tych temperatur:

$$\frac{\Delta\lambda_B}{\Delta T} = \frac{\lambda_{T_1} - \lambda_{T_2}}{T_1 - T_2} \quad (13)$$

Tak określona czułość S badanego czujnika wynosi $10,37 \frac{pm}{^\circ C}$.



Rys. 9. Charakterystyka przetwarzania czujnika temperatury
Fig. 9. Processing characteristics of FBG temperature sensor

7. Podsumowanie

Światłowodowe czujniki wielkości fizycznych zajmują ważne miejsce w dziedzinie sensorów z uwagi na szereg zalet odróżniających je od elektronicznych odpowiedników. Szczególnym ich rodzajem są czujniki oparte o światłowodowe siatki Bragga, które poza standardowymi cechami charakteryzującymi sensory światłowodowe pozwalają również na multipleksację, to znaczy budowanie rozległej sieci złożonej z dziesiątek czujników umieszczonych w pojedynczym włóknie światłowodowym.

Mnogość zastosowań dla FBG wymusiła konieczność wpływania na charakter widma optycznego siatki. W pomiarach temperatury często kryterium doboru polega na możliwie jak najskuteczniejszym zmniejszeniu tzw. wstęg bocznych których obecność może silnie wpływać na charakterystykę czujnika, szczególnie przy użyciu filtrującego układu przesłuchującego. Jednym ze sposobów eliminowania niekorzystnych cech widma jest apodyzacja, najczęściej polegająca na modulacji głębokości zmian współczynnika załamania wzdłuż struktury. Wykorzystanie modelu matematycznego uwzględniającego funkcję anodyzacyjną oraz stworzenie autorskiej aplikacji symulacyjnej pozwala na przewidywanie wpływu zmian parametrów apodyzacji na widmo wyjściowe. Na przykładach pokazany został wpływ wybranych parametrów wejściowych symulacji na kształt wyjściowej charakterystyki.

Jakość modelu zastosowanego w symulacjach została przetestowana przez porównanie charakterystyki zmierzonej dla rzeczywistej siatki Bragga o apodyzacji nadawanej przez profil wiązki laserowej z widmem wynikowym symulacji dla wprowadzonej funkcji apodyzacyjnej, odpowiadającej rozkładowi energii wiązki lasera. Obie charakterystyki wykazują wyraźne wygaszenie wstęg bocznych, przy jednoczesnym nadaniu Gaussowskiego charakteru widma piku głównego.

Siatka Bragga zastosowana jako czujnik temperatury zapewnia liniową charakterystykę przetwarzania mierzonej wielkości na wartość przesunięcia centralnej długości fali siatki. Eksperyment przeprowadzony dla wytworzonej siatki pozwolił wyznaczyć jej czułość temperaturową, która wynosi $10,37 \frac{pm}{^\circ C}$. Potwierdzono liniowy charakter przetwarzania temperatury na przesunięcie długości fali Bragga, o czym świadczą wyznaczone parametry statystyczne charakterystyki.

Literatura

- Abdulina, S. R., Vlasov, A. A. (2014). Suppression of side lobes in the fiber Bragg grating reflection spectrum. *Optoelectronics, Instrumentation and Data Processing*, 50(1), 75-86.
- Chen, Y., Chen, L., Liu, H., Wang, K. (2013). Research of FBG sensor signal wavelength demodulation based on improved wavelet transform. *Optic*, 124, 4802-4804.

- Cięszczyk, S., Kisała, P., Inverse problem of determining periodic surface profile oscillation defects of steel materials with a fiber Bragg grating sensor. *Appl. Opt.* 55, 1412-1420.
- Demirdag, O., Yildirim, B. (2016). Comparing transfer matrix method and AN-FIS in free vibration analysis of Timoshenko columns with attachments. *Res. Eng. Struct. Mat.*, 2, 1-18.
- Harasim, D., Gulbakhar, Y. (2015). *Improvement of FBG peak wavelength demodulation using digital signal processing algorithms*. In: Proc. SPIE 9662, 966212, Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry and High-Energy Physics Experiments 2015.
- Harasim, D., Kisała, P. (2015). Układy przesłuchujące multipleksowane światłowodowe czujniki Bragga. *Informatyka, Automatyka, Pomiary w Gospodarce i Ochronie Środowiska*, 5(4), 77-84.
- Kashyap, R. (1999). *Fiber Bragg Gratings*. San Diego: Academic Press.
- Kenneth O., Meltz G., Fiber Bragg Grating Technology Fundamentals and Overview. *Journal of Lightwave Technology*, 15(8), 1263-1276.
- Khalid, K. S., Zafrullah, M., Bilal, S. M., Mirza, M. A. (2012). Simulation and analysis of Gaussian apodized fiber Bragg grating strain sensor. *Journal of Optical Technology*, 7(10), 667-673.
- Kisała, P. (2015). *Method of simultaneous measurement of bending forces and temperature using Bragg gratings*. In: Proc. SPIE 9506, Optical Sensors 2015.
- Kisała, P., Cięszczyk, S. (2015). Method of simultaneous measurement of two direction force and temperature using FBG sensor head. *Applied Optics* 54(10), 2677-2687.
- Kotyra, A. (2014). Optoelektroniczne systemy w zastosowaniach diagnostycznych i pomiarowych. *Informatyka, Automatyka, Pomiary w Gospodarce i Ochronie Środowiska*, 4(2), 9-10.
- Majumder, M., Gangopadhyay, T. K., Chakraborty, A. K., Dasgupta, K., Bhattacharya, D. K. (2008). Fiber Bragg gratings in structural health monitoring – present status and applications. *Sensors and Actuators*, 147, 150-164.
- Negri, L., Nied, A., Kalinowski, H., Paterno, A. (2011). Benchmark for Peak Detection Algorithms in Fiber Bragg Grating Interrogation and a New Neural Network for its Performance Improvement. *Sensors*, 11, 3466-3482.
- Pereira, G., McGugan M., Mikkelsen L.P., Method for independent strain and temperature measurement in polymeric tensile test specimen using embedded FBG sensors. *Polymer Testing*, 50, 125-134.

Wójcik, W., Kisała, P., (2010). Metoda wyznaczania funkcji apodyzacji światłowodowych siatek Bragga na podstawie ich charakterystyk widmowych. *Przełąd Elektrotechniczny*, 86(10), 127-130.

Wójcik, W., Kisała, P., (2009). The application of inverse analysis in strain distribution recovery using the fibre Bragg grating sensors. *Metrology and Measurement Systems*, 16(4), 649-660.

Optimization of Fiber Optic Sensors Parameters for Temperature Measurement

Abstract

Nowadays, there are many devices the failure of which could not only lead to huge financial losses but also wreak havoc in the natural environment. Such circumstances require us to analyze the electrical components before something dangerous happens. Early reaction gives an opportunity to implement prevention measures and avoid serious consequences.

Optical fiber sensors have a number of advantages, the most important of which include immunity to electromagnetic interference, low weight and the ability to incorporate them within the measured structure. Fiber Bragg gratings have other special advantages; for instance, they enable the creation of distributed sensing arrays, which contain multiple sensors. They are also insensitive to optical power source fluctuations. The multitude of FBG sensors applications extorted fabrication of gratings with different spectral shapes. Uniform gratings have spectra with strong side lobes which could affect the processing characteristics of temperature sensor. Apodization is one of ways for affecting the gratings spectral shape.

This article concerns simulations based on an original computer application, which is numerical model implementation of Transfer Matrix Method. It allows to determine the spectral characteristic of optical components on the basis of the theory of coupled modes and matrix description of electromagnetic wave that passes through optical fiber. Different fiber gratings lengths were analyzed according to their reflection and transmission spectra.

In the beginning, the impact of various parameters on the Bragg grating spectral characteristics was checked. Results of those simulations have been attached. The article covers measurement of real optic elements put in climatic chamber and Bragg gratings, produced under very strict conditions. The profile of the laser beam was approximated by Gaussian function using MatLab software and additional tools from package. Function matching has been defined as statistical parameters and evaluated later.

The comparison of mathematical model and physical optical system, based on previously designated function apodization, has been covered. The results of these two visualizations have been summarized to better exemplify the differences and similarities. The previously measured fiber Bragg grating has been proposed as temperature sensor and parameters which may be used to construct an optical fiber temperature sensor were established. Temperature sensitivity was determined in the end.

Słowa kluczowe:

Siatka Bragga, pomiar temperatury, anodyzacja

Keywords:

fiber Bragg grating, temperature measurement, apodization