

Układ i sposób zapisu apodyzowej siatki Bragga z wykorzystaniem
jednorodnej i nieapodyzowanej maski fazowej

Przedmiotem wynalazku jest układ i sposób zapisu
5 apodyzowanej siatki Bragga z wykorzystaniem jednorodnej
i nieapodyzowanej maski fazowej. Wytworzone siatki są stosowane
zwłaszcza jako filtry w telekomunikacji oraz czujniki wielkości
fizycznych.

Problemem przy wykorzystaniu siatek Bragga jako czujników
10 oraz jako wąskich filtrów optycznych w systemach
telekomunikacyjnych są pojawiające się w widmie siatek tzw. wstęgi
boczne. Można je znacznie zredukować poprzez odpowiednie
ukształtowanie modulacji współczynnika załamania światła w siatce
Bragga, wykonując tzw. apodyzację siatki. Wartość amplitudy
15 modulacji współczynnika załamania światła powinna stopniowo
rosnąć w miarę oddalania się od jej końców i osiągać wartość
maksymalną w środkowej części siatki.

Z opisu patentowego US6574395 znana jest metoda
apodyzacji światłowodowych siatek Bragga wykonywana podczas
20 ich zapisu. Metoda polega na zapisie siatek Bragga na włóknach
fotoczulych poprzez skanowanie włókna optycznego wiązką światła
laserowego, przy czym kontrolowana jest prędkość ruchu wiązki
oświetlającej włókno, co pozwala kontrolę czasu naświetlania
poszczególnych części włókna fotoczulęgo. Metoda wykorzystuje
25 zwierciadło Lloyda w celu wytworzenia obrazu interferencyjnego
z jednej wiązki laserowej. Dwie wiązki laserowe, jedna padająca
bezpośrednio z lasera, druga odbita od zwierciadła Lloyda interferują

ze sobą, a ekranem, na którym interferują jest włókno światłowodowe. Kontrola czasu naświetlania poszczególnych części włókna umożliwia zapis siatek apodyzowanych.

Z opisu patentowego US6868208 znana jest również metoda apodyzacji światłowodowych siatek Bragga polegająca na oświetlaniu wybranego odcinka fotoczułego włókna optycznego dwiema interferującymi ze sobą wiązkami laserowego światła spolaryzowanego. Jedna z wiązek kierowana jest bezpośrednio na włókno optyczne, natomiast druga wiązka światła lasera jest odbijana od zwierciadła Lloyd'a w taki sposób, aby uzyskać obraz interferencyjny obydwu wiązek na światłowodzie. Zwierciadło Lloyd'a umieszczone jest prostopadle do osi włókna optycznego. W środkowej części włókna uzyskuje się największą intensywność prążków interferencyjnych, w miarę oddalania się od centralnej części włókna optycznego intensywność prążków zmniejsza się. Zmiana intensywności prążków opisana jest krzywą Gaussa, zatem metoda pozwala na zapis siatek Bragga apodyzowanych, w których obwiednia modulacji współczynnika załamania ma kształt funkcji Gaussa.

Znana jest również metoda zapisu siatek Bragga apodyzowanych według zgłoszenia patentowego CN1410785 wykorzystująca maskę fazową ze stopniowo zmiennym okresem. Okres w środkowej części maski fazowej jest mniejszy niż na jej końcach. Światło ultrafioletowe pada prostopadle na maskę fazową i skanując poszczególne jej części o stopniowo zmiennym okresie. Uzyskuje się przez to eliminację efektu modów bocznych spowodowanych nagłą zmianą współczynnika załamania światła.

Ze zgłoszenia wzoru użytkowego CN202614981 znana jest również metoda apodyzacji siatek Bragga przy ich wytwarzaniu poprzez zastosowanie układu złożonego ze specjalnie uformowanego podłoża, warstwy dolnej, warstwy górnej, światłowodu oraz siatki o układzie rowków ułożonych prostopadle do osi światłowodu i posiadających monotonicznie zmienną długość, przy czym długość rowków jest największa w środkowej części i zmniejsza się symetrycznie wraz z oddalaniem się od środka. Zmiana długości rowków wzdłuż włókna optycznego ma postać krzywej o rozkładzie normalnym. Metoda pozwala na ograniczenie modów bocznych wytworzonych siatek Bragga.

W literaturze opisanej przez T. Osucha w pracy „Numerical analysis of the harmonic components of the Bragg wavelength content in spectral responses of apodized fiber Bragg gratings written by means of a phase mask with a variable phase step height” przedstawiona została metoda wykorzystująca maskę fazową o zmiennej efektywności dyfrakcyjnej, pozwalająca na formowanie apodyzowanych siatek Bragga. Według pracy, efektywność maski fazowej jest zmieniana skokowo. Wymaga to zastosowania specjalnych masek fazowych, niedostępnych komercyjnie.

Celem wynalazku jest zapis apodyzowanej siatki Bragga o dowolnej funkcji apodyzacyjnej z wykorzystaniem lasera ekscymerowego i standardowej, nieapodyzowanej maski fazowej.

Istotą układu zapisu apodyzowanych siatek Bragga z wykorzystaniem jednorodnej i nieapodyzowanej maski fazowej posiadający laser ekscymerowy UV, układ ruchomych szczelin, maskę fazową oraz fotoczuby światłowód, według wynalazku jest to,

że składa się z lasera ekscymerowego UV o wyjściowej wiązce światła lasera skierowanej na układ ruchomych przesłon o regulowanej szczelinie między nimi. Za układem ruchomych przesłon znajduje się jednorodna, nieapodyzowana maska fazowa, za którą znajduje się fotoczuły światłowód jednomodowy.

Istotą sposobu zapisu apodyzowanych siatek Bragga z wykorzystaniem jednorodnej, nieapodyzowanej maski fazowej według wynalazku jest to, że ustala się szerokość szczeliny pomiędzy układem ruchomych przesłon w zakresie od 0,1 do 0,2 mm po czym z lasera ekscymerowego UV emituje się wiązkę laserową, odpowiednią do wytworzenia siatki Bragga, na układ ruchomych przesłon i po przejściu przez układ ruchomych przesłon emituje się przewężoną wiązkę laserową na jednorodną, nieapodyzowaną maskę fazową. Za jednorodną, nieapodyzowaną maską fazową znajduje się fotoczuły światłowód jednomodowy, na którym wypala się część siatki Bragga, a następnie przesuwa się układ ruchomych przesłon wzdłuż fotoczułego światłowodu jednomodowego o szerokość szczeliny i z zachowaniem ustalonej szerokości szczeliny. Cały cykl powtarza się aż do zapisu ustalonej siatki Bragga.

Przedmiot wynalazku został przedstawiony w przykładach wykonania na rysunku, na którym fig. 1 przedstawia schemat układu do zapisu apodyzowanej siatki Bragga z wykorzystaniem jednorodnej, nieapodyzowanej maski fazowej, fig. 2 – wykres przedstawiający zmianę znormalizowanego współczynnika załamania światła na długości siatki dla siatki Bragga zapisanej z wykorzystaniem jednorodnej, nieapodyzowanej maski fazowej

w pierwszym przykładzie wykonania, fig. 3a – wykres charakterystyk odbiciowych siatek Bragga w zakresie długości fal od 1,545 μm do 1,54956 μm , fig. 3b – wykres charakterystyk odbiciowych siatek Bragga w zakresie długości fal od 1,54958 μm do 1,55436, fig. 3c –
5 wykres charakterystyk odbiciowych siatek Bragga w zakresie długości fal od 1,55438 do 1,56 μm .

Korzystnym skutkiem zastosowania układu zapisu apodyzowanej siatki Bragga z wykorzystaniem jednorodnej, nieapodyzowanej maski fazowej jest to, że jedną nieapodyzowaną
10 maskę fazową można wykorzystać do wytworzenia apodyzowanych siatek Bragga. Apodyzacja powoduje zmniejszenie niepożądanych zakłóceń na charakterystykach widmowych siatek Bragga, występujących w postaci tzw. płatów bocznych. Zastosowanie układu umożliwi zapis siatek Bragga ze znacznie zredukowanymi
15 płatami bocznymi. Korzystnym skutkiem zastosowania układu jest również możliwość wytwarzania siatek Bragga o dowolnym rozkładzie apodyzacji przy wykorzystaniu nieapodyzowanej maski fazowej. Zmieniając szerokości przesłony i mocy wiązki laserowej uzyskuje się siatki o dowolnym kształcie apodyzacji, co stwarza
20 możliwość kształtowania charakterystyk transmisyjnych i odbiciowych siatek Bragga ściśle dostosowanych do potrzeb konkretnego ich zastosowania.

Układ zapisu apodyzowanej siatki Bragga z wykorzystaniem jednorodnej i nieapodyzowanej maski fazowej w przykładzie
25 wykonania składa się, z lasera ekscymerowego UV 1 – oznaczonego znakiem towarowym „Coherent”, BraggStar M. Laser ekscymerowy UV 1 emituje wiązkę laserową 2a na układ przesłon

ruchomych 3 składający się z dwóch płytek o regulowanej szczelinie między nimi. Płytki wykonane są z blachy stalowej oznaczonej 1.0037 S235JR UNI według normy EN 10025. Każda z płytek posiada wysokość 50 mm, szerokość 30 mm i grubość 1 mm. Za układem ruchomych przesłon 3 znajduje się jednorodna, nieapodyzowana maska fazowa 4 w postaci maski fazowej IBSEN o długości okresu 1062 nm i długości fali iluminacji równej 248 nm. Za nieapodyzowaną maską fazową 4 znajduje się fotoczuły światłowód jednomodowy 5 - Thorlabs GF1 o średnicy rdzenia równej 9 μm i średnicy płaszczka 125 μm oraz aperturze numerycznej 0,13.

Z zastosowaniem opisanego układu wytworzono dwie siatki Bragga, każda o długości 10 mm. W układzie energię impulsu lasera ekscymerowego UV 1 ustawiono na 50 mJ a częstotliwość impulsów wynosiła 20 Hz. Wiązka laserowa 2a przechodziła przez układ przesłon ruchomych 3, które zmniejszały jej szerokość. Po przejściu przez układ przesłon ruchomych 3 przewężona wiązka laserowa 2b oświetlała jednorodną, nieapodyzowaną maskę fazową 4, a następnie oświetlała fotoczuły światłowód jednomodowy 5.

Pierwszą siatkę Bragga wytworzono ustawiając wielkość szczeliny utworzonej przez układ przesłon ruchomych 3 równą 0,1 mm. Następnie przesunięto układ przesłon ruchomych 3 z zachowaniem szczeliny o 0,1 mm wzdłuż jednorodnej, nieapodyzowanej maski fazowej 4. Cykl ten powtórzono dziewięć razy oświetlając w ten sposób łącznie dziesięć sekcji jednorodnej, nieapodyzowanej maski fazowej 4 o łącznej długości równej 10 mm. Dla każdej sekcji zmieniano czas naświetlania zgodnie z tabelą 1.

Drugą siatkę Bragga wytworzono ustawiając wielkość szczeliny utworzonej przez układ przesłon ruchomych 3 równą 0,2 mm. Następnie przesunięto układ przesłon ruchomych 3 z zachowaniem szczeliny o 0,2 mm wzdłuż jednorodnej, nieapodyzowanej maski fazowej 4. Cykl ten powtórzono cztery razy oświetlając w ten sposób łącznie pięć sekcji jednorodnej, nieapodyzowanej maski fazowej 4 o łącznej długości równej 10 mm. Dla każdej sekcji zmieniano czas naświetlania zgodnie z tabelą 2.

Na fig. 2 przedstawiono rozkład modulacji współczynnika załamania światła wytworzonych siatek Bragga uzyskane przy użyciu jednorodnej, nieapodyzowanej maski fazowej 4 oraz układu przesłon ruchomych 3 tworzących szczeliny równe 0,1 mm oraz 0,2 mm. Dla porównania zamieszczono również charakterystykę przedstawiającą rozkład współczynnika załamania światła siatki Bragga wytworzonej maską fazową apodyzowaną funkcją Gaussa.

Na fig. 3a, 3b, 3c przedstawiono charakterystyki odbiciowe wytworzonych siatek Bragga uzyskane przy użyciu jednorodnej, nieapodyzowanej maski fazowej 4 oraz układu przesłon ruchomych 3 tworzących szczeliny równe 0,1 mm oraz 0,2 mm. Dla porównania zamieszczono również charakterystykę odbiciową siatki Bragga wytworzonej maską fazową apodyzowaną funkcją Gaussa. Analiza charakterystyk widmowych wykazała zgodność ich kształtu. Wykazano, że stosując układ przesłon ruchomych 3 oraz jednorodną, nieapodyzowaną maskę fazową 4 można wytworzyć siatkę Bragga o charakterystykach widmowych zbliżonych do tych, które posiada siatka Bragga wytworzona przy użyciu apodyzowanej maski fazowej.

Tabela 1. Wartości czasów naświetlania poszczególnych części jednorodnej maski fazowej dla siatki Bragga o długości 10 mm, szczelina o szerokości 0,1 mm

sekcja	Zakres długości maski fazowej oświetlanej światłem UV	czas naświetlania maski fazowej
[-]	[mm]	[s]
1	0 - 0,1	90
2	0,1 - 0,2	150
3	0,2 - 0,3	210
4	0,3 - 0,4	270
5	0,4 - 0,5	300
6	0,5 - 0,6	300
7	0,6 - 0,7	270
8	0,7 - 0,8	210
9	0,8 - 0,9	150
10	0,9 - 1	90

Tabela 1. Wartości czasów naświetlania poszczególnych części jednorodnej maski fazowej dla siatki Bragga o długości 10 mm, szczelina o szerokości 0,2 mm

sekcja	Zakres długości maski fazowej oświetlanej światłem UV	czas naświetlania maski fazowej
[-]	[mm]	[s]
1	0 - 0,2	120
2	0,2 - 0,4	240
3	0,4 - 0,6	300
4	0,6 - 0,8	240
5	0,8 - 1	120

Wykaz oznaczeń

- 1 Laser ekscymerowy UV
- 2a Wyjściowa wiązka światła lasera UV
- 2b Przewężona wiązka światła lasera UV
- 3 Układ przesłon ruchomych
- 4 Jednorodna, nieapodyzowana maska fazowa
- 5 Fotoczuby światłowód jednomodowy