RZECZPOSPOLITA POLSKA

Urząd Patentowy Rzeczypospolitej Polskiej

(12) **OPIS PATENTOWY** (19) **PL** (11) **230198**

(13) **B1**

(21) Numer zgłoszenia: **420259**

(51) Int.Cl.
G01N 21/00 (2006.01)
G01B 11/00 (2006.01)

(22) Data zgłoszenia: **20.01.2017**

(54) **Układ interrogacji sygnałów z refraktometru światłowodowego**

(43) Zgłoszenie ogłoszono:
03.01.2018 BUP 01/18

(45) O udzieleniu patentu ogłoszono:
31.10.2018 WUP 10/18

(73) Uprawniony z patentu:
POLITECHNIKA LUBELSKA, Lublin, PL

(72) Twórca(y) wynalazku:
SŁAWOMIR CIĘSZCZYK, Chodel, PL
PIOTR KISAŁA, Lublin, PL

(74) Pełnomocnik:
rzecz. pat. Tomasz Milczek

PL 230198 B1

Opis wynalazku

Przedmiotem wynalazku jest układ interrogacji sygnałów z refraktometru światłowodowego, w którym jako przetwornik pomiarowy występuje światłowodowa skośna siatka Bragga.

Metody wyznaczania zmian parametrów widma siatki skośnej w zależności od zmian indeksu refrakcji medium, w którym zanurzona jest siatka wymagają przeprowadzenia pomiarów spektrometrycznych lub zastosowania innych, stosunkowo złożonych i drogich metod pomiarowych. Wynika to z konieczności wykonywania pomiaru widma transmisyjnego skośnej siatki Bragga, a nie widma odbiciowego, jak to ma miejsce w klasycznych (np. jednorodnych, prostych) siatkach Bragga. Brakuje metod konwersji zmian widma siatki skośnej na intensywność promieniowania. Ogólnym problemem wynikającym ze stosowania tego typu układów np. dla zwykłych siatek Bragga jest zależność sygnału wyjściowego układu nie tylko od zmian parametrów siatki, lecz także od fluktuacji intensywności użytego źródła promieniowania. Stąd też do interrogacji klasycznych (np. jednorodnych, prostych) siatek Bragga stosowane są metody różnicowe oparte na detekcji dwóch kanałów. Tego typu systemów niestety nie można zastosować bezpośrednio w układach przesłuchujących sygnały z siatek skośnych, gdyż mierzymy w nich widmo transmisyjne, a nie odbiciowe jak w siatkach zwykłych (prostych i jednorodnych).

Z chińskiego opisu wzoru użytkowego CN203772726 znany jest układ optycznego refraktometru Abbego wykorzystujący zjawisko całkowitego wewnętrznego odbicia. Układ charakteryzuje się tym, że do pomiaru współczynnika refrakcji konieczne jest zastosowanie źródła światła LED pozwalającego na emisję fal z szerokiego spektrum, pryzmatu o wysokim współczynniku refrakcji, matrycy CCD oraz układu akwizycji opartego na mikrokontrolerze z rodziny ARM. Układ umożliwia przełączanie długości fali refraktometru, pozwalając na wyznaczenie współczynnika załamania medium.

Z chińskiego opisu patentowego CN102012290 znany jest układ czujnika ciśnienia ze skośną siatką Bragga oraz metoda demodulacji sygnałów z takiego czujnika. W układzie monitorowane jest wybrane maksimum na charakterystyce transmisyjnej siatki, co pozwala na wyznaczenie ciśnienia. Układ demodulacji sygnału składa się z przestrajalnego lasera, fotodetektora, urządzenia do akwizycji danych z fotodetektora oraz urządzenia przetwarzającego dane. Laser wymaga przestrajania, co komplikuje układ demodulacji i zwiększa znacznie jego koszty.

Z europejskiego opisu patentowego EP0438757 znane są również układy do pomiarów rozłożonych wielkości fizycznych składające się z wielu połączonych szeregowo jednorodnych siatek Bragga. Każda z siatek jest usytuowana w innym miejscu, przez co cały układ pozwala na pomiar wielkości rozłożonej na pewnej długości. Sygnały z takiego układu siatek są następnie filtrowane przez siatkę odniesienia o bardzo wąskim paśmie zaporowym, której charakterystyka jest regulowana wymuszonym naprężeniem. Siatka o regulowanej charakterystyce widmowej steruje długością fali wprowadzanej do układu szeregowo połączonych siatek. W ten sposób przesuwając pasmo odbiciowe siatki regulowanej można przesłuchiwać każdą z siatek czujnika rozłożonego. Układ pozwala na przesłuchiwanie siatek Bragga zwykłych, jednorodnych. Nie umożliwia interrogacji charakterystyk widmowych siatek skośnych i nie umożliwia wykonywania pomiarów współczynnika załamania światła.

Z francuskiego opisu patentowego FR2814810 znany jest układ refraktometru ze skośną siatką Bragga, służący do pomiaru współczynnika załamania gazów i cieczy. System składa się ze światłowodu z siatką skośną a jego odpowiedź spektralna jest zależna zarówno od współczynnika refrakcji medium jak i od parametrów źródła światła. Zmiany widma powstające w wyniku zmiany współczynnika załamania medium są analizowana przy wykorzystaniu spektrometru, który jest układem kosztownym i skomplikowanym. Dodatkowo, charakterystyki widmowe wymagają przetwarzania, tak aby możliwe było wyznaczenie na ich podstawie współczynnika załamania światła.

Amerykański system pomiaru długości fali sygnału odbitego od wielu jednorodnych siatek pomiarowych Bragga, według opisu patentowego US5818585 polega na wykorzystaniu drugiego włókna optycznego, na którym zapisany jest szereg siatek tzw. referencyjnych, pozwalających na precyzyjne wyznaczenie długości fal odbijanych przez pomiarowej siatki Bragga.

Znane są również metoda i układ interrogacji sygnału z jednorodnej siatki Bragga z międzynarodowego zgłoszenia patentowego WO2014074974. Metoda pozwala na wykonywanie wysokoczęstotliwościowych pomiarów dynamicznych wydłużeń i naprężeń przy wykorzystaniu jednorodnej siatki Bragga. W metodzie wykorzystuje się szerokopasmowe źródło światła połączone z głowicą czujnika. Każdy element czujnika zawiera dwie zwykłe siatki Bragga dopasowane długościami fali Bragga, sprzęgacz oraz fotodiodę. Jednorodna, prosta siatka Bragga znajdująca się od strony źródła światła tłumi środkową część widma transmisyjnego i jednocześnie widmo odbiciowe drugiej jednorodnej, prostej siatki Bragga.

Zmiany intensywności widma drugiej siatki są mierzone przy wykorzystaniu fotodiody. Ponadto zmierzone przez fotodiodę zmiany mocy mogą być skalibrowane do pomiaru zmian wielu wielkości fizycznych. Układ nie jest odporny na zmiany mocy źródła światła.

W artykule “Power-referenced refractometer with tilted fiber Bragg grating cascaded by chirped grating” autorstwa: Zheng, J., Dong, X., Ji, J., Su, H., Shum, P. P. opisana jest metoda pomiaru indeksu refrakcji wykorzystująca pomiar intensywności zmian widma skośnej siatki Bragga. Układ taki składa się z szerokopasmowego źródła oraz cyrkulatora optycznego, do którego są podłączone dwie gałęzie. Pierwsza gałąź jest pomiarowa i zawiera skośną siatkę Bragga, za którą znajduje się siatka Bragga o liniowo zmiennym okresie, odbijająca cały sygnał siatki skośnej. Druga gałąź podłączona do cyrkulatora składa się z analizatora widma lub układu do pomiaru mocy optycznej. Dodatkowo element pomiarowy znajduje się za cyrkulatorem optycznym, przez co sygnał optyczny przechodzi przez niego dwukrotnie. Nie jest to układ różnicowy, w którym mierzone są osobno zmiany widma siatki skośnej dla dwóch jego nienakładających się części.

W pracy autorstwa Miao, Y. P. oraz Liu, B. pt. “Refractive index sensor based on measuring the transmission power of tilted fiber Bragg grating” opisano metodę wyznaczania indeksu refrakcji oparta o pomiar zmiany intensywności mocy transmitowanej przez skośną siatkę Bragga. Metoda ta jednak wykorzystuje pomiar zmieniającej się mocy za pomocą analizatora widma optycznego. Układ składa się z szerokopasmowego źródła promieniowania, skośnej siatki Bragga, będącej przetwornikiem oraz analizatora widma optycznego. W układzie tym nie jest wykorzystywany żaden element optyczny filtrujący zmieniające się widmo skośnej siatki Bragga.

Celem wynalazku jest monitorowanie wielkości współczynnika załamania medium, w sposób pozbawiony wpływu zmian mocy źródła światła, wpływu temperatury oraz wpływu pola elektromagnetycznego.

Istotą układu interrogacji sygnałów z refraktometru światłowodowego posiadający skośną siatkę Bragga, siatkę Bragga o liniowo zmiennym okresie, światłowód jednomodowy, sprzęgacz optyczny, cyrkulator optyczny oraz fotodetektor jest to, że składa się z szerokopasmowego źródła światła połączonego poprzez światłowód jednomodowy ze skośną siatką Bragga, która połączona jest za pomocą światłowodu jednomodowego ze sprzęgaczem optycznym. Pierwsze wyjście sprzęgacza optycznego połączone jest za pomocą światłowodu jednomodowego z pierwszym cyrkulatorem optycznym, do którego dołączona jest za pomocą światłowodu jednomodowego pierwsza siatka Bragga o liniowo zmiennym okresie, która dalej poprzez pierwszy cyrkulator optyczny połączona jest za pomocą światłowodu jednomodowego z pierwszym fotodetektorem. Drugie wyjście sprzęgacza optycznego połączone jest za pomocą światłowodu jednomodowego z drugim cyrkulatorem optycznym, który za pomocą światłowodu jednomodowego połączony jest z drugą siatką Bragga o liniowo zmiennym okresie, która dalej poprzez drugi cyrkulator optyczny połączona jest za pomocą światłowodu jednomodowego z drugim fotodetektorem.

Korzystnym skutkiem zastosowania układu interrogacji refraktometru światłowodowego ze skośną siatką Bragga jest znaczne uproszczenie układu do pomiaru współczynnika załamania światła medium, które nie wymaga zastosowania spektrofotometrów oraz analizatorów widma optycznego oraz nie wymaga stosowania algorytmów analizy widma optycznego. Istotną cechą wynalazku jest uniezależnienie pomiarów od wpływu temperatury zewnętrznej i pola elektromagnetycznego w miejscu pomiaru, co zostaje osiągnięte poprzez to, że siatki są zapisane na takim samym światłowodzie jednomodowym. Zastosowanie układu eliminuje również problem fluktuacji mocy źródeł światła, co jest osiągane dzięki temu, że miarą współczynnika załamania jest stosunek mocy zmierzonej przez dwa fotodetektory.

Przedmiot wynalazku w przykładach wykonania został przedstawiony na rysunkach, na których fig. 1 przedstawia schemat układu interrogacji sygnału z refraktometru światłowodowego, fig. 2a – wykres odbicia/transmisji sygnału w zależności od długości fali dla pierwszej serii badań, fig. 2b – wykres odbicia/transmisji sygnału w zależności od długości fali dla drugiej serii badań, fig. 2c – wykres odbicia/transmisji sygnału w zależności od długości fali dla trzeciej serii badań, zaś fig. 3 – wykres zależności stosunku mocy na fotodetektorach od stężenia cukru w roztworze.

Układ interrogacji sygnałów z refraktometru światłowodowego składa się z szerokopasmowego źródła światła 1 połączonego poprzez światłowód jednomodowy 2a ze skośną siatką Bragga 3, która połączona jest za pomocą światłowodu jednomodowego 2b ze sprzęgaczem optycznym 4. Pierwsze wyjście sprzęgacza optycznego 4 połączone jest za pomocą światłowodu jednomodowego 2c z pierwszym cyrkulatorem optycznym 5, do którego dołączona jest za pomocą światłowodu jednomodowego

2d pierwsza siatka Bragga o liniowo zmiennym okresie 7, która dalej poprzez pierwszy cyrkulator optyczny 5 połączona jest za pomocą światłowodu jednomodowego 2e z pierwszym fotodetektorem 9. Natomiast drugie wyjście sprzęgacza optycznego 4 połączone jest za pomocą światłowodu jednomodowego 2f z drugim cyrkulatorem optycznym 6, który za pomocą światłowodu jednomodowego 2g połączony jest z drugą siatką Bragga o liniowo zmiennym okresie 8, która dalej poprzez drugi cyrkulator optyczny 6 połączona jest za pomocą światłowodu jednomodowego 2h z drugim fotodetektorem

Opisany układ został wykonany w przykładzie, w którym jako szerokopasmowe źródło światła 1 zastosowano źródło z diodą super luminescencyjną Thorlabs S5FC1005S. Jako światłowód jednomodowy 2a, 2b, 2c, 2d, 2e, 2f, 2g zastosowano standardowe, jednomodowe włókno światłowodowe SMF-28 o średnicy rdzenia równej 9 μm i średnicy płaszcza 125 μm. Skośna siatka Bragga 2 została zapisana na światłowodzie jednomodowym i posiadała kąt nachylenia płaszczyzn dyfrakcyjnych równy 2°. Jako sprzęgacz optyczny 4 zastosowano sprzęgacz WD202A-APC 980/1550 WDM FC APC. Jako cyrkulatory optyczne 5, 6 zastosowano cyrkulatory Thorlabs 6015-3-FC – Fiber Optic Circulator, 1525–1610 nm, SMF, 5 FC/PC. Jako pierwszą siatkę Bragga o liniowo zmiennym okresie 7 zastosowano siatkę Bragga o współczynniku chirpu równym 25 nm/cm o centralnej długości fali równej 1518 nm zaś jako drugą siatkę Bragga o liniowo zmiennym okresie 8 zastosowano siatkę Bragga o współczynniku chirpu równym 25 nm/cm o centralnej długości fali równej 1548 nm. Jako fotodetektory 9, 10 zastosowano fotodiody InGaAs Thorlabs 800–1700 nm FGA21.

Z zastosowaniem układu przeprowadzono trzy serie badań, w których skośna siatka Bragga 3 była umieszczana w czystej wodzie i wodnym roztworze cukru o różnych stężeniach od 0 do 56%. Na skutek przesyłania sygnału świetlnego przez układ odczytywano charakterystyki widmowe transmisyjne skośnej siatki Bragga 12, widmową charakterystykę odbiciową pierwszej siatki Bragga o liniowo zmiennym okresie 13 i widmową charakterystykę odbiciową drugiej siatki Bragga o liniowo zmiennym okresie 14 przedstawione dla poszczególnych serii na fig. 2a, 2b, 2c.

Natomiast w tabeli zestawiono stężenie cukru w badanym roztworze i odpowiadające im współczynniki załamania światła oraz odczytane wartości mocy zmierzone przez fotodetektory i stosunek mocy zmierzonej na pierwszym i drugim fotodetektorze.

Na fig. 3 rysunku przedstawiono wykres zależności stosunku mocy od stężenia cukru, dla 12 serii pomiarów.

T a b e l a. Stężenie i wyniki pomiarów współczynnika załamania i stosunku mocy na fotodetektorach.

Serie pomiarowe	stężenie	n	P_1/P_2
-	%	-	-
1	23	1,368	0,851
2	26	1,373	0,850
3	29	1,379	0,844
4	32	1,384	0,839
5	35	1,390	0,835
6	38	1,395	0,827
7	41	1,401	0,823
8	44	1,407	0,821
9	47	1,413	0,816
10	50	1,420	0,813
11	53	1,426	0,807
12	56	1,432	0,806

Wykaz oznaczeń

1. Szerokopasmowe źródło światła
2. Światłowód jednomodowy
3. Skośna siatka Bragga
4. Sprzęgacz optyczny
5. Pierwszy cyrkulator optyczny
6. Drugi cyrkulator optyczny
7. Pierwsza siatka Bragga o liniowo zmiennym okresie
8. Druga siatka Bragga o liniowo zmiennym okresie
9. Fotodetektor pierwszy
10. Fotodetektor drugi
11. Charakterystyka widmowa transmisyjna skośnej siatki Bragga
12. Charakterystyka widmowa odbiciowa pierwszej siatki Bragga o liniowo zmiennym okresie
13. Charakterystyka widmowa odbiciowa drugiej siatki Bragga o liniowo zmiennym okresie

Zastrzeżenie patentowe

1. Układ interrogacji sygnałów z refraktometru światłowodowego posiadający skośną siatkę Bragga, siatkę Bragga o liniowo zmiennym okresie, światłowód jednomodowy, sprzęgacz optyczny, cyrkulator optyczny oraz fotodetektor, **znamienny tym**, że składa się z szerokopasmowego źródła światła (1) połączonego poprzez światłowód jednomodowy (2a) ze skośną siatką Bragga (3), która połączona jest za pomocą światłowodu jednomodowego (2b) ze sprzęgaczem optycznym (4), zaś pierwsze wyjście sprzęgacza optycznego (4) połączone jest za pomocą światłowodu jednomodowego (2c) z pierwszym cyrkulatorem optycznym (5), do którego dołączona jest za pomocą światłowodu jednomodowego (2d) pierwsza siatka Bragga o liniowo zmiennym okresie (7), która dalej poprzez pierwszy cyrkulator optyczny (5) połączona jest za pomocą światłowodu jednomodowego (2e) z pierwszym fotodetektorem (9), natomiast drugie wyjście sprzęgacza optycznego (4) połączone jest za pomocą światłowodu jednomodowego (2f) z drugim cyrkulatorem optycznym (6), który za pomocą światłowodu jednomodowego (2g) połączony jest z drugą siatką Bragga o liniowo zmiennym okresie (8), która dalej poprzez drugi cyrkulator optyczny (6) połączona jest za pomocą światłowodu jednomodowego (2h) z drugim fotodetektorem (10).

Rysunki

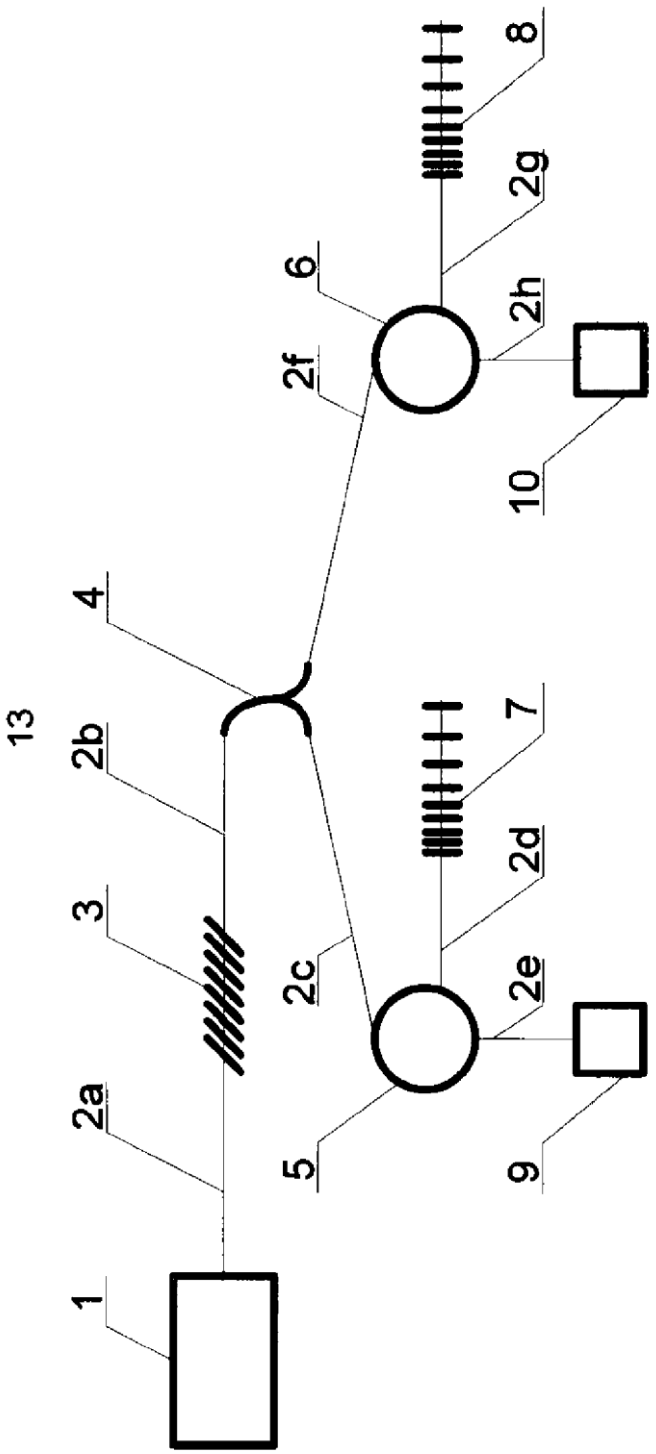

Fig. 1

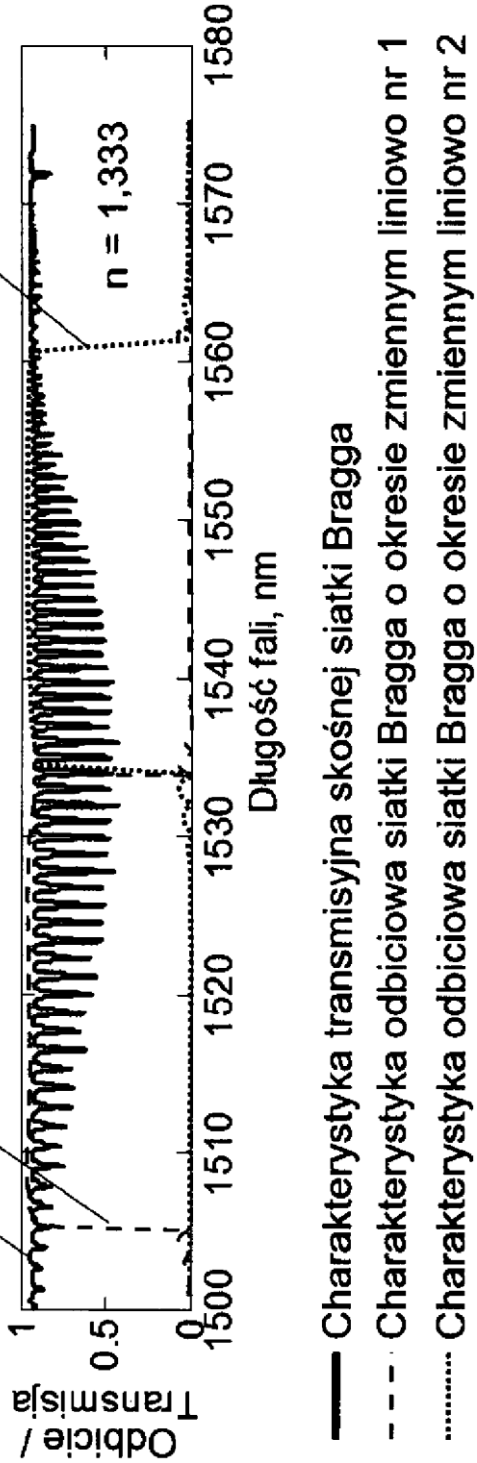
Odbicie / Transmisja
1
0.5
0
1500
1510
1520
1530
1540
1550
1560
1570
1580
Długość fali, nm
11
12
13
n = 1,333
Charakterystyka transmisyjna skośnej siatki Bragga
Charakterystyka odbiciowa siatki Bragga o okresie zmiennym liniowo nr 1
Charakterystyka odbiciowa siatki Bragga o okresie zmiennym liniowo nr 2

Fig. 2a

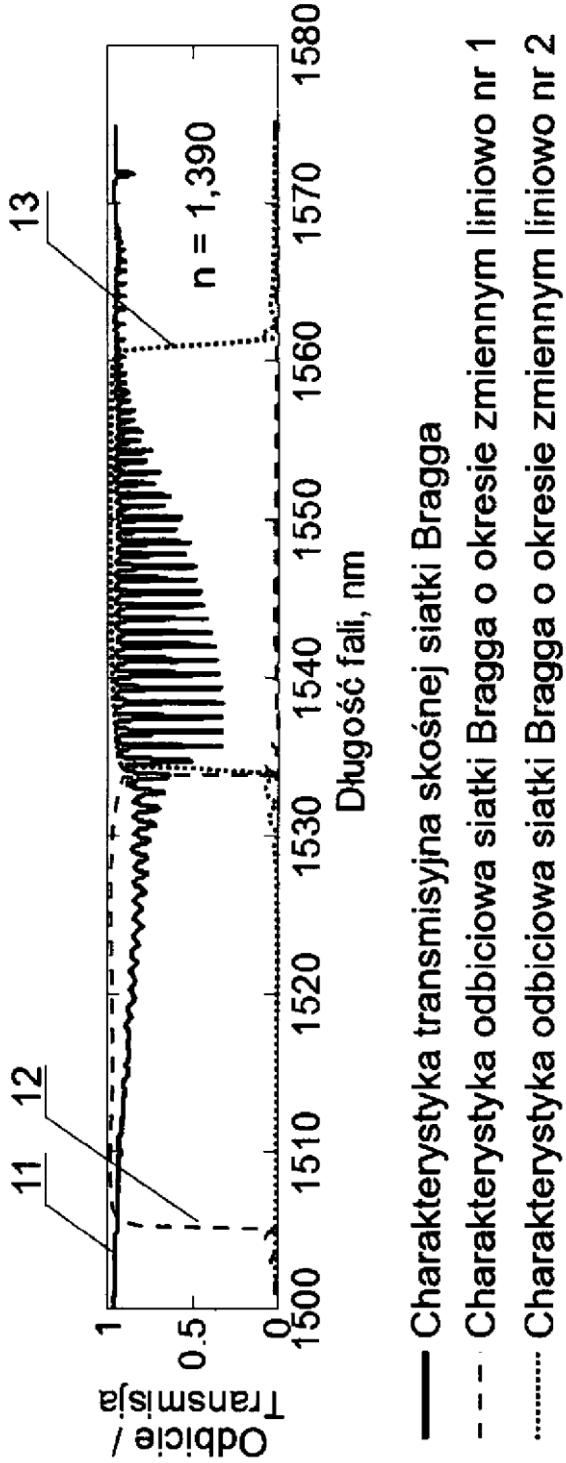
Odbicie / Transmisja
1
0.5
0
1500
1510
1520
1530
1540
1550
1560
1570
1580
Długość fali, nm
11
12
13
n = 1,390
Charakterystyka transmisyjna skośnej siatki Bragga
Charakterystyka odbiciowa siatki Bragga o okresie zmiennym liniowo nr 1
Charakterystyka odbiciowa siatki Bragga o okresie zmiennym liniowo nr 2

Fig. 2b

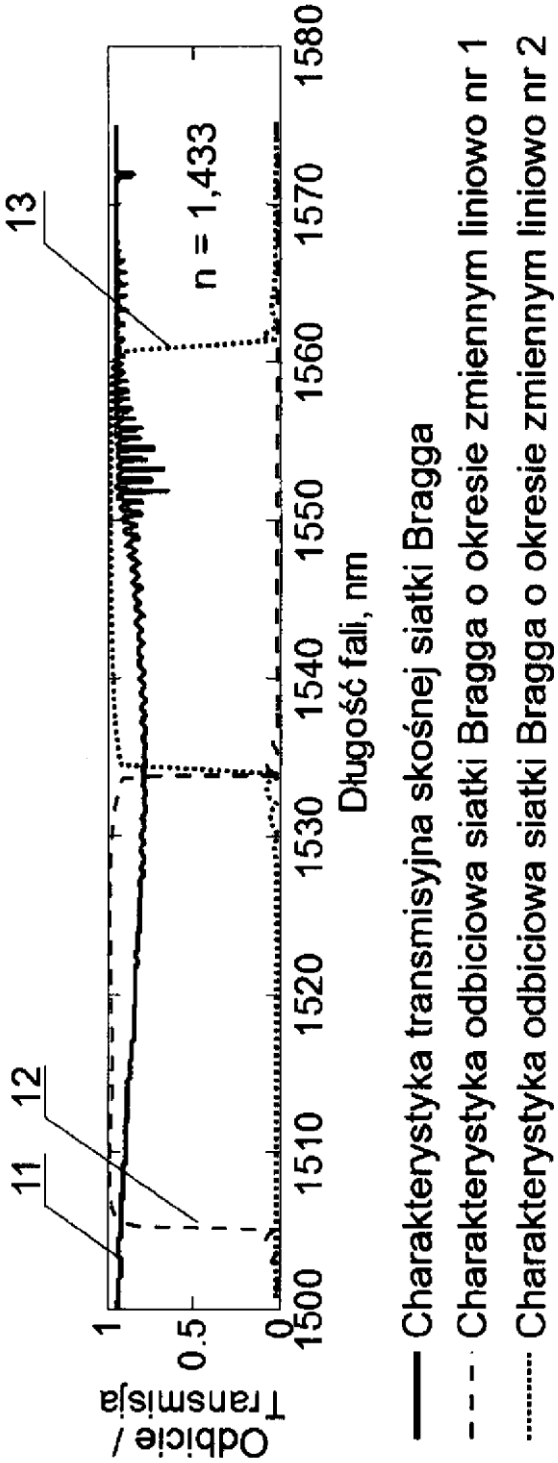
Odbicie / Transmisja
1
0.5
0
1500
1510
1520
1530
1540
1550
1560
1570
1580
Długość fali, nm
n = 1,433
11
12
13
Charakterystyka transmisyjna skośnej siatki Bragga
Charakterystyka odbiciowa siatki Bragga o okresie zmiennym liniowo nr 1
Charakterystyka odbiciowa siatki Bragga o okresie zmiennym liniowo nr 2

Fig. 2c

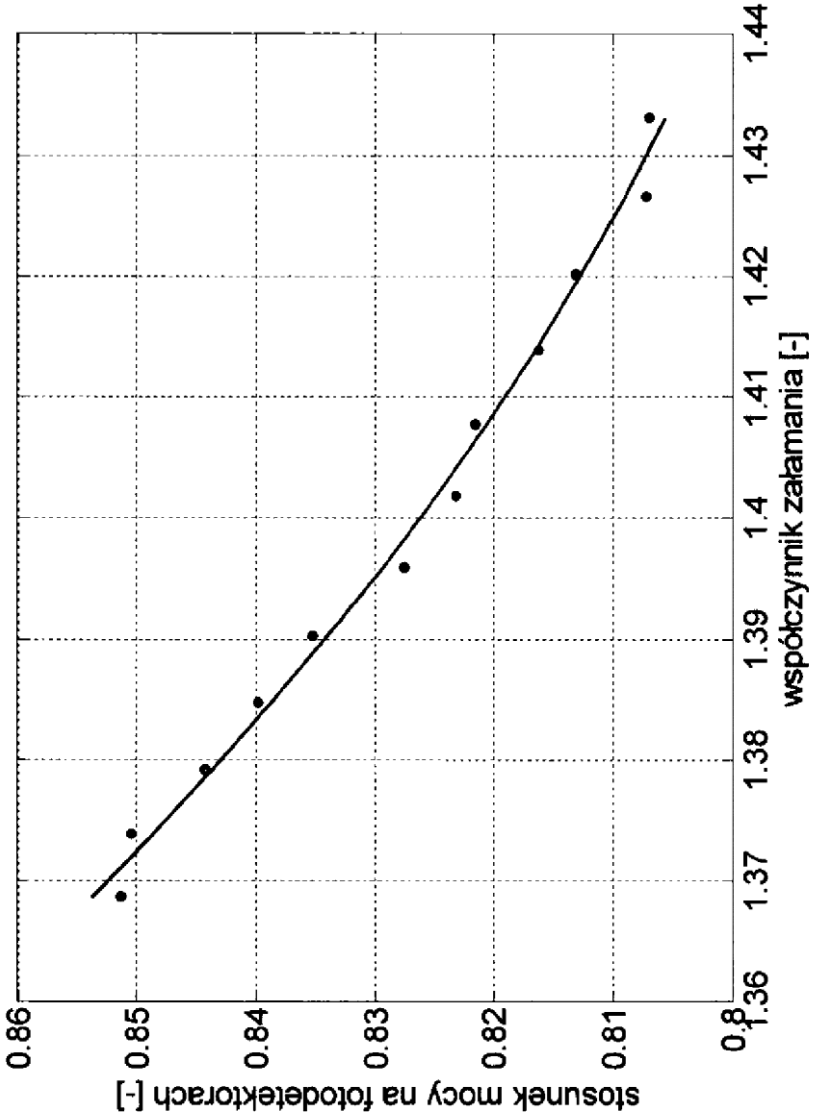

Fig. 3

Departament Wydawnictw UPRP
Cena 2,46 zł (w tym 23% VAT)