

RZECZPOSPOLITA  
POLSKA



Urząd Patentowy  
Rzeczypospolitej Polskiej

(12) **OPIS PATENTOWY** (19) **PL** (11) **220700**

(13) **B1**

(21) Numer zgłoszenia: **398119**

(22) Data zgłoszenia: **15.02.2012**

(51) Int.Cl.

**G02F 1/39 (2006.01)**

**G02F 1/35 (2006.01)**

**G02F 1/355 (2006.01)**

**G02B 6/122 (2006.01)**

**G02B 6/26 (2006.01)**

**H01S 3/067 (2006.01)**

(54) **Układ wzmacniacza światłowodowego opartego na włóknie domieszkowanym jonami erbu i iterbu o zwiększonej sprawności**

(43) Zgłoszenie ogłoszono:

**19.08.2013 BUP 17/13**

(45) O udzieleniu patentu ogłoszono:

**31.12.2015 WUP 12/15**

(73) Uprawniony z patentu:

**WROCŁAWSKIE CENTRUM BADAŃ EIT +  
SPÓŁKA Z OGRANICZONĄ  
ODPOWIEDZIALNOŚCIĄ, Wrocław, PL**

(72) Twórca(y) wynalazku:

**GRZEGORZ SOBOŃ, Sobótka, PL  
PAWEŁ KACZMAREK, Jelcz-Laskowice, PL  
DOROTA ŚLIWIŃSKA, Nowa Sól, PL  
KAROL KRZEMPEK, Czyżowice, PL  
ARKADIUSZ ANTOŃCZAK, Wrocław, PL  
JAROSŁAW SOTOR, Wrocław, PL  
ADAM WAŹ, Wrocław, PL  
GRZEGORZ DUDZIK, Nowy Sącz, PL  
KRZYSZTOF ABRAMSKI, Wrocław, PL**

(74) Pełnomocnik:

**rzecz. pat. Andrzej Witek**

**PL 220700 B1**

## Opis wynalazku

Przedmiotem wynalazku jest układ wzmacniacza światłowodowego opartego na włóknie domieszkowanym jonami erbu i iterbu z kontrolowaną akcją laserową na długości fali z zakresu 1030–1060 nm, przeznaczony do stosowania w układach i urządzeniach optycznych jako wzmacniacz ciągłego lub impulsowego promieniowania laserowego z zakresu trzeciego okna telekomunikacyjnego.

Z opisu patentowego USA nr US7848014 znany jest układ dwustopniowego wzmacniacza światłowodowego wykorzystującego włókna domieszkowane erbem oraz erbem i iterbem. Układ składa się z dwóch stopni wzmacniających, z których pierwszy oparty jest na światłowodzie jednomodowym domieszkowanym erbem, pompowanym przez jednomodowy laser półprzewodnikowy. Wiązka pompująca wprowadzana jest do włókna aktywnego za pośrednictwem jednomodowego sprzęgacza światłowodowego WDM. Drugi stopień wzmacniający oparty jest na światłowodzie z podwójnym płaszczem domieszkowanym erbem i iterbem. Pompowany jest przez wielomodowy laser półprzewodnikowy. Promieniowanie pompujące wprowadzone jest do światłowodu double-clad za pośrednictwem wielomodowego sprzęgacza światłowodowego (combiner). Przy zastosowaniu włókna o długości 1,5 m w pierwszym stopniu oraz 7 m w drugim stopniu możliwe jest uzyskanie wzmocnienia 27 dB dla długości fali 1550 nm przy pompowaniu mocą 4,6 wata.

Układ wzmacniacza światłowodowego oparty na światłowodzie domieszkowanym erbem i iterbem znany jest z opisu patentowego USA nr US6556346. Układ ten składa się z wejścia optycznego, na które zostaje podany sygnał z pasma trzeciego okna telekomunikacyjnego, przedwzmacniacza EDFA, izolatora optycznego oraz układu wzmacniacza światłowodowego opartego na włóknie erbowo-iterbowym. Światłowód jest pompowany, przez co najmniej jeden laser półprzewodnikowy. Lasery te są sprzężone ze światłowodem aktywnym za pośrednictwem sprzęgaczy WDM. Na wyjściu układu wzmacniacza umieszczony jest izolator optyczny zabezpieczający wzmacniacz przed sygnałem odbitym.

W polskim zgłoszeniu patentowym PL 395086 przedstawiono światłowodowy izolator optyczny połączony poprzez przedwzmacniacz światłowodowy, światłowodowy izolator optyczny, pierwszy multiplexer, światłowód aktywny z podwójnym płaszczem domieszkowany jonami erbu i iterbu, sprzęgacz światłowodowy, drugi multiplexer i kolejny światłowodowy izolator optyczny z wyjściem sygnałowym układu wzmacniacza światłowodowego. Ponadto do sprzęgacza światłowodowego podłączony jest co najmniej jeden wielomodowy laser pompujący. Jednocześnie pierwszy multiplexer połączony jest poprzez sprzęgacz monitorujący wyposażony w dwa wyjścia monitorujące z drugim multiplexse-rem, przy czym korzystnie, pomiędzy pierwszy multiplexer i sprzęgacz monitorujący włączony jest światłowodowy izolator optyczny. Poprzednie układy wzmacniaczy światłowodowych cechuje wymuszona cyrkulacja szumów, które są emitowane przez wzbudzone jony iterbu w światłowodzie erbowo-iterbowym. Obserwuje się akcję laserową na długości fali z zakresu 1060–1064 nm. Tak wzbudzona akcja laserowa nie ma korzystnego wpływu na sprawność układu. Szum emisji spontanicznej z jonów iterbu jest głównym czynnikiem ograniczającym moc wyjściową oraz pogarszającym sprawność wzmacniaczy erbowo-iterbowych. Istnieje również potrzeba kontroli długości fali sygnału na rezonatorze. Nieoczekiwanie wspomniane problemy rozwiązał prezentowany wynalazek. Pierwszym przedmiotem wynalazku jest układ wzmacniacza światłowodowego opartego na włóknie domieszkowanym jonami metali ziem rzadkich zawierający laser pompujący, sprzęgacz, oraz aktywne włókno światłowodowe domieszkowane jonami ziem rzadkich, charakteryzujący się tym, że wiązka światła z zewnętrznego lasera sygnałowego kierowana jest od wejścia sygnałowego światłowodami do pierwszego multipleksera, światłowodu aktywnego domieszkowanego jonami ziem rzadkich, korzystnie jonami erbu i iterbu, drugiego multipleksera do wyjścia sygnałowego, przy czym przed pierwszym multiplexse-rem jest dołączony równolegle filtr optyczny albo cyrkulator optyczny z filtrem optycznym, korzystnie element wymuszający kierunek biegu połączony do drugiego multipleksera, przy czym korzystnie filtr optyczny albo cyrkulator optyczny z filtrem optycznym jest poprzedzony sprzęgaczem wyjściowym. Korzystnie układ według wynalazku charakteryzuje się tym, że na wejściu i/lub wyjściu układu znajdują się izolatory optyczne, korzystnie z zakresu 1530 nm – 1590 nm. Korzystnie układ według wynalazku charakteryzuje się tym, że światłowód aktywny jest włóknem z pojedynczym płaszczem, pompowany przeciwnie do propagacji sygnału wejściowego, z pompą wprowadzaną do rdzenia poprzez sprzęgacz z podziałem długości fali. W kolejnej korzystnej realizacji wynalazku światłowód aktywny jest włóknem z pojedynczym płaszczem, pompowanym wspólnie do propagacji sygnału wejściowego, z pompą wprowadzaną do rdzenia poprzez sprzęgacz z podziałem długości fali. Równie dogodnie układ według wynalazku charakteryzuje się tym, że światłowód aktywny jest włóknem z poje-

dynczym płaszczem, pompowanym obustronnie, tj. przeciwbieżnie i współbieżnie do propagacji sygnału wejściowego, z pompami wprowadzanymi do rdzenia poprzez dwa sprzęgacze z podziałem długości fali. Korzystniej układ według wynalazku charakteryzuje się tym, że światłowód aktywny jest włóknem z podwójnym płaszczem, pompowany przeciwbieżnie do propagacji sygnału wejściowego, z pompą wprowadzaną do płaszczu poprzez sprzęgacz światłowodowy. W kolejnej korzystnej realizacji wynalazku układ charakteryzuje się tym, że światłowód aktywny jest włóknem z podwójnym płaszczem, pompowanym współbieżnie do propagacji sygnału wejściowego, z pompą wprowadzaną do płaszczu poprzez sprzęgacz światłowodowy. Jeszcze bardziej korzystniej układ według wynalazku charakteryzuje się tym, że światłowód aktywny jest włóknem z podwójnym płaszczem, pompowanym obustronnie, tj. jednocześnie przeciwbieżnie i współbieżnie do propagacji sygnału wejściowego, z pompami wprowadzanymi do płaszczu poprzez sprzęgacze światłowodowe. Równie korzystnie układ według wynalazku charakteryzuje się tym, że światłowód aktywny jest światłowodem z pojedynczym płaszczem, pompowanym przeciwbieżnie, współbieżnie albo obustronnie, a wszystkie światłowody użyte w układzie są włóknami utrzymującymi stan polaryzacji światła. W następnej korzystnej realizacji wynalazku światłowód aktywny jest włóknem z pojedynczym płaszczem, pompowanym przeciwbieżnie, współbieżnie albo obustronnie, a układ wykorzystuje włókna standardowe – nie utrzymujące stanu polaryzacji światła. Korzystniej układ według wynalazku charakteryzuje się tym, że światłowód aktywny posiada w dodatkowym rezonatorze pierścieniowym filtr przestrajalny. Równie dogodnie układ według wynalazku charakteryzuje się tym, że światłowód aktywny posiada w dodatkowym rezonatorze pierścieniowym filtr stały. W kolejnej korzystnej realizacji wynalazku układ charakteryzuje się tym, że światłowód aktywny posiada w dodatkowym rezonatorze pierścieniowym filtr w postaci światłowodowej siatki Bragga, korzystnie przestrajalnej albo stałej, umieszczonej na jednym z portów cyrkulatora optycznego. Równie dogodnie sposób według wynalazku charakteryzuje się tym, że posiada rezonator pierścieniowy dla sygnału z pasma 1030 nm – 1060 nm z wymuszoną cyrkulacją sygnału w kierunku współbieżnym do kierunku pompowania, korzystnie poprzez umieszczenie w rezonatorze cyrkulatora optycznego lub izolatora światłowodowego ustawionego w kierunku współbieżnym do kierunku propagacji pompy.

Główną i najważniejszą zaletą proponowanego rozwiązania jest jego prostota, niski koszt oraz łatwość i możliwość zastosowania w każdym, istniejącym już wzmacniaczu światłowodowym, wykorzystującym włókno erbowo-iterbowe jako medium aktywne. Metoda ta nie wymaga stosowania żadnych dodatkowych, zewnętrznych źródeł laserowych o długości fali z pasma wzmocnienia iterbu w przeciwieństwie do metod znanych w stanie techniki. Sygnał z pasma iterbowego jest generowany samoczynnie przez światłowód aktywny, w wyniku niedoskonałości w procesie transferu energii między jonami iterbu i erbu (oraz w wyniku transferu powrotnego). W klasycznych wzmacniaczach erbowo-iterbowych energia, która nie zostanie przekazana przez jony iterbu do jonów erbu, zostaje bezpowrotnie utracona – wypromieniowana w postaci szumu emisji spontanicznej w paśmie 1000–1100 nm. Wynalazek proponuje quasi- „recykling” tej energii poprzez jej ponowne wykorzystanie. Szum zostaje odseparowany od sygnału użytecznego poprzez sprzęgacze WDM oraz przekształcony w stabilną akcję laserową (poprzez wymuszenie obiegu w rezonatorze), a dzięki zastosowaniu spektralnego filtra, wymuszony jest obieg sygnału na długości fali z pasma emisji iterbu, ale krótszej niż maksimum emisji (tj. mniej niż 1064 nm). Sygnał ten jest ponownie absorbowany przez jony iterbu, a energia znów przekazywana do erbu. Zatem, część utraconej energii jest odzyskiwana i ponownie wykorzystana, zwiększając sprawność i wzmocnienie układu. Metoda również nie wymaga żadnej ingerencji w światłowód aktywny, nie wymaga stosowania specjalnych domieszek ani zmian struktury światłowodu w procesie jego produkcji. Zastosowanie rezonatora zwiększa sprawność i wzmocnienie, a co za tym idzie – mocy wyjściową wzmacniacza światłowodowego. Szum emisji spontanicznej z jonów iterbu jest głównym czynnikiem ograniczającym moc wyjściową oraz pogarszającym sprawność wzmacniaczy erbowo-iterbowych. W przypadku, gdy przy użyciu filtra w dziedzinie długości fali, w rezonatorze zostanie wymuszony obieg fali o długości krótszej niż 1064 nm, na przykład z zakresu 1040–1050 nm, zaobserwowany zostanie wzrost sprawności wzmocnienia sygnału na długości fali z pasma erbu (1530–1590 nm). Obecność silnego sygnału z dolnego pasma wzmocnienia iterbu, np. 103–1050 nm, pozwala na wywołanie tzw. reabsorpcji. Jest to zjawisko polegające na ponownym zaabsorbowaniu promieniowania z pasma 1030–1060 nm przez jony domieszki w światłowodzie i przetransferowaniu tej energii w sygnał z pasma 1530–1590 nm. Efekt reabsorpcji jest najmocniejszy dla krótszych fal z pasma wzmocnienia iterbu (1030–1050 nm), stąd korzystne jest wymuszenie obiegu na tych długościach fali w rezonatorze, poprzez zastosowanie odpowiedniego filtra. Co więcej wynalazek zabezpie-

cza wzmacniacz światłowodowy przed wzbudzeniem się spontanicznej akcji laserowej na długościach fali z pasma wzmocnienia iterbu. W klasycznych, liniowych wzmacniaczach światłowodowych opartych na włóknach erbowo-iterbowych (bez zastosowanej pętli sprzężenia zwrotnego), podczas pracy generowany jest szum emisji spontanicznej z jonów iterbu. Jest on konsekwencją niedoskonałego transferu energii między jonami iterbu i erbku – część energii, zamiast zostać przetransferowana do erbku, zostaje wypromieniowana w postaci szerokopasmowego szumu w paśmie 1000–1100 nm. Szum ten, w obecności relatywnie dużej mocy pompującej, jest w stanie przekształcić się w spontaniczną, niepożądaną akcję laserową. Tak wzbudzona akcja laserowa ma charakter całkowicie chaotyczny i może doprowadzić do zjawiska tzw. samo-impulsowania (ang. self-pulsing), co w konsekwencji często prowadzi do uszkodzenia włókna aktywnego lub laserów pompujących. Zastosowanie pętli – rezonatora pierścieniowego dla sygnałów z zakresu 1030–1060 nm pozwala na przekształcenie szumów w kontrolowaną, dobrze zdefiniowaną akcję laserową. Obecność kontrolowanej akcji laserowej eliminuje emisję szumów i całkowicie eliminuje możliwość zajścia przypadkowej akcji laserowej. Przykładową realizację wynalazku przedstawiono na rysunku, na którym fig. 1 przedstawia układ wzmacniacza wg wynalazku z izolatorami optycznymi IO, fig. 2 układ bez IO w pętli sprzężenia zwrotnego, a fig. 3 układ bez sprzęgacza wyjściowego w pętli sprzężenia zwrotnego oraz światłowodową siatką Bragga jako filtrem (FO) podłączonym do portu nr 2 cyrkulatora optycznego (C), a fig. 4 układ ze sprzęgaczem w pętli sprzężenia zwrotnego oraz światłowodową siatką Bragga jako filtrem (FO) podłączonym do portu nr 2 cyrkulatora optycznego (C), a fig. 5 układ bez izolatorów optycznych IO w głównym torze sygnałowym wzmacniacza, natomiast fig. 6 przedstawia zależność mocy wyjściowej od mocy pompującej kolejnych realizacji układu wzmacniacza wg wynalazku.

#### Przykład 1

Układ wzmacniacza światłowodowego opartego na włóknie domieszkowanym jonami erbku i iterbu z wymuszoną akcją laserową ma wejściowy izolator optyczny IO połączony poprzez pierwszy multiplexer WDM1, światłowód aktywny z podwójnym płaszczem F domieszkowany jonami erbku i iterbu, sprzęgacz wprowadzający promieniowanie pompujące SP, drugi multiplexer WDM2 i kolejny światłowodowy izolator optyczny IO z wyjściem sygnałowym układu wzmacniacza światłowodowego. Do sprzęgacza światłowodowego SP podłączony jest co najmniej jeden laser pompujący LP, natomiast pierwszy multiplexer WDM1 połączony jest poprzez sprzęgacz wyjściowy SW, cyrkulator optyczny C z drugim sprzęgaczem WDM2. Do jednego z portów cyrkulatora C podłączony jest odbiciowy filtr optyczny FO, wymuszający transmisję konkretnej długości fali w rezonatorze.

Umieszczenie w układzie wzmacniacza światłowodowego sprzęgaczy WDM1 oraz WDM2, separujących sygnał wzmacniany (z pasma 1530–1590 nm) od szumu emisji spontanicznej jonów iterbu pozwala na stworzenie dodatkowej pętli sprzężenia zwrotnego (rezonatora pierścieniowego) dla szumu z pasma iterbu. Dodatkowo w rezonatorze tym umieszczono filtr optyczny FO, wymuszający obieg sygnału na konkretnej długości fali z pasma 1030–1060 nm. Wstawienie filtra optycznego pozwala na przesunięcie długości fali sygnału w kierunku krótszych fal z pasma emisji iterbu, co ma korzystny wpływ na wzmocnienie sygnału użytecznego z pasma 1530–1590 nm w wyniku zjawiska reabsorpcji. Sprzęgacz SW pozwala na odprowadzenie części mocy sygnału z rezonatora. Trójportowy cyrkulator C umieszczony w pętli pozwala na wymuszenie kierunku obiegu sygnału w rezonatorze (w kierunku współbieżnym do kierunku propagacji pompy) oraz na podłączenie filtra optycznego FO.

Dla zbudowanego układu zmierzono moc wyjściową i sprawność, używając jako filtra optycznego FO światłowodowej siatki Bragga odbijającej długość fali 1040 nm. Wzmacniacz pompowano dwoma laserami półprzewodnikowymi pracującymi na długości fali 975 nm o sumarycznej mocy 18,5 W. Jako sygnału wejściowego użyto wiązki na długości fali 1550 nm o mocy 280 mW. Na wyjściu wzmacniacza uzyskano moc 4,65 W, co oznacza sprawność optyczną ok. 25% i wzmocnienie 12,2 dB.

#### Przykład 2

Układ jak w przykładzie 1 z tą różnicą, że w pętli sprzężenia zwrotnego nie zastosowano cyrkulatora C z filtrem optycznym FO, lecz umieszczono tylko izolator optyczny IO wymuszający kierunek obiegu sygnału w pętli współbieżnie do promieniowania pompującego. Długość fali akcji laserowej w rezonatorze jest tym razem przypadkowa i nie ma żadnej kontroli nad jej parametrami spektralnymi.

Dla zbudowanego układu zmierzono moc wyjściową i sprawność. Wzmacniacz pompowano dwoma laserami półprzewodnikowymi pracującymi na długości fali 975 nm o sumarycznej mocy 18,5 W. Jako sygnału wejściowego użyto wiązki na długości fali 1550 nm o mocy 280 mW. Na wyjściu wzmacniacza uzyskano moc 3,67 W, co oznacza sprawność optyczną ok. 20% i wzmocnienie 11,17 dB.

W odróżnieniu od poprzednich układów, nie zawierających pętli sprzężenia zwrotnego (rezonatora) z umieszczonym filtrem spektralnym lub zawierających pętlę sprzężenia zwrotnego bez filtra spektralnego, układ będący podstawą wynalazku pozwala na podniesienie sprawności wzmacniacza i wzrost mocy wyjściowej w paśmie 1530–1590 nm o co najmniej 20%, zależnie od wymuszonej długości fali w rezonatorze. Filtr optyczny wymusza cyrkulację sygnału o ściśle określonej długości fali z pasma emisji iterbu, na przykład 1040 nm. Sygnał o tej długości fali jest chętnie absorbowany przez jony iterbu, a odzyskana energia jest przekazywana do erbu w wyniku oddziaływań międzyjonowych w światłowodzie. Pozwala to na odzyskanie części energii z szumów emisji spontanicznej iterbu, a zatem – zwiększenie sprawności układu wzmacniacza. Pomiar pokazuje, że możliwe jest zwiększenie wzmocnienia o co najmniej 1 dB (tj. nie mniej niż 5%). Różnice mocy między trzema układami; z filtrem FO na długość fali 1040 nm, bez filtra w pętli oraz bez pętli sprzężenia zwrotnego przedstawiono na wykresie.

Wykaz oznaczeń na rysunku:

LS – laser sygnałowy o długości fali z zakresu trzeciego okna telekomunikacyjnego (1530 nm–1580 nm),

IO – światłowodowy izolator optyczny,

SP – sprzęgacz wprowadzający promieniowanie pompujące do włókna aktywnego WDM1,

WDM2 – multiplexer sprzęgacze typu WDM,

F – światłowod aktywny z podwójnym płaszczem domieszkowany jonami erbu i iterbu,

SW – sprzęgacz wyjściowy,

FO – filtr optyczny,

LP – laser pompujący,

C – cyrkulator optyczny.

## Zastrzeżenia patentowe

1. Układ wzmacniacza światłowodowego opartego na włóknie domieszkowanym jonami metali ziem rzadkich, zawierający laser pompujący, sprzęgacze oraz aktywne włókna światłowodowe domieszkowane jonami ziem rzadkich, **znamienny tym**, że wiązka światła z lasera sygnałowego (LS) kierowana jest od wejścia sygnałowego światłowodem do pierwszego multiplexera (WDM1), światłowodu aktywnego domieszkowanego jonami ziem rzadkich, korzystnie jonami erbu i iterbu, drugiego multiplexera (WDM2) do sygnału wyjściowego, przy czym przed pierwszym multiplexerem (WDM1) jest dołączony równolegle filtr optyczny (FO) albo cyrkulator optyczny (C) z filtrem optycznym (FO), korzystnie izolator (IO) wymuszający kierunek biegu, połączony do multiplexera (WDM2), korzystnie przed filtrem optycznym albo cyrkulatorem optycznym (C) z filtrem optycznym (FO) znajduje się sprzęgacz wyjściowy (SW).

2. Układ według zastr. 1, **znamienny tym**, że na wejściu i/lub wyjściu układu znajdują się izolatory optyczne, korzystanie z zakresu 1530 nm–1590 nm.

3. Układ według zastr. 1 albo 2, **znamienny tym**, że światłowod aktywny jest włóknem z pojedynczym płaszczem, pompowanym przeciwbieżnie do propagacji sygnału wejściowego, z pompą wprowadzaną do rdzenia poprzez sprzęgacz z podziałem długości fali (WDM1) i/lub (WDM2).

4. Układ według któregośkolwiek z zastr. od 1 do 3, **znamienny tym**, że światłowod aktywny jest włóknem z pojedynczym płaszczem, pompowanym współbieżnie do propagacji sygnału wejściowego, z pompą wprowadzaną do rdzenia poprzez sprzęgacz z podziałem długości fali (WDM1) i/lub (WDM2).

5. Układ według któregośkolwiek z zastr. od 1 do 4, **znamienny tym**, że światłowod aktywny jest włóknem z pojedynczym płaszczem, pompowanym obustronnie, przeciwbieżnie i współbieżnie do propagacji sygnału wejściowego, z pompą wprowadzaną do rdzenia poprzez dwa sprzęgacze z podziałem długości fali (WDM1) i (WDM2).

6. Układ według któregośkolwiek z zastr. od 1 do 5, **znamienny tym**, że światłowod aktywny jest włóknem z podwójnym płaszczem, pompowanym przeciwbieżnie do propagacji sygnału wejściowego, z pompą wprowadzaną do płaszczka poprzez sprzęgacz światłowodowy (SP).

7. Układ według któregośkolwiek z zastr. od 1 do 6, **znamienny tym**, że światłowod aktywny jest włóknem z podwójnym płaszczem, pompowanym współbieżnie do propagacji sygnału wejściowego, z pompą wprowadzaną do płaszczka poprzez sprzęgacz światłowodowy (SP).

8. Układ według któregokolwiek z zastrz. od 1 do 7, **znamienny tym**, że światłowód aktywny jest włóknem z podwójnym płaszczem, pompowanym obustronnie, jednocześnie przeciwbieżnie i współbieżnie do propagacji sygnału wejściowego, z pompą wprowadzaną do płaszczu poprzez sprzęgacze światłowodowe (SP).

9. Układ według któregokolwiek z zastrz. od 1 do 8, **znamienny tym**, że wszystkie użyte światłowody są włóknami utrzymującymi stan polaryzacji, a światłowód aktywny jest włóknem z podwójnym płaszczem, pompowanym przeciwbieżnie, współbieżnie albo obustronnie

10. Układ według któregokolwiek z zastrz. od 1 do 9, **znamienny tym**, że wszystkie użyte światłowody są włóknami standardowymi, nie utrzymującymi stanu polaryzacji światła, a światłowód aktywny jest włóknem z podwójnym płaszczem, pompowanym przeciwbieżnie, współbieżnie albo obustronnie.

11. Układ według któregokolwiek z zastrz. od 1 do 10, **znamienny tym**, że wzmacniacz światłowodowy posiada w dodatkowym rezonatorze pierścieniowym w pętli sprzężenia zwrotnego filtr przestrajalny.

12. Układ według któregokolwiek z zastrz. od 1 do 11, **znamienny tym**, że wzmacniacz światłowodowy posiada w dodatkowym rezonatorze pierścieniowym w pętli sprzężenia zwrotnego filtr stały.

13. Układ według któregokolwiek z zastrz. od 1 do 12, **znamienny tym**, że wzmacniacz światłowodowy posiada w dodatkowym rezonatorze pierścieniowym w pętli sprzężenia zwrotnego filtr w postaci światłowodowej siatki Bragga, korzystnie przestrajalnej albo stałej, podłączonej do jednego z portów cyrkulatora optycznego.

14. Układ według któregokolwiek z zastrz. od 1 do 13, **znamienny tym**, że posiada rezonator pierścieniowy dla sygnału z pasma 1030 nm – 1060 nm z wymuszoną cyrkulacją sygnału w kierunku współbieżnym do kierunku pompowania, korzystnie poprzez umieszczenie w rezonatorze cyrkulatora optycznego lub izolatora światłowodowego ustawionego w kierunku współbieżnym do kierunku propagacji pompy.

Rysunki

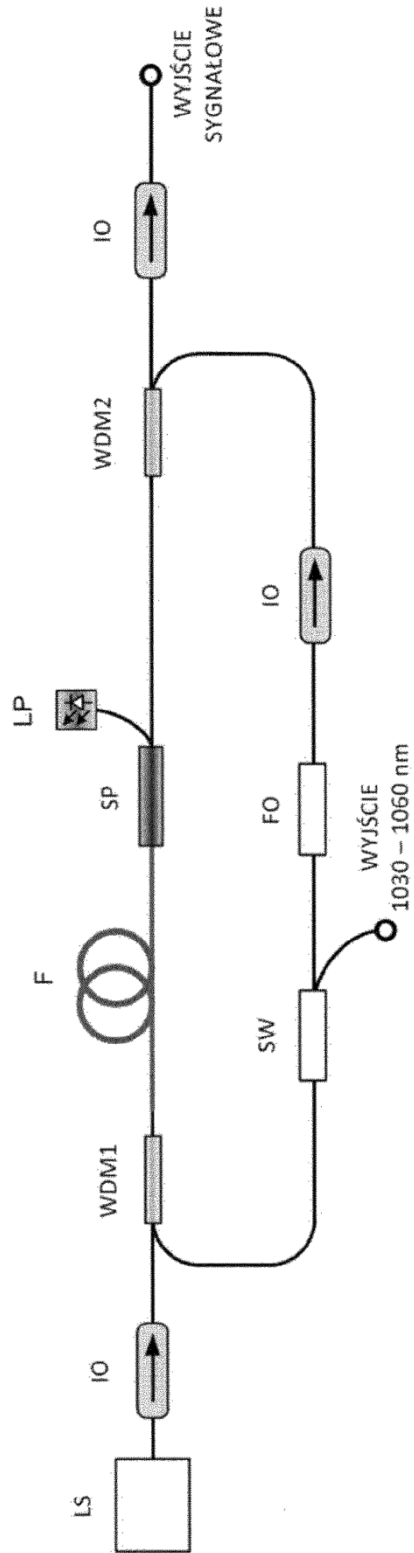


Fig. 1

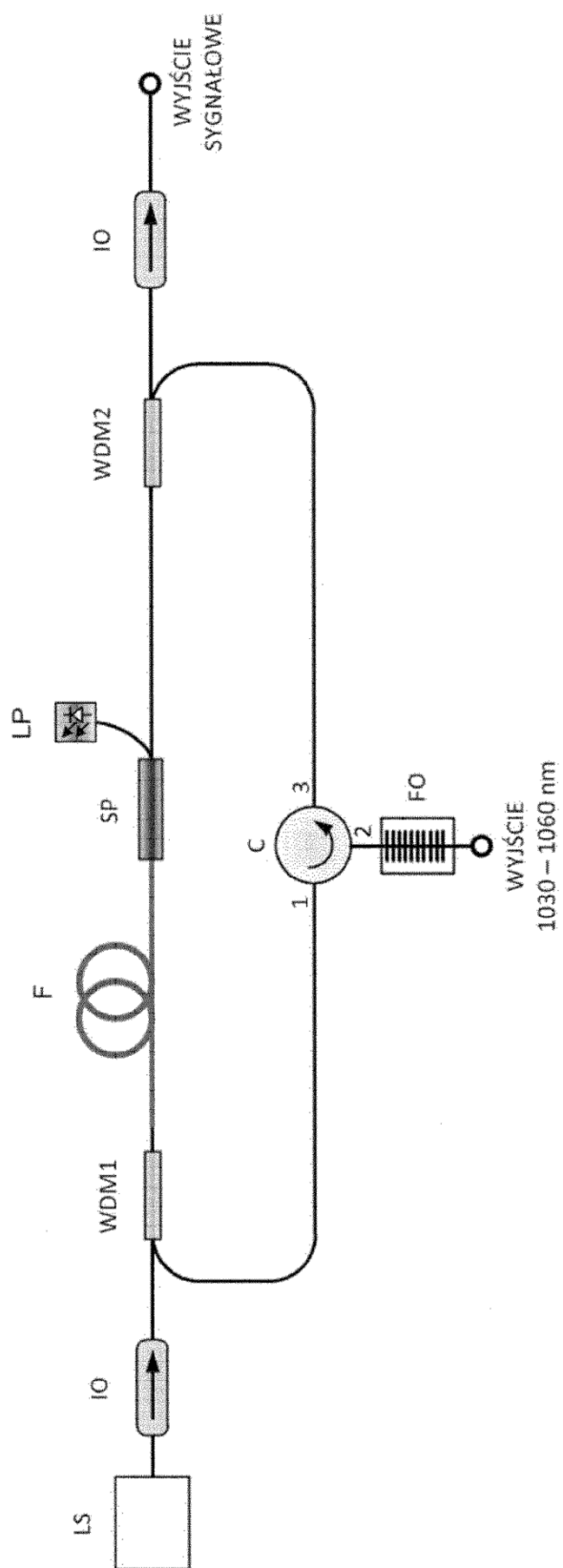


Fig.2

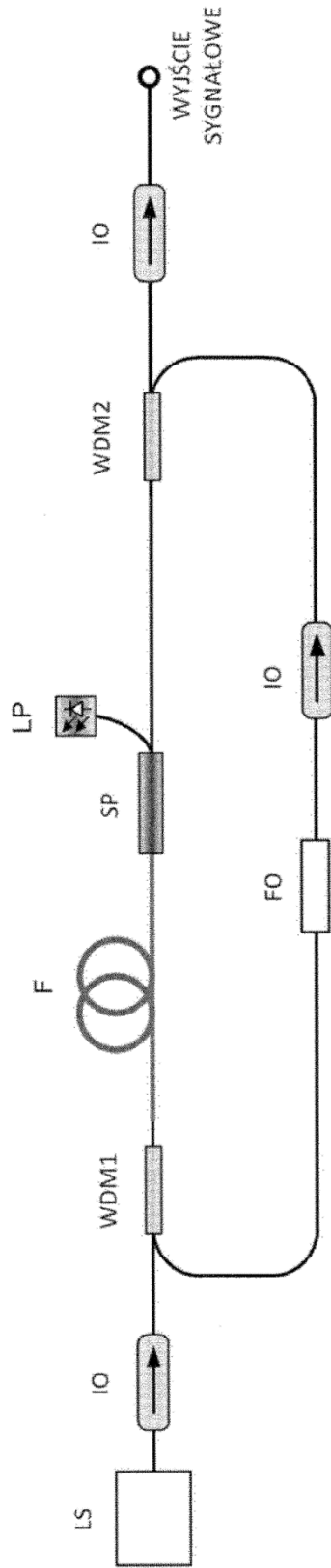


Fig.3

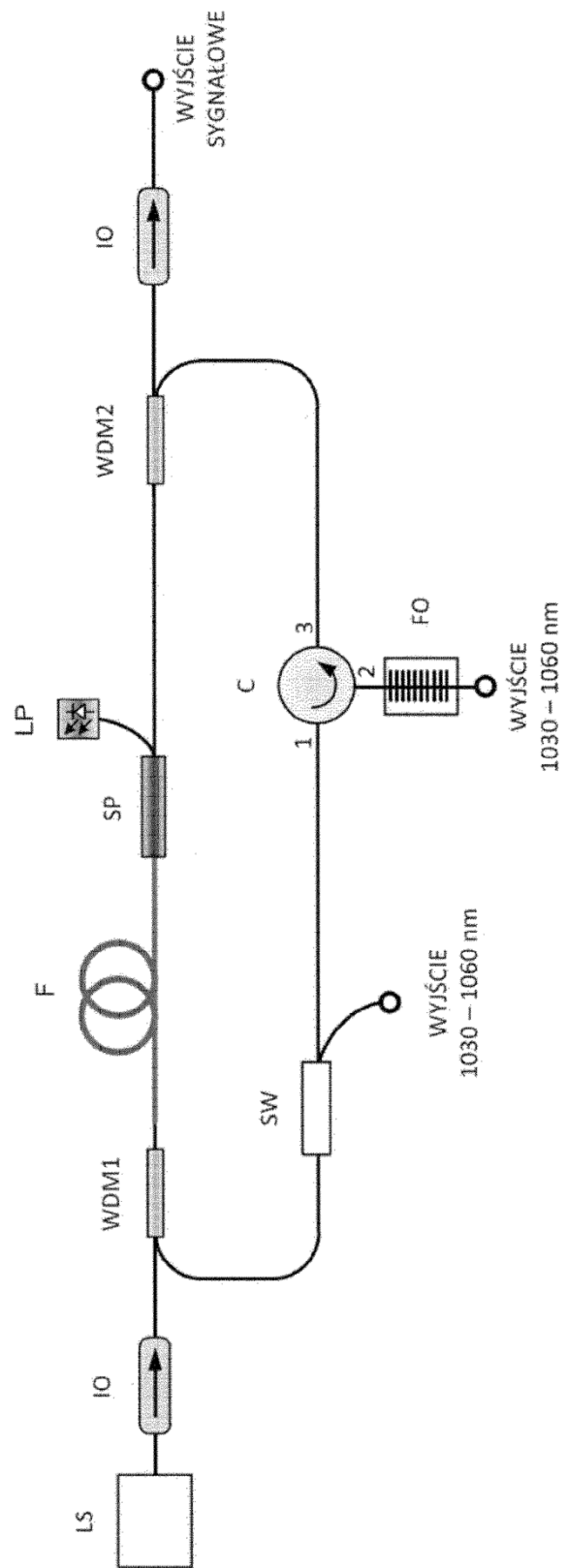


Fig.4

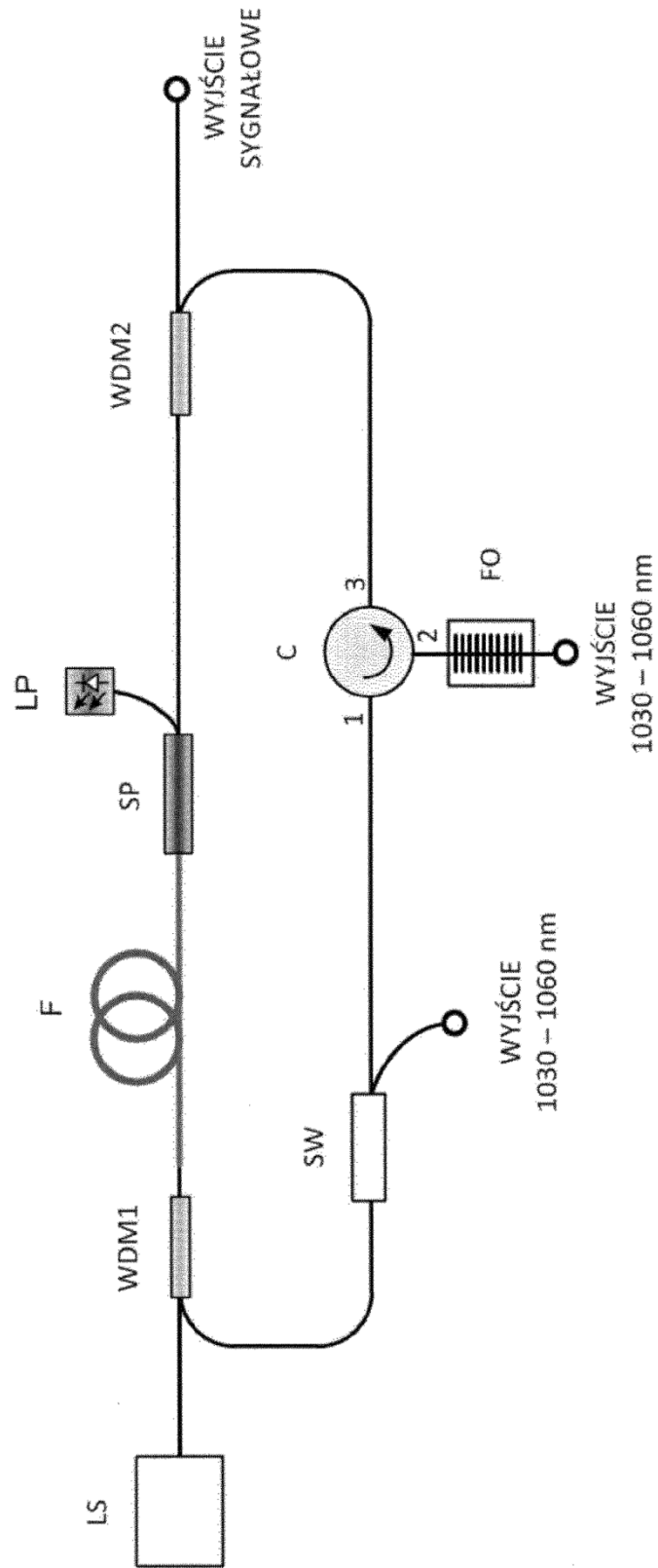


Fig.5

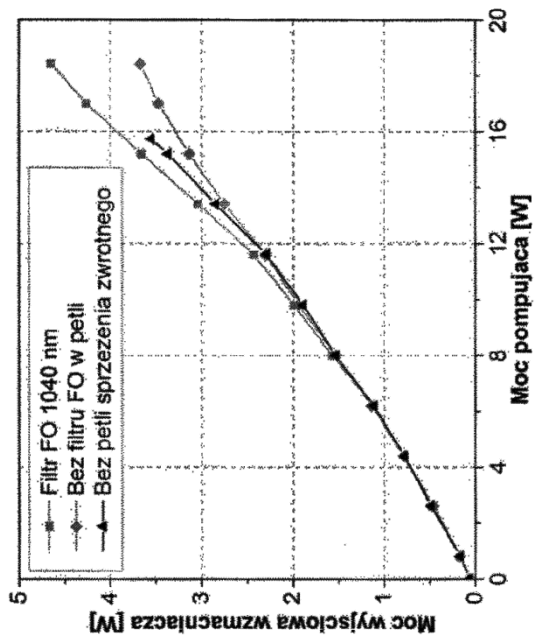


Fig. 6