

RZECZPOSPOLITA
POLSKA



Urząd Patentowy
Rzeczypospolitej Polskiej

(12) **OPIS PATENTOWY** (19) **PL** (11) **227634**

(13) **B1**

(21) Numer zgłoszenia: **413787**

(22) Data zgłoszenia: **02.09.2015**

(51) Int.Cl.

G01D 5/26 (2006.01)

G01B 11/00 (2006.01)

G02B 6/122 (2006.01)

G02B 6/124 (2006.01)

(54) **Układ światłowodowy do monitorowania zmian wielkości fizycznych materiałów**

(43) Zgłoszenie ogłoszono:

29.03.2016 BUP 07/16

(45) O udzieleniu patentu ogłoszono:

31.01.2018 WUP 01/18

(73) Uprawniony z patentu:

POLITECHNIKA WROCŁAWSKA, Wrocław, PL

(72) Twórca(y) wynalazku:

ELŻBIETA BEREŚ-PAWLIK, Wrocław, PL

MATEUSZ MĄDRY, Wrocław, PL

PL 227634 B1

Opis wynalazku

Przedmiotem wynalazku jest układ światłowodowy do monitorowania zmian wielkości fizycznych materiałów, w szczególności temperatury i naprężenia.

Układ czujnikowy z wykorzystaniem światłowodowych siatek Bragga do wykrywania zmian fizycznych wielkości został opisany w zgłoszeniu patentowym US 2014/0299753. Ten czujnik tworzy światłowód zasilany z szerokopasmowego źródła światła, które poprzez cyrkulator optyczny kierowane jest na dwie światłowodowe siatki Bragga, pomiędzy którymi wykonany jest czujnik optyczny, na przykład filtr Fabry'ego-Perota dla selektywnego wybierania pasma światła. Zasada działania opiera się na tym, iż wiązka świetlna propagowana w światłowodzie wprowadzana przez cyrkulator optyczny odbijana jest na długościach fali charakterystycznych dla danych siatek. Następnie intensywność światła odbitego od pierwszej siatki i intensywność światła odbitego od drugiej siatki jest zamieniana na dwa różne sygnały elektryczne. Element jednostki optycznej, jakim jest filtr Fabry-Perota pozwala na oddzielenie dwóch odbitych długości fali światła. Następnie na podstawie sygnałów z dwóch siatek w jednostce analizującej dokonuje się pomiaru badanych wielkości.

Innymi rozwiązaniami są metody z wykorzystaniem siatek Bragga zademonstrowane w publikacji Implementation of Interrogation Systems for Fiber Bragg Grating Sensors ukazanej w 2013 r. w Photonic Sensors. Pierwszy układ dotyczy zmian intensywności światła odbitego poprzez użycie siatki Bragga o widmie transmisyjnym o takich samych parametrach jak oświetlające źródło. Druga metoda polega na użyciu źródła światła, układu optycznego oraz dwóch siatek Bragga o takich samych parametrach spektralnych. Metoda ta bazuje na siatkach Bragga, które są dopasowane pod względem spektralnym (jedna siatka Bragga stanowi siatkę referencyjną) i pozwalają na pomiar danej wielkości poprzez zmianę mocy odbitej tylko jednej z nich.

Istota układu według pierwszej odmiany wynalazku polega na tym, że posiada szerokopasmowe źródło światła, podłączone do światłowodowej linii sensorowej wyposażonej w siatkę Bragga, poprzez cyrkulator optyczny, na którego wyjściu znajduje się miernik mocy optycznej, zaś w linii sensorowej będącej światłowodem jednomodowym wykonane są kolejno trzy siatki Bragga zestrojone w dziedzinie długości fali, w ten sposób, że posiadają pokrywające się charakterystyki spektralne, natomiast każda kolejna siatka dla długości fali Bragga ma współczynnik odbicia większy niż poprzednia, przy czym kolejne siatki mają procentowe współczynniki odbicia w zakresie odpowiednio: 30%–45%, 50%–65% oraz 70%–85%.

Korzystnie, szerokopasmowym źródłem światła jest odcinek światłowodu domieszkowany pierwiastkami ziem rzadkich, pobudzony przez diodę laserową, świecący luminescencyjnie.

Korzystnie, przed cyrkulatorem optycznym znajduje się sprzęgacz optyczny, do którego podłączone są równoległe linie sensorowe.

Istota drugiej odmiany układu polega na tym, że posiada szerokopasmowe źródło światła, podłączone do światłowodowej linii sensorowej wyposażonej w siatkę Bragga, poprzez cyrkulator optyczny, na którego wyjściu znajduje się miernik mocy optycznej, przy czym w linii sensorowej będącej światłowodem jednomodowym wykonane są kolejno trzy siatki Bragga, siatka filtrująca oraz dwie siatki skanujące, zestrojone w ten sposób, że siatka filtrująca charakteryzuje się szerokością spektralną większą niż szerokość spektralna siatek skanujących, zawierającą się w zakresie od 1 do 5 nm i głębokością transmisyjną przekładającą się na maksymalny współczynnik odbicia dla długości fali Bragga, przypadający w zakresie spektralnym zestrojonym z siatkami skanującymi i wynoszący od 2 dB do 9 dB, przy czym zbocza charakterystyki spektralnej siatki filtrującej mają szerokość spektralną nie mniejszą niż szerokości spektralne siatek skanujących, ponadto siatki skanujące charakteryzują się szerokościami spektralnymi nie przekraczającymi 1 nm i głębokościami transmisyjnymi w zakresie od 5 dB do 15 dB, zaś długości fali Bragga obu siatek przypadają symetrycznie odpowiednio powyżej i poniżej długości fali Bragga siatki filtrującej, w zakresie nie przekraczającym połowy szerokości spektralnej siatki filtrującej, czyli na obu zboczach charakterystyki spektralnej siatki filtrującej, przy czym spektra odbiciowe siatek: filtrującej oraz siatek skanujących, zawierają się w zakresie spektralnym szerokopasmowego źródła światła.

Korzystnie, szerokopasmowym źródłem światła jest odcinek światłowodu domieszkowany pierwiastkami ziem rzadkich, pobudzony przez diodę laserową, świecący luminescencyjnie.

Korzystnie, przed cyrkulatorem optycznym znajduje się sprzęgacz optyczny, do którego podłączone są równoległe linie sensorowe.

Układ w obu odmianach przedstawiony jest bliżej w przykładach realizacji i na rysunku, którego fig. 1 przedstawia konstrukcję układu, fig. 2 – charakterystyki spektralne siatek Bragga dla pierwszej odmiany wynalazku, fig. 3 – charakterystyki spektralne siatek Bragga dla drugiej odmiany wynalazku, a fig. 4 – sieć sensorową zbudowaną w oparciu o układ w obu odmianach.

Przykład 1

Układ światłowodowy do monitorowania zmian wielkości fizycznych materiałów posiada diodę laserową 1 wprowadzającą szerokopasmową wiązkę światła do linii sensorowej będącej światłowodem jednomodowym. Na wyjściu cyrkulatora optycznego 4, wpiętego pomiędzy diodę laserową 1 a dalszą część linii sensorowej, znajduje się miernik mocy optycznej 5. W linii sensorowej wykonane są kolejno trzy siatki Bragga, z których pierwsza jest siatką filtrującą 6, a dwie kolejne siatkami skanującymi 7, 8, zestrojone w dziedzinie długości fali, w ten sposób, że posiadają pokrywające się charakterystyki spektralne, przy czym każda kolejna siatka dla długości fali Bragga ma współczynnik odbicia większy niż poprzednia, tak, że kolejne współczynniki odbicia mają wartość odpowiednio 0,3573, 0,5387, 0,7441, co odpowiada głębokościom transmisyjnym wynoszącym dla kolejnych siatek odpowiednio 1,92 dB, 3,36 dB, 5,92 dB.

Przykład 2

Układ wykonany jak w przykładzie 1, przy czym zaprojektowany jest dla pracy w zakresie 1530–1560 nm. Za diodą laserową 1 wytwarzającą światło o długości fali 980 nm, znajduje się odcinek światłowodu domieszkowanego jonami pierwiastków ziem rzadkich 2. Domieszka jonami erbu daje szerokopasmową luminescencję w paśmie 1550 nm. Rząd długości fal Bragga dla wszystkich siatek jest zestrojony i mieści się w zakresie od 1541 nm do 1542,5 nm.

Przykład 3

Układ wykonany jak w przykładzie 1 lub 2, z tą różnicą, że przed cyrkulatorem optycznym 4 w torze transmisyjnym znajduje się sprzęgacz optyczny 3, do którego podłączone są równoległe linie sensorowe, tworząc rozległą przestrzennie sieć sensorową.

Przykład 4

Układ światłowodowy do monitorowania zmian wielkości fizycznych materiałów, posiada diodę laserową 1, stanowiącą szerokopasmowe źródło światła, podłączone do światłowodowej linii sensorowej poprzez cyrkulator optyczny 4, na którego wyjściu znajduje się miernik mocy optycznej 5, zaś w linii sensorowej będącej światłowodem jednomodowym wykonane są kolejno trzy siatki Bragga, siatka filtrująca 6 oraz dwie siatki skanujące 7, 8, zestrojone w ten sposób, że siatka filtrująca 6 charakteryzuje się szerokością spektralną większą niż szerokość spektralna siatek skanujących, w tym przypadku 4,62 nm i głębokością transmisyjną 3,77 dB, przekładającą się na maksymalny współczynnik odbicia dla długości fali Bragga, na poziomie 0,58, przypadający w zakresie spektralnym zestrojonym z siatkami skanującymi, przy czym zbocza charakterystyki spektralnej siatki filtrującej mają szerokość spektralną około 1,5 nm, ponadto siatki skanujące charakteryzują się szerokościami spektralnymi: pierwsza i druga siatka skanująca 7, 8 odpowiednio 0,82 nm i 0,77 nm, i głębokościami transmisyjnymi, 10,8 dB, co daje maksymalny współczynnik odbicia 0,917 dla pierwszej siatki skanującej 7 i 10,3 dB, co daje maksymalny współczynnik odbicia na poziomie 0,907 dla drugiej siatki skanującej 8, zaś długości fali Bragga obu siatek przypadają symetrycznie odpowiednio poniżej i powyżej długości fali Bragga siatki filtrującej, na obu zboczach charakterystyki spektralnej siatki filtrującej. Spektra odbiciowe siatek: filtrującej 6 oraz siatek skanujących 7, 8, zawierają się w zakresie spektralnym szerokopasmowego źródła światła 1.

Przykład 5

Układ wykonany jak w przykładzie 4, przy czym szerokopasmowym źródłem światła jest odcinek światłowodu domieszkowanego jonami erbu 2, pobudzany przez światło diody laserowej 1 o dł. fali 980 nm, przez co uzyskuje się szerokopasmową luminescencję w paśmie 1530–1560 nm. Długość fali Bragga siatki filtrującej wynosi 1534,02 nm, zaś długości fali Bragga pierwszej siatki skanującej 7 i drugiej siatki skanującej 8 wynoszą odpowiednio 1532,95 nm oraz 1534,59 nm, czyli przypadają na zboczach charakterystyki spektralnej siatki filtrującej 6.

Przykład 6

Układ jak w przykładzie 4 lub 5, z tą różnicą, że pomiędzy cyrkulatorem optycznym 4 a domieszkowanym odcinkiem światłowodu 2 znajduje się sprzęgacz optyczny 3, do którego podłączone są równoległe linie sensorowe, tworząc rozległą przestrzennie sieć sensorową.

Przykład 7

Układ jak w przykładzie 4 lub 6, z tą różnicą, że jako szerokopasmowe źródło światła stosuje się odcinek światłowodu domieszkowanego jonami neodymu pobudzany przez diodę laserową emitującą światło o długości fali 808 nm, przez co luminescencja zachodzi w paśmie 1,06 μm .

Działanie układu według pierwszej odmiany wynalazku jest następujące: pierwsza siatka Bragga stanowi siatkę filtrującą. Zmiana temperatury bądź naprężenia dotycząca kolejnych siatek Bragga powoduje zmianę intensywności światła odbitego od takiego układu sensorowego. Współczynniki kierunkowe funkcji intensywności światła będą zależne od współczynnika odbicia danej siatki Bragga, a więc od odpowiedniej siatki. W związku z tym moc odbita będzie się zmieniać w zależności od tego, jaka konkretnie siatka Bragga zmienia temperaturę bądź naprężenie wzdłużne. To pozwala na rozróżnienie, której siatki Bragga dotyczy zmiana parametru zewnętrznego. Nachylenie krzywej odbitej mocy optycznej będzie różne dla siatek o różnych współczynnikach odbicia. Tak więc jednostkowa zmiana mocy odbitej zapewnia możliwość szybkiego przyporządkowania, która siatka Bragga uległa wpływowi parametrów środowiskowych, tj. temperatury czy naprężeń. Światło odbite dociera do odpowiedniego typu detektora (InGaAs, Si), bądź do kuli całkującej i wynik mocy odbitej, proporcjonalnej do zmiany mierzonej wielkości fizycznej jest uzyskiwany na mierniku mocy optycznej.

W drugiej odmianie wynalazku wykorzystywany jest efekt zmiany efektywnego współczynnika załamania rdzenia światłowodu (ang. Effective refractive index) n_{eff} , w którym naświetlona jest siatka, a zarazem okresu siatki A , a tym samym długości fali Bragga poprzez zmianę mierzonej temperatury lub naprężenia. Widmo światła odbitego zmienia się w konsekwencji z powodu przytoczonych wyżej czynników. Zmiana charakterystyki spektralnej wąskopasmowych siatek Bragga z dużą głębokością transmisyjną skorelowanych z filtrującą szerokopasmową siatką Bragga wywołuje zmianę intensywności, światła skanującego odbitego. W efekcie intensywność światła odbitego będzie ulegać zmianie w zależności od modyfikacji temperatury czy naprężenia wzdłużnego dla danej siatki Bragga. Zmiana wielkości mierzonych implikuje zmianę intensywności światła odbitego i w konsekwencji zmianę mocy. Współczynnik kierunkowy funkcji zmiany intensywności światła odbitego jest różny dla dwóch skorelowanych siatek Bragga. Jeśli zmiana parametru fizycznego następuje w sposób liniowy, detekowana moc optyczna ulega zmianie w sposób liniowy, dla jednej z siatek dyfrakcyjnych (na lewym zboczku spektralnym filtrującej siatki) następuje przyrost odczytywanej mocy optycznej, a dla drugiej z nich (na prawym zboczku spektralnym filtrującej siatki) następuje spadek mocy optycznej. Siatka filtrująca w proponowanym układzie sensorycznym o określonych zboczach spektralnych pozwala na pomiar różnicowy mocy odbitej dla takiego układu sensorowego, która jest zależna od widma optycznego skanujących siatek (w zależności od temperatury i naprężenia). Na podstawie funkcji liniowej zmiany mocy zależnej od relacji dwóch siatek skanujących istnieje możliwość detekcji parametrów środowiskowych. Po wykonaniu stosownego opracowania analitycznego istnieje możliwość obliczenia współczynnika kierunkowego funkcji liniowej odpowiadającej za moc odbitą od układu sensorycznego, a zarazem identyfikacji położenia siatki pomiarowej. Tak zaprojektowany quasi-rozłożony układ sensorowy pozwala na pomiar zmian wielkości fizycznych w różnych miejscach w środowisku naturalnym, tj. gruntu, wody, powierzchni, przy jednoczesnym bardzo małym koszcie produkcji.

Przedstawione powyżej koncepcje można zwielokrotnić poprzez wykorzystanie różnych zakresów długości fal. To prowadzi do stworzenia układu monitorującego nie tylko w jednej, ale w dwóch płaszczyznach. W proponowanym układzie n -ta światłowodowa linia sensoryczna składa się ze skorelowanych ze sobą siatek Bragga dedykowanych dla konkretnego pasma częstotliwości. Poza specjalnymi układami światłowodowych siatek Bragga wymagane jest szerokopasmowe źródło światła. Można to zrealizować poprzez wykorzystanie światłowodów domieszkowanych pierwiastkami ziem rzadkich, np. erbem, neodymem czy iterbem, oraz miernika mocy optycznej wyposażonego w odpowiedni typ detektora dla danego zakresu długości fali.

Zastrzeżenia patentowe

1. Układ światłowodowy do monitorowania zmian wielkości fizycznych materiałów, który posiada szerokopasmowe źródło światła, podłączone do światłowodowej linii sensorowej wyposażonej w siatkę Bragga, poprzez cyrkulator optyczny, na którego wyjściu znajduje się miernik mocy optycznej, **znamienny tym**, że w linii sensorowej będącej światłowodem jednomodowym wykonane są kolejno trzy siatki Bragga (6), (7), (8), zestrojone w dziedzinie długości

- fali, w ten sposób, że posiadają pokrywające się charakterystyki spektralne, natomiast każda kolejna siatka dla długości fali Bragga ma współczynnik odbicia większy niż poprzednia, przy czym kolejne siatki mają procentowe współczynniki odbicia w zakresie odpowiednio: 30%–45%, 50%–65% oraz 70%–85%.
2. Układ według zastrz. 1, **znamienny tym**, że szerokopasmowym źródłem światła (1a) jest odcinek światłowodu (2) domieszkowany pierwiastkami ziem rzadkich, pobudzony przez diodę laserową (1), świecący luminescencyjnie.
 3. Układ według zastrz. 1, **znamienny tym**, że przed cyrkulatorem optycznym (4) znajduje się sprzęgacz optyczny (3), do którego podłączone są równoległe linie sensorowe.
 4. Układ światłowodowy do monitorowania zmian wielkości fizycznych materiałów, który posiada szerokopasmowe źródło światła, podłączone do światłowodowej linii sensorowej wyposażonej w siatkę Bragga, poprzez cyrkulator optyczny, na którego wyjściu znajduje się miernik mocy optycznej, **znamienny tym**, że w linii sensorowej będącej światłowodem jednomodowym wykonane są kolejno trzy siatki Bragga, siatka filtrująca (6) oraz dwie siatki skanujące (7), (8), zestrojone w ten sposób, że siatka filtrująca (6) charakteryzuje się szerokością spektralną większą niż szerokość spektralna siatek skanujących, zawierającą się w zakresie od 1 do 5 nm i głębokością transmisyjną przekładającą się na maksymalny współczynnik odbicia dla długości fali Bragga, przypadający w zakresie spektralnym zestrojonym z siatkami skanującymi i wynoszący od 2 dB do 9 dB, przy czym zbocza charakterystyki spektralnej siatki filtrującej (6) mają szerokość spektralną nie mniejszą niż szerokości spektralne siatek skanujących (7), (8), ponadto siatki skanujące (7), (8), charakteryzują się szerokościami spektralnymi nie przekraczającymi 1 nm i głębokościami transmisyjnymi w zakresie od 5 dB do 15 dB, zaś długości fali Bragga obu siatek przypadają symetrycznie odpowiednio powyżej i poniżej długości fali Bragga siatki filtrującej (6), w zakresie nie przekraczającym połowy szerokości spektralnej siatki filtrującej (6), czyli na obu zboczach charakterystyki spektralnej siatki filtrującej (6), przy czym spektra odbiciowe siatek: filtrującej (6) oraz siatek skanujących (7), (8), zawierają się w zakresie spektralnym szerokopasmowego źródła światła (1a).
 5. Układ według zastrz. 4, **znamienny tym**, że szerokopasmowym źródłem światła (1a) jest odcinek światłowodu (2) domieszkowany pierwiastkami ziem rzadkich, pobudzony przez diodę laserową (1), świecący luminescencyjnie.
 6. Układ według zastrz. 4, **znamienny tym**, że przed cyrkulatorem optycznym (4) znajduje się sprzęgacz optyczny (3), do którego podłączone są równoległe linie sensorowe.

Rysunki

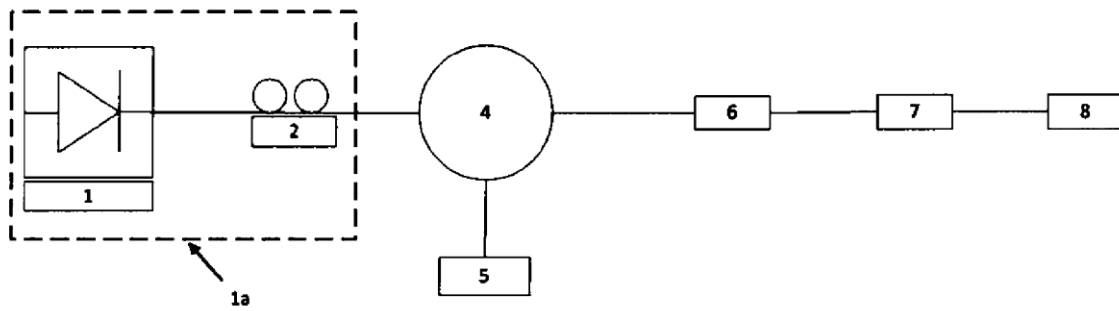


Fig. 1

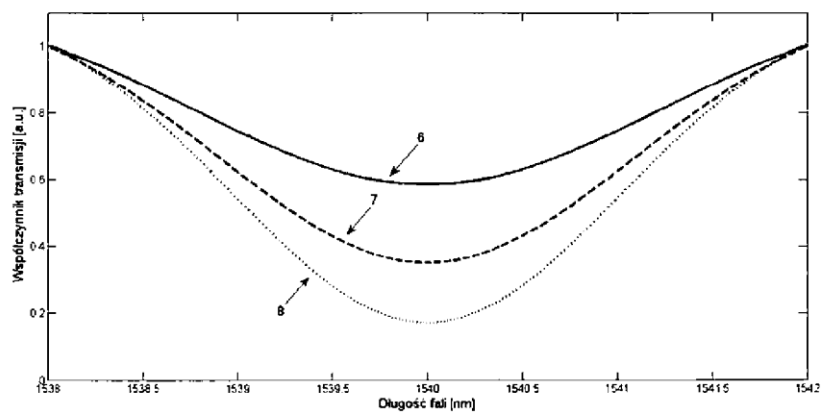


Fig. 2

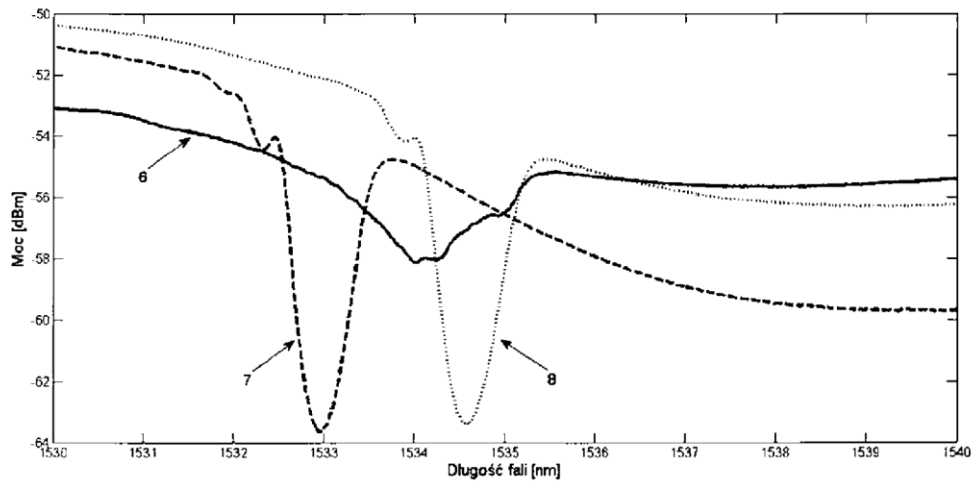


Fig. 3

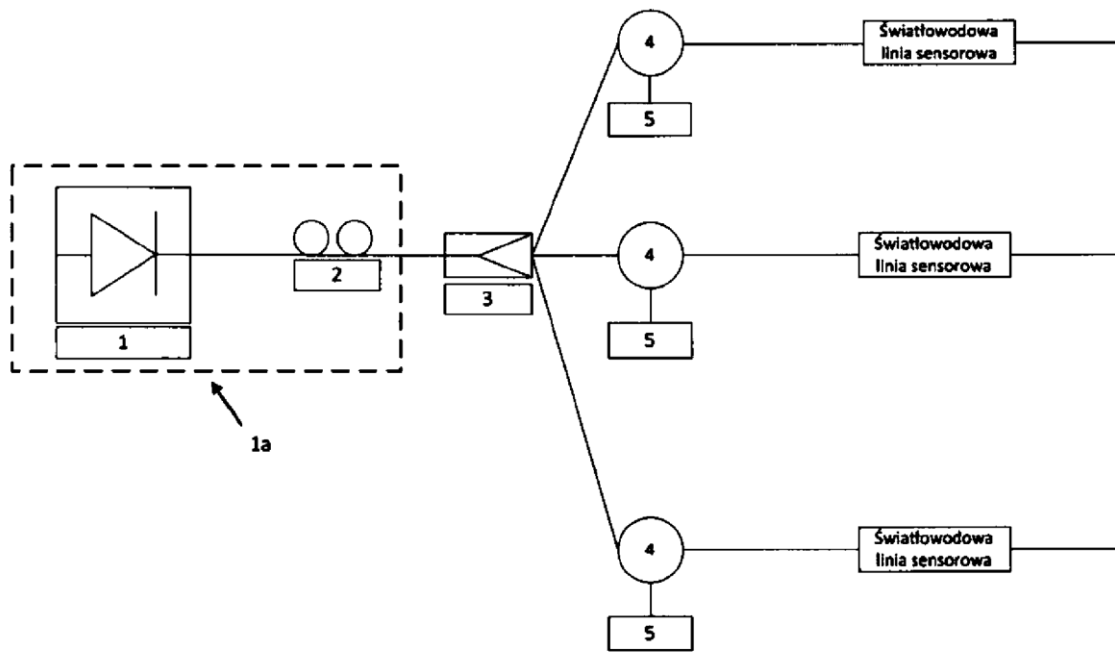


Fig. 4

