

RZECZPOSPOLITA
POLSKA



Urząd Patentowy
Rzeczypospolitej Polskiej

(12) **OPIS PATENTOWY** (19) **PL** (11) **233804**

(13) **B1**

(21) Numer zgłoszenia: **424241**

(22) Data zgłoszenia: **10.01.2018**

(51) Int.Cl.

G01N 21/00 (2006.01)

G01N 21/23 (2006.01)

G02B 6/00 (2006.01)

(54)

Światłowodowy przetwornik pomiarowy

(43) Zgłoszenie ogłoszono:

15.07.2019 BUP 15/19

(45) O udzieleniu patentu ogłoszono:

29.11.2019 WUP 11/19

(73) Uprawniony z patentu:

POLITECHNIKA GDAŃSKA, Gdańsk, PL

(72) Twórca(y) wynalazku:

PAWEŁ WIERZBA, Gdańsk, PL

MARZENA HIRSCH, Gdańsk, PL

DARIA MAJCHROWICZ, Gdańsk, PL

MAŁGORZATA

JĘDRZEJEWSKA-SZCZERSKA, Gdańsk, PL

(74) Pełnomocnik:

rzecz. pat. Małgorzata Kluczyk

PL 233804 B1

Opis wynalazku

Przedmiotem wynalazku jest światłowodowy przetwornik pomiarowy mający zastosowanie do budowy czujników do pomiarów wybranych parametrów wielkości fizycznych, takich jak ciśnienie, czy temperatura, w zastosowaniach biomedycznych, biofotonicznych, np. do pomiaru zawartości glukozy, czy poziomu hematokrytu.

Z polskiej dokumentacji patentowej Pat. 204016 znany jest światłowodowy czujnik i sposób pomiaru stężenia wodoru w różnych środowiskach. Światłowodowy czujnik według wynalazku charakteryzuje się tym, że przed zwierciadlaną warstwą katalityczną ma naniesioną chemochromiczną wnękę rezonansową i dielektryczne lub metaliczne zwierciadło półprzepuszczalne, przy czym warstwa katalityczna, chemochromiczna wnęką rezonansową oraz zwierciadło półprzepuszczalne tworzą wielowarstwową strukturę interferometru Fabry'ego-Perota. Optyczny czujnik charakteryzuje się specyficzną konstrukcją głowicy pomiarowej. Głowica jest wielowarstwową strukturą, naniesioną na koniec odsłoniętego włókna światłowodowego, której parametry optyczne i geometryczne są tak dobrane, by spełniała ona warunek interferencji dla pomiarowej długości fali. Wnęką rezonansową jest warstwa wykonana z materiału chemochromicznego, który wskutek absorpcji atomowego wodoru zmienia swoje parametry optyczne. Pierwsze zwierciadło (od strony włókna) jest zwierciadłem półprzepuszczalnym i może ono być dielektryczne lub metaliczne. Drugim zwierciadłem jest natomiast cienka warstwa katalityczna, korzystnie wykonana z palladu. Głowicę sensorową opcjonalnie można wyposażać w dodatkową polimerową lub metaliczną warstwę ochronną. Metaliczna warstwa, wykonana korzystnie z glinu, ma jeszcze jedną funkcję. Jej zadaniem jest zwarcie pola fali elektromagnetycznej na zewnątrz układu warstw.

W dokumentacji zgłoszeniowej CN103234672 ujawniono oparty na kompensacji temperaturowej światłowodowy czujnik ciśnienia z kryształem dwójłomnym i sposób jego wytwarzania. Czujnik zawiera optyczną głowicę z interferometrem Fabry'ego-Perota, którego długość wnęki zależy od wielkości działającego ciśnienia, kryształ dwójłomny, soczewkę kolimującą, szklaną kapilarę, rurki ze szkła kwarcowego i światłowód wielomodowy. Sygnały optyczne kolejno przechodzą przez dwójłomny kryształ i światłowodową głowicę czujnika ciśnienia Fabry'ego-Perota, a następnie moduluje się różnicę drogi optycznej. Dwukrotny pomiar ciśnienia i temperatury uzyskuje się przez wykrywanie zmienności różnicy drogi optycznej dwójłomnego kryształu i światłowodowej głowicy pomiarowej Fabry'ego-Perota. Warstwa dwójłomna umieszczona jest za wnęką rezonansową, a zatem sygnał odbity podany na wejście spektrometru lub analizatora widma sygnału optycznego da w wyniku jeden zestaw prążków, tak jak dla „klasycznego” interferometru Fabry'ego-Perota, niezależnie od wartości różnicy dróg optycznych wprowadzanej przez kryształ dwójłomny.

Celem wynalazku jest opracowanie światłowodowego przetwornika pomiarowego, stanowiącego uniwersalną bazę do budowy specjalistycznych, o ściśle określonym przeznaczeniu, czujników pomiarowych wykorzystujących łatwo dostępny jednomodowy światłowód telekomunikacyjny.

Światłowodowy przetwornik pomiarowy zawierający naniesioną na koniec włókna światłowodu głowicę sensorową o wielowarstwowej strukturze interferometru Fabry'ego-Perota, zawierającego dwie płasko-równoległe warstwy odbijające, pomiędzy którymi znajduje się wnęką rezonansową, korzystnie osłoniętą kapilarą charakteryzuje się według wynalazku tym, że materiałem wnęki rezonansowej jest materiał dwójłomny, zaś światłowód jest światłowodem jednomodowym, pracującym w trybie odbiciowym.

Korzystnie materiałem wnęki rezonansowej jest materiał dwójłomny oraz materiał izotropowy, przy czym materiał dwójłomny jest w postaci płytki opóźniającej w zakresie od 0,1 do 0,5 długości fali, umieszczonej we wnękę rezonansowej od strony światłowodu.

Korzystnie materiał dwójłomny jest materiałem jednoosiowym.

Interferometr wchodzący w skład przetwornika według wynalazku składa się z dwóch płasko-równoległych czołowych powierzchni odbijających oddalonych od siebie wnęką rezonansową. Odbicie promieniowania optycznego od powierzchni światłowodu jednomodowego i powierzchni drugiej warstwy naniesionej na ten światłowód lub powierzchni zwierciadła wynika ze zjawiska Fresnela lub z zastosowania dielektrycznych lub metalicznych warstw odbijających.

Charakterystyki spektralne promieniowania odbitego od takiego interferometru zależą od długości wnęki rezonansowej i współczynników załamania: światłowodu i materiału wnęki rezonansowej. W znanych interferometrach, we wnękę rezonansowej znajdują się materiały izotropowe, jeżeli chodzi o współczynnik załamania.

We wnętrzu rezonansowej rozwiązania według wynalazku znajduje się jednoosiowy materiał dwójłomny, którego oś optyczna jest równoległa do powierzchni odbijających, a jej kierunek jest stały w całej wnęce. Wchodząc do wnęki rezonansowej interferometru, padająca fala płaska jest rozdzielana na dwie fale składowe, spolaryzowane liniowo w kierunkach do siebie prostopadłych. Jeden z kierunków pokrywa się z kierunkiem osi optycznej. Jeżeli we wnętrzu nie występuje znaczące rozpraszanie, to obie fale są propagowane we wnętrzu bez wymiany energii i można je rozpatrywać oddzielnie.

Jeżeli fala padająca na interferometr jest niespolaryzowana lub spolaryzowana kołowo, to natężenie odbitego promieniowania optycznego wyraża się wzorem:

$$I_r \approx \frac{F \sin^2\left(\frac{\delta_o}{2}\right)}{1 + F \sin^2\left(\frac{\delta_o}{2}\right)} \frac{I_i}{2} + \frac{F \sin^2\left(\frac{\delta_e}{2}\right)}{1 + F \sin^2\left(\frac{\delta_e}{2}\right)} \frac{I_i}{2} \quad (1)$$

gdzie:

F – współczynnik finezji (ang. finesse)

δ_o – różnica fazy odpowiadająca dwukrotnemu przejściu fali zwyczajnej (ang. *ordinary wave*) przez wnękę interferometru („z lewej do prawej i z prawej do lewej”), albo różnica fazy między dwiema kolejnymi wiązkami fali zwyczajnej odbitymi od interferometru, przy czym

$$\delta_o = \frac{4\pi}{\lambda} n_o h$$

λ – długość fali,

h – długość wnęki,

n_o – współczynnik załamania dla fali zwyczajnej,

δ_e – różnica fazy odpowiadająca dwukrotnemu przejściu fali nadzwyczajnej (ang. *extraordinary wave*) przez wnękę interferometru („z lewej do prawej i z prawej do lewej”), albo różnica fazy między dwiema kolejnymi wiązkami fali nadzwyczajnej odbitymi od interferometru

$$\delta_e = \frac{4\pi}{\lambda} n_e h$$

λ – długość fali,

h – długość wnęki,

n_o – współczynnik załamania dla fali zwyczajnej.

Pracę interferometru według wynalazku można rozpatrywać w dwóch przypadkach. W pierwszym przypadku, gdy współczynniki odbicia obu powierzchni odbijających są wysokie, a zatem współczynnik finezji wynosi $F \gg 1$, a materiałem wnęki rezonansowej jest materiał dwójłomny. Stosunek natężenia promieniowania odbitego do natężenia promieniowania padającego $I_r(\lambda)/I_i(\lambda)$ staje się sumą dwóch systemów prążków, jak przedstawiono to na fig. 2, gdy różnica faz wynosi $\delta_e - \delta_o = \pi/2$ albo na fig. 3, gdy różnica faz wynosi $\delta_e - \delta_o = \pi/5$.

Jeżeli różnica faz wynosi $\delta_e - \delta_o = \pi/2$, to w dowolnym zakresie widmowym otrzymuje się podwójną liczbę prążków, w porównaniu do liczby prążków interferometru Fabry'ego-Perota z wnęką wypełnioną wyłącznie materiałem izotropowym. Właściwość ta może zostać wykorzystana w interferometrach o bardzo krótkiej wnęce rezonansowej w celu ograniczenia szerokości widma promieniowania optycznego wymaganego do poprawnego przeprowadzenia pomiarów.

W ten sam sposób będzie się jednak zachowywał się interferometr Fabry'ego-Perota w wariacie wynalazku, z wnęką wypełnioną materiałem izotropowym, o ile we wnętrzu tej dodatkowo umieszczona jest płytka opóźniająca w zakresie od 0,1 do 0,5 długości fali wykonana z materiału dwójłomnego.

Pomiar z wykorzystaniem interferometru według wynalazku może być realizowany w zakresie długości fali 1200–1300 nm lub 1600–1700 nm. Realizacja pomiaru w tych zakresach długości fali jest problematyczna, głównie ze względu na brak źródeł promieniowania optycznego pracujących w tych zakresach długości fali. Zmiana położenia minimów wymagałaby zwiększenia grubości warstwy we wnętrzu, co nie zawsze jest możliwe, ze względu na ograniczenia procesów nakładania warstw. Wprowadzając do wnęki element dwójłomny o przesunięciu fazy wynoszącym $3/8 \pi$ rad dokonujemy modyfikacji charakterystyki widmowej w taki sposób, że uzyskujemy dodatkowe minimum dla fali o długości

ok. 1550 nm, co umożliwi prostą realizację pomiaru, w oparciu o tani i szeroko dostępny sprzęt telekomunikacyjny. Zastosowanie materiałów dwójłomnych pozwala na uzyskanie jakościowo nowej klasy interferometrów Fabry'ego-Perota.

Wynalazek jest bliżej objaśniony w przykładzie wykonania na rysunku, na którym:

fig. 1 przedstawia schematycznie przetwornik, w którym materiałem wnęki rezonansowej jest materiał dwójłomny w przekroju pionowym,

fig. 2 przedstawia charakterystykę widmową stosunku I_r/I_i w interferometrze Fabry'ego-Perota, w którym materiałem wnęki rezonansowej jest materiał dwójłomny, przy wartości $F=100$ i różnicy faz wynoszącej $\delta_e - \delta_o = \pi/2$,

fig. 3 przedstawia charakterystykę widmową stosunku I_r/I_i w interferometrze Fabry'ego-Perota, w którym materiałem wnęki rezonansowej jest materiał dwójłomny, przy wartości $F=100$ i różnicy faz wynoszącej $\delta_e - \delta_o = \pi/5$,

fig. 4 przedstawia schematycznie przetwornik z płytką opóźniającą i zwierciadłem w przekroju pionowym,

fig. 5 przedstawia schematycznie przetwornik z płytką opóźniającą i zwierciadłem, umieszczony wewnątrz kapilary w przekroju pionowym,

fig. 6 przedstawia charakterystykę widmową stosunku I_r/I_i przy $F=100$ i różnicy faz wynoszącej $\delta_e - \delta_o = 3/8 \pi$ w interferometrze Fabry'ego-Perota z płytką opóźniającą,

fig. 7 porównawczo przedstawia charakterystykę widmową stosunku I_r/I_i w interferometrze Fabry'ego-Perota, w którym materiałem wnęki rezonansowej jest materiał izotropowy, przy wartości $F=100$.

P r z y k ł a d I

Przetwornik z wnęką rezonansową wypełnioną materiałem dwójłomnym jednoosiowym jak pokazano na fig. 1.

Na czoło światłowodu jednomodowego 1 w znany sposób naniesiona jest pierwsza warstwa 2 odbijająca promieniowanie optyczne o wymaganym współczynniku odbicia R (np. $R=0,8$). Warstwa ta charakteryzuje się możliwie małymi stratami, tzn. współczynnik transmisji T jest możliwie bliski $1-R$. Wnęka rezonansowa 3 wypełniona jest materiałem 4 dwójłomnym jednoosiowym o wymaganej różnicy faz, np. $\pi/2$ rad lub $\pi/5$ rad, w postaci warstwy wykonanej poprzez polerowanie lub trawienie np. kryształu kalcytu lub ortowanadanu itru w taki sposób, aby oś optyczna była równoległa do powierzchni warstwy. Tak wykonaną warstwę 4 przykleja się za pomocą beznaprężeniowego kleju optycznego do czoła światłowodu 1 na uprzednio naniesioną pierwszą warstwę odbijającą 2. Przyklejoną warstwę 4 przycina się do wymiarów czoła światłowodu 1. Warstwę 4 materiału dwójłomnego osadza się na czole światłowodu 1 np. za pomocą techniki CVD (ang. *Chemical Vapour Deposition*). Na tak wykonaną warstwę 4 materiału dwójłomnego naniesiona jest druga warstwa 5 odbijająca promieniowanie optyczne.

P r z y k ł a d II

Przetwornik z płytką opóźniającą jak pokazano na fig. 4

Przetwornik wykonany jest jak w przykładzie I, przy czym materiał dwójłomny 4 wykonany jest w postaci płytki opóźniającej ćwierćfalowej o różnicy faz $3/8 \pi$. Na tak wykonaną płytkę opóźniającą 4 naniesiony jest materiał izotropowy 6 stanowiący materiał czujnikowy, którego współczynnik załamania, grubość, rodzaj oraz sposób nanoszenia są znane i zależą od wartości wielkości mierzonej (np. temperatury). W przypadku czujnika temperatury jest to warstwa ditlenku tytanu TiO_2 lub tlenku cynku ZnO wytwarzana w technice osadzania warstw atomowych (ang. *ALD – Atomic Layer Deposition*) lub w technice CVD (ang. *Chemical Vapour Deposition*). Na warstwę materiału izotropowego 6 naniesiona jest druga warstwa 5 odbijająca promieniowanie optyczne. Dla niektórych rodzajów warstw czujnikowych i rodzajów warstw odbijających konieczne jest nałożenie warstwy pośredniej, np. ze szkła kwarcowego (SiO_2) o grubości kilkudziesięciu nanometrów, celem zapewnienia adhezji warstwy odbijającej do warstwy materiału czujnikowego.

P r z y k ł a d III

Przetwornik z płytką opóźniającą wewnątrz kapilary jak pokazano na fig. 5

Przetwornik zbudowany jest jak w przykładzie II. Do szklanej kapilary 7 o średnicy wewnętrznej nieco większej (1–5 mikrometrów) od średnicy światłowodu 1 i długości od kilku do kilkunastu milimetrów, o prostopadle do jej osi symetrii spolerowanych krawędziach, przyklejona jest płytka 5 drugiej warstwy odbijającej o średnicy nie mniejszej niż średnica zewnętrzna kapilary 7. Przetwornik wprowadzony jest do wnętrza kapilary 7, tak by warstwa czujnikowa dotykała zwierciadła 5. Wprowadzony do kapilary 7 światłowód 1 zamocowany jest w znany sposób poprzez klejenie lub spawanie.

Zastrzeżenia patentowe

1. Światłowodowy przetwornik pomiarowy zawierający naniesioną na koniec włókna światłowodu głowicę sensorową o wielowarstwowej strukturze interferometru Fabry'ego-Perota, zawierającego dwie płasko-równoległe warstwy odbijające, pomiędzy którymi znajduje się wnęka rezonansowa, korzystnie osłoniętą kapilarą **znamienny tym**, że materiałem wnęki rezonansowej (3) jest materiał dwójłomny (4), zaś światłowód (1) jest światłowodem jednomodowym, pracującym w trybie odbiciowym.
2. Przetwornik według zastrz. 1, **znamienny tym**, że materiałem wnęki rezonansowej (3) jest materiał dwójłomny (4) oraz materiał izotropowy (6), przy czym materiał dwójłomny (4) jest w postaci płytki opóźniającej w zakresie od 0,1 do 0,5 długości fali, umieszczonej we wnęcie rezonansowej (3) od strony światłowodu (1).
3. Przetwornik według zastrz. 1 albo 2 **znamienny tym**, że materiał dwójłomny jest materiałem jednoosiowym.

Rysunki

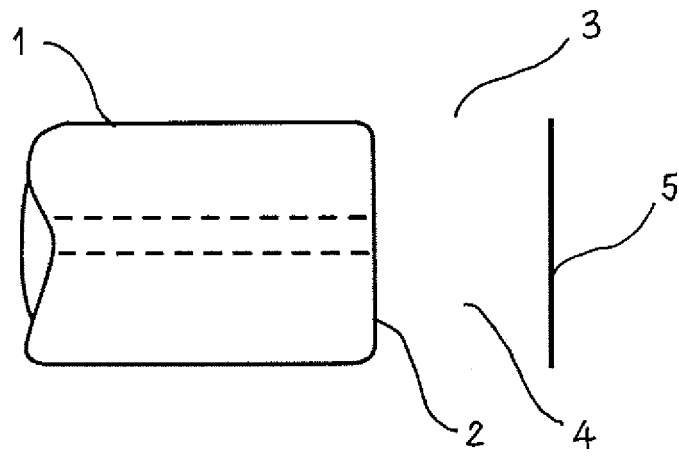


Fig. 1

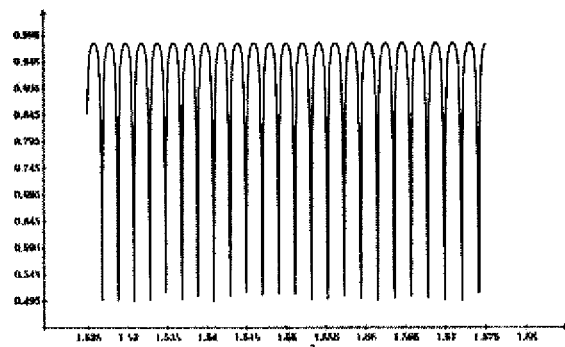


Fig. 2

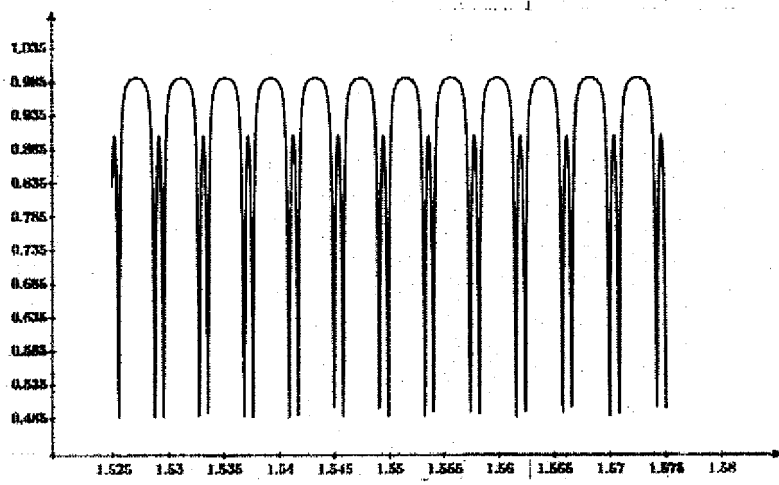


Fig. 3

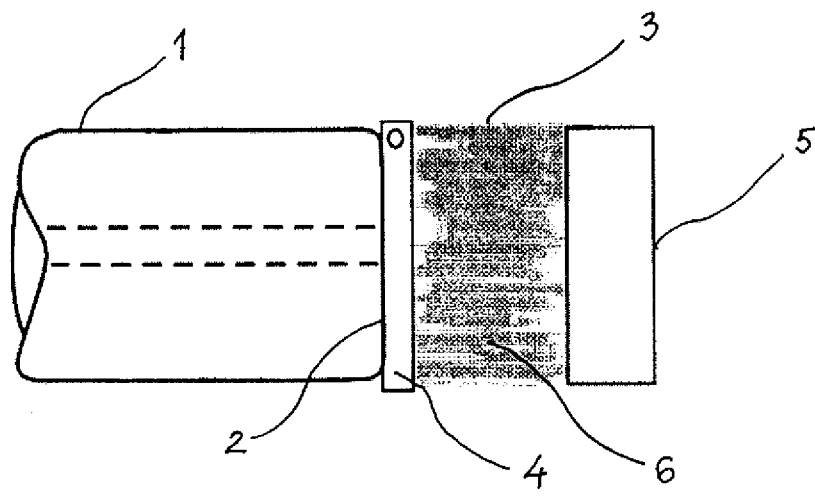


Fig. 4

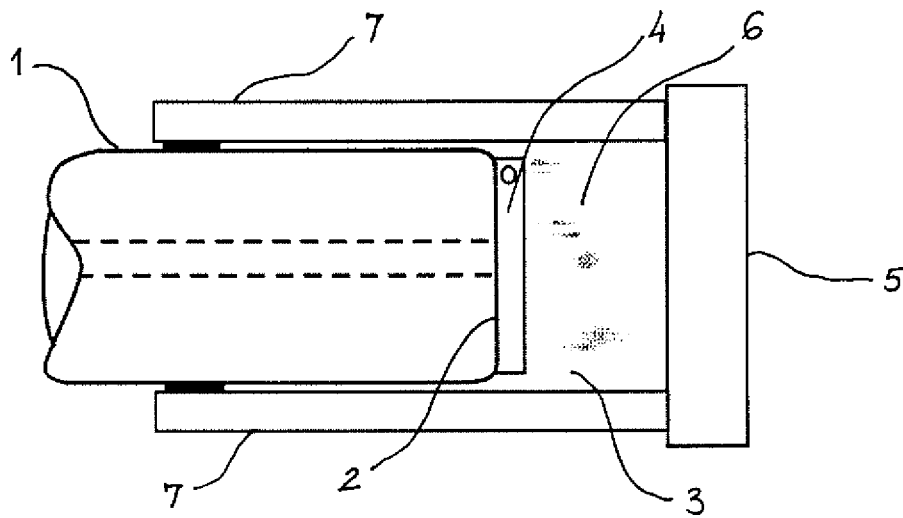


Fig. 5

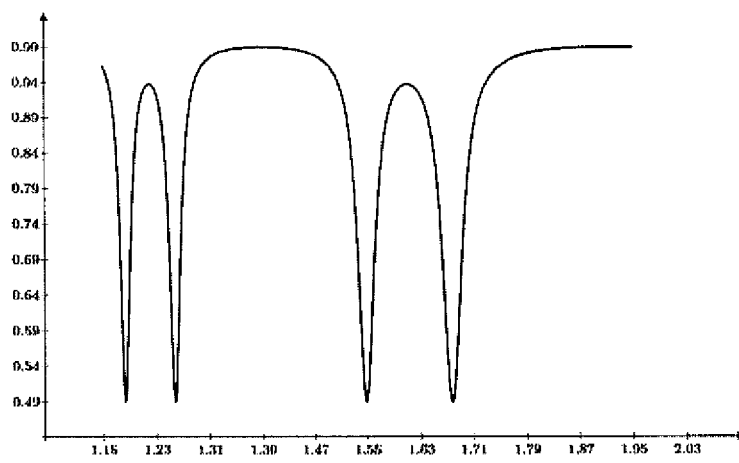


Fig. 6

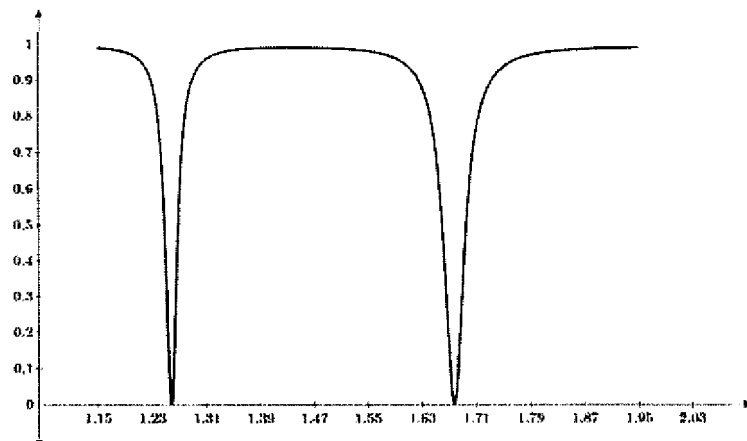


Fig. 7

