



FI000108581B



SUOMI - FINLAND
(FI)

PATENTTI- JA REKISTERIHALLITUS
PATENT- OCH REGISTERSTYRELSEN

(12) PATENTTIJULKAISU
PATENTSKRIFT

(10) FI 108581 B

(45) Patentti myönnetty - Patent beviljats

15.02.2002

(51) Kv.lk.7 - Int.kl.7

G02B 5/28, 5/20

(21) Patentihakemus - Patentansökning

963976

(22) Hakemispäivä - Ansökningsdag

03.10.1996

(24) Alkupäivä - Löpdag

03.10.1996

(41) Tullut julkiseksi - Blivit offentlig

04.04.1998

(73) Haltija - Innehavare

1 •Valtion teknillinen tutkimuskeskus, Espoo, Vuorimiehentie 5, 02044 VTT, SUOMI - FINLAND, (FI)

(72) Keksijä - Uppfinnare

1 •Lehto, Ari, Raekuja 3, 00700 Helsinki, SUOMI - FINLAND, (FI)

2 •Blomberg, Martti, Jönsaksenpolku 4 A 7, 01600 Vantaa, SUOMI - FINLAND, (FI)

3 •Torkkeli, Altti, Kilonrinne 10 C 68, 02610 Espoo, SUOMI - FINLAND, (FI)

(74) Asiamies - Ombud: Seppo Laine Oy
Itämerenkatu 3 B, 00180 Helsinki

(54) Keksinnön nimitys - Uppfinningens benämning

Sähköisesti säädettävä optinen suodin
Elektriskt reglerbart optiskt filter

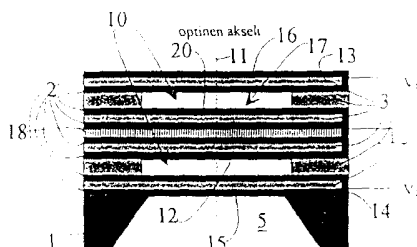
(56) Viitejulkaisut - Anförda publikationer

US A 4973131 (G02B 5/28), US A 4799745 (G02B 5/28), US A 5345328 (G02F 1/21), WO A 90/15349 (G02B 5/28),
WO A 97/01777 (G02B 5/28)

(57) Tiivistelmä - Sammandrag

Keksintö koskee sähköstaattisesti säädettävissä oleva. piumikromeekaanisesta kerrosrakenteesta muodostettua optista suodinta. Suodin käsittää oleellisen tasomaisen substraatin (1), substraatin (1) päälle muodostetun ensimmäisen peilin (15) ja tämän päälle muodostetun toisen peilin (17), ja peilien (15, 17) väliin muodostetun optisen resonaattorikammion (10), jonka pituus on likimain $n \cdot \lambda/2$, missä $n=1,2,3$. Keksinnön mukaan toisen peilin (17) päälle on muodostettu vielä kolmas peilirakenne (16), ja kolmannen peilin (16) ja toisen peilin (17) väliin on muodostettu toinen optinen resonaattori (10), jonka pituus on likimain $n \cdot \lambda/2$, missä $n=1,2,3$.

Uppfinningen avser ett elektrostatiskt reglerbart, optiskt filter bildat av en kiselmikromeekanisk skiktstruktur. Filtret omfattar ett väsentligen plant substrat (1), en på substratet (1) bildad första spegel (15) och en på densamma bildad andra spegel (17) och en mellan speglarna (15, 17) bildad optisk resonatorkammare (10), som uppvisar en längd på i det närmaste $n \cdot \lambda/2$, där $n=1, 2, 3$. Enligt uppfinningen är ytterligare en tredje spegelkonstruktion (16) bildad på den andra spegeln (17), och mellan den tredje spegeln (16) och den andra spegeln (17) är en andra optisk resonator (10) bildad, som uppvisar en längd på i det närmaste $n \cdot \lambda/2$, där $n=1, 2, 3$.



Sähköisesti säädettävä optinen suodin

Keksinnön kohteena on patenttivaatimuksen 1 johdannon mukainen sähköisesti säädettävä optinen kaistanpäästösuodin.

5

Keksintö on tarkoitettu käytettäväksi sähköisesti moduloitavana optisena kaistanpäästösuotimena sovelluksissa, joissa tarvitaan suuri kontrasti tai 1-2 säädettävää läpäisykaistaa.

- 10 Fabry-Perot interferometrejä käytetään optisessa analyysissä ja modulaattoreissa optisina kaistanpäästösuotimina. Piin pintamikromekaniikka tarjoaa käytännöllisen mahdollisuuden valmistaa hyvälaatuisia suotimia VIS-IR-alueelle (Visible Infrared). Tällä tekniikalla tehdyt interferometrit ovat ns. lyhyitä interferometrejä, mikä tarkoittaa sitä, että optisen resonaattorin pituus on 1-3 puoliaaltoa. Päästökaistan
- 15 leveys riippuu peilien heijastuskertoimista. Suorituskykyä voidaan kuvata kaistan leveydellä (Full Width at Half Maximum, FWHM) ja kontrastilla, joka on läpäisyintensiteetin maksimin suhde läpäisyn intensiteettiin päästökaistan vieressä. Pii-piidioksidi-pii kolmikerrokspeileillä kaistan leveys on noin 2% päästökaistan aallonpituudesta. Kontrasti on tyypillisesti n. 200-300. Sähköstaattisella säädöllä
- 20 saadaan n. 25% säätöalue nollajännitettä vastaavaan aallonpituuteen verrattuna.

- Optiset kaistanpäästösuotimet ovat yleensä kerrosrakenteisia interferenssisuotimia, joiden päästökaistaa ei voi säätää. Säädettävät suotimet ovat tavallisesti Fabry-Perot
- 25 tyyppisiä, joista viimeisimmät versiot on toteutettu piin pintamikromekaniikalla. Tätä tekniikkaa on kuvattu mm. julkaisussa M. Blomberg, M. Orpana, A. Lehto, "Sähköisesti säädettävä pintamikromekaaninen Fabry-Perot interferometri käytettäväksi optisessa materiaalianalyysissä", US-patenttihakemus-08/386,773. Näissä on tyypillisesti kolmikerrokspeilit, jotka on tehty vuorotellen monikiteisestä piistä ja piidioksidista. Peilin kerrosten optinen paksuus on $\lambda/4$:n pariton monikerta,
- 30 tyypillisesti yksi $\lambda/4$. Kaistanleveyteen voidaan vaikuttaa peilien kerrosten lukumäärällä, mutta kontrastia ei voida merkittävästi kasvattaa tällä tavoin eikä päästökaistaa jakaa osiin.

Keksintö perustuu siihen, että optisessa kaistanpäästösuotimessa on kaksi sähköisesti säädettävää pintamikromekaanista Fabry- Perot suodinta kiinteästi päällekkäin samalla optisella akselilla.

5

Täsmällisemmin sanottuna keksinnön mukaiselle optiselle suotimelle on tunnusomaista se, mikä on esitetty patenttivaatimuksen 1 tunnusmerkkiosassa.

Keksinnöllä saavutetaan huomattavia etuja

10

Keksinnön mukaisella ratkaisulla voidaan kasvattaa kontrasti useisiin kymmeneen tuhansiin, jopa sataan tuhanteen, ja vaihtoehtoisesti päästökaista voidaan jakaa kahdeksi kaistaksi. Läpäisykaistasta saadaan lievästi kaksihuippuinen, mikäli sovituserroksen taitekerroin poikkeaa ykkösestä. Jos keskipeili on identtinen reunapeilien kanssa, saadaan kaksi läpäisykaistaa, joiden kontrasti on luokkaa 10 000 pii-piidioksidi-pii peilirakenteella. Tämä mahdollistaa kahden aallonpituuden analysoinnin yhtäaikaan, mikä on mahdotonta suotimella, jolla on vain yksi läpäisykaista. Huippujen paikkaa voidaan myös säätää.

15

20 Keksintöä ryhdytään seuraavassa lähemmin tarkastelemaan oheisten kuvioiden mukaisten suoritusmerkkien avulla.

Kuvio 1 esittää halkileikattuna sivukuvantona yhtä keksinnön mukaista optista suodinta.

25

Kuvio 2 esittää graafisesti sellaisen keksinnön mukaisen suotimen päästökaistaa, jossa on ilmasovitus peilien välissä.

Kuvio 3 esittää graafisesti sellaisen keksinnön mukaisen suotimen päästökaistaa, jossa on piidioksidisovitus peilien välissä.

30

Kuvio 4 esittää graafisesti sellaisen keksinnön mukaisen suotimen päästökaistaa, jossa on piinitridisovitus peilien välissä.

5 Kuvio 5 esittää graafisesti keksinnön mukaisen suotimen päästökaistaa kolmella eri ohjausjännitteellä, jolloin vastaavat ilmaraot ovat 420 nm, 450 nm ja 480 nm.

Kuvio 6a esittää halkileikattuna sivukuvantona sellaista keksinnön mukaista suodinta, joka on tarkoitettu aallonpituuksille, jotka ovat pienempiä kuin 1,1 μm .

10 Kuvio 6b esittää halkileikattuna sivukuvantona sellaista keksinnön mukaista suodinta, joka on tarkoitettu aallonpituuksille, jotka ovat suurempia kuin 1,1 μm .

Kuvio 7 esittää halkileikattuna sivukuvantona sellaista keksinnön mukaista suodinta, jossa optinen sovitus on toteutettu ilmakerroksella.

15

Kuvio 8 esittää keksinnön mukaista suodinta ylhäältä päin kuvattuna.

Kuvio 9 esittää halkileikattuna sivukuvantona sellaista keksinnön mukaista suodinta, jossa ilmaraot ovat 450 nm pitkät ja keskipeili on yhteinen.

20

Kuvio 10 esittää graafisesti kuvion 9 mukaisen suotimen päästökaistaa, kun ilmaraot ovat 450 nm pitkät.

25 Kuvion 1 mukaisesti keksinnön mukainen rakenne muodostuu siis substraatin 1 päälle muodostetusta ensimmäisestä resonaattorista 15, 10, 12 ja tämän päälle muodostetusta toisesta resonaattorista 20, 10, 16. Alinna rakenteessa on piisubstraatti 1, johon on syövytetty aukko 5 suotimen kohdalle. Aukon 5 päällä on kolmikerrospeili 15, jota valmistusjärjestyksen mukaan voidaan kutsua ensimmäiseksi peiliksi. Peili 15 muodostuu vuorottelevista polypiikerroksista 2 ja piidioksidikerroksista 3. Samanlainen peili 16 on rakenteessa myös ylimpänä,
30 kolmantena peilinä. Keskimäinen kerrosrakenne 17, muodostuu kahdesta samanlaisesta kolmikerrospeilistä 12 ja 20, joiden välissä on sovituserros 18, jonka

optinen paksuus on $\lambda/4$. Aallonpituus λ on suotimen päästökaistan aallonpituus. Sovituskerroksen 18 materiaalin taitekerroin on edullisimmin 1 (ilma tai vakuumi), jos halutaan yksi suuren kontrastin omaava läpäisykaista. Käytännössä saadaan hyvä tulos vaikka kerros 18 olisi piidioksidia, jonka taitekerroin on n. 1,46. Keskimmäisen peilirakenteen 17 ylä- ja alapuolella ovat ontelot 10, jotka toimivat optisina resonaattoreina. Ontelon 10 pituus optisen akselin 11 suunnassa on tyypillisesti $n \cdot \lambda/2$, missä $n=1,2,3$.

Onteloiden 10 pituutta voidaan säätää toisistaan riippumattomasti johtaviin alueisiin 13 ja 14 kytketyillä jännitteillä V_1 ja V_2 , jotka aiheuttavat sähköisen voiman uloimpien peilien 15 ja 16 sekä keskipeilirakenteen 17 välille. Keskipeiliä 17 voi käyttää yhteisenä jänniteterminaalina. Sähköstaattisen voiman vaikutuksesta ulommat peilit 15 ja 16 taipuvat kohti keskipeiliä 17. Päästökaistan paikkaa voi säätää noin 25% lepoaallonpituudesta. Tarvittava säätöjännite on tyypillisesti muutamasta voltista muutamaan kymmeneen volttiin, täysin riippuen lepoaallonpituudesta eli onteloiden korkeudesta ja peilien sisäisestä jännityksestä. Säätöön voidaan käyttää niin tasa- kuin vaihtojännitettäkin.

IR- alueella ($\lambda > 1,1 \mu\text{m}$) peilien alla olevaa aukkoa 5 ei kuvion 6b mukaisesti tarvita, koska heikosti seostettu pii on läpinäkyvä.

Kuviossa 2 on esitetty kuvion 6a suodattimen läpäisykaista, kun sovituserroksen 18 taitekerroin on yksi (ilma), kuviossa 3, kun se on piidioksidia ja kuviossa 4, kun se on piinitridiä. Kuviossa 5 on esitetty säätöjännitteen vaikutus läpäisykaistan paikkaan, kun kummankin interferometrin jännitteet ovat yhtä suuret. Sovituserros 18 on tässä tapauksessa piidioksidia.

Interferometrin tarkempi kerrosrakenne piisubstraattia käytettäessä on esitetty kuvioissa 6a ja 6b. Interferometri tehdään kasvattamalla vuorottaisia polypiikerroksia 2 ja piidioksidikerroksia 3 tasomaisen substraatin 1 päälle. Substraatti 1 voi olla yksikiteistä piitä, germaniumia, metallioksidia tai -nitridiä, litiumniobaattia, lasia, tai jokin yhdistepuolijohde, esim. GaAs. Metallioksidi voi olla esim. alumiinioksidi ja

nitridi esim. titaaninitridi. Periaatteessa substraatti 1 voi olla mitä tahansa ainetta, jonka pinnalle peilikerrokset voi tehdä, ja jonka optiset ominaisuudet sopivat tarkoitukseen. Jos substraatti 1 on läpinäkyvä valitulla aallonpituusalueella, niin rakenne voi olla kuvion 6b mukainen. Jos substraatti 1 on piitä, niin aallonpituuden ollessa suurempi kuin n. 1,1 μm , aukkoa 5 ei tarvita. Oksidi voidaan poistaa interferometrinen peilien välistä 10 aukkojen 4 kautta esim. fluorivetyhapolla. Aukkojen 4 seinät ovat monikiteistä piitä. Interferometrinen peilien läpimitta on tyypillisesti 1-2 mm ja peilien kerrosten 2 ja 3 optinen paksuus on $\lambda/4$. Aukot 4 voivat olla läpimitaltaan erittäin pieniä, muutama mikrometri riittää. Aukko 5 syövytetään tarvittaessa piihin esim. KOH:lla tai TMAH:lla, jolloin kerros 6, tyypillisesti piinitridiä, toimii syövytyksen pysäyttäjänä. Jos aukkoa 5 ei syövytetä, on piisubstraatin alapinnalle tehtävä antiheijastuskalvo 7, tyypillisesti $\lambda/4$ -kerros piinitridiä. Tällöin kerros 6 on edullisimmin piidioksidia. Antiheijastuskalvon 7 optinen paksuus on $\lambda/4$ mille tahansa substraatille ja sen edullisin taitekerroin on neliöjuuri substraatin taitekertoimesta.

Jos keskipeilien välissä käytetään ilmakerrosta (tai vakuumia) 18, interferometrinen rakenne on kuvion 7 mukainen.

Koska peilikerrokset kasvatetaan tasomaisina päällekkäin, ovat keskipeilit kiinteästi toisissaan kiinni. Päältä katsottuna interferometri näyttää kuvion 8 mukaiselta. Yläpeili 16 kuten muutkin peilit ovat edullisimmin ympyrän muotoisia ja myös reiät 4 on sijoitettu ympyrän kehälle. Tummat neliöt 20 ovat kontaktointialueet sähkön syöttöä varten.

Keskimmäisen peilin 17 ei tarvitse olla kahden peilin sovitettu yhdistelmä, vaan sen kerrosten lukumäärä voi olla pienempikin. Kuviossa 9 on esitetty rakenne, jossa keskipeili 17 on samanlainen kuin muutkin peilit. Kuviossa 10 on esitetty tätä rakennetta vastaava vaste, jossa on kaksi läpäisykaistaa. Kontrastiksi tällä rakenteella saadaan n. 10000 pii-piidioksidi-pii-peilirakenteella.

Patenttivaatimukset:

- 5 1. Sähköisesti säädettävissä oleva, piimikromeekaanisesta kerrosrakenteesta muodostettu optinen suodin, joka käsittää
- oleellisen tasomaisen substraatin (1),
- 10 - substraatin (1) päälle muodostetun ensimmäisen peilin (15) ja tämän päälle muodostetun toisen peilin (17), ja
- peilien (15, 17) väliin muodostetun optisen resonaattorikammion (10), jonka optinen pituus on likimain $n * \lambda/2$, missä $n=1,2,3$,
- 15 t u n n e t t u siitä, että
- toisen peilin (17) päälle on muodostettu vielä kolmas peilirakenne (16), ja
- 20 - kolmannen peilin (16) ja toisen peilin (17) väliin on muodostettu toinen optinen resonaattori (10), jonka optinen pituus on likimain $n * \lambda/2$, missä $n=1,2,3$.
- 25 2. Patenttivaatimuksen 1 mukainen optinen suodin, t u n n e t t u siitä, että suotimen kerrosrakenteiden (2, 3) optiset paksuudet ovat oleellisesti mittausaallonpituuden neljäsosan paksuisia.
- 30 3. Patenttivaatimuksen 1 mukainen optinen suodin, t u n n e t t u siitä, että toinen peili (17) käsittää kaksi peilirakennetta (12, 20), joiden väliin on muodostettu optinen sovituserros (18).

4. Patenttivaatimuksen 1 mukainen optinen suodin, t u n n e t t u siitä, että suodin käsittää sähköiset kontaktit (13, 14) kummankin optisen resonaattorin (10) pituuden säätämiseksi itsenäisesti sähköisen voiman avulla.
- 5 5. Patenttivaatimuksen 1 mukainen optinen suodin, t u n n e t t u siitä, substraatti (1) on yksikiteistä piitä, yksikiteistä germaniumia, litiumniobaattia, lasia, metallioksidia tai -nitridiä tai jokin yhdistepuolijohde.
6. Patenttivaatimuksen 1 mukainen optinen suodin, t u n n e t t u siitä, että peilit (15, 10 16, 17) on tehty vuorottelevista pii- (2) ja piidioksidikerroksista (3).
7. Patenttivaatimuksen 1 mukainen optinen suodin, t u n n e t t u siitä, että toisen peilirakenteen (17) optinen sovituserros (18) on piitä, germaniumia, litiumniobaattia, lasia, metallioksidia, piidioksidia tai piinitridiä tai jokin yhdistepuolijohde.
- 15 8. Patenttivaatimuksen 1 mukainen optinen suodin, t u n n e t t u siitä, että toisen peilirakenteen (17) optinen sovituserros (18) on ilma.
9. Patenttivaatimuksen 1 mukainen optinen suodin, t u n n e t t u siitä, että 20 substraatin (1) alapinnalla on antiheijastuskalvo (7).
10. Patenttivaatimuksen 1 mukainen optinen suodin, t u n n e t t u siitä, että se muodostuu kahdesta kiinteästi päällekkäin olevasta Fabry- Perot tyyppisestä interferometrasta, joilla on yhteinen peili (17).
- 25 11. Patenttivaatimuksen 1 mukainen optinen suodin, t u n n e t t u siitä, että rakenteen kaikki peilit (15, 17, 16) ovat ainakin likimain identtiset.

Patentkrav:

1. Elektroniskt reglerbart, optiskt filter bildat av en kiselmikromekanisk skiktstruktur, omfattande

- ett väsentligen plant substrat (1),

5 - en på substratet (1) bildad första spegel (15) och en på densamma bildad andra spegel (17), och

- en mellan speglarna (15, 17) bildad optisk resonatorkammare (10), som uppvisar en längd på i det närmaste $n \cdot \lambda/2$, där $n=1,2,3$,

k ä n n e t e c k n a t av att

10 - ytterligare en tredje spegelkonstruktion (16) är bildad på den andra spegeln (17), och

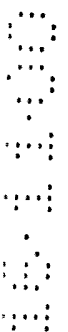
- mellan den tredje och (16) och den andra spegeln (17) är en andra optisk resonator (10) bildad, som uppvisar en längd på i det närmaste $n \cdot \lambda/2$, där $n=1,2,3$.

15 2. Ett optiskt filter enligt patentkrav 1, k ä n n e t e c k n a t av att de optiska tjocklekarna i filtrets skiktstrukturer (2, 3) är väsentligen en fjärdedel av mätningstvåglängden.

3. Ett optiskt filter enligt patentkrav 1, k ä n n e t e c k n a t av att den andra spegeln (17) omfattar två spegelkonstruktioner (12, 20), mellan vilka ett optiskt anpassningsskikt (18) är bildat.

20 4. Ett optiskt filter enligt patentkrav 1, k ä n n e t e c k n a t av att filtret omfattar elektriska kontakter (13, 14) för att självständigt kunna reglera längden av de bägge optiska resonatorerna (10) medelst elkraft.

5. Ett optiskt filter enligt patentkrav 1, k ä n n e t e c k n a t av att substratet (1) utgörs av en enkristallinisk kisel, enkristalliniskt germanium, litiumniobat, glas, metall-oxid eller -nitrid eller en kombinationshalvledare.
6. Ett optiskt filter enligt patentkrav 1, k ä n n e t e c k n a t av att speglarna (15, 16,
5 17) är gjorda av alternerande kisel- (2) och kiseldioxidskikt (3).
7. Ett optiskt filter enligt patentkrav 1, k ä n n e t e c k n a t av att den andra spegelkonstruktionens (17) optiska anpassningsskikt (18) utgörs av kisel, germanium, litiumniobat, glas, metalloxid, kiseldioxid eller kiselnitrid eller en kombinationshalvledare.
- 10 8. Ett optiskt filter enligt patentkrav 1, k ä n n e t e c k n a t av att den andra spegelkonstruktionens (17) optiska anpassningsskikt (18) utgörs av luft.
9. Ett optisk filter enligt patentkrav 1, k ä n n e t e c k n a t av att på substratets (1) undre yta är en antireflexfilm (7).
10. Ett optiskt filter enligt patentkrav 1, k ä n n e t e c k n a t av att det bildas av två
15 tätt på varandra belägna interferometrar av Fabry-Perot typ, vilka har en gemensam spegel (17).
11. Ett optiskt filter enligt patentkrav 1, k ä n n e t e c k n a t av att strukturens alla speglar (15, 17, 16) är åtminstone approximativt identiska.



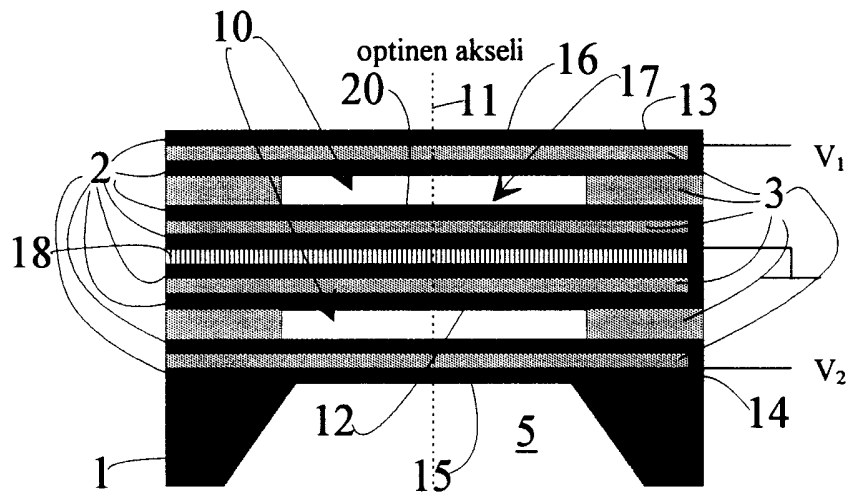


Fig. 1

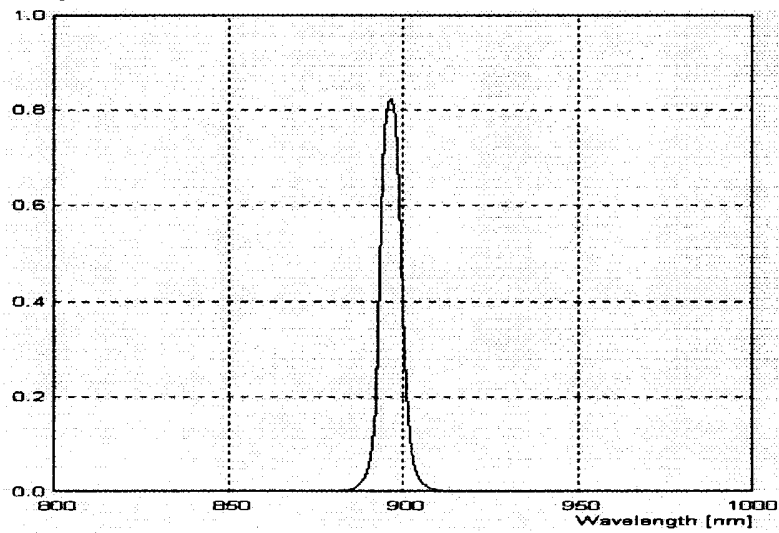


Fig. 2

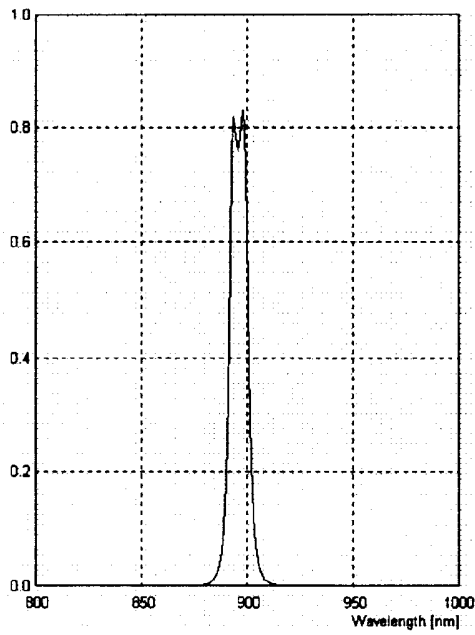


Fig. 3

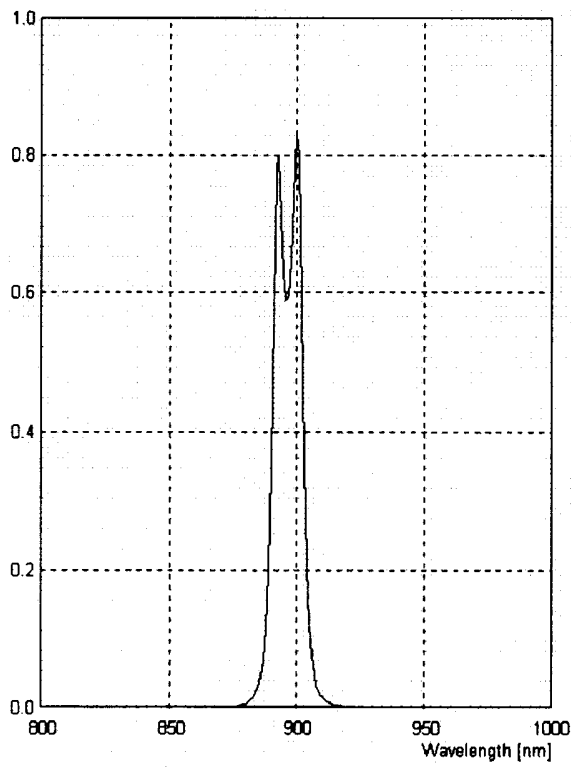


Fig. 4

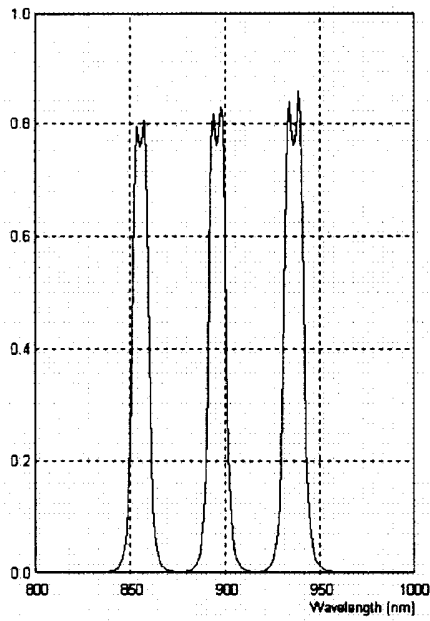


Fig. 5

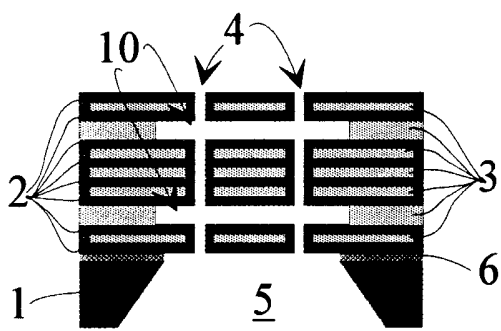


Fig. 6a

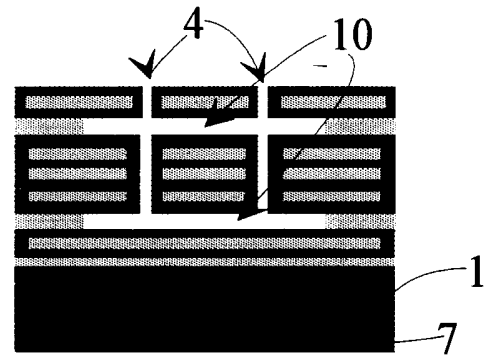


Fig. 6b

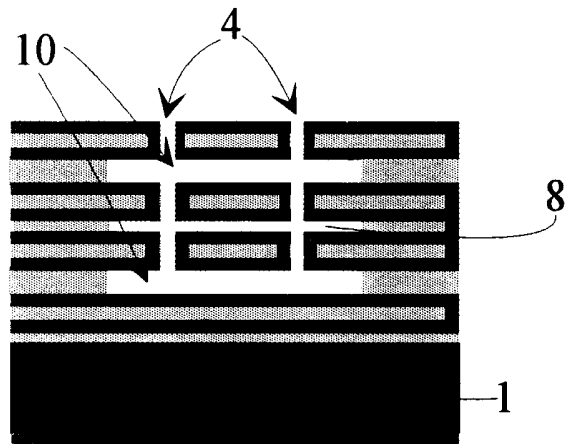


Fig. 7

