

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges
Eigentum

Internationales Büro

(43) Internationales
Veröffentlichungsdatum
8. Dezember 2016 (08.12.2016)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2016/193304 A2

- (51) Internationale Patentklassifikation:
G01J 3/02 (2006.01) *G01J 3/26* (2006.01)
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2016/062377
- (22) Internationales Anmeldedatum:
1. Juni 2016 (01.06.2016)
- (25) Einreichungssprache: Deutsch
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch
- (30) Angaben zur Priorität:
10 2015 210 215.7 2. Juni 2015 (02.06.2015) DE
- (71) Anmelder: FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT ZUR
FÖRDERUNG DER ANGEWANDTEN FORSCHUNG
E.V. [DE/DE]; Hansastraße 27c, 80686 München (DE).
- (72) Erfinder: SCHELL, Martin; Lychener Straße 17, 10437
Berlin (DE). HAPPACH, Magnus; Kyffhäuserstraße 18,
10781 Berlin (DE).
- (74) Anwalt: MAIKOWSKI & NINNEMANN
PATENTANWÄLTE PARTNERSCHAFT MBB;
Postfach 15 09 20, 10671 Berlin (DE).
- (81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL,

AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW,
BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK,
DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM,
GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP,
KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME,
MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ,
OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA,
SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM,
TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM,
ZW.

(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW,
GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST,
SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG,
KZ, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH,
CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE,
IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO,
RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM,
GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

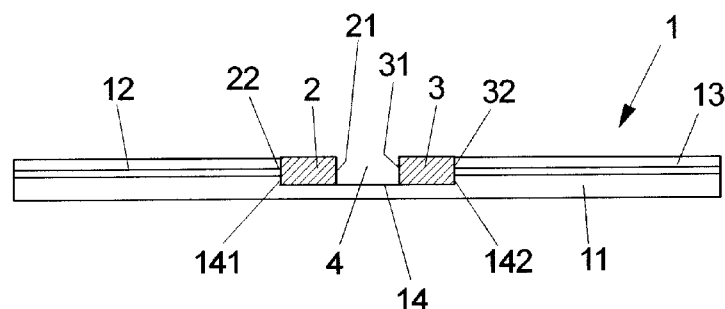
Veröffentlicht:

— ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu
veröffentlichen nach Erhalt des Berichts (Regel 48 Absatz
2 Buchstabe g)

(54) Title: OPTICAL FILTER, OPTICAL DEVICE AND METHOD FOR DETERMINING A PROPERTY OF A SUBSTANCE
USING AN OPTICAL FILTER

(54) Bezeichnung : OPTISCHER FILTER, OPTISCHE VORRICHTUNG UND VERFAHREN ZUM BESTIMMEN EINER
EIGENSCHAFT EINER SUBSTANZ UNTER VERWENDUNG EINES OPTISCHEN FILTERS

FIG 1



(57) Abstract: The invention relates to an optical filter for an optical data transmission system, comprising a substrate (11); a first and a second reflective structure (21, 31, 41, 142, 201, 301), which are spaced apart from each other in such a way that they form a Fabry-Perot cavity (4), and at least one optical waveguide (12, 13) which is formed on or in the substrate (11) and by which light can be coupled into the Fabry-Perot cavity (4) or can be decoupled from the Fabry-Perot cavity. According to the invention, the Fabry-Perot cavity (4), which is formed by the first and second reflective structure (21, 31, 141, 142, 201, 301), is at least partially an open-jet cavity, wherein the waveguide (12, 13) is an integrated waveguide formed by one or more layers arranged on the substrate (1), and wherein the first and second reflective structures (21, 31, 141, 142, 201, 301) are at least partially arranged in a recess (14) of the substrate (1) or adjoin the recess (14). The invention also relates to an optical device and to a method for determining a property of a substance.

(57) Zusammenfassung:

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]



WO 2016/193304 A2



Die Erfindung betrifft einen optischen Filter für ein optisches Datenübertragungssystem, mit einem Substrat (11); einer ersten und einer zweiten reflektierenden Struktur (21, 31, 41, 142, 201, 301), die so beabstandet voneinander angeordnet sind, dass sie eine Fabry-Perot-Kavität (4) ausbilden, sowie mindestens einen an oder in dem Substrat (11) ausgebildeten optischen Wellenleiter (12, 13), über den Licht in die Fabry-Perot-Kavität (4) ein- und/oder aus der Fabry-Perot-Kavität auskoppelbar ist. Erfindungsgemäß ist die durch die erste und die zweite reflektierende Struktur (21, 31, 141, 142, 201, 301) ausgebildete Fabry-Perot-Kavität (4) zumindest teilweise eine Freistrah-Kavität, wobei es sich bei dem Wellenleiter (12, 13) um einen integrierten Wellenleiter handelt, der durch eine oder mehrere auf dem Substrat (1) angeordnete Schichten ausgebildet ist, und wobei die erste und die zweite reflektierende Struktur (21, 31, 141, 142, 201, 301) zumindest teilweise in einer Aussparung (14) des Substrats (1) angeordnet sind oder an die Aussparung (14) angrenzen. Die Erfindung betrifft auch eine optische Vorrichtung sowie ein Verfahren zum Bestimmen einer Eigenschaft einer Substanz.

5

10 **Optischer Filter, optische Vorrichtung und Verfahren zum Bestimmen einer Eigen-
schaft einer Substanz unter Verwendung eines optischen Filters**

15

20

Beschreibung

Die Erfindung betrifft einen optischen Filter, insbesondere für ein optisches Datenübertra-
gungssystem, gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1, eine optische Vorrichtung gemäß
25 Anspruch 13 sowie ein Verfahren zum Bestimmen einer Eigenschaft einer Substanz unter
Verwendung eines optischen Filters gemäß Anspruch 16.

Aus dem Stand der Technik sind nach Art eines Fabry-Perot-Resonators (Fabry-Perot-
Kavität) aufgebaute optische Filter bekannt. Derartige Filter werden zum Beispiel zur Wel-
30 lenlängenstabilisierung eines Lasers verwendet. Insbesondere wird unter Verwendung
derartiger Filter ein Rückkopplungssignal zur Steuerung eines Lasers eines optischen Da-
tenübertragungssystems, zum Beispiel eines DWDM - Dense Wavelength Division Multi-
plexing - (dichtes Wellenlängen-Multiplex-) Übertragungsnetzes, oder in kohärenten opti-
schen Systemen eingesetzt.

35

Eine Möglichkeit der Realisierung eines Fabry-Perot-Resonators offenbart die US 6,608,685. Des Weiteren beschreibt der Artikel „Integrated waveguide Fabry–Perot micro-cavities with silicon/air Bragg mirrors“, M. W. Pruessner et al., OPTICS LETTERS, Vol. 32, No.5, S. 533 einen chipintegrierten Fabry-Perot-Resonator. Derartige integrierte Fabry-Perot-Resonatoren haben jedoch den Nachteil, dass der Resonator Dispersion zeigt und temperatursensitiv ist, so dass die Eigenschaften eines mit einem derartigen Fabry-Perot-Resonator realisierten Filters wellenlängen- und temperaturabhängig sind.

Das der Erfindung zugrunde liegende Problem besteht darin, einen möglichst kompakten optischen Filter mit möglichst geringer Dispersion und Temperaturabhängigkeit zu realisieren.

Dieses Problem wird mit dem Filter mit den Merkmalen gemäß Anspruch 1 gelöst. Weiterbildungen der Erfindung sind in den abhängigen Ansprüchen angegeben.

Danach wird ein Filter für ein optisches Datenübertragungssystem bereitgestellt, mit

- einem Substrat;
- einer ersten und einer zweiten reflektierenden Struktur, die so beabstandet voneinander angeordnet sind, dass sie eine Fabry-Perot-Kavität (Etalon bzw. Resonator) ausbilden, mindestens einen an oder in dem Substrat ausgebildeten optischen Wellenleiter, über den Licht in die Fabry-Perot-Kavität ein- und/oder aus der Fabry-Perot-Kavität auskoppelbar ist, wobei die durch die erste und die zweite reflektierende Struktur ausgebildete Fabry-Perot-Kavität zumindest teilweise eine Freistrahl-Kavität ist, und es sich bei dem Wellenleiter um einen integrierten Wellenleiter handelt, der durch eine oder mehrere auf dem Substrat angeordnete Schichten ausgebildet ist, wobei die erste und die zweite reflektierende Struktur zumindest teilweise in einer Aussparung des Substrats angeordnet sind oder an die Aussparung angrenzen.

Dass die Fabry-Perot-Kavität als „Freistrahl-Kavität“ ausgebildet ist, bedeutet insbesondere, dass das in die Kavität eingekoppelte Licht dort zumindest in einer Richtung senkrecht zu seiner Ausbreitungsrichtung keine Führung erfährt. Beispielsweise erfolgt in der Kavität keine seitliche Führung des Lichts, d.h. in einer Richtung senkrecht zur Lichtausbreitung und parallel zum Substrat. Denkbar ist natürlich auch, dass das Licht in der Kavität

überhaupt nicht geführt wird. Beispielsweise ist die Kavität lediglich mit Luft befüllt, um eine möglichst geringe Dispersion und/oder Temperaturabhängigkeit der Filtereigenschaften zu realisieren. Denkbar ist jedoch auch, dass die Kavität zumindest teilweise mit einer Substanz (z.B. einem Feststoff oder einem von Luft verschiedenen Gas) befüllt ist, um die
5 Dispersion und/oder die Temperaturabhängigkeit der Filtereigenschaften in gewünschter Weise anpassen zu können. Die Substanz bewirkt jedoch zumindest keine seitliche Führung des in die Kavität eingekoppelten Lichtes.

Der mindestens eine integrierte optische Wellenleiter ermöglicht ein Ein- und/oder Auskoppeln von Licht aus der Fabry-Perot-Kavität auf dem Substrat (auf der Wellenleiterplattform),
10 wodurch Kopplungsverluste reduziert oder sogar im Wesentlichen vermieden werden können. In einer Ausführung der Erfindung sind zumindest zwei optische Wellenleiter vorgesehen, wobei über den einen der Wellenleiter Licht in die Fabry-Perot-Kavität einkoppelbar und über den anderen Wellenleiter Licht aus der Kavität auskoppelbar ist.

15 Das Substrat weist eine Aussparung auf, wobei die erste und die zweite reflektierende Struktur in der Aussparung angeordnet sind oder an die Aussparung angrenzen.

Der freie Spektralbereich der Fabry-Perot-Kavität ist durch den Abstand zwischen den reflektierenden Strukturen festgelegt, so dass die Länge der Aussparung und/oder die Position der reflektierenden Strukturen in der Aussparung insbesondere abhängig von dem gewünschten freien Spektralbereich gewählt wird. Des Weiteren kann die erste und/oder die zweite reflektierende Struktur eine Reflexionsbeschichtung (d.h. eine die Reflexion erhöhende Beschichtung) aufweisen, um die Finesse der Fabry-Perot-Kavität einzustellen. Insbesondere handelt es sich bei der Beschichtung um eine hochreflektierende Beschichtung.
20 Die Beschichtungen der ersten und der zweiten reflektierenden Struktur sind insbesondere verschieden; z.B. weist die zweite reflektierende Struktur, über die Licht aus der Fabry-Perot-Kavität ausgekoppelt wird, eine geringere Reflektivität auf als die erste reflektierende Struktur, über die Licht in die Fabry-Perot-Kavität eingekoppelt wird. Die reflektierenden
25 Strukturen (und ggf. ihre Beschichtungen) sind insbesondere teilreflektierend ausgebildet, um ein Ein- und Auskoppeln von Licht in die Kavität zu ermöglichen.
30

Das Substrat ist beispielsweise aus Silizium, Siliziumdioxid oder einem organischen Material ausgebildet, wobei unter einem „Substrat“ auch ein mit Materialsichten versehenes

Substrat verstanden wird. Beispielsweise erstreckt sich die Aussparung durch zumindest eine Materialschicht hindurch in das eigentliche Substrat hinein.

Denkbar ist auch, dass die erste und/oder die zweite reflektierende Struktur durch eine die Aussparung begrenzende Seitenwand ausgebildet sind. Beispielsweise wird die Seitenwand durch das Substrat ausgebildet, d.h. die Seitenwand bildet mindestens eine reflektierende Facette aus, die die erste und/oder die zweite reflektierende Struktur der Kavität realisiert. Das Licht wird insbesondere über einen Taper (s.u.) an die Kavität herangeführt, um die Divergenz des in die Kavität eingekoppelten Lichtes zu vermindern (und das Licht möglichst zu parallelisieren).

Denkbar ist jedoch auch, dass die erste und/oder die zweite reflektierende Struktur jeweils durch eine Oberfläche einer Linse ausgebildet sind, wobei die Linsen z.B. in der Aussparung angeordnet sind. Insbesondere werden sowohl die erste als auch die zweite reflektierende Struktur jeweils durch eine Oberfläche einer Linse ausgeformt. Beispielsweise handelt es sich bei der Linse (bzw. bei den Linsen) um eine GRIN-Linse (Gradientenindexlinse). Die Linse ist insbesondere so ausgebildet, dass sie einkommendes Licht parallelisiert. So weist die Linse, falls es sich um eine GRIN-Linse handelt, z.B. einen Pitch von $L/\lambda = 0,25$ (L : Dicke der Linse in Strahlrichtung, λ : Wellenlänge des einfallenden Lichts) auf. Denkbar ist auch, dass nur eine der beiden reflektierenden Strukturen als Linse ausgeformt und die andere reflektierende Struktur durch eine die Aussparung begrenzende Seitenwand des Substrats ausgebildet ist.

Gemäß einer anderen Ausgestaltung der Erfindung ist die erste reflektierende Struktur durch eine Oberfläche eines ersten Linsenabschnitts eines Linsenkörpers und die zweite reflektierende Struktur durch eine Oberfläche eines zweiten Linsenabschnitts des Linsenkörpers ausgebildet. Beispielsweise bilden der erste und/oder der zweite Linsenabschnitt jeweils eine GRIN-Linse aus. Möglich ist insbesondere auch, dass der Linsenkörper einstückig ausgebildet ist; z.B. aus Glas oder einem Kunststoff. Die Linsenabschnitte befinden sich insbesondere auf einander abgewandten Seiten einer in dem Linsenkörper vorhandenen Ausnehmung.

Der Linsenkörper kann in der oben erwähnten Aussparung des Substrats angeordnet sein, wobei die an die Ausnehmung in dem Linsenkörper angrenzenden Oberflächen des ersten

und des zweiten Linsenabschnitts die erste bzw. die zweite reflektierende Struktur des erfindungsgemäßen Filters ausformen. Die Verwendung eines gemeinsamen Linsenkörpers zur Ausbildung der ersten und der zweiten Linse kann den Vorteil haben, dass der Abstand der Linsen, d.h. der reflektierenden Strukturen, voneinander fest ist und sich nicht beim
5 Fixieren der Linsen an dem Substrat verändert.

Die Erfindung umfasst allerdings auch die Variante, dass der Linsenkörper nicht in der Aussparung des Substrats, sondern zum Beispiel auf einer Oberfläche des Substrats angeordnet und z.B. über geeignete Koppelstrukturen mit dem optischen Wellenleiter des
10 Filters (bzw. den optischen Wellenleitern) verbunden ist. In dieser Variante bilden die an die Ausnehmung des Linsenkörpers angrenzenden Oberflächen des ersten und des zweiten Linsenabschnitts die erste bzw. die zweite reflektierende Struktur der Fabry-Perot-Kavität.

15 Der Filter gemäß der Erfindung kann darüber hinaus einen Taper (d.h. einen Modenkoverter) aufweisen, über den Licht in die Fabry-Perot-Kavität einkoppelbar ist. Beispielsweise ist der optische Wellenleiter über den Taper mit der oben erwähnten Linse oder der Seitenwand gekoppelt. Bei dem Taper handelt es sich insbesondere um eine (z.B. einstückig mit dem optischen Wellenleiter ausgebildete) Wellenleiterstruktur, die sich zu der Fabry-
20 Perot-Kavität hin (z.B. zu der Linse hin) verjüngt. Abhängig von der Ausgestaltung der Fabry-Perot-Kavität und/oder des Wellenleiters kann sich der Taper auch zur Fabry-Perot-Kavität hin aufweiten. Möglich ist auch, dass ein weiterer Taper vorhanden ist, über den Licht aus der Fabry-Perot-Kavität auskoppelbar ist.

25 Denkbar ist auch, dass der erfindungsgemäße Filter eine Heizvorrichtung zum Temperieren zumindest eines Abschnitts der Fabry-Perot-Kavität aufweist. Die Heizvorrichtung dient insbesondere dazu, eine Substanz, mit der zumindest ein Abschnitt der Fabry-Perot-Kavität befüllt oder die in der Fabry-Perot-Kavität angeordnet ist, zu temperieren. Insbesondere können durch Verändern der Temperatur des Filters, d.h. der Temperatur im Bereich der
30 Fabry-Perot-Kavität bzw. der in der Fabry-Perot-Kavität vorhandenen Substanz, Eigenschaften des Filters (insbesondere die Lage der Transmissionsmaxima) verändert werden. Die Heizvorrichtung weist zum Beispiel mindestens eine elektrische Elektrode auf, die mit einem elektrischen Strom beaufschlagbar ist.

Denkbar ist auch, dass nur ein Teilbereich der Fabry-Perot-Kavität mit einer (insbesondere dispersiven) Substanz befüllt oder eine derartige Substanz in einem Teilbereich der Fabry-Perot-Kavität angeordnet ist, wobei insbesondere nur dieser Teilbereich temperiert wird. Der befüllte und temperierte Teilbereich der Fabry-Perot-Kavität bildet insbesondere einen Phasenschieber aus. Bei der Substanz handelt es sich z.B. um ein Polymer, ein UV- aus-
5 härzendes Material (z.B. Flüssigkristalle) oder ein magneto-optisches Material, das z.B. die Polarisierung des Lichts verändert. Denkbar ist auch, dass es sich bei der Substanz um ein festes Materialstück handelt, z.B. um ein Glaselement (etwa einen Glasblock). Darüber hinaus kann die erwähnte Substanz auch dann in der Kavität angeordnet sein, wenn keine
10 Heizvorrichtung vorhanden ist.

In einem zweiten Aspekt betrifft die Erfindung eine optische Vorrichtung, insbesondere einen optischen Filter, insbesondere wie oben beschrieben, mit

- einem Substrat;
- 15 - mindestens einen an oder in dem Substrat ausgebildeten (d.h. integrierten) optischen Wellenleiter,
- wobei das Substrat eine Aussparung aufweist,
- und wobei über den optischen Wellenleiter Licht in die Aussparung ein- und/oder aus der Aussparung auskoppelbar ist, und die Aussparung so ausgebildet ist, dass sich
20 das Licht in der Aussparung zumindest teilweise als Freistrahls ausbreiten kann,
- wobei in der Aussparung mindestens eine lichtbeeinflussende Einrichtung so angeordnet ist, dass Licht als Freistrahls in die lichtbeeinflussende Einrichtung einkoppelbar und/oder Licht als Freistrahls aus der lichtbeeinflussenden Einrichtung auskoppelbar ist, wobei
25 - es sich bei dem Wellenleiter um einen integrierten Wellenleiter handelt, der durch eine oder mehrere auf dem Substrat angeordnete Schichten ausgebildet ist, und wobei die erste und die zweite reflektierende Struktur zumindest teilweise in einer Aussparung des Substrats angeordnet sind oder an die Aussparung angrenzen.

30 Beispielsweise handelt es sich bei der lichtbeeinflussenden Einrichtung um einen optischen Isolator, einen optischen Zirkulator, einen Phasenschieber und/oder einen optischen Verstärker. Denkbar ist auch, dass in der Aussparung eine Fabry-Perot-Kavität ausgebildet ist oder die Aussparung eine Fabry-Perot-Kavität ausbildet. Die Ausbildung der Kavität erfolgt insbesondere durch Anordnen von reflektierenden Strukturen in der Kavität oder
35 dadurch, dass (senkrecht zur Lichtausbreitung orientierte) Seitenwände der Aussparung

reflektierende Strukturen ausbilden, wie weiter oben im Zusammenhang mit dem ersten Aspekt der Erfindung beschrieben. Insbesondere weisen die reflektierenden Strukturen eine entsprechende Reflexionsbeschichtung auf.

- 5 Es ist allerdings auch möglich, dass die Aussparung nicht als Fabry-Perot-Resonator ausgebildet ist, sondern lediglich einen Freistrahlbereich ausformt. In diesem Ausführungsbeispiel ist es sogar möglich, dass die Seitenwände der Aussparung, über die die Einkopplung bzw. die Auskopplung des Lichts in die (aus der) Aussparung erfolgt, mit einer Antireflexionsbeschichtung versehen sind.

10

Die Erfindung betrifft auch ein Verfahren zum Bestimmen einer Eigenschaft einer Substanz unter Verwendung eines optischen Filters, der aufweist:

- ein Substrat;
- eine erste und eine zweite reflektierende Struktur, die so beabstandet voneinander angeordnet sind, dass sie eine zumindest teilweise als Freistrahls-Kavität ausgebildete Fabry-Perot-Kavität ausformen; und
- mindestens einen an oder in dem Substrat ausgebildeten optischen Wellenleiter, über den Licht in die Fabry-Perot-Kavität ein- und/oder aus der Fabry-Perot-Kavität auskoppelbar ist,

20

wobei das Verfahren die Schritte umfasst:

- Befüllen der Fabry-Perot-Kavität des Filters mit der Substanz;
- Einkoppeln von Licht in die Fabry-Perot-Kavität;
- 25 - Empfangen von aus der Fabry-Perot-Kavität ausgekoppelten Lichts;
- Bestimmen zumindest einer Eigenschaft der Substanz anhand eines Spektrums des ausgekoppelten Lichts.

30

Insbesondere ermöglicht das erfindungsgemäße Verfahren eine Bestimmung des Brechungsindex der in der Aussparung des Filters befindlichen Substanz. Bei der zu untersuchenden Substanz handelt es sich zum Beispiel um eine Flüssigkeit, z.B. um eine Körperflüssigkeit (etwa Blut).

Denkbar ist auch, dass es sich bei der Substanz um ein Gas handelt; z.B. ein Gas mit Partikeln oder ein Aerosol. Somit ist der oben beschriebene optische Filter auch als Detektor (insbesondere als Gas- und/oder Flüssigkeitsdetektor) verwendbar; z.B. als Rauchmelder oder nach Art eines Gasinterferometers zur Detektion von Gas (z.B. Methangas). Möglich ist auch, dass die Kavität mit einem Gas vorbefüllt ist und der Filter als Drucksensor eingesetzt wird. Möglich ist allerdings auch, dass es sich bei der zu untersuchenden Substanz um ein festes Materialstück handelt.

Die Erfindung wird im Folgenden unter Bezugnahme auf die Figuren anhand von Ausführungsbeispielen näher erläutert. Es zeigen:

Figur 1 eine Schnittansicht eines Filters gemäß einem Ausführungsbeispiel der Erfindung;

Figur 2A eine Draufsicht des Filters aus Figur 1;

Figur 2B ein Detail der Figur 2A; und

Figur 3 eine Seitenansicht eines Linsenkörpers für einen Filter gemäß einem weiteren Ausführungsbeispiel der Erfindung.

Der in Figur 1 dargestellte optische Filter 1 umfasst ein Substrat 11 (etwa eine Wellenleiter-Plattform) sowie einen ersten optischen Wellenleiter 12 und einen zweiten optischen Wellenleiter 13. Bei den optischen Wellenleitern 12, 13 handelt es sich um integrierte Wellenleiter, die jeweils durch eine oder mehrere auf dem Substrat 11 angeordnete Schichten ausgebildet sind. Zur seitlichen Führung des Lichtes weisen die Wellenleiter 12, 13 in an sich bekannter Weise etwa eine Streifen- oder Rippenstruktur auf. Oberhalb eines Wellenleiterkerns der Wellenleiter 12, 13 kann sich eine Claddingschicht befinden.

Der erfindungsgemäße Filter 1 weist des Weiteren eine erste reflektierende Struktur in Form einer Oberfläche 21 einer in einer Aussparung 14 des Substrats 11 angeordneten Linse (GRIN-Linse 2) auf. In der Aussparung 14 befindet sich zudem eine zweite GRIN-Linse 3, die mit einer der Oberfläche 21 der ersten Linse 2 zugewandten Oberfläche 31

eine zweite reflektierende Struktur ausbildet. Die Aussparung 4 ist insbesondere als Graben in dem Substrat 11 ausgebildet, der z.B. einen U-förmigen Querschnitt (längs der Lichtausbreitung betrachtet) aufweist.

5 Die GRIN-Linsen 2, 3 besitzen z.B. jeweils eine zumindest näherungsweise zylindrische Form oder eine Quaderform. Die Oberflächen (Stirnseiten) 21, 31 der Linsen 2, 3 verlaufen entsprechend zumindest näherungsweise parallel zueinander und sind mit einem Abstand zueinander in der Aussparung 14 angeordnet, so dass sich zwischen den Oberflächen 21, 31 eine Fabry-Perot-Kavität 4 ausbildet.

10

Über den ersten Wellenleiter (Einkoppelwellenleiter) 12 und die erste GRIN-Linse (Einkoppellinse) 2 kann Licht in die Kavität 4 eingekoppelt werden. Die Kavität 4 ist als Freistrahls-Kavität ausgebildet, so dass sich das über den ersten Wellenleiter 12 eingekoppelte Licht als Freistrahls in der Kavität 4 bis zur zweiten Linse 3 ausbreitet. Zwischen den Oberflächen 15 21, 31 der Linsen 2, 3 wird das Licht hin und her reflektiert, wodurch sich die bekannten Filtereigenschaften eines Fabry-Perot-Resonators ergeben. Über die zweite Linse (Aus-koppellinse) 3 und den zweiten Wellenleiter (Aus-koppelwellenleiter) 13 wird Licht aus der Kavität 4 ausgekoppelt. Das ausgekoppelte Licht wird beispielsweise zur Wellenlängen-stabilisierung eines Lasers verwendet, wie eingangs bereits erwähnt.

20

Die Linsen 2, 3 sind insbesondere stoffschlüssig mit dem Substrat 11 verbunden; z.B. befindet sich ein Klebstoff zwischen jeweils den Oberflächen 21, 31 abgewandten (und parallel zu ihnen verlaufenden) Seiten 22, 32 der Linsen 2, 3 und Seitenwänden 141, 142 der Aussparung 14. Der Klebstoff kann darüber hinaus optisch dämpfende Eigenschaften 25 haben, so dass interne „Unterkavitäten“ zwischen den Oberflächen 21, 31 und den Seiten 22, 32 der Linsen 2, 3 unterdrückt werden. Denkbar ist allerdings auch, dass derartige Unterkavitäten bewusst nicht unterdrückt werden. Beispielsweise könnte aus einem Signal, das nicht nur auf die eigentliche Fabry-Perot-Kavität 4, sondern auch auf die erwähnten Unterkavitäten zurückgeht, auf die Wellenlänge des eingekoppelten Lichtes schließen (z.B. 30 aus dem Verlauf einer Schwebung in dem Ausgangssignal des Filters).

Möglich ist natürlich auch, dass die GRIN-Linsen auf andere Weise in der Aussparung 14 fixiert sind, z.B. erfolgt die Fixierung der Linsen 2, 3 jeweils nicht über ihre Seiten 22, 32, sondern über Abschnitte ihres Mantelbereiches.

Darüber hinaus ist grundsätzlich auch denkbar, dass der erfindungsgemäße Filter ohne die Linsen 2, 3 realisiert ist. In diesem Fall bilden die Seitenwände 141, 142 der Aussparung die erste und die zweite reflektierende Struktur der Fabry-Perot-Kavität 4 aus und können
5 entsprechend mit einer reflexionserhöhenden Beschichtung versehen sein.

Über den Abstand L der Oberflächen 21, 31, d.h. über den Abstand der GRIN-Linsen 2, 3 voneinander und somit über die Länge der Aussparung 14, wird der freie Spektralbereich des durch die Fabry-Perot-Kavität 4 ausgebildeten Resonators festgelegt. Die Oberflächen
10 21, 31 sind des Weiteren insbesondere jeweils mit einer reflexionserhöhenden (z.B. dielektrischen) Beschichtung 211, 311 versehen. Beispielsweise handelt es sich bei zumindest einer der Beschichtungen um eine hochreflektierende Beschichtung, etwa mit einer Reflektivität im Bereich zwischen 20 % und 95 %, insbesondere zwischen 40 % und 95 %, z.B. mindestens 40 %. Denkbar ist, dass die Beschichtungen 211, 311 identische oder
15 zumindest ähnliche Reflexionseigenschaften aufweisen. Möglich ist allerdings auch, dass die Reflexivität der Beschichtungen 211, 311 unterschiedlich sind. Insbesondere ist die Reflexivität der Beschichtung 311 der Auskoppellinse 3 geringer als die der Beschichtung 311 der Einkoppellinse 2.

20 Figur 2B zeigt ein Detail der Auskoppelseite des Filters 1. Danach ist die Auskoppellinse 3 über einen Taper 131 mit dem Auskoppelwellenleiter 13 verbunden. Der Taper 131 ist ein (insbesondere einstückig mit dem Wellenleiter 13 verbundener Wellenleiterabschnitt, der sich von der Linse 3 bis zu dem Wellenleiter 13 hin aufweitet (denkbar ist auch, dass sich der Taper 131 zur Fabry-Perot-Kavität 4 hin aufweitet, d.h. zum Wellenleiter 13 hin ver-
25 jüngen, wie oben bereits erwähnt). Der Taper 131 hat den Sinn, Moden des aus der Linse 3 austretenden Lichts in durch den Wellenleiter 13 geführte Moden zu transformieren. Möglich ist darüber hinaus, dass ein analoger Taper (nicht dargestellt) auch auf der Eingangsseite verwendet wird, d.h. ein Taper vorhanden ist, der den Einkoppelwellenleiter 12 mit der Einkoppellinse 2 verbindet.

30

Figur 3 zeigt schematisch eine Seitenansicht eines (insbesondere zylindrischen oder quaderförmigen) Linsenkörpers 200, der zur Ausbildung eines Filters gemäß einem weiteren Ausführungsbeispiel der Erfindung dient. Der Linsenkörper 200 bildet mit einem ersten (insbesondere zylindrischen) Linsenabschnitt 20 eine erste Linse 210 aus, die durch eine

Ausnehmung 100 von einer zweiten Linse 310 getrennt ist, die von einem zweiten (insbesondere ebenfalls zylindrischen) Linsenabschnitt 30 des Linsenkörpers 200 ausgeformt wird. Der erste Linsenabschnitt 20 ist über einen Steg 110 mit dem zweiten Linsenabschnitt 30 einstückig verbunden. Bei den von den Linsenabschnitten 20, 30 ausgebildeten Linsen
5 210, 310 handelt es sich jeweils um eine GRIN-Linse.

Der Linsenkörper 200 kann beispielsweise anstelle der separaten Linsen 2, 3 des in den Figur 1 dargestellten Filters in die Aussparung 14 des Substrats 11 eingesetzt werden. Somit stellt eine der Ausnehmung 100 zugewandte Oberfläche 201 des ersten Linsenabschnitts 20 die erste reflektierende Struktur des Filters dar und eine ebenfalls der Ausnehmung 100 zugewandte Oberfläche 301 des zweiten Linsenabschnitts 30 die zweite reflektierende Struktur. Entsprechend können die Oberflächen 201, 301 mit einer reflexionserhöhenden Beschichtung versehen sein. Denkbar ist allerdings auch, dass der Linsenkörper 200 nicht in eine Aussparung des Substrats eingesetzt, sondern zum Beispiel auf dem
10 Substrat angeordnet ist.
15

Bezugszeichenliste

1	optischer Filter
2, 3, 210, 310	GRIN-Linse
4	Fabry-Perot-Kavität
11	Substrat
12	Einkoppelwellenleiter
13	Auskoppelwellenleiter
14	Aussparung
20	erster Linsenabschnitt
21, 31	Oberfläche
22, 32	Seite
30	zweiter Linsenabschnitt
100	Ausnehmung
110	Steg
131	Taper
141, 142	Seitenwand
200	Linsenkörper
201, 301	Oberfläche
211, 311	Beschichtung

Patentansprüche

1. Optischer Filter, mit

- einem Substrat (11);
- 5 - einer ersten und einer zweiten reflektierenden Struktur (21, 31, 141, 142, 201, 301), die so beabstandet voneinander angeordnet sind, dass sie eine Fabry-Perot-Kavität (4) ausbilden;
- mindestens einen an oder in dem Substrat (11) ausgebildeten optischen Wellenleiter (12, 13), über den Licht in die Fabry-Perot-Kavität (4) ein- und/oder aus der Fabry-Perot-Kavität (4) auskoppelbar ist,
- 10

dadurch gekennzeichnet, dass

- 15 die durch die erste und die zweite reflektierende Struktur (21, 31, 141, 142, 201, 301) ausgebildete Fabry-Perot-Kavität (4) zumindest teilweise eine Freistrah-Kavität ist, wobei es sich bei dem Wellenleiter (12, 13) um einen integrierten Wellenleiter handelt, der durch eine oder mehrere auf dem Substrat (1) angeordnete Schichten ausgebildet ist, und wobei die erste und die zweite reflektierende Struktur (21, 31, 141, 142, 201, 301) zumindest teilweise in einer Aussparung (14) des Substrats (1) angeordnet sind
- 20 oder an die Aussparung (14) angrenzen.

2. Filter nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die erste und/oder die zweite reflektierende Struktur (21, 31, 141, 142, 201, 301) jeweils eine Reflexionsbeschichtung (211, 311) aufweisen.

25

3. Filter nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die erste und/oder die zweite reflektierende Struktur (21, 31, 141, 142, 201, 301) jeweils durch eine die Aussparung (14) begrenzende Seitenwand ausgebildet sind.

30

4. Filter nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die erste und/oder die zweite reflektierende Struktur (21, 31, 141, 142, 201, 301) jeweils durch eine Oberfläche einer in der Aussparung (14) angeordneten Linse (2, 3, 210, 310) ausgebildet sind.

35

5. Filter nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass es sich bei der Linse (2, 3, 210, 310) um eine GRIN-Linse handelt.

6. Filter nach Anspruch 4 oder 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Linse (21, 31, 141, 142, 201, 301) so ausgebildet ist, dass sie einkommendes Licht parallelisiert.
- 5 7. Filter nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die erste reflektierende Struktur (201) durch eine Oberfläche eines ersten Linsenabschnitts (20) eines Linsenkörpers (200) und die zweite reflektierende Struktur (301) durch eine Oberfläche eines zweiten Linsenabschnitts (30) des Linsenkörpers (200) ausgebildet sind.
- 10 8. Filter nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Linsenkörper (200) einstückig ausgebildet ist.
9. Filter nach Anspruch 7 oder 8, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Linsenkörper (200) in der Aussparung (14) angeordnet ist.
- 15 10. Filter nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **gekennzeichnet durch** einen Taper (131), über den Licht in die Fabry-Perot-Kavität (4) einkoppelbar ist.
- 20 11. Filter nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Fabry-Perot-Kavität (4) mit Luft oder in der Fabry-Perot-Kavität (4) eine von Luft verschiedene Substanz zum Abstimmen der Eigenschaften des Filters (1) angeordnet ist.
- 25 12. Filter nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **gekennzeichnet durch** eine Heizvorrichtung zum Temperieren zumindest eines Abschnitts der Fabry-Perot-Kavität (4).
13. Optische Vorrichtung, insbesondere ein optischer Filter, insbesondere gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, mit
- 30 - einem Substrat (11);
- mindestens einen an oder in dem Substrat (11) ausgebildeten optischen Wellenleiter (12, 13),
- dadurch gekennzeichnet**, dass
- 35 - das Substrat (11) eine Aussparung (14) aufweist, wobei über den optischen Wellenleiter (12, 13) Licht in die Aussparung (14) ein- und/oder aus der Aussparung

(14) auskoppelbar ist, wobei die Aussparung (14) so ausgebildet ist, dass sich das Licht in der Aussparung (14) zumindest teilweise als Freistrahls ausbreiten kann,

- wobei in der Aussparung mindestens eine lichtbeeinflussende Einrichtung so angeordnet ist, dass Licht als Freistrahls in die lichtbeeinflussende Einrichtung ein-

5

koppelbar und/oder Licht als Freistrahls aus der lichtbeeinflussenden Einrichtung auskoppelbar ist, und wobei

- es sich bei dem Wellenleiter (12, 13) um einen integrierten Wellenleiter handelt, der durch eine oder mehrere auf dem Substrat (1) angeordnete Schichten ausgebildet ist, wobei die erste und die zweite reflektierende Struktur (21, 31, 141, 142, 201, 301) zumindest teilweise in einer Aussparung (14) des Substrats (1) angeordnet sind oder an die Aussparung (14) angrenzen.

10

14. Optische Vorrichtung nach Anspruch 13, **dadurch gekennzeichnet**, dass die lichtbeeinflussende Einrichtung einen optischen Isolator, einen optischen Zirkulator, einen Phasenschieber und/oder einen optischen Verstärker umfasst.

15

15. Optische Vorrichtung nach Anspruch 13 oder 14, **dadurch gekennzeichnet**, dass in der Aussparung (14) eine Fabry-Perot-Kavität (4) ausgebildet ist oder die Aussparung (14) eine Fabry-Perot-Kavität (4) ausbildet.

20

16. Verfahren zum Bestimmen einer Eigenschaft einer Substanz unter Verwendung eines optischen Filters, der aufweist:

- ein Substrat (11);
- eine erste und eine zweite reflektierende Struktur (21, 31, 141, 142, 201, 301), die so beabstandet voneinander angeordnet sind, dass sie eine zumindest teilweise als Freistrahls-Kavität ausgebildete Fabry-Perot-Kavität (4) ausformen; und
- mindestens einen an oder in dem Substrat (11) ausgebildeten optischen Wellenleiter (12, 13), über den Licht in die Fabry-Perot-Kavität (4) ein- und/oder aus der Fabry-Perot-Kavität (4) auskoppelbar ist,

25

30

wobei das Verfahren die Schritte umfasst:

- Befüllen der Fabry-Perot-Kavität (4) des Filters (1) mit der Substanz;
- Einkoppeln von Licht in die Fabry-Perot-Kavität (4);
- Empfangen von aus der Fabry-Perot-Kavität (4) ausgekoppeltem Licht;

35

- Bestimmen zumindest einer Eigenschaft der Substanz anhand eines Spektrums des ausgekoppelten Lichts.
17. Verfahren nach Anspruch 16, **dadurch gekennzeichnet**, dass es sich bei der Sub-
- 5 stanz um eine Flüssigkeit oder ein Gas handelt.
18. Verfahren nach Anspruch 16 oder 17, **dadurch gekennzeichnet**, dass der optische Filter gemäß einem der Ansprüche 1 bis 12 ausgebildet ist.

FIG 1

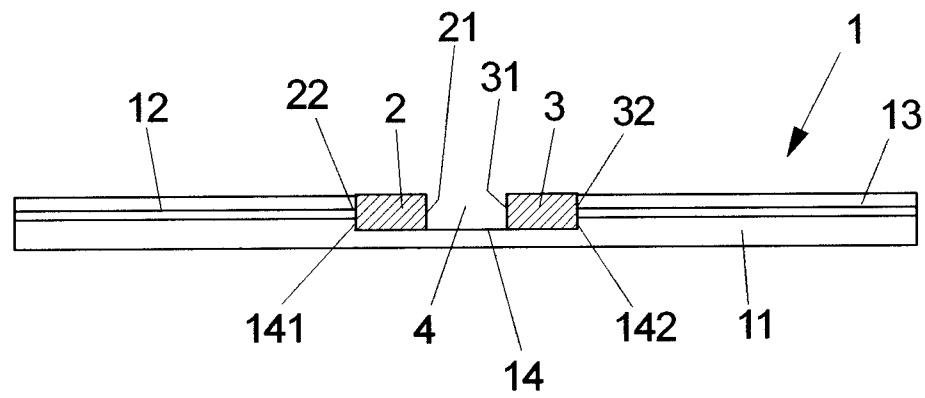


FIG 2A

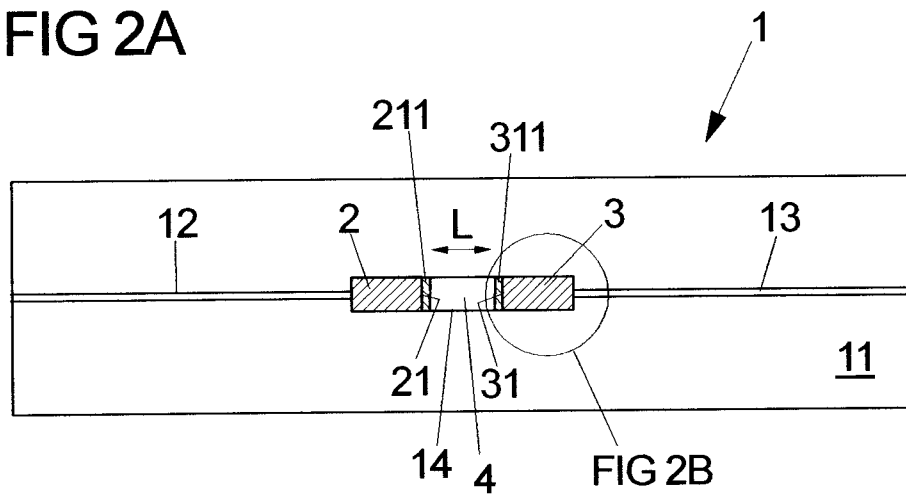


FIG 2B

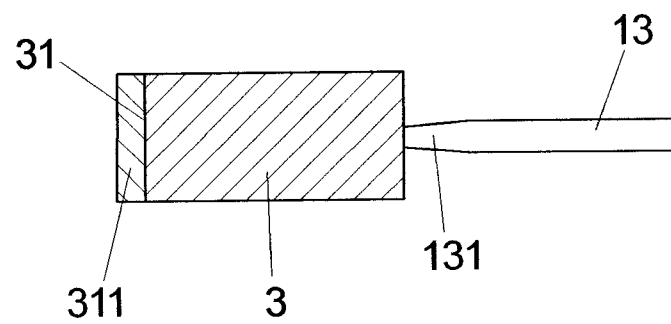


FIG 3

