

(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
3. November 2005 (03.11.2005)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2005/103635 A1

(51) Internationale Patentklassifikation⁷: **G01J 3/453**

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE2005/000725

(22) Internationales Anmeldedatum:
20. April 2005 (20.04.2005)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2004 019 570.6 22. April 2004 (22.04.2004) DE

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme
von US): **FORSCHUNGSZENTRUM JÜLICH GMBH**
[DE/DE]; Wilhelm-Johnen-Strasse, 52425 Jülich (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **KNIPP, Dietmar**
[DE/DE]; Auricher Strasse. 2A, 28219 Bremen (DE).
STIEBIG, Helmut [DE/DE]; Ellbachstrasse 19, 52382
Niederzier (DE).

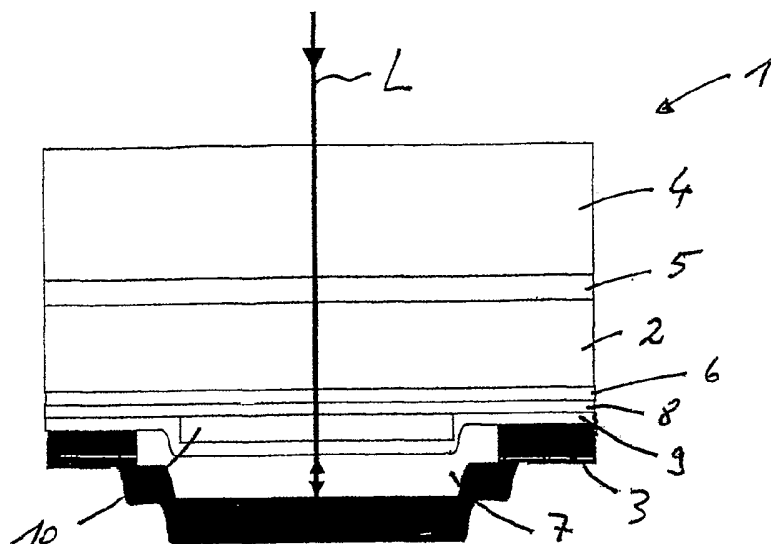
(74) Gemeinsamer Vertreter: **FORSCHUNGSZENTRUM
JÜLICH GMBH**; Fachbereich Patente, 52425 Jülich
(DE).

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL,
AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH,
CN, CO, CR, CU, CZ, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI,
GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE,
KG, KM, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA,
MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NI, NO, NZ, OM,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: FOURIER SPECTROMETER WITH A MODULAR MIRROR, INTEGRATED ON A SUBSTRATE AND SENSOR
FOR SCANNING STANDING WAVES AND METHOD FOR THE PRODUCTION THEREOF

(54) Bezeichnung: FOURIER-SPEKTROMETER MIT EINEM AUF EINEM SUBSTRAT INTEGRIERTEM MODULIERBA-
REN SPIEGEL UND SENSOR ZUR ABTASTUNG STEHENDER WELLEN UND VERFAHREN ZU DESSEN HERSTELLUNG



(57) Abstract: The invention relates to a Fourier spectrometer (1), for determining spectral information of an incident optical input signal (2) and a method for producing such a Fourier spectrometer. The aim of said invention is to allow the accurate production of a small-sized and compact Fourier spectrometer, by means of which, in particular, both 1D and 2D spectrometer arrays may be produced. Said aim is achieved, whereby a Fourier spectrometer is provided, said spectrometer comprising a support layer (4) which is transparent to the optical input signal, a sensor (2), for producing an electrical output signal, which is placed on the support layer and is at least partially transparent to the optical input signal, a reflective layer (3), placed on the sensor side opposite to the

support layer, for reflecting the incident optical input signal (2) and producing an optically standing wave from the incident input signal and reflected input signal as well as a cavity (7), located between the sensor and reflective layer, for allowing a modulation of the distance between the sensor and reflective layer, whereby said sensor is embodied for scanning the intensity of the standing wave and for producing an output signal, containing the spectral information of the input signal. The support layer, the sensor and the reflective layer are together integrated into a semiconductor component (1) and oriented substantially parallel to each other and perpendicular to the incident optical input signal, for the production of the optically standing wave.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]



PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

— vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche geltenden Frist; Veröffentlichung wird wiederholt, falls Änderungen eintreffen

(84) **Bestimmungsstaaten** (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

Veröffentlicht:

— mit internationalem Recherchenbericht

(57) **Zusammenfassung:** Die vorliegende Erfindung betrifft ein Fourier-Spektrometer (1) zur Ermittlung von Spektralinformationen eines einfallenden optischen Eingangssignals (2) sowie ein Verfahren zur Herstellung eines solchen Fourier-Spektrometers. Um ein solches Fourier-Spektrometer klein, kompakt und genau herstellen zu können, mit dem sich insbesondere auch 1 D- und 2D-Spektrometer-Arrays herstellen lassen, wird ein Fourier-Spektrometer vorgeschlagen mit: - einer für das optische Eingangssignal durchlässigen Trägerschicht (4), - einem auf der Trägerschicht aufgebrachten, für das optische Eingangssignal wenigstens teilweise durchlässigen Sensor (2) zur Erzeugung eines elektrischen Ausgangssignals, - einer auf der der Trägerschicht abgewandten Seite des Sensors angeordneten Reflektionsschicht (3) zur Reflektion des einfallenden optischen Eingangssignals (2) und zur Bildung einer optisch stehenden Welle aus dem einfallenden Eingangssignal und dem reflektierten Eingangssignal, und - einem zwischen dem Sensor und der Reflektionsschicht angeordneten Hohlraum (7) zur Ermöglichung einer Modulation des Abstands zwischen dem Sensor und der Reflektionsschicht, wobei der Sensor ausgestaltet ist zur Abtastung der Intensität der stehenden Welle und zur Bildung eines die Spektralinformationen des Eingangssignals enthaltenden Ausgangssignals und wobei die Trägerschicht, der Sensor und die Reflektionsschicht gemeinsam in einem Halbleiterbauelement (1) integriert sind und im wesentlichen parallel zueinander und senkrecht zum einfallenden optischen Eingangssignal zur Erzeugung der optisch stehenden Welle ausgerichtet sind.

B e s c h r e i b u n g

FOURIER-SPEKTROMETER MIT EINEM AUF EINEM SUBSTRAT INTEGRIERTEM MODULIERBAREN SPIEGEL UND SENSOR ZUR ABTASTUNG STEHENDER WELLEN UND VERFAHREN ZU DESSEN HERSTELLUNG

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Fourier-Spektrometer zur Ermittlung von Spektralinformationen eines einfallenden optischen Eingangssignals sowie ein Verfahren zur Herstellung eines solchen Fourier-Spektrometers.

5 Fourier-Spektrometer sind beispielsweise von Interesse für Anwendungen in den Bereichen der optischen Messtechnik, der optischen Kommunikation, der Objekterkennung, der Biophotonik und der Materialcharakterisierung. Fourier-Spektrometer basieren typischerweise auf Michelson-Interferometern oder Abwandlungen von Michelson-Interferometern. Hierbei wird der einfallende Lichtstrahl an
10 einem Strahlteiler in einen Mess- und einen Referenzstrahl geteilt. Nach der Reflexion am Mess- und Referenzspiegel werden die Strahlen im Detektorarm überlagert. Die Überlagerung der beiden Wellen mit gleicher Ausbreitungsrichtung führt zur Ausbildung einer stehenden Welle. Die stehende Welle wird anschließend von einem Halbleitersensor detektiert. Die zwei optischen Strahlgänge (Messstrahl und Referenzstrahl) stehen bei diesem Aufbau des Interferometers/Spektrometers senkrecht zueinander. Aufgrund des Aufbaus ist somit die
15 Realisierung von 1D- und 2D-Spektrometer-Arrays nicht möglich.

Es sind unterschiedliche Ausführungen von Fourier-Spektrometern bekannt. Neben dem Aufbau mittels optischer Komponenten sind beispielsweise MEMS (Micro Electro Mechanical System) Spektrometer auf der Basis von Michelson-Interferometern bekannt, die mittels Bulksilizium-Technologie hergestellt werden. Die optische Achse des Spektrometers ist dabei parallel zum Substrat. Damit besteht dabei ebenfalls nicht die Möglichkeit, die Spektrometer als 1D- oder 2D-
20 Array von Spektrometern zu realisieren.

Bekannt ist ferner, eine stehende Welle mittels eines Halbleiterdetektors abzutasten. Eine stehende Welle kann erzeugt werden durch die Überlagerung zweier sich entgegengesetzt ausbreitender Strahlen. Hierbei wird das einfallende Licht
30 an einem modulierbaren Spiegel reflektiert. Durch die Überlagerung des hin und

zurück laufenden Strahls bildet sich eine stehende Welle vor dem Spiegel aus. Abgetastet wird die stehende Welle von einem semi-transparenten Sensor, der in die stehende Welle eingebracht wird. Der Sensor ist hierbei ausreichend transparent, so dass genügend Licht den Sensor passiert und eine stehende Welle vor dem modulierbaren Spiegel erzeugt wird. Gleichzeitig darf die Transmission des Sensors nicht zu hoch sein, damit ausreichend Photonen im semi-transparenten Detektor absorbiert werden, so dass ein Photostrom vom Detektor erzeugt werden kann.

Durch die Reduzierung des Spektrometeraufbaus auf einen semi-transparenten Sensor und einen modulierbaren Spiegel wird der Aufbau eines Interferometers/Spektrometers auf ein Minimum reduziert.

Realisiert wurden diese semi-transparenten Halbleiterstrukturen allerdings nicht bzw. nur zu einem bestimmten Teil. Wesentlicher Grund hierfür ist die Tatsache, dass die aktive Region des semi-transparenten Sensors deutlich dünner sein muss als die Wellenlänge des einfallenden Lichts. Als Mindestanforderung für die Abtastung einer stehenden Welle gilt

$$d = \frac{\lambda}{4 \cdot n},$$

wobei d die Dicke der aktiven Schicht des Sensors ist, λ die Wellenlänge des einfallenden Lichts ist und n der Brechungsindex des aktiven Bereichs des Sensors ist. Bei einem angenommenem Brechungsindex von $n=3,3$ für Silizium und einer Wellenlänge von 633nm (z.B. eines HeNe-Lasers), so ergibt sich eine Schichtdicke des aktiven Bereichs von 50nm oder weniger. Die Herstellung von aktiven halbleitenden Schichten in der Größenordnung von <50nm (im Falle von Silizium) auf transparenten Substraten wie z.B. Glas stellt hohe Anforderungen an die Herstellungstechnologie. Allerdings gilt die zuvor beschriebene Randbedingung nur für den aktiven Bereich des Detektors und nicht für die Gesamtschichtdicke des Detektors. Entsprechend kann die Gesamtschichtdicke des Sensors größer sein, was die Herstellung des Detektors deutlich vereinfacht. Weiterhin muss auch die Bedingung erfüllt sein, dass der Sensor eine ausreichende Transmission besitzt, so dass sich eine stehende Welle vor dem Spiegel ausbilden kann.

Eingesetzt werden können diese semi-transparenten Sensoren als Komponenten eines Interferometers oder Spektrometers. Die Anforderungen an die Sensorstruktur als Teil eines Spektrometers unterscheiden sich allerdings deutlich von den Anforderungen eines Sensors als Teil eines Interferometers. Die semi-transparenten Sensoren unterscheiden sich insoweit, dass der Sensor des Interferometers für eine feste Wellenlänge optimiert werden kann. Damit lassen sich beispielsweise Verluste aufgrund von Reflektionen an Schichtübergängen reduzieren. Im Fall eines Spektrometers muss das Bauelement für einen Spektralbereich optimiert werden. Entsprechend sind hier Kompromisse im Design einzugehen, da das Bauelement nicht für alle Wellenlängen in gleicher Weise optimiert werden kann.

Weiterhin unterscheiden sich die semi-transparenten Sensoren in einem zweiten Punkt. Ziel der Messung mit einem Interferometer ist die Bestimmung der Änderung der Position des Messspiegels (relative Abstandsmessung) bzw. die Ermittlung von daraus abgeleiteten Größen. Um aber die Bewegungsrichtung des Spiegels ermitteln zu können, bedarf es eines zweiten semi-transparenten Sensors, der ebenfalls in die stehende Welle eingebracht werden muss. Zwischen den Signalen der beiden Sensoren muss eine Phasendifferenz von 90° bestehen. Die selbe Randbedingung gilt auch für ein Michelson-Interferometer. Hier werden ebenfalls zwei Detektoren eingesetzt, um die Bewegungsrichtung des Messspiegels zu ermitteln. Im Falle eines Stehende-Wellen-Interferometers lässt sich dies erreichen, indem die beiden semi-transparenten Sensoren in einem Abstand von 90° in die stehende Welle eingebracht werden. Für die Anwendung als Spektrometer genügt dagegen ein einzelner semi-transparenter Sensor.

Bekannt ist bislang das Konzept der Abtastung einer stehenden Welle mittels eines semi-transparenten Sensors und die Anwendung als Interferometer. Darüber hinaus ist die Idee der Abtastung einer stehenden Welle mittels eines semi-transparenten Sensor und deren Anwendung als Fourier-Spektrometer bekannt, beispielsweise aus H.L. Kung et al., Standing-wave transform spectrometer based on integrated MEMS mirror and thin film detector, IEEE Selected Topics in Quantum Electronics, 8, 98 (2002). Das darin beschriebene Spektrometer nutzt

einen amorphen/polykristallinen Siliziumdetektor, der als semi-transparenter Sensor eingesetzt wird. Der Sensor basiert auf einer Photoleiteranordnung. Der Sensor wird betrieben in Kombination mit einem separaten MEMS-basierten Spiegel, der elektrostatisch moduliert werden kann. Der Spiegel wurde hierbei in Bulk-Siliziumtechnologie realisiert. Der Spiegel kann um $65\mu\text{m}$ ausgelenkt werden, wobei eine relativ hohe Spannungen von $>100\text{V}$ an die Elektroden angelegt werden muss, um den Spiegel auszulenken. Die Auslenkung des Spiegels ist von wesentlicher Bedeutung für das Auflösungsvermögen des Spektrometers. Ein großer Auslenkungsbereich ist erwünscht, da sich so die spektrale Auflösung des Spektrometers verbessern lässt. Das Spektrometer ist limitiert durch die zeitliche Antwort des Photoleiters. Weiterhin ist das optische Design des Detektors nicht an das einfallende Licht angepasst, so dass die Photostromantwort des Sensors nicht linear ist.

Darüber hinaus wird der Betrieb des Spektrometers dadurch erschwert, dass der Detektor und der modulierbare Spiegel zueinander ausgerichtet werden müssen. Die Ausrichtung des Spiegels und des Detektors senkrecht zur optischen Achse und parallel zueinander ist sehr zeitaufwendig, da bereits eine geringe Verkipfung des Spiegels und des Detektors zueinander zur Verfälschung des Messergebnisses führt.

D. Knipp et al., Design and modelling of a Fourier spectrometer based on sampling a standing wave, Proc. Mat. Res. Soc. Conference San Francisco, USA, Fall 2001 geht auf das Design des semi-transparenten Sensors als Teil eines MEMS Fourier-Spektrometers ein. Der darin vorgestellte Sensor kann allerdings auch in einem Stehende-Wellen-Interferometer eingesetzt werden. Auf die Bauform oder eine mögliche Integration mit einem Detektor zu einem Fourier-Spektrometer wird nicht eingegangen.

Der vorliegenden Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Fourier-Spektrometer anzugeben, die sich kleiner, kompakter und genauer und die sich insbesondere auch als 1D- und 2D-Spektrometer-Arrays herstellen lassen. Außerdem soll ein geeignetes Verfahren zur Herstellung eines solchen Fourier-Spektrometers angegeben werden.

Die Aufgabe wird erfindungsgemäß gelöst durch ein Fourier-Spektrometer nach Anspruch 1 mit:

- einer für das optische Eingangssignal durchlässigen Trägerschicht,
- 5 - einem auf der Trägerschicht aufgebracht, für das optische Eingangssignal wenigstens teilweise durchlässigen Sensor zur Erzeugung eines elektrischen Ausgangssignals,
- einer auf der der Trägerschicht abgewandten Seite des Sensors angeordneten Reflektionsschicht zur Reflektion des einfallenden optischen Eingangssignals und zur Bildung einer optisch stehenden Welle aus dem einfallenden Eingangssignal und dem reflektierten Eingangssignal, und
- 10 - einem zwischen dem Sensor und der Reflektionsschicht angeordneten Hohlraum zur Ermöglichung einer Modulation des Abstands zwischen dem Sensor und der Reflektionsschicht,
- 15 wobei der Sensor ausgestaltet ist zur Abtastung der Intensität der stehenden Welle und zur Bildung eines die Spektralinformationen des Eingangssignals enthaltenden Ausgangssignals und
- wobei die Trägerschicht, der Sensor und die Reflektionsschicht gemeinsam in einem Halbleiterbauelement integriert sind und im wesentlichen parallel zueinander und senkrecht zum einfallenden optischen Eingangssignal zur
- 20 Erzeugung der optisch stehenden Welle ausgerichtet sind.

Das erfindungsgemäße Spektrometer benötigt somit keinen Strahlteiler und keinen Referenzspiegel. Das physikalische Prinzip des Spektrometers basiert auf

25 der Abtastung einer optisch stehenden Welle vor einer Reflektionsschicht, beispielsweise einem Messspiegel. Die stehende Welle wird dabei ausschließlich durch die Überlagerung der hin- und rücklaufenden Welle vor der Reflektionsschicht erzeugt. Abgetastet wird die stehende Welle von einem semi-transparenten Sensor (Detektor), der in den Strahlengang eingebracht wird. Damit wird der

30 Aufbau des Spektrometers auf ein Minimum reduziert. Das Spektrometer bestehend somit aus einer linearen Anordnung einer modulierbaren Reflektionsschicht und einem semi-transparenten Sensor. Beide Komponenten sind gemeinsam integriert. Aufgrund des linearen Aufbaus des Spektrometers können diese als 1D- und 2D- Spektrometer-Arrays realisiert werden. Spektrometer-Arrays

zeichnen sich dadurch aus, dass sie sowohl die Ortsinformation als auch die spektralen Information ermitteln können. Die spektrale Information wird durch die Fourier-Transformation des Messsignals gewonnen.

5 Das erfindungsgemäße Spektrometer benötigt somit keinen Strahlteiler und keinen Referenzspiegel. Das physikalische Prinzip des Spektrometers basiert auf der Abtastung einer optisch stehenden Welle vor einer Reflektionsschicht, wobei der Abstand zwischen der Reflektionsschicht und dem Sensor modulierbar ist. Damit unterscheidet sich der hier vorgeschlagene Aufbau grundlegend von be-
10 kannten Fourier-Spektrometern.

Zwecks Aufbaus eines kompakten und kostengünstigen Spektrometers lassen sich der Sensor und die modulierbare Reflektionsschicht gemeinsam integrieren, wobei Integration vorliegend die Prozessierung/Herstellung eines gemeinsamen
15 Bauelements meint, welches aus einem Sensor und einer Reflektionsschicht besteht.

Bevorzugt ist das erfindungsgemäße Spektrometer ein MEMS Fourier-Spektrometer. Alle Komponenten des Spektrometers werden bevorzugt in Dünnschicht-
20 technologie hergestellt. Das Spektrometer besteht somit in dieser Ausgestaltung aus einem semi-transparenten Dünnschichtsensor in Kombination mit einem modulierbaren Spiegel, der ebenfalls in Dünnschichttechnologie hergestellt wird. Beide Komponenten lassen sich somit leicht gemeinsam integrieren. Die spektrale Information wird durch die Fourier-Transformation des Sensorsignals gewon-
25 nen. Das Sensorsignal entspricht hierbei beispielsweise einem Photostrom. Erzeugt wird das Signal durch die Abtastung der stehenden Wellen vor dem Messspiegel. Grundsätzlich kann entweder der Messspiegel und/oder der semi-transparente Sensor moduliert werden, wobei eine elektrostatische Modulation des Messspiegels und/oder des semi-transparenten Sensors bevorzugt ist.

30 Der Sensor und die Reflektionsschicht sind erfindungsgemäß auf dem selben Träger (Substrat) aufgebracht. Die optische Achse des Spektrometers ist senkrecht zum Substrat angeordnet. Dies reduziert die Herstellungskosten, da das Spektrometer bereits während des Herstellungsprozesses getestet werden kann.

Weiterhin können so 1D- und 2D-Spektrometer Arrays auf einem Träger (Substrat) hergestellt werden. Im Vergleich dazu muss ein MEMS Spektrometer, dessen optische Achse parallel zum Substrat verläuft, erst gediced (zersägt) werden, bevor die Funktion des Spektrometers getestet werden kann. Dies erhöht die Herstellungskosten.

In einer bevorzugten Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Spektrometers sind Schichtelektroden vorgesehen zur Kontaktierung des Sensors und/oder zum Anlegen einer elektrischen Spannung zur elektrostatischen Modulation des Abstands zwischen dem Sensor und der Reflektionsschicht, wobei die Schichtelektroden aus transparenten leitfähigen Oxiden, insbesondere SnO_2 , ZnO , In_2O_3 oder Cd_2SnO_4 mit B, Al, In, Sn, Sb oder F dotiert, aus dünnen Metallfilmen, insbesondere aus Al, Ag, Cr, Pd, oder aus halbleitenden Schichten, insbesondere aus amorphem, mikrokristallinen, polykristallinen oder kristallinen Halbleiterschichten aus Silizium, Germanium, Kohlenstoff, Stickstoff, Sauerstoff oder Legierungen dieser Materialien, bestehen.

Vorteilhafte Ausgestaltungen des semi-transparenten Sensors sind des weiteren in Ansprüchen 4 und 5 angegeben. Demnach kann der semi-transparente Sensor als Photoleiter, als Schottkydiode, als pin-, nip-, pip-, nin, npin-, pnip-, pinp-, nipn-Struktur oder als Kombination derartiger Strukturen ausgebildet sein. Ferner kann vorgesehen sein, dass der semi-transparente Sensor mindestens eine photoelektrisch aktive Halbleiterschicht aufweist, die aus einem amorphen, mikrokristallinen, polykristallinen oder kristallinen Material gebildet ist, insbesondere aus den Materialien Silizium, Germanium, Kohlenstoff, Stickstoff, Sauerstoff und/oder Legierungen dieser Materialien besteht. Durch den Einsatz unterschiedlicher halbleitender Materialien kann das Spektrometer an einen entsprechenden spektralen Bereich angepasst werden. Kohlenstoff und Sauerstoff und des Legierungen mit Silizium lassen sich insbesondere im ultravioletten und im sichtbaren Bereich des optischen Spektrums einsetzen, Silizium insbesondere im sichtbaren Bereich und Germanium und des Legierungen mit Silizium insbesondere im sichtbaren und infraroten Spektralbereich.

Zur optischen Anpassung des Fourier-Spektrometers sind in einer weiteren Ausgestaltung bevorzugt optische Anpassungsschichten vorgesehen. Hierbei dienen

diese dielektrischen Schichten dazu, den Sensor optisch an das einfallende Spektrum anzupassen, so dass die stehende Welle ungehindert durch den semi-transparenten Sensor treten kann und die Verluste mittels Reflektion an den einzelnen Schichten des semi-transparenten Sensors minimiert werden.

5

Die Erfindung betrifft darüber hinaus auch ein Fourier-Spektrometerfeld mit mehreren auf einer einzigen, gemeinsamen Trägerschicht integrierten, in einer Reihe oder in einem Array angeordneten Fourier-Spektrometern der oben beschriebenen Art. Erst durch die gemeinsame Integration der Sensoren und der Reflektionsschicht/Reflektionsschichten auf einer einzigen Trägerschicht ist es überhaupt möglich, ein solches Fourier-Spektrometerfeld auf einer Trägerschicht zu bilden, womit dann auch ein- oder zweidimensionale Ortsinformationen auf einfache Weise detektiert werden können neben der spektralen Information.

10

15

Ein erfindungsgemäßes Verfahren zur Herstellung eines Fourier-Spektrometers der erfindungsgemäßen Art ist in Anspruch 10 angegeben. Dieses weist die folgenden Schritte auf:

20

- Abscheidung eines für das optische Eingangssignal wenigstens teilweise durchlässigen Sensors auf einer für das optische Eingangssignal durchlässigen Trägerschicht zur Erzeugung eines elektrischen Ausgangssignals,
- Aufbringung einer Opferschicht auf der der Trägerschicht abgewandten Seite des Sensors,
- Aufbringung einer Reflektionsschicht auf der dem Sensor abgewandten Seite der Opferschicht zur Reflektion des einfallenden optischen Eingangssignals und zur Bildung einer optisch stehenden Welle aus dem einfallenden Eingangssignal und dem reflektierten Eingangssignal,
- Entfernen der Opferschicht zur Bildung eines Hohlraums zwischen dem Sensor und der Reflektionsschicht zur Ermöglichung einer Modulation des Abstands zwischen dem Sensor und der Reflektionsschicht

25

30

wobei der Sensor ausgestaltet ist zur Abtastung der Intensität der stehenden Welle und zur Bildung eines die Spektralinformationen des Eingangssignals enthaltenden Ausgangssignals und
wobei die Trägerschicht, der Sensor und die Reflektionsschicht gemeinsam in einem Halbleiterbauelement integriert werden und im wesentlichen paral-

lel zueinander und senkrecht zum einfallenden optischen Eingangssignal zur Erzeugung der optisch stehenden Welle ausgerichtet werden.

5 Bevorzugt wird der Sensor mittels eines Abscheideverfahrens, insbesondere mittels eines CVD-Verfahrens, Sputter-Verfahrens oder Epitaxie-Verfahrens hergestellt. Zur Herstellung der Reflektionsschicht wird bevorzugt eine Dünnschicht-Technologie und Oberflächen-Mikromechanik verwendet.

10 Die Erfindung wird nachfolgend anhand der Zeichnungen näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 eine erste Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Fourier-Spektrometers,

15 Fig. 2 einen schematischen Verlauf der optischen Generationsrate (Intensität) des einfallenden Lichts für einen transparenten Sensor als Funktion der Position des modulierbaren Spiegels,

Fig. 3 eine zweite Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Fourier-Spektrometers,

Fig. 4 eine dritte Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Fourier-Spektrometers in Seitenansicht,

20 Fig. 5 eine Draufsicht auf die dritte Ausführungsform des erfindungsgemäßen Fourier-Spektrometers und

Fig. 6 die einzelnen Prozessschritte des erfindungsgemäßen Herstellungsverfahrens zur Herstellung des erfindungsgemäßen Fourier-Spektrometers.

25 In Figur 1 ist der schematische Aufbau einer Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Fourier-Spektrometers 1 dargestellt. Ein Sensor 2 und eine Reflektionsschicht 3, insbesondere ein Spiegel, sind dabei als parallele Schichten auf einem Substrat 4 aufgebracht. Kontaktiert wird der semi-transparente Sensor 2 mittels zweier transparenter leitfähiger Elektroden 5 und 6. Zwischen Sensor 2 und
30 Spiegel 3 ist ein Hohlraum 7 ausgebildet, der die Modulation des Abstands zwischen Sensor 2 und Spiegel 3, insbesondere der Position des Spiegels 3, erlaubt. Ferner sind zwischen der Elektrode 6 und dem Hohlraum 7 zwei Isolationschichten 8, 9 mit dazwischen liegender Elektrode 10 angeordnet. Hierbei bilden die Reflektionsschicht 3 und die Elektrode 6 eine Kondensatoranordnung.

5 Durch Anlegen einer Spannung an diese Anordnung kann die Reflektionsschicht 3 elektrostatisch ausgelenkt bzw. moduliert werden. Die Isolationsschicht 8 erfüllt die Funktion der elektrischen Isolation des semitransparenten Sensors 2 und des modulierbaren Spiegels 3. Die Isolationsschicht 9 verhindert den direkten elektrischen Kontakt der Elektrode 10 und der Reflektionsschicht 3.

10 Das senkrecht zur Oberfläche des Spektrometers 1 einfallende Licht L wird zum Teil (etwa 40-90%) durch den Sensor 2 transmittiert und am modulierbaren Spiegel 3 reflektiert. Als Folge wird eine stehende Welle vor dem Spiegel 3 erzeugt. Der Spiegel 3 kann elektrostatisch moduliert werden. Somit kann die stehende Welle vor dem Spiegel 3 als Funktion der angelegten Spannung moduliert werden. Als Folge wird das Sensorsignal moduliert. Alternative kann auch ein Aufbau gewählt werden, wobei der Sensor 2 moduliert wird. In beiden Fällen entfällt Justierung und genaue Ausrichtung zwischen dem Sensor 2 und dem Spiegel 3, da
15 der Spiegel 3 mit dem semi-transparenten Sensor 2 gemeinsam hergestellt wird.

Als Materialien für den optischen Sensor 2 kommt zum Beispiel amorphes Silizium in Betracht. Andere anorganische und organische Materialien, die optoelektronisch aktiv sind, lassen sich auch ebenfalls als Sensor einsetzen. Das
20 optische Design des semi-transparenten Sensors 2 muss jeweils an den gewünschten Spektralbereich angepasst werden. Da das Spektrometer 1 über einen weiten Spektralbereich arbeiten soll, kann der Sensor 2 mit einer speziellen Antireflexschicht/Verspiegelungsschicht (nicht gezeigt) versehen werden. Was den Sensor 2 selbst betrifft, so kann hierzu eine pn- oder pin-Diodenanordnung oder eine modifizierte Anordnung eingesetzt werden. Es kann aber auch eine
25 Schottky Diodenanordnung oder eine Photoleiteranordnung eingesetzt werden. Die zwei transparenten leitfähigen Elektroden 5 und 6 sind bevorzugt aus ITO (Indium Tin Oxide) hergestellt.

30 Wird eine Gleich- oder Wechselspannung an den modulierbaren Spiegel angelegt, so verschieben sich die stehenden Wellen vor dem Spiegel. Die stehenden Wellen werden aufgrund der Modulation des Spiegels durch den semi-transparenten Sensor hindurch geschoben. Die Änderung der optischen Generation innerhalb eines semi-transparenten Sensors als Funktion der Position des

Spiegels ist schematisch in Figur 2 für eine Wellenlänge von 550nm dargestellt. Das Maximum und Minimum der stehenden Welle wird durch den semi-transparenten Sensor hindurch geschoben. In diesem Fall wurde eine Sensorstruktur angenommen, die aus einer amorphen pin-Diode besteht, die mit zwei Kontaktsschichten aus ITO (Indium Tin Oxide) versehen ist. Die gestrichelte Kurve K1 stellt den Verlauf der optischen Generation ohne den Spiegel dar. Die als durchgezogene Linien gezeigten Kurven K2 entsprechen der optischen Generation unter Verwendung des Spiegels. Der Spiegel ist in den Berechnungen jeweils um 20nm verschoben worden. Es wird deutlich erkennbar, wie die Minima und Maxima durch den semi-transparenten Sensor geschoben werden.

Der modulierbare Spiegel 3 wird bevorzugt ebenfalls in Dünnschichttechnologie hergestellt. Hierbei wird durch Entfernen einer Opferschicht, die zum Beispiel aus amorphem Silizium oder einem Metall besteht, der Hohlraum 7 gebildet. Die Opferschicht wird nasschemisch oder mittels eines trockenen Ätzverfahrens entfernt. Bei der in Figur 1 gezeigten möglichen Ausführung des Spiegels 3 wurde der Spiegel auf dem semi-transparenten Sensor 2 prozessiert. Die Membran des Spiegels 3 kann elektrostatisch moduliert werden. Eine weitere transparente leitfähige Elektrode 10, die als Frontelektrode des Spiegels 3 genutzt wird, wurde auf den Sensor aufgebracht.

Die strukturierte Rückelektrode 6 des Sensors 2 kann allerdings auch als gemeinsame Elektrode für den Sensor 2 und den Spiegel 3 genutzt werden. Der schematische Aufbau einer solchen Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Fourier-Spektrometers ist in Figur 3 dargestellt. Der Aufbau dieser Ausgestaltung ist vereinfacht im Vergleich zum Aufbau der in Figur 1 gezeigten Ausgestaltung. Es wurde auf eine Passivierungsschicht/Isolationsschicht 8 und eine transparente leitfähige Schicht 6 verzichtet. Die Membran des Spiegels 3 ist in beiden Fällen identisch. In beiden Fällen wird eine Metallschicht 3 mit hoher Reflektion auf die Passivierungsschicht 9 (Figur 1) und die Opferschicht (in Figur 1 und Figur 3 nicht gezeigt, sondern bereits als Hohlraum 7 dargestellt) aufgebracht. Materialien wie Silber, Aluminium, Chrom oder Gold kommen hierfür bevorzugt in Betracht.

Typischerweise wird eine solche Schicht auf die bestehende Schichtenfolge aufgesputtert. Wichtig ist hierbei neben der hohen Reflexion des aufgetragenen Materials die Rauigkeit des Metallfilms. Die Oberfläche der Metallschicht (Grenzübergang Hohlraum 7 und Reflektionsschicht 3 in Figur 1 und Figur 2) sollte möglichst glatt sein. Anschließend wird typischerweise ein Elektroplatingverfahren verwendet, um eine weitere Metallschicht aufzubringen. Dies ist in Figur 1 und 3 nicht dargestellt. Die Reflektionsschicht 3 kann je nach Ausführung aus einer oder mehreren Schichten bestehen. Die eingesetzten Schichten können hierbei aus einem oder aus mehreren Metallen bestehen. Der Grund für das Aufbringen mehrerer Schichten besteht in den mechanischen Anforderungen an die Reflektionsschicht. Da die Reflektionsschicht als frei tragende Schicht ausgeführt wird, ist eine entsprechende Schichtdicke erforderlich. Typischerweise werden hierfür Schichten eingesetzt, die dicker als $10\mu\text{m}$ sind. Allerdings ist es sehr zeit- und ressourcenaufwendig diese dicken Schichten mittels eines Sputterprozesses aufzubringen. Entsprechend setzt man hierzu zwei Verfahren ein. Eine erste dünne Schicht wird aufgesputtert. Anschließend wird der Rest der Schicht in einem Elektroplatingprozess aufgebracht. Der Elektroplatingprozess zeichnet sich dadurch aus, dass deutlich dickere Schichten binnen kürzerer Zeit aufgebracht werden können.

Neben der Möglichkeit, eine Metallschicht oder auch ein Multischichtsystem aus Metall zu verwenden, kann der Siegel 3 auch mittels einer nur teilweise transparenten Schicht hergestellt werden. Erforderlich ist in diesem Fall, dass ein gewisser Anteil des Lichts an dieser Schicht reflektiert wird, so dass sich eine stehende Welle ausbilden kann. Vorteil einer solchen Anordnung ist es, dass das Spektrometer im Transmissionsmodus betrieben werden kann. Damit kann also ein Fourier-Spektrometer in einen Strahlengang eingebracht werden, ohne beispielsweise Strahlteiler verwenden zu müssen, die einen Teil des Strahls auskoppeln und auf ein Spektrometer lenken. Insbesondere im Bereich der optischen Telekommunikation ist dies von besonderem Interesse.

Als mögliche Opferschicht kann amorphes Silizium eingesetzt werden. Das Material kann in einem Chemical-Vapor-Deposition- (CVD) oder Sputter-Verfahren abgeschieden werden. Nach Aufbringen der Reflektionsschicht werden Löcher in

die Reflektionsschicht eingebracht (Entfernen der Metallschicht an gewissen Stellen), und die Opferschicht wird nasschemisch oder mittels eines Trockenätzverfahrens, beispielsweise mit Xenon Difluoride, entfernt.

5 Um eine möglichst hohe spektrale Auflösung des Spektrometers zu erzielen, sollte der Spiegel bevorzugt über einen weiten Bereich ausgelenkt werden können. Bei den in Figur 1 und 3 gezeigten Ausführungsformen ist die Auslenkung des Spiegels neben dem Design des Spiegels durch die Dicke der Opferschicht limitiert. Alternativ lassen sich hierzu auch andere Spiegeldesigns verwenden. Bei-
10 spielsweise lässt sich hierzu der mechanischen Stress in Metallfilmen nutzen. Eine solche Ausgestaltung ist in Figur 4 als Seitenansicht und in Figur 5 als Draufsicht gezeigt. Dabei sind Metallmultischichten aufgebracht, die stark verspannt sind. Nach dem Entfernen der Opferschicht gibt der Metallfilm dem Stress im Film nach. Der Metallfilm besitzt hierbei Eigenschaften vergleichbar einer Fe-
15 der. Die Federkonstante lässt sich einstellen durch die Depositionsbedingungen und die Schichtdicken der Metallfilme. Dieser Effekt, der sehr genau kontrolliert werden kann, lässt sich nutzen, um den Abstand zwischen dem Spiegel und dem Sensor zu vergrößern. Untersuchungen an Spiegelarrays haben dies sehr ein-
drucksvoll gezeigt. Der Spiegel ist somit an „Federn“ aufgehängt.

20 Anhand von Figur 6 wird beispielhaft eine Ausführungsform des Herstellungsprozesses zur Herstellung eines erfindungsgemäßen integrierten Fourier-Spektrometers, wie in Figur 1 gezeigt, dargestellt. Die einzelnen Herstellungsschritte werden nachfolgend im einzelnen kurz erläutert.

- 25 a) Deposition einer ersten transparenten Frontelektrode 5, z. B. aus ITO, auf dem Substrat 2.
- b) Abscheidung des semi-transparenten Sensors 2. Der Sensor 2 kann aus einer pn-, np-, pin-, nip-, pnip-, pinp, nipn-, npin-Diode, einer Kombination der Anordnungen, einer Schottky-Diodenanordnung oder eine Photoleiter-Anord-
30 nung bestehen.
- c) Deposition einer zweiten transparenten Rückelektrode 6, z. B. aus ITO.
- d) Aufbringung einer Passivierung 8 zwischen dem semi-transparenten Sensor 2 und dem modulierbaren Spiegel. Bei der Passivierungsschicht 8 kann es sich um eine Plasma-Enhanced-Chemical-Vapor-Deposition (PECVD) Silizi-

umschicht handeln, die mit ihrer großen optischen Bandlücke transparent für das einfallende Licht ist. Alternative Materialien wie Siliziumoxid oder Aluminiumoxid kommen auch in Betracht.

- 5 e) Aufbringen einer festen transparenten Elektrode 10 für den MEMS basierten modulierbaren Spiegel. Das Material der Elektrode 10 kann aus ITO bestehen.
- f) Strukturierung der festen Elektrode 10 des Spiegels. Damit werden parasitäre Kapazitäten zwischen der beweglichen Elektrode 3 und der festen Elektrode 10 reduziert.
- 10 g) Aufbringen einer Passivierung 9 zwischen der festen und der beweglichen Elektrode 3 des modulierbaren Spiegels.
- h) Aufbringen einer Opferschicht 11, z. B. aus amorphem Silizium.
- i) Strukturierung der Opferschicht 11.
- 15 j) Aufbringen der Reflektionsschicht 3. Als Materialien eignen sich hier bevorzugt Gold oder Silber. Die Schicht kann mittels thermischem Verdampfen, Elektronenstrahlverdampfen oder als Sputterschicht aufgebracht werden. Aufbringen einer weiteren Metallschicht auf der Spiegeloberfläche. Die Schicht kann mittels Elektroplating aufgebracht werden. Ziel hierbei ist eine Schicht von einigen Mikrometern aufzubringen, um eine mechanische Steifigkeit des Spiegels 3 zu erzielen.
- 20 k) Öffnen von Löchern in der Reflektionsschicht (Membran des Spiegels).
- l) Entfernen der Opferschicht 11, im Fall von amorphem Silizium zum Beispiel mittels Xenon Difluoride, zur Bildung des Hohlraums 7. Im Falle von Xenon Difluoride handelt es sich um ein Trockenätzverfahren. Alternativ können
- 25 aber auch nasschemische Ätzverfahren eingesetzt werden.

Der Herstellungsprozess wurde dabei beispielhaft dargestellt. Sowohl die Herstellung des semi-transparenten Sensors als auch die Fabrikation des Spiegels kann modifiziert werden. Weiterhin lässt sich noch die Herstellungsfolge des Bauelements modifizieren. Mögliche alternative Bauelementdesigns werden im

30 folgenden kurz beschrieben.

Die Herstellung des Fourier-Spektrometers auf einem für das einfallende Licht transparenten Substrat erfolgt bevorzugt mit folgenden Schritten:

A.1 Herstellung des semi-transparenten Sensors und des modulierbaren Spiegels auf einer Seite des Substrates.

A.1.1 Der Sensor wird zuerst und dann der Spiegel aufgebracht. Der Spiegel wird moduliert. Licht wird durch das Substrat eingestrahlt.

5 A.1.2 Der Spiegel wird als erstes hergestellt. Der Sensor wird anschließend aufgebracht. In diesem Fall fungiert der Spiegel nur als Reflektor. Der Sensor wird moduliert. In diesem Fall wird das Licht nicht durch das Substrat eingestrahlt.

10 A.2 Herstellung des semi-transparenten Sensors und des modulierbaren Spiegels auf beiden Seite des Substrates.

A.2.1 Der Sensor wird zuerst auf einer Seite und dann der Spiegel auf der anderen Seite aufgebracht. Der Spiegel wird moduliert. Licht fällt erst durch den semi-transparenten Sensor, anschließend durch das Substrat und wird dann am Spiegel reflektiert.

15 A.2.2 Der Spiegel wird als erstes auf einer Seite hergestellt. Der Sensor wird anschließend auf der anderen Seite aufgebracht. In diesem Fall fungiert der Spiegel nur als Reflektor. Der Sensor wird moduliert. Licht fällt erst durch den semi-transparenten Sensor, anschließend durch das Substrat und wird dann am Spiegel reflektiert.

20

Die Herstellung des Fourier-Spektrometers auf einem für das einfallende Licht nicht transparenten Substrat erfolgt bevorzugt mit folgenden Schritten:

B.1 Herstellung des semi-transparenten Sensors und des modulierbaren Spiegels auf einer Seite des Substrates.

25 B.1.1 Der Sensor wird zuerst und dann der Spiegel aufgebracht. Der Spiegel wird moduliert. Licht wird durch das Substrat eingestrahlt.

B.1.2 Der Spiegel wird als erstes hergestellt. Der Sensor wird anschließend aufgebracht. In diesem Fall fungiert der Spiegel nur als Reflektor. Der Sensor wird moduliert. In diesem Fall wird das Licht nicht durch das Substrat eingestrahlt.

30

Das Aufbringen des Sensors und des Spiegels auf unterschiedlichen Seiten des Substrates bietet Vorteile im Hinblick auf die Kontaktierung der Komponenten. Andererseits weitet sich der Strahl beim Durchtritt durch das Substrat auf. Dies

ist nicht erwünscht. Weiterhin stellt sich die Frage, ob die optische Kohärenz des einfallenden Lichts ausreicht um noch eine stehende Welle auszubilden. Hier ist also ein Kompromiss in Kauf zu nehmen.

5 Ähnlich verhält es sich mit der Variante, in der der Sensor anstelle des Spiegels moduliert wird. In diesem Fall steht der Spiegel fest. Der Vorteil dieser Anordnung liegt darin, dass der einfallende Strahl nicht durch das Substrat hindurchtreten muss. Reflektionen an den Übergängen des Substrates zur Luft oder zu den Schichten des semi-transparenten Sensors beeinflussen die Ausbreitung
10 einer stehenden Welle im Sensor negativ. In diesem Fall ist allerdings der modulierte Sensor mit der Ausleseelektronik zu verbinden. Dies ist deutlich aufwendiger als der Einsatz eines modulierten Spiegels.

Die Probleme der bekannten MEMS Fourier-Spektrometer lassen sich somit erfindungsgemäß umgehen, indem der semi-transparente Sensor und der modulierbare Spiegel gemeinsam integriert werden. Damit reduziert man die Anzahl der Komponenten, und die Ausrichtung von Sensor und Spiegel zueinander entfällt. Als Technologie bietet sich bevorzugt die Dünnschichttechnologie an. Dadurch kann das Spektrometer auf einem neutralen Substrate wie Glas realisiert
15 werden. Der Einsatz eines neutralen Substrates senkt die Herstellungskosten. Weiterhin lässt sich durch den Einsatz von Dünnschichttechnologie ein modulierbarer Spiegel herstellen, der bereits bei kleinen Betriebsspannungen über einen weiten Bereich ausgelenkt werden kann.
20

P a t e n t a n s p r ü c h e

1. Fourier-Spektrometer zur Ermittlung von Spektralinformationen eines einfallenden optischen Eingangssignals mit:
- einer für das optische Eingangssignal durchlässigen Trägerschicht,
 - 5 – einem auf der Trägerschicht aufgebracht, für das optische Eingangssignal wenigstens teilweise durchlässigen Sensor zur Erzeugung eines elektrischen Ausgangssignals,
 - einer auf der der Trägerschicht abgewandten Seite des Sensors angeordneten Reflektionsschicht zur Reflektion des einfallenden optischen Eingangssignals und zur Bildung einer optisch stehenden Welle aus dem einfallenden Eingangssignal und dem reflektierten Eingangssignal, und
 - 10 – einem zwischen dem Sensor und der Reflektionsschicht angeordneten Hohlraum zur Ermöglichung einer Modulation des Abstands zwischen dem Sensor und der Reflektionsschicht,
 - 15 wobei der Sensor ausgestaltet ist zur Abtastung der Intensität der stehenden Welle und zur Bildung eines die Spektralinformationen des Eingangssignals enthaltenden Ausgangssignals und
 - wobei die Trägerschicht, der Sensor und die Reflektionsschicht gemeinsam in einem Halbleiterbauelement integriert sind und im wesentlichen
 - 20 parallel zueinander und senkrecht zum einfallenden optischen Eingangssignal zur Erzeugung der optisch stehenden Welle ausgerichtet sind.
2. Fourier-Spektrometer nach Anspruch 1,
- 25 gekennzeichnet durch Modulationsmittel zur Modulation des Abstands zwischen dem Sensor und der Reflektionsschicht, insbesondere durch Anlegen einer elektrischen Spannung zur elektrostatischen Modulation der Position des Sensors und/oder der Reflektionsschicht als Funktion der angelegten Spannung.
- 30 3. Fourier-Spektrometer nach einem der vorstehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch Schichtelektroden zur Kontaktierung des Sensors und/oder zum Anlegen einer elektrischen Spannung zur elektrostatischen Modulation des Abstands zwischen dem Sensor und der Reflektionsschicht,

wobei die Schichtelektroden aus transparenten leitfähigen Oxiden, insbesondere SnO_2 , ZnO , In_2O_3 oder Cd_2SnO_4 mit B, Al, In, Sn, Sb oder F dotiert, aus dünnen Metallfilmen, insbesondere aus Al, Ag, Cr, Pd, oder aus halbleitenden Schichten, insbesondere aus amorphem, mikrokristallinen, polykristallinen oder kristallinen Halbleiterschichten aus Silizium, Germanium, Kohlenstoff, Stickstoff, Sauerstoff oder Legierungen dieser Materialien, bestehen.

4. Fourier-Spektrometer nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der semi-transparente Sensor als Photoleiter, als Schottkydiode, als pin-, nip-, pip-, nin-, npin-, pnip-, pinp-, nipn-Struktur oder als Kombination derartiger Strukturen gebildet ist.
5. Fourier-Spektrometer nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der semi-transparente Sensor mindestens eine photoelektrisch aktive Halbleiterschicht aufweist, die aus einem amorphen, mikrokristallinen, polykristallinen oder kristallinen Material gebildet ist, insbesondere aus den Materialien Silizium, Germanium, Kohlenstoff, Stickstoff, Sauerstoff und/oder Legierungen dieser Materialien besteht.
6. Fourier-Spektrometer nach einem der vorstehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch optische Anpassungsschichten zur optischen Anpassung des Fourier-Spektrometers vorgesehen sind.
7. Fourier-Spektrometerfeld mit mehreren auf einer einzigen, gemeinsamen Trägerschicht integrierten, in einer Reihe oder in einem Array angeordneten Fourier-Spektrometern nach einem der vorstehenden Ansprüche.
8. Verfahren zur Herstellung eines Fourier-Spektrometers nach einem der Ansprüche 1 bis 6 zur Ermittlung von Spektralinformationen eines einfallenden optischen Eingangssignals, gekennzeichnet durch die Schritte:
 - Abscheidung eines für das optische Eingangssignal wenigstens teilweise durchlässigen Sensors auf einer für das optische Eingangssignal durchlässigen Trägerschicht zur Erzeugung eines elektrischen Ausgangssignals,

- Aufbringung einer Opferschicht auf der der Trägerschicht abgewandten Seite des Sensors,
- Aufbringung einer Reflektionsschicht auf der dem Sensor abgewandten Seite der Opferschicht zur Reflektion des einfallenden optischen Eingangssignals und zur Bildung einer optisch stehenden Welle aus dem einfallenden Eingangssignal und dem reflektierten Eingangssignal,
- Entfernen der Opferschicht zur Bildung eines Hohlraums zwischen dem Sensor und der Reflektionsschicht zur Ermöglichung einer Modulation des Abstands zwischen dem Sensor und der Reflektionsschicht
- wobei der Sensor ausgestaltet ist zur Abtastung der Intensität der stehenden Welle und zur Bildung eines die Spektralinformationen des Eingangssignals enthaltenden Ausgangssignals und
- wobei die Trägerschicht, der Sensor und die Reflektionsschicht gemeinsam in einem Halbleiterbauelement integriert werden und im wesentlichen parallel zueinander und senkrecht zum einfallenden optischen Eingangssignal zur Erzeugung der optisch stehenden Welle ausgerichtet werden.
9. Verfahren nach Anspruch 8,
- dadurch gekennzeichnet, dass der Sensor mittels eines Abscheideverfahren, insbesondere mittels eines CVD-Verfahrens, Sputter-Verfahrens oder Epitaxie-Verfahrens, hergestellt wird.
10. Verfahren nach einem der Ansprüche 8 bis 9,
- dadurch gekennzeichnet, dass die Reflektionsschicht mittels Dünnschichttechnologie und Oberflächen-Mikromechanik hergestellt wird.

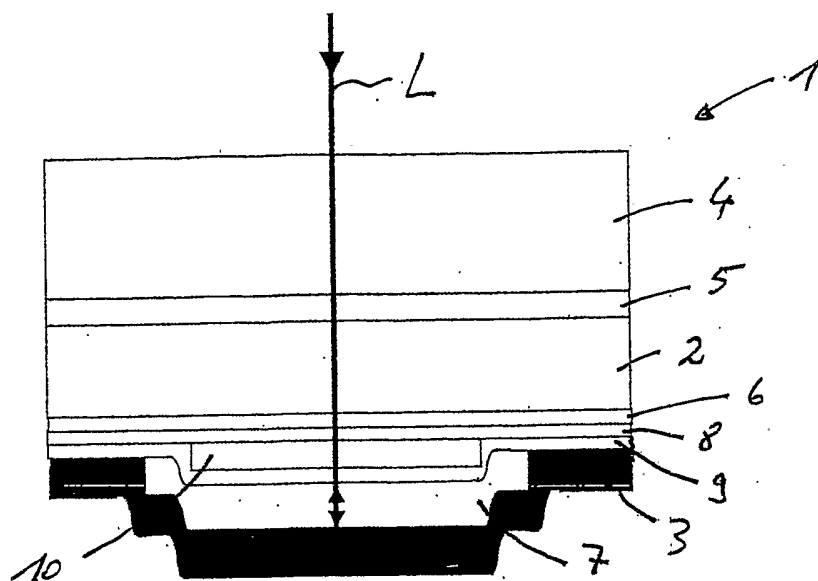


Fig. 1

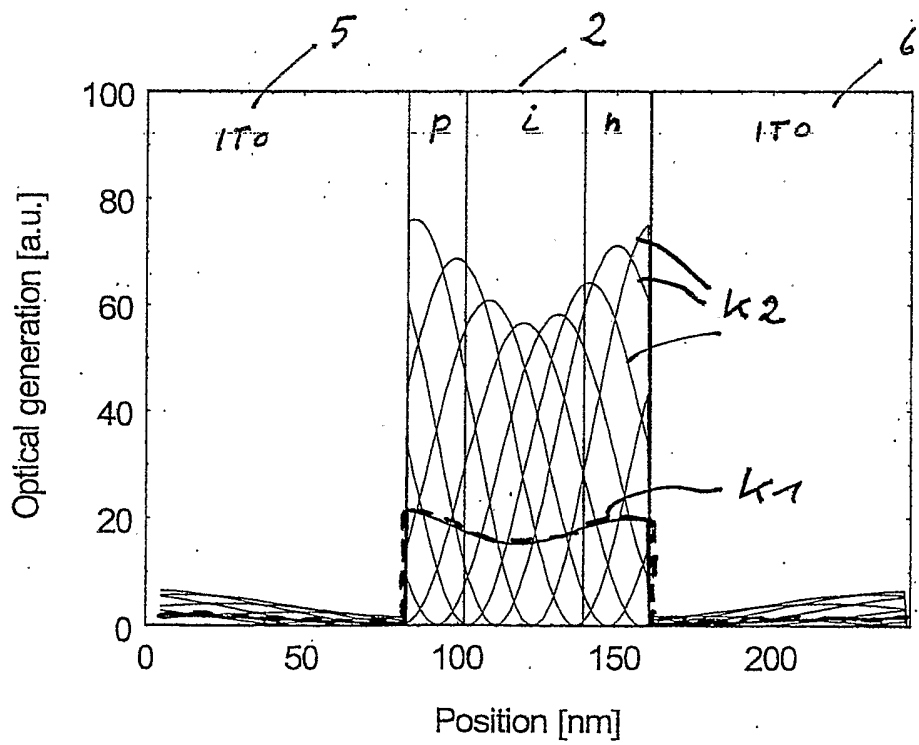


Fig. 2

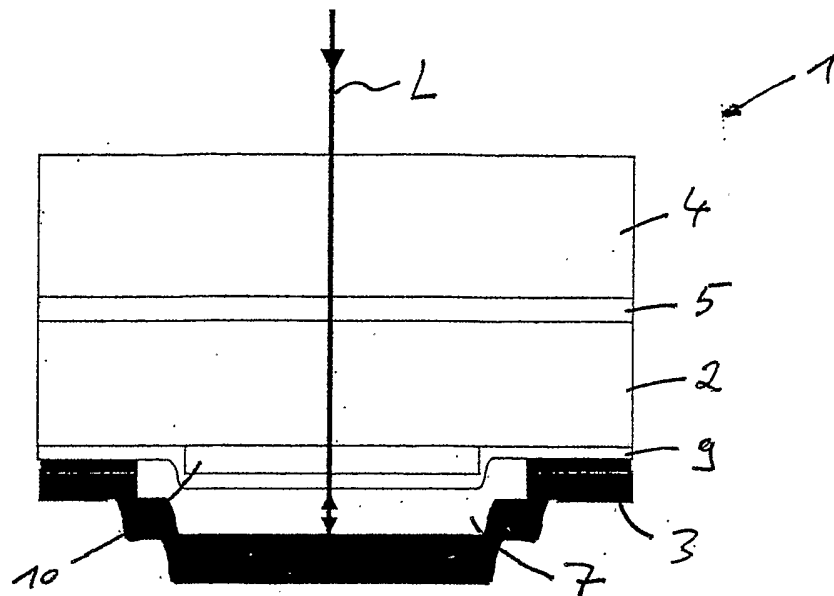


Fig. 3

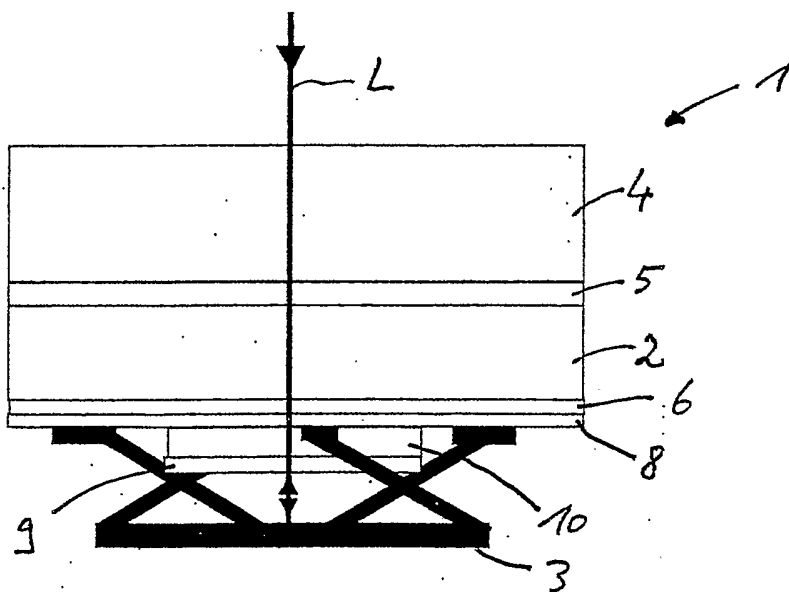


Fig. 4

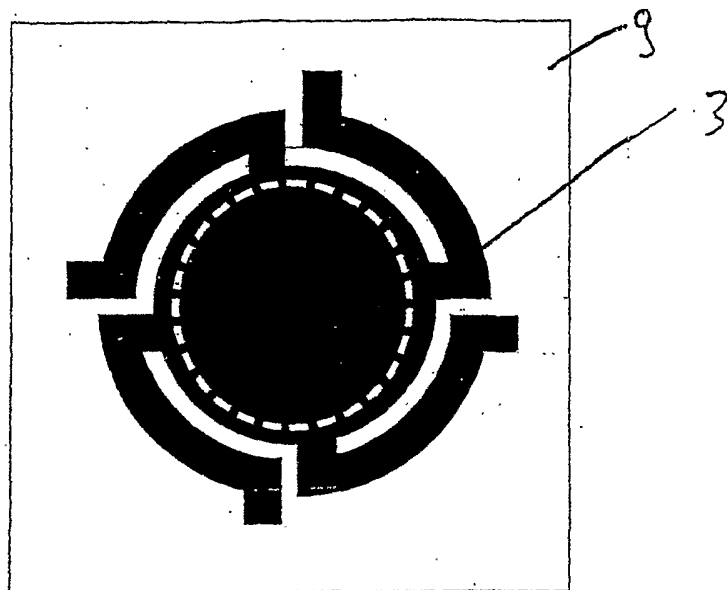


Fig. 5

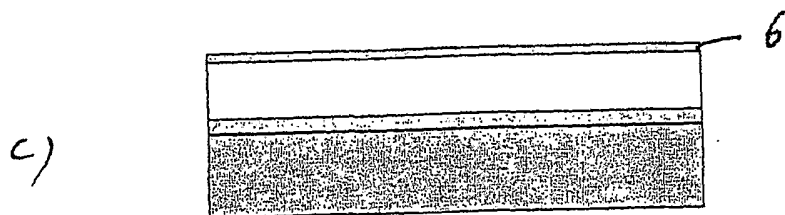
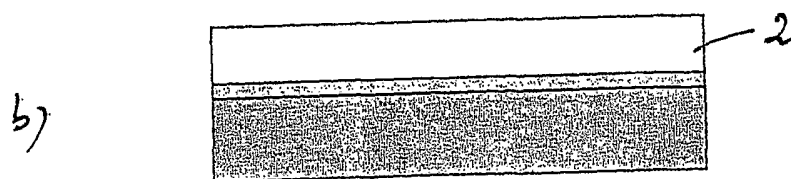
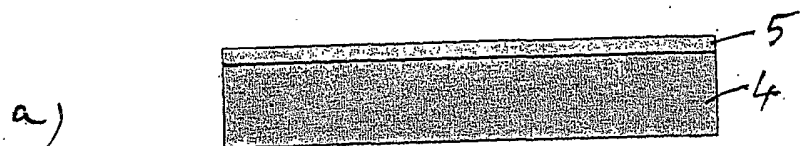


Fig. 6-1

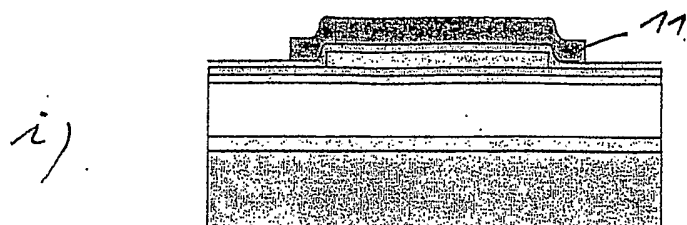
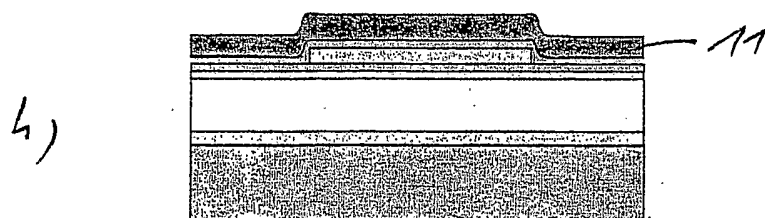
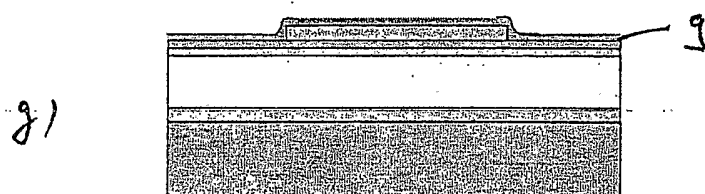
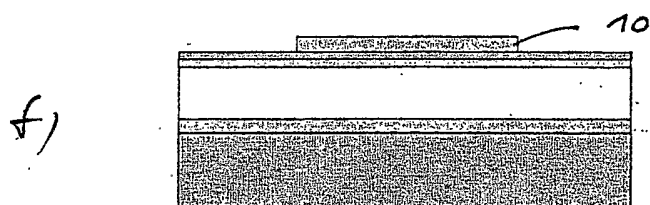


Fig. 6-2

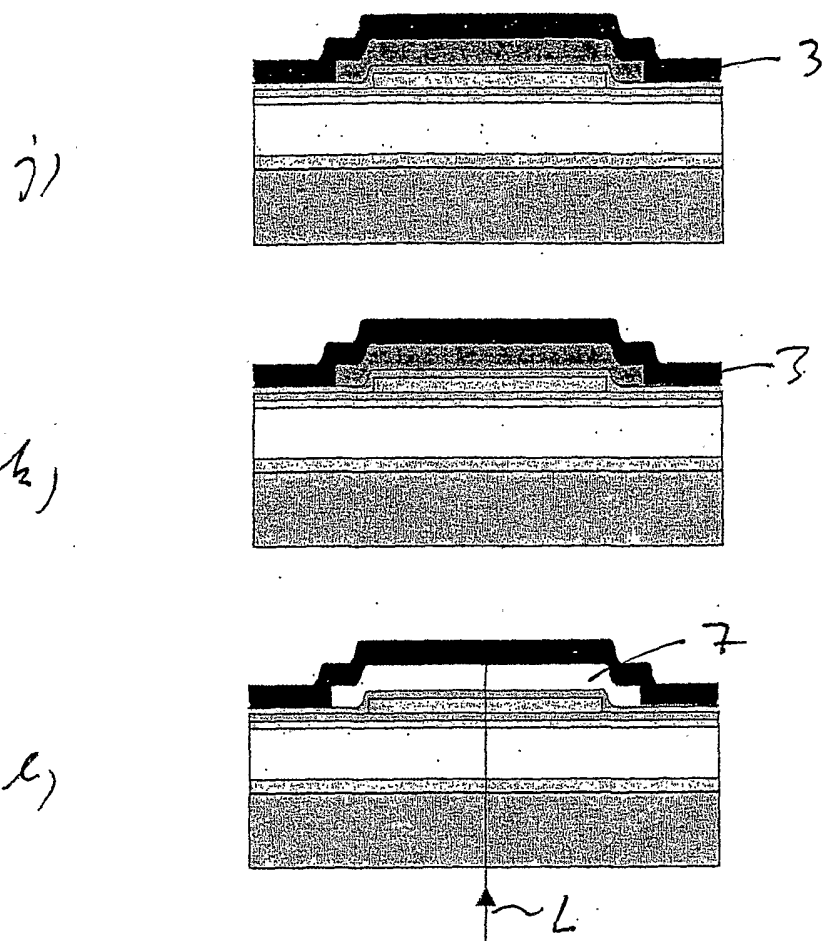


Fig. 6-3

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No
PCT/DE2005/000725

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

IPC 7 G01J3/453

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 7 G01J

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data, INSPEC

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X A	US 2002/075483 A1 (HARRIS JAMES S ET AL) 20 June 2002 (2002-06-20) paragraphs '0012! - '0019!, '0046! - '0050!; figure 2B ----- -/--	1-7 8-10

☒ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

* Special categories of cited documents :

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier document but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

19 August 2005

Date of mailing of the international search report

05/09/2005

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Rödig, C

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No
PCT/DE2005/000725

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	BHALOTTA S R ET AL: "Integrated standing-wave transform spectrometer for near infrared optical analysis" LEOS 2002. 15TH. ANNUAL MEETING OF THE IEEE LASERS & ELECTRO-OPTICS SOCIETY. GLASGOW, SCOTLAND, NOV. 11 - 12, 2002, ANNUAL MEETING OF THE IEEE LASERS AND ELECTRO-OPTICS SOCIETY, NEW YORK, NY : IEEE, US, vol. VOL. 1 OF 2, 11 November 2002 (2002-11-11), pages 105-106, XP010620434 ISBN: 0-7803-7500-9	1-7
A	the whole document	8-10
X	KUNG H L ET AL: "STANDING-WAVE TRANSFORM SPECTROMETER BASED ON INTEGRATED MEMS MIRROR AND THIN-FILM PHOTODETECTOR" IEEE JOURNAL OF SELECTED TOPICS IN QUANTUM ELECTRONICS, IEEE SERVICE CENTER, US, vol. 8, no. 1, January 2002 (2002-01), pages 98-105, XP001116250 ISSN: 1077-260X cited in the application	1-7
A	paragraph 'OIII!; figure 3	8-10
P,X	KNIPP D ET AL: "Silicon-based micro-Fourier spectrometer" IEEE Transactions on Electron Devices IEEE USA, vol. 52, no. 3, 2005, pages 419-426, XP002341304 ISSN: 0018-9383 figure 2	1-7
A	D. KNIPP ET AL.: "Design and modelling of a Fourier spectrometer based on sampling a standing wave" MATERIALS SCIENCE OF MICROELECTROMECHANICAL SYSTEMS (MEMS) DEVICES IV. SYMPOSIUM 25-28 NOV. 2001 BOSTON, MA, USA, 2001, pages 185-190, XP002341305 Materials Science of Microelectromechanical Systems (MEMS) Devices IV. Symposium (Materials Research Society Symposium Proceedings Vol.687) Mater. Res. Soc Warrendale, PA, USA ISBN: 1-55899-623-0 cited in the application figure 1	1-10

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

Information on patent family members

International Application No

PCT/DE2005/000725

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 2002075483 A1	20-06-2002	AU 8545401 A WO 0214782 A1	25-02-2002 21-02-2002

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/DE2005/000725

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
IPK 7 G01J3/453

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)

IPK 7 G01J

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal, WPI Data, INSPEC

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X A	US 2002/075483 A1 (HARRIS JAMES S ET AL) 20. Juni 2002 (2002-06-20) Absätze '0012! - '0019!, '0046! - '0050!; Abbildung 2B ----- -/--	1-7 8-10

☒ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen

☒ Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

"E" älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

19. August 2005

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

05/09/2005

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Rödig, C

C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	BHALOTTA S R ET AL: "Integrated standing-wave transform spectrometer for near infrared optical analysis" LEOS 2002. 15TH. ANNUAL MEETING OF THE IEEE LASERS & ELECTRO-OPTICS SOCIETY. GLASGOW, SCOTLAND, NOV. 11 - 12, 2002, ANNUAL MEETING OF THE IEEE LASERS AND ELECTRO-OPTICS SOCIETY, NEW YORK, NY : IEEE, US, Bd. VOL. 1 OF 2, 11. November 2002 (2002-11-11), Seiten 105-106, XP010620434 ISBN: 0-7803-7500-9	1-7
A	das ganze Dokument	8-10
X	KUNG H L ET AL: "STANDING-WAVE TRANSFORM SPECTROMETER BASED ON INTEGRATED MEMS MIRROR AND THIN-FILM PHOTODETECTOR" IEEE JOURNAL OF SELECTED TOPICS IN QUANTUM ELECTRONICS, IEEE SERVICE CENTER, US, Bd. 8, Nr. 1, Januar 2002 (2002-01), Seiten 98-105, XP001116250 ISSN: 1077-260X in der Anmeldung erwähnt	1-7
A	Absatz 'OIII!; Abbildung 3	8-10
P,X	KNIPP D ET AL: "Silicon-based micro-Fourier spectrometer" IEEE Transactions on Electron Devices IEEE USA, Bd. 52, Nr. 3, 2005, Seiten 419-426, XP002341304 ISSN: 0018-9383 Abbildung 2	1-7
A	D. KNIPP ET AL.: "Design and modelling of a Fourier spectrometer based on sampling a standing wave" MATERIALS SCIENCE OF MICROELECTROMECHANICAL SYSTEMS (MEMS) DEVICES IV. SYMPOSIUM 25-28 NOV. 2001 BOSTON, MA, USA, 2001, Seiten 185-190, XP002341305 Materials Science of Microelectromechanical Systems (MEMS) Devices IV. Symposium (Materials Research Society Symposium Proceedings Vol.687) Mater. Res. Soc Warrendale, PA, USA ISBN: 1-55899-623-0 in der Anmeldung erwähnt Abbildung 1	1-10

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/DE2005/000725

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 2002075483 A1	20-06-2002	AU 8545401 A WO 0214782 A1	25-02-2002 21-02-2002