



(12) Wirtschaftspatent

Erteilt gemäß § 17 Absatz 1 Patentgesetz

(19) **DD** (11) **249 772 A1**4(51) G 02 B 27/10
G 02 B 6/10

AMT FÜR ERFINDUNGS- UND PATENTWESEN

In der vom Anmelder eingereichten Fassung veröffentlicht

(21)	WP G 02 B / 291 054 3	(22)	06.06.86	(44)	16.09.87
------	-----------------------	------	----------	------	----------

(71) Friedrich-Schiller-Universität Jena, 6900 Jena, August-Bebel-Straße 4, DD

(72) Göring, Rolf, Dr.; Klöpfel, Diethard, DD

(54) **Integriert-optischer Temperatursensor**

(57) Die Erfindung betrifft einen Sensor für optische Temperaturmessung mit einer aus streifenförmigen Lichtwellenleitern in einem ebenen Substrat bestehenden Interferometerstruktur, die zumindest teilweise von einem Overlay bedeckt ist. Angestrebt wurde ein integriert-optischer Temperatursensor mit einfacher Wellenleiterstruktur und hoher Meßempfindlichkeit. Die Lösung dieser Aufgabe gelingt erfindungsgemäß dadurch, daß streifenförmige Lichtwellenleiter ein Interferometer bilden, dessen einer Arm mit einer gegenüber den Lichtwellenleitern höherbrechenden Schicht (Overlay) bedeckt ist, deren Schichtdicke im Bereich der Arbeitslichtwellenlänge liegt. Das Schichtdicken-Brechzahlprodukt des Overlays ist so gewählt, daß die Arbeitswellenlänge genau die Grenzwellenlänge für eine sich nur im Overlay ausbreitende Lichtwelle (Modus) ist und daß das Overlay-Material im Vergleich zum Lichtwellenleiter deutlich unterschiedliche thermooptische Koeffizienten aufweist.

Erfindungsanspruch:

1. Integriert-optischer Temperatursensor auf der Basis von einmodigen streifenförmigen Lichtwellenleitern, **dadurch gekennzeichnet**, daß die streifenförmigen Lichtwellenleiter ein Interferometer bilden, dessen einer Arm mit einer gegenüber den Lichtwellenleitern höherbrechenden Schicht (overlay) bedeckt ist, deren Schichtdicke im Bereich der Arbeitslichtwellenlänge liegt.
2. Integriert-optischer Sensor nach Punkt 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß das Schichtdicken-Brechzahlprodukt des overlays so gewählt ist, daß die Arbeitswellenlänge genau die Grenzwellenlänge für eine sich nur im overlay ausbreitende Lichtwelle (Modus) ist und daß das overlay-Material im Vergleich zum Lichtwellenleiter deutlich unterschiedliche thermooptische Koeffizienten aufweist.
3. Integriert-optischer Sensor nach Punkt 2, **dadurch gekennzeichnet**, daß das Overlay aus Si oder GaAs besteht.
4. Integriert-optischer Sensor nach Punkt 2, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Wellenleiter durch Titaneindiffusion in LiNbO_3 hergestellt ist und das overlay aus einer feinkristallinen TiO_2 -Schicht besteht.

Hierzu 2 Seiten Zeichnungen

Anwendungsgebiet der Erfindung

Die Erfindung betrifft einen Sensor für optische Temperaturmessung auf der Basis von streifenförmigen Lichtwellenleitern in einem ebenen Substrat, die als Interferometerstruktur angeordnet und zumindest in einem Teil mit einem sensibilisierenden Belag (Overlay) bedeckt sind. Der Sensor ist in optischen Signalübertragungssystemen mit einmodigen Lichtwellenleitern einsetzbar, wenn z. B. Temperaturen auf nichtelektrischem Wege in einer Umgebung starker elektromagnetischer Störfelder bzw. mit hoher Explosionsgefahr gemessen werden sollen.

Charakteristik der bekannten technischen Lösungen

Zur optischen Temperaturmessung werden faseroptische Sensoren mit sehr unterschiedlichen Wirkprinzipien eingesetzt. So werden z. B. die temperaturabhängige Fotolumineszenz fester Materialien (DE-OS 3036682, EP 0006530), die temperaturabhängige Brechzahländerung von Flüssigkeiten (DE-OS 2941677) sowie die Absorptionsänderung in Halbleitern ausgenutzt (IEEE Journal of Quantum Electronics, vol. QE-18 [1982] p. 676). Sehr hohe Empfindlichkeiten werden mit interferometrischen faseroptischen Temperatursensoren erreicht (Applied Optics, vol. 18 [1979] p. 1445). Derartige faseroptische Sensoren sind allerdings z. T. nicht genügend stabil, relativ voluminös und erfordern oft einen hohen manuellen Fertigungsaufwand. Demgegenüber wird erwartet, daß integriert-optische Sensoren, die als Lichtwellenleiterstrukturen in bzw. auf ebenen transparenten Substraten realisiert werden, kompakter und stabiler sind. Aus der Literatur sind erste integriert-optische Temperatursensoren als Labormuster bekannt. Sie besitzen sämtlich eine asymmetrische Interferometerstruktur, da die auf einem Substrat in unmittelbarer Nähe angeordneten Interferometerarme praktisch immer der gleichen (zu messenden) Temperatur ausgesetzt sind (im Gegensatz zu den faseroptischen interferometrischen Sensoren, wo nur ein Interferometerarm der zu messenden Temperatur ausgesetzt wird). In Applied Physics Letters vol. 41 (1982) p. 135 wird ein asymmetrisches Mach-Zehnder-Interferometer, hergestellt durch Titaneindiffusion in LiNbO_3 , zur Temperaturmessung verwendet. Trotz hohen Strukturierungsaufwandes ist die erreichte Empfindlichkeit sehr gering. Wesentlich höhere Empfindlichkeiten werden durch transversale Ankopplung eines integriert-optischen Resonators an einen Streifenwellenleiter (IEEE Journal of Quantum Electronics vol. QE-21 [1985] p. 332) sowie durch deutliche Vergrößerung der Interferometerasymmetrie (Applied Optics, vol. 24 [1985] p. 2483) erreicht. In beiden Fällen ist die zu realisierende Lichtwellenleiterstruktur kompliziert und insbesondere im ersten Fall die erreichte Modulationstiefe des optischen Ausgangssignals gering.

Ziel der Erfindung

Ziel der Erfindung ist ein integriert-optischer Temperatursensor, der einerseits eine einfache Wellenleiterstruktur besitzt, andererseits jedoch eine hohe Meßempfindlichkeit aufweist.

Darlegung des Wesens der Erfindung

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, einen integriert-optischen Temperatursensor zu schaffen, der trotz einfacher Wellenleiterstruktur eine hohe Meßempfindlichkeit aufweist und im Gegensatz zu allen bisher bekannten Lösungen den Vorteil bietet, die Empfindlichkeit nach Beendigung der Wellenleiterherstellung auf den gewünschten Wert einzustellen. Zur Lösung dieser Aufgabe wird ein integriert-optischer Temperatursensor auf der Basis von einmodigen streifenförmigen Lichtwellenleitern vorgeschlagen, welcher erfindungsgemäß als Interferometer ausgebildet ist, bei dem zumindest ein Arm mit

einer gegenüber den Lichtwellenleitern höherbrechenden Schicht (Overlay) bedeckt ist, deren Schichtdicke im Bereich der Arbeitswellenlänge liegt. Es ist vorteilhaft, wenn das Schichtdickenbrechzahlenprodukt des overlays so gewählt ist, daß die Arbeitswellenlänge genau die Grenzwellenlänge für eine sich nur im overlay ausbreitende Lichtwelle (Modus) ist und daß das overlay-Material im Vergleich zum Lichtwellenleiter stark unterschiedliche thermooptische Koeffizienten aufweist. Das Interferometer ist demgegenüber Temperaturänderungen maximal sensibilisiert. Dieser Sensibilisierungseffekt soll nun ausführlicher erläutert werden.

Bei einem ursprünglich symmetrischen Interferometer wird ein Arm auf einer Länge L mit einem overlay bedeckt. Dadurch werden die Phasenkonstanten der Lichtwellen im bedeckten und im unbedeckten Interferometerarm (β_1 bzw. β_2) unterschiedlich ($\beta_1 - \beta_2 \neq 0$), und es ergibt sich am Interferometerausgang eine Phasendifferenz $\delta \varnothing$ zwischen den beiden Interferometerarmen, die sich nach

$$\delta \varnothing = (\beta_1 - \beta_2) L \quad (1)$$

berechnet. Die Änderung dieser Phasendifferenz bei Temperaturänderung um ΔT ergibt sich zu

$$\Delta (\delta \varnothing) = (\beta_1 - \beta_2) \frac{dL}{dT} \Delta T + L \frac{d(\beta_1 - \beta_2)}{dT} \Delta T \quad (2)$$

Die Sensibilisierung wird somit durch zwei Effekte bestimmt. Aufgrund der durch das overlay erzeugten Interferometersymmetrie führt die Wärmeausdehnung des Materials immer zu einer Änderung der Phasendifferenz bei Temperaturänderung (1. Term in Gl. [2]), die dann am Interferometerausgang in einer periodischen Änderung der Ausgangslichtleistung resultiert, wobei die Größe der Temperaturdifferenz $\Delta T_{2\pi}$ für das Durchlaufen einer Periode des Ausgangssignals ein Maß für die Empfindlichkeit darstellt. Da jedoch die Interferometersymmetrie ($\beta_1 - \beta_2$) vergleichsweise gering ist, ist der hierdurch erzielte Sensoreffekt in etwa vergleichbar mit dem bei einem schwach geometrisch unsymmetrischen Interferometer (Applied Physics Letters, vol. 14 [1982] p. 135), d. h. $\Delta T_{2\pi} \approx 100 \dots 200 \text{ K}$.

Wesentlich höhere Empfindlichkeiten lassen sich über den zweiten Term in Gl. (2) realisieren. Hierbei wird die Tatsache ausgenutzt, daß bei geeigneter Wahl von Brechzahl und Schichtdicke des overlays relativ geringe Brechzahländerungen, im gegebenen Fall hervorgerufen durch Temperaturänderung über den thermooptischen Koeffizienten

$$\gamma = \frac{1}{n} \cdot \frac{dn}{dT} \quad (n\text{-Brechzahl}), \text{ zu drastischen Änderungen der Phasenkonstanten } \beta_1 \text{ führen (große } \frac{d\beta_1}{dT} \text{-Werte).}$$

Dieser Fall liegt dann vor, wenn die Arbeitswellenlänge genau die Grenzwellenlänge für eine sich nur im overlay ausbreitende Lichtwelle (Modus) mit dem Lichtwellenleiter als Substrat ist. Ein wesentlicher Vorteil der Erfindung besteht darin, daß durch nachträglich durchgeführte Beschichtungen die Größen ($\beta_1 - \beta_2$) sowie

$$\frac{d\beta_1}{dT} \quad (\text{jedoch nicht vollständig unabhängig voneinander}) \text{ und damit die Sensorenempfindlichkeiten korrigiert werden können.}$$

Ausführungsbeispiel

Das Wesen der Erfindung soll an einem in der Zeichnung schematisch dargestellten Ausführungsbeispiel näher erläutert werden. Fig. 1 zeigt die prinzipielle Abhängigkeit der Phasenkonstante eines mit einem overlay beschichteten planaren Wellenleiters in Abhängigkeit vom Brechzahl-Schichtdickenprodukt des overlay-Materials. Wie heraus ersichtlich ist, erhält man

durch die Beschichtung im allgemeinen eine andere Phasenkonstante β_1 als im unbeschichteten Wellenleiter β_2 . Außerdem existieren Bereiche des Brechzahl-Schichtdickenproduktes $(n \cdot d)_r$, in denen geringfügige Änderungen der Brechzahl (oder der Schichtdicke) zu einer merklichen Änderung der Phasenkonstanten β_1 führen. Die Umsetzung dieser Eigenschaften in einen Temperatursensor ist in Fig. 2 dargestellt. Ein Arm eines ursprünglich symmetrischen Mach-Zehnder-Interferometers, bestehend aus einmodigen Streifenwellenleitern 1 wird mit einem overlay 2 bedeckt, dessen Brechzahl-Schichtdickenprodukt in dem ebengenannten empfindlichen Bereich $(n \cdot d)_r$ liegt. Das Material des overlays und das Wellenleitermaterial sollen stark unterschiedliche thermooptische Koeffizienten besitzen, so daß die temperaturbedingten Brechzahländerungen des overlays (oder aber des Wellenleiters) entsprechend Fig. 1 zu deutlichen Änderungen der Phasenkonstanten β_1 führen. Die daraus resultierenden temperaturabhängigen Änderungen der Phasendifferenz zwischen den beiden Interferometerarmen werden am Ausgang in eine periodische Intensitätsänderung umgesetzt, die photoelektrisch registriert und elektronisch ausgewertet werden kann. Als overlay-Materialien kommen solche Halbleiter wie Si und GaAs in Betracht, die beide über hohe thermooptische Koeffizienten verfügen. In Verbindung mit Wellenleiterstrukturen in LiNbO_3 , die durch Titaneindiffusion hergestellt werden, sind auch overlays aus dem leicht höherbrechenden TiO_2 interessant. Durch die großen thermooptischen Koeffizienten des LiNbO_3 im Vergleich zu feinkristallinen gesputterten TiO_2 -Schichten ergibt sich prinzipiell der gleiche Sensoreffekt (zu Fig. 1 analoge Abhängigkeit β_1 von der Wellenleiterbrechzahl). Die Empfindlichkeit wird durch Variation der overlay-Dicke in sehr weiten Grenzen zwischen $\Delta T_{2\pi} \approx 400 \text{ K}$ und $\Delta T_{2\pi} < 1 \text{ K}$ eingestellt, wobei für die Einstellung maximale Empfindlichkeit ($\Delta T_{2\pi} < 1 \text{ K}$) gefordert ist, eine vorgegebene Schichtdicke mit einer Genauigkeit von $\approx 1\%$ zu realisieren. Der erfindungsgemäße Sensor hat jedoch den Vorteil gegenüber nahezu allen bisherigen Lösungen, daß eine nachträgliche Korrektur der Empfindlichkeit durchgeführt werden kann. Neben der in Fig. 2 abgebildeten Ausführungsform sind andere, z. B. als Mickelson-Interferometer, möglich.

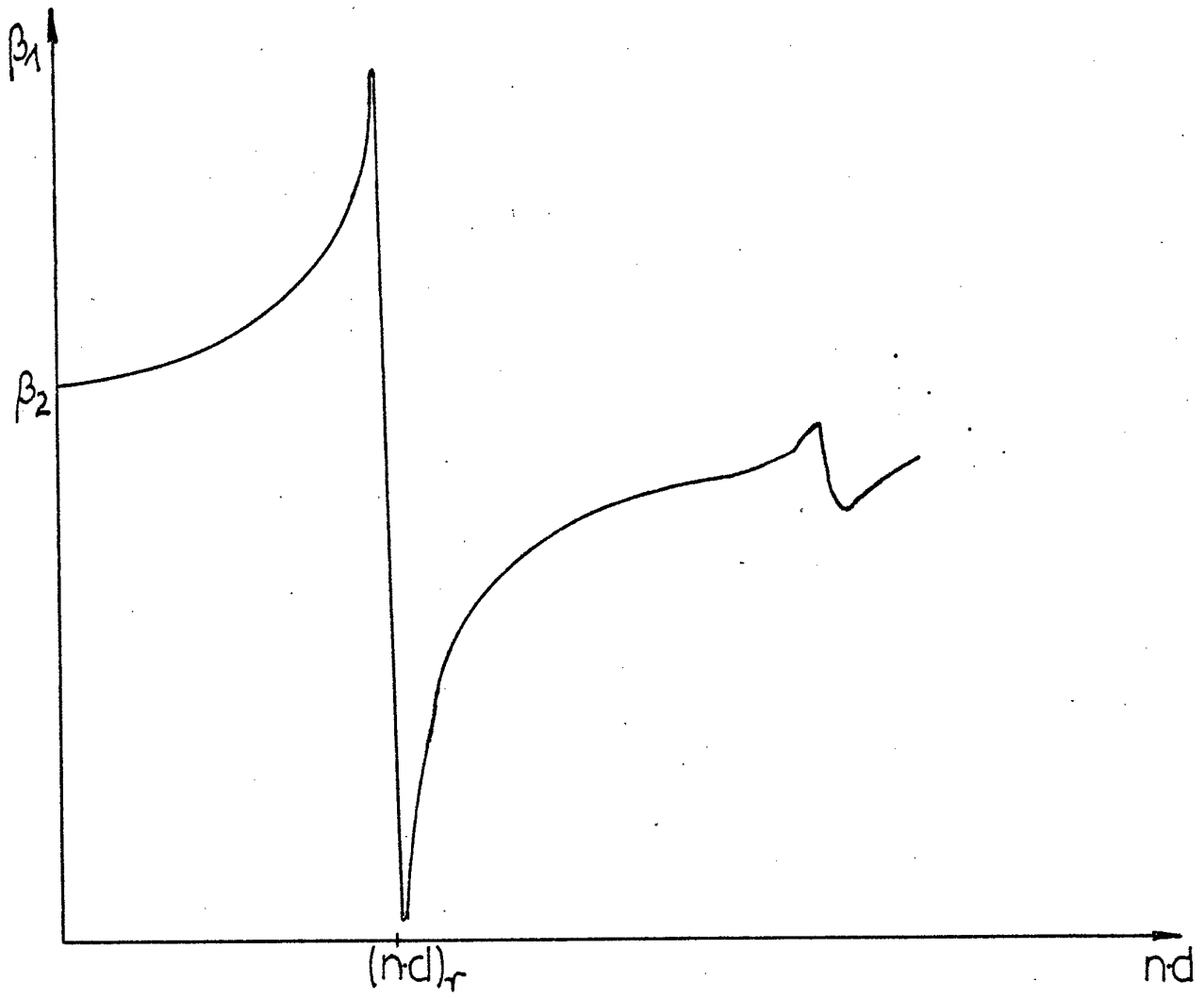


Fig.1

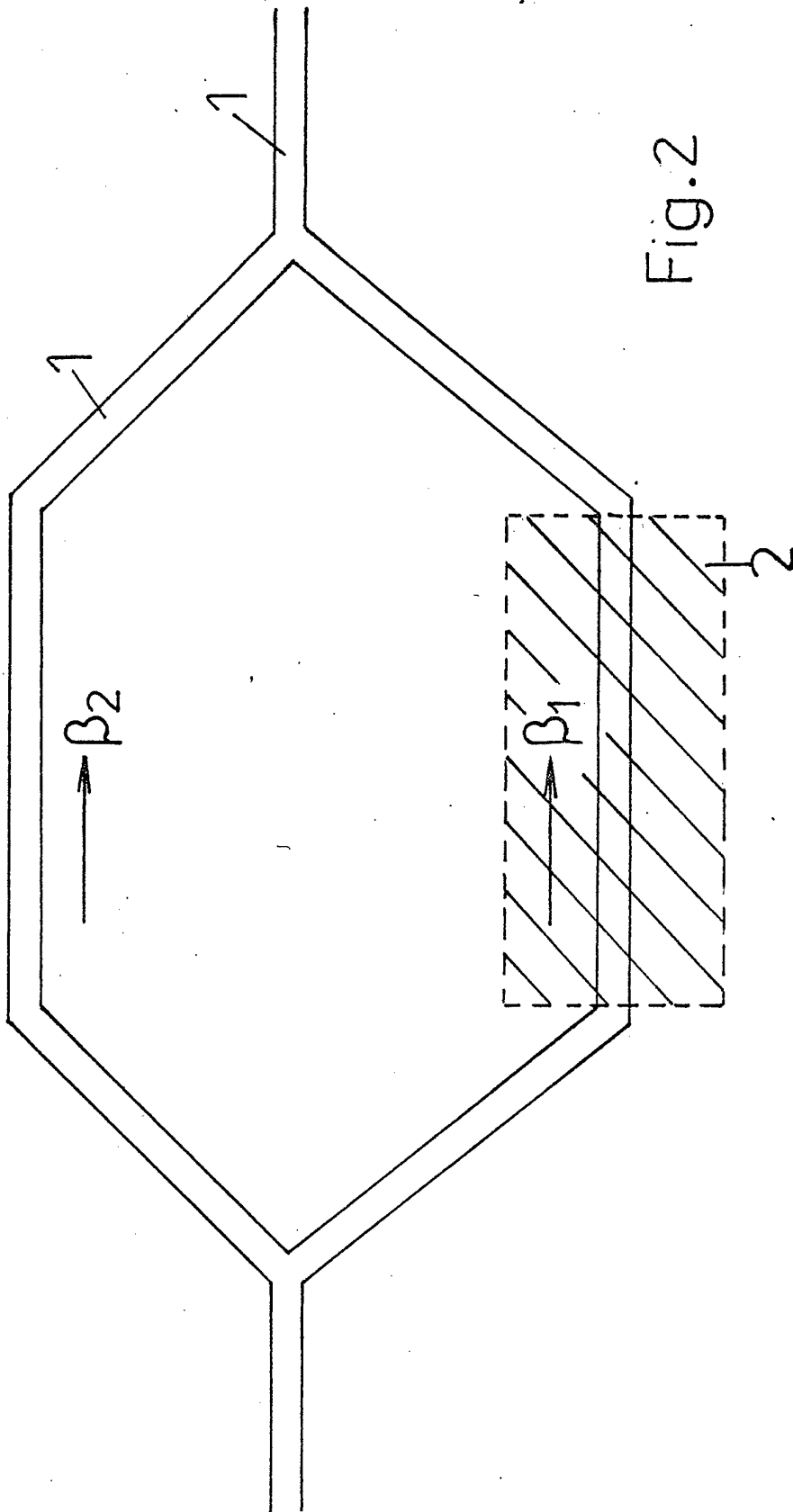


Fig. 2