



(10) **DE 10 2018 108 110 B3** 2019.01.31

(12)

Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2018 108 110.3**
(22) Anmeldetag: **05.04.2018**
(43) Offenlegungstag: –
(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: **31.01.2019**

(51) Int Cl.: **G02B 6/26 (2006.01)**
G02B 6/12 (2006.01)

Innerhalb von neun Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

(73) Patentinhaber:
Universität Paderborn, 33098 Paderborn, DE

(74) Vertreter:
**Michalski Hüttermann & Partner Patentanwälte
mbB, 40221 Düsseldorf, DE**

(72) Erfinder:
**Hammer, Manfred, 33824 Werther, DE; Förstner,
Jens, Prof., 44789 Bochum, DE; Ebers, Lena,
59590 Geseke, DE**

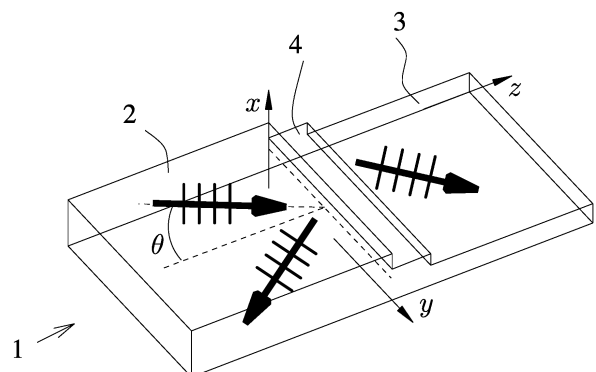
(56) Ermittelter Stand der Technik:
**CIVITCI, Fehmi; HAMMER, Manfred;
HOEKSTRA, Hugo J.W.M.: Semi-guided plane
wave reflection by thin-film transitions for angled**

incidence. In: Optical and Quantum Electronics, Bd. 46, 2014, H. 3, S. 477-490. ISSN 1572-817X (E); 0030-4077 (P). DOI: 10.1007/s11082-013-9789-7. URL: <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2Fs11082-013-9789-7.pdf> [abgerufen am 17.09.2018].

HAMMER, Manfred: Oblique incidence of semi-guided waves on rectangular slab waveguide discontinuities: A vectorial QUEP solver. In: Optics Communications, Bd. 338, 2015, S. 447-456. ISSN 1873-0310 (E); 0030-4018 (P). DOI: 10.1016/j.optcom.2014.09.087. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0030401814009341/pdf?md5=12b1a916f644af23ad95e499a344ad28&pid=1-s2.0-S0030401814009341-main.pdf> [abgerufen am 17.09.2018].

(54) Bezeichnung: **Optischer Übergang zwischen zwei optischen Schichtwellenleitern und Verfahren zum Übertragen von Licht**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft einen optischen Übergang zwischen zwei optischen Schichtwellenleitern. Dazu ist eine Anordnung vorgesehen aus einem ersten optischen Schichtwellenleiter (2) und einem zweiten optischen Schichtwellenleiter (3), wobei der erste optische Schichtwellenleiter (2) und der zweite optische Schichtwellenleiter (3) voneinander verschiedene über ihre jeweilige Länge konstante Dicken (d , r) aufweisen, der erste optische Schichtwellenleiter (2) mit dem zweiten optischen Schichtwellenleiter (3) mittels einer optischen Schichtwellenleiterstruktur (4) verbunden ist, die über ihre gesamte Länge (w) eine Dicke (h) aufweist, die zwischen der Dicke (d) des ersten optischen Schichtwellenleiters (2) und der Dicke (r) des zweiten optischen Schichtwellenleiters (3) liegt. Erfindungsgemäß ist die Dicke (h) der optischen Schichtwellenleiterstruktur (4) über die gesamte Länge (w) der optischen Schichtwellenleiterstruktur (4) konstant. Damit wird eine Möglichkeit für einen effizienten und mit geringen Verlusten behafteten Übergang zwischen zwei optischen Schichtwellenleitern mit unterschiedlicher Dicke bereitgestellt.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine Anordnung aus einem ersten optischen Schichtwellenleiter und einem zweiten optischen Schichtwellenleiter, wobei der erste optische Schichtwellenleiter und der zweite optische Schichtwellenleiter voneinander verschiedene über ihre jeweilige Länge konstante Dicken aufweisen, der erste optische Schichtwellenleiter mit dem zweiten optischen Schichtwellenleiter mittels einer optischen Schichtwellenleiterstruktur verbunden ist, die über ihre gesamte Länge eine Dicke aufweist, die zwischen der Dicke des ersten optischen Schichtwellenleiters und der Dicke des zweiten optischen Schichtwellenleiters liegt. Die Erfindung betrifft außerdem ein Verfahren zum Übertragen von in einem ersten optischen Schichtwellenleiter geführtem Licht in einen zweiten optischen Schichtwellenleiter, wobei der erste optische Schichtwellenleiter und der zweite optische Schichtwellenleiter voneinander verschiedene über ihre jeweilige Länge konstante Dicken aufweisen, der erste optische Schichtwellenleiter mit dem zweiten optischen Schichtwellenleiter mittels einer optischen Schichtwellenleiterstruktur verbunden ist, die über ihre gesamte Länge eine Dicke aufweist, die zwischen der Dicke des ersten Schichtwellenleiters und der Dicke des zweiten Schichtwellenleiters liegt, und die optische Schichtwellenleiterstruktur jeweils direkt mittels einer planen Fläche an den ersten optischen Schichtwellenleiter und an den zweiten optischen Schichtwellenleiter angekoppelt ist.

[0002] Unter einem optischen Schichtwellenleiter wird vorliegend eine derartige Struktur verstanden, bei der Licht nur in einer Richtung senkrecht zu seiner Ausbreitungsrichtung und entgegengesetzt dazu geführt wird. Breitet sich Licht in dem optischen Schichtwellenleiter also in z-Richtung aus, so erfolgt eine Führung z.B. in x-Richtung senkrecht dazu, während dann in y-Richtung keine Führung erfolgt. Konkret wird dies in der Regel dadurch erzielt, dass als optischer Schichtwellenleiter ein optisch transparentes Medium auf einem Substrat aufgebracht wird, und zwar als dünne Schicht mit einer Dicke im μm -Bereich. Innerhalb dieser Schicht wird das Licht in dem optischen Schichtwellenleiter in x-Richtung geführt, während es sich senkrecht dazu, in z-Richtung, ausbreitet und in y-Richtung (also senkrecht zur x-Richtung und zur z-Richtung) keine Führung erfolgt.

[0003] Bei Übergängen zwischen dielektrischen optischen Schichtwellenleitern unterschiedlicher Dicke kommt es, bedingt durch Moden-Fehlanpassung, in der Regel zu Strahlungsverlusten und zu optischer Rückstreuung. Hier können sogenannte Taper-Strukturen Abhilfe schaffen, die einen allmählichen, quasi-adiabatischen Übergang zwischen den Wellenleitern mit unterschiedlichen Dicken herstellen können. Diesbezüglich wird verwiesen auf Çivitci, F.; Hammer, Manfred; Hoekstra, Hugo „Semi-guided plane

wave reflection by thin-film transitions for angled incidence“ in: Optical and quantum electronics, Vol. 46, Nr. 3, 2014, S. 477-490 und Hammer, Manfred „Oblique incidence of semi-guided waves on rectangular slab waveguide discontinuities: A vectorial QUEP solver.“ in: Optics communications, Vol. 338, 01.03.2015, S. 447-456.

[0004] Derartige Taper-Strukturen sind jedoch in der Regel häufig aufwändig zu entwerfen, herzustellen und bezogen auf typische Abmessungen integriert-photonischer Bauteile meistens verhältnismäßig groß.

[0005] Daher ist es die Aufgabe der Erfindung, eine Möglichkeit für einen effizienten und mit geringen Verlusten behafteten Übergang zwischen zwei optischen Schichtwellenleitern mit unterschiedlicher Dicke bereitzustellen.

[0006] Diese Aufgabe wird durch die Gegenstände der unabhängigen Patentansprüche gelöst. Bevorzugte Weiterbildungen der Erfindung sind in den Unteransprüchen beschrieben.

[0007] Erfindungsgemäß ist also vorgesehen eine Anordnung aus einem ersten optischen Schichtwellenleiter und einem zweiten optischen Schichtwellenleiter, wobei der erste optische Schichtwellenleiter und der zweite optische Schichtwellenleiter voneinander verschiedene über ihre jeweilige Länge konstante Dicken aufweisen, der erste optische Schichtwellenleiter mit dem zweiten optischen Schichtwellenleiter mittels einer optischen Schichtwellenleiterstruktur verbunden ist, die über ihre gesamte Länge eine Dicke aufweist, die zwischen der Dicke des ersten optischen Schichtwellenleiters und der Dicke des zweiten optischen Schichtwellenleiters liegt, dadurch gekennzeichnet, dass die Dicke der optischen Schichtwellenleiterstruktur über die gesamte Länge der optischen Schichtwellenleiterstruktur konstant ist.

[0008] Es ist also ein maßgeblicher Punkt der Erfindung, dass die beiden optischen Schichtwellenleiter mit unterschiedlicher Dicke durch eine derartige optische Schichtwellenleiterstruktur miteinander verbunden sind, deren Dicke einerseits, wie schon bei den oben angesprochenen Taper-Strukturen, zwischen den Dicken der beiden optischen Schichtwellenleiter liegt, und deren Dicke andererseits über die gesamte Länge der optischen Schichtwellenleiterstruktur konstant ist. Anders als bei den aus dem Stand der Technik bekannten Taper-Strukturen liegt der vorliegenden Erfindung die Erkenntnis zugrunde, dass eine wesentlich einfacher herzustellende planare Struktur geeignet sein kann, einen Übergang zwischen zwei dielektrischen optischen Schichtwellenleitern mit unterschiedlicher Dicke bereitzustellen unter Vermeidung erheblicher Strahlungsverluste und optischer Rückstreuung.

[0009] Vorzugsweise ist die optische Schichtwellenleiterstruktur jeweils direkt mittels einer planen Fläche an den ersten optischen Schichtwellenleiter und an den zweiten optischen Schichtwellenleiter angekoppelt. Vorzugsweise ist dabei die plane Fläche, die den Übergang von dem ersten optischen Schichtwellenleiter auf die optische Schichtwellenleiterstruktur bildet, zu der planen Fläche parallel, die den Übergang von der optischen Schichtwellenleiterstruktur auf den zweiten optischen Schichtwellenleiter bildet.

[0010] Grundsätzlich könnten die Materialien des ersten optischen Schichtwellenleiters, des zweiten optischen Schichtwellenleiters und der optischen Schichtwellenleiterstruktur dazwischen unterschiedlich sein. Vorzugsweise bestehen der erste optische Schichtwellenleiter, der zweite optische Schichtwellenleiter und die den ersten optischen Schichtwellenleiter mit dem zweiten optischen Schichtwellenleiter verbindende optische Schichtwellenleiterstruktur alle aus demselben Material. Die Anpassung erfolgt damit lediglich über die Dicke der optischen Schichtwellenleiterstruktur zwischen dem ersten optischen Schichtwellenleiter und dem zweiten optischen Schichtwellenleiter sowie durch die Länge der optischen Schichtwellenleiterstruktur dazwischen. Dabei gilt, dass die Länge der optischen Schichtwellenleiterstruktur zwischen dem ersten optischen Schichtwellenleiter und dem zweiten optischen Schichtwellenleiter vorzugsweise maximal das 20-fache der Dicke der optischen Schichtwellenleiterstruktur beträgt, ganz besonders bevorzugt maximal das 10-fache.

[0011] Vorzugsweise sind der erste optische Schichtwellenleiter, der zweite optische Schichtwellenleiter und die den ersten optischen Schichtwellenleiter mit dem zweiten optischen Schichtwellenleiter verbindende optische Schichtwellenleiterstruktur auf einem gemeinsamen Substrat aufgebracht, vorzugsweise auf einer ebenen Fläche des gemeinsamen Substrats.

[0012] Die Erfindung betrifft außerdem ein Verfahren zum Übertragen von in einem ersten optischen Schichtwellenleiter geführtem Licht in einen zweiten optischen Schichtwellenleiter, wobei der erste optische Schichtwellenleiter und der zweite optische Schichtwellenleiter voneinander verschiedene über ihre jeweilige Länge konstante Dicken aufweisen, der erste optische Schichtwellenleiter mit dem zweiten optischen Schichtwellenleiter mittels einer optischen Schichtwellenleiterstruktur verbunden ist, die über ihre gesamte Länge eine Dicke aufweist, die zwischen der Dicke des ersten optischen Schichtwellenleiters und der Dicke des zweiten optischen Schichtwellenleiters liegt, und die optische Schichtwellenleiterstruktur jeweils direkt mittels einer planen Fläche an den ersten optischen Schichtwellenleiter und an den zweiten optischen Schichtwellenleiter angekoppelt ist, dadurch gekennzeichnet, dass die

Dicke der optischen Schichtwellenleiterstruktur über die gesamte Länge der optischen Schichtwellenleiterstruktur konstant ist und das Licht unter einem von Null verschiedenen Winkel auf die plane Fläche geführt wird, die den Übergang des ersten optischen Schichtwellenleiters auf die optische Schichtwellenleiterstruktur bildet.

[0013] Dem erfindungsgemäßen Verfahren liegt die Erkenntnis zugrunde, dass zusätzlich zu der erfindungsgemäßen Ausgestaltung der Schichtwellenleiterstruktur zwischen dem ersten optischen Schichtwellenleiter und dem zweiten optischen Schichtwellenleiter ein weiterer Effizienzgewinn dadurch erzielt werden kann, dass das Licht schräg, also unter einem von Null verschiedenen Winkel, auf die plane Fläche geführt wird, die den Übergang des ersten optischen Schichtwellenleiters auf die optische Schichtwellenleiterstruktur bildet. Im Übrigen ergeben sich bevorzugte Ausgestaltungen des erfindungsgemäßen Verfahrens in Analogie zu den weiter oben beschriebenen bevorzugten Weiterbildungen der erfindungsgemäßen Anordnung.

[0014] Nachfolgend wird die Erfindung unter Bezugnahme auf ein bevorzugtes Ausführungsbeispiel unter Bezugnahme auf die Zeichnungen weiter im Detail erläutert.

[0015] In den Zeichnungen zeigen

Fig. 1 schematisch eine Anordnung gemäß einem bevorzugten Ausführungsbeispiel der Erfindung,

Fig. 2 die Anordnung aus **Fig. 1** in einer Querschnittsansicht,

Fig. 3 eine Darstellung effektiver Dicke/Länge-Kombinationen für optische Wellenleiterstruktur im Übergangsbereich, und

Fig. 4 die Transmission bzw. Reflexion bei der Anordnung gemäß dem bevorzugten Ausführungsbeispiel der Erfindung in Abhängigkeit des Einfallswinkels des in dem ersten optischen Wellenleiter geführten Lichts.

[0016] Aus **Fig. 1** ist schematisch eine Anordnung **1** aus einem ersten dielektrischen optischen Schichtwellenleiter **2** und einem zweiten dielektrischen optischen Schichtwellenleiter **3** ersichtlich. Eine Querschnittsansicht dieser Anordnung **1** ist aus **Fig. 2** ersichtlich. Der erste optische Schichtwellenleiter **2** und der zweite optische Schichtwellenleiter **3** weisen unterschiedliche Dicken auf, der erste optische Schichtwellenleiter **2** nämlich eine Dicke d und der zweite optische Schichtwellenleiter **3** eine Dicke r , wie in **Fig. 2** gezeigt. Die Dicken d und r sind über die gesamte Länge der beiden optischen Schichtwellenleiter **2**, **3** konstant.

[0017] Zwischen dem optischen Schichtwellenleiter **2** und dem zweiten optischen Schichtwellenleiter **3** ist nun eine optische Schichtwellenleiterstruktur **4** angeordnet, die eine Dicke **h** und eine Länge **w** aufweist, wie insbesondere aus **Fig. 2** ersichtlich. Wesentlich ist auch hier, dass die Dicke **h** über die gesamte Länge **w** der optischen Schichtwellenleiterstruktur **4**, die den Übergang von dem ersten optischen Schichtwellenleiter **2** auf den zweiten optischen Schichtwellenleiter **3** bildet, konstant ist.

[0018] Bei der Anordnung **1** handelt es sich um eine Schichtstruktur aus Si, die auf einem nicht weiter dargestellten Substrat aus SiO₂ aufgebracht ist. Die Dicke **d** des dickeren ersten optischen Schichtwellenleiters beträgt 0,22 µm und die geringere Dicke **r** des zweiten optischen Schichtwellenleiters beträgt 0,05 µm. Bei einer Wellenlänge von 1,55 µm von in dem ersten optischen Schichtwellenleiter **2** geführtem Licht ergeben sich für die in **Fig. 3** gezeigten Kombinationen der Dicke **h** und der Länge **w** der optischen Schichtwellenleiterstruktur **4** zwischen dem ersten optischen Schichtwellenleiter **2** und dem zweiten optischen Schichtwellenleiter **3** verschiedene Werte für Transmission **T_{TE}**. Ein besonders guter Transmissionswert nahe 1 ergibt sich für $h \approx 0,16 \mu\text{m}$ und $w \approx 0,40 \mu\text{m}$, und zwar für einen Einfallswinkel θ von etwa 33°, wie in **Fig. 1** dargestellt.

[0019] **Fig. 4** zeigt die Transmission **T_{TE}** bzw. Reflexion **R_{TE}** bei der Anordnung gemäß dem bevorzugten Ausführungsbeispiel der Erfindung in Abhängigkeit des Einfallswinkels θ des in dem ersten optischen Schichtwellenleiter **2** geführten Lichts. Ein Winkel θ von etwa 33° ist, wie aus **Fig. 4** ersichtlich, der Winkel, für den sich bei der zuvor angegebenen Dicke **h** und Länge **w** der optischen Schichtwellenleiterstruktur **4** im Übergangsbereich zwischen den beiden optischen Schichtwellenleitern **2, 3** die größten Transmissions- und die geringsten Reflexionswerte ergeben.

Bezugszeichenliste

1	Anordnung
2	erster optischer Schichtwellenleiter
3	zweiter optischer Schichtwellenleiter
4	optische Schichtwellenleiterstruktur
d	Dicke des ersten optischen Schichtwellenleiters
r	Dicke des zweiten optischen Schichtwellenleiters
h	Dicke der optischen Schichtwellenleiterstruktur
w	Länge der optischen Schichtwellenleiterstruktur

θ	Einfallswinkel des Lichts
T_{TE}	Transmission
R_{TE}	Reflexion

Patentansprüche

1. Anordnung aus einem ersten optischen Schichtwellenleiter (2) und einem zweiten optischen Schichtwellenleiter (3), wobei der erste optische Schichtwellenleiter (2) und der zweite optische Schichtwellenleiter (3) voneinander verschiedene über ihre jeweilige Länge konstante Dicken (**d**, **r**) aufweisen, der erste optische Schichtwellenleiter (2) mit dem zweiten optischen Schichtwellenleiter (3) mittels einer optischen Schichtwellenleiterstruktur (4) verbunden ist, die über ihre gesamte Länge (**w**) eine Dicke (**h**) aufweist, die zwischen der Dicke (**d**) des ersten optischen Schichtwellenleiters (2) und der Dicke (**r**) des zweiten optischen Schichtwellenleiters (3) liegt, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Dicke (**h**) der optischen Schichtwellenleiterstruktur (4) über die gesamte Länge (**w**) der optischen Schichtwellenleiterstruktur (4) konstant ist.

2. Anordnung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die optische Schichtwellenleiterstruktur (4) jeweils direkt mittels einer planen Fläche an den ersten optischen Schichtwellenleiter (2) und an den zweiten optischen Schichtwellenleiter (3) angekoppelt ist.

3. Anordnung nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass die plane Fläche, die den Übergang von dem ersten optischen Schichtwellenleiter (2) auf die optische Schichtwellenleiterstruktur (4) bildet, zu der planen Fläche parallel ist, die den Übergang von der optischen Schichtwellenleiterstruktur (4) auf den zweiten optischen Schichtwellenleiter (3) bildet.

4. Anordnung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der erste optische Schichtwellenleiter (2), der zweite optische Schichtwellenleiter (3) und die den ersten optischen Schichtwellenleiter (2) mit dem zweiten optischen Schichtwellenleiter (3) verbindende optische Schichtwellenleiterstruktur (4) alle aus dem selben Material bestehen.

5. Anordnung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Länge (**w**) der optischen Schichtwellenleiterstruktur (4) maximal das 20-fache der Dicke (**h**) der optischen Schichtwellenleiterstruktur (4) beträgt, vorzugsweise maximal das 10-fache.

6. Anordnung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der erste optische Schichtwellenleiter (2), der zweite opti-

sche Schichtwellenleiter (3) und die den ersten optischen Schichtwellenleiter (2) mit dem zweiten optischen Schichtwellenleiter (3) verbindende optische Schichtwellenleiterstruktur (4) auf einem gemeinsamen Substrat aufgebracht sind, vorzugsweise auf einer ebenen Fläche des gemeinsamen Substrats.

7. Verfahren zum Übertragen von in einem ersten optischen Schichtwellenleiter (2) geführtem Licht in einen zweiten optischen Schichtwellenleiter (3), wobei

der erste optische Schichtwellenleiter (2) und der zweite optische Schichtwellenleiter (3) voneinander verschiedene über ihre jeweilige Länge konstante Dicken (d , r) aufweisen,

der erste optische Schichtwellenleiter (2) mit dem zweiten optischen Schichtwellenleiter (3) mittels einer optischen Schichtwellenleiterstruktur (4) verbunden ist, die über ihre gesamte Länge (w) eine Dicke (h) aufweist, die zwischen der Dicke (d) des ersten optischen Schichtwellenleiters (2) und der Dicke (r) des zweiten optischen Schichtwellenleiters (3) liegt, und

die optische Schichtwellenleiterstruktur (4) jeweils direkt mittels einer planen Fläche an den ersten optischen Schichtwellenleiter (2) und an den zweiten optischen Schichtwellenleiter (3) angekoppelt ist,

dadurch gekennzeichnet, dass

die Dicke (h) der optischen Schichtwellenleiterstruktur (4) über die gesamte Länge (w) der optischen Schichtwellenleiterstruktur (4) konstant ist und

das Licht unter einem von Null verschiedenen Winkel (θ) auf die plane Fläche geführt wird, die den Übergang des ersten optischen Schichtwellenleiters (2) auf die optische Schichtwellenleiterstruktur (4) bildet.

8. Verfahren nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass die plane Fläche, die den Übergang von dem ersten optischen Schichtwellenleiter (2) auf die optische Schichtwellenleiterstruktur (4) bildet, zu der planen Fläche parallel ist, die den Übergang von der optischen Schichtwellenleiterstruktur (4) auf den zweiten optischen Schichtwellenleiter (3) bildet.

9. Verfahren nach Anspruch 7 oder 8, **dadurch gekennzeichnet**, dass der erste optische Schichtwellenleiter (2), der zweite optische Schichtwellenleiter (3) und die den ersten optischen Schichtwellenleiter (2) mit dem zweiten optischen Schichtwellenleiter (3) verbindende optische Schichtwellenleiterstruktur (4) alle aus dem selben Material bestehen.

10. Verfahren nach Anspruch 7, 8 oder 9, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Länge (w) der optischen Schichtwellenleiterstruktur (4) maximal das 20-fache der Dicke (h) der optischen Schichtwellenleiterstruktur (4) beträgt, vorzugsweise maximal das 10-fache.

Es folgen 4 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

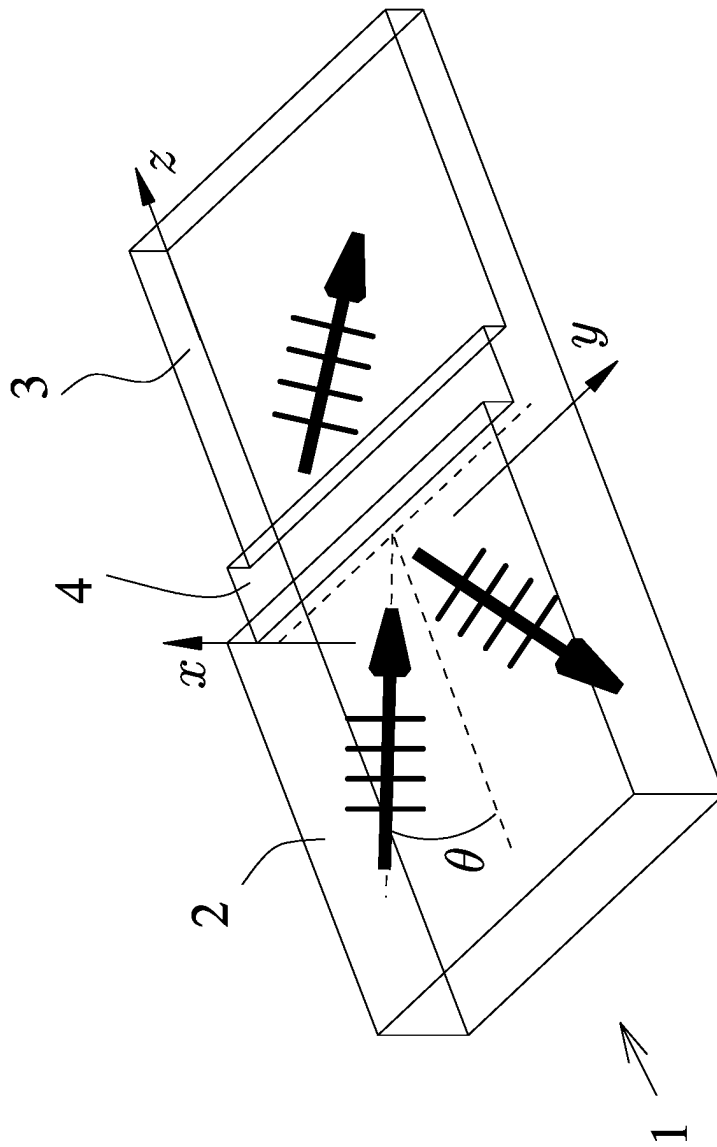


Fig. 1

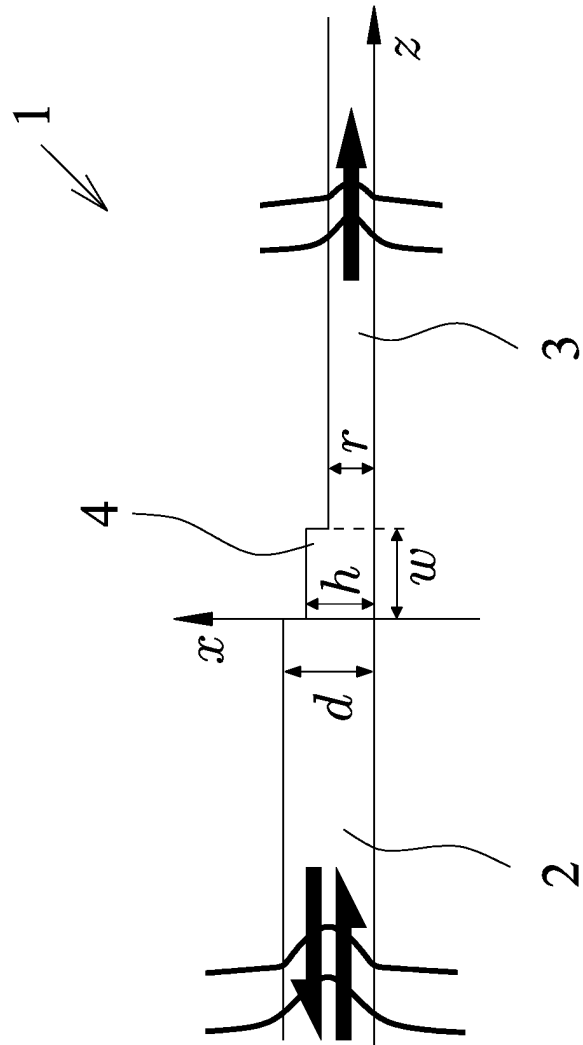


Fig. 2

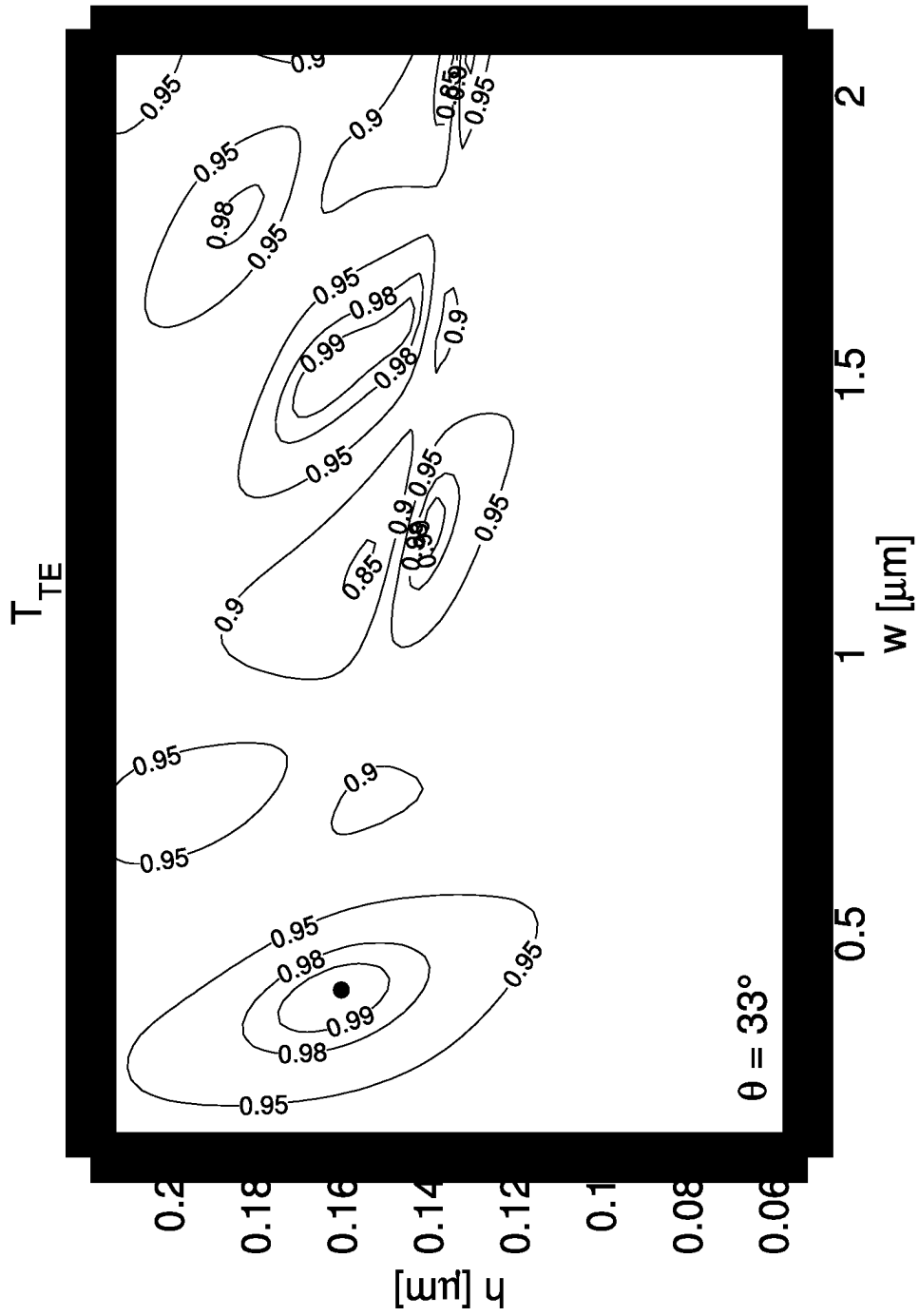


Fig. 3

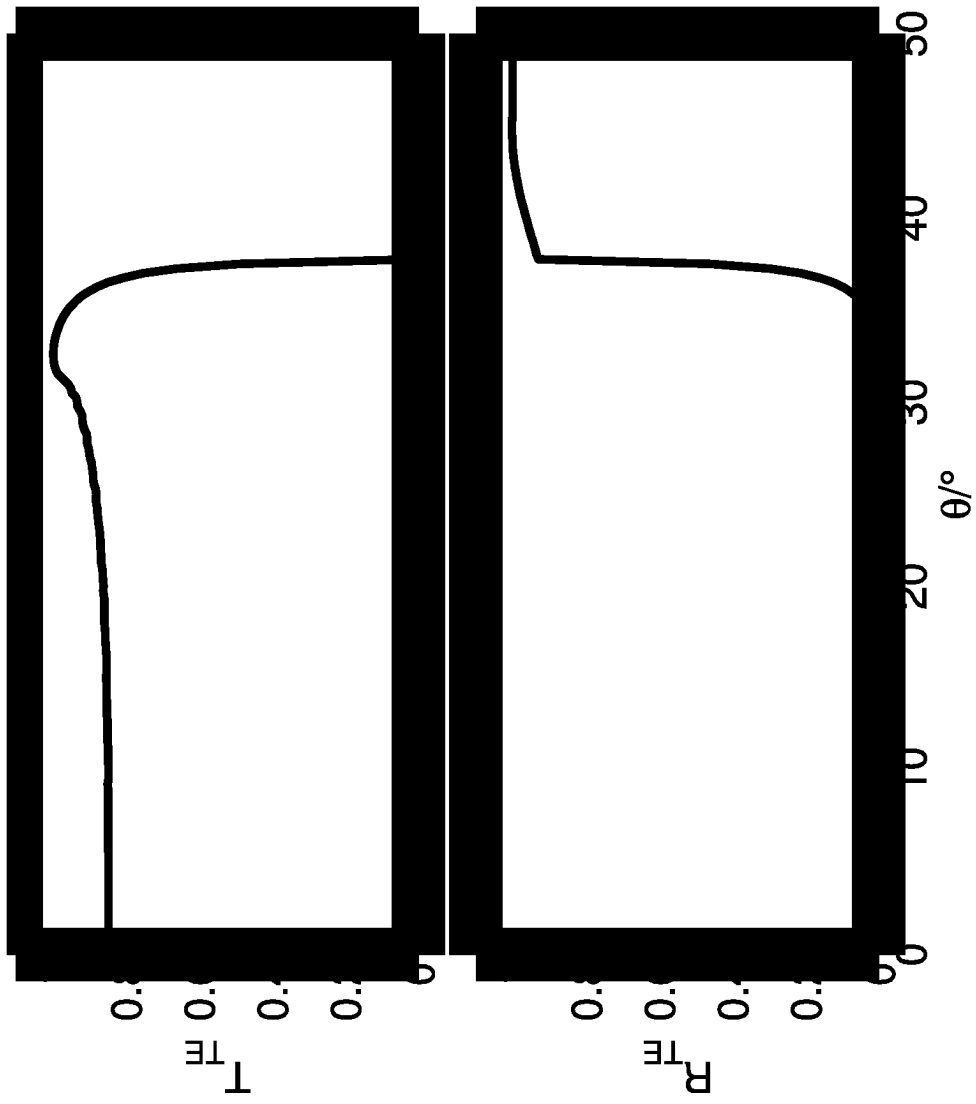


Fig. 4