



(19) Bundesrepublik Deutschland  
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) DE 603 20 330 T2 2009.07.16



(12)

# **Übersetzung der europäischen Patentschrift**

(97) EP 1 336 894 B1

(21) Deutsches Aktenzeichen: 603 20 330.2

(96) Europäisches Aktenzeichen: 03 100 269.4

(96) Europäischer Anmeldetag: 10.02.2003

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: 20.08.2003

(97) Veröffentlichungstag

(97) Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung beim EPA: **16.04.2008**

#### (17) Veröffentlichungstage

(51) Int Cl.<sup>8</sup>: **G02F 1/313** (2006.01)

G02B 6/12(2006.01)

### (30) Unionspriorität:

2002042409 19.02.2002 JP

(73) Patentinhaber:

Omron Corp., Kyoto, JP

(74) Vertreter:

Jostarndt, H., Dipl.-Phys. Dr.rer.nat., Pat.-Anw.,  
52074 Aachen

(84) Benannte Vertragsstaaten:

AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB,  
GR, HU, IE, IT, LI, LU, MC, NL, PT, SE, SI, SK, TR

(72) Erfinder:

Terakawa, Yukari, Shiokoji-dori, Shimogyo-ku,  
Kyoto-shi, 600-8530,, JP; Hosokawa, Hayami,  
Shiokoji-dori, Shimogyo-ku, Kyoto-shi, 600-8530,,  
JP

(54) Bezeichnung: Ein optischer Wellenleiter, ein optisches Bauelement und ein optischer Schalter

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingeleitet, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99 (1) Europäisches Patentübereinkommen).

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patent- und Markenamt inhaltlich nicht geprüft.

**Beschreibung****ALLGEMEINER STAND DER TECHNIK****Gebiet der Erfindung**

**[0001]** Die vorliegende Erfindung betrifft einen Lichtwellenleiter, ein optisches Bauelement und einen optischen Schalter.

**Beschreibung des allgemeinen Standes der Technik**

**[0002]** In den letzten Jahren ist die Kommunikation unter Verwendung von Lichtleitfasern, die das Übertragen einer großen Datenmenge bei hoher Geschwindigkeit ermöglichen, zur Hauptströmung in der Technik geworden. Dementsprechend erfordern Lichtwellenleiter zum Leiten eines optischen Signals, die bei Verbindungen und dergleichen verwendet werden sollen, mit Lichtleitfasern, Lichtquellen, fotoelektrischen Bauelementen eine kompaktere Größe und hohe Präzision mit weniger Übertragungsverlust.

**[0003]** Solche Lichtwellenleiter werden zu einer Struktur hergestellt, in der ein Abschnitt, dessen Brechungsindex geringfügig höher ist, auf der Oberfläche eines Substrats als ein Kern hergestellt wird, und sie werden mit beispielsweise einem Halbleiterverfahren, wie in **Fig. 1** gezeigt, hergestellt.

**[0004]** Das Herstellungsverfahren eines Lichtwellenleiters mit einem Halbleiterverfahren wird im Folgenden unter Bezugnahme auf **Fig. 1** erläutert. Zunächst wird ein Mantelmaterial auf einem Substrat **1** akkumuliert und gehärtet und dadurch wird eine untere Mantelschicht **2** ausgebildet (**Fig. 1A**, **Fig. 1B**).

**[0005]** Danach wird ein Kernmaterial auf der unteren Mantelschicht **2** akkumuliert und gehärtet und dadurch wird eine Kernschicht **3a** ausgebildet (**Fig. 1C**). Dann wird Fotolack **4** auf die Oberfläche der Kernschicht **3a** aufgebracht, eine Belichtungsmaske **5** wird auf dem Fotolack **4** angeordnet und eine Belichtung wird mittels Ultraviolettstrahlung vorgenommen (**Fig. 1D**). Nach der Belichtung wird der Fotolack **4** entwickelt und dadurch wird eine Strukturierung durchgeführt. Nur ein Abschnitt zum Ausbilden eines Kerns wird mit dem Fotolack **4** abgedeckt (**Fig. 1E**). Dann wird der freigelegte Bereich der Kernschicht **3a** mit dem restlichen Fotolack **4** als einer Ätzmaske mit reaktivem Ionenätzen (reactive ion etching, RIE) entfernt, ein Kern **3** wird unter dem Fotolack **4** ausgebildet (**Fig. 1F**) und der Fotolack **4** wird entfernt und der Kern **3** wird freigelegt (**Fig. 1G**). Danach wird Mantelmaterial auf dem Kern **3** und der unteren Mantelschicht **2** akkumuliert und gehärtet und eine obere Mantelschicht **6** wird ausgebildet. Dadurch wird ein Lichtwellenleiter erhalten, in dem ein Kern **3** vom Kanaltyp zwischen der unteren Mantelschicht **2** und der oberen Mantelschicht **6** eingebettet ist (**Fig. 1H**).

**[0006]** Gemäß dem Halbleiterverfahren wird der Kern **3** zu einer rechteckigen oder quadratischen Querschnittsform, wie in **Fig. 2A** gezeigt, entlang der gesamten Länge des Kerns **3** geformt. Alternativ, wie in **Fig. 2B** gezeigt, indem beide Seiten durch Ätzen verjüngt werden, wird der Kern in einer Trapezform (einer Mesastruktur) hergestellt, in der die untere Seite (die Seite, die mit der unteren Mantelschicht **2** in Kontakt steht) länger als die obere Seite ist.

**[0007]** In einem solchen Lichtwellenleiter, wie oben beschrieben, wird Licht, das vom Eintrittsende des Kerns **3** in den Kern **3** eintritt, von Grenzflächen zwischen der unteren Mantelschicht **2** und der oberen Mantelschicht **6** und dem Kern **3** (beispielsweise der oberen und der unteren Fläche und der linken und der rechten Seite des Kerns **3** im Fall eines rechteckigen Kerns) vollständig reflektiert, durch die Innenseite des Kerns **3** übertragen und über ein Lichtaustrittsende zur Außenseite ausgegeben. Zu Hauptsachen des Übertragungsverlusts bei Licht, das durch den Kern **3** übertragen wird, zählen Verlust, der an gebogenen Abschnitten des Kerns **3** entsteht, und Verlust, der an Endflächen des Kerns **3** entsteht.

**[0008]** Zunächst wird im Folgenden der Verlust an den gebogenen Abschnitten des Kerns **3** erläutert. Wie in **Fig. 3** und **Fig. 4** gezeigt, in Bezug auf den Verlust, der am gebogenen Abschnitt im gebogenen Kern **3** entsteht, wenn Licht vom geraden Abschnitt des Kerns **3** in die äußere Umfangsfläche des gebogenen Abschnitts eintritt, wird der Einfallswinkel  $\theta_2$  des Lichts, das in die äußere Umfangsfläche des Kerns **3** eintritt, kleiner als der Grenzwinkel der Vollreflexion. Somit wird Licht nicht vollständig auf die Innenseite des Kerns **3** reflektiert und Licht wird vom Kern **3** zu der oberen Mantelschicht **6** abgestrahlt. Dementsprechend tritt ein Verlust auf.

**[0009]** **Fig. 5** und **Fig. 6** erläutern den Übertragungsverlust am gebogenen Abschnitt des Kerns **3** vom Gesichtspunkt der Wellenoptik. **Fig. 5** zeigt den effektiven Brechungsindex entlang der Linie A-A' im geraden Abschnitt des Kerns **3** in **Fig. 3** (den effektiven Brechungsindex eines geraden Lichtwellenleiters) und den effektiven Brechungsindex entlang der Linie B-B' im gebogenen Abschnitt (den effektiven Brechungsindex eines gebogenen Lichtwellenleiters).

**[0010]** Im geraden Lichtwellenleiter scheint die Verteilung des effektiven Brechungsindex in der Richtung, die den Kern **3** schneidet, eine zur Mitte des Kerns **3** symmetrische Verteilung zu sein, wie von der Punktlinie in **Fig. 5** gezeigt, während in dem gebogenen Lichtwellenleiter, wie von der durchgezogenen Linie in **Fig. 5** gezeigt. Der effektive Brechungsindex steigt an der äußeren Umfangsseite an und der effektive Brechungsindex sinkt in der inneren Umfangsseite. Aus diesem Grund wird Licht, das durch den Kern

**3** übertragen wird, im Kern **3** am Abschnitt des geraden Lichtwellenleiters begrenzt. Während es jedoch den Abschnitt des gebogenen Lichtwellenleiters durchläuft, wird das Licht in die obere Mantelschicht **6** an der äußeren Umfangsseite, an der der Brechungsindex ansteigt, abgestrahlt und ausgedehnt. Infolgedessen tritt ein Verlust auf. Zudem tritt am Abschnitt des gebogenen Lichtwellenleiters, an dem die Verteilung des elektrischen Felds der Wellenleitermode verzerrt ist, eine Unregelmäßigkeit der Verteilung des elektrischen Felds am Einlass des gebogenen Lichtwellenleiterabschnitts auf und Licht wird zur Außenseite des Kerns **3** abgestrahlt. Infolgedessen tritt ein Verlust auf.

**[0011]** Um den Übertragungsverlust am gebogenen Abschnitt des Kerns **3** zu begrenzen, kann es wirksam sein, den Radius der Biegung R des gebogenen Abschnitts groß zu machen, so dass der Einfallswinkel zu der äußeren Umfangsfläche des Kerns **3** größer als der Grenzwinkel werden sollte. Das Großmachen des Radius der Biegung R erfordert jedoch das Verlängern des gebogenen Abschnitts des Kerns **3**, um einen erforderlichen Biegungswinkel zu erzielen. Infolgedessen wird ein Lichtwellenleiter lang und groß. Somit waren die Verringerung des Übertragungsverlusts im gebogenen Abschnitt und die kompakte Größe eines Lichtwellenleiters in Lichtwellenleitern des Standes der Technik ein Kompromiss.

**[0012]** Das an den Anmelder der vorliegenden Erfindung erteilte US-Patent 5,112,142 beschreibt in Spalte 28, Zeilen 54–61, einen gebogenen Wellenleiter, in dem die Form eines Querschnitts des Leiters nur dann eine beliebige Querschnittsform aufweisen kann, wenn die innere Dicke größer als die äußere Dicke im gebogenen Abschnitt ist. Beispiele solcher Formen von Querschnitten sind in den **Fig. 28a** bis **28k** der genannten Patentschrift angegeben. Zu diesen Formen zählen die Trapezform und im Allgemeinen trapezoide Formen mit einer konvexen oberen Kante. In Verbindung mit **Fig. 26** der genannten Patentschrift wird in Spalte 28, Zeilen 32–37, erläutert, dass die äußere Höhe  $H_0$  (Dicke) niedriger als eine innere Höhe  $H_i$  ist. Die Höhen  $H_0$  und  $H_i$  werden von einer Ebene gemessen, die parallel zum Substrat **31** ist, so dass es sich versteht, dass der geneigte Teil der im Allgemeinen trapezoiden Form sich an der oberen Kante des Kerns **33c** befindet.

**[0013]** Als Nächstes wird im Folgenden der Verbindungsstellenverlust, der an den Endflächen des Kerns **3** entsteht, beschrieben. Der Verlust, der an den Endflächen des Kerns **3** entsteht, entsteht an optischen Verbindungen am Lichteinfallsende oder dem Lichtaustrittsende des Kerns **3**, an einem anderen optischen Bauelement und dergleichen. Um einen solchen Verbindungsstellenverlust zu verringern, ist es in einem Einmodenkern **3** bevorzugt, dass die Formen des Lichteinfallsendes und des Lichtaustrittsen-

des nahe der Endflächenform einer Lichtleitfaser oder dergleichen, die mit dem Kern **3** verbunden werden soll, sind.

**[0014]** Als Nächstes wird im Folgenden ein optischer Schalter gemäß dem Stand der Technik als eine Anwendung eines Lichtwellenleiters erläutert. Die **Fig. 8A**, **Fig. 8B** und **Fig. 8C** sind die Querschnittsansichten, die Querschnitte bei C1-C1', C2-C2' bzw. C3-C3' in **Fig. 7** zeigen. In einem optischen Schalter ist ein Y-abgezweigter Kern **3** auf einem Substrat **1** ausgebildet und sind zwei Einheiten eines Heizelements **7** derart angeordnet, dass die Oberseite des Abzweigungsabschnitts des Kerns **3** an der oberen Fläche einer oberen Mantelschicht **6**, die den Kern **3** abdeckt, verengt ist. Der Kern **3** scheint an einem beliebigen Querschnitt in den **Fig. 8A**, **Fig. 8B** und **Fig. 8C** ein Rechteck zu sein oder scheint an den Heizelementseiten ein schmales Trapez zu sein.

**[0015]** Wenn in der obigen Struktur eines der Heizelemente **7** eingeschaltet wird und dadurch Wärme erzeugt wird, steigt die Temperatur an der Seite des erhitzten Heizelements **7** an. Infolgedessen nehmen die Brechungsindizes des Kerns **3** und der oberen Mantelschicht **6** an der Wärme erzeugenden Seite durch den thermooptischen (TO)-Effekt ab, wobei Licht, das durch den nicht abgezweigten Abschnitt des Kerns **3** übertragen wird, an den Abzweigungsabschnitt an der nicht Wärme erzeugenden Seite übertragen wird und das Licht kaum an die Wärme erzeugende Seite übertragen wird. Somit wird es durch Umschalten des zu erhitzenden Heizelements **7** möglich, den Weg der Lichtübertragung (Abzweigungsrichtung) zu schalten.

**[0016]** In einem solchen optischen Schalter wird eine Funktionalität zum vollständigen Schalten von Lichtwegen genau wie in einem elektrischen Schalter benötigt und es besteht ein Bedarf an einem optischen Schalter mit einem hohen Extinktionsverhältnis. Um ein hohes Extinktionsverhältnis zu erhalten, ist es in einem solchen optischen Schalter erforderlich, den Abzweigungswinkel des Kerns **3** klein zu machen oder den Brechungsindexunterschied, der durch die Heizelemente gegeben ist, groß zu machen.

**[0017]** Wenn jedoch der Abzweigungswinkel klein gemacht wird, falls versucht wird, den Abstand zwischen den Abzweigungsabschnitten des Kerns **3** am Lichtaustrittsende ausreichend groß zu machen, um eine Lichtleitfaser daran anzuschließen, wird die Kernlänge lang, bis die Abzweigungsabschnitte des Kerns **3** ausreichend getrennt werden. Folglich wird die Größe eines optischen Schalters lang und groß, was im Stand der Technik ein Problem ist.

**[0018]** Des Weiteren ist es erforderlich, wenn der

Brechungsindexunterschied, der durch die Heizelemente gegeben ist, groß gemacht wird, die Wärmemenge, die von den Heizelementen erzeugt wird, zu steigern. Infolgedessen wird der Energieverbrauch eines optischen Schalters höher, was im Stand der Technik ein weiteres Problem ist. Darüber hinaus tritt dann, wenn die Brechungsindexveränderung groß ist, wobei eine abrupte Veränderung des Brechungsindex in der Wellenleiterrichtung erfolgt, in einem Einmodenkern eine Multimode auf. Infolgedessen wird ein übermäßiger Verlust auftreten. Dies führt zu einer unerwünschten Reduzierung des Extinktionsverhältnisses, was ein nochmals weiteres Problem im Stand der Technik ist.

#### ZUSAMMENFASSUNG DER ERFINDUNG

**[0019]** Die vorliegende Erfindung wurde unter Berücksichtigung der obigen Probleme mit dem Stand der Technik gemacht. Dementsprechend ist es eine Aufgabe, einen Lichtwellenleiter zu schaffen, der die Reduzierung des Kernverlusts und die Erhöhung des freien Grads der Kernform ermöglicht. Darüber hinaus ist es eine weitere Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein optisches Bauelement unter Verwendung des Lichtwellenleiters und einen optischen Schalter mit einer kompakten Größe, der ein hohes Extinktionsverhältnis erreichen kann, zu schaffen.

**[0020]** Ein Lichtwellenleiter gemäß der vorliegenden Erfindung ist ein Lichtwellenleiter, der mit einem Kern zum Begrenzen und Übertragen von Licht ausgestattet ist. Der Kern ist dadurch gekennzeichnet, dass die Dicke am mittleren Abschnitt des Querschnitts davon bzw. die Dicke an beiden Seiten des Querschnitts davon unterschiedliche Bereiche aufweisen und dass die Querschnittsform des Kerns entlang der Längsrichtung des Kerns variiert.

**[0021]** In einem Lichtwellenleiter gemäß der vorliegenden Erfindung, in dem die Querschnittsform des Kerns entlang der Längsrichtung des Kerns variiert und es variable Abschnitte gibt, ist es selbst bei Verwendung eines einheitlichen Kernmaterials möglich, den effektiven Brechungsindex des Kerns durch Variieren von Querschnittsformen zu variieren. Somit ist es möglich, den effektiven Brechungsindex des Kerns an einem optionalen Abschnitt des Kerns durch Variieren der Querschnittsformen zu steuern und die Verteilung des elektrischen Felds, das durch den Kern übertragen wird, zu steuern. Zum Beispiel kann die Lichtverteilung des elektrischen Felds am gebogenen Abschnitt und am Abzweigungsabschnitt des Kerns gesteuert werden, um zu verhindern, dass Licht aus dem Kern entweicht und einen Verlust verursacht. Dementsprechend ist es ebenfalls möglich, den Kern mit einer großen Biegung zu biegen, während der Übertragungsverlust eingeschränkt wird. Infolgedessen ist es möglich, den freien Grad von Kernformen zu steigern und weiterhin die Kernrich-

tung weitgehend zu biegen, ohne einen Lichtwellenleiter groß zu machen.

**[0022]** Obwohl es schwierig ist, einen solchen Kern mit einem Halbleiterverfahren herzustellen, kann mit dem Verfahren des Ausbildens eines Kerns, indem ein Einschnitt auf einem Mantelsubstrat, das durch Spritzguss mit einem Kernmaterial hergestellt wurde, gefüllt wird, oder mit dem Verfahren des Ausbildens eines Kerns durch Ausstanzen unter Verwendung eines Stempels eine leichte Herstellung bewirkt werden.

**[0023]** In einer bevorzugten Ausführungsform eines Lichtwellenleiters gemäß der vorliegenden Erfindung variiert die Seitenkontur in einem Querschnitt des Kerns entlang der Längsrichtung des Kerns. Zum Beispiel ist der Querschnitt des Kerns an den Seiten ein Bogen, wobei die Biegung oder der Radius der Seiten variiert. Da in einer solchen bevorzugten Ausführungsform die Seitenkontur des Kerns variiert, ist es möglich, die Dicke an den Kernseiten zu variieren und das von den Kernseiten abgestrahlte Licht zu steuern.

**[0024]** In einem Lichtwellenleiter, in dem die Querschnittsform des Kerns zumindest in einem Teilbereich trapezförmig ist und die Seitenneigung des Kerns entlang der Längsrichtung des Kerns variiert, ist es möglich, die Kernquerschnittsformen leicht zu variieren. Insbesondere ist es möglich, einen Kern gemäß der vorliegenden Erfindung mit einem Formgebungsverfahren herzustellen.

**[0025]** In einer anderen bevorzugten Ausführungsform eines Lichtwellenleiters gemäß der vorliegenden Erfindung wird die Endflächenform des Kerns in einer Form hergestellt, die zum Verringern des Verbindungsstellenverlustes mit einem Element, das mit der Endfläche des Kerns verbunden werden soll, geeignet ist. Im Fall eines Einmodenkerns ist die Endflächenform eines solchen Kerns rechteckig. Mit einer solchen Endflächenform ist es möglich, die Verbindungsstelleneffizienz beim Kombinieren von Kernendflächen mit Elementen wie einer Lichtleitfaser und dergleichen zu steigern.

**[0026]** Ein optisches Bauelement gemäß der vorliegenden Erfindung ist ein Bauelement, in dem zu einem Lichtwellenleiter gemäß der vorliegenden Erfindung ein Heizmodul zum Erhitzen des Kerns hinzugefügt wird. Gemäß einem solchen optischen Bauelement ist es möglich, den Brechungsindex des Kerns durch Erhitzen des Kerns unter Verwendung des Heizmoduls zu variieren und Verhaltensweisen von Licht, das durch den Kern übertragen wird, zu steuern. Des Weiteren ist es mit einem Lichtwellenleiter gemäß der vorliegenden Erfindung möglich, den Lichtverlust zu verringern, und ist es durch Variieren der Kernquerschnittsformen möglich, Lichtverhal-

tensweisen beim Erhitzen durch das Heizmodul zu steuern. Dementsprechend ist es möglich, Verhaltensweisen von Licht, das durch den Kern übertragen wird, durch Steuern des Heizmoduls zu steuern und ein optisches Bauelement mit kompakter Größe mit wenig Verlust zu erhalten.

**[0027]** Ein optischer Schalter gemäß der vorliegenden Erfindung ist ein Schalter, der mit einem Kern mit einem Abzweigungsabschnitt und einem Heizmodul zum Erhitzen des Abzweigungsabschnitts des Kerns ausgestattet ist. Der Kern ist dadurch gekennzeichnet, dass die Dicke am mittleren Abschnitt des Querschnitts davon und die Dicke an beiden Seiten des Querschnitts davon jeweils unterschiedliche Bereiche aufweisen und dass die Querschnittsform des Kerns entlang der Längsrichtung des Kerns variiert.

**[0028]** In einem optischen Schalter gemäß der vorliegenden Erfindung ist es möglich, die Lichtübertragungsrichtungen an Abzweigungsabschnitten durch Steuern des durch das Heizmodul erhitzten Abschnitts des Kerns zu schalten. Des Weiteren variiert die Querschnittsform des Kerns entlang der Längsrichtung des Kerns, wobei es selbst bei Verwendung eines einheitlichen Kernmaterials variable Abschnitte gibt. Somit ist es möglich, den effektiven Brechungsindex des Kerns durch Variieren von Querschnittsformen zu variieren. Folglich ist es möglich, den effektiven Brechungsindex des Kerns an einem optionalen Abschnitt des Kerns durch Variieren der Querschnittsformen zu steuern und die Verteilung des elektrischen Felds, das durch den Kern übertragen wird, zu steuern. Zum Beispiel kann die Lichtverteilung des elektrischen Felds am gebogenen Abschnitt und am Abzweigungsabschnitt des Kerns gesteuert werden, um zu verhindern, dass Licht aus dem Kern entweicht und einen Verlust verursacht. Dementsprechend ist es ebenfalls möglich, den Kern mit einer großen Biegung zu biegen, während der Übertragungsverlust eingeschränkt wird. Infolgedessen ist es möglich, den freien Grad von Kernformen zu steigern und weiterhin die Kernrichtung weitgehend zu biegen, ohne einen optischen Schalter groß zu machen. Infolgedessen ist es gemäß der vorliegenden Erfindung möglich, einen optischen Schalter mit geringem Verlust und dennoch hohem Extinktionsverhältnis herzustellen.

**[0029]** Obwohl es schwierig ist, einen solchen Kern mit einem Halbleiterverfahren herzustellen, kann mit dem Verfahren des Ausbildens eines Kerns, indem ein Einschnitt auf einem Mantelsubstrat, das durch Spritzguss mit einem Kernmaterial hergestellt wurde, gefüllt wird, oder mit dem Verfahren des Ausbildens eines Kerns durch Ausstanzen unter Verwendung eines Stempels eine leichte Herstellung bewirkt werden.

**[0030]** Eine bevorzugte Ausführungsform eines op-

tischen Schalters gemäß der vorliegenden Erfindung ist dadurch gekennzeichnet, dass in dem Querschnitt des Abzweigungsabschnitts des Kerns, wenn der Querschnitt des Kerns in der Richtung, die zu der Fläche, in der das Heizmodul angeordnet ist, senkrecht ist, in zwei gleiche Teile unterteilt wird, zwischen den Querschnitten, die in zwei gleiche Teile unterteilt werden, der Bereich des Querschnitts, der dem Heizmodul näher ist, größer als der des Querschnitts ist, der weiter von dem Heizmodul entfernt ist. Außerdem ist eine weitere bevorzugte Ausführungsform eines optischen Schalters gemäß der vorliegenden Erfindung dadurch gekennzeichnet, dass in dem Querschnitt des Abzweigungsabschnitts des Kerns, zwischen den Seiten in der Richtung, die zu der Fläche parallel ist, in der das Heizmodul angeordnet ist, die Länge der Seite, die dem Heizmodul näher ist, länger als die der Seite ist, die weiter von dem Heizmodul entfernt ist. Als Querschnittsformen eines solchen Kerns gibt es beispielsweise eine Trapezform, deren Breite an der Seite des Heizmoduls breiter ist. In diesen bevorzugten Ausführungsformen ist der Kern verschoben von der Heizmodulseite angeordnet. Folglich werden die Veränderungen des Brechungsindex gegenüber Erhitzung durch das Heizmodul empfindlich, wobei es infolgedessen möglich ist, das Extinktionsverhältnis zu erhöhen.

**[0031]** Eine nochmals weitere bevorzugte Ausführungsform eines optischen Schalters gemäß der vorliegenden Erfindung ist dadurch gekennzeichnet, dass die Endflächenform des Kerns in einer Form hergestellt ist, die zum Verringern des Verbindungsstellenverlustes mit einem Element, das mit der Endfläche des Kerns verbunden werden soll, geeignet ist. Im Fall eines Einmodenkerns ist die Endflächenform eines solchen Kerns rechteckig. Mit einer solchen Endflächenform ist es möglich, die Verbindungsstelleneffizienz beim Kombinieren von Kernendflächen mit Elementen wie einer Lichteifaser und dergleichen zu steigern.

**[0032]** Die oben erläuterten Zusammensetzungselemente der vorliegenden Erfindung können willkürlich zu so vielen wie möglich kombiniert werden.

#### KURZBESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

**[0033]** [Fig. 1A](#) bis [Fig. 1H](#) zeigen Schaubilder zum Erläutern des Herstellungsverfahrens eines Lichtwellenleiters im Stand der Technik.

**[0034]** [Fig. 2A](#) zeigt eine Querschnittsansicht einer Querschnittsform des Kerns in dem Lichtwellenleiter, während [Fig. 2B](#) eine Querschnittsansicht einer anderen Querschnittsform des Kerns in demselben Lichtwellenleiter zeigt.

**[0035]** [Fig. 3](#) zeigt eine perspektivische Ansicht eines gebogenen Kerns.

[0036] [Fig. 4](#) zeigt ein Schaubild zum Erläutern des Grunds, weshalb Licht abgestrahlt wird und am gebogenen Kern ein Verlust auftritt.

[0037] [Fig. 5](#) zeigt Veränderungen des Brechungsindex entlang der Richtung, die den gebogenen Kern schneidet.

[0038] [Fig. 6](#) zeigt ein Schaubild zum Erläutern der Verteilung des elektrischen Felds der Wellenleitermode im gebogenen Kern.

[0039] [Fig. 7](#) zeigt eine perspektivische Ansicht einer Struktur eines optischen Schalters im Stand der Technik.

[0040] [Fig. 8A](#) zeigt eine Querschnittsansicht entlang der Linie C-C' in [Fig. 7](#), [Fig. 8B](#) zeigt eine Querschnittsansicht entlang der Linie C2-C2' und [Fig. 8C](#) zeigt eine Querschnittsansicht entlang der Linie C3-C3' in [Fig. 7](#).

[0041] [Fig. 9](#) zeigt eine Draufsicht eines Lichtwellenleiters gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung.

[0042] [Fig. 10A](#) zeigt eine Vorderansicht des Lichtwellenleiters in [Fig. 9](#), von der Lichteinfallssseite davon aus betrachtet, [Fig. 10B](#) zeigt eine Querschnittsansicht entlang der Linie D-D' in [Fig. 9](#) und [Fig. 10C](#) zeigt eine Rückansicht des Lichtwellenleiters in [Fig. 9](#), von der Lichtaustrittsseite davon aus betrachtet.

[0043] [Fig. 11](#) zeigt ein Schaubild zum Erläutern der Verteilung des elektrischen Felds der Wellenleitermode im Kern des in [Fig. 9](#) gezeigten Lichtwellenleiters.

[0044] [Fig. 12](#) zeigt eine Dispersionskurve eines zweidimensionalen Kerns des Stufentyps.

[0045] [Fig. 13A](#) bis [Fig. 13E](#) zeigen Querschnittsansichten zum Erläutern des Herstellungsverfahrens des in [Fig. 9](#) gezeigten Lichtwellenleiters.

[0046] [Fig. 14](#) zeigt eine Querschnittsansicht zum Erläutern der Querschnittsform eines Nicht-Abzweigungskerns im Lichtwellenleiter.

[0047] [Fig. 15](#) zeigt eine Querschnittsansicht zum Erläutern der Querschnittsform eines Abzweigungskerns in einer anderen Position in dem Lichtwellenleiter.

[0048] [Fig. 16A](#), [Fig. 16B](#) und [Fig. 16C](#) zeigen eine Vorderansicht, eine Querschnittsansicht bzw. eine Rückansicht zum Erläutern eines modifizierten Beispiels des in [Fig. 9](#) gezeigten Lichtwellenleiters gemäß der bevorzugten Ausführungsform.

[0049] [Fig. 17](#) zeigt eine Draufsicht eines Lichtwellenleiters (eines S-förmigen Wellenleiters) gemäß einer anderen bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung.

[0050] [Fig. 18A](#) zeigt eine Vorderansicht des Lichtwellenleiters, [Fig. 18B](#) zeigt eine Querschnittsansicht entlang der Linie E-E' in [Fig. 17](#) des Lichtwellenleiters und [Fig. 18C](#) zeigt eine Rückansicht desselben Lichtwellenleiters.

[0051] [Fig. 19](#) zeigt eine Draufsicht eines Lichtwellenleiters (eines gebogenen Wellenleiters) gemäß einer nochmals anderen bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung.

[0052] [Fig. 20](#) zeigt eine Draufsicht eines optischen Schalters gemäß einer nochmals anderen bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung.

[0053] [Fig. 21A](#) zeigt eine Vorderansicht desselben optischen Schalters, [Fig. 21B](#) zeigt eine Querschnittsansicht entlang der Linie G-G' in [Fig. 20](#), [Fig. 21C](#) zeigt eine Querschnittsansicht entlang der Linie H-H' in [Fig. 20](#) und [Fig. 21D](#) zeigt eine Rückansicht desselben optischen Schalters.

[0054] [Fig. 22](#) zeigt eine Temperaturverteilung, wenn von einem Heizelement erhitzt wird.

[0055] [Fig. 23A](#) zeigt eine Draufsicht, in der die Lichtdurchlässigkeit zu dem Zeitpunkt, zu dem nur ein Heizelement eingeschaltet ist, in dem optischen Schalter gemäß der vorliegenden Erfindung durch die Linienstärke gezeigt ist, während [Fig. 23B](#) einen Graphen zeigt, wobei die horizontale Achse die Leistungsstärke zeigt und die vertikale Achse die Leistungsveränderungen in jeweiligen Abzweigungskernen im Längsabstand des optischen Schalters zeigt.

[0056] [Fig. 24A](#) zeigt eine Draufsicht, in der die Lichtdurchlässigkeit zu dem Zeitpunkt, zu dem nur ein Heizelement eingeschaltet ist, in dem herkömmlichen optischen Schalter durch die Linienstärke gezeigt ist, während [Fig. 24B](#) einen Graphen zeigt, wobei die horizontale Achse die Leistungsstärke zeigt und die vertikale Achse die Leistungsveränderungen in jeweiligen Abzweigungskernen im Längsabstand des optischen Schalters zeigt.

[0057] [Fig. 25A](#), [Fig. 25B](#) [Fig. 25C](#) zeigen jeweils Lichtleistungsverteilungen an Querschnitten an den Positionen in dem optischen Schalter gemäß der vorliegenden Erfindung.

[0058] [Fig. 26A](#), [Fig. 26B](#) und [Fig. 26C](#) zeigen jeweils Lichtleistungsverteilungen an Querschnitten an ähnlichen Positionen in Bezug auf den optischen Schalter gemäß dem Stand der Technik.

[0059] [Fig. 27A](#) zeigt eine Vorderansicht eines modifizierten Beispiels des Lichtwellenleiters gemäß der vorliegenden bevorzugten Ausführungsform, [Fig. 27B](#) und [Fig. 27C](#) zeigen eine Querschnittsansicht und [Fig. 27D](#) zeigt eine Rückansicht davon.

[0060] [Fig. 28](#) zeigt eine perspektivische Ansicht eines optischen Schalters als eine nochmals andere bevorzugte Ausführungsform gemäß der vorliegenden Erfindung.

[0061] [Fig. 29](#) zeigt eine perspektivische Ansicht eines Richtungskopplers (optischen Schalters) als eine nochmals andere bevorzugte Ausführungsform gemäß der vorliegenden Erfindung.

[0062] [Fig. 30](#) zeigt eine perspektivische Ansicht eines Mach-Zehnder-Interferometer-Richtungskopplers (optischen Schalters) als eine nochmals andere bevorzugte Ausführungsform gemäß der vorliegenden Erfindung.

[0063] [Fig. 31](#) zeigt eine perspektivische Ansicht eines Mach-Zehnder-Interferometer-Richtungskopplers (Dämpfungsreglers) als eine nochmals andere bevorzugte Ausführungsform gemäß der vorliegenden Erfindung.

[0064] [Fig. 32](#) zeigt eine perspektivische Ansicht eines asymmetrischen Mach-Zehnder-Interferometer-Richtungskopplers (Wellenkoppler und -trenners) als eine nochmals andere bevorzugte Ausführungsform gemäß der vorliegenden Erfindung.

[0065] [Fig. 33](#) zeigt eine perspektivische Ansicht eines gebogenen AWG-Kerns (Wellenkoppler und -trenners) als eine nochmals andere bevorzugte Ausführungsform gemäß der vorliegenden Erfindung.

[0066] [Fig. 34](#) zeigt eine perspektivische Ansicht eines Wellenkoplplers und -trenners als eine nochmals andere bevorzugte Ausführungsform gemäß der vorliegenden Erfindung.

[0067] [Fig. 35](#) zeigt eine perspektivische Ansicht eines optischen Transceivers als eine nochmals andere bevorzugte Ausführungsform gemäß der vorliegenden Erfindung.

[0068] [Fig. 36](#) zeigt eine perspektivische Ansicht eines optischen Transceivers als eine nochmals andere bevorzugte Ausführungsform gemäß der vorliegenden Erfindung.

#### BESCHREIBUNG DER BEVORZUGTEN AUSFÜHRUNGSFORMEN

##### Erste Ausführungsform

[0069] [Fig. 9](#) zeigt eine Draufsicht eines Lichtwel-

lenleiters **8** gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung. [Fig. 10A](#) bis [Fig. 10C](#) zeigen eine Vorderansicht (die Fläche mit einem Lichteinfallsende **14** eines Kerns **9**) des in [Fig. 9](#) gezeigten Lichtwellenleiters **8**, eine Querschnittsansicht entlang der Linie D-D' bzw. eine Rückansicht davon (die Fläche mit Lichtaustrittsenden **15a** und **15b** des Kerns **9**). Der Lichtwellenleiter **8** gemäß der vorliegenden Erfindung umfasst ein Substrat **10**, eine untere Mantelschicht **11a**, einen Y-abgezweigten Kern **9** und eine obere Mantelschicht **11b**. Der Kern **9** ist in eine Y-Form abgezweigt. Eine Endfläche eines Nicht-Abzweigungskerns **9a** wird zu einem Lichteinfallsende **14** und das Ende des Nicht-Abzweigungskerns **9a** ist in Abzweigungskerne **9b** und **9c** abgezweigt. Die Endflächen der Abzweigungskerne **9b** und **9c** sind die Lichtaustrittsenden **15a** und **15b**. Dieser Lichtwellenleiter **8** wirkt als eine Lichtabzweigungsvorrichtung, die Licht, das vom Lichteinfallsende **14** des Kerns **9** eintritt, abzweigt und abgezweigtes Licht durch die Lichtaustrittsenden **15a** und **15b** abgibt. An das Lichteinfallsende **14** ist ein Lichtprojektionsmodul wie eine Lichtemittervorrichtung oder eine Lichtleitfaser oder dergleichen angeschlossen, während an die Lichtaustrittsenden **15a** und **15b** Lichtempfangsvorrichtungen wie etwa eine Lichtempfangsvorrichtung oder eine Lichtleitfaser oder dergleichen angeschlossen sind. Wie in [Fig. 10B](#) gezeigt, sind die Querschnitte des Kerns **9** in der Nähe des Abzweigungsabschnitts (Abzweigungskerne **9b** und **9c**) trapezförmig, während, wie in [Fig. 10A](#) und [Fig. 10C](#) gezeigt ist, die Querschnittsformen um die und an den Endflächen **14**, **15a** und **15b** des Kerns **9** rechteckig sind.

[0070] In diesem Lichtwellenleiter **8** sind die Querschnitte des Abzweigungskerns **9b** und **9c** im gebogenen Abschnitt in der Nähe des Abzweigungsabschnitts zu einer umgekehrt verjüngten Form gebogen. In dem Fall, in dem der Querschnitt des Kerns rechteckig ist, verschiebt sich die Verteilung des elektrischen Felds der Lichtdurchlassmode an einem solchen gebogenen Abschnitt, wie in [Fig. 6](#) gezeigt ist, zu der äußeren Umfangsseite; während sich in diesem Lichtwellenleiter **8**, in dem die Querschnitte des Kerns **9** am gebogenen Abschnitt zu der umgekehrt verjüngten Form geneigt sind, wie in [Fig. 11](#) gezeigt, die Verteilung des elektrischen Felds der Durchlassmode zu der inneren Umfangsseite verschiebt und Licht in dem Kern **9** begrenzt wird und kaum entweicht. Infolgedessen wird der Übertragungsverlust von Licht, das den Kern **9** durchläuft, selbst dann klein, wenn der Radius der Biegung R des gebogenen Abschnitts klein gemacht wird.

[0071] Der Grund, weshalb es unwahrscheinlich ist, dass Licht entweicht, und der Verlust klein wird, wenn die Seitenfläche der äußeren Umfangsseite des Kerns **9** in einer umgekehrt verjüngten Form geneigt ist, ist wie im Folgenden betrachtet. [Fig. 12](#) zeigt eine

Dispersionskurve, die die Beziehung zwischen der regulierten Frequenz V und dem regulierten Kernbrechungsindex b eines zweidimensionalen Kerns des Stuftentyps ausdrückt (Seite 16 von „Optical Integrated Circuit“, verfasst von Hiroshi Nishihara, Masamitsu Haruna und Toshiaki Yasuhara, veröffentlicht von Ohm am 25. Februar 1985). Hierin sind die regulierte Frequenz V und der regulierte Kernbrechungsindex b durch die folgende Gleichung (1) bzw. (2) gegeben und ist m eine Modenanzahl von zu übertragendem Licht und a ist die so genannte Asymmetrieskala. Wenn der Brechungsindex des Kerns **9** als  $n_f$  eingestellt ist, der Brechungsindex der unteren Mantelschicht **11a** als  $n_s$  eingestellt ist und der Brechungsindex der oberen Mantelschicht **11b** als  $n_c$  eingestellt ist, wird a durch die folgende Gleichung ausgedrückt.

$$a = (n_s^2 - n_c^2)/(n_f^2 - n_s^2)$$

Gleichung 1

$$V = k_0 T \sqrt{n_f^2 - n_s^2} \quad \dots (1)$$

$$b = \frac{N^2 - n_s^2}{n_f^2 - n_s^2} \quad \dots (2)$$

**[0072]** Dabei ist  $k_0$  eine Wellenanzahl in Vakuum, wobei sie, wenn die Lichtwellenanzahl in Vakuum als  $\lambda$  eingestellt ist, für  $k_0 = 2\pi/\lambda$  steht. Dabei ist T die Dicke des Kerns,  $n_f$  der Brechungsindex des Kerns **9** und  $n_s$  der Brechungsindex der unteren Mantelschicht **11a**. N ist der effektive Brechungsindex der Durchlassmode, wobei, wenn der Einfallswinkel zu der Kerngrenzfläche der Einfallswinkel  $\theta$  ist, N durch die Gleichung  $N = n_f \sin \theta$  definiert ist.

**[0073]** In dem Lichtwellenleiter **8** ist die Dicke des Kerns **9** an der Kante (dem Abschnitt mit einer Keilform) der äußeren Umfangsseite des Kerns **9** aufgrund der Neigung der Seitenfläche der äußeren Umfangsseite dünn. Wie in [Fig. 12](#) gezeigt ist, wird die regulierte Frequenz V klein, wenn die Dicke K des Kerns **9** dünn wird. Folglich wird der regulierte Kernbrechungsindex b an der Kante der äußeren Umfangsseite des Kerns **9** klein. Alternativ kann dann, wenn der Kern **9**, dessen Brechungsindex größer als der der oberen Mantelschicht **11b** ist, am äußeren Umfangsabschnitt dünn ist, wenn er von einer Position senkrecht zu dem Lichtwellenleiter **8** betrachtet wird, gesagt werden, dass der durchschnittliche Brechungsindex am äußeren Umfangsabschnitt des Kerns **9** klein. Infolgedessen ist die Neigung des Brechungsindex an einem gebogenen Kern, wie in [Fig. 5](#) gezeigt, gemildert und wird die Verteilung des elektrischen Felds der Durchlasslichtmode, das durch den Kern **9** durchgelassen wird, in die innere Umfangsseite eingeleitet, deren Brechungsindex wie in [Fig. 11](#) gezeigt hoch ist. Infolgedessen wird die Lichtabstrah-

lung zu der äußeren Umfangsseite klein, wodurch es möglich ist, den Lichtverlust am gebogenen Abschnitt des Kerns **9** zu verringern.

**[0074]** Wie oben beschrieben wurde, ist es in dem Kern **9** mit einer Form, die ermöglicht, den Übertragungsverlust, der in den Abzweigungskernen **9b** und **9c** entsteht, selbst dann zu steuern, wenn der Winkel zwischen den Abzweigungsabschnitten groß gemacht wird, möglich, Licht mit höherer Präzision als mit einem Y-abgezweigten Kern gemäß dem Stand der Technik zu übertragen. Wenn der Winkel zwischen den Abzweigungskernen **9b** und **9c** größer wird, wird der Abstand zwischen dem Lichtaustrittsende **15a** des Kerns **9** und dem Lichtaustrittsende **15b** größer. Infolgedessen ist es selbst dann, wenn die Gesamtlänge des Kerns **9** kurz gemacht wird, möglich, Platz zum Anordnen von optischen Elementen, die mit den Lichtaustrittsenden **15a** und **15b** verbunden werden sollen, zu sichern. Folglich ist es in dem Lichtwellenleiter **8** möglich, einen Kern mit kompakter Größe zu erreichen.

**[0075]** Da die Endflächenform des Kerns **9** zu einer Form hergestellt werden, die zum Verringern des Verbindungsstellenverlustes mit einem Element, das mit der Endfläche des Kerns verbunden werden soll, wie einem optischen Element oder dergleichen, geeignet ist, ist es in dem Lichtwellenleiter **8** zudem möglich, den Verlust auch an Verbindungsabschnitten zu verringern und Licht auf effiziente Art und Weise durchzulassen.

**[0076]** Dementsprechend ist es in dem Lichtwellenleiter **8** möglich, die Querschnittsformen des Kerns **9** gemäß der Positionen davon oder flachen Flächenformen und dergleichen zu variieren. Zudem ist es möglich, den freien Grad von Formen des Kerns **9** zu erhöhen, während die Biegung des gebogenen Abschnitts groß gemacht wird und der Verlust des Kerns **9** klein gehalten wird. Insbesondere, wenn die Biegung des gebogenen Abschnitts groß gemacht wird, ist es möglich zu verhindern, dass der Lichtwellenleiter **8** lang und groß wird. Somit kann ein Lichtwellenleiter **8** mit einer kompakten Größe hergestellt werden.

**[0077]** Des Weiteren ist es möglich, die Querschnittsform (Neigungswinkel der Seitenfläche) des Kerns **9** stark zu variieren, obwohl es vorzuziehen ist, sie allmählich zu variieren und dadurch zu verhindern, dass Licht diffus reflektiert wird oder entweicht.

**[0078]** [Fig. 13](#) zeigt Schaubilder zum Erläutern des Herstellungsverfahrens des Lichtwellenleiters **8**. In dem Herstellungsverfahren des Lichtwellenleiters **8** wird zunächst noch nicht gehärtetes, unter Ultraviolettröhren härzendes Harz auf ein Substrat **10** aufgebracht und mit einem Stempel **12** mit einem umgekehrten Muster des Kerns **9** auf der Oberfläche da-

von gepresst. Ultraviolettrahmen werden darauf gestrahlt und das unter Ultraviolettrahmen härtende Harz wird gehärtet. Dadurch wird eine untere Mantelschicht **11a** ausgebildet ([Fig. 13A](#) und [Fig. 13B](#)).

**[0079]** In die Höhlung in der unteren Mantelschicht **11a**, die auf die obige Art und Weise ausgebildet wird, wird unter Ultraviolettrahmen härtendes Harz (Kernharz), dessen Brechungsindex größer als der der unteren Mantelschicht **11a** ist, gefüllt. Ultraviolettrahmen werden darauf gestrahlt und das unter Ultraviolettrahmen härtende Harz wird gehärtet ([Fig. 13C](#)). Danach wird eine flache Platte **13** abgezogen und der Kern **9** auf der unteren Mantelschicht **11a** wird unter Verwendung einer Schleuderauftragmaschine dünn erweitert ([Fig. 13D](#)).

**[0080]** Danach wird Harz, das zu einer oberen Mantelschicht **11b** werden soll, deren Brechungsindex kleiner als der des Kerns **9** ist, darauf aufgebracht und belichtet. Dadurch wird der Lichtwellenleiter **8** vervollständigt ([Fig. 13E](#)). Die Dicke des ausgebildeten Kerns **9** ist etwa 6~10 µm, während die Dicke der oberen Mantelschicht **11b** etwa 10 µm ist. Es ist nicht immer erforderlich, die obere Mantelschicht **11b** auszubilden.

**[0081]** Der Stempel **12** oder die ursprüngliche Scheibe des Stempels, der bzw. die in dem Herstellungsverfahren des Lichtwellenleiters **8** eingesetzt werden soll, kann mittels Laserbearbeitung einer Glasplatte, einer Harzplatte oder dergleichen in einer gewünschten Form hergestellt werden. Somit ist es unter Verwendung dieses Stempels **12** möglich, einen Kern **9** auszubilden, bei dem die Querschnittsform davon an Positionen variiert. Außerdem ist es mit dem in [Fig. 12](#) gezeigten Herstellungsverfahren möglich, einen Kern **9** herzustellen, der einen umgekehrten trapezförmigen Querschnitt aufweist, in dem die Länge der Unterseite kürzer als die der Oberseite ist. Es war nicht möglich, einen solchen Querschnitt in einem Halbleiterverfahren auszubilden. Zudem kann der Kern **9** mittels Spritzguss ausgebildet werden.

**[0082]** In [Fig. 10B](#) werden die Querschnittsformen der Abzweigungskerne **9b** und **9c** am Bereich in der Nähe des Abzweigungsabschnitts in einer Trapezform hergestellt. Indessen können die Querschnittsformen an Positionen, die von dem Abzweigungsabschnitt des Nicht-Abzweigungskerns **9a** und von den Abzweigungskernen **9b** und **9c** entfernt sind, wie in beispielsweise [Fig. 14](#) gezeigt ist, in einer Trapezform hergestellt werden. Zudem können dann, wenn die Abzweigungskerne **9b** und **9c** zu einer S-Form gebogen sind, die Querschnittsformen an den Abschnitten, die gegenüber der Position des Querschnitts D-D' in [Fig. 9](#) gebogen sind (beispielsweise um die Mitte zwischen dem Querschnitt D-D' und der Rückfläche), in einer Trapezform hergestellt werden,

indem die Seitenfläche der äußeren Umfangsseite geneigt wird.

**[0083]** [Fig. 16A](#) bis [Fig. 16C](#) zeigen eine Vorderansicht eines modifizierten Beispiels des Lichtwellenleiters **8** gemäß der betreffenden bevorzugten Ausführungsform, eine Querschnittsansicht, die der Linie D-D' in [Fig. 9](#) entspricht, bzw. eine Rückansicht davon. Es ist gezeigt, dass, wenn der Kern **9** ausgebildet wird, das Kernharz von der Seite des Kerns **9** auf die obere Fläche der unteren Mantelschicht **11a** ausläuft und ein dünner Film oder Querstreifen **9d** ausgebildet wird. In dem Lichtwellenleiter **8** ist es kein Problem, dass der Querstreifen **9d**, wie in [Fig. 16A](#) bis [Fig. 16C](#) gezeigt, ausgebildet werden kann, wenn jedoch Licht, das den Kern **9** durchläuft, in den Querstreifen **9d** eintritt, wird Licht durch den Querstreifen **9d** entweichen. Folglich ist es bevorzugt, die Dicke des Querstreifens **9d** so dünn wie möglich herzustellen.

#### Zweite Ausführungsform

**[0084]** [Fig. 17](#) zeigt eine Draufsicht eines S-förmigen Lichtwellenleiters **8** (S-förmigen Kerns) gemäß einer anderen bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung. [Fig. 18A](#) bis [Fig. 18C](#) zeigen eine Vorderansicht, eine Querschnittsansicht entlang der Linie E-E' bzw. eine Rückansicht des in [Fig. 17](#) gezeigten Lichtwellenleiters **8**. Dieser Lichtwellenleiter **8** umfasst ein Substrat **10**, eine untere Mantelschicht **11a**, einen Kern **9** und eine obere Mantelschicht **11b** und wird mit dem in der ersten bevorzugten Ausführungsform erläuterten Herstellungsverfahren (Kopierverfahren) hergestellt. Ein Lichtprojektionselement ist an das Lichteinfallsende **14** des Kerns **9** angeschlossen, während ein Lichtempfangselement mit an das Lichtaustrittsende **15** des Kerns **9** angeschlossen ist.

**[0085]** Wie in [Fig. 18B](#) gezeigt ist, ist die Querschnittsform des gebogenen Abschnitts des Kerns **9** trapezförmig. Diese Form ist derart konzipiert, dass, wenn Licht, das von dem Lichteinfallsende **14** des Kerns **9** einfällt und durch den Kern in einer einzelnen Mode durchgelassen wird, in die Seite des gebogenen Abschnitts des Kerns **9** eintritt, der Einfallswinkel höher als der Grenzwinkel werden sollte und der Lichtverlust im Kern **9** eingeschränkt werden sollte. Zudem ist sie so konzipiert, dass Multimodenlicht nicht auftreten sollte.

**[0086]** Gemäß dem Lichtwellenleiter der vorliegenden Erfindung, in dem die Seitenfläche des Kerns **9** an dem gebogenen Abschnitt derart konzipiert ist, dass Übertragungsverlust eingeschränkt wird, ist es möglich, den Radius der Biegung am gebogenen Abschnitt kleiner als im herkömmlichen Kern (S-förmigen Kern) herzustellen. Somit ist es möglich, einen Lichtwellenleiter mit kompakter Größe herzustellen.

## Dritte Ausführungsform

[0087] [Fig. 19](#) zeigt einen Lichtwellenleiter 8 (gebogener Kern) gemäß einer nochmals anderen bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung. Eine Vorderansicht des in [Fig. 19](#) gezeigten Lichtwellenleiters 8, eine Querschnittsansicht entlang der Linie F-F' und eine Ansicht der linken Seite sind hierin nicht dargestellt, da sie jeweils den in [Fig. 18A](#) bis [Fig. 18C](#) gezeigten ähnlich sind. Dieser Lichtwellenleiter 8 wird mit dem in der ersten bevorzugten Ausführungsform erläuterten Herstellungsverfahren hergestellt und umfasst ein Substrat 10, eine untere Mantelschicht 11a, einen Kern 9 und eine obere Mantelschicht 11b.

[0088] In dem Lichtwellenleiter 8 gemäß der vorliegenden bevorzugten Ausführungsform ist die Querschnittsform des Kerns 9 am gebogenen Abschnitt trapezförmig. (Siehe [Fig. 18B](#).) Diese Form ist derart konzipiert, dass, wenn Licht, das vom Lichteinfallsende 14 des Kerns 9 einfällt und durch den Kern in einer einzelnen Mode durchgelassen wird, in die Seite des gebogenen Abschnitts des Kerns 9 eintritt, der Einfallswinkel höher als der Grenzwinkel werden sollte und der Lichtverlust im Kern 9 eingeschränkt werden sollte. Zudem ist sie so konzipiert, dass Multimodenlicht nicht auftreten sollte.

## Vierte Ausführungsform

[0089] [Fig. 20](#) zeigt eine Draufsicht eines optischen Schalters 8A gemäß einer nochmals anderen bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung. [Fig. 21A](#) bis [Fig. 21D](#) zeigen eine Vorderansicht des optischen Schalters 8A von [Fig. 20](#), eine Querschnittsansicht entlang der Linie H-H' bzw. eine Rückansicht. Der optische Schalter 8A der vorliegenden Erfindung umfasst ein Substrat 10, eine untere Mantelschicht 11a, einen Kern 9 (einen Nicht-Abzweigungskern 9a, Abzweigungskerne 9b und 9c), eine obere Mantelschicht 11b und Heizelemente 16a und 16b und wird mit dem Herstellungsverfahren hergestellt, das dem für den Lichtwellenleiter 8, das in der ersten bevorzugten Ausführungsform erläutert wurde, abgesehen davon, dass die Heizelemente 16a und 16b, die jeweils eine Metallelektrode umfassen, auf der oberen Mantelschicht 11b ausgebildet sind, ähnlich ist. Im optischen Schalter 8A gemäß der vorliegenden Erfindung ist auf der oberen Fläche der oberen Mantelschicht 11b das Heizelement 16a am stromaufwärtigen Teil des Abzweigungskerns 9b angeordnet und das Heizelement 16b ist am stromaufwärtigen Teil des Abzweigungskerns 9c angeordnet, um den Nicht-Abzweigungskern 9a zu verengen.

[0090] Zudem werden der Nicht-Abzweigungskern 9a und die Abzweigungskerne 9b und 9c zu einer umgekehrten trapezoiden Querschnittsform ausgebildet, wobei beide Seiten wie in [Fig. 21B](#) und

[Fig. 21C](#) gezeigt in Bereichen mit Ausnahme des Lichteinfallsendes 14 und der Lichtaustrittsenden 15a und 15b und Bereichen um sie herum geneigt sind. Der Nicht-Abzweigungskern 9a und die Abzweigungskerne 9b und 9c werden am Lichteinfallende 14 und an den Lichtaustrittsenden 15a und 15b und Bereichen um sie herum, wie in [Fig. 21A](#) und [Fig. 21D](#) gezeigt ist, zu einer rechteckigen Querschnittsform ausgebildet, wobei die Querschnittsform dazwischen allmählich variiert.

[0091] Der optische Schalter 8A gemäß der vorliegenden Erfindung ist ein optisches Schaltelement, das das Leiten von Licht, das vom Lichteinfallende 14 in den Nicht-Abzweigungskern 9a einfällt, entweder nur zu dem Abzweigungskern 9b oder nur zu dem Abzweigungskern 9c ermöglicht. Zum Schalten des Abzweigungskerns 9b oder 9c, an den Licht geleitet wird, wird der thermooptische Effekt (TO-Effekt) eingesetzt.

[0092] Hierin erzeugen die Heizelemente 16a und 16b Wärme, wenn sie eingeschaltet werden, wobei sie derart angeordnet sind, dass sie nur einen der Abzweigungskerne 9b bzw. 9c erhitzten. Wenn, wie z. B. in [Fig. 22](#) gezeigt ist, nur das Heizelement 16b eingeschaltet wird, um Wärme zu erzeugen, tritt um das Heizelement 16b eine solche Temperaturverteilung wie in der Figur gezeigt auf, wobei der Abzweigungskern 9c effizient erhitzt wird und die Temperatur davon ansteigt. Indessen steigt die Temperatur des Abzweigungskerns 9b nicht an und umgekehrt, wenn nur das Heizelement 16a erhitzt wird.

[0093] Es wird hier ein Fall erläutert, in dem der Abzweigungskern 9b eingeschaltet ist und der Abzweigungskern 9c ausgeschaltet ist. Dadurch wird Licht, das vom Lichteinfallende 14 einfällt, nur zu dem Abzweigungskern 9b geleitet und durch das Lichtaustrittsende 15a abgegeben. In diesem Fall wird das Heizelement 16b am Abzweigungskern 9c, von dem gewünscht wird, dass der Lichtdurchlass zu ihm gesperrt wird, eingeschaltet und der Abzweigungskern 9c wird erhitzt. Indessen wird das Heizelement 16a am Abzweigungskern 9b, von dem gewünscht wird, dass Licht durchgelassen übertragen wird, nicht eingeschaltet. Somit wird der Brechungsindex des Abzweigungskerns 9c, der vom Heizelement 16b erhitzt wird, kleiner als der Brechungsindex des Abzweigungskerns 9b, der nicht erhitzt wird. Wenn Licht, das vom Lichteinfallende 14 eintritt, den Abzweigungsabschnitt des Kerns 9 erreicht, da der Brechungsindex an der Seite des Abzweigungskerns 9c niedrig ist, werden Lichtwellen, die den Abzweigungsabschnitt erreichen, zu der Seite des Abzweigungskerns 9b geleitet und durch den Abzweigungskern 9b durchgelassen.

[0094] Des Weiteren sind in diesem optischen Schalter 8A, wie in [Fig. 21B](#) und [Fig. 21C](#) gezeigt ist,

beide Seitenflächen des Nicht-Abzweigungskerns **9a** und der Abzweigungsgerne **9b** und **9c** geneigt und die Querschnittsformen davon weisen wenigstens am Abzweigungsabschnitt knapp unter den Heizelementen **16a** und **16b** und zwischen den Seiten, die parallel zu den Heizelementen **16a** und **16b** sind, eine umgekehrte Trapezform auf. Die Seiten (Oberseiten), die den Heizelementen **16a** und **16b** näher sind, sind länger als die Seiten (Unterseiten), die von den Heizelementen **16a** und **16b** weiter entfernt sind. Infolgedessen wird die Dicke der Abzweigungsgerne **9b** und **9c** am Keilabschnitt beider Seitenflächen der Abzweigungsgerne **9b** und **9c** allmählich dünner und der Brechungsindex wird an beiden Seiten der Abzweigungsgerne **9b** und **9c** klein. Somit wird Licht, das in den Abzweigungskern **9b** oder **9c** am Abzweigungsabschnitt des Kerns **9** eintritt, in den mittleren Abschnitt des Abzweigungskerns **9b** oder **9c** konvergierengelassen und dadurch das Entweichen von Licht aufgrund von Strahlung sowohl zu der linken als auch zu der rechten Seite eingeschränkt.

**[0095]** Insbesondere, wenn das Heizelement **16a** oder **16b** eingeschaltet wird, werden die dünnen Abschnitte der beiden Seitenflächen der Abzweigungsgerne **9b** und **9c** an der Seite, an der das Heizelement eingeschaltet wird, effizient erhitzt, wobei der Brechungsindex klein wird. Dementsprechend wird Licht an der Seite, an der das Heizelement ausgeschaltet ist, durch die Abzweigungsgerne **9c** und **9b** durchgelassen, während Licht an der Seite, an der das Heizelement eingeschaltet ist, nicht durch die Abzweigungsgerne **9c** und **9b** durchgelassen, wird. Des Weiteren ist es unwahrscheinlich, dass Licht, das durch den Abzweigungskern **9c** oder **9b** eintritt, zu dem anderen Abzweigungskern **9b** oder **9c** entweicht. Infolgedessen wird das Extinktionsverhältnis des optischen Schalters **8A** hoch. Wenn das Heizelement **16b** z. B. eingeschaltet wird, wird der Brechungsindex des Abzweigungskerns **9c** effizient gesenkt, wobei Licht zum Abzweigungskern **9b** geht und es unwahrscheinlich ist, dass es zum Abzweigungskern **9c** entweicht. Folglich wird das Extinktionsverhältnis hoch.

**[0096]** In dem Fall, in dem die Querschnittsform des Kerns **9** am Abzweigungsabschnitt in einer Trapezform hergestellt wird, deren Seite, die zu den Heizelementen **16a** und **16b** (Oberseite) näher ist, kürzer wäre als die Seite, die von den Heizelementen **16a** und **16b** weiter entfernt ist (Unterseite), würde eine solche Wirkung zum Erhöhen des Extinktionsverhältnisses nicht erzielt. Dies wird erachtet, da die dünnen Abschnitte beider Seiten der Abzweigungsgerne **9b** und **9c** weit von den Heizelementen **16a** und **16b** entfernt wären.

**[0097]** Gemäß dem optischen Schalter **8A** der oben erwähnten Struktur ist es möglich, das Extinktionsverhältnis zu erhöhen. Somit besteht keine Notwen-

digkeit, den Energieverbrauch der Heizelemente **16a** und **16b** zu erhöhen, um das Extinktionsverhältnis zu erhöhen. Des Weiteren ist es möglich, die Differenz zwischen Abschnitten mit großem Brechungsindex und Abschnitten mit kleinem Brechungsindex klein zu halten. Infolgedessen tritt Multimodenlicht selten auf.

**[0098]** Als Nächstes sind in [Fig. 23](#) und [Fig. 24](#) die Ergebnisse einer Simulation eines optischen Schalters **8A** mit einem Kern **9**, dessen Querschnittsform am Abzweigungsabschnitt trapezförmig ist, und eines herkömmlichen optischen Schalters mit einem Kern, dessen Querschnittsform rechteckig ist, zusammen mit einer Simulation zur Lichtleistung, die durch die jeweiligen Kerne durchgelassen wird gezeigt. [Fig. 23A](#) zeigt eine Draufsicht, in der die Lichtdurchlässigkeit zu dem Zeitpunkt, zu dem nur ein Heizelement eingeschaltet ist, in dem optischen Schalter **8A** durch die Linienstärke gezeigt ist. [Fig. 23B](#) zeigt einen Graphen, wobei die horizontale Achse die Leistungsstärke zeigt und die vertikale Achse die Leistungsveränderungen in jeweiligen Abzweigungskernen im Längsabstand des optischen Schalters zeigt. Auf dieselbe Art und Weise zeigt [Fig. 24A](#) eine Draufsicht, in der die Lichtdurchlässigkeit zu dem Zeitpunkt, zu dem nur ein Heizelement eingeschaltet ist, in dem herkömmlichen optischen Schalter durch die Linienstärke gezeigt ist. [Fig. 24B](#) zeigt einen Graphen, wobei die horizontale Achse die Leistungsstärke zeigt und die vertikale Achse die Leistungsveränderungen in jeweiligen Abzweigungskernen im Längsabstand des optischen Schalters zeigt.

**[0099]** Wie aus einem Vergleich von [Fig. 23](#) und [Fig. 24](#) deutlich ist, strömt in dem in [Fig. 24](#) gezeigten herkömmlichen optischen Schalter Licht mit einer Leistung von etwa 10% in den Abzweigungskern an der Seite, an der das Heizelement eingeschaltet ist, während an der Seite, an der das Heizelement ausgeschaltet ist, nur Licht mit einer Leistung von etwa 90% durchgelassen wird. Indessen wird in dem optischen Schalter gemäß der vorliegenden Erfindung die Leistung des Lichts, das durch den Abzweigungskern an der Seite strömt, an der das Heizelement eingeschaltet ist, nahezu 0%, während zu der Seite, an der das Heizelement ausgeschaltet ist, Licht mit einer Leistung von nahezu 100% durchgelassen wird. So mit werden ein hohes Extinktionsverhältnis und ein kleiner Übertragungsverlust umgesetzt.

**[0100]** Zudem zeigen [Fig. 25A](#), [Fig. 25B](#) und [Fig. 25C](#) Lichtleistungsverteilungen an Querschnitten an den Positionen P1, P2 und P3 in [Fig. 20](#) in Bezug auf den optischen Schalter gemäß der vorliegenden Erfindung. Auf dieselbe Art und Weise zeigen [Fig. 26A](#), [Fig. 26B](#) und [Fig. 26C](#) jeweils Lichtleistungsverteilungen an Querschnitten an ähnlichen Positionen in Bezug auf den optischen Schalter gemäß dem Stand der Technik. Auch vom Vergleich von

**Fig. 25** und **Fig. 26** wird festgestellt, dass ein geringeres Entweichen zu dem Abzweigungskern an der Seite, an der das Heizelement eingeschaltet ist, in dem optischen Schalter gemäß der vorliegenden Erfindung äußerst klein ist.

**[0101]** In dem optischen Schalter **8A** gemäß der obigen bevorzugten Ausführungsform werden die Abzweigungskerne **9b** und **9c** sowie der Nicht-Abzweigungskern **9a** in einer symmetrischen Querschnittsform ausgebildet. Im Hinblick auf die Abzweigungskerne **9b** und **9c** kann nur die Seitenfläche derjenigen Seite, die von dem anderen Abzweigungskern **9c** und **9b** weiter entfernt ist, geneigt sein und die Seitenfläche der Seite, die dem anderen Abzweigungskern **9c** und **9b** näher ist, kann zu einer vertikalen Fläche hergestellt sein.

**[0102]** **Fig. 27A** bis **Fig. 27D** zeigen eine Vorderansicht eines modifizierten Beispiels des optischen Schalters **8A** gemäß der vorliegenden bevorzugten Ausführungsform, eine Querschnittsansicht, die der Linie G-G' in **Fig. 20** entspricht, eine Querschnittsansicht, die der Linie H-H' in **Fig. 20** entspricht, bzw. eine Rückansicht davon. Diese zeigen, dass, wenn der Kern **9** (der Nicht-Abzweigungskern **9a**, die Abzweigungskerne **9b** und **9c**) ausgebildet wird, das Kernharz von der Seite des Kerns **9** auf die obere Fläche der unteren Mantelschicht **11a** ausläuft und ein dünner Film oder Querstreifen **9d** ausgebildet wird. In dem optischen Schalter **8A** ist es kein Problem, dass der Querstreifen **9d** wie in **Fig. 27A** bis **Fig. 27D** gezeigt ausgebildet werden kann. Wenn jedoch Licht, das durch den Kern **9** übertragen wird, in den Querstreifen **9d** eintritt, wird Licht durch den Querstreifen **9d** entweichen. Folglich ist es bevorzugt, die Dicke des Querstreifens **9d** so dünn wie möglich herzustellen.

#### Fünfte Ausführungsform

**[0103]** **Fig. 28** zeigt eine Figur zum Erläutern eines optischen Schalters **8B** als eine nochmals andere bevorzugte Ausführungsform gemäß der vorliegenden Erfindung. Dieser optische Schalter **8B** wird mit dem in der ersten bevorzugten Ausführungsform erläuterten Herstellungsverfahren hergestellt und umfasst ein Substrat **10**, eine untere Mantelschicht **11a**, einen Kern **9** und eine obere Mantelschicht **11b** und ein Heizelement **16**. Der Kern **9** weist zwei oder mehr Abzweigungsabschnitte und drei oder mehr Lichtaustrittsenden **15a**, **15b**, ... auf. Auf der oberen Fläche der oberen Mantelschicht **11b** ist eine Reihe von Heizelementen **16a** und **16b** derart angeordnet, dass jeder der Abzweigungsabschnitte verengt ist. Außerdem wird in dieser Struktur jede Reihe von Heizelementen **16a** und **16b** einzeln umgeschaltet, wodurch das Übertragungsziel von Licht, das vom Lichteinfallsende **14** eintritt, zu optionalen Lichtaustrittsenden **15a**, **15b**, ... **15h** geschaltet werden kann.

**[0104]** In diesem optischen Schalter **8B** wird die Querschnittsform in der Nähe der Abzweigungsabschnitte des Kerns **9** in einer Trapezform hergestellt und werden die Formen des Lichteinfallsendes **14** und der Lichtaustrittsenden **15a**, **15b**, ... **15h** in solchen Formen wie einem Quadrat, einem Rechteck oder dergleichen für einen geringen Verbindungsstellenverlust mit einer daran anzuschließenden Lichtleitfaser oder dergleichen hergestellt. Infolgedessen kann gemäß diesem optischen Schalter **8B** an den Abzweigungsabschnitten davon Licht effizient zu gewünschten Abzweigungszielen durchgelassen werden, wobei es möglich ist, Licht auf effiziente Art und Weise durchzulassen und zu verteilen, da der Verbindungsstellenverlust an der Endfläche des Kerns **9** klein wird.

#### Andere Ausführungsformen

**[0105]** Ein Lichtwellenleiter gemäß der vorliegenden Erfindung kann auf verschiedene Anwendungen angewendet werden. Zum Beispiel kann ein Lichtwellenleiter der vorliegenden Erfindung auf einen Richtungskoppler (optischen Schalter) **8C** unter Verwendung von zwei Kernen **9** und Heizelementen **16a** und **16b**, wie in **Fig. 29** gezeigt; auf einen Mach-Zehnder-Interferometer-Richtungskoppler (optischen Schalter) **8D** Verwendung von zwei Kernen **9** und Heizelementen **16a** und **16b**, wie in **Fig. 30** gezeigt; auf einen Mach-Zehnder-Interferometer-Richtungskoppler (Dämpfungsregler) **8E**, der einen Kern **9** umfasst, der auf halbem Weg in zwei Kerne abgezweigt und danach wieder kombiniert wird, und Heizelemente **16a** und **16b**, wie in **Fig. 31** gezeigt ist; auf einen asymmetrischen Mach-Zehnder-Interferometer-Richtungskoppler (Wellenkoppler und -trenner), der zwei asymmetrische Kerne **9** umfasst, wie in **Fig. 32** gezeigt ist; auf einen gebogenen AWG-Kern (Wellenkoppler und -trenner) **8G**, der mehrere Kerne **9** und Sternkoppler **17** umfasst, wie in **Fig. 33** gezeigt; auf einen Wellenkoppler und -trenner **8H**, der mehrere Kerne **9** und Filter **18** umfasst, wie in **Fig. 34** gezeigt; auf einen optischen Transceiver **8I**, der einen Y-abgezweigten Kern **9** und ein Filter **18** umfasst, wie in **Fig. 35** gezeigt (Lichtquelle und Lichtfassungselement sind nicht darin dargestellt); auf einen optischen Transceiver **8J**, der einen asymmetrischen Mach-Zehnder-Interferometer-Richtungskoppler umfasst, der aus zwei Kernen **9** besteht (Lichtquelle und Lichtfassungselement sind nicht darin dargestellt), wie in **Fig. 36** gezeigt; usw. angewendet werden.

#### Patentansprüche

1. Lichtwellenleiter (**8**), der ein Substrat (**10**), eine Mantelschicht (**11**), die auf einer Oberfläche des Substrats angebracht ist, einen Kern (**9**), der innerhalb der Mantelschicht angeordnet ist, umfasst, wobei der Kern einen gebogenen Abschnitt aufweist, der einem

Biegungsweg folgt, wobei die Querschnittsform des Kerns entlang der Länge des genannten Kerns variiert, und der Kern (9) **dadurch gekennzeichnet** ist, dass an dem gebogenen Abschnitt der Boden des Kerns zur Oberfläche des Substrats parallel ist, die Seite des Kerns an einem inneren Teil der Biegung zur Oberfläche des Substrats (10) senkrecht ist und die Seite des Kerns an dem äußeren Teil der Biegung in Bezug auf die Oberfläche des Substrats (10) geneigt ist, so dass eine Querschnittsform des Kerns an dem gebogenen Abschnitt eine umgekehrte Trapezform aufweist.

2. Lichtwellenleiter nach Anspruch 1, wobei der gebogene Abschnitt des Kerns (9) mit einem geraden Abschnitt des Kerns (9) verbunden ist, der sich zu einer Endfläche (14) der Mantelschicht (11) erstreckt, wobei die Querschnittsform an dem geraden Abschnitt in einer rechteckigen Form ausgebildet ist und die Querschnittsform sich entlang der Längsrichtung des Kerns (9) von der rechteckigen Form allmählich zu der umgekehrten Trapezform ändert.

3. Lichtwellenleiter (8), der ein Substrat (10), eine Mantelschicht (11), die auf einer Oberfläche des Substrats angebracht ist, einen Kern (9), der innerhalb der Mantelschicht angeordnet ist, umfasst, wobei der Kern (9) einen Nicht-Abzweigungskernabschnitt (9a) aufweist, der in Y-Form in eine erste Abzweigung mit einem gebogenen Abschnitt (9b), der einem Biegungsweg folgt, und eine zweite Abzweigung mit einem gebogenen Abschnitt (9c), der einem Biegungsweg folgt, abweigt, wobei die Querschnittsform des Kerns entlang der Länge des genannten Kerns variiert, dadurch gekennzeichnet, dass an den gebogenen Abschnitten (9b, 9c) der ersten und der zweiten Abzweigung der Boden des Kerns (9) zur Oberfläche des Substrats parallel ist, die Seite des Kerns an einem inneren Teil der Biegung zur Oberfläche des Substrats senkrecht ist und die Seite des Kerns an dem äußeren Teil der Biegung in Bezug auf die Oberfläche des Substrats geneigt ist, so dass die Querschnittsform des Kerns (9) in dem gebogenen Abschnitt (9b) der ersten Abzweigung und in dem gebogenen Abschnitt (9c) der zweiten Abzweigung in der Nähe der Y-Abzweigung eine umgekehrte Trapezform aufweisen.

4. Lichtwellenleiter (8) nach Anspruch 3, wobei die Querschnittsform des Nicht-Abzweigungskernabschnitts (9a) in einer rechteckigen Form ausgebildet ist und die Querschnittsform sich entlang der Längsrichtung des Kerns (9) von der rechteckigen Form allmählich zu der umgekehrten Trapezform ändert.

5. Lichtwellenleiter (8) nach Anspruch 3, wobei ein Heizmodul (16a, 16b) zum Erhitzen des Kerns an einem stromaufwärtigen Teil einer Abzweigung (9b, 9c) angeordnet ist, um den Nicht-Abzweigungskern (9a) zu verengen.

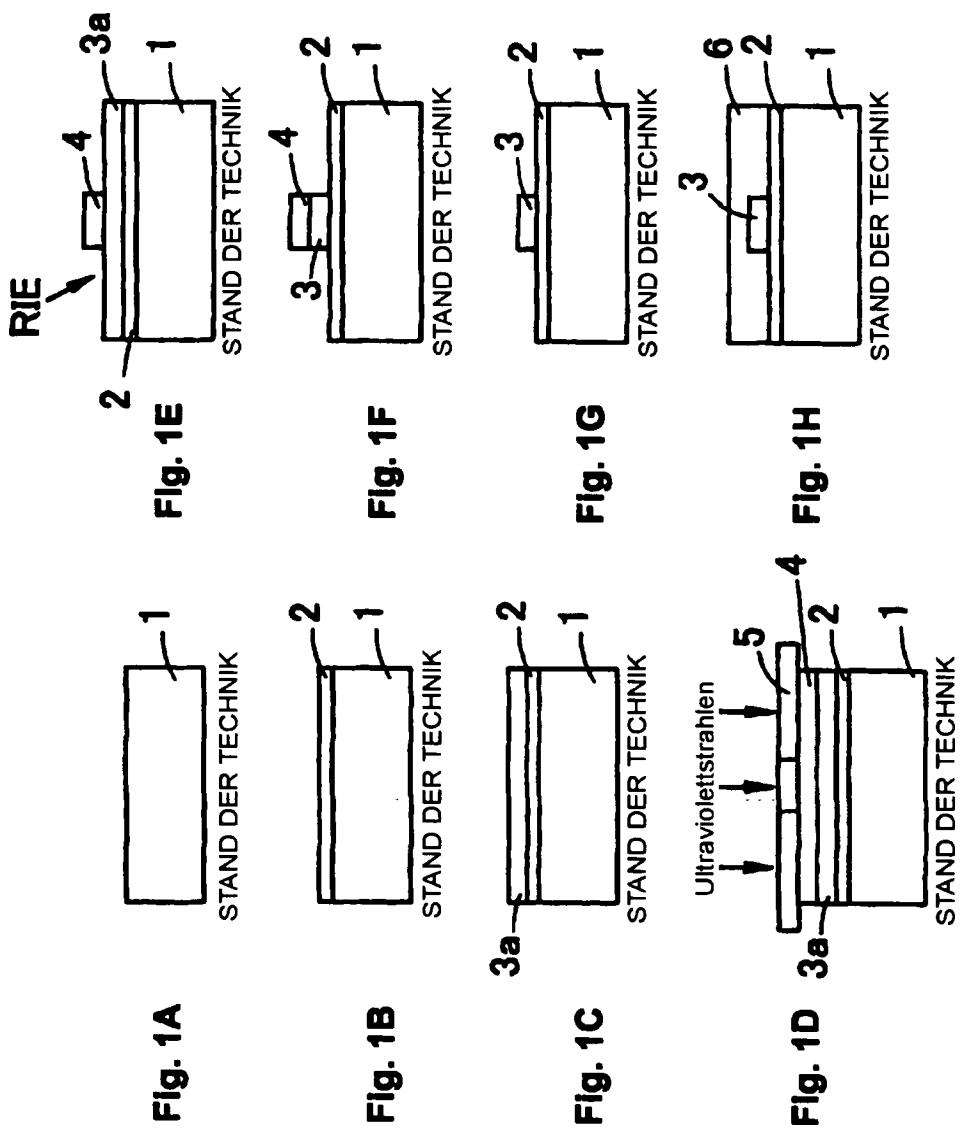
6. Lichtwellenleiter (8) nach Anspruch 3, wobei die Abzweigungsabschnitte (9b, 9c) zu einer S-Form gebogen sind, die gebogenen Abschnitte der ersten und der zweiten Abzweigung in der Nähe der Y-Abzweigung erste gebogene Abschnitte und die gebogenen Abschnitte der ersten und der zweiten Abzweigung, die von der Y-Abzweigung abgesondert sind, zweite Abzweigungsabschnitte sind, wobei die zweiten Abzweigungsabschnitte jeweils entgegengesetzt zu den ersten gebogenen Abschnitten gebogen sind und Querschnittsformen aufweisen, die zu einer Trapezform gestaltet wurden, indem die Seitenfläche der äußeren Umfangsseite geneigt wurde.

7. Lichtwellenleiter (8) nach Anspruch 3, wobei die gebogenen Abschnitte der ersten Abzweigung und die gebogenen Abschnitte der zweiten Abzweigung sich jeweils zu einer Endfläche (15a, 15b) der Mantelschicht (11) erstrecken und die Querschnittsform des Kerns (9) des ersten gebogenen Abschnitts und des zweiten gebogenen Abschnitts an der Endfläche der Mantelschicht zu einer rechteckigen Form ausgebildet sind.

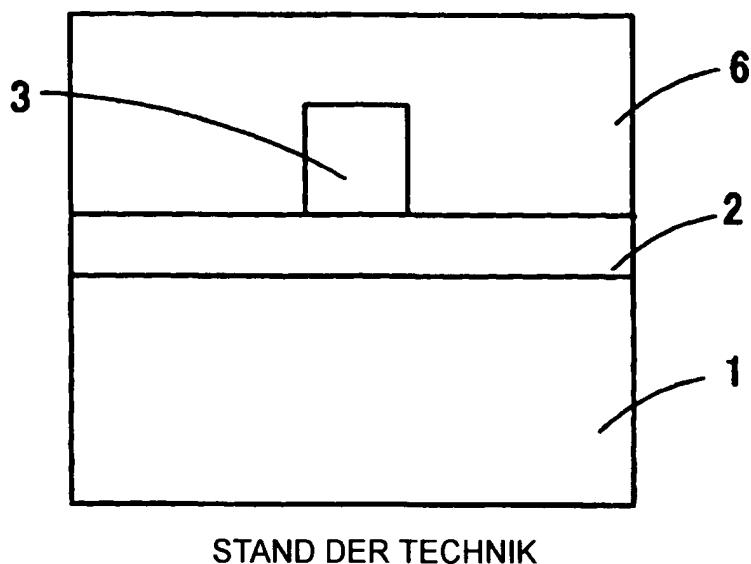
8. Wellenleiter nach Anspruch 3, wobei ein erstes Heizelement (16a, 16b) an dem stromaufwärtigen Teil des ersten Abzweigungskerns (9b) angeordnet ist und ein zweites Heizelement (16b) an dem stromaufwärtigen Teil des zweiten Abzweigungskerns (9c) angeordnet ist, um den Nicht-Abzweigungskern (9a) zu verengen.

Es folgen 35 Blatt Zeichnungen

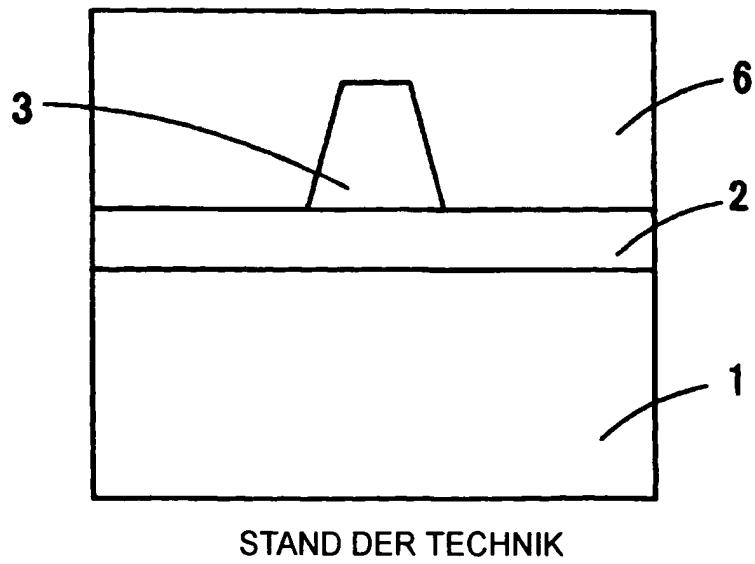
Anhängende Zeichnungen



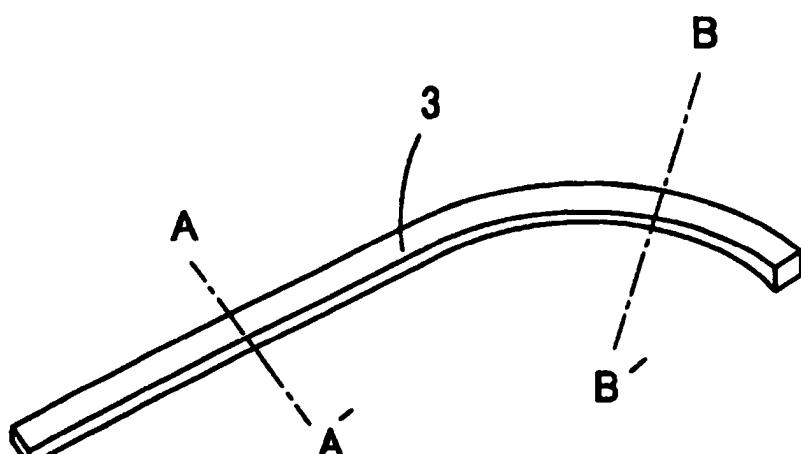
**Fig. 2A**



**Fig. 2B**

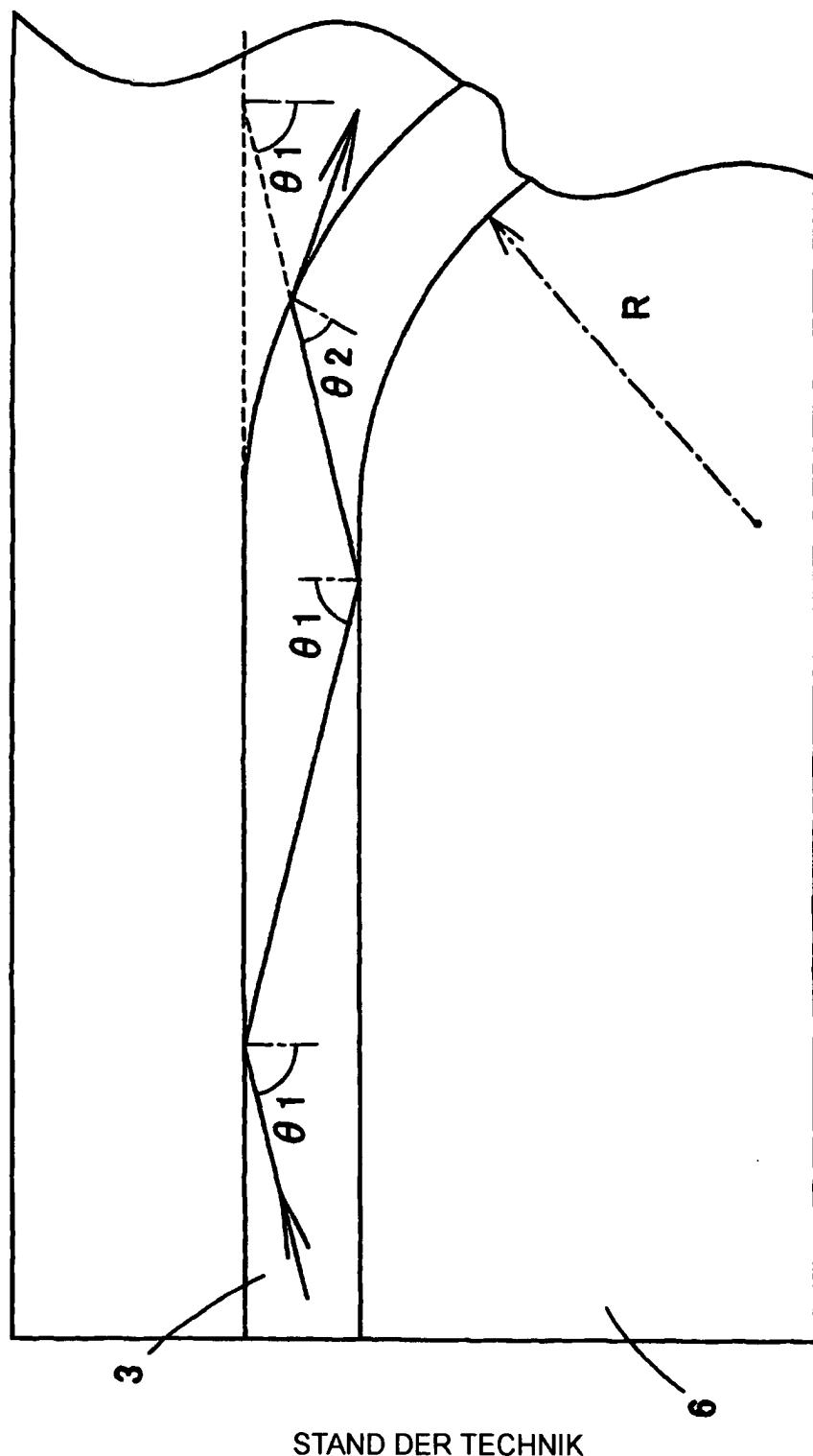


**Fig. 3**



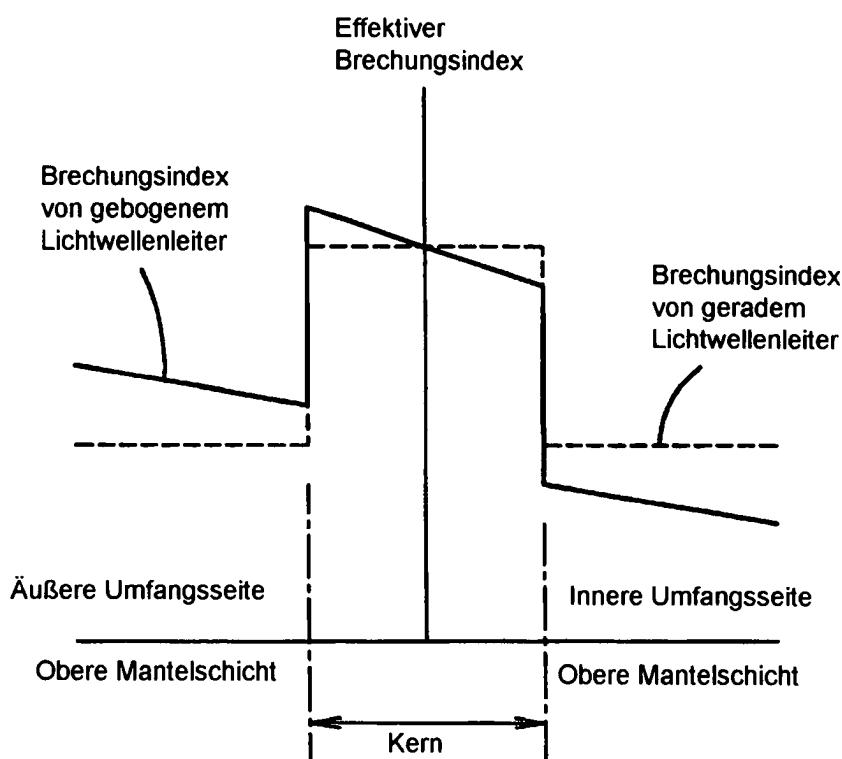
STAND DER TECHNIK

**Fig. 4**



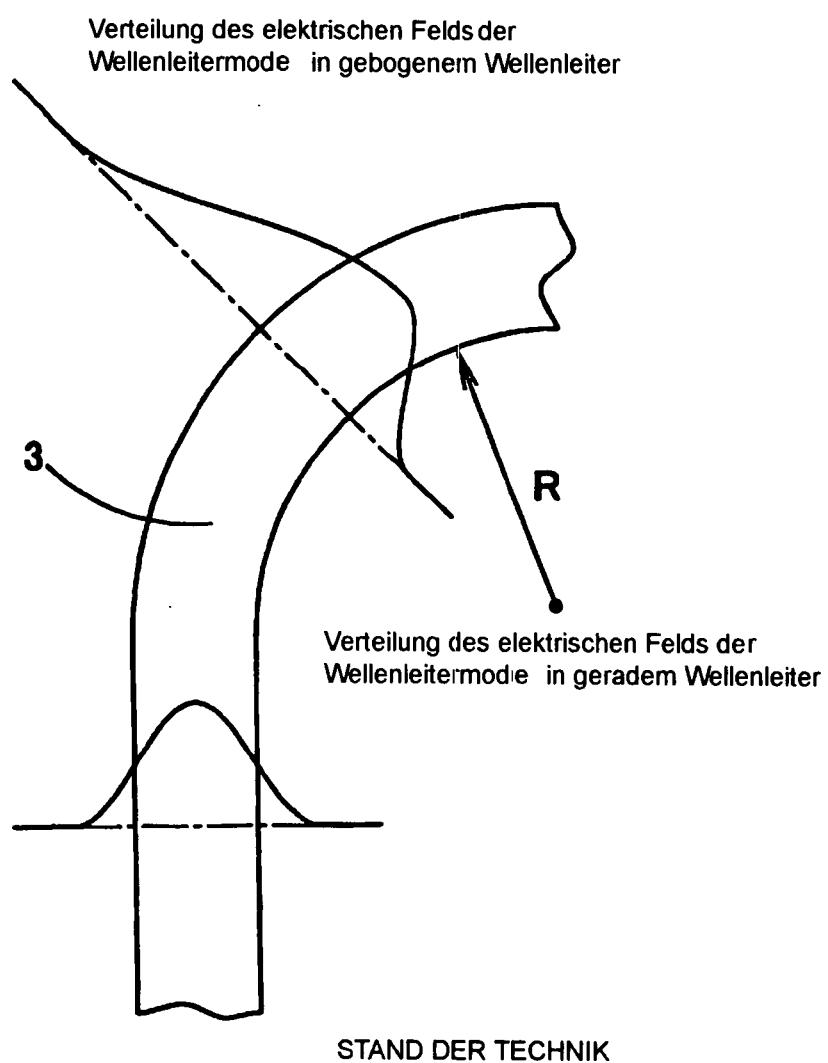
STAND DER TECHNIK

**Fig. 5**

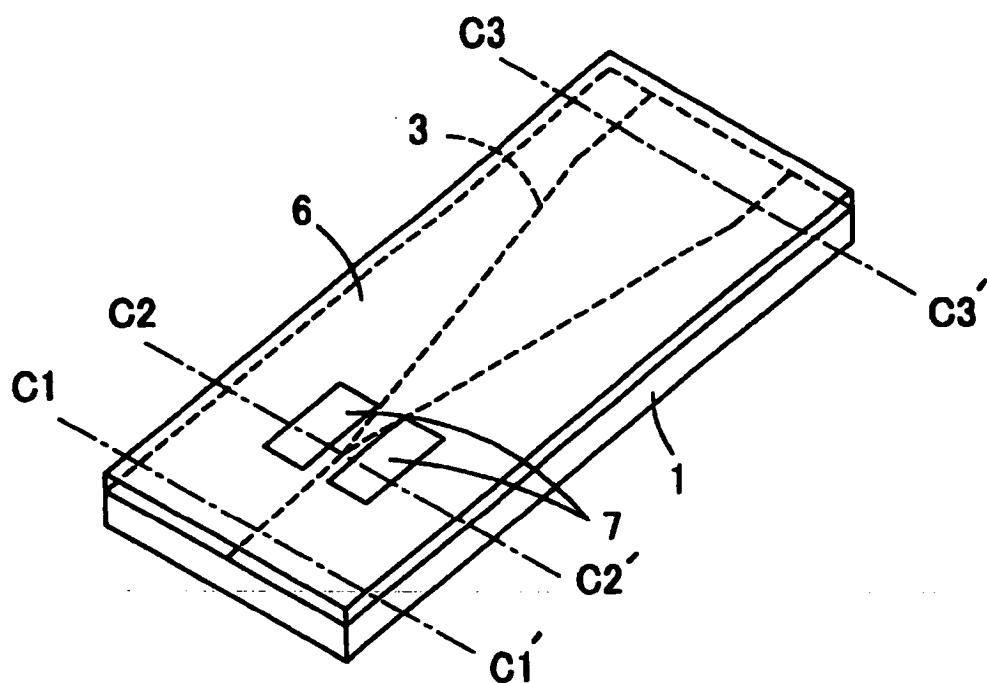


STAND DER TECHNIK

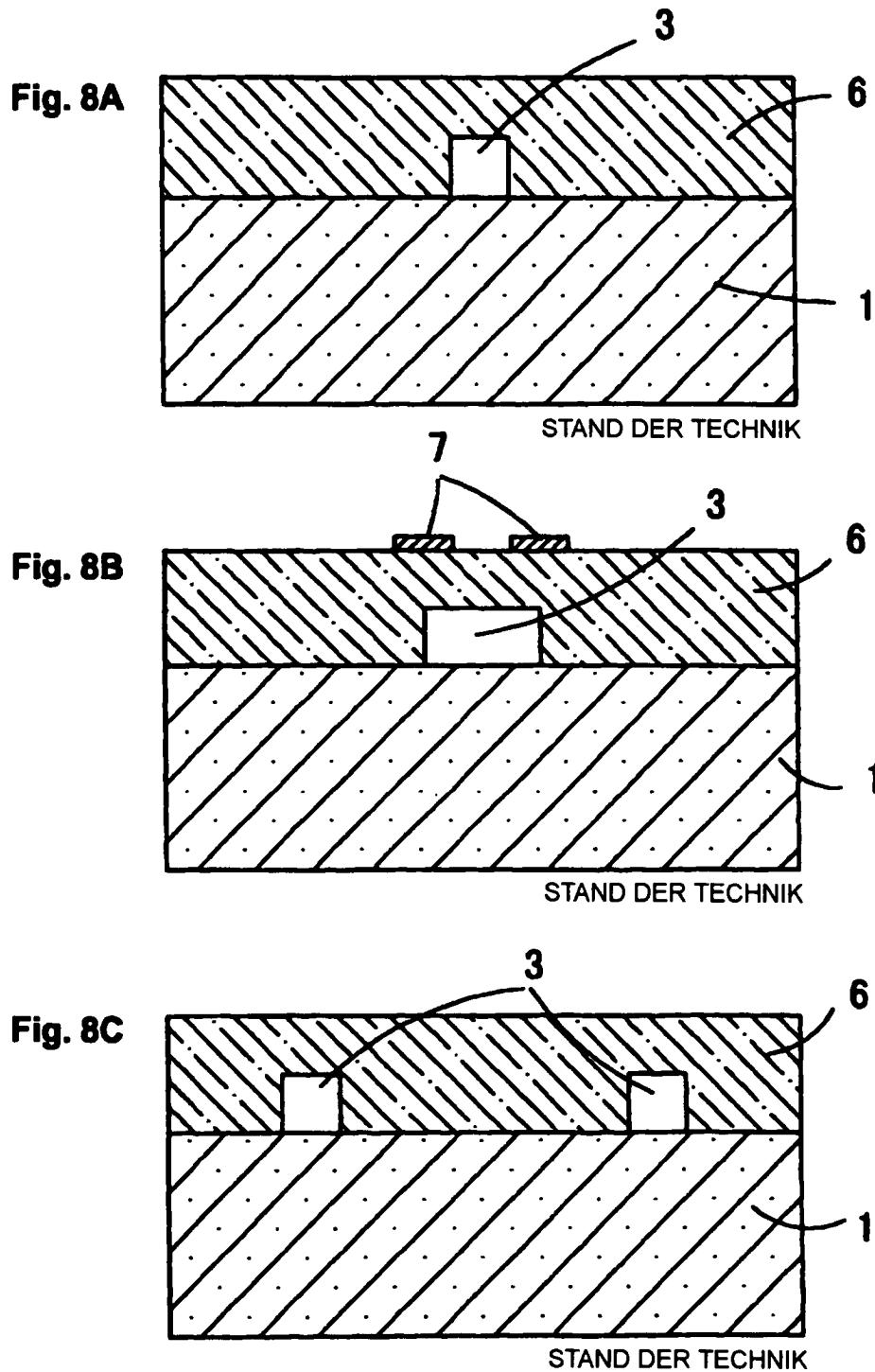
**Fig. 6**



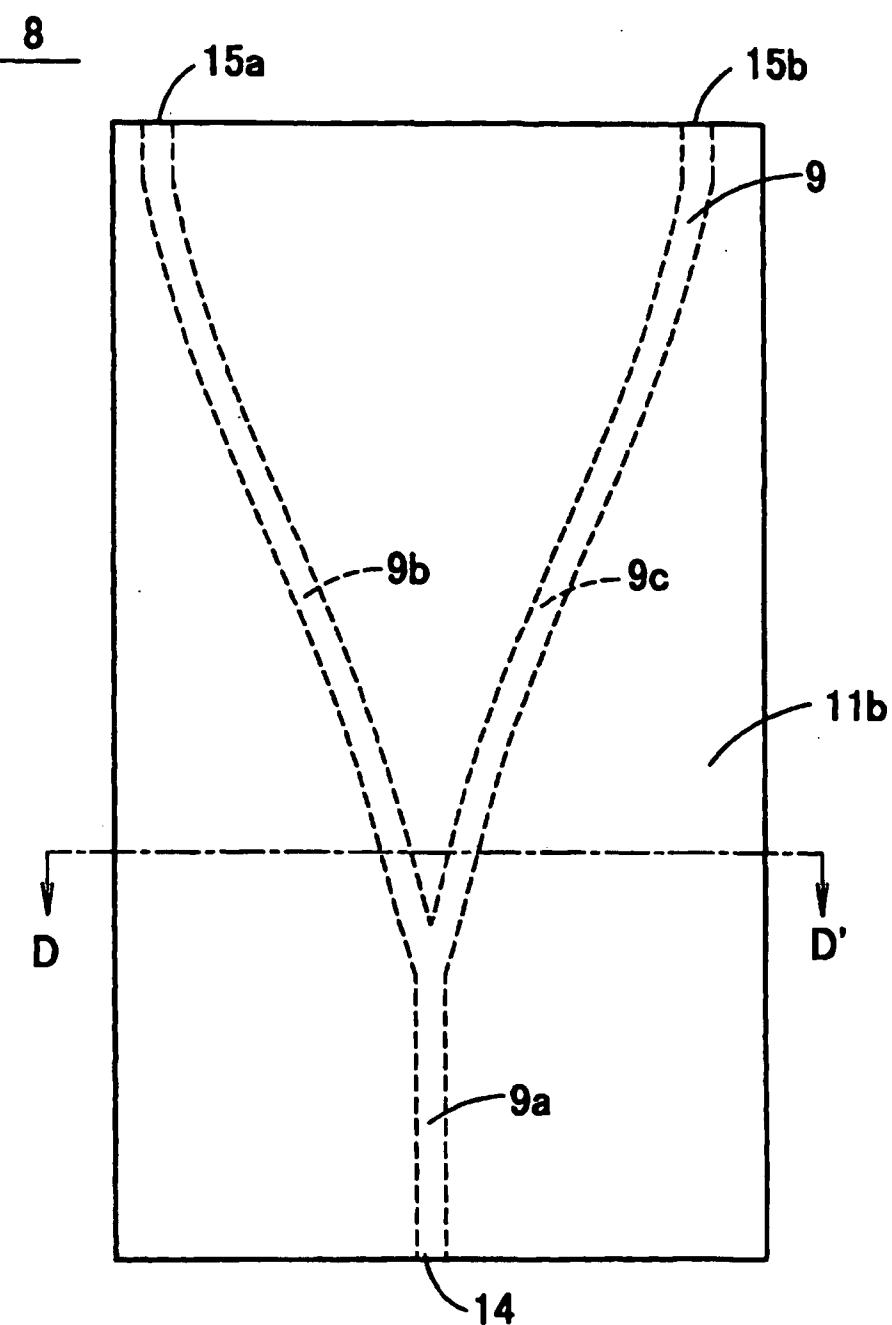
**Fig. 7**



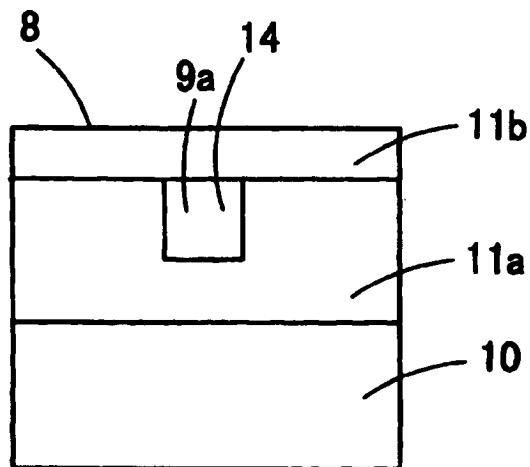
STAND DER TECHNIK



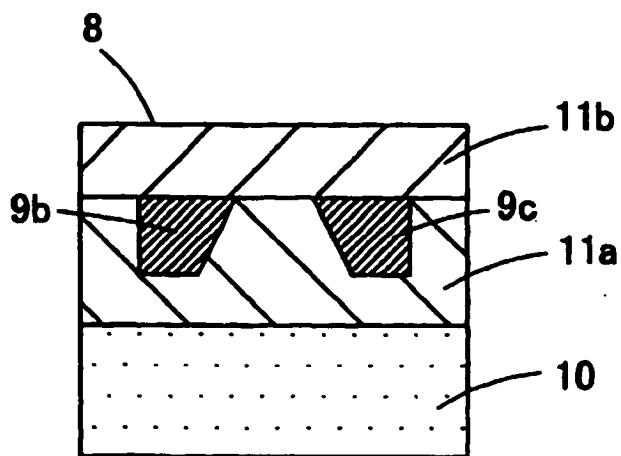
**Fig. 9**



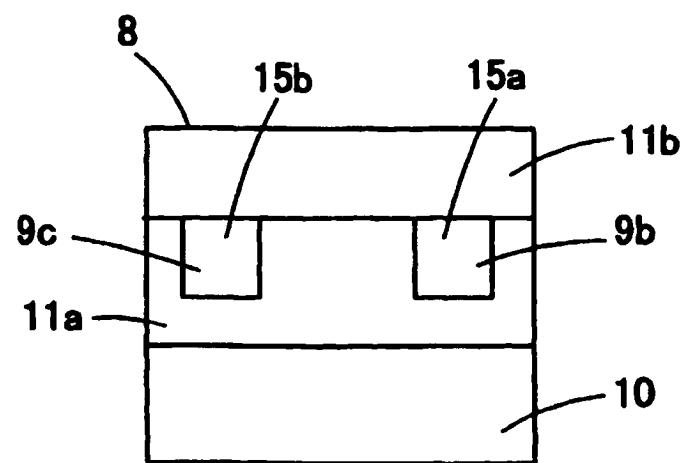
**Fig. 10A**



**Fig. 10B**

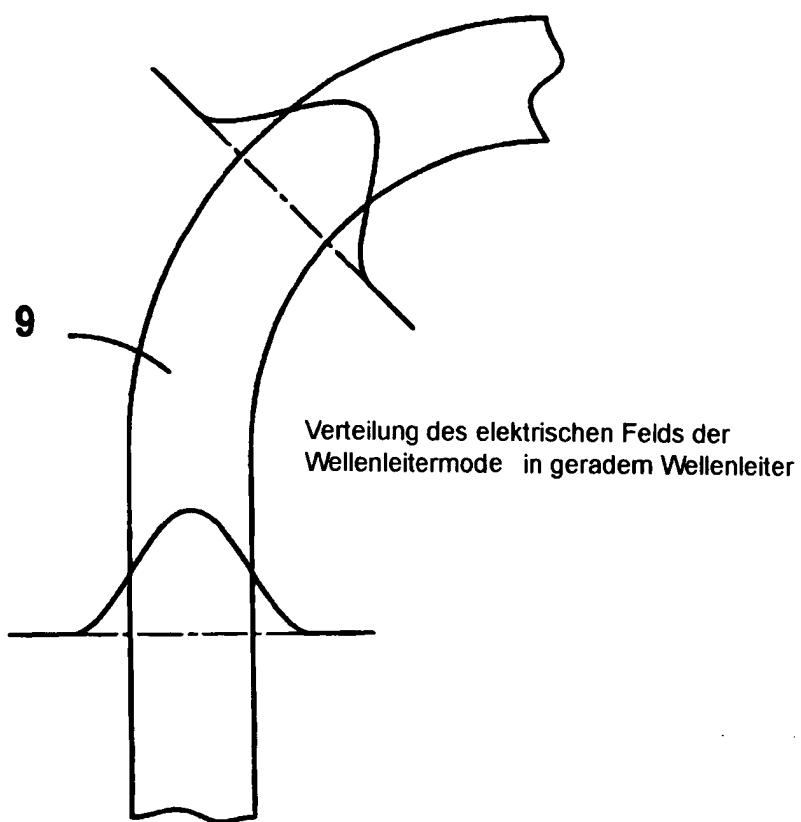


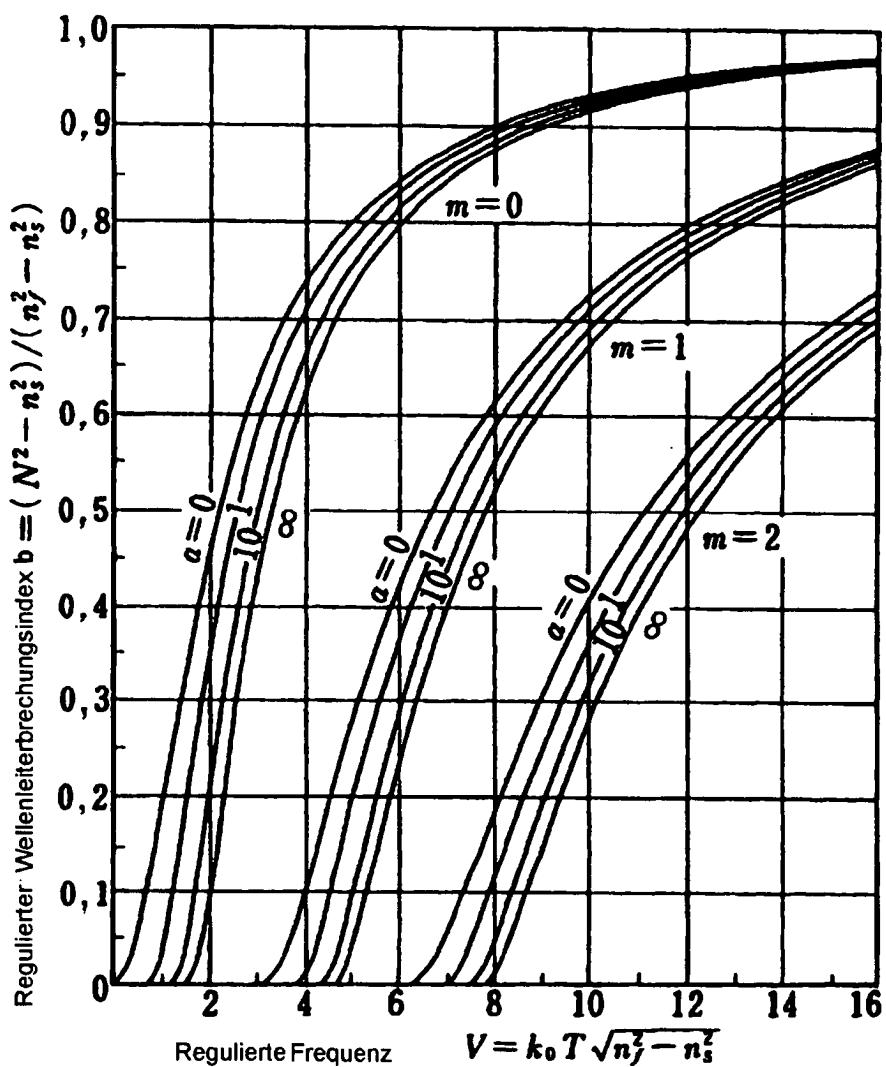
**Fig. 10C**



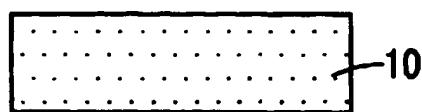
**Fig. 11**

Verteilung des elektrischen Felds der  
Wellenleitermode in gebogenem Wellenleiter

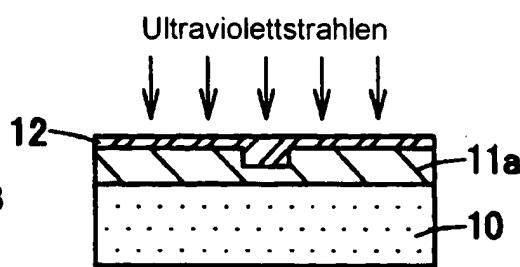


**Fig. 12**

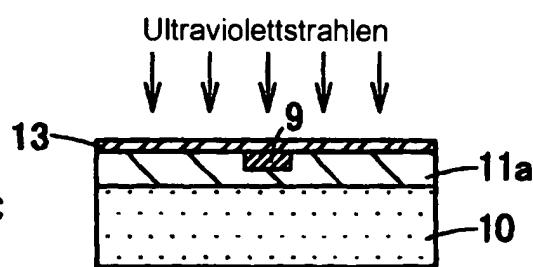
**Fig. 13A**



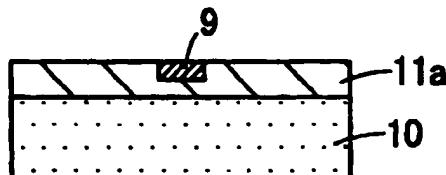
**Fig. 13B**



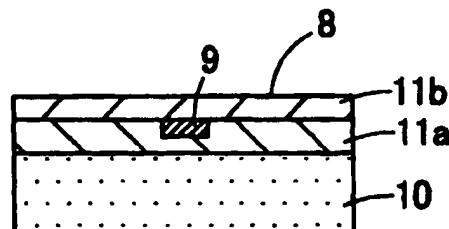
**Fig. 13C**



**Fig. 13D**

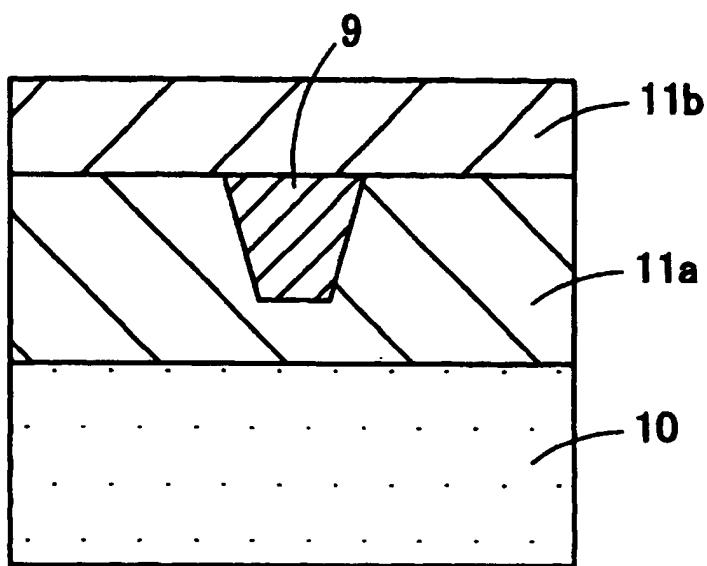


**Fig. 13E**

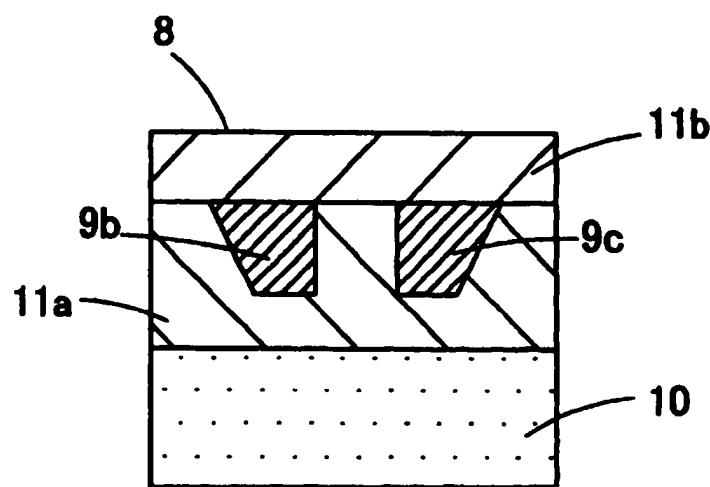


**Fig. 14**

8



**Fig. 15**



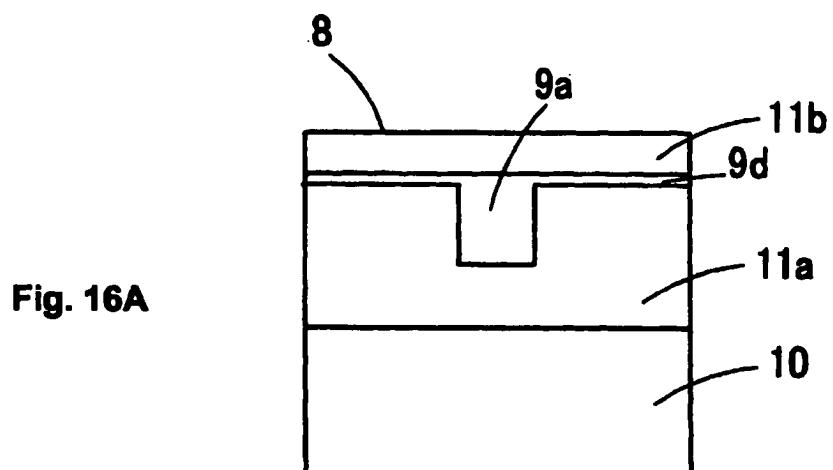


Fig. 16A

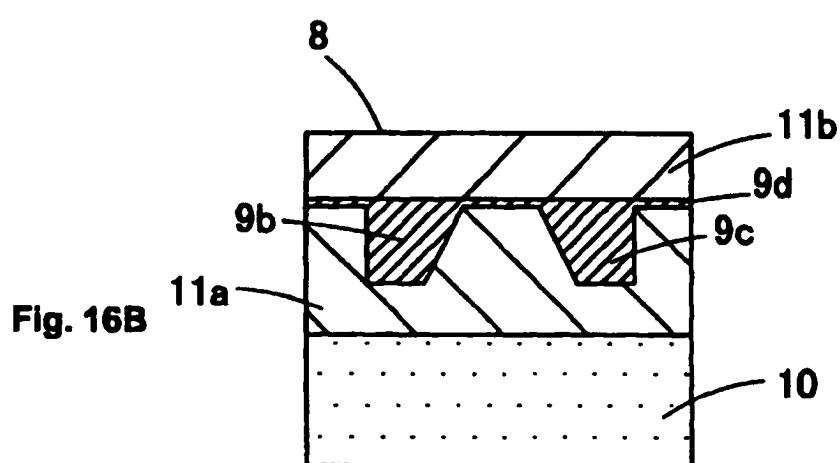


Fig. 16B

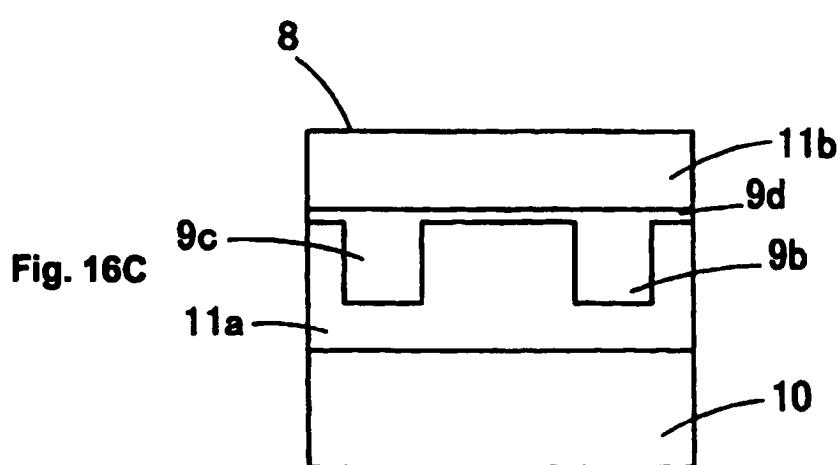
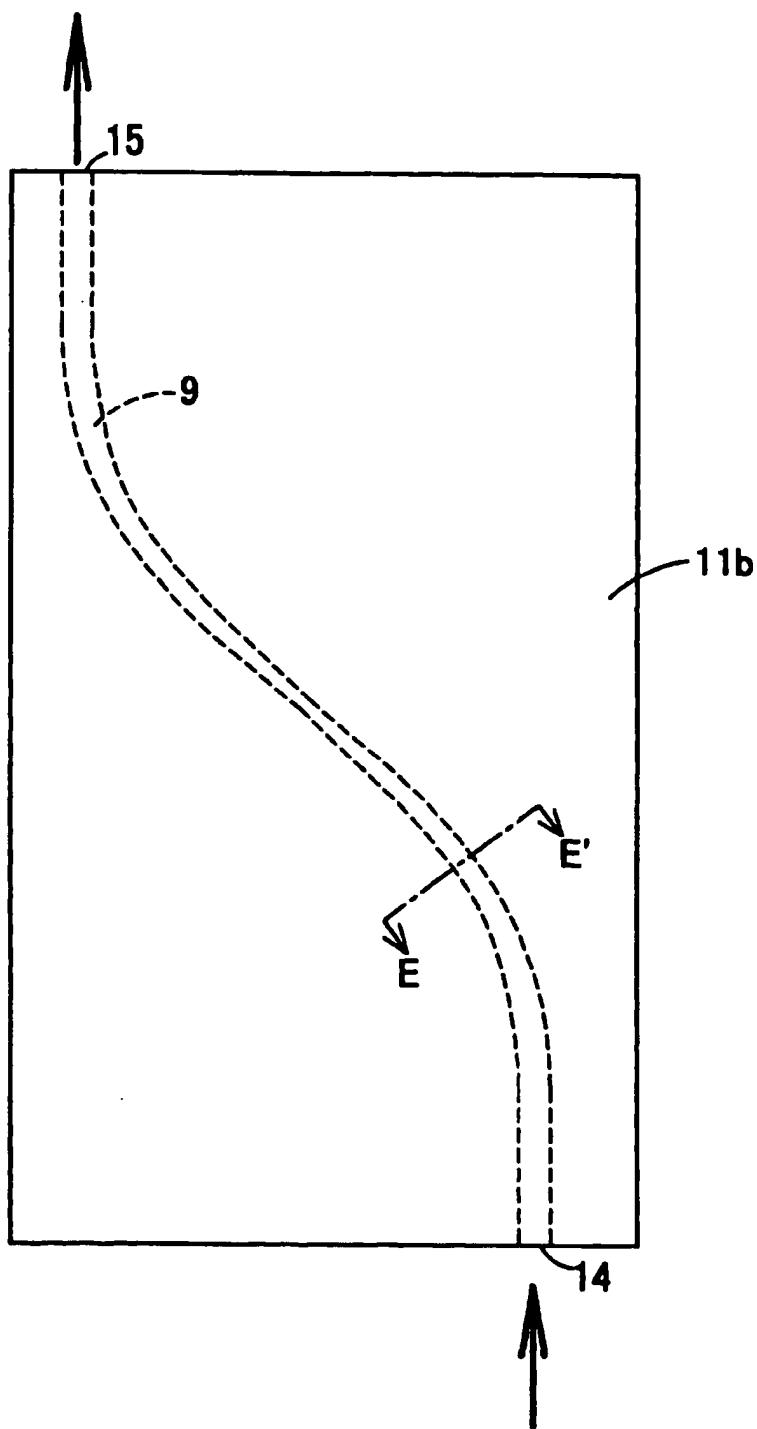
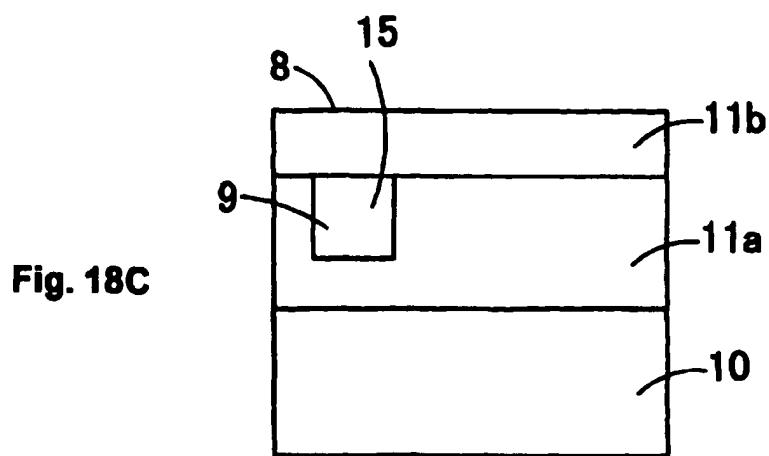
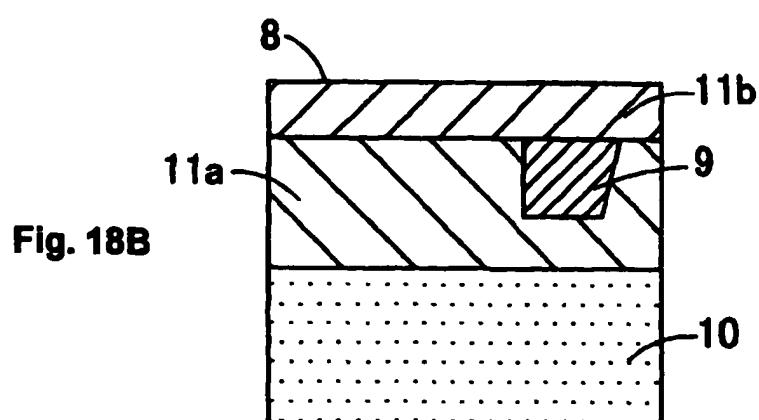
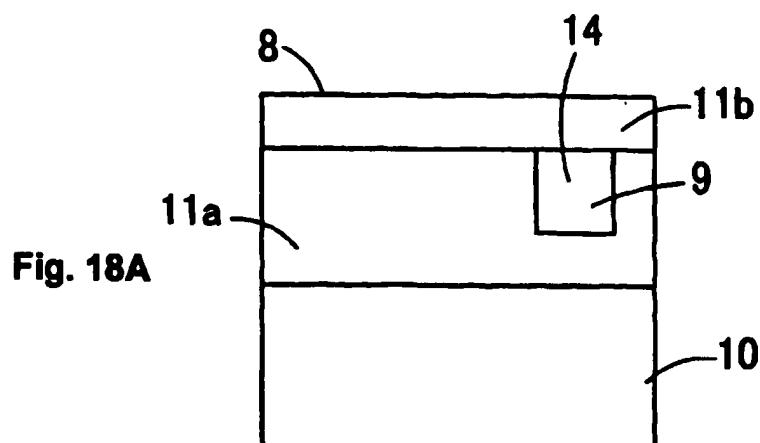


Fig. 16C

**Fig. 17**

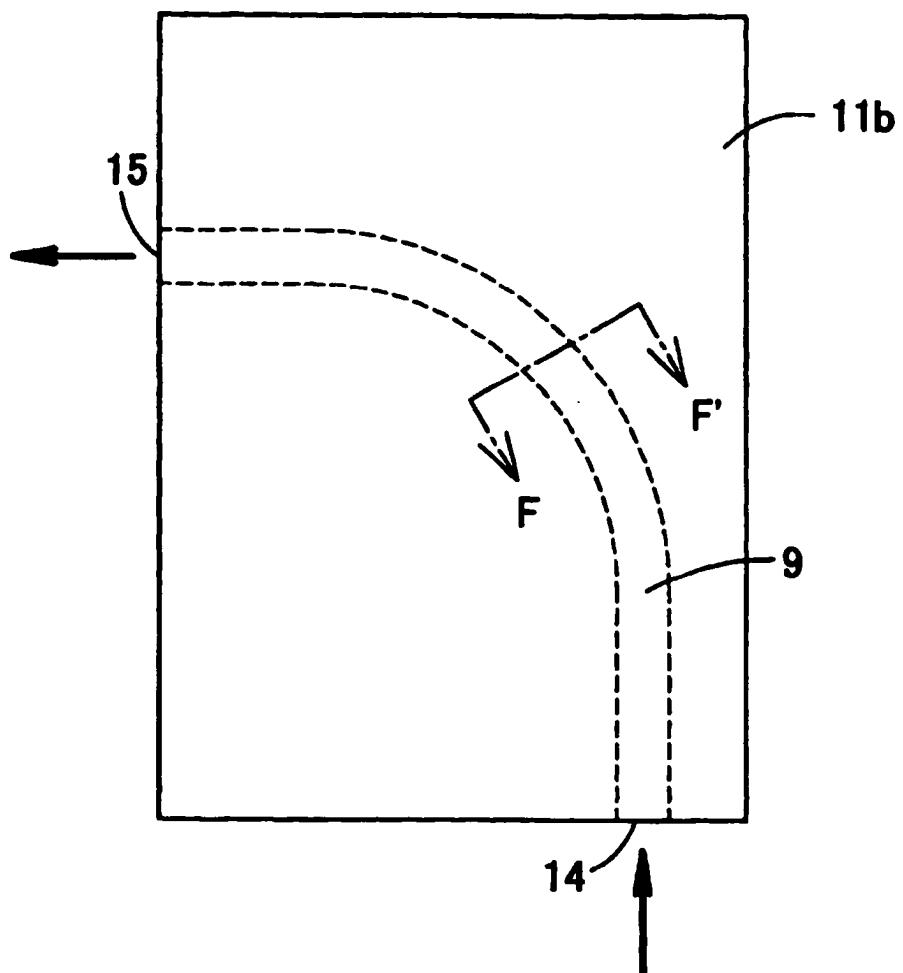
8





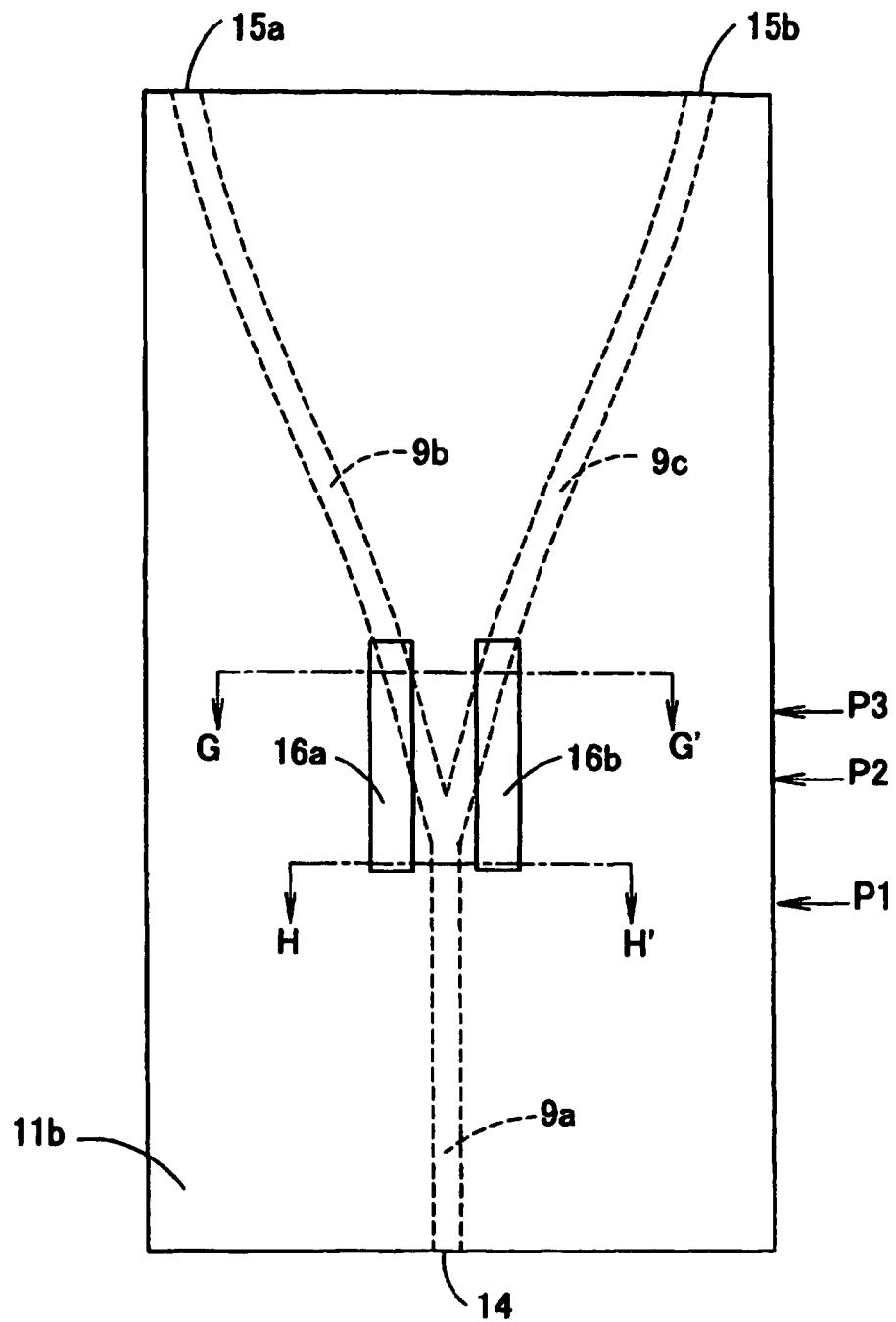
**Fig. 19**

8

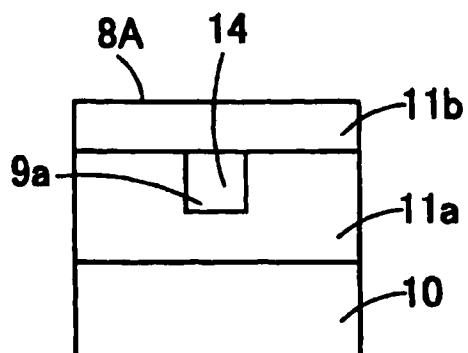


**Fig. 20**

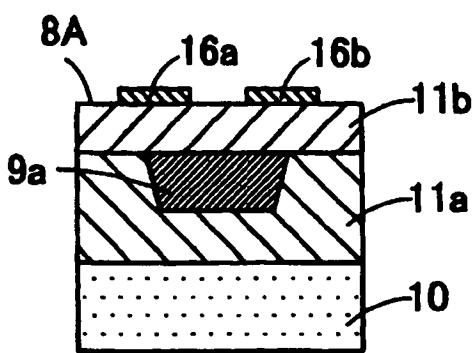
8A



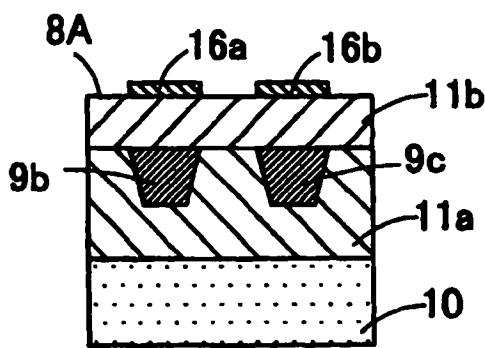
**Fig. 21A**



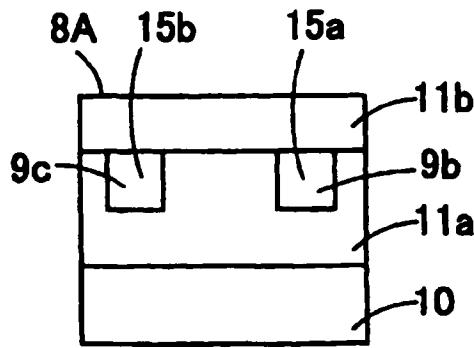
**Fig. 21B**



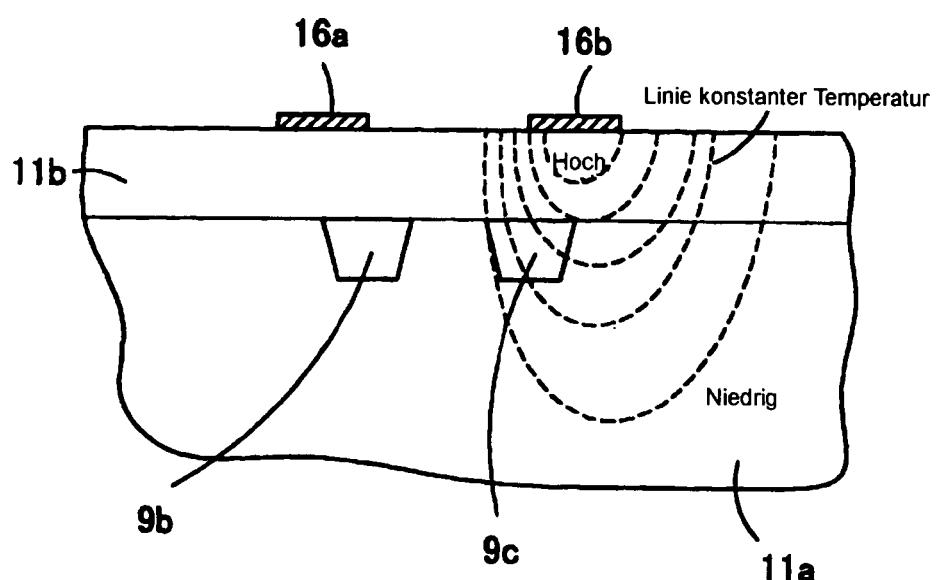
**Fig. 21C**



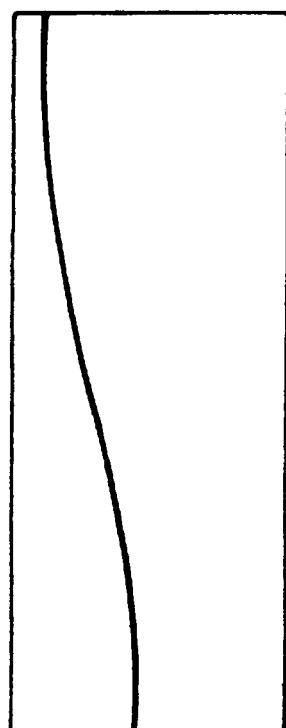
**Fig. 21D**



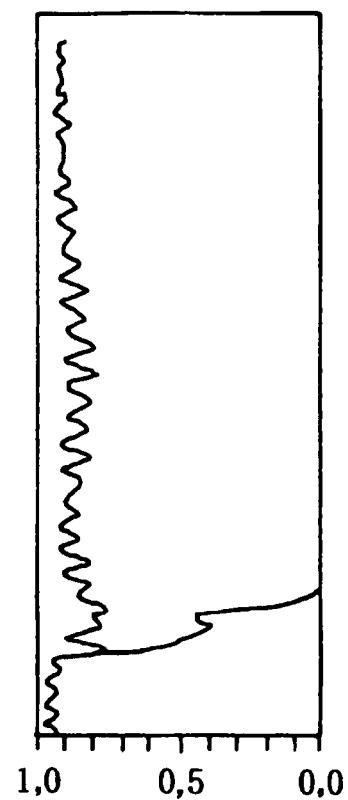
**Fig. 22**



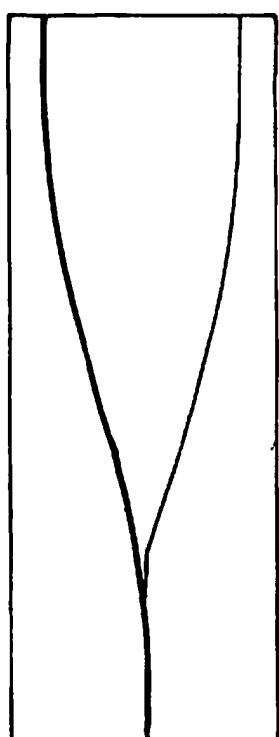
**Fig. 23A**



**Fig. 23B**

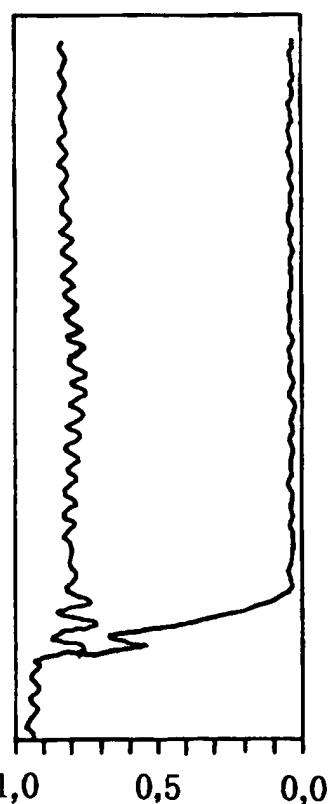


**Fig. 24A**



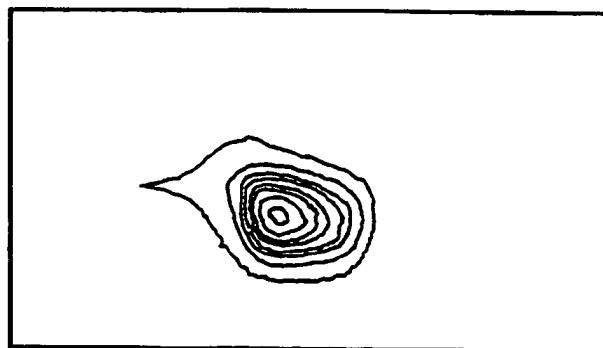
STAND DER TECHNIK

**Fig. 24B**

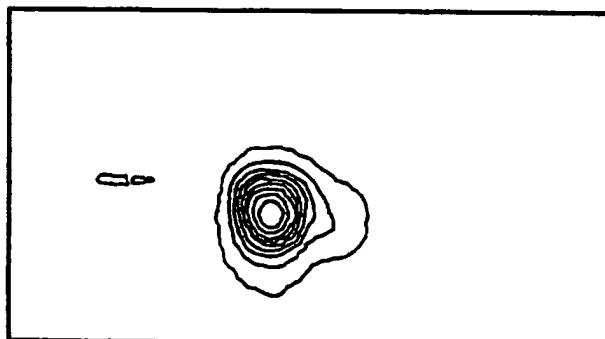


STAND DER TECHNIK

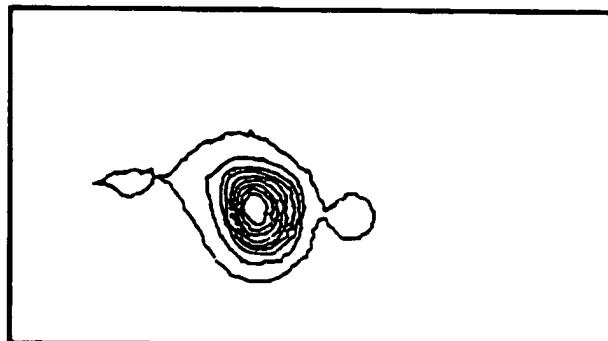
**Fig. 25A**



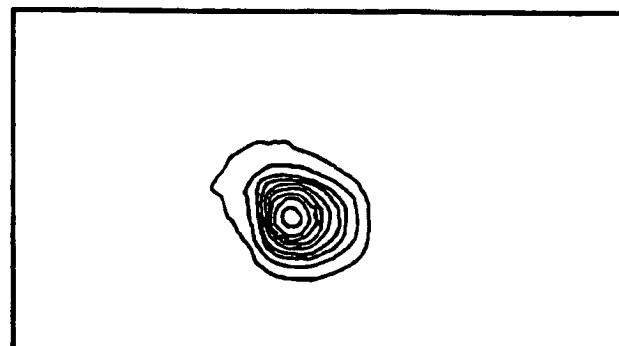
**Fig. 25B**



**Fig. 25C**

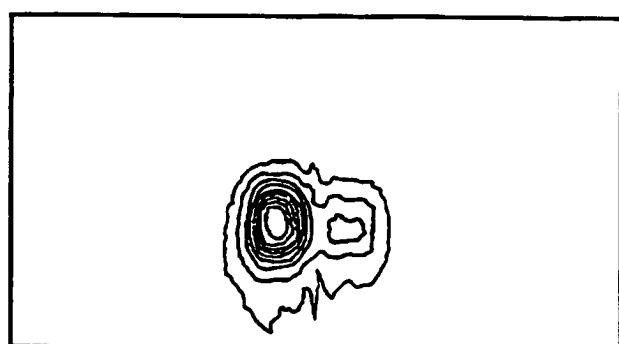


**Fig. 26A**



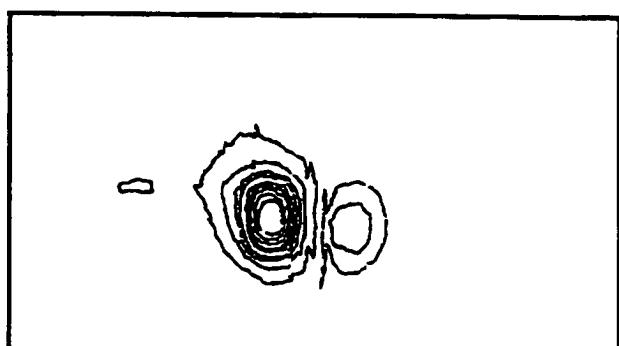
STAND DER TECHNIK

**Fig. 26B**



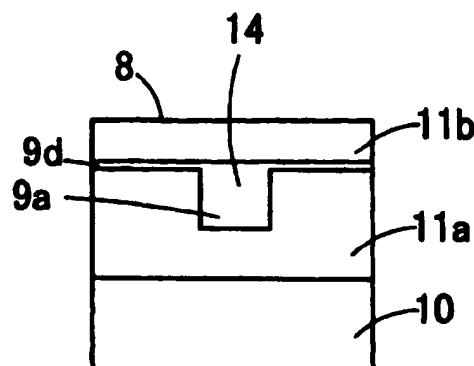
STAND DER TECHNIK

**Fig. 26C**

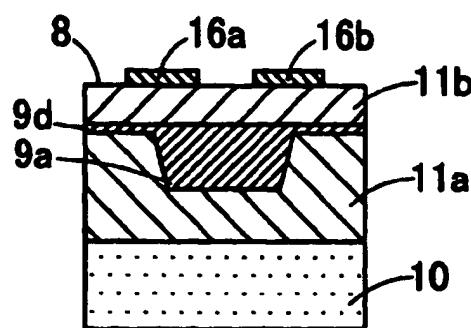


STAND DER TECHNIK

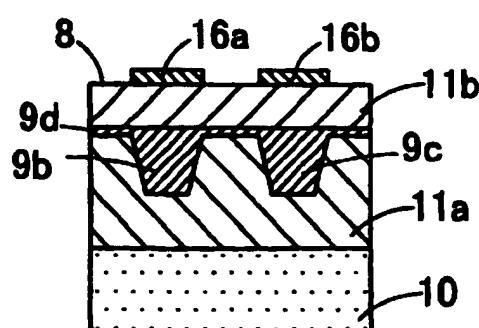
**Fig. 27A**



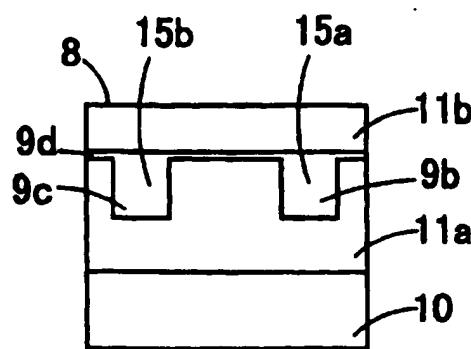
**Fig. 27B**



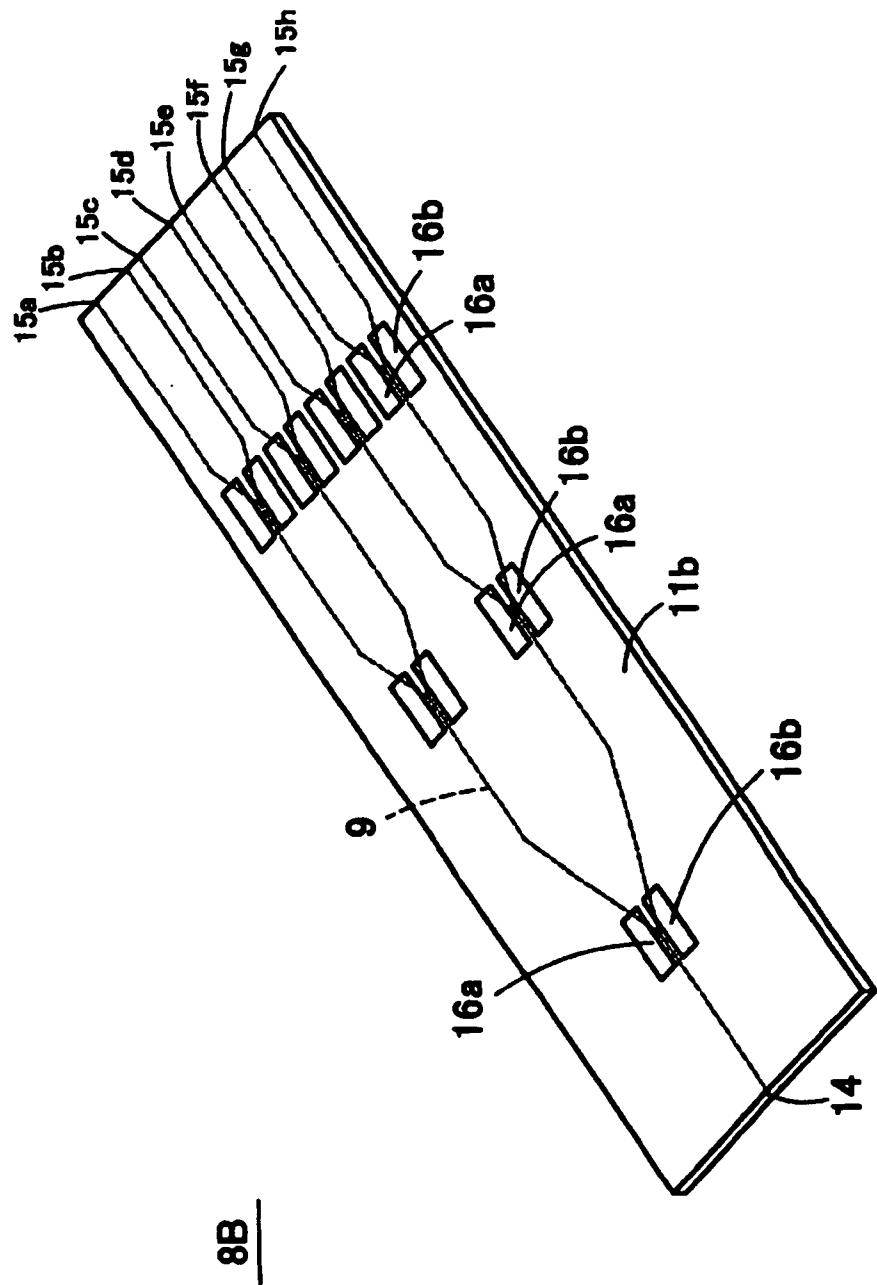
**Fig. 27C**



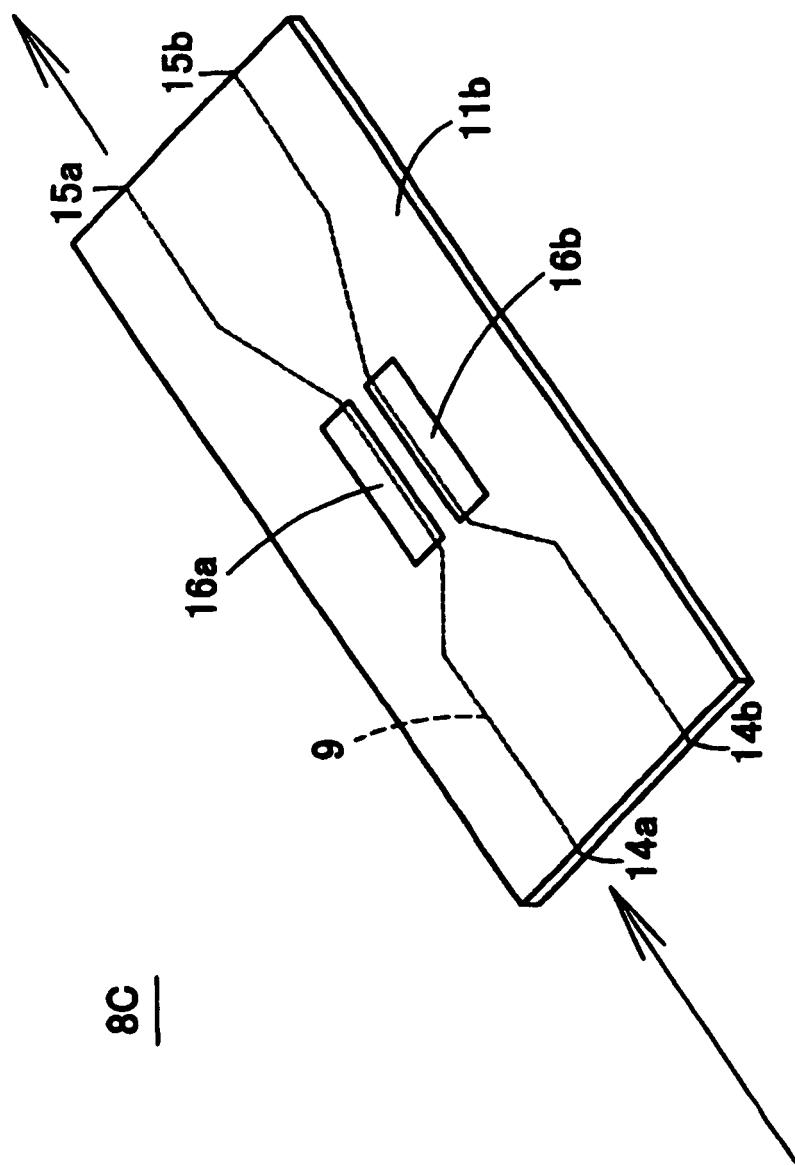
**Fig. 27D**



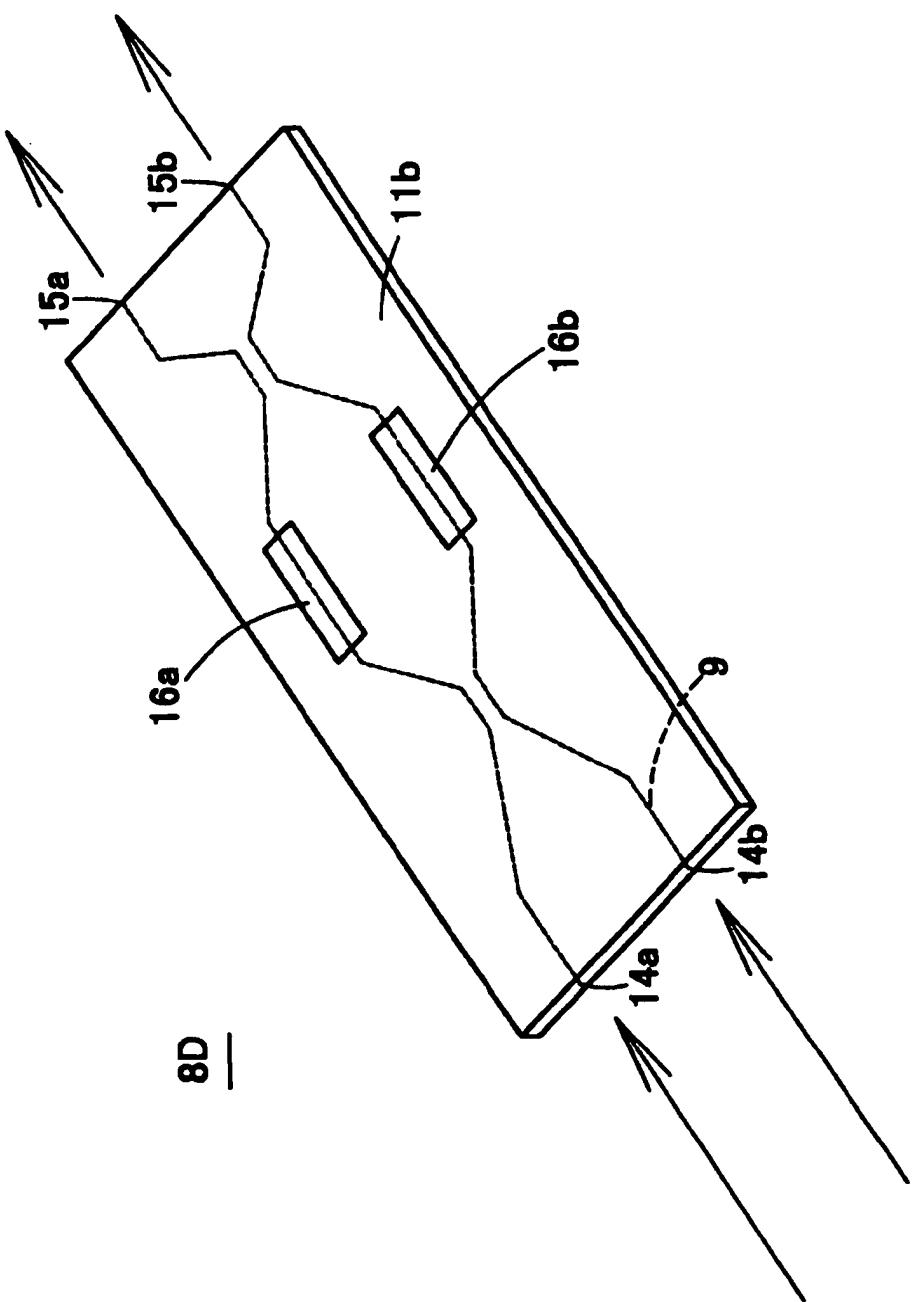
**Fig. 28**



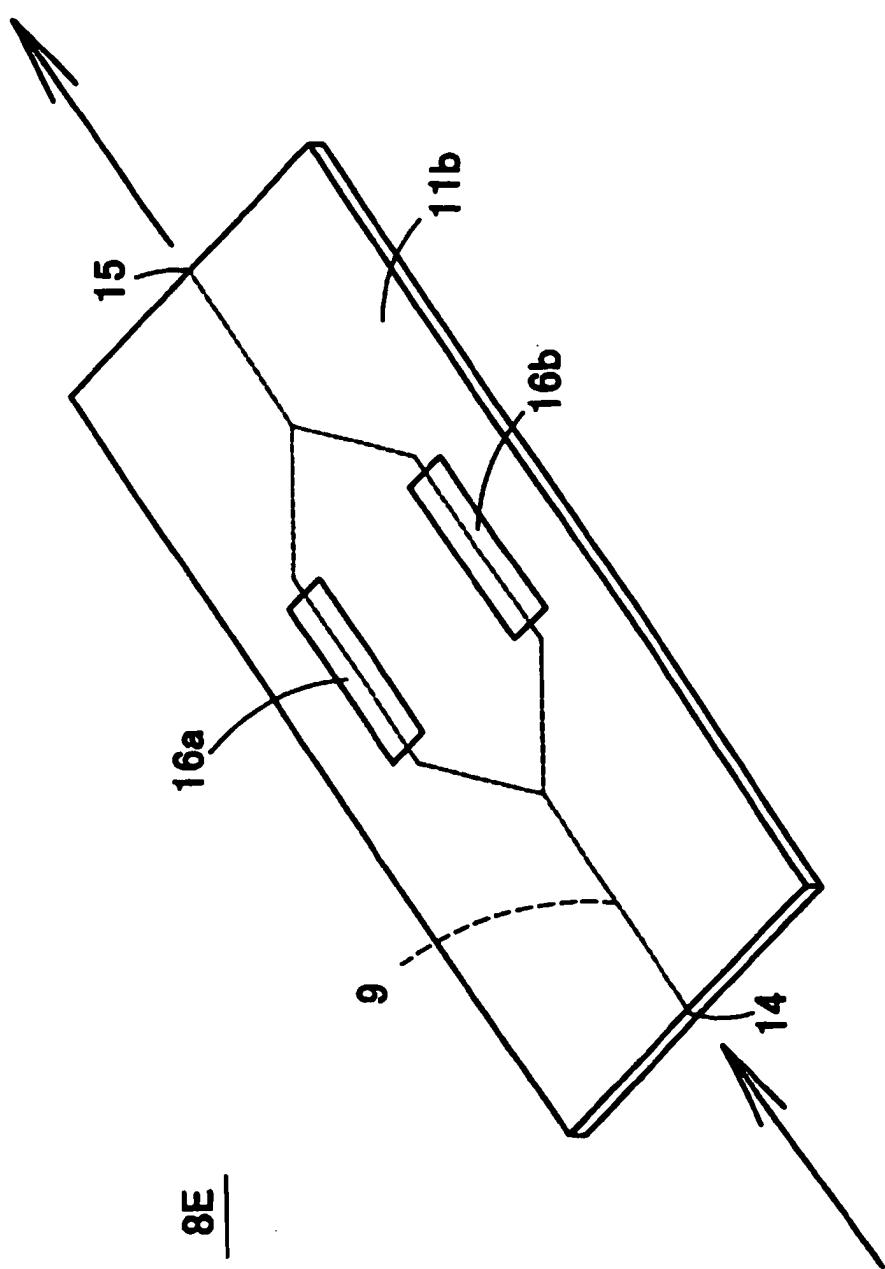
**Fig. 29**



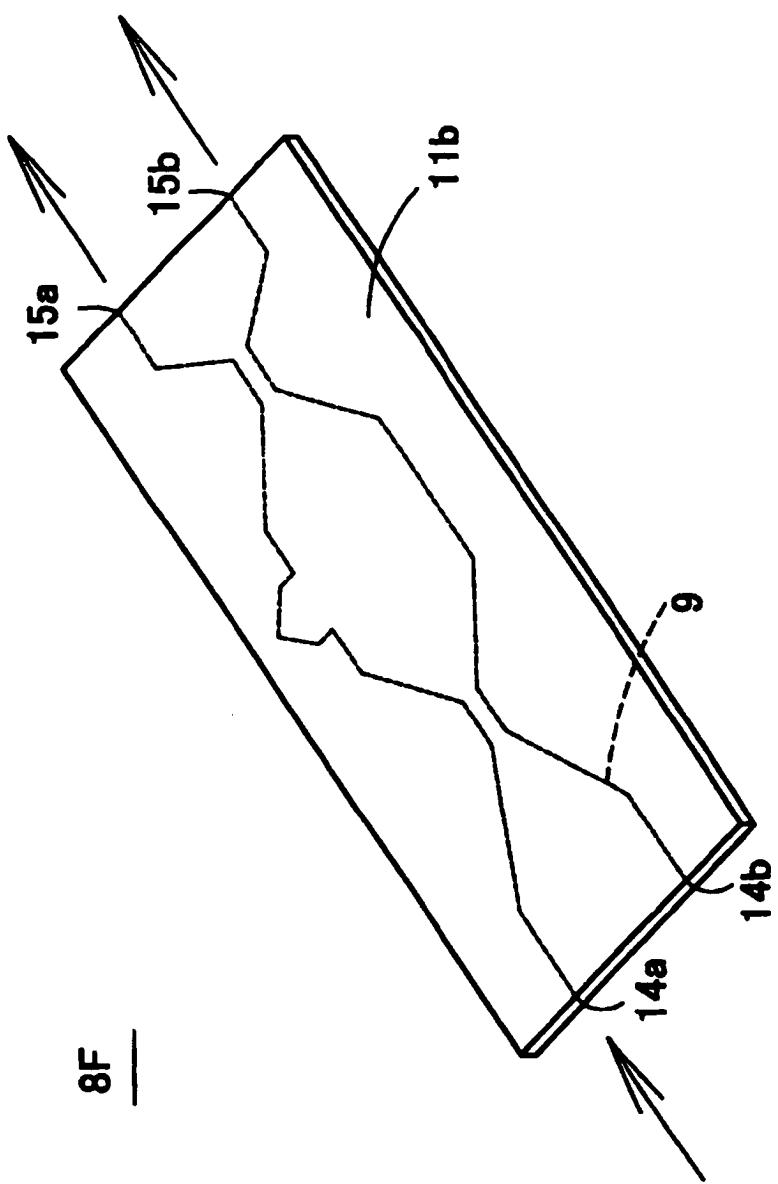
**Fig. 30**



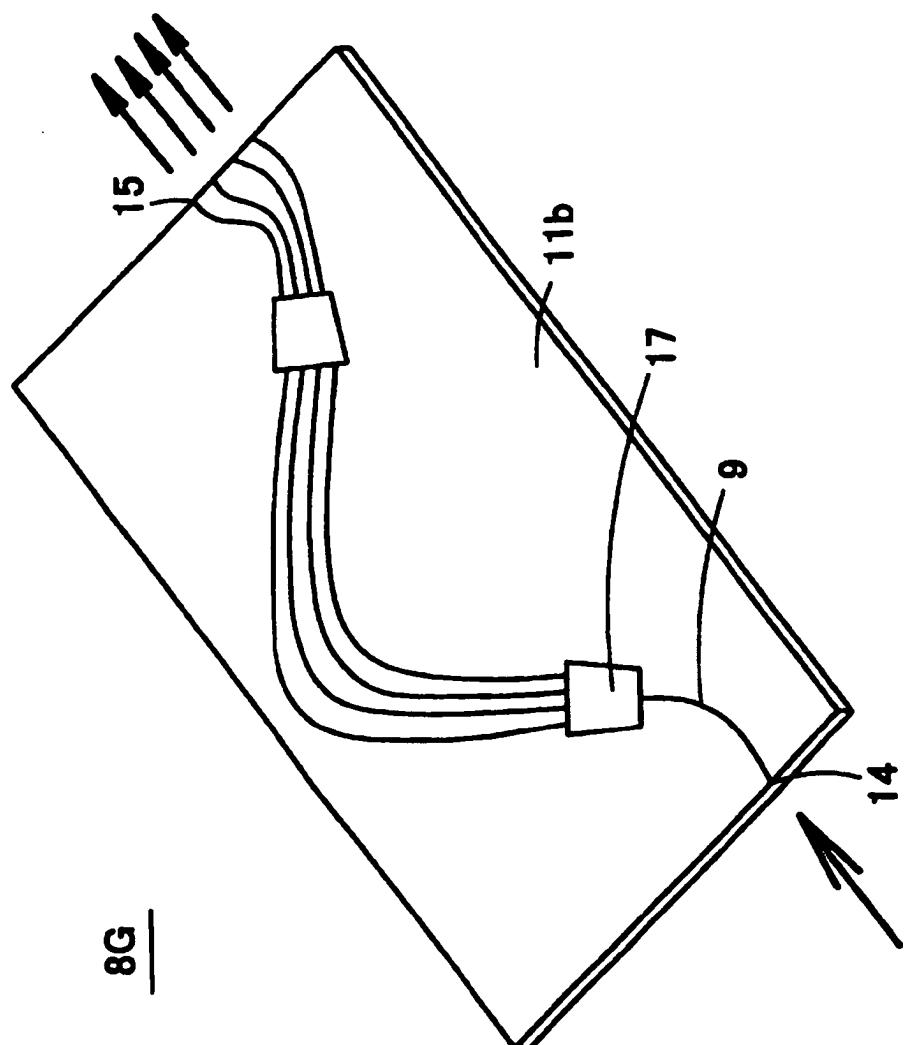
**Fig. 31**



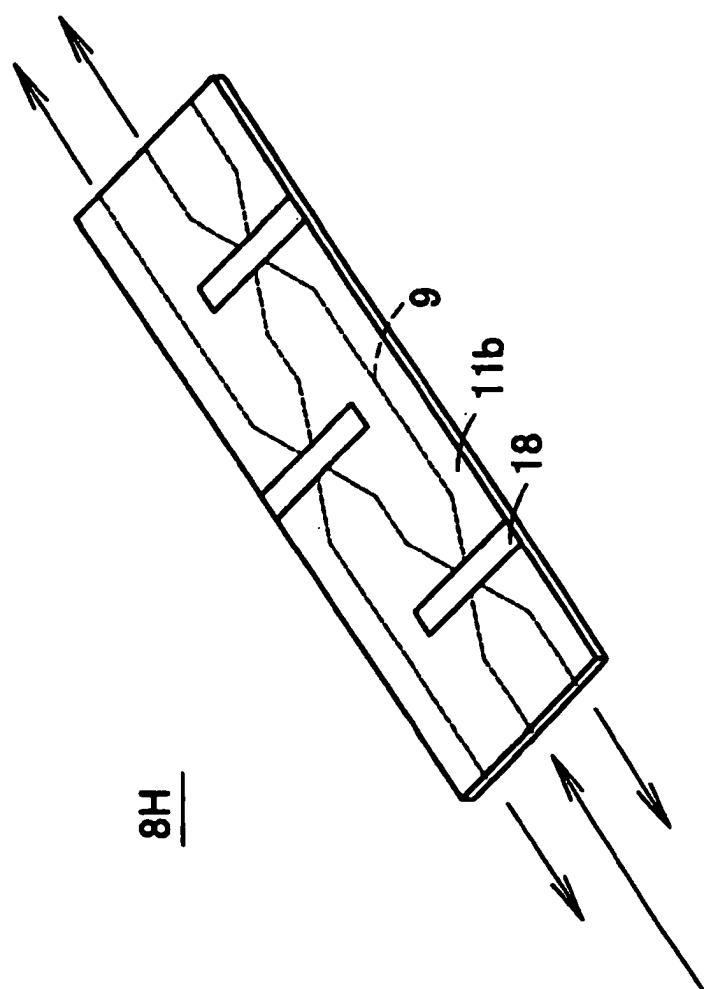
**Fig. 32**



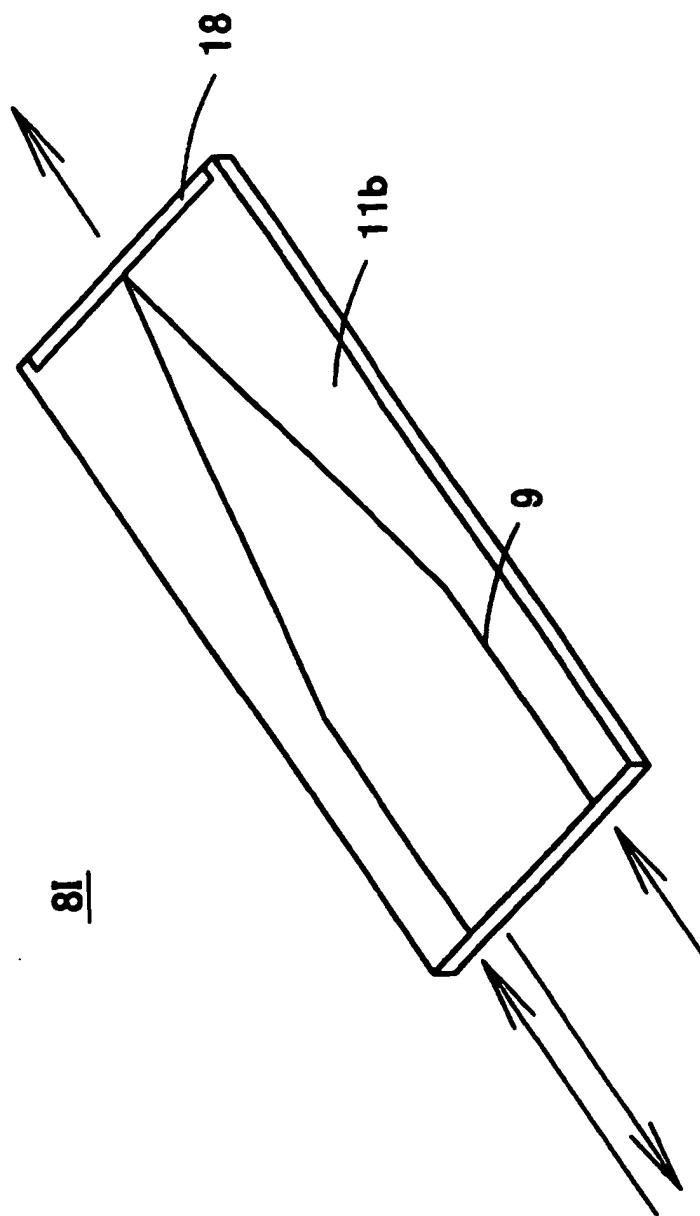
**Fig. 33**



**Fig. 34**



**Fig. 35**



**Fig. 36**

