



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) DE 602 03 383 T2 2006.04.20

(12)

Übersetzung der europäischen Patentschrift

(97) EP 1 385 036 B1

(21) Deutsches Aktenzeichen: 602 03 383.7

(96) Europäisches Aktenzeichen: 03 023 270.6

(96) Europäischer Anmeldetag: 29.01.2002

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: 28.01.2004

(97) Veröffentlichungstag

der Patenterteilung beim EPA: 23.03.2005

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: 20.04.2006

(51) Int Cl.⁸: G02B 26/02 (2006.01)
G02F 1/00 (2006.01)

(30) Unionspriorität:

871486 31.05.2001 US

(84) Benannte Vertragsstaaten:
DE, FR, GB

(73) Patentinhaber:

Agilent Technologies, Inc., Palo Alto, Calif., US

(72) Erfinder:

Hu, Gongjian, San Jose, US; Robrish, Peter, San Francisco, US

(74) Vertreter:

BOEHMERT & BOEHMERT, 80336 München

(54) Bezeichnung: Auf Totalreflexion beruhender optischer Schalter mit bewegtem Tropfen

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 eingelebt, 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**Gebiet der Erfindung**

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft optische Schalter und insbesondere ein verbessertes Kreuzungspunkt-Schaltelelement.

Hintergrund der Erfindung

[0002] Optische Fasern stellen erheblich höhere Datenraten zur Verfügung als elektronische Wege. Die effektive Nutzung der größeren Bandbreite, die den optischen Signalwegen eigen ist, erfordert jedoch optische Kreuzverbindungsschalter. In einer typischen Telekommunikationsumgebung wird zum Schalten von Signalen zwischen optischen Fasern ein elektrischer Kreuzverbindungsschalter verwendet. Die optischen Signale werden zuerst in elektrische Signale umgewandelt. Nachdem die elektrischen Signale geschaltet wurden, werden die Signale wieder zurück in optische Signale umgewandelt, die über optische Fasern übertragen werden. Um einen hohen Durchsatz zu erreichen, verwenden die elektrischen Kreuzverbindungsschalter stark parallele und sehr kostenintensive Schaltungsanordnungen. Aber selbst mit solchen parallelen Architekturen bilden die Kreuzverbindungsschalter noch einen Engpaß.

[0003] Mehrere optische Kreuzverbindungsschalter wurden vorgeschlagen. Jedoch erfüllt keiner von diesen zufriedenstellend das Bedürfnis nach einem kostengünstigen, betriebssicheren, optischen Kreuzverbindungsschalter. Eine Klasse von optischen Kreuzverbindungen beruht auf einem Wellenlängenmultiplexing (WDM), um das Schalten zu bewirken. Diese Art von Systemen erfordert jedoch, daß die zu schaltenden optischen Signale unterschiedliche Wellenlängen aufweisen. In Systemen, in denen die Lichtsignale alle die gleiche Wellenlänge besitzen, erfordern diese Art von Systemen, die Signale in die gewünschte Wellenlänge umzuwandeln, zu schalten und anschließend wieder in die ursprüngliche Wellenlänge zurück umzuwandeln. Dieser Umwandlungsprozeß macht die Systeme kompliziert und erhöht die Kosten.

[0004] Eine zweite Art einer optischen Kreuzverbindung benutzt Schaltelemente mit Totalreflexion (TIR). Ein TIR-Element besteht aus einem Waveguide mit einer schaltbaren Grenze. Das Licht streift die Grenze in einem Winkel. In dem ersten Zustand trennt die Grenze zwei Bereiche mit im wesentlichen unterschiedlichen Brechungsindizes. In diesem Zustand ist der Einfallswinkel größer als der kritische Winkel der TIR, das Licht wird von der Grenze weg gebrochen und ändert daher die Richtung. In dem zweiten Zustand besitzen die zwei Bereiche, die von der Grenze getrennt werden, den gleichen Brechungsind-

dex und das Licht schreitet in einer geraden Linie durch die Grenze fort. Der kritische Winkel der TIR hängt von dem Unterschied der Brechungsindizes der zwei Bereiche ab. Um eine große Richtungsänderung zu erreichen, muß der Bereich hinter der Grenze zwischen einem Brechungsindex, der gleich dem des Waveguides ist, und einem Brechungsindex, der merklich kleiner als der des Waveguides ist, geschaltet werden.

[0005] Eine Klasse von TIR-Elementen nach dem Stand der Technik, die eine große Änderung des Brechungsindex liefern, wird durch eine mechanische Änderung des Materials hinter der Grenze betrieben. Beispielsweise beschreibt das US-Patent Nr. 5 204 921 von Kanai et. al. eine optische Kreuzverbindung, die auf einer Anordnung von Kreuzungspunkten in einem Waveguide beruht. Eine Rille an jedem Kreuzungspunkt kann zwischen „An“ oder „Aus“ geschaltet werden, abhängig davon, ob die Rille mit einem Index anpassendem Öl gefüllt ist. Das Index anpassende Öl besitzt einen Brechungsindex nahe zu denen der Waveguides. Ein optisches Signal, das durch einen Waveguide übertragen wird, wird durch den Kreuzungspunkt übertragen, wenn die Rille mit dem anpassenden Öl gefüllt ist, das Signal ändert jedoch seine Richtung an dem Kreuzungspunkt durch Totalreflexion, wenn die Rille leer ist. Um die Schaltanordnung an dem Kreuzungspunkt zu ändern, müssen die Rillen gefüllt oder geleert werden. In dem System, das in diesem Patent gelehrt wird, füllt und leert ein „Automat“ die Rillen. Diese Art von Schalter ist für viele Anwendung von Interesse zu langsam.

[0006] Eine schnellere Version dieser Art von TIR-Element wird in dem US-Patent Nr. 5 699 462 gelehrt, die im Wege dieser Bezugnahme aufgenommen wird. Die TIR, die in diesem Patent gelehrt wird, verwendet eine thermische Aktivierung, um Flüssigkeit aus einer Lücke am Schnittpunkt eines ersten optischen Waveguides und eines zweiten optischen Waveguides zu verlagern. In dieser Art von TIR-Element wird ein Graben durch den Waveguide geschnitten. Der Graben wird mit einer Index anpassenden Flüssigkeit gefüllt. Eine Blase wird an dem Kreuzungspunkt durch Erwärmung der Index anpassenden Flüssigkeit mit einem lokalen Heizer erzeugt. Die Blase muß aus dem Kreuzungspunkt entfernt werden, um den Kreuzungspunkt von dem Reflexions- zu dem Transmissionszustand zu schalten und damit die Richtung des ausgegebenen optischen Signals zu ändern.

[0007] Schalter, die auf einem Gas-Dampf-Übergang beruhen, haben mehrere Probleme. Als erstes ist eine erhebliche Menge von Leistung notwendig, um die Blase durch Verdampfen der Index anpassenden Flüssigkeit zu erzeugen. Um die Dampfblase an dem Kreuzungspunkt zu erhalten, muß als zweites ein großer Temperaturgradient aufrechterhalten wer-

den. Dieser Temperaturgradient umfaßt eine thermische Belastung und verringert den Betriebstemperaturbereich der Vorrichtung. Als drittes hängen diese Schalter von der Leistung ab, die über die gesamte Zeit vorhanden ist. Wenn die Leistung von der Vorrichtung weggenommen wird, können evtl. alle Kreuzungspunkte in den Transmissionszustand eintreten.

[0008] Es ist daher allgemein ein Ziel der vorliegenden Erfindung, einen verbesserten Kreuzungspunkt für die Benutzung in Kreuzverbindungsschaltern und dergleichen zur Verfügung zu stellen.

[0009] Es ist ein weiteres Ziel der vorliegenden Erfindung, einen Kreuzungspunkt zur Verfügung zu stellen, der keine hohen Temperaturgradienten und keinen hohen Leistungsaufwand erfordert, wie die vorhergehend diskutierten Vorrichtungen aus dem Stand der Technik.

[0010] Es ist ein weiteres Ziel der vorliegenden Erfindung, einen Kreuzungspunkt zur Verfügung zu stellen, der seinen Zustand erhält, wenn die Leistung von dem Kreuzungspunkt entfernt wird.

[0011] Diese und weitere Ziele der vorliegenden Erfindung werden den betreffenden Fachleuten aus der folgenden detaillierten Beschreibung der Erfindung und den beigefügten Zeichnungen deutlich.

Kurzbeschreibung der Erfindung

[0012] Die vorliegende Erfindung betrifft einen optischen Schalter, der aus einem ersten und einem zweiten Waveguide konstruiert ist. Der erste und der zweite Waveguide besitzen über eine Lücke angeordnete Enden, so daß Licht, das den ersten Waveguide durchläuft, in den zweiten Waveguide eintritt, wenn die Lücke mit einer Flüssigkeit gefüllt ist, die einen ersten Brechungsindex aufweist, während Licht, das den ersten Waveguide durchläuft, von der Lücke reflektiert wird, wenn die Lücke mit einem Material gefüllt ist, das einen zweiten Brechungsindex aufweist, der sich von dem ersten Brechungsindex wesentlich unterscheidet. Die Lücke ist Teil eines Grabens, der einen Flüssigkeitstropfen enthält, der aus einem Tropfenmaterial hergestellt ist, das den ersten Brechungsindex aufweist. Der Tropfen wird in dem Graben angeordnet und kann sich zwischen der ersten und zweiten Position in dem Graben bewegen, wobei der Tropfen die Lücke in der ersten Position ausfüllt. Die Lücke ist mit einem Material, das den zweiten Brechungsindex aufweist, gefüllt, wenn der Tropfen sich in der zweiten Position befindet. In einer Ausführungsform der Erfindung kann der Tropfen unter Verwendung eines elektrischen Felds bewegt werden, das von mehreren Elektroden erzeugt wird, die so angeordnet sind, daß ein elektrisches Potential, das zwischen einem ersten Paar von Elektroden angelegt wird, ein elektrisches Feld in einem Bereich

des Grabens erzeugt, der die erste Position enthält. In einer anderen Ausführungsform kann der Tropfen auch durch differentielles Erwämen von zwei Rändern des Tropfens bewegt werden, um eine Netzkraft auf den Tropfen in einer Richtung parallel zu der Richtung des Grabens zu erzeugen. Das Erwämen kann durch Beleuchten eines Rands des Tropfens mit Licht einer Wellenlänge, die von dem Tropfenmaterial absorbiert wird, ausgeführt werden. Der Graben weist einen Durchgang auf, der es einem Gas, Vakuum oder einer Flüssigkeit erlaubt, sich um den Tropfen zu bewegen, wenn sich der Tropfen in dem Graben bewegt.

Kurze Beschreibung der Zeichnungen

[0013] [Fig. 1](#) und [Fig. 2](#) sind Aufsichten auf ein Kreuzungspunkt-Schaltelelement **10** nach dem Stand der Technik mit zwei Zuständen.

[0014] [Fig. 3](#) ist eine teilweise auseinandergewogene perspektivische Ansicht eines Teils eines Kreuzungspunkts **10** gemäß der vorliegenden Erfindung.

[0015] [Fig. 4](#) ist eine Aufsicht auf einen Kreuzungspunkt gemäß der vorliegenden Erfindung in dem Reflexionszustand.

[0016] [Fig. 5](#) ist eine Aufsicht auf einen Kreuzungspunkt gemäß der vorliegenden Erfindung in dem Transmissionszustand.

[0017] [Fig. 6](#) bis [Fig. 8](#) sind Querschnittsansichten eines Waveguides durch die Linie **51–52**, wie sie in [Fig. 4](#) gezeigt ist.

[0018] [Fig. 9](#) ist eine obere Querschnittsansicht eines Grabens **101**, der einen Tropfen **102** enthält, der sich bewegt, um den Brechungsindex über die Lücke in dem Waveguide **104** anzupassen.

[0019] [Fig. 10](#) und [Fig. 11](#) sind seitliche Querschnittsansichten des Grabens **101** durch die Linie **115–116**.

[0020] [Fig. 12](#) ist eine Querschnittsansicht des Grabens einer anderen Ausführungsform der vorliegenden Erfindung.

[0021] [Fig. 13](#) ist eine Querschnittsansicht des Grabens **151** einer anderen Ausführungsform der vorliegenden Erfindung.

Detaillierte Beschreibung der Erfindung

[0022] Die vorliegende Erfindung läßt sich einfacher mit Bezug auf die [Fig. 1](#) und [Fig. 2](#) verstehen, die Aufsichten auf ein Kreuzungspunkt-Schaltelelement **210** mit zwei Zuständen nach dem Stand der Technik sind. Das Schaltungselement **210** ist aus drei

Waveguides **211–213** konstruiert, die in einer ebenen Lichtwellenschaltung auf der Oberseite eines Substrats hergestellt werden. Das Substrat ist vorzugsweise Silica, wobei jedoch andere Materialien, wie Silizium, auch benutzt werden können. Die Waveguides werden durch zwei einhüllende Schichten und eine Kernschicht festgelegt. Um die Figuren zu vereinfachen, sind die einzelnen Schichten weggelassen. Die Herstellung solcher Waveguides in Silica ist im Stand der Technik gut bekannt und wird daher hier nicht im Detail beschrieben. Beispielsweise haben Hitachi Cable und Photonic Integration Research, Inc. in Columbus, Ohio, Waveguides in SiO_2 auf Silica- und Silizium-Substraten demonstriert. Der Kern ist im wesentlichen SiO_2 , das mit einem anderen Material, wie Ge oder TiO_2 dotiert ist. Das Hüllmaterial ist SiO_2 , das mit anderen Materialien, wie B_2O_3 und/oder P_2O_5 dotiert ist. Da das Kernmaterial einen Brechungsindex aufweist, der sich von dem Brechungsindex der Hüllschichten unterscheidet, werden optische Signale entlang der Waveguides **211–213** geführt.

[0023] Ein Graben **214** ist durch den Waveguide und vorzugsweise in das Siliziumsubstrat geätzt. Der Graben **214** ist so angeordnet, daß ein Lichtsignal, das den Waveguide **211** nach unten durchläuft, in den Waveguide **213** reflektiert wird, wenn der Brechungsindex des Materials, das den Graben **210** ausfüllt, sich von dem Brechungsindex der Waveguides wesentlich unterscheidet, wie in [Fig. 1](#) gezeigt ist. Dieser Zustand des Schaltungselementes wird als der „Reflexionszustand“ bezeichnet. Wenn jedoch die Überschneidung des Grabens mit den Waveguides mit einem Material mit einem Brechungsindex gefüllt ist, der zu dem des Kerns der Waveguides paßt, wird das Lichtsignal den Graben **214** durchqueren und über den Waveguide **212** austreten, wie in [Fig. 2](#) gezeigt ist. Dieser Zustand des Schaltelements wird als der „Transmissionszustand“ bezeichnet.

[0024] Der Winkel, mit dem die Waveguides **211** und **213** den Graben **214** schneiden, hängt von dem Brechungsindexunterschied zwischen dem Waveguidematerial und dem Material, das zum Herstellen des Reflexionszustands in dem Graben verwendet wird, ab. Die Einfallsinkel der Waveguides und die Position des Grabens sind so gewählt, daß Licht, das auf die Grabenwand von dem Waveguide **211** einfällt, in den Waveguide **210** unter Totalreflexion reflektiert wird. Dieser Winkel liegt typischerweise zwischen 53° und 75° gegenüber der Normalen der Grabenwand.

[0025] Wenn der Graben mit dem Index anpassenden Material gefüllt ist, wird Licht, das einen vierten Waveguide **219** nach unten folgt, zu dem Waveguide **213** durchgehen. Der Waveguide **219** wird verwendet, um Kreuzverbindungsschalter unter Verwendung einer zweidimensionalen Anordnung von Kreuzungspunkt-Schaltelelementen zu konstruieren. Eine

Anordnung dieser Art ist typischerweise aus mehreren Zeilen und Spalten von Kreuzungspunkt-Schaltelelementen konstruiert. Die Zeilen und Spalten sind über Zeilen- und Spalten-Waveguides verbunden. Der Kreuzverbindungsschalter koppelt die Signale, die in die Zeilen-Waveguides eingegeben werden, mit den Spalten-Waveguides. Das spezielle Schaltungsmuster hängt von dem Zustand der Schaltelemente ab.

[0026] In diesen einfachen Kreuzverbindungsschaltern gibt es zu jeder vorbestimmten Zeit höchstens ein Schaltelement in jeder Spalte, das Licht von einem Zeilen-Waveguide in einen Spalten-Waveguide schaltet. Das in den Spalten-Waveguide geschaltete Licht wird zu dem Ende der Spalte durch Schaltelemente übertragen, die sich im nicht reflektierenden Zustand befinden. Der Waveguide **219** ermöglicht Licht, das von einem Schaltelement über dem Element **10** in der Anordnung geschaltet wird, in das nächste Schaltelement in der darunterliegenden Spalte übertragen zu werden, so daß das Licht eventuell aus dem letzten Schaltelement in der Spalte austritt.

[0027] Wie vorhergehend erwähnt, kann das Index anpassende Material aus der Überschneidung durch Bilden einer Blase **215** an der Überschneidung mittels eines Heizelements **216** verlagert werden. Das Heizelement **216** zieht die Leistung sowohl zum Verdampfen der Index anpassenden Flüssigkeit als auch zum Erhalten der Blase in dem Zeitraum, in dem der Kreuzungspunkt in dem Reflexionszustand gehalten wird.

[0028] Diese Probleme können überwunden werden durch Verwenden eines dielektrischen Tropfens einer Index anpassenden Flüssigkeit, der in dem Graben durch Anwenden von elektrischen Feldern an den Tropfen bewegt wird. Wenn diese Felder abgeschaltet werden, bleibt der Tropfen an seiner letzten Position, und demzufolge wird der Kreuzungspunkt seinen Zustand erhalten, selbst wenn die Leistung abgeschaltet wird. Außerdem ist die Leistungsaufnahme der Vorrichtung wesentlich geringer als bei den auf Dampf basierenden Blasensystemen, da die Energiequelle die Index anpassende Flüssigkeit nicht verdampfen muß.

[0029] Es wird nun auf die [Fig. 3](#) bis [Fig. 5](#) Bezug genommen. [Fig. 3](#) ist eine teilweise aneinandergezogene perspektivische Ansicht eines Teils eines Kreuzungspunkts **10** gemäß der vorliegenden Erfindung. Die [Fig. 4](#) und [Fig. 5](#) sind Aufsichten auf einen Kreuzungspunkt gemäß der vorliegenden Erfindung in dem Reflexions- bzw. Transmissionszustand. Eine bevorzugte Ausführungsform beruht auf der Beobachtung, daß ein Tropfen eines Dielektrikum sich in ein elektrisches Feld hinein bewegt. In dieser bevorzugten Ausführungsform ist ein dielektrischer Trop-

fen **12** auf einen Graben **18** eingeschränkt. In dem Transmissionszustand wird der Tropfen so bewegt, daß er den Waveguide **13** überdeckt, wie in [Fig. 5](#) gezeigt ist. Der Brechungsindex des Tropfens ist passend zu dem des Waveguides gewählt, und dadurch wird Licht von dem Waveguide **13** zu dem Waveguide **14** durchgeleitet. Wenn der Tropfen von dem Waveguide wegbewegt wird, wie in [Fig. 4](#) gezeigt ist, bewirkt die Grenzfläche zwischen dem Gas in dem Graben und dem Waveguide, daß Licht in dem Waveguide nach unten zu dem Waveguide **16** reflektiert wird.

[0030] Der Tropfen wird durch Anlegen eines elektrischen AC-Felds über einen Teil des Tropfens bewegt. Das elektrische Feld wird durch Anlegen der geeigneten Potentiale zwischen einer ausgewählten Elektrode der Elektroden **22**, die auf der Oberseite einer Grabenabdeckung **23** angeordnet sind, und der Elektroden **21** an der Unterseite des Grabens. Im Prinzip kann ein elektrisches DC-Feld verwendet werden, um den Tropfen zu bewegen, wenn der Tropfen aus einem perfekten Dielektrikum hergestellt ist. Leider haben die meisten Materialien, die für den Tropfen benutzt werden können, eine gewisse Leitfähigkeit, die es Ionen erlaubt, sich in dem Tropfen zu bewegen. Wenn ein DC-Feld verwendet wird, werden diese Ionen zu der Oberfläche des Tropfens wandern und den Tropfen von dem elektrischen Feld abschirmen. Daher muß ein AC-Feld verwendet werden, das eine Polarität aufweist, die sich in einem Zeitraum ändert, der kurz im Vergleich zu der Zeit ist, die Ionen oder andere Träger benötigen, um über eine signifikante Entfernung in dem Tropfen zu wandern. In einer bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung wird ein Feld mit einer Frequenz von mehr als 1 kHz verwendet.

[0031] Es wird nun auf die [Fig. 6](#) bis [Fig. 8](#) Bezug genommen, die Querschnittsansichten des Waveguides durch die Linie **51–52** sind, die in [Fig. 4](#) gezeigt ist. [Fig. 6](#) stellt die Feldverteilung dar, die verwendet wird, um den Tropfen **12** in eine Position zu bewegen, an der er ein Transmittieren des Waveguides bewirkt. Der Tropfen ist anfänglich rechts des Waveguides. Durch Anlegen einer Potentialdifferenz zwischen den oberen und unteren Elektroden in dem bei **30** gezeigten Bereich erfährt der Tropfen eine Kraft, die dazu neigt, den Tropfen nach links zu bewegen. Wenn sich der Tropfen bewegt hat, so daß er den Index über den Graben anpaßt, werden die elektrischen Potentiale von den Elektroden weggenommen und der Kreuzungspunkt bleibt in dem Transmissionszustand erhalten, wie in [Fig. 7](#) gezeigt ist. Um den Tropfen von dem Waveguide wegzubewegen und damit den Kreuzungspunkt in den Reflexionszustand zu versetzen, werden die Elektroden bei **31** in [Fig. 8](#) unter Spannung gesetzt, wodurch eine Kraft angewandt wird, die den Tropfen nach rechts bewegt. Wenn sich der Tropfen von dem Waveguide weg bewegt hat,

wird das Potential über den Elektroden entfernt, und der Kreuzungspunkt verbleibt in dem Reflexionszustand.

[0032] In einer bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung werden die Elektroden in einer Sequenz unter Spannung gesetzt, sobald sich der Tropfen bewegt, so daß etwa die Hälfte des Tropfens dem elektrischen Feld ausgesetzt ist. Diese Anordnung maximiert die Kraft auf den Tropfen und dadurch die Geschwindigkeit des Tropfens. Wenn der Tropfen sich zu der gewünschten endgültigen Position bewegt hat, werden die Elektroden um die gewünschte Position unter Spannung gesetzt, bis die Tropfenbewegung endet. Diese Elektroden sind bei **30** in [Fig. 6](#) gezeigt.

[0033] Ein Kreuzverbindungsschalter kann aus einer Anordnung von Kreuzverbindungspunkten konstruiert sein, bei der sich mehrere Kreuzungspunkte den gleichen Graben teilen. In diesem Fall ist es vorteilhaft, den Betrieb der Kreuzungspunkte, die sich einen Graben teilen, zu isolieren. Wenn der Tropfen **12** den Graben füllt, komprimiert seine Bewegung das Gas auf einer Seite des Tropfens und reduziert den Gasdruck auf der anderen Seite. Diese Druckdifferenz kann eine Bewegung eines Tropfens in dem gleichen Graben hervorrufen, selbst wenn kein elektrisches Feld an diesem Tropfen vorhanden ist. Zusätzlich verhindert die Druckdifferenz die Bewegung des Tropfens, und dadurch sind größere elektrische Felder notwendig, um den Tropfen zu bewegen.

[0034] Die vorliegende Erfindung vermeidet diese Probleme durch Einbeziehen eines Luftspalts über dem Tropfen, wie in [Fig. 6](#) bei **60** gezeigt ist. Dies sorgt für einen Luftdurchgang, der die Bildung einer Druckdifferenz über den Tropfen verhindert, wenn sich der Tropfen bewegt.

[0035] Obgleich die oben beschriebenen Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung elektrische Felder verwenden, um den Tropfen anzutreiben, können auch andere Antriebsverfahren benutzt werden. Es wird der Fall betrachtet, in dem der Tropfen die Wände des Grabens nicht benetzt, wie in den [Fig. 9](#) bis [Fig. 11](#) gezeigt ist. [Fig. 9](#) ist eine obere Querschnittsansicht des Grabens **101**, der einen Tropfen **102** enthält, der sich bewegt, um den Brechungsin dex über die Lücke in dem Waveguide **104** anzupassen. Die [Fig. 10](#) und [Fig. 11](#) sind seitliche Querschnittsansichten des Grabens **101** durch die Linie **115–116**. Wenn der Tropfen eine einheitliche Temperatur angenommen hat, ist die Oberflächenspannung in der Oberfläche an der Flüssigkeits-Gas-Grenzfläche **105** die gleiche wie die Oberflächenspannung an der Grenzfläche **107**. Wenn die Flüssigkeit an der Grenzfläche **105** nun erwärmt wird, verringert sich die Oberflächenspannung und der Tropfen wird einer Netzkraft ausgesetzt, die von der Differenz in den

Oberflächenspannungen an den Grenzflächen **105** und **107** hervorgerufen wird. Diese Kraft bewegt den Tropfen in Richtung des Grabens **104**. Ein Heizelement, das bei **106** gezeigt ist, kann benutzt werden, um den Tropfenrand zu erwärmen.

[0036] Die Tropfenbewegung wird sich fortsetzen, bis die Ränder wieder ein thermisches Gleichgewicht annehmen. Daher muß ein Mechanismus vorgesehen werden, um sicherzustellen, daß der Tropfen in einer Position stoppt, welche die Lücke in dem Waveguide **104** überdeckt. Ein Elektrodenpaar **108–109** kann benutzt werden, um den Tropfen zu stoppen, indem ein elektrisches Signal über den Elektroden angelegt wird, um ein elektrisches Feld in dem gewünschten Bereich zu erzeugen. Die Elektroden können als Platten eines Kondensators angesehen werden, in denen der Tropfen das Dielektrikum ist. Das elektrische Feld übt eine Kraft auf das Dielektrikum aus, die das Dielektrikum zwischen den Platten des Kondensators hält. Dies ist die Kraft, die den Tropfen in den oben diskutierten Ausführungsformen bewegt hat. In jenen Ausführungsformen war der Tropfen nur ein Teil des Weges in dem Kondensator und zog den Tropfen dadurch über die verbleibende Distanz. In dieser Ausführungsform fängt das Feld den Tropfen ein. Wenn der Tropfen das thermische Gleichgewicht erreicht hat, kann das Feld abgeschaltet werden:

Ein zweiter Heizer **126** kann zur Umkehrung der Bewegungsrichtung benutzt werden, um den Tropfen von dem Bereich des Waveguides zu entfernen. Ein zweiter Satz von Elektroden, die bei **129** und **130** gezeigt sind, können benutzt werden, um den Tropfen „einzufangen“ und ihn in der Reflexionsposition zu halten.

[0037] Obgleich die oben beschriebene Ausführungsform Elektroden benutzt, um ein elektrisches Feld zu erzeugen, das die sich bewegenden Tropfen einfängt, können andere Haltemechanismen verwendet werden. Zum Beispiel können mechanische Haltepunkte aus einem nicht benetzbar Material vorgesehen sein, wie in [Fig. 12](#) gezeigt ist, die eine Querschnittsansicht des Grabens in einer anderen Ausführungsform der vorliegenden Erfindung darstellt. In dieser Ausführungsform wird die Bewegung des Tropfens **102** durch die Haltepunkte beschränkt, die bei **132** und **133** gezeigt sind.

[0038] Die vorhergehend beschriebenen Ausführungsformen verwenden lokale Heizer, um die Ränder des Tropfens unterschiedlich zu erwärmen. Es können jedoch auch andere Mechanismen verwendet werden. Es wird nun auf [Fig. 13](#) Bezug genommen, die eine Querschnittsansicht des Tropfens **151** in einer anderen Ausführungsform der vorliegenden Erfindung darstellt. In dieser Ausführungsform der vorliegenden Erfindung wird bei dem Kreuzungspunkt ein Tropfen verwendet, der aus einem Material

konstruiert ist, der ein Absorptionsband an einer Steuerwellenlänge aufweist, während er an der Wellenlänge des Lichts, das über den Waveguide **104** übertragen wird, transparent bleibt. Wenn somit der Tropfen **154** mit Licht der Steuerwellenlänge von einem Ende bestrahlt wird, wird dieses Ende des Tropfens vorzugsweise erwärmt, da der Tropfen das Licht absorbiert, bevor es das andere Ende des Tropfens erreicht. Das Licht kann durch Hinzufügen von zwei kleinen Lichtquellen **161** und **162** an jedem Ende des Grabens erzeugt werden. Es können LEDs oder Laserdioden für diese Lichtquellen verwendet werden. In der in [Fig. 13](#) gezeigten Ausführungsform werden Elektrodenpaare, die bei **171** und **172** gezeigt sind, verwendet, um den Tropfen an den zwei Positionen einzufangen, die dem Transmissions- und Reflexionszustand des Kreuzungspunkts entsprechen.

[0039] Die vorhergehend beschriebenen Tropfen werden aus einem dielektrischen Material hergestellt, das einen Brechungsindex aufweist, das zu dem des Waveguides paßt. Solche Materialien sind auf dem Fachgebiet der Optik gut bekannt und werden daher hier nicht im Detail diskutiert. Geeignete Materialien sind von Cargille Laboratories, Inc. Scientific Div. 55 Commerce Rd. Cedar Grove, NJ 07009-1289 erhältlich. Es sollte darauf hingewiesen werden, daß eine exakte Anpassung durch Mischen von zwei verschiedenen dielektrischen Flüssigkeiten erzielt werden kann, die unterschiedliche Brechungsindizes aufweisen, um einen Tropfen mit einem Brechungsindex zu erhalten, der zwischen den Indizes der Komponenten liegt.

[0040] In den Ausführungsformen, die unterschiedliche Lichtabsorption verwenden, um den Tropfenrand zu erwärmen, kann ein beliebiger Farbstoff verwendet werden, der in dem Tropfenmaterial löslich ist und die gewünschte Absorption zur Verfügung stellt, und Transmissionsbänder können verwendet werden. Lösbare Farbstoffe sind von Aldrich Chemical und Merck erhältlich.

[0041] Die vorhergehend beschriebenen Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung verwenden einen Flüssigkeitstropfen, der von einem Gas umgeben ist. Die vorliegende Erfindung kann jedoch mit einer Suspensionsflüssigkeit in dem Graben ausgeführt werden, vorausgesetzt, die Flüssigkeit besitzt einen Brechungsindex, der ausreichend geringer als der Brechungsindex der Flüssigkeit des Tropfens ist. Außerdem darf die Flüssigkeit des Tropfens in der Suspensionsflüssigkeit nicht lösbar sein. Außerdem muß die dielektrische Konstante der Flüssigkeit des Tropfens größer sein als die der Suspensionsflüssigkeit, wenn elektrische Felder benutzt werden, um den Tropfen zu bewegen oder den Tropfen in einer Position zu halten.

[0042] In einer Ausführungsform, die zur Darstel-

lung der Erfindung geeignet ist, kann der Graben ein Vakuum umfassen, das einen Flüssigkeitstropfen umgibt.

[0043] Verschiedene Modifikationen der vorliegenden Erfindung werden den betreffenden Fachleuten aus der vorhergehenden Beschreibung und den beigefügten Zeichnungen deutlich. Daher ist die vorliegende Erfindung nur durch den Umfang der folgenden Ansprüche beschränkt.

Patentansprüche

1. Optischer Schalter (10), der folgendes umfaßt: einen ersten und einen zweiten Waveguide (13, 14) mit Enden, die quer über eine Lücke so angeordnet sind, daß Licht, das dem ersten Waveguide (13) folgt, in den zweiten Waveguide (14) eindringt, wenn die Lücke mit einer Flüssigkeit gefüllt ist, die einen ersten Brechungsindex aufweist, während Licht, welches dem ersten Waveguide (13) folgt, von der Lücke reflektiert wird, wenn darin die Flüssigkeit nicht vorhanden ist, wobei die Lücke ein Teil eines Grabens (18) in einem Substrat ist; und einen Flüssigkeitstropfen (12), der ein Tropfenmaterial mit dem ersten Brechungsindex aufweist, wobei sich der Tropfen (12) in dem Graben (18) befindet und sich zwischen einer ersten und einer zweiten Position in dem Graben (18) bewegen kann, der Tropfen (12) die Lücke in der ersten Position ausfüllt und der Tropfen (12) in der zweiten Position von der Lücke entfernt ist, wobei der Graben (18) einen Durchgang (60) aufweist, der es einem Gas, einem Vakuum oder einer Flüssigkeit ermöglicht, sich um den Tropfen (12) zu bewegen, wenn der Tropfen (12) sich in dem Graben (18) bewegt.

2. Optischer Schalter (10) nach Anspruch 1, bei dem der Graben (18) mit einem Gas gefüllt ist.

3. Optischer Schalter (10) nach Anspruch 1, bei dem der Graben (18) mit einer Flüssigkeit gefüllt ist, die einen zweiten Brechungsindex aufweist, der geringer als der erste Brechungsindex ist.

4. Optischer Schalter (10) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, der einen dritten Waveguide (16) umfaßt, der so angeordnet ist, daß Licht aus dem ersten Waveguide (13), das von der Lücke reflektiert wird, in den dritten Waveguide reflektiert wird.

5. Optischer Schalter (10) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem der erste Brechungsindex zu dem Index des Waveguides paßt.

6. Optischer Schalter (10) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, der ein erstes Paar von Elektroden (30, 171) zum Anlegen eines elektrischen Feldes quer über einen Teil des Flüssigkeitstropfens

(12) umfaßt.

7. Optischer Schalter (10) nach Anspruch 6, bei dem der Teil des Flüssigkeitstropfens (12) einen ersten Rand (105), jedoch keinen zweiten Rand (107) des Flüssigkeitstropfens (12) umfaßt, wobei der erste und der zweite Rand seitlich quer über den Graben (18) angeordnet sind.

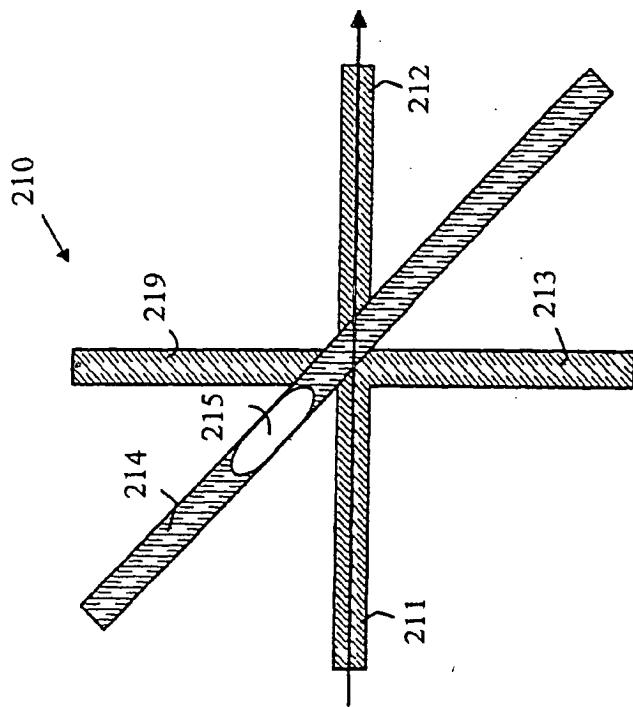
8. Optischer Schalter (10) nach Anspruch 6 oder 7, bei dem das erste Paar von Elektroden (30, 171) so angeordnet ist, daß ein elektrisches Potential, das zwischen dem ersten Paar von Elektroden (30, 171) angelegt wird, ein elektrisches Feld in einem Bereich des Grabens (18) erzeugt, der eine erste Position umfaßt, jedoch nicht in dem Bereich des Grabens (18), der eine zweite Position enthält.

9. Optischer Schalter (10) nach Anspruch 8, der ein zweites Paar von Elektroden (31, 172) umfaßt, wobei ein elektrisches Potential, das zwischen dem zweiten Paar von Elektroden (31, 172) angelegt wird, ein elektrisches Feld an eine Position erzeugt, die gegenüber der ersten Position versetzt ist, jedoch nicht in dem Bereich des Grabens (18), der die erste Position enthält.

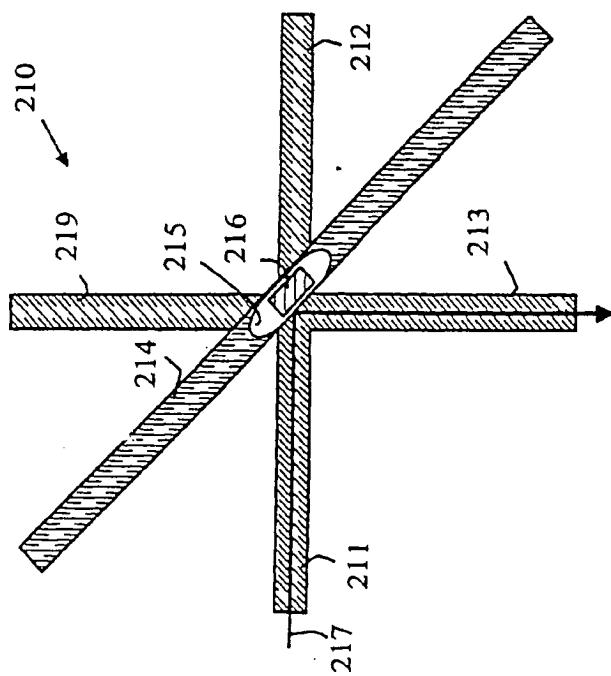
10. Optischer Schalter (10) nach einem der Ansprüche 1 bis 5, bei dem der Tropfen (12) einen ersten und einen zweiten Rand (105, 107) umfaßt, die lateral quer über den Graben (18) angeordnet sind, und wobei der optische Schalter (10) eine Heizer (106, 161, 126, 162) zum differentiellen Heizen des ersten und des zweiten Randes (105, 107) des Tropfens (12) umfaßt.

Es folgen 6 Blatt Zeichnungen

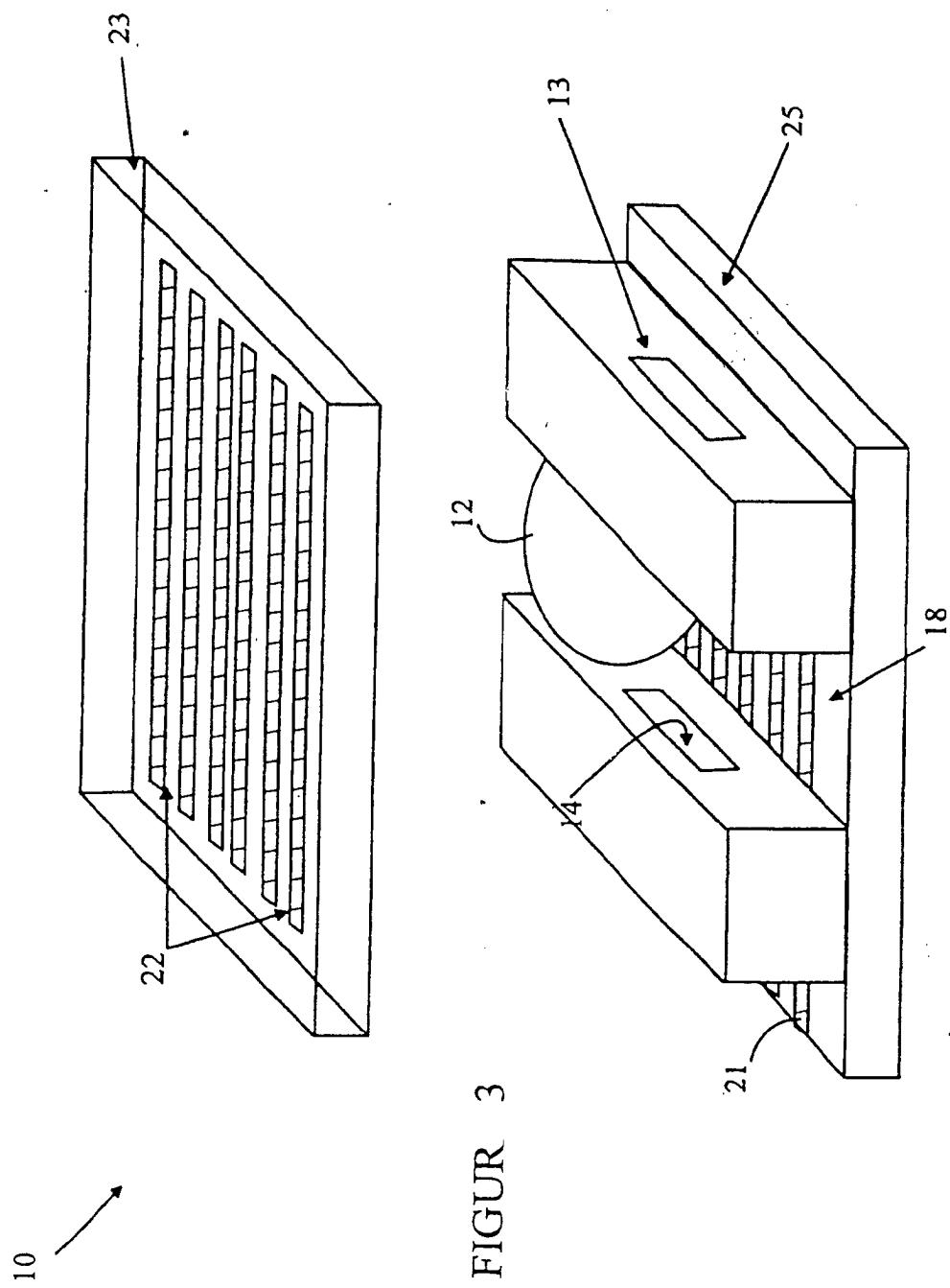
Anhängende Zeichnungen



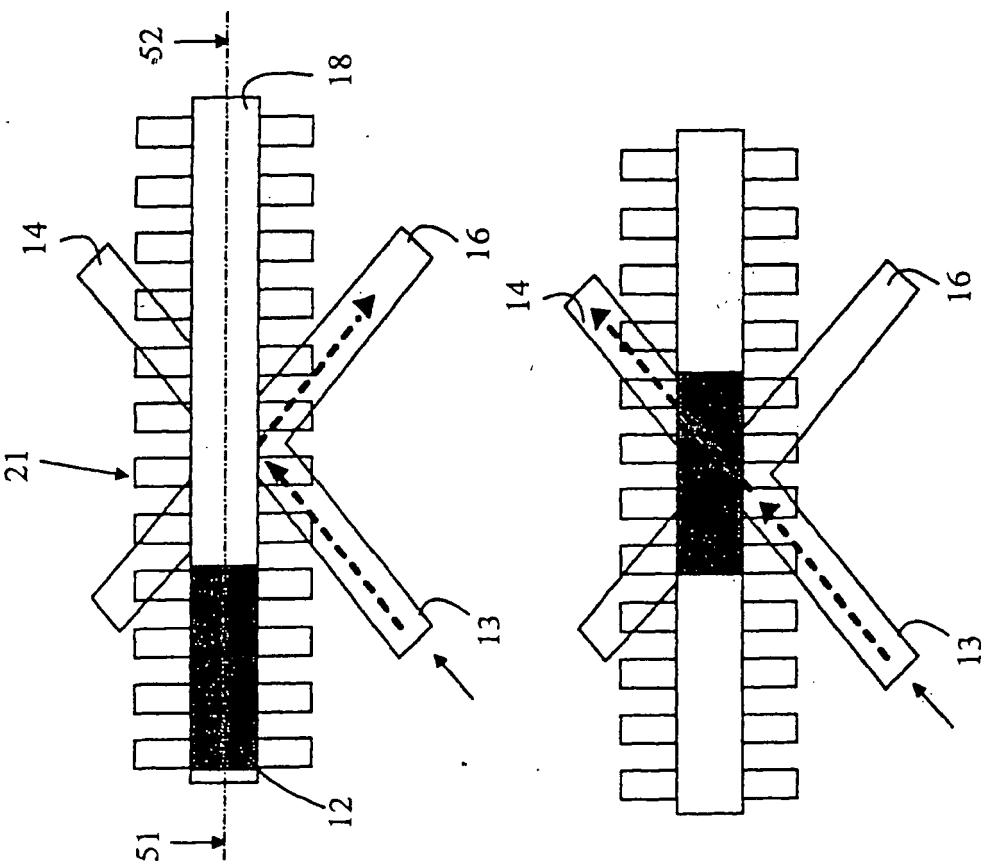
FIGUR 2
(Stand der Technik)



FIGUR 1
(Stand der Technik)



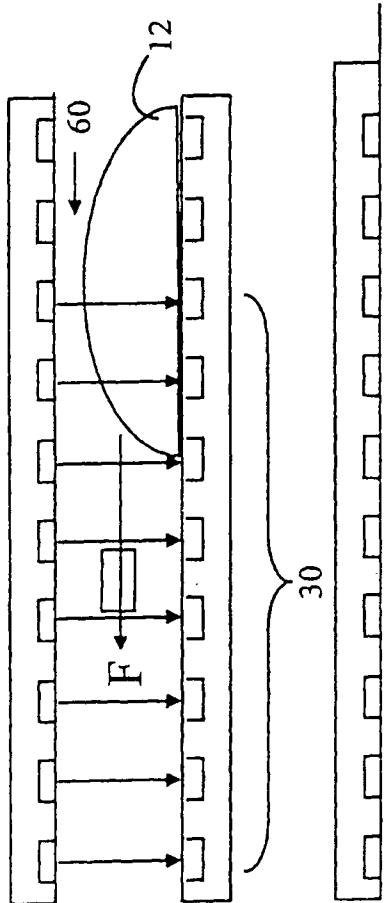
FIGUR 3



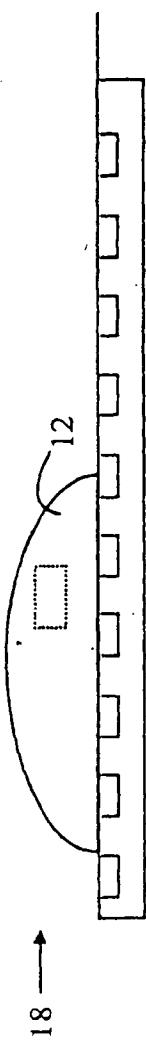
FIGUR 4

FIGUR 5

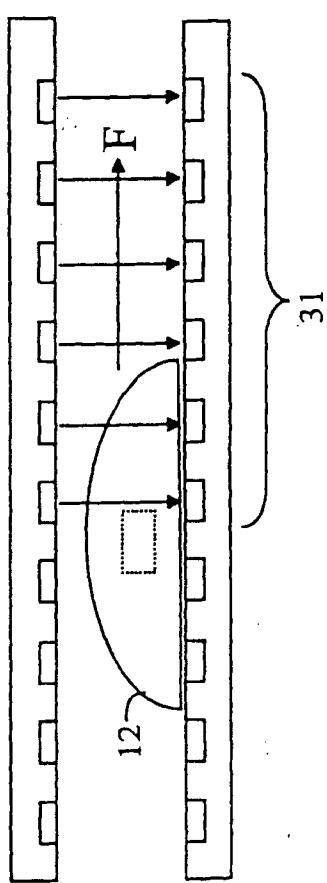
FIGUR 6



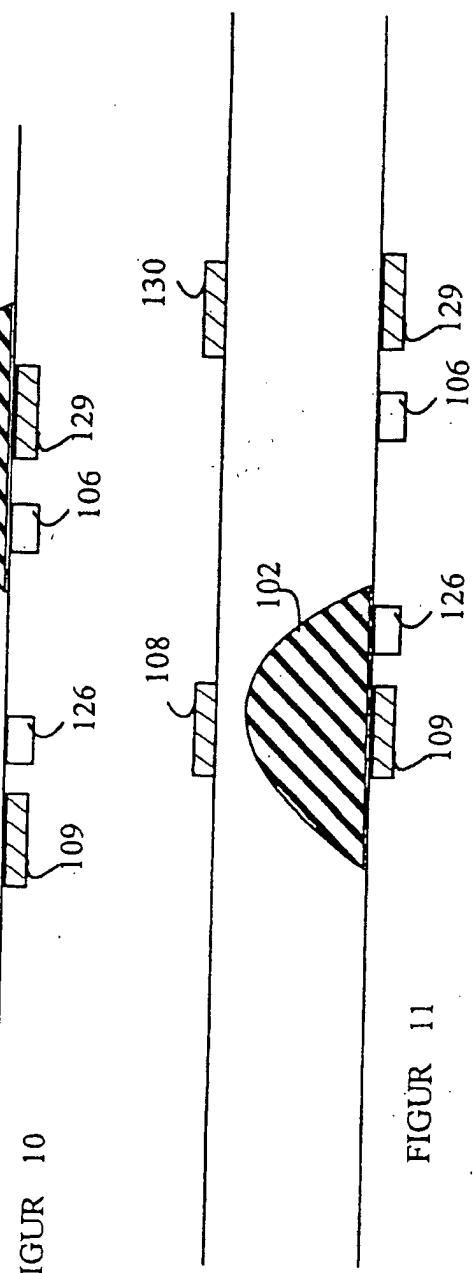
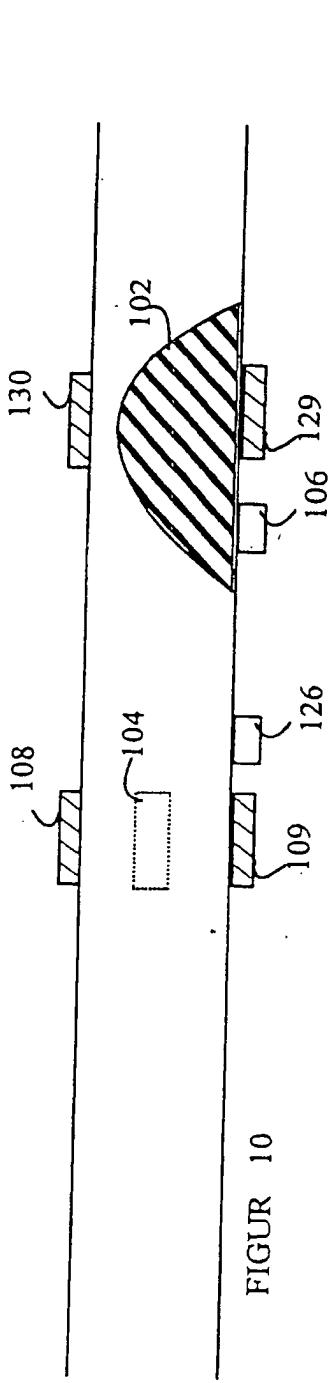
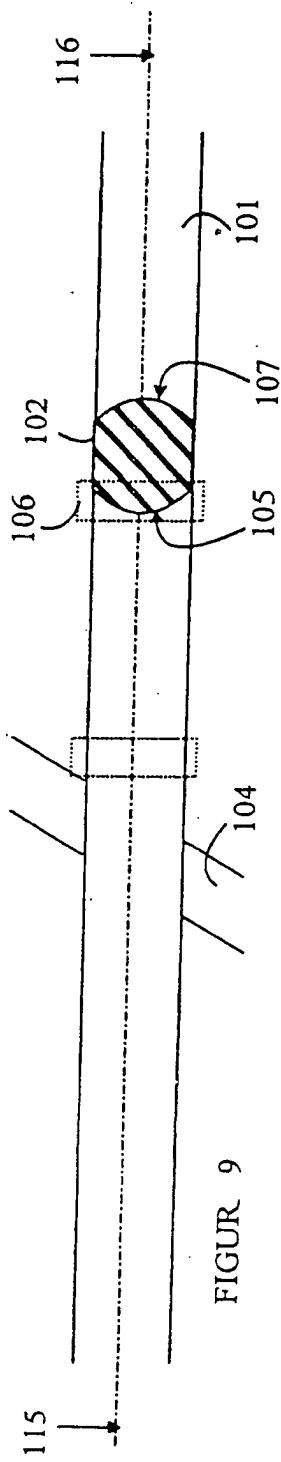
FIGUR 7



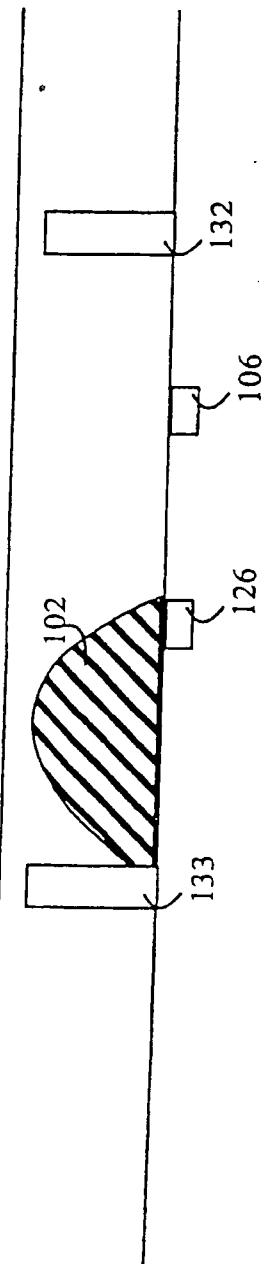
FIGUR 8



18 →



FIGUR 12



FIGUR 13

