



(19)  
Bundesrepublik Deutschland  
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 602 12 564 T2** 2007.05.03

(12) **Übersetzung der europäischen Patentschrift**

(97) **EP 1 345 055 B1**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **602 12 564.2**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **02 023 226.0**

(96) Europäischer Anmeldetag: **16.10.2002**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **17.09.2003**

(97) Veröffentlichungstag

der Patenterteilung beim EPA: **21.06.2006**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **03.05.2007**

(51) Int Cl.<sup>8</sup>: **G02B 6/35** (2006.01)  
**G02B 26/02** (2006.01)

(30) Unionspriorität:

**99116                      14.03.2002                      US**

(73) Patentinhaber:

**Avago Technologies General IP (Singapore) Pte.  
Ltd., Singapore, SG**

(74) Vertreter:

**Schoppe, Zimmermann, Stöckeler & Zinkler, 82049  
Pullach**

(84) Benannte Vertragsstaaten:

**DE, FR, GB**

(72) Erfinder:

**Stawitcke, Frederick Austin, Sunnyvale, CA 94087,  
US; Venkatesh, Shalini, Santa Clara, CA 95051,  
US; Chen, Datong, Fremont, CA 94536, US; Haven,  
Richard Earl, Sunnyvale, CA 94087, US; Troll, Mark  
Andrew, Seattle, Washington 98115, US; Anvar,  
David James, Mountain View, CA 94043, US**

(54) Bezeichnung: **Blasenstabilität in einem optischen 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 eingelegt, 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**

## TECHNISCHES GEBIET

**[0001]** Die Erfindung betrifft allgemein optische Schalter und insbesondere Verfahren zur Förderung der Stabilität der Geometrie und der Anordnung einer Blase innerhalb eines optischen Schalters.

## STAND DER TECHNIK

**[0002]** Signalübertragungen innerhalb eines Kommunikationsnetzes werden in zunehmendem Maße unter Verwendung von optischer Signalisierung durchgeführt, wobei Informationen als Modulationen von mittels Laser erzeugtem Licht ausgetauscht werden. Die Ausrüstung zum Erzeugen und Modulieren von Licht für optische Übertragungen ist leicht verfügbar, ebenso die Kabel zum Übertragen der optischen Signale über große Entfernungen. Jedoch treten Probleme im Hinblick auf die Vermittlung der optischen Signale ohne einen erheblichen Verlust an Signalstärke auf.

**[0003]** Ein Verfahren zum Schalten optischer Signale ist in dem an Fouquet et al. erteilten US-Patent Nr. 5,699,462 beschrieben, welches an den Abtretungsempfänger der vorliegenden Erfindung abgetreten wurde. Ein isolierter optischer Schalter, welcher auf der Beschreibung in Fouquet et al. beruht, ist in [Fig. 1](#) dargestellt. Der optische Schalter **10** wird aus Schichten gebildet, welche auf einem Substrat strukturiert werden. Die Wellenleiterschichten auf dem Substrat umfassen eine optionale untere Mantelschicht **14**, einen optischen Kern **16** und eine nicht dargestellte obere Mantelschicht. Der optische Kern kann primär aus Siliziumdioxid bestehen, mit Dotierungsstoffen, durch welche ein gewünschter Brechungsindex erzielt wird. Die Mantelschichten werden aus einem Material mit einem Brechungsindex hergestellt, welcher sich wesentlich von dem des Kernmaterials unterscheidet, so daß die optischen Signale entlang des Kerns geleitet werden. Der effektive Phasenindex des Wellenleiters wird durch die Brechungsindizes des Kernmaterials und des Materials der Mantelschichten bestimmt. Die Schicht des Kernmaterials wird in Form von Wellenleiterabschnitten strukturiert, welche ein Paar von Eingangswellenleitern **20** und **24** und ein Paar von Ausgangswellenleitern **22** und **26** definieren. Nachdem das Kernmaterial auf der unteren Mantelschicht ausgebildet worden ist, wird die obere Mantelschicht durch Blanket-Abscheidung (Blanket Deposition) hergestellt. Ein Graben **28** wird in die Mantelschichten und das Kernmaterial geätzt. Eine Flüssigkeit mit einem Brechungsindex, welcher im Wesentlichen mit dem effektiven Phasenindex der Wellenleiter übereinstimmt, wird dem Graben zugeführt. Wenn die Flüssigkeit bezüglich der Wellenleiter ausgerichtet ist, breiten sich Signale effizient durch den Graben aus.

Somit treten Signale vom Eingangswellenleiter **20** aus dem zu diesem ausgerichteten Ausgangswellenleiter **26** aus, während Signale vom Eingangswellenleiter **24** über den zu diesem ausgerichteten Ausgangswellenleiter **22** austreten.

**[0004]** Der erste Eingangswellenleiter **20** und der zweite Ausgangswellenleiter **22** haben Achsen, welche sich an oder in der Nähe (vorzugsweise in der Nähe) einer Seitenwand des Grabens **28** unter einem Einfallswinkel schneiden, welcher eine totale innere Reflexion (TIR) zur Folge hat. Wenn sich eine Blase **30** an dem Schnittpunkt der zwei Achsen befindet, erzeugt die Nichtübereinstimmung zwischen den Brechungsindizes die TIR-Bedingung, in welcher ein Eingangssignal entlang des Eingangswellenleiters **20** in den zweiten Ausgangswellenleiter **22** reflektiert wird. Es muß jedoch darauf hingewiesen werden, daß der zweite Eingangswellenleiter **24** mit keinem der Ausgangswellenleiter **22** und **26** optisch gekoppelt ist, da der Versatz der optischen Achsen der Wellenleiter eine optische Kopplung verhindert.

**[0005]** Das an Fouquet et al. erteilte Patent beschreibt eine Anzahl von alternativen Ausführungsformen zum Umschalten des optischen Schalters **10** zwischen einem transmissiven Zustand und einem reflektiven Zustand. In dem transmissiven Zustand füllt die Flüssigkeit innerhalb des Grabens die gesamte Fläche aus, die zu den Wellenleitern **20**, **22**, **24** und **26** ausgerichtet ist. Eine Herangehensweise an das Umschalten zwischen den zwei Zuständen besteht darin, eine Mikroheizvorrichtung **38** einzubauen, welche die Bildung einer Blase **30** innerhalb des die Flüssigkeit enthaltenden Grabens **28** steuert. Wenn die Mikroheizvorrichtung auf eine Temperatur gebracht wird, welche ausreichend hoch ist, um die Blase in der Immersionsflüssigkeit zu bilden, ist die Blase im Idealfall quer über die gesamte Grenzfläche zwischen dem jeweiligen Wellenleiter und der Seitenwand des Grabens positioniert. In dieser idealen Situation tritt nur eine kleine Menge des Lichtes in den Graben aus.

**[0006]** Das Problem beim Erzielen des idealen Zustands entlang der Grenzfläche zwischen Wellenleiter und Graben besteht darin, daß eine Blase vielen destabilisierenden Einflüssen ausgesetzt ist. Wenn die Oberfläche, die von einer Blase bedeckt ist, die gegen eine Grabenseitenwand abgeflacht ist, ausreichend ist, um die seitliche Ausdehnung der optischen Felder der sich kreuzenden Wellenleiter, wie etwa der Wellenleiter **20** und **22** in [Fig. 1](#), vollständig einzuschließen, so hat die Reflexion ein stabiles Maximum erreicht. Jede Verkleinerung unter die volle seitliche Ausdehnung der optischen Felder bewirkt dann jedoch einen optischen Verlust. Vielleicht noch wichtiger ist, daß jede Änderung der verringerten Fläche zur Folge hat, daß sich das reflektierte optische Signal entsprechend ändert. Daher verbessert jede er-

folgreiche Methode, um eine Blase innerhalb des Grabens **28** einzuschließen und eine ausreichende Größe der Blase aufrechtzuerhalten, die Stabilität optischer Reflexionen und verbessert so einen wichtigen Aspekt der Funktionsstabilität des optischen Schalters **10**.

**[0007]** Als eine Vorgehensweise, um für eine solche Stabilität der Funktion zu sorgen, kann die elektrische Leistung, die den Mikroheizvorrichtungen optischer Schalter zugeführt wird, erhöht werden, so daß sie eine reichlich bemessene thermische Leistung liefern, um die Blasen quer über die gesamte Grenzfläche zu erzeugen und aufrechtzuerhalten. Die Attraktivität einer solchen Lösung ist jedoch begrenzt aufgrund der Einschränkungen beim Power Handling eines großen Feldes von optischen Schaltern, und da es wünschenswert ist, ein solches Feld mit einem möglichst niedrigen Energieverbrauchsniveau zu betreiben. Eine andere Vorgehensweise besteht darin, die Form und Größe der Gräben, welche die Blasen halten, in der Relation zu den Formen und Größen der Mikroheizvorrichtungen, welche die Blasen erzeugen, auf geeignete Weise zu konstruieren. Gemäß dem oben genannten, an Fouquet et al. erteilten Patent wird ein Graben auf gegenüberliegenden Seiten der Mikroheizvorrichtung nach unten verlängert. Somit werden V-förmige Einschnitte in ein Mikroheizvorrichtungs-Substrat geätzt, die zu dem Graben ausgerichtet sind. Die Verlängerung des Grabens nach unten soll dazu dienen, die Blasenstabilität zu erhöhen, indem ein dynamisches Gleichgewicht gefördert wird, wobei Flüssigkeit an den Heizvorrichtungen siedet und an der Oberseite der Blasen kondensiert. Diese Vorgehensweise verbessert sie Stabilität, jedoch sind alternative oder zusätzliche Verfahren wünschenswert.

#### KURZDARSTELLUNG DER ERFINDUNG

**[0008]** Die vorliegende Erfindung ist so beschaffen, wie in den beigefügten Ansprüchen definiert ist. Die erhöhten Barrieren versperren teilweise die Bewegung oder Ausdehnung der Blase in den benachbarten Abstand hinein. Zum Beispiel können die erhöhten Barrieren Teil-Barrieren sein, welche vorgesehen werden, indem ein Material, wie normalerweise ein dielektrisches Material, auf dem Heizvorrichtungs-substrat abgeschieden oder aufgewachsen wird. Bei einer Anwendung werden die Barrieren innerhalb des benachbarten Abstands auf zwei gegenüberliegenden Seiten der Mikroheizvorrichtung positioniert, können jedoch Abschnitte enthalten, welche sich innerhalb des Grabens an den anderen zwei Seiten der Mikroheizvorrichtung befinden. Somit kann das Barrierenmaterial zusätzlich dazu, daß es für eine seitliche Steuerung der Blasenposition sorgt, eine Steuerung in Längsrichtung entlang der Länge des Grabens gewährleisten. Während des Herstellungsprozesses eines optischen Schalters ist das Einfügen

von Schritten des Vorsehens und Strukturierens des Barrierematerials ein relativ niedriger Preis, der für eine langfristige Verringerung (über Änderungen der Oberflächenenergie) oder sogar vollständige Verhinderung (durch physisches Blockieren) der seitlichen Ausdehnung einer Blase in den Abstand hinein, welcher einem Graben benachbart ist, gezahlt wird.

**[0009]** Ein Vorteil der Erfindung ist, daß die Blasenstabilität verbessert wird. Infolgedessen werden die optischen Betriebseigenschaften des optischen Schalters verbessert. Ein anderer Vorteil ist, daß eine verbesserte Stabilität erzielt wird, ohne daß sich die Betriebsleistungs-Anforderungen des optischen Schalters oder des Schaltfeldes, in welchem der optische Schalter ein Element ist, erhöhen. Obwohl zusätzliche Verarbeitungsschritte erforderlich sind, sind die zusätzlichen Schritte weder kompliziert noch kostenaufwendig.

#### KURZBESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

**[0010]** [Fig. 1](#) ist eine Draufsicht eines optischen Schalters, welcher das totale innere Reflexionsvermögen ausnutzt, nach dem Stand der Technik.

**[0011]** [Fig. 2](#) ist eine Draufsicht eines optischen Schalters mit Blasen positionierenden Oberflächenmerkmalen gemäß der Erfindung.

**[0012]** [Fig. 3](#) ist eine seitliche Schnittansicht des optischen Schalters von [Fig. 2](#) entlang der Linien 3-3.

**[0013]** [Fig. 4](#) ist eine Draufsicht einer anderen Anwendung der Blasen positionierenden Oberflächenmerkmale von [Fig. 2](#) und [Fig. 3](#).

**[0014]** [Fig. 5](#) ist eine seitliche Schnittansicht des Grabenbereiches des optischen Schalters gemäß einer Anwendung eines Beispiels.

**[0015]** [Fig. 6](#) ist eine seitliche Schnittansicht des Grabenbereiches des optischen Schalters gemäß einer anderen Ausführungsform.

**[0016]** [Fig. 7](#) ist eine Draufsicht des Grabenbereiches des optischen Schalters gemäß einem anderen Beispiel.

**[0017]** [Fig. 8](#) ist eine seitliche Schnittansicht des Grabenbereiches des optischen Schalters gemäß einem weiteren Beispiel.

**[0018]** [Fig. 9](#) ist eine seitliche Schnittansicht des Grabenbereiches des optischen Schalters gemäß noch einem weiteren Beispiel.

**[0019]** [Fig. 10](#) ist eine seitliche Schnittansicht des Grabenbereiches des optischen Schalters mit einem wasserabweisenden Film auf den Wänden des Gra-

bens.

[0020] [Fig. 11](#) ist eine seitliche Schnittansicht des Grabenbereiches des optischen Schalters gemäß noch einem weiteren Beispiel.

[0021] [Fig. 12](#) ist eine Draufsicht des Beispiels von [Fig. 11](#).

#### AUSFÜHRLICHE BESCHREIBUNG

[0022] Es wird auf [Fig. 2](#) und [Fig. 3](#) Bezug genommen. Sie zeigen einen optischen Schalter **40**, der viele der Merkmale aufweist, die unter Bezugnahme auf [Fig. 1](#) beschrieben wurden. Der optische Schalter weist vier Wellenleiterabschnitte auf, welche im Weiteren als erster und zweiter Eingangswellenleiter **42** und **44** und erster und zweiter Ausgangswellenleiter **46** und **48** bezeichnet werden. Obwohl es aus den vereinfachten Zeichnungen nicht offensichtlich ist, sind die Wellenleiter auf die herkömmliche Weise durch Einschließen von Kernmaterial in einer oberen und einer unteren Mantelschicht ausgebildet, so daß Licht entlang des Kernmaterials geleitet wird.

[0023] Jeder der Wellenleiter **42**, **44**, **46** und **48** hat ein Ende, welches einen Flüssigkeit enthaltenden Graben **50** kreuzt. Der optische Schalter **40** ist in einem reflektiven Zustand dargestellt, da sich eine Blase **52** in dem Bereich des Grabens befindet, an welchen die Wellenleiter anstoßen. Die optische Kopplung zwischen den Wellenleitern ist von den an diesem Kreuzungspunkt lokalisierten optischen Merkmalen abhängig. Wenn sich die Blase **52** in der in [Fig. 2](#) dargestellten Position befindet, trifft ein entlang des Wellenleiters **42** übertragenes Eingangssignal an der Seitenwand des Grabens auf eine Nichtübereinstimmung der Brechungsindizes. Infolgedessen wird das optische Signal in den zweiten Ausgangswellenleiter **48** reflektiert. Um ein bestmögliches Betriebsverhalten des optischen Schalters **40** zu erzielen, wenn sich der Schalter im reflektiven Zustand befindet, sollte der Einfallswinkel der Wellenleiter **42**, **44**, **46** und **48** an den Seitenwänden des Grabens **50** größer als der kritische Winkel sein, der für die totale innere Reflexion (TIR) erforderlich ist. Die Flüssigkeit innerhalb des Grabens **50** weist jedoch einen Brechungsindex auf, welcher genügend nahe beim Brechungsindex des bei der Herstellung der Wellenleiter verwendeten Kernmaterials liegt, so daß sich optische Signale frei zwischen den Wellenleitern und der Flüssigkeit innerhalb des Grabens ausbreiten. Somit wird, wenn der Blase **52** ermöglicht wird zu kondensieren und die Flüssigkeit innerhalb des Kreuzungsbereiches fließt, der erste Eingangsleiter **42** mit dem ersten Ausgangswellenleiter **46** gekoppelt, während der zweite Eingangswellenleiter **44** mit dem zweiten Ausgangswellenleiter **48** gekoppelt wird.

[0024] Wie zuvor beschrieben, wird das Betriebs-

verhalten des optischen Schalters **40** von der Position der Blase **52** relativ zu den Graben-Wellenleiter-Grenzflächen beeinflusst. Wenn die Oberfläche der Blase **52** an der Seitenwand des Grabens die seitlichen Ausdehnungen der optischen Felder der sich kreuzenden Wellenleiter vollständig einschließt, so hat die Reflexion ein stabiles Maximum erreicht. Jede Verkleinerung unter diese volle seitliche Ausdehnung der optischen Felder bewirkt dann jedoch eine gewisse optische Dämpfung. Außerdem werden, wenn die Blase in ihrer Position instabil ist, die Reflexionseigenschaften des Schalters ebenfalls instabil. In [Fig. 2](#) und [Fig. 3](#) wurden Oberflächenmerkmale in den Schalter integriert, um die Blase und das Schaltverhalten des Schalters zu stabilisieren. Andere Typen von Oberflächenmerkmalen werden unter Bezugnahme auf die nachfolgenden Figuren beschrieben.

[0025] Wie in [Fig. 3](#) am besten zu erkennen ist, ist der optische Schalter **40** aus einem Wellenleitersubstrat **54** und einem Heizvorrichtungssubstrat **56** hergestellt. Die zwei Substrate sind miteinander verbunden, sind jedoch entlang des dem Graben **50** benachbarten Bereiches in einem Abstand voneinander angeordnet. Infolgedessen ist ein Abstand **58** zwischen den zwei Substraten **54** und **56** ausgebildet. Ein Vorteil dieses Abstands ist, daß er eine Anpassung an eventuelle Volumenausdehnungen ermöglicht, die durch die Bildung einer Blase und das Kollabieren einer Blase verursacht werden. Obwohl es wünschenswert ist, eine Anpassung an Volumenänderungen zu ermöglichen, sollte sich die Anpassung jedoch nicht nachteilig auf die Stabilität der Blase auswirken. Bei der Ausführungsform von [Fig. 2](#) und [Fig. 3](#) sind erhöhte Barrieren **60**, **62**, **64** und **66** an den verschiedenen Seiten einer Mikroheizvorrichtung **68** zum Ausbilden der Blase **52** ausgebildet. Die seitlichen Barrieren **60** und **62** sind innerhalb des Abstands **58** neben dem Graben **50** angeordnet. Somit steuern die längeren zwei Barrieren die seitliche Ausdehnung der Blase **52** in den benachbarten Abstand **58** hinein. Eine "longitudinale Steuerung" der Blase wird durch die Endbarrieren **64** und **66** gewährleistet. Obwohl diese Barrieren als innerhalb des Grabens **50** enthalten dargestellt sind, können sich, wenn der Graben so ausgebildet ist, daß er nur geringfügig größer als die Länge der Blase ist, die Endbarrieren **64** und **66** auch innerhalb des benachbarten Abstands befinden.

[0026] Die Barrieren **60**, **62**, **64** und **66** können gebildet werden, indem eine dielektrische Schicht auf dem Heizvorrichtungssubstrat **56** abgeschieden oder gezogen wird. Es können fotolithografische Verfahren angewendet werden, jedoch können auch andere herkömmliche Methoden benutzt werden. Da die Abmessungen der Barrieren nicht kritisch sind, sind großzügige Fertigungstoleranzen akzeptabel. Ein mögliches Material für die Herstellung der Barrieren

ist Siliziumdioxid, dieses kann jedoch durch andere Materialien ersetzt werden.

**[0027]** Es existiert eine Anzahl von möglichen Alternativen zu den dargestellten Barrieren **60**, **62**, **64** und **66** von [Fig. 2](#) und [Fig. 3](#). Zum Beispiel können die Barrieren, anstatt daß sie auf dem Heizvorrichtungssubstrat **56** ausgebildet werden, auf dem Wellenleitersubstrat **54** ausgebildet werden. Als eine andere Alternative kann die Dicke der Barrieren erhöht werden, so daß sie beide Substrate **54** und **56** berühren, derart, daß die Barrieren (durch physisches Blockieren) die seitliche Ausdehnung der Blase **52** verhindern, anstatt daß sie lediglich (durch Änderungen der Oberflächenenergie) die seitliche Ausdehnung der Blase in den benachbarten Abstand **58** hinein verringern. Als eine weitere Variante können die Barrieren in Abschnitte aufgeteilt werden. Dies ist in [Fig. 4](#) dargestellt, welche drei Abschnitte **70**, **72** und **74** auf jeder der einander gegenüberliegenden langen Seiten der Mikroheizvorrichtung vorsieht, um die seitliche Ausdehnung der Blase zu steuern, und zwei Abschnitte **76** und **78** auf den kürzeren Seiten der Heizvorrichtung vorsieht, um die Ausdehnung der Blase in Längsrichtung zu steuern.

**[0028]** [Fig. 5](#) zeigt ein anderes Beispiel, wie die Blasenstabilität, das Betriebsverhalten und die Temperaturbeständigkeit innerhalb eines optischen Schalters gewährleistet werden können. Bei dieser Vorgehensweise werden die absichtlichen Veränderungen der Oberflächentopographie als Oberflächenänderungen entlang einer Ziel-Grenzlinie des Kontakts zwischen der Blase **52** und der Struktur des optischen Schalters implementiert. Es wird als vorteilhaft angesehen, die Oberflächenänderungen an den Rändern der Mikroheizvorrichtung **68** oder wenigstens in der Nähe der Ränder der Mikroheizvorrichtung auszubilden. Die Oberflächenänderungen können jedoch entlang der Ziel-Grenzlinie des Kontakts der Blase mit den Wänden vorhanden sein, welche die Enden der Wellenleiter enthalten, oder entlang der Ziel-Grenzlinie des Kontakts der Blase mit der oberen Wand des Wellenleitersubstrats. Die Änderung der Oberflächentopographie "heftet" die Blase entlang der Ziel-Grenzlinie an. In [Fig. 5](#) sind die Oberflächenmerkmale als lokale Vertiefungen **80** und **82** innerhalb einer dielektrischen Schicht **84** dargestellt. Die dielektrische Schicht kann von einem Typ sein, der oft verwendet wird, um die metallische Mikroheizvorrichtung vor Chemikalien der Immersionsflüssigkeit zu schützen. Die lokal begrenzten Vertiefungen können isotrope oder anisotrope Grübchen sein, die unter Anwendung herkömmlicher fotolithografischer Verfahren gebildet wurden, da die Geometrie der Vertiefungen keine große Bedeutung hat.

**[0029]** In [Fig. 6](#) sind die Vertiefungen durch erhöhte Bereiche **86** und **88** ersetzt. Die erhöhten Bereiche haben dieselbe Funktionsweise wie die lokal be-

grenzten Vertiefungen **80** und **82** von [Fig. 5](#). Um eine seitliche Ausbreitung der Blase **52** zu verhindern, sollte das zur Bildung der erhöhten Bereiche verwendete Material eine niedrige Wärmeleitfähigkeit aufweisen. Die fotolithografische Strukturierung eines dielektrischen Materials erhöht die Kosten und die Komplexität des Prozesses zur Herstellung eines optischen Schalters nur sehr geringfügig.

**[0030]** Selbst wenn sich die Blase **52** seitlich in den Abstand **58** zwischen den zwei Substraten **54** und **56** hinein "ausbeult", befindet sich die Blase in einer geeigneten Position an der Seitenwand des Grabens **50** an der Grenzfläche zwischen dem Graben und den Wellenleitern (welche in [Fig. 5](#) oder [Fig. 6](#) nicht dargestellt sind). Die Vertiefungen **80** und **82** oder die erhöhten Bereiche **86** und **88** können sich um die gesamte Mikroheizvorrichtung **68** herum erstrecken, wodurch sie für Stabilität in Längsrichtung ebenso wie für Querstabilität sorgen.

**[0031]** Es wird nun auf [Fig. 7](#) Bezug genommen; sie zeigt ein anderes Beispiel in einer Draufsicht, es sind jedoch nur der erste Eingangswellenleiter **42** und der zweite Eingangswellenleiter **48** dargestellt. In diesem Beispiel sind die absichtlich veränderten Oberflächenmerkmale mit einem Dielektrikum gefüllte Hohlräume **90** und **92** innerhalb der Oberfläche des Heizvorrichtungssubstrats. Die mit einem Dielektrikum gefüllten Hohlräume gewährleisten eine zusätzliche Wärmeisolation, wodurch sie die Abgabe von Wärme in das Heizvorrichtungssubstrat verringern. Infolgedessen wird die Zufuhr von Wärme zu der Blase wesentlich verbessert. Ein abrupter Übergang bei den Wärmeleitungsbedingungen liefert die gewünschten Ergebnisse, so daß die Ausbildung von im Wesentlichen senkrechten Hohlraumwänden vorteilhaft ist. Eine mögliche Vorgehensweise zur Ausbildung von Hohlräumen mit im Wesentlichen senkrechten Wänden wird als der Bosch-Prozess bezeichnet, bei welchem Vakuum- und Plasmaätzverfahren (Trockenätzverfahren) angewendet werden. Aufgrund der abrupten Übergänge bei der Thermodynamik, die durch die vertikalen Wände der Hohlräume gewährleistet werden, wird die Zugabe des dielektrischen Füllmaterials weniger wichtig. Demzufolge können die Bereiche **90** und **92** bei manchen Ausführungsformen leere Hohlräume sein.

**[0032]** In der Draufsicht von [Fig. 7](#) sind die mit einem Dielektrikum gefüllten Hohlräume als zwei dielektrische Bereiche **90** und **92** dargestellt, welche der Krümmung eines leitfähigen Pfades **94** entlang des Heizvorrichtungssubstrats folgen. Der leitfähige Pfad **94** ist eine Trasse, über welche die Mikroheizvorrichtung **68** mit Aktorstrom versorgt wird. Der leitfähige Pfad ist eine herkömmliche Komponente eines Heizvorrichtungssubstrats eines optischen Schalters. Die Mikroheizvorrichtung **68** ist mit dem darunter befindlichen leitfähigen Pfad **94** verbunden, so daß die



Heizvorrichtung auf der Basis der Zuführung von Strom über den leitfähigen Pfad ein- und ausgeschaltet werden kann.

**[0033]** Das Heizvorrichtungssubstrat kann aus Silizium hergestellt sein, welches durch Ätzen strukturiert wird, um die mit Dielektrikum gefüllten (oder manchmal hohlen) Bereiche **90** und **92** aufzunehmen. Das dielektrische Material weist im Vergleich zum Material des Substrats eine niedrige Wärmeleitfähigkeit auf. Demzufolge ist es weniger wahrscheinlich, daß die Wärme von der Mikroheizvorrichtung in einem Muster ausgestrahlt wird, welches bewirkt, daß sich die Blase seitlich in den Abstand von Substrat zu Substrat hinein ausdehnt. Das dielektrische Material kann Siliziumdioxid sein, oder irgendein anderes Material, welches nichtleitend ist und welches eine wesentlich geringere Wärmeleitfähigkeit aufweist als das Material des Substrats.

**[0034]** Ein anderes Beispiel ist in [Fig. 8](#) dargestellt. In diesem Beispiel sind neben dem Hauptgraben **50** Hilfsgräben **96** und **98** ausgebildet. Die Ränder der Hilfsgräben verändern das Oberflächen-Energiegleichgewicht, so daß die seitliche Ausdehnung der Blase **52** verhindert wird. Außerdem stellen die Hilfsgräben, da die Hilfsgräben **96** und **98** mit der Immersionsflüssigkeit gefüllt sind, wenn sich der Schalter in seinem transmissiven Zustand befindet, und da die Immersionsflüssigkeit eine niedrigere Wärmeleitfähigkeit aufweist als das Material des Substrats (z.B. Siliziumdioxid oder Silizium), eine Barriere für Wärmeverluste aus dem geheizten Wellenleiter-Kreuzungspunkt des optischen Schalters dar. Daher können die Hilfsgräben helfen, die Größe und Position der thermisch erzeugten und aufrechterhaltenen Blase **52** beizubehalten.

**[0035]** Die Hilfsgräben **96** und **98** sind als innerhalb einer dielektrischen Schicht **100** auf der Oberfläche des Wellenleitersubstrats **54** ausgebildet dargestellt. Die Hilfsgräben können jedoch auch im Substratmaterial selbst ausgebildet sein. Als Ersatz für die Hilfsgräben **96** und **98** im Wellenleitersubstrat **54** oder zusätzlich zu ihnen können Hilfsgräben im Heizvorrichtungssubstrat **56** ausgebildet sein. Ein Vorteil der Ausbildung der Hilfsgräben innerhalb des Heizvorrichtungssubstrats ist, daß die Gräben näher zu den seitlichen Rändern des Hauptgrabens **50** ausgerichtet ausgebildet werden können.

**[0036]** In dem Beispiel von [Fig. 9](#) liefern hinzugefügte Schichten **102** und **104** auf den Oberflächen des Wellenleitersubstrats **54** und des Heizvorrichtungssubstrats **56** die gewünschten Oberflächenmerkmale innerhalb des Abstands Substrat-Substrat **58**. Die Schichten **102** und **104** sind dazu bestimmt, eine Ziel-Oberflächenbenetzbarkeit innerhalb des Abstands zu gewährleisten. Die Benetzbarkeit beeinflusst die Kapillarkräfte an der Grenzfläche der Blase

mit der Flüssigkeit innerhalb des Abstands. Somit ist der Einfallswinkel zwischen der Blase und jeder Schicht besser vorhersagbar und stabil. Wie in [Fig. 9](#) dargestellt, weisen die Ausbauchungen in den Abstand **58** hinein einen Einfallswinkel **58** auf, welcher sich wesentlich von der Ausbauchung der restlichen Immersionsflüssigkeit innerhalb der Oberseite des Grabens **50** unterscheidet. Die Kapillarwirkung induziert Kräfte, die auf die Flüssigkeit innerhalb des Abstands **58** einwirken, so daß diese entlang der Oberflächen der hinzugefügten Schichten **102** und **104** zu den Enden der Schichten "kriecht".

**[0037]** In einem Beispiel sind die hinzugefügten Schichten **102** und **104** auf den zwei Substraten **54** und **56** so strukturiert, daß sie sich nur in dem Bereich in der Nähe des Grabens **50** befinden. Die Auswahl der Schicht sollte so erfolgen, daß sie von Natur aus eine andere Benetzbarkeit durch die Flüssigkeit gewährleistet als die darunter liegende Schicht. In [Fig. 9](#) können die darunter liegenden Schichten Siliziumdioxidschichten **106** und **108** sein, und die hinzugefügte Schicht kann Gold sein. Andererseits können die "hinzugefügten" Schichten auch Behandlungen des Siliziumdioxidmaterials sein. Zum Beispiel können, wenn die Substrate **54** und **56** Silica-Substrate sind, die Siliziumoxid-Filme aufweisen, Unterschiede in der Benetzbarkeit durch den selektiven Selbstaufbau von organischen funktionalisierten Orthosilikaten oder Chlorosilanen auf der Siliziumoxid-Oberfläche hervorgerufen werden. Eine spezielle Untergruppe, mit welcher angestrebte Benetzbarkeitseigenschaften erreicht werden können, ist fluoriertes langkettiges Kohlenwasserstoff-Chlorosilan. Für die Ausführungsform, in welcher die hinzugefügte Schicht Gold ist, kann ein selektiver Selbstaufbau von Alkanthiolen auf der Goldoberfläche die angestrebten Benetzbarkeitseigenschaften gewährleisten. Eine spezifische akzeptable Untergruppe ist fluoriertes langkettiges Alkanthiol. Optional enthält die Immersionsflüssigkeit einen Zusatz, welcher den Brechungsindex des Fluids nicht wesentlich beeinflusst, jedoch die Wahrscheinlichkeit verringert, daß das Fluid die Schichten angreift. Als ein anderes mögliches Schichtmaterial kann die hinzugefügte Schicht ein Polymer sein, wie etwa ein fluoriertes Polymer.

**[0038]** Es wird nun auf [Fig. 10](#) Bezug genommen; zusätzlich zu den hinzugefügten Schichten **102** und **104** oder anstelle derselben kann der Graben **50** mit einem wasserabweisenden Film **110** beschichtet werden, um die Wahrscheinlichkeit zu verringern, daß ein Flüssigkeitsrückstand entlang des optischen Fensters verbleibt, das von der Grenzfläche des Grabens **50** und einem der Wellenleiter gebildet wird. Der Flüssigkeitsrückstand könnte das Betriebsverhalten des optischen Schalters nachteilig beeinflussen, da dessen Indexanpassungs-Eigenschaften ermöglichen, daß ein Eingangssignal ein kurzes Stück in den die Blase enthaltenden Graben eintritt, welcher dazu

bestimmt ist, eine totale innere Reflexion zu gewährleisten. Die Form des Rückstandes beeinflusst dann die hervorgerufene Reflexion an der Grenzfläche des Rückstandes und der Blase. Der wasserabweisende Film **110** verringert die Wahrscheinlichkeit eines Rückstandes entlang des optischen Fensters. Der Film kann von einem Polymer gebildet werden, wie etwa einem fluorierten Polymer (z.B. PTFE). Ein Zusatz kann der Immersionsflüssigkeit zugegeben werden, um die weitere Entnetzung zu fördern.

**[0039]** Obwohl der wasserabweisende Film **110** von [Fig. 10](#) als ohne irgendeines der zuvor beschriebenen Verfahren zur Steuerung der Ausdehnung der Blase innerhalb des Abstandes Substrat-Substrat **58** verwendet dargestellt ist, wird der Film vorzugsweise zusammen mit wenigstens einer der anderen Verfahrensweisen angewendet. Zum Beispiel können die hinzugefügten Schichten **102** und **104** aus demselben Material hergestellt werden wie der wasserabweisende Film **110**. Jedoch werden die Schichten **102** und **104** vorzugsweise separat hergestellt, so daß die Schichten und der Film einzeln maßgeschneidert werden können, um die jeweiligen Ziele zu erreichen. In ähnlicher Weise können die verschiedenen Vorgehensweisen zum "Anheften" der Blase kombiniert werden. Beispielsweise kann die Verwendung der Schichten **102** und **104**, um die Kapillarkräfte zu verstärken, mit der Vorgehensweise von [Fig. 5](#) kombiniert werden, bei der lokale Vertiefungen **80** und **82** an den oder in der Nähe der Ränder der Mikroheizvorrichtung **68** ausgebildet werden, um die Steuerung der Blase zu gewährleisten.

**[0040]** Eine andere beispielhafte Vorgehensweise, um eine Stabilität der Blase zu gewährleisten, ist in [Fig. 11](#) und [Fig. 12](#) dargestellt. Es wird eine dünne Schicht **114** gebildet, die Kapillaröffnungen **118** und Kühlrippen **116** enthält. Diese Schicht ist als durch eine dielektrische Schicht **112** von der Mikroheizvorrichtung **68** getrennt dargestellt, doch es sind auch andere Anordnungen möglich. Die dünne Schicht kann ein Drahtgeflecht, Sintermetall oder eine andere poröse dünne Schicht sein, welche so gestaltet ist, daß sie Fluid durch Kapillarkräfte zur Mikroheizvorrichtung hin anzieht. Damit wird beabsichtigt, den Teil des Heizvorrichtungsbereiches zu vergrößern, welcher feucht ist, um dadurch die Fähigkeit der Mikroheizvorrichtung zu erhöhen, für die erforderliche Verdampfung zu sorgen. Bei der herkömmlichen Struktur ist die Verdampfung auf die Ränder des Heizvorrichtungsbereiches begrenzt, nachdem sich die Blase zu bilden beginnt. Die Stabilität der Blase wird erhöht, indem die Flüssigkeit zu dem Heizvorrichtungsbereich hin gesogen wird, um eine Verdampfung auf einer größeren Fläche zu bewirken. Die Kühlrippen **116** fördern die Wärmeableitung, wenn die Mikroheizvorrichtung ausgeschaltet ist.

**[0041]** Als eine Option kann die dünne Schicht **114**,

welche so gestaltet ist, daß sie Kapillarkräfte hervorruft, aus Gold hergestellt werden. Die Goldschicht kann durch Galvanisieren auf die dielektrische Schicht **112** aufgebracht und danach unter Anwendung herkömmlicher fotolithografischer Verfahren geätzt werden. Es können jedoch auch andere Materialien und andere Vorgehensweisen zur Abscheidung und Strukturierung angewendet werden.

## Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung eines optischen Schalters mit einer Mikroheizvorrichtung (**68**) in einer Wärmetransferbeziehung mit einem eine Flüssigkeit enthaltenden Graben (**50**), der von zumindest zwei optischen Wellenleiterabschnitten (**42**, **44**, **46**, **48**) gekreuzt wird, wobei der optische Schalter einen transmissiven Zustand aufweist, in dem sich eine Flüssigkeit an einer Grenzfläche zwischen dem Graben und den optischen Wellenleiterabschnitten befindet, und der optische Schalter einen reflektiven Zustand aufweist, in dem sich eine Blase (**52**) an der Grenzfläche befindet, wobei das Verfahren die Schritte umfaßt: Bereitstellen eines Wellenleitersubstrats (**54**) und eines Heizvorrichtungssubstrats (**56**); Ausbilden des Grabens (**50**) und der optischen Wellenleiterabschnitte (**42**, **44**, **46**, **48**) im Wellenleitersubstrat (**54**); Ausbilden der Mikroheizvorrichtung auf dem Heizvorrichtungssubstrat (**56**); und Verbinden des Wellenleitersubstrats mit dem Heizvorrichtungssubstrat, so daß zwischen dem Wellenleitersubstrat und dem Heizvorrichtungssubstrat neben dem Graben ein Abstand (**58**) vorhanden ist, gekennzeichnet durch Ausbilden erhöhter Barrieren (**60**, **62**, **64**, **66**; **70**, **72**, **74**, **76**, **78**; **86**, **88**) auf zumindest entweder dem Wellenleitersubstrat oder dem Heizvorrichtungssubstrat, um ein Entweichen der Blase aus dem Graben, wenn sich der optische Schalter im reflektiven Zustand befindet, durch Steuern von zumindest der Position oder der Geometrie der Blase im Verhältnis zum Graben und dem Abstand zu steuern.

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei das Ausbilden der erhöhten Barrieren (**60** und **62**) ein Bereitstellen von Material an Positionen neben dem Graben umfaßt, wenn das Wellenleitersubstrat und das Heizvorrichtungssubstrat (**54** und **56**) zueinander ausgerichtet sind.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, wobei die Mikroheizvorrichtung (**68**) auf dem Heizvorrichtungssubstrat (**56**) ausgebildet wird und die erhöhten Barrieren als topologische Merkmale (**86** und **88**) an Positionen für eine Kontaktgrenzlinie mit der Blase (**52**) ausgebildet werden.

4. Verfahren nach Anspruch 3, wobei die Erzeugung der topologischen Merkmale ein Strukturieren einer dielektrischen Schicht (**84**) auf dem Heizvorrichtungssubstrat (**56**) umfaßt.

5. Verfahren nach Anspruch 3 oder 4, wobei die Erzeugung der topologischen Merkmale ein Ausbilden von erhöhten Bereichen (**86** und **88**) mit Positionen umfaßt, die auf Orten der Kontaktgrenzlinie basieren, wobei die erhöhten Bereiche aus einem Material ausgebildet sind, das eine deutlich geringere thermische Leitfähigkeit aufweist als die Mikroheizvorrichtung (**68**).

6. Optischer Schalter, umfassend:  
 ein Wellenleitersubstrat (**54**) mit zumindest zwei Wellenleiterabschnitten (**42, 44, 46, 48**) auf einer ersten Oberfläche, umfassend einen ersten Wellenleiterabschnitt, der einen Graben (**50**) im Wellenleitersubstrat kreuzt, wobei der Graben eine Flüssigkeit mit einem Brechungsindex aufweist, so daß sich Licht vom ersten Wellenleiterabschnitt ausbreitet, wenn sich die Flüssigkeit an einer Grenzfläche zwischen dem ersten Wellenleiterabschnitt und dem Graben befindet;  
 ein Heizvorrichtungssubstrat (**56**), auf dem eine so angeordnete Heizvorrichtung (**68**) ausgebildet ist, daß die Flüssigkeit im Graben zur Ausbildung einer Blase (**52**) ausreichend erwärmt wird, wobei die Blase Raum hat, um sich longitudinal im Graben auszu dehnen;  
 einen Abstand (**58**) zwischen dem Wellenleitersubstrat und dem Heizvorrichtungssubstrat neben dem Graben, in dem die Blase Raum zur seitlichen Ausdehnung vom Graben hat, dadurch gekennzeichnet, daß erhöhte Barrieren (**60, 62, 64, 66; 70, 72, 74, 76, 78; 86, 88**) für die seitliche Ausdehnung oder Bewegung der Blase (**52**) in den Abstand zumindest entweder auf dem Wellenleitersubstrat oder dem Heizvorrichtungssubstrat vorgesehen sind, wobei die erhöhten Barrieren eine seitliche Ausdehnung oder Bewegung der Blase vom Graben zulassen, während damit die seitliche Ausdehnung oder Bewegung über die erhöhten Barrieren hinaus kontrolliert wird, wodurch eine Stabilität bezüglich des Haltens der Blase an der Grenzfläche bei einer Aktivierung der Heizvorrichtung gewährleistet ist.

Es folgen 10 Blatt Zeichnungen



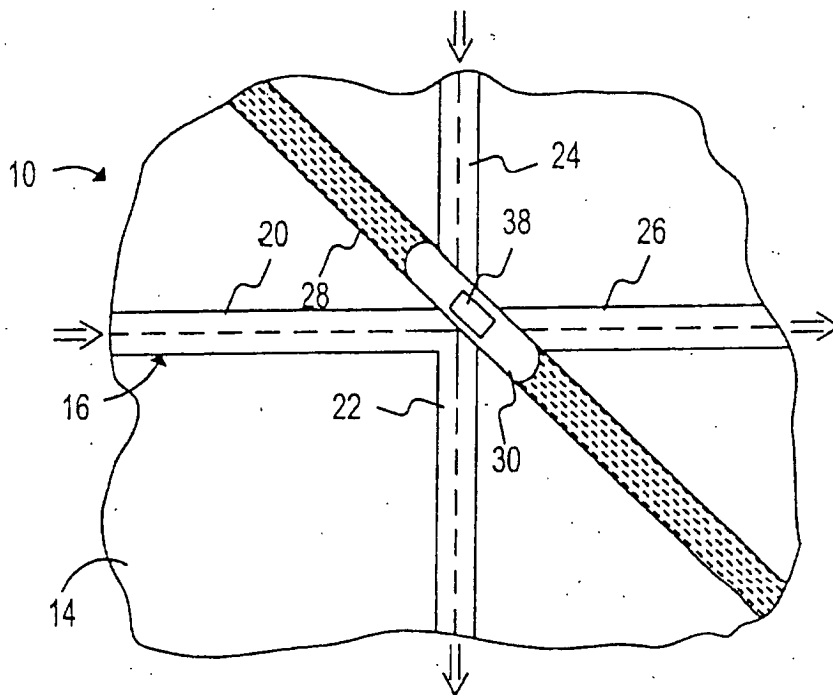


FIG. 1

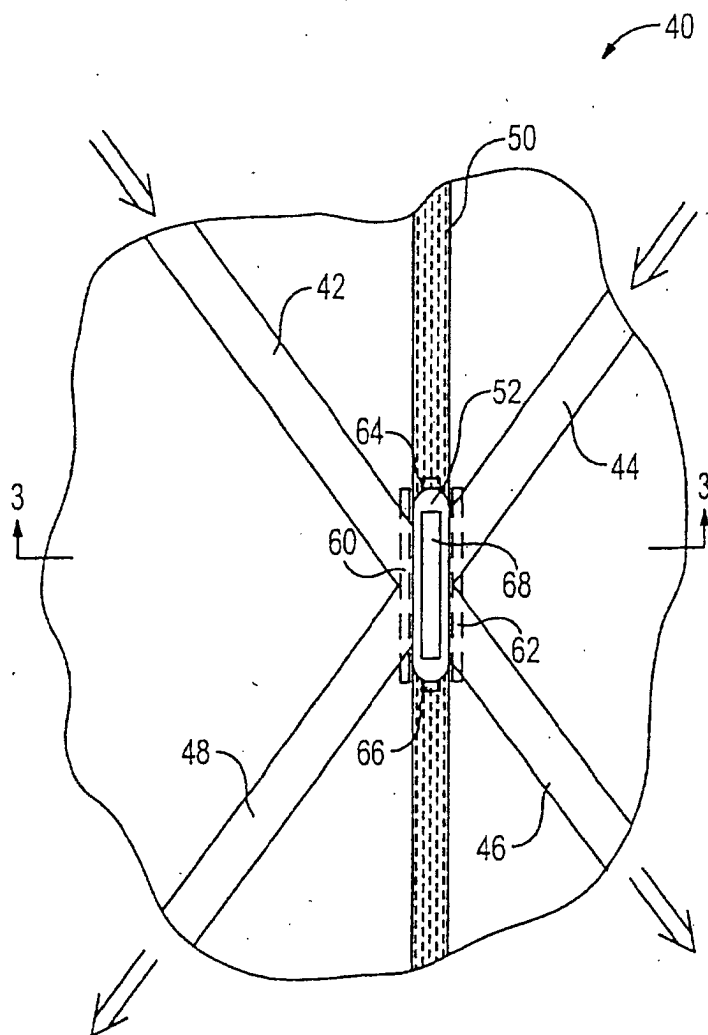


FIG. 2

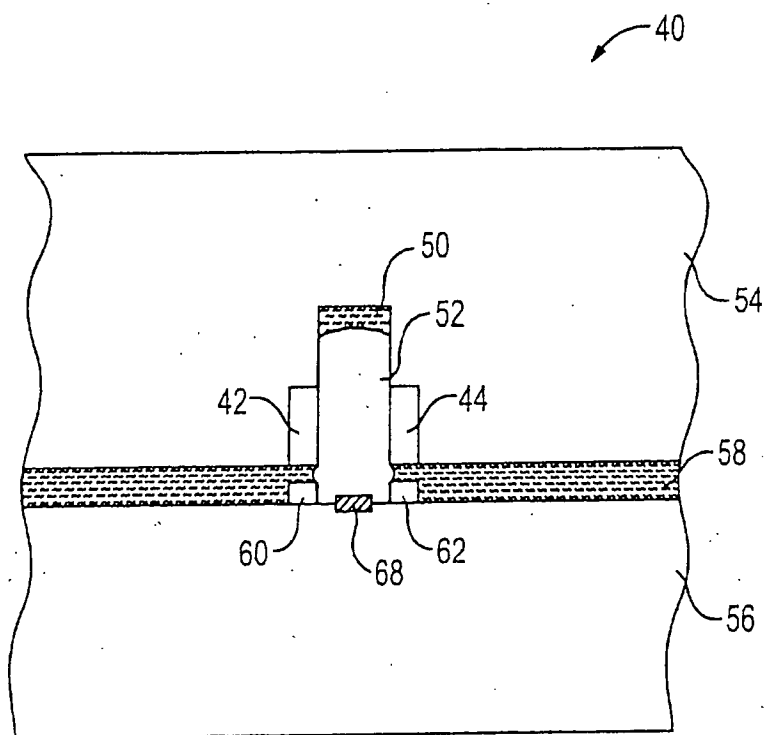


FIG. 3

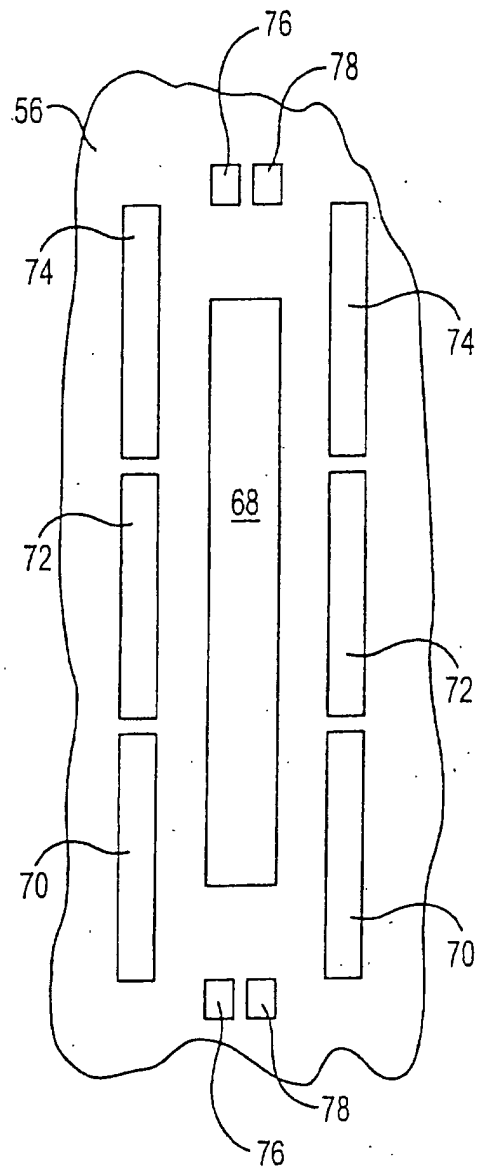


FIG. 4

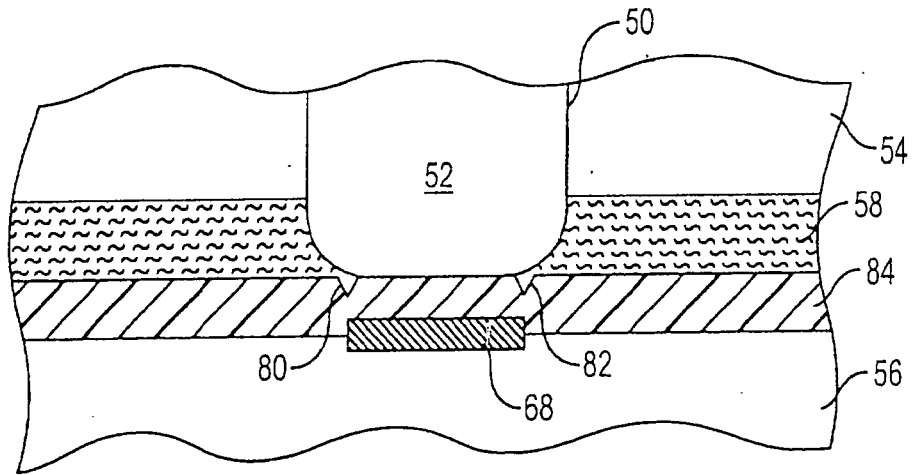


FIG. 5

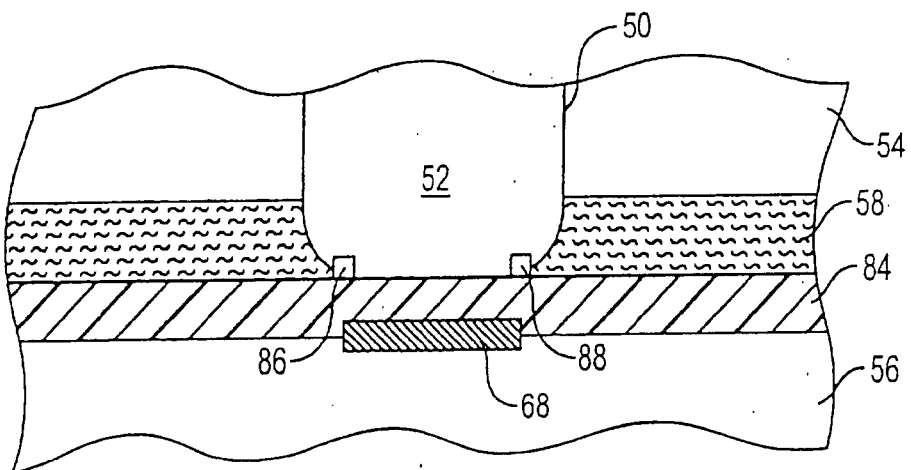


FIG. 6



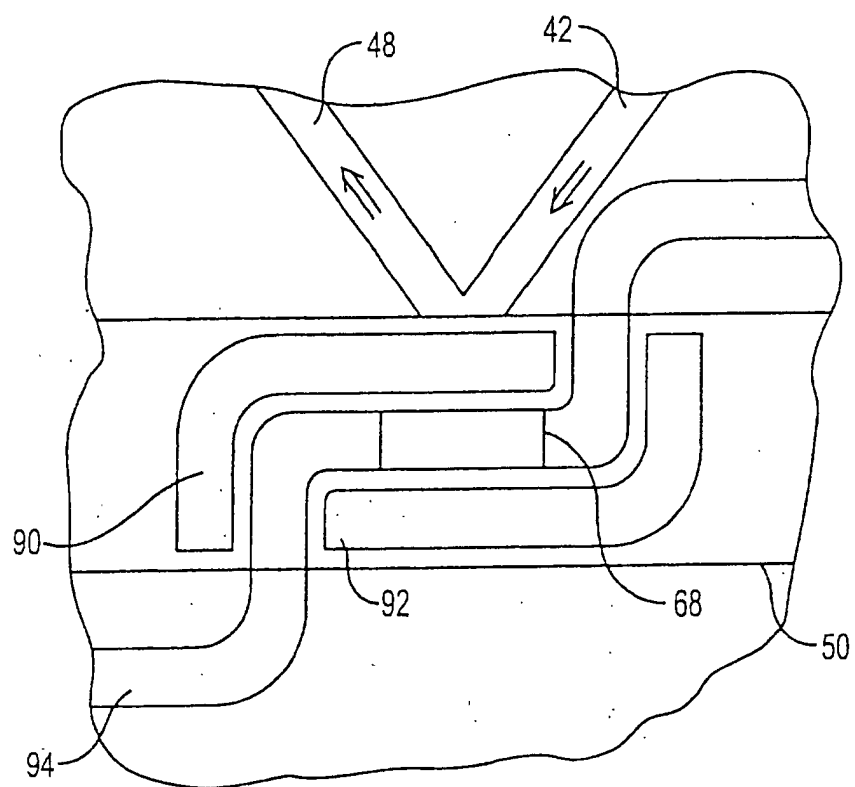


FIG. 7

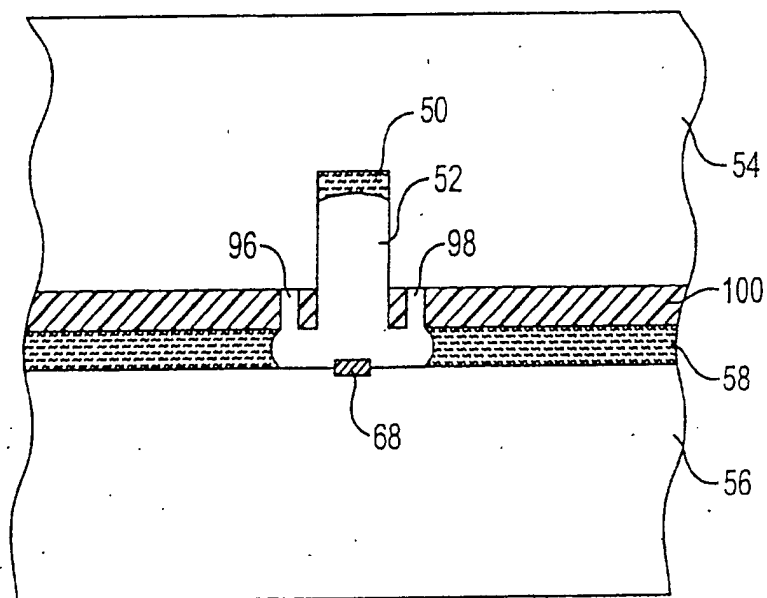


FIG. 8

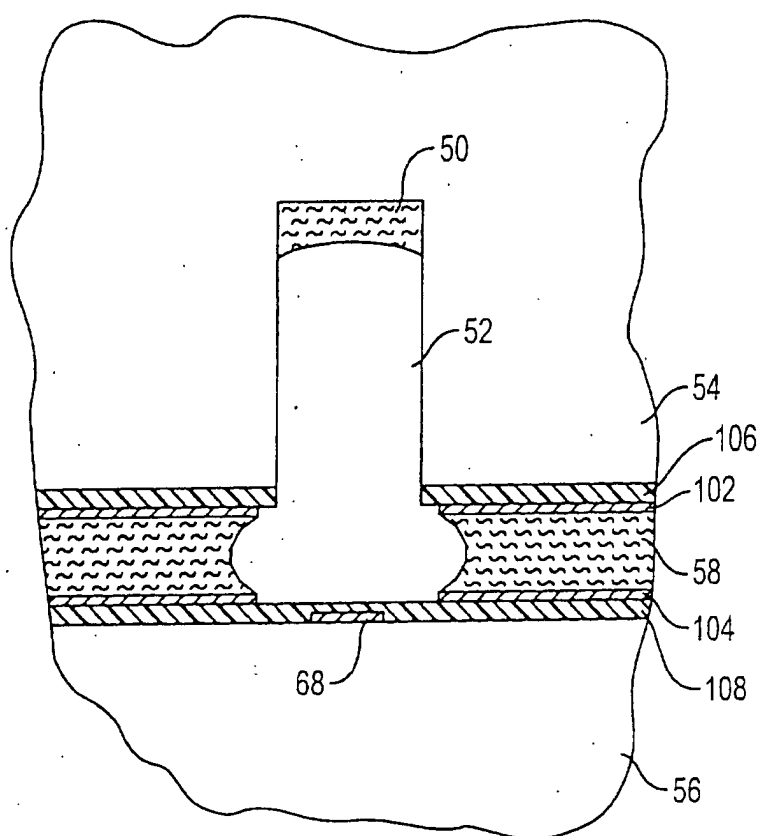


FIG. 9

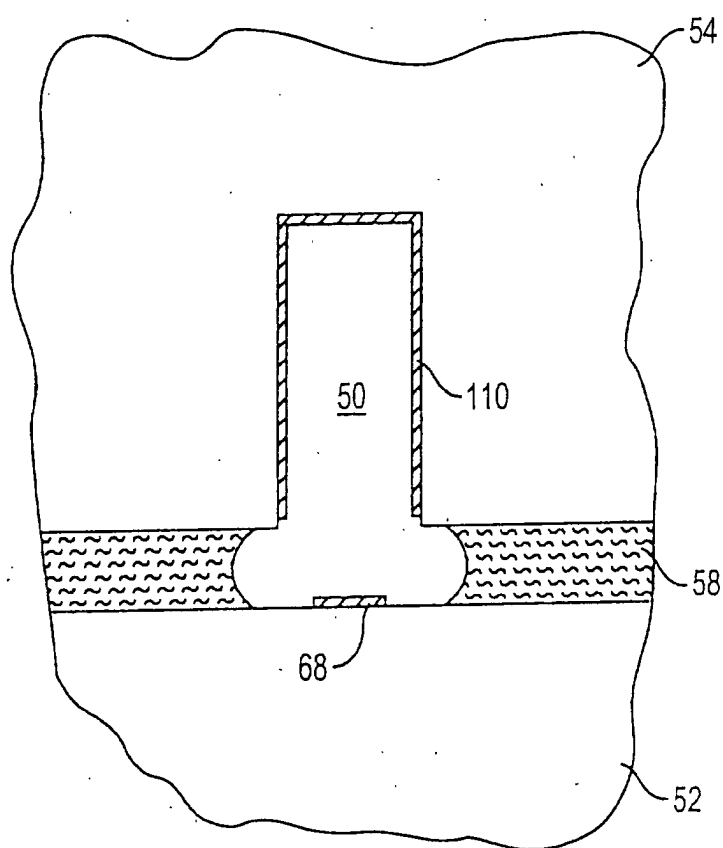


FIG. 10

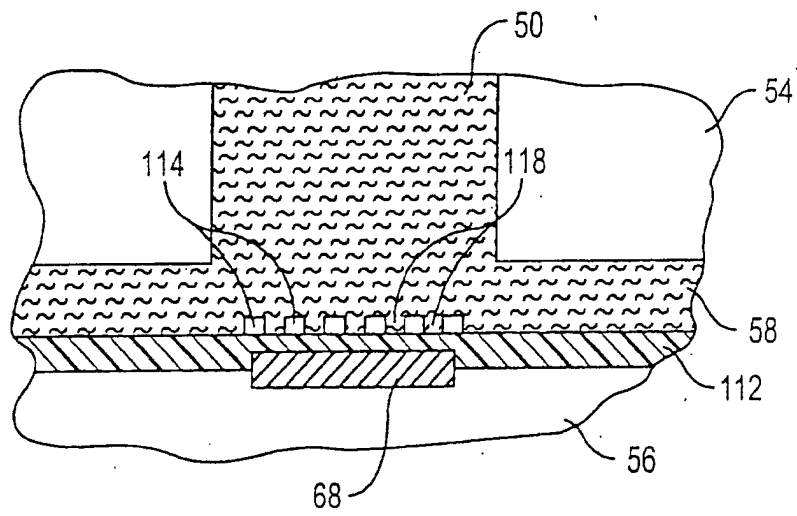


FIG. 11

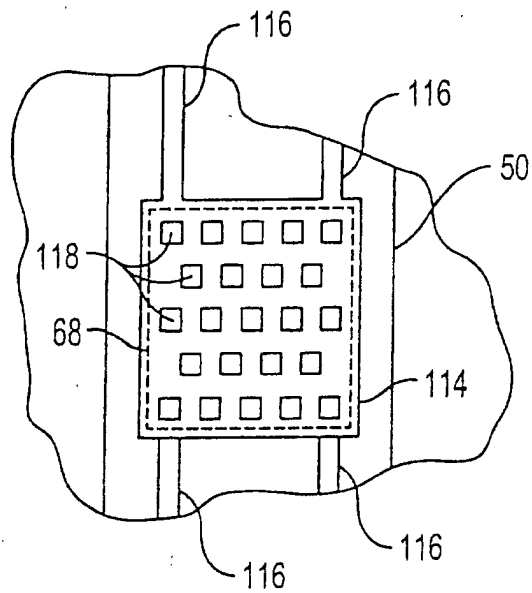


FIG. 12