



(19)  
Bundesrepublik Deutschland  
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 103 59 689 B4** 2005.10.13

(12)

## Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **103 59 689.5**  
(22) Anmeldetag: **18.12.2003**  
(43) Offenlegungstag: **25.11.2004**  
(45) Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: **13.10.2005**

(51) Int Cl.<sup>7</sup>: **G02B 6/35**

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

(30) Unionspriorität:  
**10/413,328 14.04.2003 US**

(73) Patentinhaber:  
**Agilent Technologies, Inc. (n.d.Ges.d.Staates  
Delaware), Palo Alto, Calif., US**

(74) Vertreter:  
**Schoppe, Zimmermann, Stöckeler & Zinkler, 82049  
Pullach**

(72) Erfinder:  
**Wong, Marvin Glenn, Woodland Park, Col., US**

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht  
gezogene Druckschriften:  
**US 64 87 333 B2**  
**US 64 70 106 B2**  
**US 65 15 404 B1**

(54) Bezeichnung: **Biegemodus-Flüssigmetallschalter**

(57) Hauptanspruch: Piezoelektrisches optisches Relais mit folgenden Merkmalen:

einem Relaisgehäuse (100), das einen Schaltkanal (128) enthält;

einer ersten (156) und einer zweiten (134) Kontaktanschlußfläche, die sich in dem Schaltkanal (128) befinden und jeweils eine durch ein Flüssigmetall benetzbare Oberfläche aufweisen;

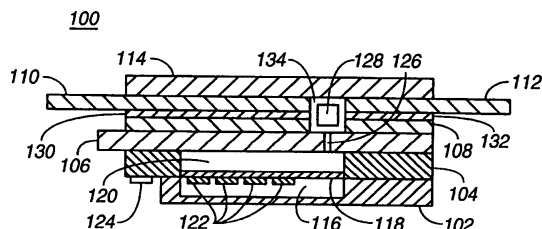
einer dritten Kontaktanschlußfläche (154), die sich in dem Schaltkanal zwischen der ersten und der zweiten Kontaktanschlußfläche befindet und eine durch ein Flüssigmetall benetzbare Oberfläche aufweist;

einem ersten Flüssigmetalltröpfchen (152), das in einem benetzten Kontakt zu der ersten Kontaktanschlußfläche (156) steht;

einem zweiten Flüssigmetalltröpfchen (150), das in einem benetzten Kontakt zu der zweiten Kontaktanschlußfläche (134) steht;

einem dritten Flüssigmetalltröpfchen (148), das in einem benetzten Kontakt zu der dritten Kontaktanschlußfläche (154) steht und angepaßt ist, um sich innerhalb des Schaltkanals zu bewegen, um sich mit einem des ersten Flüssigmetalltröpfchens und des zweiten Flüssigmetalltröpfchens zu vereinigen;

einem ersten optischen Pfad, der durch den Schaltkanal zwischen dem ersten...



## Beschreibung

**[0001]** Diese Erfindung bezieht sich auf das Gebiet eines Schaltens von Relais und insbesondere auf ein piezoelektrisch betätigtes Relais, das mittels Flüssigkeitsoberflächenspannung verriegelt.

### Stand der Technik

**[0002]** Kommunikationssysteme, die optische Signale verwenden, erfordern die Verwendung optischer Schalter und Router. Ein früherer Ansatz zum optischen Schalten bestand darin, das optische Signal in ein elektrisches Signal umzuwandeln, einen elektrischen Schalter oder Router zu verwenden und dasselbe dann wieder in ein optisches Signal umzuwandeln. In jüngerer Zeit werden optische Relais verwendet, bei denen ein elektrisches Steuerungssignal verwendet wird, um das Schalten oder Routen eines optischen Signals zu steuern. Optische Relais schalten üblicherweise optische Signale durch ein Verwenden bewegbarer fester Spiegel oder durch ein Verwenden der Erzeugung von Dampfblasen, um den Brechungsindex im Inneren eines Hohlraums zu verändern. Die bewegbaren Spiegel können elektrostatische Verriegelungsmechanismen verwenden, wohingegen Blasenschalter nicht verriegeln. Piezoelektrische Verriegelungsrelais verwenden entweder Restladungen in dem piezoelektrischen Material zum Verriegeln oder betätigten Schaltkontakte, die einen Verriegelungsmechanismus enthalten.

**[0003]** Flüssigmetall wird ebenso in elektrischen Relais verwendet. Ein Flüssigmetalltröpfchen kann durch eine Vielzahl von Techniken bewegt werden, einschließlich durch elektrostatische Kräfte, eine variable Geometrie aufgrund einer thermischen Ausdehnung/Kontraktion und Druckgradienten. Wenn die Abmessung von Interesse abnimmt, wird die Oberflächenspannung des Flüssigmetalls die dominierende Kraft gegenüber anderen Kräften, wie zum Beispiel Körperkräften (Trägheit).

**[0004]** Folglich verwenden einige mikro-elektromechanische (MEM-) Systeme ein Flüssigmetallschalten.

**[0005]** Die US 6,470,106 B2 beschreibt eine optische Umschaltzelle zum Steuern des Durchlasses von Licht durch optische Kanäle. Eine Schaltzelle ist vorgesehen, die ein Arbeitsfluid enthält, sowie eine Menge an Lichtleitmaterial, welches mit dem Arbeitsfluid nicht mischbar ist. Über Mikroheizer werden Druckpulse in dem Arbeitsfluid erzeugt, um das lichtleitende Material zwischen verschiedenen Schaltzuständen zu bewegen.

**[0006]** Die US 6,515,404 B1 beschreibt einen elektrischen Schalter, der ein Flüssigmetall zum Erzeugen einer Verbindung verwendet. Eine Mehrzahl von

piezoelektrischen Elementen sind vorgesehen, um in einem Paar von Fluidkammern einen Druckunterschied zu erzeugen. Die piezoelektrischen Elemente wirken auf eine Membran, die ihrerseits auf ein Fluid einwirkt, das die Kammern befüllt. Der Druckunterschied bewirkt, dass ein Flüssigmetalltröpfchen die Oberflächenspannung überwindet, die diesen in Kontakt mit einer Kontaktanschlussfläche hält, so dass dieser zu einer weiteren Anschlussfläche bewegt werden kann.

**[0007]** Die US 6,487,333 B2 zeigt einen optischen Schalter, der ein Substrat, eine planare Wellenleiterschaltung, eine Indexangepasste Flüssigkeit, eine Arbeitsflüssigkeit und eine Einrichtung zum Erzielen einer Verschiebung umfasst. Die planare Wellenleiterschaltung wird durch das Substrat getragen. Die planare Wellenleiterschaltung und das Substrat bilden zusammen einen Graben, der einen ersten Grabenbereich und einen zweiten Grabenbereich aufweist, wobei der zweite Bereich dem ersten Bereich benachbart ist. Der zweite Grabenbereich hat eine Breite, die größer ist als die Breite des ersten Grabenbereichs. Die planare Wellenleiterschaltung umfasst einen ersten Wellenleiter und einen zweiten Wellenleiter. Die Wellenleiter schneiden sich in dem ersten Grabenbereich und sind so angeordnet, dass Licht, das den ersten Wellenleiter durchläuft, in den zweiten Wellenleiter übergeht, wenn ein Indexangepasstes Material in dem ersten Grabenbereich vorhanden ist. Andernfalls wird das Licht durch den ersten Grabenbereich reflektiert. Die Indexangepasste Flüssigkeit befindet sich in zumindest einem Teil des ersten Grabenbereichs. Die Arbeitsflüssigkeit befindet sich in dem zweiten Grabenbereich. Die Einrichtung zur Erzielung einer Verschiebung ist mit dem zweiten Grabenbereich gekoppelt, und ist ausgelegt, um einen Teil der Arbeitsflüssigkeit in dem ersten Grabenbereich zu bewegen, um die Indexangepasste Flüssigkeit zwischen die Wellenleiter einzubringen.

### Aufgabenstellung

**[0008]** Es ist die Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein piezoelektrisches Relais mit verbesserten Charakteristika oder ein verbessertes Schaltverfahren zu schaffen.

**[0009]** Diese Aufgabe wird durch ein piezoelektrisches Relais gemäß Anspruch 1 oder durch ein Verfahren gemäß Anspruch 12 gelöst.

**[0010]** Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf einen Schalter, in dem ein Flüssigmetalltröpfchen innerhalb eines Kanals bewegt und verwendet wird, um einen Signalpfad, der durch den Kanal verläuft, zu blockieren oder zu entsperren. Das Flüssigmetalltröpfchen wird durch piezoelektrische Elemente bewegt, die auf eine Membran wirken, um eine Druckveränderung in dem Kanal zu erzeugen. Das Flüssig-

metalltröpfchen haftet an benetzbaren Metallkontaktanschlußflächen innerhalb des Kanals, um einen Verriegelungsmechanismus bereitzustellen.

#### Ausführungsbeispiel

**[0011]** Bevorzugte Ausführungsbeispiele der vorliegenden Erfindung werden nachfolgend Bezug nehmend auf die beigefügten Zeichnungen näher erläutert, wobei gleiche Bezugszeichen verwendet werden, um die gleichen, ähnliche oder entsprechende Teile in den mehreren Ansichten der Zeichnungen zu beschreiben. Es zeigen:

**[0012]** [Fig. 1](#) eine Endansicht eines optischen Relais in Übereinstimmung mit bestimmten Ausführungsbeispielen der vorliegenden Erfindung;

**[0013]** [Fig. 2](#) eine Schnittansicht eines optischen Relais in Übereinstimmung mit bestimmten Ausführungsbeispielen der vorliegenden Erfindung;

**[0014]** [Fig. 3](#) eine Draufsicht eines optischen Relais, dessen obere Abdeckungsschicht entfernt ist, in Übereinstimmung mit bestimmten Ausführungsbeispielen der vorliegenden Erfindung;

**[0015]** [Fig. 4](#) eine weitere Draufsicht eines optischen Relais, dessen obere Abdeckungsschicht entfernt ist, in Übereinstimmung mit bestimmten Ausführungsbeispielen der vorliegenden Erfindung;

**[0016]** [Fig. 5](#) eine Draufsicht einer unteren Abdeckungsschicht eines optischen Relais in Übereinstimmung mit bestimmten Ausführungsbeispielen der vorliegenden Erfindung;

**[0017]** [Fig. 6](#) eine Schnittansicht durch eine untere Abdeckungsschicht eines optischen Relais in Übereinstimmung mit bestimmten Ausführungsbeispielen der vorliegenden Erfindung;

**[0018]** [Fig. 7](#) eine Draufsicht einer Pumpkammerschicht eines optischen Relais in Übereinstimmung mit bestimmten Ausführungsbeispielen der vorliegenden Erfindung;

**[0019]** [Fig. 8](#) eine Unteransicht einer Pumpkammerschicht eines optischen Relais in Übereinstimmung mit bestimmten Ausführungsbeispielen der vorliegenden Erfindung;

**[0020]** [Fig. 9](#) eine Schnittansicht durch eine Pumpkammerschicht eines optischen Relais in Übereinstimmung mit bestimmten Ausführungsbeispielen der vorliegenden Erfindung;

**[0021]** [Fig. 10](#) eine Draufsicht einer Durchgangsschicht eines optischen Relais in Übereinstimmung mit bestimmten Ausführungsbeispielen der

vorliegenden Erfindung;

**[0022]** [Fig. 11](#) eine Schnittansicht durch eine Durchgangsschicht eines optischen Relais in Übereinstimmung mit bestimmten Ausführungsbeispielen der vorliegenden Erfindung;

**[0023]** [Fig. 12](#) eine Draufsicht einer Schaltschicht eines optischen Relais in Übereinstimmung mit bestimmten Ausführungsbeispielen der vorliegenden Erfindung;

**[0024]** [Fig. 13](#) eine Seitenansicht einer Schaltschicht eines optischen Relais in Übereinstimmung mit bestimmten Ausführungsbeispielen der vorliegenden Erfindung; und

**[0025]** [Fig. 14](#) eine Unteransicht einer oberen Abdeckungsschicht eines optischen Relais in Übereinstimmung mit bestimmten Ausführungsbeispielen der vorliegenden Erfindung.

**[0026]** Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf ein piezoelektrisch betätigtes Relais, das mittels eines Flüssigmetalltröpfchens, das sich innerhalb eines Schaltkanals bewegt, schaltet und verriegelt. Bei einem exemplarischen Ausführungsbeispiel verwendet das Relais piezoelektrische Elemente, die in einem Biegemodus arbeiten, um eine Membran zu verformen und ein Betätigungsfluid zu verschieben, das wiederum das Flüssigmetall verschiebt. Magnetorestriktive Elemente, wie zum Beispiel Terfenol-D, die das Vorliegen eines Magnetfeldes verformen, können als eine Alternative zu piezoelektrischen Elementen verwendet werden. Im folgenden werden piezoelektrische Elemente und magnetorestriktive Elemente kollektiv als „piezoelektrische Elemente“ bezeichnet.

**[0027]** Das Flüssigmetall blockiert oder entsperrt einen optischen Pfad, was das Schalten optischer Signale erlaubt. Das Flüssigmetall, das Quecksilber sein kann, benetzt zumindest eine feste Kontaktanschlußfläche an dem Relaisgehäuse und wird durch Oberflächenspannung an seinem Ort gehalten. Es wird darauf verwiesen, das ein Schalten eines oder mehrerer elektrischer Signale ebenso möglich ist, wobei das Schalten des einen oder der mehreren elektrischen Signale durch ein Koppeln des einen oder der mehreren elektrischen Signale mit einer oder mehreren Kontaktanschlußflächen erzielt werden kann. Die Flüssigmetallkopplung zu zwei der einen oder mehreren Kontaktanschlußflächen kann verwendet werden, um wirksam ein elektrisches Signal des einen oder der mehreren elektrischen Signale auszuwählen. Das Schalten des einen oder der mehreren elektrischen Signale und das Schalten der optischen Signale kann durch die Verwendung eines Festkörperteils bzw. Pfropfens (typischerweise metallisch), das/der mit dem Flüssigmetall gekoppelt ist, ermög-

licht werden. Bei einem exemplarischen Ausführungsbeispiel eines Schaltens des einen oder der mehreren elektrischen Signale sind das Festkörperteil und das Flüssigmetall mit zweien der einen oder mehreren Kontaktanschlußflächen gekoppelt, so daß ein elektrischer Signalpfad geschlossen wird, der betreibbar ist, um ein elektrisches Signal des einen oder der mehreren elektrischen Signals zu schalten. Bei einem exemplarischen Ausführungsbeispiel eines Schaltens des einen oder der mehreren optischen Signale sind das Festkörperteil und das Flüssigmetall betreibbar, um eines oder mehrere der optischen Signale zu blockieren oder zu entsperren.

**[0028]** Bei einem Ausführungsbeispiel werden Mikrobearbeitungstechniken zur Herstellung des Relais verwendet. Eine Endansicht eines optischen Relais **100** ist in [Fig. 1](#) gezeigt. Bei diesem Ausführungsbeispiel besteht der Körper des Relais aus sechs Schichten und ist zugänglich für eine Herstellung durch Mikrobearbeitung. Die unterste Schicht ist eine untere Abdeckungsschicht **102**, die ein Reservoir mit einem Betätigungsfluid enthält. Die nächste Schicht ist eine Pumpkammerschicht **104**, die die Membranen und Pumpkammern der piezoelektrischen Pumpen beinhaltet. Die nächste Schicht ist eine Durchgangslochschiicht **106**, die Leitungen (Durchgangslöcher) enthält, die die Pumpenkammern mit dem Schaltkanal koppeln. Ein Schalten des optischen Signals tritt in einem Schaltkanal auf, der in der Schaltschicht **108** enthalten ist. In einem ersten Betriebsmodus tritt ein optisches Signal durch eine optische Faser oder einen Wellenleiter **110** in das Relais ein und tritt, wenn es in dem Relais blockiert wird, durch eine optische Faser oder einen Wellenleiter **112** wieder aus. Die letzte Schicht ist eine obere Abdeckungsschicht **114**.

**[0029]** [Fig. 2](#) ist eine Schnittansicht des Relais aus [Fig. 1](#). Dieser Schnitt ist in [Fig. 3](#) als **2-2** bezeichnet. Die unterste Schicht ist eine untere Abdeckungsschicht **102**, die ein Reservoir eines Betätigungsfluides enthält. Es kann ein Reservoir für jede Pumpe geben. Die nächste Schicht ist die Pumpkammerschicht **104**, die die flexible Membran **118** und Pumpkammer **120** der elektrischen Pumpe beinhaltet. In Betrieb wird die Membran **118** durch zumindest ein piezoelektrisches Element **122** verformt, das an der Membran angebracht ist und in einem Biegemodus arbeitet. Die piezoelektrischen Elemente können an einer oder beiden Seiten der Membran angebracht sein. Elektrische Kontaktanschlußflächen **124** ermöglichen es, daß Steuerungssignale mit den piezoelektrischen Elementen gekoppelt werden können. Die nächste Schicht ist die Durchgangslochschiicht **106**, die Leitungen **126** enthält, die die Pumpkammer **120** mit dem Schaltkanal **128** (in der Schaltschicht **108** enthalten) koppeln. In dem ersten Betriebsmodus tritt ein optisches Signal durch eine optische Faser oder einen Wellenleiter **110** in das Relais ein und

tritt, wenn es in dem Relais nicht blockiert wird, durch eine optische Faser oder einen Wellenleiter **112** aus. Der optische Wellenleiter **110** ist in eine Einkerbung **130** in der Schaltschicht **108** eingebettet. Der optische Wellenleiter **112** ist in eine Einkerbung **132** in der Schaltschicht **108** eingebettet. Benetzbare Kontaktanschlußflächen **134** sind an der Innenseite des Schaltkanals **128** befestigt. Die Kontaktanschlußflächen können aus einem Abdichtungsriemenmetall hergestellt sein. Jede hergestellte Anschlußfläche kann in vier Stücken hergestellt sein. Einer unteren Anschlußfläche, die mit der Oberseite der Durchgangslochschiicht verbunden ist, zwei Seitenanschlußflächen, die an den Seiten des Schaltkanals in der Schaltschicht angebracht sind, und einer oberen Anschlußfläche, die an der unteren Oberfläche der oberen Abdeckungsschiicht angebracht ist. Das zum Schalten verwendete Flüssigmetall wird durch Oberflächenspannung in Kontakt mit diesen Anschlußflächen gehalten. Bei bestimmten Ausführungsbeispielen der vorliegenden Erfindung kann der optische Pfad durch das Vorliegen des Festkörperteils, das mit dem Flüssigmetall gekoppelt ist, unterbrochen werden. In einem zweiten Betriebsmodus wird ein elektrisches Signal mit zweien der Kontaktanschlußflächen gekoppelt, wobei die beiden Kontaktanschlußflächen durch das Flüssigmetall gekoppelt sind. In einem dritten Betriebsmodus wird das Festkörperteil mit den beiden Kontaktanschlußflächen gekoppelt und ferner mit dem Flüssigmetall gekoppelt. In dem zweiten und dritten Betriebsmodus müssen die optischen Wellenleiter nicht vorhanden sein, da ein Schalten unter Verwendung von Flüssigmetall erzielt werden kann, das zu den Kontaktanschlußflächen koppelt. In einem vierten Betriebsmodus ist das Festkörperteil betreibbar, um das optische Signal zu blockieren oder zu entsperren. Die letzte Schicht ist eine obere Abdeckungsschiicht **114**, die eine Abdeckung für den Schaltkanal liefert.

**[0030]** Eine Ansicht des optischen Relais, dessen obere Abdeckungsschiicht entfernt ist, ist in [Fig. 3](#) gezeigt. Die Schaltschicht **108** ist oberhalb der Durchgangslochschiicht **106** positioniert. Ein optischer Wellenleiter **110**, eingebettet in eine Einkerbung **130** in der Schaltschicht **108**, ist optisch mit dem optischen Wellenleiter **112** (in eine Einkerbung **132** eingebettet) ausgerichtet. Damit Licht zwischen den Wellenleitern **110** und **112** gekoppelt wird, muß dasselbe durch das transparente Betätigungsfluid in dem Schaltkanal **128** gelangen. Ein optischer Wellenleiter **140**, eingebettet in eine Einkerbung **142** in der Schaltschicht **108**, ist optisch mit dem optischen Wellenleiter **144** (in eine Einkerbung **146** eingebettet) ausgerichtet. Ein mittleres Tröpfchen eines Flüssigmetalls **148** ist innerhalb des Schaltkanals **128** positioniert und wird in einem benetzten Kontakt zu der Kontaktanschlußfläche **154** gehalten. Bei einem exemplarischen Ausführungsbeispiel ist das Flüssigmetall Quecksilber. Das mittlere Flüssigmetalltröpfchen **148** kann bewegt

werden, um sich mit einem der weiteren Flüssigmetalltröpfchen **150** und **152** zu vereinigen. Die Flüssigmetalltröpfchen **150** und **152** stehen in einem benetzten Kontakt zu den Kontaktanschlußflächen **134** bzw. **156**. Das Gesamtvolumen an Flüssigmetall ist so ausgewählt, daß sich nur zwei Volumina zu einem Zeitpunkt vereinigen. Die Kontaktanschlußflächen können zum Beispiel aus einem Abdichtriemenmetall hergestellt sein. Jeder Riemen besteht aus vier Elementen, wobei zwei an der Schaltschicht **108** angebracht sind, eine an der Oberseite der Durchgangslochschicht **106** angebracht ist und eines an der Unterseite der oberen Abdeckungsschicht **114** angebracht ist. Eine Oberflächenspannung in den Flüssigmetalltröpfchen widersteht einer Bewegung der Flüssigkeit. Wenn sich die Flüssigmetalltröpfchen **148** und **152** vereinigen, wie in [Fig. 3](#) gezeigt ist, gibt es keinen Zwischenraum zwischen den Tröpfchen, durch den Licht gelangen kann, so daß der optische Pfad zwischen den Wellenleitern **140** und **144** blockiert ist. Licht kann jedoch durch den Zwischenraum zwischen den Flüssigmetalltröpfchen **148** und **150** gelangen, so daß der optische Pfad zwischen den Wellenleitern **110** und **112** offen ist. Der Schnitt **2-2** ist in [Fig. 2](#) gezeigt und oben beschrieben. Es wird angemerkt, daß bei bestimmten Ausführungsbeispielen der vorliegenden Erfindung das Festkörperteil mit den Flüssigmetalltröpfchen gekoppelt sein kann, so daß die Flüssigmetalltröpfchen und das Festkörperteil verwendet werden können, um einen Lichtdurchlaß zwischen den optischen Wellenleitern zu blockieren oder zu entsperren. Es wird weiter darauf verwiesen, daß die Kontaktanschlußflächen verwendet werden können, um elektrische Signale zu schalten, wobei die elektrischen Signale basierend auf einer Position der Flüssigmetalltröpfchen geschaltet werden.

**[0031]** Eine Bewegung der Flüssigmetalltröpfchen wird durch ein transparentes, träges, elektrisch nicht leitfähiges Betätigungsfluid gesteuert, das das Innere des Relais um die Flüssigmetalltröpfchen herum füllt. Das Betätigungsfluid wird durch Durchgangslöcher oder Leitungen, die zwischen den Kontaktanschlußflächen positioniert sind, in den Schaltkanal **128** oder aus demselben heraus gepumpt. Das mittlere Tröpfchen aus Flüssigmetall **148** kann von dem Tröpfchen **152** durch ein Pumpen von Betätigungsfluid durch die Leitung **158** in den Schaltkanal, wie in [Fig. 4](#) gezeigt ist, getrennt werden. Wahlweise kann Fluid gleichzeitig durch das Durchgangsloch **126** (in [Fig. 3](#)) aus dem Schaltkanal herausgepumpt werden. Der resultierende Druck bewegt das mittlere Flüssigmetalltröpfchen **148** nach rechts, wie in [Fig. 4](#) gezeigt ist, wo es sich mit dem Tröpfchen **150** vereinigt. Wenn der Druck in dem Betätigungsfluid ausgeglichen ist, bleibt das mittlere Tröpfchen **148** mit dem Tröpfchen **150** aufgrund der Oberflächenspannung in dem Flüssigmetall vereinigt. Die Oberflächenspannung hält außerdem die vereinigten Tröpfchen an den Kontaktanschlußflächen **134** und **154**. Der optische Pfad

zwischen den Wellenleitern **140** und **144** ist nun geöffnet, wohingegen der optische Pfad zwischen den Wellenleitern **110** und **112** durch das Flüssigmetall blockiert ist. Es wird angemerkt, daß bei bestimmten Ausführungsbeispielen das Festkörperteil mit dem Flüssigmetalltröpfchen **148** gekoppelt ist, so daß eine Bewegung des Flüssigmetalltröpfchens **148** auch das Festkörperteil bewegt, so daß das Festkörperteil das Flüssigmetalltröpfchen **148** beim Durchbrechen des Pfades zwischen den optischen Wellenleitern **140** und **144** unterstützt. Es wird ferner angemerkt, daß, wenn die Kontaktanschlußflächen betreibbar sind, um eines oder mehrere elektrische Signale zu schalten, das Festkörperteil und das Flüssigmetalltröpfchen **148** verwendet werden können, um einen elektrischen Pfad zu schließen, der ein elektrisches Signal des einen oder der mehreren elektrischen Signale trägt. Die untere Abdeckungsschicht **102** ist in [Fig. 5](#) gezeigt. Bezug nehmend auf [Fig. 5](#) ist das Betätigungsfluid in Reservoirs **116** und **160** gespeichert. Die Reservoirs können nach einem Zusammenbau des Relais durch Löcher **162** und **164** gefüllt werden. Diese Löcher werden nach einer Füllung der Reservoirs verstopft. [Fig. 6](#) ist eine Schnittansicht der unteren Abdeckungsschicht **102** durch den Schnitt **6-6** aus [Fig. 5](#). Das Reservoir **116** ist in der Schicht gebildet. Die Wand des Reservoirs **116** kann nachgebend sein, um die zum Pumpen von Flüssigkeit in den Schaltkanal erforderliche Kraft zu reduzieren.

**[0032]** [Fig. 7](#) ist eine Draufsicht der Pumpkammerschicht **104** des Relais. Pumpkammern **120** und **165** sind in der Schicht gebildet und teilweise durch flexible Membranen begrenzt. Die Membranen und Kammern können durch ein Dünnen der Schicht **104** in ausgewählten Regionen gebildet werden. Alternativ können die Membranen aus einem separaten Material hergestellt und an der Schicht angebracht sein. Dickere Regionen **168** und **170** sorgen für Druckentlastungsöffnungen **172** und **174**. Die Druckentlastungsöffnungen ermöglichen einen langsamen Ausgleich des Drucks über die Membranen. Die Öffnungen widerstehen einem schnellen Fluidfluß, so daß die Pumpwirkung der Membran nicht beeinträchtigt wird.

**[0033]** [Fig. 8](#) ist eine Unteransicht der Pumpkammerschicht **104** des Relais. Piezoelektrische Elemente **122** sind an den flexiblen Membranen **118** und **166** angebracht. Die piezoelektrischen Elemente verformen sich in einen Biegemodus, wenn eine elektrische Spannung über dieselben angelegt wird. Die resultierende Verformung der Membranen bewegt Betätigungsfluid zwischen der Pumpkammer und dem Schaltkanal. Die elektrischen Steuerungssignale werden über elektrische Kontakte **124**, **176**, **178** und **180** an die piezoelektrischen Elemente angelegt. Die elektrischen Kontakte **124** und **176** steuern die piezoelektrischen Elemente an der Membrane **118**, während die Kontakte **178** und **180** die piezoelektrischen Elemente an der Membran **166** steuern. Der zuge-



ordnete elektrische Schaltungsaufbau ist nicht gezeigt. Die Druckentlastungsöffnungen **172** und **174** verlaufen durch die Schicht.

**[0034]** **Fig. 9** ist eine Schnittansicht durch den Schnitt **9-9** der piezoelektrischen Schicht **104** aus **Fig. 8**. Die Membran **118** bedeckt die Pumpkammer **120**. Piezoelektrische Elemente **122** sind an der Membran angebracht. Eine Verformung der Membran erhöht oder senkt das Volumen der Pumpkammer und bewegt Fluid zwischen der Pumpkammer und dem Schaltkanal. Die beiden piezoelektrischen Pumpen können gemeinsam verwendet werden, wobei eine Pumpe die Pumpkammer zusammenzieht, um Betätigungsflüssigkeit in den Schaltkanal zu drücken, während die andere Pumpe die Pumpkammer erweitert, um Fluid aus dem anderen Ende des Kanals herauszuziehen. Diese Doppelwirkung erhöht die Kraft auf das Flüssigmetall.

**[0035]** **Fig. 10** ist eine Draufsicht der Durchgangslochsicht **106** des Relais. Durchgangslöcher oder Leitungen **126** und **158** erlauben einen Durchgang von Betätigungsfluid von den Pumpkammern durch die Durchgangslochsicht zu dem Schaltkanal. Die untersten Abschnitte der benetzbaren Kontaktanschlusflächen **134**, **154** und **156** sind an der oberen Oberfläche der Schicht gebildet oder an derselben angebracht und werden mit anderen Abschnitten der Anschlusflächen in dem Schaltkanal und auf der oberen Abdeckungsschicht kombiniert.

**[0036]** **Fig. 11** ist eine Schnittansicht durch den Schnitt **11-11** der Durchgangslochsicht **106** aus **Fig. 10**. Das Durchgangsloch **126** verläuft durch die Schicht. Die benetzbare Kontaktanschlusfläche **134** ist an der oberen Oberfläche der Schicht **106** angebracht.

**[0037]** **Fig. 12** ist eine Draufsicht der Schaltschicht **108** des Relais. Ein optischer Wellenleiter **110**, eingebettet in eine Einkerbung **130** in der Schaltschicht **108**, ist optisch mit dem optischen Wellenleiter **112** (in eine Einkerbung **132** eingebettet) ausgerichtet. Ein optischer Wellenleiter **140**, eingebettet in eine Einkerbung **142** in der Schaltschicht **108**, ist optisch mit dem optischen Wellenleiter **144** (in eine Einkerbung **146** eingebettet) ausgerichtet. Abschnitte der benetzbaren Kontaktanschlusflächen **134**, **154** und **156** sind an der Innenseite des Schaltkanals **128** befestigt. Bei bestimmten Ausführungsbeispielen der vorliegenden Erfindung sind die benetzbaren Kontaktanschlusflächen **134**, **154** und **156** betreibbar, um verwendet zu werden, um das eine oder die mehreren elektrischen Signale zu schalten.

**[0038]** Eine Seitenansicht der Schaltschicht **108** ist in **Fig. 13** gezeigt. Die optischen Wellenleiter **110** und **140** sind in dreieckige Einkerbungen **130** und **142** in der oberen Oberfläche der Schicht eingebettet. Die

Verwendung von Einkerbungen erlaubt eine genaue optische Ausrichtung der Wellenleiter während eines Zusammenbaus des Relais.

**[0039]** **Fig. 14** ist eine Unteransicht der oberen Abdeckungsschicht **114** des Relais. Die obersten Abschnitte der benetzbaren Kontaktanschlusflächen **134**, **154** und **156** sind an der unteren Oberfläche der Schicht gebildet oder angebracht und mit anderen Abschnitten in dem Schaltkanal und der Durchgangslochsicht kombiniert.

**[0040]** Das optische Relais der vorliegenden Erfindung kann unter Verwendung von Mikrobearbeitungstechniken für eine kleine Größe hergestellt werden.

**[0041]** Ein Vorteil der Verwendung piezoelektrischer Elemente besteht darin, daß dieselben Kapazitivvorrichtungen sind und Energie speichern, anstelle dieselbe zu dissipieren. Als ein Ergebnis werden ein Leistungsverbrauch und ein Wärmearaufbau auf einem Minimum gehalten.

**[0042]** Bei einem weiteren Ausführungsbeispiel wird eine einzelne piezoelektrische Pumpe verwendet. Die Pumpe ist betreibbar, um Betätigungsfluid in den Schaltkanal zu pumpen, um das mittlere Flüssigmetalltröpfchen in eine Richtung zu drücken, und um Betätigungsfluid aus dem Schaltkanal herauszupumpen, um das mittlere Flüssigmetalltröpfchen in die andere Richtung zu ziehen.

**[0043]** Wenn zwei piezoelektrische Pumpen verwendet werden, können dieselben abwechselnd drücken, abwechselnd ziehen oder eine kann drücken, während die andere zieht und umgekehrt.

## Patentansprüche

1. Piezoelektrisches optisches Relais mit folgenden Merkmalen:  
 einem Relaisgehäuse (**100**), das einen Schaltkanal (**128**) enthält;  
 einer ersten (**156**) und einer zweiten (**134**) Kontaktanschlusfläche, die sich in dem Schaltkanal (**128**) befinden und jeweils eine durch ein Flüssigmetall benetzbare Oberfläche aufweisen;  
 einer dritten Kontaktanschlusfläche (**154**), die sich in dem Schaltkanal zwischen der ersten und der zweiten Kontaktanschlusfläche befindet und eine durch ein Flüssigmetall benetzbare Oberfläche aufweist;  
 einem ersten Flüssigmetalltröpfchen (**152**), das in einem benetzten Kontakt zu der ersten Kontaktanschlusfläche (**156**) steht;  
 einem zweiten Flüssigmetalltröpfchen (**150**), das in einem benetzten Kontakt zu der zweiten Kontaktanschlusfläche (**134**) steht;  
 einem dritten Flüssigmetalltröpfchen (**148**), das in einem benetzten Kontakt zu der dritten Kontaktan-

schlußfläche (154) steht und angepaßt ist, um sich innerhalb des Schaltkanals zu bewegen, um sich mit einem des ersten Flüssigmetalltröpfchens und des zweiten Flüssigmetalltröpfchens zu vereinigen; einem ersten optischen Pfad, der durch den Schaltkanal zwischen dem ersten (152) und dem dritten (148) Flüssigmetalltröpfchen verläuft; und einer ersten piezoelektrischen Pumpe, die eine erste Pumpkammer (120) aufweist, die teilweise durch eine flexible Membran (118) begrenzt und betreibbar ist, um Betätigungsfluid zwischen der Pumpkammer (120) und dem Schaltkanal (128) zu pumpen, wodurch bewirkt wird, daß sich das dritte Flüssigmetalltröpfchen (148) mit einem des ersten Flüssigmetalltröpfchens (152) und des zweiten Flüssigmetalltröpfchens (150) vereinigt, wobei der erste optische Pfad unterbrochen ist, wenn das erste und das dritte Flüssigmetalltröpfchen vereinigt sind, und geschlossen ist, wenn das erste und das dritte Flüssigmetalltröpfchen getrennt sind; und wobei ein erster elektrischer Pfad zwischen der ersten Kontaktanschlußfläche (156) und der dritten Kontaktanschlußfläche (154) geschlossen ist, wenn das erste Flüssigmetalltröpfchen (152) und das dritte Flüssigmetalltröpfchen (148) vereinigt sind, und wobei ein elektrischer Pfad zwischen der zweiten Kontaktanschlußfläche (134) und der dritten Kontaktanschlußfläche (154) geschlossen ist, wenn das zweite Flüssigmetalltröpfchen (150) und das dritte Flüssigmetalltröpfchen (148) vereinigt sind.

2. Piezoelektrisches optisches Relais gemäß Anspruch 1, bei dem die erste piezoelektrische Pumpe betreibbar ist, um Betätigungsfluid durch ein erstes Durchgangsloch (126) in den Schaltkanal (128) zu pumpen, wobei das erste Durchgangsloch zwischen dem zweiten Flüssigmetalltröpfchen (150) und dem dritten Flüssigmetalltröpfchen (148) positioniert ist, wodurch bewirkt wird, daß sich das zweite und das dritte Flüssigmetalltröpfchen trennen und sich das erste und das dritte Flüssigmetalltröpfchen vereinigen.

3. Piezoelektrisches optisches Relais gemäß Anspruch 1, bei dem die erste piezoelektrische Pumpe ferner betreibbar ist, um Betätigungsfluid durch ein erstes Durchgangsloch (126) aus dem Schaltkanal herauszupumpen, wobei das erste Durchgangsloch (126) zwischen dem zweiten Flüssigmetalltröpfchen (150) und dem dritten Flüssigmetalltröpfchen (148) positioniert ist, wodurch bewirkt wird, daß sich das zweite und das dritte Flüssigmetalltröpfchen vereinigen und sich das erste und das dritte Flüssigmetalltröpfchen trennen.

4. Piezoelektrisches optisches Relais gemäß einem der Ansprüche 1 bis 3, bei dem die erste piezoelektrische Pumpe ferner zumindest ein piezoelektrisches Element (122) aufweist, das an der ersten flexiblen Membran (118) angebracht ist, wobei das zu-

mindest eine piezoelektrische Element angepaßt ist, um sich in einem Biegemodus zu verformen und dadurch das Volumen der ersten Pumpkammer zu verändern.

5. Piezoelektrisches optisches Relais gemäß einem der Ansprüche 1 bis 4, bei dem der erste optische Pfad folgende Merkmale aufweist: einen ersten optischen Wellenleiter (110), der konfiguriert ist, um Licht in den Schaltkanal durchzulassen; und einen zweiten optischen Wellenleiter (112), der optisch mit dem ersten optischen Wellenleiter (110) ausgerichtet und konfiguriert ist, um Licht von dem ersten optischen Wellenleiter zu empfangen, wenn das erste (152) und das dritte (148) Flüssigmetalltröpfchen getrennt sind.

6. Piezoelektrisches optisches Relais gemäß einem der Ansprüche 1 bis 5, das ferner einen zweiten optischen Pfad aufweist, der zwischen dem zweiten (150) und dem dritten (148) Flüssigmetalltröpfchen verläuft.

7. Piezoelektrisches optisches Relais gemäß einem der Ansprüche 1 bis 6, das ferner ein Festkörperteil aufweist, das mit dem dritten Flüssigmetalltröpfchen (148) gekoppelt ist, wobei sich das Festkörperteil mit einer Bewegung des dritten Flüssigmetalltröpfchens bewegt.

8. Piezoelektrisches optisches Relais gemäß einem der Ansprüche 1 bis 7, das ferner eine zweite piezoelektrische Pumpe aufweist, die eine zweite Pumpkammer (165) aufweist, die teilweise durch eine zweite flexible Membran (166) begrenzt und betreibbar ist, um Betätigungsfluid zwischen der zweiten Pumpkammer und dem Schaltkanal (128) durch ein Durchgangsloch (158) zu pumpen, wobei das Durchgangsloch (158) zwischen dem ersten Flüssigmetalltröpfchen (152) und dem dritten Flüssigmetalltröpfchen (148) positioniert ist.

9. Piezoelektrisches optisches Relais gemäß einem der Ansprüche 1 bis 8, bei dem das Relaisgehäuse (100) folgende Merkmale aufweist: eine untere Abdeckungsschicht (102), die ein in derselben gebildetes Fluidreservoir aufweist; eine Schaltschicht (108), die einen in derselben gebildeten Schaltkanal (128) aufweist; eine Pumpkammerschicht (104), die die erste und die zweite piezoelektrische Pumpe enthält und angepaßt ist, um Betätigungsfluid zwischen dem Fluidreservoir und dem Schaltkanal (128) zu pumpen; und eine obere Abdeckungsschicht (114), die oberhalb der Schaltschicht (108) positioniert ist.

10. Piezoelektrisches optisches Relais gemäß Anspruch 8 oder 9, das ferner eine Durchgangslochschicht (106) aufweist, die zwischen der Pumpkam-

merschicht (104) und der Schaltschicht (108) positioniert ist, und die eine erste und eine zweite Fluidleitung enthält, die die erste und die zweite piezoelektrische Pumpe mit dem Schaltkanal (128) koppeln.

11. Piezoelektrisches optisches Relais gemäß einem der Ansprüche 8 bis 10, bei dem der erste optische Pfad folgende Merkmale aufweist:

einen ersten optischen Wellenleiter (110), der in eine erste Einkerbung in der Schaltschicht (108) eingebettet und konfiguriert ist, um Licht in den Schaltkanal (128) durchzulassen; und

einen zweiten optischen Wellenleiter (112), der in eine zweite Einkerbung in der Schaltschicht (108) eingebettet und optisch mit dem ersten optischen Wellenleiter (110) ausgerichtet ist, wobei der zweite optische Wellenleiter konfiguriert ist, um Licht von dem ersten optischen Wellenleiter zu empfangen, wenn das erste (152) und das dritte (148) Flüssigmetalltröpfchen getrennt sind.

12. Verfahren zum Schalten eines optischen Pfades in einem piezoelektrischen optischen Relais, das ein erstes Flüssigmetalltröpfchen (148) aufweist, das innerhalb eines Schaltkanals (128) bewegbar ist, wobei das erste Flüssigmetalltröpfchen (148) in einem benetzten Kontakt zu einer ersten Kontaktanschlußfläche (154) steht, die in dem Schaltkanal (128) zwischen einer zweiten Kontaktanschlußfläche (156) und einer dritten Kontaktanschlußfläche (134) positioniert ist, wobei das Verfahren folgende Schritte aufweist:

Koppeln eines optischen Eingangssignals mit einem optischen Eingangswellenleiter (110) des piezoelektrischen optischen Relais, wobei der optische Eingangswellenleiter (110) optisch mit einem optischen Ausgangswellenleiter (112) ausgerichtet ist, um den optischen Pfad zu bilden;

wenn der optische Pfad geschlossen werden soll:

Bewegen des ersten Flüssigmetalltröpfchens (148) aus dem optischen Pfad heraus, wodurch der optische Eingangswellenleiter (110) optisch mit dem optischen Ausgangswellenleiter (112) gekoppelt wird, wobei ein Bewegen des ersten Flüssigmetalltröpfchens (148) aus dem optischen Pfad heraus bewirkt, daß sich das erste Flüssigmetalltröpfchen (148) mit einem zweiten Flüssigmetalltröpfchen (152) vereinigt, das in einem benetzten Kontakt zu der zweiten Kontaktanschlußfläche (156) steht, und wobei ein erster elektrischer Pfad zwischen der ersten Kontaktanschlußfläche (154) und der zweiten Kontaktanschlußfläche (156) geschlossen ist, wenn das erste Flüssigmetalltröpfchen (148) und das zweite Flüssigmetalltröpfchen (152) vereinigt sind; und

wenn der optische Pfad unterbrochen werden soll:

Bewegen des ersten Flüssigmetalltröpfchens (148) in den optischen Pfad, wodurch der optische Eingangswellenleiter (110) optisch von dem optischen Ausgangswellenleiter (112) entkoppelt wird, wobei ein Bewegen des ersten Flüssigmetalltröpf-

chens (148) in den optischen Pfad bewirkt, daß sich das erste Flüssigmetalltröpfchen (148) mit einem dritten Flüssigmetalltröpfchen (150) vereinigt, das in einem benetzten Kontakt zu der dritten Kontaktanschlußfläche (134) steht, und wobei ein elektrischer Pfad zwischen der ersten Kontaktanschlußfläche (154) und der dritten Kontaktanschlußfläche (134) geschlossen ist, wenn das erste Flüssigmetalltröpfchen (154) und das dritte Flüssigmetalltröpfchen (150) vereinigt sind;

wobei das Bewegen des ersten Flüssigmetalltröpfchens (148) ein Versorgen zumindest eines piezoelektrischen Elementes (122) mit Energie aufweist, um sich in einem Biegemodus zu verformen, wodurch eine erste flexible Membran (118) abgelenkt wird, was das Volumen einer ersten Pumpkammer (120) verändert und den Druck eines Betätigungsfluides in dem Schaltkanal (128) ändert.

13. Verfahren zum Schalten eines optischen Pfades in einem piezoelektrischen optischen Relais gemäß Anspruch 12, bei dem ein Festkörperteil, das mit dem ersten Flüssigmetalltröpfchen (152) gekoppelt ist, betreibbar ist, um den optischen Pfad zu blockieren oder zu entsperren.

14. Verfahren zum Schalten eines optischen Pfades in einem piezoelektrischen optischen Relais gemäß einem der Ansprüche 12 bis 13, bei dem:

wenn der optische Pfad geschlossen werden soll:

ein Versorgen zumindest eines piezoelektrischen Elementes (122) mit Energie, um sich in einem Biegemodus zu verformen, das Volumen einer ersten Pumpkammer senkt und den Druck eines Betätigungsfluids in dem Schaltkanal (128) erhöht;

wenn der optische Pfad unterbrochen werden soll:

ein Versorgen zumindest eines piezoelektrischen Elementes (122) mit Energie, um sich in einem Biegemodus zu verformen, das Volumen einer ersten Pumpkammer erhöht und den Druck eines Betätigungsfluids in dem Schaltkanal senkt.

15. Verfahren zum Schalten eines optischen Pfades in einem piezoelektrischen optischen Relais gemäß einem der Ansprüche 12 bis 13, bei dem:

wenn der optische Pfad geschlossen werden soll:

ein Versorgen zumindest eines piezoelektrischen Elementes (122) mit Energie, um sich in einem Biegemodus zu verformen, das Volumen einer ersten Pumpkammer senkt und den Druck eines Betätigungsfluids in dem Schaltkanal (128) erhöht; und

wenn der optische Pfad unterbrochen werden soll:

ein Versorgen zumindest eines piezoelektrischen Elementes (122) mit Energie, um sich in einem Biegemodus zu verformen, das Volumen einer zweiten Pumpkammer senkt und den Druck eines Betätigungsfluids in dem Schaltkanal erhöht.

16. Verfahren zum Schalten eines optischen Pfades in einem piezoelektrischen optischen Relais ge-



mäß einem der Ansprüche 12 bis 13, das ferner folgende Schritte aufweist:

wenn der optische Pfad geschlossen werden soll:

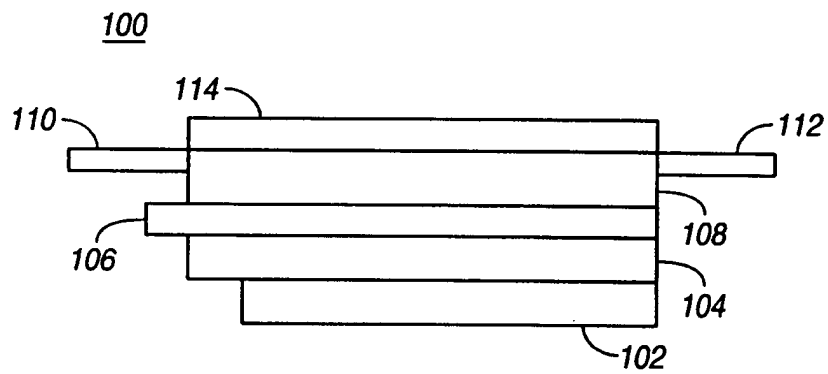
Unterbrechen der Energieversorgung zu dem zumindest einen piezoelektrischen Element (**122**), nachdem das erste Flüssigmetalltröpfchen (**148**) aus dem optischen Pfad herausbewegt wurde; und

wenn der optische Pfad unterbrochen werden soll:

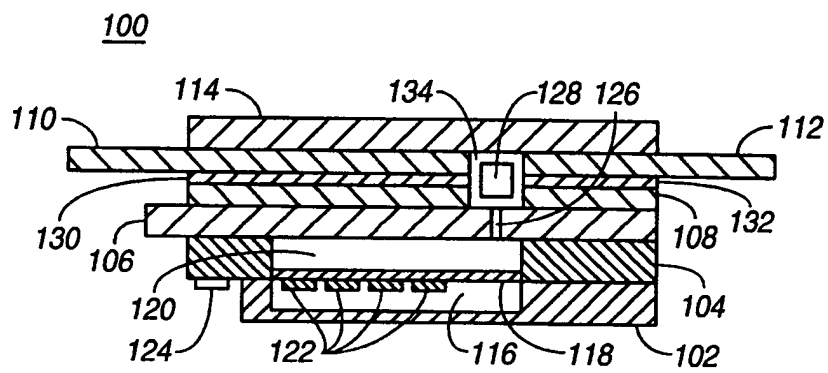
Unterbrechen der Energieversorgung zu dem zumindest einen piezoelektrischen Element (**122**), nachdem das erste Flüssigkeitströpfchen (**148**) in den optischen Pfad bewegt wurde.

17. Verfahren zum Schalten eines optischen Pfades in einem piezoelektrischen optischen Relais gemäß Anspruch 16, bei dem die Unterbrechung der Energieversorgung langsamer als das Versorgen mit Energie durchgeführt wird, um es zu ermöglichen, daß Betätigungsfluid aus einem Reservoir mit Betätigungsfluid gezogen wird.

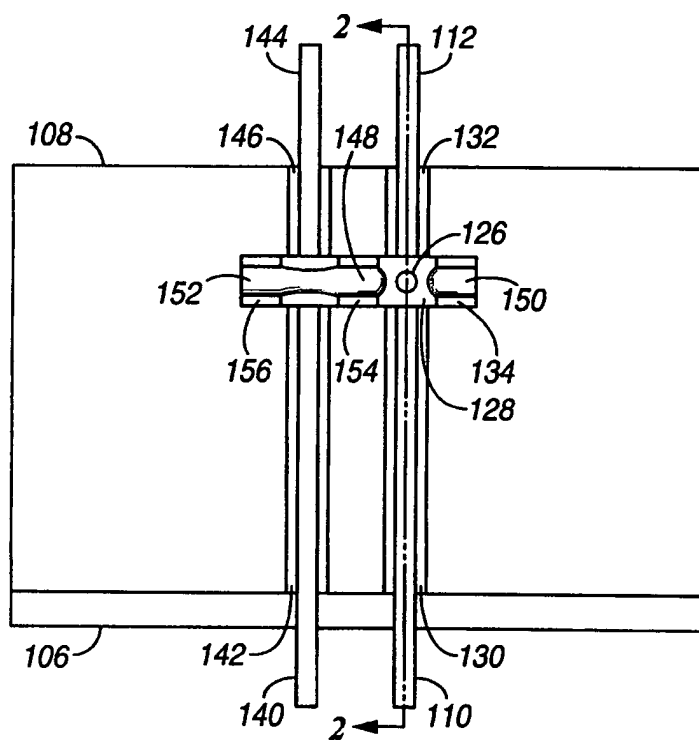
Es folgen 5 Blatt Zeichnungen



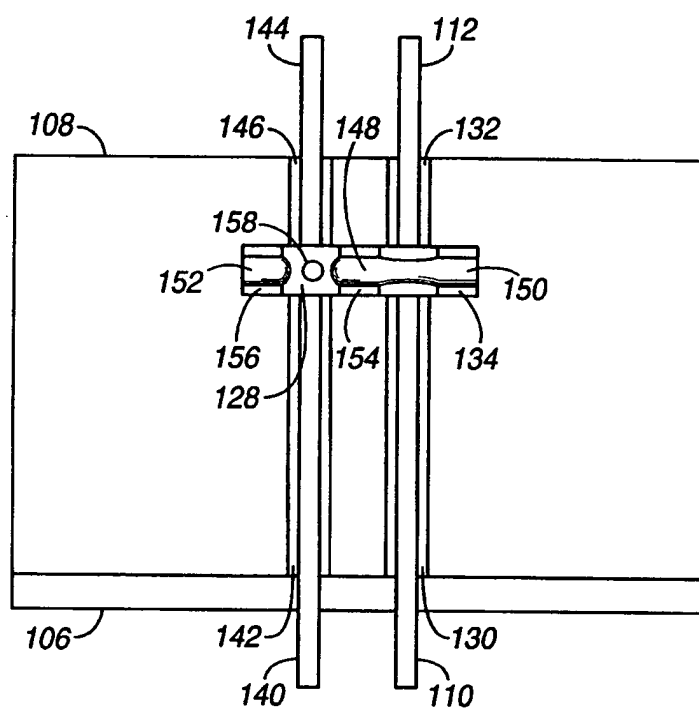
**FIG. 1**



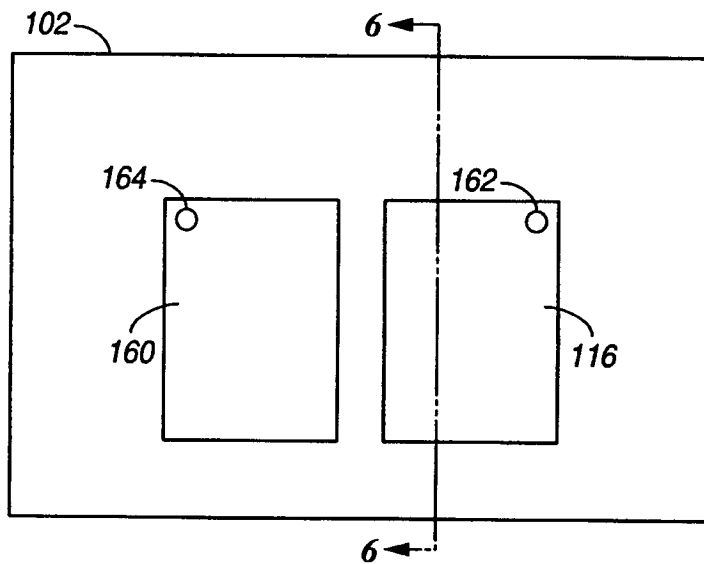
**FIG. 2**



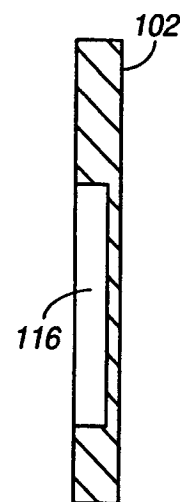
**FIG. 3**



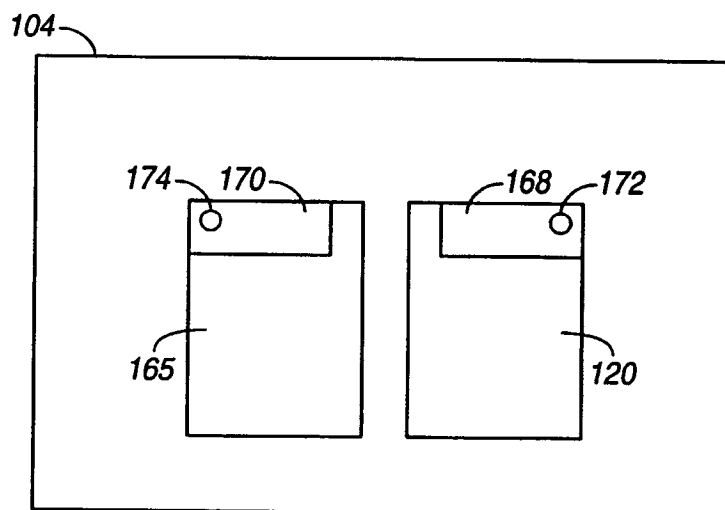
**FIG. 4**



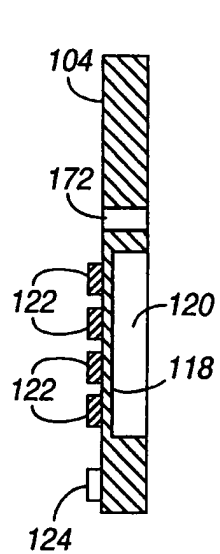
**FIG. 5**



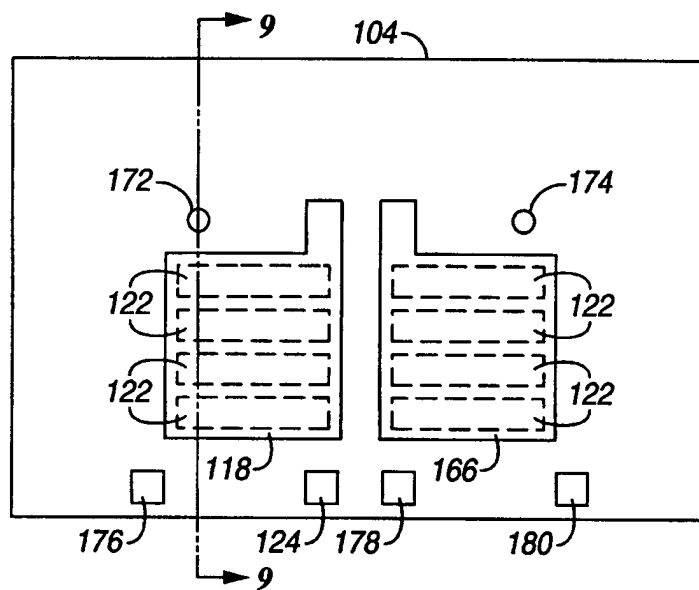
**FIG. 6**



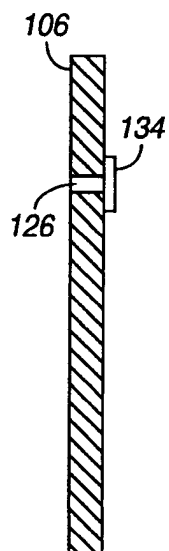
**FIG. 7**



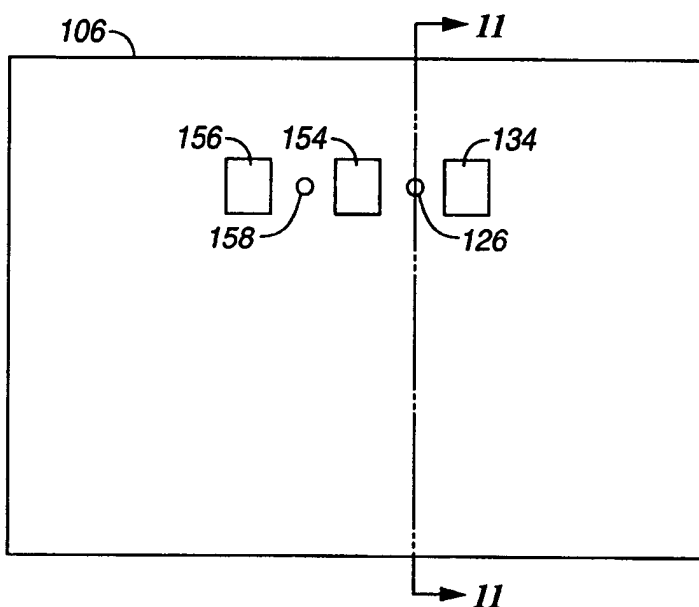
**FIG. 9**



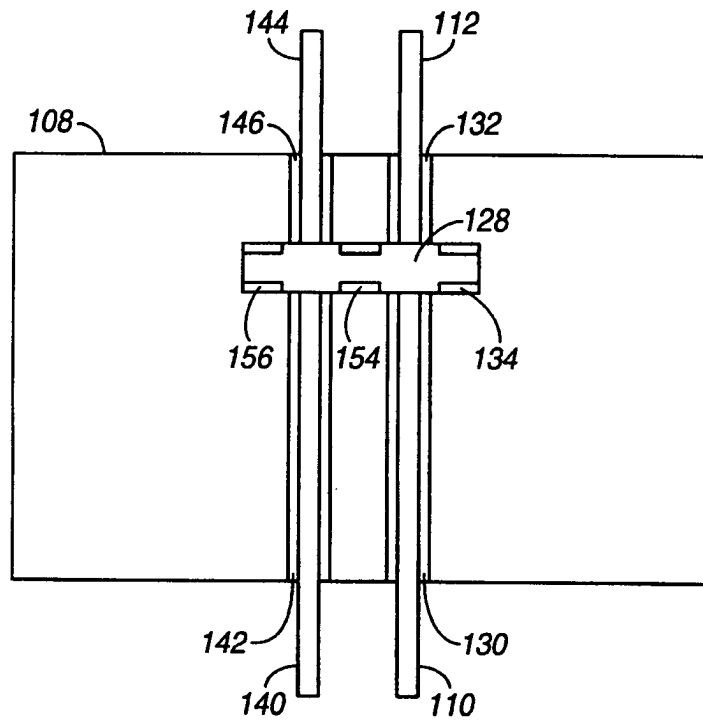
**FIG. 8**



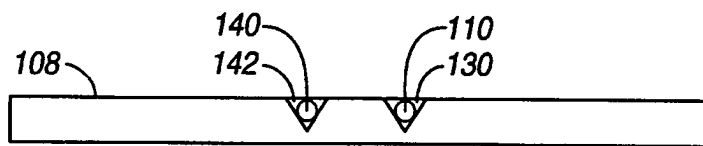
**FIG. 11**



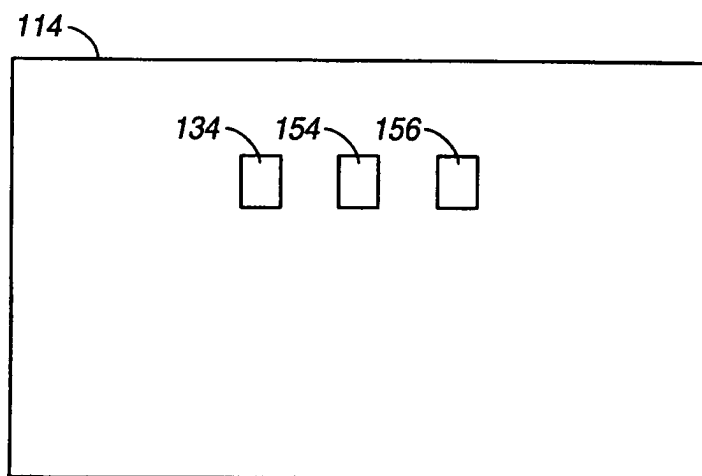
**FIG. 10**



**FIG. 12**



**FIG. 13**



**FIG. 14**