



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 201 22 370 U1 2005.06.23**

(12)

Gebrauchsmusterschrift

(21) Aktenzeichen: **201 22 370.8**
 (22) Anmeldetag: **03.08.2001**
 (67) aus Patentanmeldung: **P 05 00 0604.8**
 (47) Eintragungstag: **19.05.2005**
 (43) Bekanntmachung im Patentblatt: **23.06.2005**

(51) Int Cl.7: **G02B 26/08**
G03B 21/28

(30) Unionspriorität:
631536 **03.08.2000** **US**
229246 **30.08.2000** **US**
732445 **07.12.2000** **US**

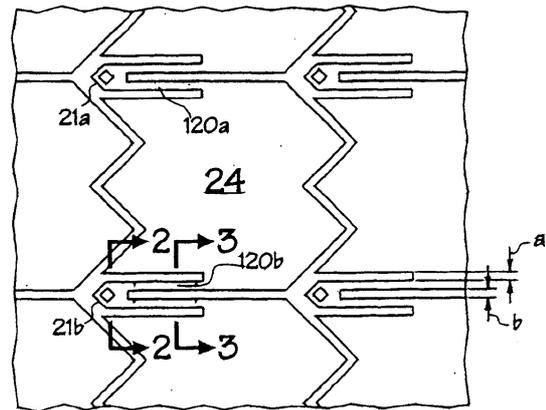
(73) Name und Wohnsitz des Inhabers:
Reflectivity Inc., Sunnyvale, Calif., US

(74) Name und Wohnsitz des Vertreters:
Böck, Tappe, Kirschner Rechtsanwälte
Patentanwälte, 81479 München

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Verpacktes Mikrospiegelfeld für eine Projektions-Anzeigeeinrichtung**

(57) Hauptanspruch: Ein verpacktes Mikrospiegelfeld für eine Projektions-Anzeigeeinrichtung, umfassend:
 ein Feld von Mikrospiegeln, die in der Lage sind, sich zwischen einem „AN“-Zustand und einem „AUS“-Zustand mit Hilfe von Pulsbreitenmodulation zu bewegen, um ein Grauskalenfeld auf einem Ziel zu erreichen; und worin jeder Mikrospiegel einem Pixel in einem betrachteten Bild auf dem Ziel entspricht;
 eine Verpackung mit einem lichtdurchlässigen Fenster, worin das Feld der Mikrospiegel in der Verpackung angeordnet ist, die ein lichtdurchlässiges Fenster hat;
 worin ein betrachtetes Bild, das durch von den Mikrospiegeln reflektiertem und durch die Maske hindurchtretendem Licht auf dem Ziel ausgebildet wird, vier Seiten hat, und worin die in dem Bild zu sehenden Pixel von den Mikrospiegeln gebildet werden, die jeweils vier Seiten haben, die nicht parallel zu irgendeiner der Seiten des betrachteten Bildes sind.



Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf bewegliche Mikrospiegel und Mikrospiegelanordnungen beispielsweise für Projektionsanzeigeeinrichtungen. Die US-Patente 5.835.256 und 6.046.840 und die US-Patentanmeldung 09/617.419 beschreiben mikroelektromechanische Vorrichtungen (MEMS) für die Steuerung von Lichtstrahlen, wie etwa einen optischen Schalter, und/oder für eine Anzeigeeinrichtung (z.B. eine Projektions-Anzeigeeinrichtung). Ein gemeinsames Merkmal ist ein Mikrospiegelelement, das beweglich ist, um Licht durch unterschiedliche Winkel in Abhängigkeit des Neigungswinkels des Mikrospiegelelementes abzulenken. Bei einem Typ eines herkömmlichen Direktbetrachtungs- oder Projektions-Anzeigesystems ist eine Anordnung reflektierender Mikrospiegelelemente angebracht, die ein Bild erzeugen. Normalerweise sind die Mikrospiegelelemente quadratisch und haben entweder einen einzigen Neigungswinkel für den "AN"-Zustand und sind flach für den „AUS“-Zustand, oder dieselben Neigungswinkel für den "AN"- und den "AUS"-Zustand, jedoch mit unterschiedlichem Vorzeichen.

[0002] Um die Lichtbeugung entlang der Umschaltung und insbesondere die Lichtbeugung in den Eintrittskegel der Sammeloptik zu minimieren, sind bei der vorliegenden Erfindung Mikrospiegel vorgesehen, die nicht rechteckig sind ("rechteckig", wie es hier verwendet wird, beinhaltet quadratische Mikrospiegel). Beugung bezeichnet hier die Streuung von Licht einer periodischen Struktur, wobei das Licht nicht unbedingt monochrom oder phasenkohärent ist. Um zudem die Kosten der Beleuchtungsoptik und die Größe der Anzeigeeinheit der vorliegenden Erfindung zu verringern, ist die Lichtquelle orthogonal zu den Reihen (oder Spalten) der Anordnung angebracht, und/oder die Lichtquelle ist orthogonal zu einer Seite des Rahmens angebracht, der einen aktiven Bereich der Anordnung begrenzt. Der einfallende Lichtstrahl sollte jedoch, obwohl er orthogonal zu den Reihen (oder Spalten) und/oder der Seite des aktiven Bereichs verläuft, nicht orthogonal zu den Seiten der einzelnen Mikrospiegel in der Anordnung verlaufen. Die orthogonalen Seiten bewirken, dass das einfallende Licht entlang der Richtung der Mikrospiegel-Umschaltung gebeugt wird, und führen zu einem Licht-"Lecken" im "AN"-Zustand, selbst wenn sich der Mikrospiegel im "AUS"-Zustand befindet. Diese Lichtbeugung beeinträchtigt das Kontrastverhältnis des Mikrospiegels.

[0003] Die vorliegende Erfindung optimiert das Kontrastverhältnis der Mikrospiegelanordnung derart, dass, wenn sich die Mikrospiegel in ihrem "AUS"-Zustand befinden, sie minimales Licht in den Raumbereich senden, in den das Licht gleitet wird, wenn sich die Mikrospiegel in ihrem "AN"-Zustand befinden. Insbesondere umfasst die vorliegende Erfindung

eine speziell angebrachte Lichtquelle und einen einfallenden Lichtstrahl sowie speziell aufgebaute Mikrospiegel in der Anordnung, die das Licht minimieren, das in den Eintrittskegel der Projektions- (oder Betrachtungs-) Optik gebeugt wird, um so ein verbessertes Kontrastverhältnis zu erzeugen. Der Aufbau und die Beschaffenheit der vorliegenden Erfindung minimieren zudem nicht reflektierende Bereiche in der Anordnung, indem ein enges Aneinanderliegen der Mikrospiegel und ein großer Füllfaktor mit geringer Beugung vom "AUS"- zum "AN"-Zustand selbst dann ermöglicht wird, wenn die Anordnung entlang der Achsen der Mikrospiegel-Periodizität beleuchtet wird. Das heißt die Beschaffenheit optimiert das Kontrastverhältnis durch Winkelseiten, die nicht parallel zur Drehachse des Mikrospiegels sind, und optimiert den Füllfaktor durch Gelenke, die relativ wenig Fläche benötigen und es benachbarten Mikrospiegeln gestatten, zusammen eine Platte mit einem geringen Verlust eines nicht reflektierenden Bereiches zu bilden. Die Mikrospiegelstrukturen und -formen unterschiedlicher Beispiele der Erfindung verringern zudem ein Übersprechen zwischen benachbarten Mikrospiegeln, wenn die Mikrospiegel elektrostatisch abgelenkt werden.

[0004] Ein weiterer Aspekt der Erfindung ist eine Mikrospiegelanordnung, bei der die einzelnen Mikrospiegel asymmetrisch um einen flachen oder nicht abgelenkten Zustand geneigt werden. Indem der "AUS"-Zustand der Mikrospiegel bei einem geringeren Winkel als der entgegengesetzte Winkel der Mikrospiegel im "AN"-Zustand eingerichtet wird, wird a) gebeugtes Licht von den Rändern der Mikrospiegel, das in die Sammeloptik eintritt, minimiert und b) Licht, das von der Unterseite der Mikrospiegel gebrochen wird und in die Sammeloptik eintritt, ebenfalls minimiert, c) die Bewegung der Mikrospiegel verringert, wodurch die Möglichkeit minimiert wird, dass benachbarte Mikrospiegel aneinander stoßen, wodurch wiederum eine Verringerung des Spaltes zwischen den Mikrospiegeln verringert werden und der Füllfaktor der Mikrospiegelanordnung erhöht werden kann, und kann d) der Ablenkwinkel der Mikrospiegel in einem größeren Umfang erhöht werden, als bei Mikrospiegelanordnungen mit demselben Ablenkwinkel für den AN- und den „AUS“-Zustand.

[0005] Ein weiterer Aspekt der Erfindung ist eine Anordnung schwenkbarer Mikrospiegel, wobei jeder Mikrospiegel eine Schwenkachse hat, und jeder Mikrospiegel eine oder mehrere längliche Seiten aufweist, die in einem Winkel von weniger als 45 Grad zur Schwenkachse verlaufen. Vorzugsweise liegt der Winkel zwischen 30 und 42,5 Grad.

[0006] Ein weiterer Aspekt der Erfindung ist eine Anordnung beweglicher Mikrospiegel, wobei jeder Mikrospiegel mindestens vier Seiten hat und zwei dieser Seiten in einem Winkel von weniger als 90

Grad zusammenlaufen. Der Winkel liegt vorzugsweise im Bereich von 45 bis 85 Grad.

[0007] Ein weiterer Aspekt der Erfindung ist eine Packung für die Mikrospiegelanordnung, die einen lichtdurchlässigen Abschnitt der Packung aufweist, der nicht parallel zu dem Substrat verläuft, auf dem die Mikrospiegel ausgebildet sind. Der lichtdurchlässige Abschnitt kann jedes geeignete Material, wie etwa eine Platte aus Glas, Quartz oder einem Polymer sein, und ermöglicht ein Leiten einer Spiegelung vom lichtdurchlässigen Substrat in anderen Richtungen als jene, die aus einer parallelen lichtdurchlässigen Platte in der Packung folgt. Vorzugsweise wird die Spiegelung ausreichend weit von der Sammeloptik weggeleitet, so dass eine Zunahme der Größe des Beleuchtungskegels verhindert, dass die Spiegelung in die Sammeloptik eintritt.

[0008] Ein weiterer Aspekt der Erfindung ist ein Projektionssystem, das umfasst; eine Anordnung aktiver Mikrospiegel, die in rechteckiger Gestalt angeordnet sind, wobei sich die Mikrospiegel um eine Umschaltachse zwischen einem „AUS“-Zustand und einem „AN“-Zustand drehen können und die Mikrospiegel Pixeln in einem befrachteten Bild entsprechen; ein Lichtquelle, die Licht zur Anordnung der Mikrospiegel leitet, wobei die Lichtquelle derart angeordnet ist, dass sie das Licht nicht senkrecht zu wenigstens zwei Seiten jedes Mikrospiegels und nicht parallel, von einer Oberseite jedes Mikrospiegels betrachtet, zu wenigstens zwei anderen Seiten jedes Spiegels leitet; und eine Sammeloptik, die angebracht ist, um Licht von den Mikrospiegeln in einem „AN“-Zustand zu empfangen. Ein weiterer Aspekt der Erfindung ist ein Projektionssystem, enthaltend eine Anordnung von Mikrospiegeln, wobei jeder Mikrospiegel einem Pixel in einem betrachteten Bild entspricht und eine Form eines konkaven Polygons oder eines oder mehrerer nicht rechteckiger Parallelogramme aufweist; eine Lichtquelle, die Licht zur Anordnung der Mikrospiegel leitet, und eine Sammeloptik, die angebracht ist, um Licht zu empfangen, das von den Mikrospiegeln reflektiert wird.

[0009] Ein weiterer Aspekt der Erfindung ist ein Projektionssystem, enthaltend eine Lichtquelle, die einen einfallenden Lichtstrahl erzeugt, eine Anordnung bewegbarer Reflexionselemente und eine Sammeloptik, die Licht von der Anordnung projiziert, wobei ein Bild, das vom Projektionssystem projiziert wird, auf einem Ziel als rechteckiges Bild erscheint und das Süd aus Tausenden bis Millionen Pixeln ausgebildet ist, wobei jedes Pixel die Form eines konkaven Polygons, eines einzelnen nicht rechteckigen Parallelogramms oder einer Anordnung nicht rechteckiger Parallelogramme aufweist.

[0010] Ein weiterer Aspekt der vorliegenden Erfindung ist ein Projektionssystem, enthaltend eine Licht-

quelle, eine Anordnung bewegbarer Mikrospiegelelemente und eine Sammeloptik, wobei jedes Mikrospiegelelement in der Anordnung eine Umschaltachse hat, die im wesentlichen parallel zu wenigstens einer Seite des aktiven Bereichs der Anordnung und in einem Winkel zwischen 35 und 60 Grad zu einer oder mehr Seiten der Mikrospiegelelementes verläuft.

[0011] Ein weiterer Aspekt der Erfindung ist ein Projektionssystem, enthaltend eine Lichtquelle und eine Anordnung bewegbarer Mikrospiegelelemente, wobei jedes Mikrospiegelelement eine vordere Seite hat, die nicht senkrecht zum einfallenden Lichtstrahl und nicht senkrecht zu einer beliebigen Seite des aktiven Bereichs ist, um so eine Verbesserung des Kontrastverhältnisses um das 10- bis 20-Fache im Vergleich zu Mikrospiegelelementen zu erreichen, die zum einfallenden Lichtstrahl senkrechte Seiten aufweisen.

[0012] Ein weiterer Aspekt der Erfindung ist ein Projektionssystem, enthaltend eine Lichtquelle, eine Sammeloptik und eine Anordnung bewegbarer Mikrospiegelelemente, wobei das Projektionssystem ein Beugungsmuster hat, das im wesentlichen dasselbe ist, wie es in [Fig. 21C](#) gezeigt ist.

[0013] Ein weiterer Aspekt der Erfindung ist ein Projektionssystem, enthaltend eine Lichtquelle und eine rechteckige Anordnung bewegbarer Mikrospiegel, wobei die Mikrospiegel in der Lage sind, sich zwischen einem „AN“-Zustand und einem „AUS“-Zustand zu bewegen, und in der Lage sind, Licht im „AN“-Zustand zu einer vorbestimmten Raumfläche zu reflektieren, wobei die Lichtquelle angeordnet ist, um Licht in einem Winkel von im wesentlichen 90 Grad zu wenigstens einer Seite des Rechtecks, das durch die Anordnung definiert ist, zu leiten, und im wesentlichen kein gebeugtes Licht in die vorbestimmte Raumfläche eintritt, wenn sich die Mikrospiegel im „AUS“-Zustand befinden.

[0014] Ein weiterer Aspekt der vorliegenden Erfindung ist ein Verfahren zum Projizieren eines Bildes auf ein Ziel, umfassend: Leiten eines Lichtstrahls auf eine rechteckige Anordnung von Mikrospiegeln, wobei der Lichtstrahl zur vorderen Seite der rechteckigen Anordnung in einem Winkel innerhalb eines Bereiches von 90 Grad plus oder minus 40 Grad gleitet wird, und die Mikrospiegel in der Anordnung die Form von Polygonen haben und derart angeordnet sind, dass der Lichtstrahl auf alle Polygonseiten in anderen Winkeln als 90 Grad trifft; und Projizieren des Lichtes von den Mikrospiegeln auf ein Ziel, um so darauf ein Bild zu erzeugen.

[0015] Ein weiterer Teil der Erfindung ist ein Projektionssystem, enthaltend eine Lichtquelle, eine Lichtsammeloptik und eine Anordnung von Mikrospiegeln, die angeordnet sind, um einen Lichtstrahl von der

Lichtquelle räumlich zu modulieren, wobei die Anordnung auf einem Substrat ausgebildet und derart aufgebaut ist, dass jeder Mikrospiegel in der Lage ist, sich in einer ersten Stellung zu befinden, in der er nicht betätigt wird, jeder Mikrospiegel in der Lage ist, sich in eine „AN“-Stellung zu bewegen, in der Licht zur Lichtsammeloptik für die Anordnung gleitet wird, und in der Lage ist, sich in einer entgegengesetzten in eine „AUS“-Stellung zu bewegen, um Licht von der Lichtsammeloptik wegzuleiten, wobei sich die AN- und die „AUS“-Stellung von der ersten Stellung unterscheiden und sich die „AN“-Stellung in einem Winkel relativ zu ersten Stellung befindet, der sich von der „AUS“-Stellung unterscheidet.

[0016] Gemäß einem bevorzugten Aspekt der Erfindung ist das Projektionssystem Teil einer Anordnung von Mikrospiegeln in einer Projektionsanzeigeeinrichtung. Die Mikrospiegel sind vorzugsweise auf einem Halbleiter oder einem lichtdurchlässigen Substrat angeordnet. Das Substrat ist vorzugsweise ein Siliziumsubstrat mit Schaltkreisen und Elektroden zur Bewegung des Mikrospiegels. Eine Elektrode ist vorzugsweise angebracht, um den Mikrospiegel elektrostatisch in eine „AN“-Stellung zu bewegen, und eine weitere Elektrode ist angebracht, um den Mikrospiegel elektrostatisch in eine „AUS“-Stellung relativ zu einer nicht abgelenkten Stellung zu bewegen. Die AN- und die „AUS“-Stellungen der Mikrospiegel unterscheiden sich vorzugsweise im mehr als 1 Grad voneinander. Die Mikrospiegel sind vorzugsweise in der Lage, sich wenigstens +12 Grad in die „AN“-Stellung zu bewegen, und sind in der Lage, sich in einer entgegengesetzten Richtung zwischen -4 bis -10 Grad zu drehen. Das Projektionssystem ist vorzugsweise ein Front- oder Rückprojektionsfernseher oder ein Computermonitor. Die Mikrospiegel sind vorzugsweise so aufgebaut, dass sie sich um eine Achse aus der ersten Stellung drehen, um in die AN- oder „AUS“-Stellung zu gelangen. Die Mikrospiegel sind vorzugsweise so aufgebaut, dass sie sich um eine einzige Achse drehen. Die Sammeloptik ist vorzugsweise eine einzelne Linse oder eine Gruppe von Linsen für sämtliche Mikrospiegel. Die Mikrospiegel werden vorzugsweise digital adressiert. Vorzugsweise erreichen die Mikrospiegel eine Grauskala durch Impulsbreitenmodulation. Das Projektionssystem umfasst vorzugsweise weiterhin ein Ziel, auf das Licht aus der Sammeloptik fällt. Die Lichtquelle ist vorzugsweise eine Bogenlampe. Die AN- und „AUS“-Stellung sind vorzugsweise durch einen Aufbau festgelegt, gegen den die Mikrospiegel stoßen. Das Projektionssystem enthält weiterhin vorzugsweise einen Bildschirm, auf den das Muster von Mikrospiegeln im AN- und „AUS“-Zustand trifft. Das Projektionssystem enthält weiterhin vorzugsweise einen Farbfilter, der eine Abfolge aufeinanderfolgender Farben auf der Mikrospiegelanordnung erzeugt. Das Projektionssystem enthält weiterhin vorzugsweise eine Vorrichtung, die die Gleichmäßigkeit der Lichtverteilung auf der An-

ordnung verbessert. Die Sammeloptik ist vorzugsweise eine Vielzahl von Linsen, die derart angeordnet sind, dass sie das Lichtmuster von der Mikrospiegelanordnung auf ein Ziel projizieren. Das Projektionssystem enthält weiterhin vorzugsweise einen oder mehrere Mikrospiegel oder Linsen, die einen Lichtkegel auf die Mikrospiegelanordnung leiten und fokussieren. Vorzugsweise ist das Projektionssystem eine Front- oder Rückprojektions-Anzeigeeinrichtung. Vorzugsweise ist das Projektionssystem ein Maskenprojektor für das maskenlose Mustern eines lichtempfindlichen Materials. Vorzugsweise ist das Projektionssystem ein Projektor in einem Fotolithographiesystem. Die Mikrospiegel sind vorzugsweise in der Lage, sich in einer Richtung relativ zum Substrat in eine „AN“-Stellung und in einer entgegengesetzten Richtung relativ zum Substrat in eine „AUS“-Stellung zu drehen. Die Schaltkreise und die Elektroden sind vorzugsweise auf demselben Substrat ausgebildet wie die Mikrospiegel. Die Schaltkreise und die Elektroden sind vorzugsweise auf einem zweiten Substrat ausgebildet, das an dieses Substrat gebondet ist. Die zusätzlichen Elektroden haben vorzugsweise dasselbe Potential wie der benachbarte Mikrospiegel.

[0017] Die Lichtquelle, die Mikrospiegelanordnung und die Sammeloptik sind vorzugsweise angebracht, um ein Bild auf ein Ziel zu projizieren. Das Ziel ist vorzugsweise die Netzhaut eines Betrachters, ein lichtempfindliches Material oder ein Bildschirm. Sämtliche der Mikrospiegel in der Anordnung sind vorzugsweise so angeordnet, dass sie gleichzeitig Licht durch die Sammeloptik leiten. Die Mikrospiegelanordnung ist vorzugsweise eine Mikrospiegelanordnung in einer Packung, die über ein lichtdurchlässiges Fenster in der Packung verfügt, um es dem Lichtstrahl von der Lichtquelle zu gestatten, auf die Mikrospiegelanordnung zu fallen, wobei das lichtdurchlässige Fenster nicht parallel zum Substrat der Mikrospiegelanordnung ist. Das lichtdurchlässige Fenster ist vorzugsweise in einem Winkel von -2 bis -15 Grad relativ zum Mikrospiegelanordnungssubstrat angeordnet. Das lichtdurchlässige Fenster ist vorzugsweise in einem Winkel von -3 bis -10 Grad relativ zur Mikrospiegelanordnungssubstrat angeordnet. Die Anordnung der Mikrospiegel ist vorzugsweise rechteckig, wobei die Mikrospiegel in der Lage sind, sich um eine Umschaltachse zwischen dem „AUS“-Zustand und dem „AN“-Zustand zu drehen, die Mikrospiegel den Pixeln in einem betrachteten Bild entsprechen und die Lichtquelle so angeordnet ist, dass sie Licht nicht senkrecht zu wenigstens zwei Seiten jedes Mikrospiegels und parallel, von der Oberseite jedes Mikrospiegels betrachtet, zu wenigstens zwei anderen Seiten jedes Mikrospiegels leitet. Die Lichtquelle leitet Licht vorzugsweise in einem Winkel im wesentlichen senkrecht zu den Umschaltachsen der Mikrospiegel. Das Projektionssystem enthält weiterhin vorzugsweise ein Farbseparationselement, das sich zwischen der Lichtquelle und der Mikrospiegelanord-

nung befindet. Die Lichtquelle ist vorzugsweise derart angeordnet, dass sie Licht so auf die Mikrospiegel leitet, dass das Licht auf eine vorderer Seite jedes Mikrospiegels in einem Winkel von 100 bis 150 Grad fällt.

[0018] Ein weiterer Aspekt der Erfindung ist ein Verfahren zum räumlichen Modulieren eines Lichtstrahls, enthaltend: das Leiten eines Lichtstrahls von einer Lichtquelle zu einer Lichtsammeloptik über eine Anordnung von Mikrospiegeln, die so angeordnet sind, dass die den Lichtstrahl von der Lichtquelle räumlich modulieren, wobei die Anordnung auf einem Substrat ausgebildet ist und sich jeder Mikrospiegel in einer ersten Stellung befindet, wenn er nicht moduliert ist, und das Modulieren der Mikrospiegel in der Anordnung derart, dass sich jeder Mikrospiegel in eine „AN“-Stellung, die Licht zur Lichtsammeloptik für die Anordnung leitet, und in eine „AUS“-Stellung bewegt, die Licht von der Lichtsammeloptik weggleitet, wobei sich sowohl die „AN“-Stellung als auch die „AUS“-Stellung von der ersten Stellung unterscheiden und die „AN“-Stellung eine Größe eines Winkels relativ zur ersten Stellung ist, die sich von der Größe eines Winkels in der „AUS“-Stellung unterscheidet.

[0019] Ein weiterer Aspekt der Erfindung ist ein optisches mikromechanisches Element, das auf einem Substrat ausgebildet ist und eine „AN“-Stellung in einer ersten Größe eines Winkels relativ zum Substrat hat, eine „AUS“-Stellung in einer zweiten Größe eines Winkels zum Substrat hat, wobei die erste und die zweite Größe unterschiedlich sind, und eine dritte Stellung hat, die im wesentlichen parallel zum Substrat ist, wobei sowohl die „AN“-Stellung als auch die „AUS“-Stellung durch einen Anschlag des optischen mikromechanischen Elementes gegen das Substrat oder gegen einen Aufbau definiert ist, der auf diesem Substrat ausgebildet ist.

[0020] Vorzugsweise sind Anschlagelektroden auf dem Substrat ausgebildet, gegen die der Mikrospiegel in der AN- und der „AUS“-Stellung schlägt. Eine Anschlagelektrode ist vorzugsweise höher relativ zum Substrat angebracht als die andere Anschlagelektrode. Das Element von Anspruch 157 befindet sich in einer Packung, wobei die Packung ein Fenster enthält, das in einem Winkel zum Substrat angebracht ist. Die Packung ist vorzugsweise eine hermetische oder teilweise hermetische Packung. Das mikromechanische Element enthält weiterhin vorzugsweise einen Molekularabsorber in der Packung. Das mikromechanische Element enthält weiterhin vorzugsweise ein Haftreibungsverringermittel in der Packung. Das mikromechanische Element enthält weiterhin vorzugsweise Biegeelenke, die in einem Spalt zwischen einer Platte des Mikrospiegelementes und dem Substrat angeordnet sind. Das mikromechanische Element enthält weiterhin vorzugsweise Ablenkelektroden, um das Element in die „AN“-Stel-

lung oder die „AUS“-Stellung abzulenken. Wenigstens eine Ablenkelektrode ist vorzugsweise angebracht, um das Element in die „AN“-Stellung zu bewegen, und wenigstens eine Ablenkelektrode ist angebracht, um das Element in die „AUS“-Stellung zu bewegen.

[0021] Ein weiterer Aspekt der Erfindung ist ein Verfahren zum Modulieren von Licht, umfassend das Reflektieren von Licht von einer Anordnung ablenkbarer Mikrospiegel, die auf einem planen Substrat angeordnet sind, wobei diese Mikrospiegel entweder in eine erste Stellung oder eine zweite Stellung geneigt werden und sich der Winkel, der zwischen der ersten Stellung und dem Substrat ausgebildet wird, und der Winkel der zwischen der zweiten Stellung und dem Substrat ausgebildet wird, im wesentlichen unterscheiden.

[0022] Ein weiter Teil der Erfindung ist ein Verfahren zum Modulieren von Licht, umfassend eine Lichtquelle, eine plane Lichtmodulatoranordnung, die ablenkbare Elemente und eine Sammeloptik enthält, wobei die Elemente in der Anordnung wahlweise in wenigstens zwei Zuständen konfiguriert werden, wobei die Elemente im ersten Zustand das Licht von der Lichtquelle durch einen ersten Winkel in die Sammeloptik leiten und die Elemente im zweiten Zustand das Licht von der Lichtquelle durch einen zweiten Winkel in die Sammeloptik leiten und ein dritter Winkel Licht repräsentiert, das von der Anordnung reflektiert wird, als ob sie eine Mikrospiegeloberfläche ist, wobei der Unterschied zwischen dem ersten und dem dritten sowie dem zweiten und dritten Winkel im wesentlichen unterschiedlich ist.

[0023] Ein weiterer Aspekt der Erfindung ist ein Projektionssystem, enthaltend eine Lichtquelle für die Erzeugung eines Lichtstrahls, eine Mikrospiegelanordnung, enthaltend zahlreiche Mikrospiegel, die in einem Weg des Lichtstrahls angeordnet sind; und eine Sammeloptik, die in einem Weg des Lichtstrahls angeordnet ist, nachdem der Lichtstrahl auf die Mikrospiegelanordnung trifft und von den zahlreichen Mikrospiegeln als Muster von Mikrospiegeln im „AN“-Zustand und im „AUS“-Zustand in der Anordnung reflektiert ist, wobei die Mikrospiegelanordnung ein Substrat enthält, die Anordnung der Mikrospiegel auf dem Substrat gehalten ist und jeder Mikrospiegel in der Lage ist, sich in eine „AN“-Stellung und eine „AUS“-Stellung aus einer nicht abgelenkten Stellung zu bewegen, wobei die „AN“-Stellung einen anderen Winkel als die „AUS“-Stellung relativ zur nicht abgelenkten Stellung hat.

[0024] Ein weiterer Teil der Erfindung ist ein Verfahren zum Projizieren eines Bildes auf ein Ziel, umfassend das Leiten eines Lichtstrahls von einer Lichtquelle auf eine Mikrospiegelanordnung, Modulieren der Mikrospiegel jeweils in eine AN- oder „AUS“-Stel-

lung, wobei in der „AN“-Stellung die Mikrospiegel das Licht zu einer Sammeloptik leiten, die angebracht ist, um das Licht von den Mikrospiegeln in ihrer „AN“-Stellung zu empfangen, das Muster der Mikrospiegel im AN- und „AUS“-Zustand ein Bild erzeugt und die Stellung der Mikrospiegel in ihrer „AN“-Stellung eine andere Winkelgröße im Vergleich zur Winkelgröße der Mikrospiegel in ihrer „AUS“-Stellung hat.

[0025] Ein weiterer Teil der Erfindung ist ein Verfahren zum räumlichen Modulieren eines Lichtstrahls, umfassend das Leiten eines Lichtstrahls auf eine Anordnung von Mikrospiegeln, wobei die Mikrospiegel in der Lage sind, sich in eine erste oder zweite Stellung zu bewegen, wobei die Mikrospiegel in der ersten Stellung einen Teil des Lichtstrahls, der auf sie trifft, in eine Sammeloptik leiten und der minimale Abstand zwischen benachbarten Mikrospiegeln, wenn sich jeder in der zweiten Stellung befindet, geringer ist als der minimale Abstand zwischen den benachbarten Mikrospiegeln, wenn sich jeder in der ersten Stellung befindet.

[0026] Ein weiterer Aspekt der Erfindung ist eine Vorrichtung, enthaltend ein Substrat, auf dem eine bewegbare reflektierende oder beugende mikromechanische Vorrichtung ausgebildet ist, und eine Packung zum Halten des Substrates mit der bewegbaren mikromechanischen Vorrichtung, wobei die Packung ein optisch durchlässiges Fenster enthält, das nicht parallel zum Substrat ist.

[0027] Ein weiterer Aspekt der Erfindung ist ein Projektionssystem, enthaltend eine Lichtquelle, eine Lichtsammeloptik, ein Substrat, auf dem eine bewegbare reflektierende oder beugende mikromechanische Vorrichtung ausgebildet ist, und eine Packung zum Halten der bewegbaren mikromechanischen Vorrichtung, wobei die Packung ein optisch durchlässiges Fenster enthält, das nicht parallel zum Substrat ist, die gepackte mikromechanische Vorrichtung in einem Weg eines Lichtstrahls von der Lichtquelle angeordnet ist, um das Licht des Lichtstrahls zu modulieren, und die Sammeloptik das modulierte Licht sammelt.

[0028] Gemäß einem Aspekt der Erfindung, auf den Bezug genommen wird, besteht das optisch durchlässige Fenster aus einem Anzeige-Qualitätsglas. Gemäß einem Aspekt der Erfindung, auf den Bezug genommen wird, enthält das obige Projektionssystem weiterhin Bond-Drähte auf einer ersten Seite zum elektrischen Verbinden des Substrates mit der Packung. Das optisch durchlässige Fenster ist vorzugsweise weiter vom Substrat an einem Punkt über den Bond-Drähten auf dem Substrat entfernt als an einem gegenüberliegenden Ende des Substrates. Das Packung ist vorzugsweise eine hermetische oder teilweise hermetische Packung. Gemäß einem

Aspekt der Erfindung, auf den Bezug genommen wird, enthält das Projektionssystem weiterhin einen Molekularabsorber in der Packung. Vorzugsweise ist die mikromechanische Vorrichtung eine mikromechanische Vorrichtung zum räumlichen Modulieren eines Lichtstrahls.

[0029] Ein weiterer Aspekt der vorliegenden Erfindung ist ein Projektor, enthaltend eine Lichtquelle, eine gepackte MEMS-Vorrichtung mit einer darauf angebrachten mikromechanischen Vorrichtung und einem Fenster in der Packung, die in einem Winkel zum Substrat angeordnet ist, und eine Sammeloptik, die angebracht ist, um Licht von der Lichtquelle nach der Modulation durch die gepackte MEMS-Vorrichtung zu empfangen.

[0030] Ein weiterer Aspekt der Erfindung ist ein Verfahren zum Herstellen eines Mikrospiegels, umfassend das Bereitstellen eines Substrates, das Abscheiden und Mustern einer ersten Opferschicht auf dem Substrat, das Abscheiden wenigstens einer Gelenkschicht auf der Opferschicht und das Mustern der wenigstens einen Gelenkschicht, um wenigstens ein Biegegelenk auszubilden, Abscheiden und Mustern einer zweiten Opferschicht, Abscheiden wenigstens einer Spiegelschicht, um ein Spiegelement auszubilden, und Entfernen der ersten und der zweiten Opferschicht, um den Mikrospiegel zu lösen.

[0031] Ein weiterer Aspekt der Erfindung ist eine optische mikromechanische Vorrichtung, enthaltend ein Substrat, eine erste Säule auf dem Substrat, ein Biegegelenk, wobei sich ein vorderes Ende des Biegegelenks auf der Säule befindet, eine zweite Säule, die am hinteren Ende des Biegegelenks angebracht ist, und eine Platte, die an der zweiten Säule angebracht ist.

[0032] Gemäß einem Aspekt der Erfindung, auf den Bezug genommen wird, enthält das Projektionssystem weiterhin ein Farbseparationselement, das zwischen der Lichtquelle und der Mikrospiegelanordnung angeordnet ist. Die Mikrospiegel enthalten vorzugsweise ein Metall und ein dielektrisches Material. Das dielektrische Material ist vorzugsweise ein Nitrid, Carbide oder Oxid aus Silizium. Die Mikrospiegel sind vorzugsweise über einem Schaltungssubstrat angeordnet. Das Schaltungssubstrat ist vorzugsweise ein CMOS-Substrat. Die Mikrospiegel sind vorzugsweise an einem oberen Glassubstrat angebracht, das an ein unteres Siliziumsubstrat gebondet ist. Das obere und das untere Substrat halten vorzugsweise durch UV- und/oder IR-Epoxydharzverklebung zusammen. 64.000 bis etwa 6.000.000 Mikrospiegel sind vorzugsweise in einer Fläche von etwa 1 cm² bis etwa 1 in² untergebracht. Vorzugsweise ist eine rechteckige Maske auf oder über der Mikrospiegelanordnung angebracht.

[0033] Gemäß einem bevorzugten Aspekt der Erfindung enthält die Mikrospiegelanordnung vorzugsweise vier aktive Eck-Mikrospiegel, die ein Rechteck mit vier Seiten definieren. Die Mikrospiegel enthalten vorzugsweise wenigstens vier längliche Spiegelseiten, wobei eine oder mehrere der Mikrospiegelseiten weder parallel noch senkrecht zu einer beliebigen Seite des Rechtecks sind, das durch die vier aktiven Eckspiegel definiert ist. Vorzugsweise ist keine Spiegelseite parallel oder senkrecht zu einer beliebigen Seite der rechteckigen Mikrospiegelanordnung. Wenigstens zwei Mikrospiegelseiten sind vorzugsweise weder parallel noch senkrecht zu den Seiten des Rechtecks der Mikrospiegelanordnung, wobei wenigstens zwei Mikrospiegelseiten parallel zu Seiten der rechteckigen Mikrospiegelanordnung sind. Jeder Mikrospiegel hat vorzugsweise die Gestalt eines Parallelogramms oder einer Gruppe von Parallelogrammen. Die Form als Gruppe von Parallelogrammen erscheint vorzugsweise als eine Abfolge von Parallelogrammen, von denen jedes ein Mikrospiegelbild eines benachbarten Parallelogramms ist. Die Form als Gruppe von Parallelogrammen erscheint vorzugsweise als identische Parallelogramme. Die Mikrospiegel haben andere Formen als im wesentlichen rechteckig.

[0034] Gemäß einem bevorzugten Aspekt der Erfindung enthält das Projektionssystem eine Anordnung von Mikrospiegeln, wobei jeder Mikrospiegel einem Pixel in einem betrachteten Bild entspricht und die Form eines konkaven Polygons oder eines oder mehrerer nicht rechteckigen Parallelogramme hat, eine Lichtquelle zum Leiten von Licht zur Anordnung der Mikrospiegel und eine Sammeloptik, die das Licht empfängt, das von den Mikrospiegeln reflektiert wird. Jeder Mikrospiegel hat vorzugsweise eine Form eines nicht rechteckigen Parallelogramms oder einer Gruppe nicht rechteckiger Parallelogramme Seite an Seite. Die Form als Gruppe von Parallelogrammen erscheint vorzugsweise als eine Abfolge von Parallelogrammen, von denen jedes ein Mikrospiegelbild eines benachbarten Parallelogramms ist. Die Form ist vorzugsweise ein konkaves Polygon mit sechs oder mehr Seiten und wenigstens einem konkaven Ausschnitt.

[0035] Gemäß einem bevorzugten Aspekt der Erfindung ist die Zahl der Parallelogramme kleiner als M/λ , wobei M die Breite des Mikrospiegels und λ die Wellenlänge des einfallenden Lichtes ist. Die Zahl der Parallelogramme ist vorzugsweise geringer als $0,5 M/\lambda$. Die Zahl der Parallelogramme ist vorzugsweise geringer als $0,1 M/\lambda$. Die Mikrospiegel umfassen vorzugsweise mindestens sechs längliche gerade Seiten. Die mindestens sechs Seiten bilden eine Form mit wenigstens einem Vorsprung und einem Ausschnitt. Die Mikrospiegel umfassen vorzugsweise mindestens 8 Seiten. Der Vorsprung und der Ausschnitt haben die Form eines Dreiecks. Der Vor-

sprung bildet vorzugsweise einen Außenwinkel von 70 bis 120 Grad, und der Ausschnitt bildet einen entsprechenden Innenwinkel von 70 bis 120 Grad. Die Mikrospiegel haben vorzugsweise Formen, die sich im wesentlichen von einer Quadratform unterscheiden. Die Mikrospiegel haben vorzugsweise zwei Außenwinkel zwischen 35 und 60 Grad. Die Mikrospiegel haben vorzugsweise gerade Seiten, die weder parallel noch senkrecht zu den Seiten des rechteckigen aktiven Bereichs sind. Jeder Mikrospiegel hat vorzugsweise die Form eines konkaven Polygons, das mehr als vier Seiten und mehr als vier Winkel hat.

[0036] Gemäß einem bevorzugten Aspekt der Erfindung hat die Anordnung eine im wesentlichen rechteckige Form und enthält wenigstens 1.000 Mikrospiegel, wobei die Mikrospiegel die Form eines konkaven oder konvexen Polygons haben und keine Seiten der polygonalen Mikrospiegel parallel zu den Seiten des im wesentlichen rechteckigen aktiven Bereichs sind. Die Mikrospiegel haben vorzugsweise wenigstens vier im wesentlichen gerade Seiten, von denen keine parallel zur vorderen oder hinteren Seite des rechteckigen aktiven Bereichs ist. Die Anordnung umfasst vorzugsweise vier Eckmikrospiegel, die, wenn sie miteinander verbunden sind, die rechteckige Form der Anordnung bilden. Die Mikrospiegel haben vorzugsweise Umschaltachsen, die parallel zu wenigstens zwei Seiten der rechteckigen Anordnung sind. Jeder Mikrospiegel hat vorzugsweise die Form eines Parallelogramms oder einer Gruppe von Parallelogrammen. Die Mikrospiegel enthalten vorzugsweise mindestens fünf längliche gerade Seiten. Die Mikrospiegel enthalten vorzugsweise mindestens sechs Seiten, die eine Form mit wenigstens einem Vorsprung und einem Ausschnitt bilden. Die Mikrospiegel enthalten vorzugsweise acht oder mehr Seiten. Der Vorsprung und der Ausschnitt haben vorzugsweise die Form eines Dreiecks. Der Vorsprung bildet vorzugsweise einen Außenwinkel von 70 bis 120 Grad, und der Ausschnitt bildet einen entsprechenden Innenwinkel von 70 bis 120 Grad. Die Mikrospiegel haben vorzugsweise wenigstens zwei Polygonseiten, die einen Winkel von 35 bis 60 Grad einschließen. Die Mikrospiegel haben vorzugsweise Seiten, die etwa 35 bis 55 Grad zu den Seiten des aktiven Bereichs angeordnet sind.

[0037] Gemäß einem bevorzugten Aspekt der Erfindung enthält das Projektionssystem eine Lichtquelle, die einen einfallenden Lichtstrahl erzeugt, eine Anordnung bewegbarer reflektierender Elemente und eine Sammeloptik, die Licht von der Anordnung projiziert, wobei ein Bild, das vom Projektionssystem projiziert wird, auf einem Ziel als rechteckiges Bild erscheint, wobei das Bild aus Tausenden bis Millionen Pixeln besteht, wobei jedes Pixel die Form eines konkaven Polygons, eines einzigen nicht rechtwinkligen Parallelogramms oder einer Gruppe von nicht rechtwinkligen Parallelogrammen hat. Jedes Pixel im

projizierten Bild ist vorzugsweise ein konkaves Polygon mit mehr als vier Seiten und vier Winkeln. Vorzugsweise ist keine Pixelseite parallel zu wenigstens zwei der Seiten des rechteckigen projizierten Bildes. Vorzugsweise sind zwei Pixelseiten nicht parallel und nicht senkrecht zu den projizierten Bildseiten, wobei wenigstens zwei Pixelseiten parallel und senkrecht zu projizierten Bildseiten sind. Wenigstens eine Pixelseite verläuft vorzugsweise in einer Richtung eines Winkels von 35 bis 85 Grad von einer der projizierten Bildseiten. Wenigstens zwei Pixelseiten verlaufen vorzugsweise in einer Richtung in einem Winkel von 40 bis 55 Grad von wenigstens einer der projizierten Bildseiten.

[0038] Gemäß einem anderen Aspekt der Erfindung ist die Maske als Teil der Verpackung vorgesehen.

[0039] Gemäß einem anderen Aspekt der Erfindung sind die Mikrospiegel in der Lage, wenigstens um $+12^\circ$ zu der „AN“-Position zu rotieren.

[0040] Gemäß einem anderen Aspekt der Erfindung ist das verpackte Mikrospiegelfeld in einem HDTV-Format.

[0041] Gemäß einem anderen Aspekt der Erfindung sind ein erster Spalt zwischen dem Scharnier und der Mikrospiegelplatte und ein zweiter Spalt zwischen der Mikrospiegelplatte und dem Substrat ausgebildet.

[0042] Gemäß einem anderen Aspekt der Erfindung sind ein erster Spalt zwischen dem Substrat und dem Scharnier und ein zweiter Spalt zwischen dem Scharnier und der Mikrospiegelplatte vorgesehen.

[0043] Gemäß einem anderen Aspekt der Erfindung umfassen die Mikrospiegel ein Metall und ein dielektrisches Material, wobei das dielektrische Material ein Nitrid, ein Carbid oder ein Siliziumoxid ist. Gemäß einem anderen Aspekt der Erfindung ist die Verpackung eine hermetische Verpackung oder eine teilweise hermetische Verpackung.

[0044] Gemäß einem anderen Aspekt der Erfindung erstrecken sich die Scharniere der Mikrospiegel parallel zu der vorderen und hinteren Seite der rechteckigen Maske.

[0045] Gemäß einem anderen Aspekt der Erfindung sind wenigstens 1.000 Mikrospiegel, vorzugsweise Millionen von Mikrospiegeln, in dem Mikrospiegelfeld vorhanden.

[0046] Gemäß einem anderen Aspekt der Erfindung sind die Mikrospiegel ziegelartig miteinander angeordnet.

[0047] Gemäß einem anderen Aspekt der Erfindung

hat jeder Mikrospiegel eine Schaltachse, die unter einem Winkel von 35 bis 60° zu den Seiten des Mikrospiegels steht.

[0048] Gemäß einem anderen Aspekt der Erfindung umfasst jeder Mikrospiegel ein Scharnier und eine Mikrospiegelplatte, die in unterschiedlichen Ebenen angeordnet sind, und worin das Scharnier eine Breite von $0,1$ bis $10 \mu\text{m}$ hat.

[0049] Gemäß einem anderen Aspekt der Erfindung ist die Dicke der Mikrospiegelplatte zwischen 200 bis 7.300 Angström.

[0050] Gemäß einem anderen Aspekt der Erfindung sind zwischen 64.000 bis $2.000.000$ Mikrospiegel oder von $2.000.000$ bis $3.000.000$ Mikrospiegel in dem Feld vorgesehen.

[0051] Gemäß einem anderen Aspekt der Erfindung hat das Mikrospiegelfeld eine Fläche von 1 cm^2 bis 1 in^2 .

[0052] Gemäß einem anderen Aspekt der Erfindung hat der Mikrospiegel eine Auflösung von $1.920.000$ oder größer.

[0053] Gemäß einem anderen Aspekt der Erfindung hat das verpackte Mikrospiegelfeld ein QXGA- oder UXGA-Format.

[0054] Gemäß einem anderen Aspekt der Erfindung sind die Mikrospiegel L-förmig.

[0055] Gemäß einem anderen Aspekt der Erfindung sind die Mikrospiegel V-förmig.

[0056] Gemäß einem anderen Aspekt der Erfindung sind die Mikrospiegel quadratisch.

[0057] Gemäß einem anderen Aspekt der Erfindung sind die Mikrospiegel nicht-quadratische Rechtecke.

[0058] Gemäß einem anderen Aspekt der Erfindung sind die Mikrospiegel in Form eines Parallelogramms.

[0059] Gemäß einem anderen Aspekt der Erfindung ist das Mikrospiegelfeld, das auf einem Substrat ausgebildet ist, zur Verwendung in einem Projektions-TV-Gerät bestimmt.

[0060] Gemäß einem anderen Aspekt der Erfindung erstrecken sich die Scharniere der Mikrospiegel parallel zu der vorderen und hinteren Seite des Mikrospiegelfeldes.

[0061] Gemäß einem anderen Aspekt der Erfindung haben die Mikrospiegel vier vorherrschende Seiten.

- [0062] Gemäß einem anderen Aspekt der Erfindung haben die Seiten der Mikrospiegel gleiche Längen.
- [0063] Gemäß einem anderen Aspekt der Erfindung sind sowohl der EIN- als auch der „AUS“-Zustand der Mikrospiegel in einer anderen Position als in einem flachen, nicht-abgelenkten Zustand.
- [0064] Gemäß einem anderen Aspekt der Erfindung sind keine wesentlichen Mikrospiegelseiten vorhanden, die senkrecht zu einer der Feldseiten sind.
- [0065] Gemäß einem anderen Aspekt der Erfindung hat jeder Mikrospiegel vier im wesentlichen gerade Seiten, von denen eine parallel zu den vorderen oder hinteren Seiten des Feldes ist, welches rechteckig ist.
- [0066] Ausführungsformen der Erfindung werden nun unter Bezugnahme auf die Zeichnungen beschrieben.
- [0067] [Fig. 1](#) ist eine Oberansicht einer Ausführungsform der Mikrospiegel der vorliegenden Erfindung;
- [0068] [Fig. 2A](#) bis [Fig. 2E](#) sind Querschnittsansichten eines Verfahrens zum Herstellen der Mikrospiegel der vorliegenden Erfindung, entlang der Linie 2–2 aus [Fig. 1](#);
- [0069] [Fig. 3A](#) bis [Fig. 3D](#) sind Querschnittsansichten desselben Verfahrens aus [Fig. 2A](#) bis [Fig. 2E](#), jedoch entlang der Linie 3–3 aus [Fig. 1](#);
- [0070] [Fig. 4A](#) bis [Fig. 4J](#) sind Querschnittsansichten, die ein weiteres Verfahren zum Herstellen von Mikrospiegeln für die vorliegende Erfindung darstellen;
- [0071] [Fig. 5A](#) bis [Fig. 5G](#) sind Querschnittsansichten eines weiteren Verfahrens zum Herstellen von Mikrospiegeln gemäß der vorliegenden Erfindung;
- [0072] [Fig. 6A](#) bis [Fig. 6C](#) sind Aufsichten unterschiedlicher Mikrospiegelformen und Gelenkkombinationen;
- [0073] [Fig. 7](#) ist eine Aufsicht eines Abschnitts einer Mikrospiegelanordnung mit mehreren Mikrospiegeln, wie in [Fig. 6A](#);
- [0074] [Fig. 8](#) ist eine isometrische Teilexplosionsansicht eines Mikrospiegels einer Ausführungsform der Erfindung;
- [0075] [Fig. 9A](#) bis [Fig. 9C](#) sind Querschnittsansichten, die die Betätigung eines Mikrospiegels der Ausführungsform aus [Fig. 8](#) zeigen;
- [0076] [Fig. 10A](#) bis [Fig. 10D](#) sind Querschnittsansichten eines Vorgangs in Übereinstimmung mit einer weiteren Ausführungsform der Erfindung;
- [0077] [Fig. 11A](#) bis [Fig. 11C](#) sind Querschnittsansichten, die eine Betätigung eines Mikrospiegels darstellen, der gemäß dem Verfahren aus [Fig. 10A](#) bis [Fig. 10D](#) hergestellt wird;
- [0078] [Fig. 12](#) ist eine Aufsicht mehrere Mikrospiegel in einer Mikrospiegelanordnung, die gemäß dem Verfahren aus [Fig. 11A](#) bis [Fig. 11C](#) hergestellt wird;
- [0079] [Fig. 13](#) ist eine isometrische Teilexplosionsansicht des Mikrospiegels aus [Fig. 12](#);
- [0080] [Fig. 14A](#) bis [Fig. 14C](#) zeigen Mikrospiegel, die einen flachen, nicht abgelenkten "AUS"-Zustand haben;
- [0081] [Fig. 15A](#) bis [Fig. 15C](#) zeigen Mikrospiegel, die einen abgelenkten "AN"- und "AUS"-Zustand mit gleichen Winkeln haben;
- [0082] [Fig. 16A](#) bis [Fig. 16C](#) zeigen Mikrospiegel, die einen größeren Winkel für den "AN"-Zustand als für den "AUS"-Zustand haben;
- [0083] [Fig. 17A](#) bis [Fig. 17E](#) zeigen eine Packungsanordnung für die Mikrospiegel mit einem winkelig angeordneten Fenster;
- [0084] [Fig. 18](#) ist die Darstellung des Beleuchtungssystems für die Mikrospiegelanordnung der vorliegenden Erfindung;
- [0085] [Fig. 19A](#) bis [Fig. 19E](#) zeigen die Beziehung zwischen dem Winkel des einfallenden Lichtes, der Mikrospiegelseiten und den Seiten des aktiven Bereichs;
- [0086] [Fig. 20](#) ist eine Mikrospiegelanordnung des Standes der Technik;
- [0087] [Fig. 21](#) und [Fig. 22](#) sind Darstellungen einer Ausführungsform der Erfindung, bei der quadratische Mikrospiegel einen Winkel zu den Seiten des aktiven Bereichs einschließen;
- [0088] [Fig. 23](#) bis [Fig. 25](#) zeigen Mikrospiegel, bei denen "vordere" und "hintere" Ränder der Mikrospiegel nicht senkrecht zum einfallenden Lichtstrahl sind;
- [0089] [Fig. 26A](#) bis [Fig. 26F](#) und [Fig. 27A](#) bis [Fig. 27F](#) sind Darstellungen von Mikrospiegeln, die die Form eines oder mehrerer Parallelogramme haben;
- [0090] [Fig. 28](#) ist eine Darstellung eines einzigen Mikrospiegels;

[0091] [Fig. 29](#) ist eine Darstellung einer Mikrospiegelanordnung, bei der ein Teil der vorderen und hinteren Seiten senkrecht zum einfallenden Lichtstrahl ist und ein weiterer Teil unter 45 Grad zum einfallenden Lichtstrahl angebracht ist;

[0092] [Fig. 30](#) bis [Fig. 31](#) sind Darstellungen von Mikrospiegelanordnungen, bei denen die Mikrospiegel keine Seiten parallel oder senkrecht zum einfallenden Lichtstrahl oder den Seiten des aktiven Bereichs der Anordnung haben;

[0093] [Fig. 32A](#) bis [Fig. 32J](#) sind Darstellungen von Mikrospiegeln mit entsprechenden Gelenkkonstruktionen; und

[0094] [Fig. 33A](#) bis [Fig. 33C](#) sind Darstellungen von Beugungsmustern, die eine Beugungslinie haben, die durch den Eintrittskegel der Sammeloptik (**33A**) verläuft und den Eintrittskegel meidet (**33B** und **33C**).

[0095] Verfahren für die Mikrofabrikation eines beweglichen Mikrospiegels oder einer Mikrospiegelanordnung sind in den US-Patenten 5.835.256 und 6.046.840 beschrieben. Ein ähnliches Verfahren zum Ausbilden der Mikrospiegel der vorliegenden Erfindung ist in [Fig. 1](#) bis [Fig. 3](#) dargestellt. [Fig. 1](#) ist eine Oberansicht einer Ausführungsform der Mikrospiegel der vorliegenden Erfindung. Wie in [Fig. 1](#) zu sehen, halten Säulen **21a** und **21b** eine Mikrospiegelplatte **24** über Gelenke **120a** und **120b** über einem tiefergelegenen Substrat, auf dem sich Elektroden (nicht gezeigt) befinden, die eine Ablenkung der Mikrospiegelplatte **24** bewirken. Wenngleich dies nicht in [Fig. 1](#) gezeigt ist, können sich, wie es hier im folgenden beschrieben werden wird, Tausende oder sogar Millionen von Mikrospiegeln **24** in einer Anordnung befinden, die Licht, das auf sie trifft, reflektieren und ein Bild auf einen Betrachter und/oder ein Ziel/Bildschirm projizieren.

[0096] Der Mikrospiegel und die anderen Mikrospiegel in der Anordnung können mit Hilfe zahlreicher unterschiedlicher Verfahren hergestellt werden. Ein Verfahren ist in [Fig. 2A](#) bis [Fig. 2E](#) (entlang des Querschnittes 2-2 von [Fig. 1](#)) dargestellt, bei dem die Mikrospiegel auf einem vorzugsweise lichtdurchlässigen Substrat ausgebildet werden, das anschließend auf ein Schaltungssubstrat gebondet wird. Diese Verfahren ist in der vorläufigen US-Patentanmeldung 09/732.246 und der US-Patentanmeldung 09/732.445 weiter beschrieben. Wenngleich das Verfahren in Verbindung mit einem lichtdurchlässigen Substrat beschrieben wird, können andere geeignete Substrate verwendet werden, wie etwa ein Halbleitersubstrat mit Schaltkreisen. Wird ein Halbleitersubstrat, wie etwa Monokristall-Silizium, verwendet, kann es vorzuziehen sein, die Mikrospiegelsäulen mit der Metallschicht **3** beim IC-Vorgang elektrisch zu verbind-

den und elektrisch leitfähige Materialien für wenigstens einen Teil der Mikrospiegel zu verwenden. Verfahren zum Herstellen von Mikrospiegeln direkt auf einem Schaltungssubstrat (anstelle auf einem lichtdurchlässigen Substrat), werde hier im Detail ausführlicher beschrieben.

[0097] Wie es in [Fig. 2A](#) zu sehen ist, wird ein lichtdurchlässiges Substrat **13** (wenigstens vor dem Hinzufügen weiterer Schichten auf demselben), wie etwa Glas (z.B. Corning 1737F oder Eagle 2000), Quartz, Pyrex®, Saphir oder dergleichen bereitgestellt. Das lichtdurchlässige Substrat kann eine optionale lichtundurchlässige Schicht aufweisen, die auf dessen Unterseite hinzugefügt ist, um eine Handhabung des Substrates während der Bearbeitung zu unterstützen. Eine derartige lichtundurchlässige Schicht kann eine TiN-Schicht sein, die durch reaktives Sputtern bis zu einer Tiefe von 2.000 Angström auf der Rückseite des lichtdurchlässigen Substrates abgeschieden und nach Abschluss der Bearbeitung entfernt wird. Das Substrat kann eine beliebige Form oder Größe haben, wobei jedoch jene, die die Gestalt eines herkömmlichen Wafers hat, der bei der Herstellung von integrierten Schaltkreisen benutzt wird, bevorzugt wird.

[0098] Wie es ebenfalls in [Fig. 2A](#) zu sehen ist, wird eine Opferschicht **14**, wie etwa amorphes Silizium, abgeschieden. Die Opferschicht kann aus einem anderen geeigneten Material bestehen, das später unter den Materialien der mikromechanischen Struktur entfernt werden kann (wie etwa SiO₂, Polysilizium, Polyimid, Novolak und dergleichen). Die Dicke der Opferschicht kann in einem großen Bereich liegen, abhängig von der Größe des beweglichen Elementes/Mikrospiegels und dem gewünschten Neigungswinkel, wenngleich eine Dicke von 500 Å bis 50.000 Å, vorzugsweise etwa 5.000 Å, bevorzugt werden. Alternativ zum amorphen Silizium kann die Opferschicht aus einer beliebigen Zahl von Polymeren, einem Fotoresist oder einem anderen organischen Material (oder sogar Polysilizium, Siliziumnitrid, Siliziumdioxid, in Abhängigkeit der Materialien, die dem Ätzmittel widerstehen sollen, und des gewählten Ätzmittels) bestehen. Eine optionaler Haftvermittler (z.B. SiO₂ oder SiN) kann vor dem Abscheiden des Opfermaterials aufgebracht werden.

[0099] Ein Loch **6** mit der Breite "d" wird in der Opferschicht ausgebildet, um eine Kontaktfläche zwischen dem Substrat **13** und den später abgeschiedenen Schichten der mikromechanischen Struktur herzustellen. Die Löcher werden durch Aufschleudern eines Fotoresists und Leiten von Licht durch eine Maske ausgebildet, um die Löslichkeit des Resists zu erhöhen oder zu verringern (abhängig davon, ob der Resist ein positiver oder negativer Resist ist). Die Abmessung "d" kann im Bereich von 0,2 bis 2 µm liegen (vorzugsweise 0,7 µm), abhängig von der fertigen

Größe des Mikrospiegels und der Mikrospiegelanordnung. Nach dem Entwickeln des Resists, um den Resist im Bereich der Löcher zu entfernen, werden die Löcher im amorphen Opfersilizium mit einem Chlor oder einem anderen geeigneten Ätzmittel (in Abhängigkeit des Opfermaterials) geätzt. Der zurückbleibende Fotoresist kann anschließend etwa mit einem Sauerstoffplasma entfernt werden. Das Loch in der Opferschicht kann eine beliebige Größe haben, wengleich ein Durchmesser von 0,1 bis 1,5 µm, besser jedoch etwa 0,7 +/- 0,25 µm bevorzugt wird. Das Ätzen wird bis auf das Glas-/Quartzsubstrat oder bis auf beliebige Zwischenschichten, wie etwa die Haftvermittlerschichten ausgeführt. Wird das lichtdurchlässige Substrat überhaupt geätzt, so geschieht dies in einem Umfang von weniger als 2.000 Å. Ist die Opferschicht **14** ein Material, das direkt gemustert werden kann (wie etwa Novolak oder ein anderer lichtempfindlicher Fotoresist), dann wird eine zusätzliche Schicht eines Fotoresists, die auf der Oberseite der Opferschicht **14** abgeschieden und entwickelt wird, nicht benötigt. In einem derartigen Fall wird die Fotoresist-Opferschicht gemustert, um Material im Bereich des Loches (der Löcher) zu entfernen, und anschließend wahlweise ausgehärtet, bevor zusätzliche Schichten abgeschieden werden.

[0100] An diesem Punkt wird, wie in [Fig. 2B](#) zu sehen, eine erste Schicht **7** beispielsweise durch chemische Bedampfung abgeschieden. Vorzugsweise ist das Material Siliziumnitrid oder Siliziumoxid, das durch LPCVD (chemische Niederdruckbedampfung) oder PECVD (plasmaverstärkte chemische Bedampfung) abgeschieden wird, wobei jedoch ein beliebiges geeignetes Dünnschichtmaterial, wie etwa Polysilizium, ein Metall oder eine Metalllegierung, Siliziumcarbid oder eine organische Verbindung an diesem Punkt abgeschieden werden kann (natürlich sollten die Opferschicht und das Ätzmittel auf das Strukturmaterial (die Strukturmaterialien) abgestimmt sein). Die Dicke der ersten Schicht kann in Abhängigkeit der Größe des bewegbaren Elementes und des gewünschten Steifheitsgrads des Elementes variieren, wobei bei einer Ausführungsform die Schicht eine Dicke von 100 bis 3.200 Å, vorzugsweise jedoch zwischen 900 und 1.100 Å hat. Wie es in [Fig. 2B](#) zu sehen ist, erstreckt sich die Schicht **7** in die Löcher, die in die Opferschicht geätzt sind.

[0101] Es wird eine zweite Schicht **8** abgeschieden, wie es in [Fig. 2C](#) zu sehen ist. Das Material kann dasselbe (wie etwa Siliziumnitrid), wie bei der ersten Schicht, oder ein anderes (Siliziumoxid, Siliziumcarbid, Polysilizium und dergleichen) sein und durch chemische Bedampfung abgeschieden werden, wie bei der ersten Schicht. Die Dicke der zweiten Schicht kann größer oder geringer sein als die der ersten Schicht, abhängig von der gewünschten Steifigkeit des bewegbaren Elementes, der gewünschten Flexibilität des Gelenkes, des verwendeten Materials und

dergleichen. Bei einer Ausführungsform ist die zweite Schicht 50 Å bis 2.100 Å dick, vorzugsweise jedoch etwa 900 Å. Bei einer weiteren Ausführungsform wird die erste Schicht durch PECVD und die zweite Schicht durch LPCVD abgeschieden. Bei der Ausführungsform, die in [Fig. 2A](#) bis [Fig. 2E](#) dargestellt ist, werden die erste und die zweite Schicht in Bereichen abgeschieden, die das bewegbare (Mikrospiegel-) Element und die Säulen ausbilden. In Abhängigkeit der gewünschten Steifigkeit des Mikrospiegelelementes ist es zudem möglich, lediglich eine der ersten und der zweiten Schicht im Bereich des Mikrospiegelelementes abzuschneiden. Zudem kann eine einzige Schicht anstelle der beiden Schichten **7**, **8** für sämtliche Bereiche der Mikrostruktur verwendet werden, wengleich dies zu Lasten der Steifigkeit und der Gelenkflexibilität gehen könnte. Wenn nur eine einzige Schicht verwendet wird, kann zudem der Bereich, der das Gelenk bildet, teilweise geätzt werden, um die Dicke in diesem Bereich zu verringern und die Flexibilität des resultierenden Gelenkes zu erhöhen. Zudem besteht die Möglichkeit, mehr als zwei Schichten zu verwenden, um ein bewegbares Laminelement zu erzeugen, was insbesondere dann erwünscht sein kann, wenn die Größe des bewegbaren Elementes etwa für die Umschaltung von Lichtstrahlen in einem optischen Schalter erhöht wird. Diese Materialien für derartige Schichten können ebenfalls Legierungen von Metallen und Dielektrika oder Verbindungen von Metallen und Stickstoff, Sauerstoff oder Kohlenstoff (insbesondere die Übergangsmetalle) beinhalten. Einige dieser alternativen Materialien sind in der vorläufigen US-Patentanmeldung 60/228.007 beschrieben.

[0102] Wie es in [Fig. 2D](#) zu sehen ist, wird eine reflektierende Schicht **9** abgeschieden. Das reflektierende Material kann Gold, Silber, Titan, Aluminium oder ein anderes Metall oder eine Legierung aus einem oder mehreren Metallen sein, wengleich vorzugsweise Aluminium durch PVD abgeschieden wird. Die Dicke der Metallschicht kann 50 bis 2.000 Å, vorzugsweise jedoch etwa 5.000 Å betragen. Eine optionale Metallpassivierungsschicht (nicht gezeigt) kann hinzugefügt werden, wie etwa eine 10 bis 1.100 Å dicke Siliziumoxidschicht, die durch PECVD auf der Schicht **9** abgeschieden wird. Es können andere Metallabscheidungstechniken zum Abscheiden der Metallschicht **9** angewendet werden, wie etwa chemische Flüssigabscheidung und Elektroplattieren. Nach Abscheiden der Schicht **9** wird ein Fotoresist aufgeschleudert und gemustert, gefolgt von der Ätzung der Metallschicht mit einem geeigneten Metallätzmittel. Im Fall einer Aluminiumschicht kann eine Chlor- (Brom-) Chemie verwendet werden (z.B. eine Plasma/RIE-Ätzung mit Cl₂ und/oder BCl₃ oder (Cl₂, CCl₄, Br₂, CBr₄ und dergleichen) wahlweise mit einem vorzugsweise inerten Verdünnungsmittel, wie etwa Ar und/oder He). Es wird darauf hingewiesen, dass die reflektierende Schicht nicht als letztes abge-

schieden werden muss, sondern anstelle dessen direkt auf der Opferschicht **14** zwischen anderen Schichten, die das Mikrospiegelement bilden, oder als die einzige Schicht abgeschieden werden kann, die das Mikrospiegelement bildet. Bei manchen Verfahren kann es jedoch gewünscht sein, eine Metallschicht nach einer dielektrischen Schicht wegen der höheren Temperatur abzuschneiden, mit der viele Dielektrika abgeschieden werden. Unter Bezugnahme auf [Fig. 2E](#) können die erste und die zweite Schicht **7**, **8** nach der reflektierenden Schicht mit bekannten Ätzmitteln oder Kombinationen von Ätzmitteln (in Abhängigkeit des verwendeten Materials und des gewünschten Isotropiegrads) geätzt werden. Beispielsweise können die erste und die zweite Schicht mit einer Chlorchemie oder einer Fluor- (oder anderen Halogenid-) Chemie geätzt werden (z.B. eine Plasma/RIE-Ätzung mit F_2 , CF_4 , CHF_3 , C_3F_8 , CH_2F_2 , C_2F_6 , SF_6 und dergleichen, oder mit größerer Wahrscheinlichkeit mit Kombinationen der oben genannten oder mit zusätzlichen Gasen, wie etwa CF_4/H_2 , SF_6/Cl_2 oder Gasen, die mehr als eine Ätzart verwenden, wie etwa CF_2Cl_2 , alle möglicherweise mit einem oder mehreren optionalen inerten Verdünnungsmitteln). Wenn unterschiedliche Materialien für die erste Schicht und die zweite Schicht verwendet werden, kann natürlich für die Ätzung jeder Schicht ein anderes Ätzmittel verwendet werden (Plasmaätzchemie, die nach dem Stand der Technik bekannt ist, abhängig von den verwendeten Materialien). Wenn die reflektierende Schicht von der ersten und der zweiten Schicht abgeschieden wird, würden die verwendeten Ätzchemien umgekehrt werden. Oder es können in Abhängigkeit der verwendeten Materialien alle Materialien zusammen geätzt werden. Spalte **20a** und **20b** mit einer Breite "e", wie sie in [Fig. 2E](#) gezeigt sind, dienen zur Trennung der Säulen **21** vom Mikrospiegelkörper **22**.

[0103] [Fig. 3A](#) bis [Fig. 3D](#) zeigen dasselbe Verfahren entlang eines anderen Querschnittes (Querschnitt 3-3 aus [Fig. 1](#)) und stellen das lichtdurchlässige Substrat **13** dar, auf dem eine Opferschicht **14** abgeschieden wird. Auf der Opferschicht **14** wird die Strukturschicht **7** abgeschieden. Wie es in [Fig. 3B](#) und [Fig. 3C](#) zu erkennen ist, wird ein Teil der Schicht **7** entfernt, bevor die Schichten **8** und **9** hinzugefügt werden. Dieser Teil, der entfernt wird, befindet sich in dem Bereich, in dem das Gelenk ausgebildet werden soll, und ermöglicht eine erhöhte Flexibilität im Gelenkbereich. Dieses "Ausdünnen" des Gelenkbereiches auf diese Art und Weise ist in der vorläufigen US-Patentanmeldung 60/178.902 und in der US-Patentanmeldung 09/767.632 beschrieben. Nach dem Entfernen der Teile der Schicht **7**, werden die Schichten **8** und **9** hinzugefügt, gefolgt vom Mustern der Schichten **7**, **8** und **9**, wie es oben erläutert wurde. Wie es in [Fig. 3D](#) zu sehen ist, haben die Gelenke **23** eine Breite "a" von 0,1 bis 10 μm , vorzugsweise jedoch 0,7 μm . Die Gelenke **23** sind voneinander durch

einen Spalt "b" und von den angrenzenden Mikrospiegelplatten durch Spalte "c" getrennt, die ebenfalls 0,1 bis 10 μm , vorzugsweise jedoch etwa 0,7 μm breit sein können.

[0104] Die oben allgemein erwähnten Verfahrensschritte können auf vielfache Art und Weise angewendet werden. Beispielsweise kann ein Glaswafer (wie etwa ein Corning 1737-, Eagle 2.000-, Quartz- oder Saphir-Wafer) bereitgestellt und mit einer opaken Beschichtung, wie etwa Cr, Ti, Al, TaN, Polysilizium oder TiN oder einer anderen opaken Beschichtung in einer Dicke von 2.000 Angström (oder in Abhängigkeit des Materials dicker) auf der Rückseite des Wafers beschichtet werden, um das transparente Substrat für die Handhabung vorübergehend opak zu machen. Nachdem eine optionale Haftschrift abgeschieden wurde (z.B. ein Material mit einer Silizium-Schlenkerbindung, wie etwa $SiNx$ – oder $SiOx$, oder ein leitfähiges Material, wie etwa glasartiger Kohlenstoff oder Indiumzinnoxid), wird in Übereinstimmung mit [Fig. 1](#) bis [Fig. 4](#) ein Opfermaterial aus hydriertem amorphem Silizium (Gas = SiH_4 (200 sccm), 1.500 sccm Ar, Leistung = 100 W, Druck = 3,5 Torr, Temperatur = 380°C, Elektrodenabstand = 350 mm; oder Gas = 150 sccm $SiHy$, 100 sccm Ar, Leistung = 55 W, Druck = 3 Torr, Temperatur 380°C, Elektrodenabstand = 350 mm; oder Gas = 200 sccm SiH_4 , 1.500 sccm Ar, Leistung = 100 W, Temperatur = 300°C, Druck = 3,5 Torr; oder andere Verfahrenspunkte zwischen diesen Einstellungen) auf dem transparenten Wafer in einer Dicke von 5.000 Angström in einem plasmaverstärkten chemischen Bedampfungssystem, wie etwa einem Applied Materials P5000, abgeschieden. Oder das Opfermaterial kann durch LPCVD bei 560°C entlang der Linien abgeschieden werden, wie es im US-Patent 5.835.256 beschrieben ist. Oder das Opfermaterial kann durch Sputtern abgeschieden werden, oder kann ein Material sein, das kein Silizium enthält, wie etwa ein organisches Material (das später beispielsweise durch Plasmasauerstoff-Ashen entfernt wird). Das a-Si wird gemustert (Fotoresist und Ätzen durch eine Chlorchemie, z.B. Cl_2 , BCl_3 und N_2), um so Löcher für die Anbringung des Mikrospiegels am Glassubstrat auszubilden. Eine erste Schicht aus Siliziumnitrid für die Erzeugung der Steifigkeit des Mikrospiegels und für die Verbindung des Mikrospiegels mit dem Glas wird durch PECVD (HF-Leistung = 150 W, Druck = 3 Torr, Temperatur = 360°C, Elektrodenabstand = 570 mm, Gas = $N_2/SiH_4/NH_3$ (1.500/25/10); oder HF-Leistung = 127 W, Druck = 2,5 Torr, Temperatur = 380°C, Gas $N_2/SiH_4/NH_3$ (1.500/25/10 sccm), Elektrodenabstand = 550 mm, wobei andere Verfahrenparameter verwendet werden können, wie etwa 175 W und ein Druck von 3,5 Torr) in einer Dicke von 900 Angström abgeschieden und gemustert (Druck = 800 mT, RF-Leistung 100 bis 200 Watt, Elektrodenabstand = 0,8 bis 1,1 mm, Gas = $CF_4/CHF_3/Ar$ (60 oder 70/40 bis 70/600 bis 800 sccm, He = 0 bis 200 sccm)), um

so das Siliziumnitrid in den Bereichen zu entfernen, in denen die Mikrospiegelgelenke ausgebildet werden. Als nächstes wird eine zweite Schicht aus Siliziumnitrid durch PECVD (HF-Leistung = 127 W, Druck = 2,5 Torr, Temperatur = 380°C, Gas = N₂/SiH₄/NH₃ (1.500/25/10 sccm), Elektrodenabstand = 550 mm) in einer Dicke von 900 Angström abgeschieden. Anschließend wird Al auf die zweite Siliziumnitridschicht in einer Dicke von 500 Angström bei einer Temperatur von 140 bis 180°C, einer Leistung von 200 W und Ar = 135 sccm gesputtert. Anstelle von Al kann das Material eine Aluminiumlegierung (Al-Si (1%), Al-Cu (0,5%) oder Al-SiCu oder AlTi) wie auch ein implantiertes oder targetdotiertes Aluminium sein. Das Aluminium wird im P5000 mit einer Chlorchemie (Druck = 40 mT, Leistung = 550 W, Gas = BCl₃/Cl₂/N₂ = 50/15/30 sccm) gemustert. Anschließend werden die SiN-Schichten geätzt (Druck = 100 mT, Leistung = 460 W, Gas = CF₄/N₂ (9/20 sccm)), gefolgt vom Ashen in einer H₂O + O₂ + N₂ Chemie in Plasma. Als nächstes werden die verbleibenden Strukturen gereinigt (Aceton + DI-Waferlösung) und trockengeschleudert. (Diese Reinigung kann ebenfalls mit dem Fotoresist-Entfernungsmittel EKS265 von EKC Technology oder anderen Reinigungsmitteln auf Lösungsmittelbasis erfolgen). Nachdem die Vorderseite des Wafers, der die Mikrostrukturen aufweist, mit dem Resist beschichtet wurde, wird das TiN auf der Rückseite in einer BCl₃/Cl₂/CF₄-Chemie in Plasma (oder einem anderen Metallätzmittel aus dem CRC Handbook of Metal Etchants) geätzt – oder poliert, oder unter Verwendung von CMP abgeschliffen, oder einem sauren Dampf, wie etwa HF entfernt – gefolgt von einer zweiten ACT-Reinigung (Aceton + DI-Waferlösung) und einer zweiten Schleudertrocknung. Der Wafer wird in einzelne Rohchips zerteilt und jeder Rohchip einem 300 W CF₄ Plasma (Druck = 150 Torr, 85 sccm für 60 Sekunden) ausgesetzt, gefolgt von einer 300 sccm Ätzung in einer Mischung aus He, XeF₂ und N₂ (Ätzdruck 158 Torr). Die Ätzung wird ausgeführt, indem der Rohchip in einer Kammer mit N₂ bei etwa 400 Torr platziert wird. In einem zweiten Bereich/Kammer herrschen 3,5 Torr XeF₂ und 38,5 Torr He. Eine Trenneinrichtung zwischen den beiden Bereichen/Kammern wird entfernt, was zur kombinierten XeF₂, He und N₂ Ätzmischung führt.

[0105] Oder der transparente Wafer (z.B. Corning 1737F) wird mit TiN in einer Dicke von 2.000 Angström auf der Rückseite des Glaswafers beschichtet. Anschließend wird ohne eine Haftschrift in Übereinstimmung mit [Fig. 1](#) bis [Fig. 4](#) ein Opfermaterial aus hydriertem amorphem Silizium (Leistung = 100 W, Druck = 3,5 Torr, Temperatur = 300°C, SiH₄ = 200 sccm; Ar = 1.500 sccm, oder Druck = 2,5 Torr, Leistung = 500 W, Temperatur = 360°C, Elektrodenabstand 350 mm, SiH₄-Fluss = 200 sccm, Ar-Fluss = 2.000 sccm) auf einem Glaswafer in einer Dicke von 5.300 Angström in einem P5000 von Applied Materials abgeschieden. Das a-Si wird gemustert (Fotoresist und Ät-

zung mit einer Chlorchemie, z.B. Cl₂, BCl₃ und N₂ – 50 W), um so Löcher für die Anbringung des Mikrospiegels im Glassubstrat auszubilden. Eine erste Schicht aus Siliziumnitrid zum Erzeugen der Steifigkeit im Mikrospiegel und zum Verbinden des Mikrospiegels mit dem Glas wird durch PECVD (Druck = 3 Torr, 125 W, 360°C, Abstand = 570, SiH₄ = 25 sccm, NH₃ = 10 sccm, N₂ = 1.500 sccm) in einer Dicke von 900 Angström abgeschieden und gemustert (CF₄/CHF₃), um so das Siliziumnitrid in Bereichen zu entfernen, in denen die Mikrospiegelgelenke ausgebildet werden. Als nächstes wird eine zweite Schicht aus Siliziumnitrid durch PECVD (dieselben Bedingungen wie bei der ersten Schicht) in einer Dicke von 900 Angström abgeschieden. Anschließend wird Al auf die zweite Siliziumnitridschicht in einer Dicke von 500 Angström gesputtert (150°C). Das Aluminium wird im P5000 mit einer Chlorchemie (BCl₃m Cl₂, Ar) gemustert. Anschließend werden die SiN-Schichten geätzt (CHF₃, CF₄), gefolgt vom Ashen in einem Barrel-Asher (O₂, CH₃OH bei 250°C). Anschließend werden die verbliebenen Strukturen mit dem Fotoresist-Entfernungsmittel EKS265 von EKC Technology gereinigt. Nach Beschichten der Vorderseite des Wafers, auf der sich die Mikrostrukturen befinden, mit dem Resist, wird das TiN auf der Rückseite in einem SF₆/Ar-Plasma geätzt, gefolgt von einer zweiten Reinigung und einer zweiten Schleudertrocknung.

[0106] Nach dem Abscheiden der Opfer- und Strukturschichten auf dem Wafersubstrat, wird der Wafer zerteilt und jeder Rohchip anschließend in einem Drytek HF-Plasmareaktor mit parallelen Platten platziert. 100 sccm CF₄ und 30 sccm O₂ fließen in die Plasmakammer, die bei etwa 200 mTorr für 80 Sekunden betrieben wird. Anschließend wird der Rohchip für 300 Sekunden bei 143 Torr Ätzdruck (kombiniert mit XeF₂, He und N₂) geätzt. Die Ätzung wird ausgeführt, indem der Rohchip in einer Kammer mit N₂ etwa 400 Torr ausgesetzt wird. In einem zweiten Bereich/Kammer herrschen 5,5 Torr XeF₂ und 20 Torr He. Eine Trenneinrichtung zwischen den beiden Bereichen/Kammern wird entfernt, was zu einer kombinierten XeF₂, He und N₂ Ätzmischung führt. Das oben genannte kann auch in einem Parallelplatten-Plasmaätzter mit einer Leistung von 300 W CF₄ (150 Torr, 85 sccm) für 120 Sekunden erreicht werden. Zusätzliche Merkmale der zweiten (chemischen, plasmafreien) Ätzung sind in der US-Patentanmeldung 09/427.841 für Patel et al., eingereicht am 26. Oktober 1999, und in der US-Patentanmeldung 09/649 beschrieben.

[0107] Wenngleich das Gelenk und jeder Mikrospiegel im wesentlichen in derselben Ebene ausgebildet werden können wie das Mikrospiegelement (Schicht 7, 8 und 9 des Mikrospiegelkörpers gegenüber den Schichten 8 und 9 des Mikrospiegelscharniers in [Fig. 3D](#)), wie es oben erläutert wurde, können sie auch separat vom und parallel zum Mikro-

spiegelement in einer anderen Ebene und als Teil eines separaten Verfahrensschrittes (nach der Abseparation eines zweiten Opfermaterials) ausgebildet werden. Dieser überlagernde Gelenktyp ist in [Fig. 8](#) und [Fig. 9](#) des zuvor erwähnten US-Patents 6.046.840 und detaillierter in der US-Patentanmeldung 09/631.536 beschrieben. Unabhängig davon, ob ausgebildet mit einer Opferschicht, wie in den Zeichnungen, oder mit zwei (oder mehr) Opferschichten, wie beim überlagernden Gelenk, werden derartige Opferschichten, wie es unten beschrieben wird, mit einem vorzugsweise isotropischen Ätzmittel entfernt. Dieses "Lösen" der Mikrospiegel kann unmittelbar auf die oben beschriebenen Schritte folgend ausgeführt werden, oder unmittelbar vor dem Zusammensetzen mit den Schaltkreisen auf dem zweiten Substrat. Wenn bei den Schaltkreisen Elektroden und Mikrospiegel nicht auf demselben Substrat ausgebildet werden, dann wird nach dem Ausbilden der Mikrospiegel auf einem lichtdurchlässigen Substrat, wie es oben beschrieben wurde, ein zweites Substrat bereitgestellt, das eine große Anordnung von Elektroden auf einer oberen Metallschicht (z.B. Metall **3**) des Substrates (z.B. ein Siliziumwafer) enthält. Wie es in [Fig. 11A](#) zu sehen ist, ist ein lichtdurchlässiges Substrat **40** mit einer darauf ausgebildeten Anordnung von Mikrospiegeln **44**, wie es oben erläutert wurde, an ein zweites Substrat **60** gebondet, das über Schaltkreise und Elektroden bei Spannungen V_0 , V_A und V_B verfügt, die als letzte Schicht auf diesem ausgebildet sind (es kann auch eine einzige Elektrode je Mikrospiegel bei einer Ausführungsform eines Mikrospiegels mit einer einzigen Bewegungsrichtung verwendet werden, wie es in [Fig. 1](#) gezeigt ist). Die Mikrospiegel **44** sind von den Elektroden auf dem Substrat **60** durch Abstandshalter **41** auf Abstand gehalten (z.B. Fotoresist-Abstandshalter benachbart zu jedem Mikrospiegel und/oder Abstandshalter, die sich im Epoxydharz befinden, wenn das Substrat **40** auf das Substrat **60** gebondet wird). Eine oder mehrere Elektroden auf dem Substrat steuern elektrostatisch ein Pixel (einen Mikrospiegel auf dem oberen optisch durchlässigen Substrat) der Mikroanzeigeeinrichtung. Die Spannung an jeder Elektrode auf der Oberfläche der Rückseitenebene bestimmt, ob das entsprechende Mikroanzeigepixel optisch "AN" oder "AUS" ist, wodurch ein sichtbares Bild auf der Mikroanzeigeeinrichtung ausgebildet wird. Details der Rückseitenebene und Verfahren zum Erzeugen eines impulsbreitenmodulierten Grauskala- oder Farbbildes sind in der US-Patentanmeldung 09/564 beschrieben. Die Anordnung des ersten und des zweiten Substrates ist detaillierter in den Patentanmeldungen von Ilkov et al. beschrieben, auf die zuvor Bezug genommen wurde. Zahlreiche unterschiedliche Typen des Wafer-Bondens sind nach dem Stand der Technik bekannt, wie etwa das adhäsive, anodische, eutektische Bonden, das Mikrowellen-, Löt- und Thermokompressions-Bonden.

[0108] Das Lösen der Mikrospiegel der vorliegenden Erfindung kann ein Verfahren in einem oder mehreren Schritten sein, wobei der Verfahrenstyp von der Art des verwendeten Opfermaterials abhängt. Bei einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung wird die erste Ätzung ausgeführt, die eine relativ niedrige Trennschärfe hat (wie etwa weniger als 200:1, vorzugsweise weniger als 100:1 und insbesondere weniger als 10:1), gefolgt von einer zweiten Ätzung mit einer höheren Trennschärfe (z.B. größer als 100:1, vorzugsweise größer als 200:1 und insbesondere 1.000:1). Ein derartiges zweifaches Ätzen ist in der US-Patentanmeldung 60/293.092 weiter ausgeführt. Es können natürlich andere Löseverfahren Anwendung finden, abhängig vom Opfermaterial. Wenn beispielsweise ein Fotoresist oder ein anderes organisches Material das Opfermaterial ist, kann das Sauerstoff-Plasma-Ashen oder ein superkritisches Lösen mit Fluid angewendet werden. Plasmen, die reinen Sauerstoff enthalten, können Arten erzeugen, die organische Materialien angreifen, um H_2O , CO und CO_2 als Produkte zu bilden, und ätzen SiO_2 , Al oder Si nicht. Oder wenn das Opfermaterial SiO_2 ist, dann kann ein Ätzmittel, wie etwa ein isotropisches Trockenätzmittel ($CHF_3 + O_2$, NF_3 oder SF_6) verwendet werden. Ist das Opfermaterial Siliziumnitrid, dann können Fluoratome Verwendung finden, um das Siliziumnitrid isotropisch zu ätzen (z.B. CF_4/O_2 -, CHF_3/O_2 -, CH_2F_2 - oder CH_3F -Plasmen). Ist das Opfermaterial amorphes Silizium, dann können Fluoratome in Gestalt von FeF_2 , BrF_3 oder $BrCl_3$ verwendet werden. Besteht die Opferschicht aus Aluminium, dann kann eine Chlorchemie (BCL_3 , CCl_4 , $SiCl_4$) verwendet werden.

[0109] Natürlich würde jedes Ätzmittel (und Opfermaterial) wenigstens teilweise auf der Basis des Umfangs der Unterätzung gewählt werden.

[0110] Ein weiteres Verfahren zum Ausbilden von Mikrospiegeln ist in [Fig. 4A](#) bis [Fig. 4J](#) dargestellt. Wie es in [Fig. 4A](#) zu sehen ist, wird auf einem Substrat (dies kann ein beliebiges Substrat sein, wie etwa ein Glas-/Quartzsubstrat oder ein Halbleiterschaltungssubstrat) ein Opfermaterial **31** abgeschieden. Es kann ein beliebiges geeignetes Opfermaterial verwendet werden, vorzugsweise jedoch eines, das eine große Ätztrennschärfe zwischen dem zu ätzenden Material und dem Opfermaterial hat. Ein mögliches Opfermaterial ist ein organisches Opfermaterial, wie etwa ein Fotoresist, oder andere Opfermaterialien, wie sie in der US-Patentanmeldung 60/298.529 beschrieben sind, eingereicht am 15. Juni 2001 für Reid et al.. In Abhängigkeit der exakten Beschaffenheit der Strukturschicht(en), können andere bekannte MEMS-Opfermaterialien, wie etwa amorphes Silizium oder PSG, verwendet werden. Kann das Opfermaterial nicht direkt gemustert werden, dann wird eine Fotoresistschicht **32** hinzugefügt und entwickelt, um eine oder mehrere Öffnungen ([Fig. 4B](#)) auszubil-

den. Anschließend werden, wie in [Fig. 4C](#) zu sehen, Öffnungen **34** in das Opfermaterial **31** geätzt und der Fotoresist **32** entfernt. Wie es in [Fig. 4D](#) zu sehen ist, wird eine (vorzugsweise leitfähige) Schicht **35** abgeschieden, die schließlich wenigstens die flexiblen Abschnitte für die MEMS-Vorrichtung ausbildet (in diesem Fall die Mikrospiegelstruktur). Die Schicht **35** kann auch die Säulen **36** zum Anbringen des Mikrospiegels auf dem Substrat oder sogar den gesamten Mikrospiegelkörper oder einen Teil desselben ausbilden. Wie es hier weiter beschrieben werden wird, enthält die leitfähige Schicht **35** bei einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung ein Metall-Si,Al,B-Nitrid, wobei das Metall vorzugsweise ein Übergangsmetall und insbesondere ein Spätübergangsmetall ist. Die Schicht **35** kann zudem mehrere (vorzugsweise leitfähige) Schichten oder eine leitfähige Schicht innerhalb zahlreicher anderer Arten von Schichten (strukturelle dielektrische Schichten, reflektierende Schichten, Antihafschichten und dergleichen) beinhalten. Die Schicht **35** muss nicht leitfähig sein, und in Abhängigkeit des exakten Verfahrens, der Zielmaterials und der Atmosphäre, die beim Abscheidungsverfahren verwendet wird, kann die Schicht **35** auch isolierend sein.

[0111] [Fig. 4E](#) zeigt das Hinzufügen eines Fotoresists (gemustert), gefolgt vom Ätzen eines Abschnittes der Nitridschicht(en) **35** und dem Entfernen des Fotoresists ([Fig. 4F](#)). Anschließend wird, wie in [Fig. 4G](#) gezeigt, die Mikrospiegelstruktur-Materialschicht **38** abgeschieden. Das Material kann leitfähig oder isolierend sein und kann aus mehreren Schichten bestehen. Ist das Material eine einzige Schicht, ist es vorzugsweise reflektierend (z.B. eine Aluminium-, Gold- oder Metalllegierungsschicht). Anschließend wird, wie in [Fig. 4H](#) zu sehen, ein Fotoresist **39** hinzugefügt und entwickelt, gefolgt vom ([Fig. 4I](#)) Ätzen/Entfernen von Abschnitten der Schicht **38** (wie etwa in dem Bereich der Teile, die sich während des Betriebs biegen). Anschließend wird, wie in [Fig. 4J](#) gezeigt, die Opferschicht entfernt, um die MEMS-Vorrichtung zu lösen, so dass sie auf dem Substrat freiliegt. Nicht gezeigt ist in [Fig. 4](#) ein Schaltkreis, der auf dem oder im Substrat **30** ausgebildet wird (sofern das Substrat ein Schaltungssubstrat ist), oder eine lichtundurchlässige Schicht auf dem Substrat **30**, die eine automatisierte Handhabung des Substrates verbessert (sofern das Substrat ein lichtdurchlässiges Substrat, wie etwa Glas, Quarz, Saphir und dergleichen ist).

[0112] Wie in [Fig. 4A](#) bis [Fig. 4J](#) gezeigt, wird ein freiliegender MEMS-Aufbau dort erzeugt, wo die Schicht **35** einen flexiblen Abschnitt der MEMS-Vorrichtung bildet, wohingegen die Schicht **38** den Aufbau ausbildet, die sich infolge der flexiblen Beschaffenheit der Schicht **35** bewegt. Wie zu erkennen ist, bildet die Schicht **38** sowohl den beweglichen Abschnitt, wie auch die Säule oder die Wand, die den MEMS-Aufbau auf dem Substrat **30** hält. Das beweg-

liche Element kann als Laminat von Schichten **38** und **35** (wie auch zusätzlichen Schichten) oder nur aus der Schicht **38** oder sogar nur aus der Schicht **35** bestehen. Die Beschaffenheit der bewegbaren und flexiblen Elemente hängt von der gewünschten Steifigkeit oder Flexibilität, der gewünschten Leitfähigkeit im fertigen Zustand, der ausgebildeten MEMS-Vorrichtung und dergleichen ab.

[0113] Die Mikrospiegel, die gemäß [Fig. 1](#) bis [Fig. 4](#) ausgebildet werden, werden vorzugsweise auf einem lichtdurchlässigen Substrat ausgebildet und haben einen nicht abgelenkten "AUS"-Zustand und einen abgelenkten "AN"-Zustand. Die Mikrospiegel können jedoch auf demselben Substrat wie Mikrospiegel-Betriebsschaltkreise und -elektroden ausgebildet werden. Zudem können die "AN"- und "AUS"-Zustände des Mikrospiegels eine andere Stellung als ein flacher, nicht abgelenkter Zustand sein. Bei der Ausführungsform, die in [Fig. 5](#) bis [Fig. 9](#) dargestellt ist, sind die Mikrospiegel auf demselben Substrat wie die Elektroden und Schaltkreise zum Bewegen der Mikrospiegel ausgebildet. Darüber hinaus haben die Mikrospiegel nicht nur abgelenkte "AN"- und "AUS"-Zustände, sondern es ist der Ablenkwinkel zwischen "AN" und "AUS" unterschiedlich. Wie es in [Fig. 5A](#) bis [Fig. 5G](#) gezeigt ist, kann ein Halbleitersubstrat mit darauf (oder darin) ausgebildeten Schaltkreisen und Elektroden das Ausgangssubstrat für die Herstellung von Mikrospiegeln gemäß der vorliegenden Erfindung sein.

[0114] Wie es in [Fig. 5A](#) zu sehen ist, hat ein Mikrospiegelsubstrat **10** mit Schaltkreisen zum Steuern des Mikrospiegels eine gemusterte Metallschicht, die in diskreten Bereichen **12a** bis **12e** auf dieser ausgebildet wird – normalerweise Aluminium (z.B. die letzte Metallschicht bei einem Halbleiterverfahren). Eine Opferschicht **14** wird darauf abgeschieden, wie es in [Fig. 5B](#) zu sehen ist. Wie bei den vorhergehenden Ausführungsformen kann das Opfermaterial aus einer Vielzahl von Materialien in Abhängigkeit der benachbarten Strukturen und des gewünschten Ätzmittels gewählt werden. Beim vorliegenden Beispiel ist das Opfermaterial ein Novolak-Fotoresist. Wie es ebenfalls in [Fig. 5B](#) zu erkennen ist, werden die Öffnungen **15a** und **15b** im Opfermaterial durch herkömmliche Musterausbildungsverfahren für einen Novolak-Fotoresist ausgebildet, um Öffnungen **15a** bis **15c** auszubilden, die mit den Metallbereichen **12a** bis **12c** verbunden sind. Nach dem Ausbilden der Öffnungen **15a** bis **15c** werden, wie in [Fig. 5C](#) dargestellt, Stecker oder andere Verbindungen **16a** bis **16c** gemäß herkömmlichen Steckerausbildungsverfahren ausgebildet. Beispielsweise kann Wolfram (W) mit CVD durch a) Siliziumreduktion: $2WF_6 + 2Si \rightarrow 2W + 3SiF_4$ (diese Reaktion wird normalerweise dadurch hervorgerufen, dass es dem WF₆-Gas gestattet ist, mit Bereichen von freiliegendem Silizium auf der Waferoberfläche bei einer Temperatur von etwa

300°C zu reagieren), b) durch Stickstoffreduktion: $WF_6 + 3H_2 \rightarrow W + 6HF$ (dieser Vorgang wird bei verringerten Drücken ausgeführt, normalerweise bei Temperaturen unter 450°C), oder c) Silanreduktion abgeschieden werden: $2WF_6 + 3SiH_4 \rightarrow 2W + 3SiF_4 + 6H_2$ (Diese Reaktion (LPCVD bei etwa 300°C) wird weitverbreitet benutzt, um eine W-Keimschicht für die Stickstoffreaktion zu erzeugen. Es können andere leitfähige Materialien, insbesondere andere feuerfeste Materialien für die Stecker **16A** bis **16c** verwendet werden. Nach dem Abscheiden einer Schicht des Steckermaterials, wird chemisch-mechanisches Polieren (CMP) bis hinunter zur Opferschicht ausgeführt, um so die Stecker auszubilden, wie es in [Fig. 5C](#) dargestellt ist. Bei manchen Steckermaterialien kann es wünschenswert sein, zunächst eine Zwischenlage abzuschneiden, um ein Abschälen zu vermeiden (für einen Wolframstecker kann beispielsweise eine TiN-, TiW- oder TiWN-Zwischenlage abgeschieden werden, um das Wolfram im Loch des Opfermaterials zu umgeben und später anschließend die Opferschicht zu lösen).

[0115] Wie es in [Fig. 5D](#) zu sehen ist, wird eine leitfähige Schicht abgeschieden und gemustert, um diskrete Metallbereiche **18a** bis **18c** zu erzeugen, die jeweils mit darunterliegenden Metallbereichen **12a** bis **12c** über Stecker **16a** bis **16c** elektrisch verbunden sind. Die leitfähige Schicht kann aus einem beliebigen Material (Aluminium, Legierungen aus Aluminium, Legierungen aus anderen Metallen, leitfähigen keramischen Verbindungen und dergleichen) bestehen, das durch geeignete Verfahren, wie etwa physikalische Bedampfung oder Elektroplattieren abgeschieden wird. Das Material sollte vorzugsweise sowohl leitende Eigenschaften wie auch eine geeignete Kombination aus Härte und Elastizität und dergleichen aufweisen (wie zu sehen sein wird, dient der Bereich **18c** als Gelenk für den auszubildenden Mikrospiegel). Natürlich müssen die diskreten Bereiche **18a** bis **18c** nicht zur selben Zeit ausgebildet werden, wenn unterschiedliche Materialeigenschaften von einem diskreten Bereich zum nächsten diskreten Bereich gewünscht sind (ähnliches trifft für die anderen Bereiche zu, die in der Vorrichtung ausgebildet werden, wie etwa die Bereiche **12a** bis **12e** und die Stecker **18a** bis **18c**). Natürlich sind weniger Verfahrensschritte erforderlich, wenn jeder diskrete Bereich in einer Schicht aus demselben Material besteht, das zur selben Zeit abgeschieden wird. Bei einer bevorzugten Ausführungsform ist diese leitfähige Schicht entweder eine Aluminiumlegierung oder einer leitfähige Zweifach- oder Dreifach- (oder höhere) Verbindung, wie etwa jene, die in der US-Patentanmeldung 60/228.007 für Reid, eingereicht am 23. August 2000, und in der US-Patentanmeldung 60/300.533 beschrieben sind, die durch reaktives Sputtern abgeschieden wird. Die geeignete Ätzchemie wird verwendet, um die leitfähige Schicht zu mustern (wie etwa eine Chlorchemie für Aluminium), um so die dis-

kreten Bereiche **18a** bis **18c** auszubilden.

[0116] Wie es weiter in [Fig. 5E](#) gezeigt ist, wird eine zweite Schicht einer Opferschicht **20** abgeschieden, die dieselbe wie die Opferschicht **14** sein oder sich von dieser unterscheiden kann (vorzugsweise ist das Material dasselbe, so dass beide Schichten gleichzeitig entfernt werden können). Anschließend wird die Schicht **20** derart gemustert, dass eine Öffnung **20a** hinunter bis zum Bereich **18c** ausgebildet wird. Wie bei der Ausbildung der Öffnungen in der Opferschicht **14**, kann dies mit einer zusätzlichen Schicht eines Fotoresists erfolgen, oder die Schicht **20** kann direkt gemustert werden, sofern das Material ein Fotoresist oder ein anderes Material ist, das direkt gemustert werden kann. Wie es in [Fig. 5F](#) zu sehen ist, wird ein Stecker oder eine Verbindung **22** durch Abscheiden eines vorzugsweise elektrisch leitfähigen Materials auf der Opferschicht **20** ausgebildet, gefolgt vom chemisch-mechanischen Polieren, wodurch der Stecker **22** mit dem diskreten Bereich ("Gelenk") verbunden zurückbleibt. Anschließend wird, wie in [Fig. 5G](#) zu sehen, ein Mikrospiegelkörper **24** durch Abscheiden einer (vorzugsweise leitfähigen) Schicht ausgebildet, gefolgt vom Mustern in die gewünschte Form des Mikrospiegels. Es sind zahlreiche Mikrospiegelformen möglich, wie etwa jene, die in [Fig. 6A](#) dargestellt sind und wie es hier im Detail weiter ausgeführt wird. Die Mikrospiegelform in Übereinstimmung mit diesem Beispiel der Erfindung kann jedoch jede beliebige Form haben, wie etwa ein Quadrat oder ein Diamant, wie es in [Fig. 6B](#) und [Fig. 6C](#) gezeigt ist. Es werden natürlich jene Formen bevorzugt, die ein dichtes Packen der Mikrospiegel und somit einen hohen Füllfaktor ermöglichen (wie etwa die Form des Mikrospiegels in [Fig. 6A](#), der in eng aneinanderliegenden Anordnung in [Fig. 7](#) dargestellt ist). Die Punktlinie **62** in [Fig. 6C](#) (und später in [Fig. 12](#)) ist die Drehachse der Mikrospiegel.

[0117] Wenngleich unterschiedliche Schichten, die bei der Herstellung des Mikrospiegels verwendet werden, in Übereinstimmung mit [Fig. 5A](#) bis [Fig. 5G](#) als einzelne Schichten dargestellt sind, kann dennoch jede Schicht (egal ob strukturelle Schicht oder Opferschicht) als Laminat ausgebildet sein, wie etwa eine Schicht eines Laminates, das verbesserte mechanische Eigenschaften hat, und eine weitere Schicht, die eine verbesserte Leitfähigkeit aufweist. Wenngleich bei der vorliegenden Ausführungsform die strukturellen Materialien leitfähig sind, ist es möglich, das Mikrospiegelement **24** (oder eine Schicht innerhalb des Laminates **24**) leitfähig wie auch Betätigungselektroden **12d** und **18b** (sowie Schichten/Materialien, die die Elektroden **12d** und **18b** mit dem Halbleitersubstrat verbinden) auszubilden. Weiterhin müssen die oben beschriebenen Materialien (Metall, Metalllegierungen, Metall-Keramiklegierungen und dergleichen) kein Metall enthalten, sondern können beispielsweise Silizium (wie etwa ein

polykristallines Silizium) oder eine Verbindung von Silizium (z.B. Si₃N₄, SiC, SiO₂ und dergleichen) sein. Sofern Si₃N₄ als strukturelles Material und amorphes Silizium als Opfermaterial verwendet werden, kann Xenon-Difluorid als Gasphasenätzmittel verwendet werden, um das amorphe Opfersilizium zu entfernen. Sofern gewünscht, kann das Silizium oder die Siliziumverbindung (oder eine andere Verbindung), die als strukturelles Material verwendet werden, vor und/oder nach dem Entfernen der Opferschicht angelassen werden, um die Spannungseigenschaften der strukturellen Schichten zu verbessern. [Fig. 8](#) ist eine Explosionsdarstellung des Mikrospiegels, der gemäß [Fig. 5A](#) bis [Fig. 5G](#) ausgebildet ist.

[0118] Einer der letzten Schritte bei der Herstellung des Mikrospiegels ist das Entfernen der Opferschichten **14** und **20**. [Fig. 9A](#) ist eine Darstellung des Mikrospiegels nach dem Entfernen der beiden Opferschichten, wobei der Mikrospiegel **24** über die Säule **22**, das Gelenk **18**, die Säule **16c** und die Metallbereiche **12c** mit dem Substrat **10** verbunden dargestellt ist. Der Mikrospiegel, der in [Fig. 9A](#) gezeigt ist, wird nicht bewegt oder abgelenkt, da keine Spannung an einer der darunterliegenden Elektroden (diskrete Metallbereiche, die beim oben beschriebenen Verfahren ausgebildet wurden), wie etwa den Elektroden **18b** oder **12d** anliegt. Diese nicht abgelenkte Stellung ist die "AUS"-Stellung des Mikrospiegels, was bei Projektionssystemen im allgemeinen der am weitesten von der "AN"-Stellung entfernte Winkel ist (um das beste Kontrastverhältnis für das projizierte Bild zu erreichen). Der "AN"-Zustand des Mikrospiegels, d.h. die Stellung des Mikrospiegels, die Licht in den Eintrittkegel der Sammeloptik lenkt, ist in [Fig. 9B](#) gezeigt. Eine Spannung V_A liegt an der Elektrode **12d** an, um die Mikrospiegelplatte **24** elektrostatisch nach unten zu ziehen, bis der Rand der Platte **24** gegen die Elektrode **12e** stößt. Sowohl die Mikrospiegelplatte **24** als auch die Elektrode **12e** haben dasselbe Potential, bei diesem Beispiel eine Spannung von V_0 . Wenn, wie es in [Fig. 9C](#) gezeigt ist, eine Spannung V_B an der Elektrode **18b** anliegt, wird die Mikrospiegelplatte **24** in eine entgegengesetzte Richtung abgelenkt, wobei ihre Bewegung durch die Elektrode **18a** gestoppt wird. Die Elektrode **18a** und die Mikrospiegelplatte **24** befinden sich auf demselben Potential (bei diesem Beispiel eine Spannung V_0). Abhängig von der Größe der Elektrode **18b** gegenüber der Elektrode **12d** und dem Abstand zwischen diesen Elektroden und der Mikrospiegelplatte **24** müssen die Spannungen, die an den Elektroden **18b** und **12d** anliegen, nicht dieselben sein. Diese abgelenkte Stellung, die in [Fig. 9C](#) gezeigt ist, ist die "AUS"-Stellung und leitet das Licht am weitesten von der Sammeloptik weg.

[0119] Wie es durch Vergleich von [Fig. 9B](#) und [Fig. 9C](#) zuerkennen ist, bildet die „AUS“-Stellung ei-

nen kleineren Winkel (mit dem Substrat) als die „AN“-Stellung. Wenn im folgenden die AN- und AUS-Winkel (oder derartige Winkel, die sich auf das Substrat oder eine nicht abgelenkte Mikrospiegelstellung beziehen) erwähnt werden, wird ein Vorzeichen des Winkels verwendet (positiv oder negativ im Bezug auf das Substrat oder die nicht abgelenkte Stellung). Das Vorzeichen ist willkürlich, kennzeichnet jedoch, dass sich die Mikrospiegel in einer Richtung in eine "AN"-Stellung und in einer entgegengesetzten Richtung in eine "AUS"-Stellung drehen. Die Vorteile einer derartigen Asymmetrie werden im folgenden detaillierter ausgeführt. Bei einem Beispiel der Erfindung liegt die „AN“-Stellung zwischen 0 und +30 Grad und die „AUS“-Stellung zwischen 0 und -30 Grad, wobei die Bewegung in die „AN“-Stellung größer ist als die Bewegung in die „AUS“-Stellung. Beispielsweise könnte die „AN“-Stellung zwischen +10 und +30 Grad liegen (oder zwischen +12 und +20 Grad, oder zwischen +10 und +15 Grad), und die „AUS“-Stellung könnte größer als 0 Grad sein und zwischen 0 und -30 Grad liegen (oder innerhalb eines kleineren Bereiches zwischen 0 und -10 Grad, oder zwischen -1 und -12, oder zwischen -10 und -11 Grad, oder zwischen -2 und -7 Grad). Bei einem weiteren Beispiel sind die Mikrospiegel in der Lage, sich wenigstens +12 Grad in die „AN“-Stellung und zwischen -4 und -10 Grad in die „AUS“-Stellung zu drehen. In Abhängigkeit der Materialien, die für die Gelenke verwendet werden, können auch größere Winkel erreicht werden, wie etwa eine AN-Drehung von +10 bis +35 Grad und eine AUS-Drehung von -2 bis -25 Grad (natürlich können die Materialermüdung und ein Kriechen des Materials bei sehr großen Winkeln an Bedeutung gewinnen). Berücksichtigt man die Drehrichtung nicht, so wird es bevorzugt, dass sich die AN- und „AUS“-Stellungen in Winkeln von größer als 3 Grad jedoch weniger als 30 Grad relativ zum Substrat befinden, die „AN“-Stellung größer als +10 Grad ist und sich die Spiegel in der AN-Richtung 1 Grad (oder mehr) weiter drehen als in der entgegengesetzten AUS-Richtung.

[0120] [Fig. 10A](#) bis [Fig. 10D](#) zeigen ein weiteres Verfahren und Mikrospiegelbau. Die Variabilität bei den Materialien, den Schichten, dem Opferätzen, dem Abscheiden der strukturellen Schichten und dergleichen ist im Bezug auf die zuvor erwähnten Verfahren dieselbe wie oben. Beim Verfahren, das in [Fig. 10A](#) bis [Fig. 10D](#) gezeigt ist, kann das Substrat entweder ein lichtdurchlässiges Substrat (das später mit einem zweiten Substrat mit Schaltkreisen und Elektroden verbunden wird) oder ein Halbleitersubstrat sein, das bereits über die Schaltkreise und die Elektroden verfügt. Beim vorliegenden Beispiel werden, wie in [Fig. 11A](#) bis [Fig. 11B](#) zu sehen, die Schaltkreise und die Elektroden auf einem separaten Substrat ausgebildet.

[0121] In [Fig. 10A](#) wird eine Opferschicht **42** abge-

schieden und gemustert, um eine Öffnung **43** auszubilden. Anschließend wird, wie in [Fig. 10B](#) gezeigt, ein Stecker ausgebildet (vorzugsweise wie beim Verfahren von [Fig. 5A](#) bis [Fig. 5G](#) – Abscheidung eines Metalls, einer Metalllegierung oder einer anderen leitfähigen Schicht und anschließendem Planrichten (z.B. durch CMP), um den Stecker auszubilden).

[0122] Anschließend wird, wie in [Fig. 10C](#) zu sehen, ein Gelenk **50** durch Abscheiden eines elektrisch leitfähigen Materials (mit geeigneten Amorphitäts-, Elastizitäts-, Härte- und Festigkeitseigenschaften etc.) ausgebildet. Beim vorliegenden Beispiel besteht das Gelenk (und/oder der Mikrospiegel) aus einem Frühübergangsmetall-Siliziumnitrid, wie etwa Ta-Si-N, einem Spätübergangsmetall-Siliziumnitrid, wie etwa Co-Si-N, oder einem Metall oder einer Metallkeramiklegierung, wie etwa einer Titanaluminiumlegierung oder einer Titanaluminiumoxidlegierung. Nach dem Abscheiden eines derartigen Materials wird ein Fotoresist abgeschieden und so gemustert, dass ein Ätzen/Entfernen sämtlicher Bereiche mit Ausnahme der Gelenkbereiche **50** ermöglicht ist. Anschließend wird, wie in [Fig. 10D](#) zu sehen, eine Mikrospiegelplatte **44** ausgebildet, indem zunächst die Gelenke mit Fotoresist geschützt und anschließend eine Gelenkstrukturschicht derart abgeschieden und gemustert wird, dass die Mikrospiegelplatte teilweise überlappend und somit verbindend mit dem Gelenk **50** ausgebildet wird. Wie bei den anderen Ausführungsformen wird eine Anordnung aus Tausenden oder Millionen derartiger Mikrospiegel gleichzeitig in einer Anordnung ausgebildet.

[0123] Unabhängig davon ob im Wafer- oder im Rohchipstadium, wird das Substrat mit den Mikrospiegeln an einem Substrat mit Betätigungsschaltkreisen und -elektroden angebracht. Es sollte beim vorliegenden Beispiel wenigstens zwei Elektroden je Mikrospiegel geben, eine für jede Richtung der Ablenkung und vorzugsweise eine dritte, um ein Stoppen der Bewegung des Mikrospiegels (in einer der Richtungen) durch Anschlagen an ein Material mit demselben Potential wie das der Mikrospiegel an sich zu ermöglichen. Das zweite Substrat **60** mit Elektroden **72** und **74** zum Ablenken des Mikrospiegels, sowie eine Anschlagauflage oder -elektrode **70** sind in [Fig. 11A](#) dargestellt. Der Mikrospiegel befindet sich in [Fig. 11A](#) in einer nicht abgelenkten Stellung. Wenn eine Spannung V_A an der Elektrode **72** anliegt, wird der Mikrospiegel **44** abgelenkt, bis er gegen die Elektrode **70** schlägt ([Fig. 11B](#)). Dies ist die "AN"-Stellung des Mikrospiegels, die einen Eintritt von Licht in die Sammeloptik des Systems gestattet. Es ist möglich, den Spalt zwischen den Substraten so auszubilden, dass die Enden der Mikrospiegelplatte **44** gleichzeitig gegen die Elektrode **70** und das Substrat **40** stoßen. Wenn eine Spannung V_B an der Elektrode **74** anliegt, wird die Mikrospiegelplatte **44** in der entgegengesetzten Richtung abgelenkt, bis das

Ende der Mikrospiegelplatte gegen das Substrat **40** stößt. Dies ist die "AUS"-Stellung des Mikrospiegels ([Fig. 11C](#)). Infolge der Position des Gelenkes **50** und der Säule **46** ist der Winkel des Mikrospiegels in dieser "AUS"-Stellung kleiner als der Winkel des Mikrospiegels in der "AN"-Stellung. Eine Anordnung derartiger Mikrospiegel ist in [Fig. 12](#) gezeigt, und eine Explosionsdarstellung eines Mikrospiegels, der in Übereinstimmung mit dem Verfahren von [Fig. 10A](#) bis [Fig. 10D](#) hergestellt ist, ist in [Fig. 13](#) zu sehen.

[0124] [Fig. 14A](#) ist eine Querschnittsansicht mehrerer Mikrospiegel innerhalb einer Anordnung, wobei Mikrospiegel in ihrem "AUS"-Zustand nicht abgelenkt sind (Gruppe **100**), wohingegen Mikrospiegel in ihrem "AN"-Zustand (Gruppe **102**) aus dem flachen Zustand bewegt sind, so dass sie Licht projizieren, wobei das Licht (direkt, auf einem Ziel innerhalb einer einheitlichen Vorrichtung, durch einen Raum auf einen Bildschirm, etc.) gesehen werden kann. Eine derartige Mikrospiegelanordnung ist besser in [Fig. 14B](#) und [Fig. 14C](#) dargestellt. Wie in [Fig. 14B](#) zu sehen, wird im "AN"-Zustand der Mikrospiegel ein einfallender Lichtkegel **50** von den Mikrospiegeln reflektiert (sämtliche Mikrospiegel sind in dieser Zeichnung "AN") und das Licht als Lichtkegel **52** in eine Ausgangsöffnung **60** projiziert, wobei es sich in den meisten Fällen zu einem Abbildungssystem (wie etwa einer Projektionslinse oder Projektionslinsen) ausbreiten wird. Der Kegel **54** stellt eine Spiegelung von der transparenten Abdeckung dar. [Fig. 14C](#) ist eine Darstellung der Mikrospiegel in ihrem "AUS"-Zustand, wobei der Kegel **52** Licht repräsentiert, das von den Mikrospiegeln in diesem "AUS"-Zustand reflektiert wird. Der einfallende und der reflektierte Lichtkegel wird sich auf der gesamte Anordnung verjüngen, obwohl in diesen Zeichnungen aus Gründen der Darstellung die Lichtkegel so gezeigt sind, dass sie auf einem einzelnen Mikrospiegel zusammenlaufen.

[0125] Die Anordnung von [Fig. 14B](#) und [Fig. 14C](#) hat den Vorteil, dass, wenn sich die Mikrospiegel in ihrem "AUS"- (nicht abgelenkten) Zustand befinden, wenig Licht in der Lage ist, sich durch die Spalte zwischen den Mikrospiegeln auszubreiten und eine unerwünschte "Spaltbrechung" zu erzeugen. Gebeugtes Licht wird jedoch, wie es in [Fig. 14C](#) gezeigt ist, durch das sich wiederholende Muster der Mikrospiegelerzeugt (Licht **61a** und **61b**, das sich über den Kegel des reflektierten "AUS"-Lichtes **52** ausbreitet). Dieses unerwünschte Licht wird durch Brechung oder Beugung an den Rändern der Mikrospiegel verursacht ("Randbrechung"). Da insbesondere der einfallende Lichtkegel (und somit die austretenden Lichtkegel) so groß wie möglich ausgebildet wird, um die Effizienz zu erhöhen, kann Beugungslicht, wie etwa das Licht **61**, das sich über den Kegel des reflektierten "AUS"-Lichtes ausbreitet, in die Ausgangsöffnung **60** (z.B. die Sammeloptik) eintreten und un-

erwünscht das Kontrastverhältnis beeinträchtigen.

[0126] Um diese "Überlappung" von "AUS"-Zustands-Licht (einschließlich dem Beugungslicht) und "AN"-Zustands-Licht, das das Kontrastverhältnis beeinträchtigt, zu vermeiden, können das "AUS"-Zustands-Licht und das "AN"-Zustands-Licht weiter voneinander getrennt werden, indem die Mikrospiegel sowohl für den "AN"-Zustand als auch für den "AUS"-Zustand abgelenkt werden. Wenn, wie in [Fig. 15A](#) dargestellt, der Mikrospiegel in seinem "AUS"-Zustand abgelenkt ist, wie es in dieser Zeichnung zu sehen ist, wird ein Teil des Lichtes ordnungsgemäß von den Mikrospiegeln weit weg von der "AN"-Zustands-Richtung (z.B. die Sammeloptik) reflektiert, wie es mit dem Strahl **116** dargestellt ist. Anderes Licht **112** trifft nicht auf einen Mikrospiegel, sondern bricht sich auf der Oberseite des unteren Substrates (z.B. die unteren Schaltkreise und Elektroden) und tritt in die Sammeloptik ein, obwohl sich der benachbarte Mikrospiegel im "AUS"-Zustand befindet. Oder das einfallende Licht kann, wie mit dem Strahl **114** gezeigt, auf einen Mikrospiegel treffen, was dennoch zu einer Spaltbrechung führt, anstatt im "AUS"-Winkel wie der Strahl **116** ordnungsgemäß reflektiert zu werden. Dieser "AN"-Zustand, wie er in [Fig. 15B](#) gezeigt ist, ist derselbe wie in [Fig. 14B](#). Wie in [Fig. 15C](#) dargestellt, ist jedoch der "AUS"-Zustand zusammen mit der Beugung **61a**, die durch die Mikrospiegel-Periodizität erzeugt wird, vom "AN"-Winkel weiter wegbewegt, was zu einem verbesserten Kontrastverhältnis infolge der Beugung/Randbrechung (trotz des beeinträchtigten Kontrastverhältnisses infolge der Randbrechung, wie sie oben erwähnt wurde) führt.

[0127] Eine verbesserte Mikrospiegelanordnung würde den Abstand zwischen dem "AUS"-Lichtkegel und dem "AN"-Lichtkegel maximieren (die Randbrechung in den Eintrittskegel minimieren) und dennoch die Zwischenräume zwischen den benachbarten Mikrospiegeln minimieren (die Spaltbrechung minimieren). Eine Lösung, die versucht wurde, bestand darin, eine Mikrospiegelanordnung mit Mikrospiegeln bereitzustellen, die für den "AN"-Zustand und den "AUS"-Zustand wie in [Fig. 15A](#) und [Fig. 15C](#) in unterschiedliche Richtungen abgelenkt werden, und eine lichtabsorbierende Schicht unter den Mikrospiegeln anzubringen, um so die Spaltbrechung zu verringern. Leider erhöht sich dadurch die Komplexität des Verfahrens oder wird Licht auf der Mikrospiegelanordnung (auf dem Lichtventil) absorbiert, wodurch die Temperatur des Lichtventils ansteigt und Probleme infolge thermischer Ausdehnung, erhöhter Ermüdungserscheinungen oder Regeldifferenzen der Mikrospiegelstrukturen, eines erhöhten Versagens des Passivierungsfilms, sich selbst anbringender Monoschichten und/oder Schmiermittel und dergleichen verursacht werden.

[0128] Wie es in [Fig. 16A](#) bis [Fig. 16C](#) zu sehen ist, sind Mikrospiegel bereitgestellt, die sowohl in ihrem "AN"-Zustand als auch in ihrem "AUS"-Zustand abgelenkt sind, dies jedoch mit unterschiedlichen Winkeln. Wie es in [Fig. 16A](#) zu sehen ist, sind die Mikrospiegel **100** in einem "AUS"-Zustand abgelenkt, der sich in einem Ablenkwinkel befindet, der kleiner ist als jener der Mikrospiegel in ihrem "AN"-Zustand (abgelenkt in einer entgegengesetzten Richtung von der flachen oder nicht abgelenkten Stellung). Wie in [Fig. 16B](#) zu sehen, ist der "AN"-Zustand unverändert (einfallendes Licht **50** wird als austretendes Licht **52** in die Ausgangsöffnung **60** projiziert) mit einer gewissen Spiegelung. In [Fig. 16C](#) befinden sich die Mikrospiegel in ihrem "AUS"-Zustand in einer ausreichend abgelenkten Stellung, so dass sich am Rand brechendes Licht **61a**, das in die Ausgangsöffnung **60** eintritt, minimiert wird, sind aber dennoch nur so weit abgelenkt, dass das sich am Rand brechende Licht aus dem Eintrittskegel gehalten wird, um so das sich am Spalt brechende Licht unter den Mikrospiegeln infolge eines großen „AUS“-Zustands-Ablenkwinkel zu minimieren.

[0129] Ein zusätzliches Merkmal der vorliegenden Erfindung ist die Packung der Erfindung. Wie es oben erwähnt wurde, kann Reflexion von Licht vom lichtdurchlässigen Substrat zu einer Spiegelung führen. Wie [Fig. 17A](#) zu entnehmen ist, wird der einfallende Lichtkegel **50** von den Mikrospiegeln in ihrer „AN“-Stellung reflektiert, dargestellt als reflektierter Kegel **52**. Spiegellicht, das von einer Oberfläche des lichtdurchlässigen Substrates **32** reflektiert wird, ist als Lichtkegel **54** dargestellt. Bei der Herstellung eines Projektionssystems ist es wünschenswert, den Ausdehnungswinkel des Kegels derart zu vergrößern, dass die Etendue und die Effizienz des Projektionssystems erhöht wird. Wie es jedoch [Fig. 17A](#) zeigt, führt eine Vergrößerung des Ausdehnungswinkels des Kegels **50** zu einer Vergrößerung der Ausdehnungswinkel der Kegel **52** und **54**, so dass Spiegellicht vom Kegel **54** in die Ausgangsöffnung **60** selbst dann eintritt, wenn sich die Mikrospiegel in ihrem "AUS"-Zustand befinden (wodurch das Kontrastverhältnis verringert wird).

[0130] Um größere Ausdehnungswinkel der Lichtkegel zu ermöglichen, aber dennoch den Eintritt einer Spiegelung in die Ausgangsöffnung zu verhindern, ist, wie in [Fig. 17B](#) dargestellt, das lichtdurchlässige Substrat **32** in einem Winkel relativ zum Substrat **30** angeordnet. In vielen Fällen ist das Substrat **30** das Substrat, auf dem die Mikrospiegel (oder andere optische MEMS-Elemente) ausgebildet sind, wohingegen das Substrat **32** ein lichtdurchlässiges Fenster in einer Packung für die optische MEMS-Vorrichtung ist. Der Winkel des Fensters ist größer als -1 Grad (das Minuszeichen in Übereinstimmung mit den Richtungen der Winkel oder der Mikrospiegel). Bei einem Beispiel hat das Fenster einen Winkel zwischen -2

und -15 Grad oder zwischen -3 und -10 Grad. In jedem Fall hat das Fenster einen Winkel relativ zum Mikrospiegelsubstrat, der vorzugsweise dieselbe "Richtung" hat, wie die „AUS“-Stellung der Mikrospiegel (relativ zum Mikrospiegelsubstrat und/oder Packungsboden). Wie [Fig. 17B](#) zeigt, gibt es, wenn sich die Mikrospiegel im "AN"-Zustand befinden, einen Spalt zwischen dem Licht, das als Licht von "AN"-geschalteten Mikrosiegeln reflektiert wird (Lichtreflexionskegel **52**) und Spiegellicht (Lichtkegel **54**). Dieser "Spalt" entsteht dadurch, dass der Spiegellichtkegel **54** in einem größerem Abstand infolge des angewinkelten lichtdurchlässigen Substrates reflektiert wird. Diese Anordnung gestattet es, wie [Fig. 17C](#) zeigt, den Ausdehnungswinkel des Einfalllichtkegels (und der entsprechenden Reflexionslichtkegel) von den "AN"-geschalteten Mikrosiegeln (Kegel **52**) und dem lichtdurchlässigen Substrat (Kegel **54**) zu vergrößern. (Aus Gründen der Darstellung befindet sich der Reflexionspunkt der Lichtkegel in der Mitte zwischen dem Mikrospiegel und dem lichtdurchlässigen Substrat, obwohl in der Realität der Lichtkegel **52** von dem(n) Mikrospiegel(n) **52** reflektiert und der Spiegellichtkegel **54** vom Substrat **32** reflektiert wird). Das angewinkelte lichtdurchlässige Substrat, wie es in [Fig. 17B](#) und [Fig. 17C](#) gezeigt ist, gestattet einen größeren Durchsatz, eine größere Systemeffizienz und eine größere Lichtwert-Etendue (Etendue = Raumwinkel \times Öffnungsgröße). Ein Lichtventil, wie es in [Fig. 17B](#) und [Fig. 17C](#) gezeigt ist, ist in der Lage, einen Lichtstrahl größerer Etendue zu modulieren und erlaubt den Durchlass von mehr Licht von einer Lichtquelle und ist somit wirtschaftlicher.

[0131] Eine gepackte Vorrichtung ist in [Fig. 17D](#) und [Fig. 17E](#) gezeigt. Wie in [Fig. 17D](#) zu sehen, trifft einfallendes Licht (diese Ansicht ist von vorherigen Ansichten umgekehrt) auf die Anordnung und wird von dieser reflektiert. Wie [Fig. 17E](#) zeigt, erlaubt ein angewinkeltes lichtdurchlässiges Substrat **32** (mit Maskenbereichen **34a** und **34b**) nicht nur vergrößerte Ausdehnungswinkel des Lichtkegels, wie es oben beschrieben wurde, sondern auch die Minimierung eines Spaltes zwischen der Maske des Fensters **32** und der Mikrospiegelanordnung, wodurch eine Lichtbrechung und ein Temperaturanstieg in der Packung verhindert werden. Der Winkel des lichtdurchlässigen Fensters beträgt zwischen 1 und 15 Grad relativ zum Substrat, vorzugsweise jedoch 2 bis 15 Grad und im besten Fall 3 bis 10 Grad. Wie es in [Fig. 17D](#) und [Fig. 17E](#) zu sehen ist, sind Bond-Drähte **37** am einen Ende des Substrates in der Packung (die das Substrat mit der Packung zur Betätigung der Mikrospiegel oder anderen mikromechanischen Elementen verbinden) angebracht, wo das angewinkelte Fenster einen größeren Abstand vom Substrat hat, als an einem gegenüberliegenden Ende. Somit gestattet das angewinkelte Fenster das Vorhandensein von Bond-Drähten und erlaubt dennoch einen minimierten Abstand zwischen dem lichtdurchlässigen Fenster und dem

Mikrospiegelsubstrat an einem Ende des Substrates, an dem sich keine Bond-Drähte befinden. Es wird darauf hingewiesen, dass das Licht auf die Mikrospiegelanordnung von einer Seite der Packung entsprechend der Position der Bond-Drähte und der erhöhten Seite des angewinkelten Fensters trifft. Zusätzliche Komponenten, die in der Packung vorhanden sein können, sind Packungsklebstoffe, Molekularabsorber oder andere Getter und eine Quelle eines Haftreibungsverringermittels (wie etwa Chlorosilane, perfluorierte n-alkanoische Säuren, Hexamethyldisilazan und dergleichen).

[0132] Sofern die Mikrospiegel der vorliegenden Erfindung für eine Projektionsanzeigeeinrichtung bestimmt sind, sollte es eine geeignete Lichtquelle geben, die die Anordnung beleuchtet und das Bild über eine Sammeloptik auf ein Ziel projiziert. Die Anordnung der Lichtquelle und des einfallenden Lichtstrahls auf die Anordnung und auf jeden Mikrospiegel, die ein verbessertes Kontrastverhältnis ermöglichen und gleichzeitig die Stellfläche des Projektionssystems minimiert, ist bei der vorliegenden Erfindung in [Fig. 18](#) und [Fig. 19a](#) bis [Fig. 19c](#) zu sehen. Wie in [Fig. 18](#) dargestellt, leitet eine Lichtquelle **114** einen Lichtstrahl **116** in einem 90° -Winkel zur vorderen Seite **93** des aktiven Bereiches der Anordnung (des aktiven Bereiches der Anordnung, der als Rechteck **94** in der Zeichnung dargestellt ist). Der aktive Bereich **94** hat normalerweise zwischen 64.000 und $2.000.000$ Pixel in einer im wesentlichen rechteckigen Anordnung, wie sie in [Fig. 18](#) gezeigt ist. Der aktive Bereich **94** reflektiert Licht (über Mikrospiegel im "AN"-Zustand) durch eine Sammeloptik **115** auf ein Ziel, um ein entsprechendes rechteckiges Bild auf dem Ziel (z.B. einer Wand oder einem Bildschirm) auszubilden. Natürlich kann die Anordnung eine andere Form haben als ein Rechteck, was zu einer entsprechenden Form auf dem Ziel führen würde (solange es nicht eine Maske durchläuft). Licht von der Lichtquelle **114** wird von einzelnen Mikrosiegeln (jenen im "AN"-Zustand) in der Anordnung reflektiert und durchläuft die Optik **115** (die vereinfacht mit zwei Linsen dargestellt ist). Mikrospiegel in ihrem "AUS"-Zustand (in einem nicht reflektierenden "Ruhe"-Zustand) leiten das Licht zu einem Bereich **99** in [Fig. 18](#). [Fig. 18](#) ist eine Vereinfachung eines Projektionssystems, das zusätzliche Komponenten, wie etwa TIR-Prismen, zusätzliche Fokussier- oder Vergrößerungslinsen, ein Farbrad zur Erzeugung eines Farbbildes, eine Lichtleitung und dergleichen, beinhalten kann, wie sie nach dem Stand der Technik bekannt sind. Ist das Projektionssystem für eine maskenlose Lithografie oder Nichtfarbanwendungen bestimmt, die sich von jener einer Projektion eines Farbbildes unterscheiden (z.B. ein Front- oder Rückprojektionsfernseher oder ein Computermonitor), dann können natürlich ein Farbrad und eine andere Sammeloptik verwendet werden. Zudem könnte ein Ziel nicht ein Bildschirm oder ein Fotoresist sein, son-

dem die Netzhaut eines Betrachters, wie etwa für eine Direktsicht-Anzeigeeinrichtung. Wie es in [Fig. 18](#) zu sehen ist, leiten sämtliche "AN"-geschalteten Mikrospiegel in der Anordnung das Licht zusammen zu einer einzigen Sammeloptik, die eine Linse oder eine Gruppe von Linsen zum Leiten/Fokussieren/Projizieren des Lichtes auf ein Ziel sein kann.

[0133] Unabhängig davon, ob sich das betrachtete Bild auf einem Computer, einem Fernseher oder einer Kinoleinwand befindet, haben die Pixel auf dem Bildschirmbild (jedes Pixel auf dem betrachteten oder projizierten Bild entspricht einem Mikrospiegelement in der Anordnung) Seiten, die nicht parallel zu wenigstens zweien der vier Seiten sind, die das rechteckige Bildschirmbild ausbilden. Wie es bei einem Beispiel eines Mikrospiegelementes in [Fig. 19A–Fig. E](#) zu sehen ist, trifft der einfallende Lichtstrahl nicht senkrecht auf beliebige Seiten des Mikrospiegelementes. [Fig. 19A](#) ist eine Perspektivansicht des Lichtes, das auf ein einziges Mikrospiegelement trifft, wohingegen [Fig. 19B](#) eine Oberansicht und [Fig. 19C](#) eine Perspektivansicht ist. Der einfallende Lichtstrahl kann 10 bis 50 Grad (wie etwa 20 Grad) von der Normalen (auf die Mikrospiegel-/Anordnungsebene) abweichen. Siehe den Winkel **133** in [Fig. 19C](#).

[0134] Unabhängig vom Winkel des einfallenden Lichtes von der Ebene des Mikrospiegels sind keine Mikrospiegelseiten senkrecht zum Lichtstrahl, der auf sie trifft (siehe [Fig. 19D](#)). Bei einer bevorzugten Ausführungsform sollten die Seiten des Mikrospiegels in einem Winkel (**131**) von weniger als 80 Grad oder vorzugsweise 55 Grad oder weniger im Bezug auf die Achsenprojektion des einfallenden Lichtstrahls auf die Mikrospiegelebene (**102**) angeordnet sein, vorzugsweise jedoch 45 Grad oder weniger und am besten höchstens 40 Grad. Im Gegensatz dazu sollte der Winkel **132** mindestens 100 Grad, vorzugsweise mindestens 125 Grad, besser mindestens 135 Grad und am besten mindestens 140 Grad betragen. Die Umschalt- (d.h. Dreh-) Achse des Mikrospiegels ist mit einer Punktklinie **103** in [Fig. 19D](#) dargestellt. Diese Umschaltachse kann sich an anderen Stellen entlang des Mikrospiegels befinden, wie etwa die Linie **106**, abhängig vom Typ der verwendeten Gelenke. Wie [Fig. 19D](#) zeigt, ist die Umschaltachse (z.B. **103** oder **106**) senkrecht zum einfallenden Lichtstrahl **102**, wenn er auf die Ebene des Mikrospiegels projiziert wird. [Fig. 19E](#) ist wie [Fig. 19D](#) eine Oberansicht – jedoch ist eine Anordnung von Mikrospiegeln in [Fig. 19E](#) zusammen mit einem einfallenden Lichtstrahl **102** auf die 2-D-Anordnung von Mikrospiegeln dargestellt. Es wird darauf hingewiesen, dass jeder Mikrospiegel in [Fig. 19E](#) die Form des Mikrospiegels hat, der in [Fig. 19A–Fig. D](#) gezeigt ist. Wie es in [Fig. 19E](#) zu sehen ist, ist die Gesamtform der Mikrospiegelanordnung ein Rechteck. Jede der vier Seiten der Anordnung **117** bis **120** ist durch Zeichnen einer

Linie zwischen den am weitesten entfernten Pixeln in der letzten Reihe und Spalte des aktiven Bereiches (**121** bis **124**) definiert (beispielsweise ist die Seite **119** durch eine Linie definiert, die die Eckpixel **123** und **122** schneidet). Obwohl in [Fig. 19E](#) zu erkennen ist, dass jede der "vorderen" (am dichtesten an der Lichtquelle) und "hinteren" (am weitesten von der Lichtquelle entfernt) Seiten **119**, **117** des aktiven Bereiches infolge der Form der Mikrospiegel im aktiven Bereich "gezahnt" ist, sollte man sich daran erinnern, dass es bis zu 3.000.000 Mikrospiegel oder mehr in einem Bereich von 1 cm² bis 1 in² geben kann. Mit Ausnahme bei einer extremen Vergrößerung ist der aktive Bereich somit im wesentlichen rechteckig, wobei die Seiten **118** und **120** (oder **117** oder **119**) des aktiven Bereiches parallel zu den Mikrospiegelseiten **107** und **108** in [Fig. 19D](#) sind (wobei der Mikrospiegel in [Fig. 19D](#) einer der Mikrospiegelemente innerhalb des aktiven Bereiches von [Fig. 19E](#) ist; wobei die Seiten **117** und **119** (oder **118** und **120**) des aktiven Bereiches parallel zur Umschaltachse **103** (oder **106**) jedes Mikrospiegels sind (siehe [Fig. 19D](#)); und die Seiten **117** und **119** (oder **118** und **120**) des aktiven Bereiches nicht senkrecht zu den vorderen oder hinteren Seiten **125a–d** des Mikrospiegels sind (siehe [Fig. 19D](#)). [Fig. 19E](#) könnte ebenfalls als das projizierte Bild betrachtet werden, das eine große Zahl von projizierten Pixeln enthält (wobei jedes Pixel die Form hat, die in [Fig. 19D](#) gezeigt ist). In Übereinstimmung mit dem oben Genannten sind somit die Seiten **118** und **120** (oder **117** und **119**) des projizierten Bildes parallel zu projizierten Pixelseiten **107** und **108** und die projizierten Bildseiten **117** und **119** (oder **118** und **120**) nicht senkrecht zu den projizierten Pixelseiten **125a–d**.

[0135] [Fig. 20](#) ist eine Darstellung einer 2-D-Mikrospiegelanordnung (natürlich mit wesentlich weniger Pixeln als im typischen aktiven Bereich). Aus Darstellungsgründen (in [Fig. 20](#) wie auch in [Fig. 21](#) bis [Fig. 26](#) und [Fig. 29](#) bis [Fig. 32](#)) sind weniger als 60 Mikrospiegel/Pixel dargestellt, obwohl eine typische Anzeigeeinrichtung zwischen 64K Pixel (320 × 200 Pixel) und 1.920 (1.600 × 1.200 Pixel = UXGA) oder mehr haben wird (z.B. 1.920 × 1.080 = HDTV; 2.048 × 1.536 = QXGA). Wegen der äußerst geringen Größe jedes Pixels bei der vorliegenden Erfindung, sind der erreichbaren Auflösung keine Grenzen gesetzt.

[0136] Wie es in [Fig. 20](#) dargestellt ist, sind die Seiten jedes Pixels parallel zu entsprechenden Seiten des aktiven Bereiches. Somit ist jede Mikrospiegelseite entweder senkrecht oder parallel zu den Seiten des aktiven Bereiches. Im Gegensatz dazu sind, wie in [Fig. 21](#) zu sehen, die Mikrospiegelseiten weder parallel noch senkrecht zu den Seiten des aktiven Bereiches. Wie man im folgenden bei anderen Ausführungsformen sehen wird, sind einige der Seiten weder parallel noch senkrecht zu den Seiten des aktiven Bereiches, wobei einige Seiten parallel zu den Seiten

des aktiven Bereiches sein können (solange sie ebenfalls parallel zur Richtung einer Linie sind, die auf der Ebene des Mikrospiegels vom einfallenden Lichtstrahl überlagert wird).

[0137] Die Mikrospiegelanordnung, wie sie in [Fig. 22](#) dargestellt ist, erreicht ein hohes Kontrastverhältnis. Die Mikrospiegelanordnungen, wie sie in [Fig. 23](#) bis [Fig. 29](#) gezeigt sind, vereinfachen jedoch des Adressierschema. Insbesondere haben [Fig. 23](#) bis [Fig. 29](#) den Vorteil, dass die Pixel nicht auf einem Raster positioniert sind, das in einem Winkel zur X- und Y-Achse der Anordnung ausgerichtet ist. Da typische Videobildquellen Pixelfarbdaten in einem X-Y-Raster bereitstellen, vermeidet die Anordnung von Pixeln in [Fig. 23](#) bis [Fig. 29](#) eine nicht-triviale Videoverarbeitung, um ein akzeptables Bild auf einer Anzeigeeinrichtung darzustellen. Zudem vermeidet die Anordnung aus [Fig. 23](#) bis [Fig. 29](#) eine kompliziertere Gestaltung der Anzeigenrückseitebene (im Vergleich zu [Fig. 13](#) und [Fig. 14](#), die die doppelte Zahl von Reihen- oder Spaltendrähten zu den Pixelsteuerzellen erfordern würde). Die horizontale Linie **80** in [Fig. 22](#) verbindet die oberste Reihe von Mikrospiegelelementen, wobei sich vertikale Linien **81A–D** von jedem dieser obersten Mikrospiegeln erstrecken (wobei diese horizontalen und vertikalen Linien den Adressierreihen und -spalten in der Anordnung entsprechen). Wie es in [Fig. 22](#) zu sehen ist, ist nur jeder zweite Mikrospiegel auf diese Weise angeschlossen. Damit sämtliche Mikrospiegel adressiert werden können, sind doppelt so viele Reihen und Spalten erforderlich, was zu einer erhöhten Komplexität bei der Adressierung der Anordnung führt. [Fig. 22](#) zeigt zudem Haltesäulen **83** an den Ecken der Mikrospiegel, wobei diese Haltesäulen mit Gelenken (nicht gezeigt) unter jedem Mikrospiegelelement (die "überlagerten" Gelenke, die oben erläutert wurden) und mit einem optisch durchlässigen Substrat (nicht dargestellt) über den Mikrospiegelelementen verbunden sind.

[0138] Bei einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung, wie sei in [Fig. 23](#) dargestellt ist, ist eine Anordnung **92** bereitgestellt. Ein Lichtstrahl **90** ist so auf die Anordnung geleitet, dass keine Mikrospiegel-seiten senkrecht zum einfallenden Lichtstrahl sind. In [Fig. 23](#) haben die vorderen Seiten der Mikrospiegel (relativ zum einfallenden Lichtstrahl **90**) einen Winkel von etwa 135 Grad zum einfallenden Lichtstrahl **90**. Es wird bevorzugt, dass dieser Winkel größer als 100 Grad, vorzugsweise jedoch größer als 130 Grad ist. Das Kontrastverhältnis wird weiter verbessert, wenn der Winkel zwischen dem einfallenden Lichtstrahl und der vorderen Seite mindestens 135 Grad beträgt, wobei er sogar 140 Grad oder mehr betragen kann. Wie in [Fig. 23](#) zu sehen, führt die Ausrichtung der Mikrospiegelelemente nicht zu Adressierungsproblemen, wie sie oben unter Bezugnahme auf [Fig. 22](#) beschrieben wurden. Säulen **95** sind mit Gelenken (nicht gezeigt) unter jedem Mikrospiegelelement in

[Fig. 23](#) verbunden. Die Gelenke verlaufen senkrecht zur Richtung des einfallenden Lichtstrahls (und parallel zur vorderen und hinteren Seite **91B** und **91D** der aktiven Bereiche). Die Gelenke erlauben eine Drehachse der Mikrospiegel, die senkrecht zum einfallenden Lichtstrahl ist.

[0139] [Fig. 24](#) ist eine Darstellung von Mikrospiegeln ähnlich zu jener, die in [Fig. 23](#) gezeigt ist. In [Fig. 24](#) sind die Mikrospiegelelemente jedoch "umgekehrt" und haben ihren "konkaven" Abschnitt an ihrer vorderen Seite. Wenngleich die Mikrospiegel in [Fig. 24](#) gegenüber [Fig. 23](#) umgekehrt sind, gibt es weiterhin keine Seiten der Mikrospiegel, die senkrecht zum einfallenden Lichtstrahl sind. [Fig. 24](#) zeigt ein Gelenk, das in derselben Ebene angeordnet ist, wie das Mikrospiegelelement, an dem das Gelenk angebracht ist. Beide Gelenke sind im '840-Patent beschrieben, das oben erwähnt wurde. [Fig. 25](#) zeigt in ähnlicher Weise ein Gelenk **110** in derselben Ebene wie die Mikrospiegelanordnung, und zeigt sowohl "konvexe" Abschnitte **112** ("Vorsprünge") als auch "konkave" Abschnitte **113** ("Ausschnitte") an der vorderen Seite jedes Mikrospiegels. Infolge des konkaven oder ausgeschnittenen Abschnittes jedes Mikrospiegels hat jeder Mikrospiegel die Form eines konkaven Polygons. Wenngleich die Mikrospiegel konvexe Polygone sein können (wenn keine Seiten der konvexen polygonalen Mikrospiegel parallel zur vorderen Seite des aktiven Bereiches sind), wird es bevorzugt, dass die Mikrospiegel eine konkave Polygonform haben. Konvexe Polygone sind als Polygone bekannt, bei denen keine Linie, die eine Seite enthält, durch das Innere des Polygons verlaufen kann. Ein Polygon ist dann, und nur dann konkav, wenn es kein konvexes Polygon ist. Die konkave Polygonform kann die Form einer Abfolge von (nicht rechtwinkligen) Parallelogrammen sein oder mit wenigstens einem konkaven und wenigstens zu einem konvexen Abschnitt passenden Teil versehen sein (um in den konkaven Abschnitt des benachbarten Mikrospiegels zu passen), wenngleich jede beliebige konkave Polygonform möglich ist. Wenngleich dies weniger bevorzugt ist, kann, wie es oben beschrieben ist, die Mikrospiegelform die Gestalt eines einzigen (nicht rechtwinkligen) Parallelogramms haben. Obwohl dies nicht dargestellt ist, müssen der eine oder die mehreren passenden Vorsprünge und der eine oder die mehreren Ausschnitte nicht aus geraden Linien (noch aus einer der Mikrospiegelseiten zu diesem Zweck) bestehen, sondern können anstelle dessen gekrümmt sein. Bei einer derartigen Ausführungsform sind der Vorsprung (die Vorsprünge) und der (die) Ausschnitte) halbkreisförmig, wenngleich die dargestellten winkligen Vorsprünge und Ausschnitte bevorzugt werden.

[0140] [Fig. 26A](#) bis [Fig. 26F](#) zeigen weitere Ausführungsformen der Erfindung. Obwohl die Form der Mikrospiegel in jeder Zeichnung anders ist, ist sie da-

hingehend die gleiche, dass sie keine Seiten aufweist, die senkrecht zum einfallenden Lichtstrahl sind. Wenn natürlich eine Mikrospiegelseite die Richtung ändert, gibt es einen, wenn auch kleinen Punkt, an dem die Seite als senkrecht betrachtet werden könnte, wenn dies auch nur augenblicklich ist. Wenn jedoch festgelegt ist, dass es keine senkrechten Seiten gibt, bedeutet dies, dass es keine wesentlichen Abschnitte oder wenigstens keine wesentlichen Abschnitte gibt, die senkrecht sind, oder keine derartigen wesentlichen Abschnitte auf der vorderen Seite und der hinteren Seite der Mikrospiegel. Selbst wenn sich die Richtung der vorderen Seiten allmählich ändert (oder ein Abschnitt der vorderen Seite senkrecht zum einfallenden Lichtstrahl ist, wie es in [Fig. 29](#) gezeigt ist), wird es bevorzugt, dass niemals mehr als die Hälfte der vorderen Seite senkrecht zum einfallenden Lichtstrahl ist, vorzugsweise jedoch niemals mehr als ein Viertel und im besten Fall höchstens ein Zehntel. Je tiefer der Abschnitt der vorderen Seite und der hinteren Seite ist, der senkrecht zum einfallenden Lichtstrahl ist, desto größer ist die Verbesserung des Kontrastverhältnisses.

[0141] Viele der Mikrospiegel-Ausführungsformen können als Anordnung aus einem oder mehreren Parallelogrammen (z.B. identischen Parallelogrammen) angesehen werden. Wie es in [Fig. 27A](#) dargestellt ist, ist ein einzelnes Parallelogramm wirkungsvoll für die Verringerung der Lichtbeugung, da es keine Seiten hat, die senkrecht zum einfallenden Lichtstrahl sind (wobei der Lichtstrahl in einer Richtung von unten nach oben auf der Seite verläuft und außerhalb der Seitenebene seinen Ursprung hat). [Fig. 27](#) zeigt ein einzelnes Parallelogramm mit einem horizontalen Pfeil, der die Breite "d" des Parallelogramms kennzeichnet. Die Umschaltachse für den Mikrospiegel in [Fig. 27A](#) (und [Fig. 27B](#) bis [Fig. 27F](#)) verläuft ebenfalls in horizontaler Richtung. Beispielsweise kann die Umschaltachse entlang der Punktlinie in [Fig. 27A](#) verlaufen. [Fig. 27B](#) und [Fig. 27C](#) zeigen Mikrospiegelanordnungen sowohl mit zwei als auch mit drei Parallelogrammen, wobei jedes nachfolgende Parallelogramm dieselbe Form, Größe und Erscheinung hat, wie das vorhergehende. Diese Anordnung bildet einen "Sägezahn" an der vorderen und hinteren Seite des Mikrospiegelelementes. [Fig. 27D](#) bis [Fig. 27F](#) zeigen zwei bis vier Parallelogramme. Bei [Fig. 27D](#) bis [Fig. 27F](#) ist jedoch jedes nachfolgende Parallelogramm eine Mikrospiegelabbildung des vorhergehenden, anstelle dasselbe Bild zu sein. Diese Anordnung erzeugt eine "gezahnte Seite" an den vorderen und hinteren Seiten der Mikrospiegelelemente. Es wird darauf hingewiesen, dass die Parallelogramme nicht dieselbe Breite haben müssen und eine Linie, die die Spitzen der Sägezahnseiten und der gezahnten Seiten verbindet, nicht senkrecht zum einfallenden Lichtstrahl sein muss. Die Breite jedes Parallelogramms ist, wenn sie so ausgebildet sind, dass sie dieselbe Breite haben, "d" = M/N, wobei M die ge-

samte Mikrospiegelbreite und N die Zahl der Parallelogramme ist. Mit zunehmender Zahl der Parallelogramme nimmt die Breite "d" ab (vorausgesetzt, die Breite des Mikrospiegels ist konstant). Jedoch sollte "d" vorzugsweise weitaus größer sein als die Wellenlänge des einfallenden Lichtes. Damit das Kontrastverhältnis hoch bleibt, sollte die Zahl der Parallelogramme N (oder die Häufigkeit, mit der die vordere Mikrospiegelseite die Richtung ändert) kleiner oder gleich $0,5 M/\lambda$ sein, oder vorzugsweise kleiner gleich $0,2 M/\lambda$, im besten Fall jedoch kleiner gleich $0,1 M/\lambda$, wobei λ die Wellenlänge des einfallenden Lichtes ist. Wenngleich die Zahl der Parallelogramme in [Fig. 27](#) zwischen eins und vier liegt, ist jede beliebige Zahl möglich, wobei jedoch höchstens 15 und vorzugsweise höchstens 10 zu einem besseren Kontrastverhältnis führen. Die Zahl der Parallelogramme in [Fig. 27](#) ist die am meisten bevorzugte (4 oder weniger).

[0142] Wie es in [Fig. 28](#) zu erkennen ist, sind Gelenke (oder Biegeeinrichtungen) **191**, **193** in derselben Ebene angeordnet wie das Mikrospiegelelement **190**. Der einfallende Lichtstrahl **195** von der Lichtquelle aus der Ebene von [Fig. 28](#) trifft auf vordere Seiten des Mikrospiegels **190**, von denen keine senkrecht ist. Es wird bevorzugt, dass kein Abschnitt der Gelenke senkrecht zum einfallenden Lichtstrahl ist, so dass die Lichtbeugung in Richtung der Mikrospiegelumschaltung verringert wird.

[0143] Zudem wird darauf hingewiesen, dass die "geraden" Mikrospiegelseiten, die als parallel zu den Seiten des aktiven Bereiches dargestellt sind (wie etwa die Mikrospiegelseiten **194**, **196** in [Fig. 28](#)), auch andere Formen haben können. [Fig. 21](#) oben ist ein Beispiel, bei dem es keine Mikrospiegelseiten gibt, die parallel zum einfallenden Lichtstrahl **85** sind. [Fig. 30](#) und [Fig. 31](#) sind weitere Beispiele, bei denen keine Mikrospiegelseiten senkrecht oder parallel zum einfallenden Lichtstrahl sind, und die dennoch keine erhöhte Adressierkomplexität, wie jene aus [Fig. 22](#) aufweisen. Einfallendes Licht kann im wesentlichen senkrecht zu einer der vier Seiten des aktiven Bereiches in [Fig. 30](#) geleitet werden (siehe die Pfeile **1** bis **4**) und trifft nicht senkrecht auf eine der Mikrospiegelseiten. Dieses einzigartige Merkmal ist auch bei der Anordnung vorhanden, die in [Fig. 31](#) gezeigt ist. Zudem ist es möglich, dass ein Teil des vorderen Randes jedes Mikrospiegels senkrecht zum einfallenden Lichtstrahl ist und ein Teil nicht senkrecht ist, wie dies in [Fig. 29](#) dargestellt ist.

[0144] [Fig. 32A](#) bis [Fig. 32J](#) zeigen mögliche Gelenke für die Mikrospiegel der vorliegenden Erfindung. Ähnlich [Fig. 24](#) zeigt [Fig. 32A](#) Mikrospiegel mit Biegeeinrichtungen, die (wie in dieser Zeichnung von oben betrachtet) parallel zum einfallenden Lichtstrahl verlaufen und den Mikrospiegel **97** mit der Haltesäule **98** verbinden, die das Mikrospiegelelement auf dem Substrat hält. Das einfallende Licht könnte auf die

Anordnung (von oben betrachtet) in Richtung der Pfeile 5 und 6 in [Fig. 32A](#) geleitet werden. Natürlich hätte das einfallende Licht seinen Ursprung außerhalb der Ebene (siehe [Fig. 11A](#) bis 11E). Derartiges einfallendes Licht wäre dasselbe für [Fig. 32B](#) bis 32L. [Fig. 32C](#) bis [Fig. 32E](#) sind weitere Ausführungsformen dieses Gelenktyps. [Fig. 32F](#) bis 32L sind Darstellungen weiterer Gelenk- und Mikrospiegel-Ausführungsformen, wobei mit Ausnahme von [Fig. 32J](#) die Gelenke nicht parallel zum einfallenden Lichtstrahl (oder zur vorderen Seite des aktiven Bereiches) verlaufen, und sie dennoch bewirken, dass sich die Mikrospiegel um eine Drehachse senkrecht zum einfallenden Lichtstrahl drehen.

[0145] Wenn die Mikrospiegelseiten, die parallel zur Drehachse des Mikrospiegels (und senkrecht zum einfallenden Lichtstrahl) verlaufen, nicht minimiert sind, durchläuft das Licht, das von derartigen Mikrospiegelseiten gebeugt wird, die Sammeloptik, auch wenn sich der Mikrospiegel in seinem "AUS"-Zustand befindet, wodurch das Kontrastverhältnis verringert wird. Wie es in [Fig. 33A](#) zu sehen ist, schneidet ein Beugungsmuster (das durch Beleuchtung einer Anordnung von im wesentlichen quadratische Mikrospiegeln, wie etwa jenen aus [Fig. 20](#), in einem Winkel von 90 Grad zur vorderen Seite der Anordnung erzeugt wird) in Gestalt eines "+" den Eintrittskegel (den Kreis in der Zeichnung). Das Beugungsmuster kann in dieser Zeichnung als eine Abfolge dunkler Punkte (mit einem entsprechenden helleren Hintergrund) erkannt werden, die eine vertikale und eine horizontale Linie bilden, die sich unmittelbar unter dem Eintrittskegelkreis kreuzen, der als schwarze Volllinie, das Beugungsmuster überlagernd, dargestellt ist. Wenngleich dies nicht dargestellt ist, würden sich im "AN"-Zustand des Mikrospiegels die beiden Beugungslinien innerhalb des Eintrittskegels kreuzen. Somit tritt, wie in [Fig. 33A](#) gezeigt, die vertikale Beugungslinie in den Eintrittskegel der Sammeloptik selbst dann ein, wenn sich der Mikrospiegel in seinem "AUS"-Zustand befindet, wodurch das Kontrastverhältnis beeinträchtigt wird. [Fig. 33B](#) ist ein Beugungsmuster, das durch Beleuchtung einer Anordnung quadratischer Mikrospiegel in einem Winkel von 45 Grad erzeugt wird. Wie es in [Fig. 33B](#) gezeigt ist, ist das Beugungslicht, das in den Eintrittskegel (der kleine durchgezogene schwarze Kreis in [Fig. 33B](#)) eintritt, im Vergleich zu [Fig. 33A](#) verringert. Jedoch können, wie es oben erwähnt wurde, wenngleich die Beugung durch eine derartige Beleuchtung verringert werden kann, andere Probleme entstehen.

[0146] Im Gegensatz dazu hat, wie es in [Fig. 33C](#) zu erkennen ist, das Beugungsmuster der vorliegenden Erfindung (der Mikrospiegel aus [Fig. 28](#) im "AUS"-Zustand) keine Beugungslinie, die durch den Eintrittskegel der Sammeloptik oder andernfalls zum räumlichen Bereich verläuft, zu dem das Licht geleitet wird, wenn sich der Mikrospiegel im "AN"-Zustand

befindet. Auf diese Weise gelangt kein gebeugtes Licht zu dem Bereich, den das Licht durchläuft, wenn sich der Mikrospiegel im "AN"-Zustand befindet. Eine Mikrospiegelanordnung, die ein derartiges Beugungsmuster erzeugt, bei dem das Beleuchtungslicht orthogonal zu den Seiten des aktiven Bereiches der Anordnung (und/oder orthogonal zu den Reihen und Spalten) verläuft, ist neu. In ähnlicher Weise sind die Mikrospiegelkonstruktionen, somit die Gelenke und die Anordnung der Lichtquelle zu den Mikrospiegeln, die Seiten des aktiven Bereiches und/oder die Adressierung der Reihen und Spalten ebenfalls neu. Die Erfindung wurde hinsichtlich spezieller Ausführungsformen beschrieben. Trotzdem werden Personen, die mit dem Gebiet vertraut sind, feststellen, dass zahlreiche Abänderungen an den hier beschriebenen Ausführungsformen möglich sind. Beispielsweise können die Formen der Mikrospiegel der vorliegenden Erfindung für Mikrospiegel in einem optischen Schalter (wie er etwa in der US-Patentanmeldung 09/617.149 und der vorläufigen US-Patentanmeldung 60/231.041 beschrieben ist) verwendet werden, um die Beugung im Schalter zu verringern. Darüber hinaus können die Mikrospiegel der vorliegenden Erfindung gemäß Strukturen und Verfahren hergestellt werden, wie sie in der US-Patentanmeldung 09/767.632, der US-Patentanmeldung 09/631.536, der US-Patentanmeldung 60/239.092 und der US-Patentanmeldung 06/637.479 beschrieben sind. Wenngleich ein herkömmliches Rot/Grün/Blau- oder Rot/Grün/Blau/Weiß-Farbrad in einer Projektionsanzeigeeinrichtung verwendet werden können, die die Mikrospiegel der vorliegenden Erfindung enthält, können auch andere Farbräder verwendet werden, wie sich in den vorläufigen US-Patentanmeldungen 60/267.648 und 60/266.780 beschrieben sind.

[0147] Zudem eignet sich die vorliegende Erfindung für ein Verfahren, das ein entnehmbares (und ersetzbares) Substrat zu Teilungs- und Montagezwecken verwendet, wie es in der vorläufigen US-Patentanmeldung 60/276.222 beschrieben ist. Darüber hinaus können die Mikrospiegel der vorliegenden Erfindung in einer Anordnung durch Impulsbreitenmodulation betätigt werden, wie es in der US-Patentanmeldung 09/564.069 beschrieben ist. Wenn weiterhin Interhalogene oder Edelgasfluoride als Ätzmittel für das Lösen der Mikrospiegel verwendet werden, können Verfahren zur Anwendung gelangen, wie sie in den US-Patentanmeldungen 09/427.841 und 09/649.569 beschrieben sind. Oder die Opfermaterialien und die Verfahren, die zum Lösen derselben verwendet werden, können jene sein, die in der US-Patentanmeldung 60/298.529 beschrieben sind. Darüber hinaus können andere Strukturmaterialien verwendet werden, wie etwa die MEMS-Materialien, die in der US-Patentanmeldung 60/228.007 und der US-Patentanmeldung 60/300.533 beschrieben sind.

[0148] Im Verlauf der vorliegenden Anmeldung wur-

den Strukturen und Schichten als "auf" (oder abge-schieden auf), oder über, darüber, benachbart, etc. zu anderen Strukturen oder Schichten beschrieben. Es versteht sich, dass damit direkt oder indirekt auf, über, darüber, benachbart, etc. gemeint ist, da es nach dem Stand der Technik bekannt ist, dass eine Vielfalt von zwischenliegenden Schichten oder Struk-turen dazwischen angeordnet sein können, die, Dich-tungsschichten, Haftvermittlungsschichten, elek-trisch leitfähige Schichten, Schichten zum Verringern der Haftreibung und dergleichen beinhalten, ohne darauf beschränkt zu sein. In derselben Weise kön-nen Strukturen, wie etwa ein Substrat oder eine Schicht infolge zusätzlicher Strukturen oder Schich-ten ein Laminat sein. Wenn der Ausdruck "wenigs-tens ein" oder "ein oder mehr" (oder ein ähnlicher Ausdruck) verwendet wird, unterstreicht dies zudem die mögliche Pluralität dieser speziellen Struktur oder Schicht, wobei diese Ausdrücke in keinem Fall den Mangel einer möglichen Pluralität anderer Strukturen oder Schichten beinhalten sollten, die nicht in dieser Weise beschrieben sind. Wenn in derselben Weise der Ausdruck "direkt oder indirekt" verwendet wird, sollte er auf keinen Fall an Stellen, an denen dieser Begriff nicht verwendet wird, die sonstige Bedeutung von direkt oder indirekt beschränken. Zudem sind "MEMS", "mikromechanisch" und "mikro-elektrome-chanisch" hier austauschbar verwendet, wobei die Struktur eine elektrische Komponente haben kann oder nicht. Solange schließlich das Wort "Einrich-tung" nicht in einem Begriff "Einrichtung für" speziell in den Ansprüchen verwendet wird, ist damit nicht be-absichtigt, dass beliebige Elemente in den Ansprü-chen gemäß den speziellen Regeln interpretiert wer-den, die sich auf den Begriff "Einrichtung für" bezie-hen.

Schutzansprüche

1. Ein verpacktes Mikrospiegelfeld für eine Pro-jektions-Anzeigeeinrichtung, umfassend:
ein Feld von Mikrosiegeln, die in der Lage sind, sich zwischen einem „AN“-Zustand und einem „AUS“-Zu-stand mit Hilfe von Pulsbreitenmodulation zu bewe-gen, um ein Grauskalenfeld auf einem Ziel zu errei-chen; und worin jeder Mikrospiegel einem Pixel in ei-nem betrachteten Bild auf dem Ziel entspricht;
eine Verpackung mit einem lichtdurchlässigen Fen-ster, worin das Feld der Mikrospiegel in der Verpa-ckung angeordnet ist, die ein lichtdurchlässiges Fenster hat;
worin ein betrachtetes Bild, das durch von den Mikro-siegeln reflektiertem und durch die Maske hindurch-tretendem Licht auf dem Ziel ausgebildet wird, vier Seiten hat, und worin die in dem Bild zu sehenden Pi-xel von den Mikrosiegeln gebildet werden, die je-weils vier Seiten haben, die nicht parallel zu irgendei-ner der Seiten des betrachteten Bildes sind.

2. Das verpackte Mikrospiegelfeld nach An-

spruch 1, worin jeder Mikrospiegel eine vierseitige Form hat, die durch vier Mikrospiegelseiten gebildet werden.

3. Das verpackte Mikrospiegelfeld nach An-spruch 1 oder 2, ferner umfassend Verbindungsdräh-te an einem Ende der Verpackung, die das Mikrospie-gelfeld mit der Verpackung zur Betätigung der Mikro-spiegel verbinden.

4. Das verpackte Mikrospiegelfeld nach einem der Ansprüche 1 bis 3, worin die Maske auf dem Ver-packungsfenster gebildet ist und sich um eine Peri-pherie des Mikrospiegelfeldes erstreckt.

5. Das verpackte Mikrospiegelfeld nach einem der Ansprüche 1 bis 4, worin ein molekulares Absorp-tionsmittel in der Verpackung vorgesehen ist.

6. Das verpackte Mikrospiegelfeld nach einem der Ansprüche 1 bis 5, worin ein Einfangmittel in der Verpackung vorgesehen ist.

7. Das verpackte Mikrospiegelfeld nach einem der Ansprüche 1 bis 6, worin eine Quelle von haftre-duzierendem Mittel in der Verpackung vorgesehen ist.

8. Das verpackte Mikrospiegelfeld nach einem der Ansprüche 1 bis 7, worin die Mikrospiegel auf ei-nem Gitter positioniert sind, welches unter einem Winkel zu der X- und Y-Achse des Feldes oder unter einem Winkel zu den Seiten des rechteckigen Feldes ausgerichtet ist.

9. Das verpackte Mikrospiegelfeld nach einem der Ansprüche 1 bis 8, worin die Mikrospiegel auf ei-nem Substrat, vorzugsweise einem Siliziumsubstrat, angeordnet sind.

10. Das verpackte Mikrospiegelfeld nach An-spruch 9, worin die Mikrospiegel Mikrospiegelplatten aufweisen, die über darunter liegende Scharniere mit einem Substrat mit Hilfe eines elektrischleitfähigen Materials, beispielsweise Aluminium, Metalllegierung oder eine leitende Keramikverbindung, verbunden sind.

11. Das verpackte Mikrospiegelfeld nach An-spruch 10, worin das Substrat, die Mikrospiegelplat-ten und Scharniere in unterschiedlichen Ebenen an-geordnet sind.

12. Das verpackte Mikrospiegelfeld nach An-spruch 10 oder 11, worin ein erster Spalt zwischen dem Scharnier und der Mikrospiegelplatte und ein zweiter Spalt zwischen der Mikrospiegelplatte und dem Substrat gebildet sind.

13. Das verpackte Mikrospiegelfeld nach einem

der Ansprüche 10 bis 12, worin ein erster Spalt zwischen dem Substrat und dem Scharnier und ein zweiter Spalt zwischen dem Scharnier und der Mikrospiegelplatte ausgebildet sind.

14. Das verpackte Mikrospiegelfeld nach einem der Ansprüche 1 bis 13, worin das Mikrospiegelfeld eine Schaltung und Elektroden auf einem Halbleiter-substrat und Verbindungsdrähte umfasst, um das Substrat mit der Verpackung elektrisch zu verbinden.

15. Das verpackte Mikrospiegelfeld nach einem der Ansprüche 1 bis 14, worin jeder Mikrospiegel eine Rotationsachse, die im wesentlichen parallel zu wenigstens einer Seite der Maske oder wenigstens einer Seite des Feldes ist.

16. Das verpackte Mikrospiegelfeld nach einem der Ansprüche 1 bis 15, worin eine lichtabsorbierende Schicht unter den Mikrosiegeln vorhanden ist, um eine Lichtstreuung durch die Spalte zwischen den Mikrosiegeln zu verringern.

17. Das verpackte Mikrospiegelfeld nach einem der Ansprüche 1 bis 16, worin jeder Mikrospiegel einen einzigen, konvexen Vorsprung in der Richtung einer Seite des rechteckigen Feldes und keine im wesentlichen parallel zu der genannten Seite des rechteckigen Feldes verlaufende Seiten hat.

18. Das verpackte Mikrospiegelfeld nach einem der Ansprüche 1 bis 17, worin eine horizontale Zeile von Mikrosiegeln sich von Ecke zu Ecke in der Zeile parallel zu einer Seite des Feldes erstreckt, und worin vertikale Linien, die Adressierungsspalten entsprechen, sich von jedem Mikrospiegel in der Reihe erstrecken und mit jedem übernächsten Spalt von Mikrosiegeln verbunden ist.

19. Das verpackte Mikrospiegelfeld nach einem der Ansprüche 1 bis 18, worin eine vertikale Spalte von Mikrosiegeln sich von Ecke zu Ecke in der Spalte parallel zu einer Seite des Feldes erstreckt, und worin horizontale Leitungen, die Adressierungszeilen entsprechen, sich von jedem Mikrospiegel in der Spalte erstrecken und mit jeder übernächsten Spalte von Mikrosiegeln verbunden sind.

20. Das verpackte Mikrospiegelfeld nach einem der Ansprüche 1 bis 19, worin die Mikrospiegel einen einzigen, konvexen Vorsprung an einer ersten Seite und einen einzigen, konkaven Ausschnitt auf einer gegenüberliegenden Seite haben.

21. Das verpackte Mikrospiegelfeld nach einem der Ansprüche 1 bis 20, worin die Mikrospiegel, die in einer angrenzenden Zeile und Spalte liegen, zusammenfallende Seiten haben, die nicht parallel zu den Seiten des rechteckigen Feldes sind.

22. Das verpackte Mikrospiegelfeld nach einem der Ansprüche 1 bis 21, worin die Mikrospiegel Ecke an Ecke in Zeilen und Spalten angeordnet sind, wobei Zeilen und Spalten parallel zu den Seiten des rechteckigen Feldes sind.

23. Das verpackte Mikrospiegelfeld nach einem der Ansprüche 1 bis 22, worin Pixel-Control-Zellen an jedem Mikrospiegel angeordnet sind, wobei Zeilen- und Spaltendrähte die Pixelsteuerzellen verbinden, wobei jeder Spaltendraht eine Pixelsteuerzelle in jeder übernächsten Zeile und jeder Zeilendraht eine Pixelsteuerzelle in jeder übernächsten Spalte verbindet.

24. Das verpackte Mikrospiegelfeld nach einem der Ansprüche 1 bis 23, worin die Zahl der Zeilendrähte mal die Zahl der Spaltendrähte größer ist als vorzugsweise das Doppelte der Anzahl der Mikrospiegel in dem Feld.

25. Das verpackte Mikrospiegelfeld nach einem der Ansprüche 1 bis 24, worin der Winkel des „AUS“-Zustands sich von einem nicht-abgelenkten Zustand unterscheidet und in seiner Größe geringer ist als der entgegengesetzte Winkel des „AN“-Zustands des Mikrospiegels.

26. Das verpackte Mikrospiegelfeld nach einem der Ansprüche 1 bis 25, worin eine Vielzahl von Zeilendrähten und Spaltendrähten vorgesehen sind, um die Mikrospiegel zwischen den EIN-Zuständen und den AUS-Zuständen zu adressieren, und worin die Anzahl der Zeilendrähte mal der Anzahl der Spaltendrähte das Doppelte der Anzahl der Mikrospiegel beträgt.

27. Das verpackte Mikrospiegelfeld nach einem der Ansprüche 1 bis 26, worin die Mikrospiegel auf einem Substrat bei einer Schaltung und Elektroden angeordnet sind, wobei wenigstens zwei Elektroden neben jedem Mikrospiegel angeordnet sind und zwar eine Elektrode, um den Mikrospiegel in einer Richtung auszulenken und den angrenzenden Mikrospiegel elektrostatisch in eine „AUS“-Position zu ziehen, und eine andere Elektrode, um den Mikrospiegel in einer zweiten Richtung auszulenken und den angrenzenden Mikrospiegel elektrostatisch in eine „AN“-Position zu ziehen.

28. Das verpackte Mikrospiegelfeld nach einem der Ansprüche 1 bis 27, worin die EIN- und „AUS“-Positionen der Mikrospiegel durch ein erstes und/oder ein zweites Substrat oder eine Struktur darauf definiert sind, gegen die die Mikrospiegel auftreffen oder anschlagen.

29. Das verpackte Mikrospiegelfeld nach Anspruch 28, ferner umfassend zusätzliche Elektroden, um die Bewegung des angrenzenden Mikrospiegels

zu stoppen, wenn der Mikrospiegel in der EIN- oder „AUS“-Position ankommt.

30. Das verpackte Mikrospiegelfeld nach Anspruch 28 oder 29, worin die zusätzlichen Elektroden auf dem gleichen Potential wie die angrenzenden Mikrospiegel liegen.

31. Das verpackte Mikrospiegelfeld nach einem der Ansprüche 1 bis 30, worin das verpackte Mikrospiegelfeld ein Substrat aufweist, auf dem eine bewegliche, reflektierende oder brechende, mikromechanische Vorrichtung und eine Verpackung ausgebildet sind, um das Substrat mit deren beweglichen, mikromechanischen Vorrichtung aufzunehmen, worin die Verpackung ein optisch durchlässiges Fenster aufweist, das nicht-parallel zu dem Substrat ist.

Es folgen 52 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

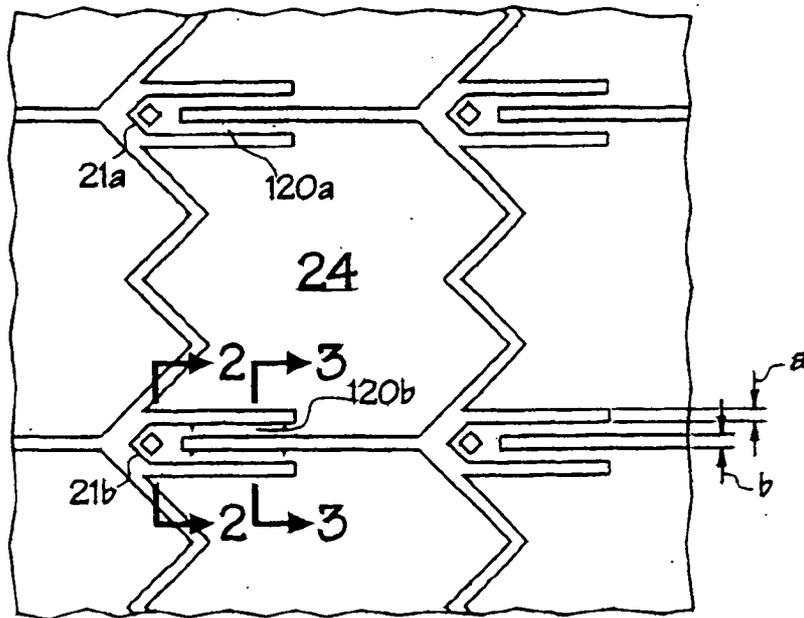


FIG. 1

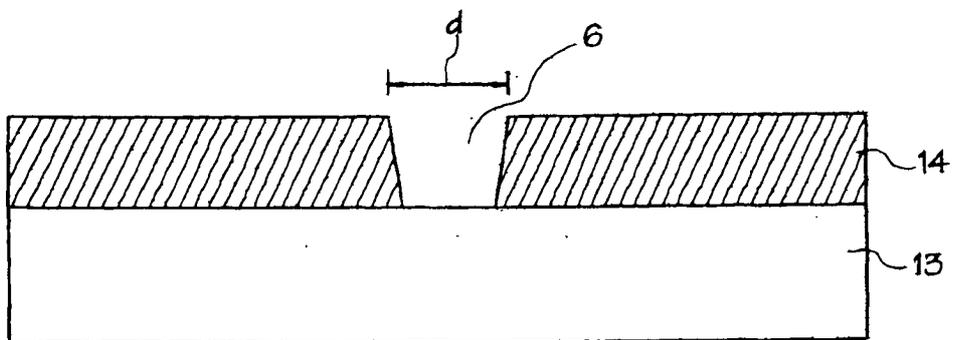


FIG. 2A

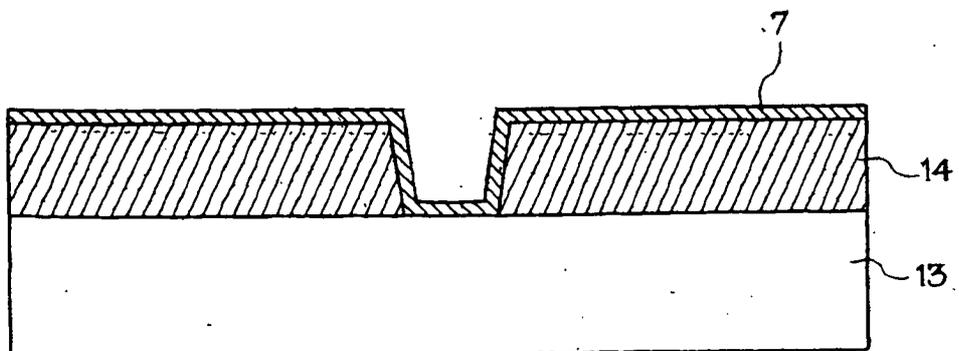


FIG. 2B

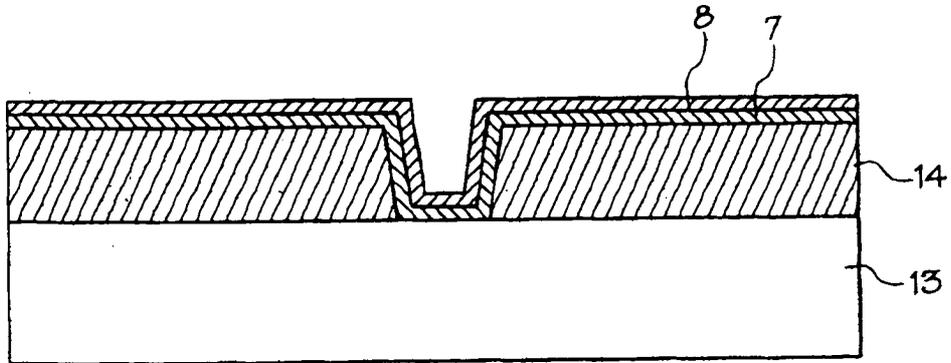


FIG. 2C

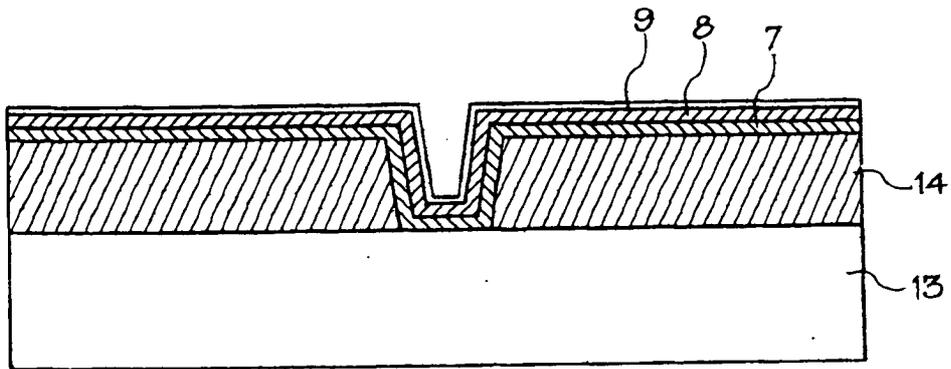


FIG. 2D

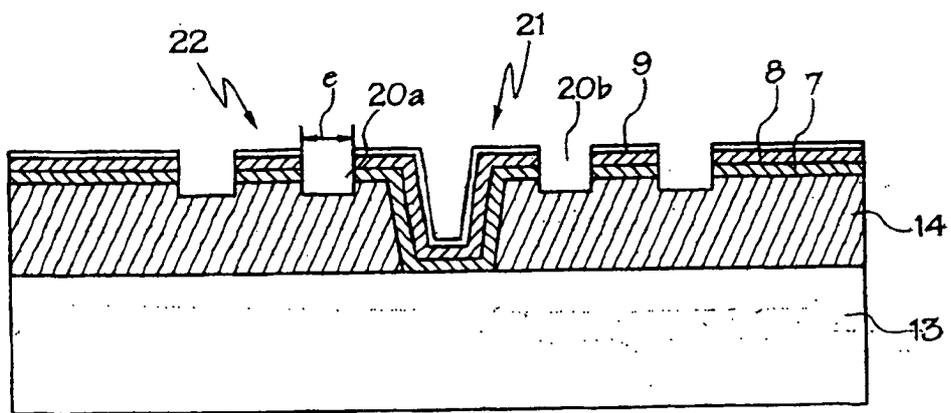


FIG. 2E

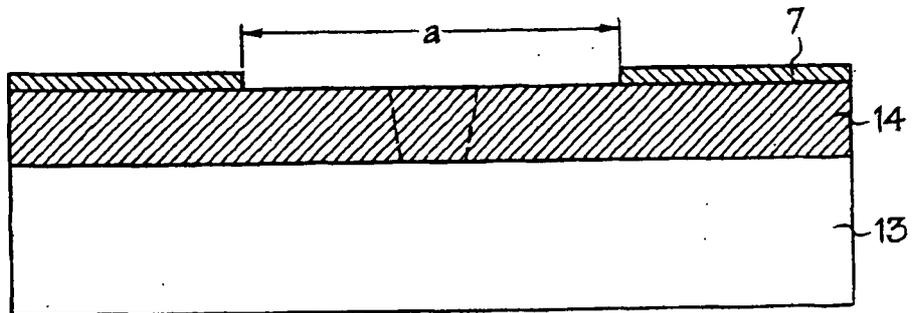


FIG. 3A

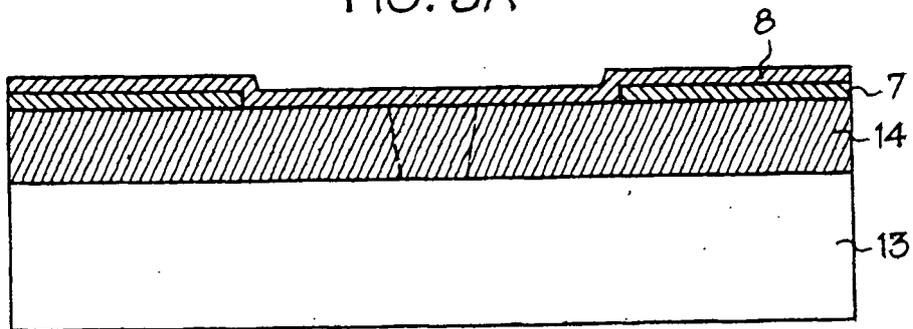


FIG. 3B

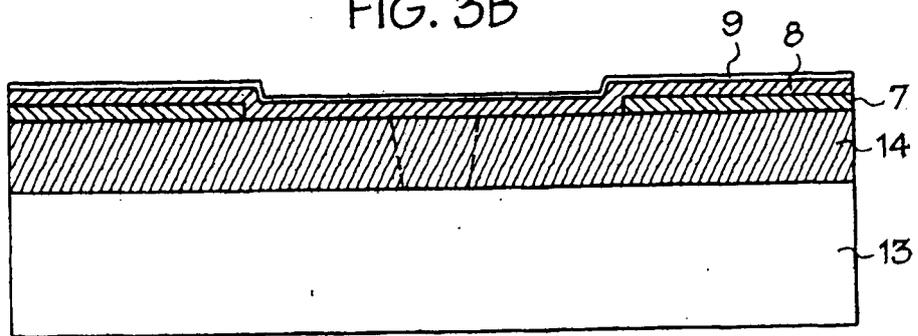


FIG. 3C

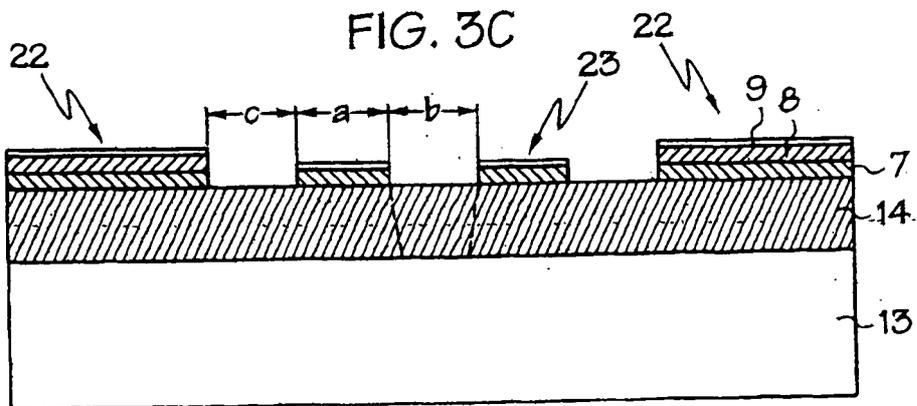


FIG. 3D

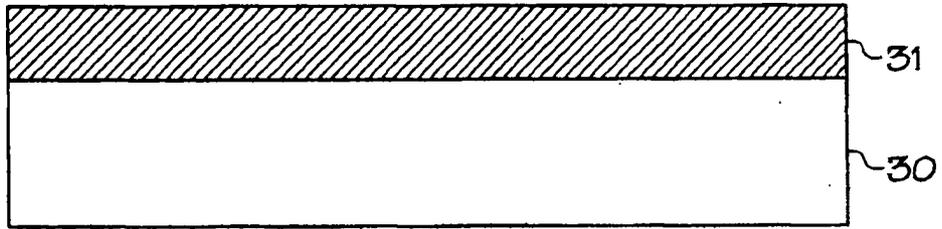


FIG. 4A

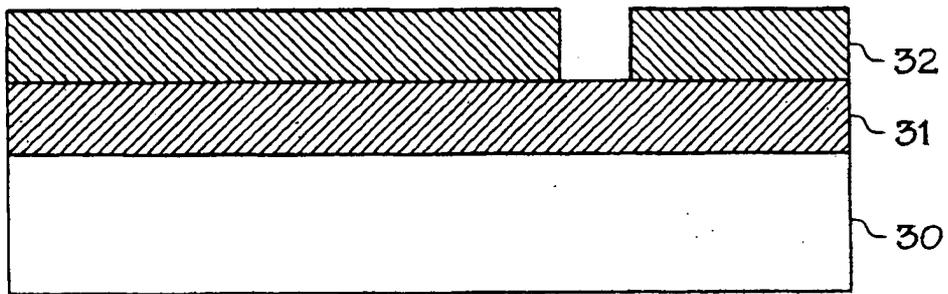


FIG. 4B

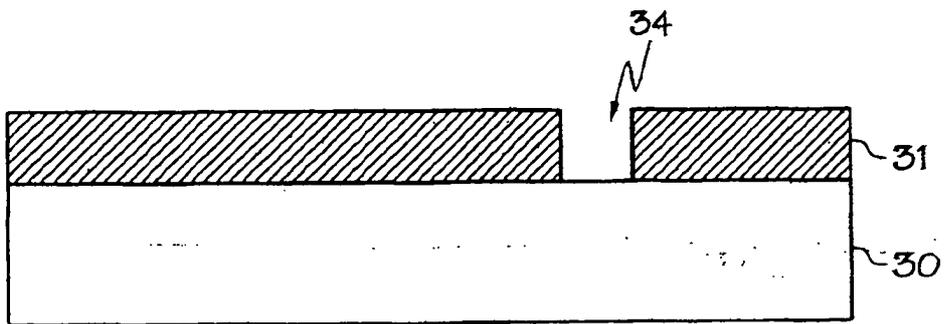


FIG. 4C

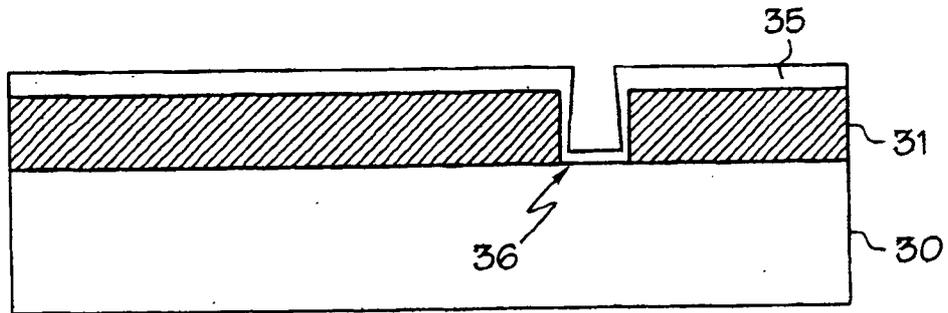


FIG. 4D

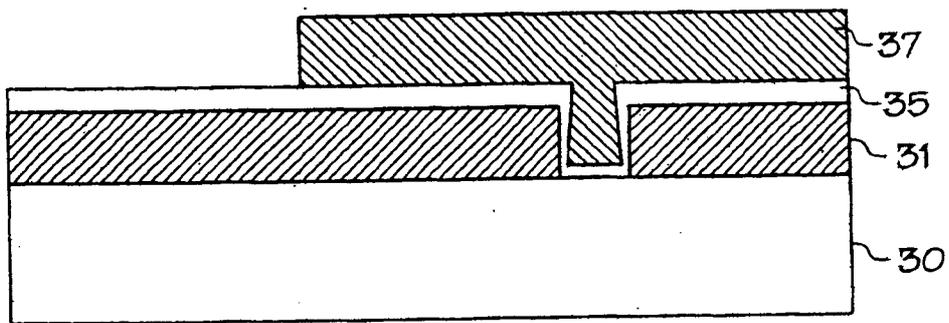


FIG. 4E

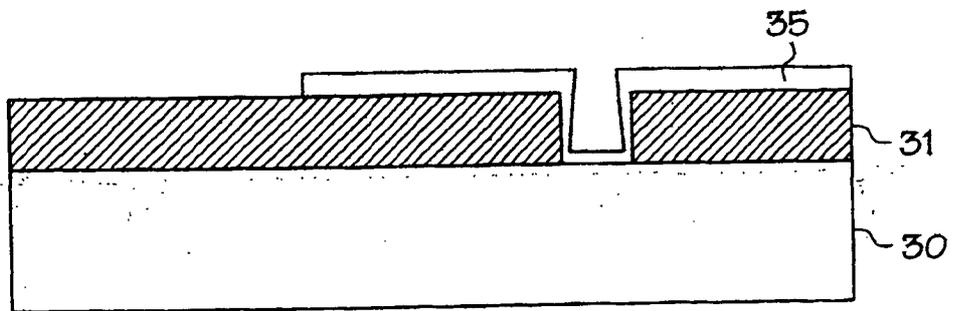


FIG. 4F

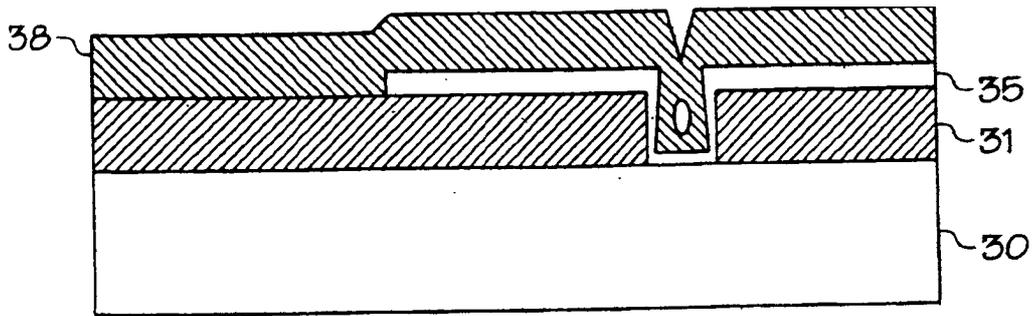


FIG. 4G

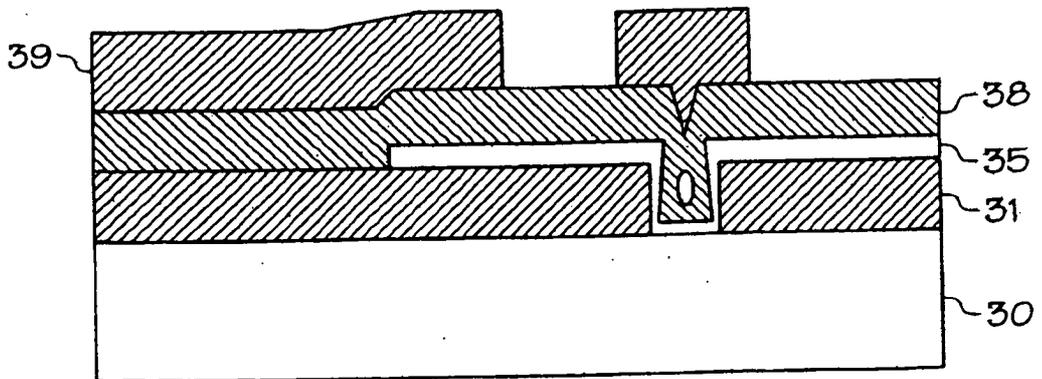


FIG. 4H

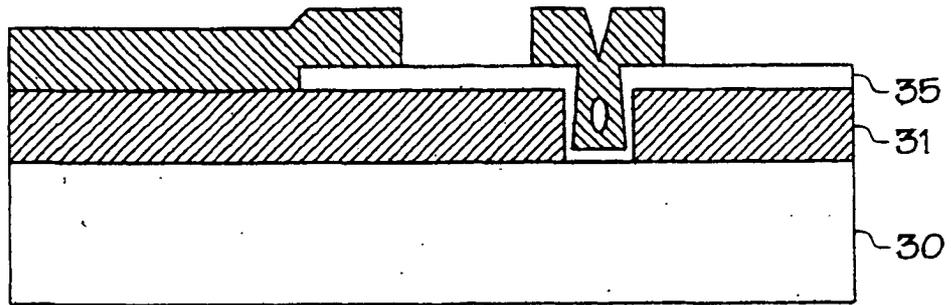


FIG. 4I

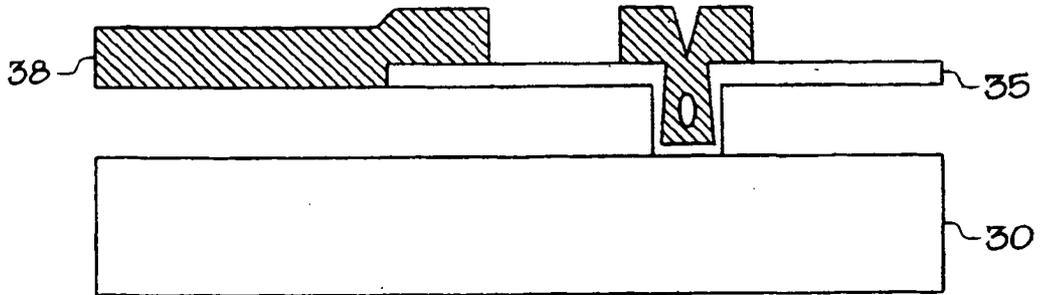


FIG. 4J

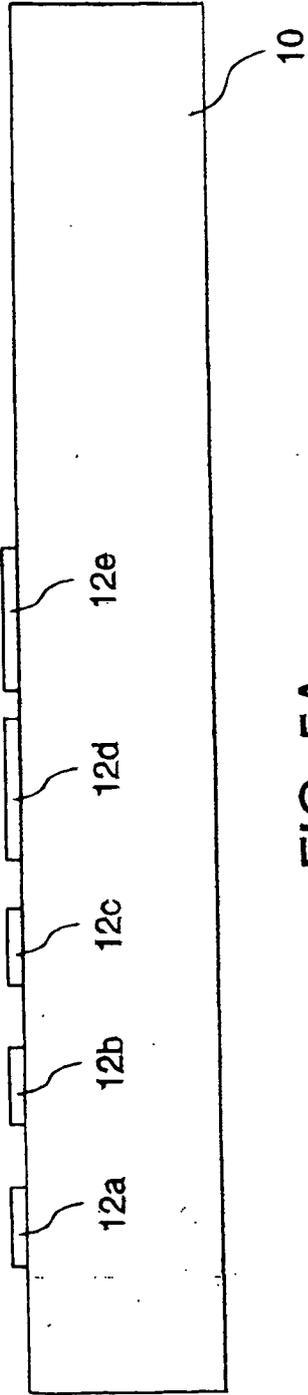


FIG. 5A

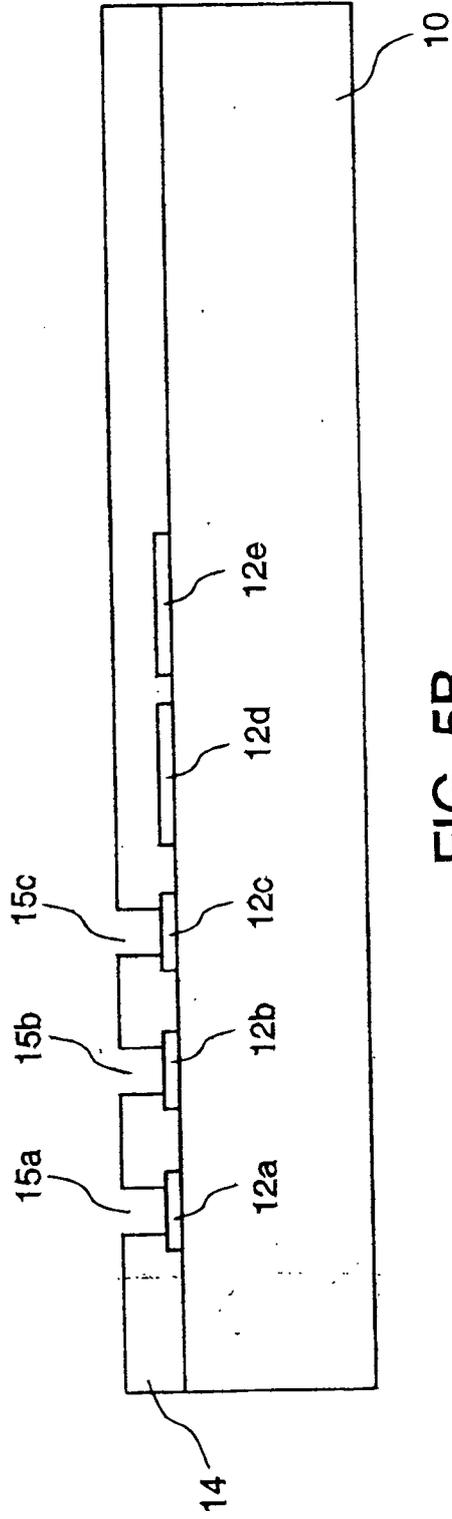


FIG. 5B

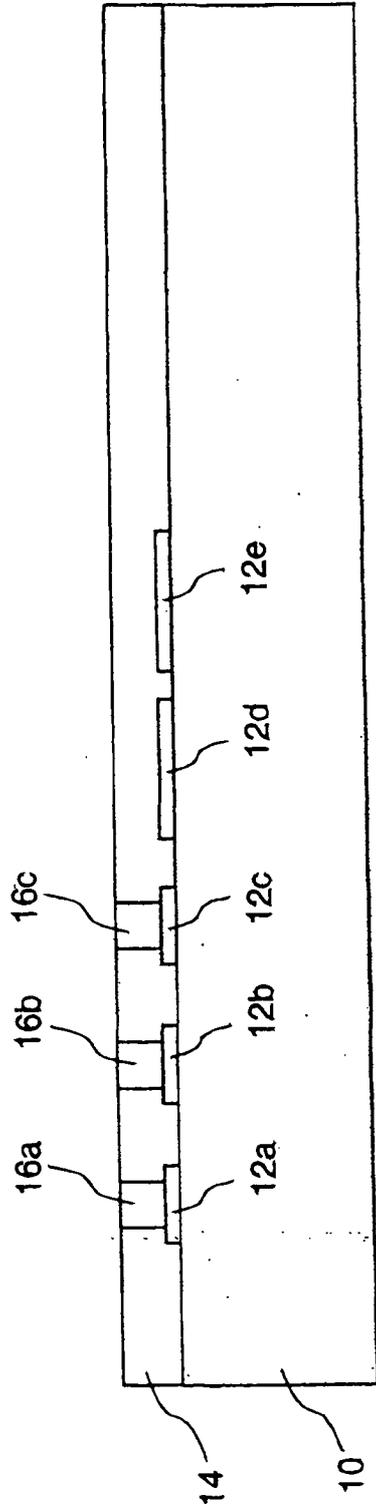


FIG. 5C

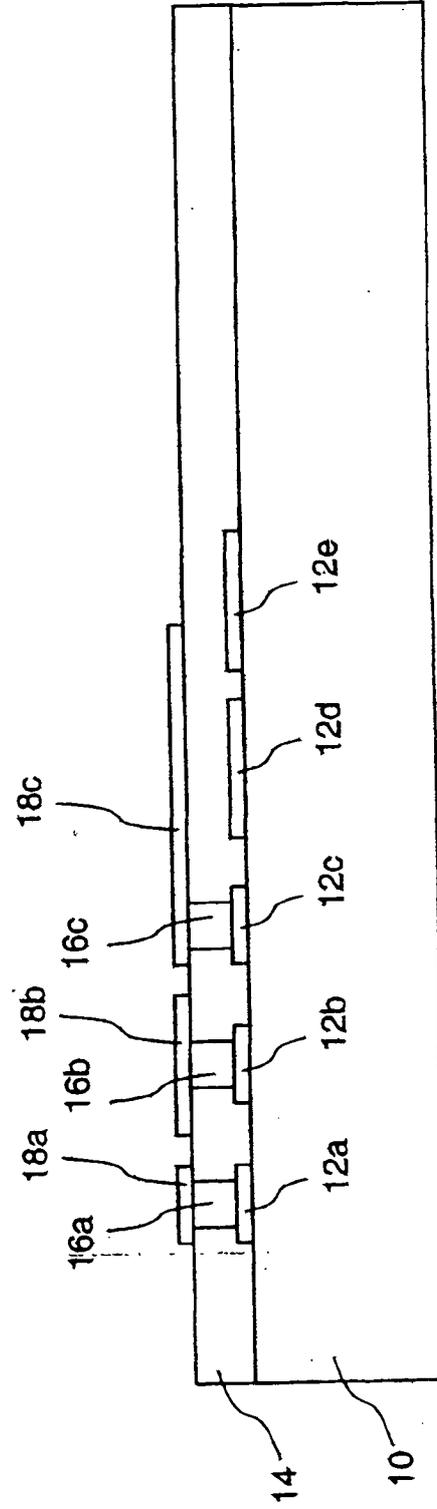


FIG. 5D

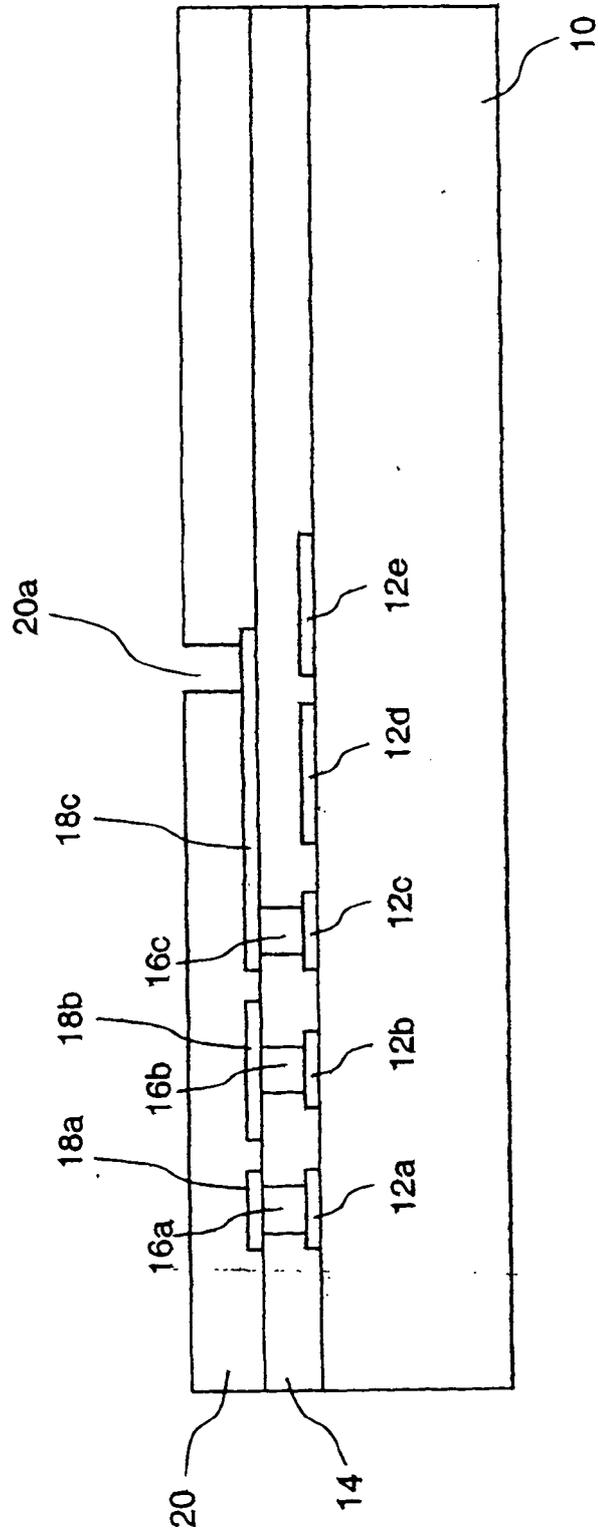


FIG. 5E

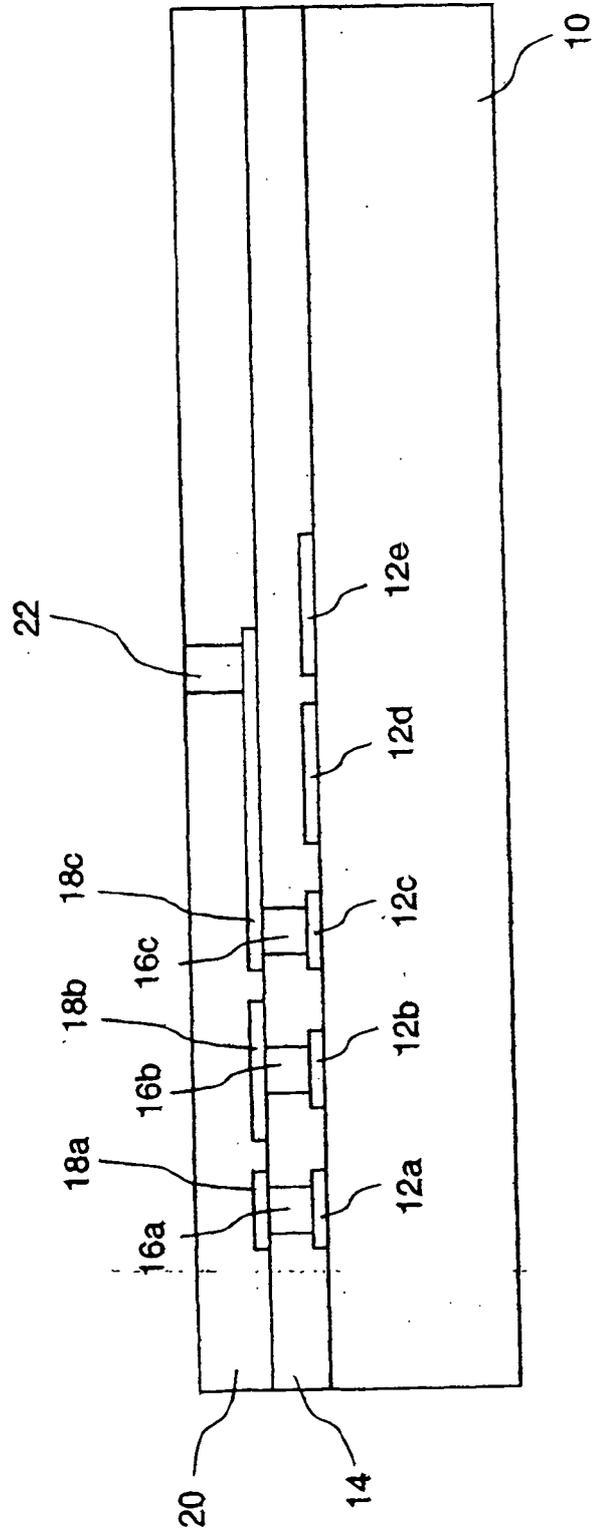


FIG. 5F

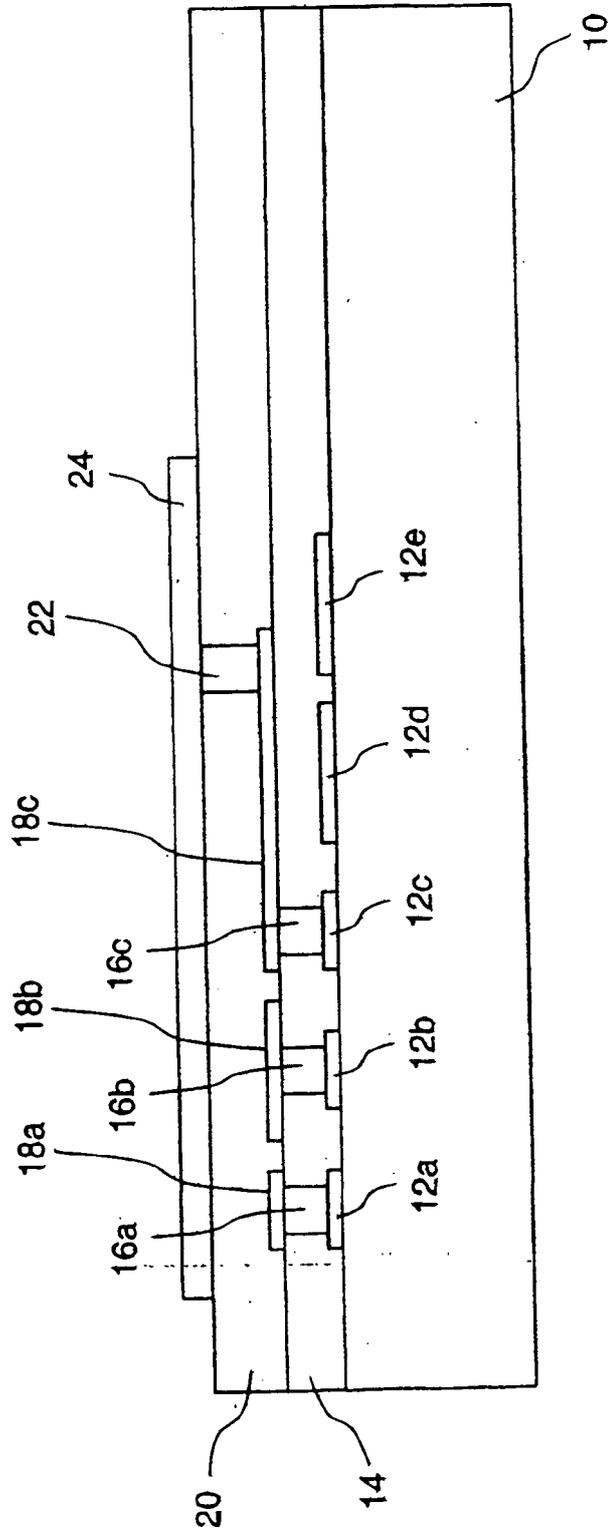


FIG. 5G

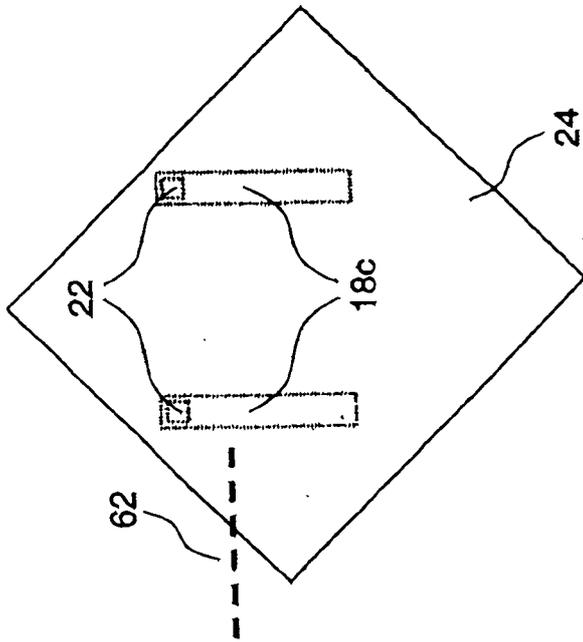


FIG. 6C

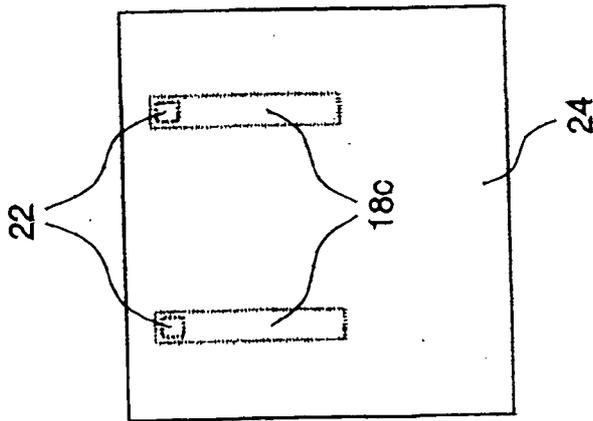


FIG. 6B

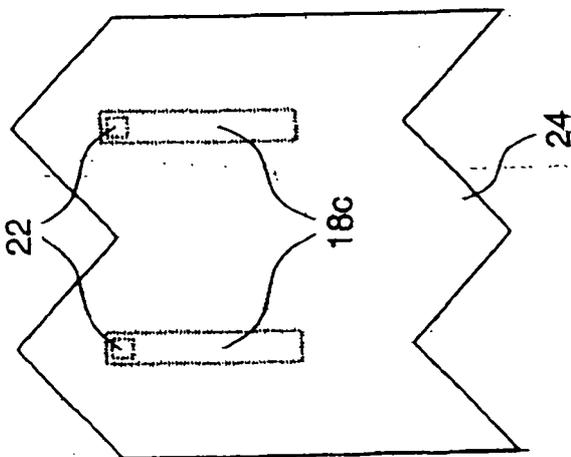


FIG. 6A

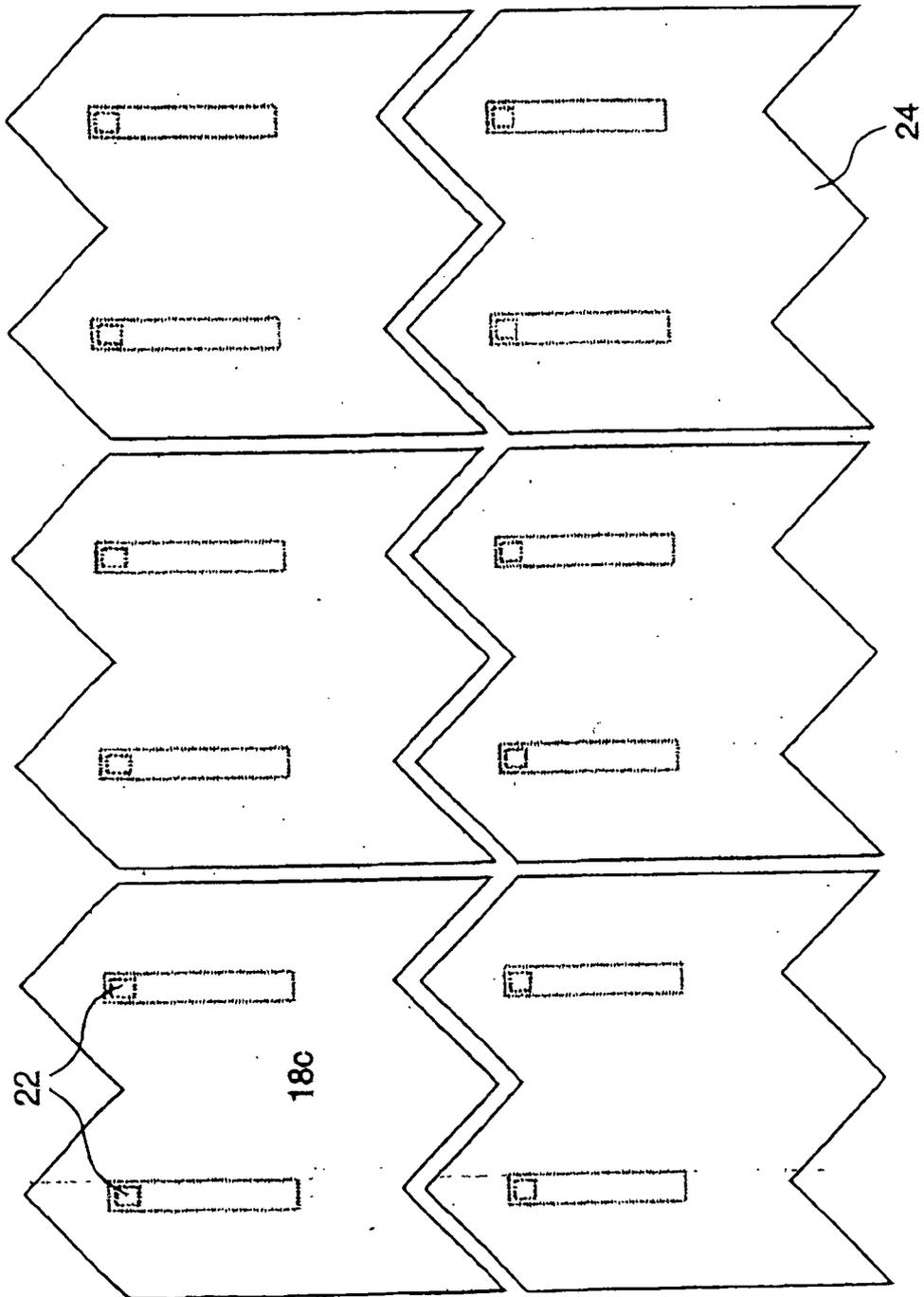


FIG. 7

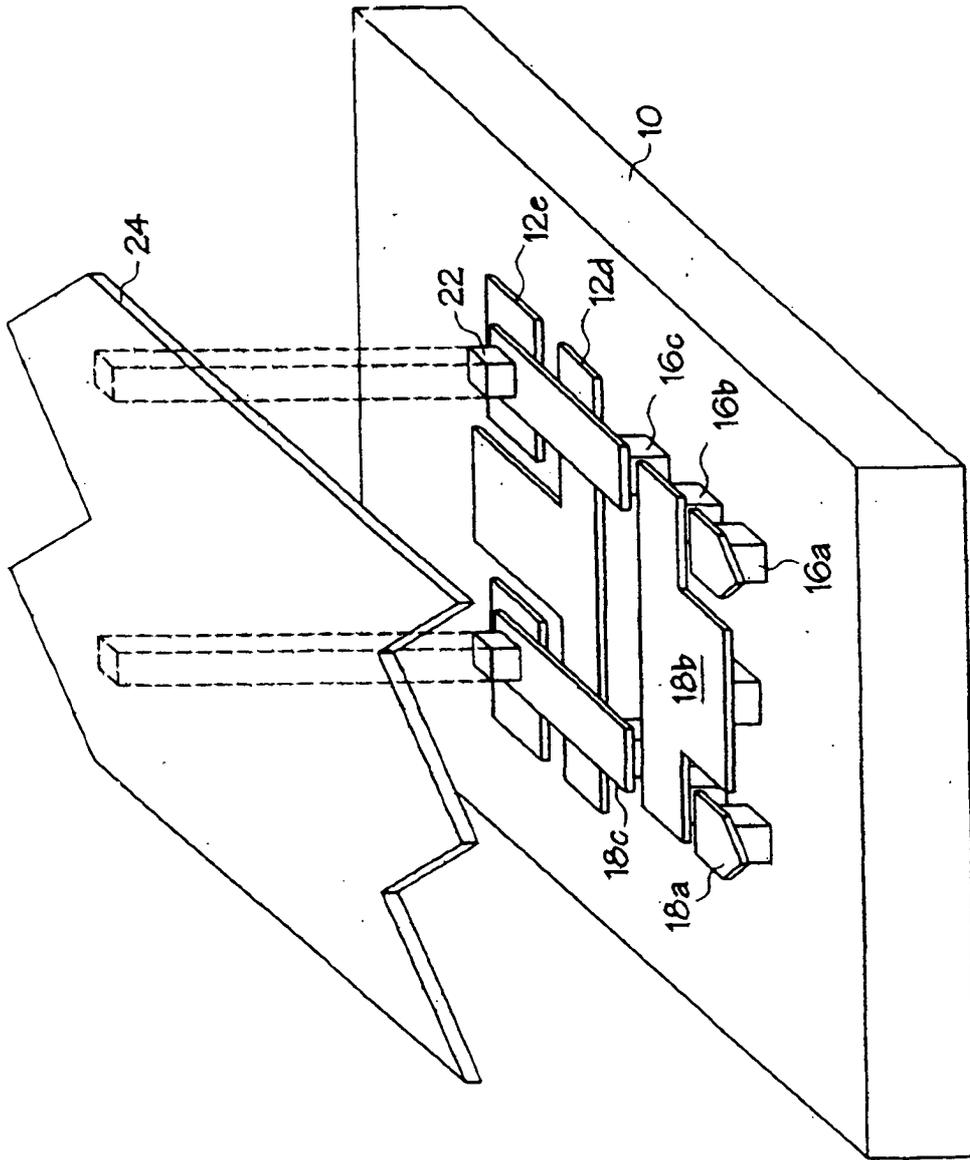


FIG. 8

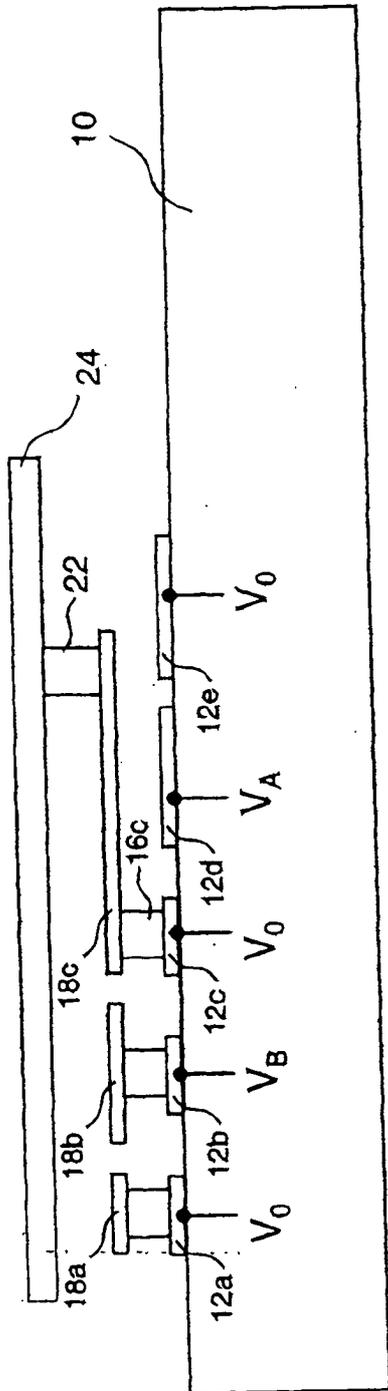


FIG. 9A

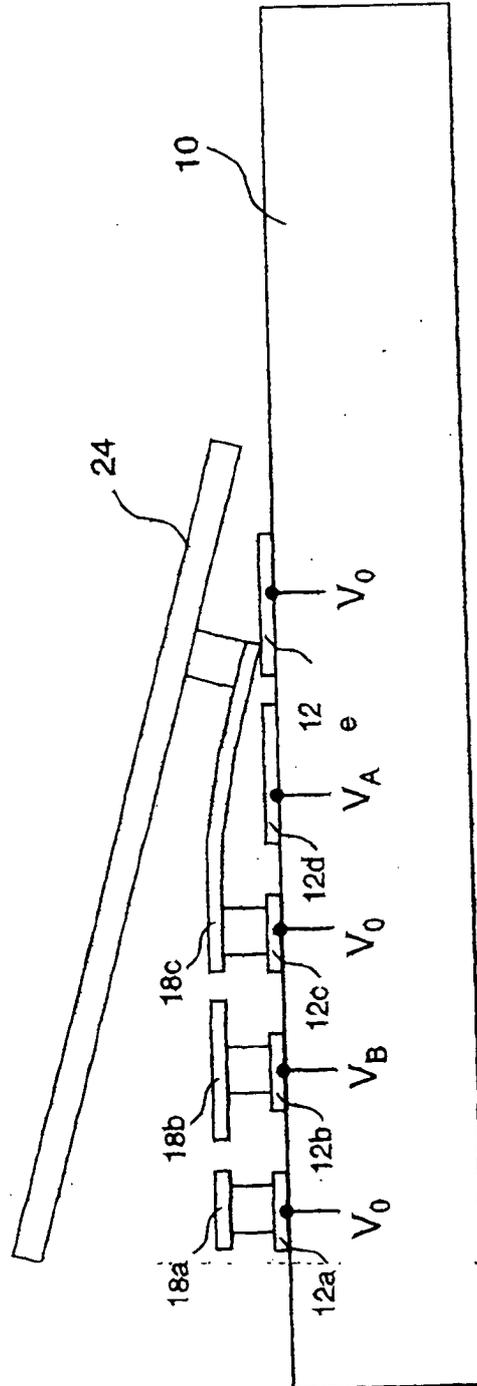


FIG. 9B

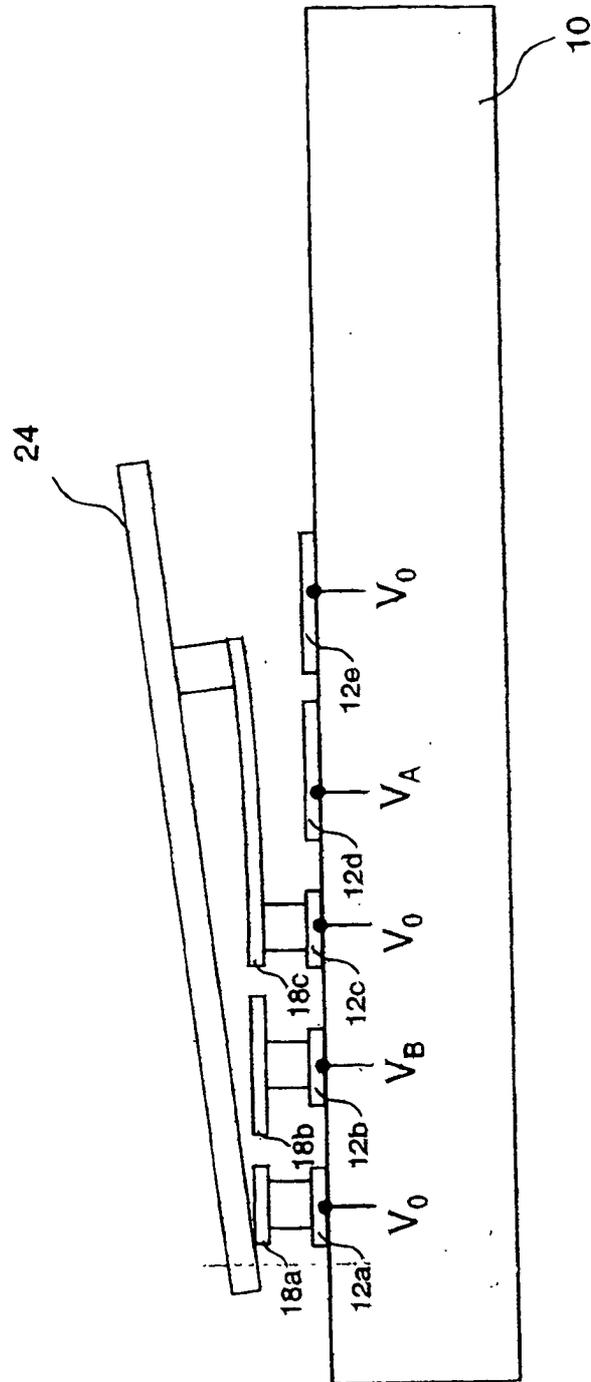


FIG. 9C

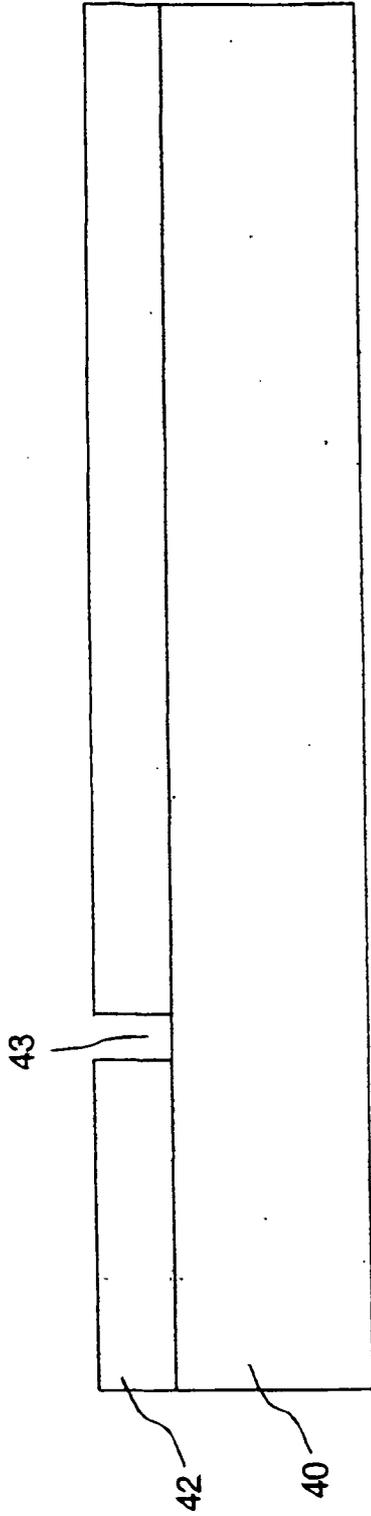


FIG. 10A

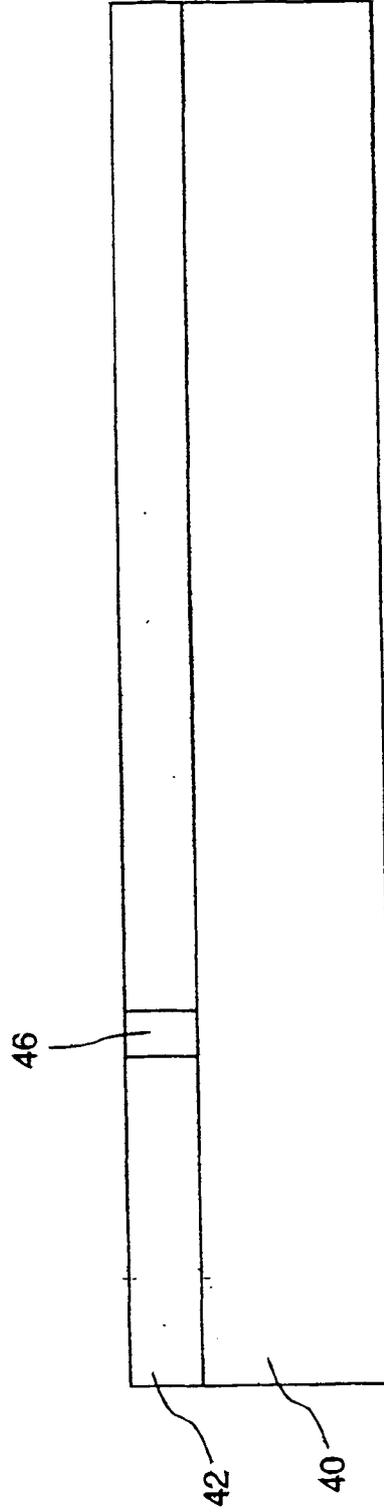


FIG. 10B

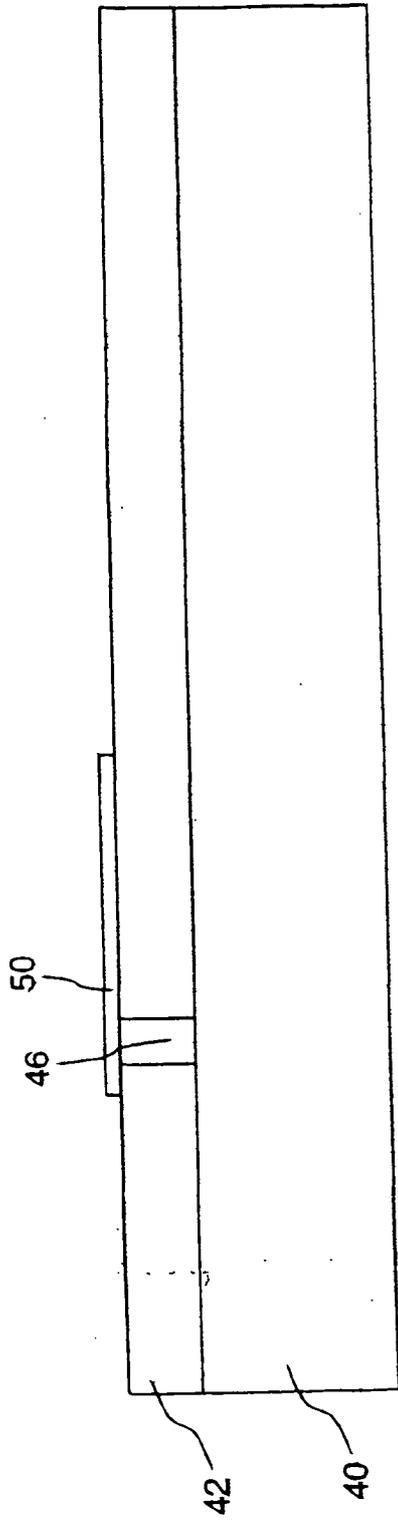


FIG. 10C

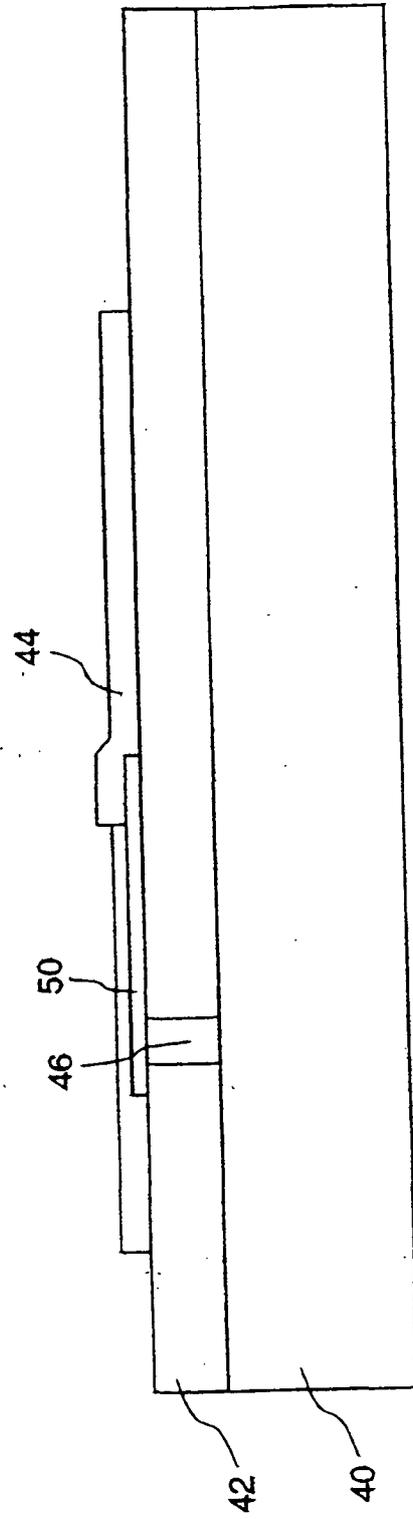


FIG. 10D

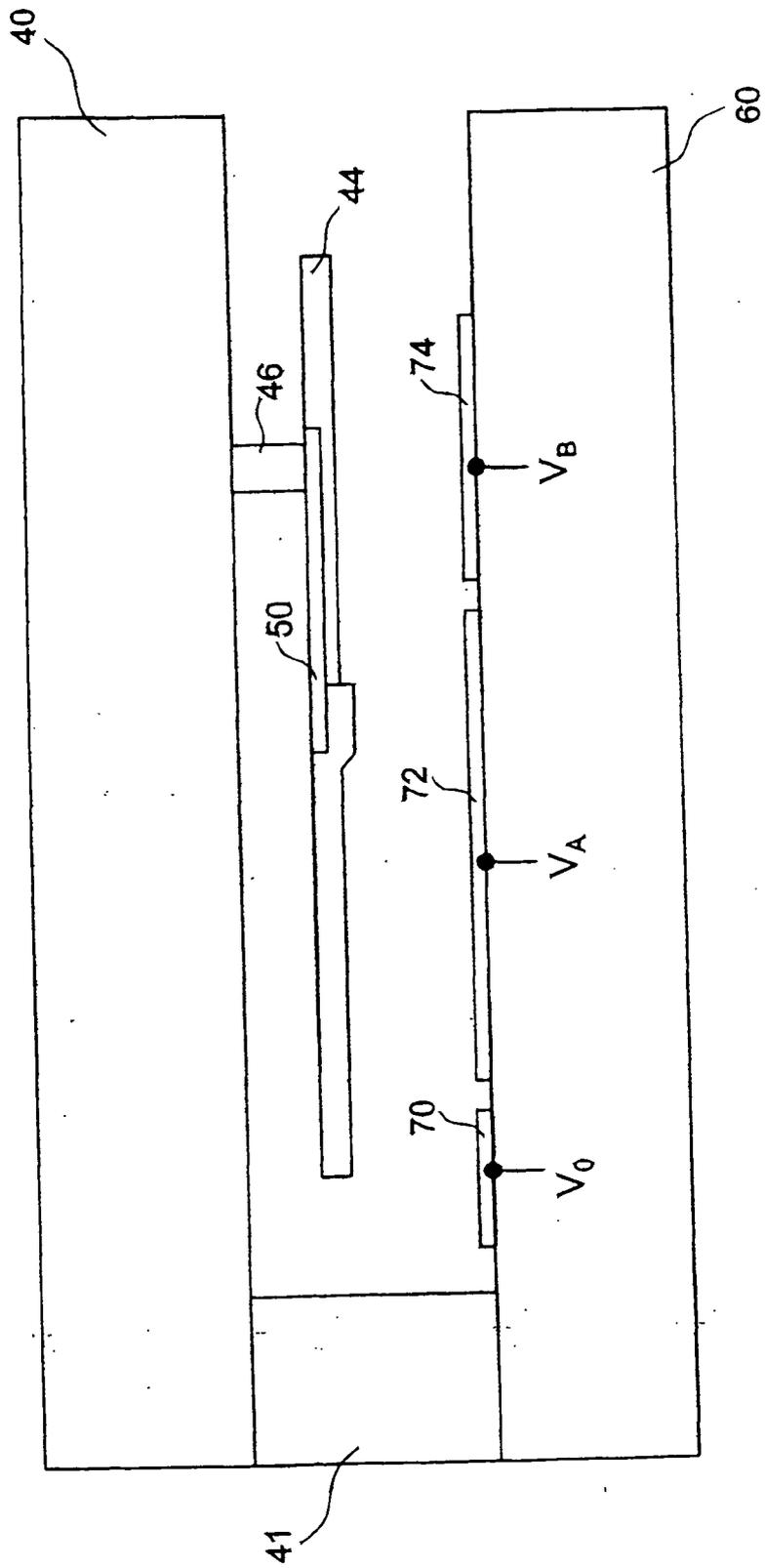


FIG. 11A

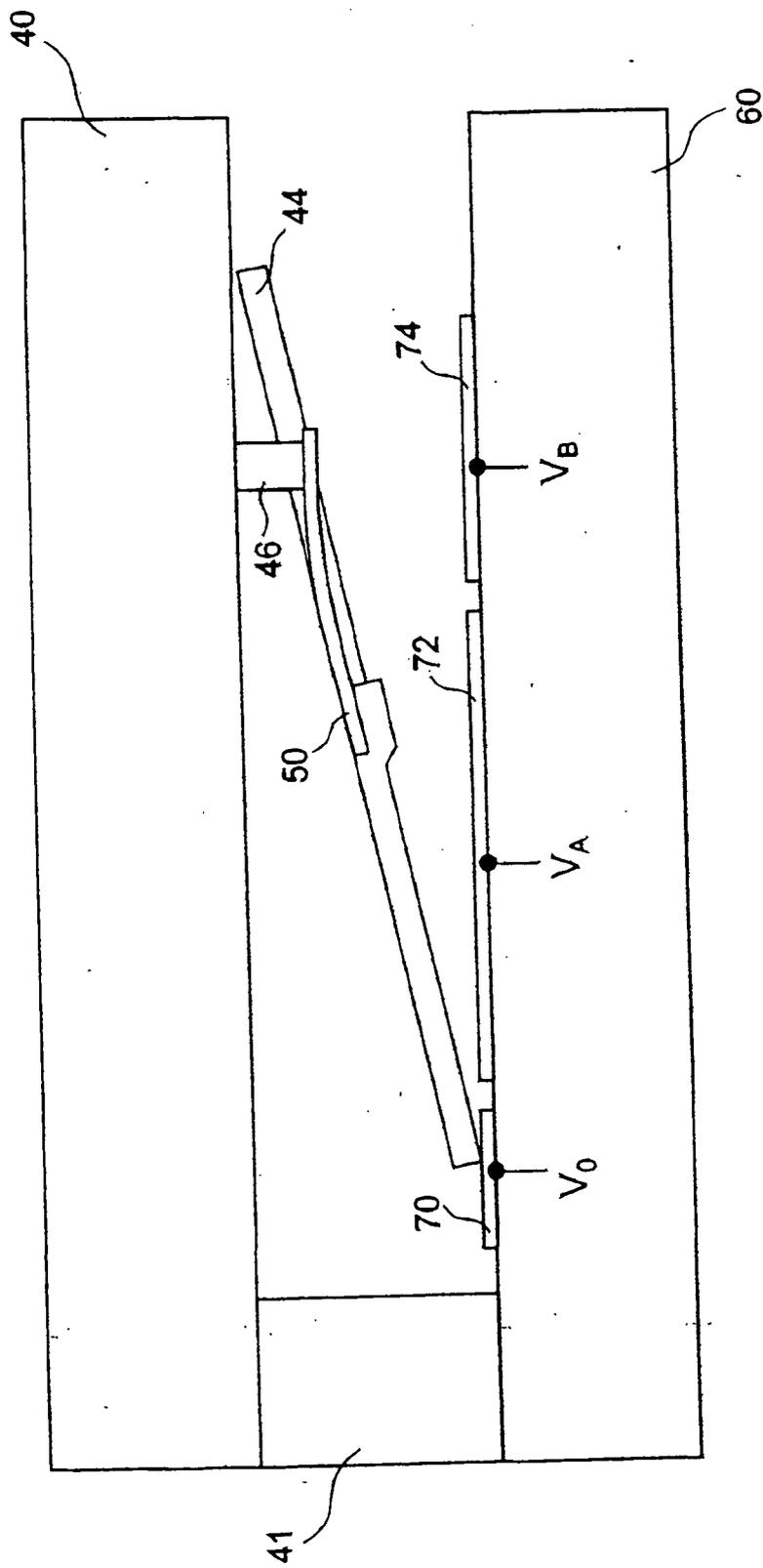


FIG. 11B

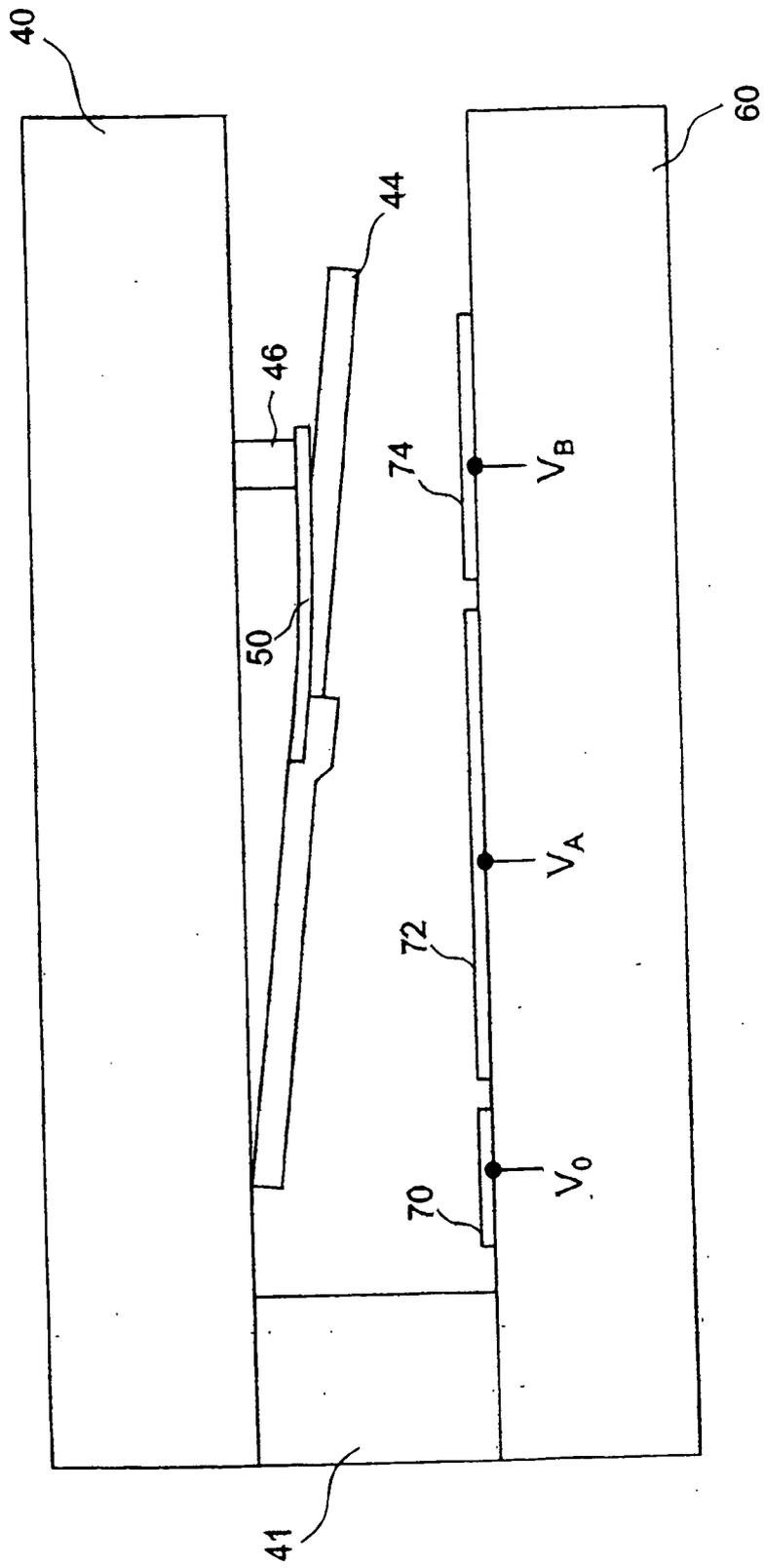


FIG. 11C

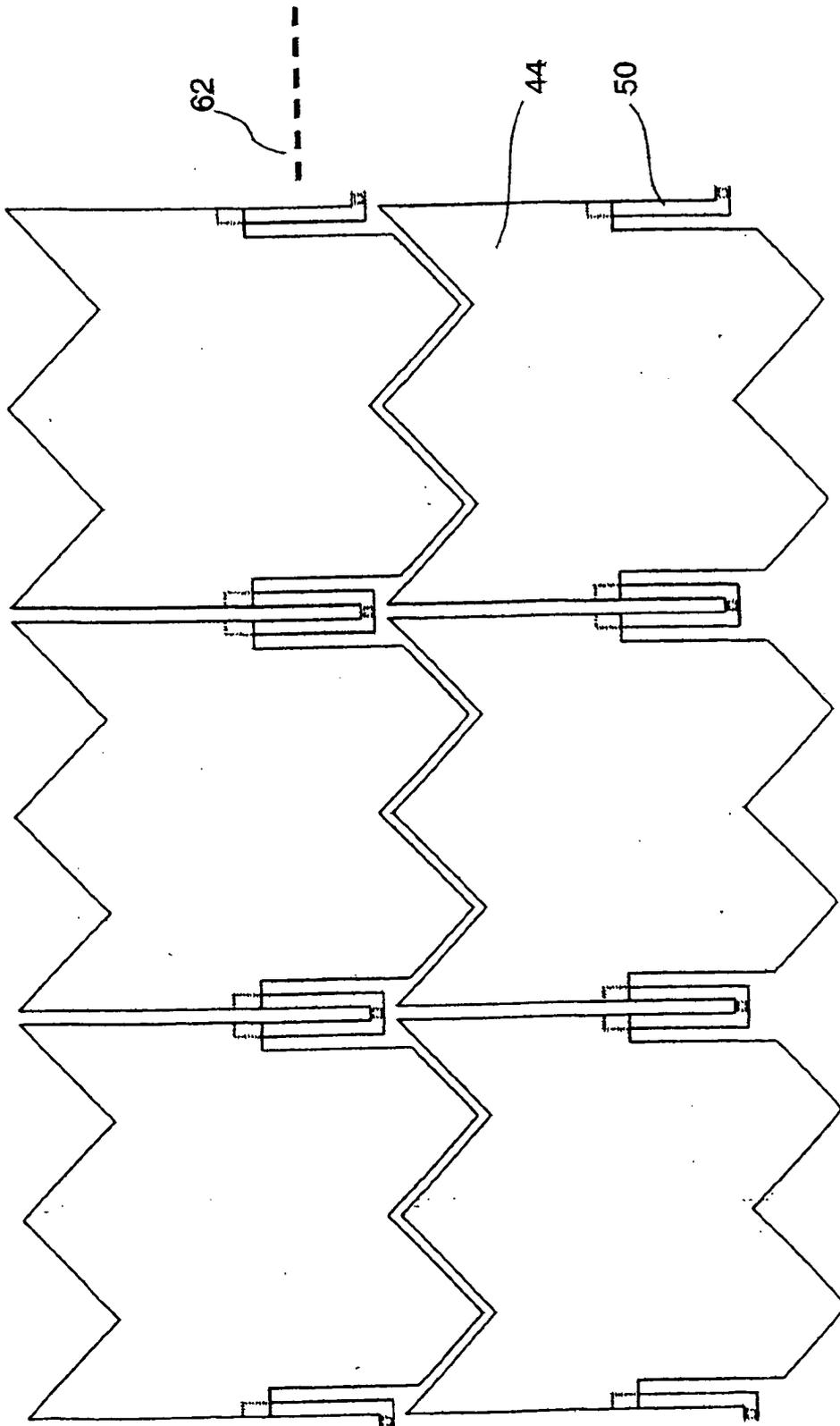


FIG.12

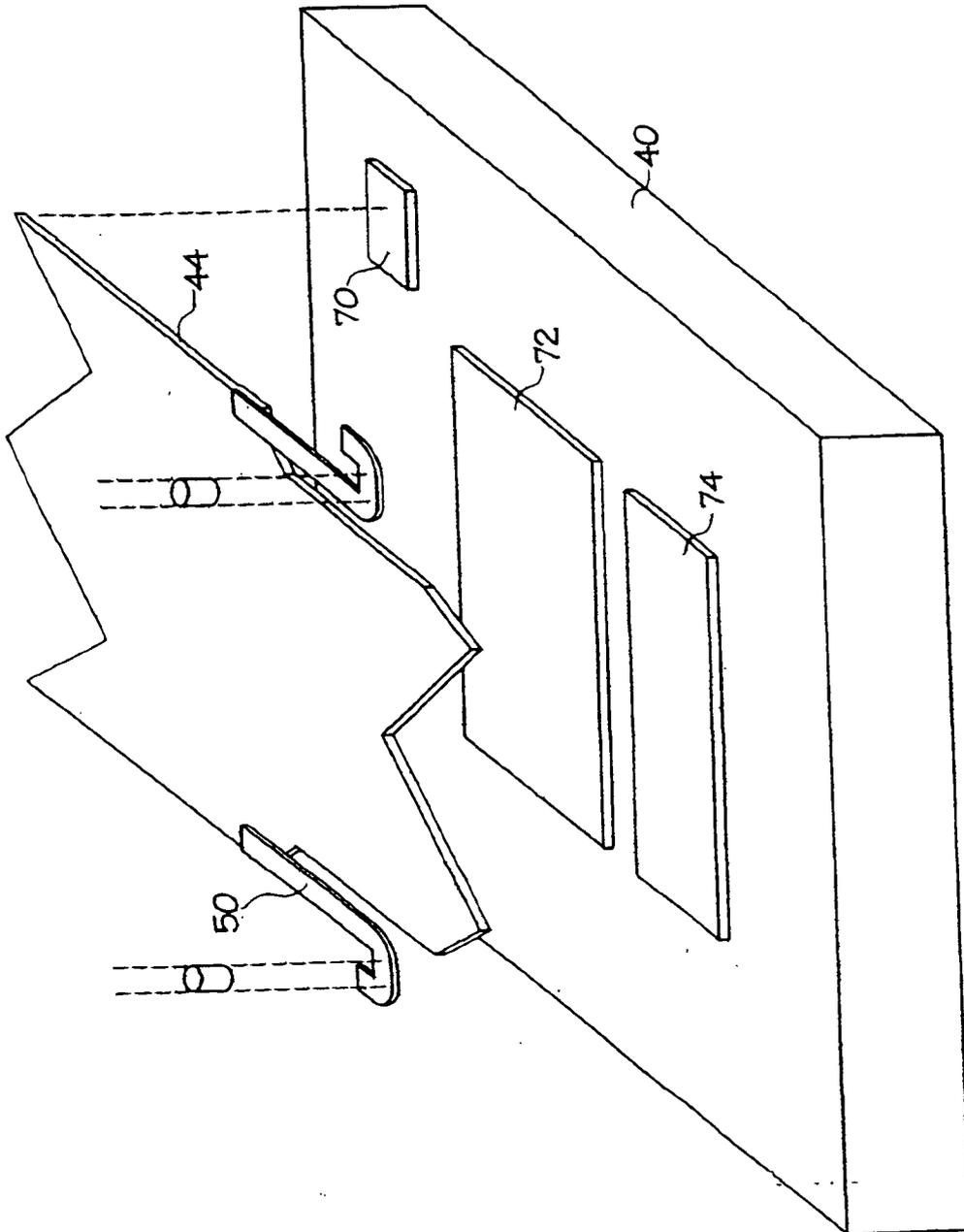


FIG. 13

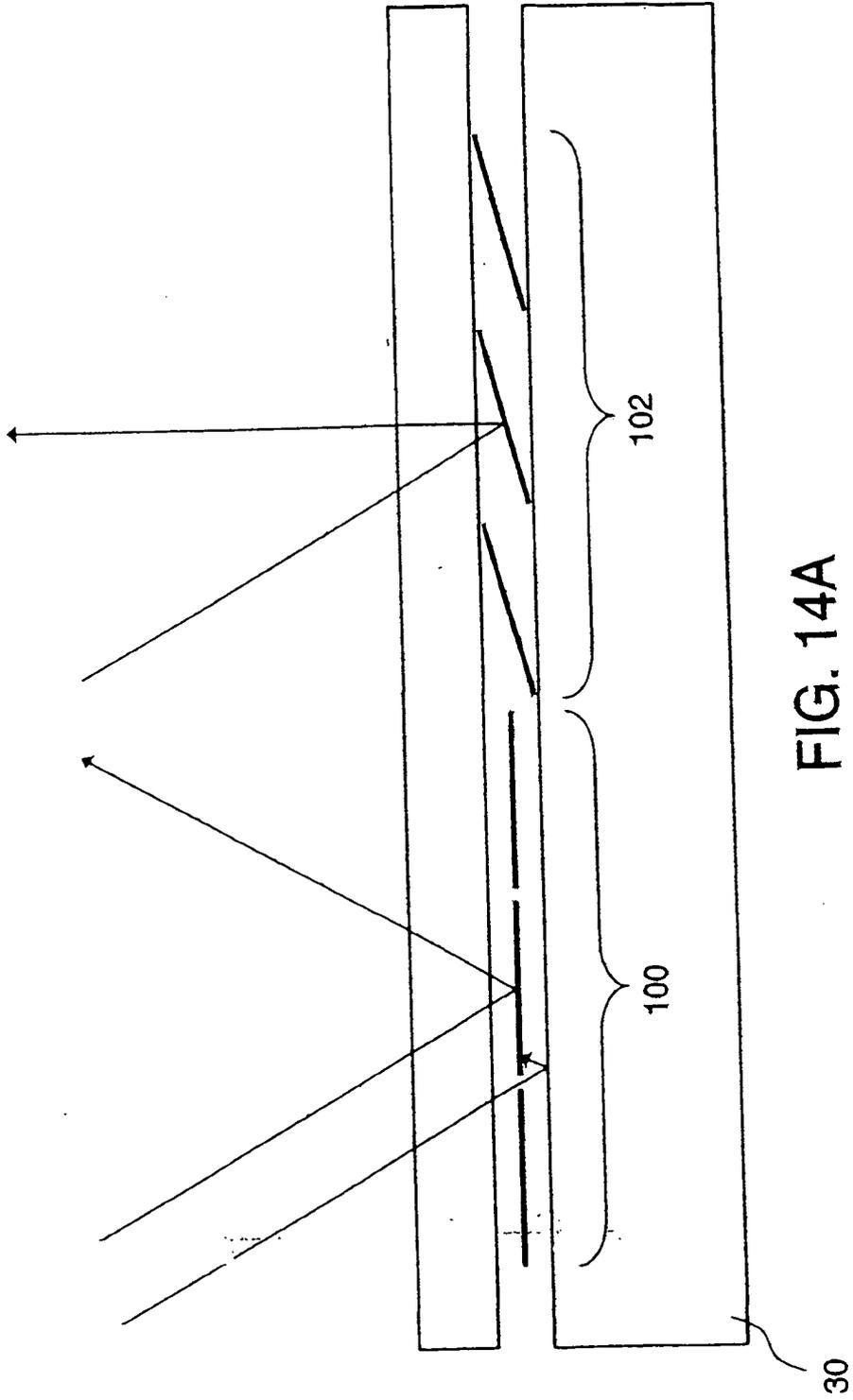


FIG. 14A

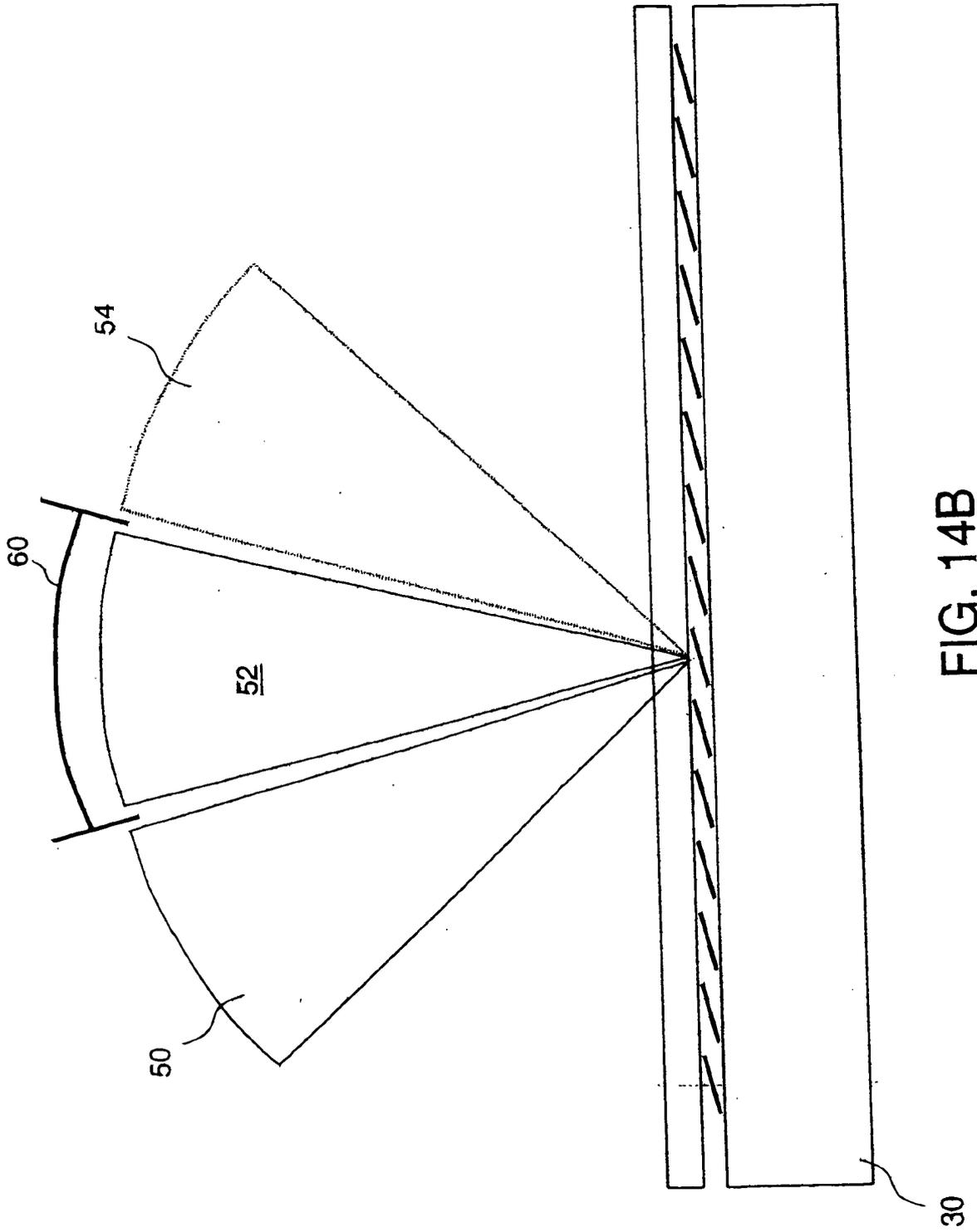


FIG. 14B

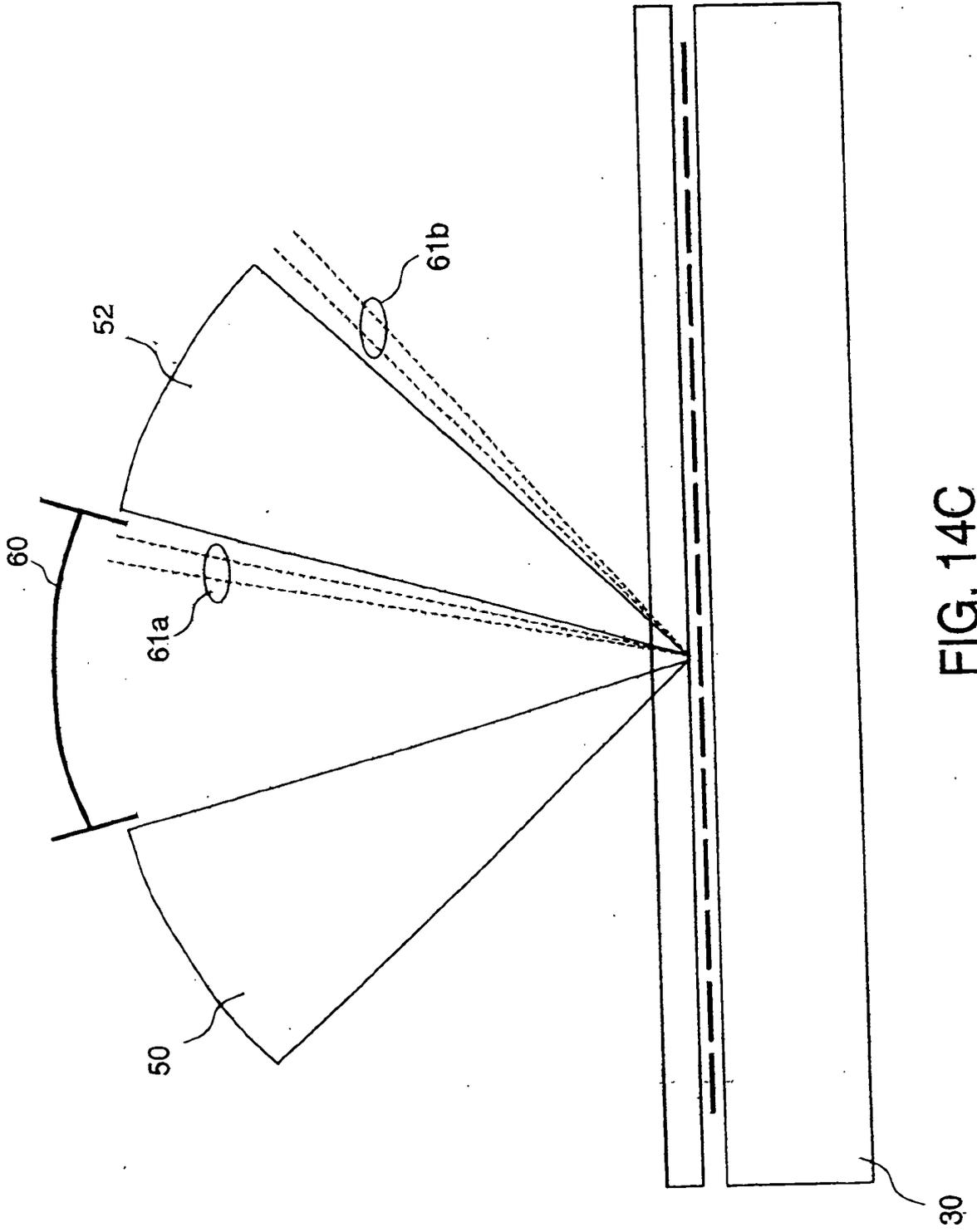


FIG. 14C

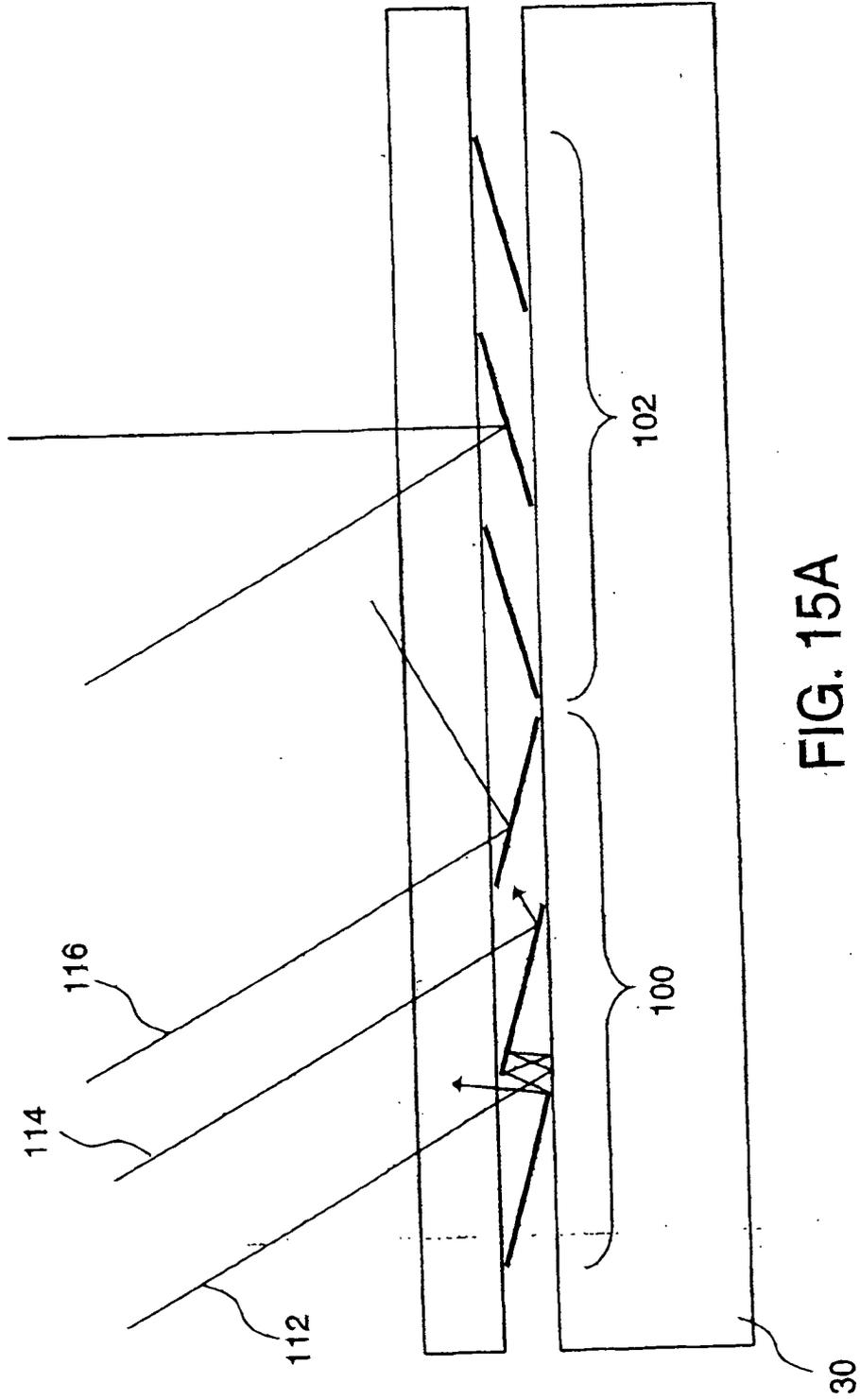


FIG. 15A

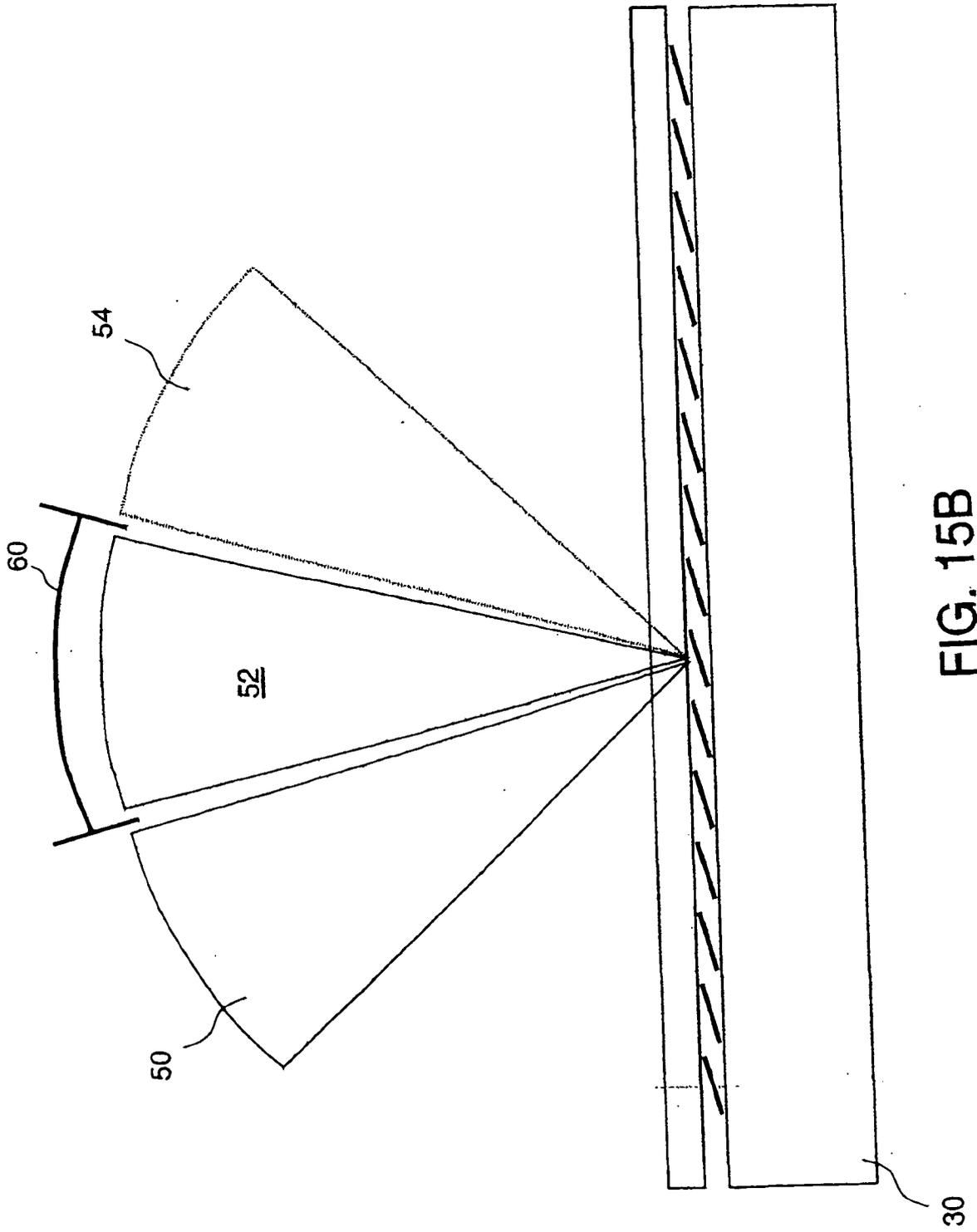


FIG. 15B

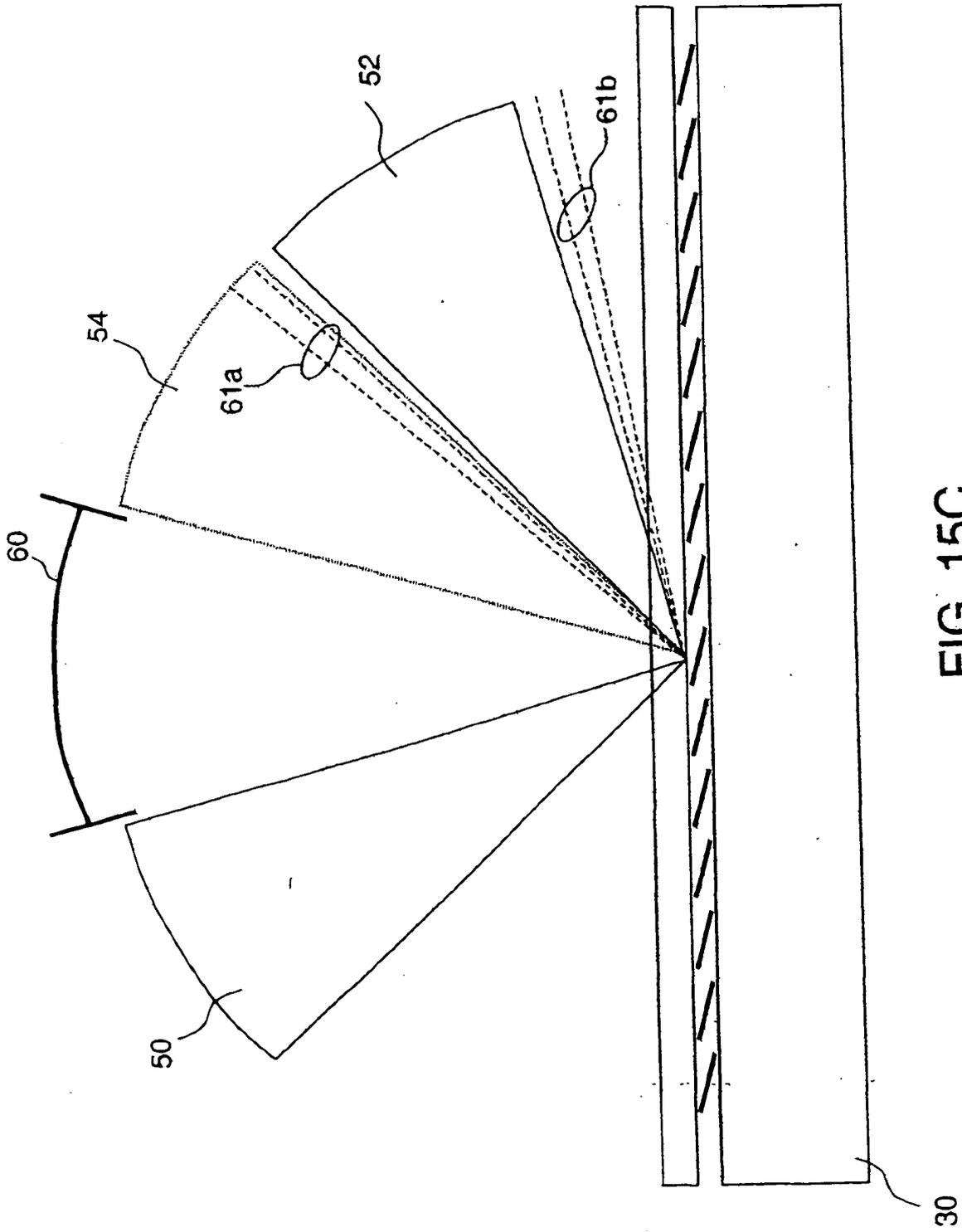


FIG. 15C

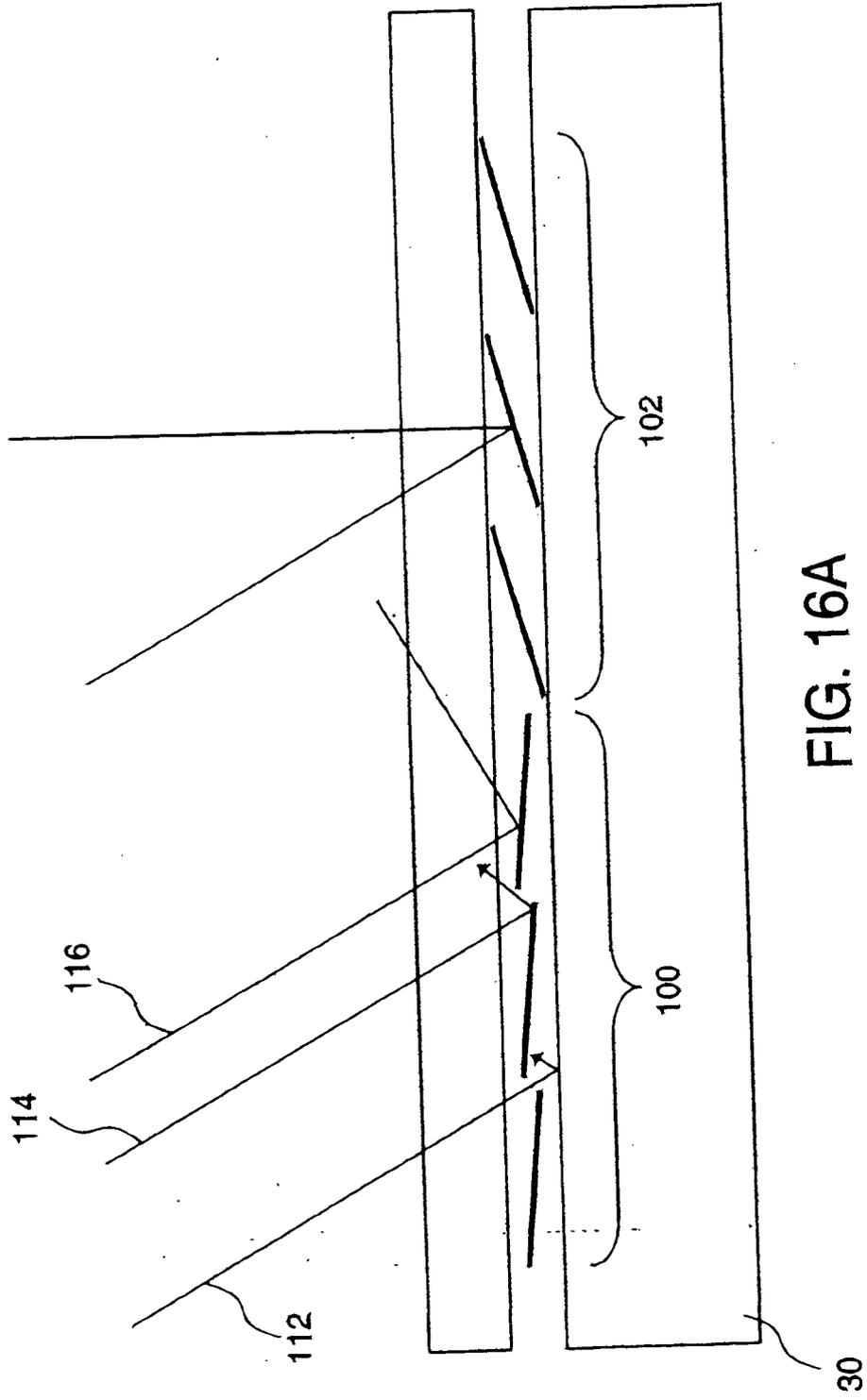


FIG. 16A

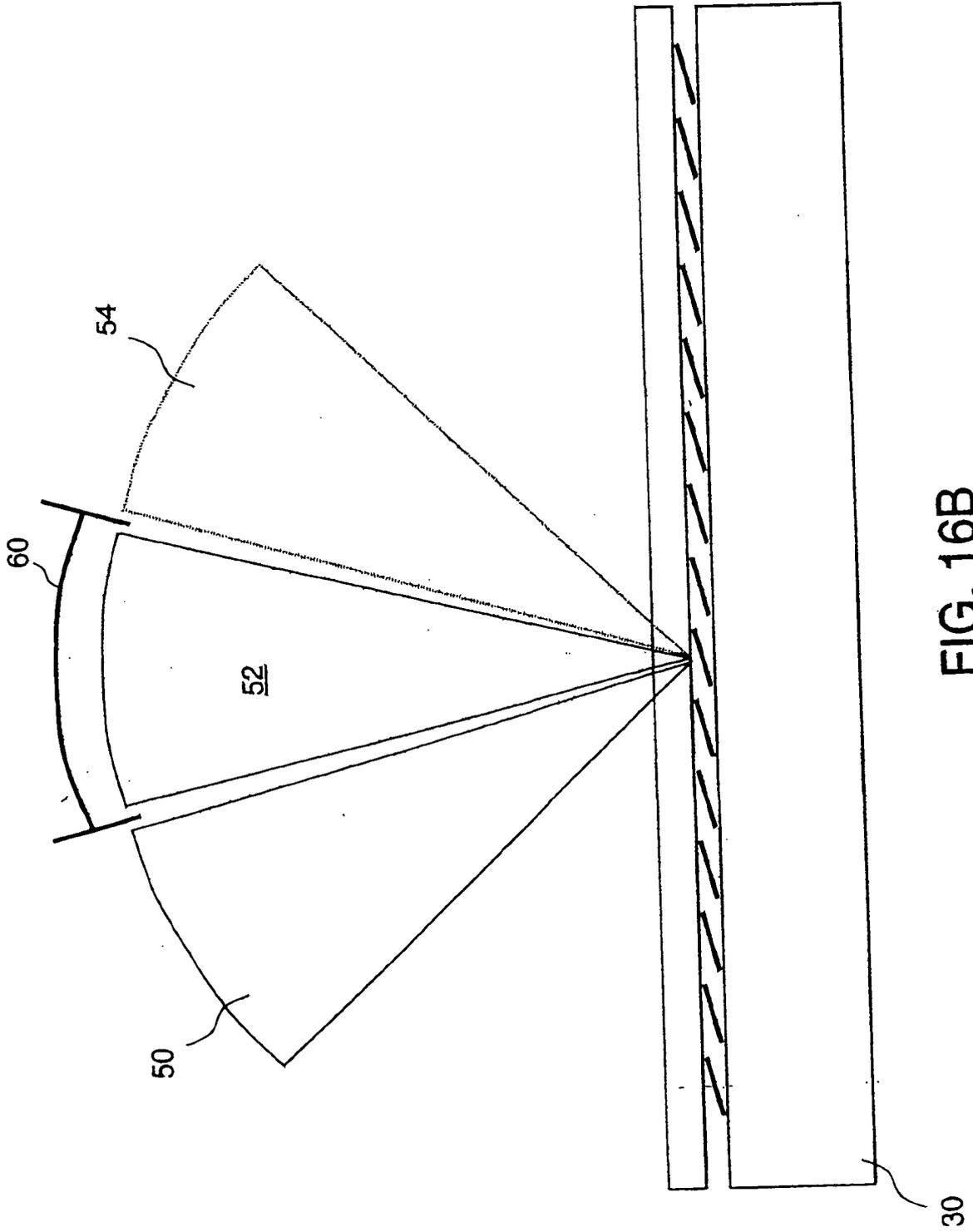


FIG. 16B

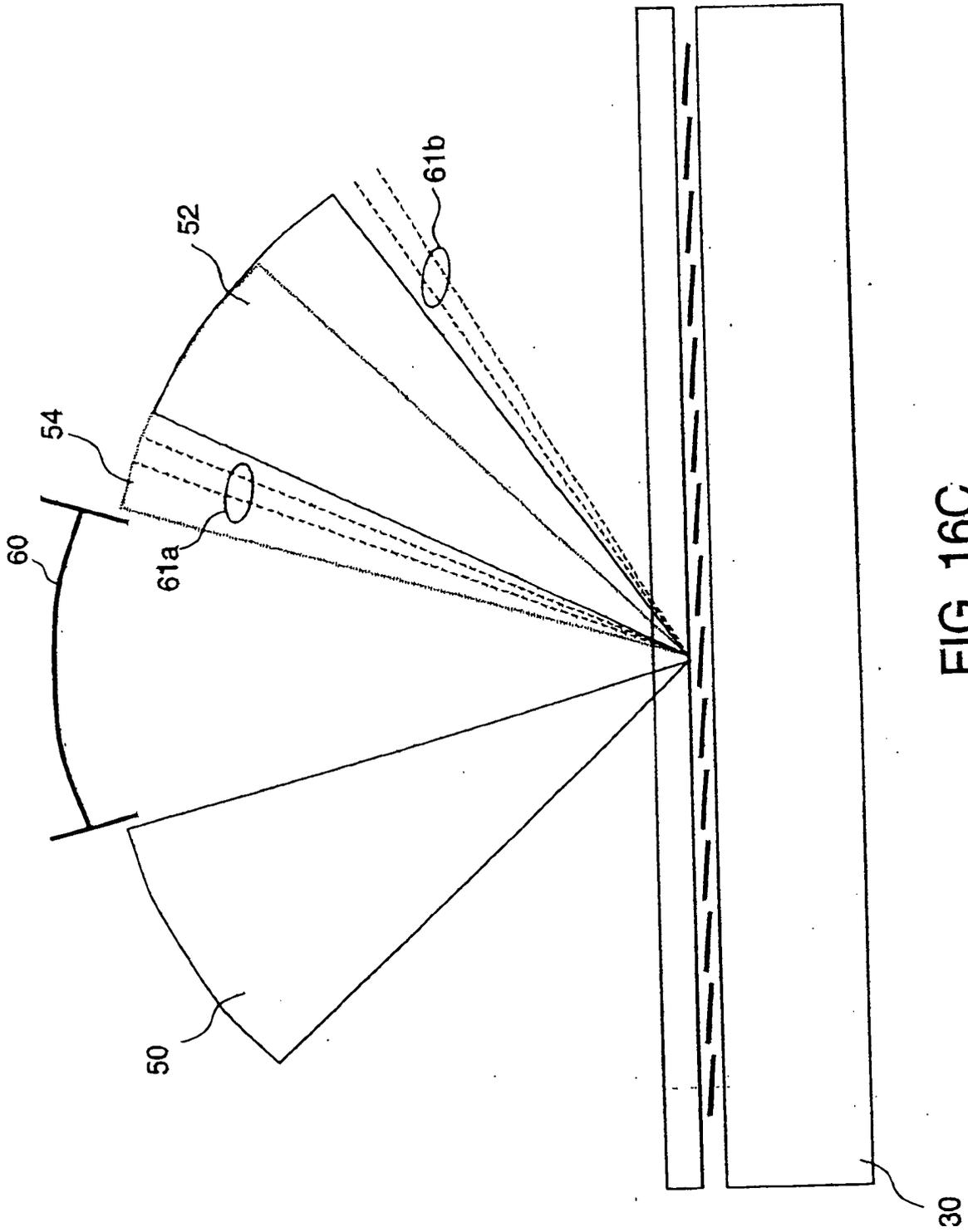


FIG. 16C

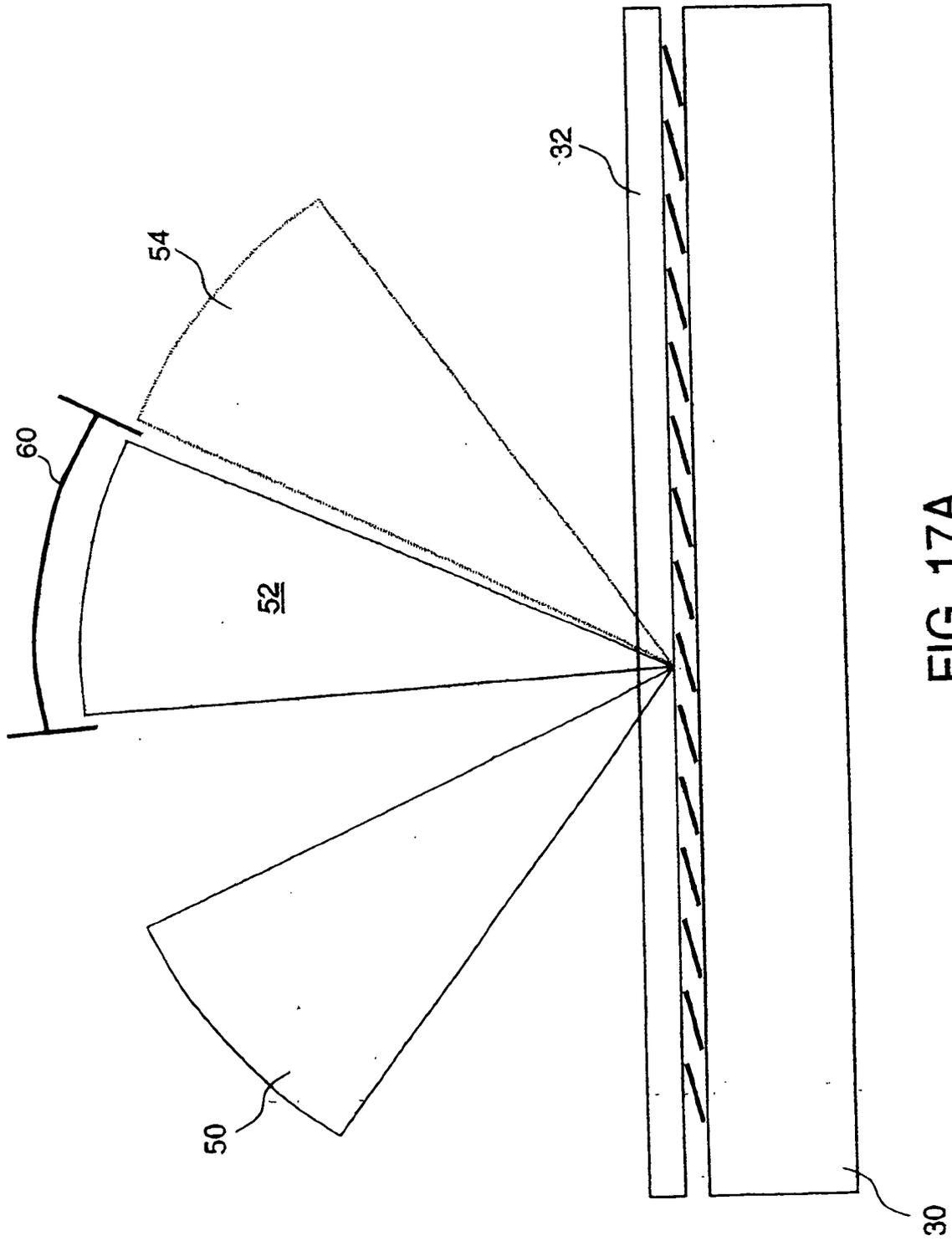


FIG. 17A

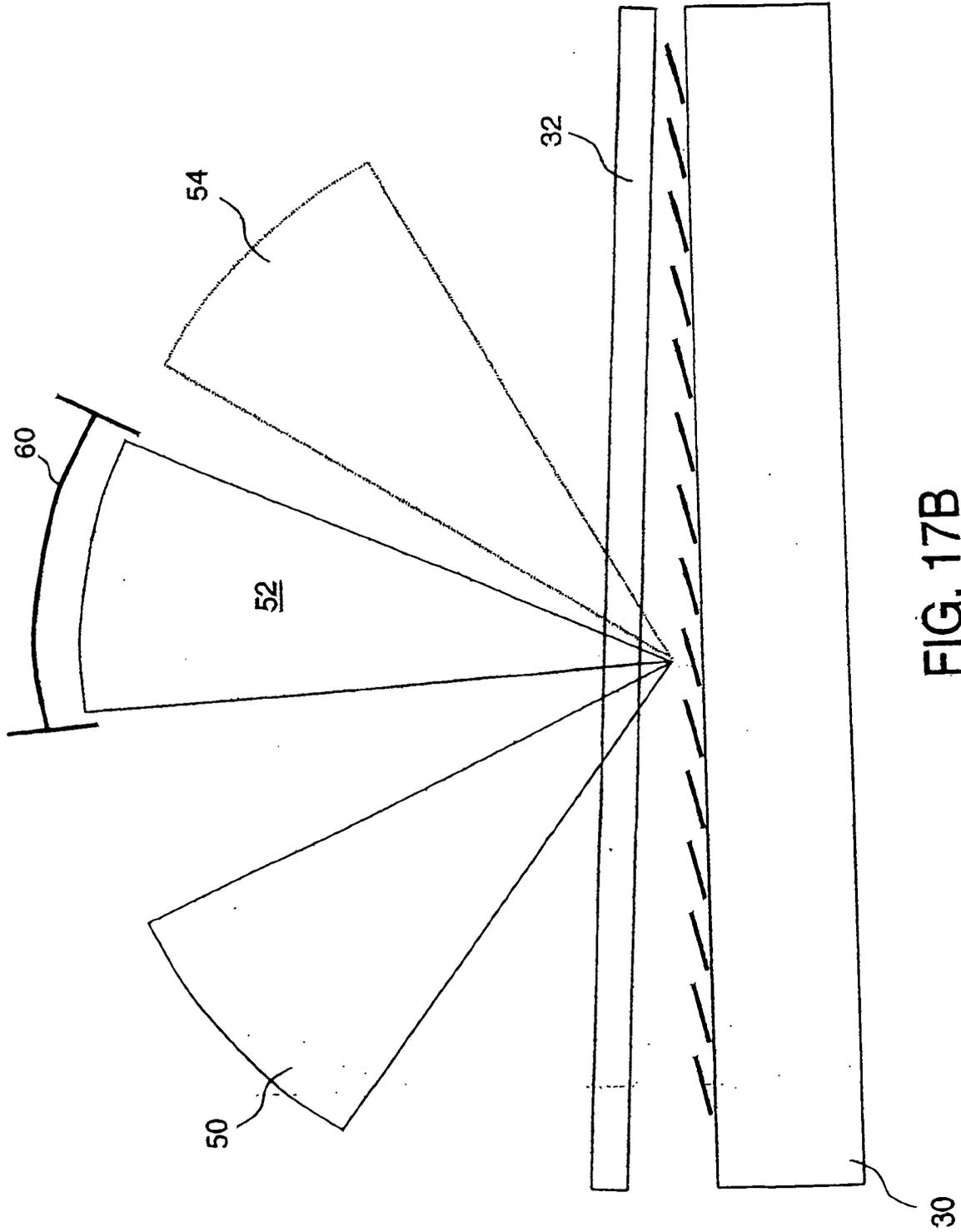


FIG. 17B

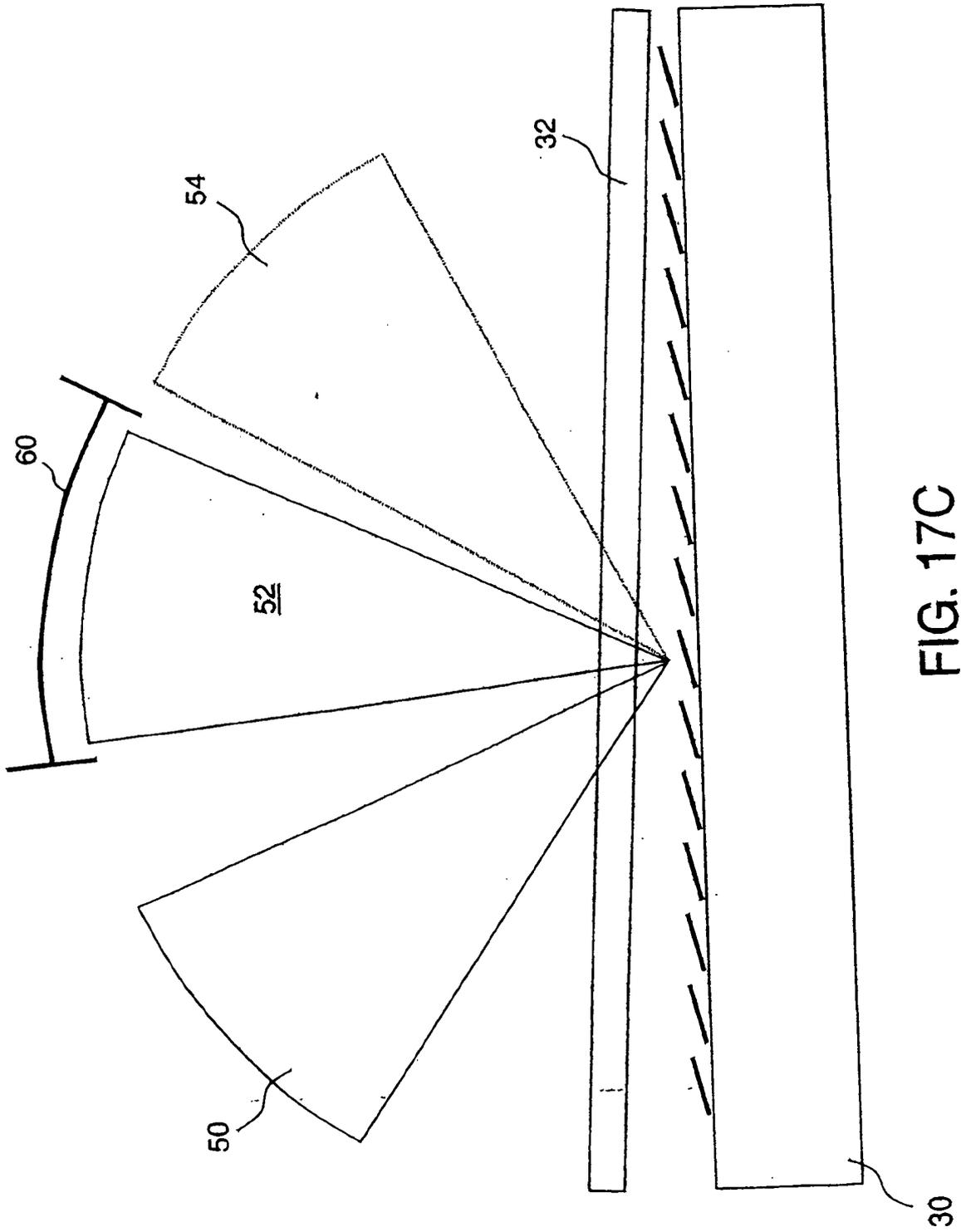


FIG. 17C

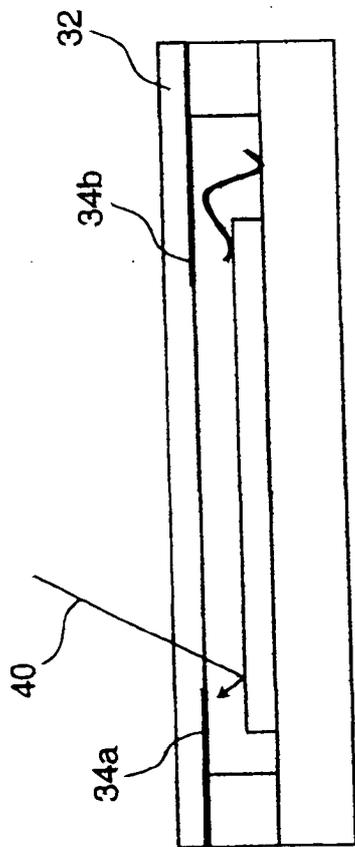


FIG. 17D

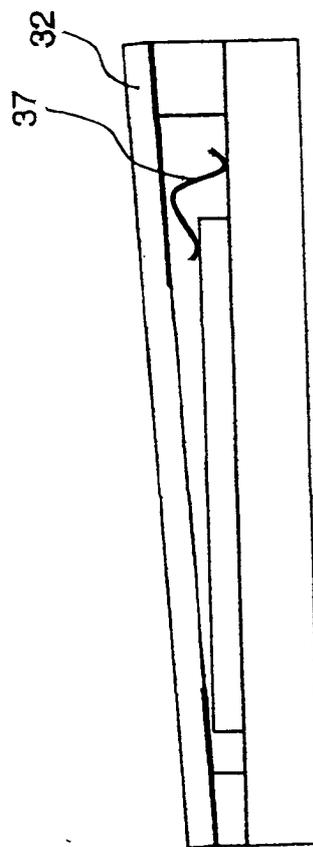
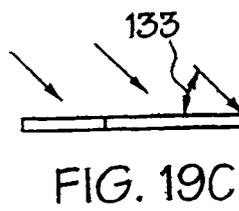
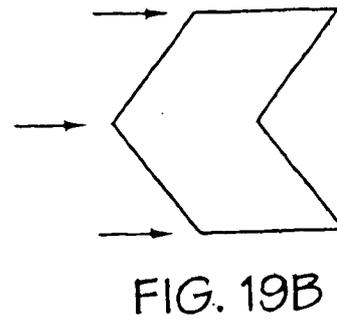
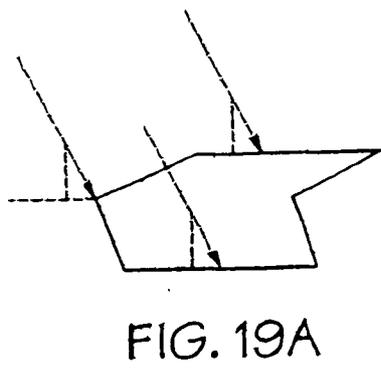
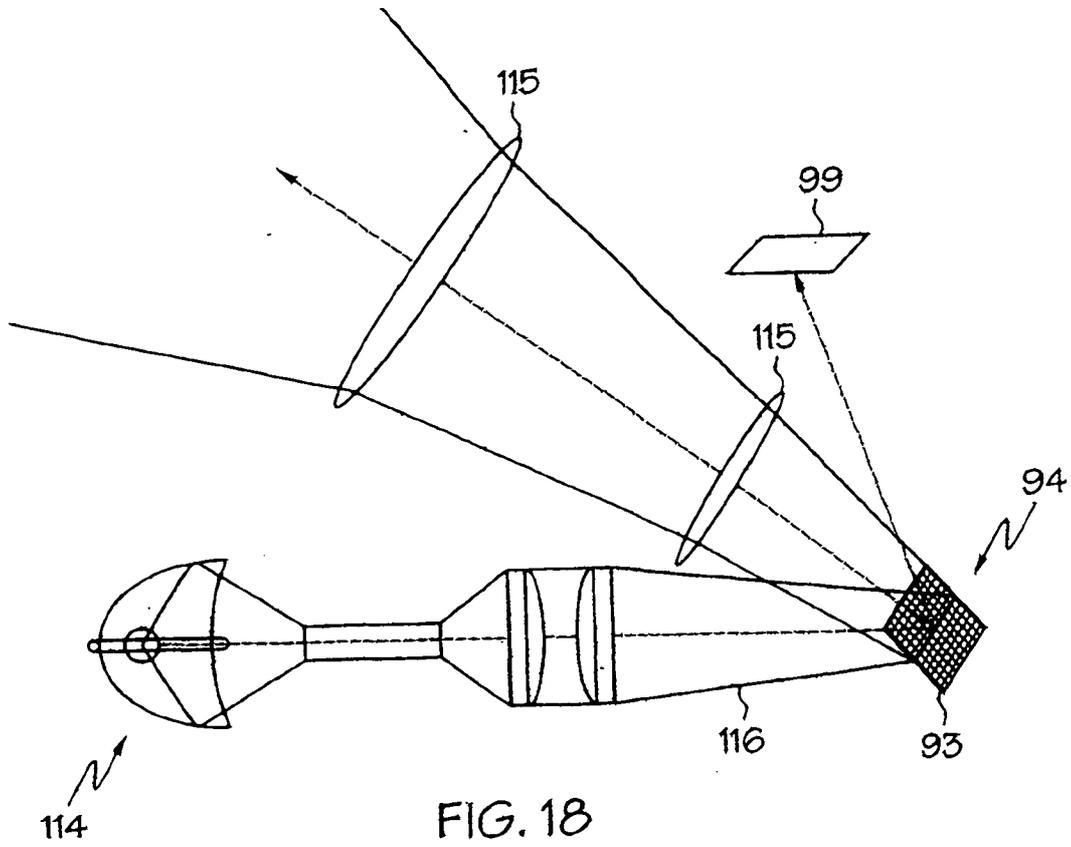


FIG. 17E



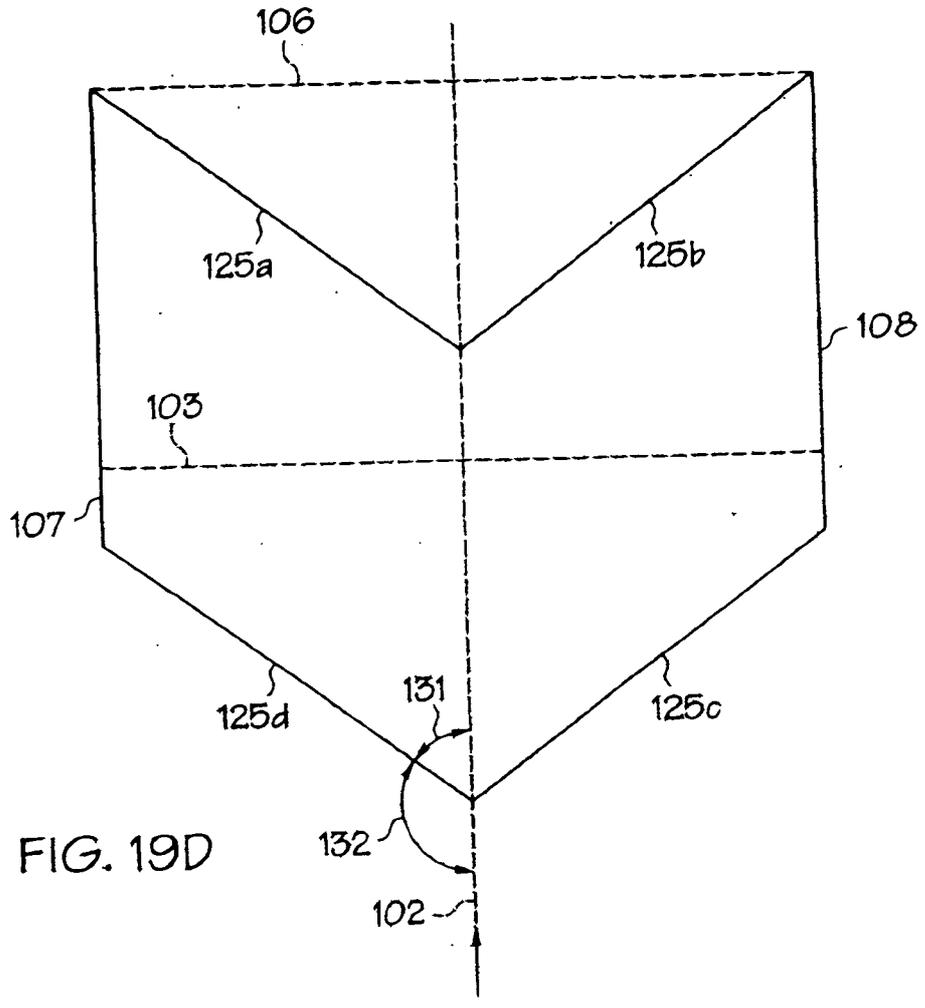


FIG. 19D

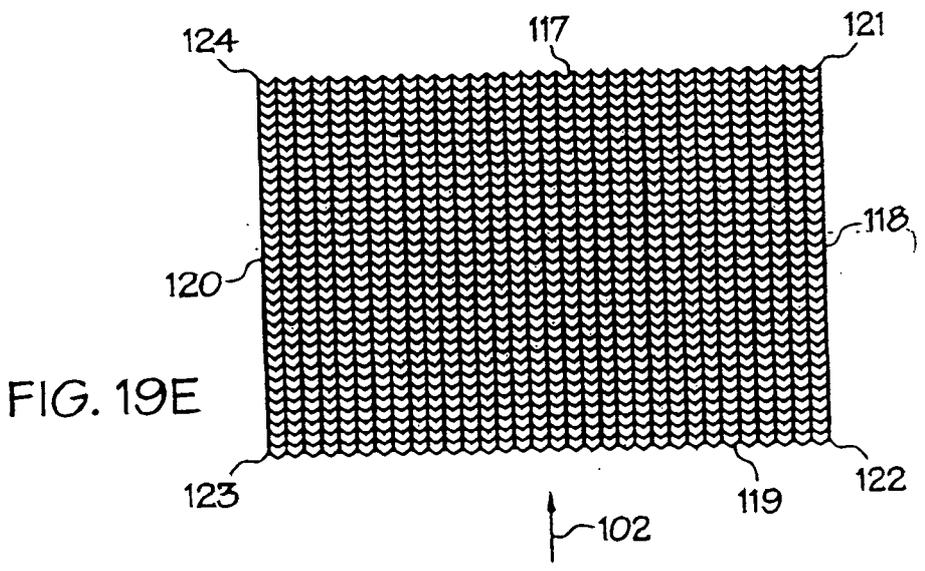


FIG. 19E

FIG. 20

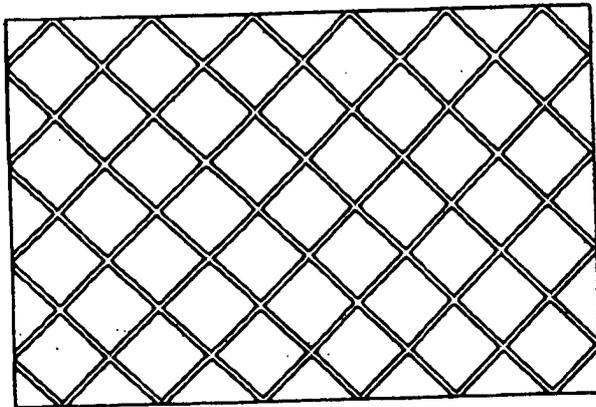
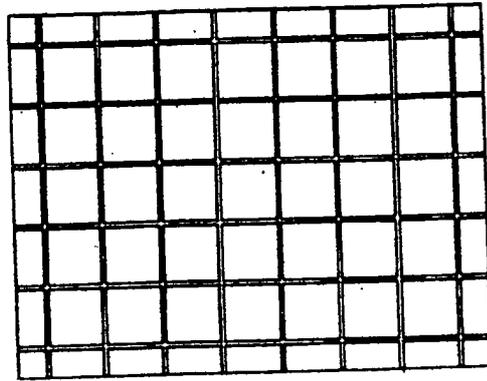
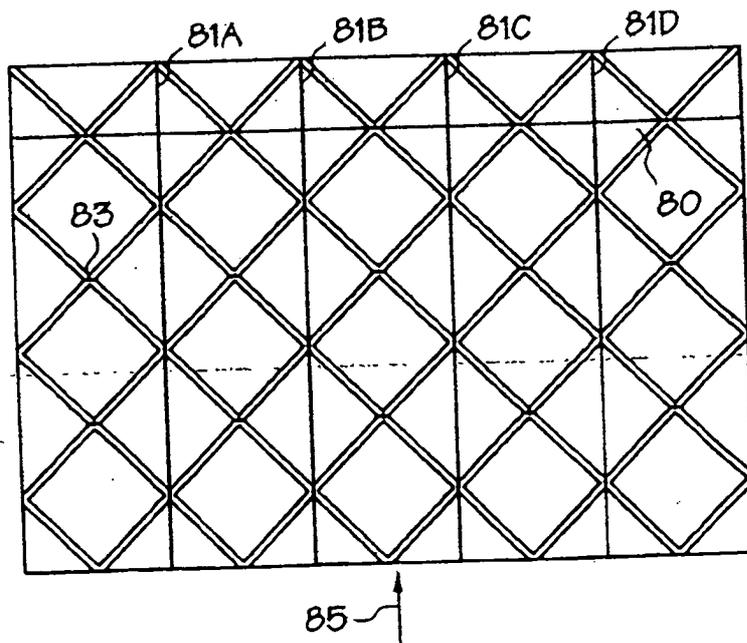
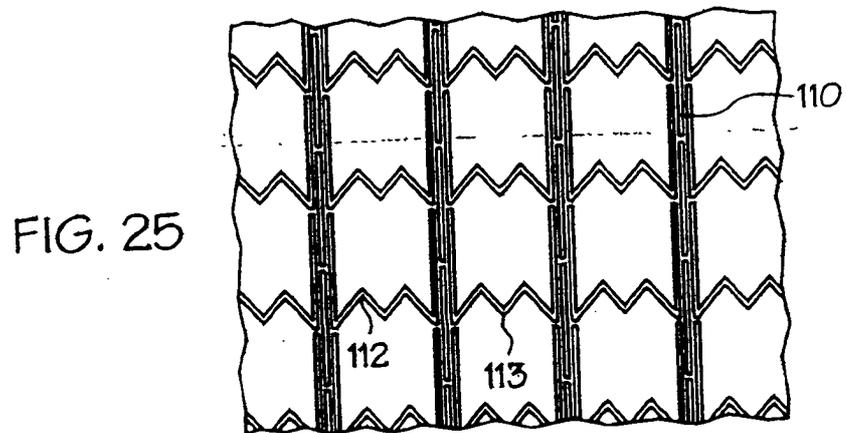
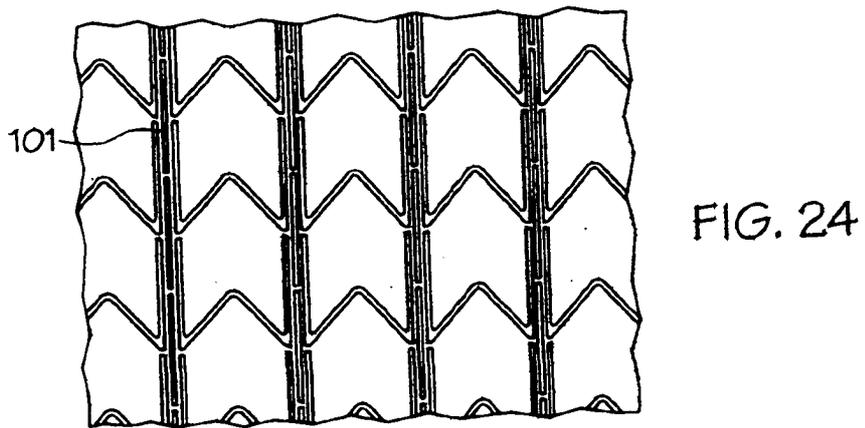
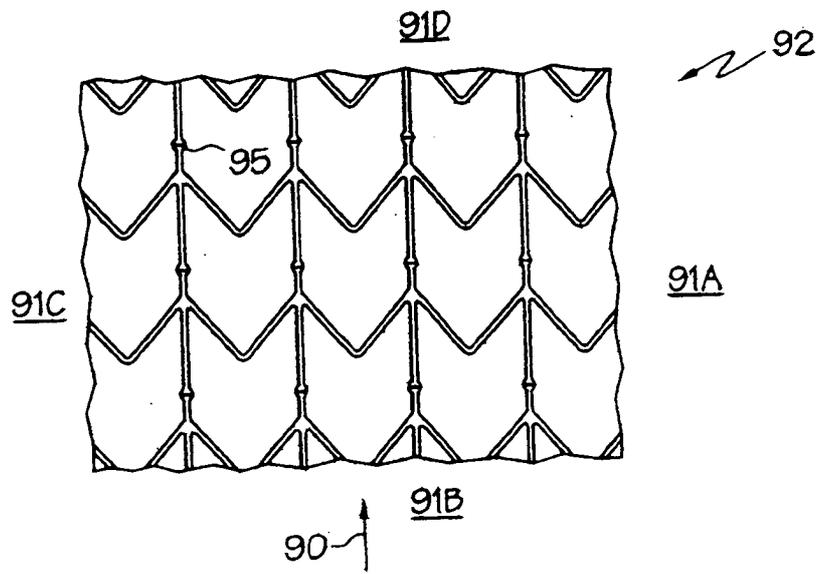


FIG. 21

FIG. 22





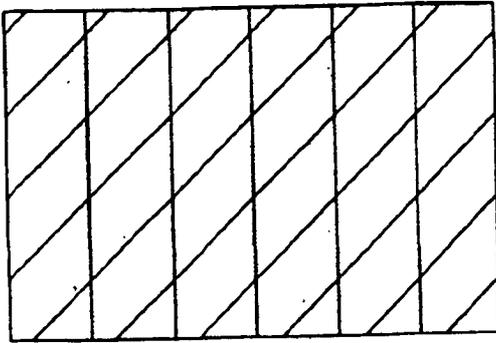


FIG. 26A

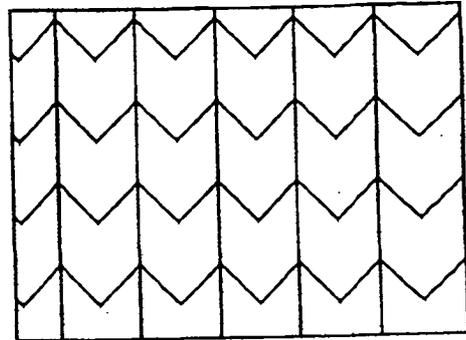


FIG. 26B

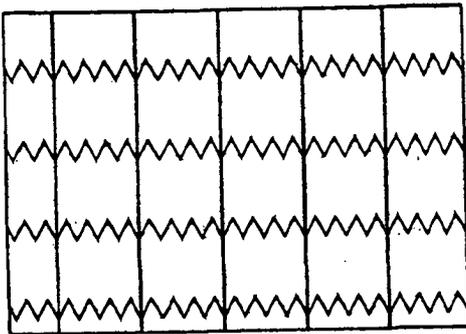


FIG. 26C

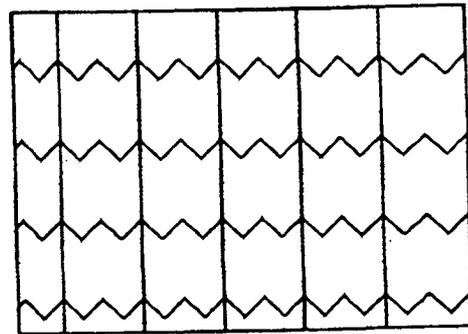


FIG. 26D

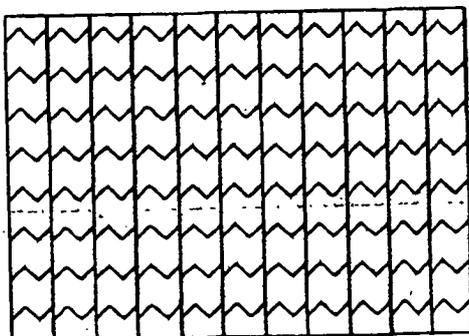


FIG. 26E

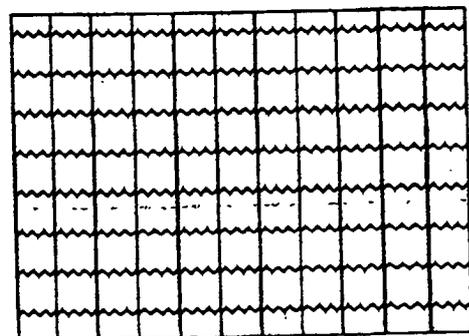


FIG. 26F



FIG. 27A

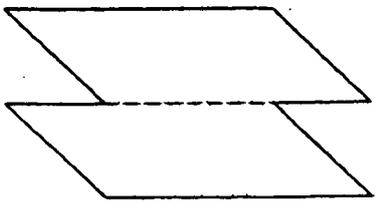


FIG. 27B

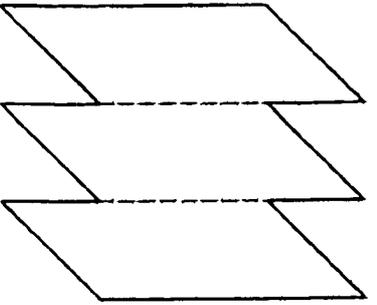


FIG. 27C

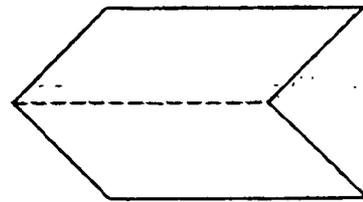


FIG. 27D

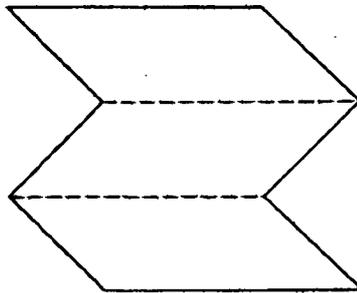


FIG. 27E

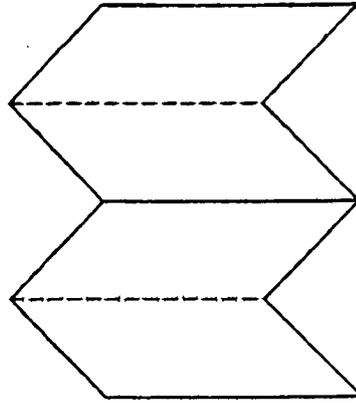


FIG. 27F

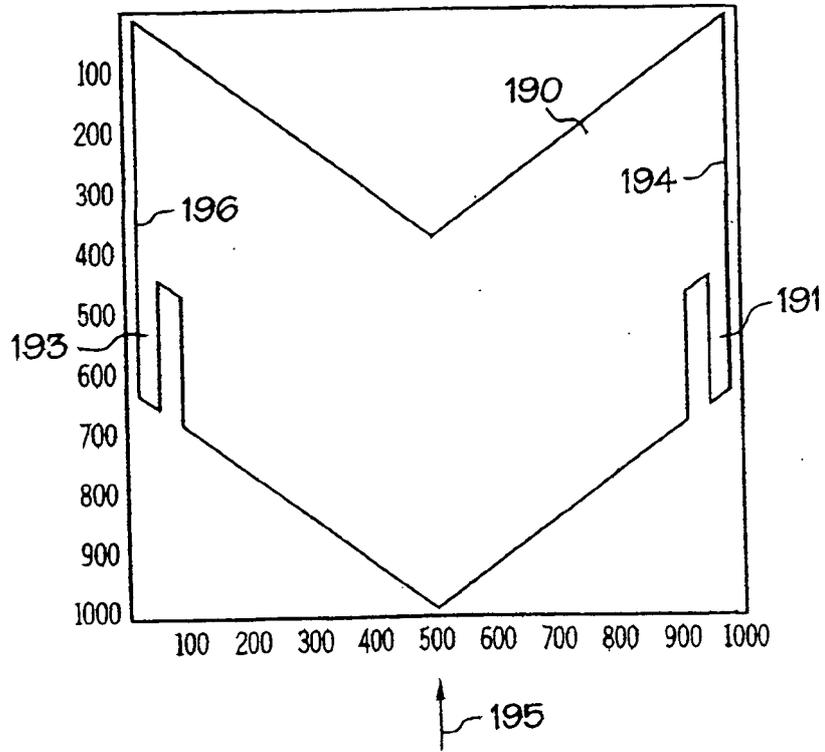


FIG. 28

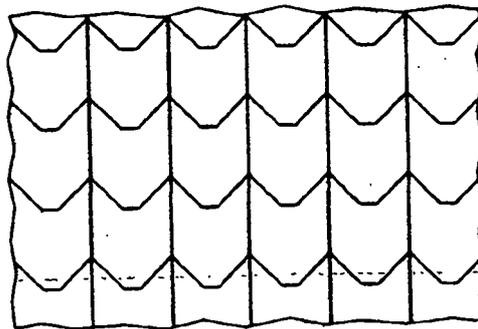


FIG. 29

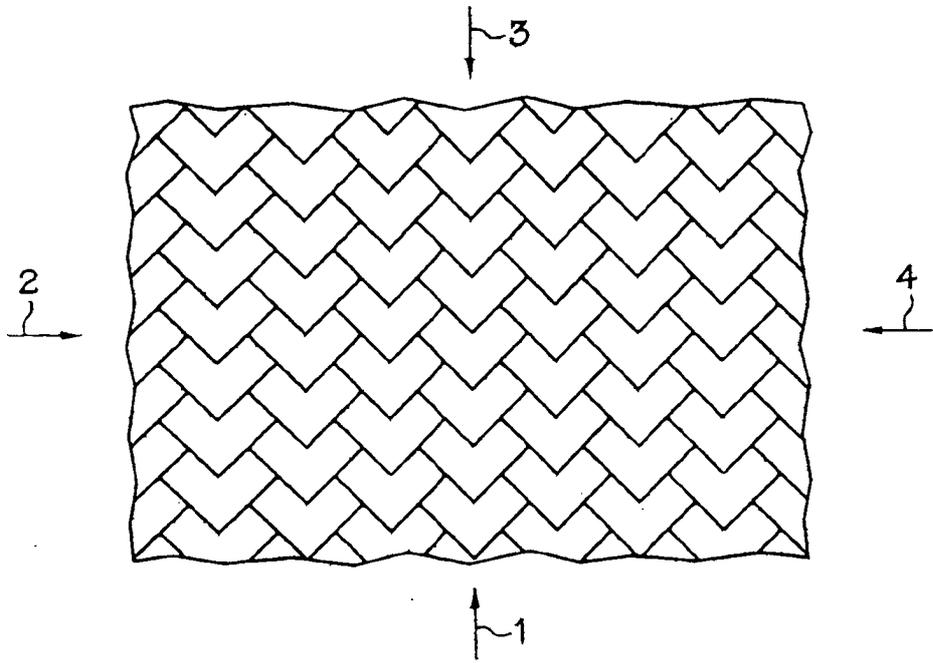


FIG. 30

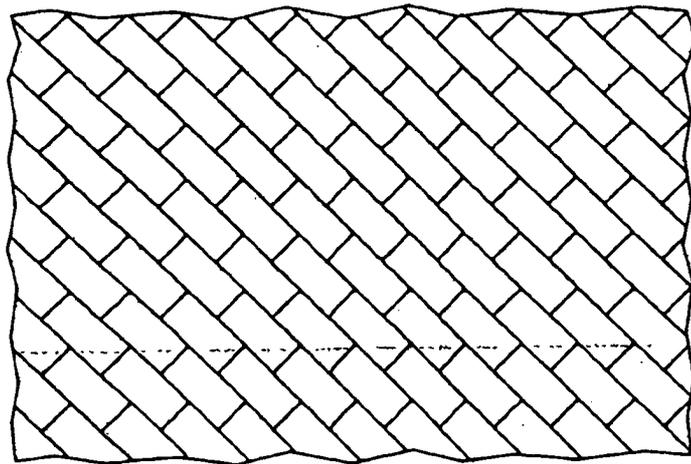


FIG. 31

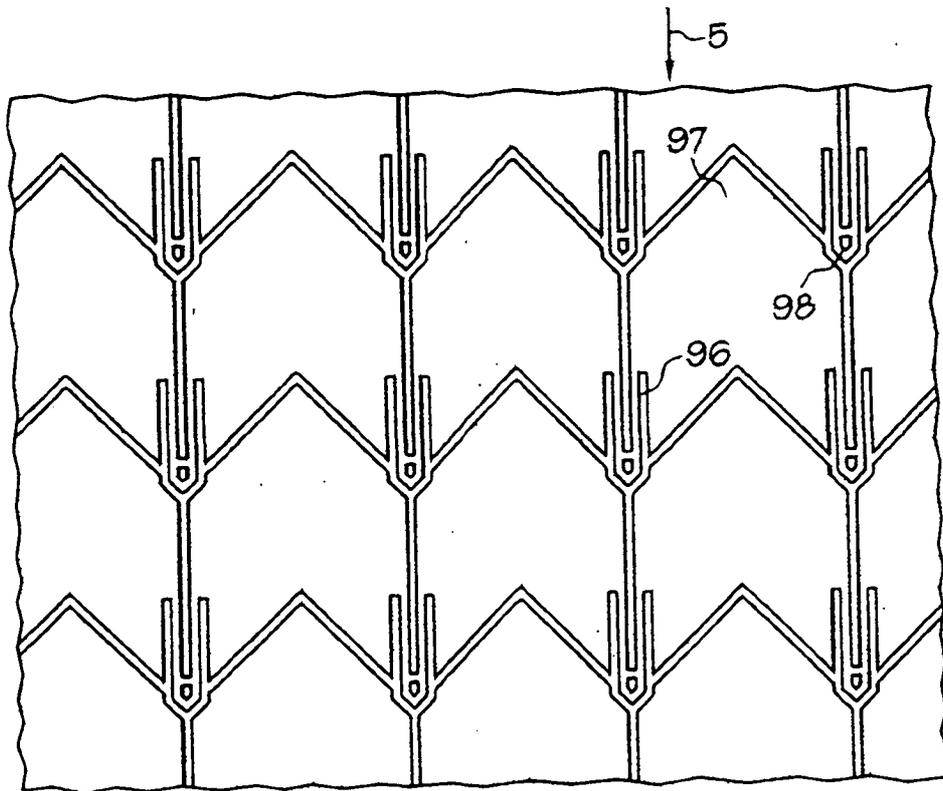


FIG. 32A ↑ 6

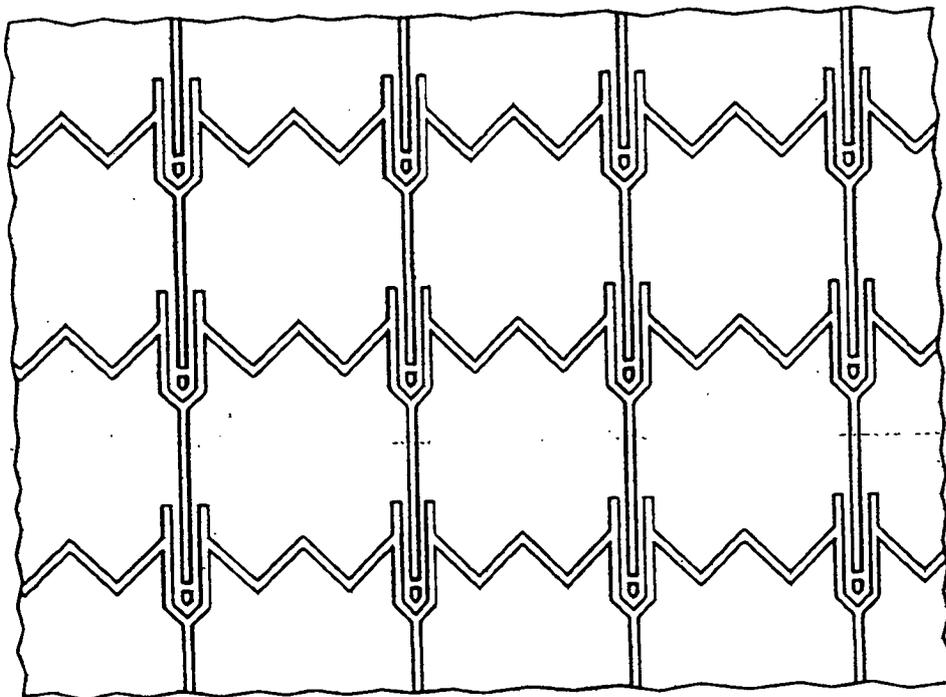


FIG. 32B

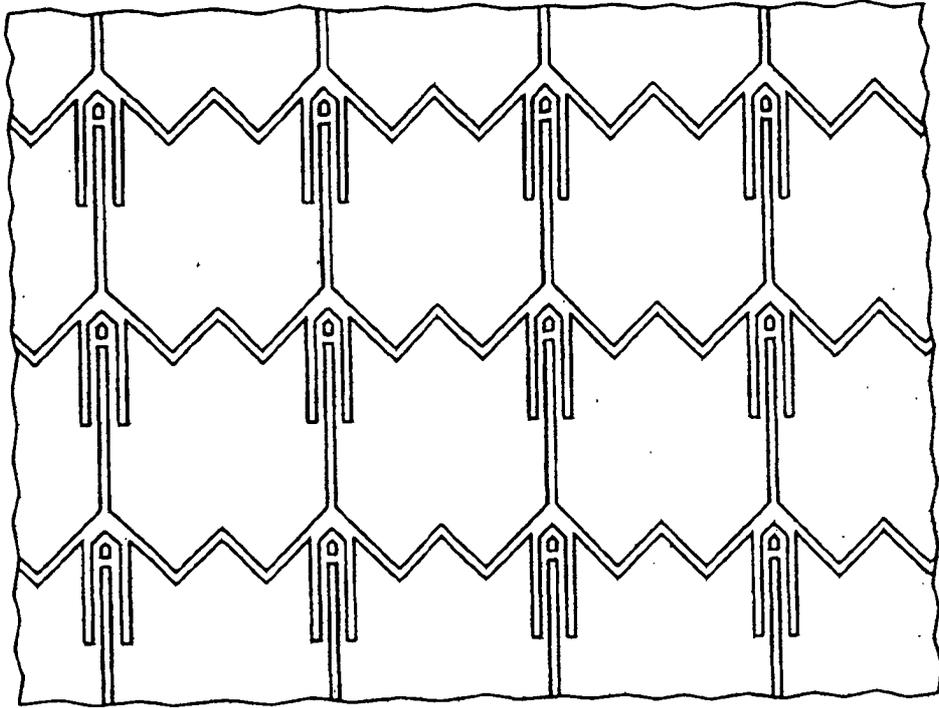


FIG. 32C

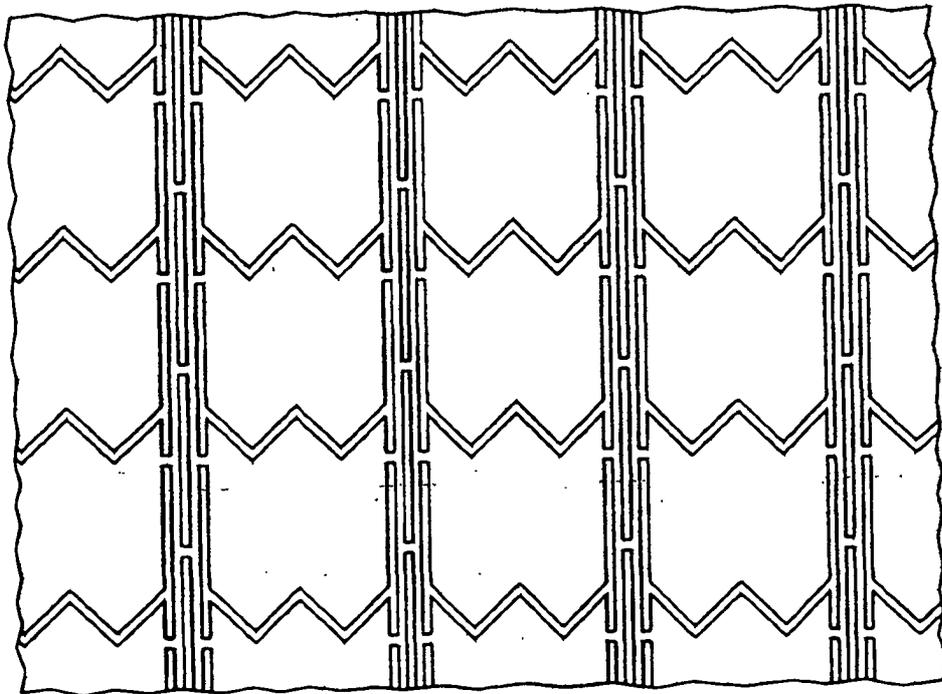


FIG. 32D

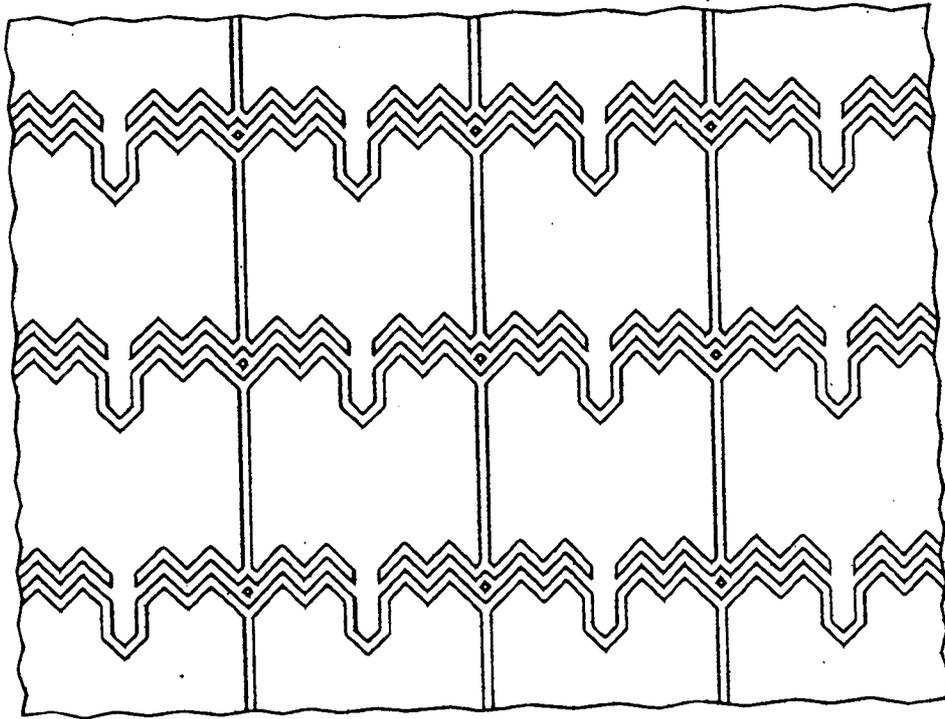


FIG. 32E

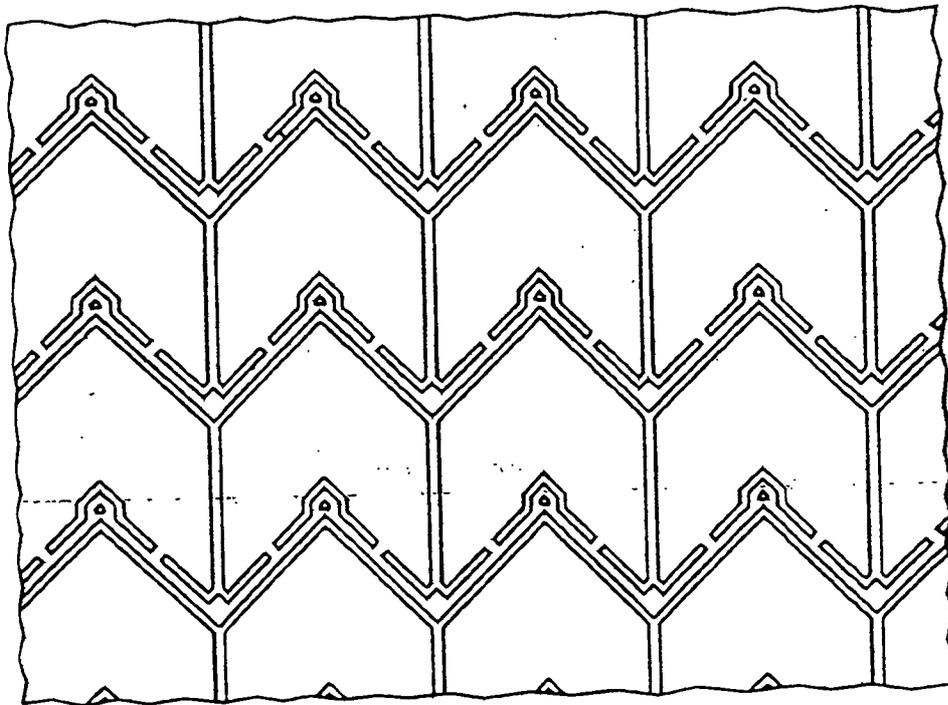


FIG. 32F

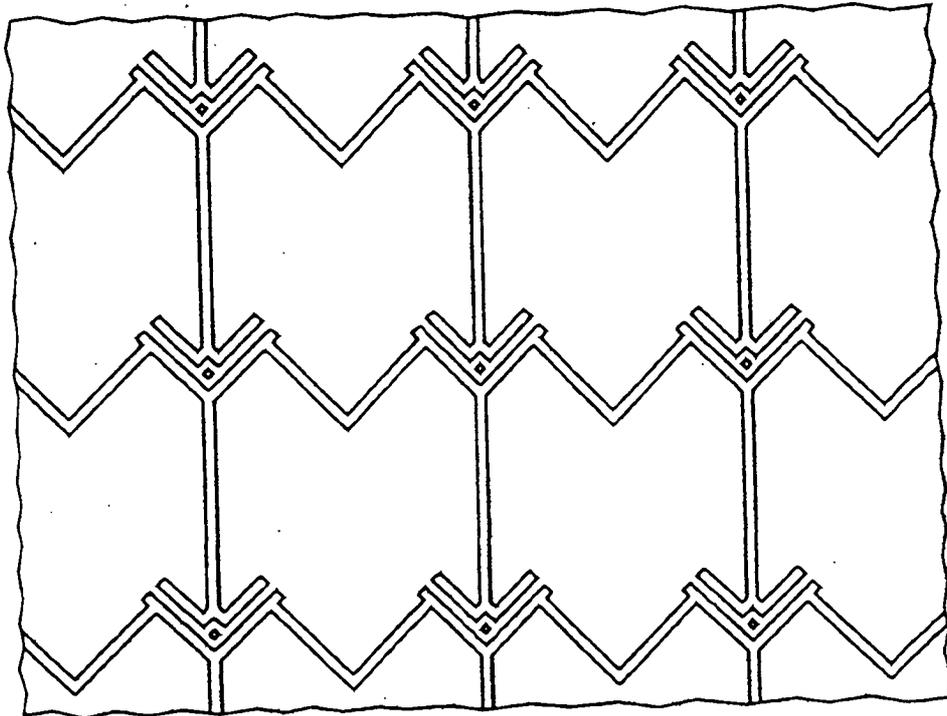


FIG. 32G

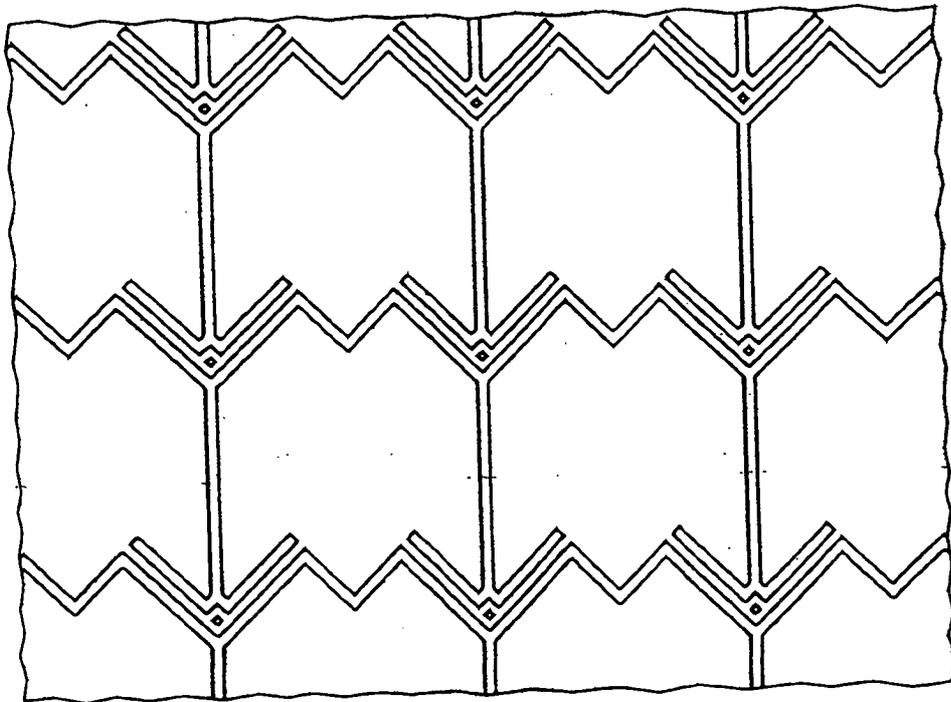


FIG. 32H

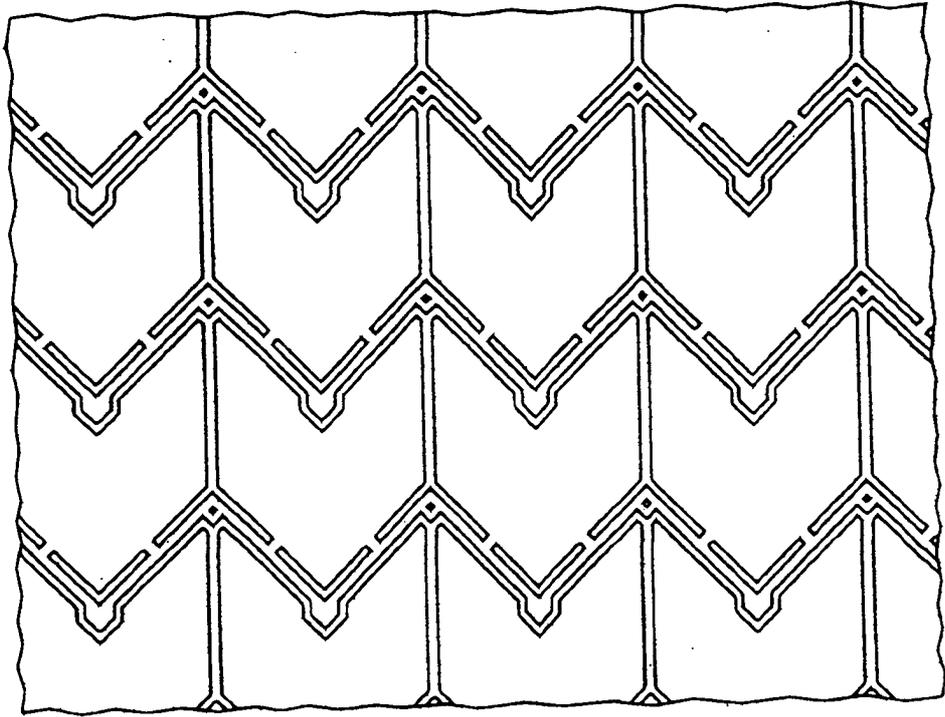


FIG. 32I

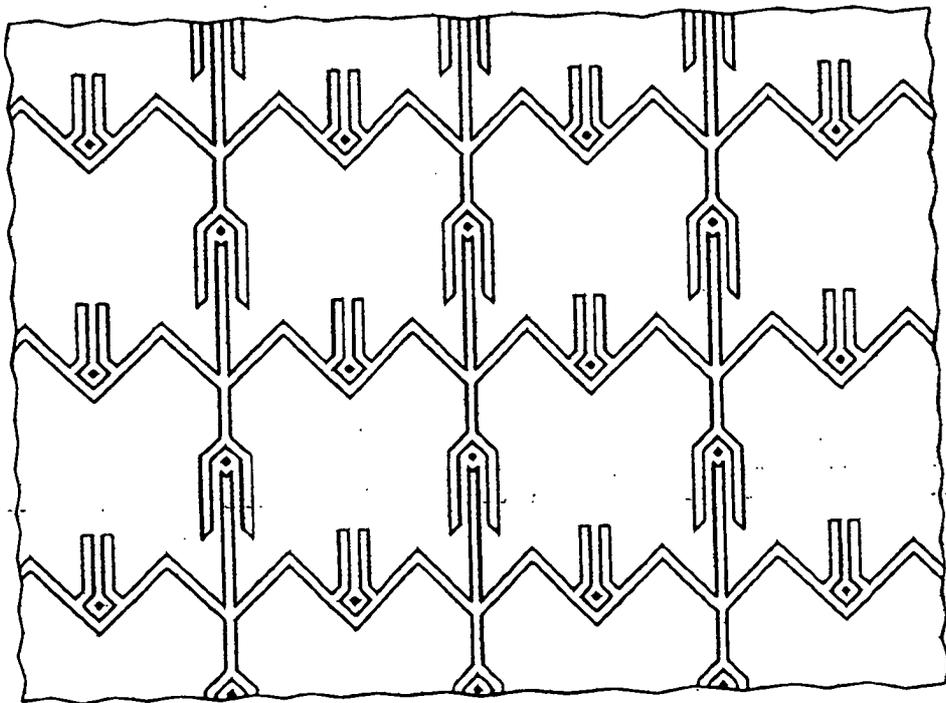


FIG. 32J

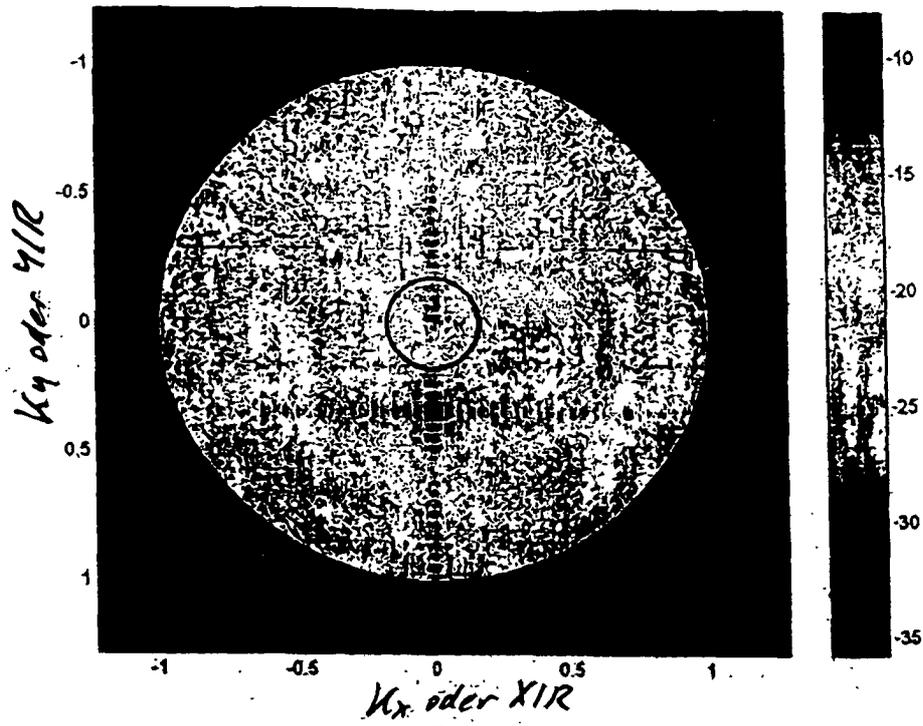


FIG. 33A

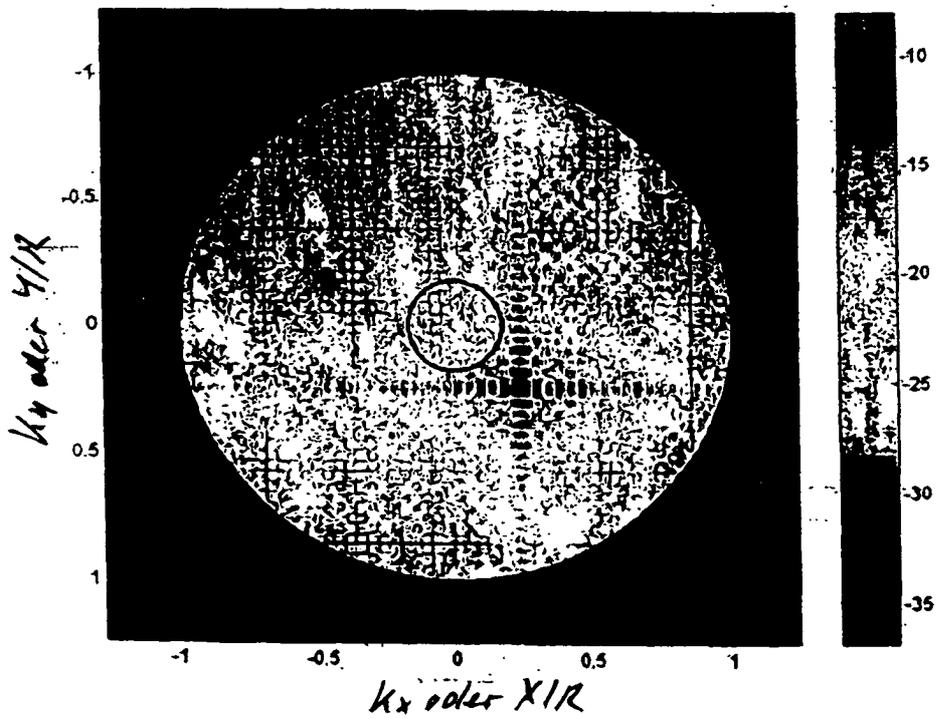


FIG. 33B

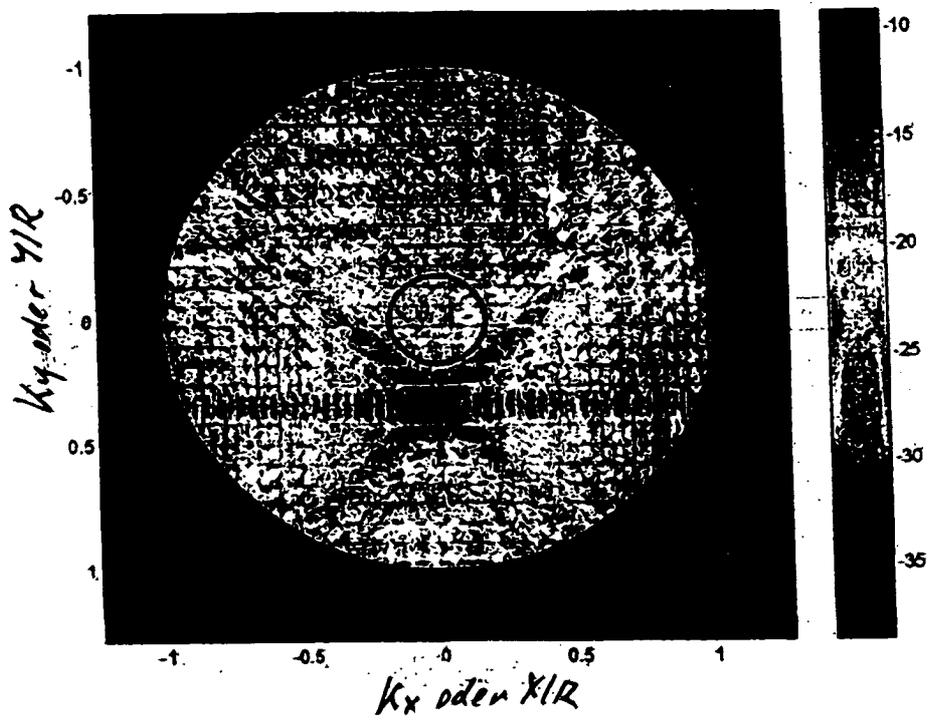


FIG. 33C