



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 201 22 614 U1** 2006.10.19

(12)

Gebrauchsmusterschrift

(21) Aktenzeichen: **201 22 614.6**
(22) Anmeldetag: **03.08.2001**
(67) aus Patentanmeldung: **EP 01 95 9466.2**
(47) Eintragungstag: **14.09.2006**
(43) Bekanntmachung im Patentblatt: **19.10.2006**

(51) Int Cl.⁸: **G02B 26/08** (2006.01)
G03B 21/18 (2006.01)
G03F 7/00 (2006.01)
B81B 7/04 (2006.01)

(30) Unionspriorität:
631536 **03.08.2000** **US**
229246 P **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:
Samson & Partner, Patentanwälte, 80538 München

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Mikrospiegelemente, Gehäuse für Mikrospiegelemente und zugehöriges Projektionssystem**

(57) Hauptanspruch: Gepacktes Mikrospiegel-Array, umfassend:

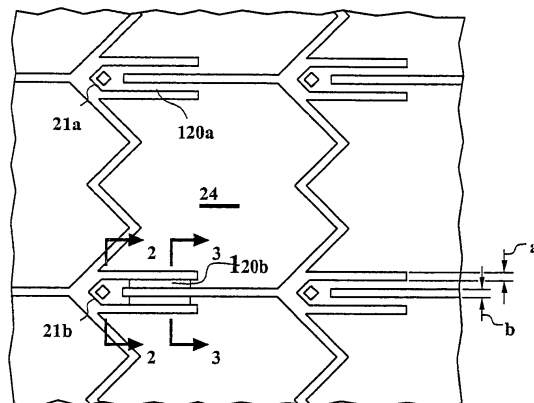
ein Gehäuse, das ein Array aus Mikrospiegeln umfasst, wobei jeder Mikrospiegel eine vierseitige Form aufweist, die durch vier Mikrospiegelseiten definiert ist;

wobei die Mikrospiegel in der Lage sind, sich durch Pulsbreitenmodulation zwischen einem Aus-Zustand und einem Ein-Zustand zu bewegen, um ein Bild auf einem Ziel zu erzeugen;

wobei das Gehäuse ferner ein lichtdurchlässiges Fenster aufweist, wobei das Array aus Mikrospiegeln in dem Gehäuse mit dem lichtdurchlässigen Fenster angeordnet ist; wobei das Array aus Mikrospiegeln ein rechteckiges Array ist;

wobei keine der vier Mikrospiegelseiten jedes Mikrospiegels parallel zu einer der Seiten des rechteckigen Arrays ist; und

wobei die Mikrospiegel Mikrospiegelplatten umfassen, die über Gelenke mit einem Substrat verbunden sind, und wobei das Substrat, die Mikrospiegelplatten und die Gelenke in unterschiedlichen Ebenen angeordnet sind.



Beschreibung**HINTERGRUND**

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft bewegliche Mikrospiegel und Mikrospiegel-Arrays für z.B. Projektionsdisplays. Die US-Patente 5,835,256 und 6,046,840 von Huibers und die US-Patentanmeldung 09/617,419 von Huibers et al., deren Inhalte durch Verweis hier einbezogen seien, offenbaren mikroelektromechanische Vorrichtungen (MEMS) zur Steuerung von Lichtstrahlen, wie beispielsweise einen optischen Schalter, und/oder ein Anzeigegerät (z.B. ein Projektionsdisplay). Ein allgemeines Merkmal ist ein Mikrospiegelement, das beweglich ist, so daß es Licht abhängig vom Neigungswinkel des Mikrospiegelements in unterschiedlichen Winkeln ablenkt. In einem Typ eines konventionellen Direktbetrachtungs- oder Projektionsdisplay-Systems ist für die Erzeugung eines Bildes ein Array aus reflektierenden Mikrospiegelementen vorgesehen. Typischerweise sind die Mikrospiegelemente rechteckig bzw. quadratisch und weisen entweder einen bestimmten Neigungswinkel für den "EIN"-Zustand auf, und sind im "AUS"-Zustand flach, oder sie haben für die "EIN"- und "AUS"-Zustände dieselben Neigungswinkel, jedoch mit umgekehrten Vorzeichen.

ZUSAMMENFASSUNG DER ERFINDUNG

[0002] Gemäß eines Aspekts der Erfindung wird ein gepacktes Mikrospiegel-Array bereitgestellt, umfassend: ein Gehäuse, das ein Array aus Mikrospiegeln umfasst, wobei jeder Mikrospiegel eine vierseitige Form aufweist, die durch vier Mikrospiegelseiten definiert ist; wobei die Mikrospiegel in der Lage sind, sich durch Pulsbreitenmodulation zwischen einem Aus-Zustand und einem Ein-Zustand zu bewegen, um ein Bild auf einem Ziel zu erzeugen; wobei das Gehäuse ferner ein lichtdurchlässiges Fenster aufweist, wobei das Array aus Mikrospiegeln in dem Gehäuse mit dem lichtdurchlässigen Fenster angeordnet ist; wobei das Array aus Mikrospiegeln ein rechteckiges Array ist; wobei keine der vier Mikrospiegelseiten jedes Mikrospiegels parallel zu einer der Seiten des rechteckigen Arrays ist; und wobei die Mikrospiegel Mikrospiegelplatten umfassen, die über Gelenke mit einem Substrat verbunden sind, und wobei das Substrat, die Mikrospiegelplatten und die Gelenke in unterschiedlichen Ebenen angeordnet sind.

[0003] Gemäß eines weiteren Aspekts der Erfindung wird ein gepacktes Mikrospiegel-Array, umfassend: ein Gehäuse, das ein Array aus Mikrospiegeln umfasst, wobei jeder Mikrospiegel eine vierseitige Form aufweist, die durch vier Mikrospiegelseiten definiert ist; wobei die Mikrospiegel in der Lage sind, sich durch Pulsbreitenmodulation zwischen einem Aus-Zustand und einem Ein-Zustand zu bewegen, um ein Bild auf einem Ziel zu erzeugen; wobei das

Gehäuse ferner ein lichtdurchlässiges Fenster aufweist, wobei das Array aus Mikrospiegeln in dem Gehäuse mit dem lichtdurchlässigen Fenster angeordnet ist; wobei das Array aus Mikrospiegeln ein rechteckiges Array ist; wobei keine der vier Mikrospiegelseiten jedes Mikrospiegels zu einer der Seiten des rechteckigen Arrays parallel ist; und wobei das gepackte Mikrospiegel-Array im HDTV-Format ist.

[0004] Gemäß eines weiteren Aspekts der Erfindung werden mehrere Mikrospiegel in einem zweidimensionalen Array zur Verwendung in einem Projektions-TV bereitgestellt, wobei die Mikrospiegel in dem Array im HDTV-Format angeordnet sind, und wobei mehrere Zeilen-Drähte und Spalten-Drähte vorgesehen sind, um die Mikrospiegel zwischen Ein- und Aus-Zuständen umzusteuern, und wobei die Anzahl der Zeilen-Drähte mal die Anzahl der Spalten-Drähte größer ist als die Anzahl der Mikrospiegel.

[0005] Außerdem weist die Erfindung folgende zusätzliche Aspekte auf:

Um die Lichtbeugung entlang der Schaltrichtung und insbesondere Lichtbeugung in den Eintrittkegel der Sammeloptik zu minimieren, sind in der vorliegenden Erfindung Mikrospiegel vorgesehen, die nicht rechteckig sind ("rechteckig", wie es hier verwendet wird, umfaßt auch quadratische Mikrospiegel). Der hier verwendete Begriff "Beugung" bezeichnet die Streuung von Licht an einer periodischen Struktur, wobei das Licht nicht notwendigerweise monochromatisch oder phasenkohärent ist. Um die Kosten der Beleuchtungsoptik und die Größe der Display-Einheit der vorliegenden Erfindung zu minimieren, wird zudem die Lichtquelle senkrecht zu den Zeilen (oder Spalten) des Arrays angeordnet, und/oder die Lichtquelle wird senkrecht zu einer Seite des Rahmens plaziert, der den aktiven Bereich des Arrays begrenzt. Obgleich er senkrecht zu den Zeilen (oder Spalten) und/oder der Seite des aktiven Bereichs verläuft, sollte der einfallende Lichtstrahl jedoch nicht senkrecht zu den Seiten der einzelnen Mikrospiegel in dem Array verlaufen. Senkrechte Seiten bewirken, daß einfallendes Licht entlang der Richtung der Mikrospiegel-Umschaltung gebeugt wird, und resultieren in einem Lichtverlust im "EIN"-Zustand, selbst wenn der Mikrospiegel sich im "AUS"-Zustand befindet. Diese Lichtbeugung vermindert das Kontrastverhältnis des Mikrospiegels.

[0006] Die vorliegende Erfindung optimiert das Kontrastverhältnis des Mikrospiegel-Arrays, so daß Mikrospiegel, wenn sie sich in ihrem "AUS"-Zustand befinden, eine minimale Lichtmenge in den Raumbereich senden, in den Licht gelenkt wird, wenn sich Mikrospiegel in ihrem "EIN"-Zustand befinden. Insbesondere umfaßt die vorliegende Erfindung eine spezielle Anordnung von Lichtquelle und einfallendem Lichtstrahl, sowie speziell ausgebildeten Mikrospiegel in dem Array, die die Lichtbeugung in den Ein-

trittskegel der Projektionsoptik (oder Betrachtungsoptik) minimieren, so daß ein verbessertes Kontrastverhältnis ermöglicht wird. Der Aufbau und die Ausgestaltung der vorliegenden Erfindung minimieren zudem auch nichtreflektierende Bereiche in dem Array, indem ein enges Aneinanderliegen der Mikrospiegel ermöglicht wird und damit ein hoher Füllfaktor, mit geringer Beugung vom "AUS"-Zustand in den "EIN"-Zustand, selbst dann, wenn das Array entlang der Achse der Mikrospiegel-Periodizität beleuchtet wird. Das heißt, die Ausgestaltung optimiert das Kontrastverhältnis durch geneigte Seiten, die nicht parallel zur Rotationsachse der Mikrospiegel liegen, und optimiert den Füllfaktor durch Gelenke, die einen relativ geringen Flächenbedarf haben und es benachbarten Mikrospiegeln ermöglichen, kachelartig mit nur geringem Verlust durch nicht reflektierende Flächen aneinander zu liegen. Die Mikrospiegelstrukturen und Ausgestaltungen der verschiedenen Beispiele der Erfindung verringern auch ein Übersprechen zwischen benachbarten Mikrospiegeln, wenn Mikrospiegel elektrostatisch abgelenkt werden.

[0007] Ein weiterer Aspekt der Erfindung besteht in einem Mikrospiegel-Array, bei dem die einzelnen Mikrospiegel sich asymmetrisch um einen flachen oder nicht-ausgelenkten Zustand neigen. Dadurch, daß der "AUS"-Zustand der Mikrospiegel einem Winkel entspricht, der kleiner ist als der gegensätzliche Winkel des Mikrospiegels im "EIN"-Zustand wird a) die Lichtmenge minimiert, die von den Rändern der Mikrospiegel gebeugt wird und in die Sammeloptik eintritt, wird b) die Lichtmenge minimiert, die von unterhalb des Mikrospiegels gestreut wird und in die Sammeloptik eintritt, wird c) das Wandern von Mikrospiegeln verringert, wodurch die Möglichkeit minimiert wird, daß benachbarte Mikrospiegel aneinander stoßen, was es wiederum ermöglicht, den Spalt zwischen den Mikrospiegeln zu verringern und den Füllfaktor des Mikrospiegel-Arrays zu vergrößern, und kann d) der Ablenkwinkel der Mikrospiegel in größerem Ausmaß vergrößert werden als bei Mikrospiegel-Array-Anordnungen mit gleichem Ablenkwinkel für den EIN- und den AUS-Zustand.

[0008] Ein weiterer Aspekt der Erfindung ist ein Gehäuse (bzw. eine Packung) für das Mikrospiegel-Array, das einen lichtdurchlässigen Bereich aufweist, der nicht parallel zum Substrat ist, auf dem die Mikrospiegel gebildet sind. Der lichtdurchlässige Bereich kann aus jedem geeigneten Material bestehen, wie beispielsweise einer Platte aus Glas, Quarz oder Polymer, und ermöglicht es, eine Spiegelreflexion vom lichtdurchlässigen Substrat in Richtungen zu lenken, die sich von jenen unterscheiden, die aus einer parallelen lichtdurchlässigen Platte in dem Gehäuse resultieren. Vorzugsweise wird die Spiegelreflexion ausreichend weit von der Sammeloptik weggelenkt, so daß eine Vergrößerung des Beleuchtungskegels verhindert, daß die Spiegelreflexion in die Sammel-

optik eintritt.

[0009] Ein weiterer Aspekt der Erfindung ist ein Projektionssystem umfassend ein Array aus aktiven Mikrospiegeln, die in einer rechteckigen Form angeordnet sind, wobei die Mikrospiegel in der Lage sind, um eine Schaltachse zwischen einem AUS-Zustand und einem EIN-Zustand zu rotieren, wobei die Mikrospiegel Pixeln eines betrachteten Bildes entsprechen; eine Lichtquelle, die Licht auf das Array aus Mikrospiegeln richtet, wobei die Lichtquelle so angeordnet ist, daß sie Licht nicht senkrecht zu wenigstens zwei Seiten jedes Mikrospiegels lenkt, und, betrachtet in einer Draufsicht auf die Mikrospiegel, parallel zu wenigstens zwei anderen Seiten jedes Mikrospiegels; sowie eine Sammeloptik, die ausgelegt ist, Licht von den Mikrospiegeln in einem EIN-Zustand zu empfangen.

[0010] Ein weiterer Aspekt der Erfindung besteht in einem Projektionssystem, das ein Array aus Mikrospiegeln umfaßt, wobei jeder Mikrospiegel einem Pixel in einem betrachteten Bild entspricht und eine Form eines konkaven Polygons oder einer oder mehrerer nicht rechteckiger Parallelogramme aufweist; eine Lichtquelle, um Licht auf das Array aus Mikrospiegeln zu richten; sowie eine Sammeloptik, die ausgelegt ist, um Licht zu empfangen, das von den Mikrospiegeln reflektiert wird.

[0011] Ein weiterer Aspekt der Erfindung besteht in einem Projektionssystem, das eine Lichtquelle umfaßt, um einen einfallenden Lichtstrahl zu erzeugen, ein Array aus beweglichen reflektierenden Elementen, und eine Sammeloptik zum Projizieren von Licht von dem Array, wobei ein von dem Projektionssystem projiziertes Bild auf einem Ziel als rechteckiges Bild erscheint, wobei das Bild aus Tausenden bis Millionen von Pixel gebildet ist, wobei jedes Pixel die Form eines konkaven Polygons aufweist, eines einzelnen nicht rechteckförmigen Parallelogramms, oder einer Anordnung von nicht rechteckförmigen Parallelogrammen.

[0012] Ein weiterer Aspekt der Erfindung besteht in einem Projektionssystem, das eine Lichtquelle umfaßt, ein Array aus beweglichen Mikrospiegelementen und eine Sammeloptik, wobei jedes Mikrospiegelement in dem Array eine Schaltachse aufweist, die im wesentlichen parallel zu wenigstens einer Seite des aktiven Bereichs des Arrays ist und in einem Winkel zwischen 35 und 60 Grad zu einer oder mehreren Seiten des Mikrospiegelements liegt.

[0013] Ein weiterer Aspekt der Erfindung besteht in einem Projektionssystem umfassend eine Lichtquelle und ein Array aus beweglichen Mikrospiegelementen, wobei jedes Mikrospiegelement eine Vorderseite aufweist, die nicht senkrecht zum einfallenden Lichtstrahl steht und zu keiner Seite des aktiven Be-

reichs senkrecht steht, so daß eine Vergrößerung des Kontrastverhältnisses um einen Faktor 2 bis 10 erreicht wird, verglichen mit Mikrospiegelementen mit Seiten, die senkrecht zu dem einfallenden Lichtstrahl stehen.

[0014] Ein weiterer Aspekt der Erfindung ist ein Projektionssystem umfassend eine Lichtquelle, eine Sammeloptik, und ein Array aus beweglichen Mikrospiegelementen, wobei das Projektionssystem ein Beugungsmuster aufweist, das im wesentlichen jenem entspricht, das in **Fig. 21C** gezeigt ist.

[0015] Ein anderer Aspekt der Erfindung ist ein Projektionssystem umfassend eine Lichtquelle und ein rechteckiges Array aus beweglichen Mikrospiegelementen, wobei die Mikrospiegel in der Lage sind, sich zwischen einem EIN-Zustand und einem AUS-Zustand zu bewegen, und in der Lage sind, in dem EIN-Zustand Licht in einen vorbestimmten Raumbereich zu reflektieren, wobei die Lichtquelle so angeordnet ist, daß sie Licht in einem Winkel von im wesentlichen 90 Grad zu wenigstens einer Seite des von dem Array definierten Rechtecks lenkt, und wobei im wesentlichen kein gebeugtes Licht in den vorbestimmten Raumbereich eintritt, wenn die Mikrospiegel sich in dem AUS-Zustand befinden.

[0016] Ein weiterer Aspekt der Erfindung ist ein Verfahren zum Projizieren eines Bildes auf ein Ziel, umfassend: Lenken eines Lichtstrahls auf ein rechteckiges Array aus Mikrospiegeln, wobei der Lichtstrahl in einem Winkel auf die Vorderseite des rechteckigen Arrays gerichtet wird, der in einem Bereich von 90 Grad plus oder minus 40 Grad liegt, und wobei die Mikrospiegel in dem Array als Polygone ausgebildet sind und so angeordnet sind, daß der Lichtstrahl auf alle Polygonseiten unter einem Winkel auftrifft, der nicht 90 Grad beträgt; sowie Projizieren des Lichtes von den Mikrospiegeln auf ein Ziel, um darauf ein Bild zu erzeugen.

[0017] Ein weiterer Teil der Erfindung besteht in einem Projektionssystem umfassend eine Lichtquelle, eine Lichtsammeloptik und ein Array aus Mikrospiegeln, die angeordnet sind, um einen Lichtstrahl von der Lichtquelle räumlich zu modulieren, wobei das Array auf einem Substrat ausgebildet ist und so aufgebaut ist, daß jeder Mikrospiegel in der Lage ist, sich in einer ersten Stellung zu befinden, wenn er nicht angesprochen (bzw. angesteuert) wird, wobei jeder Mikrospiegel in der Lage ist, sich in eine EIN-Stellung zu bewegen, in der Licht in die Lichtsammeloptik für das Array gelenkt wird, und in der Lage ist, sich in eine gegensätzliche Richtung in eine AUS-Stellung zu bewegen, um Licht von der Lichtsammeloptik wegzulenken, wobei sowohl die EIN- als auch die AUS-Stellungen sich von der ersten Stellung unterscheiden und wobei die EIN-Stellung in einem Winkel bezüglich der ersten Stellung liegt, der

sich von der AUS-Stellung unterscheidet.

[0018] Ein weiterer Aspekt der Erfindung ist ein Verfahren zur räumlichen Modulation eines Lichtstrahls umfassend: Lenken eines Lichtstrahls von einer Lichtquelle auf eine Lichtsammeloptik über ein Array aus Mikrospiegeln, die angeordnet sind, um den Lichtstrahl von der Lichtquelle räumlich zu modulieren, wobei das Array auf einem Substrat ausgebildet ist und jeder Mikrospiegel sich in einer ersten Stellung befindet, wenn er nicht moduliert ist, sowie Modulieren der Mikrospiegel in dem Array, so daß jeder Mikrospiegel sich in eine EIN-Stellung bewegt, in der Licht zu der Lichtsammeloptik für das Array gelenkt wird, und sich in eine AUS-Stellung bewegt, um Licht von der Lichtsammeloptik wegzulenken, wobei sich sowohl die EIN- als auch die AUS-Stellung von der ersten Stellung unterscheiden und die EIN-Stellung einer Größe eines Winkels relativ zur ersten Stellung entspricht, die unterschiedlich ist von der Größe eines Winkels in der AUS-Stellung.

[0019] Ein weiterer Aspekt der vorliegenden Erfindung besteht in einem auf einem Substrat ausgebildeten optischen mikromechanischen Element mit einer EIN-Stellung bei einer ersten Größe eines Winkels relativ zum Substrat, mit einer AUS-Stellung bei einer zweiten Größe eines Winkels zum Substrat, wobei die erste und die zweite Größe unterschiedlich sind, und mit einer dritten Stellung, die im wesentlichen parallel zum Substrat ist, wobei sowohl die EIN- als auch die AUS-Stellung definiert sind durch ein Anschlagen der optischen mikromechanischen Elemente gegen das Substrat oder gegen auf dem Substrat ausgebildete Struktur.

[0020] Ein weiterer Aspekt der vorliegenden Erfindung ist ein Verfahren zur Modulation von Licht umfassend das Reflektieren von Licht von einem Array aus auslenkbaren Mikrospiegeln, die auf einem planen Substrat angeordnet sind; wobei die Mikrospiegel in entweder eine erste Stellung oder eine zweite Stellung geneigt werden; wobei der Winkel, der zwischen der ersten Stellung und dem Substrat gebildet wird und der Winkel, der zwischen der zweiten Stellung und dem Substrat gebildet wird, im wesentlichen unterschiedlich sind.

[0021] Ein weiterer Teil der Erfindung ist ein Verfahren zur Modulation von Licht umfassend eine Lichtquelle, ein planes Lichtmodulations-Array umfassend auslenkbare Elemente und eine Sammeloptik, wobei die Elemente in dem Array wahlweise in wenigstens zwei Zustände versetzt werden, wobei die Elemente im ersten Zustand das Licht von der Lichtquelle in einem ersten Winkel in die Sammeloptik lenken, und wobei die Elemente im zweiten Zustand das Licht von der Lichtquelle in einem zweiten Winkel in die Sammeloptik lenken, wobei ein dritter Winkel Licht repräsentiert, das von dem Array reflektiert wird als ob sie

eine Mikrospiegeloberfläche wäre, wobei der Unterschied zwischen dem ersten und dem dritten sowie dem zweiten und dem dritten Winkel im wesentlichen verschieden ist.

[0022] Ein weiterer Aspekt der Erfindung ist ein Projektionssystem umfassend eine Lichtquelle zur Erzeugung eines Lichtstrahls; ein Mikrospiegel-Array umfassend mehrere Mikrospiegel, die in einem Pfad des Lichtstrahls vorgesehen sind; sowie eine Sammeloptik, die in einem Pfad des Lichtstrahls liegt, nachdem der Lichtstrahl auf das Mikrospiegel-Array einfällt und von den mehreren Mikrospiegeln als ein Muster von Mikrospiegeln im "EIN"-Zustand und im "AUS"-Zustand in dem Array reflektiert wird; wobei das Mikrospiegel-Array ein Substrat umfasst, das Array aus Mikrospiegeln von dem Substrat getragen wird, und jeder Mikrospiegel in der Lage ist, sich in eine EIN-Stellung und eine AUS-Stellung aus einer nicht-ausgelenkten Stellung zu bewegen, wobei die EIN-Stellung bezüglich der nichtausgelenkten Stellung einen anderen Winkel aufweist als die AUS-Stellung.

[0023] Ein anderer Teil der Erfindung ist ein Verfahren zum Projizieren eines Bildes auf ein Ziel, umfassend: Lenken eines Lichtstrahls von einer Lichtquelle auf ein Mikrospiegel-Array; Modulieren der Mikrospiegel jeweils in eine EIN- oder AUS-Stellung, wobei in der EIN-Stellung Mikrospiegel Licht zur Sammeloptik lenken, die angeordnet ist, um von Licht von den Mikrospiegeln in ihrer EIN-Stellung aufzunehmen, wobei das Muster der Mikrospiegel in ihrem EIN- und AUS-Zustand ein Bild erzeugt und die Stellung der Mikrospiegel in ihrer EIN-Stellung bei einer unterschiedlichen Größe eines Winkels liegt verglichen zur Größe des Winkels der Mikrospiegel in ihrer AUS-Stellung.

[0024] Ein weiterer Teil der Erfindung ist ein Verfahren zur räumlichen Modulation eines Lichtstrahls umfassend Lenken eines Lichtstrahls auf ein Array aus Mikrospiegeln, wobei die Mikrospiegel in der Lage sind, sich in eine erste oder zweite Stellung zu bewegen, wobei in der ersten Stellung die Mikrospiegel einen Teil des auf sie einfallenden Lichtstrahls in eine Sammeloptik lenken, und wobei der minimale Abstand zwischen benachbarten Mikrospiegeln, wenn sich diese in der zweiten Stellung befinden, kleiner ist als der minimale Abstand zwischen den benachbarten Mikrospiegeln, wenn sich diese in der ersten Stellung befinden.

[0025] Ein anderer Aspekt der Erfindung ist eine Vorrichtung umfassend ein Substrat, auf das eine bewegliche reflektierende oder beugende mikromechanische Vorrichtung gebildet ist; ein Gehäuse, welches das Substrat mit der beweglichen mikromechanischen Vorrichtung aufnimmt, wobei das Gehäuse ein optisch durchlässiges Fenster aufweist, das nicht

parallel zum Substrat liegt.

[0026] Ein weiterer Teil der Erfindung ist ein Projektionssystem umfassend eine Lichtquelle, eine Lichtsammeloptik, ein Substrat, auf das eine bewegliche reflektierende oder beugende mikromechanische Vorrichtung gebildet ist; ein Gehäuse, das das Substrat mit der beweglichen mikromechanischen Vorrichtung aufnimmt; wobei das Gehäuse ein optisch durchlässiges Fenster aufweist, das nicht parallel zum Substrat liegt, wobei die gepackte mikromechanische Vorrichtung in einem Pfad eines Lichtstrahls von der Lichtquelle angeordnet ist, um das Licht von dem Lichtstrahl zu modulieren, und die Sammeloptik das modulierte Licht sammelt.

[0027] Ein weiterer Teil der Erfindung besteht in einem Projektor umfassend eine Lichtquelle, eine gepackte (bzw. gekapselte) MEMS-Vorrichtung mit einem Substrat mit einer darauf befindlichen mikromechanischen Vorrichtung und einem Fenster in dem Gehäuse, das bezüglich dem Substrat geneigt angeordnet ist, sowie einer Sammeloptik, die ausgelegt ist, um Licht von der Lichtquelle nach der Modulation durch die gekapselte MEMS-Vorrichtung aufzunehmen.

[0028] Ein weiterer Aspekt der Erfindung ist ein Verfahren zur Herstellung eines Mikrospiegels umfassend Bereitstellen eines Substrats; Abscheiden und Strukturieren einer ersten Opferschicht auf dem Substrat; Abscheiden wenigstens einer Gelenkschicht auf der Opferschicht und Strukturieren der wenigstens einen Gelenkschicht, um wenigstens ein Biegegelenk auszubilden; Abscheiden und Strukturieren einer zweiten Opferschicht; Abscheiden wenigstens einer Spiegelschicht auf der zweiten Opferschicht und Strukturieren der wenigstens einen Spiegelschicht, um ein Spiegelement zu bilden; und Entfernen der ersten und der zweiten Opferschicht, um den Mikrospiegel freizulegen.

[0029] Ein weiterer Aspekt der Erfindung ist eine optische mikromechanische Vorrichtung umfassend 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 an dem hinteren Ende des Biegegelenks angebracht ist; und eine an der zweiten Säule angebrachten Platte.

KURZE BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

[0030] [Fig. 1](#) ist eine Draufsicht eines Ausführungsbeispiels der Mikrospiegel der vorliegenden Erfindung;

[0031] [Fig. 2A](#) bis [Fig. 2E](#) sind Querschnittsansichten eines Verfahrens zur Erzeugung der Mikrospiegel der vorliegenden Erfindung, entlang der Linie 2-2 aus

Fig. 1:

[0032] **Fig. 3A** bis **Fig. 3D** sind Querschnittsansichten desselben Verfahrens, das in den **Fig. 2A** bis **Fig. 2E** gezeigt ist, aber entlang der Linie 3-3 aus **Fig. 1**;

[0033] **Fig. 4A** bis **Fig. 4J** sind Querschnittsansichten, die ein weiteres Verfahren zur Herstellung von Mikrospiegeln für die vorliegende Erfindung darstellen;

[0034] **Fig. 5A** bis **Fig. 5G** sind Querschnittsansichten, die ein weiteres Verfahren zur Herstellung von Mikrospiegeln gemäß der vorliegenden Erfindung darstellen;

[0035] **Fig. 6A** bis **Fig. 6C** sind Draufsichten auf verschiedene Mikrospiegelformen und Gelenkkombinationen;

[0036] **Fig. 7** ist eine Draufsicht auf einen Teil eines Mikrospiegel-Arrays mit mehreren Mikrospiegeln, wie jenen aus **Fig. 6A**;

[0037] **Fig. 8** ist eine isometrische Teilexplosionsdarstellung eines Mikrospiegels eines Ausführungsbeispiels der Erfindung;

[0038] **Fig. 9A** bis **Fig. 9C** sind Querschnittsansichten, die das Ansprechen eines Mikrospiegels des Ausführungsbeispiels aus **Fig. 8** zeigen;

[0039] **Fig. 10A** bis **Fig. 10D** sind Querschnittsansichten eines Verfahrens gemäß eines weiteren Ausführungsbeispiels der Erfindung;

[0040] **Fig. 11A** bis **Fig. 11C** sind Querschnittsansichten, die das Ansprechen eines Mikrospiegels zeigen, der gemäß dem in den **Fig. 10A** bis **Fig. 10D** dargestellten Verfahren hergestellt wurde;

[0041] **Fig. 12** ist eine Draufsicht auf mehrere Mikrospiegel in einem Mikrospiegel-Array, das gemäß dem Verfahren aus den **Fig. 11A** bis **Fig. 11C** hergestellt wurde;

[0042] **Fig. 13** ist eine isometrische Teilexplosionsdarstellung des Mikrospiegels aus **Fig. 12**;

[0043] **Fig. 14A** bis **Fig. 14C** stellen Mikrospiegel mit einem flachen nicht-ausgelenktem "AUS"-Zustand dar;

[0044] **Fig. 15A** bis **Fig. 15C** stellen Mikrospiegel mit ausgelenkten "EIN"- und "AUS"-Zuständen mit gleichen Winkeln dar;

[0045] **Fig. 16A** bis **Fig. 16C** stellen Mikrospiegel dar, die einen Winkel für den "EIN"-Zustand aufwei-

sen, der größer ist als der für den "AUS"-Zustand;

[0046] **Fig. 17A** bis **Fig. 17E** stellen eine Gehäuseanordnung für Mikrospiegel mit einem geneigten Fenster dar;

[0047] **Fig. 18** ist eine Darstellung des Beleuchtungssystems für das Mikrospiegel-Array der vorliegenden Erfindung;

[0048] **Fig. 19A** bis **Fig. 19E** zeigen die Beziehung zwischen dem Winkel des einfallenden Lichts, der Mikrospiegelseiten und den Seiten des aktiven Bereichs;

[0049] **Fig. 20** ist eine Darstellung eines Mikrospiegel-Arrays aus dem Stand der Technik;

[0050] **Fig. 21** und **Fig. 22** sind Darstellungen eines Ausführungsbeispiels der Erfindung, bei dem quadratische Mikrospiegel bezüglich der Seiten des aktiven Bereichs gewinkelt (bzw. geneigt) sind;

[0051] **Fig. 23** bis **Fig. 25** stellen Mikrospiegel dar, bei denen "vordere" Ränder und "hintere" Ränder der Mikrospiegel nicht senkrecht zum einfallenden Lichtstrahl stehen;

[0052] **Fig. 26A** bis **Fig. 26F** und **Fig. 27A** bis **Fig. 27F** sind Darstellungen von Mikrospiegeln, die die Form eines oder mehrerer Parallelogramme aufweisen;

[0053] **Fig. 28** ist eine Darstellung eines einzelnen Mikrospiegels;

[0054] **Fig. 29** ist eine Darstellung eines Mikrospiegel-Arrays, bei dem die Vorderseiten und Hinterseiten teilweise senkrecht zu dem einfallenden Lichtstrahl stehen und teilweise unter einem Winkel von 45 Grad zum einfallenden Lichtstrahl stehen;

[0055] **Fig. 30** und **Fig. 31** sind Darstellungen eines Mikrospiegel-Arrays, bei dem die Mikrospiegel keine Seiten aufweisen, die parallel oder senkrecht zum einfallenden Lichtstrahl oder den Seiten des aktiven Bereichs des Arrays stehen;

[0056] **Fig. 32A** bis **Fig. 32J** sind Darstellungen von Mikrospiegeln mit entsprechenden Gelenkstrukturen; und

[0057] **Fig. 33A** bis **Fig. 33C** sind Darstellungen von Beugungsmustern mit einer Beugungslinie, die durch den Eintrittskegel der Sammeloptik (**Fig. 33A**) läuft bzw. mit einer Beugungslinie, die an dem Eintrittskegel vorbeiläuft (**Fig. 33B** und **Fig. 33C**).

DETAILLIERTE BESCHREIBUNG

[0058] Verfahren zur Mikrofabrikation eines beweglichen Mikrospiegels oder Mikrospiegel-Arrays sind in den US-Patenten 5,835,256 und 6,046,840 von Hui-bers offenbart, deren Inhalt durch Verweis hier einbezogen sei. Ein ähnliches Verfahren zur Bildung der Mikrospiegel der vorliegenden Erfindung ist in den [Fig. 1](#) bis 3 dargestellt. [Fig. 1](#) ist eine Draufsicht auf ein Ausführungsbeispiel der Mikrospiegel der vorliegenden Erfindung. Wie in [Fig. 1](#) zu sehen ist, tragen die Säulen **21a** und **21b** eine Mikrospiegelplatte **24** mittels Gelenken **120a** und **120b** über einem unteren Substrat mit darauf befindlichen Elektroden (nicht gezeigt), um Auslenkungen der Mikrospiegelplatte **24** zu bewirken. Wie in [Fig. 1](#) nicht dargestellt ist, aber im folgenden noch näher erläutert werden wird, können Tausende oder sogar Millionen von Mikrospiegeln **24** in einem Array vorgesehen werden, um darauf einfallendes Licht zu reflektieren und ein Bild für einen Betrachter oder auf ein Ziel/einen Schirm zu projizieren.

[0059] Der Mikrospiegel **24** und die anderen Mikrospiegel in dem Array können mittels verschiedener Verfahren hergestellt werden. Ein Verfahren ist in den [Fig. 2A](#) bis [Fig. 2E](#) gezeigt (entlang des Querschnitts 2-2 in [Fig. 1](#)), bei dem die Mikrospiegel vorzugsweise auf einem lichtdurchlässigen Substrat gebildet werden, das anschließend auf ein Schaltungssubstrat gebondet wird. Dieses Verfahren ist weiter beschrieben in der vorläufigen US-Anmeldung 60/229,246 von Ilkov et al. mit Anmeldetag 30. August 2000, und in US-Patentanmeldung 09/732,445 von Ilkov et al. mit Anmeldetag 7. Dezember 2000. Wenngleich das Verfahren in Verbindung mit einem durchlässigen Substrat beschrieben ist, kann auch jedes andere geeignete Substrat Verwendung finden, wie beispielsweise ein Halbleitersubstrat mit Schaltkreisen. Falls ein Halbleitersubstrat, wie beispielsweise ein Einkristall-Silizium, verwendet wird, kann es bevorzugt sein, die Säulen der Mikrospiegel mit der Metallschicht **3** beim IC-Prozeß elektrisch zu verbinden und leitfähige Materialien für wenigstens einen Teil des Mikrospiegels zu verwenden. Verfahren zur Herstellung von Mikrospiegeln direkt auf einem Schaltungssubstrat (statt auf einem separaten lichtdurchlässigen Substrat) werden unten näher erläutert.

[0060] Wie in [Fig. 2A](#) gezeigt ist, ist ein lichtdurchlässiges Substrat **13** (wenigstens vor dem Hinzufügen weiterer Schichten darauf) vorgesehen, wie beispielsweise Glas (z.B. Corning 1737F oder Eagle2000), Quartz, PyrexTM, Saphir, und dergleichen. Das lichtdurchlässige Substrat kann eine optionale lichtsperrende Schicht aufweisen, die auf seiner Unterseite zugefügt ist, die bei der Handhabung des Substrats während der Verarbeitung hilfreich ist. Solch eine lichtsperrende Schicht könnte eine TiN-Schicht sein, die mittels reaktivem Sputtern (bzw.

reaktiver Zerstäubung) bis zu einer Tiefe von 2000 Angström auf der Rückseite des lichtdurchlässigen Substrats abgeschieden wird, die später nach Vollendung der Verarbeitung wieder entfernt werden würde. Das Substrat kann jede beliebige Form und Größe aufweisen, wobei jedoch die Form eines herkömmlichen Wafers bevorzugt ist, der bei der Herstellung integrierter Schaltungen verwendet wird.

[0061] Wie in [Fig. 2A](#) auch zu sehen ist, wird eine Opferschicht **14**, wie beispielsweise amorphes Silizium, abgeschieden. Die Opferschicht kann auch aus einem anderen geeigneten Material bestehen, das später unter den Materialien der mikromechanischen Struktur (z.B. SiO₂, Polysilizium, Polyimid, Novolak, und dergleichen) entfernt werden kann. Die Dicke der Opferschicht kann in einem großen Bereich liegen, abhängig von der Größe des bewegbaren Elements/Mikrospiegels und dem gewünschten Neigungswinkel, wenngleich eine Dicke von ungefähr 500 Å bis 50,000 Å, vorzugsweise ungefähr 5000 Å bevorzugt wird. Alternativ zum amorphen Silizium kann die Opferschicht auch eines von vielen Polymeren sein, ein Fotolack oder ein anderes organisches Material (oder sogar Polysilizium, Siliziumnitrid, Siliziumdioxid, und dergleichen, abhängig von den Materialien, die dem Ätzmittel widerstehen sollen, und abhängig vom gewählten Ätzmittel). Ein optionaler Haftvermittler (z.B. SiO₂ oder SiN) kann vor der Abscheidung des Opfermaterials bereitgestellt werden.

[0062] In die Opferschicht ist ein Loch **6** mit Breite "d" gebildet, um einen Kontaktbereich zwischen dem Substrat **13** und den später abgeschiedenen Schichten der mikromechanischen Struktur bereitzustellen. Die Löcher werden gebildet, indem ein Fotolack aufgeschleudert wird und Licht durch eine Maske gerichtet wird, um die Löslichkeit des Fotolacks zu vergrößern oder zu verkleinern (abhängig davon, ob der Fotolack ein positiver oder ein negativer Fotolack ist). Die Abmessung "d" kann in einem Bereich von 0.2 bis 2 µm liegen (vorzugsweise 0.7 µm), abhängig von der fertigen Größe des Mikrospiegels und des Mikrospiegel-Arrays. Nach Entwicklung des Fotolacks, um den Fotolack im Bereich der Löcher zu entfernen, werden die Löcher mit einem Chlor oder einem anderen geeigneten Ätzmittel (abhängig vom Opfermaterial) in das amorphe Opfersilizium geätzt. Der übrige Fotolack wird dann beispielsweise mit einem Sauerstoffplasma entfernt. Das Loch in der Opferschicht kann jede geeignete Größe aufweisen, wobei es vorzugsweise einen Durchmesser von 0.1 bis 1.5 µm hat, und noch bevorzugter etwa 0.7 +/- 0.25 µm hat. Das Ätzen wird bis hinunter zum Glas/Quartz-Substrat oder bis hinunter zu beliebigen Zwischenschichten, wie beispielsweise Haftvermittlerschichten durchgeführt. Falls das lichtdurchlässige Substrat überhaupt geätzt wird, dann vorzugsweise in einem Umfang von weniger als 2000 Å. Falls die Opferschicht **14** ein direkt strukturierbares Material ist (wie

z.B. ein Novolak oder ein anderer lichtempfindlicher Fotolack), dann wird eine zusätzliche Fotolackschicht, die auf die Opferschicht **14** abgeschieden und entwickelt wird, nicht benötigt. In solch einem Fall wird die Fotolack-Opferschicht strukturiert, um Material in den Bereichen des Lochs/der Löcher **6** zu entfernen, und dann optional ausgehärtet, bevor zusätzliche Schichten abgeschieden werden.

[0063] An diesem Punkt wird, wie in [Fig. 2B](#) zu sehen ist, eine erste Opferschicht **7** beispielsweise durch chemische Dampfabcheidung abgeschieden. Vorzugsweise ist das Material Siliziumnitrid oder Siliziumoxid, das durch LPCVD (chemische Dampfabcheidung bei Niederdruck) oder PECVD (plasmaverstärkte chemische Dampfabcheidung) abgeschieden wird, allerdings könnte auch jedes geeignete Dünnschichtmaterial, wie beispielsweise Polysilizium, ein Metall oder eine Metalllegierung, Siliziumcarbid oder eine organische Verbindung an diesem Punkt abgeschieden werden (natürlich sollten die Opferschicht und das Ätzmittel an das/die verwendeten Strukturmaterialien angepaßt werden). Die Dicke der ersten Schicht kann abhängig von der Größe des beweglichen Elements und des gewünschten Steifheitsgrades des Elements variieren, wobei die Schicht in einem Ausführungsbeispiel eine Dicke von 100 bis 3200 Å, noch bevorzugter zwischen 900 und 1100 Å, aufweist. Wie in [Fig. 2B](#) zu sehen ist, erstreckt sich die Schicht **7** in die in die Opferschicht geätzten Löcher.

[0064] Eine zweite Schicht **8** wird abgeschieden, wie in [Fig. 2C](#) zu sehen ist. Das Material kann dasselbe sein wie bei der ersten Schicht (z.B. Siliziumnitrid), oder auch anders (Siliziumoxid, Siliziumcarbid, Polysilizium und dergleichen) und kann, wie bei der ersten Schicht, mittels chemischer Dampfabcheidung abgeschieden werden. Die Dicke der zweiten Schicht kann größer oder kleiner als die der ersten Schicht sein, abhängig von der gewünschten Steifigkeit des beweglichen Elements, der gewünschten Flexibilität des Gelenks, des verwendeten Materials, etc. In einem Ausführungsbeispiel weist die zweite Schicht eine Dicke von 50 Å bis 2100 Å auf, vorzugsweise jedoch ungefähr 900 Å. In einem anderen Ausführungsbeispiel wird die erste Schicht mittels PECVD und die zweite Schicht mittels LPCVD abgeschieden.

[0065] In dem in den [Fig. 2A](#) bis [Fig. 2E](#) dargestellten Ausführungsbeispiel werden sowohl die erste als auch die zweite Schicht in den Bereichen abgeschieden, die das bewegliche (Mikrospiegel) Element und die Säulen bilden. Abhängig von der gewünschten Steifigkeit des Mikrospiegelements ist es auch möglich, nur entweder die erste oder die zweite Schicht in dem Bereich des Mikrospiegelements abzuschneiden. Auch kann eine einzelne Schicht statt der zwei Schichten **7**, **8** für alle Bereiche der Mikro-

struktur vorgesehen werden, wenngleich dies zu Lasten der Steifigkeit der Platte und der Flexibilität der Gelenke gehen könnte. Auch kann, falls eine einzelne Schicht verwendet wird, der Bereich, der das Gelenk bildet, teilweise geätzt werden, um die Dicke in diesem Bereich zu verringern und die Flexibilität des resultierenden Gelenks zu erhöhen. Es ist auch möglich, mehr als zwei Schichten zu verwenden, um ein laminiertes bewegliches Element auszubilden, was insbesondere dann erwünscht sein kann, wenn die Größe des beweglichen Elements zunimmt, wie beispielsweise zum Umschalten von Lichtstrahlen in einem optischen Schalter. Die für solch eine Schicht oder solche Schichten verwendeten Materialien können auch Metalllegierungen und Dielektrika oder Verbindungen aus Metallen und Stickstoff, Sauerstoff oder Kohlenstoff (insbesondere die Übergangsmetalle) umfassen. Einige dieser alternativen Materialien sind in der vorläufigen US-Patentanmeldung 60/228,007 beschrieben, deren Inhalt durch Verweis hier einbezogen sei.

[0066] Wie in [Fig. 2D](#) gezeigt ist, wird eine reflektierende Schicht **9** abgeschieden. Das reflektierende Material kann Gold, Silber, Titan, Aluminium oder ein anderes Metall, oder eine Legierung von mehr als einem Metall sein, wenngleich vorzugsweise Aluminium durch PVD abgeschieden wird. Die Dicke der Metallschicht kann zwischen 50 und 2000 Å liegen, vorzugsweise jedoch ungefähr bei 500 Å. Eine optionale Metallpassivierungsschicht (nicht gezeigt) kann hinzugefügt werden, z.B. eine 10 bis 1100 Å Siliziumoxid-Schicht, die durch PECVD auf die Schicht **9** abgeschieden wird. Für die Abscheidung der Metallschicht **9** können auch andere Metall-Abscheidungstechniken verwendet werden, wie beispielsweise CFD (chemische Flüssigabscheidung) und Elektroplattieren. Nach dem Abscheiden der Schicht **9** wird ein Fotolack aufgeschleudert und strukturiert, wonach die Metallschicht mit einem geeigneten Metallätzmittel geätzt wird. Im Falle einer Aluminiumschicht kann eine Chlor- (oder Brom-) Chemie verwendet werden (z.B. eine Plasma/RIE-Ätzung mit Cl_2 und/oder BCl_3 (oder Cl_2 , CCl_4 , Br_2 , CBr_4 , und dergleichen) mit einem optionalen bevorzugt inerten Verdünnungsmittel, wie beispielsweise Ar und/oder He). Es ist zu erwähnen, daß die reflektierende Schicht nicht als letzte abgeschieden werden muß, sondern statt dessen direkt auf die Opferschicht **14** abgeschieden werden könnte, zwischen andere das Mikrospiegel-Element bildende Schichten, oder als die einzige das Mikrospiegel-Element bildende Schicht. Allerdings kann es in einigen Verfahren aufgrund der höheren Temperatur bei der viele Dielektrika abgeschieden werden, wünschenswert sein, eine Metallschicht nach einer dielektrischen Schicht abzuschneiden.

[0067] Bezugnehmend auf [Fig. 2E](#) können die erste und die zweite Schicht **7**, **8** mit bekannten Ätzmitteln oder Kombinationen aus Ätzmitteln (abhängig von

dem verwendeten Material und dem gewünschten Isotropiegrad) nach der reflektierenden Schicht geätzt werden. Beispielsweise kann die erste und die zweite Schicht mit einer Chlorchemie oder einer Fluor- (oder anderer Halogenid-) Chemie (z.B. einer 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 vorstehenden oder mit zusätzlichen Gasen, wie beispielsweise CF_4/H_2 , SF_6/Cl_2 oder Gasen, die mehr als eine Ätzart verwenden, wie beispielsweise CF_2Cl_2 , im Allgemeinen möglicherweise mit einem oder mehreren inerten Verdünnungsmitteln) geätzt werden. Falls verschiedene Materialien für die erste Schicht und die zweite Schicht verwendet werden, kann natürlich für die Ätzung jeder Schicht ein anderes Ätzmittel verwendet werden (in dem Technikgebiet bekannte Plasmaätzchemie, abhängig von den verwendeten Materialien). Falls die reflektierende Schicht vor der ersten und zweiten Schicht abgeschieden wird, würden die verwendeten Ätzchemien umgekehrt werden. Auch könnten abhängig von den verwendeten Materialien alle Schichten zusammen geätzt werden. Die in [Fig. 2E](#) gezeigten Aussparungen **20a** und **20b** mit einer Breite "e" sind für die Trennung der Säulen **21** von dem Mikrospiegelkörper **22** vorgesehen.

[0068] Die [Fig. 3A](#) bis [Fig. 3D](#) stellen dasselbe Verfahren entlang eines anderen Querschnitts dar (Querschnitt 3-3 in [Fig. 1](#)) und zeigen das lichtdurchlässige Substrat **13**, auf dem eine Opferschicht **14** abgeschieden wird. Auf der Opferschicht **14** wird die Strukturschicht **7** abgeschieden. Wie in den [Fig. 3B](#) und [Fig. 3C](#) zu sehen ist, wird vor dem Zufügen der Schichten **8** und **9** ein Teil der Schicht **7** entfernt. Der Teil, der entfernt wird, liegt in dem Bereich, in dem das Gelenk ausgebildet werden soll, und ermöglicht eine vergrößerte Flexibilität in dem Gelenkbereich. Eine derartige "Ausdünnung" des Gelenkbereichs ist in der vorläufigen US-Patentanmeldung 60/178,902 von True et al. mit Anmeldetag 28. Januar 2000 und in der US-Patentanmeldung 09/767,632 von True et al. mit Anmeldetag 22. Januar 2001 dargelegt, deren Inhalt durch Verweis hier einbezogen sei. Nach dem Entfernen von Teilen der Schicht **7** werden die Schichten **8** und **9** hinzugefügt, wonach die Schichten **7**, **8** und **9** wie oben beschrieben strukturiert werden. Wie in [Fig. 3D](#) ersichtlich, haben die Gelenke **23** eine Breite "a", die im Bereich von 0.1 bis 10 μm liegt, vorzugsweise bei ungefähr 0.7 μm . Die Gelenke **23** sind voneinander durch eine Aussparung "b" getrennt und von benachbarten Mikrospiegelplatten durch Aussparung "c" getrennt, die ebenfalls 0.1 bis 10 μm breit sein können, vorzugsweise jedoch ungefähr 0.7 μm .

[0069] Die oben allgemein erwähnten Verfahrensschritte können auf verschiedene Arten durchgeführt werden. Beispielsweise kann ein Glas-Wafer (z.B. ein Corning 1737F, ein Eagle 2000, ein Quartz- oder Saphir-Wafer) vorgesehen werden und auf der Rück-

seite des Wafers mit einer opaken Beschichtung wie beispielsweise Cr, Ti, Al, TaN, Polysilizium oder TiN oder anderen opaken Beschichtungen in einer Dicke von 2000 Angström (oder abhängig vom Material auch dicker) beschichtet werden, um das transparente Substrat für die Handhabung zeitweise undurchsichtig zu machen. Dann wird gemäß der [Fig. 1](#)–[4](#) nach der Abscheidung einer optionalen Adhäsions-schicht (z.B. ein Material mit einer Silizium-Schlenkerbindung bzw. "Dangling-Silicon-Bond" wie beispielsweise $SiNx$ – oder $SiOx$, oder ein leitfähiges Material wie beispielsweise Glaskohlenstoff oder Indiumzinnoxid) ein Opfermaterial aus hydriertem amorphem Silizium auf dem durchsichtigen Wafer in einer Dicke von 5000 Angström in einem plasmaverstärkten chemischen Dampfab-scheidungs-system, wie beispielsweise einem Applied Materials P5000, abgeschieden (Gas = SiH_4 (200 sccm), 1500 sccm Ar, Leistung = 100 W, Druck = 3.5 Torr, Temperatur = 380 °C, Elektrodenabstand = 350 mm; oder Gas = 150 sccm SiH_4 , 100 sccm Ar, Leistung = 55 W, Druck = 3 Torr, Temperatur = 380 °C, Elektrodenabstand = 350 mm; oder Gas = 200 sccm SiH_4 , 1500 sccm Ar, Leistung = 100 W, Temperatur = 300 °C, Druck = 3.5 Torr; oder anderen Verfahrenspunkten zwischen diesen Einstellungen). Auch könnte das Opfermaterial durch LPCVD bei 560 °C abgeschieden werden, wie in dem US-Patent 5,835,256 von Huibers et al. aufgezeigt ist, dessen Inhalt durch Verweis hier einbezogen sei. Auch könnte das Opfermaterial durch Kathodenzerstäubung (Sputtern) abgeschieden werden, oder das Opfermaterial könnte ein Material sein, das kein Silizium enthält, wie beispielsweise ein organisches Material (das später beispielsweise durch Plasmasauerstoffveraschung entfernt wird). Das a-Si wird strukturiert (Auftragen eines Fotolacks und Ätzen mit einer Chlor-Chemie, z.B. Cl_2 , BCl_3 und N_2), um Löcher für die Befestigung des Mikrospiegels am Glassubstrat zu bilden. Eine erste Schicht aus Siliziumnitrid zur Erzeugung der Steifigkeit des Mikrospiegels und zur Verbindung des Mikrospiegels mit dem Glas wird mittels PECVD in einer Dicke von 900 Angström abgeschieden (HF-Leistung = 150 W, Druck = 3 Torr, Temperatur = 360 °C, Elektrodenabstand = 570 mm, Gas = $N_2/SiH_4/NH_3$ (1500/25/10); oder HF-Leistung = 127 W, Druck = 2.5 Torr, Temperatur = 380 °C, Gas = $N_2/SiH_4/NH_3$ (1500/25/10 sccm), Elektrodenabstand = 550 mm, wobei andere Verfahrensparameter Verwendung finden können, wie beispielsweise eine Leistung von 175 W und ein Druck von 3.5 Torr) und strukturiert (Druck = 800 mT, HF-Leistung = 100 bis 200 W, 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 das Siliziumnitrid in den Bereichen, in denen die Mikrospiegelgelenke gebildet werden, zu entfernen. Als nächstes wird eine zweite Schicht aus Siliziumnitrid mittels PECVD in einer Dicke von 900 Angström abgeschieden (HF-Leistung = 127 W, Druck = 2.5 Torr, Temperatur = 380 °C, Gas = $N_2/SiH_4/NH_3$ (1500/25/10 sccm), Elektroden-

abstand = 550 mm). Dann wird Al in einer Dicke von 500 Angström bei einer Temperatur von 140 bis 180 °C, einer Leistung von 2000 W, und Ar = 135 sccm auf die zweite Siliziumnitridschicht gesputtert. Auch könnte das Material statt Al auch eine Aluminiumlegierung (Al-Si (1%), Al-Cu (0.5%) oder AlSiCu oder AlTi) sein, oder auch ein implantiertes oder ein targetdotiertes Aluminium. Das Aluminium wird in dem P5000 mit einer Chlorchemie strukturiert (Druck = 40 mT, Leistung = 550 W, Gas = BCl₃/Cl₂/N₂ = 50/15/30 sccm). Dann werden die SiN-Schichten geätzt (Druck = 100 mT, Leistung = 460 W, Gas = CF₄/N₂ (9/20 sccm)), gefolgt von einer Veraschung in einer H₂O + O₂ + N₂ Chemie in Plasma. Als nächstes werden die verbleibenden Strukturen ACT-gereinigt (Aceton + DI-Wafer-Lösung) und trockengeschleudert. (Diese Säuberung kann auch mit dem EKS265-Fotolack-Restentferner von EKC Technology oder anderen Reinigern auf Lösungsmittelbasis durchgeführt werden). Nach der Fotolackbeschichtung der Vorderseite des Wafers mit den darauf befindlichen Mikrostrukturen wird das rückseitige TiN in einer BCl₃/Cl₂/CF₄-Chemie in Plasma (oder einem anderen Metallätzmittel aus dem "CRC Handbook of Metal Etchants") geätzt – oder mittels CMP poliert oder abgeschliffen, oder in einem sauren Dampf, wie beispielsweise HF, entfernt – gefolgt von einer zweiten ACT-Reinigung (Aceton + DI-Wafer-Lösung) und einer zweiten Schleudertrocknung. Der Wafer wird in einzelne Dye (bzw. Rohchips) aufgeteilt und jeder Rohchip wird einem 300 W CF₄-Plasma (Druck = 150 Torr, 85 sccm für 60 Sekunden) ausgesetzt, gefolgt von einer 300 scc Ätzung in einer Mischung aus He, XeF₂ und N₂ (Ätzdruck 158 Torr). Die Ätzung wird durchgeführt, indem der Rohchip in einer Kammer aus N₂ bei etwa 400 Torr plaziert wird. Ein zweiter Bereich/Kammer beinhaltet 3.5 Torr XeF₂ und 38.5 Torr He. Eine Trenneinrichtung zwischen den zwei Bereichen/Kammern wird entfernt, was in einer kombinierten XeF₂, He und N₂-Ätzmischung resultiert.

[0070] Auch kann der durchsichtige Wafer (z.B. Corning 1737F) mit TiN in einer Dicke von 2000 Angström auf der Rückseite des Glaswafers beschichtet werden. Anschließend wird gemäß der [Fig. 1–4](#), ohne eine Adhäsionsschicht ein Opfermaterial aus hydriertem amorphen Silizium auf einem Glaswafer in einer Dicke von 5300 Angström in einem P5000 von Applied Materials abgeschieden (Leistung = 100 W, Druck = 3.5 T, Temperatur = 300 °C, SiH₄ = 200 sccm, Ar = 1500 sccm, oder Druck = 2.5 Torr, Leistung = 500 W, Temperatur = 360 °C, Elektrodenabstand = 350 mm, SiH₄-Fluß = 200 sccm, Ar-Fluß = 2000 sccm). Das a-Si wird strukturiert (Fotolackierung und Ätzung mittels einer Chlorchemie, z.B. Cl₂, BCl₃ und N₂ – 50 W), um Löcher für die Anbringung des Mikrospiegels am Glassubstrat zu bilden. Eine erste Schicht aus Siliziumnitrid zur Erzeugung der Steifigkeit des Mikrospiegels und zur Verbindung des

Mikrospiegels mit dem Glas wird mittels PECVD (Druck = 3 Torr, 125 W, 360 °C, Abstand = 570, SiH₄ = 25 sccm, NH₃ = 10 sccm, N₂ = 1500 sccm) in einer Dicke von 900 Angström abgeschieden und strukturiert (CF₄/CHF₃), um das Siliziumnitrid in Bereichen zu entfernen, in denen die Mikrospiegelgelenke gebildet werden. Als nächstes wird eine zweite Schicht aus Siliziumnitrid mittels PECVD (gleiche Bedingungen wie bei der ersten Schicht) in einer Dicke von 900 Angström abgeschieden. Dann wird Al in einer Dicke von 500 Angström auf die zweite Siliziumnitrid-Schicht gesputtert (150 °C). Das Aluminium wird im P5000 mit einer Chlorchemie (BCl₃, Cl₂, Ar) strukturiert. Dann werden die SiN-Schichten geätzt (CHF₃, CF₄), gefolgt von einer Veraschung in einem Barrel-Asher (O₂, CH₃OH bei 250 °C). Als nächstes werden die verbliebenen Strukturen mit dem EKS265-Fotolack-Restentferner von EKC Technology gereinigt. Nach der Fotolackbeschichtung der Vorderseite des Wafers mit den darauf befindlichen Mikrostrukturen wird das TiN auf der Rückseite in einem SF₆/Ar-Plasma geätzt, gefolgt von einer zweiten Reinigung und einer zweiten Schleudertrocknung.

[0071] Nach dem Abscheiden der Opfer- und der Strukturschichten auf einem Wafer-Substrat wird der Wafer zerteilt und jeder Rohchip wird dann in einen Drytek-Parallelplatten-HF-Plasmareaktor plaziert. 100 sccm CF₄ und 30 sccm O₂ fließen in die Plasmakammer, die bei ungefähr 200 mTorr für 80 Sekunden betrieben wird. Dann wird der Rohchip für 300 Sekunden bei 143 Torr Ätzdruck geätzt (kombiniert XeF₂, He und N₂). Die Ätzung wird durchgeführt, indem der Rohchip bei ungefähr 400 Torr in einer Kammer von N₂ ausgesetzt wird. Ein zweiter Bereich/Kammer beinhaltet 5.5 Torr XeF₂ und 20 Torr He. Eine Trenneinrichtung zwischen den zwei Bereichen/Kammern wird entfernt, was zu einer kombinierten XeF₂, He und N₂ Ätzmischung führt. Das Vorstehende kann auch in einem Parallelplatten-Plasmaätmater bei einer Leistung von 300 W CF₄ (150 Torr, 85 sccm) für 120 Sekunden durchgeführt werden. Zusätzliche Merkmale der zweiten (chemischen, plasmafreien) Ätzung sind in der US-Patentanmeldung 09/427,841 von Patel et al. mit Anmeldetag 26. Oktober 1999 und in der US-Patentanmeldung 09/649,569 von Patel et al. mit Anmeldetag 28. August 2000 offenbart, die durch Verweis hier einbezogen sei.

[0072] Wenngleich das Gelenk jedes Mikrospiegels, wie oben aufgezeigt, im wesentlichen in derselben Ebene gebildet werden kann wie das Mikrospiegelement (in [Fig. 3D](#) Schichten 7, 8 und 9 des Mikrospiegelkörpers gegenüber Schichten 8 und 9 des Mikrospiegelgelenks), können diese auch getrennt vom Mikrospiegelement und parallel zu diesem in einer unterschiedlichen Ebene gebildet werden und als Teil eines separaten Verarbeitungsschrittes (nach der Abscheidung eines zweiten Opfermaterials). Dieser

überlagernde Gelenktyp ist in den [Fig. 8](#) und 9 des vorhin erwähnten US-Patents 6,046,840 offenbart und detaillierter in der US-Patentanmeldung 09/631,536 von Huibers et al. mit Anmeldetag 3. August 2000, die durch Verweis hier einbezogen sei, beschrieben. Unabhängig davon, ob wie in den Figuren, eine Opferschicht ausgebildet wurde, oder zwei (oder mehrere) Opferschichten, wie beim überlagerten Gelenk, werden Opferschichten, wie hier im folgenden beschrieben, mit einem vorzugsweisen isotropen Ätzmittel entfernt. Dieses "Freilegen" der Mikrospiegel kann unmittelbar nach den oben beschriebenen Schritten durchgeführt werden oder unmittelbar vor der Bestückung mit den Schaltkreisen auf dem zweiten Substrat. Falls die Schaltkreise, Elektroden und Mikrospiegel nicht auf demselben Substrat gebildet werden, dann wird nach der Bildung der Mikrospiegel auf einem lichtdurchlässigen Substrat, wie oben beschrieben, ein zweites Substrat bereitgestellt, das eine große Anordnung aus Elektroden auf einer oberen Metallschicht (z.B. Metall 3) des Substrats (z.B. ein Silizium-Wafer) umfaßt. Wie in [Fig. 11A](#) zu sehen ist, wird ein lichtdurchlässiges Substrat **40** mit einer darauf gebildeten Anordnung aus Mikrospiegeln **44** an ein zweites Substrat **60** mit Schaltungen und Elektroden bei Spannungen V_0 , V_A und V_B gebondet, die darauf als letzte Schicht gebildet sind (für eine Mikrospiegel-Ausführung mit einer einzelnen Bewegungsrichtung kann auch eine einzige Elektrode pro Mikrospiegel verwendet werden, wie beispielsweise in [Fig. 1](#) gezeigt ist). Die Mikrospiegel **44** werden von den Elektroden auf dem Substrat **60** mittels Abstandshaltern **41** beabstandet gehalten (z.B. Fotolack-Abstandshalter benachbart zu jedem Mikrospiegel und/oder Abstandshalter, die sich im Epoxid befinden, wenn das Substrat **40** auf das Substrat **60** gebondet wird). Eine oder mehrere Elektroden auf dem Schaltungssubstrat steuern elektrostatisch ein Pixel (ein Mikrospiegel auf dem oberen optisch durchlässigen Substrat) des Mikro-Displays. Die Spannung an jeder Elektrode auf der Oberfläche der Rückseitenebene bestimmt, ob dessen entsprechendes Mikro-Display-Pixel optisch "EIN" oder "AUS" ist, wodurch ein sichtbares Bild auf dem Mikro-Display gebildet wird. Details der Rückseitenebene und Verfahren zur Erzeugung eines pulsbreitenmodulierten Graustufen- oder Farbbildes sind in der US-Patentanmeldung 09/564,069 von Richards offenbart, die durch Verweis hier einbezogen sei. Der Aufbau des ersten und zweiten Substrats ist detaillierter in den Patentanmeldungen von Ilkov et al. dargelegt, auf die vorstehend Bezug genommen wurde. In dem Technikgebiet sind verschiedene Arten des Wafer-Bondens bekannt, wie beispielsweise adhäsives Bonden, anodisches Bonden, eutektisches Bonden, Fusion-Bonden, Mikrowellen-Bonden, Solder-Bonden und Thermokompressions-Bonden.

[0073] Die Freilegung der Mikrospiegel der vorliegenden Erfindung kann ein Einzelschritt- oder ein

Mehrschritt-Verfahren sein, wobei der Verfahrenstyp von der Art des verwendeten Opfermaterials abhängt. In einem Ausführungsbeispiel der Erfindung wird die erste Ätzung mit einer relativ geringen Selektivität durchgeführt (z.B. weniger als 200:1, vorzugsweise weniger als 100:1 und noch bevorzugter weniger als 10:1), und eine zweite Ätzung mit einer höheren Selektivität folgt (z.B. größer als 100:1, vorzugsweise größer als 200:1 und noch bevorzugter größer als 1000:1). Eine derartige Zweifach-Ätzung ist in der US-Patentanmeldung 60/293,092 von Patel et al. mit Anmeldetag 22. Mai 2001 dargelegt, die durch Verweis hier einbezogen sei. Natürlich können auch andere Verfahren verwendet werden, abhängig von dem Opfermaterial. Falls das Opfermaterial ein Fotolack oder ein anderes organisches Material ist, kann die Freilegung mittels Sauerstoff-Plasma-Versäuerung oder mittels eines superkritischen Fluids durchgeführt 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 SiO_2 , Al oder Si nicht ätzen. Auch könnte, falls das Opfermaterial SiO_2 ist, ein Ätzmittel wie beispielsweise ein isotropes Trockenätzmittel ($CHF_3 + O_2$, NF_3 oder SF_6) verwendet werden. Falls das Opfermaterial aus Siliziumnitrid besteht, könnten Fluor-Atome verwendet werden, um das Siliziumnitrid isotrop zu ätzen (z.B. CF_4/O_2 -, CHF_3/O_2 -, CH_2F_2 oder CH_3F -Plasmen). Falls das Opfermaterial amorphes Silizium ist, könnten Fluor-Atome in der Form von XeF_2 , BrF_3 oder $BrCl_3$ verwendet werden. Falls die Opferschicht aus Aluminium besteht, könnte eine Chlorchemie (BCL_3 , CCl_4 , $SiCl_4$) verwendet werden. Natürlich würde jedes Ätzmittel (und Opfermaterial) zumindest teilweise auf Grundlage des erforderlichen Grades an Unterätzung ausgewählt werden.

[0074] Ein weiteres Verfahren zur Bildung von Mikrospiegeln ist in den [Fig. 4A](#) bis [Fig. 4J](#) gezeigt. Wie in [Fig. 4A](#) zu sehen ist, hat ein Substrat **30** (dies kann ein beliebiges geeignetes Substrat sein, beispielsweise ein Glas/Quarz-Substrat oder ein Halbleiterschaltungssubstrat) ein darauf abgeschiedenes Opfermaterial **31**. Es kann jedes geeignete Opfermaterial Verwendung finden, vorzugsweise eines mit einem hohen Ätzselektivitätsverhältnis zwischen dem zu ätzenden Material und dem Opfermaterial. Ein mögliches Opfermaterial ist ein organisches Opfermaterial, wie beispielsweise ein Fotolack oder andere organische Materialien, wie sie dargelegt sind in der US-Patentanmeldung 60/298,529 von Reid et al. mit Anmeldetag 15. Juni 2001. Abhängig von dem exakten Aufbau der Strukturschichten) könnten auch andere bekannte MEMS-Opfermaterialien, wie beispielsweise amorphes Silizium oder PSG verwendet werden. Falls das Opfermaterial nicht direkt strukturierbar ist, dann wird eine Fotolackschicht **32** hinzugefügt und entwickelt, um eine oder mehrere Öffnungen auszubilden ([Fig. 4B](#)). Dann werden, wie in

Fig. 4C zu sehen ist, Öffnungen **34** in das Opfermaterial **31** geätzt und der Fotolack **32** wird entfernt. Wie in **Fig. 4D** zu sehen ist, wird eine (vorzugsweise leitfähige) Schicht **35** abgeschieden, die schließlich wenigstens die flexiblen Teile des MEMS-Geräts bilden wird (in diesem Beispiel eine Mikrospiegelstruktur). Die Schicht **35** kann auch die Säulen **36** zum Anbringen des Mikrospiegels am Substrat bilden, oder sogar den gesamten Mikrospiegelkörper oder Teile davon. Wie hier noch weiter beschrieben wird, umfaßt die leitende Schicht **35** in einem bevorzugten Ausführungsbeispiel dieser Erfindung ein Metall-Si, AL, B-Nitrid, wobei das Metall vorzugsweise ein Übergangsmetall ist, insbesondere ein Spätübergangsmetall. Die Schicht **35** kann auch mehrere Schichten aufweisen, oder eine leitfähige Schicht aus zahlreichen anderen Arten von Schichten (strukturelle dielektrische Schichten, reflektierende Schichten, Antihafschichten, und dergleichen). Schicht **35** muß nicht leitfähig sein, und abhängig von den in dem Abscheidungsverfahren verwendeten speziellen Verfahren, dem verwendeten Zielmaterial und der verwendeten Atmosphäre könnte die Schicht **35** auch isolierend sein.

[0075] **Fig. 4E** zeigt das Hinzufügen des Fotolacks **37** (strukturiert), gefolgt von dem Ätzen eines Teils der Nitridschicht(en) **35** und das Entfernen des Fotolacks (**Fig. 4F**). Dann wird, wie in **Fig. 4G** zu sehen ist, die Mikrospiegelstruktur-Materialschicht **38** abgeschieden. Das Material kann leitfähig oder isolierend sein und kann auch aus mehreren Schichten bestehen. Falls das Material eine einzelne Schicht ist, so ist diese vorzugsweise reflektierend (z.B. eine Aluminium- oder Goldschicht, oder eine Metalllegierungsschicht). Dann wird, wie in **Fig. 4H** zu sehen ist, ein Fotolack **39** hinzugefügt und entwickelt, gefolgt von (**Fig. 4I**) dem Ätzen/Entfernen von Abschnitten der Schicht **38** (wie beispielsweise in dem Bereich der Teile, die sich während des Betriebs biegen). Schließlich wird, wie in **Fig. 4J** zu sehen ist, die Opferschicht entfernt, um die MEMS-Vorrichtung freizulegen, so daß diese auf dem Substrat freisteht. Nicht in **Fig. 4** gezeigt sind die auf oder in dem Substrat **30** gebildeten Schaltkreise (falls das Substrat ein Schaltungssubstrat ist) oder eine lichtundurchlässige Schicht auf dem Substrat **30**, welche die automatisierte Handhabung des Substrats verbessert (falls das Substrat ein lichtdurchlässiges Substrat wie Glas, Quartz, Saphir oder dergleichen ist).

[0076] Wie in den **Fig. 4A** bis **Fig. 4J** zu sehen ist, wird eine freiliegende MEMS-Struktur dort erzeugt, wo die Schicht **35** einen flexiblen Abschnitt der MEMS-Vorrichtung bildet, wogegen die Schicht **38** die Struktur bildet, die sich aufgrund des flexiblen Charakters der Schicht **35** bewegt. Wie zu sehen ist, bildet die Schicht **38** sowohl den beweglichen Abschnitt, als auch die Säule oder Wand, die die MEMS-Struktur auf dem Substrat **30** trägt. Das be-

wegliche Element kann als ein Laminat der Schichten **38** und **35** (oder auch, falls erwünscht, zusätzlicher Schichten) gebildet werden, oder nur aus Schicht **38**, oder sogar nur aus Schicht **35**. Der Aufbau der beweglichen und flexiblen Elemente ist abhängig von der letztlich erwünschten Steifigkeit oder Flexibilität, der erwünschten Leitfähigkeit, der auszubildenden MEMS-Vorrichtung, und dergleichen.

[0077] Die gemäß der **Fig. 1** bis 4 gebildeten Mikrospiegel werden vorzugsweise auf einem lichtdurchlässigen Substrat gebildet und weisen einen nicht-ausgelenkten "AUS"-Zustand und einen ausgelenkten "EIN"-Zustand auf. Allerdings können die Mikrospiegel auch aus demselben Substrat ausgebildet werden, wie die Mikrospiegel-Steuerschaltkreise und Elektroden. Auch können sowohl die "EIN"- als auch die "AUS"-Zustände der Mikrospiegel in einer Stellung liegen, die sich von der Stellung in einem nicht-ausgelenktem Zustand unterscheidet. In dem in den **Fig. 5** bis 9 gezeigten Ausführungsbeispiel sind die Mikrospiegel auf demselben Substrat ausgebildet, wie die Elektroden und Schaltkreise zur Bewegung der Mikrospiegel. Zudem haben die Mikrospiegel nicht nur ausgelenkte "EIN"- und "AUS"-Zustände, sondern der Ablenkungswinkel unterscheidet sich zwischen "EIN" und "AUS". Wie in den **Fig. 5A** bis **Fig. 5G** dargestellt ist, kann ein Halbleitersubstrat mit darauf (oder darin) ausgebildeten Schaltkreisen und Elektroden das Ausgangssubstrat für die Herstellung der erfindungsgemäßen Mikrospiegel sein.

[0078] Wie in **Fig. 5A** zu sehen ist, weist ein Halbleitersubstrat **10** mit Schaltkreisen zur Steuerung des Mikrospiegels eine strukturierte Metallschicht auf, die in darauf befindliche diskrete Abschnitte **12a** bis **12e** ausgebildet wird – üblicherweise Aluminium (z.B. die letzte Metallschicht in einem Halbleiterverfahren). Eine Opferschicht **14** wird darauf abgeschieden, wie in **Fig. 5B** zu sehen ist. Wie bei den vorherigen Ausführungsbeispielen, kann das Opfermaterial aus einer Vielzahl von Materialien ausgewählt werden, abhängig von den benachbarten Strukturen und dem gewünschten Ätzmittel. In dem vorliegenden Beispiel ist das Opfermaterial ein Novolac-Fotolack. Wie auch in **Fig. 5B** zu sehen ist, werden Öffnungen **15a** und **15b** mittels herkömmlicher Strukturierungsverfahren für einen Fotolack in das Opfermaterial gebildet, um Öffnungen **15a** bis **15b** auszubilden, die mit den Metallbereichen **12a** bis **12c** verbunden sind. Nach dem Ausbilden der Öffnungen **15a** bis **15c** werden, wie in **Fig. 5C** zu sehen ist, Stecker oder andere Verbindungen **16a** bis **16c** gemäß konventioneller Steckerbildungsverfahren ausgebildet. Beispielsweise kann Wolfram (W) mittels CVD durch a) Siliziumreduktion: $2WF_6 + 3Si \rightarrow 2W + 3SiF_4$ abgeschieden werden (Diese Reaktion wird normalerweise dadurch hervorgerufen, daß dem WF₆-Gas eine Reaktion mit Bereichen des freiliegenden festen Siliziums auf einer Wafer-Oberfläche bei einer Temperatur von ungefähr

300 °C ermöglicht wird), b) Wasserstoffreduktion: $\text{WF}_6 + 3\text{H}_2 \rightarrow \text{W} + 6\text{HF}$ (Dieser Prozeß wird bei reduzierten Drücken durchgeführt, üblicherweise bei Temperaturen unterhalb von 450 °C), oder c) Silanreduktion: $2\text{WF}_6 + 3\text{SiH}_4 \rightarrow 2\text{W} + 3\text{SiF}_4 + 6\text{H}_2$ (Diese Reaktion (LPCVD bei ungefähr 300 °C) wird üblicherweise verwendet, um eine W-Keimschicht für die Wasserstoffreaktion zu erzeugen). Andere leitfähige Materialien, insbesondere andere hitzebeständige Materialien, können für die Stecker **16a** bis **16c** verwendet werden. Nach dem Abscheiden einer Schicht des Steckermaterials, wird ein chemisch-mechanisches Polierverfahren (CMP) bis hinunter zur Opferschicht ausgeführt, um die Stecker wie in [Fig. 5C](#) gezeigt zu bilden. Für einige Steckermaterialien kann es wünschenswert sein, erst eine Zwischenschicht abzuschneiden, um ein Ablösen zu vermeiden (z.B. kann für einen Wolfram-Stecker eine TiN-, TiW- oder TiWN-Zwischenschicht abgeschieden werden, um das Wolfram im Loch im Opfermaterial zu umgeben, und später dann die Opferschicht abzulösen).

[0079] Wie in [Fig. 5D](#) zu sehen ist, wird eine leitfähige Schicht abgeschieden und strukturiert, um diskrete Metallbereiche **18a** bis **18c** zu erzeugen, die mit entsprechenden darunterliegenden Metallbereichen **12a** bis **12c** über entsprechende Stecker **16a** bis **16c** elektrisch verbunden sind. Die leitfähige Schicht kann aus einem beliebigen geeigneten Material bestehen (Aluminium, Aluminiumlegierungen, Legierungen anderer Metalle, leitfähige Keramikverbindungen und dergleichen), das mittels geeigneter Verfahren wie beispielsweise Dampfabscheidung oder Elektroplattierung abgeschieden wird. Das Material sollte vorzugsweise sowohl leitfähig sein, als auch eine geeignete Kombination aus Härte, Elastizität, etc. aufweisen (wie zu sehen sein wird, wird der Bereich **18c** als Gelenk für den zu bildenden Mikrospiegel dienen). Natürlich müssen die diskreten Bereiche **18a** bis **18c**, falls für die verschiedenen Bereiche unterschiedliche Materialien oder Eigenschaften erwünscht werden, nicht gleichzeitig ausgebildet werden (dies trifft auch auf die anderen Bereiche zu, die in der Vorrichtung ausgebildet werden, wie beispielsweise die Bereiche **12a** bis **12e** und die Stecker **18a** bis **18c**). Natürlich sind weniger Verarbeitungsschritte involviert, wenn alle diskreten Bereiche innerhalb einer Schicht aus demselben Material bestehen, das gleichzeitig abgeschieden wird. In dem bevorzugten Ausführungsbeispiel besteht die leitfähige Schicht entweder aus einer Aluminiumlegierung oder einer leitfähigen Binär- oder Ternärverbindung (oder Verbindungen höherer Ordnung), wie beispielsweise jene, die in der US-Patentanmeldung 60/228,007 von Reid mit Anmeldetag 23 August 2000 und US-Patentanmeldung 60/300,533 von Reid mit Anmeldetag 22 Juni 2001 offenbart sind, die beide durch Verweis hier einbezogen seien, die mittels reaktivem Sputtern abgeschieden werden. Eine geeignete Ätzchemie wird zur Strukturierung der leitfähigen Schicht verwendet

(z.B. eine Chlorchemie für Aluminium), um diskrete leitfähige Bereiche **18a** bis **18c** auszubilden.

[0080] Wie weiter in [Fig. 5E](#) dargestellt ist, wird eine zweite Opferschicht **20** abgeschieden, die aus demselben Material bestehen kann wie die Opferschicht **14**, oder aus einem unterschiedlichen Material (vorzugsweise ist das Material dasselbe, so daß beide Schichten gleichzeitig entfernt werden können). Dann wird die Schicht **20** strukturiert, um eine Öffnung **20a** bis hinunter zu Bereich **18c** auszubilden. Wie bei der Ausbildung der Öffnungen in der Opferschicht **14**, kann dies durch eine zusätzliche Schicht aus Fotolack bewirkt werden, oder die Schicht **20** kann direkt strukturiert werden, sofern das Material ein Fotolack oder ein anderes direkt strukturierbares Material ist. Wie in [Fig. 5F](#) zu sehen ist, wird ein Stecker oder eine Verbindung **22** gebildet, indem ein vorzugsweise elektrisch leitfähiges Material auf der Opferschicht **20** abgeschieden wird, gefolgt von einer chemisch-mechanischen Politur, welche den Stecker **22** verbunden mit dem diskreten Bereich ("Gelenk") **18c** hinterläßt. Dann wird, wie in [Fig. 5G](#) zu sehen ist, der Mikrospiegelkörper **24** durch Abscheiden einer (vorzugsweise leitfähigen) Schicht ausgebildet, gefolgt von einer Strukturierung in die gewünschte Form des Mikrospiegels. Eine Vielzahl von Mikrospiegelformen sind möglich, wie beispielsweise jene, die in [Fig. 6A](#) dargestellt ist, und wie im Folgenden detaillierter beschrieben werden wird. Allerdings kann die Mikrospiegelform gemäß dieses Beispiels der Erfindung eine beliebige Form aufweisen, wie beispielsweise eine Quadratform oder Diamantform, wie in den [Fig. 6B](#) und [Fig. 6C](#) gezeigt ist. Natürlich sind jene Formen bevorzugt, die eine dichte Packung der Mikrospiegel, und so einen hohen Füllfaktor ermöglichen (wie beispielsweise die Mikrospiegelform aus [Fig. 6A](#), die in einem engliegenden Array in [Fig. 7](#) dargestellt ist). Die gepunktete Linie in [Fig. 6C](#) (und später in [Fig. 12](#)) stellt die Rotationsachse des Mikrospiegels dar.

[0081] Wenngleich verschiedene Schichten, die bei der Herstellung des Mikrospiegels verwendet werden gemäß der [Fig. 5A](#) bis [Fig. 5G](#) als einzelne Schichten dargestellt sind, kann jede Schicht (egal ob Strukturschicht oder Opferschicht) als ein Laminat gebildet werden, z.B. eine Schicht des Laminats, die verbesserte mechanische Eigenschaften hat, und eine weitere Schicht, die eine verbesserte Leitfähigkeit hat. Obgleich im bevorzugten Ausführungsbeispiel die Strukturmaterialien leitfähig sind, ist es auch möglich, das Mikrospiegelement **24** (oder eine Schicht innerhalb eines Laminats **24**) leitfähig zu machen, wie auch die Steuerelektroden **12d** und **18b** (und Schichten/Materialien, welche die Elektroden **12d** und **18b** mit dem Halbleitersubstrat verbinden). Zudem müssen die oben offenbarten Materialien (Metall, Metalllegierungen, Metall-Keramik-Legierungen und dergleichen) nicht zwingend ein Metall beinhalten, son-

den könnten beispielsweise auch Silizium (z.B. polykristallines Silizium) oder eine Siliziumverbindung (z.B. Si_3N_4 , SiC , SiO_2 , und dergleichen) sein. Falls Si_3N_4 als Strukturmaterial und amorphes Silizium als Opfermaterial verwendet wird, kann Xenon-Difluorid als ein Gasphasen-Ätzmittel verwendet werden, um das amorphe Opfersilizium zu entfernen. Falls erwünscht, kann das als Strukturmaterial verwendete Silizium oder die Siliziumverbindung (oder eine andere Verbindung) vor und/oder nach Entfernen der Opferschicht abgekühlt werden, um die Spannungseigenschaften der Strukturschicht(en) zu verbessern. [Fig. 8](#) ist eine Explosionsansicht des Mikrospiegels, der gemäß der [Fig. 5A](#) bis [Fig. 5G](#) gebildet wurde.

[0082] 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 Entfernen der zwei Opferschichten, die den Mikrospiegel **24** verbunden mit dem Substrat **10** über die Säule **22**, das Gelenk **18c**, die Säule **16c** und die Metallbereiche **12c** zeigt. Der in [Fig. 9A](#) gezeigte Mikrospiegel wird nicht bewegt oder ausgelenkt, da keine Spannung an einer der darunterliegenden Elektroden (diskrete Metallbereiche, die in dem oben beschriebenen Verfahren ausgebildet wurden), z.B. an den Elektroden **18b** oder **12d**, angelegt ist. Diese nicht-ausgelenkte Stellung ist die "AUS"-Stellung des Mikrospiegels, die bei Projektionssystemen im Allgemeinen einem Winkel aufweist, der von der "EIN"-Stellung am weitesten entfernt ist (um das bestmögliche Kontrastverhältnis für das projizierte Bild zu erzielen). Der "EIN"-Zustand des Mikrospiegels, d.h. die Stellung des Mikrospiegels, in der Licht in den Eintrittskegel der Sammeloptik gelenkt wird, ist in [Fig. 9B](#) dargestellt. Eine Spannung V_A wird an die Elektrode **12d** angelegt, um die Mikrospiegelplatte **24** elektrostatisch nach unten zu ziehen, bis der Rand der Platte **24** auf der Elektrode **12e** anschlägt. Sowohl die Mikrospiegelplatte **24** als auch die Elektrode **12e** liegen auf demselben Potential, in diesem Beispiel auf einer Spannung V_0 . Wie in [Fig. 9C](#) gezeigt, wird bei Anlegen einer Spannung V_B an die Elektrode **18b** die Mikrospiegelplatte **24** in eine entgegengesetzte Richtung ausgelenkt, wobei ihre Bewegung durch die Elektrode **18a** gestoppt wird. Die Elektrode **18a** und die Mikrospiegelplatte **24** liegen auf demselben Potential (in diesem Beispiel auf Spannung V_0). Abhängig von der Größe der Elektrode **18b** gegenüber der Elektrode **12d** und vom Abstand zwischen diesen Elektroden und der Mikrospiegelplatte **24**, muß die an den Elektroden **18b** und **12d** anliegende Spannung nicht dieselbe sein. Diese in [Fig. 9C](#) dargestellte ausgelenkte Stellung ist die "AUS"-Stellung, in der Licht am weitesten von der Sammeloptik weggelenkt wird.

[0083] Wie durch einen Vergleich der [Fig. 9B](#) und [Fig. 9C](#) zu erkennen ist, bildet die "AUS"-Stellung einen kleineren Winkel (mit dem Substrat) als die

"EIN"-Stellung. Im Folgenden wird, wenn auf die "EIN"- und "AUS"-Winkel (oder solche Winkel, die sich auf das Substrat oder eine nichtausgelenkten Mikrospiegelstellung beziehen) bezuggenommen wird, ein Vorzeichen des Winkels verwendet (positiv oder negativ bezüglich dem Substrat oder einer nicht ausgelenkten Stellung). Dieses Vorzeichen ist willkürlich, zeigt aber an, daß die Mikrospiegel in eine Richtung in die "EIN"-Stellung rotieren, und in eine entgegengesetzte Richtung in eine "AUS"-Stellung rotieren. Die Vorteile einer solchen Asymmetrie werden im Folgenden näher erläutert. In einem Beispiel der Erfindung liegt die "EIN"-Stellung zwischen 0 und +30 Grad und die "AUS"-Stellung zwischen 0 und -30 Grad, wobei die Bewegung in die "EIN"-Stellung größer ist, als die Bewegung in die "AUS"-Stellung. Beispielsweise kann die "EIN"-Stellung zwischen +10 und +30 Grad liegen (oder zwischen +12 und +20 Grad, oder zwischen +10 und +15 Grad), und die "AUS"-Stellung kann größer sein als 0 Grad und zwischen 0 und -30 Grad liegen (oder innerhalb eines kleineren Bereichs zwischen 0 und -10 Grad, oder zwischen -1 und -12 Grad, oder zwischen -1 und -10 oder -11 Grad, oder zwischen -2 und -7 Grad). In einem anderen Beispiel sind die Mikrospiegel in der Lage, wenigstens +12 Grad in die "EIN"-Stellung zu rotieren und zwischen -4 und -10 Grad in die "AUS"-Stellung. Abhängig von den für die Gelenke verwendeten Materialien können auch größere Winkel erreicht werden, wie beispielsweise eine "EIN"-Rotation zwischen +10 und +35 Grad und einer "AUS"-Rotation zwischen -2 und -25 Grad (natürlich können Materialermüdung und ein Kriechen bei großen Winkeln zu einem Problem werden). Unter Vernachlässigung der Rotationsrichtung ist es bevorzugt, daß die "EIN"- und "AUS"-Stellungen sich bei Winkeln größer als 3 Grad aber kleiner als 30 Grad bezüglich dem Substrat befinden, und vorzugsweise ist die "EIN"-Stellung größer als +10 Grad und die Spiegel rotieren um 1 Grad (oder mehr) weiter in die "EIN"-Richtung als in die entgegengesetzte "AUS"-Richtung.

[0084] Die [Fig. 10A](#) bis [Fig. 10D](#) zeigen ein weiteres Verfahren und eine weitere Mikrospiegelstruktur. Die Variabilität bei den Materialien, den Schichten, dem Opferätzen, der Abscheidung von Strukturschichten und dergleichen ist wie oben im Zusammenhang mit den vorher beschriebenen Verfahren gegeben. Für das in den [Fig. 10A](#) bis [Fig. 10D](#) dargestellte Verfahren kann das Substrat **40** entweder ein lichtdurchlässiges Substrat sein (das später mit einem zweiten Substrat mit Schaltkreisen und Elektroden verbunden werden kann) oder ein Halbleitersubstrat, das bereits darauf befindliche Schaltkreise und Elektroden aufweist. In dem vorliegenden Beispiel sind die Schaltkreise und die Elektroden auf einem separaten Substrat ausgebildet, wie in den [Fig. 11A](#) bis [Fig. 11B](#) zu sehen ist.

[0085] In [Fig. 10A](#) wird eine Opferschicht **42** abgeschieden und strukturiert, um eine Öffnung **43** auszubilden. Dann wird, wie in [Fig. 10B](#) gezeigt, ein Stecker **46** gebildet (vorzugsweise wie in dem Verfahren der [Fig. 5A](#) bis [Fig. 5G](#) – Abscheiden eines Metalls, einer Metalllegierung oder einer anderen leitfähigen Schicht und dann Einebnen (z.B. mittels CMP), um den Stecker auszubilden). Dann wird, wie in [Fig. 10C](#) zu sehen ist, ein Gelenk **50** ausgebildet, indem ein elektrisch leitfähiges Material (mit geeigneter Amorphität, Elastizität, Festigkeit, Stärke, und dergleichen) abgeschieden wird. In dem vorliegenden Beispiel ist das Gelenk (und/oder der Mikrospiegel) ein Frühübergangsmetall-Siliziumnitrid, wie beispielsweise Ta-Si-N, ein Spätübergangsmetall-Siliziumnitrid wie beispielsweise Co-Si-N oder ein Metall oder eine Metall-Keramik-Legierung, wie beispielsweise eine Titan-Aluminium-Legierung, oder eine Titan-Aluminiumoxid-Legierung. Nach dem Abscheiden eines solchen Materials wird ein Fotolack abgeschieden und strukturiert, um ein Ätzen/Entfernen aller Bereiche zu ermöglichen, mit Ausnahme der Gelenkbereiche **50**. Dann wird, wie in [Fig. 10D](#) gezeigt, die Mikrospiegelplatte **44** ausgebildet, indem erst die Gelenke durch einen Fotolack geschützt werden und dann eine Gelenkstrukturschicht abgeschieden und strukturiert wird, um die Mikrospiegelplatte **44** auszubilden, die teilweise überlappt und deshalb mit dem Gelenk **50** verbunden ist. Wie in den anderen Ausführungsbeispielen wird ein Array aus Tausenden oder Millionen solcher Mikrospiegel gleichzeitig in einem Array gebildet.

[0086] Dann wird, egal ob im Wafer- oder Rohchip-Stadium, das Substrat mit Mikrospiegeln an einem Substrat mit Steuerschaltkreisen und -Elektroden befestigt. Es sollten in dem vorliegenden Beispiel zumindest zwei Elektroden pro Mikrospiegel vorgesehen werden, eine für jede Auslenkungsrichtung, und vorzugsweise eine Dritte, um es dem Mikrospiegel zu ermöglichen, seine Bewegung abzustoppen (in einer der Richtungen), indem er auf einem Material anschlägt, das auf demselben Potential liegt, wie der Mikrospiegel selbst. Das zweite Substrat **60** mit den Elektroden **72** und **74** zur Auslenkung des Mikrospiegels und mit einem Auflagefeld oder einer Auflageelektrode **70** ist in [Fig. 11A](#) gezeigt. Der Mikrospiegel ist in [Fig. 11A](#) in einer nicht ausgelenkten Stellung. Wenn eine Spannung V_A an die Elektrode **72** angelegt wird, so wird der Mikrospiegel **44** ausgelenkt, bis er gegen die Elektrode **70** schlägt ([Fig. 11B](#)). Dies ist die "EIN"-Stellung des Mikrospiegels, die es dem Licht ermöglicht, in die Sammeloptik des Systems einzutreten. Es ist möglich, den Spalt zwischen den Substraten so auszulegen, daß die Enden der Mikrospiegelplatte **44** gleichzeitig an der Elektrode **70** und dem Substrat **40** anschlagen. Wenn eine Spannung V_B an die Elektrode **74** angelegt wird, dann wird die Mikrospiegelplatte **44** in die entgegengesetzte Richtung ausgelenkt, bis das Ende der Mi-

krospiegelplatte an dem Substrat **40** anschlägt. Dies ist die "AUS"-Stellung des Mikrospiegels ([Fig. 11C](#)). Aufgrund der Position des Gelenks **50** und der Säule **46** ist der Winkel in der "AUS"-Stellung kleiner als der Winkel des Mikrospiegels in der "EIN"-Stellung. Ein Array aus derartigen Mikrospiegeln ist in [Fig. 12](#) dargestellt, und eine Explosionsdarstellung eines Mikrospiegels, der gemäß des Verfahrens der [Fig. 10A](#) bis [Fig. 10D](#) hergestellt wurde, ist in [Fig. 13](#) gezeigt.

[0087] [Fig. 14A](#) ist eine Querschnittsansicht mehrerer Mikrospiegel in einem Array, in dem die Mikrospiegel in ihrer "AUS"-Stellung nicht ausgelenkt sind (Gruppe **100**), wogegen Mikrospiegel in ihrem "EIN"-Zustand (Gruppe **102**) aus der flachen Stellung ausgelenkt sind, so daß sie Licht derart reflektieren, daß es gesehen werden kann (direkt, auf ein Ziel in einer verbundenen Vorrichtung, über einen Raum hinweg auf einem Schirm, etc.) Solch eine Mikrospiegel-Array-Anordnung ist genauer in den [Fig. 14B](#) und [Fig. 14C](#) dargestellt. Wie in [Fig. 14B](#) zu sehen ist, wird bei den Mikrospiegeln in ihrem "EIN"-Zustand ein einfallender Lichtkegel **50** von allen Mikrospiegeln reflektiert (in dieser Figur sind alle Mikrospiegel in ihrem "EIN"-Zustand) und das Licht wird als ein Lichtkegel **52** in eine Ausgangsöffnung **60** projiziert, und wird in den meisten Fällen in ein Abbildungssystem weitergeleitet (z.B. eine Projektionslinse oder Projektionslinsen). Der Kegel **54** repräsentiert die Spiegelreflektion von der transparenten Abdeckung. [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 reflektierte Lichtkegel verjüngt sich auf das gesamte Array, wenngleich in diesen Figuren zur Vereinfachung die Lichtkegel so dargestellt sind, als würden sie auf einen einzelnen Mikrospiegel zulaufen.

[0088] Die Anordnung der [Fig. 14B](#) und [Fig. 14C](#) hat den Vorteil, daß, wenn die Mikrospiegel in ihrem "AUS"-Zustand sind (nicht ausgelenkt), wenig Licht in der Lage ist, durch die Spalten zwischen den Mikrospiegeln hindurchzutreten und unerwünschte "Spaltstreuung" zu bewirken. Allerdings wird, wie in [Fig. 14C](#) zu sehen ist, aufgrund des sich wiederholenden Musters der Mikrospiegel gebeugtes Licht erzeugt (Licht **61a** und **61b**, das sich über den Kegel aus reflektiertem "AUS"-Licht **52** hinaus erstreckt). Dieses unerwünschte Licht wird durch Streuung oder Beugung an den Rändern der Mikrospiegel erzeugt ("Randstreuung"). Insbesondere kann, da der einfallende Lichtkegel (und somit der ausgehende Lichtkegel) so groß wie möglich gemacht wird, um die Effizienz zu steigern, Beugungslicht wie z.B. das Licht **61a**, das sich über den Kegel aus reflektiertem "AUS"-Licht hinaus erstreckt, in die Austrittsöffnung **60** (z.B. die Sammeloptik) eintreten und eine unerwünschte Verminderung des Kontrastverhältnisses bewirken.

[0089] Um dieses "Überlappen" von "AUS"-Zustands-Licht (einschließlich dem Beugungslicht) und "EIN"-Zustands-Licht zu vermeiden, kann das "AUS"-Zustands-Licht und das "EIN"-Zustands-Licht weiter voneinander getrennt werden, indem die Mikrospiegel sowohl im "EIN"- als auch im "AUS"-Zustand ausgelenkt werden. Wie in [Fig. 15A](#) zu sehen ist, wird, falls der Mikrospiegel, wie in der Figur gezeigt, in seinen "AUS"-Zustand ausgelenkt ist, ein Teil des Lichts ordnungsgemäß von den Mikrospiegeln weg von der "EIN"-Zustands-Richtung (z.B. der Sammeloptik) reflektiert werden, wie durch den Strahl **116** dargestellt ist. Anderes Licht **112** wird nicht auf den Mikrospiegel auftreffen, sondern auf der Oberfläche des unteren Substrats gestreut werden (z.B. auf darunterliegenden Schaltkreisen und Elektroden) und selbst dann in die Sammeloptik eintreten, wenn sich der benachbarte Mikrospiegel im "AUS"-Zustand befindet. Auch könnte, wie durch den Strahl **114** dargestellt ist, das einfallende Licht auf einen Mikrospiegel treffen, was trotzdem in einer Spaltstreuung resultieren kann, statt, wie Strahl **116**, ordnungsgemäß in den "AUS"-Winkel gelenkt zu werden. Diese "EIN"-Anordnung ist in [Fig. 15B](#) dieselbe wie in [Fig. 14B](#). Allerdings wird, wie in [Fig. 15C](#) gezeigt, der "AUS"-Zustand zusammen mit der durch die Mikrospiegelperiodizität erzeugten Beugung **61a**, weiter weg von dem "EIN"-Winkel verschoben, um ein verbessertes Kontrastverhältnis aufgrund Beugung/Randstreuung (trotz des aufgrund Spaltstreuung verminderten Kontrastverhältnisses, wie oben beschrieben wurde) zu bewirken.

[0090] Ein verbessertes Mikrospiegel-Array würde den Abstand zwischen dem "AUS"-Lichtkegel und dem "EIN"-Lichtkegel maximieren (wobei Randstreuung in den Eintrittskegel minimiert wird), und dennoch die Spalte zwischen benachbarten Mikrospiegeln minimieren (die Spaltstreuung minimieren). Eine Lösung, die ausprobiert wurde, bestand darin, ein Mikrospiegel-Array mit Mikrospiegeln auszustatten, die, wie in den [Fig. 15A](#) bis [Fig. 15C](#) gezeigt, für den "EIN"-Zustand und den "AUS"-Zustand in entgegengesetzte Richtungen ausgelenkt werden, und eine lichtabsorbierende Schicht unter den Mikrospiegeln vorzusehen, um die Spaltstreuung zu verringern. Leider erhöht dies die Verarbeitungskomplexität, oder Licht wird auf der Mikrospiegel-Array-Anordnung absorbiert (auf dem Lichtventil), was die Temperatur des Lichtventils erhöht und Probleme erzeugt aufgrund von Wärmeausdehnung, verstärkter Ermüdung und verstärktem Abbau (bzw. "droop") der Mikrospiegelstrukturen, verstärktem Ausfall der Passivierungsfilme, der sich selbst anbringenden Monoschichten und/oder der Lösungsmittel, und dergleichen.

[0091] Wie in den [Fig. 16A](#) und [Fig. 16C](#) zu sehen ist, sind Mikrospiegel vorgesehen, die sowohl in ihrem "EIN"-Zustand, als auch im "AUS"-Zustand aus-

gelenkt sind, jedoch mit unterschiedlichen Auslenkungswinkeln. Wie in [Fig. 16A](#) zu sehen ist, sind die Mikrospiegel **100** in einen "AUS"-Zustand ausgelenkt, der bei einem Auslenkungswinkel liegt, der kleiner ist als der Auslenkungswinkel der Mikrospiegel **102** in ihrem "EIN"-Zustand (in eine entgegengesetzte Richtung aus dem flachen oder nicht-ausgelenkten Zustand ausgelenkt). Wie in [Fig. 16B](#) zu sehen ist, ist der "EIN"-Zustand unverändert (einfallendes Licht **50** wird als ausgehendes Licht **52** in die Austrittsöffnung **60** projiziert), mit einer gewissen Spiegelreflektion **54**. In [Fig. 16C](#) sind die Mikrospiegel in ihrem "AUS"-Zustand in einer ausreichend ausgelenkten Stellung, so daß Randbeugungslicht **61a**, das in die Austrittsöffnung **60** eintritt, minimiert wird, und dennoch nur soweit ausgelenkt, daß das Randbeugungslicht aus dem Eintrittskegel herausgehalten wird, um das Spaltstreuungslicht von unterhalb der Mikrospiegel aufgrund eines großen Auslenkwinkels im "AUS"-Zustand zu minimieren.

[0092] Ein zusätzliches Merkmal der Erfindung liegt in der Kapselung bzw. Gruppierung der Vorrichtung. Wie oben erwähnt, kann die Reflektion von Licht durch das lichtdurchlässige Substrat zu einer Spiegelreflektion führen. Wie in [Fig. 17A](#) zu sehen ist, wird ein einfallender Lichtkegel **50** von den Mikrospiegeln in ihrem "EIN"-Zustand reflektiert, was als reflektierter Kegel **52** dargestellt ist. Gespiegeltes Licht, das von einer Oberfläche des lichtdurchlässigen Substrats **32** reflektiert wird, ist als Lichtkegel **54** dargestellt. Es ist bei der Herstellung eines Projektionssystems wünschenswert, den von dem Kegel überstrichenen Winkel zu vergrößern, um den Lichtdurchgang bzw. die Etendue und die Systemeffizienz zu steigern. Allerdings bewirkt, wie in [Fig. 17A](#) zu sehen ist, eine Vergrößerung des vom Kegel **50** überstrichenen Winkels eine Vergrößerung der von den Kegeln **52** und **54** überstrichenen Winkel, so daß Spiegelreflektionslicht vom Kegel **54** in die Austrittsöffnung **60** selbst dann eintreten wird, wenn sich die Mikrospiegel in ihrem "AUS"-Zustand befinden (wodurch das Kontrastverhältnis reduziert wird).

[0093] Um eine Vergrößerung der von den Kegeln überstrichenen Winkel zu ermöglichen, und gleichzeitig aber zu vermeiden, daß Spiegelreflektion in die Austrittsöffnung eintritt, wird, wie in [Fig. 17B](#) zu sehen ist, das lichtdurchlässige Substrat **32** bezüglich dem Substrat **30** geneigt angeordnet. In vielen Fällen ist das Substrat **30** das Substrat, auf dem die Mikrospiegel (oder andere optische MEMS-Elemente) ausgebildet sind, wogegen das Substrat **32** ein lichtdurchlässiges Fenster in einem Gehäuse für die optische MEMS-Vorrichtung ist. Der Neigungswinkel des Fensters ist größer als -1 Grad (das Minuszeichen bezieht sich auf die Richtungen der Mikrospiegelneigungen). In einem Beispiel ist das Fenster in einem Winkel von -2 bis -15 Grad geneigt, oder zwischen -3 und -10 Grad. Auf jeden Fall ist das Fenster be-

zöglich dem Mikrospiegelsubstrat in einem Winkel geneigt, der vorzugsweise in der gleichen "Richtung" liegt wie die "AUS"-Stellung der Mikrospiegel (bezüglich dem Mikrospiegelsubstrat und/oder dem Gehäuseboden). Wie in [Fig. 17B](#) zu sehen ist, besteht, wenn sich die Mikrospiegel in dem "EIN"-Zustand befinden, ein Spalt zwischen dem Licht, das von den "EIN"-Mikrospiegeln reflektiert wird (Lichtreflektionskegel **52**) und dem Spiegelreflektionslicht (Lichtkegel **54**). Dieser "Spalt" wird dadurch bewirkt, daß der Spiegelreflektionskegel **54** aufgrund des geneigten lichtdurchlässigen Substrats in eine größere Entfernung reflektiert wird. Diese Anordnung ermöglicht es, wie in [Fig. 17C](#) zu sehen ist, den von dem einfallenden Lichtkegel überstrichenen Winkel (und den entsprechenden Reflektionslichtkegeln) von den "EIN"-Mikrospiegeln (Kegel **52**) und vom lichtdurchlässigen Substrat (Kegel **54**) zu vergrößern. (Zur Vereinfachung der Darstellung liegt der Reflektionspunkt der Lichtkegel mitten zwischen dem Mikrospiegel und dem lichtdurchlässigen Substrat, wenngleich in Wirklichkeit der Lichtkegel **52** von dem Mikrospiegel/den Mikrospiegeln reflektiert wird und der Spiegelreflektionslichtkegel **54** von dem Substrat reflektiert wird.) Das geneigte lichtdurchlässige Fenster ermöglicht, wie in den [Fig. 17B](#) und [Fig. 17C](#) dargestellt, eine höhere Systemeffizienz und eine größere Lichtwert-Etendue (Etendue = Raumwinkel $\times$ Fläche). Ein Lichtventil, wie es in den [Fig. 17B](#) und [Fig. 17C](#) gezeigt ist, ist in der Lage, einen Lichtstrahl größerer Etendue zu modulieren und kann mehr Licht von einer Lichtquelle durchlassen und ist somit effizienter.

[0094] Eine gekapselte Vorrichtung ist in den [Fig. 17D](#) und [Fig. 17E](#) gezeigt. Wie in [Fig. 17D](#) zu sehen ist, trifft einfallendes Licht **40** (diese Ansicht ist bezüglich der vorhergehenden Ansichten umgekehrt) auf das Array und wird von diesem reflektiert. Wie in [Fig. 17E](#) zu sehen ist, ermöglicht ein geneigtes lichtdurchlässiges Substrat **32** (mit Maskenbereichen **34a** und **34b**) nicht nur, wie oben beschrieben, eine Vergrößerung des vom Lichtkegel überstrichenen Winkels, sondern zudem wird auch ein Spalt zwischen der Maske des Fensters **32** und dem Mikrospiegel-Array minimiert, wodurch Lichtstreuung und ein Temperaturanstieg im Gehäuse vermindert wird. Der Neigungswinkel des lichtdurchlässigen Fensters liegt zwischen 1 und 15 Grad bezüglich dem Substrat, vorzugsweise zwischen 2 und 15 Grad, und noch bevorzugter zwischen 3 und 10 Grad. Wie in den [Fig. 17D](#) bis [Fig. 17E](#) zu sehen ist, werden Bonding-Drähte **37** (die das Substrat elektrisch mit dem Gehäuse verbinden, um eine Ansteuerung der Mikrospiegel oder anderer mikromechanischer Elemente zu ermöglichen) an einem Ende des Substrats in dem Gehäuse angeordnet, wo das geneigte Fenster einen größeren Abstand aufweist, als am gegenüberliegenden Ende des Substrats. So ermöglicht das geneigte Fenster das Anbringen von Bonding-Drähten und ermöglicht

zudem einen minimierten Abstand zwischen dem lichtdurchlässigen Fenster und dem Mikrospiegelsubstrat an einem Ende des Substrats, an dem keine Bonding-Drähte vorhanden sind. Es sei bemerkt, daß das Licht von einer Seite des Gehäuses auf das Mikrospiegel-Array einfällt, die der Position der Bonding-Drähte und der erhöhten Seite des geneigten Fensters entspricht. In dem Gehäuse können zusätzliche Komponenten vorhanden sein, wie beispielsweise Gehäuseklebstoffe, molekulare Scavenger oder andere Getter, oder eine Quelle für ein haftreibungsminderndes Mittel (wie etwa Chlorsilane, perfluorierte n-Alkansäuren, Hexamethyldisilazan und dergleichen).

[0095] Falls die Mikrospiegel der vorliegenden Erfindung für ein Projektions-Display vorgesehen sind, sollte eine geeignete Lichtquelle vorhanden sein, die die Anordnung beleuchtet und das Bild über die Sammeloptik auf ein Ziel projiziert. In den [Fig. 18](#) und [Fig. 19a](#) bis [Fig. 19c](#) ist die Anordnung der Lichtquelle und des auf die Anordnung und auf jeden Mikrospiegel einfallenden Lichtstrahls der vorliegenden Erfindung gezeigt, die ein verbessertes Kontrastverhältnis ermöglicht, während gleichzeitig die Stellfläche des Projektionssystems minimiert wird. Wie in [Fig. 18](#) zu sehen ist, richtet eine Lichtquelle **114** einen Lichtstrahl **116** in einem 90°-Winkel auf die Vorderseite **93** des aktiven Bereichs der Anordnung (der aktive Bereich der Anordnung ist in der Figur als Rechteck **94** dargestellt). Der aktive Bereich **94** würde typischerweise von 64,000 bis ungefähr 2,000,000 Pixel in einer üblicherweise rechteckigen Anordnung aufweisen, wie dies in [Fig. 18](#) dargestellt ist. Der aktive Bereich **94** reflektiert Licht (über Mikrospiegel im "EIN"-Zustand) durch eine Sammeloptik **115** auf ein Ziel, um ein entsprechendes rechteckiges Bild auf dem Ziel (z.B. einer Wand oder einem Schirm) zu erzeugen. Natürlich könnte die Anordnung auch anders als rechteckförmig gestaltet sein und würde eine entsprechende Form auf dem Ziel bewirken (es sei denn, eine Maske wird durchlaufen). Licht von der Lichtquelle **114** wird von bestimmten Mikrospiegeln (jenen im "EIN"-Zustand) in der Anordnung reflektiert und durchläuft die Optik **115** (zur Vereinfachung durch zwei Linsen dargestellt). Mikrospiegel in ihrem "AUS"-Zustand (in einem nicht-ausgelenktem "Ruhe"-Zustand) lenken Licht auf einen Bereich **99** in [Fig. 18](#). [Fig. 18](#) ist eine Vereinfachung eines Projektionssystems, das weitere Komponenten aufweisen könnte, wie beispielsweise TIR-Prismen, zusätzliche Fokussierungs- oder Vergrößerungslinsen, ein Farbrad zur Erzeugung eines Farbbildes, einen Lichtleiter, und dergleichen, wie diese in dem Technikgebiet bekannt sind. Falls das Projektionssystem für eine maskenlose Lithographie oder Nicht-farbanwendungen, die kein Farbbild projizieren, vorgesehen ist (z.B. Front- oder Rück-Projektionsfernseher, ein Computerbildschirm, und dergleichen), dann kann natürlich ein Farbrad und eine andere

Sammeloptik verwenden werden. Als Ziel kann nicht nur ein Bildschirm oder Fotolack vorgesehen werden, sondern auch die Retina eines Betrachters, wie etwa bei einem Direktsicht-Display. Wie in [Fig. 18](#) zu sehen ist, lenken alle "EIN"-Mikrospiegel in der Anordnung zusammen Licht auf eine einzelne Sammeloptik, die eine Linse oder eine Gruppe von Linsen zum Lenken/Fokussieren/Projizieren des Lichts auf ein Ziel sein kann.

[0096] Unabhängig davon, ob das betrachtete Bild auf einem Computerbildschirm, einem Fernsehschirm oder auf einer Filmleinwand vorliegt, 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 zwei der vier Seiten sind, die das rechteckige Bildschirmbild definieren. Wie in einem Beispiel eines Mikrospiegelements in den [Fig. 19A–E](#) gesehen werden kann, trifft der einfallende Lichtstrahl auf keine der Seiten des Mikrospiegelements senkrecht auf. [Fig. 19A](#) ist eine perspektivische Ansicht von Licht, das auf ein einzelnes Mikrospiegelement auftrifft, wogegen [Fig. 19B](#) eine Draufsicht ist und [Fig. 19C](#) eine Seitenansicht ist. Der einfallende Lichtstrahl kann 10 bis 50 Grad (z.B. 20 Grad) von der Normalen (zur Ebene der Mikrospiegel/Anordnung) abweichen. Siehe Winkel **133** in [Fig. 19C](#).

[0097] Unabhängig von dem Winkel zwischen dem einfallenden Lichtstrahl und der Mikrospiegelebene liegen keine Seiten des Mikrospiegels senkrecht zu dem darauf einfallenden Lichtstrahl (siehe [Fig. 19D](#)). In einem bevorzugten Ausführungsbeispiel sollten die Mikrospiegelebenen in einem Winkel (**131**) von weniger als 80 Grad, vorzugsweise jedoch 55 Grad oder weniger bezüglich der Projektion (**102**) der Achse des einfallenden Lichtstrahls auf die Mikrospiegelebene angeordnet sein, noch bevorzugter 45 Grad oder weniger, und am meisten bevorzugt 40 Grad oder weniger. Im Gegensatz dazu sollte der Winkel **132** mindestens 100 Grad betragen, vorzugsweise 125 Grad oder mehr, noch bevorzugter 135 Grad oder mehr, und am bevorzugtesten 140 Grad oder mehr. Die Schalt- (d.h. Dreh-) Achse des Mikrospiegels ist in [Fig. 19D](#) durch die gepunktete Linie **103** dargestellt. Die Schaltachse könnte auch an anderen Stellen entlang des Mikrospiegels liegen, wie beispielsweise bei Linie **106**, abhängig von der Art der verwendeten Gelenke. Wie in [Fig. 19D](#) zu sehen ist, ist die Schaltachse (z.B. **103** oder **106**) senkrecht zur Projektion des einfallenden Lichtstrahls **102** auf die Ebene des Mikrospiegels. [Fig. 19E](#) ist, wie [Fig. 19D](#), eine Draufsicht – allerdings ist in [Fig. 19E](#) eine Mikrospiegelanordnung zusammen mit einem auf die 2-D-Anordnung aus Mikrospiegeln einfallenden Lichtstrahl **102** dargestellt. Es sei bemerkt, daß jeder Mikrospiegel in [Fig. 19E](#) die Form des in den [Fig. 19A–D](#) gezeigten Mikrospiegels aufweist. Wie in [Fig. 19E](#) zu sehen ist,

ist die gesamte Form der Mikrospiegelanordnung ein Rechteck. Jede der vier Seiten der Anordnung, **117** bis **120**, ist definiert durch das Ziehen einer Linie zwischen den am weitesten entfernten Pixeln in der letzten Zeile und Spalte des aktiven Bereichs (**121–124**) (beispielsweise ist Seite **119** definiert durch eine Linie, die die Eckpixel **123** und **122** schneidet). Obgleich in [Fig. 19E](#) zu sehen ist, daß jede der "vorderen" (der Lichtquelle am nächsten) und "hinteren" (von der Lichtquelle am weitesten entfernt) Seiten **119**, **117** des aktiven Bereichs aufgrund der Form der Mikrospiegel in dem aktiven Bereich "gezackt" sind, sollte daran erinnert werden, daß bis zu ungefähr 3,000,000 Mikrospiegel oder mehr auf einer Fläche von 1 cm² bis 1 in² vorhanden sein können. Deshalb wird außer bei einer extremen Vergrößerung der aktive Bereich im wesentlichen rechteckig sein, wobei die Seiten **118** und **120** (oder **117** und **119**) des aktiven Bereichs parallel zu den Seiten **107** und **108** des Mikrospiegels in [Fig. 19D](#) sind (der Mikrospiegel in [Fig. 19D](#) ist einer der Mikrospiegelemente in dem aktiven Bereich von

[0098] [Fig. 19E](#)); wobei die Seiten **117** und **119** (oder **118** und **120**) des aktiven Bereichs parallel zur Schaltachse **103** (oder **106**) jedes Mikrospiegels (siehe [Fig. 19D](#)) sind; und wobei die Seiten **117** und **119** (oder **118** und **120**) des aktiven Bereichs nicht senkrecht zu vorderen oder hinteren Seiten **125a–d** des Mikrospiegels sind (siehe [Fig. 19D](#)). [Fig. 19E](#) könnte als das projizierte Bild betrachtet werden, das eine große Anzahl von projizierten Pixeln umfaßt (wobei jedes projizierte Pixel die in [Fig. 19D](#) dargestellte Form aufweist). Gemäß dem oben Beschriebenen sind die Seiten **118** und **120** (oder **117** und **119**) des projizierten Bildes parallel zu den Seiten **107** und **108** der projizierten Pixel und die Seiten **117** und **119** (oder **118** und **120**) des projizierten Bildes sind nicht senkrecht zu den Seiten **125a–d** der projizierten Pixel.

[0099] [Fig. 20](#) ist eine Darstellung einer 2-D-Mikrospiegelanordnung (natürlich mit wesentlich weniger Pixeln als in einem typischen aktiven Bereich vorhanden sind). Zur Vereinfachung der Darstellung (in [Fig. 20](#) wie auch in den [Fig. 21–26](#) und [Fig. 29–32](#)) sind weniger als 60 Mikrospiegel/Pixel dargestellt, Obgleich ein übliches Display zwischen 64K Pixel (320 × 200 Pixel) und 1,920K Pixel (1600 × 1200 Pixel = UXGA), oder mehr (z.B. 1920 × 1080 = HDTV; 2048 × 1536 = QXGA) aufweisen würde. Aufgrund der sehr geringen Pixelgröße bei der vorliegenden Erfindung ist die erreichbare Auflösung im wesentlichen unbegrenzt. Wie in [Fig. 20](#) zu sehen ist, sind die Seiten jedes Pixels parallel zu entsprechenden Seiten des aktiven Bereichs. So liegt jede Mikrospiegel-seite entweder senkrecht oder parallel zu den Seiten des aktiven Bereichs. Im Gegensatz dazu sind, wie in [Fig. 21](#) gezeigt, die Mikrospiegelebenen weder parallel noch senkrecht zu den Seiten des aktiven Be-

reichs. Wie im Folgenden noch zu sehen sein wird, sind in anderen Ausführungsbeispielen einige Seiten weder parallel noch senkrecht zu den Seiten des aktiven Bereichs, wobei einige Seiten auch parallel zu den Seiten des aktiven Bereichs sein können (solange sie auch parallel zur Richtung einer Linie sind, die von dem einfallenden Lichtstrahl auf die Ebene des Mikrospiegels geworfen wird).

[0100] Die in [Fig. 22](#) dargestellte Mikrospiegelanordnung erreicht ein hohes Kontrastverhältnis. Zudem vereinfachen die Mikrospiegelanordnungen, wie sie in den [Fig. 23–Fig. 29](#) dargestellt sind, das Adressierungsschema. Insbesondere haben die [Fig. 23–Fig. 29](#) den Vorteil, daß die Pixel nicht auf einem Raster angeordnet sind, das bezüglich der X- und der Y-Achse des Arrays gewinkelt (bzw. geneigt) ausgerichtet ist. Da übliche Videobildquellen Pixel farbdaten in einem X-Y-Raster liefern, vermeidet die Anordnung der Pixel in [Fig. 23–Fig. 29](#) nicht triviale Videoverarbeitungen, um ein akzeptables Bild auf dem Display zu erzeugen. Auch vermeidet die Anordnung der [Fig. 23–Fig. 29](#) ein komplizierteres Layout der Display-Rückseitenebene (im Vergleich zu [Fig. 13](#) und 14, die zweimal so viele Zeilen oder Spaltendrähle zu den Pixel-Steuerzellen benötigen würden). Die horizontale Leitung **80** in [Fig. 22](#) verbindet die oberste Zeile aus Mikrospiegelelementen, und die vertikalen Leitungen **81A–D** gehen von den jeweiligen Mikrospiegeln der obersten Zeile aus (diese horizontalen und vertikalen Leitungen entsprechen einer Adressierung von Zeilen und Spalten in der Anordnung). Wie in [Fig. 22](#) zu sehen ist, ist nur jeder zweite Mikrospiegel auf diese Weise angeschlossen. Um alle Mikrospiegel zu adressieren, sind demnach doppelt so viele Zeilen und Spalten erforderlich, was zu einer erhöhten Komplexität bei der Adressierung der Anordnung führt. [Fig. 22](#) zeigt auch Stützsäulen **83** an den Ecken der Mikrospiegel, die mit Gelenken (nicht gezeigt) unter jedem Mikrospiegelelement (die oben diskutierten "überlagerten" Gelenke) und mit einem optisch durchlässigen Substrat (nicht gezeigt) über den Mikrospiegelelementen verbunden sind.

[0101] In einem bevorzugteren Ausführungsbeispiel der Erfindung, das in [Fig. 23](#) gezeigt ist, ist eine Anordnung **92** vorgesehen. Ein Lichtstrahl **90** wird so auf die Anordnung gerichtet, daß keine der Mikrospiegelseiten senkrecht zu dem einfallenden Lichtstrahl liegen. In [Fig. 23](#) liegen die Vorderseiten der Mikrospiegel (bezüglich des einfallenden Lichtstrahls **90**) in einem Winkel von ungefähr 135 Grad bezüglich des einfallenden Lichtstrahls **90**. Vorzugsweise ist der Winkel größer als 100 Grad, vorzugsweise jedoch größer als 130 Grad. Das Kontrastverhältnis wird weiter verbessert, wenn der Winkel zwischen dem einfallenden Lichtstrahl und der Vorderseite wenigstens 135 Grad beträgt, und er kann sogar 140 Grad oder mehr betragen. Wie in [Fig. 23](#) zu sehen ist, ergeben sich aus der Orientierung der Mikrospie-

gelemente keine Adressierungsprobleme, wie sie oben unter Bezugnahme auf [Fig. 22](#) diskutiert wurden. Die Säulen **95** sind mit den Gelenken (nicht gezeigt) unter jedem Mikrospiegelelement in [Fig. 23](#) verbunden. Die Gelenke erstrecken sich senkrecht zur Richtung des einfallenden Lichtstrahls (und parallel zur vorderen und hinteren Seite **91B** und **91D** des aktiven Bereichs). Die Gelenke ermöglichen eine Rotationsachse der Mikrospiegel, die senkrecht zum einfallenden Lichtstrahl liegt.

[0102] [Fig. 24](#) ist eine Darstellung von Mikrospiegeln ähnlich jener, die in [Fig. 23](#) gezeigt ist. Allerdings sind in [Fig. 24](#) die Mikrospiegelelemente "umgekehrt" und haben "konkave" Abschnitte als Vorderseiten. Obwohl die Mikrospiegel in [Fig. 24](#) gegenüber den in [Fig. 23](#) gezeigten umgekehrt sind, existieren weiterhin keine Mikrospiegelseiten, die senkrecht zum einfallenden Lichtstrahl liegen. [Fig. 24](#) stellt ein Gelenk **101** dar, das in derselben Ebene angeordnet ist, wie das Mikrospiegelelement, an dem das Gelenk befestigt ist. Beide Arten von Gelenken sind in dem oben erwähnten '840-Patent offenbart. [Fig. 25](#) stellt gleichermaßen ein Gelenk **110** in derselben Ebene wie die Mikrospiegelanordnung dar, und zeigt sowohl "konvexe" Abschnitte **112** ("Vorsprünge") und "konkave" Abschnitte **113** ("Ausparungen") auf der Vorderseite jedes Mikrospiegels. Aufgrund der konkaven oder ausgesparten Abschnitte jedes Mikrospiegels hat jeder Mikrospiegel die Gestalt eines konkaven Polygons. Obgleich die Mikrospiegel konvexe Polygone sein können (falls keine der Seiten des konvexen polygonalen Mikrospiegels parallel zur Vorderseite des aktiven Bereichs steht), ist es bevorzugt, daß die Mikrospiegel eine konkave Polygonform aufweisen. Konvexe Polygone sind bekannt als Polygone, bei denen keine der Linien, die eine Seite beinhaltet, durch das Innere des Polygons verläuft. Ein Polygon ist konkav dann und nur dann, wenn es nicht ein konvexes Polygon ist. Die konkave Polygonform kann aus einer Reihe von (nicht senkrechten) Parallelogrammen gebildet sein, oder mit wenigstens einem konkaven und wenigstens einem dazu passenden konvexen Teil (zum Einpassen in den konkaven Teil des angrenzenden Mikrospiegels), wenngleich aber auch jede beliebige andere konkave Polygonform möglich ist. Die Mikrospiegelform kann auch die eines einzelnen (nicht senkrechten) Parallelogramms sein, wenngleich dies, wie oben erwähnt, weniger bevorzugt ist. Obgleich dies nicht dargestellt ist, müssen der passende eine oder die mehreren Vorsprünge und die eine oder mehreren Ausparungen nicht aus geraden Linien aufgebaut sein (für diesen Zweck auch nicht die Mikrospiegelseiten), sondern können statt dessen auch gekrümmt sein. In einem solchen Ausführungsbeispiel sind der Vorsprung (die Vorsprünge) und die Ausparung (die Ausparungen) halbkreisförmig, wenngleich die dargestellten gewinkelten Vorsprünge und Ausparungen bevorzugt sind.

[0103] Die [Fig. 26A](#) bis [Fig. 26F](#) stellen weitere Ausführungsbeispiele der Erfindung dar. Wenngleich die Formen der Mikrospiegel in den verschiedenen Figuren unterschiedlich sind, entsprechen sie sich doch insofern, daß keine von ihnen eine Seite aufweist, die senkrecht zum einfallenden Lichtstrahl steht. Natürlich existiert, wenn eine Mikrospiegel-seite ihre Richtung ändert, ein zwar kleiner Punkt, an dem die Seite, wenn auch nur momentan, als senkrecht aufgefaßt werden kann. Wenn hier festgestellt wird, daß keine der Seiten senkrecht ist, so soll damit zum Ausdruck kommen, daß keine wesentlichen Abschnitte existieren, die senkrecht sind, oder daß wenigstens keine solche wesentlichen Abschnitte auf der Vorderseite und der Rückseite des Mikrospiegels vorhanden sind. Selbst wenn sich die Richtung der Vorderseiten graduell ändert (oder ein Abschnitt der Rückseite senkrecht zu dem einfallenden Lichtstrahl liegt, wie in [Fig. 29](#) dargestellt), so wird dennoch bevorzugt, daß niemals mehr als die Hälfte der Vorderseite senkrecht zum einfallenden Lichtstrahl steht, noch bevorzugter nicht mehr als ein Viertel, und am meisten bevorzugt ein Zehntel oder weniger. Je kleiner der Anteil der Vorder- und Rückseite ist, der senkrecht zum einfallenden Lichtstrahl steht, desto größer ist die Verbesserung des Kontrastverhältnisses.

[0104] Viele der Mikrospiegel-Ausführungsformen können betrachtet werden als Anordnung aus einem oder mehreren Parallelogrammen (z.B. identische Parallelogramme). Wie in der [Fig. 27A](#) zu sehen ist, ist ein einzelnes Parallelogramm für die Verminderung von Lichtbeugung wirkungsvoll, da es keine Seiten aufweist, die senkrecht zum einfallenden Lichtstrahl stehen (wobei der Lichtstrahl auf der Seite von unten nach oben läuft und außerhalb der Seitenebene seinen Ursprung hat). [Fig. 27A](#) zeigt ein einzelnes Parallelogramm mit einem horizontalen Pfeil, der die Breite "d" des Parallelogramms kennzeichnet. Die Schaltachse des Mikrospiegels in [Fig. 27A](#) (und in den [Fig. 27B](#) bis [Fig. 27F](#)) verläuft ebenfalls in dieser horizontalen Richtung. Beispielsweise kann die Schaltachse entlang der gepunkteten Linie in [Fig. 27A](#) verlaufen. Die [Fig. 27B](#) und [Fig. 27C](#) zeigen Mikrospiegel-Formen mit zwei und drei Parallelogrammen, wobei jedes nachfolgende Parallelogramm dieselbe Form, Größe und Erscheinung hat, wie das vorhergehende. Diese Anordnung bildet eine "sägezahnförmige" Vorder- und Rückseite des Mikrospiegelements. Die [Fig. 27D](#) bis [Fig. 27F](#) stellen zwei bis vier Parallelogramme dar. Allerdings ist in den [Fig. 27D](#) bis [Fig. 27F](#) jedes nachfolgende Parallelogramm ein Mikrospiegelbild des vorgehenden, statt dasselbe Bild zu sein. Diese Anordnung bildet "zickzackförmige" Vorder- und Rückseiten des Mikrospiegelements. Es sollte erwähnt werden, daß die Parallelogramme nicht alle dieselbe Breite aufweisen müssen, und das eine Linie, die die Spitzen der sägezahnförmigen oder zickzackförmigen Seiten verbindet, nicht senkrecht zum einfallenden Lichtstrahl sein

muß. Die Breite jedes Parallelogramms ist, falls diese so konstruiert sind, daß sie dieselbe Breite aufweisen, $d = M/N$, wobei M die gesamte Mikrospiegelbreite ist und N die Anzahl der Parallelogramme. Mit zunehmender Anzahl der Parallelogramme nimmt die Breite "d" ab (unter Annahme einer konstanten Mikrospiegelbreite). Allerdings sollte die Breite "d" vorzugsweise wesentlich größer sein als die Wellenlänge des einfallenden Lichts. Um das Kontrastverhältnis hoch zu halten, sollte die Anzahl N der Parallelogramme (oder die Häufigkeit der Richtungsänderungen der Vorderseiten des Mikrospiegels) kleiner oder gleich $0.5 M/\lambda$ sein, oder vorzugsweise kleiner oder gleich $0.2 M/\lambda$, oder sogar kleiner oder gleich $0.1 M/\lambda$, wobei λ die Wellenlänge des einfallenden Lichts ist. Wenngleich in [Fig. 27](#) die Anzahl der Parallelogramme zwischen eins und vier liegt, ist dennoch jede beliebige Anzahl möglich, obgleich 15 oder weniger, und bevorzugt 10 oder weniger zu einem besseren Kontrastverhältnis führt. Die Anzahl der Parallelogramme in [Fig. 27](#) ist die am meisten bevorzugte (4 oder weniger).

[0105] Wie in [Fig. 28](#) zu sehen ist, sind Gelenke (oder Biegeelemente) **191**, **193** in derselben Ebene wie das Mikrospiegelement **190** angeordnet. Ein einfallender Lichtstrahl **195** von einer Lichtquelle außerhalb der Ebene der [Fig. 28](#) trifft auf die vorderen Seiten des Mikrospiegels **190** auf, von denen keine senkrecht ist. Vorzugsweise steht kein Abschnitt der Gelenke senkrecht zum einfallenden Lichtstrahl, so daß die Lichtbeugung in Richtung der Mikrospiegelschaltung verringert wird.

[0106] Es sollte auch bemerkt werden, daß die "geraden" Mikrospiegel-seiten, die so dargestellt sind, daß sie parallel zu den Seiten des aktiven Bereichs liegen (z.B. die Mikrospiegel-seiten **194**, **196** aus [Fig. 28](#)) auch andere Formen aufweisen können. Obige [Fig. 21](#) ist ein Beispiel, bei dem keine Mikrospiegel-seiten parallel zum einfallenden Lichtstrahl **85** liegen. Die [Fig. 30](#) und [Fig. 31](#) sind weitere Beispiele, bei denen keine Mikrospiegel-seiten senkrecht oder parallel zum einfallenden Lichtstrahl liegen, und die dennoch keine erhöhte Komplexität bei der Adressierung aufweisen, wie dies in [Fig. 22](#) der Fall ist. Einfallendes Licht kann im wesentlichen senkrecht auf eine der vier Seiten des aktiven Bereichs in [Fig. 30](#) gerichtet werden (siehe Pfeile **1-4**), ohne daß es senkrecht auf eine der Mikrospiegel-seiten einfällt. Dieses einzigartige Merkmal liegt auch in der in [Fig. 31](#) dargestellten Anordnung vor. Zudem ist es auch möglich, daß ein Abschnitt des vorderen Randes jedes Mikrospiegels senkrecht zum einfallenden Lichtstrahl steht und ein Abschnitt nicht senkrecht steht, wie in [Fig. 29](#) zu sehen ist.

[0107] Die [Fig. 32A](#) bis [Fig. 32J](#) stellen mögliche Gelenke für die Mikrospiegel der vorliegenden Erfindung dar. Wie bei [Fig. 24](#) stellt [Fig. 32A](#) Mikrospiegel

mit Biegeelementen **96** dar, die sich parallel zum einfallenden Lichtstrahl erstrecken (in dieser Figur von oben betrachtet) und den Mikrospiegel **97** mit den Haltesäulen **98** verbinden, welche die Mikrospiegelemente auf dem Substrat tragen. Das einfallende Licht kann in Richtung der Pfeile **5** oder **6** in [Fig. 32A](#) auf die Anordnung gerichtet werden (von oben betrachtet). Natürlich würde das einfallende Licht seinen Ursprung außerhalb der Ebene haben (siehe [Fig. 11A](#) bis 11E). Ein derartig einfallendes Licht wäre dasselbe für die [Fig. 32B](#) bis 32L. Die [Fig. 32C](#) bis [Fig. 32E](#) sind weitere Ausführungsbeispiele dieses Gelenktyps. Die [Fig. 32F](#) bis 32L sind Darstellungen weiterer Gelenk- und Mikrospiegel-Ausführungsformen, bei denen, mit Ausnahme der [Fig. 32J](#), die Gelenke sich nicht parallel zum einfallenden Lichtstrahl erstrecken (oder zur Vorderseite des aktiven Bereichs) erstrecken, die aber dennoch bewirken, daß die Mikrospiegel sich um eine Rotationsachse drehen können, die senkrecht zum einfallenden Lichtstrahl steht.

[0108] Wenn die Mikrospiegelseiten, die parallel zur Rotationsachse des Mikrospiegels (und senkrecht zum einfallenden Lichtstrahl) liegen, nicht minimiert sind, dann wird Licht, das von solchen Mikrospiegelseiten gebeugt wird, selbst dann durch die Sammeloptik treten, wenn der Mikrospiegel im "AUS"-Zustand ist, wodurch das Kontrastverhältnis reduziert wird. Wie in [Fig. 33A](#) zu sehen ist, schneidet ein Beugungsmuster (das bewirkt wird durch die Beleuchtung einer Anordnung aus im wesentlichen quadratischen Mikrospiegeln, wie jenen aus [Fig. 20](#), in einem Winkel von 90 Grad zur Vorderseite der Anordnung) in der Form eines "+" den Eintrittskegel (den Kreis in der Figur). Das Beugungsmuster kann in dieser Figur als eine Reihe dunkler Punkte erkannt werden (mit einem entsprechend helleren Hintergrund), die eine vertikale und eine horizontale Linie bilden, die sich knapp unterhalb des Eintrittskegels kreuzen, der als eine kreisförmige durchgezogene schwarze Linie dargestellt ist, die über dem Beugungsmuster liegt. Im "EIN"-Zustand der Mikrospiegel würden sich die zwei Beugungslinien im Eintrittskegel kreuzen, was hier aber nicht gezeigt ist. Deshalb wird, wie in [Fig. 33A](#) zu sehen ist, die vertikale Beugungslinie in den Eintrittskegel der Sammeloptik selbst dann eintreten, wenn der Mikrospiegel in dem "AUS"-Zustand ist, wodurch das Kontrastverhältnis beeinträchtigt wird. [Fig. 33B](#) ist ein Beugungsmuster, das durch Beleuchtung einer Anordnung aus quadratischer Mikrospiegel in einem Winkel von 45 Grad erzeugt wird. Wie in [Fig. 33B](#) zu sehen ist, gelangt im Vergleich zu [Fig. 33A](#) weniger Beugungslicht in den Eintrittskegel (der kleine durchgezogene schwarze Kreis in [Fig. 33B](#)). Obwohl, wie oben erwähnt, die Beugung mittels solch einer Beleuchtung verringert werden kann, können jedoch andere Probleme auftreten.

[0109] Im Gegensatz dazu hat das Beugungsmus-

ter der vorliegenden Erfindung (der Mikrospiegel aus [Fig. 28](#) im "AUS"-Zustand), wie in [Fig. 33C](#) zu sehen ist, keine Beugungslinie, die durch den Eintrittskegel der Sammeloptik läuft oder anderweitig in den Raumbereich eintritt, in den Licht gelenkt wird, wenn der Mikrospiegel sich im "EIN"-Zustand befindet. So wird im wesentlichen kein Licht in den Bereich gebeugt, in den Licht gelenkt wird, wenn sich der Mikrospiegel in dem "EIN"-Zustand befindet. Eine Mikrospiegelanordnung, die ein derartiges Beugungsmuster erzeugt, bei dem Beleuchtungslicht senkrecht zu den Seiten des aktiven Bereichs der Anordnung (und/oder senkrecht zu den Spalten oder Zeilen), ist neu. Ebenso sind auch die Mikrospiegel-Ausgestaltungen, die hierfür vorgesehene Gelenke, die Anordnung der Lichtquelle gegenüber den Mikrospiegeln, den Seiten des aktiven Bereichs und/oder die Adressierung von Zeilen und Spalten ebenfalls neu.

[0110] Die Erfindung wurde anhand spezieller Ausführungsbeispiele beschrieben. Trotzdem wird der Fachmann erkennen, daß im Lichte der hier beschriebenen Ausführungsbeispiele viele Abänderungen möglich sind. Beispielsweise könnten die Formen der Mikrospiegel der vorliegenden Erfindung für Mikrospiegel in einem optischen Schalter verwendet werden (wie er beispielsweise offenbart ist in der US-Patentanmeldung 09/617,149 von Huibers et al. mit Anmeldetag 17. Juli 2000 und der vorläufigen US-Patentanmeldung 60/231,041 von Huibers mit Anmeldetag 8. September 2000, die beide durch Verweis hier einbezogen seinen), um die Beugung im Schalter zu verringern. Zudem könnten die Mikrospiegel der vorliegenden Erfindung auch gemäß Strukturen und Verfahren hergestellt werden, wie sie in der US-Patentanmeldung 09/767,632 von True et al. mit Anmeldetag 22. Januar 2001, der US-Patentanmeldung 09/631,536 von Huibers et al. mit Anmeldetag 3. August 2000, der US-Patentanmeldung 60/293,092 von Patel et al. mit Anmeldetag 22. Mai 2001, und der US-Patentanmeldung 06/637,479 von Huibers et al. mit Anmeldetag 11. August 2000 dargelegt sind. Wenngleich in einem Projektionsdisplay das die Mikrospiegel der vorliegenden Erfindung einbezieht ein herkömmliches Rot/Grün/Blau- oder Rot/Grün/Blau/Weiß-Farbrad verwendet werden kann, können auch andere Farbräder verwendet werden, wie sie beispielsweise offenbart sind in den vorläufigen US-Patentanmeldungen 60/267,648 von Huibers mit Anmeldetag 9. Februar 2001 und 60/266,780 von Richards et al. mit Anmeldetag 6. Februar 2001, die beide durch Verweis hier einbezogen seien.

[0111] Zudem ist die vorliegende Erfindung auch geeignet für ein Verfahren, das ein entfernbares (und ersetzbares) Substrat für Trennungs- und Montagezwecke verwendet, wie es in der vorläufigen US-Patentanmeldung 60/276,222 von Patel et al. mit Anmeldetag 15. März 2001 dargelegt ist. Zudem können

die Mikrospiegel der vorliegenden Erfindung in einer Anordnung durch Pulsbreitenmodulation angesteuert werden, wie dies in US-Patentanmeldung 09/564,069 von Richards mit Anmeldetag 3. Mai 2000 dargelegt ist, die durch Verweis hier einbezogen sei. Falls ferner Interhalogene oder Edelgasfluoride als Ätzmittel verwendet werden, um die Mikrospiegel freizulegen, können ferner Verfahren verwendet werden, wie sie in den US-Patentanmeldungen 09/427,841 von Patel et al. mit Anmeldetag 26. Dezember 1999 und 09/649,569 von Patel et al. mit Anmeldetag 28. August 2000 dargelegt sind, die beide durch Verweis hier einbezogen seien. Auch können die Opfermaterialien und die Verfahren zu deren Entfernung solche sein, die in der US-Patentanmeldung 60/298,529 von Reid et al. mit Anmeldetag 15. Juni 2001 dargelegt sind. Zudem können auch andere Strukturmaterialien verwendet werden, wie beispielsweise die MEMS-Materialien, die in der US-Patentanmeldung 60/228,007 mit Anmeldetag 23. August 2000 und der US-Patentanmeldung 60/300,533 mit Anmeldetag 22. Juni 2001 dargelegt sind. Jede der obigen Patente und Patentanmeldungen sei durch Verweis hier einbezogen.

[0112] Über die gesamte Anmeldung hinweg wurden Strukturen oder Schichten als lokalisiert "auf" (oder abgeschieden auf) oder über, oberhalb, benachbart zu bzw. angrenzend an, etc. anderen Strukturen oder Schichten beschrieben. Es sollte bemerkt sein, daß damit sowohl direkt als auch indirekt auf, über, oberhalb, benachbart zu bzw. angrenzend an, etc. gemeint ist, da in dem Technikgebiet bekannt ist, daß verschiedene Zwischenschichten oder Strukturen vorgesehen werden könnten, die Dichtungsschichten, Haftvermittlungsschichten, elektrisch leitfähige Schichten, Schichten zur Verminderung von Haftreibung, und dergleichen beinhalten, ohne auf diese beschränkt zu sein. Ebenso können Strukturen wie das Substrat oder eine Schicht aufgrund zusätzlicher Strukturen oder Schichten laminatartig aufgebaut sein. Wenn die Ausdrücke "wenigstens ein" oder "einer oder mehrere" (oder ähnliche) verwendet werden, so soll damit die potentielle Vielfachheit der speziellen Struktur oder Schicht betont werden, wobei diese Ausdrücke in keiner Weise vermitteln sollen, daß auch in anderen Fällen, in denen dies nicht derart ausdrücklich dargelegt ist, Mehrfachstrukturen oder Mehrfachschichten verwendet werden können. Ebenso sollte die Verwendung des Ausdrucks "direkt oder indirekt" nicht dahingehend beschränkend verstanden werden, daß in anderen Fällen, in denen dieser Ausdruck nicht verwendet wird, nur entweder direkt oder indirekt gemeint ist. Auch werden die Ausdrücke "MEM5", "mikromechanisch" und "mikroelektromechanisch" hier austauschbar verwendet, und die Struktur kann eine elektrische Komponente aufweisen, oder auch nicht.

Schutzansprüche

1. Gepacktes Mikrospiegel-Array, umfassend: ein Gehäuse, das ein Array aus Mikrospiegeln umfaßt, wobei jeder Mikrospiegel eine vierseitige Form aufweist, die durch vier Mikrospiegelseiten definiert ist; wobei die Mikrospiegel in der Lage sind, sich durch Pulsbreitenmodulation zwischen einem Aus-Zustand und einem Ein-Zustand zu bewegen, um ein Bild auf einem Ziel zu erzeugen; wobei das Gehäuse ferner ein lichtdurchlässiges Fenster aufweist, wobei das Array aus Mikrospiegeln in dem Gehäuse mit dem lichtdurchlässigen Fenster angeordnet ist; wobei das Array aus Mikrospiegeln ein rechteckiges Array ist; wobei keine der vier Mikrospiegelseiten jedes Mikrospiegels parallel zu einer der Seiten des rechteckigen Arrays ist; und wobei die Mikrospiegel Mikrospiegelplatten umfassen, die über Gelenke mit einem Substrat verbunden sind, und wobei das Substrat, die Mikrospiegelplatten und die Gelenke in unterschiedlichen Ebenen angeordnet sind.
2. Gepacktes Mikrospiegel-Array nach Anspruch 1, bei dem das Mikrospiegel-Array in einem Gehäuse angeordnet und Schaltkreise und Elektroden auf einem Halbleitersubstrat aufweist, sowie Bonding-Drähte zur elektrischen Verbindung des Substrats mit dem Gehäuse.
3. Gepacktes Mikrospiegel-Array nach Anspruch 1 oder 2, bei dem jeder Mikrospiegel eine Schaltachse aufweist, die im wesentlichen parallel zu wenigstens einer Seite des Arrays liegt.
4. Gepacktes Mikrospiegel-Array nach einem der vorstehenden Ansprüche, bei dem jeder Mikrospiegel eine Schaltachse aufweist, die in einem Winkel von 35 bis 60 Grad zu allen Seiten der Mikrospiegel liegt.
5. Gepacktes Mikrospiegel-Array nach einem der vorstehenden Ansprüche, bei dem sich Gelenke der Mikrospiegel parallel zu Vorder- und Rückseiten des Mikrospiegel-Arrays erstrecken.
6. Gepacktes Mikrospiegel-Array nach einem der vorstehenden Ansprüche, bei dem der Mikrospiegel eine Auflösung von 1,920,000 oder mehr aufweist.
7. Gepacktes Mikrospiegel-Array nach einem der Ansprüche 1 bis 5, bei dem 64,000 bis 2,000,000 Mikrospiegel in dem Array vorgesehen sind.
8. Gepacktes Mikrospiegel-Array nach einem der Ansprüche 1 bis 5, bei dem 2,000,000 bis 3,000,000 Mikrospiegel in dem Array vorgesehen sind.

9. Gepacktes Mikrospiegel-Array nach einem der vorstehenden Ansprüche, bei dem das Mikrospiegel-Array eine Fläche von 1 cm² bis 1 in² aufweist.

10. Gepacktes Mikrospiegel-Array nach einem der vorstehenden Ansprüche, bei dem die Mikrospiegel kachelförmig aneinanderliegen.

11. Gepacktes Mikrospiegel-Array nach einem der vorstehenden Ansprüche, bei dem die Mikrospiegel rechteckig sind.

12. Gepacktes Mikrospiegel-Array nach einem der vorstehenden Ansprüche, bei dem die Mikrospiegel quadratisch sind.

13. Gepacktes Mikrospiegel-Array nach einem der vorstehenden Ansprüche, bei dem das Gehäuse ein hermetisches Gehäuse ist.

14. Gepacktes Mikrospiegel-Array nach einem der Ansprüche 1 bis 13, bei dem das Gehäuse ein teilweise hermetisches Gehäuse ist.

15. Gepacktes Mikrospiegel-Array nach einem der vorstehenden Ansprüche, bei dem in dem Gehäuse ein molekularer Scavenger vorgesehen ist.

16. Gepacktes Mikrospiegel-Array nach einem der vorstehenden Ansprüche, bei dem die Mikrospiegel Metall und ein dielektrisches Material umfassen, wobei das dielektrische Material ein Nitrid, Carbid oder Oxid von Silizium ist.

17. Gepacktes Mikrospiegel-Array nach einem der vorstehenden Ansprüche, bei dem die Dicke der Mikrospiegelplatte zwischen 200 und 7300 Ångström beträgt.

18. Gepacktes Mikrospiegel-Array nach einem der vorstehenden Ansprüche, bei dem jeder Mikrospiegel ein Gelenk und eine Mikrospiegelplatte aufweist, die in unterschiedlichen Ebenen angeordnet sind, und wobei das Gelenk eine Breite von 0.1 bis 10 Mikrometer aufweist.

19. Gepacktes Mikrospiegel-Array nach einem der vorstehenden Ansprüche, bei dem mehrere vertikale Leitungen, die einem Satz von Adressierungsspalten entsprechen, von jeweiligen Mikrospiegeln in der Zeile ausgehen und mit jeder zweiten Zeile aus Mikrospiegeln verbunden sind; und/oder bei dem horizontale Leitungen, die Adressierungszeilen entsprechen, von jeweiligen Mikrospiegeln in der Spalte ausgehen und mit jeder zweiten Spalte aus Mikrospiegeln verbunden sind.

20. Gepacktes Mikrospiegel-Array nach einem der vorstehenden Ansprüche, bei dem die Mikrospiegel so positioniert sind, daß keine Mikrospiegel auf ei-

nem Raster zu horizontalen und vertikalen Achsen des rechteckigen Arrays geneigt ausgerichtet sind.

21. Gepacktes Mikrospiegel-Array nach einem der vorstehenden Ansprüche, bei dem die Mikrospiegel in der Lage sind, um wenigstens +12 Grad in die Ein-Position zu rotieren.

22. Gepacktes Mikrospiegel-Array nach einem der vorstehenden Ansprüche, das weiter eine lichtabsorbierende Schicht unter den Mikrospiegeln aufweist, um Lichtstreuung durch die Spalte zwischen den Mikrospiegeln zu verringern.

23. Gepacktes Mikrospiegel-Array nach einem der vorstehenden Ansprüche, bei dem ein erster Spalt zwischen dem Substrat und dem Gelenk ausgebildet ist, und ein zweiter Spalt zwischen dem Gelenk und der Mikrospiegelplatte ausgebildet ist.

24. Gepacktes Mikrospiegel-Array nach einem der vorstehenden Ansprüche, bei dem eine Maske als Teil des Gehäuses vorgesehen ist.

25. Gepacktes Mikrospiegel-Array nach Anspruch 24, bei dem die Maske auf dem Gehäusefenster ausgebildet ist und sich um einen Außenbereich des Mikrospiegel-Arrays erstreckt.

26. Gepacktes Mikrospiegel-Array nach einem der vorstehenden Ansprüche, das weiter einen Get-ter aufweist.

27. Gepacktes Mikrospiegel-Array nach einem der vorstehenden Ansprüche, das weiter ein Mittel zur Haftreibungsverminderung aufweist.

28. Gepacktes Mikrospiegel-Array, umfassend: ein Gehäuse, das ein Array aus Mikrospiegeln umfaßt, wobei jeder Mikrospiegel eine vierseitige Form aufweist, die durch vier Mikrospiegelseiten definiert ist; wobei die Mikrospiegel in der Lage sind, sich durch Pulsbreitenmodulation zwischen einem Aus-Zustand und einem Ein-Zustand zu bewegen, um ein Bild auf einem Ziel zu erzeugen; wobei das Gehäuse ferner ein lichtdurchlässiges Fenster aufweist, wobei das Array aus Mikrospiegeln in dem Gehäuse mit dem lichtdurchlässigen Fenster angeordnet ist; wobei das Array aus Mikrospiegeln ein rechteckiges Array ist; wobei keine der vier Mikrospiegelseiten jedes Mikrospiegels zu einer der Seiten des rechteckigen Arrays parallel ist; und wobei das gepackte Mikrospiegel-Array im HDTV-Format ist.

29. Gepacktes Mikrospiegel-Array nach Anspruch 28, bei dem das Mikrospiegel-Array in einem

Gehäuse angeordnet ist und Schaltkreise und Elektroden auf einem Halbleitersubstrat aufweist, sowie Bonding-Drähte zur elektrischen Verbindung des Substrats mit dem Gehäuse.

30. Gepacktes Mikrospiegel-Array nach einem der Ansprüche 28 bis 29, bei dem jeder Mikrospiegel eine Schaltachse aufweist, die im wesentlichen parallel zu wenigstens einer Seite des Arrays liegt.

31. Gepacktes Mikrospiegel-Array nach einem der Ansprüche 28 bis 30, bei dem jeder Mikrospiegel eine Schaltachse aufweist, die in einem Winkel von 35 bis 60 Grad zu allen Seiten des Mikrospiegels liegt.

32. Gepacktes Mikrospiegel-Array nach einem der Ansprüche 28 bis 31, bei dem sich Gelenke der Mikrospiegel parallel zu Vorder- und Rückseiten des Mikrospiegel-Arrays erstrecken.

33. Gepacktes Mikrospiegel-Array nach einem der Ansprüche 28 bis 32, bei dem der Mikrospiegel eine Auflösung von 1,920,000 oder mehr aufweist.

34. Gepacktes Mikrospiegel-Array nach einem der Ansprüche 28 bis 32, bei dem 64, 000 bis 2, 000, 000 Mikrospiegel in dem Array vorgesehen sind.

35. Gepacktes Mikrospiegel-Array nach einem der Ansprüche 28 bis 32, bei dem 2,000,000 bis 3,000,000 Mikrospiegel in dem Array vorgesehen sind.

36. Gepacktes Mikrospiegel-Array nach einem der Ansprüche 28 bis 35, bei dem das Mikrospiegel-Array eine Fläche von 1 cm² bis 1 in² aufweist.

37. Gepacktes Mikrospiegel-Array nach einem der Ansprüche 28 bis 26, bei dem die Mikrospiegel kachelförmig aneinanderliegen.

38. Gepacktes Mikrospiegel-Array nach einem der Ansprüche 28 bis 37, bei dem die Mikrospiegel rechteckig sind.

39. Gepacktes Mikrospiegel-Array nach einem der Ansprüche 28 bis 38, bei dem die Mikrospiegel quadratisch sind.

40. Gepacktes Mikrospiegel-Array nach einem der Ansprüche 28 bis 39, bei dem das Gehäuse ein hermetisches Gehäuse ist.

41. Gepacktes Mikrospiegel-Array nach einem der Ansprüche 28 bis 39, bei dem das Gehäuse ein teilweise hermetisches Gehäuse ist.

42. Gepacktes Mikrospiegel-Array nach einem der Ansprüche 28 bis 41, bei dem ein molekularer

Scavenger in dem Gehäuse vorgesehen ist.

43. Gepacktes Mikrospiegel-Array nach einem der Ansprüche 28 bis 42, bei dem die Mikrospiegel Metall und ein dielektrisches Material umfassen, wobei das dielektrische Material ein Nitrid, Carbid oder Oxid von Silizium ist.

44. Gepacktes Mikrospiegel-Array nach einem der Ansprüche 28 bis 43, bei dem die Dicke der Mikrospiegelplatte zwischen 200 bis 7300 Ångström beträgt.

45. Gepacktes Mikrospiegel-Array nach einem der Ansprüche 28 bis 44, bei dem jeder Mikrospiegel ein Gelenk und eine Mikrospiegelplatte aufweist, die in unterschiedlichen Ebenen angeordnet sind, und wobei das Gelenk eine Breite von 0.1 bis 10 Mikrometer aufweist.

46. Gepacktes Mikrospiegel-Array nach einem der Ansprüche 28 bis 45, bei dem mehrere vertikale Leitungen, die einem Satz von Adressierungsspalten entsprechen, von jeweiligen Mikrospiegeln in der Zeile ausgehen und mit jeder zweiten Zeile aus Mikrospiegeln verbunden sind; und/oder bei dem horizontale Leitungen, die Adressierungszeilen entsprechen, von jeweiligen Mikrospiegeln in der Spalte ausgehen und mit jeder zweiten Spalte aus Mikrospiegeln verbunden sind.

47. Gepacktes Mikrospiegel-Array nach einem der Ansprüche 28 bis 46, bei dem die Mikrospiegel so positioniert sind, daß keine Mikrospiegel auf einem Gitter zu horizontalen und vertikalen Achsen des rechteckigen Arrays geneigt ausgerichtet sind.

48. Gepacktes Mikrospiegel-Array nach einem der Ansprüche 28 bis 47, bei dem die Mikrospiegel in der Lage sind, um wenigstens +12 Grad in die Ein-Position zu rotieren.

49. Gepacktes Mikrospiegel-Array nach einem der Ansprüche 28 bis 48, das weiter eine lichtabsorbierende Schicht unter den Mikrospiegeln aufweist, um Lichtstreuung durch die Spalte zwischen den Mikrospiegeln zu verringern.

50. Gepacktes Mikrospiegel-Array nach einem der Ansprüche 28 bis 49, bei dem ein erster Spalt zwischen dem Substrat und dem Gelenk ausgebildet ist, und ein zweiter Spalt zwischen dem Gelenk und der Mikrospiegelplatte ausgebildet ist.

51. Gepacktes Mikrospiegel-Array nach einem der Ansprüche 28 bis 50, bei dem eine Maske als Teil des Gehäuses vorgesehen ist.

52. Gepacktes Mikrospiegel-Array nach einem der Ansprüche 28 bis 51, bei dem die Maske auf dem

Gehäusefenster gebildet ist und sich um einen Außenbereich des Mikrospiegel-Arrays erstreckt.

53. Gepacktes Mikrospiegel-Array nach einem der Ansprüche 28 bis 52, das weiter einen Getter aufweist.

54. Gepacktes Mikrospiegel-Array nach einem der Ansprüche 28 bis 53, das weiter ein Mittel zur Haftreibungsverminderung aufweist.

55. Mehrere Mikrospiegel in einem zweidimensionalen Array zur Verwendung in einem Projektions-TV, wobei die Mikrospiegel in dem Array im HDTV-Format angeordnet sind, und wobei mehrere Zeilen-Drähte und Spalten-Drähte vorgesehen sind, um die Mikrospiegel zwischen Ein- und Aus-Zuständen umzusteuern, und wobei die Anzahl der Zeilen-Drähte mal die Anzahl der Spalten-Drähte größer ist als die Anzahl der Mikrospiegel.

56. Mikrospiegel nach Anspruch 55, wobei die Rotationsachse der Mikrospiegel parallel zu einer Seite des Arrays liegt.

57. Mikrospiegel nach einem der Ansprüche 55 bis 56, wobei die Mikrospiegel quadratisch sind.

58. Mikrospiegel nach einem der Ansprüche 55 bis 57, wobei die Mikrospiegel auf einem Raster positioniert sind, das zu X- und Y-Achsen des Arrays geneigt ausgerichtet ist.

59. Mikrospiegel nach einem der Ansprüche 55 bis 58, wobei die Mikrospiegel Mikrospiegelplatten aufweisen, die über Gelenke mit einem Substrat verbunden sind, wobei das Substrat, die Mikrospiegelplatten und die Gelenke in unterschiedlichen Ebenen angeordnet sind.

60. Mikrospiegel nach Anspruch 59, wobei ein erster Spalt zwischen dem Gelenk und der Mikrospiegelplatte ausgebildet ist, und ein zweiter Spalt zwischen der Mikrospiegelplatte und dem Substrat ausgebildet ist.

61. Mikrospiegel nach Anspruch 59, wobei ein erster Spalt zwischen dem Substrat und dem Gelenk ausgebildet ist, und ein zweiter Spalt zwischen dem Gelenk und der Mikrospiegelplatte ausgebildet ist.

62. Mikrospiegel nach einem der Ansprüche 55 bis 61, wobei ein Spalt zwischen benachbarten Mikrospiegeln zwischen 0.1 und 10 Mikrometer aufweist.

63. Mikrospiegel nach einem der Ansprüche 55 bis 62, wobei die Mikrospiegel auf einem Siliziumsubstrat angeordnet sind.

64. Mikrospiegel nach einem der Ansprüche 55 bis 63, wobei die Anzahl der Zeilen-Drähte mal die Anzahl der Spalten-Drähte das Doppelte der Anzahl der Mikrospiegel beträgt.

65. Mikrospiegel nach einem der Ansprüche 55 bis 64, wobei die Ein- und Aus-Positionen der Mikrospiegel durch Strukturen definiert sind, gegen die die Mikrospiegel schlagen.

66. Mikrospiegel nach einem der Ansprüche 55 bis 65, wobei die Ein- und Aus-Stellungen der Mikrospiegel dadurch definiert sind, daß die Mikrospiegel an ein und/oder ein zweites Substrat oder eine darauf befindliche Struktur schlagen.

67. Mikrospiegel nach einem der Ansprüche 55 bis 66, wobei die Mikrospiegel auf einem Substrat benachbart zu Schaltkreisen und Elektroden ausgebildet sind, wobei zu jedem Mikrospiegel wenigstens zwei Elektroden benachbart angeordnet sind, wobei eine Elektrode den benachbarten Mikrospiegel elektrostatisch in eine Aus-Position zieht, und eine andere Elektrode den benachbarten Mikrospiegel elektrostatisch in eine Ein-Position zieht.

68. Mikrospiegel nach einem der Ansprüche 55 bis 67, wobei die Schaltkreise und Elektroden auf demselben Substrat gebildet sind wie die Mikrospiegel.

69. Mikrospiegel nach einem der Ansprüche 55 bis 68, die zudem zusätzliche Elektroden umfassen, um die Bewegung des benachbarten Mikrospiegels zu stoppen, wenn der Mikrospiegel die Ein- oder Aus-Position erreicht.

70. Mikrospiegel nach Anspruch 69, wobei die zusätzlichen Elektroden auf demselben Potential liegen wie der benachbarte Mikrospiegel.

71. Mikrospiegel nach einem der Ansprüche 55 bis 70, wobei die Mikrospiegel Metall und ein dielektrisches Material umfassen.

72. Mikrospiegel nach Anspruch 71, wobei das dielektrische Material ein Nitrid, Carbid oder Oxid von Silizium ist.

73. Mikrospiegel nach einem der Ansprüche 55 bis 72, wobei sich Gelenke der Mikrospiegel parallel zu Vorder- und Rückseiten des Mikrospiegel-Arrays erstrecken.

74. Mikrospiegel nach einem der Ansprüche 55 bis 73, wobei die Mikrospiegel vier dominierende Seiten aufweisen.

75. Mikrospiegel nach einem der Ansprüche 55 bis 74, wobei die Seiten der Mikrospiegel alle diesel-

be Länge aufweisen.

76. Mikrospiegel nach einem der Ansprüche 55 bis 75, wobei die Mikrospiegel kachelförmig aneinanderliegen.

77. Mikrospiegel nach einem der Ansprüche 55 bis 76, wobei der Aus-Zustand der Mikrospiegel bei einem Winkel liegt, der geringer ist als der gegensätzliche Winkel der Mikrospiegel im Ein-Zustand.

78. Mikrospiegel nach einem der Ansprüche 55 bis 77, wobei jeder Mikrospiegel eine Schaltachse aufweist, die im wesentlichen parallel zu wenigstens einer Seite des Arrays liegt.

79. Mikrospiegel nach einem der Ansprüche 55 bis 78, bei denen jeder Mikrospiegel eine Schaltachse aufweist, die in einem Winkel von 35 bis 60 Grad zu allen Seiten des Mikrospiegels liegt.

80. Mikrospiegel nach einem der Ansprüche 55 bis 79, bei denen die Dicke der Mikrospiegelplatte zwischen 200 und 7300 Ångström beträgt.

81. Mikrospiegel nach einem der Ansprüche 55 bis 80, bei denen sowohl die Ein- als auch die Aus-Zustände der Mikrospiegel in einer Stellung liegen, die sich von dem nicht-ausgelenkten Zustand unterscheidet.

82. Mikrospiegel nach einem der Ansprüche 55 bis 81, bei denen die Mikrospiegel über darunterliegende Gelenke mittels eines elektrisch leitfähigen Materials mit einem Substrat verbunden sind, wobei das elektrisch leitfähige Material Aluminium, eine Metalllegierung oder eine leitfähige Keramikverbindung ist.

83. Mikrospiegel nach einem der Ansprüche 55 bis 82, bei denen jeder Mikrospiegel mit einer ersten Elektrode versehen ist, um den Mikrospiegel in eine Ein-Richtung auszulenken, mit einer zweiten Elektrode, um den Mikrospiegel in eine zweite Richtung auszulenken, sowie mit einer dritten Elektrode, um die Bewegung des Mikrospiegels zu stoppen.

84. Mikrospiegel nach einem der Ansprüche 55 bis 83, wobei das Mikrospiegel-Array eine Fläche von 1 cm^2 bis 1 in^2 aufweist.

85. Mikrospiegel nach einem der Ansprüche 55 bis 84, wobei der Mikrospiegel eine Auflösung von 1,920,000 Pixel oder mehr aufweist.

86. Mikrospiegel nach einem der Ansprüche 55 bis 85, wobei keine wesentlichen Mikrospiegelseiten existieren, die senkrecht zu einer der Seiten des Arrays liegen.

87. Mikrospiegel nach einem der Ansprüche 55 bis 86, wobei jeder Mikrospiegel vier im wesentlichen gerade Seiten aufweist, von denen keine parallel zu Vorder- und Rückseiten des rechteckigen Arrays liegt.

Es folgen 52 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

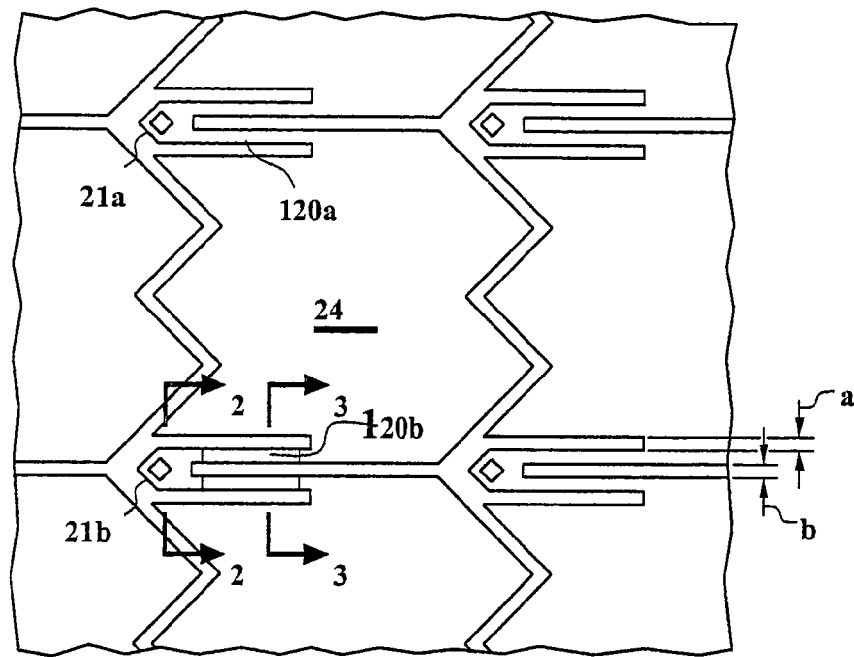


FIG. 1

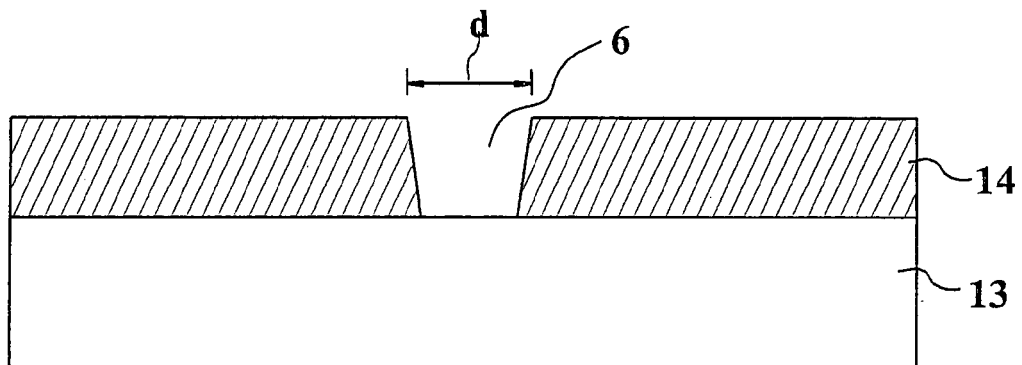


FIG. 2A

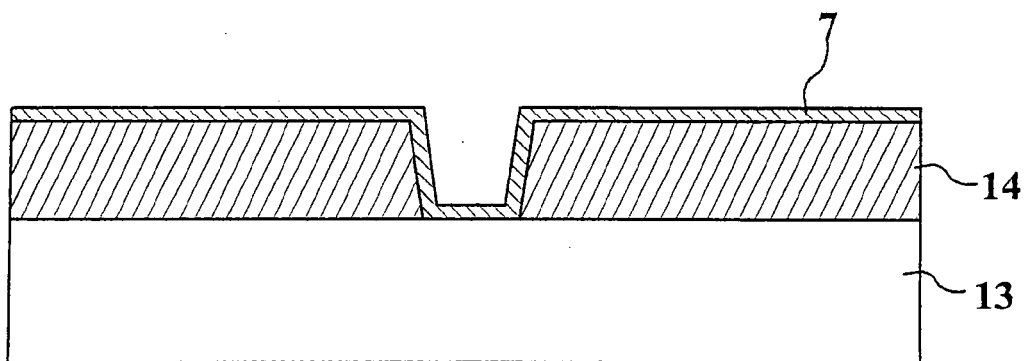


FIG. 2B

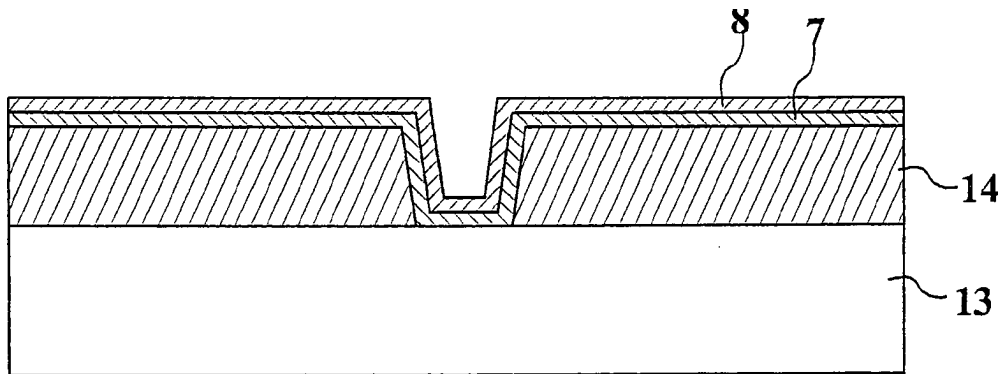


FIG. 2C

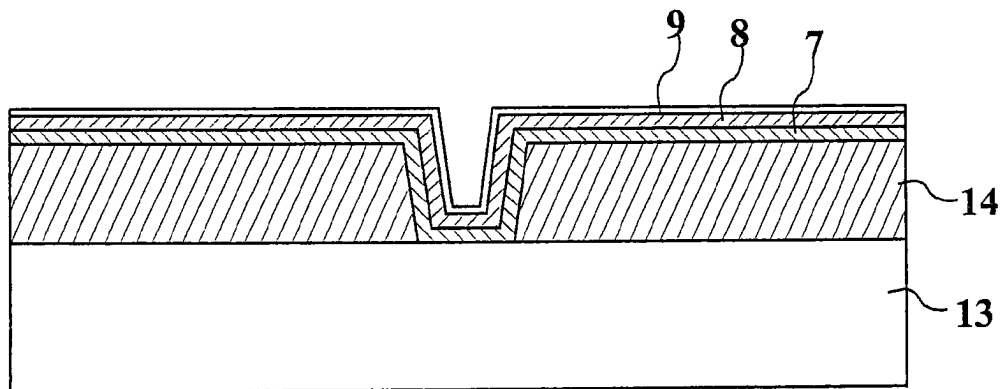


FIG. 2D

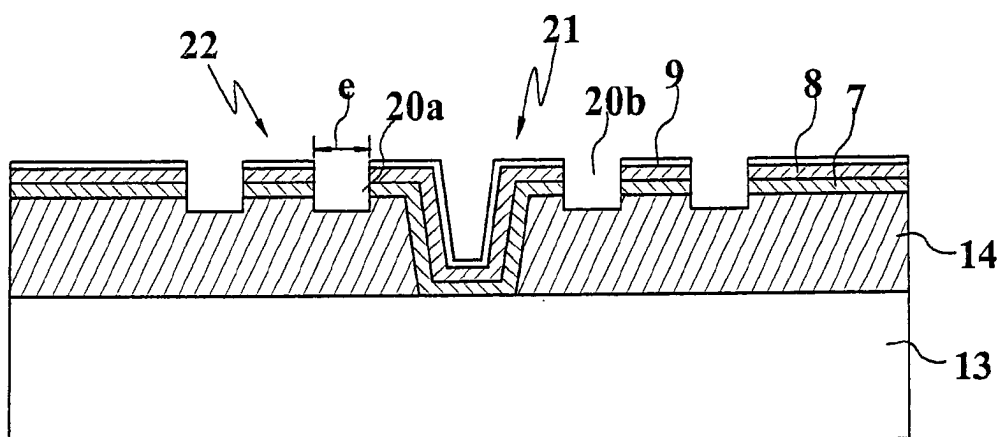


FIG. 2E

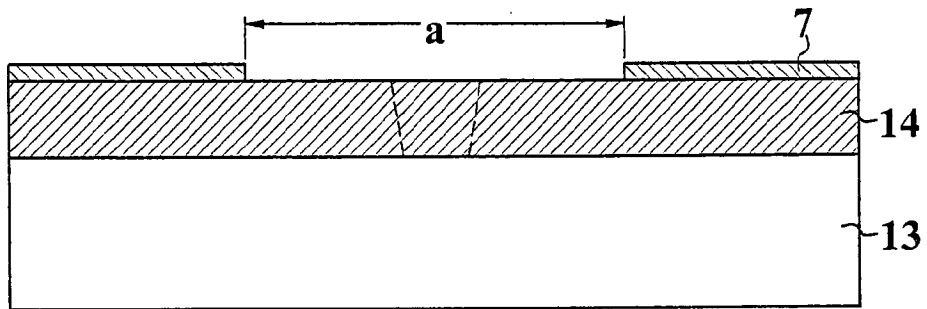


FIG. 3A

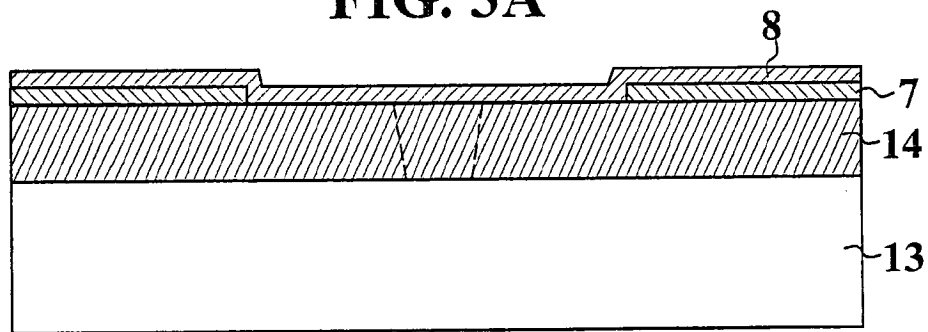


FIG. 3B

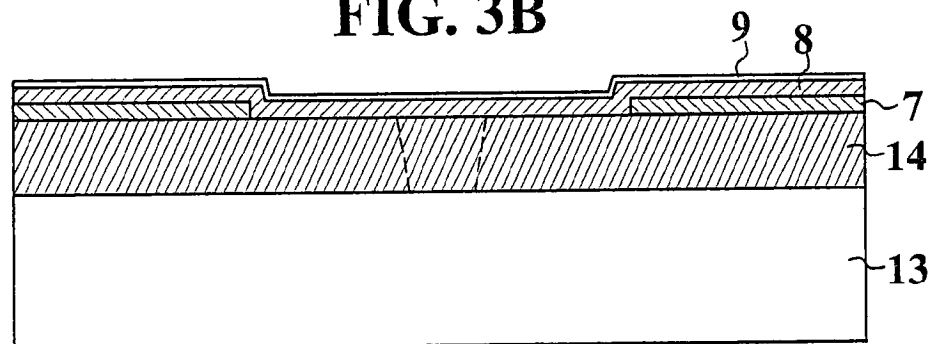


FIG. 3C

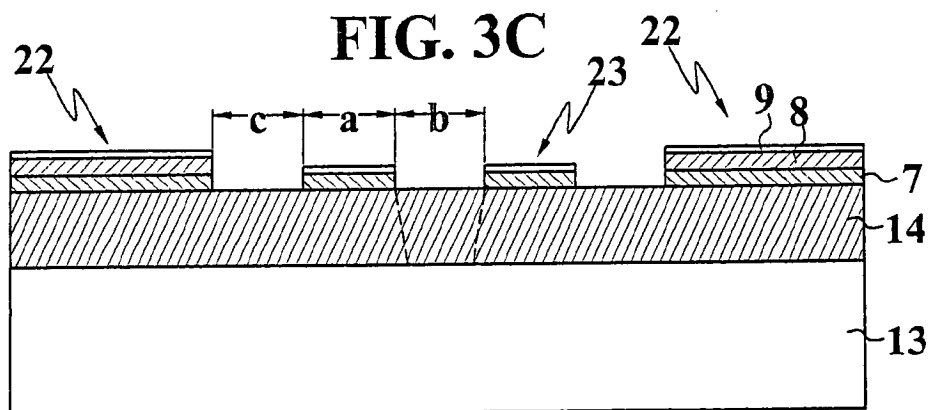


FIG. 3D

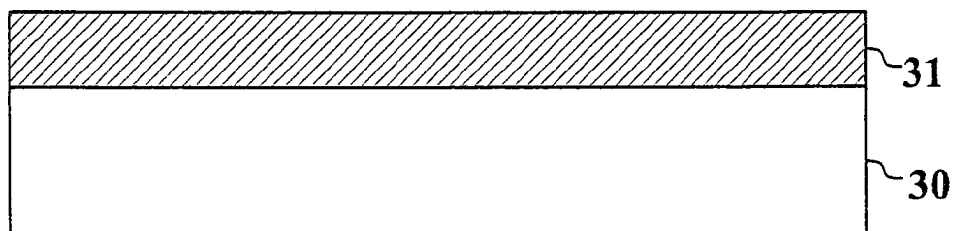


FIG. 4A

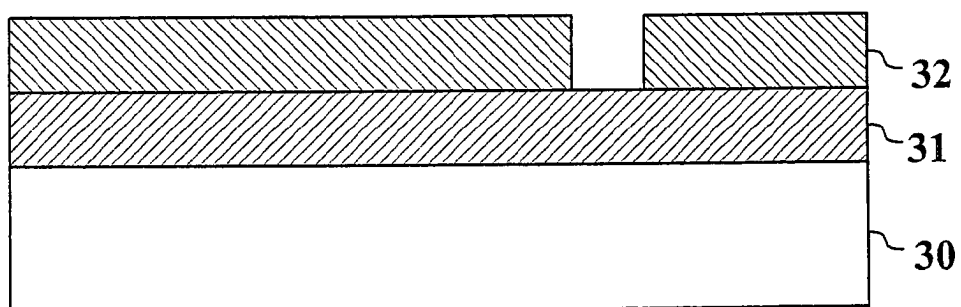


FIG. 4B

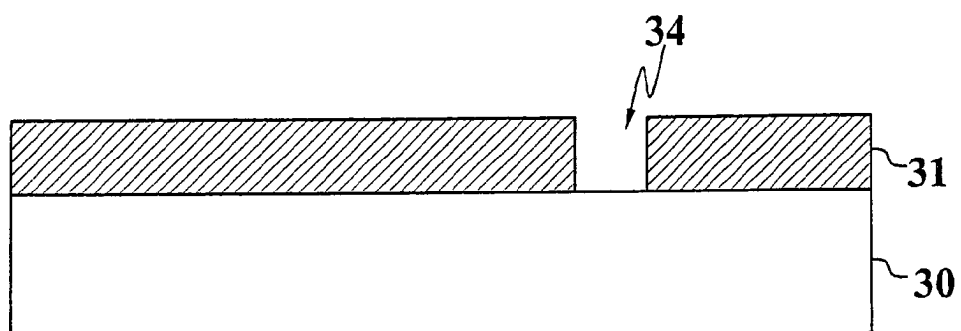


FIG. 4C

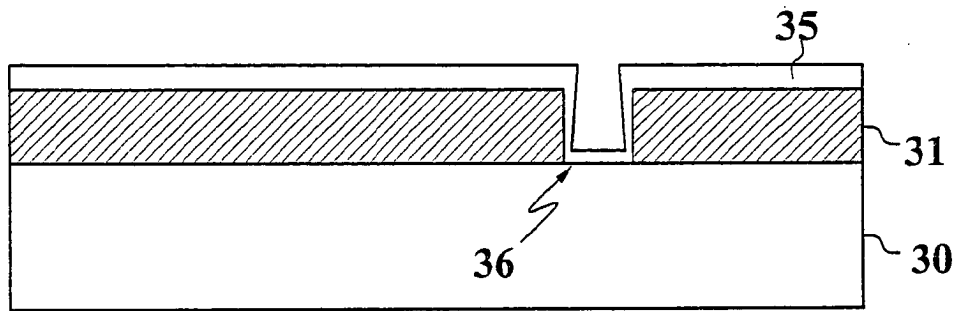


FIG. 4D

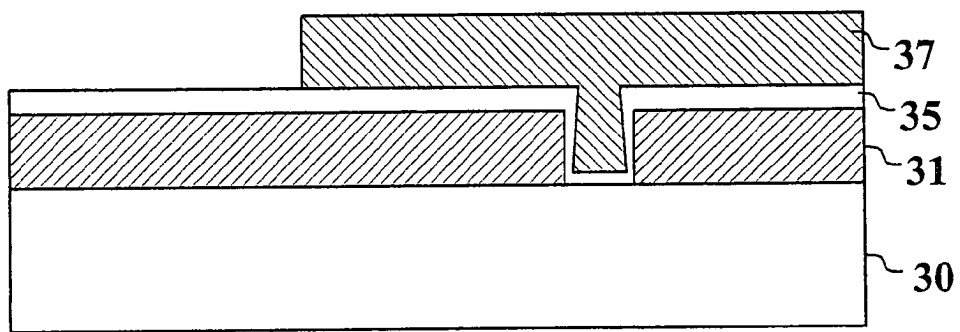


FIG. 4E

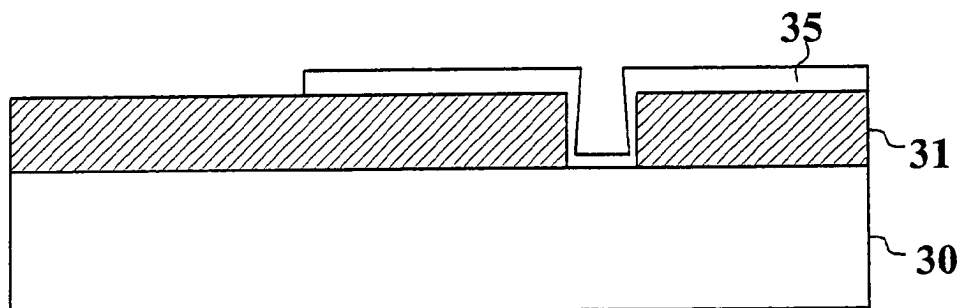


FIG. 4F

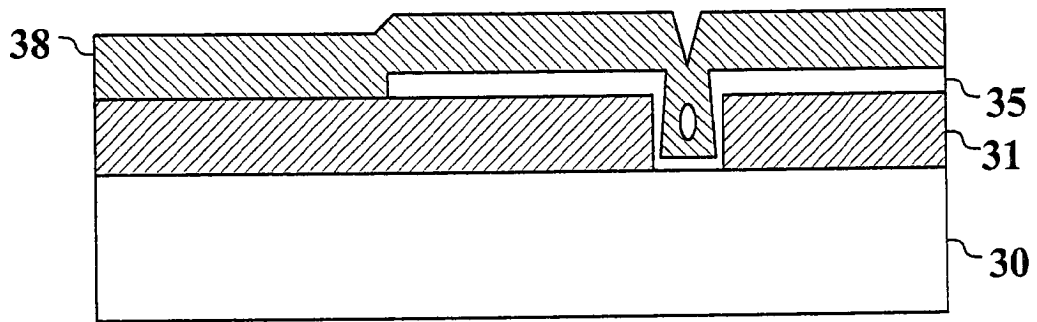


FIG. 4G

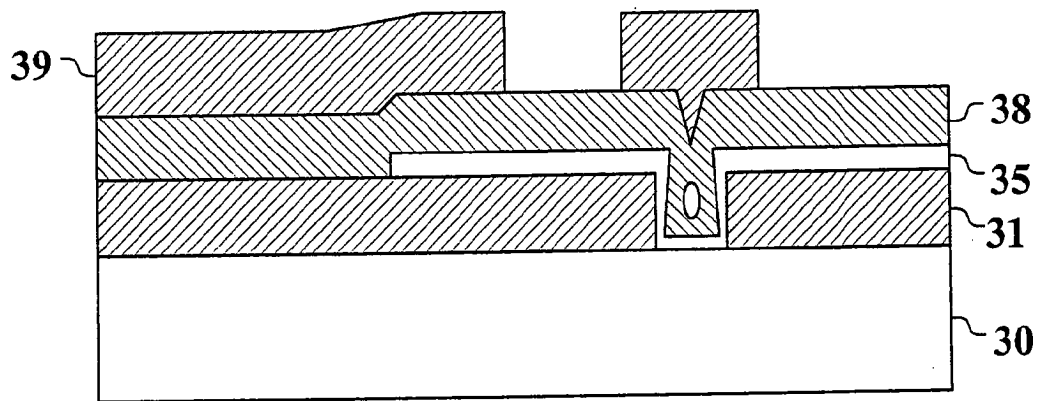


FIG. 4H

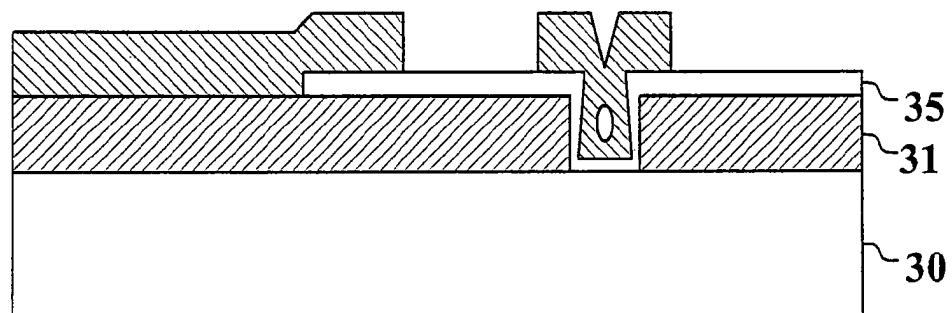


FIG. 4I

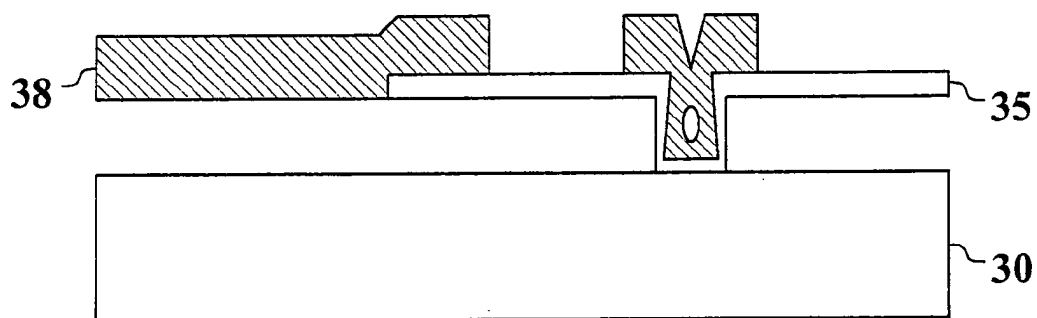


FIG. 4J

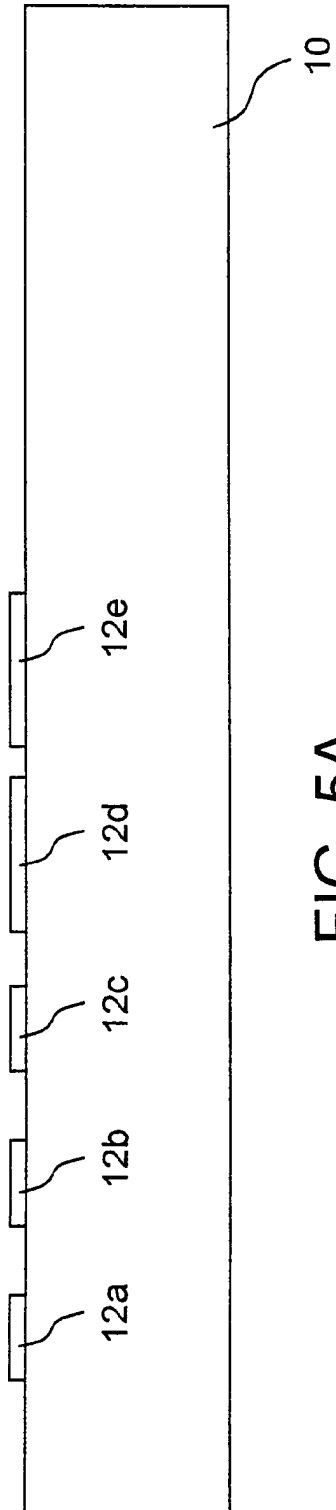


FIG. 5A

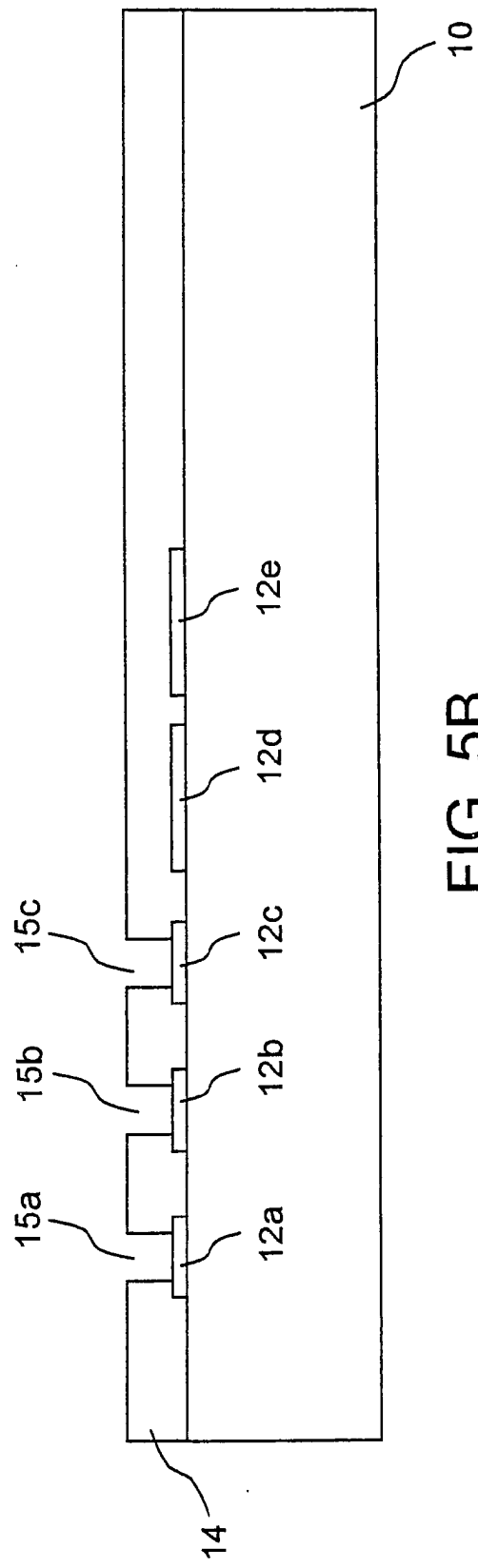


FIG. 5B

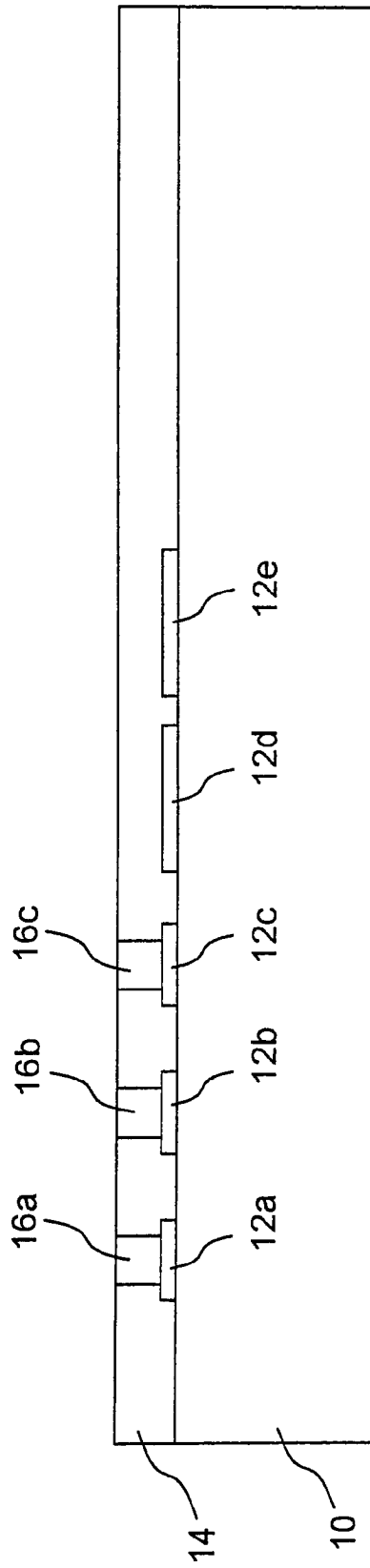


FIG. 5C

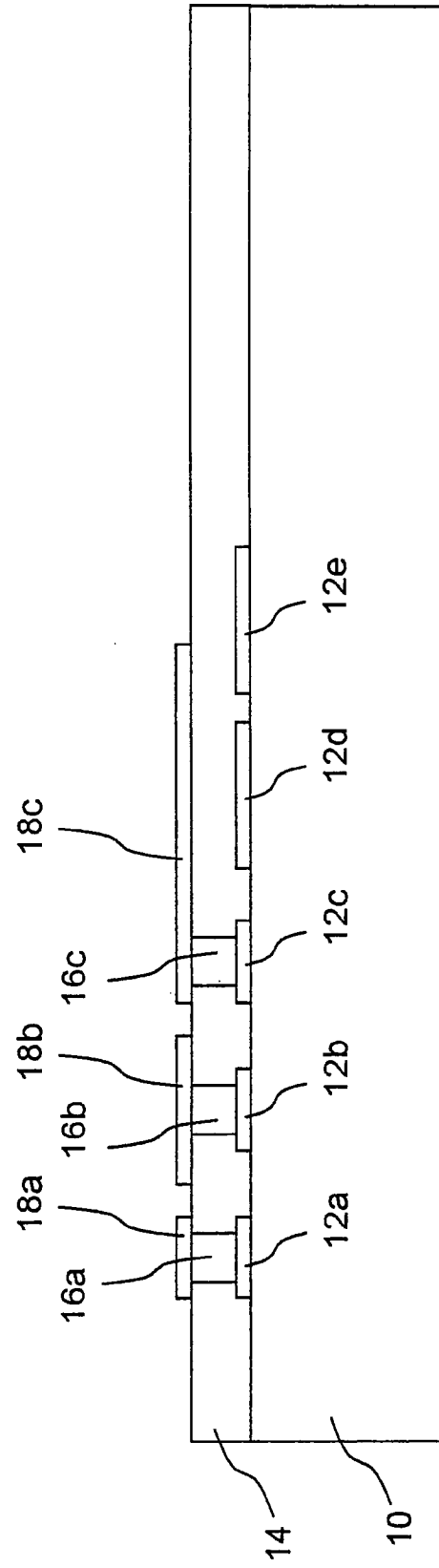


FIG. 5D

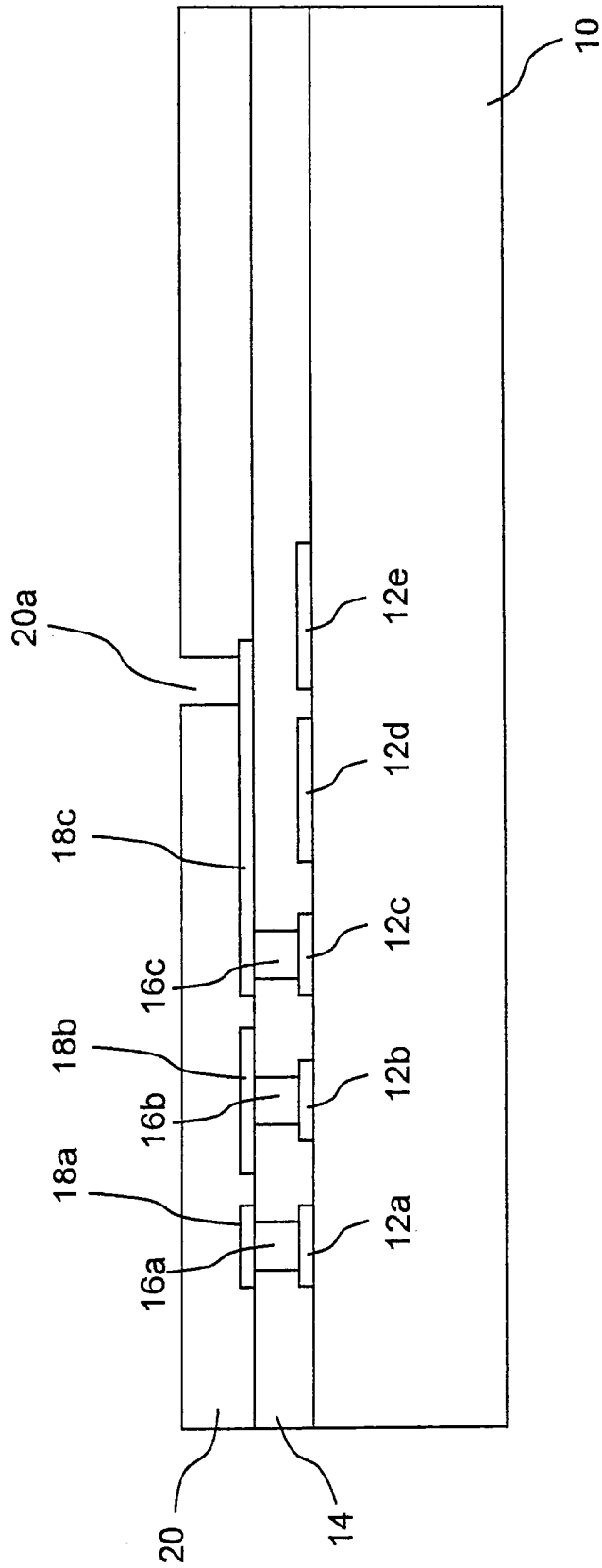


FIG. 5E

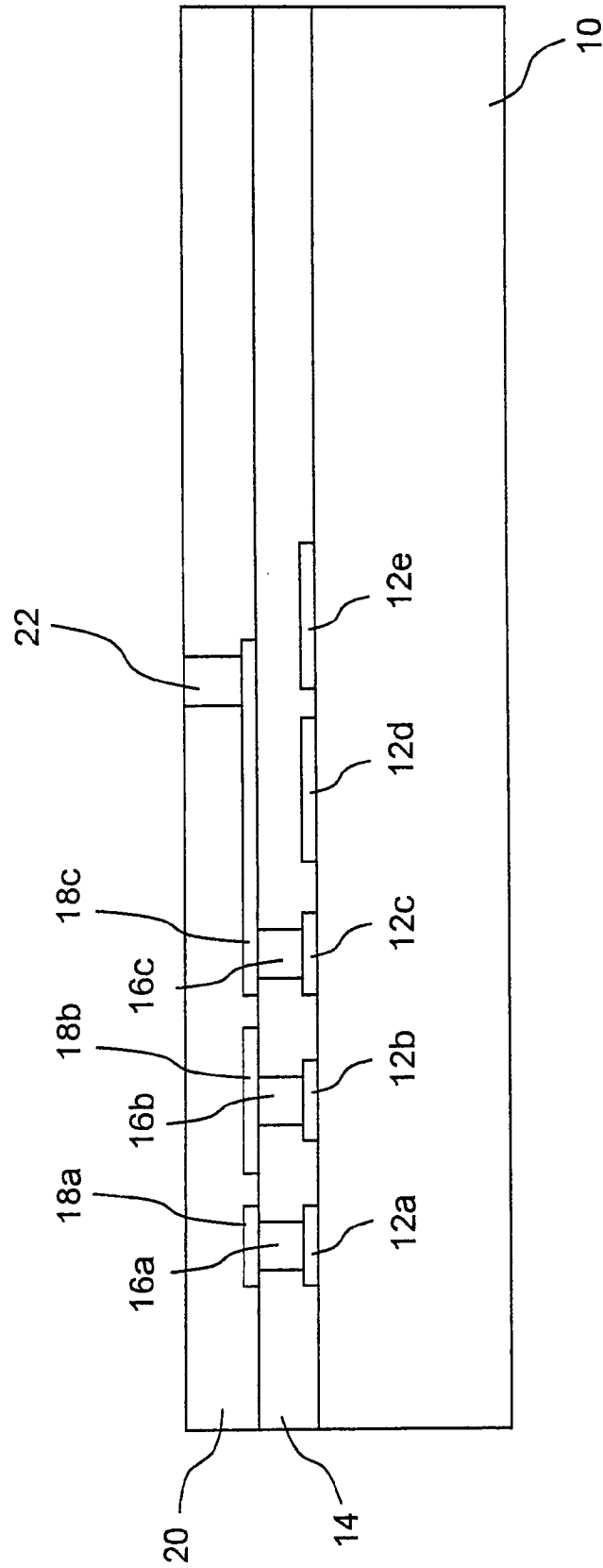


FIG. 5F

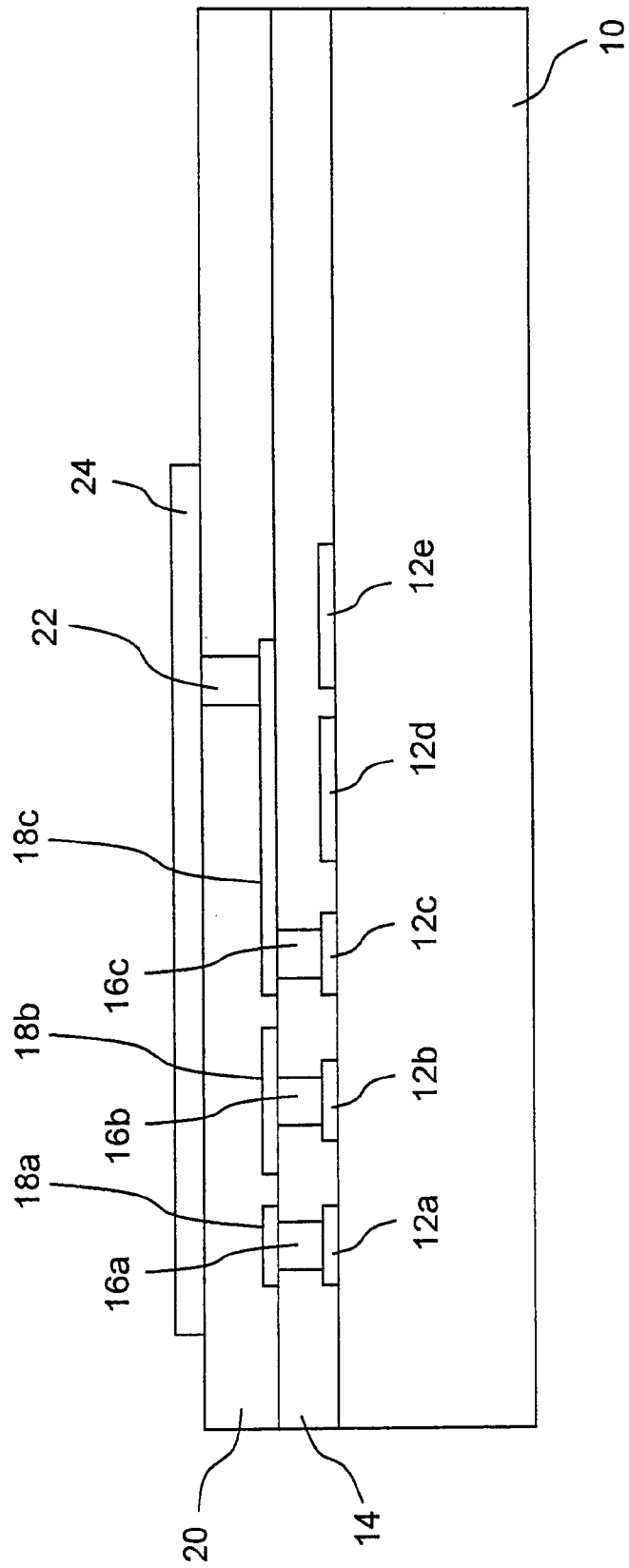


FIG. 5G

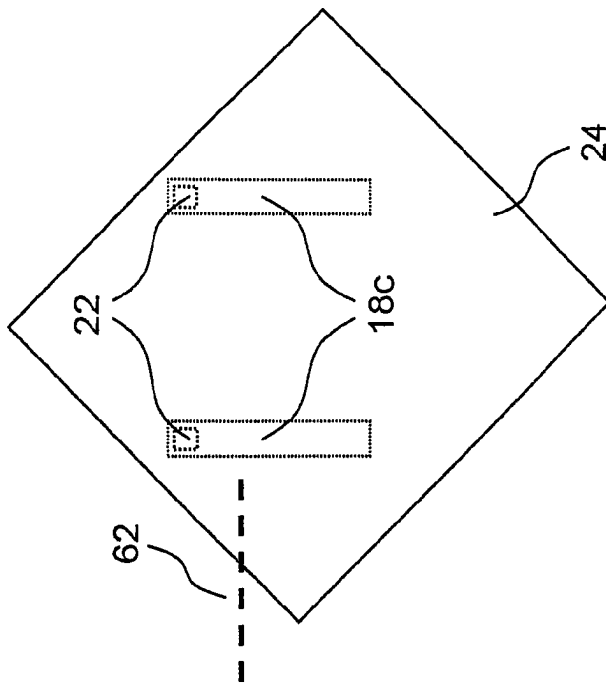


FIG. 6C

X / 199

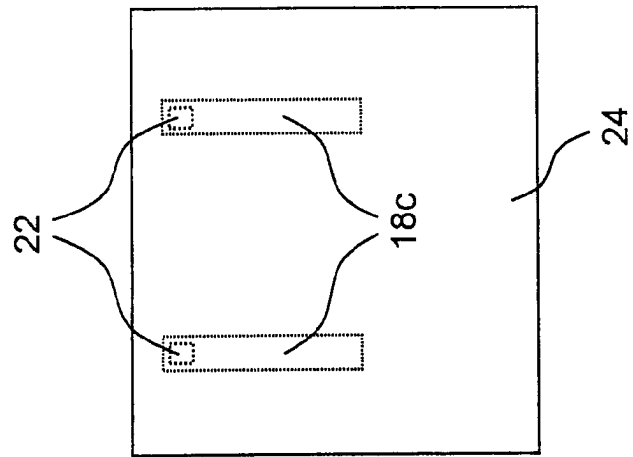


FIG. 6B

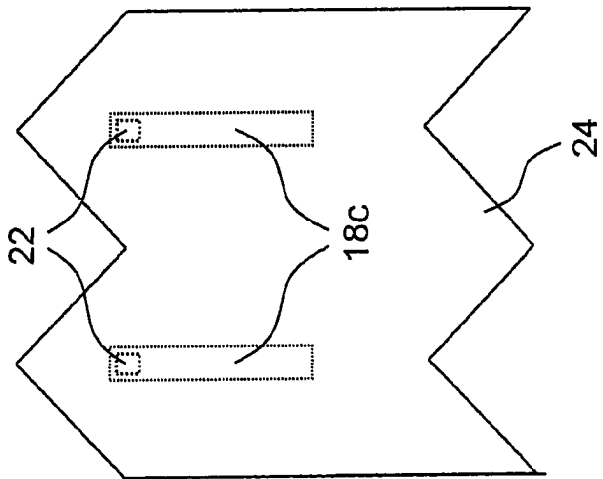
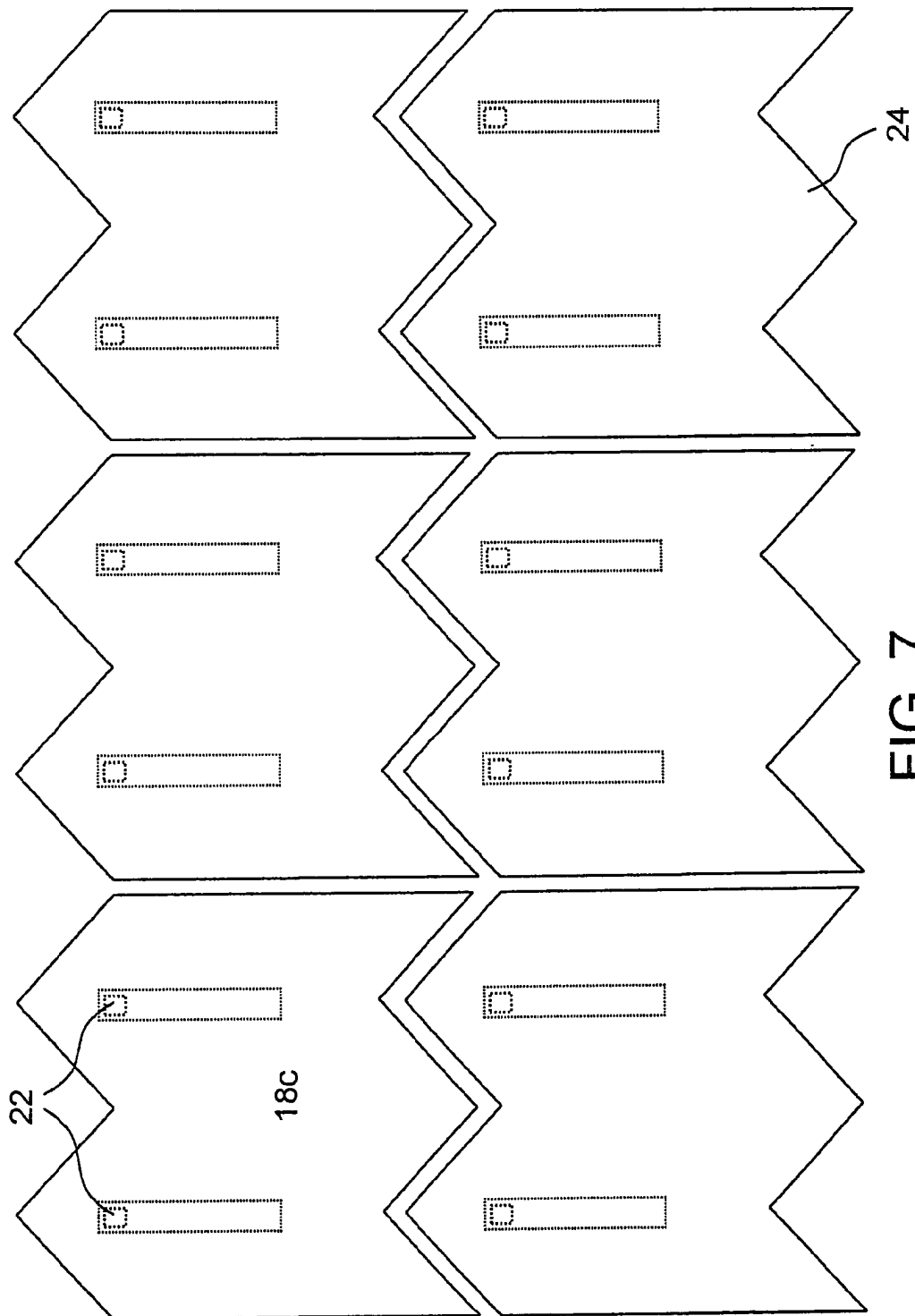


FIG. 6A



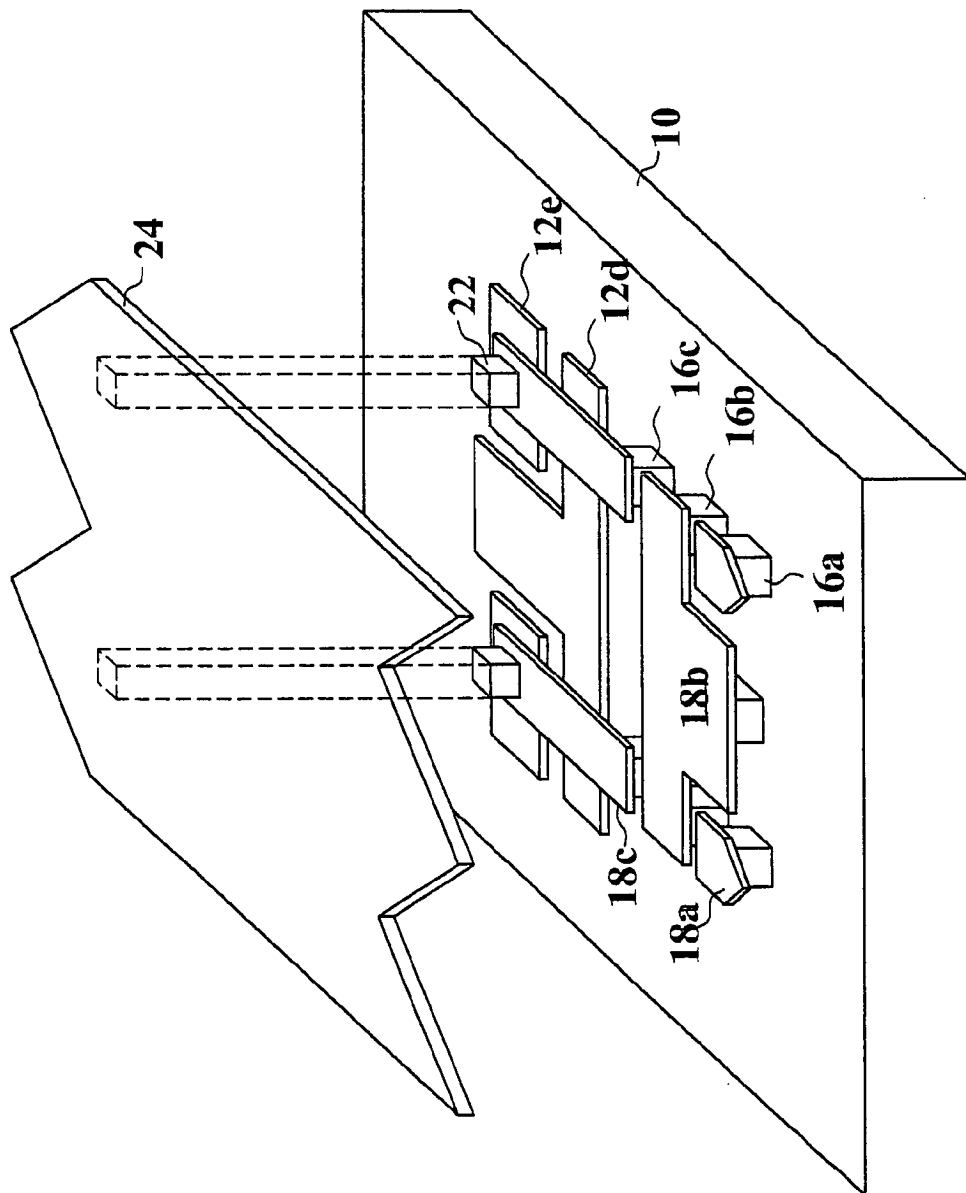


FIG. 8

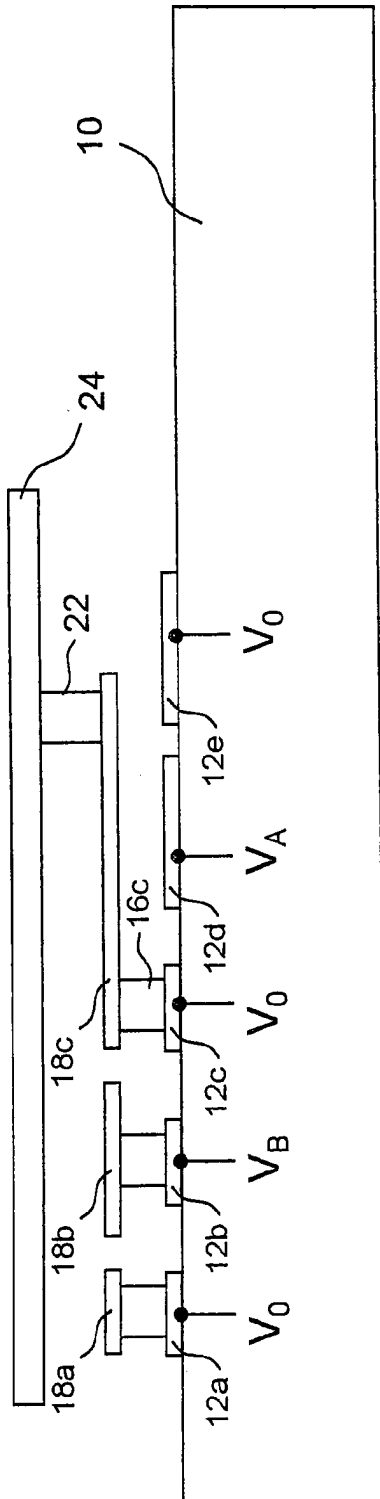


FIG. 9A

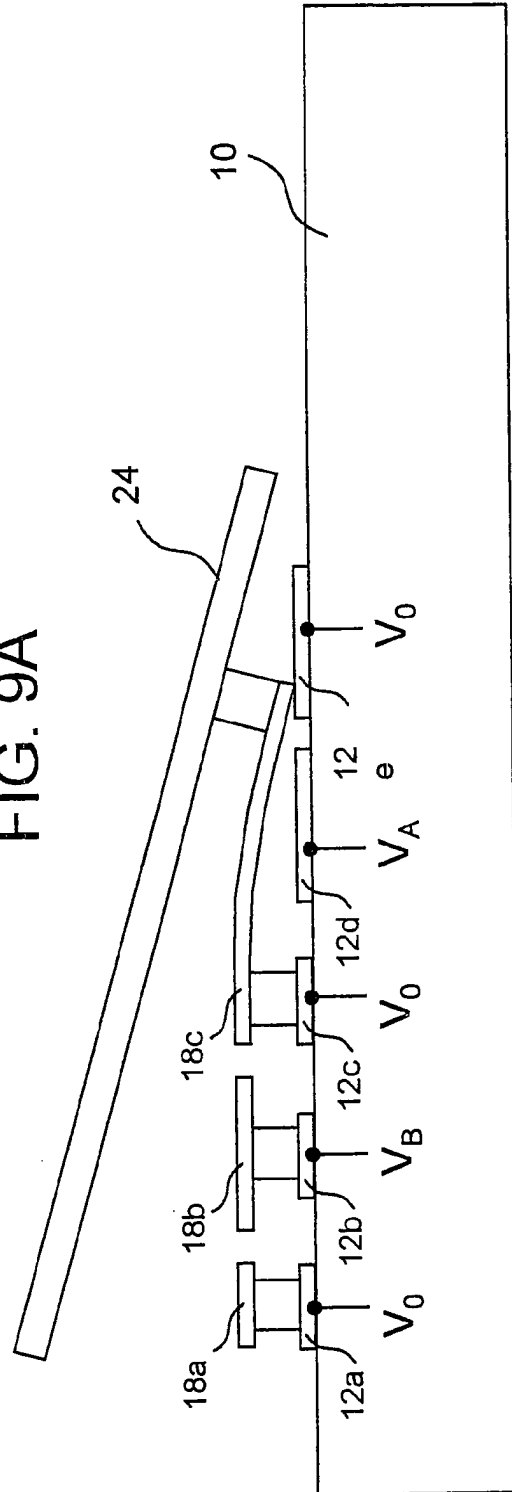


FIG. 9B

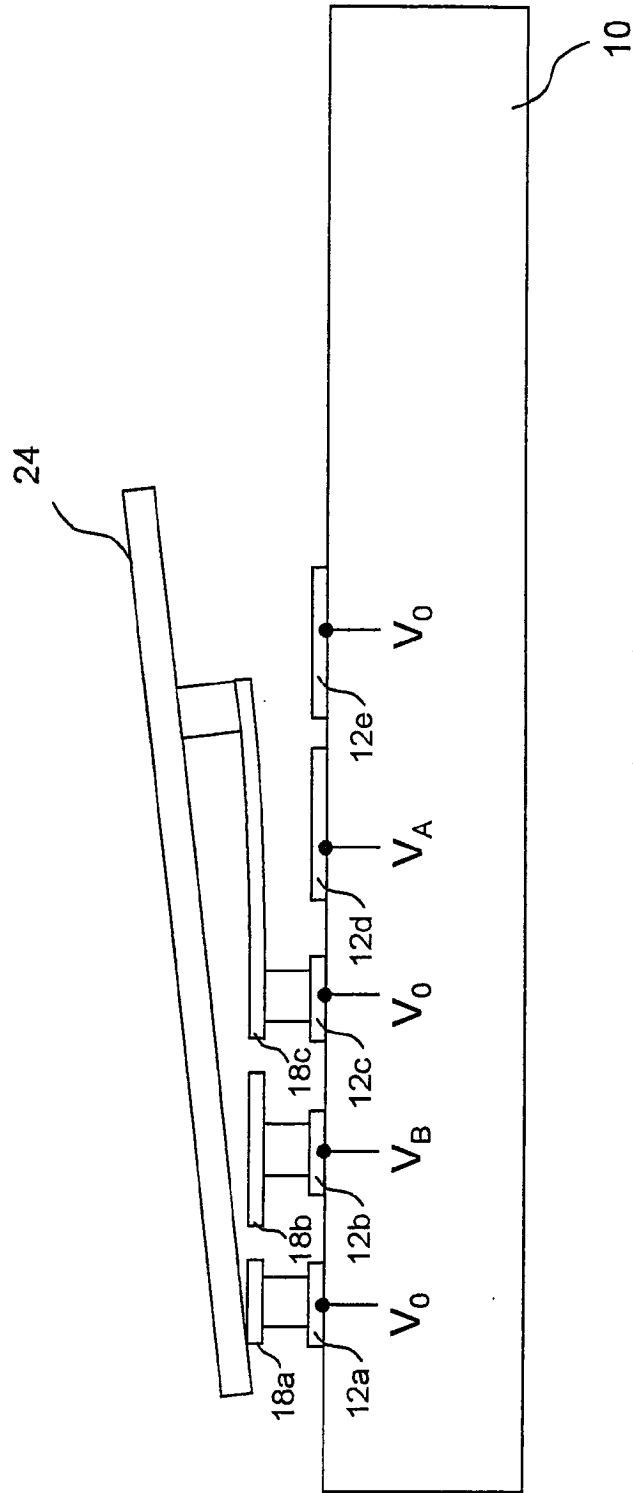


FIG. 9C

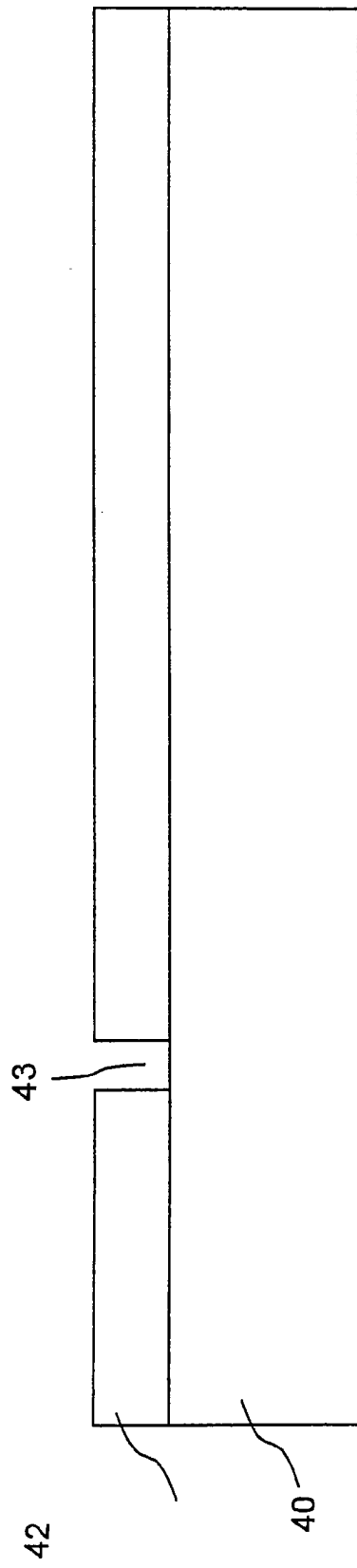


FIG. 10A

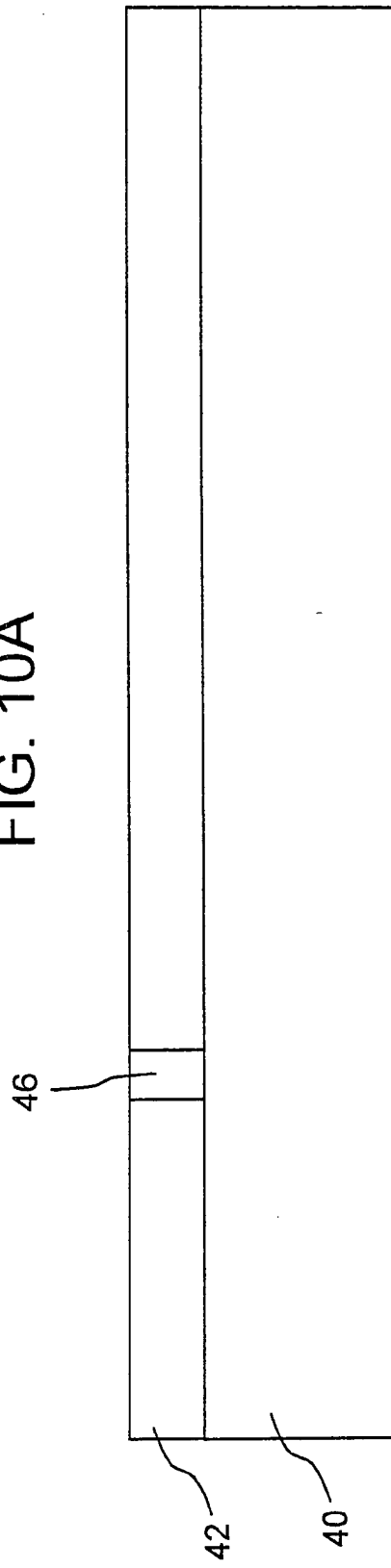


FIG. 10B

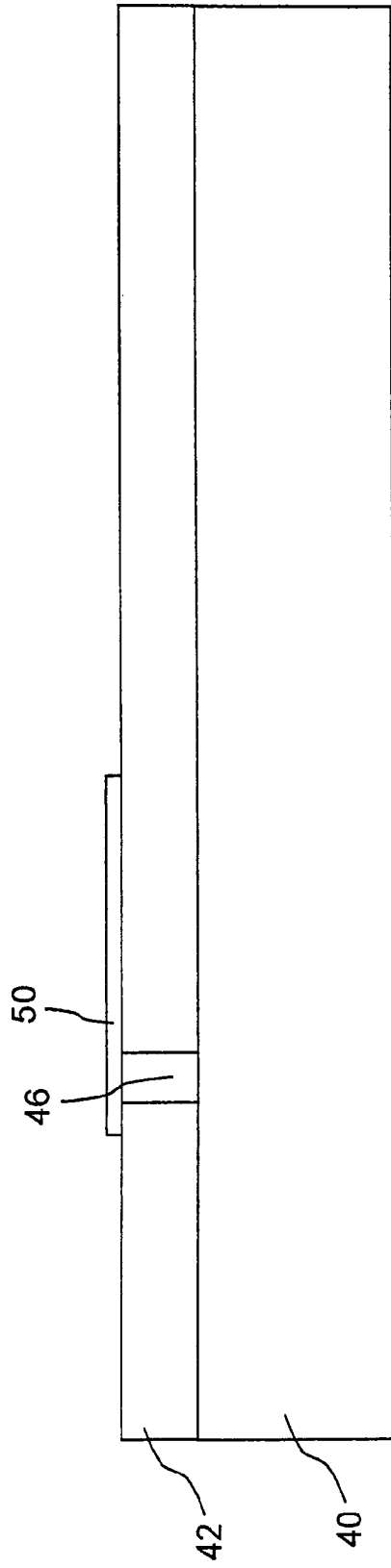


FIG. 10C

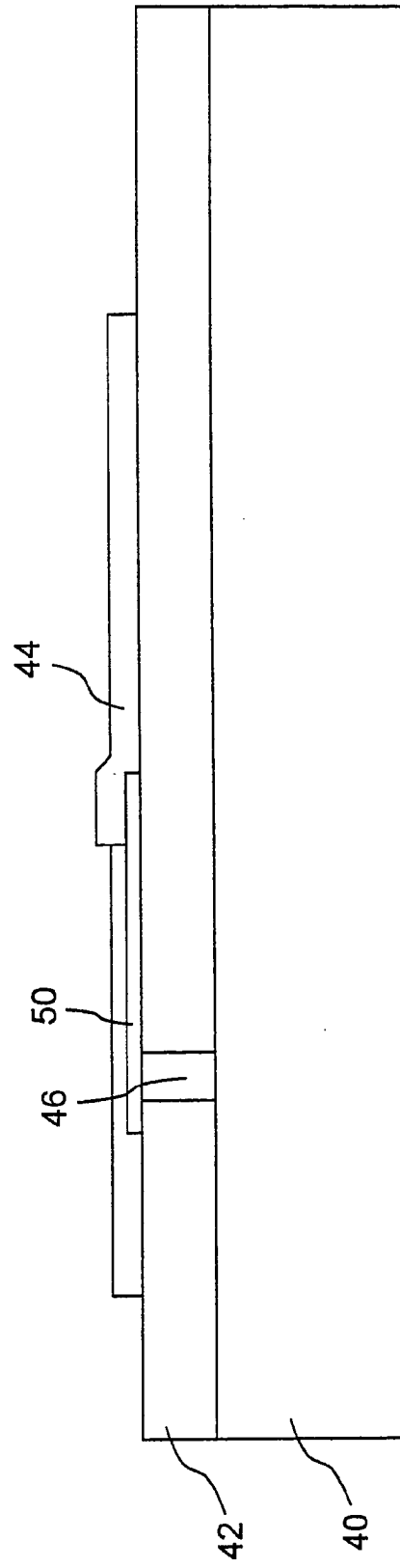


FIG. 10D

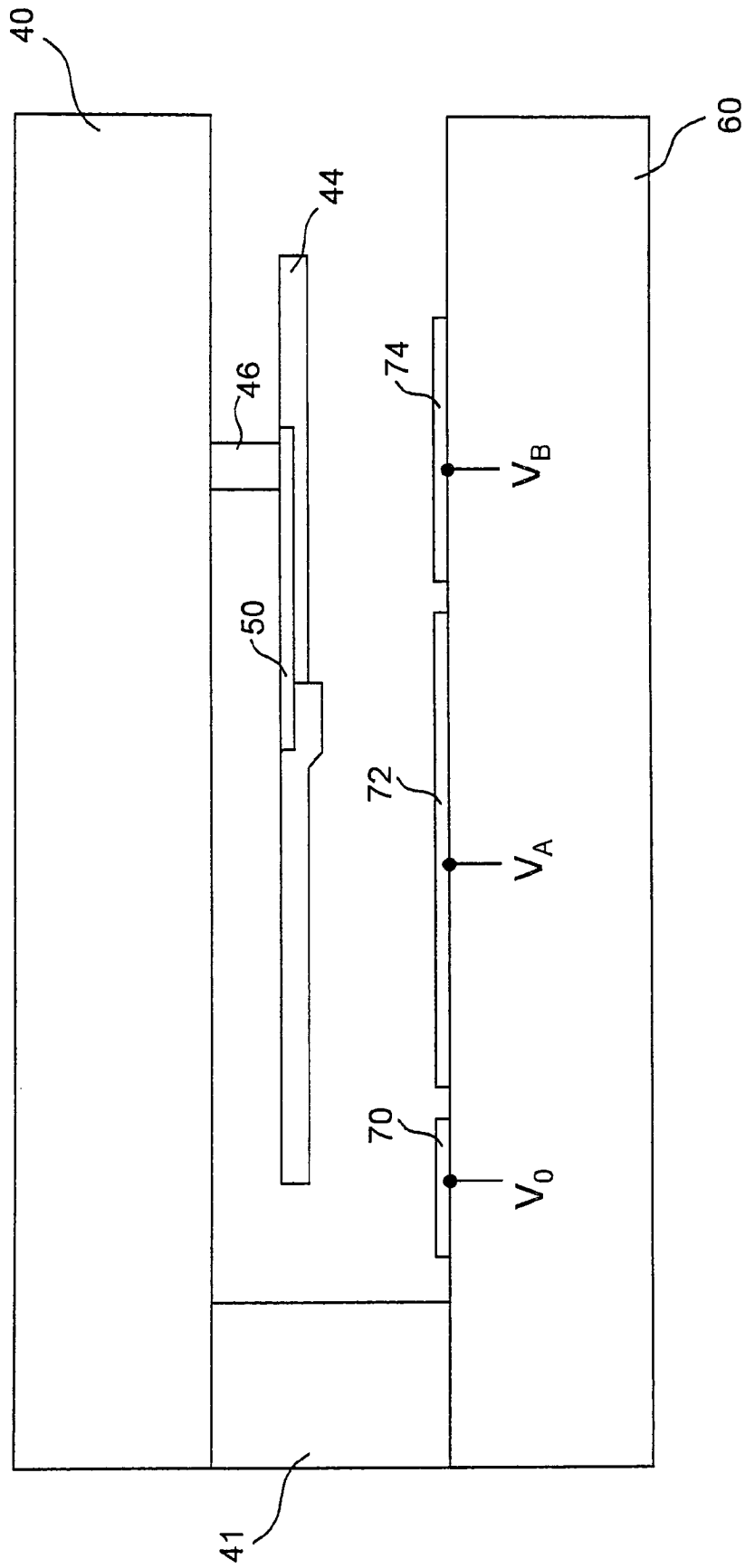


FIG. 11A

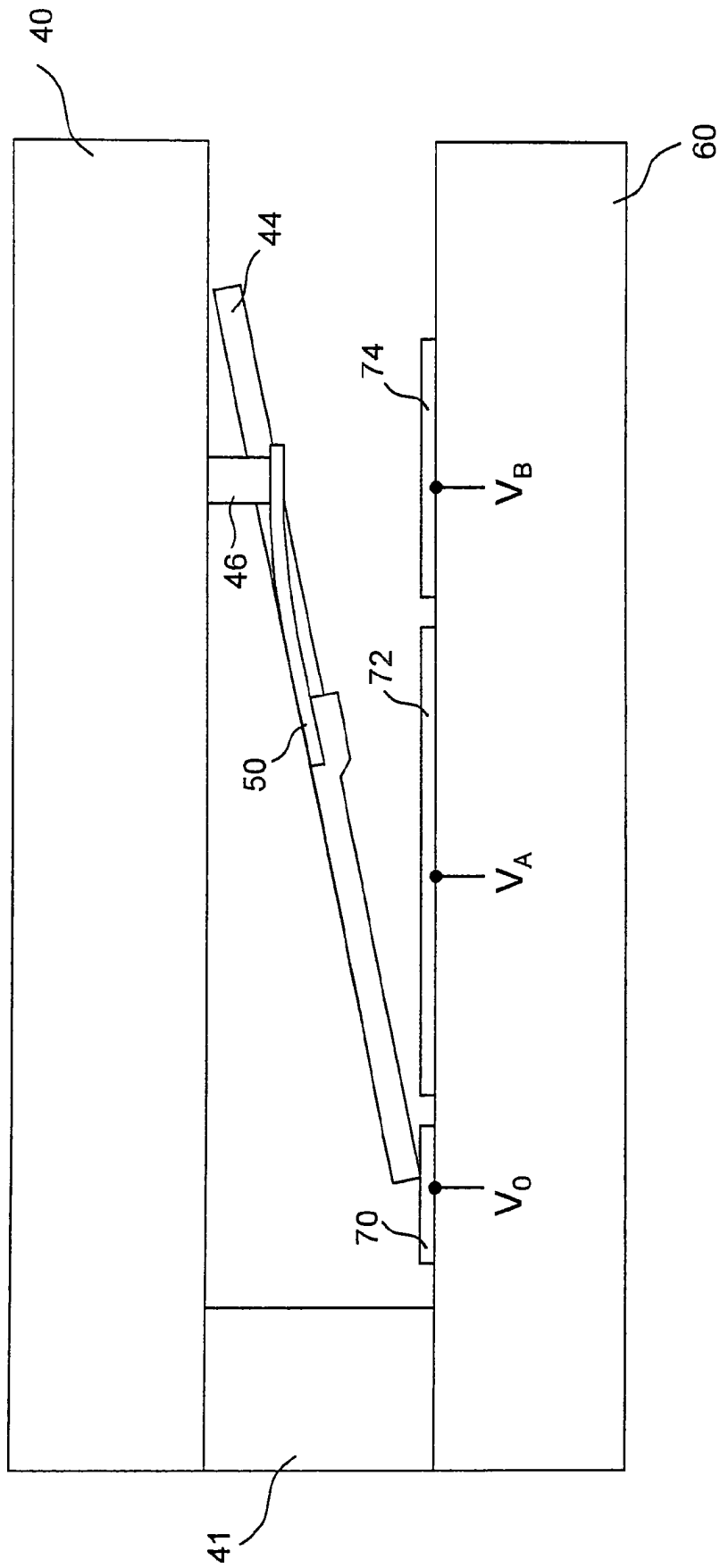


FIG. 11B

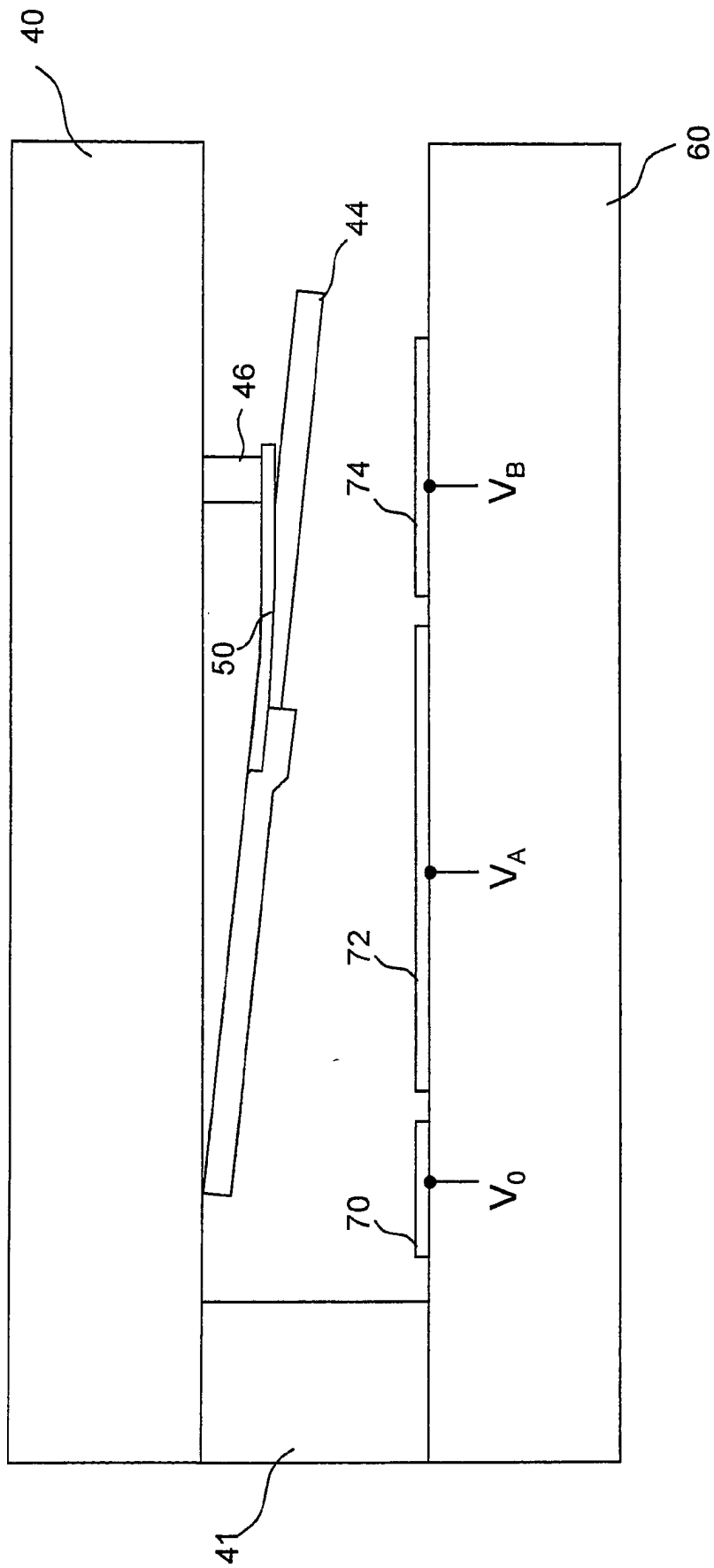


FIG. 11C

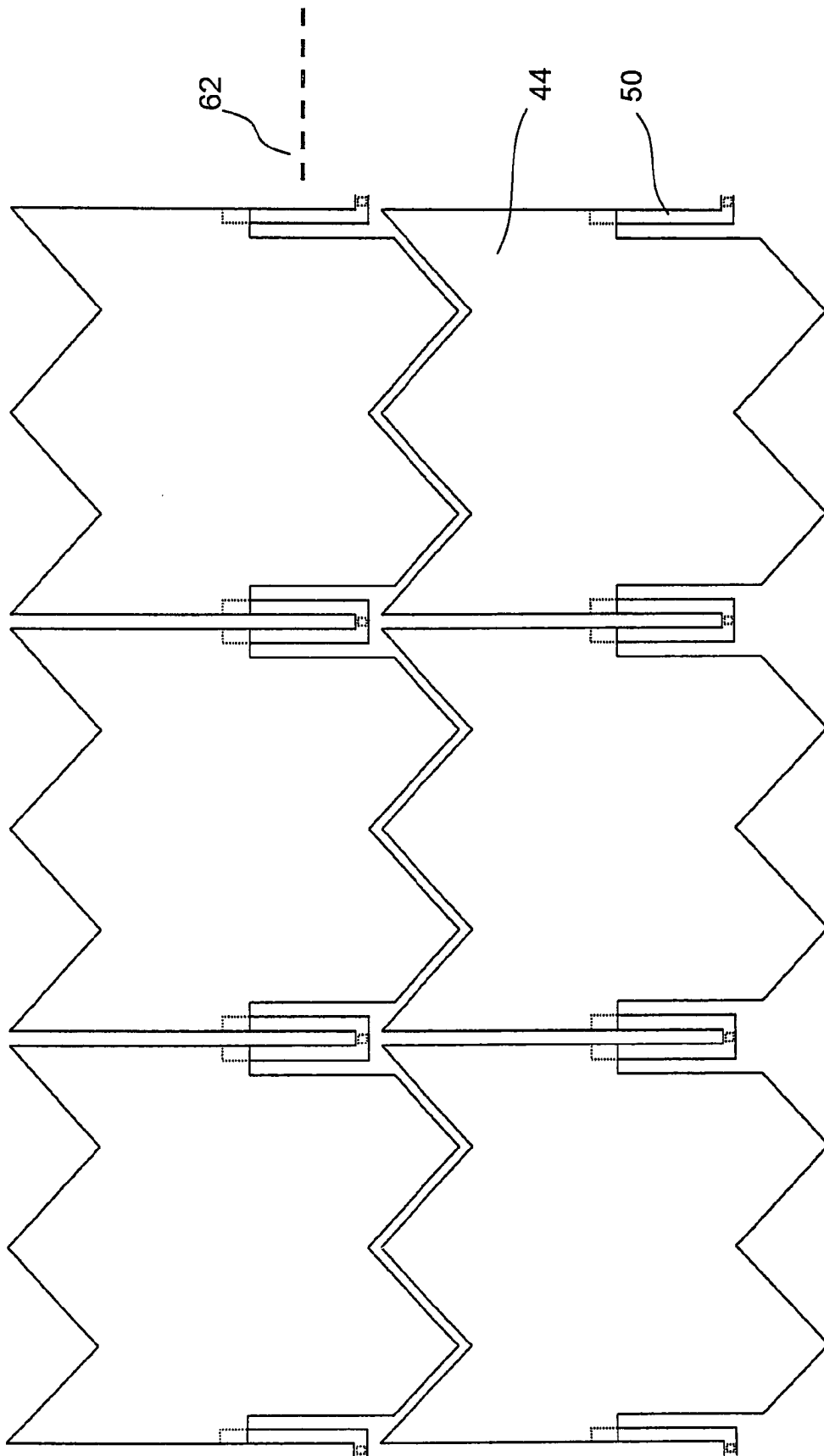


FIG.12

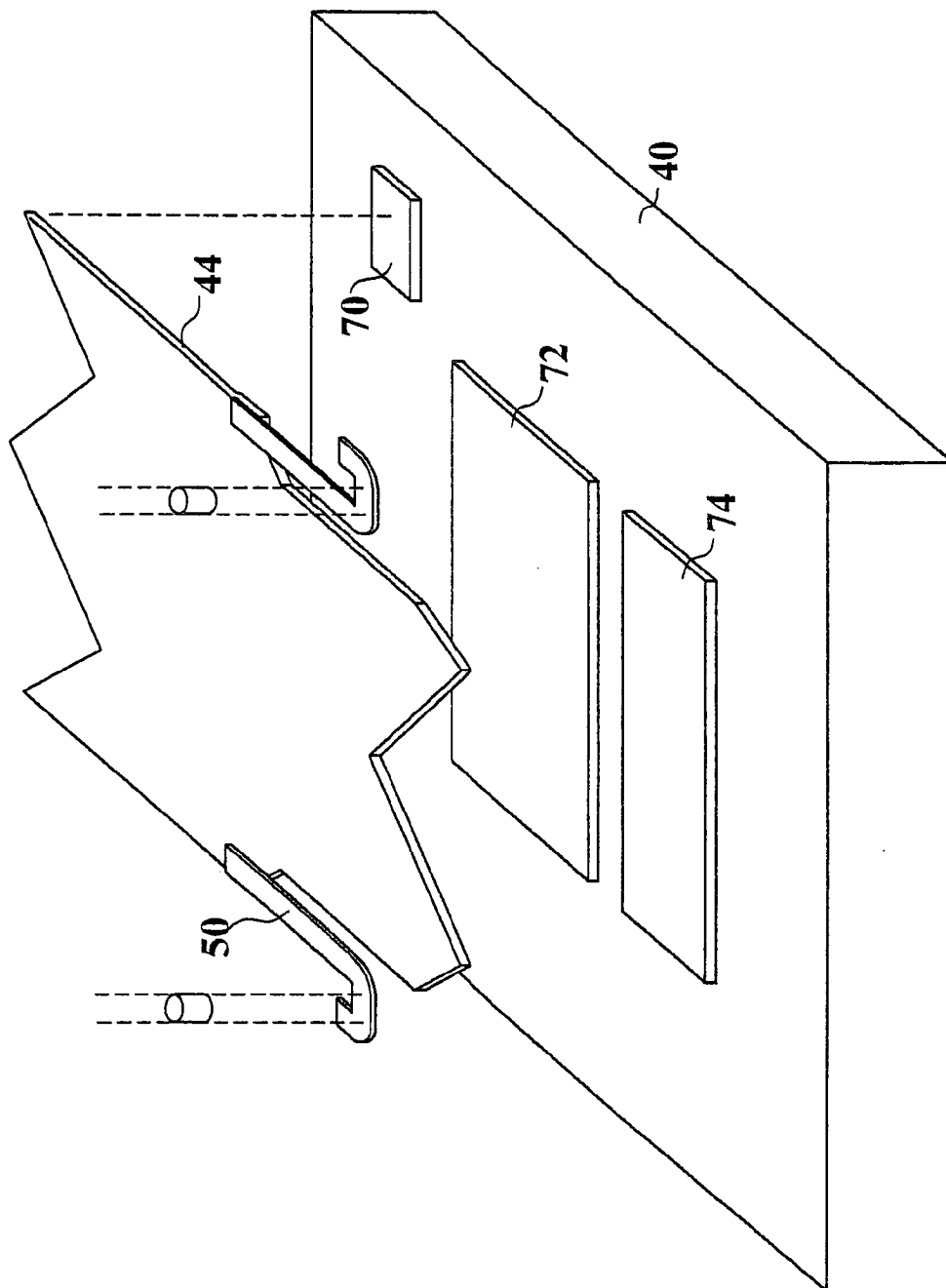
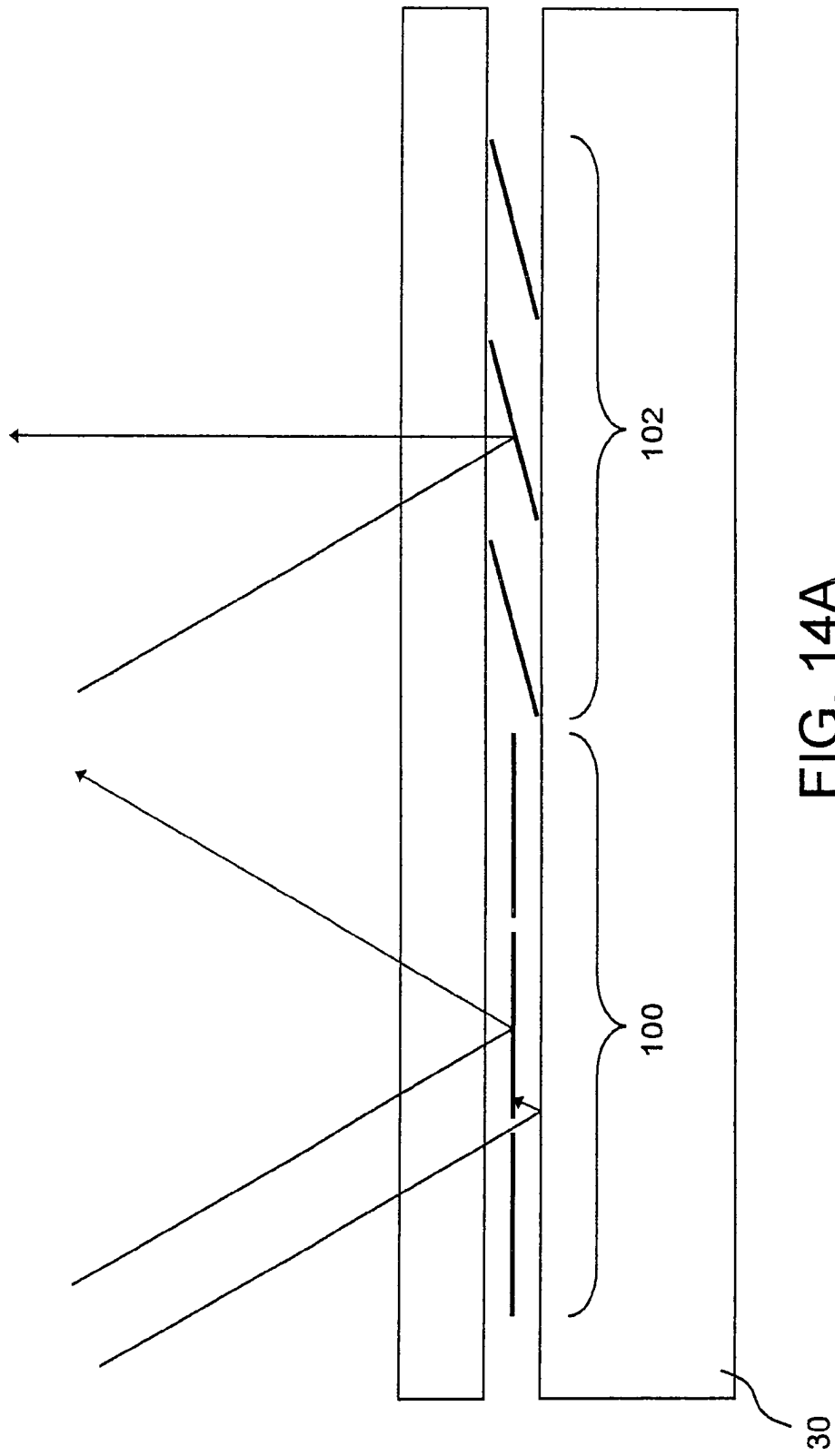
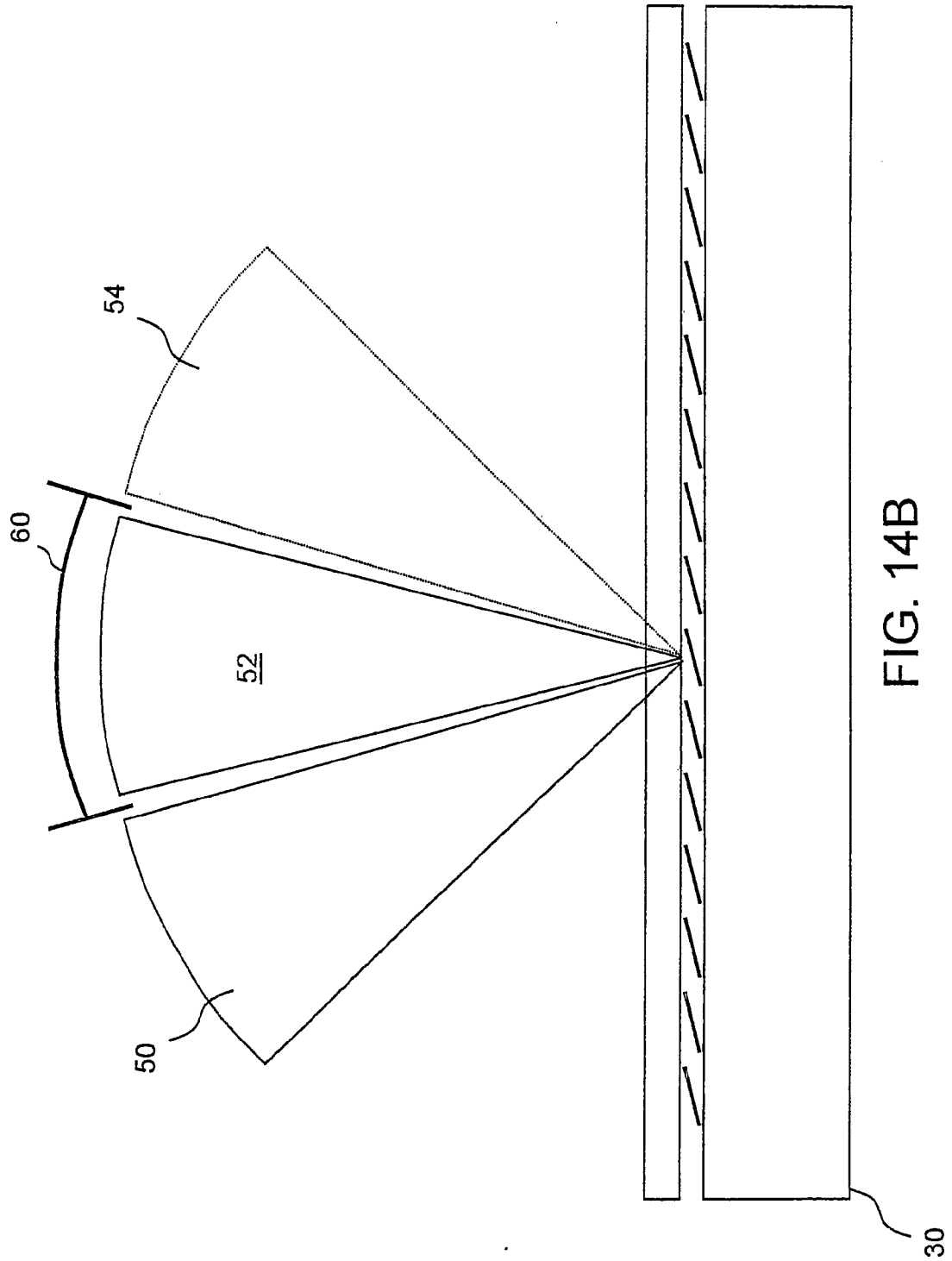
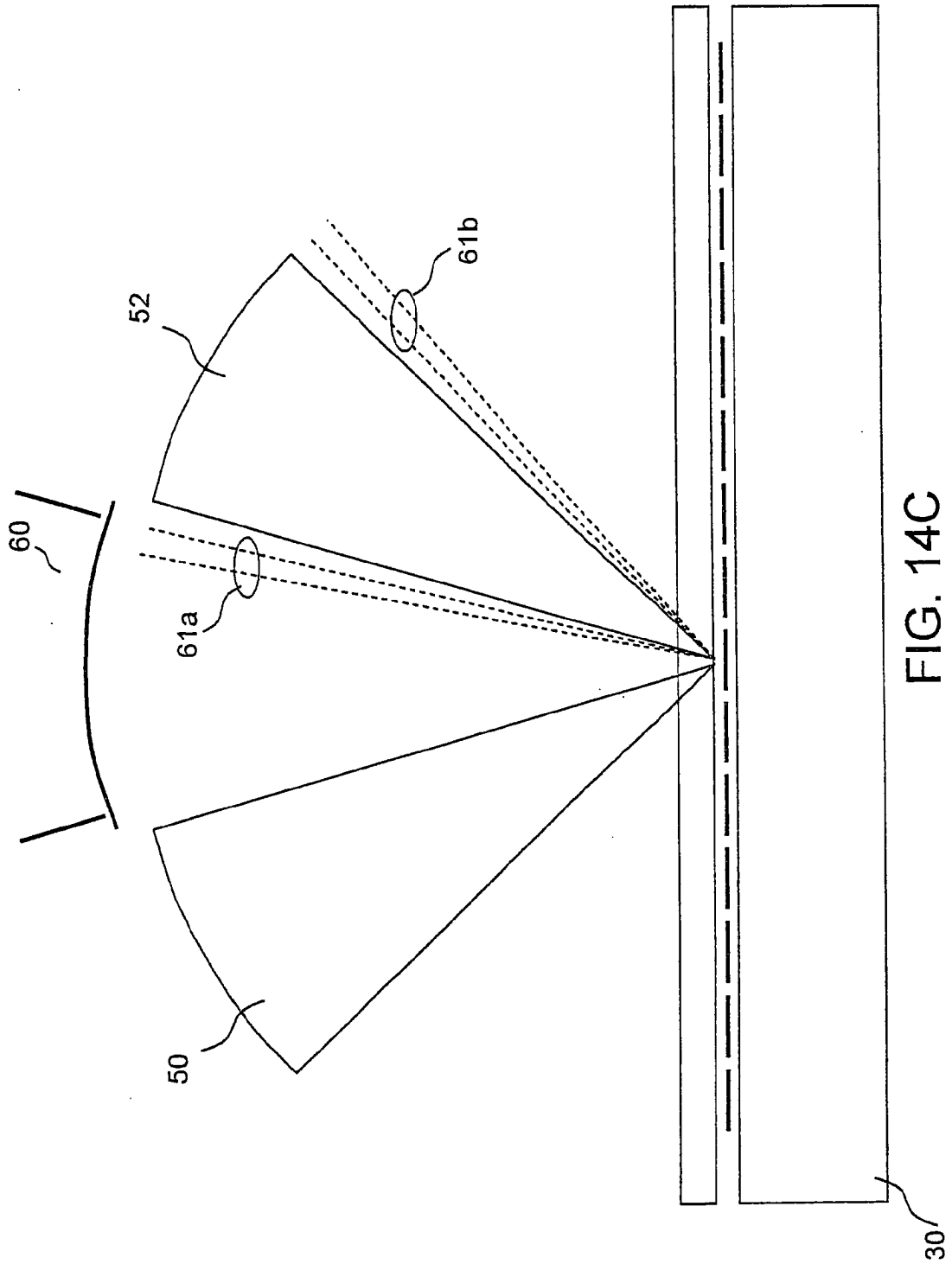


FIG. 13







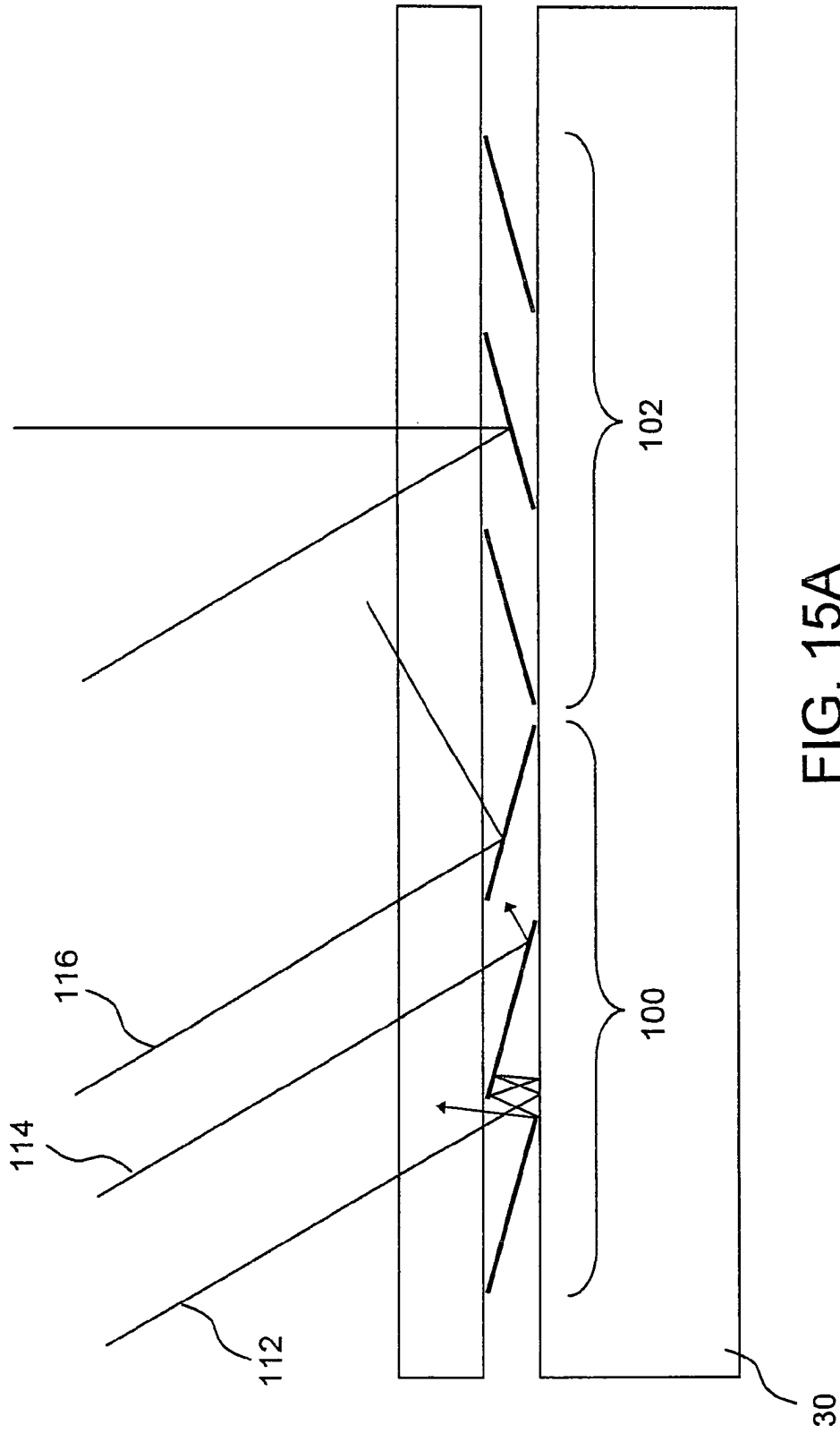


FIG. 15A

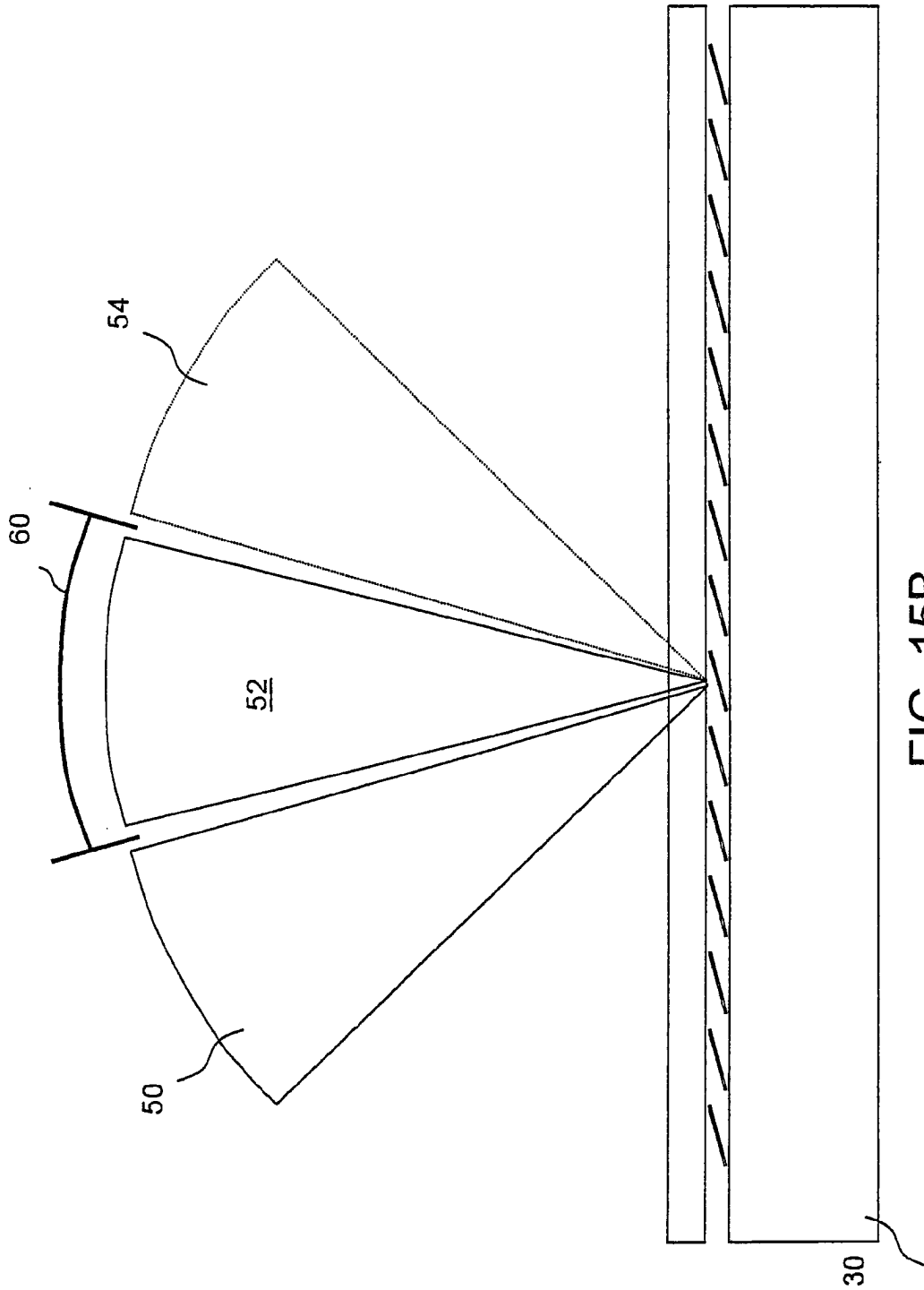


FIG. 15B

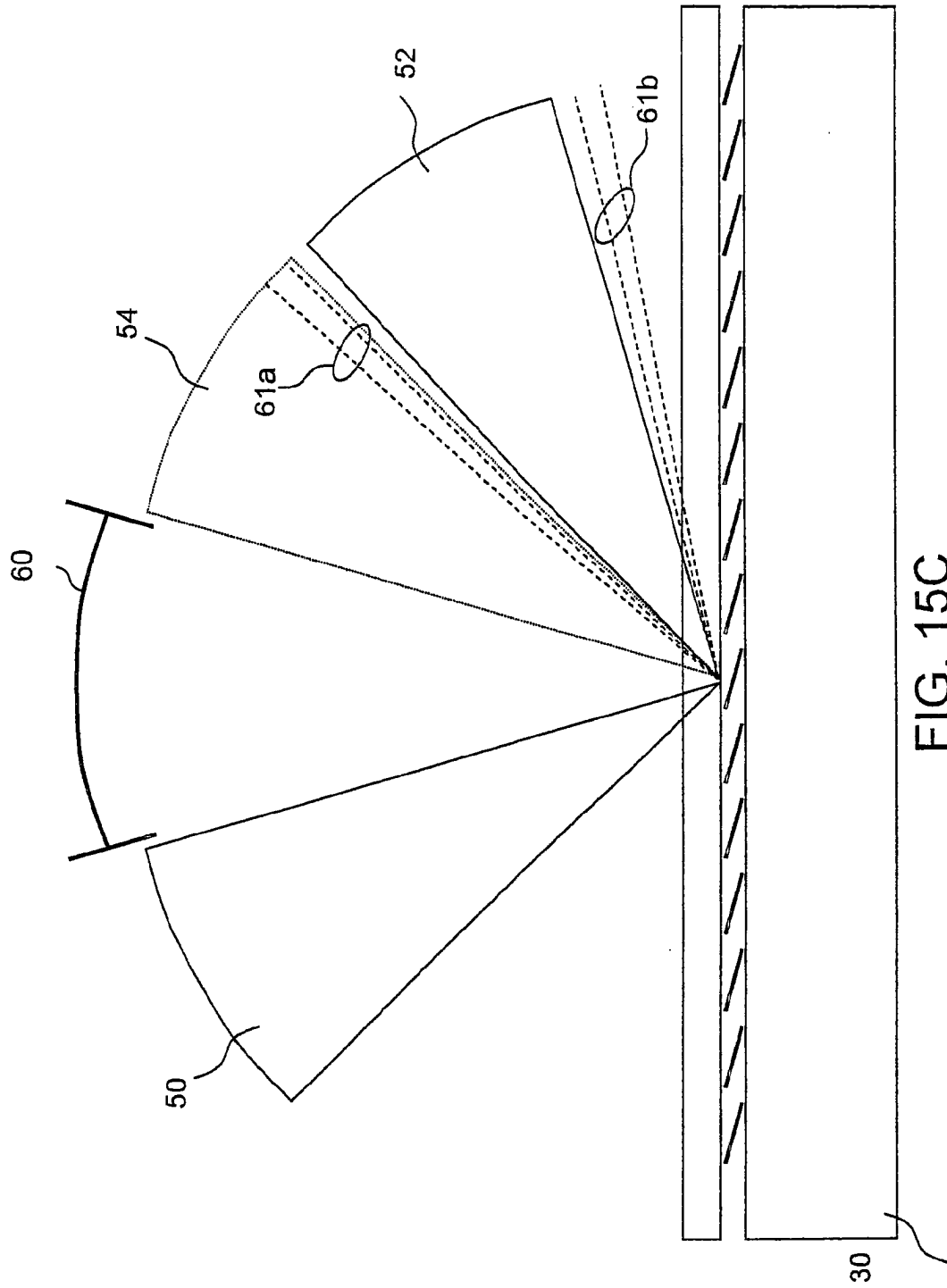


FIG. 15C

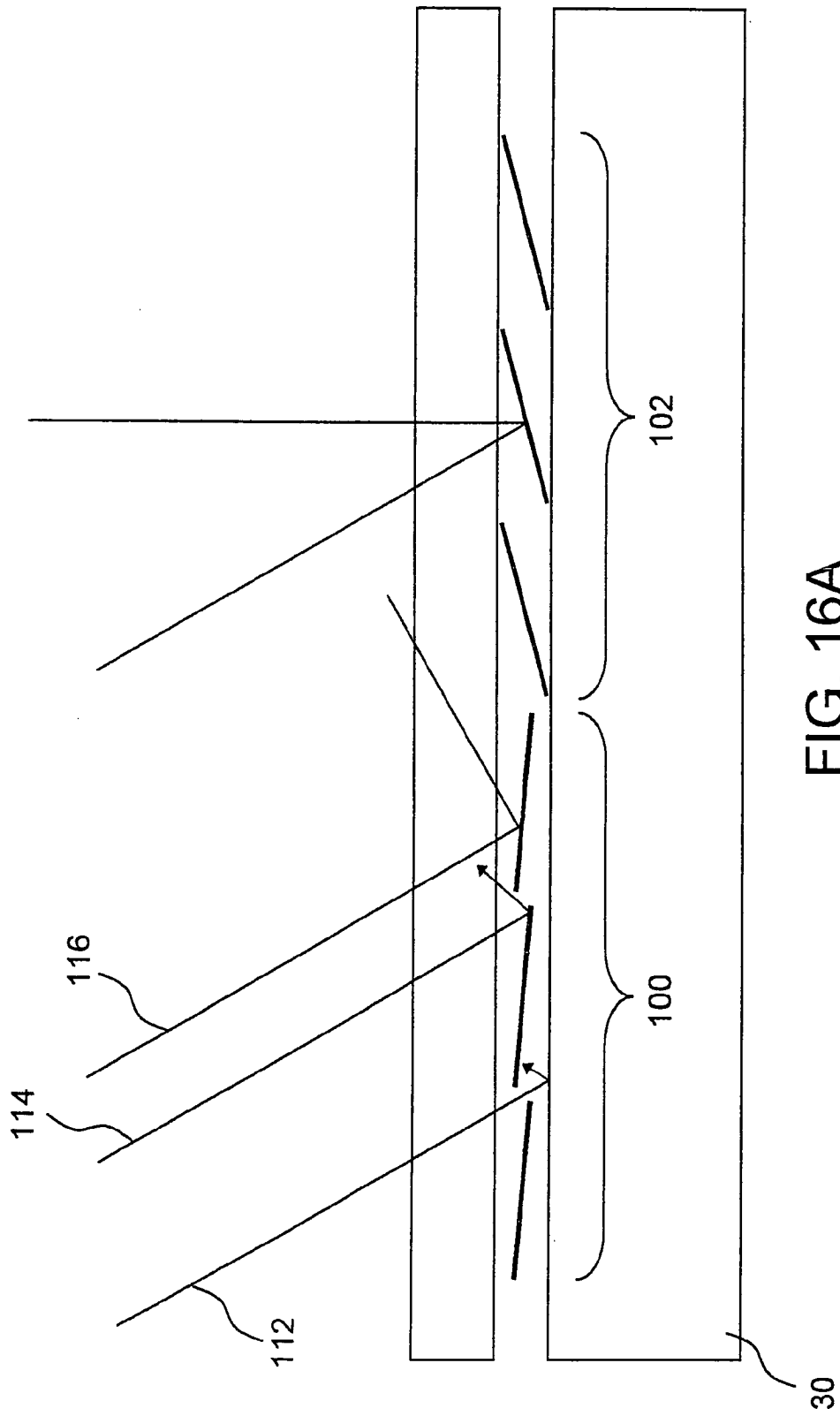


FIG. 16A

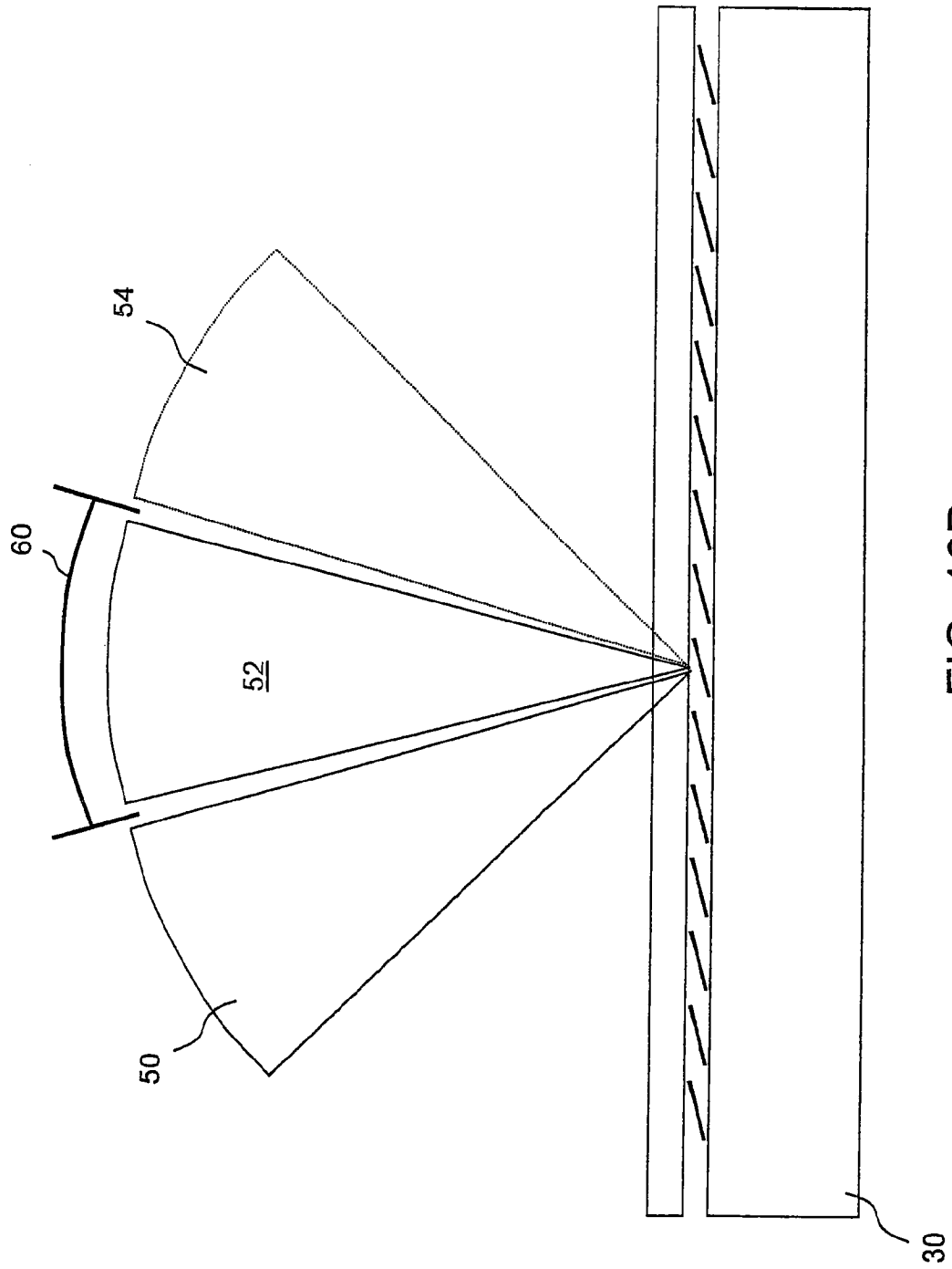


FIG. 16B

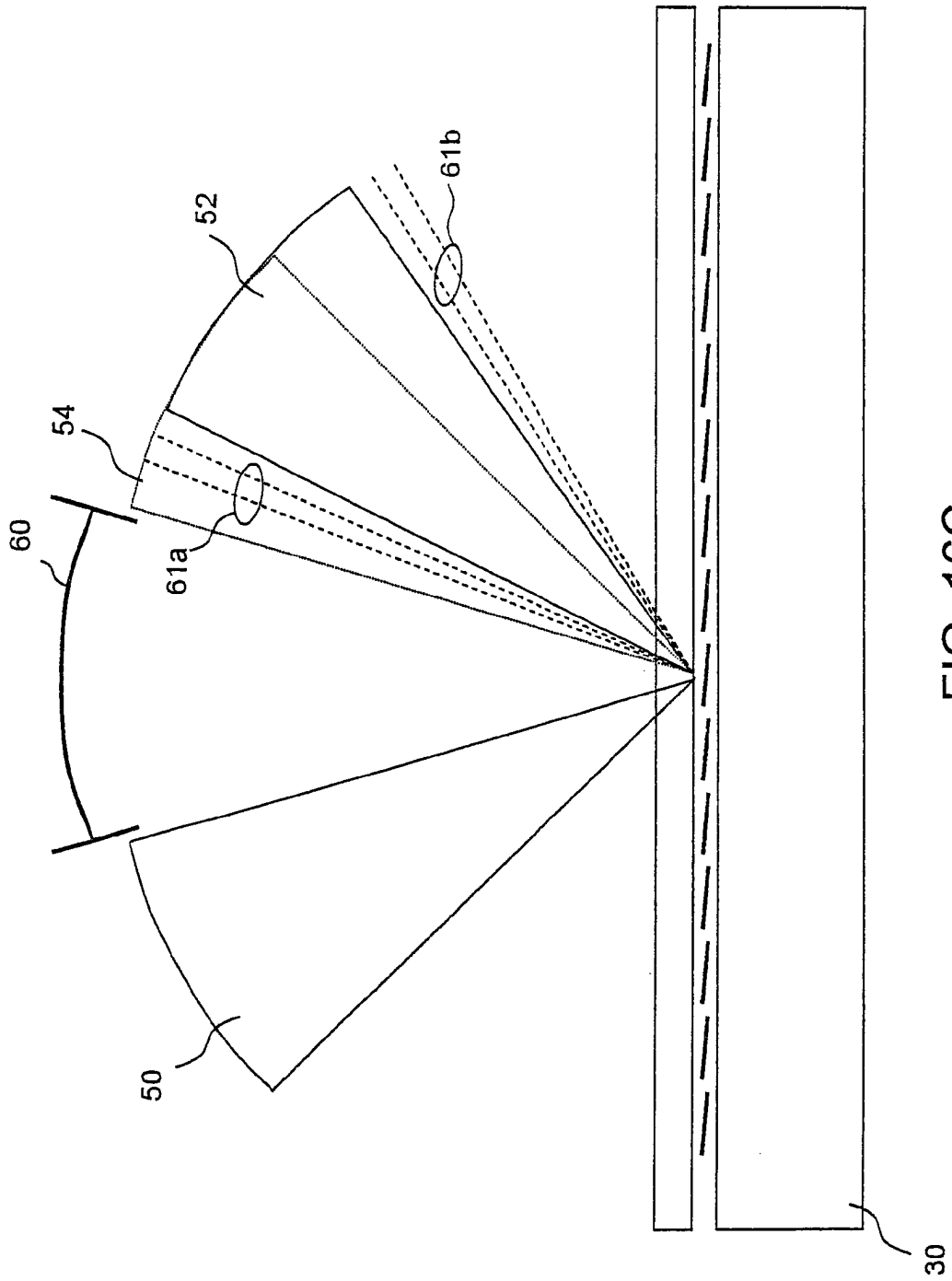
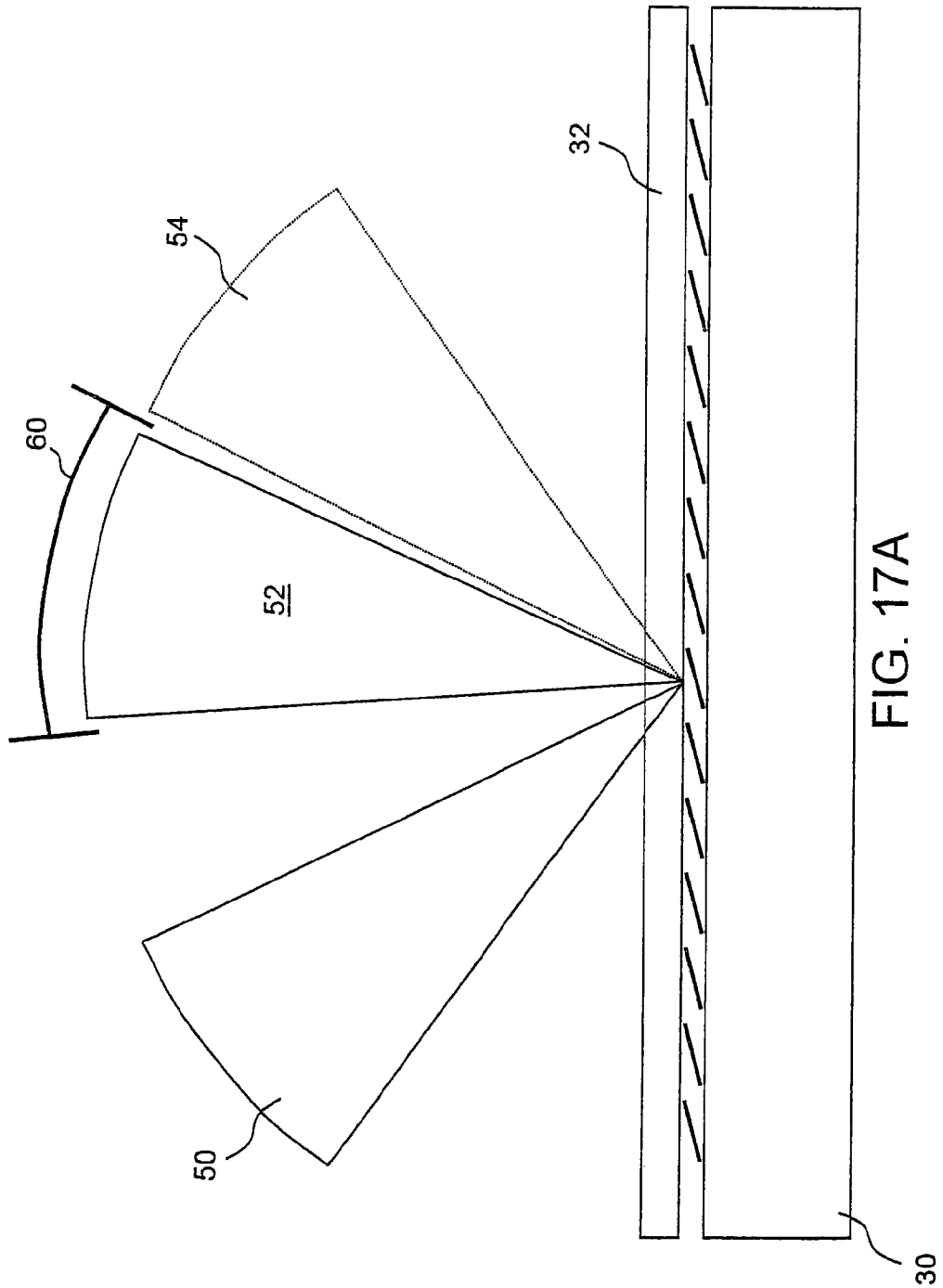


FIG. 16C



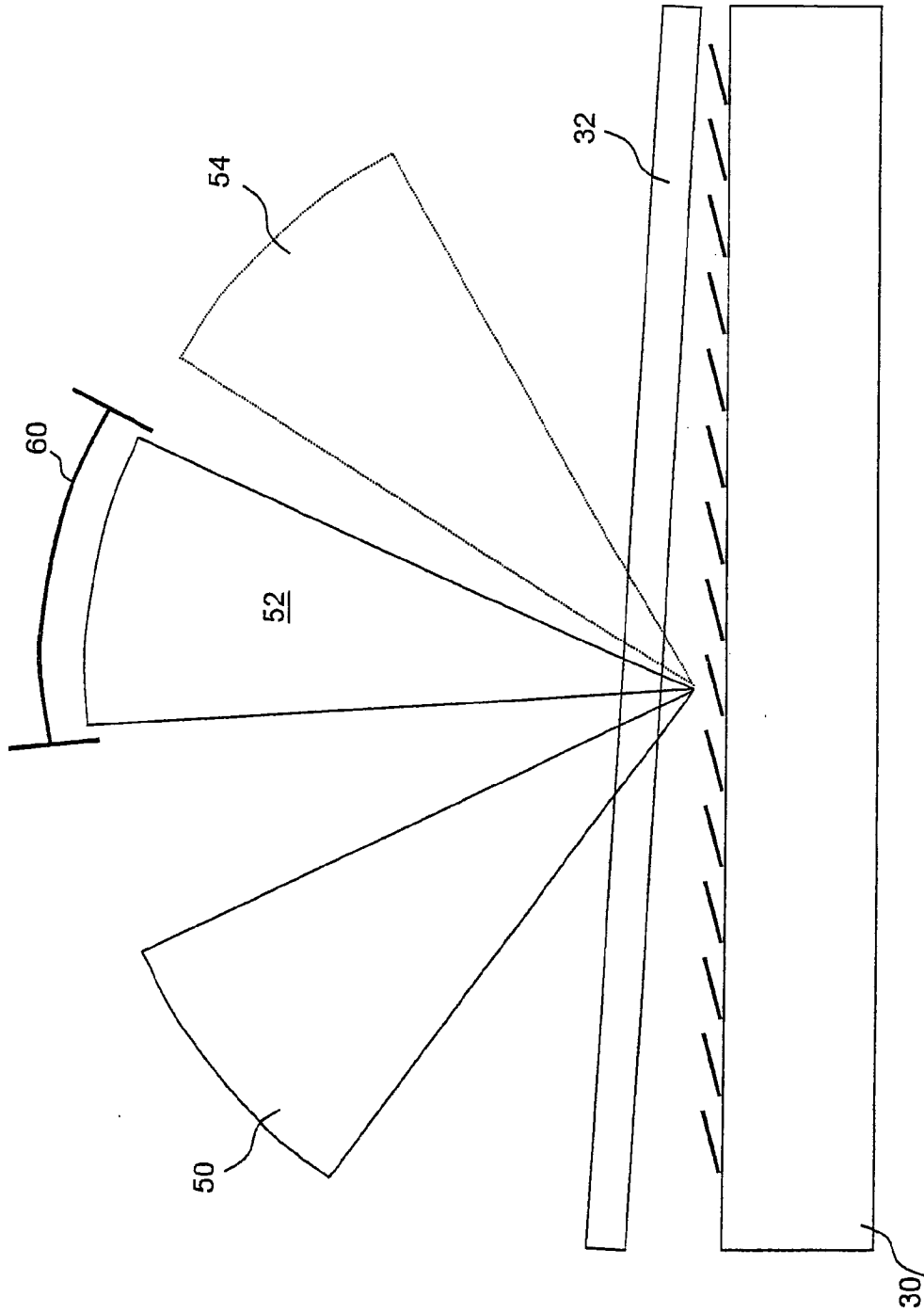
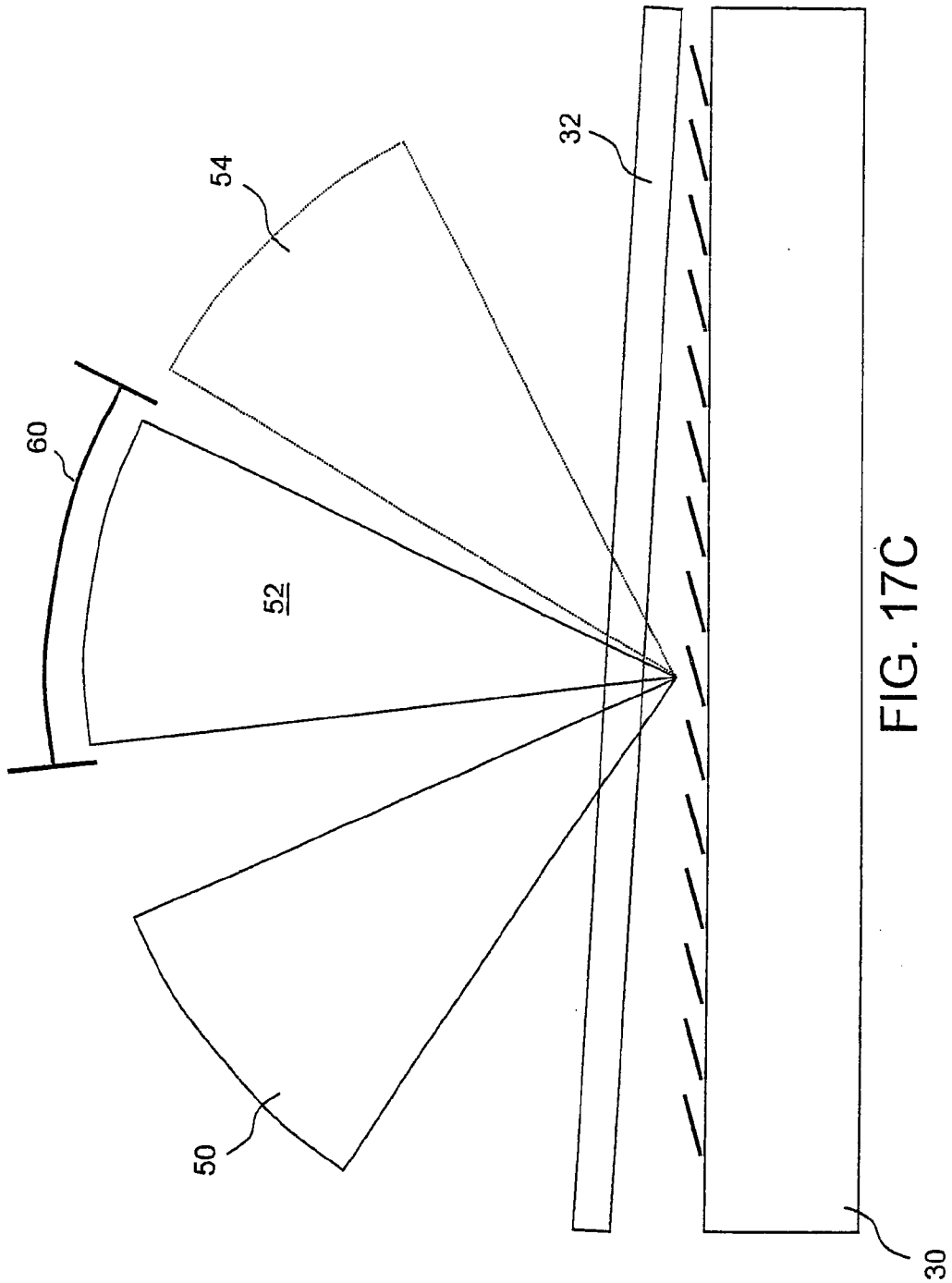


FIG. 17B



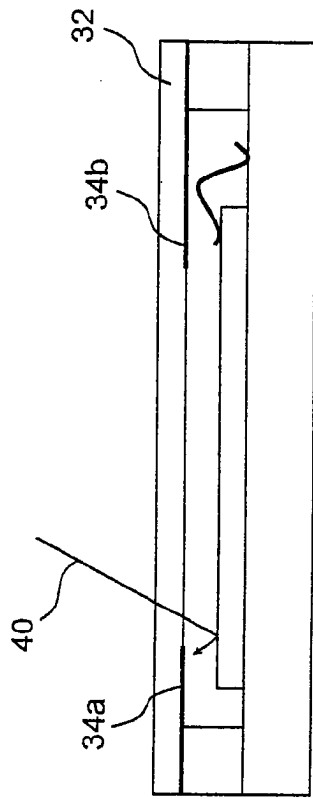


FIG. 17D

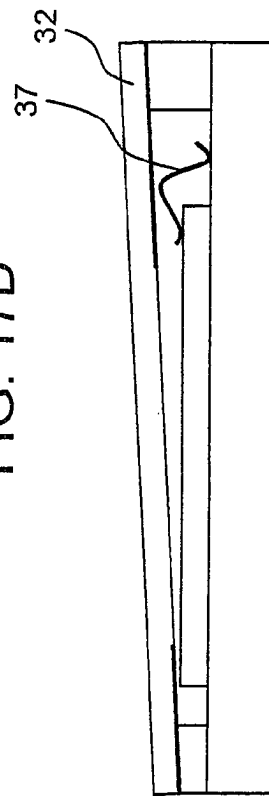
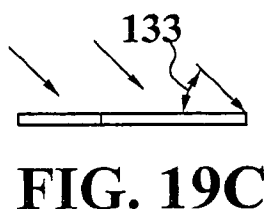
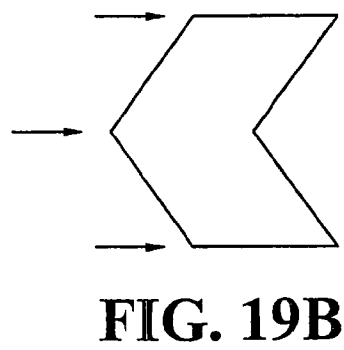
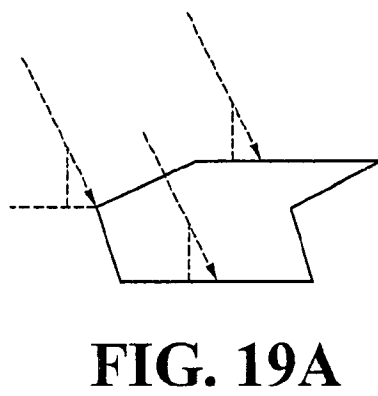
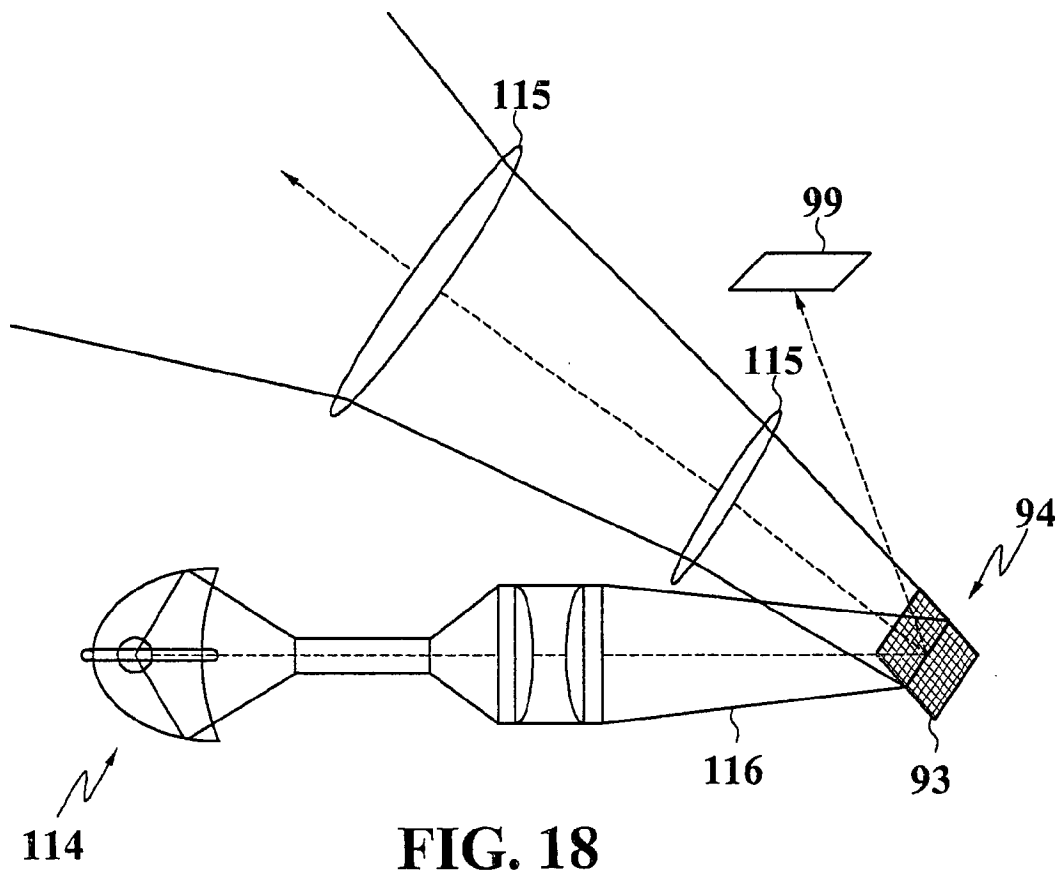


FIG. 17E



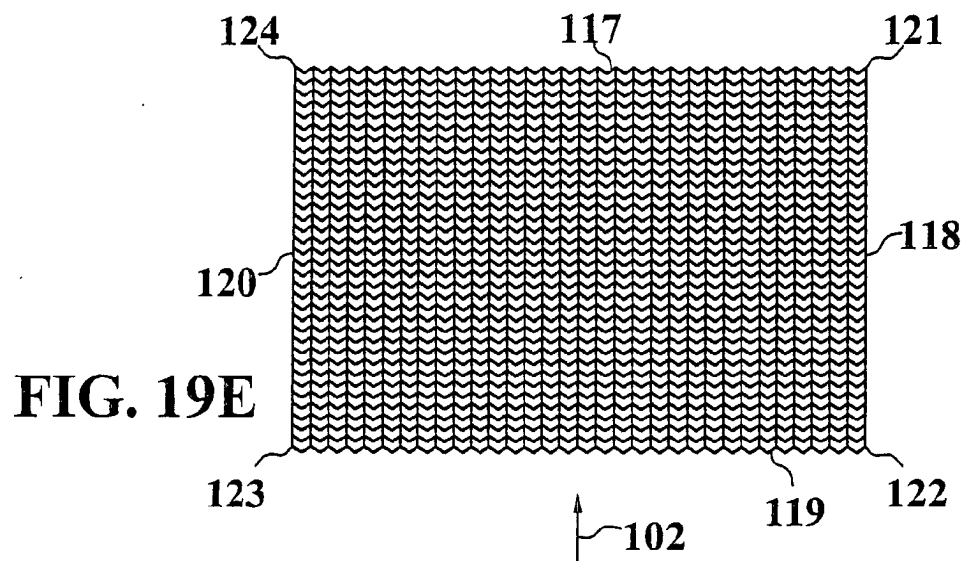
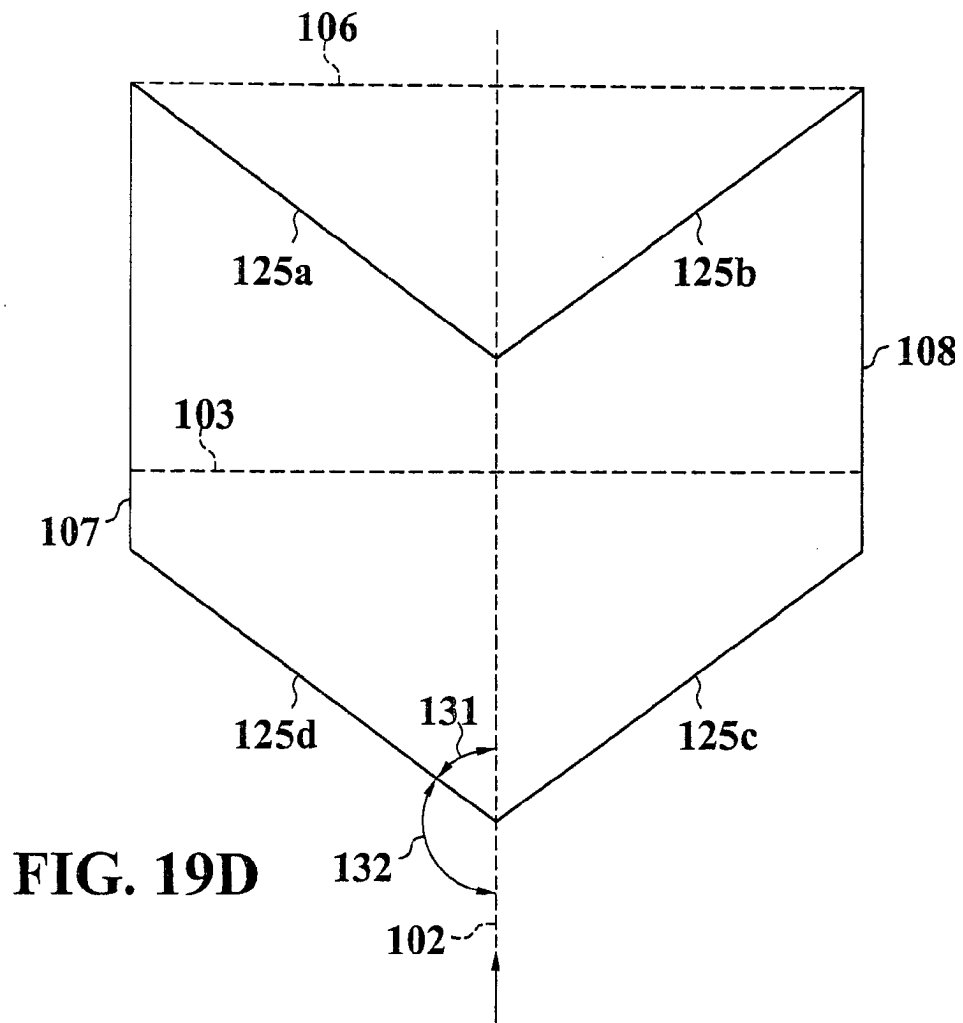


FIG. 20

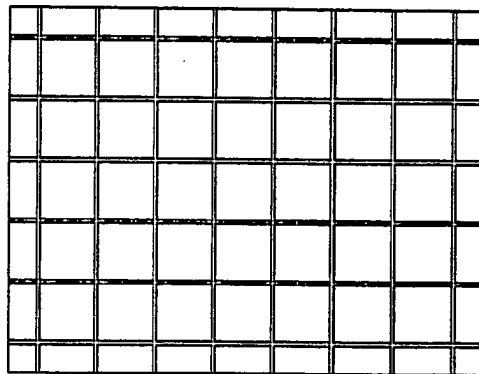


FIG. 21

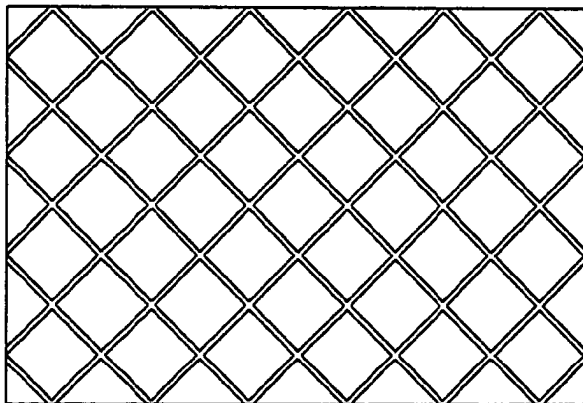
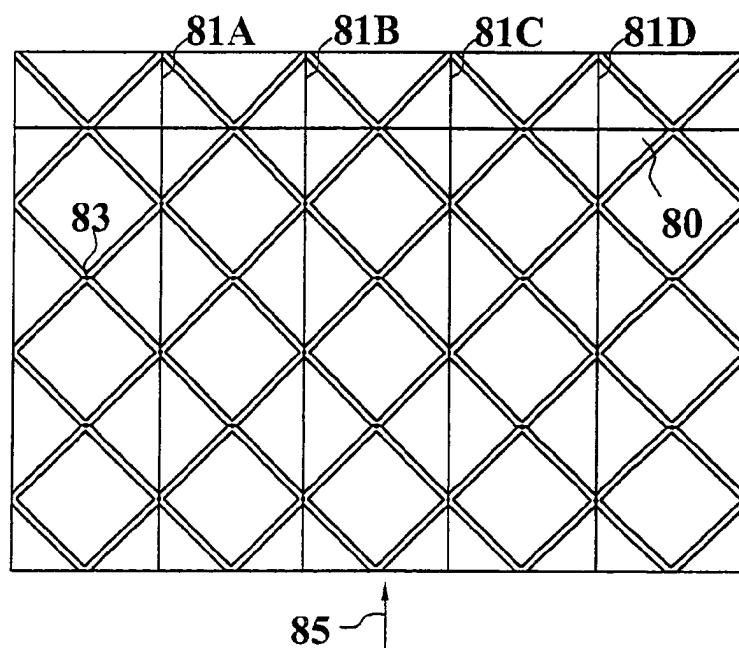


FIG. 22



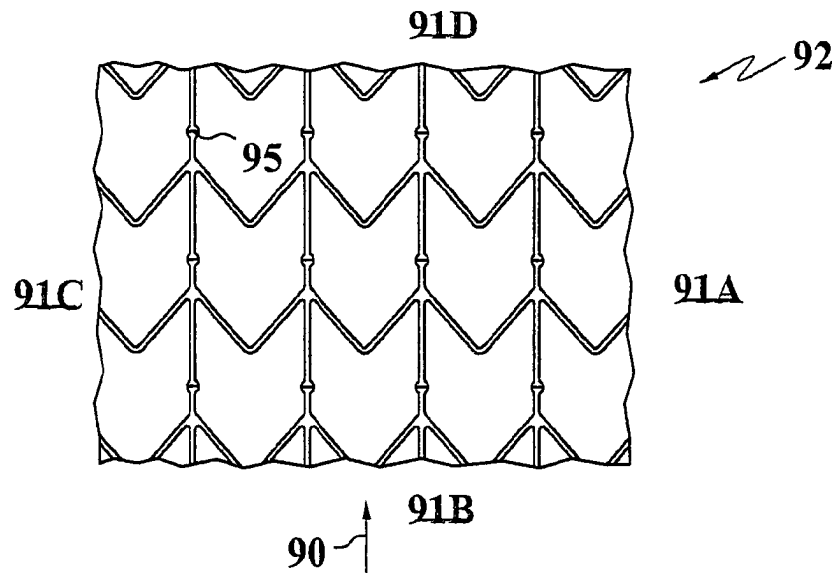


FIG. 23

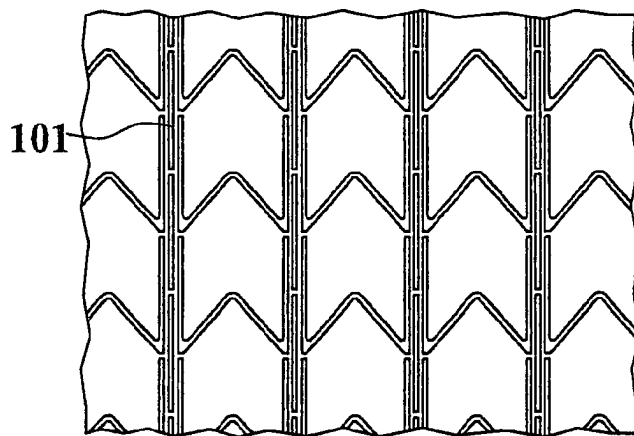


FIG. 24

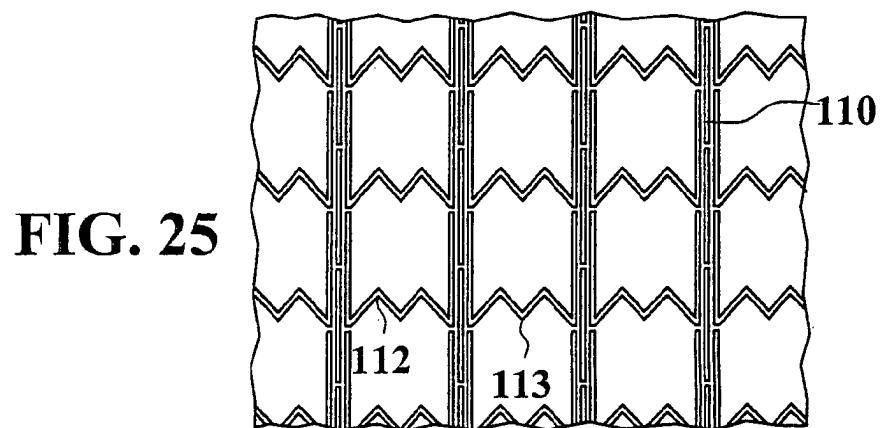


FIG. 25

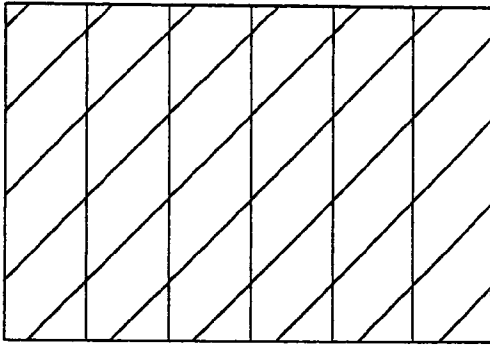


FIG. 26A

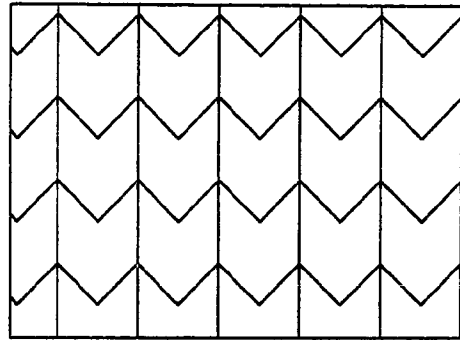


FIG. 26B

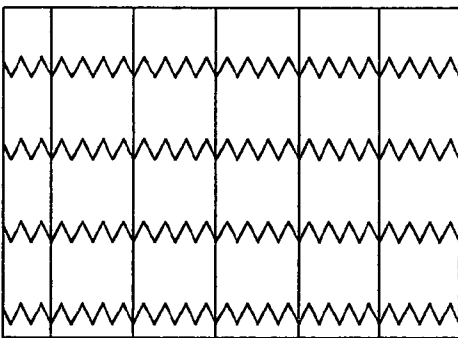


FIG. 26C

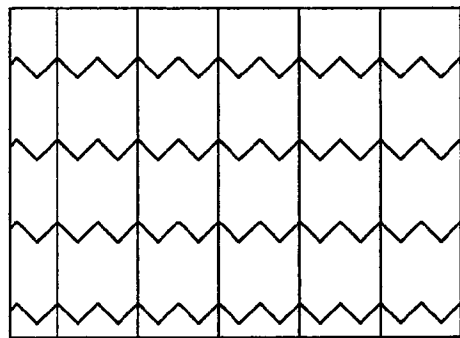


FIG. 26D

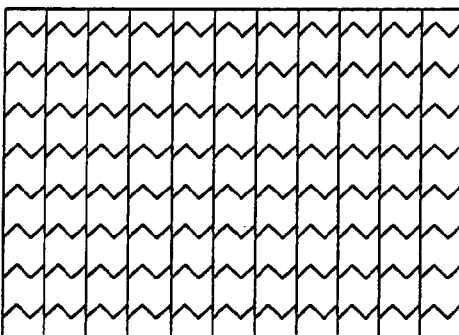


FIG. 26E

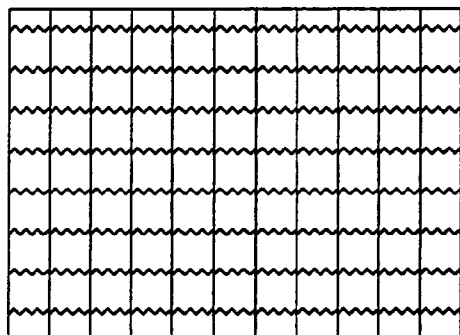


FIG. 26F

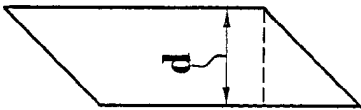


FIG. 27A

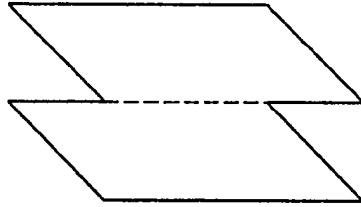


FIG. 27B

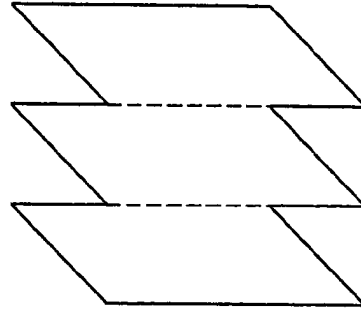


FIG. 27C

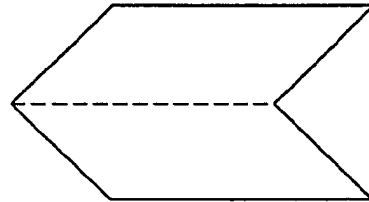


FIG. 27D

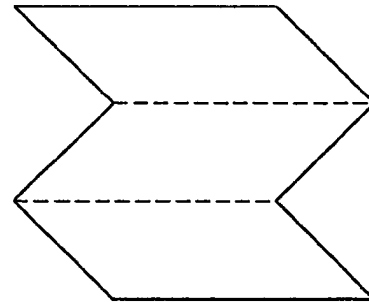


FIG. 27E

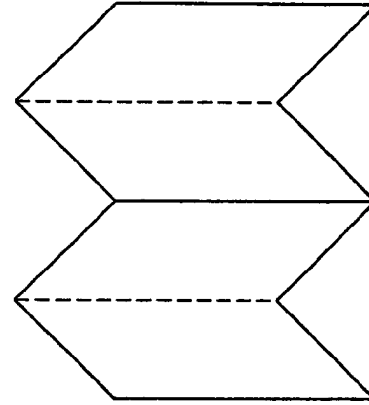


FIG. 27F

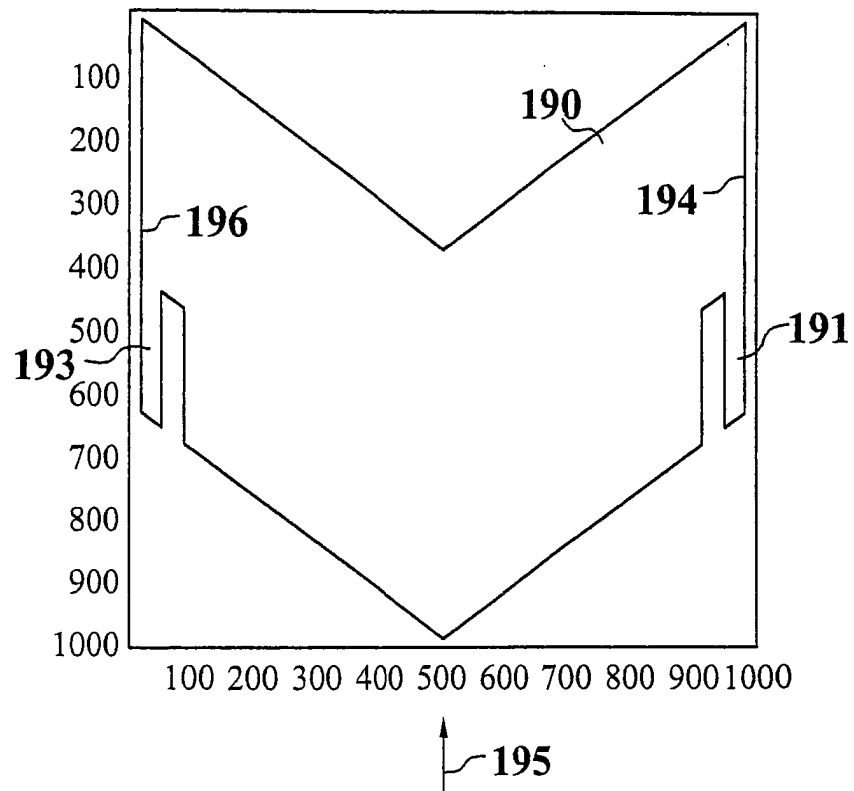


FIG. 28

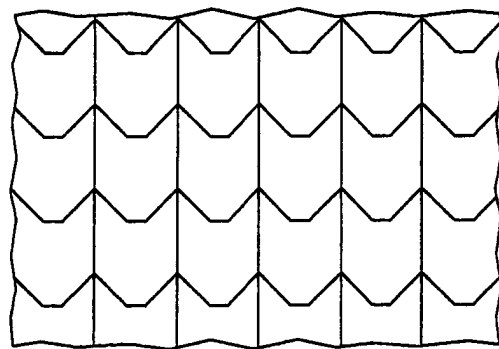


FIG. 29

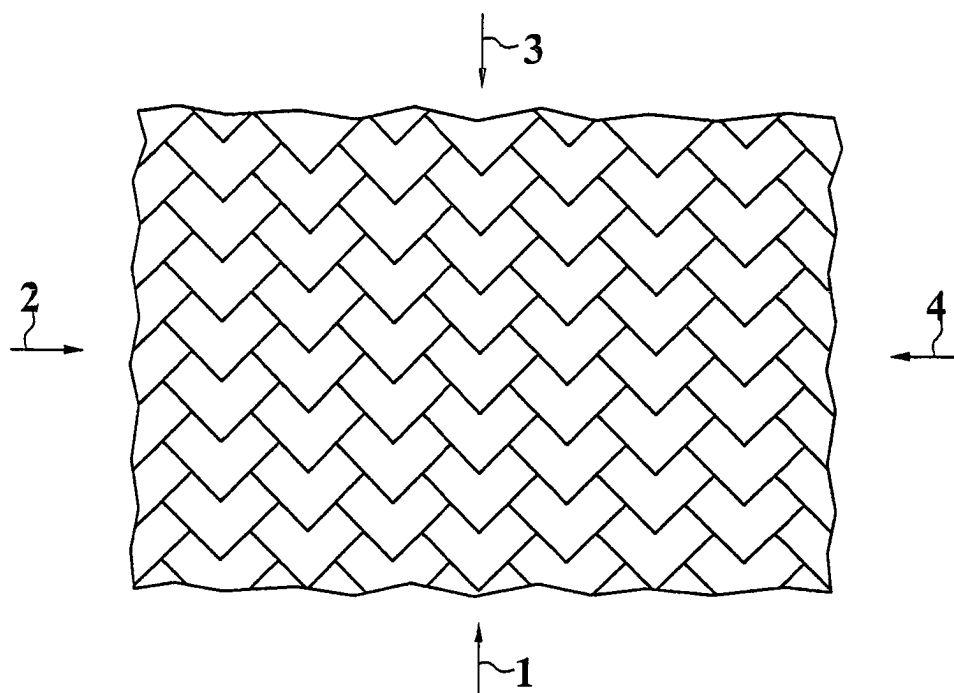


FIG. 30

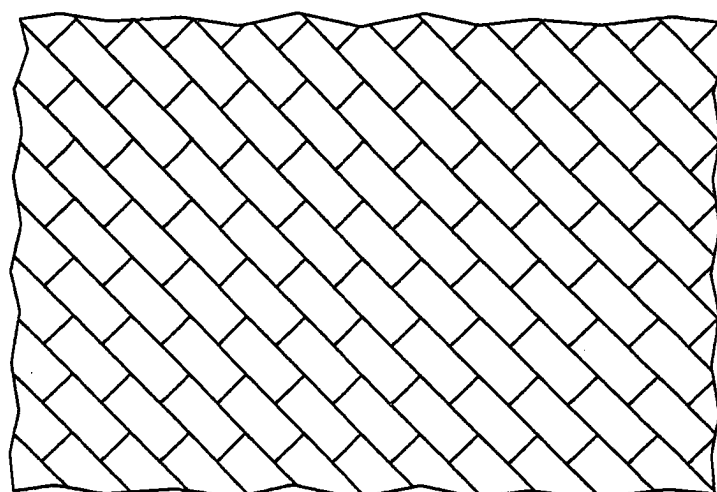
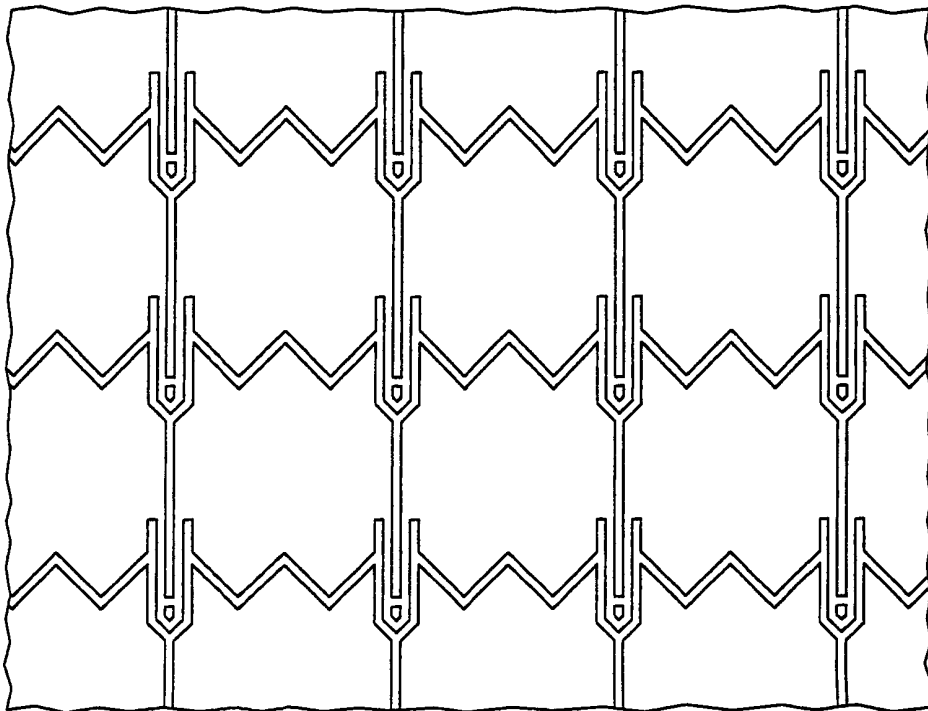
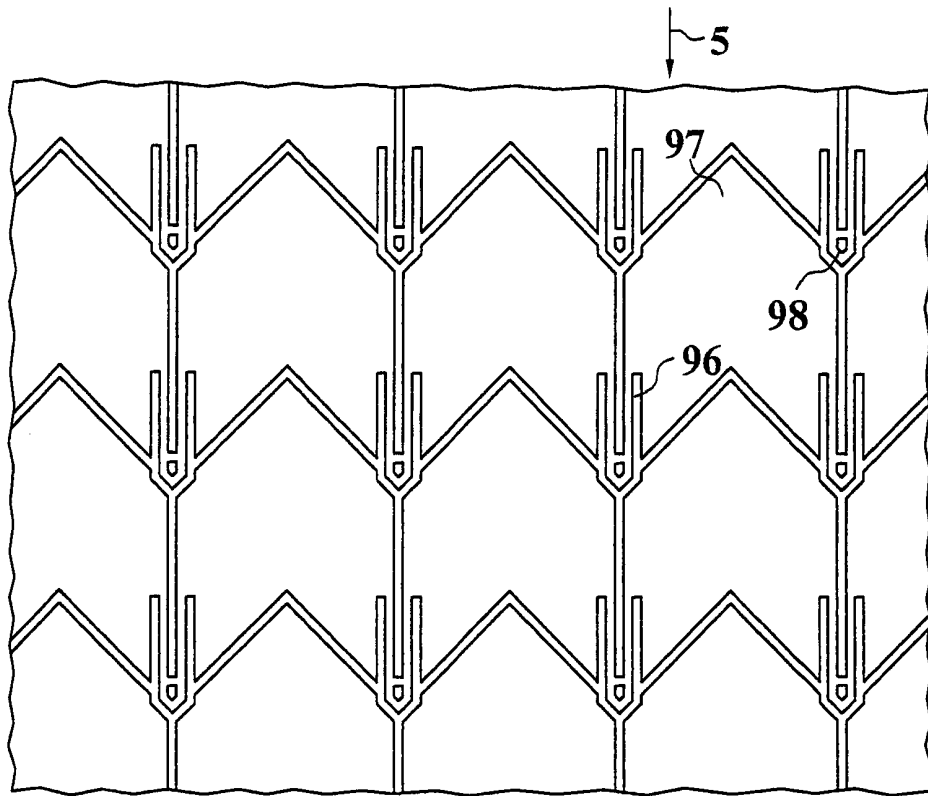


FIG. 31



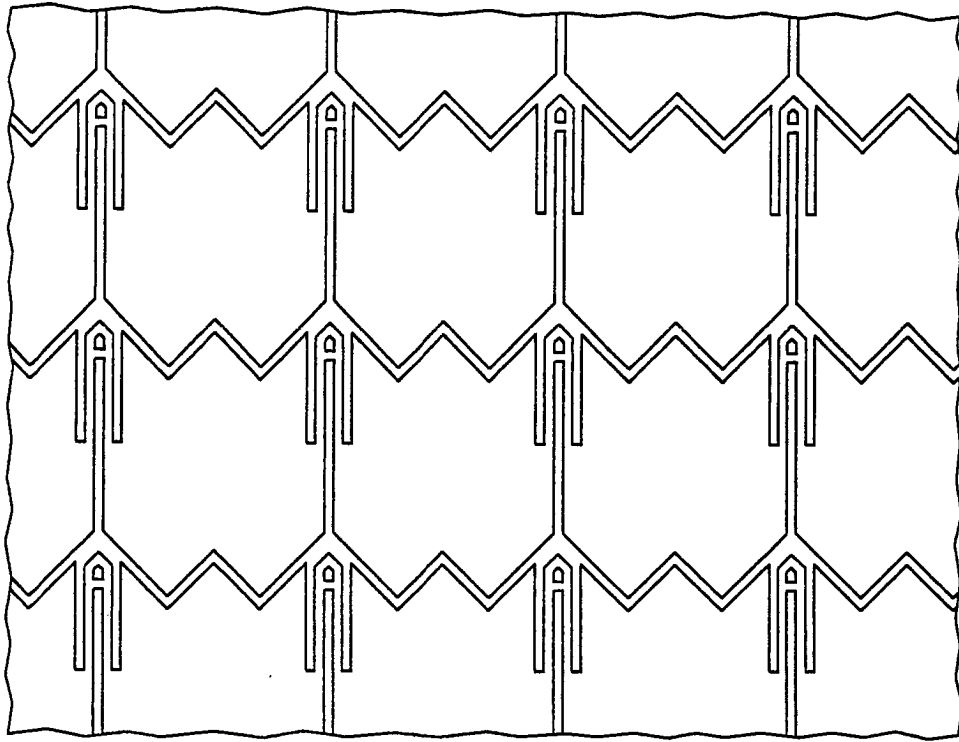


FIG. 32C

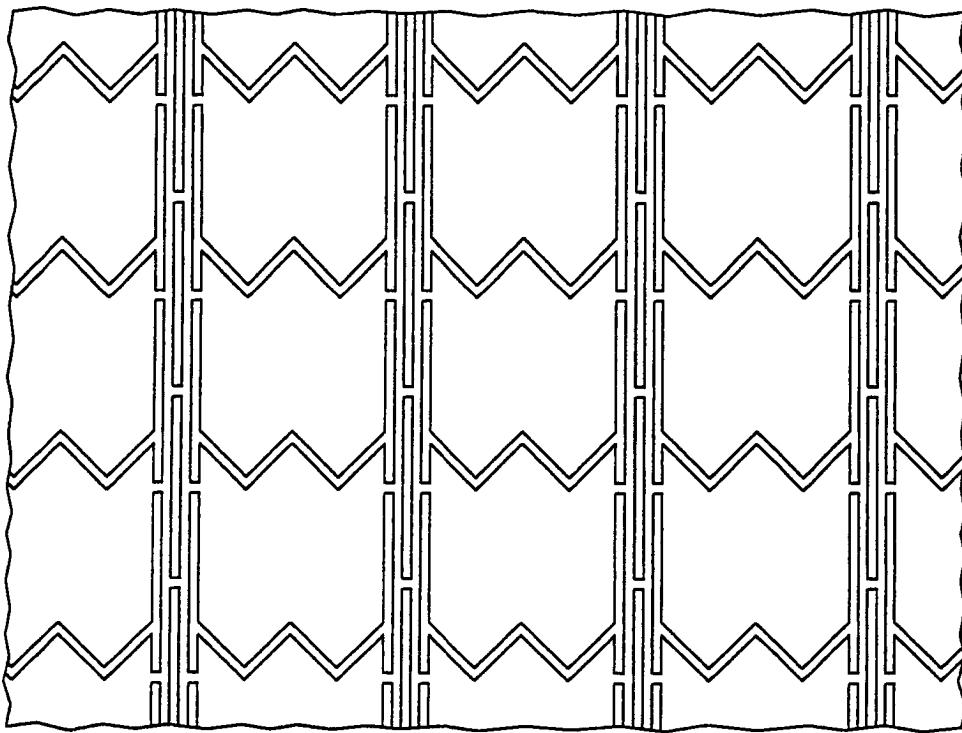


FIG. 32D

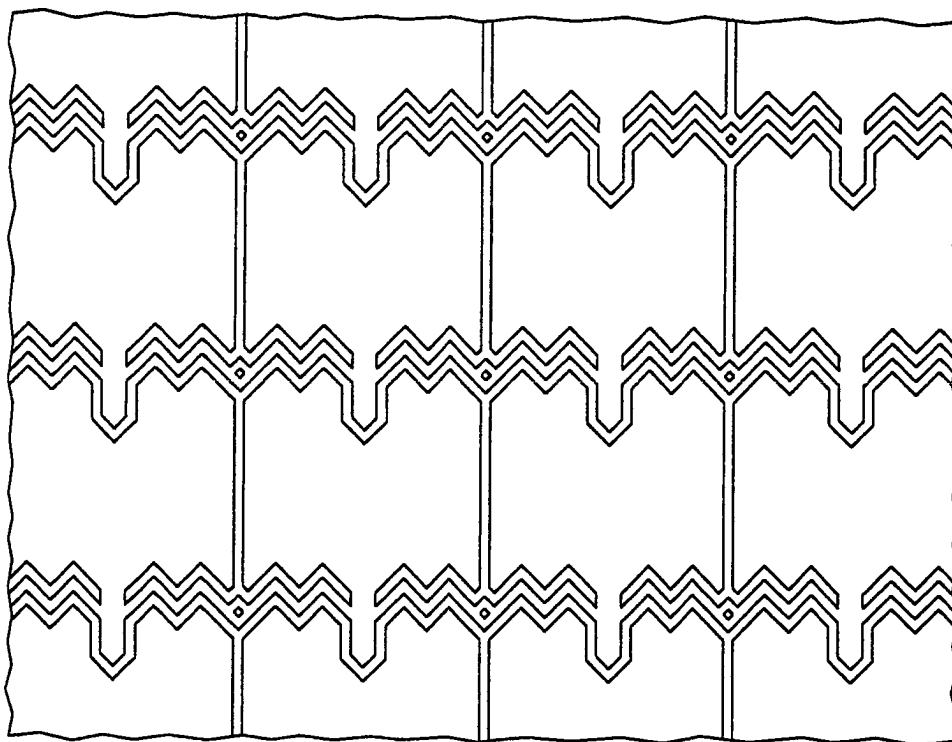


FIG. 32E

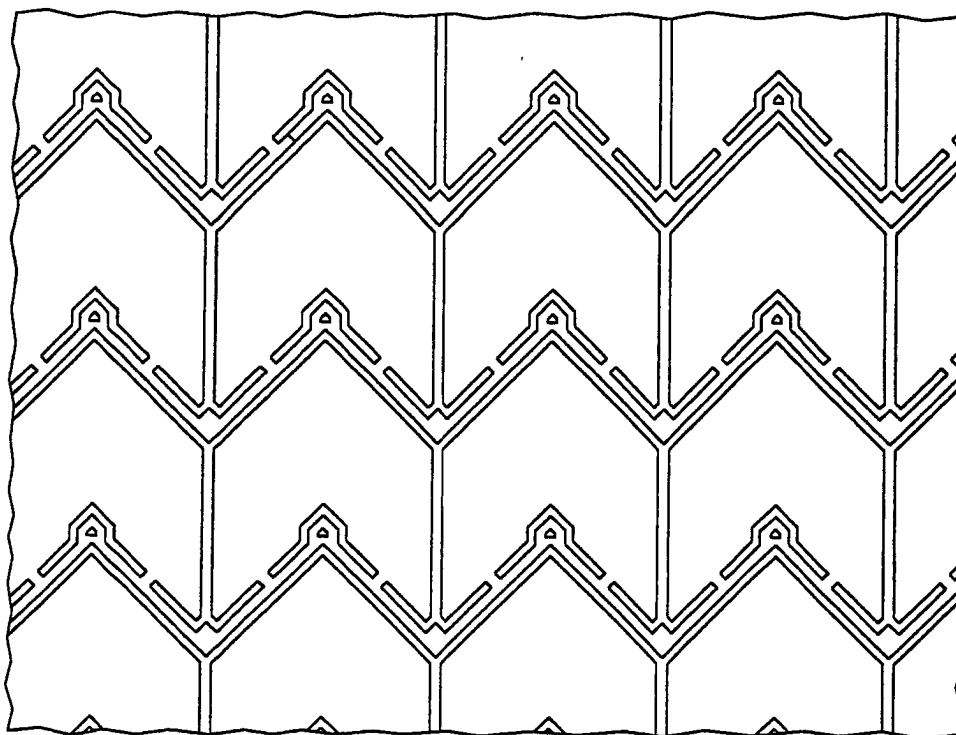


FIG. 32F

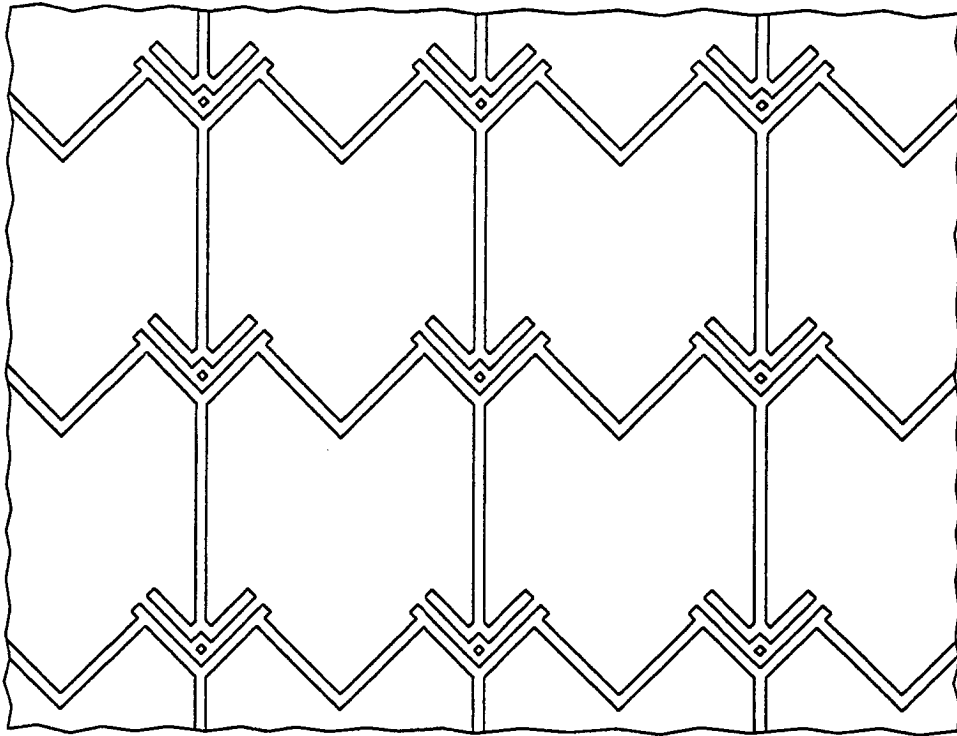


FIG. 32G

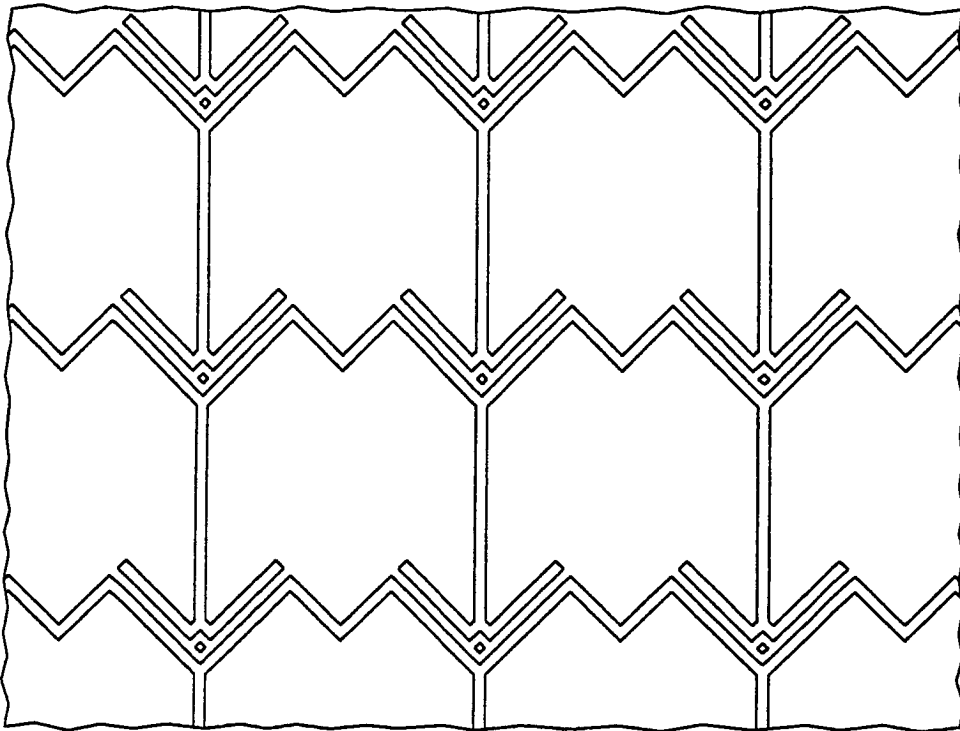


FIG. 32H

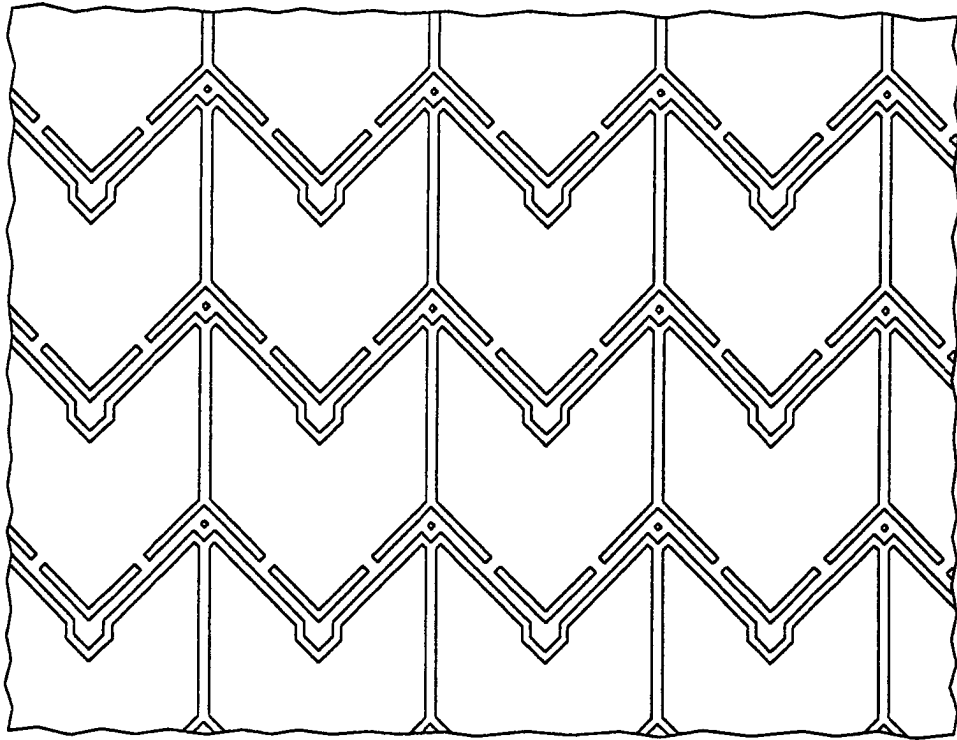


FIG. 32I

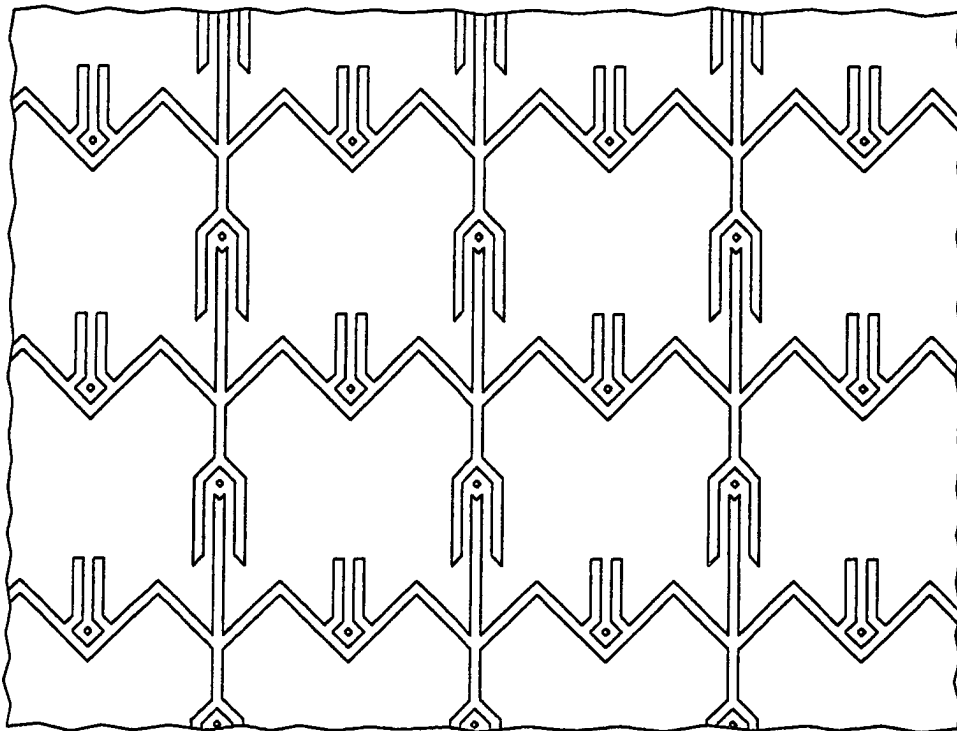


FIG. 32J

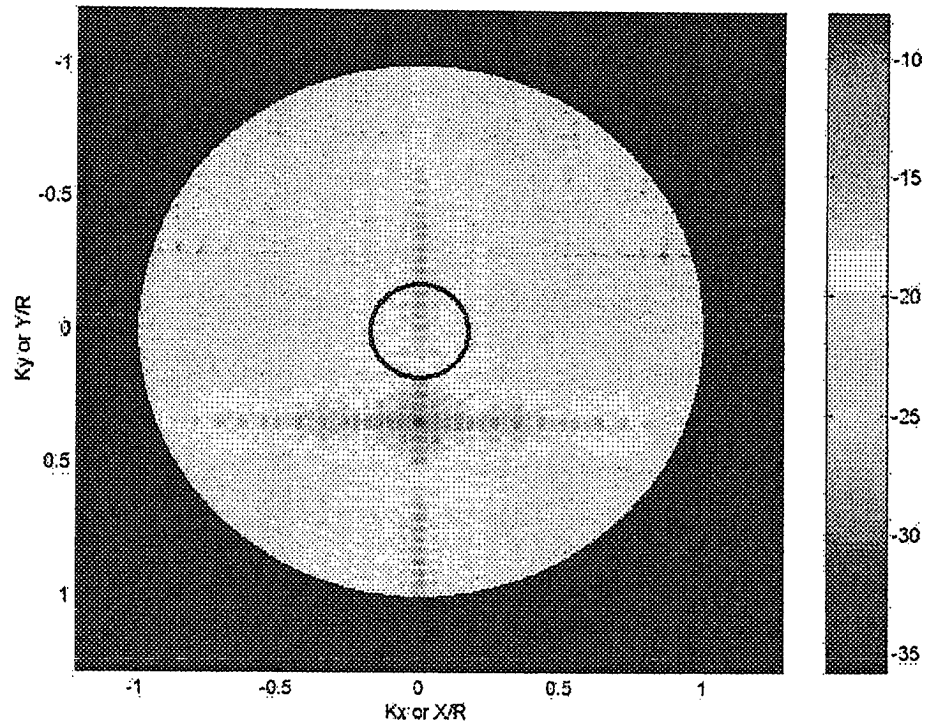


FIG. 33A

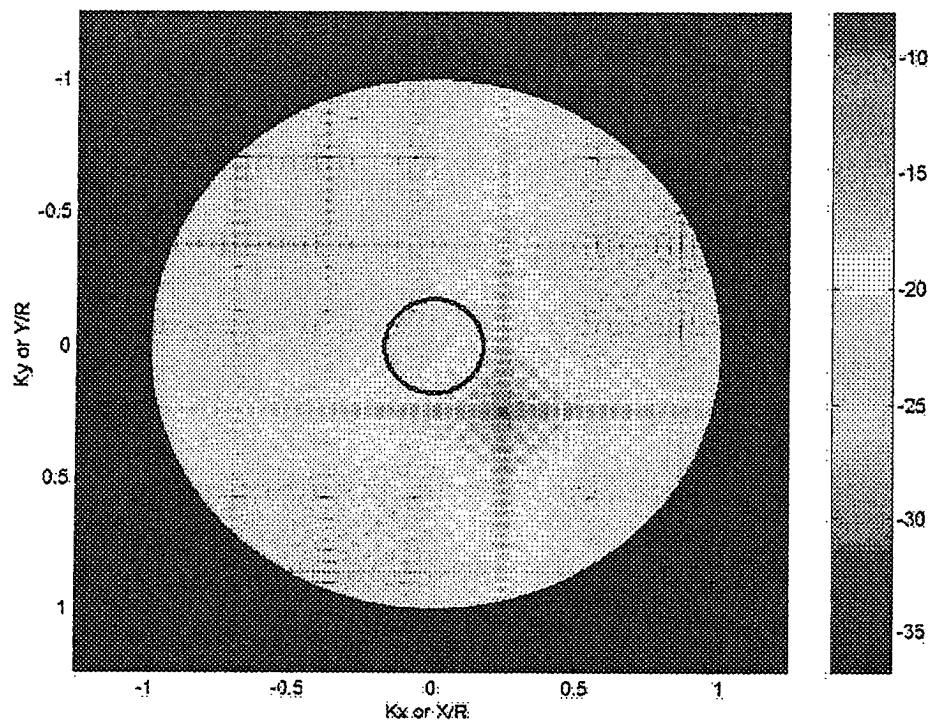


FIG. 33B

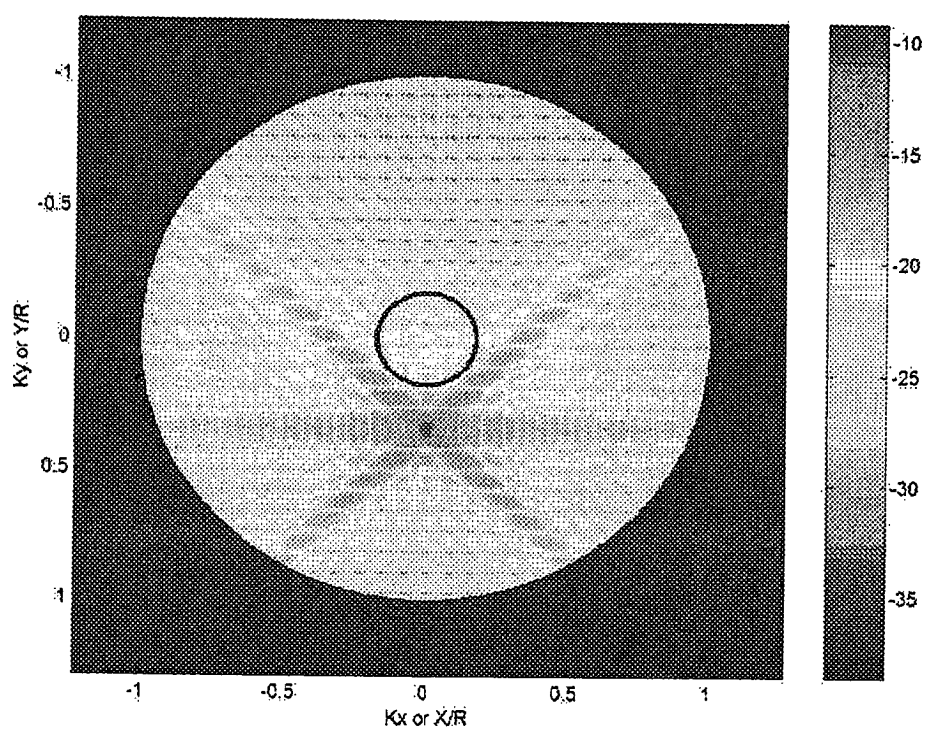


FIG. 33C