



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) DE 699 05 717 T2 2004.02.05

(12)

Übersetzung der europäischen Patentschrift

(97) EP 1 090 322 B1

(51) Int Cl.⁷: G02B 26/08

(21) Deutsches Aktenzeichen: 699 05 717.5

(86) PCT-Aktenzeichen: PCT/US99/13955

(96) Europäisches Aktenzeichen: 99 930 488.4

(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: WO 99/067671

(86) PCT-Anmeldetag: 18.06.1999

(87) Veröffentlichungstag

der PCT-Anmeldung: 29.12.1999

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: 11.04.2001

(97) Veröffentlichungstag

der Patenterteilung beim EPA: 05.03.2003

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: 05.02.2004

(30) Unionspriorität:

104159 24.06.1998 US

(84) Benannte Vertragsstaaten:

AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT,
LI, LU, MC, NL, PT, SE

(73) Patentinhaber:

Silicon Light Machines, Sunnyvale, Calif., US

(72) Erfinder:

BLOOM, M., David, Palo Alto, US; GODIL, Asif,
Mountain View, US

(74) Vertreter:

Eisenführ, Speiser & Partner, 80335 München

(54) Bezeichnung: VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUR MODULATION EINES LICHTSTRAHLS FÜR EINE ZWEI-DIMENSIONALE BILDDARSTELLUNG

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelebt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99 (1) Europäisches Patentübereinkommen).

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patent- und Markenamt inhaltlich nicht geprüft.

Beschreibung**Gebiet der Erfindung**

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung für die Modulation von Licht zur Erzeugung eines zweidimensionalen Bildes. Die Erfindung betrifft insbesondere ein säulenförmiges Beugungsgitter, das die Modulation bewirkt.

Stand der Technik

[0002] Es gibt viele Anwendungen für Vorrichtungen, die Licht modulieren, indem sie beispielsweise die Amplitude, die Frequenz oder die Phase des Lichts verändern. Ein Beispiel für eine solche Vorrichtung ist der in **Fig. 1** gezeigte reflektierende, verformbare Gitterlichtmodulator **10**. Dieser Modulator **10** wurde von Bloom et al. im US-Patent 5,311,360 vorgeschlagen. Der Modulator **10** enthält mehrere im gleichen Abstand voneinander angeordnete verformbare reflektierende Streifen **18**, die über einem Substrat **16** mit reflektierenden Oberflächenabschnitten aufgehängt sind. Auf dem Siliciumsubstrat **16** wurde eine Isolierschicht **11** abgeschieden. Anschließend wurden eine Opfersiliciumdioxidschicht **12** und eine spannungsarme Siliciumnitridschicht **14** abgeschieden. In der Nitridschicht **14** wurde ein Muster in Form der Streifen **18** ausgebildet, und Teile der Siliciumdioxidschicht **12** sind so abgeätzt, dass die Streifen **18** von einem Nitridrahmen **20** auf einer Oxidabstandsschicht **12** gehalten werden. Zur Modulation von Licht einer einzigen Wellenlänge λ_0 ist der Modulator so gestaltet, dass die Dicke der Streifen **18** und die Dicke der Oxidabstandshalter **12** jeweils $\lambda_0/4$ beträgt.

[0003] Die Gitteramplitude dieses Modulators **10**, die als Umfangsabstand d zwischen den reflektierenden Oberflächen **22** auf den Streifen **18** und den reflektierenden Oberflächen des Substrats **16** definiert ist, wird gesteuert, indem an die Streifen **18** (wobei die reflektierende Oberfläche **22** der Streifen **18** als erste Elektrode dient) und das Substrat **16** (wobei eine leitfähige Schicht **24** unter dem Substrat **16** als zweite Elektrode dient) Spannung angelegt wird. Im nicht verformten Zustand, und wenn keine Spannung anliegt, ist die Gitteramplitude $\lambda_0/2$, und der gesamte Weglängenunterschied zwischen dem von den Streifen und dem Substrat reflektierten Licht entspricht λ_0 , was dazu führt, dass sich die Reflexionen in der Phase addieren. Damit reflektiert der Modulator **10** im nicht verformten Zustand Licht wie ein ebener Spiegel. Der nicht verformte Zustand ist in **Fig. 2** dargestellt, wobei das einfallende und das reflektierte Licht mit **26** bezeichnet sind.

[0004] Wenn an die Streifen **18** und das Substrat **16** eine entsprechende Spannung angelegt wird, werden die Streifen **18** durch elektrostatische Kraft abwärts verformt und mit der Oberfläche des Substrats **16** in Kontakt gebracht. In der niedergedrückten Position ändert sich die Gitteramplitude in $\lambda_0/4$. Die Ge-

samtweglängendifferenz entspricht der halben Wellenlänge, was dazu führt, dass zerstörerische Interferenzen zwischen den Reflexionen von der Oberfläche der verformten Streifen **18** und den Reflexionen vom Substrat **16** entstehen. Infolge dieser Interferenzen beugt bzw. bricht der Modulator das einfallende Licht **26**. Der verformte Zustand ist in **Fig. 3** dargestellt, wobei die $+/-1$ -Beugungsmodi (D_{+1} , D_{-1}) mit **28** bzw. **30** bezeichnet sind.

[0005] Bei diesen Vorrichtungen hat es sich gezeigt, dass das Anhaften der Streifen **18** am Substrat **16** während der Nassbearbeitung zur Erzeugung des Abstands unter den Streifen **18** und während des Betriebs des Modulators **10** problematisch ist. Es sind zahlreiche Techniken zur Verringerung des Anhaftens vorgeschlagen worden, darunter das Gefriertrocknen, das Trockenätzen einer Opferschicht aus Photolack/Aceton, Einlagen-OTS-Behandlungen, die Verwendung steiferer Streifen durch Verwendung kürzerer Streifen und/oder strafferer Nitridschichten, das Aufrauen oder Wellen einer oder beider Oberflächen, das Ausbilden invertierter Schienen auf der Unterseite der Streifen und das Ändern des Oberflächenchemismus. Sadejas et al. haben in „Surface Microfabrication of Deformable Grating Light Valves for High Resolution Displays“ und Apte et al. in „Grating Light Valves for High Resolution Displays“, Solid State Sensors and Actuators Workshop, Hilton Head Island, SC (Juni 1994) gezeigt, dass das Anhaften verhindert werden kann, indem der Kontaktbereich dadurch verringert wird, dass auf der Unterseite der Brücken invertierte Schienen ausgebildet bzw. rau Polysiliciumschichten verwendet werden.

[0006] Wie Apte et al. erkennen, ist ein Merkmal der mechanischen Funktion des Modulators **10** außerdem die Hysterese bei der Verformung der Streifen **18** in Abhängigkeit von der angelegten Spannung. Die theoretische Begründung für die Hysterese ist, dass die elektrostatische Anziehungskraft zwischen den Streifen **18** und dem Substrat **16** eine nichtlineare Funktion des Verformungsbetrags ist, während die Wiederherstellungskraft durch die Steifheit und die Spannung der Streifen **18** eine im wesentlichen lineare Funktion ist. **Fig. 4** zeigt eine simulierte Hysteresekennlinie, wobei das abgestrahlte Licht (ein indirekter Indikator für den Grad der Verformung der Streifen **18**) auf der senkrechten und die Spannung zwischen den Streifen **18** und dem Substrat **16** auf der horizontalen Achse aufgetragen sind. Wenn also die Streifen **18** nach unten verformt sind und Kontakt mit dem Substrat **16** haben, verharren sie in dieser Position, so dass die Haltespannung niedriger sein kann als die ursprünglich angelegte Spannung.

[0007] Bloom et al. lehren im US-Patent 5,311,360, dass dieses Verharrungsmerkmal wünschenswert sei, da es dem Modulator **10** den Vorteil einer aktiven Matrix verleihe, ohne dass dazu aktive Bauteile erforderlich sind. Außerdem lehren Bloom et al. dass dieses Verharrungsmerkmal auch im Niedrigenergieeinsatz wünschenswert sei, bei dem eine effiziente Nut-

zung der verfügbaren Energie sehr wichtig ist. Hinsichtlich des Anhaftproblems jedoch lehren Bloom et al. die Anbringung kleiner Rippen unter den Streifen **18**, um den Kontaktbereich und damit das Anhaftproblem zu verringern. Weil jedoch das Substrat des Modulators **10** als optische Oberfläche verwendet wird, werden die Herstellungsschritte für die Anbringung kleiner Rippen auf der Oberfläche dadurch erschwert, dass die Reflexionsbereiche des Substrats **16** glatt und sehr reflexionsfähig sein und in einer zu den Streifen **18** parallelen Ebene liegen müssen.

[0008] Das US-Patent 5,757,536 (Ricco et al.) beschreibt einen speziell gebauten Lichtmodulator zum Modulieren einfallender Lichtstrahlen oder ein elektrisch programmierbares Beugungsgitter. Der Lichtmodulator hat mehrere gestreckte bzw. längliche Elemente, von denen jedes eine in etwa ebene Reflexionsoberfläche zwischen den beiden Enden aufweist, wobei die Elemente parallel zueinander angeordnet und an den Enden über einem Substrat aufgehängt sind und wobei die Reflexionsabschnitte der länglichen Elemente zur Herstellung des verformten Zustands zur Beugung von Licht selektiv zum Substrat hin verformbar sind, ohne dass sie mit dem Substrat in Kontakt kommen.

[0009] Gemäß einem Aspekt der vorliegenden Erfindung wird ein Lichtmodulator, wie oben beschrieben, bereitgestellt, der gekennzeichnet ist durch ein Reflexionselement, welches über den beiden Enden der einzelnen länglichen Elemente in einer zu den Reflexionsoberflächen nicht verformter Elemente parallelen Ebene angeordnet ist, und zwar in einem Abstand, der einer ganzen Zahl (einschließlich 0), multipliziert mit der jeweiligen halben Wellenlänge, entspricht.

[0010] Bei der nachstehend beschriebenen bevorzugten Anwendung der Erfindung ist das Reflexionselement praktisch in derselben Ebene angeordnet wie der ebene Mittenabschnitt der einzelnen länglichen Elemente im nicht verformten Zustand. Das entspricht der Wahl einer 0 als ganzer Zahl. Wie unten ausgeführt, verhindert das Vorhandensein eines Reflexionselements über den beiden Enden der einzelnen länglichen Elemente, dass an einer anderen Stelle als dem in etwa ebenen Mittenabschnitt der einzelnen Elemente gebeugtes bzw. gebrochenes Licht den Betrachter des zweidimensionalen Bilds erreicht.

[0011] Nach einem anderen Aspekt der Erfindung wird eine Lichtabschirmung oder Blende verwendet um zu verhindern, dass das zweidimensionale Bild aus anderem als dem am Mittenabschnitt der länglichen Elemente reflektierten und gebeugten bzw. gebrochenen Licht entsteht.

[0012] Die Erfindung definiert auch ein Verfahren zum Erzeugen eines zweidimensionalen Bildes unter Einsatz eines solchen Modulators, wobei das Licht vom Gitter so gesteuert wird, dass die Erzeugung eines Bildes aus anderem als dem an den Mittenabschnitten reflektierten und gebeugten bzw. gebrochenen Licht verhindert wird.

[0013] Ferner definiert die Erfindung ein Verfahren zum Herstellen eines solchen Lichtmodulators.

[0014] Im folgenden werden ein erfindungsgemäßes Beugungsgitter-Lichtventil (GLV) und ein Verfahren zu seiner Anwendung zum Modulieren eines einfallenden Lichtstrahls zur Erzeugung eines zweidimensionalen Bildes beschrieben. Das Beugungsgitter-Lichtventil besitzt mehrere längliche Elemente, von denen jedes eine reflektierende Oberfläche hat. Die länglichen bzw. gestreckten Elemente sind im wesentlichen parallel zueinander über einem Substrat aufgehängt, wobei ihre jeweiligen Enden abgestützt und im wesentlichen so ausgerichtet sind, dass sie eine Kette benachbarter reflektierender Oberflächen (eine GLV-Reihe) bilden. Die länglichen Elemente sind nach Anzeigeelementen gruppiert. Jedes zweite einer Gruppe ist durch Anlegen von Spannung an das Substrat verformbar. Der in etwa ebene Mittenabschnitt eines jeden verformten länglichen Elements ist im wesentlichen parallel zu den Mittenabschnitten der nicht verformten Elemente und hat von diesen einen vorgegebenen Abstand. Der vorgegebene Abstand ist so gewählt, dass er etwa ein Drittel bis ein Viertel des Abstands zwischen den nicht verformten reflektierenden Oberflächen und dem Substrat beträgt, so dass die verformten länglichen Elemente die Oberfläche des Substrats nicht berühren. Indem die Berührung der länglichen Elemente mit dem Substrat vermieden wird, wird verhindert, dass sie am Substrat haften bleiben. Durch Begrenzung des vorgegebenen Abstands wird außerdem die Hysterese beim Verformen der länglichen Elemente vermieden.

[0015] Ein auf die Kette benachbarter reflektierender Oberflächen einfallender Lichtstrahl wird von einer Gruppe länglicher Elemente reflektiert, wenn jedes zweite Element der Gruppe nicht verformt ist. Der Lichtstrahl wird von einer Gruppe länglicher Elemente gebeugt, wenn jedes zweite Element der Gruppe verformt ist. Das Verhältnis zwischen Reflexion und Beugung bei einer Gruppe während eines bestimmten Zeitabschnitts bestimmt die Anzeigintensität für das entsprechende Anzeigeelement. In aufeinanderfolgenden Zeitabschnitten ist der Lichtstrahl abwechselnd rot, grün und blau. Bei einer anderen Ausführungsform ist der Lichtstrahl weißes Licht, und die Breite der länglichen Elemente eines jeden Anzeigeelements ist so gewählt, dass die rote, die grüne oder die blaue Wellenlänge unter einem geeigneten Beugungswinkel gebeugt werden. In den einzelnen Zeitabschnitten werden für jedes Anzeigeelement je nach dem vom Anzeigeelement wiederzugebenden Bild die entsprechende Helligkeit und Farbe gebildet.

[0016] Das an der Kette reflektierender Oberflächen gebeugte Licht wird von einer Linse gesammelt. An der Austrittspupille der Linse ist das Licht säulenförmig und gibt eine Säule des anzuseigenden Bildes wieder. Eine Lichtabschirmung, die über die Länge der Säule einen Schlitz von vorgegebener Breite hat,

ist vor der Pupille der zweiten Linse so angeordnet, dass durch ein ausgewählter Teil des Lichts durch den Schlitz hindurchtritt. Diese Anordnung der Abschirmung verhindert, dass von dem von der ersten Linse gesammelten Licht mehr als das an den in etwa ebenen Mittenabschnitten der länglichen Elemente gebeugte Licht durch den Schlitz hindurchtritt. Bei einer anderen Ausführungsform ist über den Enden der länglichen Elemente eine feststehende Reflexionsoberfläche angeordnet um zu verhindern, dass Licht an einer anderen Stelle als an dem in etwa ebenen Mittenabschnitt der einzelnen länglichen Elemente gebeugt wird. Gegenüber der Lichtblende der Linse ist eine schwenkbare reflektierende Oberfläche (ein Abtastspiegel) angeordnet, um das durch den Schlitz hindurchtretende Licht in ein Okular oder auf einen Bildschirm zu reflektieren. Die reflektierende Oberfläche klappt synchron mit der Kette der lichtmodulierenden Anzeigeelemente vor und zurück, um Säulen des Anzeigebilds wiederzugeben. Demgemäß wird ein zweidimensionales Farbbild in das Okular oder auf den Anzeigebildschirm geworfen. Der schwenkbare Abtastspiegel kann durch andere Spiegelanordnungen, beispielsweise einen rotierenden facettierten Polygonspiegel, ersetzt werden.

[0017] Ein weiterer Aspekt der sich durch den im folgenden zu beschreibenden Lichtmodulator ergebenden Anzeigetechnik ist folgender:

[0018] Die herkömmlichen Anzeigen werden mit zweidimensionalen Pixelanordnungen gebildet. Das von jedem der Myriaden Pixel gebildete diskrete Bild wird vom Auge des Betrachters zu einem Gesamtbild integriert. Leider ist ein solches Anzeigesystem teurer, weil sich durch Replikation der einzelnen Pixel zur Bildung der Gesamtanordnung auch die Kosten für die Erzeugung der einzelnen Pixel replizieren. Ein Beispiel für derartige gepixelte Anzeigen sind Fernseh- und Computerbildschirme. Die Pixel für diese können von Flüssigkristallanzeigen oder von einer Kathodenstrahlröhre gebildet werden. Benötigt wird eine Anzeigeeinrichtung, deren Herstellungskosten sich dadurch senken lassen, dass die Anzahl der zum Aufbau des Systems erforderlichen Pixel reduziert wird, ohne die Bildqualität zu verringern.

[0019] Im folgenden werden die vorliegende Erfindung und ihre Anwendung unter Bezugnahme auf die beigefügten Zeichnungen näher beschrieben. **Fig. 1** bis 4 stellen einen bekannten reflektierenden Gittermodulator dar. **Fig. 5** bis 13 zeigen den Aufbau eines Lichtmodulatorgitters, wie es für die vorliegende Erfindung verwendet wird. **Fig. 14** und 15 betreffen den Einsatz des Lichtmodulatorgitters in einer Anzeigevorrichtung mit Lichtabschirmung. **Fig. 16** und 17 zeigen weitere Details der Anzeigevorrichtung, und **Fig. 18** zeigt den Einsatz eines reflektierenden Elements bei dem erfindungsgemäßen Lichtmodulatorgitter.

Kurzbeschreibung der Zeichnungen

- [0020] **Fig. 1** zeigt einen bekannten reflektierenden verformbaren Gitterlichtmodulator.
- [0021] **Fig. 2** zeigt den bekannten reflektierenden verformbaren Gitterlichtmodulator im nicht verformten Zustand, einfallendes Licht reflektierend.
- [0022] **Fig. 3** zeigt den bekannten reflektierenden verformbaren Gitterlichtmodulator im verformten Zustand, einfallendes Licht beugend.
- [0023] **Fig. 4** zeigt eine Hysteresekurve für den bekannten reflektierenden verformbaren Gitterlichtmodulator.
- [0024] **Fig. 5-6** und 8 zeigen von der Seite gesehene Schnittbilder einer Bearbeitungssequenz zur Herstellung eines erfindungsgemäßen säulenförmigen Beugungsgitter-Lichtventils (GLV).
- [0025] **Fig. 7** zeigt einen Blick von oben auf eine Bearbeitungssequenz zur Herstellung eines säulenförmigen Beugungsgitter-Lichtventils, auf das die Erfindung angewendet wird.
- [0026] **Fig. 9** zeigt ein von der Seite gesehenes Schnittbild des säulenförmigen Beugungsgitter-Lichtventils.
- [0027] **Fig. 10** zeigt eine Draufsicht eines Teils des GLV mit sechs länglichen Elementen entsprechend einem einzigen Anzeigeelement.
- [0028] **Fig. 11** zeigt ein von vorn gesehenes Schnittbild eines Anzeigeelements des GLV mit den sechs länglichen Elementen in nicht verformtem Zustand, einfallendes Licht reflektierend.
- [0029] **Fig. 12** zeigt ein von der Seite gesehenes Schnittbild eines verformten länglichen Elements des GLV.
- [0030] **Fig. 13** zeigt ein von vorn gesehenes Schnittbild des Anzeigeelements des GLV, bei dem jedes zweite der sechs länglichen Elemente verformt ist und einfallendes Licht beugt.
- [0031] **Fig. 14** zeigt eine Draufsicht eines optischen Anzeigesystems, in dem das erfindungsgemäße GLV verwendet wird.
- [0032] **Fig. 15** zeigt eine Seitenansicht des in **Fig. 14** gezeigten optischen Anzeigesystems entlang der Linie C-C'.
- [0033] **Fig. 16** zeigt einen von der Seite gesehenen Querschnitt einer Okularanordnung zur Verwendung für das in **Fig. 14** gezeigte optische Anzeigesystem mit einer Austrittspupille.
- [0034] **Fig. 17** zeigt einen von der Seite gesehenen Querschnitt einer Anzeigebildschirmanordnung zur Verwendung für das in **Fig. 14** gezeigte optische Anzeigesystem mit Austrittspupille.
- [0035] **Fig. 18** zeigt eine andere Ausführungsform der Erfindung zur Vermeidung der Anzeige von Licht, das an einer anderen Stelle als am in etwa ebenen Mittenabschnitt der länglichen Elemente gebeugt worden ist.

Ausführliche Beschreibung einer bevorzugten Ausführungsform

[0036] **Fig.** 5, 6 und 8 zeigen von der Seite gesehene Schnittbilder einer Bearbeitungssequenz zum Herstellen eines säulenförmigen Beugungs- bzw. Brechungsgitter-Lichtventils (GLV) zur Umsetzung der vorliegenden Erfindung. In **Fig.** 5 ist auf einem Siliciumsubstrat **100** eine Isolierschicht gebildet. Die Isolierschicht ist vorzugsweise eine zusammengesetzte Schicht mit einer Feldoxidschicht **102**, die durch thermische Oxidation gebildet wird, und einer dünnen Schicht aus Siliciumnitrid **104**, die auf der Feldoxidschicht **102** gebildet wird. Dann wird auf der Nitridschicht **104** eine leitfähige Schicht **106** gebildet. Vorzugsweise ist die leitfähige Schicht **106** aus einem hochschmelzenden Metall wie Wolfram, Molybdän, Titan/Wolfram oder Tantal oder alternativ aus leitfähigem Polysilicium oder einem diffundierten Leiter. Die leitfähige Schicht **106** dient als untere Elektrode zum Anlegen einer Vorspannung an ausgewählte längliche Elemente des GLV. Bei einer anderen Ausführungsform wird die leitfähige Schicht **106** auf der Unterseite des Substrats **100** gebildet.

[0037] Anschließend wird auf der leitfähigen Schicht **106** eine Opferschicht **108** gebildet. Die Opferschicht **108** muss gegenüber der leitfähigen Schicht **106** selektiv ätzbar sein. Die Opferschicht **108** ist vorzugsweise eine Polysiliciumschicht, die mit Xenondifluorid als Trockenätzmittel geätzt wird. Alternativ dazu kann die Opferschicht eine Schicht aus dotiertem Glas sein, beispielsweise aus Bor-Phosphor-Silikatglas oder Phoso-Silikatglas. Die Dicke, in der die Opferschicht **108** aufgebracht wird, bestimmt den Abstand zwischen der leitfähigen Schicht **106** und den länglichen Elementen, die über der Opferschicht **108** gebildet werden. Wie noch ausgeführt wird, weicht die Dicke der Opferschicht **108** insoweit deutlich von der bekannter Lichtmodulatoren ab, als die Opferschicht **108** deutlich dicker ist. Bei der bevorzugten Ausführungsform entspricht die Dicke der Opferschicht **108** in etwa der erwarteten Wellenlänge des einfallenden Lichts. Wenn die erwartete Wellenlänge beispielsweise im sichtbaren Bereich liegt (etwa 450–760 nm), liegt die Dicke der Opferschicht **108** ebenfalls in diesem Bereich. Liegt die erwartete Wellenlänge im Ultraviolettbereich (etwa 200–450 nm), liegt auch die Dicke der Opferschicht **108** in diesem Bereich. Liegt die erwartete Wellenlänge im Infrarotbereich (etwa 760 = 2000 nm), liegt die Dicke der Opferschicht **108** ebenfalls in diesem Bereich.

[0038] Gemäß **Fig.** 6 werden die leitfähige Schicht **106** und die Opferschicht **108** nach bekannter Technik photolithographisch abgedeckt und dann nacheinander mit geeigneten Trocken- oder Nassätzmitteln geätzt, wobei bei jedem länglichen Element des GLV zwei Pfostenlöcher **110** gebildet werden. Vorzugsweise werden die Pfostenlöcher **110** im Abstand von etwa 75 Mikron voneinander gebildet, wenngleich auch ein anderer Abstand gewählt werden kann. Für

Darstellungszwecke ist die Dicke der Schichten **102** – **108** relativ zum Abstand zwischen den Pfostenlöchern **110** überhöht gezeichnet.

[0039] **Fig.** 7 zeigt eine Draufsicht des GLV, nachdem die Pfostenlöcher **110** in der beschriebenen Weise ausgeätzt worden sind. Für Darstellungszwecke zeigt **Fig.** 7 eine Reihe von sechs paarweisen Pfostenlöchern **110**, wobei jedes Paar einem länglichen Element des GLV entspricht. Bei der bevorzugten Ausführungsform besitzt das GLV mehr Paare Pfostenlöcher **110**. Beispielsweise können 1920 Paare Pfostenlöcher **110** entsprechend 1920 länglichen Elementen, die in Reihe angeordnet sind, verwendet werden.

[0040] Gemäß **Fig.** 8 ist auf der Opferschicht **108** und den Pfostenlöchern **110** eine Schicht aus einem elastischen Material **112** ausgebildet, welches die Pfostenlöcher **110** teilweise oder vollständig füllt. Das elastische Material **112** ist vorzugsweise eine Schicht aus Siliciumnitrid, deren Dicke und Eigenspannung durch die Federkraft bestimmt werden, die erforderlich ist, um die einzelnen länglichen Elemente in die obere Position zurückzuführen, nachdem eine ausreichende gegenpolige Vorspannung angelegt worden ist, um die elektrostatische Kraft aufzuheben, die durch die Vorspannung induziert worden ist, welche angelegt worden ist, um die länglichen Elemente in die untere Position zu bringen. Anschließend wird auf der elastischen Schicht **112** eine Reflexionsschicht **114** abgeschieden. Die Reflexionsschicht **114** ergibt für jedes der länglichen Elemente des GLV eine reflektierende Oberfläche und dient als obere Elektrode zum Anlegen einer Vorspannung an ausgewählte längliche Elemente des GLV. Die Reflexionsschicht **114** ist vorzugsweise aus aufgestäubtem Aluminium.

[0041] Zuletzt wird eine Photolackschicht **118** als Maske zur selektiven Musterbildung in der Reflexionsschicht **114** und der elastischen Schicht **112** zur Bildung der länglichen Elemente aufgebracht. Zusätzlich wird die Opferschicht **108** geätzt, so dass ein Luftraum unter den länglichen Elementen entsteht.

[0042] **Fig.** 9 zeigt einen von der Seite gesehenen Querschnitt durch eines der länglichen Elemente **200** des GLV in nicht verformtem Zustand. Zu beachten ist, dass in **Fig.** 9 die Opferschicht **108** (**Fig.** 5–6 und 8) unter dem länglichen Element **200** durch einen Luftraum **202** ersetzt ist. Das längliche Element **200** ist also durch seine Enden über der Oberfläche des Substrats (mit seinen Aufbauschichten) aufgehängt. Außerdem ist die Photolackschicht **118** (**Fig.** 8) entfernt.

[0043] **Fig.** 10 zeigt eine Draufsicht auf einen Teil des GLV mit sechs länglichen Elementen **200**. Zu beachten ist, dass die länglichen Elemente **200** gleich breit sind und parallel zueinander angeordnet sind. Außerdem sind die länglichen Elemente **200** durch einen kleinen Abstand voneinander getrennt, so dass jedes der länglichen Elemente **200** selektiv gegenüber den anderen verformt werden kann. Die sechs in **Fig.** 10 gezeigten länglichen Elemente **200** entspre-

chen vorzugsweise einem einzigen Anzeigeelement **300**. Damit entspricht die Reihe von 1920 länglichen Elementen einer GLV-Anordnung mit 320 in einer Reihe angeordneten Anzeigeelementen. Man kann sich denken, dass die Anzahl der Anzeigeelemente Einfluss auf die Auflösung der Anzeige hat und dass auch eine andere Anzahl gewählt werden kann. Außerdem kann jedes der Anzeigeelemente **300** eine andere Anzahl länglicher Elemente **200** haben. Beispielsweise können zwei, vier, acht, zehn oder zwölf längliche Elemente **200** einem einzelnen Anzeigeelement **300** entsprechen. Es können sogar noch mehr längliche Elemente für ein einziges Anzeigeelement **300** verwendet werden. Außerdem kann eine ungeradzahlige Anzahl länglicher Elemente **200** für ein einzelnes Anzeigeelement **300** verwendet werden.

[0044] **Fig. 11** zeigt ein von vorn gesehenes Schnittbild des Anzeigeelements **300** mit nicht verformten länglichen Elementen **200**. Das in **Fig. 11** gezeigte Schnittbild ist entlang der Linie A-A' von **Fig. 9** geführt. Der nicht verformte Zustand wird durch Anlegen der gleichen Vorspannung an jedes der länglichen Elemente **200** gegenüber der leitfähigen Schicht **106** erreicht. Zu beachten ist, dass das auf die länglichen Elemente **200** einfallende Licht reflektiert wird, weil die reflektierenden Oberflächen der länglichen Elemente **200** im wesentlichen coplanar sind.

[0045] **Fig. 12** zeigt ein von der Seite gesehenes Schnittbild eines verformten länglichen Elements **200** des GLV. **Fig. 12** zeigt, dass das längliche Element **200** auch im verformten Zustand aufgehängt bleibt und nicht mit der unter ihm liegenden Oberfläche der Substratschichten in Berührung kommt. Dadurch unterscheidet es sich von dem bekannten Modulator von **Fig. 1–3**. Durch Vermeidung des Kontakts zwischen dem länglichen Element **200** und der Substratoberfläche wird auch das beim bekannten Modulator auftretende Problem des Anhaltens vermieden. Zu beachten ist jedoch, dass das längliche Element **200** im verformten Zustand zum Durchhängen neigt, und zwar dadurch, dass die elektrostatische Kraft, die das längliche Element **200** zum Substrat hinzieht, gleichmäßig über seine Länge verteilt ist und zwar senkrecht dazu, während die Spannung der länglichen Elemente **200** entlang der Länge des länglichen Elements **200** verläuft. Dadurch ist die reflektierende Oberfläche gekrümmt statt eben. Zu beachten ist jedoch, dass der Grad des Durchhängens des länglichen Elements **200** bezogen auf seine Länge in **Fig. 12** zu Illustrationszwecken übertrieben dargestellt ist.

[0046] Es wurde jedoch festgestellt, dass der Mittenabschnitt **202** (**Fig. 12**) des länglichen Elements **200** in etwa eben bleibt, so dass das Kontrastverhältnis, das sich daraus ergibt, dass nur Licht genommen wird, das am Mittenabschnitt **202** der einzelnen länglichen Elemente **200** gebrochen worden ist, zufriedenstellend ist. In der Praxis hat sich gezeigt, dass der in etwa ebene Mittenabschnitt **202** in etwa ein Drittel

des Abstands zwischen den Pfostenlöchern **110** beträgt. Wenn der Abstand zwischen den Pfostenlöchern **75** Mikron beträgt, ist der in etwa ebene Mittenabschnitt **202** somit etwa 25 Mikron lang.

[0047] **Fig. 13** zeigt ein von vorn gesehenes Schnittbild des Anzeigeelements **300**, bei dem jedes zweite der länglichen Elemente **200** verformt ist. Das in **Fig. 13** gezeigte Schnittbild ist entlang der Linie B-B' von **Fig. 12** geführt. Die länglichen Streifen **200**, die nicht wesentlich bewegt werden, werden durch Anlegen einer Vorspannung in der gewünschten Position gehalten. Der verformte Zustand der bewegten länglichen Streifen **200** wird durch Anlegen einer geeigneten Spannung an jeden zweiten der länglichen Elemente **200** gegenüber der leitfähigen Schicht **106** erreicht. Der Umfangsabstand d_1 ist über den in etwa ebenen Mittenabschnitt **202** (**Fig. 12**) in etwa konstant und legt damit die Gitteramplitude des GLV fest. Die Gitteramplitude d_1 kann durch Einstellen der Treiberspannung an den betätigten länglichen Elementen **200** verstellt werden. Dadurch wird die Feinabstimmung des GLV auf ein optimales Kontrastverhältnis möglich.

[0048] Um das einfallende Licht von nur einer Wellenlänge (λ_1) in geeigneter Weise zu beugen bzw. zu brechen, sollte das GLV eine Gitteramplitude d_1 haben, die ein Viertel der Wellenlänge des einfallenden Lichts ($\lambda_1/4$) beträgt, damit ein maximales Kontrastverhältnis beim angezeigten Bild erreicht wird. Es liegt jedoch auf der Hand, dass die Gitteramplitude d_1 nur zu einem Rundkursabstand von der Hälfte der Wellenlänge λ_1 , zuzüglich einer ganzen Zahl von Wellenlängen λ_1 , führen muss (d. h. $d_1 = \lambda_1/4, 3 \lambda_1/4, 5 \lambda_1/4, \dots, N \lambda_1/2 + \lambda_1/4$).

[0049] In **Fig. 13** ist zu sehen, dass die Unterseite der einzelnen verformten länglichen Elemente **200** von der Oberfläche des Substrats um den Abstand d_2 getrennt ist. Die länglichen Elemente **200** haben also während der Funktion des GLV keinen Kontakt mit dem Substrat. Dadurch wird das bei bekannten Modulatoren auftretende Problem des Anhaltens der reflektierenden Streifen am Substrat vermieden. Der Abstand d_2 wird vorzugsweise so gewählt, dass er etwa das Doppelte oder das Dreifache des Abstands d_1 beträgt. Damit bewegen sich die länglichen Elemente **200** im verformten Zustand um etwa ein Viertel bis ein Drittel des Abstands d_2 auf das Substrat zu. Der Abstand d_2 wird von der Dicke der Opferschicht **108** (**Fig. 5–6** und **8**) zuzüglich des Abstands d_1 bestimmt.

[0050] Was die in **Fig. 4** gezeigte Hysteresekurve angeht, so wird die Hysterese vermieden, weil die länglichen Elemente **200** das einfallende Licht beugen, wobei sie sich nur um ein Drittel bis ein Viertel des Abstands d_2 auf das Substrat zu bewegen. Ausgehend vom nicht verformten Zustand verformen sich die länglichen Elemente **200** statt dessen zum Substrat hin und kehren dann auf derselben Spannung/Lichtintensitätskurve in jeder Bewegungsrichtung in den nicht verformten Zustand zurück. Das ist

anders als bei dem in **Fig. 1–3** gezeigten bekannten Modulator, der eine Hysterese erfährt, wenn er sich in den Beugungszustand verformt. Diese Ausführungsform ermöglicht eine stufenlose Helligkeitswahl durch stufenlose Änderung der Antriebsspannung an den bewegten länglichen Elementen **200**.

[0051] Weil die Endabschnitte der einzelnen länglichen Elemente **200** nicht annähernd eben sind, ergibt sich für das Anzeigebild ein eher unbefriedigendes Kontrastverhältnis, wenn an den Endabschnitten gebeugtes Licht gesammelt und zur Anzeige gebracht wird. Deshalb ist bei einer Ausführungsform der Erfindung, wie bereits erwähnt, eine Lichtabschirmung vorgesehen, die verhindert, dass an anderer Stelle als am annähernd ebenen Mittenabschnitt **202** der einzelnen länglichen Elemente **200** gebeugtes Licht für die Bildung des Anzeigebilds verwendet wird. Alternativ dazu könnte das Licht optisch so manipuliert werden, dass es nur auf dem ungefähr ebenen Mittenabschnitt **202** auftrifft. Bei dieser Version wird eine Lichtvergeudung vermieden.

[0052] **Fig. 14** zeigt eine Draufsicht auf ein optisches Anzeigesystem **400**, in dem die GLV-Gruppe **402** Anwendung findet. Zur Beleuchtung der GLV-Gruppe **402** sind die rote Lichtquelle **404R**, die grüne Lichtquelle **404G** und die blaue Lichtquelle **404B** vorgesehen. Diese Lichtquellen können beliebige Quellen von rotem, grünem und blauem Licht sein, auch Halbleiterlichtquellen wie Leuchtdioden (LEDs) oder Halbleiterlaser oder gesonderte dioden gepumpte Festkörperlaser oder weißes Licht mit wechselnden Filtern, beispielsweise einer sich drehenden Scheibe mit drei Filtern, die nacheinander rotes, grünes und blaues Licht durchlässt. Für das System **400** wird angenommen, dass die Lichtquellen **404R**, **404G** und **404B** das Licht grundsätzlich symmetrisch abstrahlen. Eine dichroitische Filtergruppe **406** ermöglicht es, Licht von jeder beliebigen dieser Lichtquellen auf eine Kollimationslinse **408** zu richten, von wo es sich grundsätzlich auf der optischen Achse **z** des Systems ausbreitet. Dichroitische Filtergruppen oder Prismenblöcke, über die drei Lichtquellen unterschiedlicher Farbe vom selben Ursprung aus in ein optisches System eingespeist werden können, sind in der Optik bekannt, beispielsweise Philips-Prismen. Daher werden diese dichroitischen Filtergruppen hier nicht näher beschrieben.

[0053] Außerdem sind die Verwendung von drei getrennten Bilderzeugungssystemen – jeweils einem für Rot, Grün und Blau – und die optische Kombination dieser Bilder bekannt. Das erfindungsgemäße System könnte auch drei Anzeigevorrichtungen umfassen, die kombiniert und dann gescannt werden, um ein zusammengesetztes Bild zu erzeugen.

[0054] Weil die GLVs unter Einsatz von Halbleiterherstellungstechniken gebildet werden, ist es möglich, drei parallele lineare Anordnungen zu bilden, die im wesentlichen perfekt zueinander ausgerichtet sind. Es können drei Beleuchtungssysteme, nämlich je eines für Rot, Grün und Blau so konfiguriert wer-

den, dass sie das Licht der jeweiligen Farbe jeweils auf eine der perfekt ausgerichteten linearen GLV-Anordnungen werten. Dadurch ist die Ausrichtung des zusammengesetzten Bildes leichter als bei den bekannten Farbzusammensetzungssystemen.

[0055] Ein gemeinsames Problem der bekannten Farbanzeigesysteme ist allgemein unter dem Begriff „Farbaufspaltung“ (color break up) bekannt. Diese ergibt sich dadurch, dass diese Systeme in geeigneter Folge einen roten, einen grünen und einen blauen Rahmen anzeigen. Diese Technik ist als Farbrahmenfolge (Zeitfolgeverfahren) bekannt. Wenn ein Objekt zwischen dem Betrachter und dem angezeigten Bild hindurchgeht, erscheint ein Schatten dieses Gegenstands in einer der Farben in der Anzeige. Ebenso erscheint ein Artefakt der Farbrahmenfolge, wenn der Betrachter schnell die Köpfe dreht.

[0056] Weil die GLV-Technik in einer ausreichenden Bandbreite funktioniert, kann das System so betrieben werden, dass bei Abtastung jede der drei Anzeigefarben für jede Anzeigereihe bereitgestellt wird. Die Erfinder haben für diese Technik den Begriff „Zeilenfolgeverfahren“ geprägt. Die schädlichen Artefakte der Farbrahmenfolge sind nicht vorhanden.

[0057] Beim Zeilenfolgeverfahren wird beim Abtasten des Bildes jede der drei Farben nacheinander in die lineare GLV-Anordnung eingespeist. Es werden mit anderen Worten alle drei Farben so präsentiert, wie es in etwa einer einzelnen Anzeigezelle einer herkömmlichen gepixelten Anzeige entspricht.

[0058] Das Bild wird durch Abtasten einer linearen GLV-Anordnung gebildet. Die länglichen Elemente der linearen Anordnung sind alle parallel zueinander und senkrecht zur Länge der linearen Anordnung ausgerichtet. Dadurch wird die schattenhafte Anzeige benachbarter Elemente vermieden. Es gibt daher keine Pixelung zwischen benachbarten Anzeigeelementen wie bei bekannten LCD- oder Kathodenstrahlröhrenanzeigen. Weil die Anordnung exakt senkrecht zu der linearen Anordnung abgetastet wird, kann auch in dieser Richtung keine Pixelung zwischen der Anzeige auftreten. Dadurch lässt sich die Bildqualität im Vergleich zur herkömmlichen Anzeigetechnik deutlich verbessern.

[0059] Die Linse **408** ist der Einfachheit halber als einfache „sphärische“ Linse, d. h. als Linse, die auf der **x**-Achse und der **y**-Achse die gleiche Brechkraft hat; gezeichnet. In **Fig. 14** liegt die **y**-Achse in der Zeichenebene, während die **x**-Achse senkrecht zur Zeichenebene ist. Die Linse **408** kollimiert das Licht der Lichtquellen auf beiden Achsen. Wer sich mit der Technik, der die Erfindung zuzuordnen ist, auskennt, weiß jedoch, dass das von einem endemittierenden Halbleiterlaser abgestrahlte Licht auf einer der Achsen (**x** oder **y**) divergenter ist als auf der anderen und Astigmatismus aufweist. Mittel zum Kollimieren des Ausgangsstrahls eines solchen Lasers und zu seiner Aufweitung auf die gewünschte Größe sind in der Optik bekannt und machen gegebenenfalls eine oder mehrere sphärische, asphärische, torische oder zy-

lindrische (sphärische und asphärische) Linsenelemente erforderlich. Die Linse **408** soll eine Gruppe aus einem oder mehreren solchen Elementen darstellen.

[0060] Divergentes Licht **410** aus der symmetrisch emittierenden Lichtquelle **404** tritt durch die Linse **408** hindurch und wird auf der x- und der y-Achse kollimiert. Das biaxial kollimierte Licht **412** wird dann durch die zylindrische Linse **414** geführt. Der Begriff „zylindrisch“ bedeutet hier, dass die Linse **414** nur auf einer Achse (hier der y-Achse) Brechkraft hat. Der Optik-Fachmann weiß, dass die Oberfläche der Linse **414** nicht kreiszylindrisch sein muss. Die Linse **414** hat die Aufgabe, das durch sie hindurchtretende biaxial kollimierte Licht **412** auf der y-Achse zu konvergieren (**Fig. 14**, Linien **416**), während es auf der x-Achse kollimiert bleibt (**Fig. 14**, Linien **418**). Es sei darauf hingewiesen, dass die Linse **414**, wie bereits erwähnt, auch aus einem oder mehreren optischen Elementen gebildet sein kann und nur der Einfachheit halber als Einzelement dargestellt ist.

[0061] Die GLV-Anordnung **402** wird in einem Abstand zur zylindrischen Linse **414** angeordnet, der in etwa der Brennweite (f_1) der Linse entspricht. Die GLV-Anordnung **402** ist in x-Achse aufgereiht auf der optischen z-Achse des Systems angeordnet, welche der optischen Achse der Linsen **408** und **414** entspricht. Die Funktionsoberfläche des GLV (der länglichen Elemente **200**) ist gegenüber der z-Achse geneigt. In **Fig. 14** ist die GLV-Anordnung **402** um 45 Grad gegenüber der Achse geneigt, so dass die z-Achse um 90 Grad umgelegt wird. Diese Neigung der GLV-Anordnung **402** wurde hier zur einfacheren Darstellung gewählt und ist nicht als Einschränkung anzusehen.

[0062] **Fig. 15** zeigt das optische Anzeigesystem von **Fig. 14** in Seitenansicht auf der Linie C-C'. Nach **Fig. 15** erzeugt das auf die funktionsbereite GLV-Anordnung **402** einfallende Licht einen reflektierten Strahl (**418**) sowie gebeugte Plus- und Minusstrahlen erster Ordnung, die mit D_{+1} , bzw. D_{-1} bezeichnet sind. Diese gebeugten Strahlen sind auf der x-Achse gegenüber der z-Achse geneigt. Auf der y-Achse sind die gebeugten und reflektierten Strahlen gleich divergent. Die gebeugten und reflektierten Strahlen treten dann durch eine (positive) Vergrößerungslinse **420**, die von der GLV-Anordnung **402** um die Brennweite f_2 der Linse beabstandet ist. Die Linse **420** ist der Einfachheit halber als Einzelement dargestellt, kann jedoch in der Praxis auch aus zwei oder mehr Elementen bestehen. Die Linse **420** bildet ein Okular für das System **400** und ist vorzugsweise eines der bekannten Okulare vom Typ Hyugens, Ramsden, Kellner, Plössel, Abbe, König oder Erfle.

[0063] Auf der x-Achse konvergiert der reflektierte Strahl **422** zu einem Brennpunkt auf der z-Achse, in dem eine längliche Blende **424** etwa an der äußeren telezentrischen Austrittspupille P_2 der Linse **420** angeordnet ist. Zusätzlich ist in der Ebene der Pupille P_2 , der Linse **420** eine Blende **426** angeordnet, um

Licht, das an anderen Stellen der länglichen Elemente **200** der GLV-Anordnung **402** als an ihren in etwa ebenen Mittenbereichen **202** gebeugt worden ist, nicht hindurchzulassen. Die Blende hat einen Schlitz, der vorzugsweise so bemessen ist, dass nur Licht (D_{+1} , D_{-1}), das an dem etwa 25 Mikron breiten Mittenabschnitt **202** der einzelnen länglichen Elemente **200** gebeugt worden ist, hindurchtreten kann.

[0064] Die Schlieren-Optik des Systems **400** kann als Teil einer telezentrischen optischen Anordnung **428** angesehen werden, welche die GLV-Anordnung **402**, das Vergrößerungsokular **420** und die Blende **424** enthält, wobei die GLV-Anordnung **402** etwa an der äußeren Objektposition der Linse **420** und die Blende **424** etwa in der Austrittspupille der Linse **420** angeordnet sind. Ein telezentrisches System ist ein System, bei dem die Eintrittspupille und/oder die Austrittspupille auf unendlich gestellt sind. Es wird häufig verwendet für optische Systeme, die für Meßzwecke bestimmt sind, weil es durch geringfügige Defokussierung des Systems bedingte Meß- oder Positionsfehler reduziert. Diese Eigenschaft ermöglicht eine gewisse Toleranz bei der Anordnung von Blenden und anderen Komponenten des Systems insgesamt und wird bei bestimmten Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung; die nachstehend näher beschrieben werden, genutzt.

[0065] Auf der y-Achse (**Fig. 14**) wird divergierendes reflektiertes Licht **430** (und gebeugtes Licht) von der Linse **420** kollimiert. Die Blende **424** ist an der y-Achse angeordnet und fängt das reflektierte Licht ab. Die Blende **426** absorbiert Licht, das an anderer Stelle als an den in etwa ebenen Mittenabschnitten **202** der GLV-Anordnung **402** gebeugt worden ist. Die Blende **424** kann eine Absorptions- oder eine Reflexionsblende sein. Wenn die Blende **424** eine Reflexionsblende ist, wird das von ihr reflektierte Licht zur GLV-Anordnung **420** zurückgeschickt. Die gebeugten Strahlen D_{+1} und D_{-1} jedoch, die gegenüber der z-Achse und den entsprechenden einfallenden und reflektierten Strahlen geneigt sind, konvergieren zu Brennpunkten über und unter (alternativ auf entgegengesetzten Seiten) der Blende **424** und gelangen durch den Schlitz der Blende **426** durch die Austrittspupille P_2 , ohne aufgefangen zu werden.

[0066] Der Abtastspiegel **432** ist so angeordnet, dass die gebeugten Strahlen aufgefangen und zum Auge **434** des Betrachters gelenkt werden. Der Betrachter sieht ein vergrößertes virtuelles Bild (unendlich) der GLV-Anordnung **402**. Dieses Bild ist in **Fig. 5** durch die Linie **436** wiedergegeben, wobei natürlich zu berücksichtigen ist, dass hier kein reales Bild gegeben ist. Es liegt auf der Hand, dass die Reihe der GLV-Anordnung **402** eine Reihe oder eine Spalte des anzuseigenden Bildes wiedergeben kann. Die übrigen Reihen oder Spalten werden dann im Zuge der Abtastung gebildet. Es ist möglich, auch andere Abtastmodi einzusetzen, beispielsweise die Diagonalabtastung.

[0067] Die länglichen Elemente **200** der GLV-Anord-

nung **402** werden so betrieben, dass sie nacheinander unterschiedliche Zeilen der MxN-Anzeige wiedergeben, wobei M die Anzahl der Anzeigeelemente pro Zeile bedeutet und N die Anzahl der Zeilen der Anzeige. Jedes Anzeigeelement **300** beinhaltet, wie bereits erwähnt, mehrere längliche Elemente **200**. Die GLV-Anordnung **402** kann grundsätzlich als eindimensionale Reihe von Lichtventilen bzw. als eine Reihe von Anzeigeelementen oder Pixeln bezeichnet werden. Bei dem vergrößerten virtuellen Bild haben diese Pixel eine relative Helligkeit, die vom Betriebszustand des bzw. der Streifen **12** der GLV-Anordnung **10** bestimmt wird.

[0068] Der Abtastspiegel **432** wird von einem Antrieb **436** um eine Achse **438** in einem Winkel bewegt, wie durch den Pfeil A (**Fig. 14**) angezeigt, und tastet die gebrochenen Strahlen und damit das vergrößerte virtuelle Bild zeilenweise über das Sehfeld des Betrachters ab, wie durch den Pfeil B angezeigt, um die aufeinanderfolgenden Zeilen der Anzeige wiederzugeben. Der Spiegel **432** wird so schnell bewegt, dass das abgetastete virtuelle Bild dem Betrachter als zweidimensionales Bild erscheint. Der schwenkbare Abtastspiegel **432** kann durch andere Spiegelanordnungen ersetzt werden, beispielsweise durch einen sich drehenden facettierten Polygonspiegel.

[0069] Es ist eine mikroprozessorgestützte elektronische Steuerschaltung **440** zur Aufnahme von Videodaten vorgesehen und mit der GLV-Anordnung **402** verbunden, so dass die Videodaten genutzt werden können, um die länglichen Elemente **200** der GLV-Anordnung zur Modulation des an ihnen gebrochenen Lichts zu betätigen. Die Schaltung **440** ist so ausgelegt, dass das Licht der gebrochenen Strahlen D_{+1} und D_{-1} so moduliert wird, dass aufeinanderfolgende Zeilen eines zweidimensionalen Bildes, das die Videodaten wiedergibt, wiedergegeben werden, wie bereits erwähnt. Die Steuerschaltung **440** ist auch mit dem Abtastspiegelantrieb **436** gekoppelt, um die Anzeige aufeinanderfolgender Zeilen zu synchronisieren und zu bewirken, dass aufeinanderfolgende Rahmen des Bildes am äußersten Punkt der Winkelauflenkung des Abtastspiegels **432** beginnen. Die Abtastgeschwindigkeit kann nach einem Sinus-, Sägezahn- oder sonstigen geeigneten Geschwindigkeitsalgorithmus gesteuert werden. Es ist lediglich erforderlich, dass die Abtastgeschwindigkeit mit der Bereitstellung der Daten für die GLV-Anordnung **402** synchronisiert wird.

[0070] Die Steuerschaltung **432** ist auch mit den Lichtquellen **404R**, **404G** und **404B** gekoppelt, um die Quellen zusammenwirkend mit dem Betrieb der GLV-Anordnung **402** nacheinander zu schalten, um nacheinander die rote, grüne und blaue Bildauflösung der Anordnung bereitzustellen, die zusammen eine Auflösungszeile des farbigen zweidimensionalen Bildes ergeben. Bei dieser Vorgehensweise werden die länglichen Elemente **200** jedes der Anzeigeelemente **300** in geeigneter Weise moduliert, wobei die Lichtquellen **404R**, **404G** und **404B** nacheinander

aktiviert werden, um den geeigneten Rot-, Grün- und Blauanteil des gebrochenen Lichts für die Anzeigeelemente **300** bereitzustellen, während die entsprechende Bildzeile für den Betrachter angezeigt wird. Diese Modulation erfolgt mit so hoher Geschwindigkeit, dass der Betrachter bei jedem der Anzeigeelemente **300** die richtige Farbkombination wahrnimmt.

[0071] Bei einer anderen Anordnung werden die Lichtquellen **404R**, **404G** und **404B** gleichzeitig aktiviert, um die GLV-Anordnung **402** und zwei zusätzliche Anordnungen (nicht eingezeichnet) über einen dichroitischen Prismenblock (nicht eingezeichnet), der zwischen der Linse **420** und den drei GLV-Anordnungen angeordnet ist, zu beleuchten. In diesem Fall ist jede GLV-Anordnung so eingerichtet, dass sie eine bestimmte der drei Grundfarben Rot, Grün und Blau des Bildes moduliert. Der dichroitische Prismenblock kann ein Block eines bekannten Typs sein, beispielsweise der bereits erwähnte Phillips-Prismenblock. Er würde in diesem Fall so angeordnet, dass jede der GLV-Anordnungen im gleichen Abstand und im gleichen Winkel zur Linse **420** angeordnet erscheine. Bei einer solchen Anordnung könnten zur Bereitstellung eines farbigen Bildes die Lichtquellen **404R**, **404G** und **404B** durch eine einzige Quelle von weißem Licht ersetzt werden, und der dichroitische Prismenblock **406** könnte entfallen.

[0072] Zu beachten ist, dass das Auge **434** des Betrachters in **Fig. 14** nicht in der idealen Position zum richtigen Betrachten eines vergrößerten virtuellen Bildes der Anzeige des Systems **400** dargestellt ist. Zur Betrachtung dieses Bildes sollte das Auge des Betrachters Idealerweise in etwa an der Austrittspupille P_2 angeordnet sein. Das ist wegen des Spiegels **432** schwierig, der vorzugsweise ebenfalls in etwa an der Austrittspupille angeordnet sein sollte. Diese Schwierigkeit kann dadurch ausgeräumt werden, dass das Bild der Austrittspupille optisch vom Spiegel weg auf eine Position geworfen wird, die das Auge des Betrachters leicht einnehmen kann, so dass sowohl der Abtastspiegel **432** als auch das Auge des Betrachters in etwa in Pupillenposition gebracht werden können.

[0073] Ein Mittel zur Verschiebung des Bildes der Austrittspupille P_2 ist in **Fig. 16** gezeigt, wobei die optische Anordnung als optisch „ungefaltet“ dargestellt ist und der Abtastspiegel **432** als Linie an der Austrittspupille P_2 der Linse **420** wiedergegeben ist, was eine bevorzugte Position für den Abtastspiegel **432** ist. Zusätzlich ist die Blende **426** in der Ebene der Pupille P_2 angeordnet. Die Pupillenverschiebung wird erreicht durch die zwei Linsen **442** und **444**, welche die gleiche Brennweite haben und im Abstand der doppelten Brennweite voneinander angeordnet sind, um ein telezentrisches Vergrößerungsrelais zu bilden, welches das Bild P_3 der Austrittspupille P_2 um die Brennweite der Linse **444** von der Linse **444** weg versetzt, wobei ein geeignetes Augenrelief der Linse **444** gegeben ist. Der Fachmann weiß natürlich, dass die Linsen **442** und **444** mehr als ein Linsenelement enthalten können und dass die in **Fig. 16** gezeigte te-

lezentrische Relaisanordnung nicht die einzige mögliche optische Anordnung zur Verschiebung des Pupillenbildes ist.

[0074] Im folgenden wird auf **Fig. 17** Bezug genommen, wo das optische System wieder als „ungefaltet“ dargestellt ist und der Abtastspiegel **432** als Linie an der Austrittspupille **P₂** der Linse gezeichnet ist, was auch in diesem Fall eine bevorzugte Position für den Abtastspiegel **432** ist. Die Blende **426** ist ebenfalls in der Ebene der Pupille **P₂** angeordnet. Das Okular **420** kann ebenfalls als ein Element oder als Gruppe von Elementen zur Projektion eines vergrößerten realen Bildes der GLV-Anordnung **402** auf einen Bildschirm oder ein Aufzeichnungsmedium verwendet werden, wie es für die Bereitstellung einer Projektionsanzeige oder eine Vorrichtung zur Aufzeichnung oder zum Drucken eines Bildes erforderlich wäre. In diesem Fall ist eine Linse (bzw. eine Gruppe von Linsenelementen) **446** so angeordnet, dass ein vergrößertes reales Bild **448** (in diesem Fall die Breite) der GLV-Anordnung **402** in einem endlichen Abstand von der Linse **446** fokussiert wird. Dieses Bild könnte in der Ebene **450** fokussiert werden, die ein Betrachtungsbildschirm zur Bereitstellung eines projizierten (sichtbaren) zweidimensionalen Bildes sein könnte, oder auf ein Aufzeichnungsmedium wie einen Fotofilm oder Papier. Für ein aufgezeichnetes oder gedrucktes Bild könnte der Abtastspiegel **432** entfallen, und die Abtastung könnte durch Bewegen eines Aufzeichnungs- oder Druckmediums in Abtastrichtung, die in **Fig. 17** senkrecht zur Abbildungsebene, d. h. senkrecht zur Bildausrichtung, ist, erzielt werden. Diese mechanische Abtastbewegung müsste natürlich wie beim System **400** mit der Bilderzeugung durch die elektrische Schaltung **440** synchronisiert werden.

[0075] Bei einem anderen Ausführungsbeispiel ist statt der in **Fig. 14** bis **17** gezeigten Blende **426** zur Verhinderung, dass Licht, das an einer anderen Stelle als an dem in etwa ebenen Mittenabschnitt **202** (**Fig. 12**) der einzelnen länglichen Elemente **200** der GLV-Anordnung **402** gebrochen worden ist, zum Betrachter gelangt, ein reflektierendes Element **500** über den äußersten Abschnitten der einzelnen länglichen Elemente **200** angeordnet. Ein Seitenriss eines solchen reflektierenden Elements **500** ist in **Fig. 18** als über einem verformten länglichen Element **200** angeordnet gezeichnet. Wie aus **Fig. 18** zu ersehen ist, bleibt der in etwa ebene Mittenabschnitt **202** (**Fig. 12**) des länglichen Elements **200** im Bereich des Lichteinfalls, während die äußeren Abschnitte vom reflektierenden Element **500** abgedeckt werden. Das reflektierende Element **500** reflektiert das einfallende Licht. Daher gelangt das reflektierte Licht nicht zum Betrachter und beeinträchtigt nicht das vom Betrachter wahrgenommene Bild. Das in **Fig. 18** gezeigte reflektierende Element **500** ist vorzugsweise so dünn, dass es praktisch in derselben Ebene liegt wie der in etwa ebene Mittenabschnitt **202** der einzelnen länglichen Elemente **200** (im nicht verform-

ten Zustand). Das reflektierende Element **500** kann auch in einer zur reflektierenden Oberfläche der länglichen Elemente **200** (im nicht verformten Zustand) parallelen und um den Abstand d_3 gleich einer ganzen Zahl N von Halbwellenlängen (d. h. $d_3 = 0, \lambda_1/2, \lambda_1, 3\lambda_1/2, 2\lambda_1, \dots, N\lambda_1/2$) des erwarteten einfallenden Lichts beabstandeten Ebene angeordnet werden.

[0076] Das oben in seinen Grundzügen beschriebene Ausführungsbeispiel ist zur Bildung einer Anzeige für einen menschlichen Betrachter bestimmt. Andere Arten von „Anzeige“ sind im Rahmen der Erfindung ebenfalls möglich. Beispielsweise könnte auf einer sich drehenden Trommel ein Bild zur Übertragung auf Papier in einem Druckvorgang erzeugt werden. In diesem Anwendungsfall könnte die Lichtquelle auch eine UV- oder eine Infrarotlichtquelle sein. Ein solches Bild ist für das menschliche Auge nicht sichtbar, ist jedoch gleichermaßen nutzbar.

Patentansprüche

1. Modulator zum Modulieren eines einfallenden Lichtstrahls mit einer gegebenen Wellenlänge, wobei der Modulator beinhaltet: eine Vielzahl von gestreckten Elementen (**200**), jedes mit einer zwischen beiden Enden angeordneten näherungsweise flachen reflektierenden Oberfläche, wobei die Elemente parallel zueinander angeordnet sind und mittels ihrer jeweiligen Enden über einem Substrat (**100**) aufgehängt sind; und reflektierende Bereiche der gestreckten Elemente, welche in Richtung des Substrats ohne das Substrat zu berühren, gezielt verformbar sind, um zur Lichtbrechung einen verformten Zustand einzunehmen; gekennzeichnet durch ein über den beiden Enden jedes der Vielzahl von gestreckten Elementen (**200**) in einer Ebene parallel zu der reflektierenden Oberfläche der unverformten gestreckten Elemente mit einem Abstand gleich einer ganzen Zahl (einschließlich Null) multipliziert mit der halben gegebenen Wellenlänge angeordnetes reflektierendes Element (**500**).

2. Modulator gemäß Anspruch 1, zusätzlich mit einem Steuerschaltkreis zum Anlegen einer Modulationsspannung, an ausgewählte gestreckte Elemente, um diese in einen verformten Zustand zu bewegen.

3. Modulator gemäß Anspruch 1 oder 2, wobei die gestreckten Elemente entsprechend einer Anzahl von modulierbaren Anzeigeelementen gruppiert sind, angeordnet in einer einzigen geraden Reihe, und mit einer optischen Anordnung zur Anzeige eines Bildes entsprechend einer jeweiligen Intensität, welche von jedem Displayelement bereitgestellt ist, verbunden sind.

4. Modulator gemäß Anspruch 3, zusätzlich mit einer optischen Anordnung zum Abtasten eines Bildes von der einzelnen linearen Reihe, um ein zweidimen-

sionales Bild zu bilden.

5. Modulator gemäß Anspruch 4, zusätzlich mit Mitteln zum aufeinanderfolgenden Beleuchten der Vielzahl von gestreckten Elementen mit einer Vielzahl von Wellenlängen, welche verschiedenen Lichtfarben entsprechen, derart, dass das zweidimensionale Bild gebildet ist ohne color break up (Farbaufspaltung).

6. Modulator gemäß Anspruch 4 oder 5, wobei das zweidimensionale Bild nicht gepixelt ist.

7. Modulator gemäß Anspruch 2 und einem der Ansprüche 3 bis 6, wobei der Bewegungsweg der ausgewählten der gestreckten Elemente eine Intensität für das entsprechende Displayelement bestimmt.

8. Modulator gemäß Anspruch 2 und einem der Ansprüche 3 bis 6, wobei ein Verhältnis einer Reflexionsdauer zu einer Brechungsdauer die Intensität für ein Displayelement bestimmt.

9. Modulator gemäß einem der vorausgehenden Ansprüche, wobei die Vielzahl der gestreckten Elemente mittels ihrer jeweiligen Enden durch angeformte Pfosten (110) über einem Substrat aufgehängt sind, wobei die Pfosten an den gestreckten Elementen und dem Substrat angeformt sind.

10. Modulator gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die gegebene Wellenlänge in einem Wellenlängenbereich eines einfallenden Lichtstrahles liegt, den der Modulator modulieren kann.

11. Modulator gemäß Anspruch 10, wobei die gegebene Wellenlänge innerhalb eines Wellenlängenbereichs von sichtbarem Licht liegt.

12. Modulator gemäß Anspruch 10, wobei die gegebene Wellenlänge innerhalb eines Wellenlängenbereichs von ultraviolettem Licht liegt.

13. Modulator gemäß Anspruch 10, wobei die gegebene Wellenlänge innerhalb eines Wellenlängenbereichs von infrarotem Licht liegt.

14. Modulator gemäß Anspruch 2, wobei die Mittel ausgelegt sind, um den reflektierenden Bereich eines ausgewählten gestreckten Elements um näherungsweise ein Viertel der gegebenen Wellenlänge in den verformten Zustand zu bewegen.

15. Modulator gemäß Anspruch 2, wobei die Mittel ausgelegt sind, die jeweiligen reflektierenden Bereiche der ausgewählten der gestreckten Elemente um einen steuerbaren Weg zu bewegen, um eine gewünschte Helligkeit des modulierten Lichtes bereitzustellen.

16. Modulator gemäß einem der Ansprüche 1 bis 13, wobei die Gitteramplitude der reflektierenden Bereiche der gestreckten Elemente näherungsweise ein Viertel bis zu einem Drittel des Abstandes zwischen unverformten gestreckten Elementen und dem Substrat beträgt.

17. Modulator gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der reflektierende Bereich jedes gestreckten Elements näherungsweise ein Drittel der Länge des Elementes beträgt.

18. Modulator gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, in welchem der reflektierende Bereich jedes gestreckten Elements aus einem Mittelbereich des Elements besteht.

19. Modulator zum Modulieren eines einfallenden Lichtstrahls, welcher eine gegebene Wellenlänge aufweist, wobei der Modulator beinhaltet: eine Vielzahl von gestreckten Elementen (200), jedes mit einer zwischen beiden Enden angeordneten näherungsweise ebenen reflektierenden Oberfläche, wobei die Elemente parallel zueinander angeordnet sind und mittels ihrer jeweiligen Enden über einem Substrat (100) aufgehängt sind; und reflektierende Bereiche der gestreckten Elemente, welche in Richtung des Substrats ohne das Substrat zu berühren, gezielt verformbar sind, um zur Lichtbrechung einen verformten Zustand einzunehmen; dadurch gekennzeichnet, dass die gestreckten Elemente in einer einzigen linearen Reihe angeordnet entsprechend einer Vielzahl von Displayelementen gruppiert sind, und an eine optische Anordnung zum Anzeigen eines durch Modulation der Displayelemente entstehenden Bildes angebunden sind, wobei die optische Anordnung ein Lichtschild besitzt, um zu verhindern, dass Licht, welches durch andere als die reflektierenden Bereiche der gestreckten Elemente gebrochen wird, in dem Bild dargestellt wird.

20. Modulator gemäß Anspruch 19, wobei das Schild einen Schlitz zum Durchlassen von durch die näherungsweise flachen Mittelbereiche der gestreckten Elemente gebrochenen Lichts besitzt.

21. Modulator gemäß Anspruch 19 oder 20, wobei die optische Anordnung zum Projizieren eines Bildes auf ein Druckmedium ausgelegt ist.

22. Verfahren zum Herstellen eines Lichtmodulators zum Modulieren eines einfallenden Lichtstrahls, welcher eine gegebene Wellenlänge aufweist, wobei das Verfahren gekennzeichnet ist durch die Schritte:

- a. Bereitstellen eines Substrates (100);
- b. Bilden einer Opferschicht (108) auf dem Substrat (100), wobei die Opferschicht (108) eine Dicke aufweist, welche näherungsweise gleich der gegebenen Wellenlänge ist;
- c. Ausbilden von Pfosten (110) durch die Opfer-

schicht (108) und in dem Substrat (100);
d. Ausbilden von wenigstens zwei gestreckten Elementen über der Opferschicht, wobei jedes gestreckte Element eine reflektierende Oberfläche aufweist und jedes gestreckte Element mit dem Substrat mittels zwei der Pfosten verbunden ist, jeweils an jedem Ende jedes gestreckten Elements;
e. Entfernen der Opferschicht; und
f. Anordnen reflektierender Elemente über den beiden Enden jedes der Vielzahl von gestreckten Elementen in einer Ebene parallel zu den reflektierenden Oberflächen der gestreckten Elemente und beobachtet hiervon durch einen Abstand gleich einer ganzen Zahl (einschließlich Null) multipliziert mit der halben gegebenen Wellenlänge.

23. Verfahren gemäß Anspruch 22, wobei die Dicke der Opferschicht innerhalb eines Bereichs von 200 bis 2000 nm liegt, um einen Lichtmodulator zum Modulieren von sichtbarem Licht zu bilden.

24. Optisches System zum Darstellen eines Bildes mit:
a. einer Vielzahl von gestreckten Elementen, wobei jedes Element eine näherungsweise ebene reflektierende Oberfläche aufweist, welche zwischen zwei Enden angeordnet ist, wobei die Elemente parallel zueinander angeordnet sind und mittels ihrer jeweiligen Enden über einem Substrat aufgehängt sind, und die gestreckten Elemente entsprechend einer Vielzahl von Displayelementen gruppiert in einer einzigen linearen Reihe angeordnet sind;
b. Mittel zum Deformieren einzelner ausgewählter langgestreckter Elemente in Richtung des Substrats, wobei sich die näherungsweise ebene reflektierende Oberfläche jedes ausgewählten Elements in Richtung des Substrats um eine Gitteramplitude, ohne dass die ausgewählten gestreckten Elemente das Substrat berühren, derart bewegt, dass, wenn die gestreckten Elemente, welche einem Displayelement entsprechen, unverformt sind, ein einfallender Lichtstrahl durch das Displayelement reflektiert wird, und weiter derart, dass, wenn jede zweite der gestreckten Elemente entsprechend einem Displayelement gezielt verformt wird, der einfallende Lichtstrahl durch das Displayelement gebrochen wird, wobei ein Bewegungsweg des ausgewählten gestreckten Elementes eine Intensität für das entsprechende Displayelement festlegt;
c. eine optische Anordnung zum Bilden eines Bildes entsprechend einer jeweiligen Intensität, welche durch jedes Displayelement gebildet wird; und
d. ein reflektierendes Element, welches über den beiden Enden jedes gestreckten Elements in einer Ebene parallel zu den reflektierenden Oberflächen der unverformten gestreckten Elemente in einem Abstand gleich einer ganzen Zahl (einschließlich Null) multipliziert mit der halben Wellenlänge des einfallenden Lichtstrahls angeordnet ist.

25. Optisches System gemäß Anspruch 24, wobei die Vielzahl von gestreckten Elementen über dem Substrat an ihren jeweiligen Enden mittels angeformter Pfosten aufgehängt sind.

26. Verfahren zum Erzeugen eines zwei-dimensionalen Bildes unter Verwendung eines Lichtmodulators mit einem Gitter, welches aus einer Vielzahl von gestreckten Elementen besteht, wobei jedes Element eine näherungsweise ebene reflektierende Oberfläche aufweist, welche zwischen beiden Enden angeordnet ist, wobei die Elemente parallel zueinander angeordnet sind und an ihren jeweiligen Enden über einem Substrat aufgehängt sind, wobei weiter die entsprechend einer Vielzahl von Displayelementen gruppierten gestreckten Elemente in einer einzigen linearen Reihe angeordnet sind, wobei das Verfahren die Schritte beinhaltet von
a. Verformen ausgewählter gestreckter Elemente in Richtung des Substrates, um einen verformten Zustand einzunehmen, wobei sich die näherungsweise ebene reflektierende Oberfläche von jedem ausgewählten Element in Richtung des Substrats um eine Gitteramplitude, ohne dass die ausgewählten gestreckten Elemente das Substrat berühren, derart bewegt, dass, wenn die einem Displayelement entsprechenden gestreckten Elemente unverformt sind, ein einfallender Lichtstrahl durch das Displayelement reflektiert wird, und weiter derart, dass, wenn jedes zweite einem Displayelement entsprechende gestreckte Elemente gezielt verformt wird, der einfallende Lichtstrahl durch das Displayelement gebrochen wird, wobei ein Bewegungsweg der ausgewählten gestreckten Elemente eine Intensität für das entsprechende Displayelement festlegt; und gekennzeichnet durch den Schritt von
b. Steuern von Licht, welches vom Gitter kommt und zur Erzeugung des zweidimensionalen Bildes verwendet wird, um zu verhindern, dass die Erzeugung des Bildes auf anderes als das reflektierte und durch die mittleren Abschnitte der gestreckten Elemente gebrochene Licht zurückzuführen ist.

27. Verfahren gemäß Anspruch 26, wobei das Steuern von Licht, welches vom Gitter stammt, mit reflektierenden Elementen erreicht wird, welche über den beiden Enden jedes gestreckten Elements in einer Ebene parallel zu den reflektierenden Oberflächen der unverformten gestreckten Elemente und davon mit einem Abstand gleich einer ganzen Zahl (einschließlich Null) multipliziert mit der halben Wellenlänge des einfallenden Lichtstrahls angeordnet sind.

28. Verfahren gemäß Anspruch 26, wobei das Steuern von Licht, welches vom Gitter stammt, erreicht wird mit einem geschlitzten Schild, welches das modulierte Licht benachbart zu den Enden der gestreckten Elemente abblckt.

29. Verfahren gemäß Anspruch 26 oder 27 oder 28, wobei die Vielzahl von gestreckten Elementen über dem Substrat an ihren jeweiligen Enden mittels angeformter Pfosten aufgehängt sind.

Es folgen 11 Blatt Zeichnungen

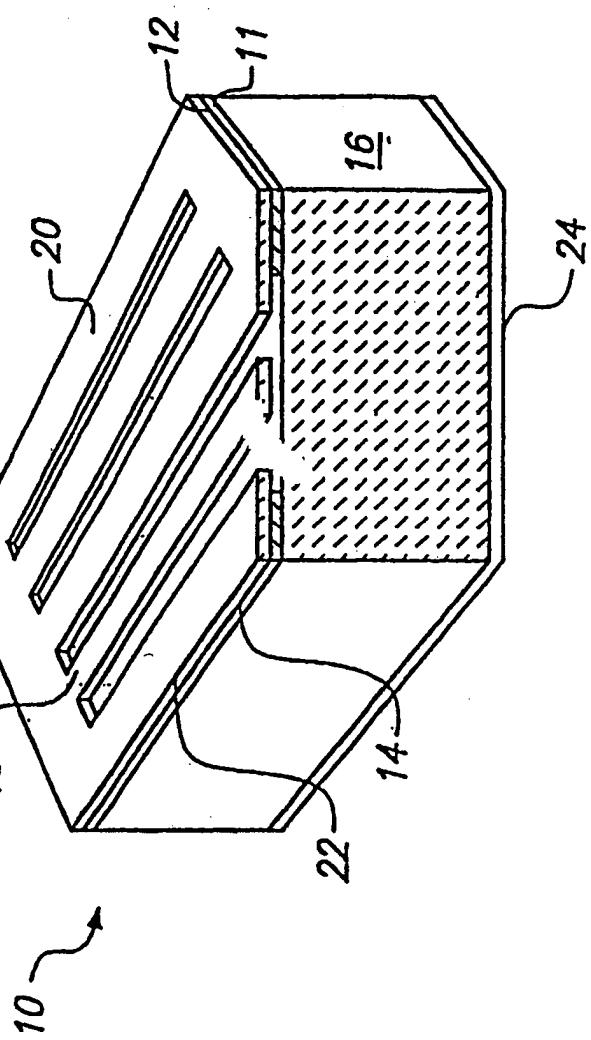


FIG. 1 (Stand der Technik)

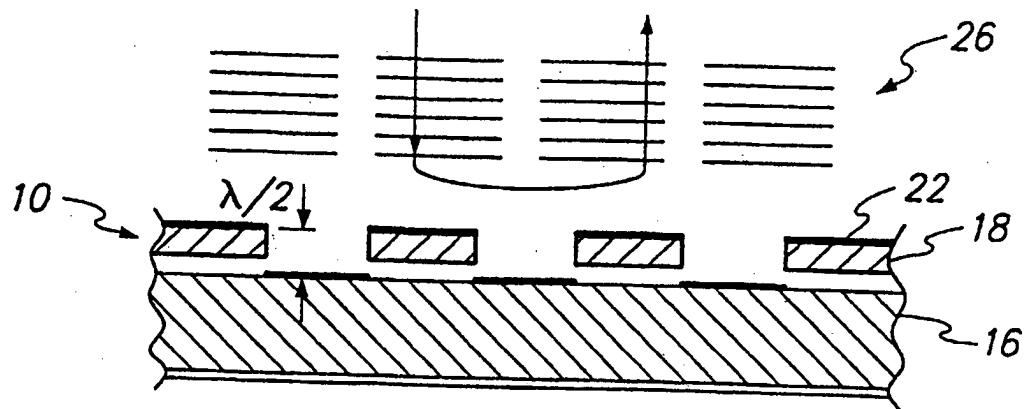


FIG. 2

Stand der Technik

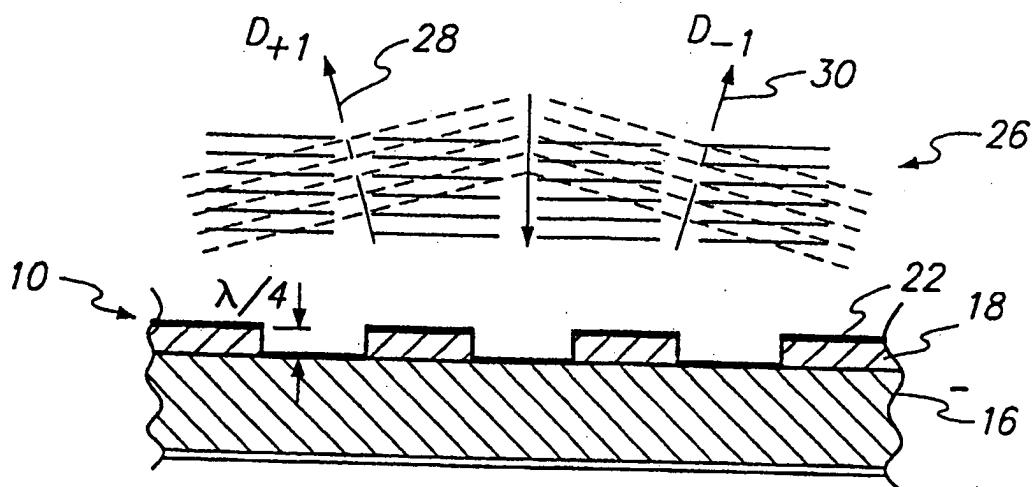


FIG. 3

Stand der Technik

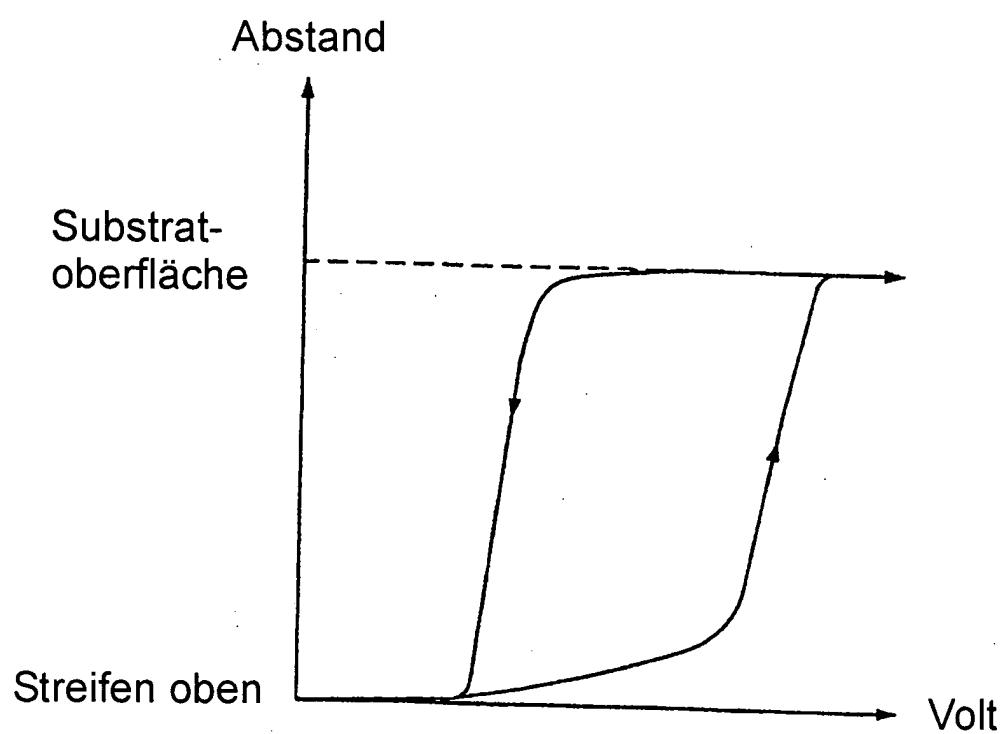


FIG. 4

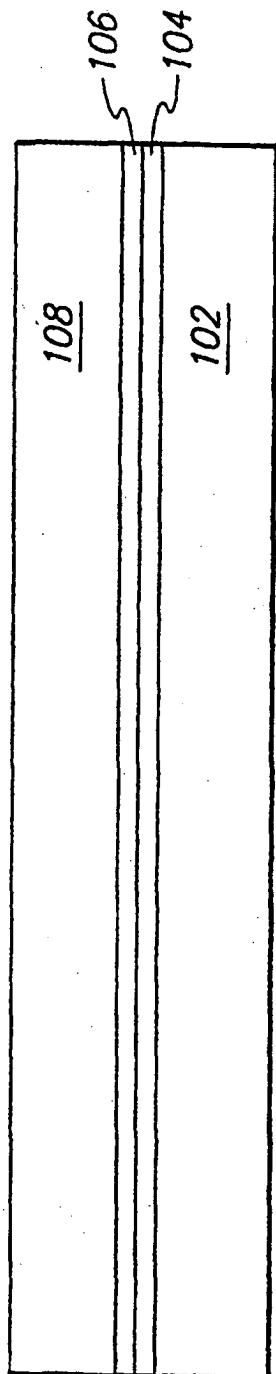


FIG. 5

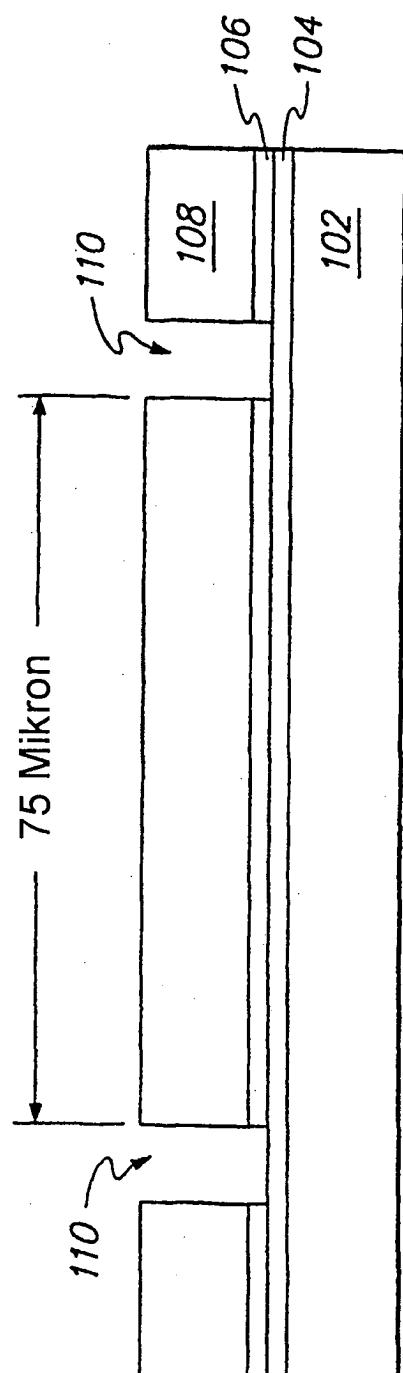


FIG. 6

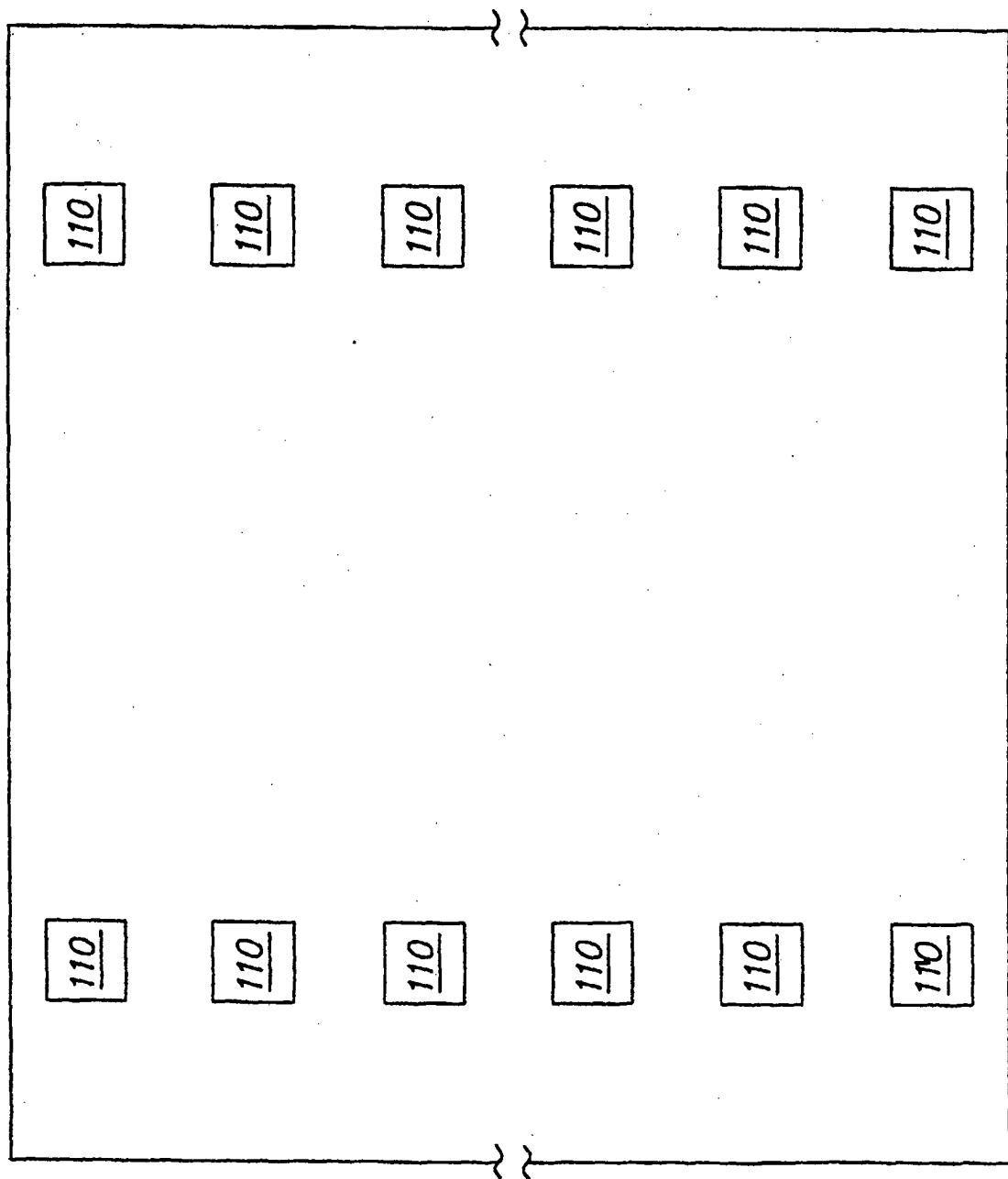


FIG. 7

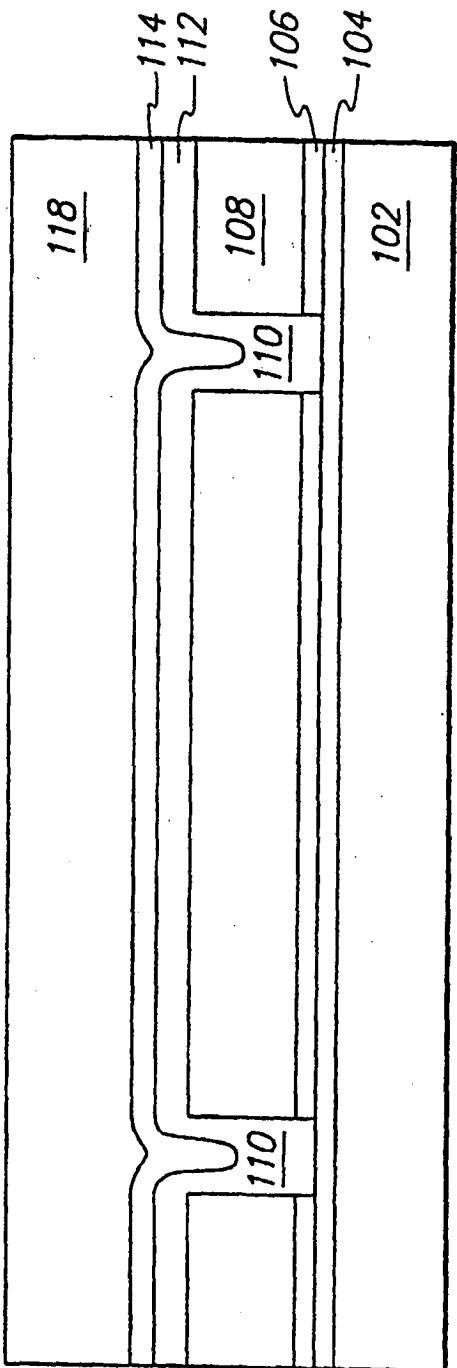


FIG. 8

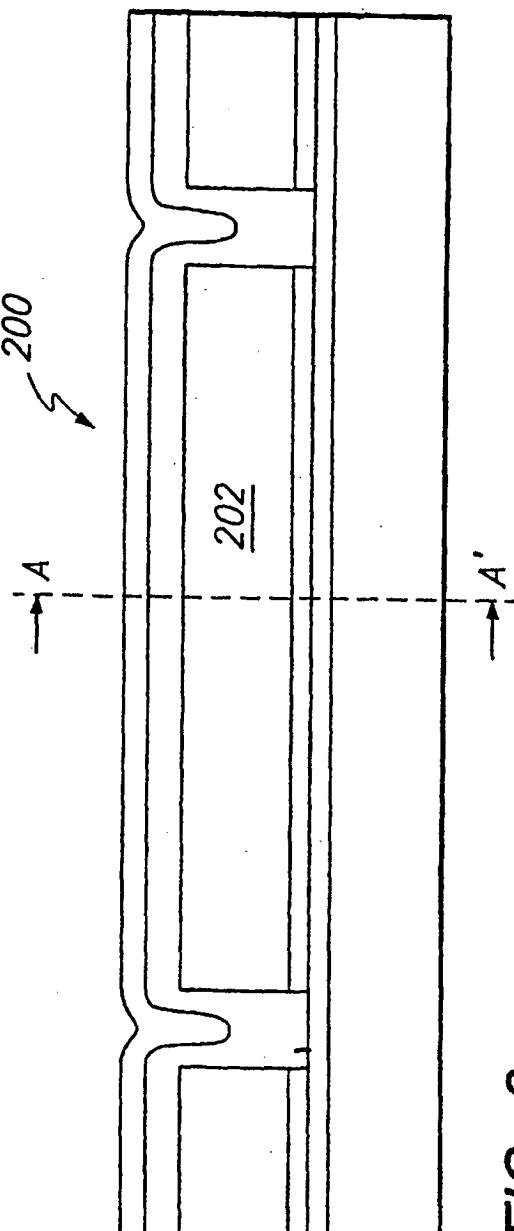


FIG. 9

300

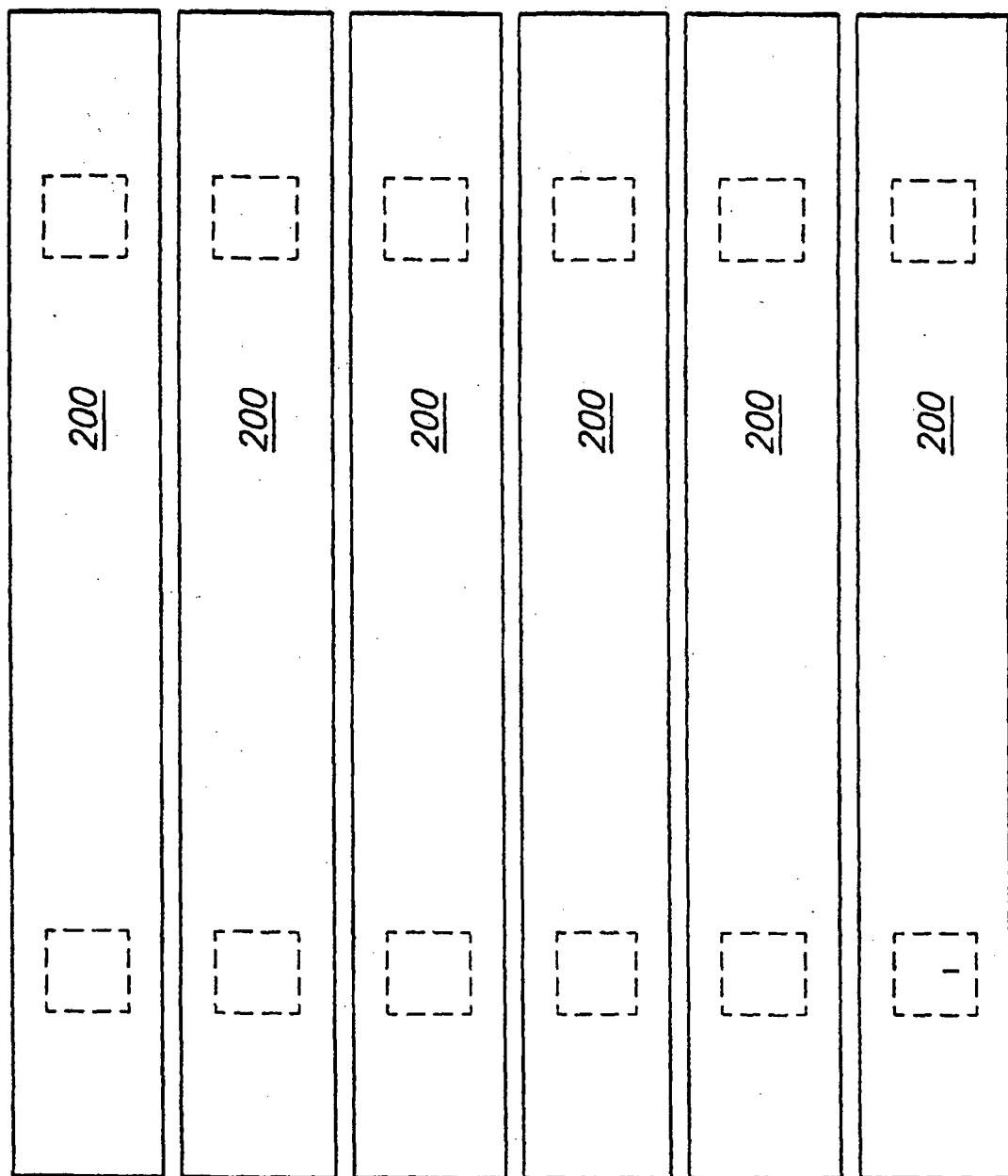


FIG. 10

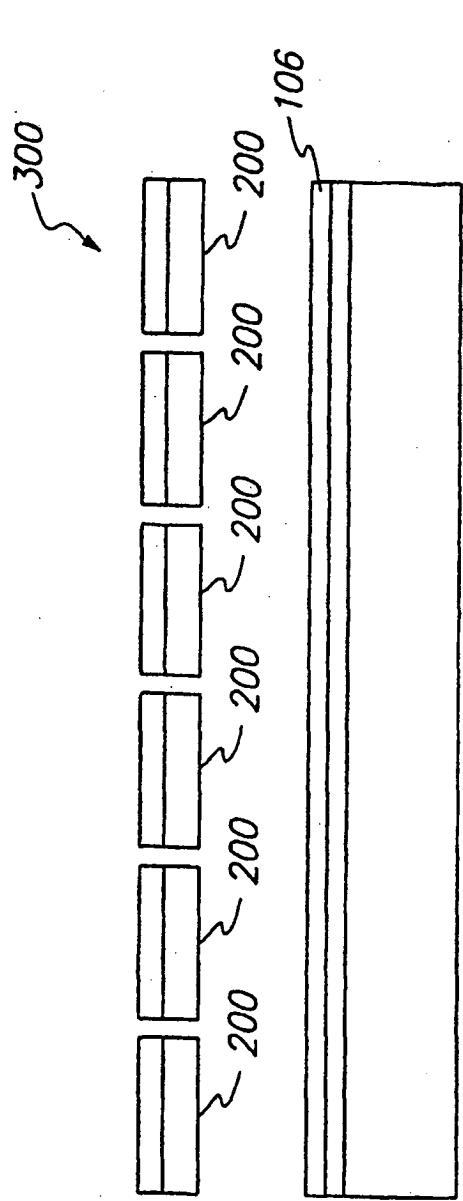


FIG. 11

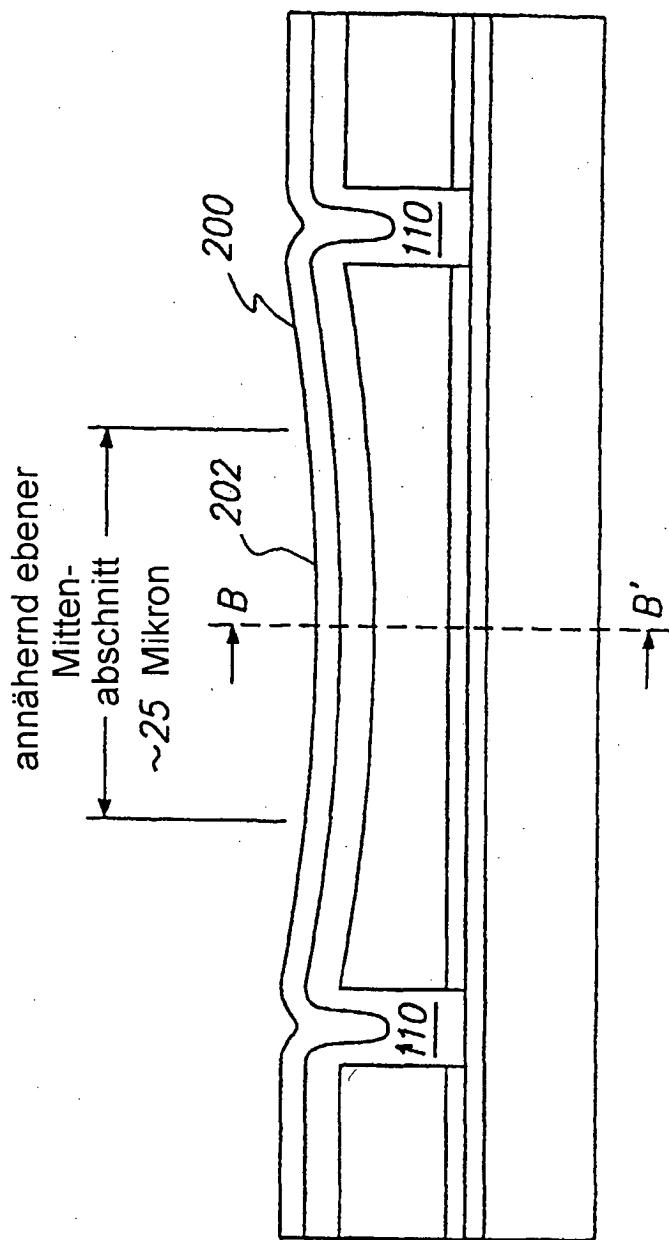
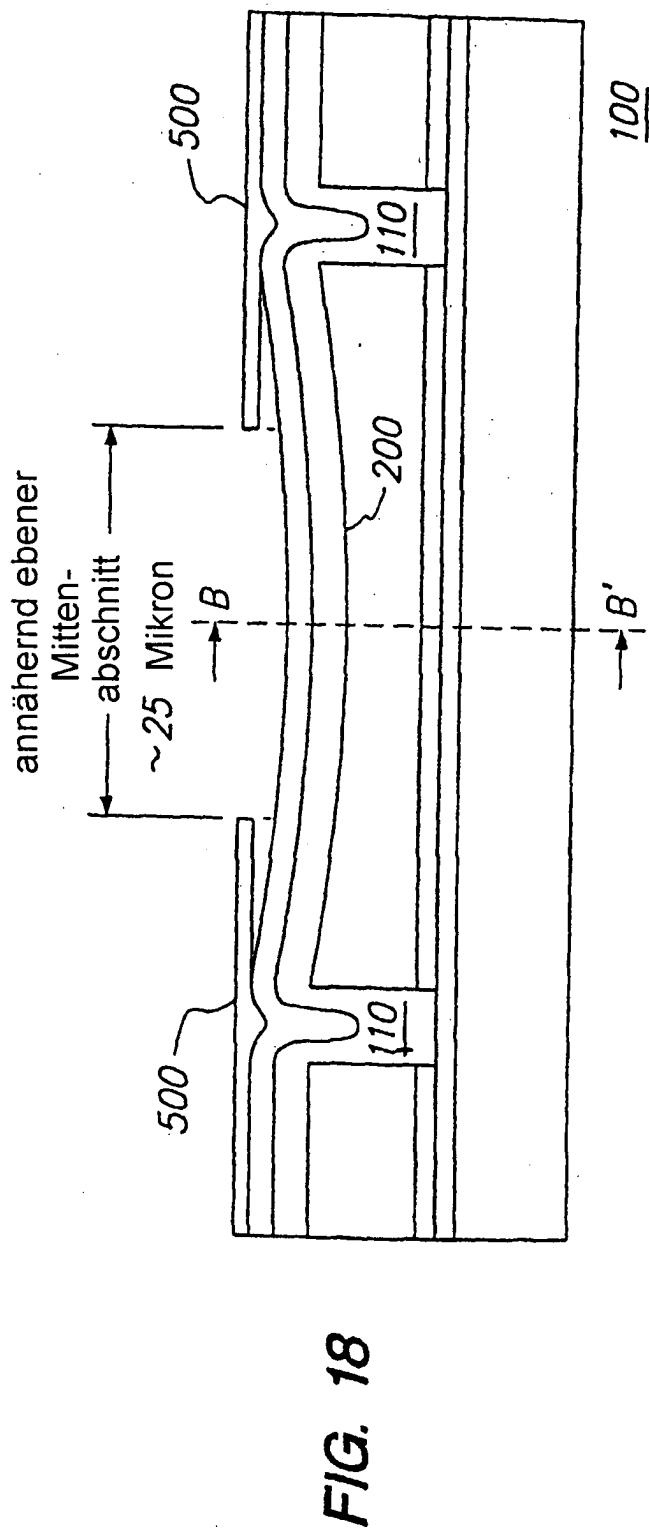
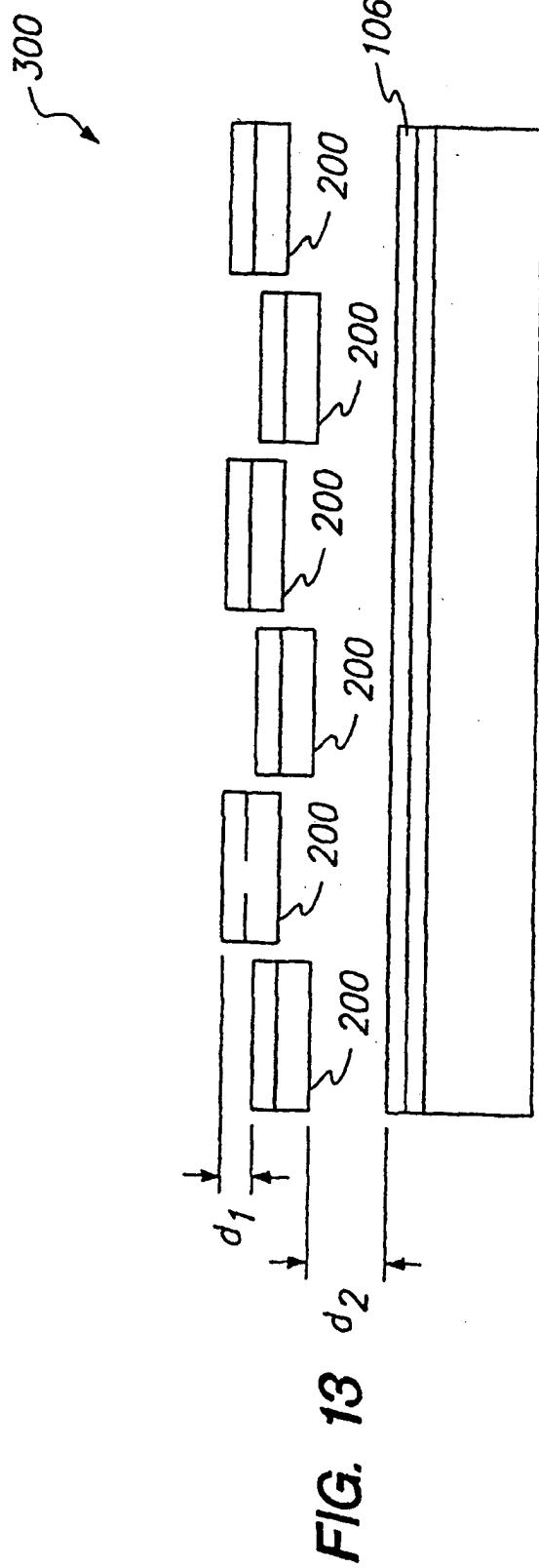


FIG. 12



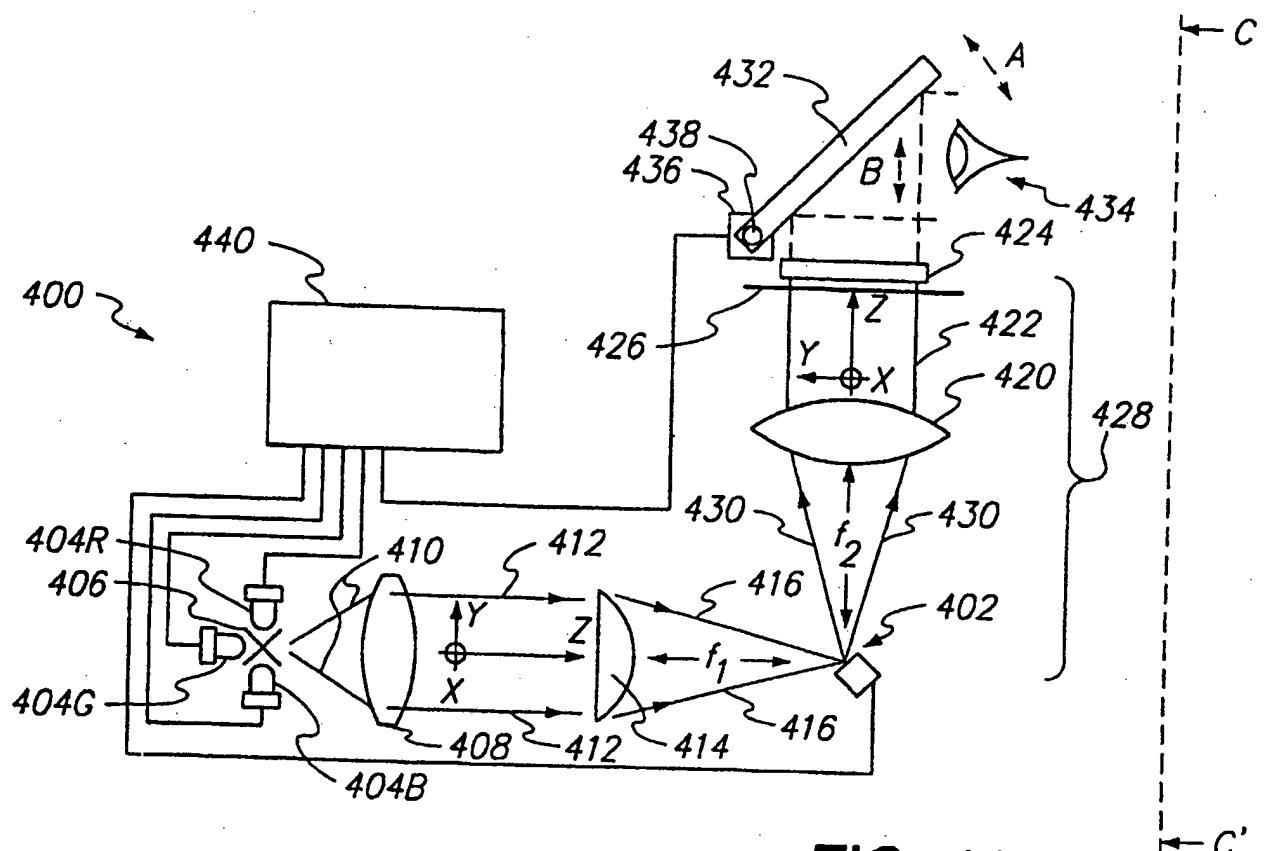


FIG. 14

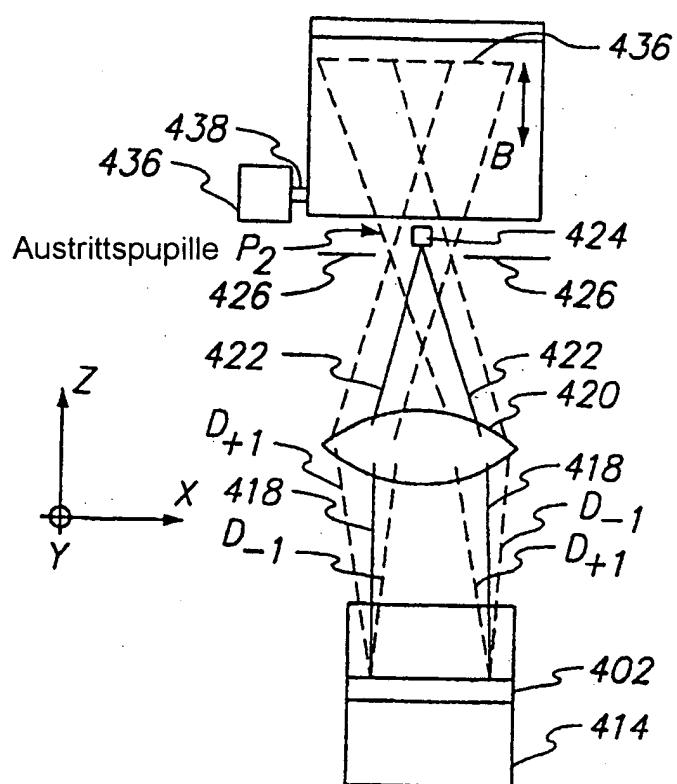


FIG. 15

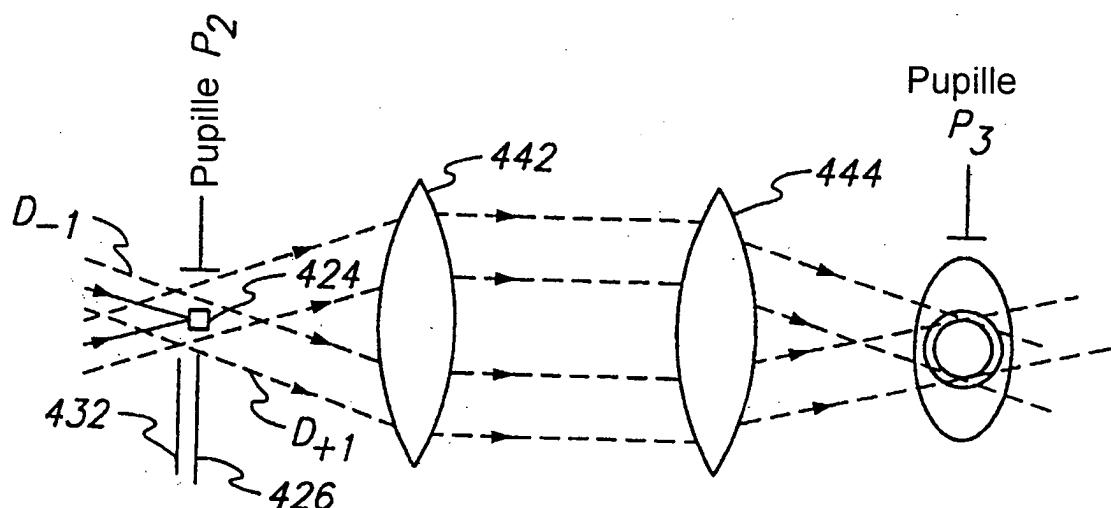


FIG. 16

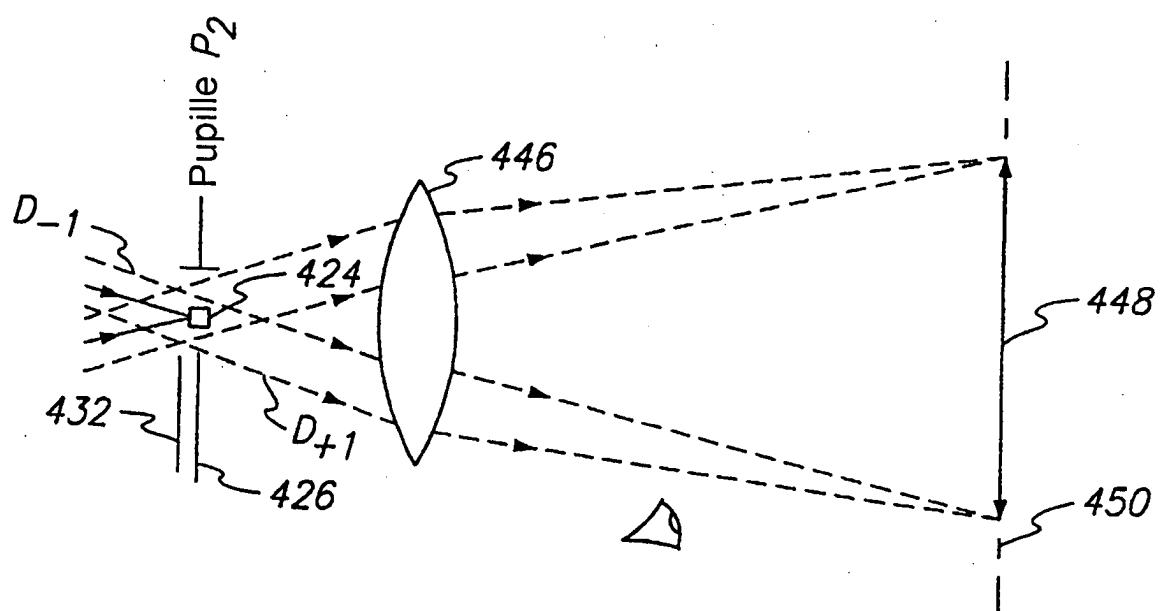


FIG. 17