



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 699 30 863 T2 2007.03.01**

(12) **Übersetzung der europäischen Patentschrift**

(97) **EP 1 121 619 B1**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **699 30 863.1**

(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/US99/21457**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **99 952 925.8**

(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 2000/022473**

(86) PCT-Anmeldetag: **14.10.1999**

(87) Veröffentlichungstag

der PCT-Anmeldung: **20.04.2000**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **08.08.2001**

(97) Veröffentlichungstag

der Patenterteilung beim EPA: **12.04.2006**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **01.03.2007**

(51) Int Cl.⁸: **G02B 26/00 (2006.01)**
G02B 26/08 (2006.01)

(30) Unionspriorität:

172613 15.10.1998 US

(73) Patentinhaber:

Intel Corp., Santa Clara, Calif., US

(74) Vertreter:

derzeit kein Vertreter bestellt

(84) Benannte Vertragsstaaten:

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

(72) Erfinder:

**ROBINSON, P., William, Thousand Oaks, CA
91360, US; LITTLE, J., Michael, Woodland Hills, CA
91364, US; GIFFORD, A., Eric, Newbury Park, CA
91320, US**

(54) Bezeichnung: **LADUNGSGESTEUERTER SPIEGEL MIT MEMBRAN-ANSTEUERUNG**

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

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

Beschreibung

HINTERGRUND DER ERFINDUNG

1. Gebiet der Erfindung

[0001] Die Erfindung betrifft strahladressierte elektrostatisch betätigte Lichtmodulatoren und insbesondere einen ladungsgesteuerten Spiegel (CCM), der eine dünne isolierende Membran benutzt, um die Mikrospiegel-Anordnung in einem Vakuum von dem Strahl zu entkoppeln.

2. Beschreibung des Stands der Technik

[0002] Bei einem elektrostatisch betätigten Lichtmodulator wird ein Lichtstrahl in Reaktion auf ein Videoadressierungssignal auf ein Lichtventilziel gerichtet, das dem Strahl proportional zur Amplitude der Ablenkung der einzelnen reflektierenden Elemente, z. B. einem reflektierenden Dünnsfilm oder einer Anordnung von Mikrosiegeln, eine Modulation vermittelt. Der amplituden- oder phasenmodulierte Strahl wird dann durch Projektionsoptik geleitet, um das Bild auszubilden. Das Ziel erzeugt elektrostatische Anziehungskräfte zwischen dem darunter liegenden Substrat und den einzelnen reflektierenden Elementen, die diese nach innen in Richtung auf das Substrat ziehen. Die Amplitude der Ablenkung entspricht der Pixelintensität im Videosignal. Es ist bekannt, dass die optische Leistung des Lichtmodulators eng mit dem Ablenkbereich, elektrostatischer Instabilität und der Auflösung verknüpft ist.

[0003] Der Ablenkbereich wird durch den Abstand der reflektierenden Elemente oberhalb des Substrats strikt begrenzt. Außerdem nimmt man im Allgemeinen an, dass aufgrund von Problemen mit elektrostatischer Instabilität nur ungefähr ein Drittel der Lücke nutzbar verwendet werden kann. Die Anziehungskräfte überwältigen tendenziell die rückstellende Federkraft des reflektierenden Elements und lassen es die ganze Strecke bis zur Basiselektrode schnappen. Dieses Problem bezeichnet man im Allgemeinen als Einziehen oder Umschnappen. Sobald das Element umschnappt, bleibt es aufgrund der Van-der-Waals-Kräfte am Substrat haften. Der nutzbare Bereich kann auf ungefähr vier Fünftel der Lücke erweitert werden, indem man eine Steuerelektrode unterhalb des Elements verwendet, deren Diagonale ungefähr 60 % der Länge der Diagonalen des Elements ist. Dies vergrößert jedoch die Spannung, die nötig ist, um denselben Ablenkbetrag zu erzielen.

[0004] In den späten 1960-ern entwickelte RCA ein neues Schlieren-Lichtventil, das einen Hochenergie-Abtastelektronenstrahl in einem Vakuum benutzte, um einen dünnen Metallfilm zu adressieren, der in nächster Nähe zu einem Glassubstrat gestützt wird, was beschrieben ist in J. A. van Raalte, "A New

Schlieren Light Valve for Television Projection", Applied Optics Band 9, Nr. 10, (Okt. 1970), S. 2225. Der Elektronenstrahl durchdringt den Metallfilm und bringt proportional zur Intensität des Videosignals Ladung auf das Substrat auf. Die aufgebrachte Ladung erzeugt eine Anziehungskraft, die den Metallfilm nach innen in Richtung auf das Substrat verformt, was einen Teil des reflektierten Lichts den Stopp verfehlen lässt, wodurch die Bildschirmhelligkeit vergrößert wird, bis schließlich alles Licht den Bildschirm erreicht. Im tatsächlichen Betrieb verformt sich jedes Pixel parabolisch. Folglich wird auf den zentralen Teil eines jeden Pixelelements auftreffendes Licht nicht abgelenkt, was den Füllfaktor und den optischen Wirkungsgrad begrenzt. Außerdem ist der Ablenkbereich auf ungefähr 20 % begrenzt, um parabolische Verformung aufrechtzuerhalten.

[0005] Löschen erreicht man, indem man die in der dielektrischen Schicht aufgebrachte Ladung durch die Frontplatte der Vidicon-Röhre hindurch entweichen lässt. Die RC-Zeitkonstante der Frontplatte kann so eingestellt werden, dass garantiert im Wesentlichen die ganze aufgebrachte Ladung in einer Einzelbildzeit entweichen gelassen wird. Die Frontplatte muss jedoch geheizt werden, um die durch die Fallen im dielektrischen Material erzeugten Schwankungen der Entladungszeiten zu minimieren. Außerdem wird sich das Glasmaterial in Reaktion auf das Elektronenbombardement mit der Zeit tendenziell entfärben.

[0006] In neuerer Zeit hat die Fa. Optron Systems, wie beschrieben in Warde et al., US-Patent Nr. 5,287,215, ein Membran-Lichtmodulationssystem entwickelt, bei dem eine Ladungstransferplatte (CTP) Ladung aus einer Abtastelektronenkanone im Vakuum zu Potentialtöpfen in Luftraum durchkoppelt. Eine Anordnung von isolierenden Stielen, die in oder auf der CTP ausgebildet sind, stützt eine verformbare Membran, die die Töpfe überspannt. Die CTP dient als Multidurchlass-Vakuum-zu-Luft-Grenzfläche mit hoher Dichte, die sowohl die Elektronenstrahl-Wechselwirkung von der Membran entkoppelt als auch die Stützstruktur bereitstellt, die nötig ist, um den Luftdruck abzuwehren. Die Vakuum-zu-Luft-Grenzfläche erlaubt es, die reflektierende Membran in Luft statt einem Vakuum herzustellen und zu betreiben, was einfacher und billiger ist.

[0007] Da die CTP genügend strukturelle Integrität bereitstellt, um dem Luftdruck zu widerstehen, muss die CTP jedoch sehr dick sein, mindestens 3 mm für nutzbare Anzeigegrößen. Um die Auflösung des aufgebrachten Ladungsmusters aufrechtzuerhalten, besteht die Faustregel, dass die Ladungsebene vorzugsweise innerhalb von einem Zehntel der Pixelbreite und nicht größer als zehn mal die Breite liegen sollte. In großen Abständen waschen die Streukräfte die Auflösung der elektrostatischen Anziehungskräfte

te aus. Selbst unter der Annahme einer ziemlich großen Pixelgröße von 0,1 mm könnte die Ladungsebene nicht mehr als 1 mm weg und vorzugsweise ungefähr 10 Mikrometer sein. Um die Ladungsebene wirksam näher an die Membran zu bewegen, bildet Warde leitende Durchführungen in der CTP aus, um das Ladungsmuster von der Rückseite der CTP zu den Töpfen zu transferieren, welche nominell 2-10 Mikrometer von der Membran beabstandet sind.

[0008] Die Durchführungen lösen zwar das Annäherungsproblem, sie vermindern den den Töpfen zugeführten Ladungsbetrag aber drastisch. Da die Ladung sich selbst gleichmäßig rings um die zylindrische Durchführung verteilt und die Fläche eines Endes einer Durchführung 1/1000 ihrer Gesamtläche für diese Abmessungen sein könnte, wird der dem Topf zugeführte Ladungsbetrag um ungefähr 1/1000 vermindert. Daher muss die Abtastelektronenkanone ungefähr 1000 mal die Ladung liefern, die nötig ist, um die Membran zu betätigen. Je höher die Stromdichte, desto größer die Strahlpunktgröße, also desto geringer die Auflösung der Anzeige.

[0009] In den frühen 1970ern entwickelte die Westinghouse Electric Corporation eine Elektronenkanonen-adressierte verformbare Freitragerspiegelvorrichtung, welche beschrieben ist in R. Thomas et al., "The Mirror-Matrix Tube: A Novel Light Valve for Projection Displays," ED-22 IEEE Tran. Elec. Dev. 765 (1975), und den US-Patenten Nr. 3,746,310, 3,886,310 und 3,896,338. Die Vorrichtung wird hergestellt, indem eine thermische Siliziumdioxidschicht auf einem Silizium-auf-Saphir-Substrat aufgewachsen wird. Das Oxid wird in einer Kleeblattanordnung von vier zentral verbundenen Freitragern gemustert. Das Silizium wird isotropisch nassgeätzt, bis das Oxid unterschritten ist, wobei vier Oxid-Freiträger innerhalb jedes Pixels zurückbleiben, die durch einen zentralen Silizium-Stützstiel gestützt werden. Die Kleeblattanordnung wird dann für Reflexionsvermögen mit Aluminium metallisiert. Das auf das Saphir-Substrat aufgebrachte Aluminium bildet eine Bezugsgitterelektrode nahe den Rändern der Spiegel, die auf einer Gleichstrom-Vorspannung gehalten wird. Ein Feldsieb wird oberhalb der Spiegel gestützt, um irgendwelche Sekundärelektronen zu sammeln, die in Reaktion auf die auftreffenden Primärelektronen emittiert werden.

[0010] Die Vorrichtung wird von einem niederenergetischen Abtastelektronenstrahl adressiert, der ein Ladungsmuster auf die Kleeblatt-Träger aufbringt und bewirkt, dass die Träger durch elektrostatische Betätigung in Richtung auf die Bezugsgitterelektrode auf dem Substrat verformt werden. Löschen erreicht man durch Halten der auf den Spiegel aufgebrachten Ladung während der ganzen Einzelbildzeit und anschließendes Erhöhen der Zielspannung auf einen Wert gleich dem Feldsiebpotential, während die Röh-

re mit niederenergetischen Elektronen geflutet wird, um alle Spiegel gleichzeitig zu löschen. Diese Methode vergrößert das Kontrastverhältnis des Modulators, erzeugt aber "Flackern", welches bei Videoanwendungen inakzeptabel ist.

[0011] Um Verformung der Kleeblatt-Träger mit vernünftigen durch den Abtastelektronenstrahl aufgebrachten Ladungsmengen zu ermöglichen, muss Westinghouse die Kleeblatt-Träger dünn und biegsam machen. Und um eine kristalline Kornstruktur zu vermeiden, die das Reflexionsvermögen um 10-15 % vermindern würde, muss Westinghouse eine sehr dünne Aluminiumbeschichtung auf den Kleeblatt-Trägern verwenden. Als Folge muss die Elektronenstrahlenergie relativ niedrig sein, so dass im Wesentlichen alle Elektronen im Spiegel gestoppt werden und nicht zum darunter liegenden Glassubstrat durchdringen. Ungünstigerweise zeigen niederenergetische Elektronenstrahlen relativ große Punktgrößen, was die Auflösung vermindert.

[0012] Ein dickerer Spiegel könnte in Kombination mit einem hochenergetischen Elektronenstrahl verwendet werden, um die auftreffenden Elektronen zu stoppen und eine hohe Auflösung aufrechtzuerhalten. Um Qualitäts-Videoleistung sicherzustellen, muss jedoch die mechanische Grundresonanz des Spiegels die Videorate um ungefähr einen Faktor von einhundert übersteigen, damit sich der Spiegel vollständig einschwingen kann. Resonanzfrequenzen von 5-10 KHz sind geeignet. Als Folge müsste das an der Verbindungsstelle der Kleeblatt-Träger und Stützstiele ausgebildete Gelenk ziemlich stark, d. h. dick sein. Da die Federkraft des Gelenks, welche sich der Ablenkung des Trägers entgegenstellt, mit der dritten Potenz seiner Dicke größer wird, müsste viel mehr Ladung auf den Träger aufgebracht werden, um eine angemessene Kraft zu erzeugen. Elektronenkanonen, die genügend Strom in einer Ein-Pixel-Verweilzeit mit einer geringen Punktgröße liefern können, liegen gegenwärtig jenseits des Stands der Technik.

[0013] Die anhaltenden Umschnapp-Probleme und das begrenzte Kontrastverhältnis haben bis heute verhindert, dass Mikroskopie-Lichtmodulatoren ihre immanenten optischen Leistungsvorteile gegenüber Kathodenstrahl-, Flüssigkristall- und Technologien auf Basis von reflektierten Membranen ausnutzen und den Markt beherrschen. Tatsächlich ist das Problem so drückend geworden, dass die Lichtmodulatorindustrie ziemlich viel Zeit und Geld investiert hat, um eine digitale Betriebsart für diese auf interessante Art arbeitenden Vorrichtungen und alternative Betätigungstechniken zu entwickeln.

[0014] Texas Instruments war Wegbereiter für die Entwicklung der digital arbeitenden Lichtmodulatoren mit seiner digitalen Mikroskopievorrichtung (DMD), die das Einziehproblem zu ihrem Vorteil nutzt. Die

DMD verwendet einen Torsions-Mikrospiegel, der zwischen binären Positionen hin und her wippt, wobei die Spitzen des Spiegels nach unten zu den Basiselektroden gezogen werden. Der "Haft effekt" wird verringert, aber nicht beseitigt, indem bloß die Spitze des Spiegels die Basiselektrode berühren gelassen wird und indem Antihafbeschichtungen verwendet werden. Zeitteilungsmultiplexen (TDM), erzeugt durch schnelles Hin- und Herwippen des Spiegels zwischen seinen zwei Positionen, wird zur Erzeugung von unterschiedlichen Graustufen benutzt. Die Elektronik zur Realisierung eines TDM-Adressierschemas ist aber viel komplizierter und kostspieliger als jene, die für Analogmodulation erforderlich ist. Weiterhin machen die Antihafbeschichtungen die Vorrichtung kompliziert und erhöhen die Produktionskosten wesentlich.

[0015] Aura Systems hat ein Mikrospiegel-Lichtventilziel entwickelt, bei dem elektrostatische Betätigung durch piezoelektrische Betätigung ersetzt worden ist. Die Mikrospiegel sind oben auf den piezoelektrischen Sockeln ausgebildet. An die Sockel werden Gleichspannungen angelegt, was sie dazu bringt, ihre Form zu ändern und die Spiegel zu kippen. Piezoelektrische Betätigung vermeidet zwar Einziehen, der Herstellungsprozess ist aber kompliziert und kostspielig, die Ablenkungswinkel sind klein, und es sind hohe, mit hohen Frequenzen umgeschaltete Spannungen erforderlich, um den Sockel zu betätigen.

KURZE DARSTELLUNG DER ERFINDUNG

[0016] Im Hinblick auf die obigen Probleme stellt die vorliegende Erfindung einen ladungsgesteuerten Spiegel (CCM) mit hoher Auflösung bereit, der einen vergrößerten Ablenkbereich, einen verminderten Strahlstrom und verbesserte elektrostatische Stabilität aufweist.

[0017] Dies erreicht man durch Einfügen einer dünnen isolierenden Membran in eine Vakuumzelle, die den Elektronenstrahl von einer auf Bezugspotential gehaltenen Mikrospiegel-Anordnung entkoppelt. Die Membran ist gerade dick genug, um die auftreffenden Primärelektronen aufzuhalten, zu den Mikrospiegeln durchzudringen, aber dünn genug, dass die Streufelder minimiert werden und die Auflösung nicht beeinträchtigen. Tatsächlich ist die Membran so dünn, dass sie sich nicht selbst gegen das aufgrund des induzierten Ladungsmusters angelegte elektrische Feld stützen kann und von einer Anordnung von isolierenden Stielen gestützt werden muss. Das Entkoppeln der Mikrospiegel vom Strahl erlaubt es, diese dünner zu machen, was wiederum die Gelenkdicke vermindert, die erforderlich ist, um angemessene Resonanzfrequenzen aufrechtzuerhalten, was wiederum den zum Ablenken des Mikrospiegels erforderlichen Strahlstrombetrag vermindert. Bei hohen Auflösungen ist die Strahlverweilzeit sehr kurz, so dass

der Ladungswirkungsgrad sehr wichtig ist.

[0018] In einer bevorzugten Ausführungsform schirmt eine Äquipotentialschicht unterhalb der Anordnung die Spiegel vor angehäufter statischer Ladung ab und verhindert, dass irgendeine Anziehungskraft entwickelt wird, die andernfalls bewirken kann, dass der Spiegel umschnappt und am Substrat haften bleibt. Außerdem kann eine Anordnung von Anziehungsflecken auf der Membran ausgebildet werden, um die Auflösung des gesamten elektrischen Feldes zu verbessern und die von jedem Mikrospiegel gesehene Gleichförmigkeit des Feldes zu verbessern. Weiterhin kann eine komplementäre Anordnung von Anziehungsflecken auf der Vorderseite der Membran gemustert werden, um eine Anordnung von Reihen Kondensatoren zu definieren. Auf dem Rückseiten-Flecken aufgebrauchte Ladung erzeugt Spiegelladungen auf dem entgegengesetzten Vorderseiten-Flecken. Als Folge wird das Ladungsmuster wirksam auf die Vorderseite der Membran verschoben, wodurch das elektrische Feld für einen gegebenen Ladungsbetrag vergrößert wird.

[0019] Der begrenzte Lichtablenkbereich wird überwunden durch Stützen der dünnen Membran auf einer Stielanordnung oberhalb der Mikrospiegel und Definieren einer Anziehungsflecken-Geometrie, die es erlaubt, bis zu ungefähr 83 % des Abstands Spiegel-zu-Membran zu nutzen. Umschnappen zur Membran kann vermieden werden, indem der CCM so vorgespannt wird, dass das Gitterpotential, welches das maximale Membranpotential bestimmt, kleiner als das Umschnapp-Schwellenpotential ist. Außerdem können die Spiegel abwärts vorgespannt werden, wodurch der Ablenkbereich wirksam vergrößert wird. Dies kann geschehen durch Ausbilden von kleinen Löchern in der Äquipotentialschicht unterhalb der Mikrospiegel und Anlegen eines stark gefilterten Vorspannungspotentials an eine vergrabene Schicht, um eine sehr stabile Anziehungskraft zu erzeugen.

[0020] Diese und weitere Merkmale und Vorteile der Erfindung ergeben sich für den Fachmann aus der folgenden detaillierten Beschreibung von bevorzugten Ausführungsformen anhand der begleitenden Zeichnungen, in denen:

KURZE BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

[0021] [Fig. 1a](#) bis [Fig. 1c](#) sind schematische Darstellungen eines Pixels eines membranbetätigten CCM gemäß der vorliegenden Erfindung;

[0022] [Fig. 2](#) ist eine Schnittansicht einer gegenwärtig bevorzugten Ausführungsform eines membranbetätigten CCM mit einer Kleeblatt-Spiegelstruktur und perforierter Membran;

[0023] [Fig. 3](#) ist eine Draufsicht auf die Klee-

blatt-Spiegelstruktur mit einem gemeinsamen zentralen Stiel wie in [Fig. 2](#) gezeigt;

[0024] [Fig. 4](#) ist eine Draufsicht auf die Gestaltung von perforierter Membran und Anziehungsflecken;

[0025] [Fig. 5a](#) und [Fig. 5b](#) sind jeweils Schnittansichten des membranbetätigten CCM in den Betriebsarten Schreiben und Löschen in einem Doppelstrahl-Adressierschema;

[0026] [Fig. 6](#) ist eine schematische Zeichnung einer Projektionanzeige, die das in [Fig. 5a](#) und [Fig. 5b](#) gezeigte Doppelstrahl-Adressierschema in sich schließt;

[0027] [Fig. 7](#) ist eine Schnittansicht eines Einzelstrahl-Adressierschemas für den CCM;

[0028] [Fig. 8](#) ist ein Graph der Sekundärelektronen-Emissionskurven für die in [Fig. 7](#) gezeigten Spiegel- und Steuerfleckenmaterialien; und

[0029] [Fig. 9](#) ist eine Schnittansicht einer anderen Ausführungsform eines membranbetätigten CCM mit vergrößertem Ablenkbereich.

DETAILLIERTE BESCHREIBUNG DER BEVORZUGTEN AUSFÜHRUNGSFORMEN

[0030] Die vorliegende Erfindung stellt eine CCM-Gestaltung bereit, die die Probleme des begrenzten Ablenkbereichs, hohen Strahlstroms, elektrostatischer Instabilität und begrenzter Auflösung überwindet, die mit bekannten elektrostatisch betätigten Mikrospiegel-Zielen verbunden sind. Dies erreicht man durch Einfügen einer dünnen isolierenden Membran in die Vakuumzelle, um den Elektronenstrahl von der Mikrospiegel-Anordnung zu entkoppeln. Das Entkoppeln erlaubt es außerdem, den Spiegel so zu gestalten, dass das Reflexionsvermögen optimiert wird, der Spiegel eine höhere Resonanzfrequenz für bessere Videoleistung zeigt und er gleichzeitig mit den Gelenken hergestellt werden kann.

[0031] Die Elektronenstrahlquelle kann eine einzelne Elektronenkanone, ein Paar Elektronenkanonen oder eine Feststrahlanordnung wie z. B. eine Feldemitter-Anordnung (FEA), eine Dünn-Kathodenstrahlröhre, eine Oberflächenleitungselektronen(SCE)-Anordnung oder eine Metall-Isolator-Metall (MIM)-Kathodenanordnung sein.

[0032] Der begrenzte Lichtablenkbereich wird überwunden durch Stützen der dünnen Membran auf einer Stielanordnung oberhalb der Mikrospiegel und Definieren einer Anziehungsflecken-Geometrie auf der Membran, die es erlaubt, bis zu 83 % des Abstands Spiegel-zu-Membran zu nutzen. Umschnap-

pen kann vermieden werden, indem der CCM so vorgespannt wird, dass das Gitterpotential, welches das maximale Membranpotential bestimmt, kleiner als das Umschnapp-Schwellenpotential ist. Das maximale Membranpotential kann das Gitterpotential etwas übersteigen, wobei die genaue Differenz von dem Niederenergiespektrum der Sekundärelektronen und der Geometrie der Anziehungsflecken und des Kollektorgitters abhängt. Außerdem können die Spiegel abwärts vorgespannt werden, wodurch der Ablenkbereich wirksam vergrößert wird. Eine Vorspannung bewirkt, dass der Spiegel in Bezug auf seine Neutralstellung nach oben und unten ablenkt, was die gewünschte Wirkung hat, zu verhindern, dass bestimmte Arten von Gelenken aufgrund ihrer kristallinen Kornstruktur mit der Zeit einen Versatz entwickeln.

[0033] Die Probleme der elektrostatischen Instabilität werden überwunden durch Ausbilden einer Äquipotentialschicht unterhalb der Mikrospiegel-Anordnung, die alle Mikrospiegel auf einem Bezugspotential hält, geeignet dem Anodenpotential. Da die Äquipotentialschicht auf demselben Potential wie die Spiegel ist, kann keine Anziehungskraft zwischen den zweien erzeugt werden. Als Folge schirmt die Äquipotentialschicht die Mikrospiegel wirksam vor irgendeiner Anhäufung von statischer Ladung auf dem Substrat ab und leitet irgendwelche Streuladung auf dem Substrat ab.

[0034] Die verbesserte Auflösung und der verminderte Strahlstrom sind in erster Linie der Entkopplung des Strahls von der Spiegelanordnung zuzuschreiben. Die Membran ist zwar ziemlich dünn, sie ist aber dicker als die optimale Spiegeldicke. Als Folge kann man einen Strahl mit höherer Energie verwenden. Höherenergetische Strahlen haben kleinere Punktgrößen, was die Auflösung verbessert. Außerdem kann ein Strahl mit niedrigerem Strom verwendet werden, da die Spiegeldicke und somit Gelenkdicke vermindert werden können, was den zum Ablenken des Spiegels nötigen Ladungsbetrag vermindert. Strahlen mit niedrigerem Strom haben außerdem kleinere Punktgrößen, was die Auflösung ebenfalls verbessert.

[0035] Die verbesserte Auflösung ist auch der Gestaltung der Membran zuzuschreiben. Da die Membran so dünn ist, ist der Abstand zwischen dem Ladungsmuster auf der Membran und den Spiegeln ungefähr der Abstand Spiegel-zu-Membran. Auch für große Ablenkbereiche und kleine Spiegel ist der Abstand so gering, dass die Streufeldwirkungen auf die Auflösung gering sind. Die Auflösung kann durch geeignete Strahlmodulation in Kombination mit Anziehungsflecken auf der Membran bis zum Zweifachen erhöht werden. Diese Flecken dienen außerdem dazu, ein gleichförmiges elektrisches Feld für jeden Spiegel zu erzeugen. Zuletzt kann das Ladungsmus-

ter zur anderen Seite der Membran verschoben werden, ohne den Ladungsbetrag abzuschwächen, indem eine Anordnung von komplementären Anziehungsflecken auf der Vorderseite der Membran ausgebildet wird, um Reihen Kondensatoren zu definieren. Auf die Rückseite aufgebrachte Ladung wird zur Vorderseite gespiegelt. Dies bewegt nicht nur das Ladungsmuster näher zur Membran, sondern bewegt es auch zur anderen Seite der Membran, welche eine Dielektrizitätskonstante hat, die ein Mehrfaches von jener von Luft ist.

[0036] Zu Erläuterungszwecken wird die Erfindung zuerst im Kontext eines einzelnen Pixels beschrieben, welches die Geometrie und Funktionalität des membranbetätigten CCM veranschaulicht. Wie in [Fig. 1a](#) gezeigt, enthält ein CCM **10** eine dünne isolierende Membran **14**, die auf einer Stielanordnung **16** zwischen einem schwenkbaren Mikrospiegel **18** und einer Quelle **20** von Primärelektronen gestützt ist. Die Stielanordnung **16** und der Mikrospiegel **18** sind auf einem transparenten Substrat **20** ausgebildet, welches mit einer Passivierungsschicht **24** bedeckt sein kann. In manchen Gestaltungen kann es möglich sein, die Stielanordnung zwischen der Membran und der Quelle auszubilden. Ist zum Beispiel die Quelle eine feste Emitteranordnung, können der Stiel und die Membranstruktur oben auf der Anordnung ausgebildet werden. Jeder Mikrospiegel enthält einen leitenden Stielbereich oder Flecken **26**, einen Stiel **28**, ein Gelenk **30** und ein Spiegelelement **32**. Das Gelenk **30** und das Spiegelelement **32** sind vorzugsweise koplanar und haben dieselbe Dicke. Der CCM **10** befindet sich vollständig innerhalb einer Vakuumzelle **34**, obwohl das Substrat **22** die Frontplatte der Zelle bilden kann, wie gezeigt.

[0037] In der bevorzugten Gestaltung ist ein leitendes Gitter **40**, welches Stieflecken **26** enthält, auf einer sehr dünnen transparenten Äquipotentialschicht **42** von geeignet 100 Angström oder weniger eines transparenten leitenden Films oder Oxids (TCF oder TCO) auf dem Substrat **22** ausgebildet. Die Schicht **42** verhindert, dass eine Potentialdifferenz zwischen den Spiegeln und dem Substrat entwickelt wird, die andernfalls Instabilität verursachen könnte. Das Gitter **40** stellt elektrische Kontinuität zwischen allen Mikrosiegeln her und hält sie auf einem Bezugspotential, geeignet dem Anodenpotential. Die Schicht **42** könnte beide Funktionen durchführen, müsste aber viel dicker sein, um elektrische Kontinuität sicherzustellen, was den optischen Wirkungsgrad vermindern würde.

[0038] Die Potentialdifferenz zwischen dem auf ein relativ positives Potential V_G vorgespannten Kollektorgitter **35** und dem Mikrospiegel **18** schafft ein gleichförmiges elektrisches Feld **38**. Die vom Kollektorgitter auf die Spiegel ausgeübte Anziehungskraft verursacht aufgrund von deren relativ großem Ab-

stand eine vernachlässigbare Spiegelablenkung. Alternativ kann das Kollektorgitter weggelassen werden und kann die Kollektorelektrode eine vorgespannte leitende Beschichtung auf der Innenseite der Vakuumzelle **34** sein, was eine Standard-Kathodenstrahlröhren-Technik ist. Die Membran **14** befindet sich auf einem schwebenden Potential innerhalb des elektrischen Feldes **38**. In Abwesenheit von irgendwelcher aufgebrachten Ladung stabilisiert sich das Membranpotential auf ein Potential zwischen dem Bezugspotential und dem Kollektorgitterpotential, so dass es dem elektrischen Feld zwischen der Spiegelanordnung und dem Gitter genügt. Der genaue Wert des Membranpotentials hängt von der Dielektrizitätskonstante der Membran und ihrer Dicke ab, und von der Geometrie des Kollektorgitters und der Spiegelanordnung und deren relativem Abstand zur Membran. Da die Membran viel näher an der Spiegelanordnung liegt, wird ihr Anfangspotential nahe am Bezugspotential liegen. Ungeachtet dessen wird die Membran vorzugsweise als Teil einer Anlaufsequenz auf ein gewünschtes Löschpotential gebracht, um die Spiegel in einen Löschzustand zu bringen.

[0039] Um ein Ladungsmuster **36** auf den Mikrospiegel **18** zu schreiben, emittiert die Quelle **20** Primärelektronen, die vom Anodenpotential V_A durch das Kollektorgitter **35** hindurch beschleunigt werden und die Rückseite der Membran **14** treffen, was bewirkt, dass Sekundärelektronen ausgestoßen und vom Kollektorgitter gesammelt werden. Die Quelle wird bei einer Strahlenergie betrieben, bei der die Anzahl der ausgestoßenen Sekundärelektronen von der Anzahl der auftreffenden Primärelektronen verschieden ist. Geeignet wird die Membran mit einem Sekundäremissionsmaterial wie z. B. MgO beschichtet, das einen Emissionskoeffizienten zeigt, d. h. das Verhältnis von emittierten Sekundärelektronen zu auftreffenden Primärelektronen, der viel größer als Einheit bei der Strahlenergie ist. Dies vermindert den Strahlstrombetrag, der nötig ist, um das Ladungsmuster **36** auf die Membran **14** zu schreiben.

[0040] Das Aufbringen des Ladungsmusters **36** auf die Membran **14** moduliert das Potential eines jeden Pixels in Bezug auf das Löschpotential. Bei der beschichteten Membran zeigt das Ladungsmuster **36** eine positive Nettoladung, die die lokalen Membranpotentiale in Bezug auf das Löschzustandspotential der Spiegelanordnung vergrößert. Dies wiederum vergrößert das elektrische Feld **38** zwischen der Membran und dem Mikrospiegel und erzeugt Anziehungskräfte, die das Spiegelelement **32** tendenziell nach außen, weg vom Substrat **22** und in Richtung auf die Membran schwenken und ablenken. Der Anziehungskraft stellt sich die Federkraft des Gelenks entgegen, und der Ablenkbetrag wird durch die Kraftwiederausgleichsgleichung für eine gegebene Geometrie bestimmt. Die Spiegelablenkung wiederum vermittelt dem Lichtstrahl eine Modulation.

[0041] Je mehr aufgebrachte Ladung, desto stärker im Allgemeinen das elektrische Feld und desto größer die Ablenkung. Sollte die Potentialdifferenz zwischen der Membran und dem Mikrospiegel das Umschnapp-Schwellenpotential übersteigen, welches durch die Spiegelgeometrie und Gelenknachgiebigkeit bestimmt wird, schnappt der Spiegel um und bleibt an der Membran haften. Das Umschnappen kann vermieden werden durch Bereitstellung eines relativ großen Abstands Spiegel-zu-Membran und Verwendung nur eines Bruchteils des verfügbaren Ablenkbereichs oder durch Vorspannen des Kollektorgitterpotentials $+V_G$, welches eine obere Schranke für das Membranpotential bestimmt, unter das Schwellenpotential, so dass $V_G + V_B < V_{th}$. V_B stellt eine Sicherheitsspanne dar, um dem Umstand Rechnung zu tragen, dass aufgrund des Niederenergiespektrums der Sekundärelektronen und der Elektrodengeometrie das Membranpotential $+V_G$ ein wenig übersteigen kann.

[0042] Es stehen eine Anzahl von Techniken zur Verfügung, um das Ladungsmuster **36** von der Membran **14** zu löschen. Wie oben erwähnt, wird das Membranpotential auf irgendein Löschpotential gebracht, so dass alle Pixel dasselbe Potential und dieselbe Ablenkung haben. Zum Beispiel könnte das Membranpotential auf sein Schwebepotentialgleichgewicht zurückgebracht wird, indem die Ladung entweichen gelassen wird. Das gesamte Kollektorgitter oder Segmente davon können auf Anodenpotential umgeschaltet und abgetastet werden, wodurch das Membranpotential auf das Anodenpotential getrieben wird. Wird die Spiegelanordnung auf Anodenpotential gehalten, werden die Spiegel in ihre Neutralstellung gelöscht. Umgekehrt, wenn die Spiegelanordnung auf Gitterpotential gehalten wird, werden die Spiegel in ihren maximal abgelenkten Zustand gelöscht. Weiterhin kann ein Paar Kanonen, die mit Energien arbeiten, bei denen die Sekundäremissionskoeffizienten der beschichteten Membran größer als bzw. kleiner als Einheit sind, verwendet werden, um zuerst das Membranpotential auf das Löschpotential zu treiben, um das Ladungsmuster zu löschen, und dann die Pixelpotentiale selektiv einzustellen, um ein neues Ladungsmuster neu zu schreiben. Derselbe Effekt kann realisiert werden durch Ausbilden eines Steuerfleckens auf jedem Pixel mit der entgegengesetzten Elektronenaffinität und anschließendes Abtasten der Membran mit einer einzelnen Kanone.

[0043] In dieser CCM-Gestaltung werden die Dicke des Substrats **22**, der Membran **14** und des Spiegels **18** gewählt, um verschiedene Funktionen durchzuführen. Angenommen, das Substrat **22** definiert die Frontplatte der Zelle, muss seine Dicke genügend Festigkeit bereitstellen, um den Luftdruck abzuwehren. Eine Dicke von 2-3 mm ist normal. Da die Spiegel vom Strahl entkoppelt sind, können sie äußerst dünn gemacht werden, 2000-3000 Angström dick,

und gleichzeitig die Gelenke. Wie vorher erwähnt, kann dies das Reflexionsvermögen verbessern und vermindert aufgrund hoher Gelenknachgiebigkeit die zum Ablenken des Spiegels nötige Kraft.

[0044] Die Membran **14** muss mindestens so dick sein, dass sie die einfallenden Elektronen davon abhält, die Mikrospiegel zu durchdringen, und elastisch genug, um einem Abreißen von der Stielanordnung zu widerstehen. In Betracht kommende Membranmaterialien benötigen typischerweise ungefähr 1000 Angström pro Kilovolt Strahlenergie, um Elektronen zu stoppen, wobei Strahlenergien von 5-10 KV vernünftig sind. Wie oben erörtert, ist jedoch eine dünne Membran erwünscht, um den Ladungswirkungsgrad zu verbessern und die Auflösung aufrechtzuerhalten, und auch aus Kosten- und Fertigungsgründen. Eine Membrandicke von ein bis zwei Mikrometer scheint einen vernünftigen Ausgleich bereitzustellen, obwohl man dünnere Membranen bevorzugen würde. Man beachte, dass die Membran **14**, anders als die CTP von Warde, so dünn ist, dass es sich nicht selbst gegen das aufgrund des induzierten Ladungsmusters angelegte elektrische Feld stützen kann, geschweige denn den Luftdruck abwehren kann.

[0045] Wie in [Fig. 1b](#) gezeigt, kann die Rückseite der Membran **14** mit einer Anordnung von elektrisch isolierten Anziehungsflecken **44** gemustert werden, welche verschiedenen Zwecken dienen. Erstens verteilt sich die aufgebrachte Ladung selbst gleichförmig über die Oberfläche des Fleckens, wodurch ein gleichförmigeres elektrisches Feld für Betätigung des darunter liegenden Spiegels bereitgestellt wird. Zweitens kann der Strahl unter Verwendung von in der Kathodenstrahlröhren-Industrie bekannten Techniken moduliert werden, um eine Auflösung zu erzielen, die feiner als seine Punktgröße ist. Zuletzt kann die Fleckengeometrie in Bezug auf die Spiegelgeometrie so gestaltet werden, dass der nutzbare Ablenkbereich ungefähr 83 % des Abstands Spiegel-zu-Membran ist.

[0046] Wie in [Fig. 1c](#) gezeigt, bildet die Hinzufügung eines unteren Anziehungsfleckens **46** einen Reihenkondensator, der den Zusatznutzen hat, die auf die Rückseite der Membran aufgebrachte Ladung wirksam zur Vorderseite der Membran zu transferieren, ohne den vom Spiegel gesehenen Ladungsbeitrag zu vermindern. Das Aufbringen von Ladung auf den oberen Flecken **44** bewirkt, dass sich eine gleiche Anzahl von Spiegelladungen auf dem unteren Flecken **46** anhäuft. Obwohl die Membran **14** sehr dünn ist, bewegt der Reihenkondensator das Ladungsmuster wirksam um mindestens 20-30 % näher (in Abhängigkeit von der Dielektrizitätskonstante der Membran) für einen Abstand Spiegel-zu-Membran von 10 Mikrometer und eine Membran von 1-2 Mikrometer. Da die Kraft auf den Spiegel proportional zum Quadrat des elektrischen Feldes (Spannung/Ab-

stand) ist, kann dies eine messbare Auswirkung auf den pro Einheit des Strahlstroms erzielten Betrag an Spiegelablenkung haben. Der Nutzen ist noch größer, da die Dielektrizitätskonstante der Membran aus der Gleichung entfernt wird. Außerdem vermindert die von den unteren Flecken bereitgestellte Symmetrie die seitlichen Spannungen auf die dünne Membran.

[0047] Eine gegenwärtig bevorzugte Ausführungsform der Mikrospiegel-Anordnung und der Stiel-Membran-Struktur ist in [Fig. 2](#), [Fig. 3](#) und [Fig. 4](#) gezeigt. In dieser Gestaltung ist die Spiegelschicht in einer Kleeblattanordnung von vier zentral verbundenen Freiträgern **50a**, **50b**, **50c** und **50d** gemustert, die einen gemeinsamen Stielbereich **52** nutzen. Die Spiegelschicht ist außerdem gemustert, um Torsionsbeugegelenke **54a**, **54b**, **54c** und **54d** zu definieren, die die jeweiligen Freiträger mit dem Stielbereich **52** verbinden. Andere Gelenkgestaltungen sind zwar möglich, das Torsionsgelenk wird aber bevorzugt, weil es für einen gegebenen Füllfaktor höhere Nachgiebigkeit liefert.

[0048] Die Stiele **36** und Membranen **14** sind als eine integrale möwenflügelförmige Struktur **55** ausgebildet, in der die Stiele **36** auf dem gemeinsamen Stielbereich **52** des Spiegels angeordnet sind. Die Membran **14** hat eine Anzahl von Entlüftungslöchern **56**, die im Abstand zwischen Kleeblattanordnungen angeordnet sind und während der Bearbeitung benutzt werden, um die Mikrospiegel und Membran gleichzeitig freizusetzen. Diese Gestaltung ermöglicht es, dass die Stiele einen relativ großen Durchmesser mit einem kleineren Längen- und Seitenverhältnis haben, was aus Fertigungserwägungen erwünscht ist, ohne den Füllfaktor wesentlich zu vermindern. Andere mehrblättrige Gestaltungen liegen sicherlich im Schutzbereich der Erfindung. Zum Beispiel kann eine Farbanzeige Dreiblatt-RGB-Strukturen verwenden.

[0049] Obere Anziehungsflecken **58a**, **58b**, **58c** und **58d** und die unteren Anziehungsflecken **60a**, **60b**, **60c** und **60d** sind auf beiden Seiten der Membran **14** gemustert, so dass sie direkt über den jeweiligen Freiträgern **50a**, **50b**, **50c** und **50d** liegen. Wie gezeigt, beträgt die Diagonale der Anziehungsflecken ungefähr 60 % von jener des darunter liegenden Freiträgers. Dies erlaubt es, den Freiträger ohne Umschnappen über ungefähr 83 % des Abstands Spiegel-zu-Membran abzulenken. Um den Ladungswirkungsgrad zu verbessern, werden die oberen Anziehungsflecken mit einem Sekundäremissionsmaterial **62** beschichtet, das bei der gewünschten Strahlenergie einen größeren Emissionskoeffizienten als eins zeigt.

[0050] Wie dargestellt, sind die vier Anziehungsflecken elektrisch voneinander getrennt. Als Folge re-

präsentiert jede Kleeblatt-Struktur vier getrennte Pixel. In manchen Anwendungen kann es erwünscht sein, die Anziehungsflecken miteinander kurzzuschließen und jede Kleeblatt-Struktur als ein einzelnes Pixel zu behandeln. Dies definiert ein größeres Pixel, das der Strahl leichter adressieren kann.

[0051] Der in [Fig. 2](#), [Fig. 3](#) und [Fig. 4](#) dargestellte CCM wird auf einem Glassubstrat hergestellt, das unter Verwendung eines Fünf-Masken-Prozesses mit einer TCO- oder TCF-Schicht beschichtet wird. Eine Schicht Fotoresist wird unter Verwendung einer Maske 1, einer Spiegelfreisetzung-Maske, gemustert, um die Freisetzungsschicht für die Mikrospiegel-Anordnung auszubilden. Die Freisetzungsschicht wird dann mit Aluminium beschichtet und unter Verwendung einer Maske 2, einer Spiegelmetall-Maske, gemustert, um die Mikrospiegel-Anordnung und das leitende Gitter auszubilden.

[0052] Eine zweite, dickere Schicht Fotoresist wird unter Verwendung einer Maske 3, einer Membranfreisetzung-Maske, gemustert, um die Freisetzungsschicht für die Stiel-Membran-Struktur auszubilden. Vor dem Aufbringen der Stiel-Membran-Schicht werden die unteren Anziehungsflecken unter Verwendung einer Maske 4, einer Anziehungsflecken-Maske, auf der Freisetzungsschicht 4 gemustert. Nach dem Aufbringen wird eine Anziehungs-Maske 4 wiederverwendet, um die oberen Anziehungsflecken auf der Membran zu mustern. Zuletzt werden unter Verwendung einer Maske 5, einer Membranentlüftung-Maske, die Entlüftungslöcher in der Membran zwischen den Kleeblatt-Strukturen gemustert. Nach Vollendung der Bearbeitung und vor dem Freisetzen wird das Substrat in einzelne Mikrospiegel-Anordnungen vereinzelt. Danach werden die Spiegel- und Stiel-Membran-Freisetzungsschichten gleichzeitig freigesetzt, um die in [Fig. 2](#), [Fig. 3](#) und [Fig. 4](#) gezeigte freistehende Struktur übrig zu lassen.

[0053] Wie vorher erwähnt, kann ein Ladungsmuster auf eine Anzahl von unterschiedlichen Arten geschrieben und gelöscht werden. Ein spezielles Doppelstrahl-Adressierschema ist in [Fig. 5a](#) und [Fig. 5b](#) dargestellt. Obwohl in Verbindung mit einer massiven Membran **14** gezeigt, die auf getrennten Stielen gestützt und nicht mit Anziehungsflecken gemustert ist, ist das Adressierschema allgemein auf membranbetätigte CCMs anwendbar. Um die Einzelbildzeitnutzung (FTU) zu verbessern, wird das Kollektorgitter **35** in vier oder mehr elektrisch getrennte Segmente geteilt. Die FTU ist $(n-2)/n$, wobei n die Anzahl der Segmente ist. Ein Paar Abtastelektronenkanonen, welche auf ein Potential $-V_A$ in Bezug auf das Bezugspotential vorgespannt sind, rasterabtasten die Membran **14** mit dem Schreibstrahl **64**, der dem Löschraststrahl **66** um zwei Segmente naheilt. Ein Controller **68**, der mit den Strahlen synchronisiert ist, schaltet die Potentiale auf den Gittersegmenten zwischen Anoden-

potential und $+V_G$ um.

[0054] In beiden Fällen bewirkt der Strahl, dass Sekundärelektronen aus der Membran **14** ausgestoßen werden. Wenn das Gitterpotential auf Anodenpotential umgeschaltet wird, werden die Sekundärelektronen nicht an das Kollektorgitter **35** angezogen und lagern sich dann wieder über der Membran **14** ab, wodurch das Ladungsmuster gelöscht wird, wie in [Fig. 5b](#) gezeigt. Umgekehrt, wenn das Gittersegment auf $+V_G$ umgeschaltet wird, werden die Sekundärelektronen vom $+V_G$ -Segment des Kollektorgitters gesammelt, wodurch ein neues Ladungsmuster **36** geschrieben wird, wie in [Fig. 5a](#) gezeigt. Da beide Elektronenkanonen vorzugsweise zwischen den ersten und zweiten Kreuzungspunkten auf der Sekundäremissionskurve der Membran arbeiten, kann die Bildauflösung noch mehr verbessert werden, indem die gesamte Oberfläche der Membran mit einem Material mit hohem Sekundäremissionskoeffizienten wie z. B. Magnesiumoxid (MgO) beschichtet wird. Die Beschichtung wirkt als ein Stromverstärker, was einen geringeren Strahlstrom für ein gegebenes Ladungsmuster erlaubt.

[0055] Die oben beschriebene Technik membranbetätigter Mikrospiegel kann bei vielen verschiedenen Bildanzeigesystemen verwendet werden, einschließlich, aber nicht beschränkt auf Projektionssysteme, nichtemittierende Direktbetrachtungssysteme, d. h. "Weißpapier"- und Flachbildschirm-Emissionssysteme. Die Weißpapier- und Flachbildschirmssysteme erfordern möglicherweise modifizierte Spiegelgeometrien zur Anpassung an Direktbetrachtung.

[0056] Wie in [Fig. 6](#) gezeigt, enthält eine einfarbige Projektionanzeige **70** eine helle Lichtquelle **72** wie z. B. eine Bogenlampe mit einem Reflektor und einem Kühlgebläse **74**. Die Bogenlampe erzeugt divergentes Licht, welches von Sammeloptik **76** gebündelt wird, die so gewählt ist, dass sie die ultraviolette Komponente des Lichts absorbiert. Eine Sammellinse **80**, welche das gebündelte Licht auf einen Drehspiegel/Schlieren-Stop **82** richtet. Der Drehspiegel lenkt das jetzt divergierende Licht auf eine Feldlinse **84** um, welche das Licht neu bündelt und es auf einen doppelstrahladressierten membranbetätigten Mikrospiegel-Lichtmodulator **86** vom oben beschriebenen Typ abbildet. Eine Farbanzeige kann man realisieren durch Anordnen eines RGB-Farbrades **88** zwischen der Sammeloptik **76** und der Linse **80**. Dies wird gewöhnlich als farbsequentiell bezeichnet.

[0057] In Reaktion auf ein Videoadressierungssignal vermittelt der Lichtmodulator **86** dem Licht eine räumliche Modulation proportional zur Amplitude der Ablenkung der einzelnen Mikrospiegel. Wie gezeigt, verwirklicht der Lichtmodulator **86** ein Doppelstrahl-Adressierschema von dem bei [Fig. 5a](#) und [Fig. 5b](#) erörterten Typ. Das räumlich modulierte Licht

läuft durch die Feldlinse **84** zurück, wo es auf eine Ebene fokussiert wird, die durch den Drehspiegel/Schlieren-Stop **82** verläuft. Der Schlieren-Stop wandelt den räumlich modulierten Strahl in einen intensitätsmodulierten Strahl um, der dann durch eine Projektionslinse **90** geleitet wird, welche das intensitätsmodulierte Licht bündelt und es auf einen Bildschirm abbildet.

[0058] Wie in [Fig. 7](#) gezeigt, kann der membranbetätigte CCM so modifiziert werden, dass Adressierung mit einem Einzelstrahl erfolgen kann, wobei die FTU 100 % erreicht und ohne das Kollektorgitter zu segmentieren oder sein Potential umzuschalten. Dies erreicht man, indem man die Anziehungsflecken **58a-58d** nur teilweise mit einem Sekundäremissionsmaterial beschichtet, um Steuerflecken **92** zu definieren. Eine Quelle, die um $-V_A$ in Bezug auf die Referenz vorgespannt ist, emittiert einen Teilpixelauflösungsstrahl **94**, der den Steuerflecken **92** und den Anziehungsflecken **58** eines jeden Pixels selektiv adressiert, um ein Ladungsmuster auf den Anziehungsflecken zu schreiben. Obwohl in Verbindung mit der in [Fig. 1](#) gezeigten massiven Membranstruktur beschrieben, ist diese Modifizierung gleichermaßen auf die in [Fig. 2](#) und [Fig. 3](#) gezeigte integrierte Möwenflügelstruktur anwendbar.

[0059] Die Sekundärelektronen-Emissionskurven, **96** und **98**, für typische Anziehungs- bzw. Steuerflecken-Materialien, sind in [Fig. 8](#) gezeigt. Die Kurve stellt das Verhältnis δ von emittierten Sekundärelektronen zu auftreffenden Primärelektronen gegen die Landeenergie der Primärelektronen dar. Bei Landeenergien zwischen ersten und zweiten Kreuzungspunkten ($\delta = 1$) hat das Steuerflecken-Material, geeignet entgastes MgO, einen größeren Koeffizienten als eins. Außerhalb dieses Bereichs zeigt das Material einen kleineren Koeffizienten als eins. Das Anziehungsflecken-Material, geeignet entgaster Aluminiumfilm, hat einen Koeffizienten, der stets kleiner als eins ist. Als Folge, bei geeigneter Wahl der Anziehungs- und Steuerflecken-Materialien und einer Strahlenergie **100**, umfasst jedes Pixel einen ersten Teil, der für eine vorbestimmte Strahlenergie einen Emissionskoeffizienten größer als eins hat, und einen zweiten Teil, der für dieselbe Strahlenergie einen Emissionskoeffizienten kleiner als eins hat.

[0060] Gegenwärtig werden zwei verschiedene Arten erwogen, das Ladungsmuster auf die mit Pixeln versehene Membran zu schreiben; eine differentielle Schreibbetriebsart und eine Lösch-/Schreibbetriebsart. In der differentiellen Schreibbetriebsart wird der gegenwärtige Pixelwert in einem Speicher gespeichert, und der nächste Pixelwert wird geschrieben, indem entweder der Anziehungsflecken oder der Steuerflecken adressiert wird. In der Lösch-/Schreibbetriebsart wird der Strahl zuerst entweder auf den Anziehungsflecken oder den Steuerflecken gerichtet,

um das Pixelpotential auf ein gewünschtes Löschoptional, d. h. in den Löschozustand, zu treiben. Der Strahl wird dann auf den anderen Flecken gerichtet, um das Pixelpotential vom Löschopotential weg einzustellen, d. h. in den Schreibzustand. In beiden Fällen kommt die FTU 100 % nahe.

[0061] In einem speziellen Beispiel der Löscho-/Schreibbetriebsart wird der Strahl zuerst auf den Steuerflecken, $\delta > 1$, gerichtet, so dass das Pixelpotential ansteigt, bis es gleich dem Gitterpotential ist, wo es ein Gleichgewicht erreicht. Dies ist der Löschozustand, welcher einer maximalen Spiegelablenkung entspricht, wenn die Spiegel auf Anodenpotential gehalten werden. Unmittelbar danach wird der Strahl auf den Anziehungsflecken, $\delta < 1$, gerichtet, so dass das Pixelpotential vermindert wird, bis es und der Ablenkwinkel den gewünschten Wert erreichen. Die Ladung wird dann bis zum nächsten Einzelbild auf dem Pixel gehalten.

[0062] Wie in [Fig. 9](#) gezeigt, kann der grundlegende membranbetätigte CCM außerdem modifiziert werden, um den Ablenkbereich wesentlich zu vergrößern. Dies erreicht man, indem man zuerst den Abstand Spiegel-zu-Membran vergrößert, indem man die Höhe der Stiele **16** vergrößert, und die Spiegelstiele **28** so verlängert, dass die Spiegel **18** ungefähr auf halbem Wege zwischen dem Substrat und der Membran **14** liegen. Dies stellt dem Spiegel genug Raum bereit, abzulenken, ohne Umschnappen zu einem Substrat der Membran zu erfahren. Obwohl in Verbindung mit der in [Fig. 1](#) gezeigten massiven Membranstruktur beschrieben, ist diese Modifizierung gleichermaßen auf die in [Fig. 2](#) und [Fig. 3](#) gezeigte integrierte Möwenflügelstruktur anwendbar.

[0063] Eine vergrabene leitende Schicht **102** und eine Abstandshalterschicht **104** werden auf dem Substrat **22** unterhalb der Schicht **42** ausgebildet. Ein Vorspannungspotential **106** wird zwischen der vergrabenen Schicht **102** und der TCF- oder TCO-Schicht **42** angelegt, so dass das Potential auf der vergrabenen Schicht **102** kleiner als das Bezugspotential auf der Schicht **42** und der Mikrospiegel-Anordnung ist. Damit die einzelnen Spiegel dieses konstante elektrische Feld "sehen", wird die Schicht **42** mit einer Anordnung von Löchern **108** unterhalb der Mikrospiegel gemustert. Um die Geometrie der Anziehungsflecken nachzuahmen, werden die Löcher **108** vorzugsweise rückwärts von der Spitze des Spiegels beabstandet.

[0064] Das durch die Löcher **108** wirkende elektrische Feld übt eine Kraft auf die Spiegel aus, die sie in Richtung auf das Substrat anzieht. In Abwesenheit irgendeiner Anziehungskraft von der Membran werden alle Mikrospiegel mit einer Vorspannungsablenkung niedergehalten. Da das Vorspannungspotential **106** konstant ist, kann es stark gefiltert werden, um

zu verhindern, dass irgendwelches Rauschen eine vorübergehende Kraft erzeugt, die Umschnappen verursachen würde. Wird Ladung auf die Membran geschrieben, erfährt die Membran eine entgegengesetzte Anziehungskraft, die den Spiegel tendenziell nach oben in Richtung auf die Membran ablenkt. Zusätzlich zu dem erweiterten Ablenkbereich vermindert das Ablenken des Spiegels in beiden Richtungen in Bezug auf seine natürliche mechanische Ruhestellung den Betrag der asymmetrischen Spannung auf das Gelenk und kann die Leistung und Lebensdauer der Gelenke vergrößern.

[0065] Obwohl mehrere Ausführungsbeispiele der Erfindung gezeigt und beschrieben worden sind, werden dem Fachmann zahlreiche Varianten und alternative Ausführungsformen einfallen. Zum Beispiel kann man an Stelle der Abtastelektronenkanone eine Feldemitter-Anordnung verwenden, um den membranbetätigten CCM zu adressieren. Solche Varianten und alternative Ausführungsformen werden in Betracht gezogen und können realisiert werden, ohne den Schutzbereich der Erfindung, wie in den beige-fühten Ansprüchen definiert, zu verlassen.

Patentansprüche

1. Lichtmodulator, der Folgendes aufweist:
eine Vakuumzelle (**34**);
ein transparentes Substrat (**22**) in der Vakuumzelle;
eine Anordnung von elektrisch betätigbaren schwenkbaren Mikrospiegeln (**18**) auf dem Substrat, welche Anordnung auf Bezugspotential gehalten wird;
eine Anordnung von isolierenden Stielen (**16**), die in der Vakuumzelle gestützt sind;
eine dünne isolierende Membran (**14**) mit schwebendem Potential, die von den Stielen auf der von dem transparenten Substrat weg weisenden Seite der Anordnung von Mikrospiegeln gestützt wird;
eine Kollektorelektrode (**35**) in dem Vakuum; und
eine Quelle (**20**) in der Vakuumzelle, die Primärelektronen emittiert, die in Richtung auf das Bezugspotential beschleunigt werden und die Rückseite der isolierenden Membran treffen und dabei bewirken, dass Sekundärelektronen ausgestoßen und auf der Kollektorelektrode gesammelt werden, wodurch ein vorbestimmtes Ladungsmuster (**36**) auf der Membran übrig gelassen wird, das fein aufgelöste anziehende elektrostatische Kräfte erzeugt, die bewirken, dass die Mikrospiegel in Richtung auf die Membran schwenken und ablenken, wobei die Membran dick genug ist, um die Primärelektronen aufzuhalten, zu den Mikrospiegeln durchzudringen, und dünn genug ist, dass die Streufelder zwischen dem Ladungsmuster und den Mikrospiegeln die Auflösung der anziehenden elektrostatischen Kräfte nicht verschlechtern.

2. Lichtmodulator nach Anspruch 1, der weiterhin

eine transparente Äquipotentialschicht (**42**) zwischen dem Substrat und der Anordnung von Mikrospiegeln aufweist, die die Mikrospiegel vor Ladungsanhäufung auf dem transparenten Substrat abschirmt.

3. Lichtmodulator nach Anspruch 1 oder 2, der weiterhin ein leitendes Gitter (**40**) auf der Äquipotentialschicht aufweist, das elektrische Kontinuität zwischen den Mikrospiegeln sicherstellt.

4. Lichtmodulator nach Anspruch 2, bei dem die Äquipotentialschicht (**42**) eine Anordnung von Löchern (**108**) unterhalb jeweiliger Mikrospiegel hat und weiterhin Folgendes aufweist:
eine isolierende Schicht (**104**) unterhalb der Äquipotentialschicht; und
eine vergrabene leitende Schicht (**102**) zwischen der isolierenden Schicht und dem Substrat, die auf einem konstanten Potential gehalten wird, welches konstante Potential ein elektrisches Feld durch die Löcher hindurch in Bezug auf das Bezugspotential erzeugt, das eine konstante anziehende Kraft auf die Mikrospiegel herstellt, die sie nach unten in Richtung auf das Substrat vorspannt.

5. Lichtmodulator nach Anspruch 1, der weiterhin Folgendes aufweist:
eine Anordnung von Anziehungsflecken (**44**) auf der Rückseite der Membran, die auf die Anordnung von Mikrospiegeln ausgerichtet sind, wobei die Quelle das Ladungsmuster auf die Anziehungsflecken schreibt, so dass die Ladung eines jeden Mikrospiegels gleichförmig über den entsprechenden Anziehungsflecken verteilt wird.

6. Lichtmodulator nach Anspruch 5, der weiterhin Folgendes aufweist:
eine Anordnung von Anziehungsflecken (**46**) auf der Vorderseite der Membran, die zu der Anordnung von Mikrospiegeln weisen und darauf ausgerichtet sind, wobei die Anziehungsflecken auf der Rückseite und Vorderseite der Membran eine Anordnung von Reihen Kondensatoren bilden, so dass auf die rückseitigen Anziehungsflecken aufgebrauchte Ladung Spiegelladungen auf den vorderseitigen Anziehungsflecken gegenüber den Mikrospiegeln erzeugt.

7. Lichtmodulator nach Anspruch 5, bei dem die Anziehungsflecken einen Sekundäremissionskoeffizienten kleiner als eins zeigen, und weiterhin mit einem Steuerfleck (**92**), der einen Sekundäremissionskoeffizienten größer als eins zeigt, auf einem jeden Anziehungsflecken.

8. Lichtmodulator nach Anspruch 1, bei dem jeder Mikrospiegel Folgendes aufweist:
einen leitenden Stiel (**28**), der den Mikrospiegel im Abstand von dem Substrat hält;
ein Gelenk (**30**), das es dem Mikrospiegel erlaubt, als Antwort auf die anziehenden elektrostatischen Kräfte

nach oben in Richtung auf die Membran zu schwenken und abzulenken; und
eine reflektierende Oberfläche (**32**) zum Ablenken eines Lichtstrahls,
wobei das Gelenk und die reflektierende Oberfläche koplanar sind und dieselbe Dicke haben, welche in Abwesenheit der Membran zu dünn wäre, um die Primärelektronen aufzuhalten.

9. Lichtmodulator nach Anspruch 1, bei dem das Ladungsmuster die lokalen Membranpotentiale in Richtung auf das Elektrodenpotential vergrößert, so dass die Potentialdifferenzen zwischen der Membran und den Mikrospiegeln die fein aufgelösten anziehenden elektrostatischen Kräfte erzeugt, wobei die Mikrospiegel fähig sind, umzuschlagen, wenn die Potentialdifferenz ein Schwellenpotential übersteigt, wobei die Kollektorelektrode so vorgespannt ist, dass das Elektrodenpotential kleiner als das Schwellenpotential ist.

Es folgen 5 Blatt Zeichnungen

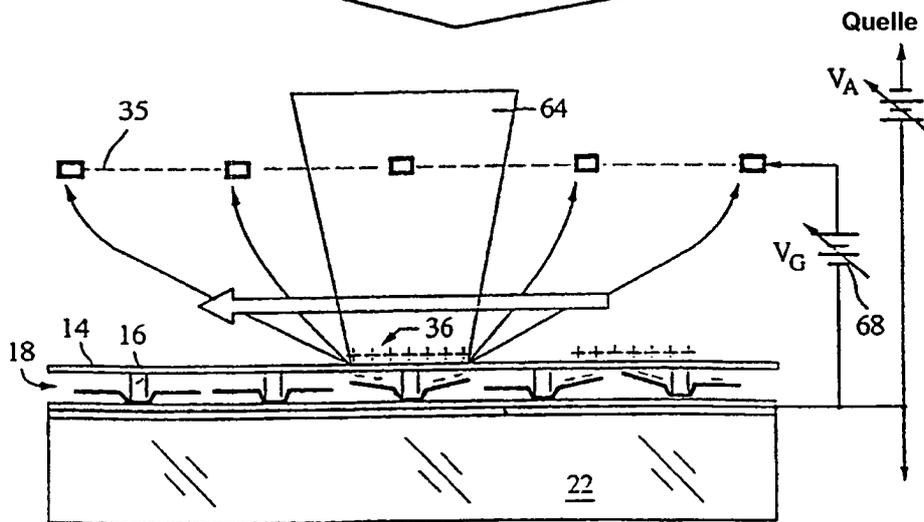
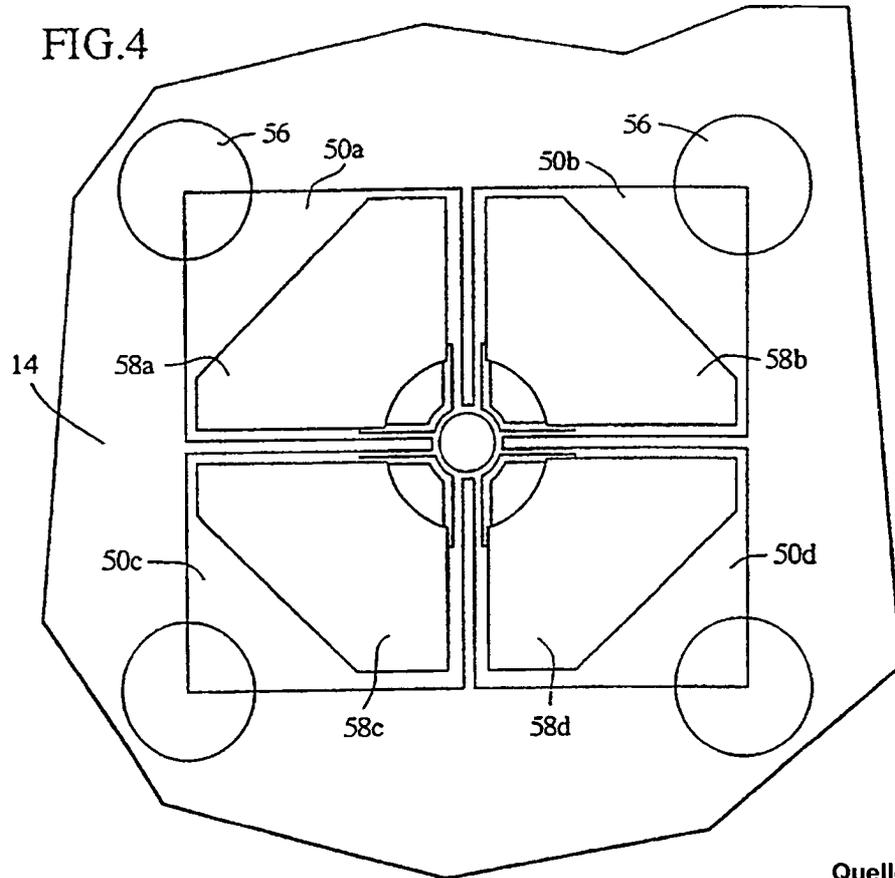


FIG.5a

FIG. 5b

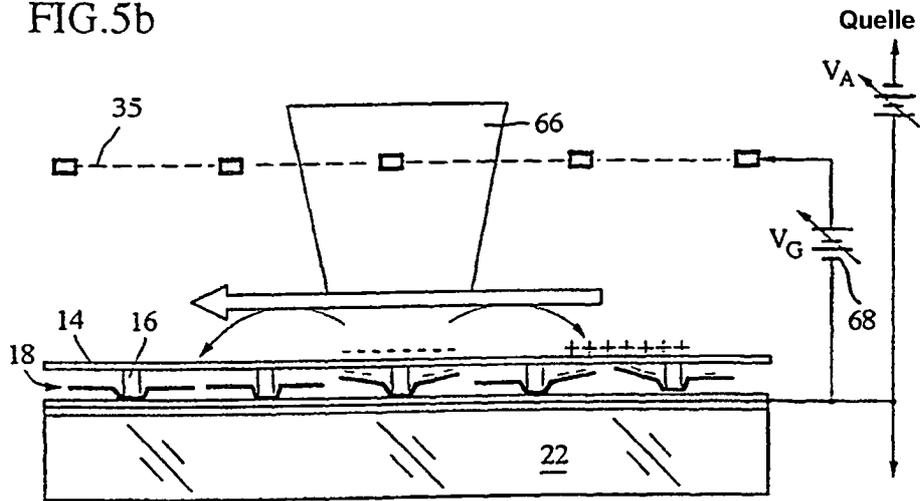


FIG. 6

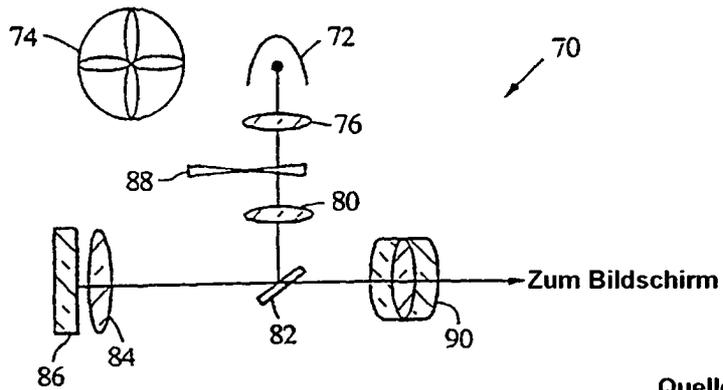
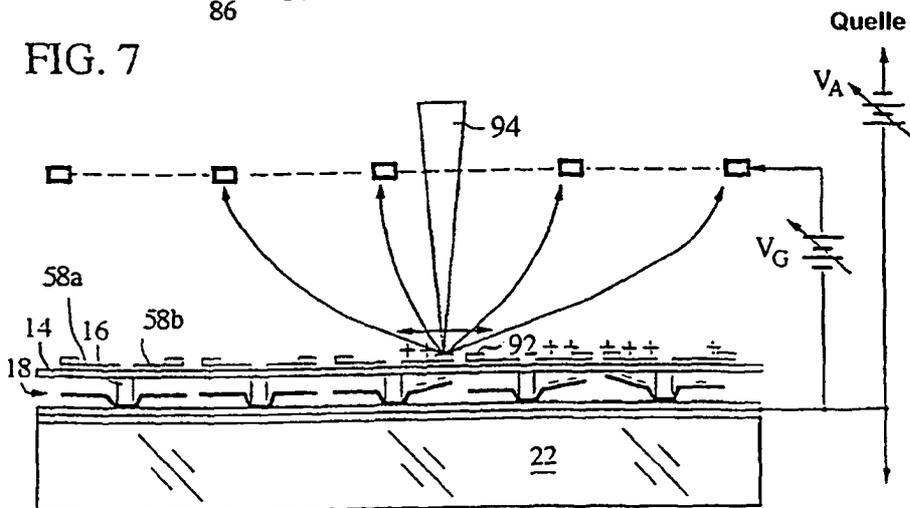


FIG. 7



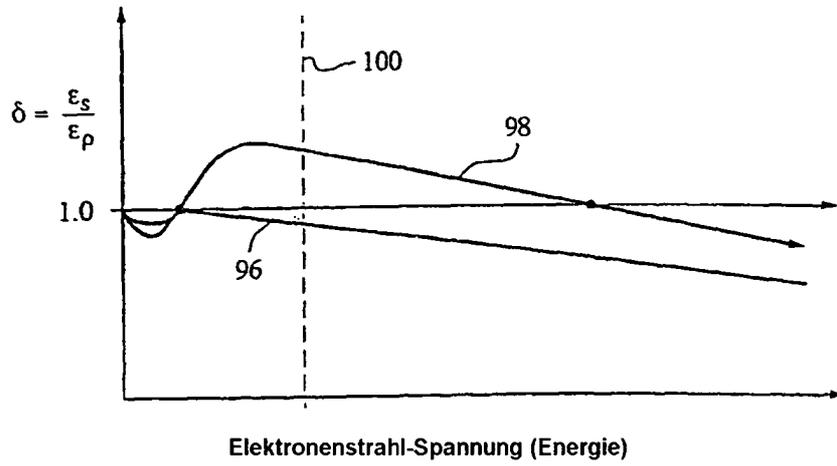


FIG. 8

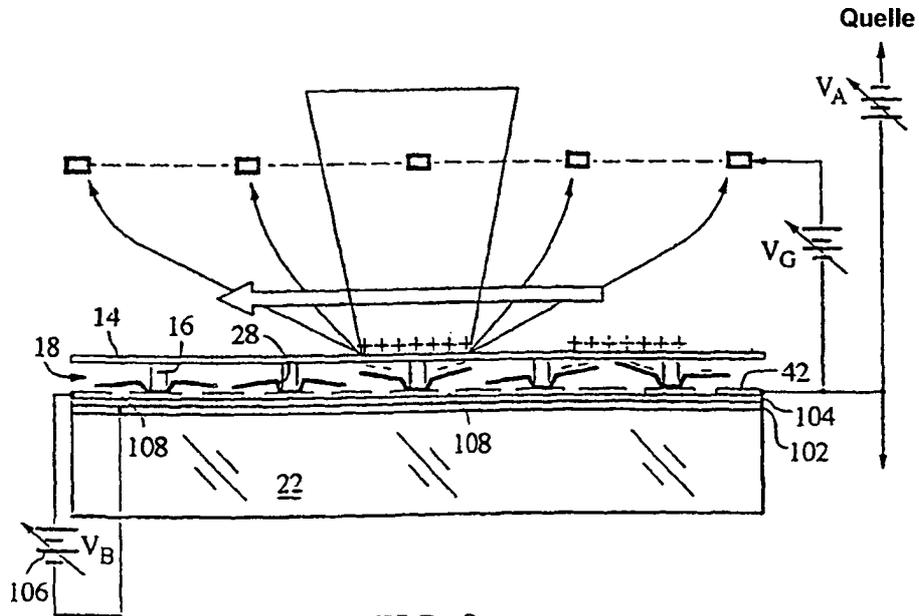


FIG. 9