(19) **Bundesrepublik Deutschland**
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 694 33 565 T2** 2004.12.16

(12) # Übersetzung der europäischen Patentschrift

(97) **EP 0 787 352 B1**
(21) Deutsches Aktenzeichen: **694 33 565.7**
(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/US94/08306**
(96) Europäisches Aktenzeichen: **95 906 190.4**
(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 95/03621**
(86) PCT-Anmeldetag: **20.07.1994**
(87) Veröffentlichungstag der PCT-Anmeldung: **02.02.1995**
(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **06.08.1997**
(97) Veröffentlichungstag der Patenterteilung beim EPA: **18.02.2004**
(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **16.12.2004**

(51) Int Cl.[7]: **H01J 29/28**
H01J 29/18, H05B 33/12, H05B 33/22, G02B 5/18

(30) Unionspriorität:
94767 **20.07.1993** **US**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AT, BE, CH, DE, DK, ES, FR, GB, GR, IE, IT, LI, LU, MC, NL, PT, SE

(73) Patentinhaber:
University of Georgia Research Foundation, Inc., Athens, Ga., US

(74) Vertreter:
LEINWEBER & ZIMMERMANN, 80331 München

(72) Erfinder:
JACOBSEN, M., Stuart, Powder Springs, US; JAFFE, Steven M., Palo Alto, US; EILERS, Hergen, Palo Alto, US; JONES, Michieal L., Palo Alto, US; JAFFE, Irving, Chelsea, GB

(54) Bezeichnung: **RESONANZMIKROHOHLRAUMANZEIGE**

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

[0001] Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf einen lumineszierenden Bildschirm, der einen Resonanzmikrohohlraum mit einem phosphoreszenz-aktiven Bereich umfasst.

[0002] Herkömmliche Kathodenstrahlröhren(CRT)-Anzeigen verwenden von einer Elektronenkanone ausgesandte Elektronen und beschleunigen sie durch ein starkes elektrisches Feld, das sie auf einen mit einem pulverförmigen Phosphormaterial beschichteten Bildschirm projiziert, wobei unter Phosphor ein phosphoreszierender Stoff bzw. Leuchtstoff zu verstehen ist. Die hochenergetischen Elektronen regen Lumineszenzzentren in den Phosphor-Leuchtstoffen an, die sichtbares Licht gleichmäßig in alle Richtungen emittieren. CRTs werden im Stand der Technik weithin eingesetzt und sind normalerweise in Fernsehbildröhren, Computermonitoren und zahlreichen anderen Vorrichtungen zu finden.

[0003] Anzeigen, die pulverförmige Phosphore bzw. Leuchtstoffe verwenden, leiden an zahlreichen signifikanten Einschränkungen, einschließlich: geringe Richtungsleuchtkraft (d. h. Helligkeit in eine Richtung) im Verhältnis zum Stromverbrauch, schlechte Wärmeübertragungs- und -ableitungseigenschaften und eine begrenzte Auswahl an Phosphorchromatizität (d. h. die Farben des vom angeregten Phosphor bzw. Leuchtstoff ausgesandten Lichts).

[0004] Die Richtungsleuchtkraft ist ein wichtiges Merkmal einer Anzeige, da die Richtungseigenschaften den Wirkungsgrad beeinflussen, mit dem diese wirksam an andere Vorrichtungen gekoppelt werden kann (z. B. Linsen für Projektions-CRTs). Das normale Lichtstrommuster eines lumineszierenden Bildschirms folgt sehr stark einer „Lambertschen Verteilung", d. h. Licht wird gleichmäßig in alle Richtungen emittiert. Für das direkte Betrachten ist dies erwünscht, da das Bild von sämtlichen Blickwinkeln gesehen werden kann. Bei gewissen Anwendungen ist eine Lambertsche Verteilung des Lichtstroms jedoch ineffizient. Diese Anwendungen schließen Projektionsanzeigen und das Übertragen von Bildern auf Detektoren zur nachfolgenden Bildverarbeitung ein.

[0005] Die US-A-5.126.626 offenbart eine hochqualitative Projektionskathodenstrahlröhre, die einen mehrlagigen optischen Interferenzfilm auf einer Innenfläche der Röhre einschließt. Die äußerste Fläche dieses mehrschichtigen Films ist mit einem optisch transparenten anorganischen Film bedeckt, der in Bezug auf den Aufprall eines Elektronenstrahls stabil ist. Dieser unterdrückt das Phänomen des „Bräunens" der Glasoberfläche der Schirmvorderseite und des mehrschichtigen optischen Interferenzfilms.

[0006] Die Wärmeübertragungs- und -ableitungseigenschaften sind wichtig, da einer der Problemfaktoren beim Erhalten heller CRTs, die geeignet für die Großbildschirmprojektion geeignet sind, das Erwärmen des Phosphor-Leuchtstoffschirms ist. Wenn die auftreffende Elektronenstrahldichte zunimmt, steigt die Phosphortemperatur. Wenn der Phosphor bzw. Leuchtstoff eine gewisse Temperatur erreicht, sinkt seine Leuchtkraft. Dies wird als thermisches Auslöschen bezeichnet. Bei herkömmlichen Phosphorpulver-Anzeigen sind die Phosphor-Bildschirm-Wärmeübertragungseigenschaften relativ schlecht, weshalb die Wärmeableitung begrenzt ist und thermisches Auslöschen bei relativ geringen Elektronenstrahldichten auftreten kann. Da Projektionsanzeigen hohe Elektronenstrahldichten benötigen, um die für die Projektion eines Bilds erforderliche Helligkeit zu erzeugen, sind herkömmliche CRTs aufgrund dieses Mangels nur schlecht für Projektionsanzeigen geeignet.

[0007] Chromatizität ist wichtig, da es die getreue Wiedergabe von Farben in einer Anzeige erforderlich macht, dass die drei Primärfarben-Phosphor-Leuchtstoffe (rot, grün und blau) mit Industrie-Chromatizitätsstandards übereinstimmen (z. B. die Standards der European Broadcasting Union). Phosphore für jede dieser drei Primärfarben zu finden, die diese Spezifikationen genau erfüllen, ist einer der mühsamsten Aspekte der Phosphorleuchtstoffentwicklung.

[0008] Die Verfalls- oder Abklingzeit des Aktivators (d. h. Licht aussendendes Ion im Phosphor-Leuchtstoff) ist ein weiterer wichtiger Parameter für einen Phosphor-Leuchtstoff. Bei einem idealen Phosphor-Leuchtstoff für Anwendungen mit hoher Helligkeit ist es wünschenswert, die Abklingzeit des Phosphor-Leuchtstoffs für jede Anzeigeanwendung direkt zu kontrollieren. Bei manchen Anwendungen ermöglichen kürzere Abklingzeiten beispielsweise die rasche neuerliche Anregung des Aktivators mit einer entsprechenden Erhöhung der maximalen Lichtleistung. Die Abklingzeit wird üblicherweise durch die natürliche spontane Übergangsrate des Aktivators bestimmt. Um die Phosphorleistung zu verbessern, ist es daher wünschenswert, Kontrolle über diese spontane Übergangsrate zu haben.

[0009] Ein weiteres Problem bei herkömmlichen Phosphor-Leuchtstoffanzeigen ist es, dass Energie von einem Aktivator an einen anderen nahegelegenen Aktivator in der Phosphor-Leuchtstoff-Grundmatrix übergehen kann. Dies ist ein nichtstrahlender Prozess, der die Wirksamkeit des Phosphor-Leuchtstoffs verringert. Der Energietransfer erhöht sich mit zunehmender Aktivatorkonzentration und begrenzt daher die Dichte des Aktivators, die in einer Anzeige enthalten sein kann und somit die maximale Lichtleistung.

[0010] Die Verwendung eines Einkristall-Dünnfilm-Phosphors als Bildschirm für eine CRT wurde als erstes in einer britischen Patentanmeldung von M. W. Van Tol et al. (UK-A-GB-2000173A, 1980) beschrieben. Dieses Patent lehrt die Verwendung eines Yttrium-Aluminium-Granat $Y_3Al_5O_{12}$ (YAG)-Films, der durch Flüssigphasenepitaxie (LPE, liquid phase epitaxy) auf einem Einkristall-YAG-Substrat erzeugt wird. Der YAG-Film ist mit einem Seltenerdion gedopt, das Licht aussendet, wenn es durch Elektronen angeregt wird. (Dotieren ist das Verfahren, bei dem während dem Kristallwachstum Grundionen im Kristallgitter durch Dotierionen ersetzt werden). Bei dieser Vorrichtung reicht die Dicke der Dünnfilm-Schicht von 1 bis 6 Micron und hat keinen Bezug zur Wellenlänge des Lichts, das von der Anzeige emittiert werden soll.

[0011] Diese Vorrichtung weist zahlreiche Vorteile gegenüber herkömmlichen Phosphorpulver-Anzeigen auf. Ein solcher Vorteil war, dass die Wärme vorn Phosphor-Leuchtstoff wirksamer übertragen wurde, da ein perfekter Kontakt zwischen dem Phosphor-Leuchtstoff und dem Bildschirm gegeben war und das YAG-Substrat eine hohe Wärmeleitfähigkeit aufwies. Der Bildschirm konnte mit einer höheren Strahlendichte beladen werden ohne dass es zu thermischem Auslöschen kam und konnte daher mehr Licht erzeugen.

[0012] Ein weiterer Vorteil lumineszierender Einkristall-Phosphorbildschirme gegenüber lumineszierenden Bildschirmen mit Pulverablagerung betrifft die Auflösung eines Pixels (d.h. Licht erzeugenden Punkts). Bei Anzeigen mit hoher Auflösung, die Phosphorpulver verwenden, wird die maximale Größe eines Pixels – und daher der Auflösung des Bildschirms – durch die Teilchengröße des Phosphorpulvers bestimmt. Einkristall-Phosphor-Leuchtstoffe andererseits sind davon nicht betroffen, da sie keine diskreten Teilchen enthalten.

[0013] Pulverförmige Phosphore verringern die Auflösung aufgrund der Lichtstreuung von. der Oberfläche des Pulvers. Da diskrete Phosphorteilchen fehlen und keine Lichtstreuung auftritt, haben Dünnfilm-Anzeigen eine hohe Bildauflösung, die nur durch die Punktgröße des anregenden Elektronenstrahls begrenzt ist. Der steigende Bedarf an Anzeigen mit höherer Auflösung macht dies zu einem besonders attraktiven Vorteil.

[0014] Ein weiterer Vorteil bezieht sich auf die Erzeugung eines Vakuums in einer CRT. Damit sich ein Elektronenstrahl zwischen einer Elektronenkanone und dem Phosphorbildschirm bewegen kann, muss innerhalb einer CRT ein Vakuum aufrechterhalten werden. Herkömmliche Phosphorpulver besitzen eine hohe Gesamtoberfläche und im Allgemeinen werden bei ihrer Ablagerung organische Verbindungen verwendet. Sowohl die große Oberfläche als auch das Vorhandensein von Resten organischer Verbindungen können zu Problemen beim Erzeugen und Aufrechterhalten eines guten Vakuums in der CRT führen. Die Verwendung von Dünnfilm-Phosphor-Leuchtstoffen löst beide dieser Probleme, da die Gesamtaußenoberfläche der Röhre durch die Fläche des Dünnfilms (die geringer ist als die Oberfläche einer Phosphorpulver-Anzeige ist) gesteuert wird und zudem keine restlichen organischen Verbindungen in der Dünnfilm-Anzeige vorhanden sind, die das Vakuum in der abgedichteten Röhre beeinträchtigen.

[0015] Die Dünnfilm-Phosphor-Leuchtstoffe von Van Tol et al. weisen jedoch aufgrund des Phänomens des „Lichtleitens" einen wesentlichen Nachteil auf. Lichtleiten ist das Einfangen von Licht innerhalb des Dünnfilms, wodurch dieses Licht nicht aus der Vorrichtung ausgesendet werden kann. Dies wird durch die gesamte innere Reflexion von innerhalb des Dünnfilms erzeugten Lichtstrahlen verursacht. Da der Brechungsindex (n) der meisten Phosphor-Leuchtstoffe bei etwa n = 2 liegt, werden nur die Lichtstrahlen deren Einfallswinkel kleiner ist als der kritische Winkel θ_c (wobei sin θ_c = 1/n) von der Vorderseite des Dünnfilms emittiert. Der kritische Winkel für ein Material mit n = 2 beträgt etwa 30°. Daher liegt der Anteil des Lichts, das von der Vorderseite des Dünnfilms austritt, nur bei etwa 6,7% des gesamten Lichts. Die übliche Praxis, eine stark reflektierende Aluminiumschicht hinter dem Film anzubringen, verdoppelt die Lichtleistung lediglich auf etwa 13%. Darüber hinaus wird dieses Licht in einer „Lambertschen Verteilung" verteilt und ist nicht gerichtet. Als Resultat des Lichtleitens beträgt der externe Wirkungsgrad (d. h. der Prozentsatz an Photonen, die aus der Anzeige austreten, im Verhältnis zu allen in der Anzeige erzeugten Photonen) weniger als 1/10 der Wirksamkeit von Phosphorpulver-Anzeigen. Trotz der einzigartigen Vorteile hinsichtlich der thermischen Eigenschaften; Auflösung und Aufrechterhaltung des Vakuums, wird die Entwicklung kommerzieller CRT-Vorrichtungen auf Basis von Dünnfilmen aufgrund ihres geringen Wirkungsgrades wegen dem „Lichtleiten" zurückgehalten.

[0016] Es sind gewisse Techniken entwickelt worden, um das Problem des „Lichtleitens" abzuschwächen. Eine davon wird von Bongers et al. in der US-A-4.298.820 (1981) beschrieben und verwendet einen Dünnfilm, der durch LPE abgelagert wird und in die Oberfläche geätzte V-förmige Rillen aufweist, um Licht aus dem Dünnfilm zu reflektieren. Dieser Ansatz verbesserte den externen Wirkungsgrad auf etwa das 1 ½ bis 2 ½ fache der einer Dünnfilm-Anzeige ohne V-förmige Rillen. Unter Berücksichtigung der vorherigen externen Wirksamkeit von 13%, würde dies immer noch lediglich zu einem externen Gesamtwirkungsgrad von 20 bis 30% führen.

[0017] Eine weitere von Hou und Hou beschriebene Technik („Reticulated Single-Crystal Luminescent Screen", 133 J. Electrochem. Soc., 1492 (1986)) umfasst das Ätzen von einzelnen Mesa-Formen auf den durch LPE abgelagerten Dünnfilm. Dies führt zu einer dreifachen Verbesserung des externen Wirkungsgrades (was immer noch lediglich einen 30%ige externen Wirkungsgrad bedeutet). Da die Phosphor-Leuchtstoffschicht nicht mehr glatt ist, kann es zudem vorkommen, dass Lichtstrahlen, die nach innen reflektiert wurden, in Bereiche gestreut werden, die von deren Ursprung weit entfernt sind, wodurch die Auflösung der Anzeige verschlechtert wird.

[0018] Mikrohohlraum-Resonatoren, die in die vorliegenden Erfindung integriert werden können, gibt es seit einigen Jahren, wobei sie vor kurzem von H. Yokoyama in „Physics and Device Applications of Optical Microcavities" (256 Science 66 (1992)) beschrieben worden sind. Mikrohohlräume sind ein Beispiel einer allgemeinen Struktur, die die einzigartige Fähigkeit hat, die Abklingrate, die Richtungseigenschaften und die Frequenzeigenschaften der Lumineszenzzentren in ihnen zu steuern. Die Veränderungen im optischen Verhalten der Lumineszenzzentren beinhalten eine Modifikation der fundamentalen Mechanismen spontaner und stimulierter Emission. Physikalisch gesehen sind Strukturen wie Mikrohohlräume optische Resonanzhohlräume mit Dimensionen von weniger als einer Lichtwellenlänge bis zu Dutzenden von Wellenlängen. Diese sind üblicherweise mittels Dünnfilm-Technologie als eine einstückige Struktur ausgebildet worden. Für Laseranwendungen sind Mikrohohlräume mit planaren sowie halbkugelförmigen Reflektoren hergestellt worden.

[0019] Resonanzmikrohohlräume mit aktiven Halbleiterschichten, wie z. B. Slizium oder GaAs, sind als Halbleiterlaser und als Leuchtdioden (LEDs) entwickelt worden.

[0020] Die EP-A-473983 offenbart eine Licht emittierende Vorrichtung, die Hohlraum-Quantenelektrodynamik verwendet. Die Vorrichtung schließt eine aktive Licht emittierende Schicht (z. B. GaAs), Elektroden zum Bereitstellen von Trägern für die aktive Schicht und einen Resonator ein, der die aktive Schicht mit hohem Refiexionsvermögen für in der aktiven Schicht ausgestrahltes Licht umfasst.

[0021] E. F. Schubert et al. beschreiben in „Giant Enhancement of Luminescence Intensity in Er-doped Si/SiO2 Resonant Microcavities" (61(12) Appl. Phys. Lett., 1381 (1992)) einen Resonanzmikrohohlraum mit einer Er-dotierten aktiven SiO_2-Schicht. Diese Vorrichtung sendet Strahlung im Infrarot-Bereich aus und ist als Laserverstärker für faseroptische Kommunikation gedacht.

[0022] Die Schubert-Vorrichtung, die Halbleiterlaser und die LEDs sind für die Verwendung in lumineszierenden Anzeigen aus mehreren Gründen nicht geeignet. Sie enthalten im aktiven Bereich lumineszierende Materialien wie Si, GaAs, etc., die als Lasermedien geeignet sind, jedoch üblicherweise als Emitter von sichtbarem Licht ineffizient sind und durch die Injektion von Elektronen angeregt werden müssen. Sie sind zudem mit kleinen planaren Oberflächen ausgebildet, die für Anzeigezwecke ungeeignet sind. Darüber hinaus können sie üblicherweise aufgrund ihrer Gestalt und der verwendeten Materialien durch Elektronenbeschuss, ein elektrisches Feld oder Ultraviolett-Strahlung nicht ausreichend angeregt werden. Diese Anregungsmechanismen sind ein wesentlicher Bestandteil derzeitiger Anzeige-Technologien.

[0023] Darüber hinaus arbeiten die Laser-Mikrohohlraumvorrichtungen über dem Lasergrenzwert, was dazu führt, dass ihre Reaktion nahe diesem Grenzwert inhärent nicht linear ist und ihre Helligkeit auf einen geringen dynamischen Bereich beschränkt ist. Anzeigen hingegen erfordern eine großen dynamischen Helligkeitsbereich. Mikrohohlraumlaser verwenden stimulierte Emission und keine spontane Emission. Dadurch erzeugen diese Vorrichtungen hoch kohärentes Licht, was sie für die Verwendung in Anzeigen weniger geeignet macht. Hoch kohärentes Licht zeigt ein Phänomen, das Speckle genannt wird. Bei Betrachtung mit dem Auge erscheint hoch kohärentes Licht als ein Muster an alternierenden hellen und dunklen Bereichen unterschiedlicher Größe. Um klare Bilder erzeugen zu können, müssen lumineszierende Anzeigen inkohärentes Licht produzieren.

[0024] Es ist zudem wichtig, die Resonanzmikrohohlraum-Anzeige von der Laser-CRT zu unterscheiden. Diese Anzeige ist ähnlich einer CRT und tastet einen Elektronenstrahl ab, um die Information in den lumineszierenden Bildschirm zu schreiben. Das Licht wird jedoch nicht durch spontane Emission des Phosphors erzeugt, sondern durch stimulierte Emission. Der Leuchtschirm der Laser-CRT besteht aus einem Elektronenstrahl gepumpten Halbleiter-Laser. Das aktive Medium, ein Halbleiter, wird zwischen zwei Spiegeln angeordnet, die einen Laser-Hohlraum bilden. Die Hohlraumstruktur ist innerhalb des Leuchtschirms enthalten. Wenn die Vorrichtung mit einem ausreichend energiereichen Elektronenstrahl gepumpt wird, lasert diese, indem sie einen hoch energetischen und gerichteten Lichstrahl erzeugt. Eine solche Anzeige wird von A. S. Nasibov et al. in dem Artikel „Full Color TV projector based on A_2B_6 electron-pumped semiconductor lasers" (J. Crystal Growth 117, 1040 (1992)) beschrieben.

[0025] Um die obigen Probleme, die mit dem Stand der Technik verbunden sind, zu überwinden, stellt die vorliegenden Erfindung in einem ersten Aspekt eine Lumineszenzanzeige gemäß Anspruch 1 bereit.

[0026] In einem zweiten Aspekt stellt die vorliegende Erfindung ein Verfahren zur Herstellung einer lumineszierenden Anzeige gemäß dem ersten Aspekt bereit, wobei das Verfahren den Schritt des Züchtens eines Dünnfilm-Resonanzmikrohohlraums mit einem aktiven Bereich innerhalb des Mikrohohlraums umfasst, in dem ein Phosphor(-Leuchtstoff) im aktiven Bereich gezüchtet wird.

[0027] Die vorliegende Erfindung, die Resonanzmikrohohlraumanzeige (RMD, resonant microcavity display), ist eine lumineszierende Anzeige, die die Vorteile eines Dünnfilm-Phosphor-Leuchtstoffes besitzt ohne das Lichtleit-Problem aufzuweisen. Der Grund dafür liegt darin, dass sie aufgrund ihrer Geometrie Licht in stark gerichteter Art und Weise aussendet.

[0028] Die Resonanzmikrohohlraumanzeige ist eine beliebige Struktur, die spontane Emissionseigenschaften eines in der Struktur enthaltenen Phosphor-Leuchtstoffes modifiziert. Die Modifikation der spontanen Emission erfolgt durch die Veränderung der optischen Moden-Amplituden in einem solchen Ausmaß, dass der Phosphor-Leuchtstoff vorzugsweise in relativ wenigen optischen Moden aussendet. Es ist auch möglich, die Emission in gewissen optischen Moden zu unterdrücken. Diese Modifikation der Moden-Amplituden kann z. B. durch die Erzeugung eines elektrischen Felds mit stehenden Wellen für jede bevorzugte Mode innerhalb der Struktur und der Anordnung von Phosphor an den Schwingungsbäuchen dieser stehenden Wellen erfolgen. Es ist wichtig, dass die stehenden Wellen im Verhältnis zu den ohne Hohlraum erzeugten Feldamplituden im Wesentlichen modifizierte elektrische Feldamplituden aufweisen. Wesentlich modifiziert bezieht sich auf Veränderungen der Feldamplituden um einen Faktor von zwei oder mehr.

[0029] In Stehwellenhohlräumen kann beim Knoten des elektrischen Felds keine Erhöhung auftreten. Eine ringförmige Hohlraumformgebung **320**, wie die in der nach unten blickenden Ansicht aus **Fig.** 1 gezeigten, die eine Ausführungsform außerhalb des Schutzumfangs der vorliegenden Erfindung veranschaulicht, unterstützt jedoch eine Wanderwelle **322**, bei der die elektrische Feldamplitude über den gesamten Hohlraum wesentlich modifiziert ist. Als Ergebnis kann es im gesamten Hohlraum zu einer Modenverstärkung oder -unterdrückung kommen. Verglichen mit dem Stehwellen-Hohlraum kann ein aktiveres Medium **324** mit modifizierten Lichtemissionen für dasselbe Hohlraumvolumen verwendet werden.

[0030] Ein Beispiel einer Resonanzmikrohohlraumanzeige ist ein Mikrohohlraum-Resonator, der einen Phosphor-Leuchtstoff zwischen zwei Reflektoren in Sandwichanordnung umfasst, die alle auf einem transparenten harten Substrat gezüchtet sind. Die Breite des aktiven Bereichs ist so gewählt, dass eine Resonanzstehwelle mit der zu emittierenden Wellenlänge zwischen den beiden Reflektoren erzeugt wird. Bei der einfachsten Ausführungsform, einem einzelnen koplanaren Mikrohohlraum, sind die zwei Reflektoren parallel zueinander und die Ebene des aktiven Bereichs ist parallel zu den Reflektoren. Andere Geometrien, die Stehwellen oder Wanderwellen mit einer vergrößerten elektrischen Feldamplitude erzeugen, wie z. B. Kombinationen aus planaren, dreidimensionalen, konfokalen, halbkugelförmigen oder ringförmigen Mikrohohlräumen sind ebenso möglich. Diese anderen Geometrien sind auf dem Gebiet der Hohlraumgestaltung weithin bekannt.

[0031] Eine weitere Struktur, die die spontanen Emissionseigenschaften vorteilhaft verändert, verwendet Photon-Bandlückenkristalle. Ein Photon-Bandlückenkristall kann aus einer monodispersiven kolloiden Suspension gebildet werden. Die Strukturen umfassen periodische dielektrische Medien, um eine Energie-Bandlücke zu erzeugen, in dem sich Licht nicht innerhalb der Struktur verbreiten kann. Das Dotieren einer solchen Struktur mit einem Material, das eine Resonanz innerhalb der Bandlücke aufweist, führt jedoch zu einem Hohlraum mit hoher Resonanzschärfe. Solche Hohlräume können ein-, zwei- oder dreidimensional sein. Der Hohlraum erzeugt eine Stehwelle mit einer verstärkten elektrischen Feldamplitude in einem Bereich des Dotierungsmaterials. Um eine Anzeige zu erzeugen, müssen die Photon-Bandlückenkristalle ein Phosphor-Leuchtstoff sein. Henry O. Everitt beschreibt in „Applications of Photonic Band Gap Structures" (Optics & Photonics News, 20 (1992)) Photon-Bandlückenkristalle. **Fig.** 2 ist eine Seitenansicht einer Resonanzmikrohohlraumanzeige **350** auf einem Substrat **352**, die einen Photon-Bandlückenkristall **354** als gesamte Hohlraumstruktur verwendet. Die in **Fig.** 2 dargestellte Ausführungsform liegt außerhalb des Schutzumfangs der vorliegenden Erfindung.

[0032] Die Resonanzmikrohohlraumanzeige RMD herzustellen, macht die Verwendung eines Züchtungsverfahrens erforderlich, das die Schichtdicke oder die Raumauflösung des Brechungsindexes mit einer Genauigkeit von mehreren Nanometern steuert. Solche Verfahren schließen z. B. chemisches Dampfabscheiden (CVD), Molekularstrahlepitaxie (MBE), Atomschichtepitaxie (ALE), Elektronenstrahlverdampfung oder -zerstäubung (Sputtern) ein, sind jedoch nicht auf diese begrenzt. Bei der Herstellung der RMD können auch holographische photolithographische Techniken eingesetzt werden. In diesem Fall werden die Bragg-Reflektoren dadurch erzeugt, dass ein geeignetes Material einem holografischen Muster ausgesetzt wird, wodurch im Material abwechselnde Schichten mit hohen und niedrigen Brechungsindexbereichen geschaffen werden. Ein solches Verfahren ist auf dem Gebiet der Herstellung von holografi-

schen Beugungsgittern weithin bekannt.

[0033] Das Substrat kann entweder ein kristalliner, polymerer oder amorpher Feststoff sein. Es kann aus einem beliebigen Material hergestellt sein, das das Züchten von anderen Bereichen darauf zulässt. Geeignete Substratmaterialien können aus einem breiten Bereich von Materialien wie Oxide, Fluoride, Aluminate und Silicate ausgewählt werden. Das Substratmaterial kann auch unter Verwendung von organischen Materialien hergestellt werden. Die bei der Substratmaterialauswahl involvierten Kriterien schließen dessen Wärmeleitfähigkeit und Kompatibilität (physisch sowie chemisch) mit anderen die RMD ausbildenden Materialien ein.

[0034] Der Phosphor-Leuchtstoff kann durch mehrere Mittel angeregt werden, einschließlich: Beschuss durch extern erzeugte Elektronen (Kathodolumineszenz), Anregung durch auf der aktiven Schicht angeordnete Elektroden, um ein elektrisches Feld zu erzeugen (Elektrolumineszenz), oder Anregung durch Photonen (Photolumineszenz).

[0035] Die vorliegende Erfindung unterscheidet sich von anderen Mikrohohlraumvorrichtungen teilweise durch die Anordnung eines Phosphor-Leuchtstoffs im Resonanzmikrohohlraum. Phosphor-Leuchtstoffe sind Materialien, die vorzügliche Ausbeute an sichtbarem Licht aufweisen (wobei Lichtausbeute hierin als das Verhältnis der Lichtleistung in Watt gegenüber dem Stromverbrauch in Watt definiert ist). Üblicherweise bewegt sich die Lichtausbeute von Phosphor-Leuchtstoffen zwischen 1 und 20%. Diese hoch wirksamen Materialien werden als Phosphor-Leuchtstoffe klassifiziert, wenn das Material effizient Lumineszenz erzeugt, wenn es durch Elektronen, elektrische Felder oder Licht angeregt wird.

[0036] Der aktive Bereich kann einen breiten Bereich von anorganischen Phosphor-Leuchtstoffen (z. B. Sulfide, Oxide, Silicate, Oxysulfide und Aluminate) umfassen, die im Allgemeinen mit Übergangsmetallen, Seitenerden oder Farbzentren aktiviert werden. Zusätzlich zu anorganischen Phosphor-Leuchtstoffen kann der aktive Bereich einen organischen Phosphor-Leuchtstoff wie einen Tris-(8-hydroxychinolin)-aluminium-Komplex verwenden. Der aktive Bereich umfasst Phosphor-Leuchtstoffe üblicherweise in der Form von Einkristallfilmen, polykristallinen Filmen, dünnen amorphen Filmen, Pulverschichten, Flüssigkeiten oder in einer Kombination davon. Eine Auswahl an Phosphor-Leuchtstoffen, die kommerzielle Anwendung gefunden haben und aus denen ein anwendungsabhängiger Phosphor-Leuchtstoff für die vorliegende Erfindung üblicherweise ausgewählt werden kann, ist in „Optical Characteristics of Cathode Ray Tube Screens" (Electronic Industries Association Publication TEP 116) angeführt.

[0037] Die den Resonanzhohlraum bildenden Reflektoren bestehen aus Metallschichten oder Bragg-Reflektoren. Bragg-Reflektoren sind dielektrische Reflektoren, die aus abwechselnden Schichten aus Materialien mit unterschiedlichen Brechungsindices gebildet sind. Die einfachste geometrische Form für dielektrische Reflektoren besteht aus Schichten aus einem Material mit niedrigem Brechungsindex, wie ein Fluorid oder gewisse Oxide, die eine Dicke von ¼ Wellenlänge aufweisen, auf die abwechselnd Schichten aus einem Material mit hohem Brechungsindex, wie ein Sulfid, Selenid, Nitrid oder gewisse Oxide, in einer Dicke von ¼ Wellenlänge folgen. Die dielektrischen Reflektoren können auch mittels organischer Materialien hergestellt werden. Spiegel können auch durch Photon-Bandlückenkristalle erzeugt werden. Jegliches einfallendes Licht mit einer Energie innerhalb der Bandlücke wird von der Struktur reflektiert. **Fig.** 3 zeigt eine Seitenansicht einer beispielhaften Ausführungsform einer Resonanzmikrohohlraumanzeige **340** auf einem Substrat **342**, in dem eine aktive Schicht **346** in Sandwichanordnung zwischen zwei Spiegeln **344** und **348** angebracht ist, die Photon-Bandlückenkristalle umfassen.

[0038] Bei derzeitigen Anzeigeanwendungen wird nur eine Seite des Bildschirms betrachtet. Bei einem Mikrohohlraum macht die Gestalt die Verwendung unterschiedlicher Reflektoren erforderlich, damit der Großteil des Lichts zum Betrachter hin projiziert werden kann. Bei einem einfachen koplanaren Mikrohohlraum entsteht diese Asymmetrie, indem einer der zwei Reflektoren im Wesentlichen vollständig reflektierend ist, was bedeutet, dass er das meiste auf ihn auftreffende Licht reflektiert. Der andere Reflektor (dem im Wesentlichen vollständig reflektierenden Reflektor gegenüberliegend) ist teilweise reflektierend, was bedeutet, dass er keinen so hohen Prozentsatz an auftreffendem Licht wie der vollständig reflektierende Reflektor zurückstrahlt und etwas Licht durch ihn hindurchdringen lässt. Aufgrund des unterschiedlichen Reflexionsvermögens der zwei Reflektoren, tritt beinahe das gesamte im aktiven Bereich erzeugte Licht durch den teilweise reflektierenden Reflektor entlang der Normalachse zur Ebene der Vorrichtung aus.

[0039] Bei einer Mikrohohlraumstruktur hängen die Dimensionen vom natürlichen spontanen Emissionsspektrum des verwendeten Phosphor-Leuchtstoffs ab, wie es außerhalb eines Hohlraums beobachtet wird. Wenn das Spektrum einen weiten Bereich von sichtbaren Wellenlängen abdeckt, ist es möglich, einen geeigneten Teil des Spektrums (d. h. einer der einer Industrienorm-Chromatizität entspricht) auszuwählen und einen Mikrohohlraum mit einer passenden Resonanz zu konstruieren. Die Endchromatizität der RMD wird der Hohlraumresonanz entsprechen und sich von der natürlichen Chromatizität des Phosphors außerhalb des Mikrohohlraums unterscheiden.

Wenn das natürliche spontane Emissionsspektrum des Phosphors hingegen nur einen kleinen Bereich der sichtbaren Wellenlängen abdeckt, würden die Dimensionen so gewählt werden, dass die Hohlraumresonanz einem der Emissionsbanden des Phosphors angepasst ist.

[0040] Die RMD weist einen stark gerichteten Lichtausgang, ähnlich dem eines Projektors oder einer Taschenlampe, auf und kann dadurch so konstruiert werden, dass Lichtleiten vermieden wird. Die ermöglicht ein hoch effizientes Koppeln mit anderen Vorrichtungen. RMDs weisen auch einen hohen externem Wirkungsgrad von beinahe 100% auf. Da RMDs Filme beinhalten, ermöglichen sie das Ausbilden einer effizienten Wärmeleitung der in der aktiven Schicht erzeugten Wärme. Dieses Merkmal zusammen mit der Fähigkeit, die Phosphor-Leuchtstoffabklingzeit zu verringern, macht eine Verwendung intensiver Anregung in RMDs möglich. RMDs eignen sich daher insbesondere für die Verwendung in Projektionsanzeigen.

[0041] Es ist ein Ziel der vorliegenden Erfindung eine lumineszierende Anzeige bereitzustellen, die eine hohe Auflösung aufweist.

[0042] Es ist ein weiteres Ziel der vorliegenden Erfindung in einer Ausführungsform eine lumineszierende Anzeige bereitzustellen, bei der die Chromatizität des ausgesendeten Lichts unabhängig von der Natur des verwendeten Phosphors genau gesteuert werden kann.

[0043] Ein anderes Ziel der vorliegenden Erfindung ist es, eine lumineszierende Anzeige bereitzustellen, worin der verwendete Phosphor so gewählt werden kann, dass er die Anzeige in Bezug auf andere Eigenschaften als die Chromatizität optimiert.

[0044] Ein weiteres Ziel der vorliegenden Erfindung ist es, eine lumineszierende Anzeige bereitzustellen, die durch die Anregungsquelle schwer beladen werden kann, ohne den Phosphor aufgrund von Überhitzung zu sättigen.

[0045] Weitere Ziele und Vorteile der vorliegenden Erfindung werden für Fachleute auf dem Gebiet durch die folgende detaillierte Beschreibung der veranschaulichten Ausführungsformen ersichtlich, wenn diese in Zusammenhang mit den begleitenden Abbildungen betrachtet wird.

[0046] Im Zuge dieser Beschreibung werden veröffentlichte Artikel als Hintergrundinformation zitiert.

[0047] **Fig.** 1 ist eine Schnittansicht eines Wanderwellenhohlraums in einer illustrativen Ausführungsform einer Resonanzmikrohohlraumanzeige von oben, der außerhalb des Schutzumfangs der vorliegenden Erfindung liegt.

[0048] **Fig.** 2 ist eine Seitenschnittansicht einer illustrativen Ausführungsform einer Resonanzmikrohohlraumanzeige außerhalb des Schutzumfangs der vorliegenden Erfindung, die einen Photon-Bandlückenkristall als Resonanzmikrohohlraumanzeige verwendet.

[0049] **Fig.** 3 ist eine Seitenschnittansicht einer illustrativen Ausführungsform einer Resonanzmikrohohlraumanordnung gemäß der Erfindung, die Photon-Bandlückenkristalle als Spiegel verwendet.

[0050] **Fig.** 4 ist eine perspektivische Darstellung einer illustrativen Ausführungsform einer Resonanzmikrohohlraumanzeige gemäß der Erfindung, die einen planaren Spiegelresonator aufweist.

[0051] **Fig.** 5 ist eine Seitenschnittansicht einer illustrativen Ausführungsform einer Resonanzmikrohohlraumanzeige gemäß der Erfindung, die einen konfokalen Resonator aufweist.

[0052] **Fig.** 6 ist eine Seitenschnittansicht einer illustrativen Ausführungsform einer Resonanzmikrohohlraumanzeige gemäß der Erfindung, die eine Vielzahl von Hohlraumstrukturen verwendet.

[0053] **Fig.** 7 ist eine Seitenschnittansicht einer illustrativen Ausführungsform einer Resonanzmikrohohlraumanzeige gemäß der Erfindung, die ein integrales optisches Element aufweist.

[0054] **Fig.** 8 ist eine perspektivische Ansicht einer illustrativen Ausführungsform einer Resonanzmikrohohlraumanzeige gemäß der Erfindung, die Kathodolumineszenzanregung verwendet.

[0055] **Fig.** 9 ist eine Seitenschnittansicht einer illustrativen Ausführungsform einer Resonanzmikrohohlraumanzeige gemäß der Erfindung, wie sie in einer Kathodenstrahlröhre verwendet werden würde.

[0056] **Fig.** 10 ist eine Seitenschnittansicht einer illustrativen Testausführungsform einer Resonanzmikrohohlraumanzeige gemäß der Erfindung, die so gestaltet ist, dass sie Licht mit einer Wellenlänge von 530 Nanometer durch ihren vorderen Reflektor aussendet.

[0057] **Fig.** 11 ist ein Graph, der das Reflexionsvermögen der Resonanzmikrohohlraumanzeige aus **Fig.** 10 als eine Funktion der Wellenlänge des einfallenden Lichts darstellt.

[0058] **Fig.** 12 ist eine Seitenschnittansicht eines Direktansicht-Farbfernsehgeräts, das eine Resonanzmikrohohlraumanzeige gemäß der Erfindung verwendet.

[0059] **Fig.** 13a ist eine perspektivische Darstellung einer Anordnung von Mikrohohlräumen in Größe eines Pixels, wie sie in einem Farbfernsehgerät gemäß der Erfindung verwendet werden.

[0060] **Fig.** 13b ist eine Veranschaulichung einer Vorderansicht einer Anordnung an Mikrohohlräumen mit der Größe eines Pixels, wie sie in einem Farbfernsehgerät gemäß der vorliegenden Erfindung verwendet werden. Die in **Fig.** 13b gezeigte Vorderansicht entspricht einer Ansicht der **Fig.** 13a von oben.

[0061] **Fig.** 14 ist eine Seitenschnittansicht einer illustrativen Ausführungsform einer Resonanzmikrohohlraumanzeige gemäß der vorliegenden Erfindung, die in eine fluoreszierende Vakuumanzeige integriert ist.

[0062] **Fig.** 15 ist eine Seitenschnittansicht einer illustrativen Ausführungsform einer Resonanzmikrohohlraumanzeige gemäß der Erfindung, die eine Anordnung von Hochspannungs-Feldemissionsvorrichtungen zum Anregen ihrer aktiven Schicht verwendet.

[0063] **Fig.** 16 ist eine Seitenschnittansicht einer illustrativen Ausführungsform einer Resonanzmikrohohlraumanzeige gemäß der Erfindung, die ein Niederspannungs-Emissionsmaterial zum Anregen der aktiven Schicht verwendet.

[0064] **Fig.** 17 ist eine schematische Veranschaulichung des elektrischen Stehwellenfelds in einer illustrativen Ausführungsform einer Resonanzmikrohohlraumanzeige gemäß der Erfindung.

[0065] **Fig.** 18 ist eine perspektivische Abbildung einer illustrativen Ausführungsform einer Resonanzmikrohohlraumanzeige gemäß der Erfindung, die durch ein elektrisches Feld angeregt wird.

[0066] **Fig.** 19 ist eine perspektivische Darstellung einer illustrativen Ausführungsform einer Resonanzmikrohohlraumanzeige gemäß der Erfindung, die mit Ultraviolett-Licht angeregt wird.

[0067] **Fig.** 20 ist eine Seitenschnittansicht einer illustrativen Ausführungsform einer transparenten Resonanzmikrohohlraumanzeige gemäß der Erfindung.

[0068] **Fig.** 21 ist eine schematische Darstellung einer illustrativen Ausführungsform einer Resonanzmikrohohlraumanzeige gemäß der Erfindung, die zum Anregen einen Laser verwendet.

[0069] **Fig.** 22 ist eine schematische Darstellung einer illustrativen Ausführungsform einer abstimmbaren Resonanzmikrohohlraumanzeige gemäß der Erfindung.

[0070] **Fig.** 23 ist eine schematische Darstellung einer illustrativen Ausführungsform einer Resonanzmikrohohlraumanzeige gemäß der Erfindung, die als Lichtquelle für eine Flüssigkristallanzeige-Lichtventilanwendung eingesetzt wird.

[0071] Die vorliegenden Erfindung verwendet die Quantenelektrodynamik(QED)-Theorie, um die Eigenschaften des von Lumineszenzanzeigen auf Phosphor-Leuchtstoff-Basis emittierten Lichts zu verstärken. Das Leistungsvermögen einer gegebenen Anzeigeanwendung hängt von den Eigenschaften des ausgestrahlten Lichts ab, wie z. B. Chromatizität, Richtung und Fluss. Diese Eigenschaften können durch Anwenden der Prinzipien der QED-Theorie bei der Gestaltung von Mikrohohlräumen optimiert werden, um die spontanen Emissionseigenschaften des Phosphor-Leuchtstoff-Aktivators für jede spezifische Anzeigeanwendung zu steuern.

[0072] Wie in **Fig.** 4 ersichtlich ist, umfasst ein Beispiel der vorliegenden Erfindung **10** einen in einem Resonanzmikrohohlraum **20** eingebetteten Phosphor-Leuchtstoff, der auf einem Substrat **25** gezüchtet ist. Der Mikrohohlraum **20** umfasst weiters einen vorderen Reflektor **30**, einen aktiven Bereich auf Phosphor-Leuchtstoff-Basis **50** und einen hinteren Reflektor **60**. Der aktive Bereich **50** ist zwischen zwei Reflektoren **30** und **60** angeordnet. Die Struktur kann eine Vielzahl von Materialien umfassen und eine Vielzahl von Resonator-Gestaltungsformen verwenden. **Fig.** 4 veranschaulicht ein planares Spiegeldesign, während **Fig.** 5 die vorliegende Erfindung zeigt, die mit einem konfokalen Spiegel gestaltet worden ist. Die konfokale Gestalt besitzt den Vorteil, dass sie einen inhärent höheren Hohlraum-Gütefaktor (Q) aufweist.

[0073] Komplexere Hohlraumgestaltungsformen umfassen das Aufeinanderschichteneiner Vielzahl von Mikrohohlräumen. Diese Gestaltungsform ist dem Standardverfahren zum Ausbilden von Interferenzvorrichtungen ähnlich, die üblicherweise aus 2 oder mehr geschichteten Hohlräumen besteht, wobei jeder Hohlraum durch eine Kupplungsschicht getrennt ist. Solche Strukturen werden z. B. bei der Herstellung von optischen Bandpassfiltern, optischen Schmalbandreflektoren und Lang- oder Kurzwellen-Cut-off-Filter verwendet.

[0074] Die Erfindung lässt sich nur durch die Anwendung der Quantenelektrodynamik (QED) auf einen Hohlraum umfassend verstehen. Hohlraum-QED-Berechnungen erlauben es, die folgenden Parameter für ein gegebenes Ausmaß an Aktivatoranregung und Aktivatorkonzentration zu ermitteln: die vom Mikrohohlraum ausgesendete Lichtmenge, der Winkelbereich des ausgesendeten Lichts und die Farbe der emittierten Lichts.

[0075] Die Berechnung beginnt mit dem Bestimmen der Beschaffenheit des elektromagnetischen Felds innerhalb und außerhalb des Hohlraums. Die Feldberechnung erfolgt anhand der Maxwell-Gleichungen, wobei die Randbedingungen durch den Mikrohohlraum vorgegeben sind. Durch Anwendung von Fourier-Analyse wird das elektromagnetische Feld in seine fundamentalen Bestandteile, die optischen Moden aufgeteilt.

[0076] Eine optische Mode ist ein Feld mit einer charakteristischen Frequenz, Richtung und Polarisierung. Das Quadrat der Feldintensität entspricht der eigentlichen Lichtmenge. Aus dieser Feldverteilung müssen die optischen Moden ausgewählt werden, die nützlichem Licht entsprechen. Bei einer Anzeige ist nützliches Licht als jegliches Licht definiert, das vom Hohlraum innerhalb einer gewissen vorbestimmten Raumwinkelverteilung und einer vorbestimmten Frequenzverteilung ausgestrahlt wird.

[0077] Der nächste Schritt besteht darin, die von jedem Aktivator emittierte Lichtmenge zu berechnen. Die Berechnung beginnt mit der Bestimmung der Strahlungsabklingrate jedes Aktivators für jede mögliche optische Mode. Das Strahlungsabklingen setzt sich aus einer spontanen Emissionsrate und einer stimulierten Emissionsrate zusammen. Die Resonanzmikrohohlraumanzeige funktioniert jedoch nur dann zufriedenstellend als Anzeige, wenn keine stimulierte Emission vorliegt (d. h. die Konstruktion eines Mikrohohlraums, um als Laser betrieben zu werden, würde von vornherein dessen Verwendung als Anzeige ausschließen). Das Anregungsausmaß, die Art und Konzentration des Aktivators und die Resonatorgestalt bestimmen, wann eine stimulierte Emission vorliegt.

[0078] Die spontane Emissionsrate wird durch Anwendung der QED-Theorie ermittelt, um die Wahrscheinlichkeit zu berechnen, mit der ein einzelner angeregter Aktivator in eine spezifische optischen Mode abklingen wird. Bei dieser Berechnung muss die für den Ort des Aktivators im Hohlraum geeignete Feldstärke verwendet werden. Die Größenordnung der Steh- oder Wanderwelle innerhalb des Hohlraums kann über die Phosphor-Leuchtstoffschicht unterschiedliche Werte aufweisen. Zudem besteht eine gewisse Wahrscheinlichkeit, dass jeder angeregte Aktivator abklingt, ohne Licht ausgesendet zu haben. Um diesen nicht-strahlenden Anteil zu berechnen, müssen Hohlraum-QED-Effekte berücksichtigt werden, wie sie bei dem für den nicht-strahlenden Zerfall verantwortlichen physikalischen Mechanismus vorliegen.

[0079] Bei einem gegebenen Anregungsausmaß kann für jeden Aktivator die Menge an spontan emittiertem Licht berechnet werden. Das Verhältnis des spontanen Anteils zur Summe der strahlenden und nicht-strahlenden Anteile ergibt den Prozentsatz an Anregung, die Licht erzeugen wird. Die Menge an nützlichem Licht wird dann durch die Berechnung der Menge an spontaner Emission in den erwünschten optischen Moden ermittelt. Diese Berechnung wird für jeden Aktivator durchgeführt. Die Summe aller Aktivator-Beiträge ergibt die Anzeigeintensität der RMD.

[0080] Die steuerbaren Eigenschaften der RMD schließen die Chromatizität, das Richtvermögen der Anzeige, die Lichtleistung und den maximalen Lichtausgang der Anzeige ein. Diese Eigenschaften werden gemäß den Anforderungen des jeweiligen Leuchtschirms abgestimmt. Die für die Optimierung zu berücksichtigenden Parameter sind Mikrohohlraum-Q, die Mikrohohlraum-Resonanzfrequenz, die Asymmetrie der Reflektoren, die Resonatorgestalt (d. h. planare, konfokale, multiple Hohlräume etc.), der Phosphor-Leuchtstoff, die Dicke der Phosphor-Leuchtstoffschicht, die Oberfläche des Mikrohohlraums und die Anregungsquelle. Diese Parameter können nicht getrennt optimiert werden, da jeder die anderen abstimmbaren Eigenschaften der Anzeige abstimmt.

[0081] Die Leistung des Resonanzmikrohohlraums kann durch den Gütefaktor Q des Hohlraums beschrieben werden. Das Q des Hohlraums ist durch die Mikrohohlraum-Mittenfrequenz geteilt durch die Linienstärke der Mikrohohlraumresonanz gegeben:

$$Q = v/\Delta v$$

wobei v die Mikrohohlraumresonanzfrequenz und Δv die Linienstärke der Hohlraumresonanz ist. Der Hohlraum-Gütefaktor Q wird in erster Linie durch das Reflexionsvermögen der Reflektoren, die Resonatorgestalt, die Asymmetrie beim Reflexionsgrad und jegliche Fehlerstellen im Hohlraum ermittelt. Diese Fehlerstellen resultieren üblicherweise aus Defekten in der Struktur des Resonanzmikrohohlraums, die Licht auf unnützbare Art und Weise aus dem Hohlraum streuen. Das Q kann empirisch unter Verwendung einer optischen Spektrometers gemessen werden.

[0082] Wenn der Hohlraum-Gütefaktor Q vergrößert wird, nimmt die Anzeigehelligkeit und – wirksamkeit zu. Zudem wird der Winkelbereich des Lichts kleiner und die Linienstärke nimmt ab, wodurch die Chromatizität verändert wird. Es muss festgestellt werden, dass wenn sich die Raumverteilung des Lichts verengt, die Menge an Licht in gewissen Bereichen abnimmt. Je nach Anzeigenanwendung kann dieser Effekt erwünscht sein oder nicht. Im Bereich der derzeitigen Anzeigenanwendungen variiert der konstruierte Hohlraum üblicherweise zwischen 10 und 10.000. Die obigen Wirkungen können experimentell ermittelt werden, indem die Lichtintensität als Funktion eines fixen Winkels für Resonanzmikrohohlräume mit unterschiedlichen Q-Werten gemessen wird. Unter Ver-

wendung dieser Daten kann das für die jeweilige Anwendung erforderliche Q vorhergesagt werden.

[0083] Bei den meisten derzeitigen Anwendungen wird nur eine Seite des Leuchtschirms betrachtet. Für diese Anwendungen sollten Reflektoren mit unterschiedlichem Reflexionsvermögen ausgewählt werden, so das die Anzeige vorzugsweise das Licht aus dem Hohlraum in Richtung des Betrachters bringt.

[0084] Die Gestaltung des Resonators beeinflusst direkt Q und das Modenvolumen. Letzteres beschreibt das eigentliche Volumen der Aktivatorschicht, die bei der Herstellung von nützlichem Licht beteiligt ist. Dieses Volumen bezieht sich auf die Raumverteilung des elektromagnetischen Felds innerhalb der Aktivatorschicht. Die Gestaltung des Resonators bestimmt zudem die Raumverteilung von nützlichem Licht. Aufgrund. der relativ unkomplizierten Konstruktion ist die einfachste Gestaltungsform ein planarer Resonator. Es können jedoch auch andere Resonatorstrukturen, die Steh- oder Wanderwellen mit einer verstärkten elektrischen Feldintensität in einem Phosphormaterial erzeugen, von Nutzen sein. Insbesondere können mehrere planare Mikrohohlräume kombiniert werden, um einen größeren aktiven Bereich zu ermöglichen oder eine stärkere Kontrolle über die zulässige Emission zu erhalten als dies mit einem einzelnen Hohlraum möglich ist.

[0085] **Fig.** 6 stellt eine illustrative Gestaltungsform eines Resonanzmikrohohlraums **200** mit 3 Hohlräumen bereit. Bei diesem Beispiel umfasst jeder Hohlraum **201A**, **201B**, **201C** dielektrische Reflektoren **202**, **206**. Die dielektrischen Reflektoren **202**, **206** sind durch eine Kupplungsschicht **204** halber Wellenlänge in den Hohlräumen **201A** und **102B** voneinander getrennt, während aneinander angrenzende Hohlräume durch einen Abtandhalter **208** halber Wellenlänge voneinander getrennt sind. Das Phosphormaterial **209** ist ebenso eine halbe Wellenlänge dick und ist innerhalb des untersten Hohlraums angeordnet und nimmt den Platz einer Kupplungsschicht halber Wellenlänge im Hohlraum **201C** ein. Die spezifizierten Abstände sind optische Dicken, d. h. der Brechungsindex multipliziert mit der physikalischen Dicke der Schicht.

[0086] Wie bereits erläutert worden ist, liegt bei der planaren Geometrie eine Vielzahl von Parametern vor, die zu berücksichtigen sind, einschließlich des Reflexionsvermögens der einzelnen Spiegel und die Q der einzelnen Hohlräume. Zudem muss der Hohlraumabstand, die Kupplungsschicht und der Ort des Phosphormaterials ermittelt werden. Die genauen Spezifikationen hängen von den jeweiligen Anzeigeanforderungen ab.

[0087] Eine erste Designspezifikation der RMD ist die Chromatizität des emittierten Lichts. Die Mittenfrequenz und die Linienstärke des Hohlraums muss so gestaltet sein, dass die RMD diese Farbe des Lichts anzeigt.

[0088] Wenn diese Parameter ausgewählt sind, muss der Phosphor-Leuchtstoff ausgewählt werden. Der Phosphor-Leuchtstoff muss eine natürliche Lumineszenzresonanz aufweisen, die die Hohlraumresonanz überlagert. Wenn die Resonanz eingeengt wird und sich die Überlappung erhöht, steigt der Anzeigewirkungsgrad und die -helligkeit. Ein Kompromiss zwischen Chromatizität und anderen Parametern kann erforderlich sein, um eine Anzeige für eine spezifische Anwendung zu optimieren.

[0089] Die Intensität des durch den Phosphor-Leuchtstoff emittierten Lichts steht mit der Aktivatorkonzentration in Zusammenhang: wenn die Konzentration zunimmt, steigt die Intensität des emittierten Lichts. Die Aktivatorkonzentration ist jedoch häufig durch nicht-strahlende Energietransfers zwischen Aktivatoren, die die Lumineszenz löschen, eingeschränkt. Diese Löschwirkungen sind konzentrationsabhängig. Die Löschkonzentration variiert von Phosphor zu Phosphor, je nach Größe der unterschiedlichen Energietransferparameter zwischen den Aktivatoren. Die Hohlraum-QED-Theorie besagt, dass eine Auswirkung auf diese Parameter besteht, da sie sich auf spontane Emissionscharakteristika beziehen. Ein weiterer potentieller Vorteil der RMD besteht darin, dass der Energietransfer zwischen den Aktivatoren unterdrückt werden kann und die Phosphore könnten höhere Konzentrationen an Aktivatoren enthalten, als dies bisher möglich war, ohne an Wirkungsgrad einzubüßen. Zudem können Phosphor-Leuchtstoffe gleichzeitig mehrere Wellenlängen, die den unterschiedlichen optischen Übergängen innerhalb des Materials entsprechen, aussenden. Üblicherweise erzeugt jedoch nur einer dieser Übergänge für die Anzeige nützliches Licht. Ein Mikrohohlraum kann so gestaltet werden, dass er diesen nützlichen Übergang verstärkt während die unbrauchbaren Übergänge gehemmt werden. Diese Unterdrückung erhöht die Effizienz der Anzeige. Die Fähigkeit einer Struktur, spontane Emissionen und Energietransfervorgänge zu hemmen, ist von G. Kurizki und A. Z. Genack in „Suppression of Molecular Interactions in Periodic Dielectric Structures" (Phy. Rev. Let. 61, 2269 (1988)) beschrieben worden.

[0090] Die Anzeigeeigenschaften hängen auch von der Dicke des aktiven Bereichs ab. Je nach Hohlraumgestalt können mehrere Dicken des aktiven Bereichs vorliegen, die eine vorbestimmte Frequenz erzeugen. Der Dickenbereich hängt von der Spiegelkonstruktion ab. Wenn die Dicke zunimmt, steigt die Anzahl der potentiell angeregten Aktivatoren. Bei ausreichender Anregungsenergie kann die Gesamtlumineszenz durch einen breiteren aktiven Bereich erhöht werden. Die Dicke kann die Raumverteilung

auf hochkomplexe Art verändern. Bei einem einfachen koplanaren Mikrohohlraum verändert sich der Winkelbereich des Lichts, wobei zusätzliche Bereiche mit hoher Intensität bei Winkeln, die zur Ebene des Mikrohohlraums nicht normal sind, auftreten. Komplexere Gestaltungsformen mit multiplen Hohlräumen ermöglichen ein größeres Ausmaß an Kontrolle über des Richtvermögen der Anzeige.

[0091] Ein weiterer Schlüsselparameter in der Resonanzmikrohohlraumgestaltung ist die Fläche der emittierenden Oberfläche. Bei manchen Anwendungen ist eine großflächige Oberfläche für die Erzeugung von monochromatischem Licht notwendig, während bei anderen Hohlräume mit Pixelgröße erforderlich sind, um rotes, grünes und blaues Licht zu erzeugen. Die Größe der Pixel hängt von den Auflösungsanforderungen der Anzeige ab.

[0092] Ein anderer wichtiger Parameter ist die Anregungsquelle und -intensität. Die Anwendung der Anzeige bestimmt die Anregungsquelle. Beim Entscheidungsprozess zur Auswahl des Phosphor-Leuchtstoffes muss auch die Effizienz bei der Umwandlung der Anregungsenergie in nützliche Lumineszenz berücksichtigt werden. Die Effizienz ist für registrierte Phosphore übersichtlich dokumentiert, kann jedoch auch problemlos experimentell ermittelt werden. Die Intensität der Quelle verändert primär die Helligkeit.

[0093] Es muss festgestellt werden, dass die Lichteigenschaften der Anzeige durch die Berücksichtigung der obigen Gestaltungsparameter nicht unbedingt das Kohärenzausmaß eines Lasers erreichen. Um dieses Problem zu vermeiden, muss dem Hohlraum-Gütefaktor, der Aktivatorkonzentration und der Anregungsintensität besondere Aufmerksamkeit geschenkt werden.

[0094] Die RMD-Gestaltungsform eignet sich zur Einbindung eines optischen Elements **382**, wie eine Linse oder ein Diffusor, der innerhalb des oder auf dem Substrat **384** eines Resonanzmikrohohlraums **386** ausgebildet ist, wie in **Fig.** 7 ersichtlich ist. Beispielsweise wäre eine Linse nützlich, um die Winkelverteilung des von der Struktur erzeugten Lichtausgangssignals zu modifizieren und dadurch die erforderliche Verteilung zu erreichen. Die Linse kann mittels Photoätzverfahren ausgebildet werden, die auf dem Gebiet der Miniatur-Halbleiterlaser weithin bekannt sind. Ein anderes Verfahren würde die gesteuerte Anordnung von Verunreinigungen bzw. Störstellen verwenden, um den lokalen Brechungsindex zu verändern. Dieses Verfahren wird dazu verwendet, um Gradientenbrechungsindexlinsen herzustellen, die in der Faseroptik häufig verwendet werden.

[0095] Durch die Verwendung einer solchen Linse kommt ein weiterer Parameter hinzu, der bei der Optimierung der Anzeige berücksichtigt werden muss. Die Linse macht jedoch die Maximierung des Ausgangssignals des Resonanzmikrohohlraums möglich, ohne dass die erforderliche Lichtverteilung berücksichtigt werden muss. Eine solche Linse würde die Anforderungen an die komplexe Linsengestaltung, die derzeit bei Projektions-CRT-Anzeigeanwendungen notwendig ist, eliminieren oder reduzieren.

[0096] Ähnlich kann auch ein Diffusor verwendet werden, um den Winkelbereich des Lichts und somit das Gesichtsfeld der Anzeige genau zu steuern. Durch die Fähigkeit, die Lichtverteilung unabhängig vom Mikrohohlraum zu steuern, können die spontanen Emissionseigenschaften des Phosphors maximiert werden, ohne dass die erforderliche Lichtverteilung berücksichtigt werden muss. Ein Diffusor kann mittels holographischer Verfahren, Strichgitterverfahren, Einführung von Streuzentren oder genau gesteuertem Aufrauhen der Oberfläche hergestellt werden.

[0097] Die RMD kann durch Kathodolumineszenz ausgeführt werden, die aus einem Elektronenstrahlbeschuss des Phosphor-Leuchtstoffs resultiert. Ein Beispiel einer Vorrichtung, die Kathodolumineszenz verwendet, ist ein Projektionsfernsehgerät. Diese Anwendung erfordert höchstmögliche Intensitäten, da ein breiter Betrachtungsbereich benötigt wird und ein Licht-streuender Bildschirm verwendet wird. Bei dieser Anwendung ist die Resonanzmikrohohlraumanzeige in einer CRT integriert.

[0098] Vollfarben-Projektionsfernseher benötigen drei separate CRTs: eine für jede Primärfarbe. Bei dieser Anwendung ist die RMD besser als herkömmliche Methoden, da sie eine intensive Anregungsbeladung des Phosphor-Leuchtstoffs, eine stark gerichtete Leistung, gesteuerte Chromatizität und hohe externe Effizienz ermöglicht. Daher können bei der RMD relativ kompakte CRTs verwendet werden, während eine hohe Lumineszenz aufrechterhalten wird.

[0099] Im Falle einer Resonanzmikrohohlraumanzeige, die in einer CRT integriert ist, kann der Phosphor-Leuchtstoff durch Elektronen angeregt werden, die aus einer Elektronenkanone emittiert werden, und auf eine Geschwindigkeit beschleunigt werden, sodass die meisten von diesen den Resonanz-Mikrohohlraum bis auf die Tiefe des Phosphor-Leuchtstoffes penetrieren werden. Die Hochenergie-Elektronen regen Elektronen im Phosphor-Leuchtstoff vom Valenzband in das Leitungsband an. Diese zusätzliche Energie wird durch die Störstelle eingefangen. Die Störstelle relaxiert dann durch Aussenden von sichtbarem Licht.

[0100] Im Falle eines einfachen koplanaren Mikro-Hohlraums können die Reflektoren entweder dielektrisch oder metallisch sein. Der hintere Reflektor

besitzt ein höheres Reflexionsvermögen als der vordere Reflektor, so dass durch den Phosphor-Leuchtstoff emittiertes Licht durch den vorderen Reflektor aus dem Hohlraum austritt, und zwar senkrecht zur Ebene der Dünnfilmvorrichtung. Der Mikrohohlraum-Gütefaktor Q und die Asymmetrie im Reflexionsvermögen bestimmt den Prozentsatz an Licht, das durch den vorderen Reflektor aus dem Resonator austritt.

[0101] Beim einfachen koplanaren Mikrohohlraum beeinflusst die Breite des aktiven Bereichs das Richtvermögen des Lichts und ist so gewählt, dass seine optische Weglänge, d. h. das Produkt der Distanz zwischen dem hinteren Reflektor und dem vorderen Reflektor und des Brechnungsindex des Phosphor-Leuchtstoffmaterials, einem ganzzahligen Vielfachen der erwünschten Weglänge dividiert durch 2 oder 4, je nach Index der angrenzenden Schichten, entspricht. Diese Dimensionen stellen sicher, dass sich zwischen dem hinteren Reflektor und dem vorderen Reflektor eine stehende Welle bildet. Die Wellenlänge des emittierten Lichts wird durch die Resonanzwellenlänge des Mikrohohlraums bestimmt.

[0102] Ein dielektrischer Reflektor oder Bragg-Reflektor besteht aus einander abwechselnden Materialschichten mit hohem und niedrigem Brechungsindex. Die Anzahl an Schichten bestimmt das Reflexionsvermögen des Reflektors. Das Reflexionsvermögen (R) der Reflektoren kann mittels der folgenden Gleichung berechnet werden:

$$R = \frac{1 - \left(\frac{n_H}{n_L}\right)^{N-1} \times \frac{n_H^2}{n_s}}{1 + \left(\frac{n_H}{n_L}\right)^{N-1} \times \frac{n_H^2}{n_s}}$$

wobei n_H und n_L die Brechungsindices der Materialien mit hohem bzw. niedrigem Brechungsindex sind; n_s der Brechungsindex des Substrats und N die Gesamtzahl an Schichten im Stapel sind. Diese Gleichung gilt für den Normalfall. Die Breite jeder Schicht entspricht einer ungeraden ganzen Zahl multipliziert mit der erwünschten Wellenlänge des zu emittierenden Lichts dividiert durch das Vierfache des Brechungsindex des in der Schicht verwendeten Materials. Eine alternative Gestaltungsform verwendet holographische Verfahren, um die Reflektoren auszubilden. In diesem Fall wird der Spiegel aus einem Material mit einem kontinuierlich variierenden Brechungsindex gebildet. Photolithographie würde für die Herstellung der Spiegel verwendet werden.

[0103] Das Q des Hohlraums kann berechnet werden, sobald das Reflexionsvermögen der Reflektoren ermittelt wird. Beim einfachen koplanaren Mikrohohlraum ist die Gleichung, die Q mit dem Reflexionsvermögen in Beziehung setzt, wie folgt gegeben:

$$Q = \frac{2\pi n v}{c\left(\alpha - \frac{1}{l}\ln\sqrt{R_1 R_2}\right)}$$

wobei v die Mikrohohlraumresonanzfrequenz, n der Brechungsindex des Phosphor-Leuchtstoffs, α die mittlere verteilte Verlustkonstante, l die Breite der Aktivatorschicht, R, das Reflexionsvermögen des vorderen Spiegels und R_2 das Reflexionsvermögen des hinteren Spiegels ist. Die Konstante a wird benötigt, um das nicht ideale Verhalten des Hohlraums zu berücksichtigen, das aus Fehlern und unerwünschter Absorption resultiert.

[0104] Die für die Optimierung der Anzeige gewählten Parameter sind von der erforderlichen Helligkeit der Anzeige und dem notwendigen Richtvermögen des Lichtausgangs abhängig. Bei üblichen Projektionsfernsehanwendungen sollte die Anzeige stark gerichtet und hell sein. Der Hohlraum-Qualitätsfaktor kann für jede Farbe empirisch optimiert werden, indem die in die nützliche Richtung ausgesendete Gesamtintensität als eine Funktion des Elektronenstrahlstroms gemessen wird. Diese Wirksamkeitsmessung kommt auf dem Gebiet der Fernsehergestaltung häufig vor.

[0105] **Fig.** 8 zeigt eine illustrative Ausführungsform, die für Kathodolumineszenz gestaltet worden ist, und zwar den einfachen planaren Resonanzmikrohohlraum. Die vorliegende Erfindung **10** umfasst einen Resonanzmikrohohlraum **20**, der auf einem festen transparenten Substrat **25** ausgebildet ist. Eine Schicht aus Aluminium **80** ist angrenzend an den Mikrohohlraum **20** angeordnet, um die durch den Elektronenstrahl abgelagerten Elektronen zu kanalisieren und eine zusätzliche reflektierende Oberfläche bereitzustellen. Der Resonanzmikrohohlraum **20** wird mittels Molekularstrahlepitaxie (MBE) oder eines beliebigen geeigneten Verfahrens für die Halbleiterherstellung auf dem Substrat **25** gezüchtet. Manche auf dem Gebiet bekannte Züchtungsverfahren (z. B. LPE auf dem derzeitigen Entwicklungsstand) sind nicht geeignet, da sie nicht mit der zum Züchten eines Mikrohohlraums mit der richtigen Größe notwendigen Präzision gesteuert werden können. Der aktive Bereich **50** wird durch Elektronen von einem Elektronenstrahl **54** angeregt, der durch die Aluminiumschicht **80** und den hinteren Reflektor **60** eindringt. Das Licht **58**, das im aktiven Bereich erzeugt wird, tritt durch den vorderen Reflektor **30** und das Substrat **25** aus.

[0106] Wie in **Fig.** 9 ersichtlich ist, kann diese Ausführungsform in einer Kathodenstrahlröhre (CRT) **100** umgesetzt werden, die eine Glasvakuumröhre **105**, in der eine Elektronenkanone **110** (die ein Mittel zum Erzeugen eines Elektronenstrahls ist) eingeschlossen ist, die auf eine flache, distal von der Elektronenkanone **110** angeordnete Betrachtungsfläche

115 gerichtet ist, sowie einen Resonanzmikrohohlraum **20** auf Phosphorbasis umfasst, der parallel zur flachen Betrachtungsfläche **115** innerhalb der Vakuumröhre **105** angeordnet ist. Diese Ausführungsform ist zum Erzeugen von monochromatischem Licht ausgebildet.

[0107] Wie in **Fig.** 10 gezeigt wird, ist bei einer Versuchsausführungsform, die so gestaltet ist, dass Licht mit einer Wellenlänge von 530 Nanometern durch den vorderen Reflektor ausgesendet wird, das im aktiven Bereich **50** verwendete Material Zinksulfid (ZnS), das mit Mangan (Mn) in einer Dotierungskonzentration von 2% dotiert ist. Die Dicke des aktiven Bereichs **50** beträgt 110 Nanometer und der Phosphor besitzt einen Brechungsindex von n = 2,4.

[0108] Beim vorderen Reflektor **30** ist das in den Schichten mit einem relativ hohen Brechungsindex **32**, **36**, **40** und **44** verwendete Material ZnS, und das in den Schichten mit einem relativ niedrigen Brechungsindex **34**, **38**, **42** und **46** Calciumfluorid (CaF_2). Beim hinteren Reflektor **60** ist das in den Schichten mit relativ geringem Brechungsindex **62**, **66**, **70**, **74**, **77** und **79** verwendete Material CaF_2, und das in den Schichten mit relativ hohem Brechungsindex **64**, **68**, **72**, **76** und **78** verwendete Material ZnS. Alle ZnS-Schichten mit hohem Index sind 55 Nanometer dick mit einem Brechungsindex von n = 2,4. Alle CaF_2-Schichten mit niedrigem Index sind 95 Nanometer dicht mit einem Brechungsindex von n = 1,4.

[0109] Das Substrat **25** besteht aus CaF_2. Es ist zwei Millimeter dick und besitzt einen Brechungsindex von n = 1,4. Die Aluminiumschicht **80** ist **50** Nanometer dick.

[0110] Der Mikrohohlraum **20** wird mittels MBE auf dem Substrat **25** gezüchtet und die Aluminiumschicht **80** wird durch Dampfphasenabscheidung abgelagert.

[0111] Der vordere Reflektor besitzt ein Reflexionsvermögen R = 97,5% mit 8 Schichten und der hintere Reflektor weist ein Reflexionsvermögen R = 99,9% mit 12 Schichten einschließlich der Aluminiumschicht auf. Da der hintere Reflektor stärker reflektierend ist als der vordere Spiegel tritt beinahe das gesamte im Hohlraum erzeugt Licht durch den vorderen Reflektor aus.

[0112] Wie in **Fig.** 11 ersichtlich ist, ist das Reflexionsvermögen der RMD eine Funktion der Wellenlänge des einfallenden Lichts. Bei einer Resonanzwellenlänge von 530 nm liegt das Reflexionsvermögen bei ungefähr 86% – was darauf hindeutet, dass die RMD diese Wellenlänge überträgt. Bei sämtlichen anderen Wellenlängen beträgt das Reflexionsvermögen beinahe 100% – was anzeigt, dass die RMD Licht mit Nicht-Resonanzwellenlängen nicht überträgt. Dieses Reflexionsverhalten tritt aufgrund der Tatsache auf, dass der Hohlraum nur eine Stehwelle mit einer Wellenlänge, die der Resonanzwellenlänge des Hohlraums entspricht, tragen kann.

[0113] In einer weiteren Ausführungsform kann die RMD in einer CRT als Direktsichtfernseher verwendet werden. **Fig.** 12 stellt einen Direktsichtfarbfernseher dar. Die CRT **120** ist der bei der Projektionsfernseher-Ausführungsform beschriebenen ähnlich, mit der Ausnahme, dass sie drei Elektronenkanonen **122**, **124** und **126** aufweist, eine für jede Primärfarbe. Jede der Elektronenkanonen erzeugt einen separaten Elektronenstrahl **130**, **132** und **134**, der der erwünschten Intensität jeder Farbe entspricht. Die Elektronenstrahlen regen einen Bildschirm **140** auf der Betrachtungsfläche der CRT an.

[0114] Wie in **Fig.** 13a ersichtlich ist, umfasst der Bildschirm **140** eine Anordnung von Mikrohohlräumen in Pixelgröße **20**. Die Anordnung enthält Mikrohohlräume, die so gestaltet sind, dass sie rotes Licht **142**, grünes Licht **144** und blaues Licht **146** erzeugen. Die Rotlicht-Pixel werden durch den „roten" Elektronenstrahl **130** angeregt, die Grünlicht-Pixel **132** durch den „grünen" Elektronenstrahl **132** und die Blaulicht-Pixel durch den „blauen" Elektronenstrahl **134**. **Fig.** 13b zeigt eine Vorderansicht der Pixelanordnung und der Farbenanordnung. Die Gestaltung von Farbanzeigen mit getrennten Farbpixeln ist auf dem Gebiet weithin bekannt.

[0115] In dieser Ausführungsform erzeugt aus dem Pixel austretendes Licht die erforderliche Winkelverteilung. Es ist auch eine Ausführungsform vorstellbar, in der eine Linse verwendet wird, um diese Anzeigeanforderung zu erfüllen, wodurch durch den Resonanzmikrohohlraum eine maximale Effizienz erzielt werden kann. Die erforderliche Winkelverteilung kann auch durch Verwendung eines Diffusors wie ein holographisches optisches Element erhalten werden.

[0116] Die Konstruktion der Pixel ist im Wesentlichen dieselbe wie in der Ausführungsform für ein Projektionsfernsehgerät beschrieben wurde. Der Hauptunterschied liegt in der Größe der Oberfläche und des notwendigen Lichtwinkelbereichs. Hierbei wird die Oberfläche nicht durch die Helligkeit bestimmt, sondern durch die für die Anwendung erforderliche Auflösung. Hochauflösendes Fernsehen, medizinische und militärische Vorrichtungen benötigen üblicherweise eine Pixelgröße von weniger als 25 Micron. Diese Anforderung ist mit derzeitigen Technologien schwer zu erfüllen, kann jedoch mit einer RMD leicht erreicht werden.

[0117] Wenn die Auflösung und die Winkelverteilung spezifiziert sind, muss die Resonanzmikrohohlraumanzeige für jede Farbe optimiert werden. Bei dieser Optimierung wird das oben beschriebene empirische Verfahren zum Messen des insgesamt er-

zeugten Lichts gegenüber dem Strahlstrom verwendet. Die Beschränkungen in der Gestaltungsform aufgrund der Spezifikation bedeuten, dass das Erhalten des maximalen Lichtausgangs in erster Linie eine Funktion des Phosphoraktivators ist. Bei der Ausführungsform, bei der eine Linse außerhalb des Hohlraums angeordnet ist, besteht bei der Konstruktion des Hohlraums ein deutlich größerer Freiraum. Ohne die Begrenzung der Winkelverteilung kann der Hohlraum-Qualitätsfaktor leicht angepasst werden.

[0118] In einer weiteren Ausführungsform, bei der die aktive Schicht anregende Elektronen verwendet werden, kann der Resonanzmikrohohlraum **217** in eine Vakuum-Fluoreszenzanzeige **210** integriert sein, wie in **Fig.** 14 gezeigt wird. Die Anzeige **210** umfasst einzelne Pixel, die üblicherweise so kombiniert sind, dass sie eine geringe Auflösung, kompakte Informationsanzeigen und enorm große Anzeigen ausbilden.

[0119] Eine Vakuum-Fluoreszenzanzeige umfasst im Allgemeinen eine Anordnung von Kathoden **226**, ein Steuergitter **224** und mit Phosphor beschichtete Anoden, die den Anoden wie Anode **214** in **Fig.** 14 entsprechen. (Anode **214** in **Fig.** 14 unterscheidet sich von einer herkömmlichen Anode wie untenstehend beschrieben). Zuerst werden Elektronen durch die die Kathodenanordnung **226** ausbildenden Heizdrähte erzeugt. Zwischen der Kathodenanordnung **226** und den Anoden **214** wird eine positive Spannung angelegt. Wenn die Steuergitterspannung eingeschaltet ist, werden die Elektronen durch das positive Potential in Richtung der Phosphorschicht, die bei einer herkömmlichen Vakuum-Fluoreszenzanordnung auf der Oberseite der Anoden abgeschieden ist, beschleunigt. Der Rest der Anzeige umfasst üblicherweise eine vordere Glasplatte **212**, eine hintere Glasplatte **228** und eine Fritteglasdichtung **222**, die ein Vakuum für das Drahtsteuergitter **224** und die Glühkathoden **226** enthält.

[0120] Eine Resonanzmikrohohlraumstruktur kann verwendet werden, um die Leistung dieser Art von Anzeige zu verbessern. Eine mögliche illustrative Ausführungsform ist in **Fig.** 14 veranschaulicht. Die Resonanzmikrohohlraumstruktur **217**, die eine aktive Schicht **218** umfasst, die in Sandwichanordnung zwischen ein Paar dielektrischer Spiegel **216** und **220** liegt, die zwischen dem Drahtsteuergitter **224** und der Anode **214** angeordnet sind, ersetzt den pulverförmigen Phosphor-Leuchtstoff, der üblicherweise auf Anoden wie die Anode **214** abgelagert ist.

[0121] Bei kleinen monochromatischen Anzeigen würde ein Resonanzmikrohohlraum **217** verwendet werden und die Pixel würden durch das Steuergitter und die Kathode **226** bestimmt werden. Wenn Vollfarbe erforderlich ist, wäre für jede Primärfarbe ein Resonanzmikrohohlraum **217** notwendig. Eine effiziente Gestaltungsform würde eine abwechselnde Anordnung von Mikrohohlraumstreifen **217** und separaten Streifen für jede Farbe umfassen. Bei Großbildschirmanwendungen würde jeder Pixel einen Resonanzmikrohohlraum enthalten, der für eine spezifische Farbe ausgebildet ist. Die Anordnung würde dann eine Triade von roten, grünen und blauen Pixeln umfassen.

[0122] Wie oben bei den beiden CRT-Ausführungsformen erläutert worden ist, gelten Parameter wie Richtvermögen, Helligkeit, Farbe und die Mikrohohlraumstruktur für die Vakuum-Fluoreszenzanzeige. Die Gestaltungsüberlegungen und -methodik, die für die Optimierung der Anzeige erforderlich sind, sind ebenfalls dieselben. Da die Anzeige eine Direktsichtanzeige ist, bei der die Lichtemission zum Betrachter hin in Richtung von Pfeil A ausgerichtet ist, würde beispielsweise die Divergenz des ausgesendeten Lichts auf die Betrachtungsdistanz und den erforderlichen Betrachtungswinkel abgestimmt werden. Die Integration von Linsen und Diffusoren muss berücksichtigt werden. Die Gestaltung von Vakuum-Fluoreszenzanzeigen für spezifische Anwendungen ist auf dem Gebiet weithin bekannt.

[0123] Bei einer weiteren Ausführungsform, bei der die Anregung durch Elektronen eingesetzt wird, kann der Resonanzmikrohohlraum in Feldemissionsanzeigen für Projektionssowie Direktsichtanwendungen integriert sein. Diese Anzeige funktioniert nach dem Prinzip, dass Elektronen von einer mikroskopischen Spitze oder einem mikroskopischen Bereich eines Materials niedriger Austrittsarbeit tunneln. Die Elektronen werden dann durch ein positives Potential beschleunigt und durchdringen eine angrenzende Phosphor-Leuchtstoffschicht. Üblicherweise besteht ein evakuierter Bereich zwischen den Spitzen und dem Phosphor-Leuchtstoff, wobei der Phosphor-Leuchtstoff in manchen Anwendungen direkt auf der Oberseite der emittierenden Oberfläche gezüchtet werden kann.

[0124] Diese Anzeigen können sowohl in einem Hochspannungs- als auch einem Niedrigspannungsmodus betrieben werden. Bei der Hochspannungsanwendung mit üblicherweise über 500 Volt würde hinter jedem Mikrohohlraum eine Emitteranordnung angebracht werden. Die Anzeige könnte aus einem Mikrohohlraum bestehen, der die Größe einer gesamten Anzeige zum Erzeugen von monochromatischem Licht hat, oder die Anzeige könnte aus Mikrohohlräumen mit Pixelgröße bestehen, die sich für die Erzeugung von Farbbildern eignen. Bei diesen Strukturen muss die Spannung ausreichend hoch sein, so dass die Elektronen durch den Bodenspiegel der RMD in die aktive Schicht dringen, um den Phosphor zu stimulieren.

[0125] **Fig.** 15 stellt eine illustrative Ausführungs-

form einer monochromatischen Feldemissionsanzeige **230** bereit, die einen Resonanzmikrohohlraum **239** mit einer aktiven Schicht **236** zwischen Spiegeln **234** und **238** enthält. Wenn eine positive Hochspannung zwischen der Anode **240** und der Kathode **246** angelegt wird, werden die Elektronen durch das Feldemissionsmaterial **244** erzeugt, das innerhalb eines evakuierten Bereichs **242** durch Dichtungen **248** abgedichtet ist. Die Elektronen werden dann durch den luftleeren Bereich **242** beschleunigt, durchdringen den Resonanzmikrohohlraum **239** und regen die aktive Schicht **236** an. Die Aluminiumschicht **240** ist etwa **50** Nanometer dick und leitet die Elektronen gegen Erde.

[0126] In der Niederspannungs-Anwendung muss das Feldemissions-Material aufgrund der begrenzten Penetrationstiefe der Niedrigeneergie-Elektronen im Inneren der RMD lokalisiert sein. Passende Emissions-Materialien müssen eine niedrige Austrittsarbeit aufweisen, sodass eine niedrige an das Material angelegte Spannung eine ausreichende Anzahl von zu emittierenden Elektronen hervorruft. In dieser Anwendung wird eine niedrige Spannung an den Resonanz-Mikrohohlraum angelegt und erzeugt Elektronen, die vom Elektronen-Emissionsmaterial in den Phosphor-Leuchtstoff tunnelt und die Aktivatoren anregt. Unter dem Einfluss des angelegten Feldes wandern die Elektronen durch den Phosphor-Leuchtstoff und dann in ein anderes Material, den die Elektronen zur Erde leitet.

[0127] Bei einer illustrativen Ausführungsform einer Niederspannung-Feldemissionsanziege **250**, dargestellt in **Fig.** 16, würde der Resonanzmikrohohlraum **253** (der auf dem Substrat **252** abgelagert ist) eine ausgerichtete Diamantfilmschicht **256** umfassen, die auf einer Seite der Phosphorschicht **258** abgelagert ist. Eine weitere leitende Filmschicht **260**, ähnlich der Diamantfilmschicht **256**, würde auf der gegenüberliegenden Seite der Phosphorschicht **258** abgelagert werden, um die emittierten Elektronen zum Boden zu führen. Ein Niederspannungspotential würde zwischen den leitenden Schichten **260** und **256** angeordnet werden. Die Reflektoren **254**, **262** sind außerhalb der durch die leitenden Schichten **256**, **260** und die Phosphorschicht **258** gebildeten Sandwich-artigen Struktur angeordnet. Diese Ausführungsform ist in **Fig.** 16 veranschaulicht.

[0128] Beim einfachen koplanaren Mikrohohlraum ist die wichtigste Designanforderung für sämtliche Anzeigeanwendungen, dass die aktive Schicht bei oder nahe des Schwingungsbauchs des elektrischen Felds innerhalb des Hohlraums angeordnet ist. Bei der Niederspannung-Feldemissionsanzeige ist diese Anforderung angesichts der Dicke der aktiven Schicht entscheidend. Die Basisstruktur einer Phosphor-Leuchtstoffschicht, die in Sandwichanordnung zwischen zwei emittierenden Schichten liegt, kann wiederholt werden, vorausgesetzt, das Phosphormaterial bei oder nahe eines Schwingungsbauchs angeordnet ist. Eine Veranschaulichung eines Stehwellenfelds in einer illustrativen Ausführungsform einer Resonanzmikrohohlraumanzeige **300** ist in **Fig.** 17 dargestellt. Die Mikrohohlraumanzeige **300** umfasst ein Substrat **302**, ein Paar Spiegel **304** und eine aktive Schicht **306**. Die elektrische Feldamplitude **310** in der aktiven Schicht **306** ist schematisch dargestellt. Ein Knotenpunkt **311** und ein Schwingungsbauch **312** sind dargestellt.

[0129] Bei der Gestaltung müssen im Wesentlichen dieselben Faktoren wie die bei anderen Anzeigeanwendungen erläuterten berücksichtigt werden. Der Index des Elektronen emittierenden Materials muss jedoch ein Hauptfaktor bei der Gestaltung des Hohlraums sein. Ein weiterer Punkt ist die Auswahl des Materials für den jeweiligen angelegten Spannungsbereich.

[0130] Zudem kann die RMD in einer Elektrolumineszenzanzeige umgesetzt werden. Bei dieser Anzeigeanwendung ist eine RMD zwischen zwei Leitern in Sandwichanordnung angebracht. Ein Spannungssignal wird an die Leiter angelegt und stimuliert dadurch eine sogenannte Dünnfilm-Elektrolumineszenz (TFEL, thin film electroluminescence). Eine Anordnung von Elementen mit Pixel-Größe wird hergestellt, um einen Leuchtschirm auszubilden, der einen TFEL-Flachbildschirm ausbildet.

[0131] Diese Ausführungsform würde eine Anordnung von Pixeln umfassen, bei der jeder Pixel einen elektrisch aktivierten Mikrohohlraum darstellen würde. **Fig.** 18 zeigt einen Pixel in der Anordnung **160**. Der Pixel umfasst ein offensichtlich transparentes Substrat **162**, eine Schicht aus mit Indium dotierten Zinnoxid (ITO, indium doped tin oxide) **164**, die als Erdung dient, und einen Resonanzmikrohohlraum **166**. Der Resonanzmikrohohlraum **166** umfasst einen vorderen Reflektor **168**, einen aktiven Bereich auf Phosphor-Basis **170** und einen hinteren Reflektor **172**. An den hinteren Reflektor angrenzend ist eine Aluminiumschicht **174** angeordnet, die auf jedem Mikrohohlraum abgelagert ist, so dass jeder Hohlraum elektrisch isoliert ist.

[0132] Die Anzeige würde durch Anlegen einer Spannung an die Aluminiumschicht **174** des Pixel-Mikrohohlraums **166** angeregt werden. Das Adressieren von Pixeln kommt auf dem Gebiet der Flachbildschirmgestaltung häufig vor.

[0133] Die Anzeige würde durch Messen der Menge an ausgesendetem nützlichen Licht gegenüber der elektrischen Feldintensität optimiert werden. Besondere Beachtung muss dem ausgewählten Phosphor geschenkt werden, da (bei dieser Ausführungsform) die Elektrolumineszenz-Wirksamkeit wichtig ist.

[0134] Die RMD könnte auch als eine Anordnung von Pixeln in einem Flachbildschirm ausgebildet werden, bei dem ultraviolettes Licht zum Anregen des Phosphors verwendet wird. Wie in **Fig.** 19 ersichtlich ist, würde jeder Pixel **180** eine Plasmaentladungslampe **182** umfassen, die ultraviolettes Licht erzeugt, das durch einen hinteren Reflektor **184** dringt und den aktiven Bereich **186** (d. h. den Phosphor) anregt. Das emittierte Licht tritt dann durch den vorderen Reflektor **188** und das Substrat **190** auf der Anzeige aus.

[0135] Das RMD-Konzept kann auch zur Herstellung eines transparenten Direktsicht-Flachbildschirms verwendet werden. Diese Anzeige ist offensichtlich transparent, mit der Ausnahme von den spezifischen Resonanzwellenlängen der Mikrohohlräume, die in der Anzeige verwendet werden. Sowohl monochrome als auch Vollfarbenanzeigen sind möglich. Um eine Vollfarbenanzeige zu erzeugen, könnten z. B. drei Wellenlängen ausgewählt werden, die den drei vollständig gesättigten Farben entsprechen, die durch den internationalen CIE-Farbstandard für rot, grün und blau spezifiziert sind.

[0136] Die transparente Eigenschaft entsteht durch das Herstellen von Resonanzmikrohohlräumen, die Reflektoren verwenden, die nur innerhalb eines engen Wellenlängenbereichs, üblicherweise ein Nanometer oder weniger, als hochwirksame Spiegel funktionieren. Außerhalb dieses Bereichs übertragen die Reflektoren beinahe 100 und somit erscheint die RMD dem Auge transparent. Solche Schmalbandreflektoren können am besten durch Verwendung einer Struktur mit einer Vielzahl von Hohlräumen unter Verwendung von dielektrischen Spiegeln ausgebildet werden.

[0137] Bei einer in **Fig.** 20 gezeigten illustrativen Ausführungsform würde ein Flachbildschirm aus einer Anordnung von RMDs in Pixelgröße **500** bestehen, die durch ein elektrisches Feld angeregt werden. Zwei transparente Elektroden **504**, **514** müssen mit der jeweiligen Seite jedes Mikrohohlraums **506** verbunden sein und könnten am besten durch Verwendung von Indium-Zinnoxid (ITO) hergestellt werden. Der Mikrohohlraum **506** selbst würde eine aktive Schicht **510** zwischen Spiegeln **508**, **512** umfassen.

[0138] Zusätzlich zum Erzeugen einer transparenten Anzeige kann dieselbe Reflektorstruktur dafür verwendet werden, eine kontrastreiche Anzeige herzustellen. Bei dieser Ausführungsform ist die Rückfläche durch eine andere opake Schicht (nicht dargestellt) oder durch Ersetzen der ITO-Schicht **514** durch einen opaken Leiter undurchsichtig ausgebildet. Externes Umgebungslicht würde durch die Anzeige übertragen und dann durch die rückwärtige Schicht absorbiert werden. Die Reflexion von der Vorderfläche würde aufgrund der hohen Übertragungseigenschaften der Reflektoren außerhalb der Resonanzwellenlängen minimiert werden. Eine solche Anzeige kann so ausgebildet werden, dass sie eine sehr hohes Kontrastverhältnis in der Größenordnung von 100 oder mehr aufweist. Solche Direktsichtanzeigen können eine beliebige der drei Anregungsquellen verwenden.

[0139] Die Verwendung von organischem Material ermöglicht die Konstruktion einer RMD aus biegsamen Materialien wie Kunststoff.

[0140] Die Resonanzmikrohohlraumanzeige kann auch durch Laserlicht angeregt werden. Laserlicht resultiert aus stimulierten Emissionsprozessen und unterscheidet sich von spontan ausgesendetem Licht durch das hohe Ausmaß an räumlicher und/oder zeitlicher Phasenkohärenz. Das Laserlicht würde so gewählt werden, dass es eine Wellenlänge aufweist, die durch den Phosphor absorbiert wird. Die Hohlraumstruktur muss so gestaltet werden, dass die Laserwellenlänge hindurchtreten kann. Bei einer in **Fig.** 21 dargestellten Ausführungsform würde ein Laser **412** einen Leuchtschirm **401** horizontal und vertikal auf ähnliche Art wie der Elektronenstrahl in einer Kathodenstrahlröhre abtasten. Die Steuerung des Strahls **410** erfolgt üblicherweise durch Drehen der Spiegel und akustischen optischen Modulatoren. Die Fähigkeit, aufeinanderfolgende Information mit Laser zu schreiben, ist auf dem Gebiet weithin bekannt. Der Leuchtschirm **401** selbst umfasst das Substrat **402** und den Mikrohohlraum **403** einschließlich der Spiegel **404**, **408** und der aktiven Schicht **406**.

[0141] Die RMD könnte auch in einer umgekehrten Konfiguration verwendet werden, um Licht zu absorbieren und ein elektrisches Signal zu erzeugen. Die physikalischen Vorgänge, die zu der verstärkten Emission von Licht wie bei der obigen Anzeige dargestellt führen, erzeugen auch eine verstärkte Absorption. Die Lichtenergie muss in elektrische Energie umgewandelt werden.

[0142] Eine weitere Anwendung des Resonanzmikrohohlraums, bei der die Eigenschaft einer verstärkten Absorption genutzt wird, ist das Gebiet der Fotografie. Bei dieser Anwendung würde der Film Resonanzmikrohohlräume umfassen, bei denen die aktive Schicht ein lichtempfindliches Material einschließt. Dadurch würde dieser Film nur bei gewissen Wellenlängen, die den drei Primärfarben entsprechen, absorbieren. Da die Absorptionsmenge genau gesteuert werden kann, könnte der Film Farben extrem genau wiedergeben. Auch Information könnte durch Ableiten eines elektrischen Signals vom lichtempfindlichen Material innerhalb des Mikrohohlraums aufgezeichnet werden. Die allgemeine Gestaltung wäre der von Digitalkameras ähnlich, bei denen mit der Ladung gekoppelte Detektoren verwendet werden.

[0143] Die einzigartige Fähigkeit einer RMD, die Emissionseigenschaften zu beeinflussen, kann auch bei Speichervorrichtungen verwendet werden. Wie vorher erklärt wurde, beeinflusst die Einschränkung eines optischen Materials in einem Resonanzmikrohohlraum die Abklingrate. Abhängig davon, ob der Hohlraum mit der Übergangsenergie des optischen Materials in Resonanz ist oder nicht, sinkt oder steigt die Lebensdauer. Es ist daher möglich, die Lebensdauer des Materials wesentlich zu steigern und diesen Effekt zum Speichern von Information zu verwenden.

[0144] Eine weitere Möglichkeit, Information mit einem Resonanzmikrohohlraum zu speichern, würde auf Lochbrennen basieren. Dieser Vorgang und dessen Anwendung beim Speichern von Information ist weithin bekannt. Indem das Material in einen Resonanzmikrohohlraum gegeben wird, könnte nicht nur die verstärkte Absorption sondern auch der vorher beschriebene Effekt einer erhöhten Lebensdauer genutzt werden, um die Lochbrennvorgang effizienter zu gestalten.

[0145] RMDs könnten auch bei der Gestaltung von Lichtventilen eingesetzt werden. Dies würde zwei RMDs erforderlich machen. Eine RMD ohne einen Phosphor-Leuchtstoff würde auf einer RMD mit einem Phosphor-Leuchtstoff gezüchtet werden. Die erste RMD würde die Intensität des aus der zweiten RMD austretenden Lichts modulieren. Der Modulator würde durch Abstimmen der ersten RMD auf ihre Resonanzfrequenz oder weg von ihrer Resonanzfrequenz funktionieren. Der Vorgang des Abstimmens der ersten RMD (unter Verwendung des elektrooptischen oder piezoelektrischen Effekts) würde durch Anlegen einer Spannung an die erste RMD durchgeführt werden. Dieser Modulator könnte auch als ein Schalter zum vollständigen Ein- und Ausschalten des Lichts verwendet werden. Eine modulierte RMD **421**, die auf einem Substrat **422** gezüchtet ist, ist in **Fig.** 22 dargestellt. In dieser Figur wird die RMD **421**, die Spiegel **424**, **428** mit der dazwischenliegenden aktiven Schicht **426** umfasst, durch Anlegen einer Spannung V an die Spiegelschichten **424** und **428** moduliert. Diese Modulation kann durch elektrooptische oder piezoelektrische Effekte durchgeführt werden.

[0146] Die Fähigkeit, die Hohlraumresonanz z. B. durch elektrooptische oder piezoelektrische Effekte abzustimmen, würde es der RMD ermöglichen, in einer Vielzahl von Kommunikationsmoden verwendet zu werden. Resonanzmikrohohlräume könnten so gestaltet werden, dass sie Licht über einen Bereich von Frequenzen und Raumwinkeln aussenden und empfangen. Diese Frequenzen und festen Winkel könnten durch Anlagen elektrischer Signale verändert werden. Daher könnten RMD für die Aussendung und den Empfang von Information verwendet werden. Bei Militärausrüstungen verwendete Freund- oder Feindidentifikatoren wäre eine mögliche Verwendungsform.

[0147] Die Verwendung von RMDs in einer Plasmaanzeige könnte auch zum Ausbilden einer Fluoreszenzlampe herangezogen werden. Im Vergleich zu herkömmlichen Fluoreszenzlampen besitzt die RMD-Lampe den Vorteil, die Fluoreszenz deutlich zu verstärken, was zu einem höheren Wirksungsgrad führt. Eine einzelne RMD-Lampe würde Licht mit einer gewissen Wellenlänge emittieren. Dies ist für Anwendungen wie Bühnenlampen nützlich. Bühnenlampen senden oft im UV-, dem sichtbaren und dem Infrarotbereich aus und verwenden Filter, um eine gewisse Wellenlänge (Farbe) auszuwählen. Dieser Filtervorgang macht die Lampe äußerst ineffizient, da ein Großteil des Lichts nicht aus der Lampe austreten kann. Im Gegensatz dazu erzeugt die RMD-Lampe lediglich Licht mit einer gewissen Wellenlänge und benötigt daher keinen Filter.

[0148] Die Effizienz ist daher wesentlich höher. Die Kombination von einer R-, einer G- und einer B-Vorrichtung würde in einer Weißlichtquelle resultieren.

[0149] Im Allgemeinen kann jede Lichtquelle durch die Resonanzmikrohohlraumanzeige ersetzt werden. Glühlampen werden z. B. üblicherweise gefiltert, um farbiges Licht für Autorücklichter und Verkehrssignallampen zu erzeugen. Resonanzmikrohohlräume ersetzen diese derzeitigen Lichtquellen durch hoch wirksame einfarbige und gerichtete Lichtquellen. Die Anregung könnte mittels jedes der bereits erläuterten Mittel erfolgen.

[0150] Bei nicht emittierenden Anzeigen sind die Lichtquelle und die Bild-erzeugende Oberfläche getrennt. Das Bild wird üblicherweise durch ein Lichtventil erzeugt, das das von der Lichtquelle produzierte Licht moduliert. Eine häufig vorkommende Lichtventilanzeige verwendet eine Kombination aus einem oder mehreren Flüssigkristallen und Polarisatoren und bildet eine sogenannte Ffüssigkristallanzeige (LCD) aus. Lichtventile werden bei der Reflexion sowie der Übertragung verwendet und können bei Projektions- als auch Direktsichtanwendungen eingesetzt werden, Die Pixelgröße wird ausschließlich durch den Lichtmodulator bestimmt.

[0151] Bei jeder Anwendungsform ist eine ausreichend helle Lichtquelle notwendig. Die Anzeige muss oft auch Vollfarben erzeugen können. Derzeit wird bei Flachbildschirmen eine Fluoreszenzlampe als Gegenlicht verwendet, die das weiße Licht erzeugt, das dann durch einen LCD-Bildschirm moduliert wird. Um einen Vollfarben-Flachbildschirm herzustellen, werden bei jedem Pixel Farbfilter eingeführt, um das weiße Licht zu filtern und die drei Primärfarben zu erzeugen.

[0152] Die RMD kann in eine solche Flachbildschirm-Anwendung integriert sein und die Lichtquelle ausbilden. Bei einer monochromatischen Anzeige würde der Modulator an einem großflächigen Resonanzmikrohohlraum befestigt werden. Der Mikrohohlraum kann durch ein beliebiges der drei Anregungsmittel angeregt werden. Vollfarbe würde am besten durch eine Anordnung von Mikrohohlräumen erzeugt werden, die aus abwechselnden Streifen bestehen, wobei jeder Streifenbereich so konstruiert ist, dass ein kontinuierlicher Resonanzmikrohohlraum zum Erzeugen einer Farbe geschaffen wird.

[0153] Bei Projektionsvorrichtungen wird eine Bogenlampe eingesetzt, um eine Weißlichtquelle auszubilden, und die Farbe wird üblicherweise durch Verwendung von zweifarbigen Filtern zum Trennen der drei Primärfarbkomponenten des Weißlichts erzeugt. Die drei Farben können statt dessen durch drei unabhängige Resonanzmikrohohlräume oder durch das Ausbilden einer Anordnung von Mikrohohlräumen erzeugt werden.

[0154] Zudem benötigt ein LCD-Modulator Eingangslicht, das anfänglich polarisiert ist, und verwendet einen Polarisator, der im Eingang angeordnet ist. Es ist möglich, diesen Polarisator zu eliminieren, indem der Resonanzmikrohohlraum so gestaltet wird, dass er polarisiertes Licht erzeugt. Dies kann auf eine Vielzahl von Arten umgesetzt werden. Beispielsweise kann der Bereich zwischen den Spiegeln mittels doppelbrechendem Material hergestellt werden, so dass der Hohlraum je nach Polarisierung des Lichts bei verschiedenen Frequenzen mitschwingt. Der Hohlraum kann so gestaltet sein, dass nur eine polarisierte Lichtkomponente bei der gewünschten Frequenz mitschwingt.

[0155] Der Hauptvorteil der Verwendung von Resonanzmikrohohlräumen zur Erzeugung von Licht, das von Lichtmodulatoren verwendet wird, ist der erhöhte Lichtausgabewirkungsgrad. Die RMD-Lichtquelle erzeugt höhere Helligkeitsbereiche und ist stark gerichtet. Letztere ist besonders für LCD-Anwendungen nützlich, da das Eingangslicht innerhalb eines gewissen Raumwinkelbereichs gehalten werden muss. Zudem erhöht der Wegfall von Farbfiltern und dichriotischen Strahlenteilern die Gesamtleistung. Ein weiterer Konstruktionsvorteil ist die kompakte Beschaffenheit der RMD, die besonders für Flachbildschirmanwendungen nützlich ist.

[0156] In einer in **Fig.** 23 dargestellten illustrativen Ausführungsform ist eine monochromatische Flachbildschirmanzeige **270** abgebildet. Bei diesem Beispiel wird der Resonanzmikrohohlraum **275** durch UV-Licht angeregt, das durch eine von einer Wechselstromquelle **284** angeregte Plasmaentladung **282** erzeugt wird. Jegliches schädliches UV-Licht, das aus dem Mikrohohlraum **275** entweicht, wird durch das Substrat **274** absorbiert. Ein weiteres UV-Abblocksubstrat **286** kann auch auf der anderen Seite des Plasmaaustritts **282** angeordnet sein. Das Lichtventil verwendet eine LCD **272**, um das Licht zu modulieren. Die LCD **272** kann durch eine Vielzahl von Moden adressiert werden und diese Spezifikation wird durch die Verwendung des Resonanzmikrohohlraums nicht beeinträchtigt. Die wichtigsten Gestaltungsüberlegungen für den Mikrohohlraum würden die Divergenz des Lichts, die Lichtpolarisation, Helligkeit und Resonanzwellenlänge einschließen.

[0157] Die obigen Ausführungsformen sind als illustrative Beispiele angeführt und sollen die Erfindung in keinster Weise eingrenzen.

Patentansprüche

1. Lumineszierende Anzeige, umfassend einen Dünnfilm-Resonanzmikrohohlraum mit einem aktiven Bereich, wobei im aktiven Bereich ein Phosphor angeordnet ist, um sichtbares Licht auszusenden; und worin der Resonanzmikrohohlraum den aktiven Bereich umfasst, der den Phosphor in Sandwichanordnung zwischen zwei Reflektoren enthält, wobei der aktive Bereich eine solche Breite aufweist, dass das abzugebende sichtbare Licht zwischen den beiden Reflektoren erzeugt wird, und worin einer der beiden Reflektoren teilweise reflektierend ist, so dass es ermöglicht wird, dass sichtbares Licht durch den teilweise reflektierenden Reflektor hindurchgeht, um die lumineszierende Anzeige bereitzustellen.

2. Lumineszierende Anzeige nach Anspruch 1, worin der Mikrohohlraum Mittel zum Modifizieren der spontanen Emissionsprozesse des Phosphors oder der Energieübertragungsprozesse des Phosphors umfasst.

3. Mikrohohlraum nach Anspruch 1, worin der Resonanzmikrohohlraum abstimmbar ist.

4. Lumineszierende Anzeige nach Anspruch 1, worin der Mikrohohlraum Mittel umfasst, um im Phosphor ein elektromagnetisches Feld zu erzeugen, das eine elektrische Feldamplitude aufweist, wenn der Phosphor von einer Energiequelle angeregt wird, die in Bezug auf die Amplitude eines elektrischen Feldes, das im Phosphor erzeugt würde, wenn der Phosphor im freien Raum angeordnet wäre und von der selben Energiequelle angeregt würde, beträchtlich modifiziert ist.

5. Lumineszierende Anzeige nach Anspruch 4, worin das elektromagnetische Feld mit der beträchtlich modifizierten elektrischen Feldamplitude eine stehende elektromagnetische Welle ist.

6. Lumineszierende Anzeige nach Anspruch 4, worin der Mikrohohlraum so dimensioniert ist, dass er

eine wandernde elektromagnetische Welle mit der beträchtlich modifizierten elektrischen Feldamplitude erzeugt.

7. Lumineszierende Anzeige nach Anspruch 1, worin der Mikrohohlraum eine Struktur umfasst, die aus der aus koplanaren Mikrohohlräumen, dreidimensionalen Mikrohohlräumen und Kombinationen daraus bestehenden Gruppe ausgewählt ist.

8. Lumineszierende Anzeige nach Anspruch 7, worin der Mikrohohlraum eine Struktur umfasst, die aus der aus konfokalen Mikrohohlräumen, halbkugelförmigen Mikrohohlräumen und Ring-Hohlräumen bestehenden Gruppe ausgewählt ist.

9. Lumineszierende Anzeige nach Anspruch 4, worin der Mikrohohlraum anregbar ist, um die beträchtlich modifizierte elektrische Feldamplitude im Inneren des Mikrohohlraums zu errichten.

10. Lumineszierende Anzeige nach Anspruch 1, worin die Anzeige durch Elektronen anregbar ist.

11. Lumineszierende Anzeige nach Anspruch 1, die weiters eine Kathodenstrahlröhre zur Erzeugung von Anregungselektronen zum Anregen des aktiven Bereichs umfasst.

12. Lumineszierende Anzeige nach Anspruch 10, die weiters feldemittierendes Material umfasst, das innerhalb des Mikrohohlraums angeordnet ist, um zu bewirken, dass ausgesandte Elektronen aus dem emissiven Material in den Phosphor durchtunneln, wodurch der Phosphor angeregt wird; sowie eine leitende Schicht, die innerhalb des Mikrohohlraums angeordnet ist, um ausgesandte Elektronen zur Erde zu leiten.

13. Lumineszierende Anzeige nach Anspruch 1, worin der aktive Bereich durch ein elektrisches Feld anregbar ist und die weiters Mittel umfasst, um den aktiven Bereich mit einem elektrischen Feld anzuregen.

14. Lumineszierende Anzeige nach Anspruch 1, worin der aktive Bereich durch elektromagnetische Strahlung anregbar ist und weiters Mittel umfasst, um den aktiven Bereich mit elektromagnetischer Strahlung anzuregen.

15. Lumineszierende Anzeige nach Anspruch 1, worin der Mikrohohlraum umfasst:
(a) ein Substrat; und
(b) eine auf dem Substrat angeordnete Struktur, die den aktiven Bereich und die Vielzahl von Reflektoren umfasst.

16. Lumineszierende Anzeige nach Anspruch 1, worin die lumineszierende Anzeige eine Vielzahl der Mikrohohlräume umfasst, die jeweils einen Resonanzbereich darin aufweist, und die Mikrohohlräume operativ gekoppelt sind, um einen größeren Resonanzbereich zu bilden.

17. Lumineszierende Anzeige nach Anspruch 15, worin der vordere Reflektor auf dem Substrat angeordnet ist.

18. Lumineszierende Anzeige nach Anspruch 15, worin zumindest eines aus dem Substrat, dem aktiven Bereich und der Vielzahl von Reflektoren aus einem anorganischen Material besteht.

19. Lumineszierende Anzeige nach Anspruch 15, worin zumindest eines aus dem Substrat, dem aktiven Bereich und der Vielzahl von Reflektoren aus einem organischen Material besteht.

20. Lumineszierende Anzeige nach Anspruch 15, worin zumindest einer aus der Vielzahl von Reflektoren einen Wellenlängen-abhängigen Reflektor umfasst, der im Wesentlichen innerhalb einer engen Wellenlängen-Bandbreite reflektierend und im Wesentlichen außerhalb der engen Wellenlängen-Bandbreite durchlässig ist.

21. Lumineszierende Anzeige nach Anspruch 15, worin die Reflektoren dielektrische Reflektoren umfassen.

22. Lumineszierende Anzeige nach Anspruch 21, worin die dielektrischen Reflektoren weiters eine Vielzahl alternierender paralleler Schichten umfassen, worin Schichten, die ein Material mit einem relativ niedrigen Brechungsindex umfassen, mit Schichten abwechseln, die ein Material einem relativ hohen Brechungsindex umfassen.

23. Lumineszierende Anzeige nach Anspruch 22, worin das Material mit einem relativ niedrigen Brechungsindex ein Oxid oder ein Fluorid ist.

24. Lumineszierende Anzeige nach Anspruch 22, worin das Material mit einem relativ hohen Brechungsindex ein Sulfid, ein Selenid, ein Nitrid oder ein Oxid ist.

25. Lumineszierende Anzeige nach Anspruch 1, worin der aktive Bereich einen Phosphor umfasst, der aus der aus Sulfiden, Oxiden, Silikaten, Oxisulfiden und Aluminaten bestehenden Gruppe ausgewählt ist.

26. Lumineszierende Anzeige nach Anspruch 1, worin der Phosphor einen Aktivator enthält, der ein Material umfasst, das aus der aus Übergangsmetallen, Seltenerden, Substanzen mit Farbzentren und Kombinationen daraus bestehenden Gruppe ausgewählt ist.

27. Lumineszierende Anzeige nach Anspruch 1, worin die Dicke des aktiven Bereichs gleich einer gewählten Wellenlängen von von der Anzeige auszusendendem Licht multipliziert mit einer ganzen Zahl und dividiert durch das Vierfache des Brechungsindex für Licht mit der gewählten Wellenlänge in einem Material, das den aktiven Bereich umfasst, ist.

28. Lumineszierende Anzeige nach Anspruch 1, worin der Mikrohohlraum eine Vielzahl aktiver Bereiche umfasst und die Dicke der Vielzahl aktiver Bereiche gleich einer gewählten Wellenlänge von von der Anzeige auszusendendem Licht multipliziert mit einer ganzen Zahl und dividiert durch das Vierfache des Brechungsindex für Licht mit der gewählten Wellenlänge in einem Material, das den aktiven Bereich umfasst, ist.

29. Lumineszierende Anzeige nach Anspruch 1, worin die Dicke des aktiven Bereichs gleich einer gewählten Wellenlängen von von der Anzeige auszusendendem Licht multipliziert mit einer ganzen Zahl und dividiert durch das Doppelte des Brechungsindex für Licht mit der gewählten Wellenlänge in einem Material, das den aktiven Bereich umfasst, ist.

30. Lumineszierende Anzeige nach Anspruch 1, worin der Mikrohohlraum eine Vielzahl aktiver Bereiche umfasst und die Dicke der Vielzahl aktiver Bereiche gleich einer gewählten Wellenlänge von von der Anzeige auszusendendem Licht multipliziert mit einer ganzen Zahl und dividiert durch das Doppelte des Brechungsindex für Licht mit der gewählten Wellenlänge in einem Material, das den aktiven Bereich umfasst, ist.

31. Lumineszierende Anzeige nach Anspruch 1, worin der Resonanzmikrohohlraum ein photonisches Bandabstandmaterial umfasst.

32. Lumineszierende Anzeige nach Anspruch 1, weiters umfassend Mittel zur Erzeugung einer vorbestimmten Winkel-Lichtverteilung von Licht, das vom aktiven Bereich ausgesandt wird.

33. Lumineszierende Anzeige nach Anspruch 32, bei der das Mittel zur Erzeugung der vorbestimmten Winkel-Lichtverteilung eine Struktur umfasst, die aus der aus Linsen, Diffusoren, holographischen Elementen, Gradientenindexelementen und Kombinationen davon bestehenden Gruppe ausgewählt ist.

34. Lumineszierende Anzeige nach Anspruch 1, worin der aktive Bereich eine solche Breite aufweist, dass zwischen den beiden Reflektoren eine Resonanzstehwelle mit der Wellenlänge von auszusendendem Licht erzeugt wird.

35. Lumineszierende Anzeige nach Anspruch 1, worin der Phosphor unter Einsatz von Photonen anregbar ist.

36. Verfahren zur Erzeugung eines gerichteten Lichtstrahls mit gesteuerter Farbe, umfassend den Schritt des Anregens einer lumineszierenden Anzeige nach einem der vorangegangenen Ansprüche zum Aussenden von Licht aus dem Mikrohohlraum.

37. Modulierte Lichtquelle, umfassend:
(a) eine lumineszierende Anzeige nach Anspruch 1;
(b) Mittel zum Anregen des Phosphors im aktiven Bereich; und
(c) Lichtventilmittel vor dem Mikrohohlraum, um aus dem Mikrohohlraum ausgesandtes Licht zu modulieren.

38. Verfahren zur Herstellung einer lumineszierenden Anzeige nach Anspruch 1, wobei das Verfahren den Schritt des Züchtens eines Dünnfilm-Resonanzmikrohohlraums, der einen aktiven Bereich enthält, innerhalb des Mikrohohlraums, bei dem ein Phosphor im aktiven Bereich gezüchtet wird, und den Schritt des Bereitstellens von zwei Reflektoren umfasst, worin der Resonanzmikrohohlraum den aktiven Bereich umfasst, der den Phosphor in Sandwichanordnung zwischen den beiden Reflektoren enthält, wobei der aktive Bereich eine solche Breite aufweist, dass das auszusendende sichtbare Licht zwischen den beiden Reflektoren erzeugt wird, und worin einer der beiden Reflektoren teilweise reflektierend ist, so dass sichtbares Licht durch den teilweise reflektierenden Reflektor hindurchgelassen wird, um die lumineszierende Anzeige bereitzustellen.

39. Verfahren nach Anspruch 38, das weiters den zusätzlichen Schritt des Auswählens von zumindest einem aus dem Phosphor, der Dicke der aktiven Schicht, dem Hohlraumqualitätsfaktor und dem Hohlraumtyp umfasst, um den Farbton von der Anzeige ausgesandtem Licht zu steuern.

40. Verfahren nach Anspruch 39, worin das Züchten aktiven Bereichs so gesteuert wird, dass die Dicke des aktiven Bereichs gleich einer ganzen Zahl von Viertelwellenlängen von Licht ist, das einem gewählten Farbton entspricht.

41. Verfahren nach Anspruch 38, das weiters den zusätzlichen Schritt des Auswählens von zumindest einem aus dem Phosphor, der Dicke der aktiven Schicht, dem Hohlraumqualitätsfaktor und dem Hohlraumtyp umfasst, um die Gerichtetheit von von der Anzeige ausgesandtem Licht zu steuern.

Es folgen 16 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

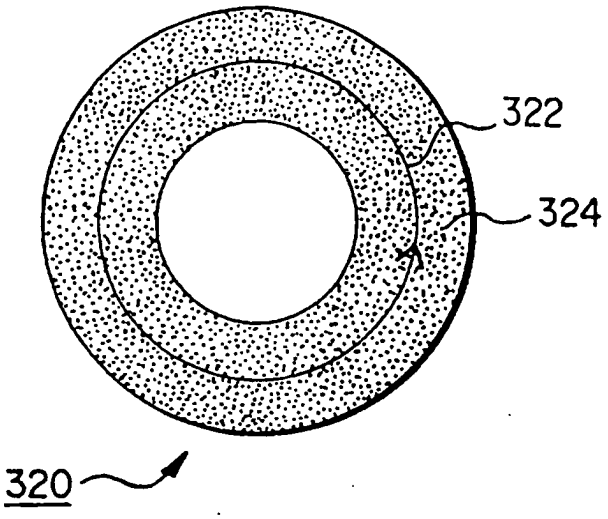

FIG. 1

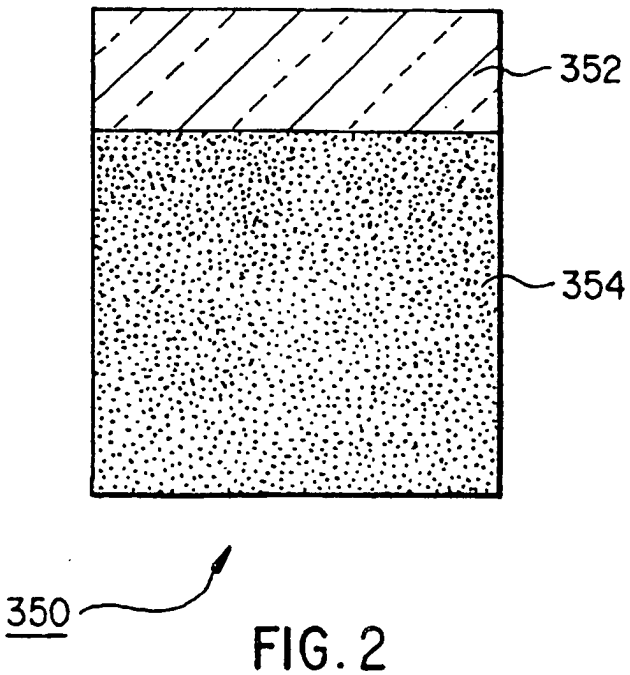

FIG. 2

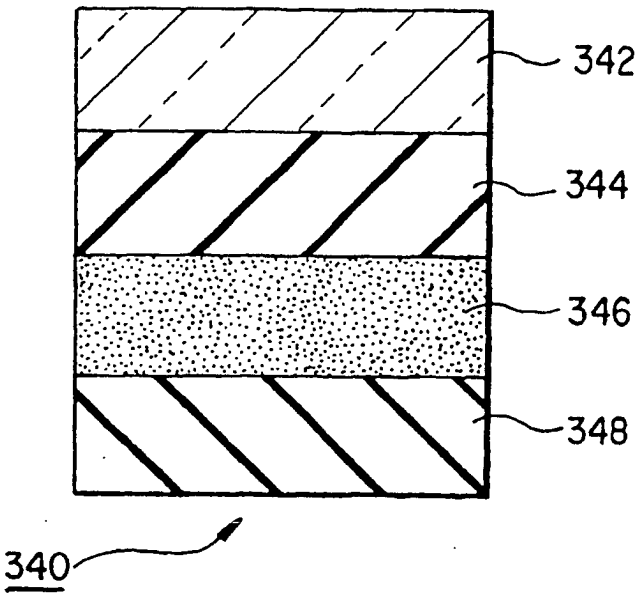

FIG. 3

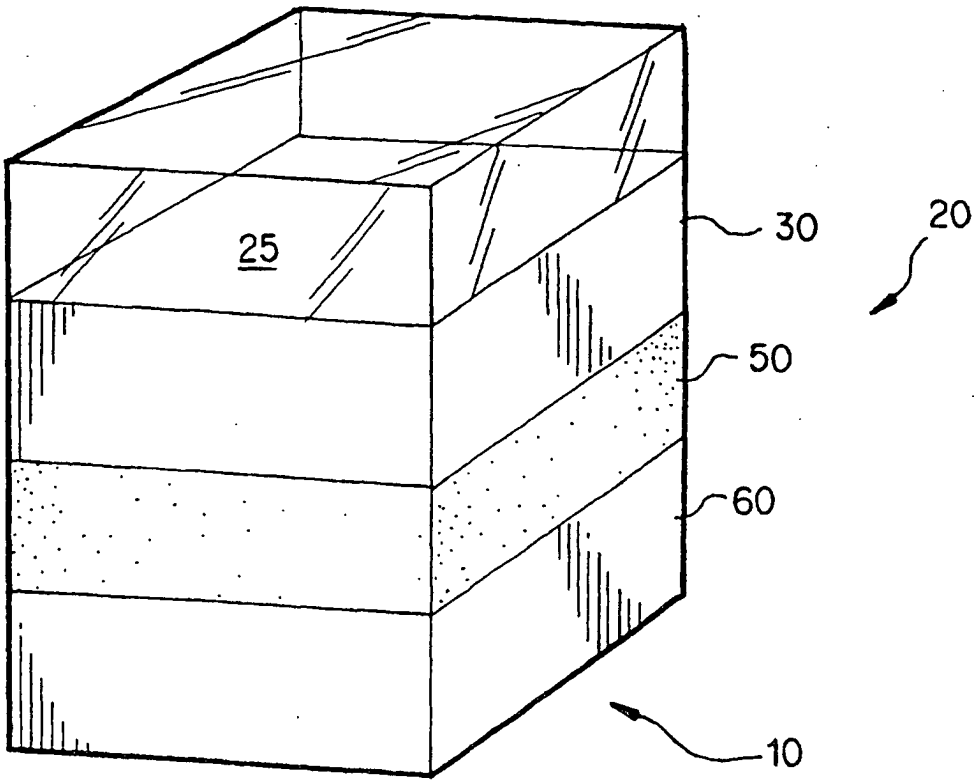

FIG. 4

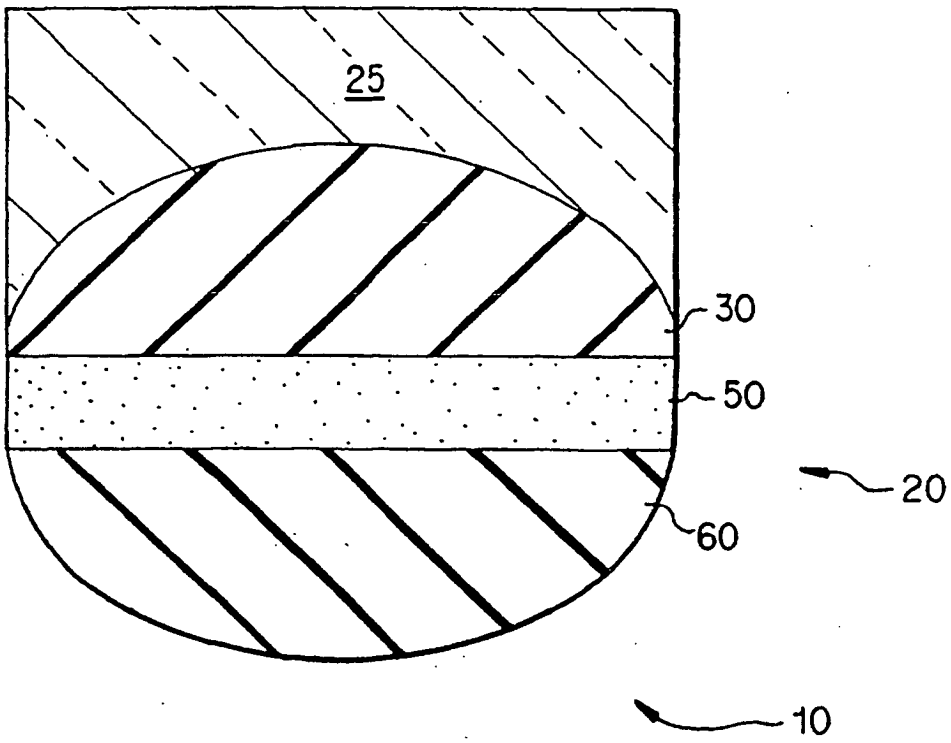

FIG. 5

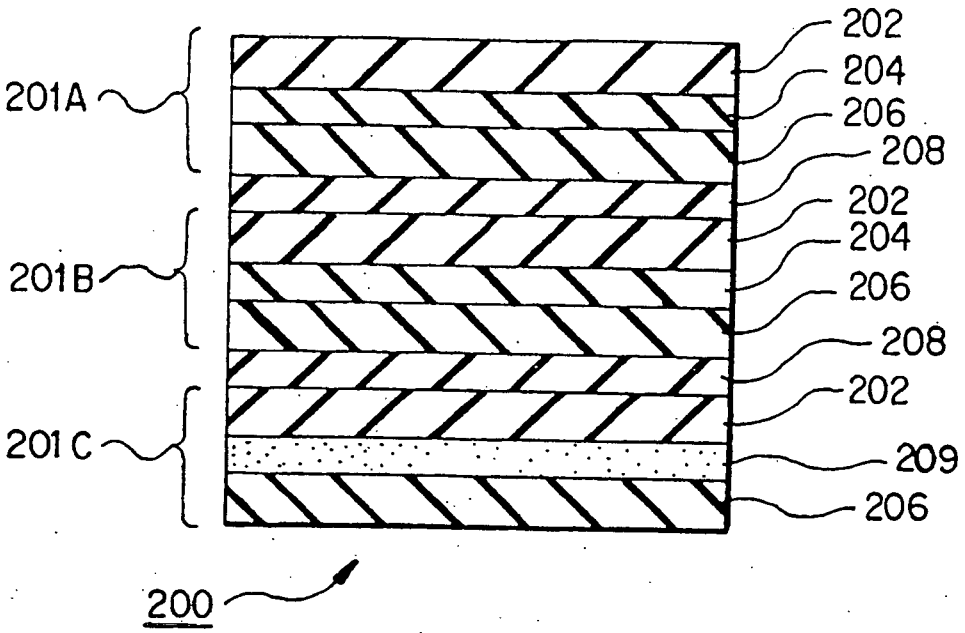
202
204
206
208
202
204
206
208
202
209
206
201A
201B
201C
200

FIG. 6

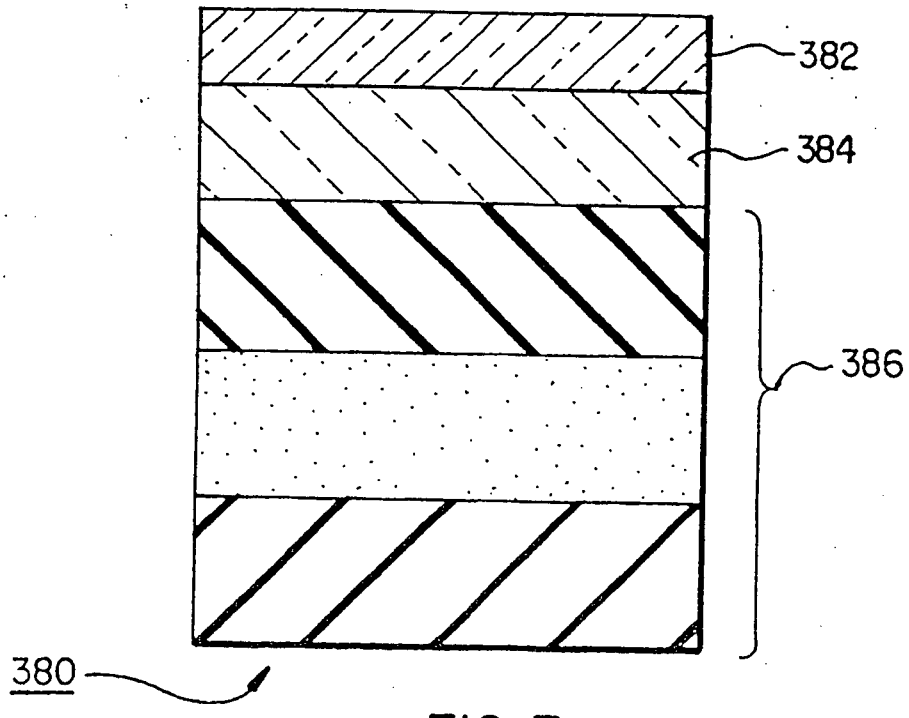
382
384
386
380

FIG. 7

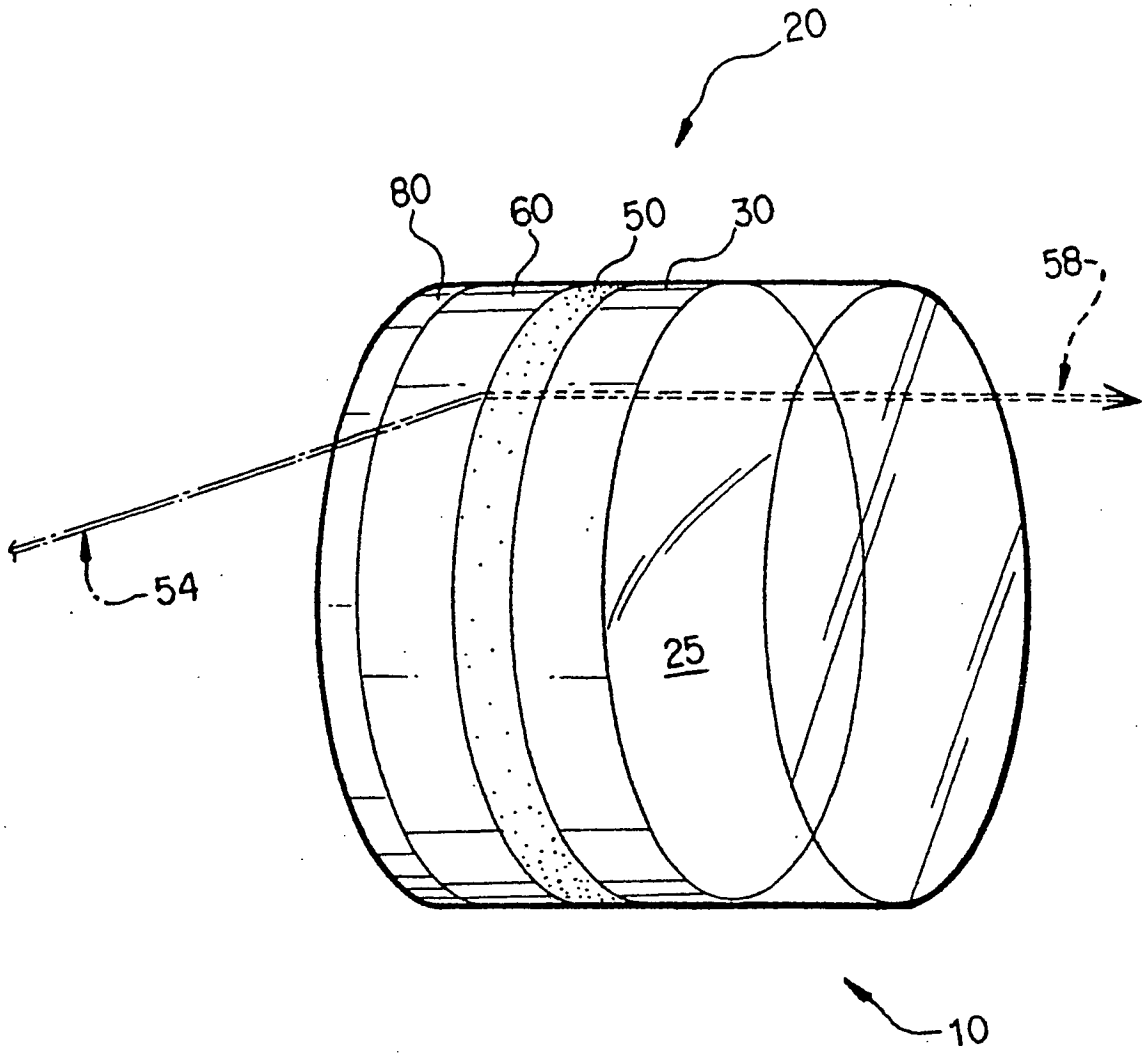

FIG. 8

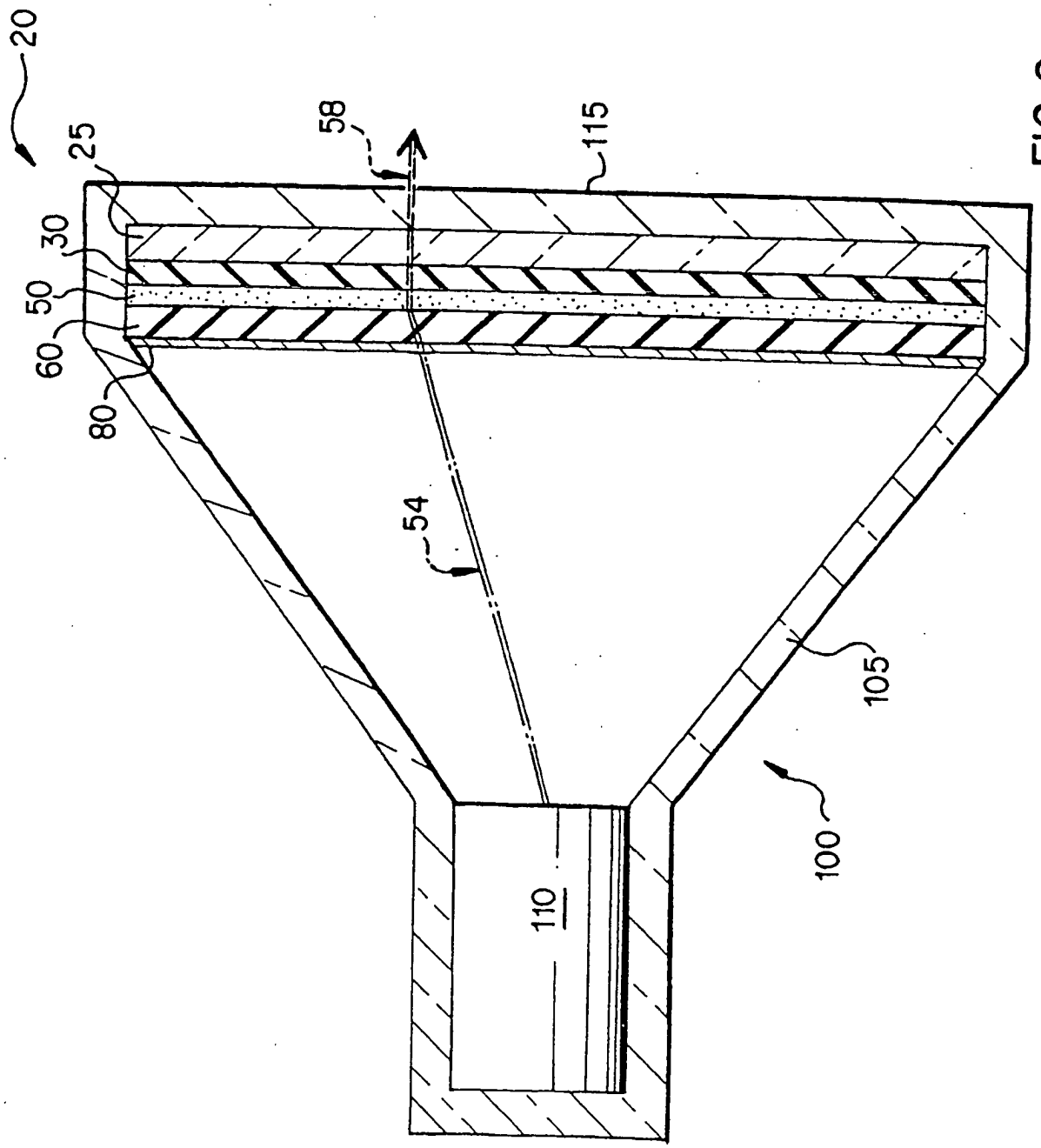

FIG. 9

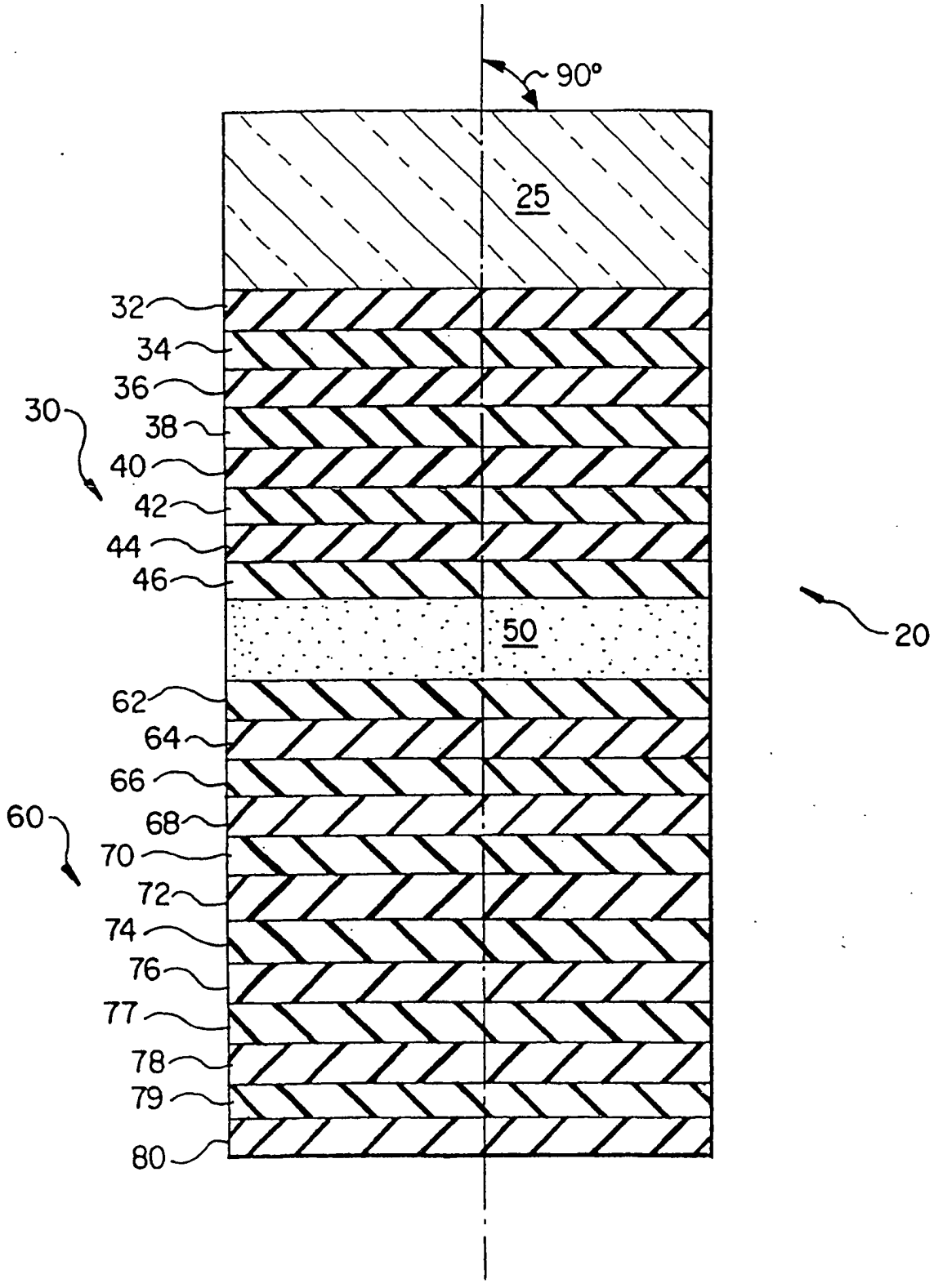
90°
25
32
34
36
30
38
40
42
44
46
50
20
62
64
66
60
68
70
72
74
76
77
78
79
80

FIG.10

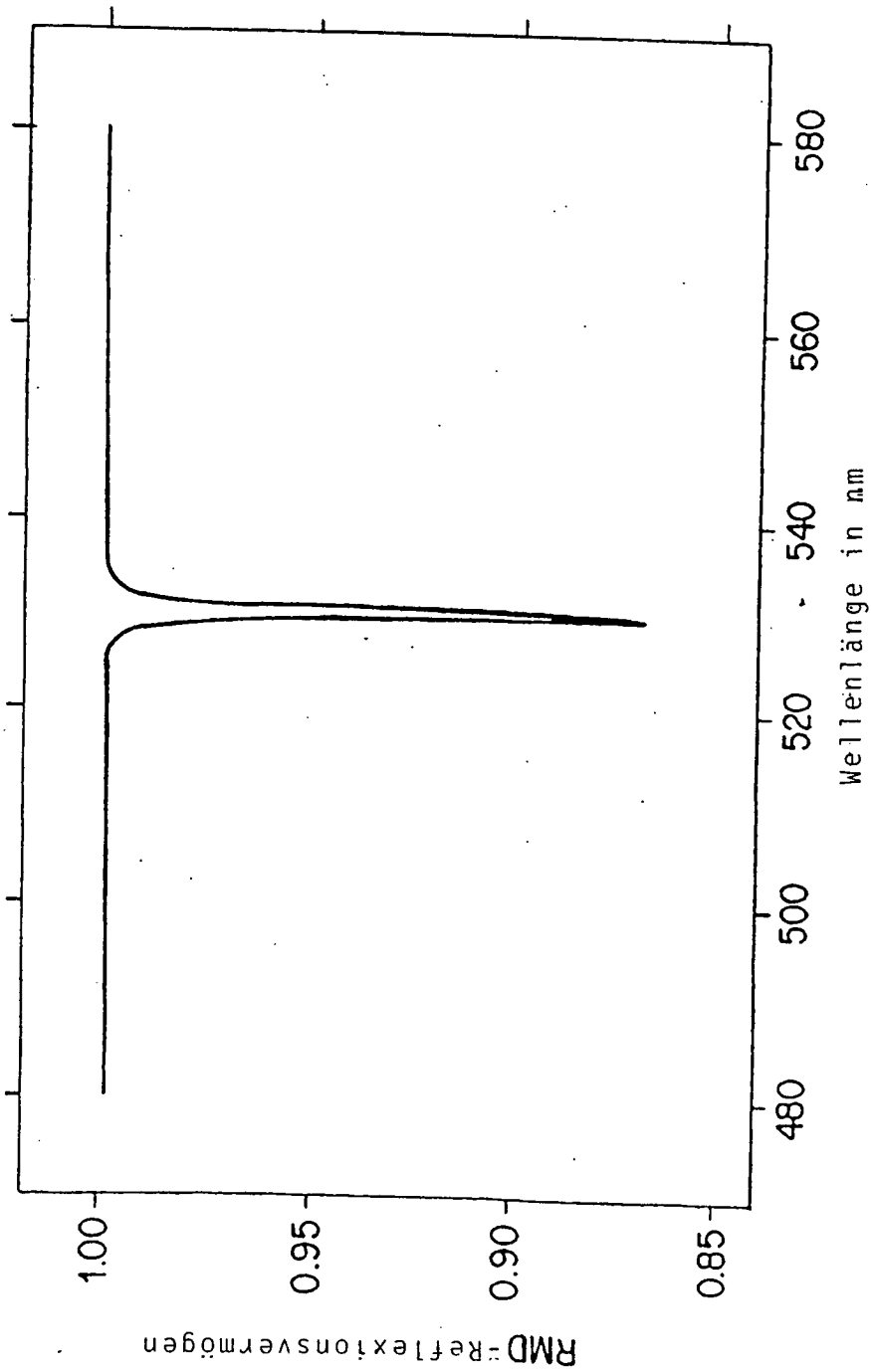
RMD-Reflexionsvermögen
1.00
0.95
0.90
0.85
480
500
520
540
560
580
Wellenlänge in nm

FIG.11

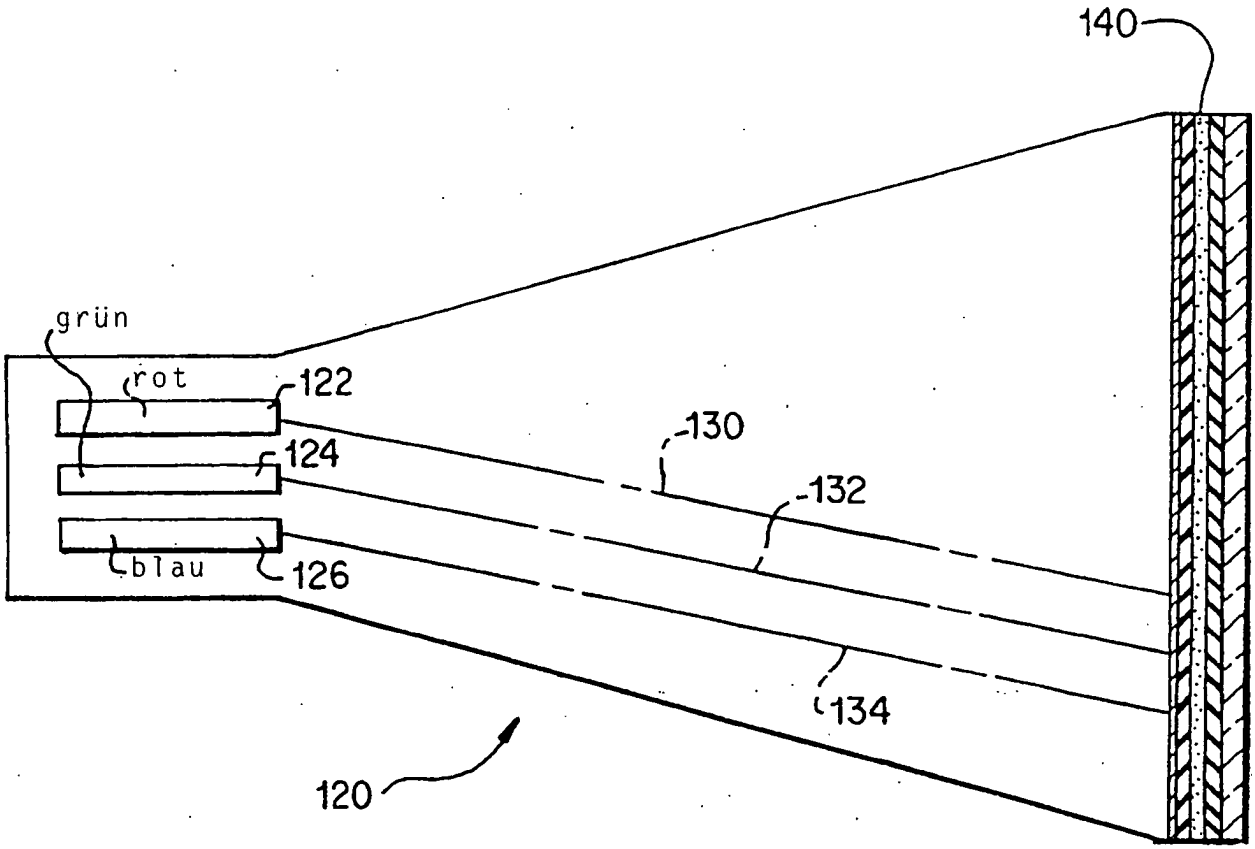

FIG. 12

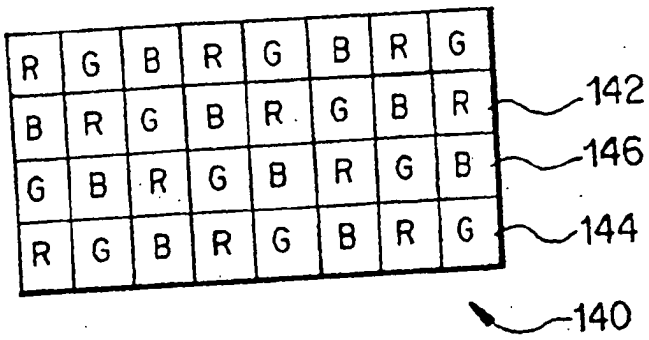

FIG. 13b

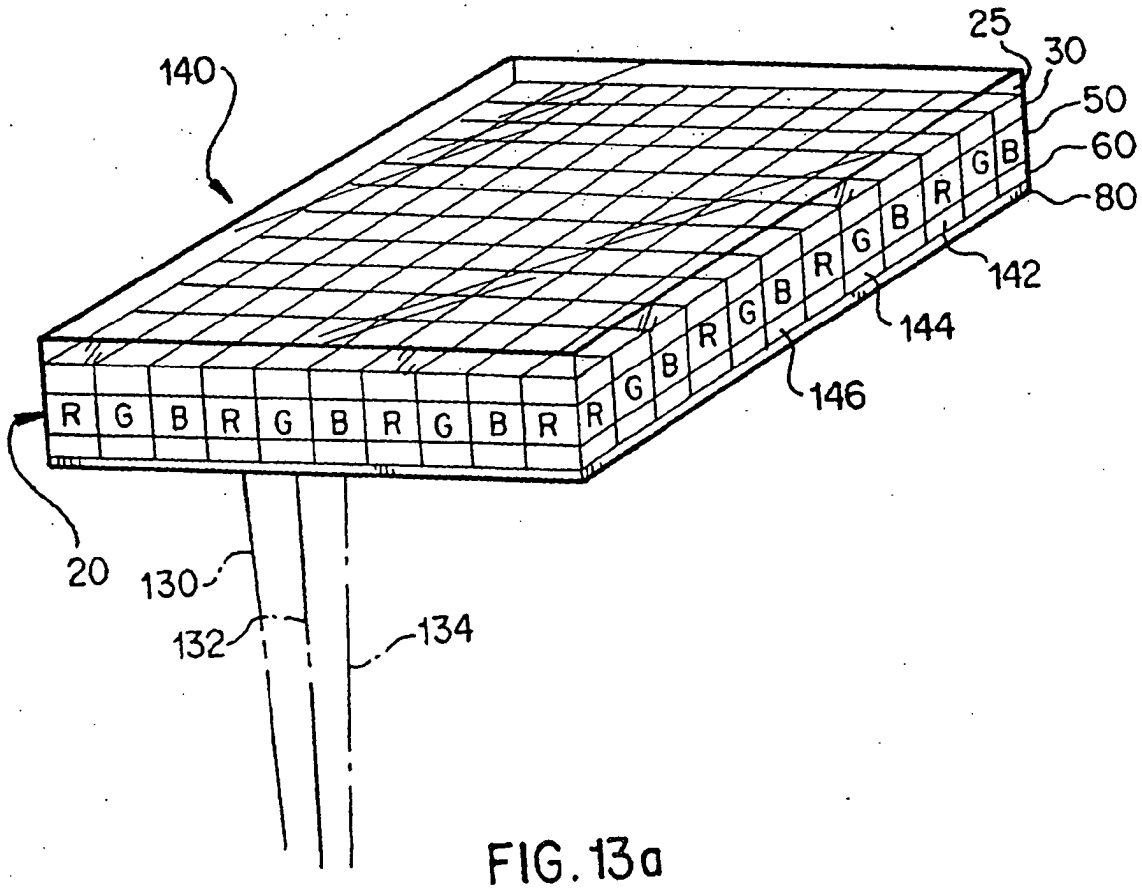

FIG. 13a

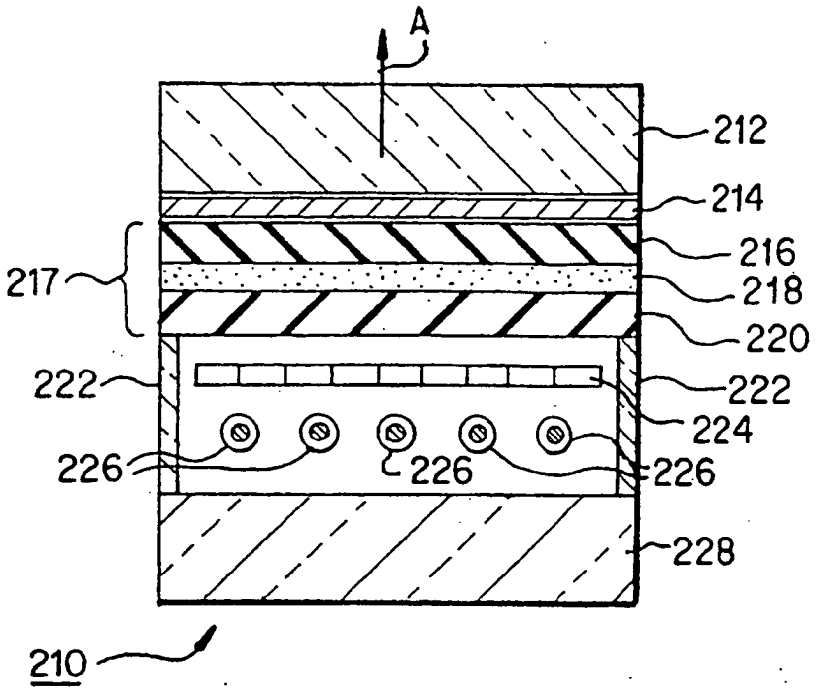
A
212
214
216
217
218
220
222
222
224
226
226
226
228
210

FIG. 14

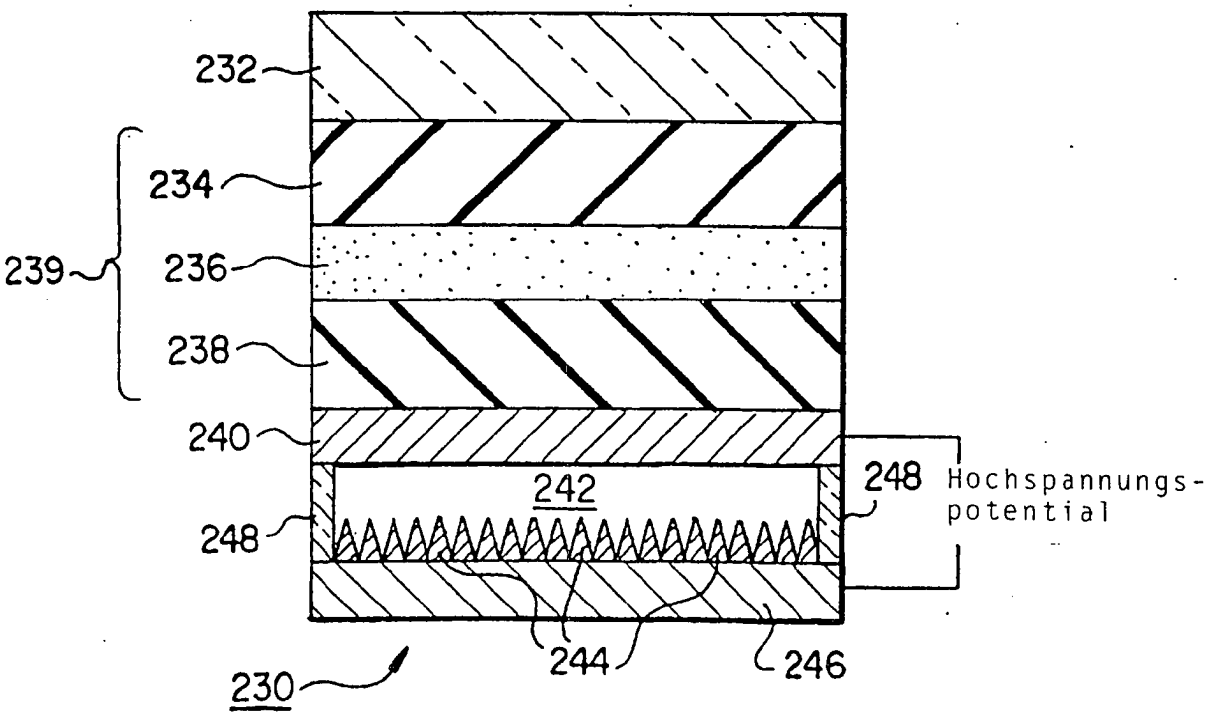
232
234
239
236
238
240
242
248
248
Hochspannungs-
potential
244
246
230

FIG. 15

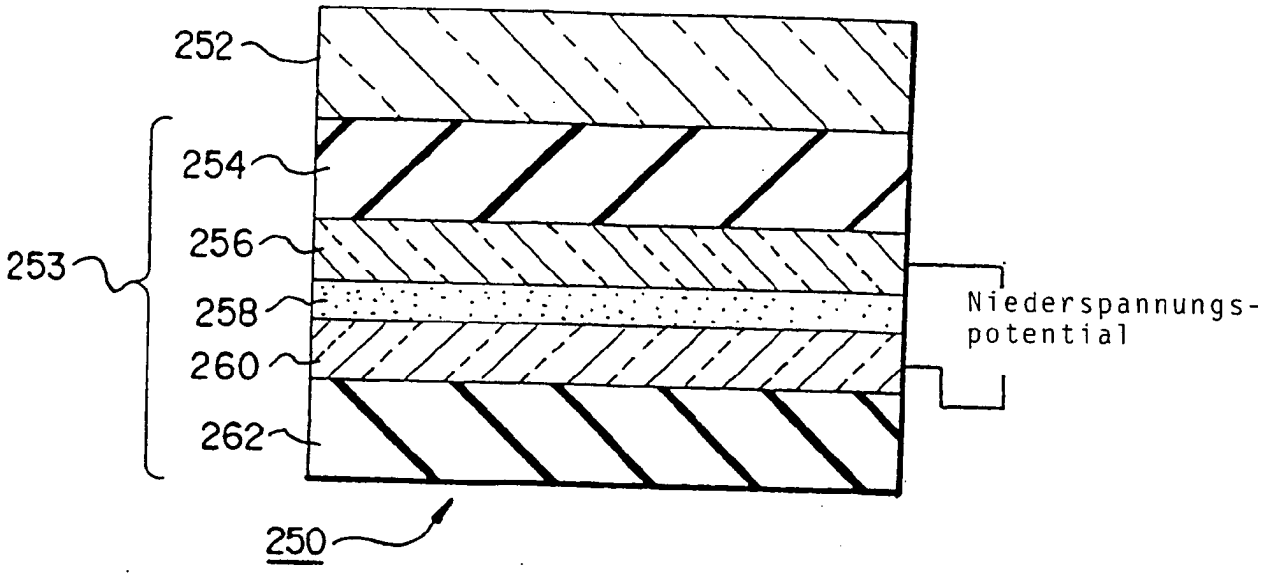
252
254
253
256
258
260
262
250
Niederspannungs-
potential

FIG.16

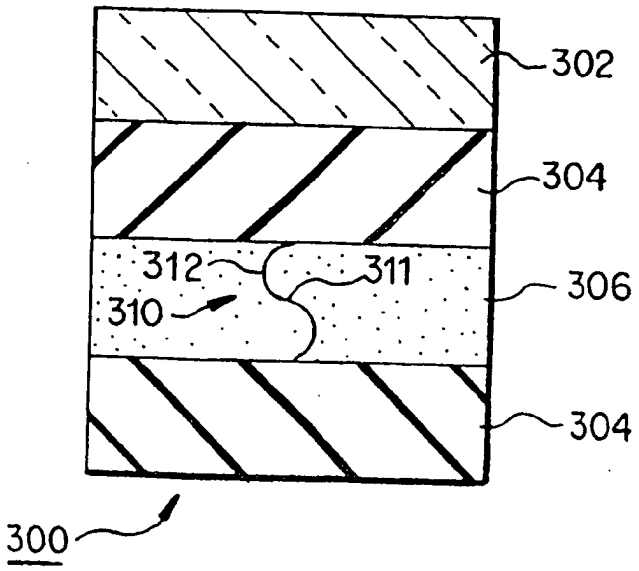
302
304
312
311
310
306
304
300

FIG.17

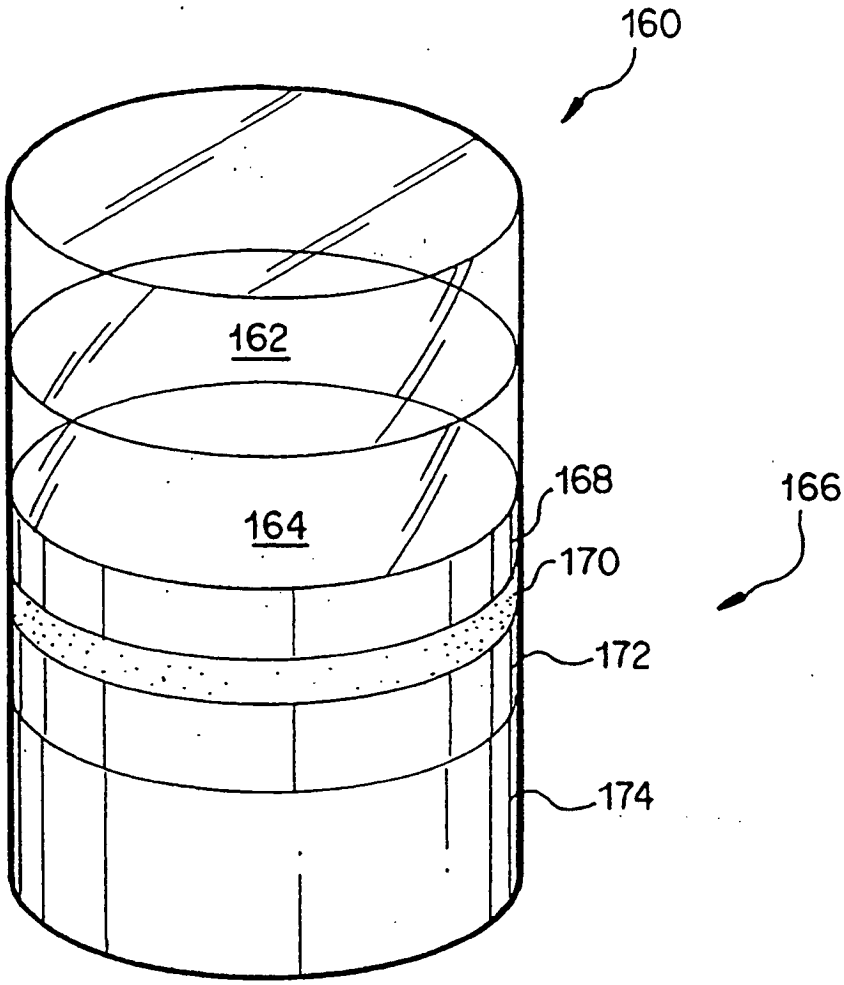

FIG. 18

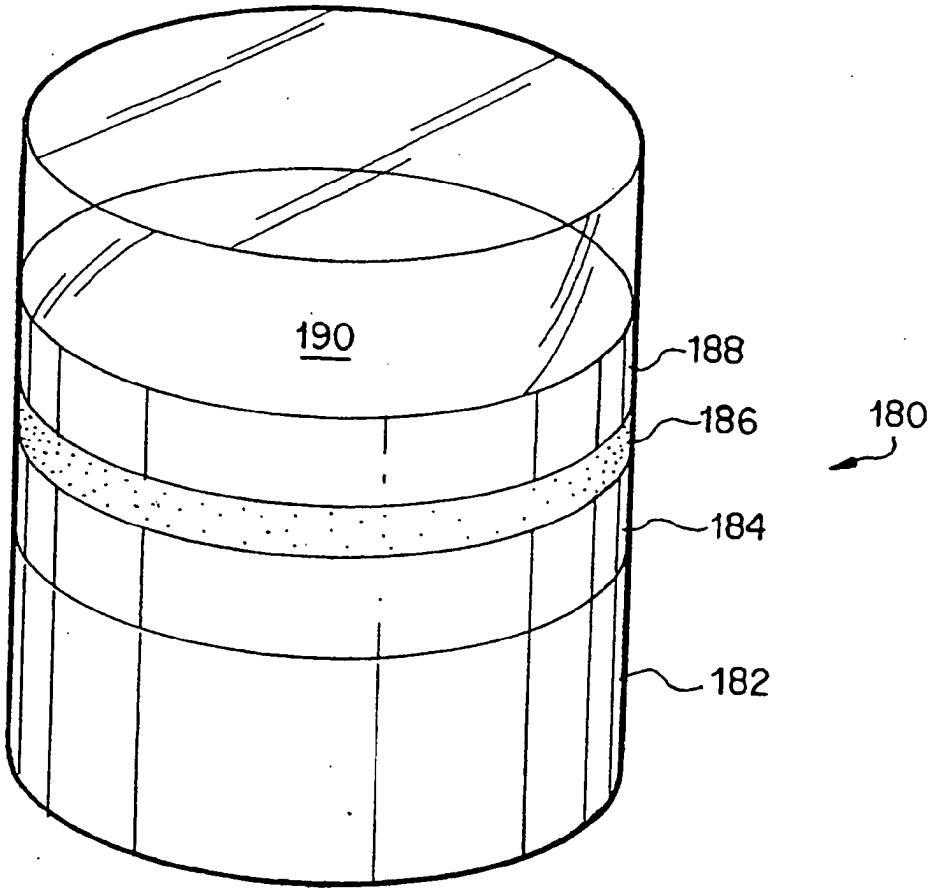

FIG. 19

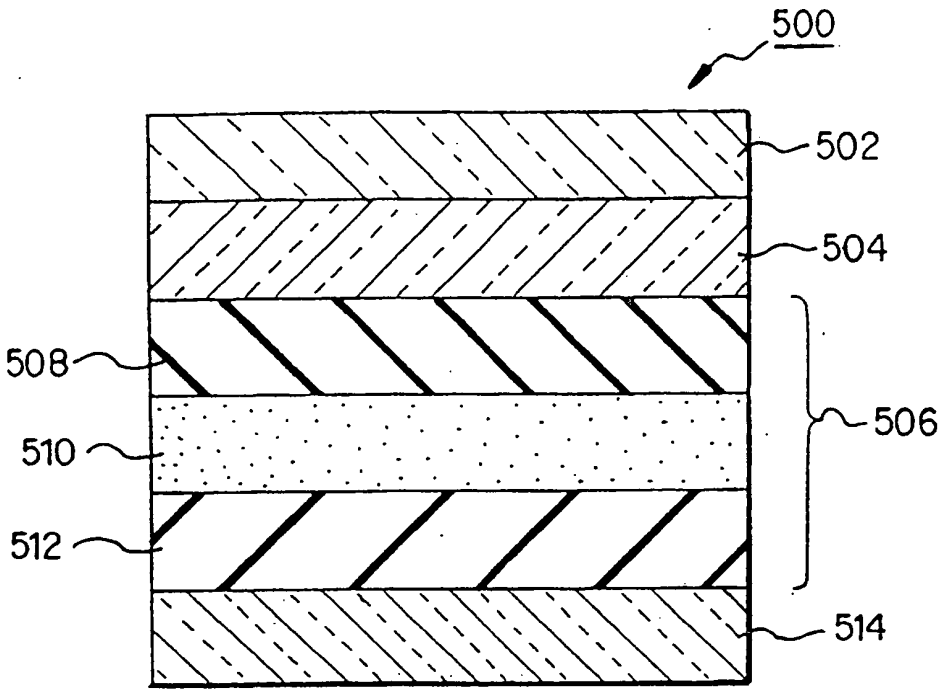
500
502
504
508
506
510
512
514

FIG. 20

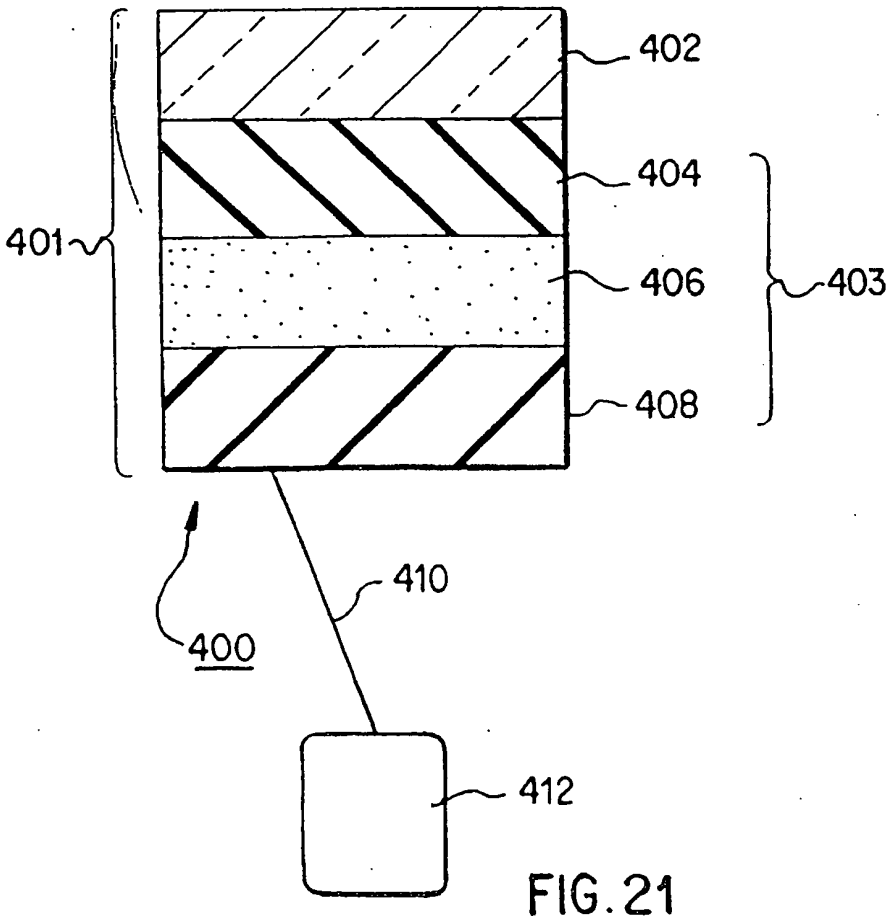
402
404
401
406
403
408
410
400
412

FIG. 21

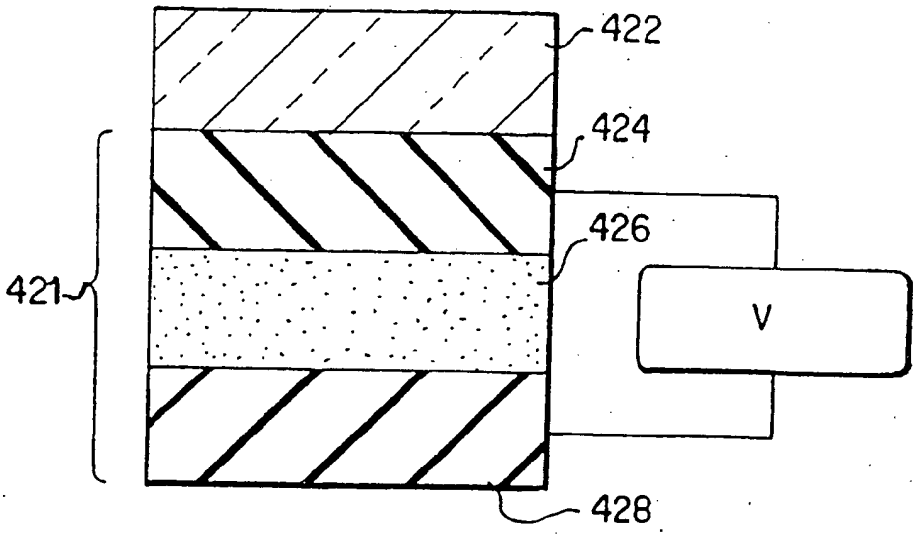

FIG. 22

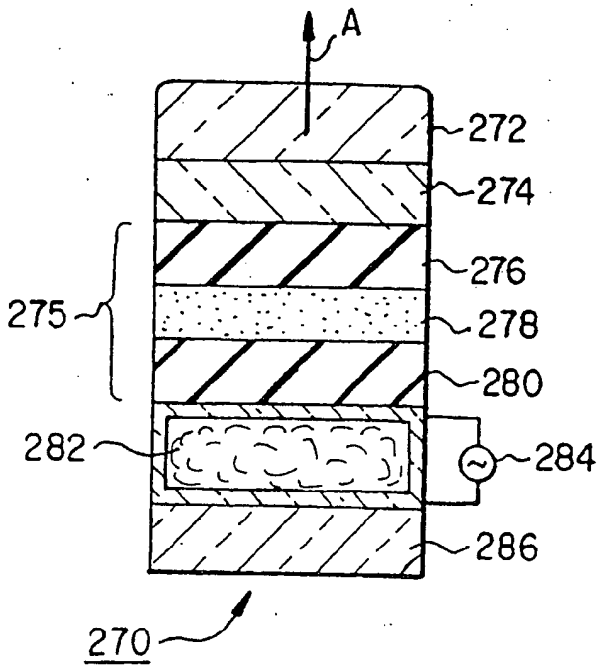

FIG. 23