



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 603 15 606 T2** 2008.05.08

(12) **Übersetzung der europäischen Patentschrift**

(97) **EP 1 485 747 B1**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **603 15 606.1**

(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/IL03/00237**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **03 710 195.3**

(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 2003/081320**

(86) PCT-Anmeldetag: **19.03.2003**

(87) Veröffentlichungstag
der PCT-Anmeldung: **02.10.2003**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **15.12.2004**

(97) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung beim EPA: **15.08.2007**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **08.05.2008**

(51) Int Cl.⁸: **G02B 27/14** (2006.01)
G02B 23/10 (2006.01)

(30) Unionspriorität:

14880402 **21.03.2002** **IL**

(73) Patentinhaber:

Lumus Ltd., Rehovot, IL

(74) Vertreter:

**Patentanwälte Eisele, Dr. Otten, Dr. Roth & Dr.
Dobler, 88212 Ravensburg**

(84) Benannte Vertragsstaaten:

**AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB,
GR, HU, IE, IT, LI, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK,
TR**

(72) Erfinder:

AMITAI, Yaakov, 76229 Rehovot, IL

(54) Bezeichnung: **OPTISCHE LICHTLEITERVORRICHTUNG**

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

Gebiet der Erfindung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft substratgeleitete optische Vorrichtungen und insbesondere Vorrichtungen, die eine Mehrzahl reflektierender Flächen enthalten, die von einem gemeinsamen, lichtdurchlässigen Substrat getragen werden, auch als Lichtleiter bezeichnet.

[0002] Die Erfindung kann mit Vorteil in einer großen Zahl von Abbildungsanwendungen implementiert werden, wie beispielsweise in Head-up-Displays ("Datenhelmen") und Headup-Anzeigen (projizierte Frontscheibenanzeigen), Mobiltelefonen, kompakten Displays, 3-D-Displays, kompakten Strahlausweitern sowie Nicht-Abbildungsanwendungen, wie Flachbildschirmanzeigen, kompakten Leuchtkörpern und Scannern.

Hintergrund der Erfindung

[0003] Eine der wichtigen Anwendungen für kompakte optische Elemente sind Head-up-Displays, wobei ein optisches Modul sowohl als Abbildungslinse wie als Combiner ("Kombinierer") dient, in dem eine zweidimensionale Anzeige zur Unendlichkeit abgebildet und in das Auge eines Beobachters reflektiert wird. Die Abbildung kann direkt von einem Raumlichtmodulator (SLM), wie einer Kathodenstrahlröhre (CRT), einem Flüssigkristalldisplay (LCD), einem OLED-Array oder einer Scan-Quelle und ähnlichen Vorrichtungen empfangen werden, oder indirekt über eine Relais-Linse oder ein Lichtquellenleiterbündel. Das Display umfasst ein Array aus Elementen (Pixel), die mit einem Kollimator zur Unendlichkeit abgebildet und mittels einer reflektierenden oder teilreflektierenden Fläche, die als Combiner für undurchsichtige und durchsichtige Anwendungen dient, in das Auge des Beobachters übertragen werden. In der Regel wird für diese Zwecke ein herkömmliches optisches Freiraummodul benützt. Leider wird mit der Vergrößerung des gewünschten Sichtfelds ("Field of Vision" – FOV) des Systems ein derartiges herkömmliches Optikmodul größer, schwerer, unhandlicher und deshalb auch für Geräte mit bescheidener Leistung unpraktisch. Dies ist ein Hauptnachteil für alle Arten von Displays, besonders aber für Head-Mount-Anwendungen, bei denen das System notwendigerweise so leicht und kompakt wie möglich sein muss.

[0004] Das Bemühen um Kompaktheit hat zu mehreren unterschiedlich komplexen Lösungen geführt. So beschreibt US-Patent-Nr. 5,453,877 (Thomson-CSF) ein optisches Kollimationssystem, das für die Montage an einem Helm vorgesehen ist und das die Überlagerung von Informationen über die Außenlandschaft ermöglicht. Das optische System erlaubt eine optische Vorrichtung, die eine durchsichtige Platte mit zwei parallelen Seiten und zwei Parabolspiegeln auf gegenüber liegenden Enden vorsieht. Die gerichtete Strahlung trifft, eine der parallelen Flächen überquerend, auf den ersten Parabolspiegel, wird anschließend vom ersten Parabolspiegel totalreflektiert, erfährt auf den parallelen Flächen mehrere Totalreflexionen und wird, eine der parallelen Flächen querend, mittels des zweiten Parabolspiegels ausgekoppelt. Der zweite Parabolspiegel ist teilweise transparent, um die Transparenz-Übertragung einer externen Strahlung zu ermöglichen.

[0005] Einerseits sind die bestehenden Lösungen für die meisten praktischen Anwendungen noch immer nicht ausreichend kompakt, und andererseits leiden sie unter größeren Nachteilen, was ihre Herstellbarkeit betrifft. Überdies ist die Eye-Motion-Box (Austrittspupille) der aus diesen Konstruktionen resultierenden optischen Sichtwinkel in der Regel sehr klein – normalerweise kleiner als 8 mm. Das optische System reagiert deshalb äußerst empfindlich, auch auf kleine Bewegungen des optischen Systems im Verhältnis zum Auge des Beobachters, und ermöglicht keine ausreichende Pupillenbewegung zum bequemen Lesen der Texte von solchen Displays.

Offenbarung der Erfindung

[0006] Die vorliegende Erfindung ermöglicht die Konstruktion und Herstellung sehr kompakter optischer Lichtleiterelemente (LOE), unter anderem für Head-up-Displays. Die Erfindung ermöglicht relativ breite FOVs zusammen mit relativ großen Eye-Motion-Box-Werten. Das resultierende optische System bietet ein großes Qualitätsbild, das auch große Augenbewegungen zulässt. Das von der vorliegenden Erfindung angebotene System ist besonders vorteilhaft, weil es wesentlich kompakter als die Implementierungen nach dem Stand der Technik und trotzdem problemlos auch in optische Systeme mit Spezialkonfigurationen integrierbar ist.

[0007] Die Erfindung ermöglicht auch die Konstruktion verbesserter Head-Up-Displays (HUDs). Seit der Einführung solcher Displays vor über drei Jahrzehnten hat es in diesem Bereich große Fortschritte gegeben. HUDs haben an Beliebtheit gewonnen und spielen heute nicht nur in den meisten Kampfflugzeugen, sondern

auch in Zivilflugzeugen eine wichtige Rolle, in denen HUD-Systeme zu einer Schlüsselkomponente für Landevorgänge bei schlechter Sicht geworden sind. Darüber hinaus gab es in letzter Zeit zahlreiche Vorschläge und Entwürfe für HUDs in Automobilanwendungen, wo sie den Fahrer potentiell als Fahr- und Navigationshilfe unterstützen können. Dennoch weisen die HUDs nach dem Stand der Technik einige signifikante Nachteile auf. Alle HUDs der aktuellen Konstruktion benötigen eine Anzeigequelle, die vom Combiner eine erhebliche Distanz versetzt sein muss, um zu gewährleisten, dass die Quelle die gesamte Combiner-Oberfläche beleuchtet. Daraus folgt, dass das Combiner-Projektor-HUD-System notwendigerweise unhandlich und groß ist und folglich einen beträchtlichen Installationsraum benötigt, wodurch es schwierig zu installieren und manchmal auch unsicher in der Verwendung ist. Die große optische Apertur herkömmlicher HUDs stellt ebenfalls eine beträchtliche optische Konstruktionsherausforderung dar, die den HUDs entweder Leistungseinbußen bringt oder, wo Hochleistung gefordert ist, höhere Kosten verursacht. Die chromatische Streuung holographischer Qualitäts-HUDs ist von besonderer Bedeutung.

[0008] Eine wichtige Anwendung der vorliegenden Erfindung betrifft ihre Implementierung in einem kompakten HUD, wodurch die erwähnten Nachteile gemildert werden. Im HUD-Design der aktuellen Erfindung wird die Combiner mit einer kompakten Anzeigequelle beleuchtet, die am Substrat befestigt werden kann. Folglich ist das Gesamtsystem höchst kompakt und lässt sich problemlos in unterschiedlichen Konfigurationen für eine breite Anwendungspalette installieren. Außerdem ist die chromatische Streuung der Anzeige vernachlässigbar und kann mit breiten Spektralquellen operieren, einschließlich einer herkömmlichen Weißlichtquelle. Zusätzlich erweitert die vorliegende Erfindung das Bild, so dass der Wirkungsbereich des Combiners wesentlich größer sein kann als der Bereich, der von der Lichtquelle tatsächlich beleuchtet wird.

[0009] Eine weitere wichtige Anwendung der vorliegenden Erfindung besteht in der Bereitstellung eines großen Bildschirms mit einer echten dreidimensionalen (3-D) Ansicht. Die laufenden Entwicklungen in der Informationstechnologie haben zu einer steigenden Nachfrage nach 3-D-Anzeigen geführt. In der Tat befindet sich auf dem Markt bereits ein breites Angebot von 3-D-Ausrüstungen. Bei den verfügbaren Systemen müssen die Benutzer jedoch Spezialgeräte tragen, um die für das linke bzw. das rechte Auge vorgesehenen Bilder zu trennen. Solche gestützten „Aided-Viewing“-Systeme sind in vielen Berufsanwendungen gut etabliert. Eine weitere Ausdehnung in andere Bereiche wird jedoch „Free-Viewing“-Systeme mit höherem Sichtkomfort und einer besseren Anpassung an die Mechanismen der binokularen Sicht erfordern. Die auf dem Stand der Technik verfügbaren Lösungen dieses Problems haben unterschiedliche Nachteile und sind weniger leistungsfähig als vertraute 2-D-Displays, was die Bildqualität und den Betrachtungskomfort betrifft. Unter Anwendung der vorliegenden Erfindung ist es jedoch möglich, ein echtes Qualitäts-3-Dautostereoskop-Display zu implementieren, das keine Sichthilfen benötigt und problemlos in standardisierten optischen Produktionsverfahren herstellbar ist.

[0010] Eine weitere Anwendung der vorliegenden Erfindung ist die Bereitstellung eines kompakten Displays mit weitem FOV für mobile, tragbare Anwendungen, wie beispielsweise Mobiltelefone. Im heutigen Markt für drahtlosen Internetzugang steht ausreichend Bandbreite für volle Videoübertragung bereit. Ein einschränkender Faktor bleibt die Qualität des Displays im Endbenutzergerät. Das Erfordernis der Mobilität beschränkt die physische Größe des Displays; das Ergebnis ist ein Direkt-Display mit einer schlechten Bildanzeigequalität. Die vorliegende Erfindung ermöglicht ein physisch sehr kompaktes Display mit einem sehr großen virtuellen Bild. Dies ist ein Schlüsselmerkmal der mobilen Kommunikation, insbesondere für den mobilen Internetzugang, mit dem eine der Hauptbeschränkungen von dessen praktischer Implementierung gelöst wird.

[0011] Damit ermöglicht die vorliegende Erfindung die Anzeige des digitalen Inhalts einer vollformatigen Internetseite mit einem kleinen, tragbaren Gerät, wie etwa einem Mobiltelefon.

[0012] Das Grobziel der vorliegenden Erfindung ist deshalb die Milderung der Nachteile von kompakten optischen Anzeigevorrichtungen nach dem Stand der Technik und die Bereitstellung anderer optischer Komponenten und Systeme mit verbesserter Leistung gemäß spezifischer Anforderungen.

[0013] Die Erfindung schafft demgemäß eine optische Vorrichtung, die ein lichtdurchlässiges Substrat mit zwei Hauptflächen und Kanten umfasst; des weiteren optische Mittel, die in dem Substrat angeordnet sind, zum Koppeln der in einem bestimmten Sichtfeld (FOV) angeordneten Lichtwellen mittels Totalreflexion in das Substrat, und mindestens eine teilreflektierende, im Substrat untergebrachte Fläche, wobei die Fläche nicht parallel zu den Hauptflächen des Substrats ist. Die teilreflektierende Fläche ist eine ebene, winkelselektive Reflexionsfläche und so angeordnet, dass die in dem Sichtfeld befindlichen Lichtwellen zu beiden Seiten der teilreflektierenden Fläche ankommen.

Kurze Beschreibung der Zeichnungen

[0014] Die Erfindung wird zum besseren Verständnis im Zusammenhang mit bestimmten bevorzugten Ausführungsbeispielen unter Bezugnahme auf die nachstehenden illustrativen Figuren beschrieben.

[0015] Unter besonderer Bezugnahme auf die Figuren im Detail wird hervorgehoben, dass die dargestellten Einzelheiten nur exemplarisch und für Zwecke einer illustrativen Erörterung der bevorzugten Ausführungsbeispiele der vorliegenden Erfindung gezeigt werden, und dies in der Absicht einer Darstellung, die für die nützlichste und verständlichste Beschreibung der Grundsätze und konzeptuellen Aspekte der Erfindung gehalten wird. In diesem Sinne wird nicht der Versuch unternommen, Strukturdetails der Erfindung genauer als für ein fundamentales Verständnis der Erfindung nötig ist zu zeigen. Die Beschreibung ist gemeinsam mit den Zeichnungen als Anleitung für einschlägig bewanderte Fachpersonen dafür zu betrachten, wie die unterschiedlichen Formen der Erfindung in der Praxis ausgeführt werden können.

[0016] [Fig. 1](#) ist eine Seitenansicht einer allgemeinen Form optischer Faltvorrichtungen nach dem Stand der Technik;

[0017] [Fig. 2](#) ist eine Seitenansicht eines exemplarischen optischen Lichtleiterelements gemäß der vorliegenden Erfindung;

[0018] [Fig. 3A](#) und [Fig. 3B](#) illustrieren die gewünschten Reflexionsgrad- und Durchlässigkeitsmerkmale der in der vorliegenden Erfindung verwendeten selektiv reflektierenden Flächen für zwei Einfallswinkelbereiche;

[0019] [Fig. 4](#) illustriert die Reflexionsgradkurven als Funktion der Wellenlänge für eine exemplarische Zweifarbbeschichtung;

[0020] [Fig. 5](#) illustriert eine Reflexionsgradkurve als Funktion des Einfallswinkels für eine exemplarische Zweifarbbeschichtung;

[0021] [Fig. 6](#) illustriert die Reflexionsgradkurven als Funktion der Wellenlänge für eine andere Zweifarbbeschichtung;

[0022] [Fig. 7](#) illustriert eine Reflexionsgradkurve als Funktion des Einfallswinkels für eine andere Zweifarbbeschichtung;

[0023] [Fig. 8](#) ist eine schematische Querschnittansicht einer Reflexionsfläche gemäß der vorliegenden Erfindung;

[0024] [Fig. 9A](#) und [Fig. 9B](#) sind Diagramme zur Illustration detaillierter Querschnittansichten eines exemplarischen Arrays selektiv reflektierender Flächen;

[0025] [Fig. 10](#) ist ein Diagramm zur Illustration einer detaillierten Querschnittansicht eines exemplarischen Arrays selektiv reflektierender Flächen, wobei am Boden des optischen Lichtleiterelements eine dünne, durchsichtige Schicht einzementiert ist;

[0026] [Fig. 11](#) illustriert detaillierte Querschnittansichten des Reflexionsgrads von einem exemplarischen Array selektiv reflektierender Flächen für drei unterschiedliche Betrachtungswinkel;

[0027] [Fig. 12](#) ist eine Querschnittansicht einer exemplarischen Vorrichtung gemäß der vorliegenden Erfindung, die eine Halbwellenlängenplatte zur Rotation der Polarisierung des eintreffenden Lichts nützt;

[0028] [Fig. 13](#) stellt zwei Diagramme dar, welche simulierte Berechnungen für die Helligkeit als Funktion des FOVs über das Bild der projizierten Anzeige und die äußere (durchsichtige) Szene repräsentieren;

[0029] [Fig. 14](#) ist eine Grafik, die eine Konfiguration eines optischen Lichtleiterelements (LOE) mit einem Array aus vier teilreflektierenden Flächen gemäß der vorliegenden Erfindung illustriert;

[0030] [Fig. 15](#) ist eine Grafik, die eine Konfiguration eines optischen Lichtleiterelements mit einem Array aus vier teilreflektierenden Flächen gemäß einem anderen Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung illustriert;

- [0031] [Fig. 16](#) ist eine Grafik, die ein Verfahren zur Erweiterung eines Strahls entlang beider Achsen unter Anwendung einer doppelten LOE-Konfiguration verwendet;
- [0032] [Fig. 17](#) ist eine Seitenansicht einer Vorrichtung gemäß der vorliegenden Erfindung, die eine Flüssigkristallanzeige-Lichtquelle (LCD) verwendet;
- [0033] [Fig. 18](#) ist eine Grafik, die einen optischen Plan eines Kollimations- und optischen Faltelements gemäß der vorliegenden Erfindung illustriert;
- [0034] [Fig. 19](#) ist eine Grafik, die den Auftreffbereich des in das Substrat gekoppelten Lichts auf der Frontfläche der Kollimationslinse gemäß der vorliegenden Erfindung illustriert;
- [0035] [Fig. 20](#) ist eine Grafik, die ein äquivalentes, entfaltetes Diagramm eines optischen Plans gemäß der vorliegenden Erfindung illustriert;
- [0036] [Fig. 21](#) ist eine Grafik, die ein Diagramm eines optischen Plans gemäß der vorliegenden Erfindung unter Anwendung von zwei Paaren paralleler Reflexionsspiegel zur Erzielung eines weiten Sichtfeldes illustriert;
- [0037] [Fig. 22A](#) ist eine Draufsicht und [Fig. 22B](#) ist eine Seitenansicht einer Alternativkonfiguration zur Lichterweiterung gemäß der vorliegenden Erfindung;
- [0038] [Fig. 23](#) illustriert ein exemplarisches Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung, das in eine Standardbrillenfassung eingebettet ist;
- [0039] [Fig. 24](#) ist eine Grafik, die ein exemplarisches Verfahren zum Einbetten eines Ausführungsbeispiels der vorliegenden Erfindung in eine mobile, tragbare Vorrichtung illustriert, wie beispielsweise in ein Mobiltelefon;
- [0040] [Fig. 25](#) illustriert ein exemplarisches HUD-System gemäß der vorliegenden Erfindung;
- [0041] [Fig. 26](#) illustriert ein exemplarisches Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung, bei dem das optische Lichtleiterelement mit einem Array von Anzeigequellen beleuchtet wird;
- [0042] [Fig. 27-29](#) sind Grafiken, die ein exemplarisches Ausführungsbeispiel eines Abbildungssystems gemäß der vorliegenden Erfindung illustrieren, das ein dreidimensionales Bild auf die Beobachteraugen wirft;
- [0043] [Fig. 30](#) illustriert ein Ausführungsbeispiel für die herkömmliche Implementierung einer Sternenlichtverstärker-Vorrichtung (SLA);
- [0044] [Fig. 31](#) illustriert ein exemplarisches Ausführungsbeispiel für eine verbesserte Implementierung eines Sternenlichtverstärkers (SLA) unter Anwendung von Vorrichtungen gemäß der vorliegenden Erfindung;
- [0045] [Fig. 32](#) ist eine Seitenansicht einer Vorrichtung gemäß der vorliegenden Erfindung, die eine reflektive Flüssigkristall-Anzeigenquelle (LCD) mit einer herkömmlichen Beleuchtungsvorrichtung verwendet;
- [0046] [Fig. 33](#) ist eine Seitenansicht einer Vorrichtung gemäß der vorliegenden Erfindung, die eine reflektive Flüssigkristall-Anzeigenquelle (LCD) verwendet, in der ein Lichtleiterelement zur Beleuchtung der Quelle benutzt wird;
- [0047] [Fig. 34](#) ist eine Grafik zur Illustration eines Verfahrens zur Herstellung eines Arrays selektiv reflektierender Flächen gemäß der vorliegenden Erfindung;
- [0048] [Fig. 35](#) ist eine Grafik zur Illustration einer Messanordnung unter Anwendung zweier Prismen zum Messen des Reflexionsgrads einer beschichteten Platte unter zwei unterschiedlichen Winkeln; und
- [0049] [Fig. 36](#) ist eine Grafik zur Illustration eines Messsystems unter Anwendung zweier Prismen zum Messen des Reflexionsgrads einer beschichteten Platte unter zwei unterschiedlichen Winkeln bei zusätzlicher Verwendung eines Faltrismas zur Ausrichtung des zweiten Ausgangsstrahls am einfallenden Eingangsstrahl.

[0050] In [Fig. 1](#) ist eine herkömmliche Faltoptikanordnung dargestellt, bei der das Substrat **2** von einer Anzeigequelle **4** beleuchtet wird. Die Anzeige wird von einer Kollimationslinse **6** parallel gerichtet. Das Licht von der Anzeigequelle **4** wird über eine erste reflektierende Fläche **8** in das Substrat **2** gekoppelt, so dass der Hauptstrahl **10** parallel zur Substratebene liegt. Eine zweite reflektierende Fläche **12** koppelt das Licht aus dem Substrat heraus und in das Auge eines Beobachters **14** hinein. Trotz der Kompaktheit dieser Konfiguration weist sie erhebliche Nachteile auf; insbesondere kann ein nur sehr beschränktes FOV erzielt werden. Wie in [Fig. 1](#) gezeigt, ist der höchstzulässige außeraxiale Winkel im Substrat:

$$\alpha_{\max} = \arctan\left(\frac{T - d_{\text{eye}}}{2l}\right) \quad (1)$$

wobei T die Substratdicke bezeichnet;
 d_{eye} den gewünschten Austrittspupillendurchmesser bezeichnet; und
 l die Distanz zwischen den reflektierenden Flächen **8** und **12** bezeichnet.

[0051] Bei Winkeln größer als α_{\max} werden die Strahlen von der Substratfläche reflektiert, bevor sie an der reflektierenden Fläche **12** ankommen. Folglich wird die reflektierende Fläche **12** in einer unerwünschten Richtung beleuchtet, und es erscheinen Reflexbilder.

[0052] Das maximal erzielbare FOV bei dieser Konfiguration ist deshalb:

$$\text{FOV}_{\max} \approx 2v\alpha_{\max} \quad (2)$$

wobei v der Brechungsindex des Substrats ist. Normalerweise liegen die Brechungsindexwerte im Bereich von 1,5-1,6.

[0053] Der Durchmesser der Augenpupille beträgt für gewöhnlich 2-6 mm. Zur Aufnahme von Bewegungen oder Fehlausrichtungen der Anzeige ist ein größerer Austrittspupillendurchmesser notwendig. Bei Annahme des minimalen erwünschten Werts bei annähernd 8-10 mm ist die Distanz l zwischen der optischen Achse des Auges und der Seite des Kopfes in der Regel zwischen 40 und 80 mm. Daraus folgt, dass auch für ein kleines FOV von 8° die erwünschte Substratdicke in der Größenordnung von 12 mm liegen würde.

[0054] Zur Überwindung des genannten Problems wurden unterschiedliche Methoden vorgeschlagen. Dazu gehört die Verwendung eines Vergrößerungsteleskops im Substrat und nicht-paralleler Kopplungsrichtungen. Doch auch bei diesen Lösungen und selbst wenn nur eine reflektierende Fläche berücksichtigt wird, bleibt die Systemdicke durch einen ähnlichen Wert beschränkt. Das FOV ist durch den Durchmesser der Projektion der reflektierenden Fläche **12** auf der Substratebene beschränkt. Das in Folge dieser Beschränkung maximal erzielbare FOV lässt sich mathematisch wie folgt ausdrücken:

$$\text{FOV}_{\max} \approx \frac{T \tan \alpha_{\text{sur}} - d_{\text{eye}}}{R_{\text{eye}}} \quad (3)$$

wobei α_{sur} der Winkel zwischen der reflektierenden Fläche und der Normalen zur Substratebene ist, und R_{eye} die Distanz zwischen dem Auge des Beobachters und dem Substrat ist (normalerweise etwa 30-40 mm).

[0055] In der Praxis kann $\tan \alpha_{\text{sur}}$ nicht viel größer als 1 sein. Für die oben beschriebenen Parameter eines FOV von 8° ist deshalb hier die verlangte Substratdicke in der Größenordnung von 7 mm, was eine Verbesserung im Vergleich zum vorigen Grenzwert darstellt. Dennoch nimmt die Substratdicke mit der Vergrößerung des verlangten FOV rasch zu. Beispielsweise beträgt die substratbegrenzende Dicke für verlangte FOVs von 15° und 30° 18 mm bzw. 25 mm.

[0056] Zur Milderung dieser Beschränkungen benützt die vorliegende Erfindung ein Array selektiv reflektierender Flächen, die in einem optischen Lichtleiterelement (LOE) hergestellt werden. In [Fig. 2](#) ist eine Querschnittansicht eines LOE gemäß der vorliegenden Erfindung dargestellt. Die erste reflektierende Fläche **16** wird von einer parallel gerichteten Anzeige **18** beleuchtet, die aus einer (nicht dargestellten) Lichtquelle hinter der Vorrichtung kommt. Die reflektierende Fläche **16** reflektiert das einfallende Licht von der Quelle, so dass das Licht im ebenen Substrat **20** durch interne Totalreflexion gefangen wird. Nach mehreren Reflexionen von den Flächen des Substrats erreichen die gefangenen Wellen ein Array selektiv reflektierender Flächen **22**, die das Licht aus dem Substrat heraus in das Auge eines Beobachters **24** koppeln. Unter der Annahme, dass die

mittlere Welle der Quelle aus dem Substrat **20** in eine Richtung normal zu der Substratfläche **26** ausgekoppelt wird und der außeraxiale Winkel der gekoppelten Welle in dem Substrat **20** α_{in} ist, ist der Winkel α_{sur2} zwischen den reflektierenden Flächen und der Normalen zur Substratebene:

$$\alpha_{sur2} = \frac{\alpha_{in}}{2} \quad (4)$$

[0057] Wie in [Fig. 2](#) zu sehen ist, kommen die gefangenen Strahlen an den reflektierenden Flächen aus zwei bestimmten Richtungen **28**, **30**. In diesem bestimmten Ausführungsbeispiel kommen die gefangenen Strahlen an der reflektierenden Fläche von einer dieser Richtungen **28** nach einer geraden Zahl von Reflexionen von den Substratflächen **26** an, wobei der Einfallswinkel β_{ref} zwischen dem gefangenen Strahl und der Normalen zur reflektierenden Fläche ist:

$$\beta_{ref} = 90^\circ - (\alpha_{in} - \alpha_{sur2}) = 90^\circ - \frac{\alpha_{in}}{2} \quad (5)$$

[0058] Die gefangenen Strahlen kommen an der reflektierenden Fläche von der zweiten Richtung **30** nach einer ungeraden Zahl an Reflexionen von den Substratflächen **26** an, wobei der außeraxiale Winkel $\alpha'_{in} = 180^\circ - \alpha_{in}$ und der Einfallswinkel zwischen dem gefangenen Strahl und der Normalen zur reflektierenden Fläche ist:

$$\beta'_{ref} = 90^\circ - (\alpha'_{in} - \alpha_{sur2}) = 90^\circ - (180^\circ - \alpha_{in} - \alpha_{sur2}) = -90^\circ + \frac{3\alpha_{in}}{2} \quad (6)$$

[0059] Zur Verhinderung unerwünschter Reflexionen und Reflexbilder ist es wichtig, dass der Reflexionsgrad für eine dieser zwei Richtungen vernachlässigbar ist. Die verlangte Unterscheidung zwischen den zwei Einfallrichtungen kann erreicht werden, wenn ein Winkel signifikant kleiner als der andere ist. Zwei Lösungen dieser Anforderung, welche beide die Reflexionseigenschaften von S-polarisiertem Licht ausnützen, sind vorgeschlagen worden; beide Lösungen leiden jedoch unter Nachteilen. Der Hauptnachteil der ersten Lösung ist die relativ große Zahl reflektierender Flächen zur Realisierung eines akzeptablen FOV. Der Hauptnachteil der zweiten Konfiguration ist der unerwünschte Reflexionsgrad der Strahlen mit einem Innenwinkel α_{in} . Hier wird eine Alternativlösung beschrieben, welche die Reflexionseigenschaften von P-polarisiertem Licht und in einigen Fällen auch S-polarisiertem Licht ausnützt und eine flachere Reflexionsflächenneigung schafft, so dass für eine bestimmte Anwendung weniger reflektierende Flächen erforderlich sind.

[0060] Die Reflexionsmerkmale als Funktion des Einfallswinkels von S- und P-polarisiertem Licht sind unterschiedlich. Betrachten wir beispielsweise eine Schnittstelle Luft/Kronglas. Während beide Polarisationen bei Nulleinfall 4% reflektieren, steigt der Fresnel-Reflexionsgrad des auf der Grenze einfallenden, S-polarisierten Lichts gleichförmig bis auf 100% bei streifendem Einfall, und der Fresnel-Reflexionsgrad des P-polarisierten Lichts geht zunächst unter dem Brewsterwinkel auf 0% zurück und steigt erst dann beim streifenden Einfall auf 100%. Folglich lässt sich eine Beschichtung mit hohem Reflexionsgrad für S-polarisiertes Licht bei einem spitzen Einfallswinkel und Nahe-Null-Reflexionsgrad bei normalem Einfall entwerfen. Des weiteren lässt sich ebenfalls problemlos eine Beschichtung für ein P-polarisiertes Licht mit sehr geringem Reflexionsgrad bei hohen Einfallswinkeln und einem hohen Reflexionsgrad bei niedrigen Einfallswinkeln konstruieren. Diese Eigenschaft lässt sich dazu nützen, unerwünschte Reflexionen und Reflexbilder wie beschrieben zu vermeiden, indem die Reflexion in eine der zwei Richtungen eliminiert wird. Wenn beispielsweise $\beta_{ref} 25^\circ$ aus den Gleichungen (5) und (6) gewählt wird, kann Folgendes berechnet werden:

$$\beta'_{ref} = 105^\circ; \alpha_{in} = 130^\circ; \alpha'_{in} = 50^\circ; \alpha_{sur2} = 65^\circ \quad (7)$$

[0061] Wenn nun eine reflektierende Fläche bestimmt wird, für die β'_{ref} nicht reflektiert wird, aber β_{ref} sehr wohl, wird die verlangte Bedingung erreicht. [Fig. 3A](#) und [Fig. 3B](#) illustrieren das erwünschte Reflexionsverhalten selektiv reflektierender Flächen. Während der Strahl **32** ([Fig. 3A](#)) mit einem außeraxialen Winkel $\beta_{ref} \sim 25^\circ$ teilreflektiert und aus dem Substrat **34** ausgekoppelt wird, wird der Strahl **36** ([Fig. 3B](#)), der in einem außeraxialen Winkel $\beta'_{ref} \sim 75^\circ$ auf die reflektierende Fläche trifft (entspricht $\beta'_{ref} \sim 105^\circ$), durch die reflektierende Fläche **34** ohne feststellbare Reflexion übertragen.

[0062] In [Fig. 4](#) sind die Reflexionskurven einer zweifarbigen Beschichtung dargestellt, die dafür ausgelegt ist, die oben erwähnten Reflexionsmerkmale für vier unterschiedliche Einfallswinkel zu erreichen: 20° , 25° , 30° und 75° , sämtlich für P-polarisiertes Licht. Während die Reflexion des Steilsichtstrahls über das gesamte relevante Spektrum vernachlässigbar ist, erreichen die Strahlen bei außeraxialen Winkeln von 20° , 25° und 30° über das gleiche Spektrum beinahe konstante Reflexionsgrade von 26%, 29%, bzw. 32%. Selbstverständlich nimmt der Reflexionsgrad mit der Spitzwinkeligkeit der einfallenden Strahlen ab.

[0063] In [Fig. 5](#) sind die Reflexionskurven der selben zweifarbigen Beschichtung als Funktion des Einfallswinkels für P-polarisiertes Licht mit der Wellenlänge $\lambda = 550 \text{ nm}$ dargestellt. In dieser Kurve finden sich offensichtlich zwei signifikante Bereiche: zwischen 50° und 80° , wo der Reflexionsgrad sehr gering ist, und zwischen 15° und 40° , wo der Reflexionsgrad mit abnehmenden Einfallswinkeln gleichförmig zunimmt. So lange folglich für ein gegebenes FOV sichergestellt werden kann, dass das gesamte Winkelspektrum von β'_{ref} , bei dem sehr geringe Reflexionen erwünscht sind, innerhalb des ersten Bereichs angeordnet ist, während das gesamte Winkelspektrum von β_{ref} , wo höhere Reflexionen verlangt werden, innerhalb des zweiten Bereichs angeordnet ist, lässt sich die Reflexion von nur einem Substratmodus in das Auge des Beobachters und ein reflexfreies Bild gewährleisten.

[0064] Bisher wurde ausschließlich P-polarisiertes Licht analysiert. Diese Behandlung reicht aus für ein System, das eine polarisierte Anzeigequelle verwendet, wie etwa eine Flüssigkristallanzeige (LCD), oder für ein System, bei dem die Ausgangshelligkeit nicht entscheidend ist und das S-polarisierte Licht ausgefiltert werden kann. Allerdings kann für eine unpolarisierte Anzeigequelle, wie eine CRT oder ein OLED, und wenn die Helligkeit entscheidend ist, S-polarisiertes Licht nicht vernachlässigt werden und muss im Konstruktionsverfahren berücksichtigt werden. Obwohl dies anspruchsvoller ist als das P-polarisierte Licht, ist es glücklicherweise auch möglich, eine Beschichtung mit dem selben Verhalten für ein S-polarisiertes Licht wie oben erörtert zu konstruieren, d. h. eine Beschichtung mit einem sehr geringen Reflexionsgrad für ein gesamtes Winkelspektrum β'_{ref} und höhere, festgelegte Reflexionen für das entsprechende Winkelspektrum β_{ref} .

[0065] In [Fig. 6](#) und [Fig. 7](#) sind die Reflexionskurven der selben zweifarbigen Beschichtung dargestellt, wie oben unter Bezugnahme auf [Fig. 4](#) und [Fig. 5](#) beschrieben, hier allerdings für S-polarisiertes Licht. Offensichtlich bestehen Unterschiede zwischen dem Verhalten der zwei Polarisierungen: Der Bereich der steilen Winkel, wo die Reflexion sehr gering ist, ist für die S-Polarisierung viel enger; es ist wesentlich schwieriger, eine konstante Reflexion für einen bestimmten Winkel über die gesamte Spektralbandbreite für das S-polarisierte Licht zu erreichen als für das P-polarisierte Licht; und schließlich ist das einförmige Verhalten des S-polarisierten Lichts im Winkelspektrum von β_{ref} , wo höhere Reflexionen erforderlich sind, jenem des P-polarisierten Lichts entgegengesetzt, d. h. die Reflexion des S-polarisierten Lichts nimmt mit der Spitzwinkeligkeit der einfallenden Strahlen zu. Offenbar könnte dieses widersprüchliche Verhalten der zwei Polarisierungen im Winkelspektrum von β_{ref} bei der optischen Konstruktion des Systems nutzbar gemacht werden, um die gewünschte Reflexion des Gesamtlichts gemäß den besonderen Erfordernissen der einzelnen Systeme zu erreichen.

[0066] Es versteht sich, dass der Reflexionsgrad der ersten reflektierenden Fläche **16** ([Fig. 2](#)) so hoch wie möglich sein sollte, um soviel Licht wie möglich von der Anzeigequelle auf das Substrat zu koppeln. Unter der Annahme, dass die zentrale Welle der Quelle normal auf das Substrat fällt, d. h. $\alpha_0 = 180^\circ$, ist der Winkel α_{sur1} zwischen der ersten reflektierenden Fläche und der Normalen zur Substratebene:

$$\alpha_{\text{sur1}} = \frac{\alpha_{\text{in}} + \alpha_0}{2}; \alpha'_{\text{sur1}} = \frac{\alpha'_{\text{in}} + \alpha_0}{2}. \quad (8)$$

[0067] Die Lösungen für α_{sur1} und α'_{sur1} in dem voranstehenden Beispiel sind 155° bzw. 115° .

[0068] [Fig. 8](#) ist eine Querschnittsansicht der reflektierenden Fläche **16**, die Licht **38** von einer (nicht dargestellten) Anzeigequelle koppelt und durch totale Innenreflexion im Substrat **20** einfängt. So wie hier dargestellt, ist die Projektion S_1 der reflektierenden Fläche auf der Substratfläche **40**:

$$S_1 = T \cdot \tan(\alpha), \quad (9)$$

wobei T die Substratdicke ist.

[0069] Die Lösung $\alpha = \alpha'_{\text{sur1}}$ ist bevorzugt, weil der Kopplungsbereich auf der Substratfläche für das vorangehende Beispiel mehr als 4,5 mal größer ist als für die früheren Lösungen. Ähnliche Verbesserungsquoten gelten auch für andere Systeme. Unter der Annahme, dass die gekoppelte Welle nach Reflexion von der Fläche **16** den gesamten Bereich der reflektierenden Fläche beleuchtet, beleuchtet sie einen Bereich von $2S_1 = 2T \tan(\alpha)$ auf der Substratfläche. Andererseits ist die Projektion einer Reflexionsfläche **22** auf der Substratebene gleich $S_2 = T \tan(\alpha_{\text{sur2}})$. Um ein Überlappen oder Lücken zwischen den reflektierenden Flächen zu vermeiden, findet die Projektion jeder Fläche angrenzend an ihre Nachbarin statt. Folglich ist die Anzahl N reflektierender Flächen **22**, durch welche die gekoppelten Strahlen in einem Zyklus gehen (d. h. zwischen zwei Reflexionen von der selben Fläche des Substrats):

$$N = \frac{2S_1}{S_2} = \frac{2T \cdot \tan(\alpha_{\text{sur1}})}{T \cdot \tan(\alpha_{\text{sur2}})} \quad (10)$$

[0070] In diesem Beispiel, wo $\alpha_{\text{sur2}} = 65^\circ$ und $\alpha_{\text{sur1}} = 115^\circ$, ist die Lösung $N = 2$; d. h. jeder Strahl geht in einem Zyklus durch zwei unterschiedliche Flächen. Dies stellt eine konzeptuelle Änderung und eine signifikante Verbesserung gegenüber unseren früheren Offenbarungen dar, wobei jeder Strahl in einem Zyklus durch sechs unterschiedliche Flächen geht. Die Fähigkeit, die Anzahl der reflektierenden Flächen für ein bestimmtes FOV-Erfordernis zu reduzieren, steht in Bezug zur Projektion der reflektierenden Fläche auf die Sichtebebene – da die Winkel in der vorliegenden Offenbarung größer sind, sind weniger reflektierenden Flächen nötig, um die Bilddimensionen zu umspannen. Die Ermöglichung einer geringeren Zahl von reflektierenden Flächen vereinfacht die Implementierung des LOE und verschafft erhebliche Kostenersparnisse bei seiner Herstellung.

[0071] Das oben unter Bezugnahme auf [Fig. 8](#) beschriebene Ausführungsbeispiel ist ein Beispiel eines Verfahrens zur Kopplung der Eingangswellen in das Substrat. Die Eingangswellen könnten jedoch auch mit Hilfe anderer optischer Mittel in das Substrat gekoppelt werden, einschließlich (aber nicht beschränkt auf) Faltprismen, Lichtwellenleiterbündel, Beugungsgitter und anderer Lösungen.

[0072] In dem in [Fig. 2](#) dargestellten Beispiel sind die Eingangswellen und die Bildwellen überdies auf der selben Seite des Substrats angeordnet. Auch andere Konfigurationen werden in Erwägung gezogen, bei denen die Eingangs- und die Bildwellen auf gegenüber liegenden Seiten des Substrats angeordnet sind. Es ist in bestimmten Anwendungen auch möglich, die Eingangswellen durch eine der peripheren Seiten des Substrats in das Substrat zu koppeln.

[0073] [Fig. 9A](#) ist eine detaillierte Querschnittansicht eines Arrays selektiv reflektierender Flächen, die innerhalb des Substrats gefangenes Licht heraus und in das Auge eines Beobachters hinein koppeln. Wie zu sehen ist, gehen die gekoppelten Strahlen in jedem Zyklus durch die reflektierenden Flächen **42** in Richtung $\alpha'_{\text{in}} = 130^\circ$, wobei der Winkel zwischen dem Strahl und der Normalen zu den reflektierenden Flächen $\sim 75^\circ$ ist und die Reflexionen von diesen Flächen vernachlässigbar sind. Zusätzlich geht der Strahl in jedem Zyklus zweimal durch die reflektierende Fläche **44** in einer Richtung $\alpha_{\text{in}} = 50^\circ$, wobei der Einfallswinkel gleich 25° ist und ein Teil der Strahlenergie aus dem Substrat ausgekoppelt wird. Unter der Annahme, dass ein Array zweier selektiv reflektierender Flächen **22** zum Koppeln des Lichts auf das Auge des Beobachters verwendet wird, ist das maximale FOV:

$$FOV_{\text{max}} \approx \frac{2T \tan \alpha_{\text{sur1}} - d_{\text{eye}}}{R_{\text{eye}}} \quad (11)$$

[0074] Für die selben Parameter der voranstehenden Beispiele ist die Grenzsubstratdicke für ein FOV von 8° in der Größenordnung von 2,8 mm; für FOVs von 15° und 30° liegen die Grenzsubstratdicken bei 3,7 mm bzw. 5,6 mm. Dies sind günstigere Werte als die Grenzdicken der oben diskutierten Lösungen nach dem Stand der Technik. Außerdem können mehr als zwei selektiv reflektierende Flächen verwendet werden. Beispielsweise beträgt für drei selektiv reflektierende Flächen **22** die Grenzsubstratdicke für FOVs von 15° bzw. 30° annähernd 2,4 mm bzw. 3,9 mm. Ebenso kann mit zusätzlichen reflektierenden Flächen, neben anderen Vorteilen, die beschränkende optische Dicke weiter reduziert werden.

[0075] Für Konfigurationen, die ein relativ kleines FOV verlangen, kann eine einzelne teilreflektierende Fläche ausreichen. Beispielsweise kann für ein System mit folgenden Parametern: $R_{\text{eye}} = 25$ mm; $\alpha_{\text{sur}} = 72^\circ$ und $T = 5$ mm ein moderates FOV von 17° auch mit einer einzelnen Fläche **22** erreicht werden. Ein Teil der Strahlen schneidet die Fläche **22** mehrere Male, bevor sie in die gewünschte Richtung ausgekoppelt werden. Da der minimale Ausbreitungswinkel im Substrat zur Erzielung der Bedingung einer totalen Innenreflexion für BK7-Material oder dergleichen $\alpha_{\text{in(min)}} = 42^\circ$, ist die Ausbreitungsrichtung des zentralen Winkels des FOV $\alpha_{\text{in(zen)}} = 48^\circ$. Folglich ist das projizierte Bild nicht normal zur Fläche, sondern vielmehr 12° außeraxial geneigt. Für viele Anwendungen ist dies dennoch akzeptabel.

[0076] Wie in [Fig. 9B](#) dargestellt, wird jede selektiv reflektierende Fläche von optischen Strahlen unterschiedlicher Stärken beleuchtet. Während die rechte Fläche **46** von Strahlen beleuchtet wird, unmittelbar nachdem diese von der unteren Fläche **48** des Substrats **20** reflektiert werden, wird die linke Fläche **50** von Strahlen beleuchtet, die bereits durch die teilreflektierende Fläche **46** gegangen sind und deshalb eine geringere Intensität haben. Um Bilder gleichmäßiger Helligkeit zu erhalten, ist ein Ausgleich für die Intensitätsunterschiede zwischen den einzelnen Bildabschnitten erforderlich. So kompensiert das Beschichten der reflektierenden Flächen mit unterschiedlichen Beschichtungen die ungleichmäßige Beleuchtung, wobei der Reflexionsgrad der

Fläche **46** geringer ist als der Reflexionsgrad der Fläche **50**.

[0077] Eine weitere potentielle Ungleichförmigkeit im resultierenden Bild könnte aufgrund der unterschiedlichen Reflexionssequenzen unterschiedlicher Strahlen auftreten, die die selektiv reflektierende Fläche erreichen – einige Strahlen kommen direkt ohne Reflexion von einer selektiv reflektierenden Fläche an, andere Strahlen kommen nach einer oder mehreren solchen Reflexionen an. Dieser Effekt ist in [Fig. 9A](#) illustriert. Ein Strahl schneidet die erste selektiv reflektierende Fläche **22** am Punkt **52**. Der Einfallswinkel des Strahls ist 25° und ein Teil der Strahlenergie wird aus dem Substrat ausgekoppelt. Der Strahl schneidet dann die selbe selektiv reflektierende Fläche am Punkt **42** in einem Einfallswinkel von 75° ohne feststellbare Reflexion und dann erneut am Punkt **54** in einem Einfallswinkel 25° , wobei ein anderer Teil der Strahlenergie aus dem Substrat ausgekoppelt wird. Im Gegensatz dazu erfährt der in [Fig. 9B](#) dargestellte Strahl nur eine einzige Reflexion von der selben Fläche. Wir stellen fest, dass bei kleineren Einfallswinkeln mehr Mehrfachreflexionen stattfinden. Ein Verfahren zum Ausgleich der Ungleichförmigkeit, die aus solchen Mehrfach-Intersektionen entsteht, ist der Entwurf einer Beschichtung, bei der der Reflexionsgrad mit abnehmendem Einfallswinkel gleichförmig zunimmt, wie in der Reflexion für den Bereich $10\text{-}40^\circ$ der [Fig. 5](#) gezeigt. Es ist schwierig, solche Unterschiede in Mehrfach-Intersektionseffekten vollständig zu kompensieren. In der Praxis toleriert jedoch das menschliche Auge signifikante Helligkeitsabweichungen, die unbemerkt bleiben. Für Anzeigen nahe am Auge integriert das Auge das gesamte Licht, das aus einem einzigen Sichtwinkel kommt, und fokussiert es auf einem Punkt auf der Netzhaut, und da die Reaktionskurve des Auges logarithmisch ist, sind allfällige kleine Abweichungen in der Anzeigenhelligkeit nicht feststellbar. Deshalb erfährt das menschliche Auge auch bei bescheidenen Ausprägungen der Beleuchtungsgleichförmigkeit in der Anzeige ein Bild hoher Qualität. Die verlangte moderate Gleichförmigkeit lässt sich mit einem LOE leicht erzielen.

[0078] Für Anzeigen jedoch, die in einer Distanz vom Auge angeordnet sind, wie etwa Head-up-Displays, kann die Ungleichförmigkeit aufgrund der Mehrfach-Intersektionseffekte nicht toleriert werden. In diesen Fällen ist ein systematischeres Verfahren zur Überwindung der Ungleichförmigkeit erforderlich. In [Fig. 10](#) ist ein möglicher Ansatz illustriert. Eine dünne, durchsichtige Schicht **55** mit einer Dicke T_{add} ist am Boden des LOE einzementiert. In dieser Anordnung schneidet der mit 25° einfallende Beispielstrahl, der gemäß [Fig. 9A](#) die erste selektiv reflektierende Fläche **22** an drei Punkten schneidet, diese Fläche nur zweimal und wird nur einmal reflektiert – am Punkt **52**. Auf diese Weise findet der Doppelreflexionseffekt nicht statt. Die Dicke T_{add} kann zur Minimierung des Doppelreflexionseffekts für das gesamte FOV des optischen Systems berechnet werden. Beispielsweise sollte für ein optisches System mit den Parametern $\text{FOV} = 24^\circ$; $\alpha_{\text{sur}} = 64^\circ$; $\alpha_{\text{in}} = 52^\circ$; $v = 1,51$ und $T = 4$ mm eine Schicht mit einer Dicke von $T_{\text{add}} = 2,1$ mm hinzugefügt werden, um den unerwünschten Doppel-durchgangseffekt vollkommen zu eliminieren. Die Gesamtdicke des LOE ist jetzt $6,1$ mm anstelle von 4 mm, doch bei HUD-Systemen, wo der Combiner relativ groß und für das LOE eine mechanische Festigkeit erforderlich ist, ist die erhöhte Dicke nicht unbedingt ein Nachteil. Es ist möglich, die durchsichtige Schicht auf der Oberseite des LOE oder sogar zu beiden Seiten des Substrats anzubringen, wobei die genaue Konfiguration gemäß den besonderen Erfordernissen des optischen Systems festgelegt wird. Unabhängig von der Dicke von T_{add} , durchschneiden in der vorgeschlagenen Konfiguration mindestens einige Strahlen die selbe selektiv reflektierende Fläche zweimal. Beispielsweise geht in [Fig. 10](#) der Strahl einmal durch die erste reflektierende Fläche **22** am Punkt **52** mit einem Einfallswinkel von 25° , wobei ein Teil der Strahlenergie aus dem Substrat ausgekoppelt wird, und einmal in einem Einfallswinkel von 75° ohne merkbare Reflexion. Natürlich trägt nur die erste Intersektion zum Bild bei, das vom LOE gebildet wird.

[0079] Unter Berücksichtigung der Sichtwinkel gehen unterschiedliche Teile des resultierenden Bildes von unterschiedlichen Abschnitten der teilreflektierenden Flächen aus; in [Fig. 11](#) ist dieser Effekt illustriert: eine Querschnittansicht eines kompakten LOE-Anzeigesystems auf Basis der vorgeschlagenen Konfiguration. Hier beleuchtet eine Welle **56** in einer einzigen Ebene, die einen bestimmten Sichtwinkel **58** repräsentiert, nur einen Teil des gesamten Arrays teilreflektierender Flächen **22**. Für jeden Punkt auf der teilreflektierenden Fläche wird folglich ein nomineller Sichtwinkel definiert und der Reflexionsgrad in Entsprechung zu diesem Winkel ausgelegt.

[0080] Das Konzept der Beschichtungen der verschiedenen teilreflektierenden Flächen des LOE ist wie folgt ausgeführt. Für jeden bestimmten Winkel wird ein Strahl (unter Berücksichtigung der Brechung aufgrund des Snell-Gesetzes) von der Mitte der zugeordneten Augenpupille **60** auf die teilreflektierende Fläche aufgebracht. Die berechnete Richtung wird als nominelle Einfallrichtung gesetzt, und die bestimmte Beschichtung ist in Entsprechung zu dieser Richtung ausgelegt, indem auch frühere Reflexionen mit Bezug auf diesen speziellen Sichtwinkel berücksichtigt werden. Folglich ist für jeden Sichtwinkel der durchschnittliche Reflexionsgrad von den relevanten Flächen sehr nahe am erwünschten Reflexionsgrad. Wenn erforderlich, wird zusätzlich eine Schicht mit einer Dicke T_{add} zum LOE hinzugefügt.

[0081] Ein LOE mit nicht-identischen, selektiv reflektierenden Flächen hat zwei Konsequenzen. In Durchsichtssystemen, wie in Head-up-Displays für Piloten, in denen der Beobachter die Außenszene durch das LOE sehen sollte, muss der Reflexionsgrad der selektiv reflektierenden Flächen relativ hoch sein. Da hier der Reflexionskoeffizient nicht für alle selektiv reflektierenden Flächen identisch ist, besteht die Gefahr, dass dies ebenfalls ein nicht-gleichförmiges Bild der Außenszenenerie, durch das Substrat betrachtet, mit sich bringt. Glücklicherweise ist diese Ungleichförmigkeit ziemlich gering und kann in vielen Fällen vernachlässigt werden. In anderen Situationen, wo eine solche potentielle Ungleichförmigkeit entscheidend ist, könnte eine ergänzende ungleichförmige Beschichtung auf die Außenfläche des Substrats aufgebracht werden, um die Ungleichförmigkeit des Substrats auszugleichen und eine Sicht gleichförmiger Helligkeit über das gesamte FOV zu erreichen.

[0082] In Nicht-Durchsichtssystemen, wie Virtual-Reality-Anzeigen, ist das Substrat undurchsichtig, und der Durchlässigkeitsgrad des Systems hat keine Bedeutung. Allerdings kann in solchen Fällen der Reflexionsgrad höher als zuvor sein, und es ist darauf zu achten, dass eine ausreichend große Intensität durch die erste reflektierende Fläche geht, um über das gesamte FOV eine gleichmäßige Helligkeit zu erzielen. Ein weiteres zu berücksichtigendes Thema ist die Polarisierung des Lichts. Wie oben mit Bezug auf die Beschichtung der selektiv reflektierenden Fläche erörtert, wird P-polarisiertes Licht bevorzugt. Glücklicherweise sind einige der kompakten Anzeigequellen (zum Beispiel nematische Flüssigkristallanzeigen) linear polarisiert. Dies würde auch auf Situationen zutreffen, in denen die Anzeigequelle so ausgerichtet ist, dass das ankommende Licht im Verhältnis zu den reflektierenden Flächen S-polarisiert ist. In solchen Fällen ist es möglich, Beschichtungen für das S-polarisierte Licht zu gestalten oder ansonsten die Polarisierung der Quelle mit einer Halbwellenplatte zu drehen. Wie in [Fig. 12](#) dargestellt, ist das von der Anzeigenquelle **4** ausgehende Licht linear S-polarisiert. Durch Verwendung einer Halbwellenplatte **62** wird die Polarisation so gedreht, dass das gewünschte P-polarisierte Licht auf die koppelnde reflektierende Fläche **22** einfällt.

[0083] Zur Illustration der erwarteten Leistung eines typischen Durchsichtssystems wurde eine Computersimulation durchgeführt, mit der die Helligkeit der projizierten Anzeige und der Außenszene berechnet wurden. Das System hat folgende Parameter: $T = 4,3 \text{ mm}$; $T_{\text{add}} = 0$; $\alpha_{\text{in}} = 50^\circ$; $\text{FOV} = 24^\circ$; $R_{\text{eye}} = 25 \text{ mm}$; $v = 1,51$; die Anzeigenquelle ist S-polarisiert, es sind zwei selektiv reflektierende Flächen vorhanden und der nominelle Reflexionsgrad ist 22%. In [Fig. 13](#) sind die Simulationsergebnisse, normalisiert auf die verlangten Nominalwerte, dargestellt. In beiden Kurven sind einige kleinere Fluktuationen vorhanden, doch diese Änderungen wären in augennahen Anwendungen nicht erkennbar.

[0084] Bisher wurde nur das FOV an der ξ -Achse diskutiert. Das FOV an der senkrecht stehenden η -Achse muss ebenso berücksichtigt werden. Das FOV an der η -Achse ist nicht von der Größe oder Anzahl der selektiv reflektierenden Flächen abhängig, sondern von der Seitendimension an der η -Achse der in das Substrat eingekoppelten Eingangswellen. Das maximal erreichbare FOV an der η -Achse ist:

$$\text{FOV}_{\text{max}} \approx \frac{D_{\eta} - d_{\text{sys}}}{R_{\text{sys}} + l / (v \sin \alpha_{\text{in}})}, \quad (12)$$

wobei D_{η} die Lateraldimension an der η -Achse der in das Substrat eingekoppelten Eingangswellen ist.

[0085] Das heißt, wenn das gewünschte FOV 30° ist, ist unter Anwendung der selben Parameter wie oben beschrieben die laterale Grenzdimension 42 mm. Es wurde oben gezeigt, dass die Längsdimension entlang der ξ -Achse der in das Substrat eingekoppelten Eingangswellen durch $S_1 = T \tan(\alpha_{\text{in}})$ gegeben ist. Eine Substratdicke von $T = 4 \text{ mm}$ ergibt $S_1 = 8,6 \text{ mm}$. Anscheinend ist die Lateralerstreckung des LOE fünfmal größer als die Längsdimension. Auch mit einem Bildaspektverhältnis von 4:3 (wie bei einer Standard-Videoanzeige) und dem FOV in der η -Achse ist gleich 22° ist die erforderliche Lateraldimension annähernd 34 mm – noch immer viermal größer als die Längsdimension. Diese Asymmetrie ist problematisch – eine Kollimationslinse mit einer hohen numerischen Apertur oder einer sehr großen Anzeigenquelle sind erforderlich. Auf jeden Fall ist mit derartigen numerischen Wertedimensionen das Erreichen des gewünschten Kompaktsystems unmöglich.

[0086] Ein alternatives Verfahren zur Lösung dieses Problems ist in [Fig. 14](#) dargestellt. Anstatt der Verwendung eines Arrays reflektierender Flächen **22** nur entlang der ξ -Achse wird ein anderer Array reflektierender Flächen **22a**, **22b**, **22c**, **22d** an der η -Achse positioniert. Diese reflektierenden Flächen sind normal zu der Ebene des Substrats **20** entlang der Halbierenden der ξ - und η -Achsen angeordnet. Der Reflexionsgrad dieser Flächen wird festgestellt, um gleichförmige Ausgangswellen zu erreichen. Für vier reflektierende Flächen sollte beispielsweise der Reflexionsgrad der Flächen 75%, 33%, 50% und 100% für die erste Fläche **22a**, für die zweite Fläche **22b** und die dritte Fläche **22c** bzw. die vierte Fläche **22d** sein. Diese Anordnung ergibt eine Sequenz von Wellenfronten zu je 25% der ankommenden Intensität. Normalerweise kann ein solcher Array re-

flektierender Flächen leicht für S-polarisiertes Licht geplant werden. Glücklicherweise ist das Licht, das im Vergleich zu den teilreflektierenden Flächen **22a-22d** S-polarisiert ist, im Vergleich zu den teilreflektierenden Flächen **22** P-polarisiert. Wenn folglich die vertikale Erstreckung des Bildes in der η -Achse mit S-polarisiertem Licht beeinträchtigt wird, besteht keine Notwendigkeit für eine Halbwellenplatte, die Polarisierung des Lichts auf die horizontalen Erweiterungen in der ζ -Achse zu drehen. Die dargestellten Anordnungen in den Array-Zusammensetzungen **22** und **22a-22d** sind nur Beispiele. Andere Anordnungen zur Vergrößerung der Seitendimensionen der optischen Wellen in beiden Achsen in Entsprechung zum optischen System und den gewünschten Parametern sind möglich; einige werden nachstehend beschrieben.

[0087] [Fig. 15](#) illustriert ein alternatives Verfahren zur Erweiterung des Strahls entlang der η -Achse. Bei dieser Konfiguration beträgt der Reflexionsgrad der Flächen **22a**, **22b** und **22c** für 5-polarisiertes Licht 50%, wobei **22d** aus einem einfachen 100%-Spiegel besteht. Obwohl die Lateraldimension der vertikalen Erweiterung bei dieser Lösung größer als die vorangegangene Konfiguration ist, erfordert sie nur eine einzige einfache selektiv reflektierende Beschichtung, und die Gesamtkonfiguration ist einfacher herzustellen. Allgemein kann für jedes spezifische optische System das exakte Verfahren zur Erweiterung des Strahls an der η -Achse je nach den besonderen Anforderungen des Systems gewählt werden.

[0088] Unter der Annahme einer symmetrischen Kollimationslinse **6** ist die Lateraldimension an der η -Achse nach der Reflexion von den reflektierenden Flächen **22a-22d** durch $S_\eta = NT \tan(\alpha_{in})$ gegeben, wobei N für die Zahl der reflektierenden Flächen steht. Das maximal erreichbare FOV an der η -Achse ist nun:

$$FOV_{mix}^\eta \approx \frac{S_\eta - d_{eye}}{R_{eye} + l/(v \sin \alpha_m)} = \frac{NT \tan(\alpha_{in}) - d_{eye}}{R_{eye} + l/(v \sin \alpha_m)}. \quad (13)$$

[0089] Da das reflektierende Array **22a-22d** näher am Auge angeordnet werden kann, wird erwartet, dass die Distanz l zwischen den reflektierenden Flächen kleiner ist als in vorangehenden Beispielen. Unter der Annahme von $l = 40$ mm und der gewählten Parameter: $T = 4$ mm; $N = 4$; $\alpha_{in} = 65^\circ$; $R_{eye} = 25$ mm und $v = 1,5$, ergibt sich ein FOV von:

$$FOV_{mix}^\eta \approx 30^\circ. \quad (14)$$

[0090] Dies stellt mit Bezug auf die oben gewonnenen früheren Werte eine Verbesserung dar.

[0091] In [Fig. 16](#) ist ein weiteres Verfahren zur Erweiterung des Strahls an beiden Achsen unter Anwendung einer doppelten LOE-Konfiguration dargestellt. Die Eingangswelle ist durch die erste reflektierende Fläche **16a** in das erste LOE **20a** eingekoppelt und breitet sich dann an der ξ -Achse aus. Die teilreflektierenden Flächen **22a** koppeln das Licht aus **20a** aus, und dann wird das Licht durch die reflektierende Fläche **16b** in das zweite LOE-20b eingekoppelt. Das Licht breitet sich dann an der η -Achse aus und wird anschließend durch die selektiv reflektierenden Flächen **22b** ausgekoppelt. Wie dargestellt, wird der ursprüngliche Strahl an beiden Achsen erweitert, wobei die Gesamterweiterung durch das Verhältnis zwischen den Lateraldimensionen der Elemente **16a** bzw. **22b** bestimmt wird. Die in [Fig. 16](#) gegebene Konfiguration ist nur ein Beispiel einer Doppel-LOE-Anordnung. Andere Konfigurationen, wo zwei oder mehr LOEs zur Ausbildung komplizierter optischer Systeme kombiniert werden, sind ebenfalls möglich. Beispielsweise können drei unterschiedliche Substrate, deren Beschichtung jeweils für eine der drei Grundfarben geplant ist, kombiniert werden, um ein Dreifarben-Anzeigensystem zu schaffen. In diesem Fall sind die Substrate mit Bezug auf die anderen zwei Farben durchsichtig. Ein solches System kann für Anwendungen nützlich sein, in denen eine Kombination dreier unterschiedlicher einfarbiger Anzeigequellen erforderlich ist, um das endgültige Bild zu erstellen. Es gibt zahlreiche weitere Beispiele, in denen mehrere Substrate zur Ausbildung eines komplizierteren Systems kombiniert werden.

[0092] Ein weiteres zu bearbeitendes Problem ist die Helligkeit des Systems. Diese Frage ist wichtig für Durchsicht-Anwendungen, wo verlangt wird, dass die Helligkeit der Anzeige vergleichbar mit jener der äußeren Szene ist, um ein akzeptables Kontrastverhältnis und eine bequeme Beobachtung durch den Combiner zu ermöglichen. Es ist nicht möglich, zu gewährleisten, dass die Einfügungsdämpfung der meisten Systeme klein ist. Wie oben für den Vierflächen-Combiner der [Fig. 14](#) beschrieben, wird beispielsweise die Helligkeit der optischen Wellen aufgrund der verlangten Strahlerweiterung an der η -Achse um das Vierfache reduziert. Im Allgemeinen reduziert sich für N-reflektierende Flächen die Helligkeit um den Faktor N. Im Prinzip können Anzeigequellen hoher Helligkeit diese Schwierigkeit beseitigen, aber diese Methode hat notwendiger Weise ihre praktischen Grenzen. Nicht nur sind Anzeigequellen hoher Helligkeit sehr teuer, sie haben auch einen hohen Stromverbrauch mit den damit verbundenen sehr hohen Stromstärken. Außerdem ist den meisten Displays eine inhärente Beschränkung der maximal zu erreichenden Helligkeit eigen. Beispielsweise ist bei Durch-

lass-LCDs, die gegenwärtig die häufigste Quelle für kleine Displays darstellen, die Hintergrundbeleuchtungsstärke begrenzt, um unerwünschte Effekte wie Überstrahlungen zu verhindern, welche die Auflösung und das Kontrastverhältnis der Anzeige verringern. Es sind deshalb andere Ansätze erforderlich, um die Nutzung des verfügbaren Lichts von der Quelle zu optimieren.

[0093] Ein mögliches Verfahren zur Steigerung der Helligkeit der Anzeige, die das Auge des Beobachters erreicht, ist die Kontrolle des Reflexionsgrads der reflektierenden Flächen **22** des LOE gemäß der Eye-Motion-Box (EMB) des Beobachters. Wie in [Fig. 11](#) dargestellt, wird jede reflektierende Fläche des gesamten Arrays selektiv reflektierender Flächen **22** nur von einem Teil des Gesamt-FOVs beleuchtet. Der Reflexionsgrad der Flächen kann deshalb so eingestellt werden, dass die Helligkeit des gesamten FOV optimiert wird. Beispielsweise könnte der Reflexionsgrad der rechten Fläche **22a** in [Fig. 11](#) so ausgelegt sein, dass ein höherer Reflexionsgrad auf dem rechten Teil des FOV und der niedrigstmögliche Reflexionsgrad auf dem linken Teil des FOV gegeben ist, während die linke Fläche **22b** einen höheren Reflexionsgrad für den linken Teil des FOV bereitstellt. Eine ähnliche Ausführung kann auf ein zweidimensionales Erweiterungssystem angewendet werden. Unter der Annahme, dass η die vertikale Achse in [Fig. 16](#) ist, könnte der Reflexionsgrad der reflektierenden Flächen **22a** so ausgelegt sein, dass die unteren Flächen einen höheren Reflexionsgrad für den unteren Teil des FOV und den niedrigst möglichen Reflexionsgrad für den höheren Teil des FOV aufweisen, während die oberen Flächen einen höheren Reflexionsgrad für den oberen Teil des FOV haben. Deshalb kann der Faktor, um den die Helligkeit wegen der seitlichen Erweiterung reduziert wird, wesentlich kleiner sein als R, wobei R das Verhältnis zwischen dem Bereich der Einkoppelungsfläche **16a** und den Auskoppelungsflächen **22b** ist.

[0094] Ein weiteres Verfahren zur Verbesserung der Gesamthelligkeit des Systems ist durch die Kontrolle der Anzeigequellenhelligkeit ohne Änderung der Eingangsleistung. Wie in [Fig. 11](#) oben dargestellt, wird ein großer Teil der mittels des Reflexionsspiegels **16** auf das Substrat **20** gekoppelten Energie in die Nähe der Augenpupille **60** reflektiert. Um jedoch die erreichbare Helligkeit zu maximieren, ist es auch erforderlich, dass ein Großteil des Lichts, das aus der Anzeigequelle austritt, in das Substrat gekoppelt wird.

[0095] In [Fig. 17](#) ist ein Beispiel einer Substrat-Anzeige dargestellt, wo die Anzeigequelle eine Durchsicht-LCD ist. Das von der Lichtquelle **64** ausgehende und von einer Linse **66** gerichtete Licht beleuchtet eine LCD **68**. Das Bild von der LCD wird gerichtet und von den optischen Komponenten **70** auf das Substrat **20** reflektiert. In [Fig. 18](#) ist ein optischer Plan der Kollimations-/Faltlinse **70** dargestellt, in [Fig. 19](#) der Abdruck des Lichts, das in das Substrat **20** hinein gekoppelt wird, auf der Frontfläche **72** der Linse **70**. Für den Großteil der Anzeigequelle besteht in der Regel eine Lambert-Verteilung des Lichts, das von der Anzeige ausgeht. Das heißt, die Energie wird gleichförmig über das gesamte Winkelspektrum von 2π Steradianen verteilt. Wie in [Fig. 18](#) und [Fig. 19](#) zu sehen ist, wird nur ein kleiner Teil des aus der Anzeigequelle kommenden Lichts tatsächlich in das Substrat **20** hinein gekoppelt. Von jeder Punktquelle auf der Anzeigefläche beleuchtet nur ein kleiner Lichtkegel von $\sim 20^\circ$ - 30° den Abdruck auf der Frontfläche **72** und koppelt in das Substrat **20** ein. Folglich kann eine signifikante Erhöhung der Helligkeit erreicht werden, wenn das Licht, das aus der Anzeige austritt, in diesem Konus konzentriert ist.

[0096] Ein Verfahren zur Erzielung einer solchen Gerichtetheit in der Quellbeleuchtung besteht in der Verwendung eines eigenen selektiven Diffusers für die LCD. Ein herkömmlicher Diffuser streut für gewöhnlich das Licht gleichmäßig in alle Richtungen. Zum Unterschied dazu kann ein selektiver Diffuser das Licht so verteilen, dass das Licht von jeder Punktquelle aus in einen verlangten Winkelkegel abweicht. In diesem Fall bleibt die Energie, welche die LCD-Fläche beleuchtet, die selbe. Für einen 20° - 30° Konus wird der Ablenkungswinkel des Lichts für jede Punktquelle im Vergleich zu den π -Steradianen der Lambert-Quelle um einen Faktor von mehr als 50 reduziert, und die Helligkeit des Lichts nimmt um den selben Faktor zu. Folglich lässt sich eine signifikante Verbesserung in der Helligkeit des Systems mit minimalem Planungs- und Produktionsaufwand und ohne Erhöhung des Stromverbrauchs des Systems erzielen.

[0097] Eine Alternativlösung, die nicht nur für LCDs, sondern auch für andere Anzeigequellen geeignet ist, ist die Verwendung eines Arrays von Mikrolinsen, der an den Pixeln der Anzeigequelle ausgerichtet ist. Für jeden Pixel verengt eine Mikrolinse den abgelenkten Strahl, der von diesem Pixel austritt, in den gewünschten Winkelkegel. In der Praxis ist diese Lösung nur effizient, wenn der Füllfaktor der Pixel eine kleine Zahl ist. Eine verbesserte Version dieser Lösung ist eine derartige Gestaltung der Emissionsverteilungsfunktion der Pixel im Pixel-Array, dass jedes Pixel im gewünschten Winkel abgelenkt wird. Beispielsweise werden in OLED-Anzeigen normalerweise Versuche unternommen, den Ablenkungswinkel der einzelnen LEDs zu erhöhen, um eine Betrachtung von einem großen Winkel aus zu ermöglichen. Für unsere spezifische LOE-Anzeigeanwendung ist es jedoch von Vorteil, diesen Ablenkungswinkel klein zu halten, in der Größenordnung von 20° - 30° , um die Helligkeit des Systems zu optimieren.

[0098] Wie oben unter Bezugnahme auf [Fig. 14](#) und [Fig. 15](#) beschrieben, ist es möglich, ein weites FOV auch entlang der vertikalen η Richtung zu erreichen, ohne das Systemvolumen erheblich zu erhöhen. Es gibt jedoch Situationen, wo diese Lösung nicht ausreicht. Dies gilt besonders für Systeme mit einem sehr weiten FOV und einer Beschränkung der Distanz l zwischen der Einkopplungs-Reflexionsfläche **16** und den auskoppelnden selektiv reflektierenden Flächen **22**. In [Fig. 20](#) ist ein entfaltetes optisches System mit nachstehenden Parametern dargestellt: $l = 70$ mm; $T = 4$ mm; $\alpha_{in} = 65^\circ$; $R_{eye} = 24$ mm; $v = 1,51$, die Eye-Motion-Box (EMB) ist 10 mm und das erforderliche vertikale FOV ist 42° . Wenn wir die Strahlen von der EMB **74** verfolgen, erkennen wir, dass das Licht durch die Projektion der EMB auf die Auskoppelungsoptik **22** geht, wo **76**, **78** und **80** die Projektionen der oberen, mittleren bzw. unteren Winkel des FOV sind. Das bedeutet, dass zum Erreichen des gewünschten FOV die erforderliche Einkoppelungsapertur **82** 65 mm ist; das ist eine sehr große Apertur, die notwendigerweise die Größe des gesamten Systems erhöht, auch wenn das Substrat eine dünne Platte bleibt. Wenn umgekehrt nur eine kleinere Apertur **84** von 40 mm erlaubt ist, fällt das erzielbare vertikale FOV **86** auf 23° , also auf nahezu die Hälfte des verlangten FOV.

[0099] [Fig. 21](#) illustriert eine mögliche Lösung dieses Problems. Anstatt eine einfache rechteckige Platte **20** zu verwenden, werden die zwei horizontalen Kanten der Platten durch zwei Paar parallel reflektierender Flächen **88a**, **88b** bzw. **90a**, **90b** ersetzt. Während der Mittelteil des FOVs direkt durch die Apertur **84** projiziert, so wie zuvor, werden die Strahlen vom unteren Teil des FOVs von den Flächen **88a** und **88b** reflektiert, während die Strahlen vom oberen Teil des FOVs von den Flächen **90a** und **90b** reflektiert werden. In der Regel sind die Winkel zwischen den im Substrat gefangenen Strahlen und den reflektierenden Flächen **88** und **90** ausreichend groß, um innere Totalreflexionen zu bewirken, weshalb für diese Flächen keine spezielle Reflexionsbeschichtung erforderlich ist. Da alle Strahlen entweder direkt von der Eingangsapertur kommen oder zweimal von einem Paar paralleler Flächen reflektiert werden, wird die ursprüngliche Richtung jedes Strahls beibehalten, und das Ausgangsbild ist nicht betroffen.

[0100] Es ist wichtig sicherzustellen, dass jeder Strahl, der von der Fläche **88a** reflektiert wird, auch von der Fläche **88b** reflektiert wird, bevor er auf der Apertur **84** auftrifft. Zur Bestätigung dieser Tatsache reicht die Prüfung von zwei Strahlwegen aus: der Randstrahl des Extremwinkels **92**, der auf die Fläche **88a** am Punkt **94** einfällt, muss auf die Fläche **88b** rechts von deren Schnittpunkt mit der Fläche **90a** auftreffen; außerdem muss der Randstrahl **96**, der auf die Fläche **88a** nahe deren Schnittpunkt **98** mit der Fläche **90b** einfällt, auf die Fläche **88b** auftreffen, bevor diese die Apertur **84** kreuzt. Wenn beide Randstrahlen die Bedingungen erfüllen, treffen notwendigerweise alle Strahlen vom FOV, die auf die Fläche **88a** einfallen, auch auf der Fläche **88b** auf. Das vorliegende Beispiel schafft ein FOV von 42° mit einer signifikant reduzierten Apertur **84** von 40 mm. Natürlich kann in Fällen, in denen l extrem groß ist, eine Kaskade von zwei oder mehr Paaren reflektierender Flächen verwendet werden, um das gewünschte FOV zu erzielen und gleichzeitig eine akzeptable Eingangsapertur zu bewahren.

[0101] Das Ausführungsbeispiel der [Fig. 21](#) ist nur ein Beispiel zur Illustration einer einfachen Implementierung dieser Methode. Die Anwendung von Paaren parallel reflektierender Flächen zur Verkleinerung der Apertur des Systems für ein bestimmtes FOV oder als Alternative zur Vergrößerung des nutzbaren FOVs für eine gegebene Apertur ist nicht auf die Substratoptik beschränkt und kann auch in anderen optischen Systemen nutzbar gemacht werden, beispielsweise – ohne darauf beschränkt zu sein – in Freiraumsystemen wie Head-up-Displays, Episkopen oder Periskopen.

[0102] Wie oben unter Bezugnahme auf [Fig. 21](#) beschrieben, ist die Lateraldimension der Eingangsapertur des Substrats 40 mm an der η -Achse und 8,5 mm an der ζ -Achse. [Fig. 22A](#) und [Fig. 22B](#) illustrieren ein Ausführungsbeispiel als Alternative zu dem oben unter Bezugnahme auf [Fig. 14-Fig. 15](#) beschriebenen. Diese Methode bringt eine Anpassung zwischen einer symmetrischen Kollimationslinse **6** und einer asymmetrischen Eingangsapertur mit sich. Die Lateraldimensionen der Eingangsapertur werden als D und $4D$ an den zwei Achsen angenommen. Eine Linse **6** mit einer Apertur **2D** richtet das Bild auf das Substrat. Die vordere Hälfte des gerichteten Lichts wird vom Spiegel **16a** in das Substrat gekoppelt. Zwei Paar parallel reflektierender Flächen **22a**; **22b** und **22c**; **22d** teilen das gekoppelte Licht auswärts und reflektieren es dann zurück in seine ursprüngliche Richtung. Der hintere Teil des gerichteten Lichts geht durch das Substrat **20** und wird dann vom Prisma **99** zurück in das Substrat gefaltet. Ein zweiter Spiegel **16b** koppelt das gefaltete Licht auf das Substrat **20** zurück. Die Lateraldimensionen der Eingangsapertur sind natürlich D und $4D$ an den zwei Achsen, wie erforderlich.

[0103] Die oben unter Bezugnahme auf [Fig. 22](#) beschriebene Methode hat einige Vorteile. Das System ist symmetrisch um die η -Achse, und vor allem findet kein Verlust an Lichtintensität statt. Dieses Verfahren ist nur ein Beispiel; andere, ähnliche Methoden zur Konvertierung des symmetrischen Eingangsstrahls in einen asym-

metrisch gekoppelten Lichtstrahl sind möglich. Eine geeignete Konfiguration zur Erweiterung des Bildes an der η -Achse erfordert eine sorgfältige Analyse der Systemspezifikationen.

[0104] Im Allgemeinen bieten sämtliche unterschiedliche Konfigurationen der oben erörterten optischen Lichtleiterelemente mehrere bedeutende Vorteile gegenüber alternativen Kompaktoptiken für Anzeigeanwendungen, zum Beispiel:

- 1) Die Eingangsanzeigequelle kann sehr nahe am Substrat angeordnet sein, so dass das gesamte optische System sehr kompakt und leichtgewichtig wird und einen unvergleichlichen Formfaktor bietet.
- 2) Im Unterschied zu anderen Kompaktanzeigekonfigurationen bietet die vorliegende Erfindung Flexibilität bezüglich der Anordnung der Eingangsanzeigequelle im Verhältnis zum Okular. Diese Flexibilität mildert – kombiniert mit der Fähigkeit zur Anordnung der Quelle nahe am Erweiterungssubstrat – die Notwendigkeit zur Verwendung einer außeraxialen optischen Konfiguration, die bei anderen Anzeigesystemen die Regel ist. Da außerdem die Eingangsapertur des LOE wesentlich kleiner als der aktive Bereich der Ausgangsapertur ist, ist die numerische Apertur der Kollimationslinse **6** wesentlich kleiner als für ein vergleichbares herkömmliches Abbildungssystem. Folglich kann ein erheblich handlicheres optisches System implementiert werden, und die vielen Schwierigkeiten in Verbindung mit außeraxialer Optik und mit Linsen mit hochnumerischen Aperturen, wie beispielsweise Feld- oder Farbabweichungen, lassen sich relativ leicht und effizient ausgleichen.
- 3) Die Reflexionskoeffizienten der selektiv reflektiven Flächen in der vorliegenden Erfindung sind im Wesentlichen über das gesamte relevante Spektrum identisch. Folglich können sowohl einfarbige wie mehrfarbige Lichtquellen als Anzeigequellen verwendet werden. Das LOE hat eine vernachlässigbare Wellenlängenabhängigkeit, wodurch hochqualitative Farbanzeigen mit hohen Auflösungen sichergestellt sind.
- 4) Da jeder Punkt von der Eingangsanzeige in eine ebene Welle transformiert wird, die von einem großen Teil des reflektierenden Arrays in das Auge des Beobachters reflektiert wird, können die Toleranzen auf der exakten Stelle des Auges signifikant entspannt sein. Damit kann der Beobachter das gesamte Sichtfeld sehen, und die Eye-Motion-Box kann viel größer sein als in anderen kompakten Anzeigekonfigurationen.
- 5) Da ein großer Teil der Intensität von der Anzeigequelle in das Substrat gekoppelt wird, und da ein großer Teil dieser gekoppelten Energie "rezykliert" und in das Auge des Beobachters hinaus gekoppelt wird, kann auch mit Anzeigequellen mit geringem Stromverbrauch eine Anzeige von relativ hoher Helligkeit erreicht werden.

[0105] In [Fig. 23](#) ist ein Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung dargestellt, in dem das LOE **20** in einen Brillenrahmen **100** eingebettet ist. Die Anzeigequelle **4**, die Kollimationslinse **6** und die Faltlinse **70** sind innerhalb der Armabschnitte **102** des Brillenrahmens angeordnet, in unmittelbarer Nähe zum Rand des LOE **20**. Für einen Fall, bei dem die Anzeigequelle ein elektronisches Element ist, wie eine kleine CRT, LCD oder OLED, könnte die Antriebselektronik **104** für die Anzeigequelle innerhalb des Rückabschnitts des Arms **102** angeordnet sein. Eine Stromversorgungs- und Datenschnittstelle **106** ist mit dem Arm **102** über eine Leitung **108** oder andere Kommunikationsmittel einschließlich Funk- oder optischer Übertragung verbindbar. Als Alternative kann eine Batterie und Miniatur-Datenverbindungselektronik in den Brillenrahmen integriert werden.

[0106] Das oben beschriebene Ausführungsbeispiel kann in Durchsicht- und Nicht-Durchsicht-Systemen angewendet werden. Im letzteren Fall sind undurchsichtige Schichten vor dem LOE angeordnet. Es ist nicht erforderlich, das gesamte LOE abzuschließen, in der Regel muss nur der aktive Bereich, wo die Anzeige sichtbar ist, blockiert werden. So kann die Vorrichtung gewährleisten, dass die Peripherie des Benutzers erhalten bleibt und die Sichterfahrung eines Computer- oder TV-Bildschirms wiedergegeben wird, bei denen solche Peripherien eine wichtige kognitive Funktion wahrnehmen. Als Alternative kann ein variabler Filter vor das System gesetzt werden, so dass der Beobachter das Helligkeitsniveau des von der äußeren Szene ausgehenden Lichts kontrollieren kann. Dieser variable Filter könnte eine mechanisch gesteuerte Vorrichtung sein, wie ein Klappfilter, oder zwei Rotationspolarisatoren, eine elektronisch gesteuerte Vorrichtung oder auch eine automatische Vorrichtung, wobei der Durchlässigkeitsgrad des Filters von der Helligkeit des äußeren Hintergrunds bestimmt wird.

[0107] Es gibt einige Alternativen bezüglich der genauen Art und Weise, in der ein LOE in diesem Ausführungsbeispiel benützt werden kann. Die einfachste Option ist die Verwendung eines Einzelelements für ein Auge. Eine weitere Option ist die Verwendung eines Elements und einer Anzeigequelle für jedes Auge, aber mit dem selben Bild. Auch ist es möglich, zwei unterschiedliche Teile des selben Bildes zu projizieren, bei einer gewissen Überlappung zwischen den zwei Augen, was ein weiteres FOV ermöglicht. Eine andere Möglichkeit ist die Projizierung zweier unterschiedlicher Szenen, einer auf jedes Auge, zur Schaffung eines stereoskopischen Bildes. Mit dieser Alternative sind attraktive Implementierungen möglich, einschließlich 3-dimensionaler Filme, fortgeschrittener Virtual Reality, Schulungssysteme und anderer.

[0108] Das Ausführungsbeispiel der [Fig. 23](#) ist nur ein Beispiel, in dem die einfache Implementierung der vorliegenden Erfindung illustriert ist. Da das substratgeleitete optische Element, welches den Kern des Systems bildet, sehr kompakt und leichtgewichtig ist, könnte es in einer Vielzahl unterschiedlicher Anordnungen eingebaut werden. Folglich sind viele andere Ausführungsbeispiele auch möglich, einschließlich eines Visiers, eines Klappdisplays, eines Monokels und vieler anderer. Dieses Ausführungsbeispiel ist für Anwendungen vorgesehen, bei denen die Anzeige nahe am Auge sein sollte – am Kopf montiert, am Kopf getragen oder angebracht. Es gibt jedoch Anwendungen, bei denen das Display anders angeordnet ist.

[0109] Ein Beispiel einer solchen Anwendung ist ein tragbares Gerät für die mobile Anwendung, wie beispielsweise ein Mobiltelefon. Von diesen Geräten wird erwartet, dass sie in Zukunft neuartige Funktionen ausführen, welche die Auflösung eines großen Bildschirms verlangen, wie beispielsweise Videophon, Internetverbindung, Zugriff auf E-Mail und sogar die Übertragung von Satelliten-TV in hoher Qualität. Mit den bestehenden Technologien könnte ein kleines Display im Telefon eingebettet werden, gegenwärtig kann ein solches Display jedoch entweder Videodaten von nur schlechter Qualität oder einige wenige Zeilen Internet- oder E-Mail-Daten direkt ins Auge projizieren.

[0110] In [Fig. 24](#) ist ein Alternativverfahren auf Basis der vorliegenden Erfindung dargestellt, bei dem der aktuelle Kompromiss zwischen der kleinen Größe mobiler Vorrichtungen und dem Wunsch zum Ansehen von digitalen Inhalten auf einem Vollformatdisplay eliminiert ist, indem Qualitätsbilder direkt in das Auge des Benutzers projiziert werden. Ein optisches Modul mit der Anzeigequelle **6**, der Falt- und Kollimationsoptik **70** und dem Substrat **20** ist in den Körper eines Mobiltelefons **110** integriert, wo das Substrat **20** das vorhandene Schutzfenster des Telefons ersetzt. Insbesondere ist das Volumen der tragenden Komponenten einschließlich der Quelle **6** und der Optik **70** ausreichend gering, um in das akzeptable Volumen moderner Mobiltelefone zu passen. Zur Betrachtung der vollständigen von der Vorrichtung übertragenen Anzeige positioniert der Benutzer das Fenster vor sein Auge **24**, um das Bild bequem mit weitem FOV, einer großen Eye-Motion-Box und einem komfortablen Augenabstand zu betrachten. Es ist auch möglich, das gesamte FOV mit einem größeren Augenabstand zu sehen, indem das Gerät zur Anzeige unterschiedlicher Bildabschnitte geneigt wird. Und da das optische Modul in Durchsichtkonfiguration betrieben werden kann, ist ein Doppelbetrieb der Vorrichtung möglich; namentlich besteht auf Wunsch die Möglichkeit, das herkömmliche Mobiltelefondisplay **112** intakt zu belassen. Auf diese Weise kann das niedrig auflösende Standard-Display durch das LOE betrachtet werden, wenn die Anzeigequelle **6** abgeschaltet wird. In einem zweiten Modus, der für E-Mail-Lesen, Internetsurfen oder Videobetrieb vorgesehen ist, wird das herkömmliche Display **112** abgeschaltet, während die Anzeigequelle **6** das erwünschte weite FOV-Bild durch das LOE in das Auge des Beobachters projiziert. Das in [Fig. 24](#) beschriebene Ausführungsbeispiel ist nur ein Beispiel, in dem illustriert wird, dass andere Anwendungen als Head-up-Displays verwirklicht werden können. Andere mögliche portable Anordnungen umfassen Palm-Computer, kleine Displays, die in Armbanduhrn eingebettet sind, ein Taschen-Display von der Größe und dem Gewicht einer Kreditkarte und viele mehr.

[0111] Die oben beschriebenen Ausführungsbeispiele sind monookulare optische Systeme, d.h. das Bild wird auf ein einziges Auge projiziert. Es gibt jedoch Anwendungen, wie beispielsweise Head-up-Displays (HUD), bei denen die Projektion eines Bildes auf beide Augen erwünscht ist. Bis vor kurzem wurden HUD-Systeme hauptsächlich in modernen Militär- und Zivillflugzeugen verwendet. Es gab in letzter Zeit zahlreiche Vorschläge und Entwürfe für den Einbau eines HUD vor einem Autofahrer zur Unterstützung der Fahrtnavigation oder um bei schlechten Sichtbedingungen ein Wärmebild in seine Augen zu projizieren. Aktuelle Raumfahrt-HUD-Systeme sind überaus kostspielig, der Preis einer einzigen Einheit bewegt sich bereits in der Größenordnung von Hunderttausenden von Dollars. Überdies sind die bestehenden Systeme sehr groß, schwer und unhandlich, außerdem zu mühsam für die Installation in einem kleinen Flugzeug, von einem Auto ganz zu schweigen. LOE-basierte HUD schaffen potenziell Möglichkeiten für ein sehr kompaktes, unabhängiges HUD, das sich bei beschränktem Platzangebot leicht einbauen lässt. Sie vereinfachen auch die Konstruktion und Produktion der optischen Systeme mit Bezug zum HUD und sind deshalb potenziell geeignet für eine Verbesserung der Raumfahrt-HUDs wie für die Einführung einer kompakten, erschwinglichen Konsumentenversion für die Automobilindustrie.

[0112] In [Fig. 25](#) ist ein Verfahren zur Materialisierung eines HUD-Systems auf Basis der vorliegenden Erfindung dargestellt. Das Licht von einer Anzeigequelle **4** wird durch eine Linse **6** auf unendlich gerichtet und von der ersten reflektierenden Fläche **16** in das Substrat **20** gekoppelt. Nach der Reflexion an einem (nicht dargestellten) zweiten Reflexions-Array treffen die optischen Wellen auf eine dritte reflektierende Fläche **22**, die das Licht in die Augen **24** des Beobachters auskoppelt. Das Gesamtsystem kann sehr kompakt und leicht sein, die Größe einer großen Postkarte haben und ein paar Millimeter dick sein. Die Anzeigequelle mit einem Volumen von einigen wenigen Kubikzentimetern kann an einer Ecke des Substrats befestigt sein, wo ein elektrischer

Leiter den Strom und die Daten auf das System übertragen kann. Es ist davon auszugehen, dass die Installation des dargestellten HUD-Systems nicht komplizierter ist als die Installation einer einfachen kommerziellen Audioanlage. Da des weiteren kein Bedarf an einer äußeren Anzeigequelle für die Bildprojektion besteht, wird die Notwendigkeit einer Installation von Komponenten an unsicheren Orten vermieden.

[0113] Da die Austrittspupille eines typischen HUD-Systems wesentlich größer ist als jene eines kopfmontierten Displaysystems ist davon auszugehen, dass eine Konfiguration mit drei Arrays, wie oben unter Bezugnahme auf [Fig. 14-Fig. 16](#) beschrieben, benötigt wird, um das gewünschte FOV zu erreichen. Es kann jedoch Sonderfälle geben, darunter Systeme mit kleinen vertikalen FOVs oder mit einem vertikalen LED-Array als Anzeigequelle oder durch die Nutzung von Paaren parallel reflektierender Spiegel (wie oben unter Bezugnahme auf [Fig. 21](#) beschrieben), in denen eine Zwei-Array-Konfiguration genügen würde.

[0114] Die in [Fig. 25](#) illustrierten Ausführungsbeispiele können für andere Anwendungen implementiert werden, zusätzlich zu HUD-Systemen für Fahrzeuge. Eine mögliche Nutzung dieser Ausführungsbeispiele ist ein Flachdisplay für einen Computer oder TV. Das kennzeichnende Hauptmerkmal eines solchen Displays besteht darin, dass das Bild nicht auf der Bildschirmenebene angeordnet ist, sondern im Unendlichen oder in einer ähnlich geeigneten Distanz fokussiert ist. Einer der Hauptnachteile bestehender Computerdisplays ist dass die Benutzer ihre Augen in einem sehr kurzen Abstand zwischen 40 und 60 cm fokussieren müssen, während der natürliche Brennpunkt eines gesunden Auges im Unendlichen liegt. Viele Menschen leiden nach längerem Arbeiten am Computer unter Kopfschmerzen. Viele andere, die häufig mit Computern arbeiten, neigen zu Kurzsichtigkeit. Einige Menschen, die sowohl unter Kurz- wie unter Weitsichtigkeit leiden, benötigen zudem Spezialbrillen für die Arbeit am Computer. Ein Flachdisplay auf Basis der vorliegenden Erfindung könnte eine angemessene Lösung für Menschen sein, die unter den genannten Problemen leiden und nicht mit einem kopfmontierten Display arbeiten wollen. Zudem ermöglicht die vorliegende Erfindung eine signifikante Reduzierung der physischen Bildschirmgröße. Da das vom LOE gebildete Bild größer ist als die Vorrichtung wäre die Implementierung großer Bildschirme auf kleineren Rahmen möglich. Dies ist besonders wichtig für mobile Anwendungen wie Laptop und Palmtop-Computer.

[0115] Ein potenzielles Problem im Zusammenhang mit LOE mit großem Display bezieht sich auf dessen Helligkeit. Für die Kompaktheit ist idealerweise die Anwendung einer Miniatur-Anzeigequelle von Vorteil, doch diese reduziert notwendiger Weise die Display-Helligkeit aufgrund der bedeutenden Steigerung der aktiv beleuchteten Fläche des LOE im Vergleich zur aktiv beleuchteten Fläche der Quelle. Deshalb erwartet man auch nach Anwendung der oben beschriebenen Sondermaßnahmen eine Reduktion der Helligkeit, auch für Nicht-Durchsicht-Anwendungen. Diese Reduzierung der Helligkeit kann durch Erhöhung der Helligkeit der Quelle oder durch Anwendung von mehr als einer Quelle ausgeglichen werden. Das heißt, das LOE kann mit einem Array von Anzeigequellen und deren zugehöriger Kollimationslinsen beleuchtet werden. In [Fig. 26](#) ist ein Beispiel dieser Methode dargestellt. Das selbe Bild wird von einem Array von 4 Anzeigequellen **4a** bis **4d** generiert, die je von einem zugeordneten Array von Linsen **6a** bis **6d** gerichtet werden, um ein einzelnes parallel gerichtetes Bild zu erzeugen, das über die reflektierende Fläche **16** in das LOE **20** gekoppelt wird. Auf den ersten Blick sieht es so aus, als ob diese Lösung ziemlich teuer werden könnte. Die höheren Systemkosten aufgrund einer größeren Komponentenzahl und der Notwendigkeit einer Koordinierung der Quellbilder mit Spezialelektronik werden hier durch die inhärent niedrigeren Kosten der Mikrodisplays selbst und die Fähigkeit zur Reduzierung der numerischen Apertur der Kollimationslinsen ausgeglichen. Bei dieser Anordnung besteht auch keine Notwendigkeit für eine Seitenerweiterung; es ist durchaus möglich, nur ein eindimensionales Bilderweiterungs-LOE zu verwenden und die Helligkeit entsprechend zu erhöhen. Es ist wichtig festzuhalten, dass die Anzeigequellen nicht unbedingt identisch sein müssen und ein komplizierteres System mit unterschiedlichen Anzeigequellen verwendet werden kann, wie nachstehend erläutert.

[0116] Ein weiterer Vorteil des LOE-Display der vorliegenden Erfindung ist dessen sehr flache Form, auch im Vergleich mit bestehenden Flachbildschirm-Displays. Ein weiterer Unterschied ist ein signifikant stärker gerichteter Betrachtungswinkel: das LOE-Display kann im Vergleich mit einem Flachbildschirm-Display von einem beträchtlich eingeschränkteren Winkelbereich betrachtet werden. Eine solche eingeschränkte Head-Motion-Box ist für die bequeme Verwendung durch einen Einzelbenutzer ausreichend und bietet in vielen Situationen den zusätzlichen Vorteil der Privatheit.

[0117] Darüber hinaus ist das Bild des LOE-basierten Bildschirms in einer entfernten Ebene hinter der Displayoberfläche und also nicht auf dessen physischer Oberfläche angeordnet. Die Wahrnehmung des Bildes ist der Betrachtung durch ein Fenster vergleichbar. Diese Konfiguration ist besonders gut geeignet für die Implementierung dreidimensionaler Displays.

[0118] Laufende Entwicklungen in der Informationstechnologie haben zu einer steigenden Nachfrage nach 3-D-Displays geführt. Ein breites Angebot an 3-D-Ausrüstung ist auch schon auf dem Markt. Die verfügbaren Systeme leiden jedoch unter dem Nachteil, dass die Benutzer spezielle Vorrichtung zur Trennung der für das linke und das rechte Auge vorgesehenen Bilder tragen müssen. Solche Systeme für "unterstützte Betrachtung" sind in einigen Berufsumfeldern bestens eingeführt. Eine weitere Ausdehnung in andere Bereiche erfordert jedoch Systeme mit "freier Betrachtung" mit besserem Betrachtungskomfort und einer besseren Anpassung an die Mechanismen der Binokularsicht. Die vorliegenden Lösungen dieses Problems haben unterschiedliche Nachteile und bleiben hinsichtlich Bildqualität und Betrachtungskomfort hinter vertrauten 2-D-Displays zurück.

[0119] [Fig. 27A](#) und [Fig. 27B](#) sind Front- bzw. Draufsichten einer möglichen Konfiguration auf Basis der vorliegenden Erfindung zur Materialisierung eines echten 3-D-Displays. Anstelle einer einzigen Anzeigequelle ist am unteren Abschnitt des Substrats **20** ein Array **114** von n unterschiedlichen Anzeigequellen **114₁**, **114_n** angeordnet, wo jede Anzeigequelle Bilder projiziert, die aus unterschiedlichen Perspektiven derselben Szene gewonnen wurden. Das Bild von jeder Anzeigequelle wird auf die gleiche Weise in das Substrat hinein gekoppelt wie oben unter Bezugnahme auf [Fig. 26](#) beschrieben. Wenn der Beobachter das Display betrachtet, beobachten sein rechtes **24a** und linkes **24b** Auge die von den Anzeigequellen **114i** und **114j** projizierten Bilder. Folglich sieht der Beobachter mit jedem Auge dieselbe Szene aus einer unterschiedlichen Perspektive. Die Erfahrung ähnelt stark der Sichterfahrung bei der Betrachtung eines echten 3-D-Objekts durch ein Fenster. Wie in [Fig. 28a-Fig. 28b](#) dargestellt, sehen seine Augen die Bilder, die von den unterschiedlichen Anzeigequellen **114k** und **114l** projiziert werden, wenn der Betrachter seinen Blick horizontal bewegt. Der Effekt ist vergleichbar einer Bewegung des Kopfes über ein Fenster beim Blick auf eine Außenszene. Wenn der Beobachter seinen Blick vertikal bewegt, wie in [Fig. 29A-Fig. 29B](#) dargestellt, sehen die Augen Punkte auf dem Bildschirm, die tiefer als zuvor angeordnet sind. Da sich diese Punkte näher an den Anzeigequellen **114** befinden, sieht der Beobachter Bilder, die von unterschiedlichen Anzeigequellen **114g** und **114h** ausgehen, die näher an der Mitte des Arrays **114** als zuvor angeordnet sind. Die Wahrnehmung des Beobachters ist folglich ähnlich der Betrachtung einer Szene, die näher am Fenster ist. Das heißt, die Szene durch das Substrat wird als dreidimensionales Panorama gesehen, bei dem der untere Teil der Szene näher am Beobachter liegt.

[0120] Das oben mit Bezug auf [Fig. 27-29](#) beschriebene Ausführungsbeispiel ist nur ein Beispiel. Andere Anordnungen zur Realisierung eines echten 3-D-Displays mit unterschiedlichen Aperturen, Aspektpunktzahlen und mehr sind unter Anwendung der vorliegenden Erfindung ebenfalls möglich.

[0121] Ein weiteres mögliches Ausführungsbeispiel der Erfindung ist deren Implementierung als Teleprompter, wie er zum Projizieren von Text für einen Sprecher oder TV-Moderator benutzt wird; da der Teleprompter transparent ist, hat das Publikum den Eindruck, der Sprecher halte Augenkontakt mit ihm, während er/sie in Wirklichkeit den Text abliest. Mit Hilfe eines LOE kann der Teleprompter mit einer kleinen Quelle implementiert werden, die an der optischen Anordnung angebracht ist; dadurch erübrigt sich die Notwendigkeit, in der Nähe der Vorrichtung einen großen Bildschirm aufzustellen.

[0122] Eine andere mögliche Implementierung dieses Ausführungsbeispiels ist ein Bildschirm für einen Personal Digital Assistant (PDA). Die Größe der bestehenden herkömmlichen Bildschirme, die derzeit in Verwendung sind, liegt bei unter 10 cm. Da die minimale Distanz, auf die diese Displays gelesen werden können, in der Größenordnung von 40 cm ist, ist das erreichbare FOV unter 15°; folglich ist der Informationsgehalt, insbesondere soweit Text betroffen ist, auf diesen Displays beschränkt. Eine signifikante Verbesserung des projizierten FOV lässt sich mit dem in [Fig. 24](#) illustrierten Ausführungsbeispiel erzielen. Das Bild ist auf unendlich fokussiert, und der Bildschirm kann wesentlich näher an den Augen des Beobachters angeordnet werden. Und da jedes Auge einen anderen Teil des Gesamtsichtfelds (TFOV) sieht, mit einer Überlappung in der Mitte, kann eine zusätzliche Vergrößerung des TFOV erreicht werden. Deshalb ist eine Anzeige mit einem FOV von 40° oder größer machbar.

[0123] In allen Ausführungsbeispielen der oben beschriebenen Erfindung kam das vom Substrat **20** übertragene Bild aus einer elektronischen Anzeigequelle wie einer CRT oder einem LCD. Es gibt jedoch Anwendungen, bei denen das übertragene Bild ein Teil einer lebenden Szene sein kann, beispielsweise wenn eine lebende Szene auf ein optisches System gekoppelt werden muss.

[0124] In [Fig. 30](#) ist eine Anwendung eines Sternlichtverstärkers (SLA) **116** dargestellt, wo diese Implementierung erforderlich ist. Das Bild von der Außenszene wird vom Kollimator **118** in den SLA ausgerichtet, wo das elektronische Signal des Bildes verstärkt wird, um ein synthetisches Bild zu schaffen, das durch ein Okular **120** auf das Auge des Beobachters projiziert wird. Die dargestellte Konfiguration ist für militärische, paramilitärische und zivile Anwendungen ziemlich beliebt. Diese allgemein gebräuchliche Konfiguration ragt notwendiger Wei-

se vor den Benutzer vor und ist dadurch unpraktisch für die Langnutzung in einer kopfmontierten Konfiguration. Die Vorrichtung ist relativ schwer, tritt in physische Konflikte mit Gegenständen in der Nähe des Benutzers und belastet dessen Kopf und Hals.

[0125] Eine besser geeignete Konfiguration ist in [Fig. 31](#) dargestellt. Hier ist die Vorrichtung nicht vor dem Benutzer angeordnet, sondern an der Seite des Kopfes, wo der Schwerpunkt des SLA an der Hauptachse des Kopfes ausgerichtet ist. Die Richtung der Vorrichtung wird umgekehrt, d. h. der Kollimator **118** ist an der Rückseite und das Okular **120** an der Vorderseite angeordnet. Nun wird das Bild von der vorderen Außenszene mit Hilfe eines LOE **20a** in den Kollimator **118** gekoppelt, wo das Bild vom Okular **120** unter Anwendung eines weiteren LOE **20b** in das Auge des Benutzers gekoppelt wird. Obwohl zwei zusätzliche optische Elemente **20a** und **20b** zur ursprünglichen Vorrichtung hinzugefügt werden, ist das Gewicht dieser Elemente im Vergleich mit dem Gewicht des SLA vernachlässigbar, und die Gesamtkonfiguration ist wesentlich besser geeignet als zuvor. Da außerdem die Montagetoleranz dieser Vorrichtungen alles andere als anspruchsvoll ist, ist eine modulare Konfiguration dieser zwei Elemente machbar, so dass sie entweder von ihrer Position weg verschoben oder vom Benutzer entfernt werden können. Auf diese Weise kann der SLA-Betrachter für eine bequeme Stelle für den Heimbetrieb mit montiertem LOE neu konfiguriert werden, oder für die Montage auf Standard-Gewehren oder anderen Zielvorrichtungen zur Verwendung ohne die LOE-Module. Es ist auch möglich, die LOEs so zu bewegen, dass die Nutzung der Vorrichtung mit jedem Auge möglich ist.

[0126] In allen oben beschriebenen Ausführungsbeispielen wird das LOE dazu benützt, Lichtwellen für Abbildungszwecke zu übertragen. Die vorliegende Erfindung kann jedoch nicht nur für Abbildungszwecke, sondern auch für Nicht-Abbildungszwecke, hauptsächlich Beleuchtungssysteme verwendet werden, in denen die optische Qualität der Ausgangswelle nicht entscheidend ist und die wichtigen Parameter Lichtstärke und gleichmäßige Helligkeit sind. Die Erfindung kann beispielsweise in Hintergrundbeleuchtungen von Flachbildschirmen, in den meisten Fällen LCD-Systemen, angewendet werden, in denen es für einen Bildaufbau erforderlich ist, die Platte mit einem möglichst hellen und gleichmäßigen Licht zu beleuchten. Andere solche mögliche Anwendungen umfassen – ohne darauf beschränkt zu sein – flache und kostengünstige Ersatzprodukte für die Raumbelichtung oder für Flutlichte, Beleuchtungen für Fingerabdrucklesegeräte und Ablesewellen für 3-dimensionale Display-Hologramme.

[0127] Eine der Beleuchtungsnutzungen, die durch Anwendung einer LOE-Vorrichtung beträchtlich verbessert werden können, ist ein reflektierendes LCD. In [Fig. 32](#) ist ein Beispiel eines Substrat-Displays dargestellt, wo die Anzeigequelle eine reflektierende LCD ist. Das von einem Leuchtkörper **122** generierte Licht geht durch einen Polarisator **124**, wird durch eine Linse **126** parallel gerichtet, von einem polarisierenden Strahlteiler **128** reflektiert und beleuchtet eine LCD **130**. Die Polarisierung des Lichts, das vom LCD reflektiert wird, wird durch eine $\frac{1}{4}$ -Wellenlängenplatte um 90° gedreht, oder alternativ dazu vom LCD-Material selbst. Das Bild von der LCD geht nun durch den Strahlteiler, um parallel gerichtet und von der Linse **132** auf das Substrat **20** reflektiert zu werden. Infolge der Strahlteilerkonfiguration ist das gesamte Beleuchtungssystem groß und mühsam und sicherlich nicht kompakt genug für kopfmontierte Anzeigesysteme. Wegen des Strahlteilers **128** ist überdies die Kollimationslinse **132** weiter weg von der Anzeigequelle angeordnet, während es im Sinne einer Minimierung der Abweichungen erforderlich ist, dass die Feldlinse so nahe wie möglich an der Anzeigefläche angeordnet ist.

[0128] Eine verbesserte Version des Beleuchtungs-Setups ist in [Fig. 33](#) dargestellt. Das Licht von der Lichtquelle **122** ist in ein anderes LOE **134** gekoppelt, das die Oberfläche des LCD **130** beleuchtet, wo die teilreflektierenden Flächen polarisationsempfindlich sind. Offenbar ist das gesamte System hier viel kompakter als das in [Fig. 32](#) illustrierte, und die Linse **132** ist wesentlich näher an der LCD-Oberfläche angeordnet. Und da die Eingangsapertur des LOE **134** viel kleiner ist als jene des Strahlteilers **128**, kann die Kollimationslinse **126** nun viel kleiner als zuvor sein und deshalb eine größere f-Nummer haben. Die in [Fig. 32](#) dargestellte Beleuchtungsanordnung ist nur ein Beispiel. Andere Anordnungen zur Beleuchtung eines reflektierenden oder durchlässigen LCD oder zur Verwendung für andere Beleuchtungszwecke in Entsprechung zum optischen System und den gewünschten Parametern sind ebenfalls zulässig.

[0129] Eine wichtige Frage, die zu erörtern ist, ist das Herstellungsverfahren des LOE, bei dem das Array der selektiv reflektierenden Flächen **22** die entscheidende Komponente ist. [Fig. 34](#) stellt ein mögliches Verfahren zur Herstellung eines Arrays teilreflektierender Flächen dar. Die Oberflächen einer Mehrzahl durchsichtiger, flacher Platten **138** werden mit den erforderlichen Beschichtungen **140** versehen, und dann werden die Platten miteinander verklebt, um eine Stapelform **142** anzunehmen. Ein Segment **144** wird dann mittels Schneidens, Schleifens und Polierens vom Stapel abgehoben, so dass das gewünschte Array reflektierender Flächen **146** geschaffen wird, die mit anderen Elementen zur Materialisierung des gesamten LOE zusammengesetzt wer-

den können. Von jedem Segment **144** kann mehr als ein Array **146** hergestellt werden, je nach der tatsächlichen Größe der beschichteten Platten **138** und der erforderlichen Größe des LOE. Wie in [Fig. 4-Fig. 7](#) beschrieben, sollten die erforderlichen Beschichtungen der selektiv reflektierenden Flächen eine bestimmte Winkel- und Spektralreaktion aufweisen, um einen angemessenen Betrieb des LOE sicherzustellen. Es ist deshalb unabdingbar, vor der Endherstellung des LOE die tatsächliche Leistung der Beschichtungen präzise zu messen. Wie oben erklärt, sind zwei Winkelbereiche vorhanden, die gemessen werden müssen – die steilen Einfallswinkel (in der Regel zwischen 60° und 85°), wo der Reflexionsgrad sehr gering ist, und die niedrigen Einfallswinkel (in der Regel zwischen 15° und 40°), wo der Reflexionsgrad der Flächen dazu dient, einen Teil der gefangenen Wellen aus dem LOE hinaus zu koppeln. Die Beschichtung sollte natürlich an diesen zwei Bereichen gemessen werden. Das Hauptproblem des Testverfahrens besteht darin, dass es sehr schwierig ist, den Reflexionsgrad (oder alternative dazu die Durchlässigkeit) mit der bestehenden Testausrüstung für hohe Einfallswinkel – normalerweise über 60° – für Beschichtungen zu messen, die – wie in unserem Fall – zwischen zwei durchsichtigen Platten angeordnet sind.

[0130] In [Fig. 35](#) ist ein Verfahren zum Messen der Reflexion einer beschichteten Fläche **150** bei sehr steilen Einfallswinkeln dargestellt. Anfänglich werden zwei Prismen **152** mit einem Winkel α an der beschichteten Platte befestigt. Der ankommende Strahl **154** trifft in einem Einfallswinkel α auf die beschichtete Platte. Ein Teil des Strahls **156** geht in der ursprünglichen Richtung weiter, und seine Intensität T_α kann gemessen werden. Unter Berücksichtigung der Fresnel-Reflexionen von der Außenfläche kann der Reflexionsgrad der gemessenen Beschichtung im Winkel α berechnet werden als $R_\alpha = 1 - T_\alpha$. Zudem wird der andere Teil des Strahls von der beschichteten Fläche reflektiert, durch totale Innenreflexion von der Außenfläche des unteren Prismas erneut reflektiert, trifft in einem Winkel 3α erneut auf die beschichtete Fläche, wird erneut durch totale Innenreflexion von der Außenfläche des oberen Prismas reflektiert und dann in einem Winkel α von der beschichteten Fläche reflektiert und aus dem Prisma hinaus gekoppelt. Hier kann die Intensität des Ausgangsstrahls **158** gemessen werden. Unter Berücksichtigung der Fresnel-Reflexionen ist die Intensität des Ausgangsstrahls $(R_\alpha)^2 \cdot T_{3\alpha}$. Da der Reflexionsgrad R_α aus dem vorangehenden Schritt bekannt ist, kann der Reflexionsgrad bei einem Winkel 3α entsprechend berechnet werden. Es gibt Testausrüstungen, bei denen der Ausgangsstrahl auf der selben Achse wie der ankommende Strahl liegen muss. In [Fig. 36](#) ist ein Faltprisma **160** dargestellt, das zur Umwandlung des Strahls in den des ursprünglichen Strahls dient. Der Rest des ursprünglichen Strahls **154** kann unter Anwendung einer geeigneten Maske oder einer Blockierschicht **162** blockiert werden.

[0131] Jedes Prismenpaar kann den Reflexionsgrad bei zwei Winkeln messen – α und 3α . Wenn beispielsweise der Kopfwinkel 25° beträgt, kann der Reflexionsgrad bei 25° und 75° gleichzeitig gemessen werden. Deshalb ist in der Regel eine kleine Zahl an Prismenpaaren (2 oder 3) für eine ordentliche Messung der beschichteten Platten erforderlich. Selbstverständlich kann das hier dargestellte Setup zum Messen des Reflexionsgrads dieser zwei Winkel bei unterschiedlichen Wellenlängen ebenso wie für die zwei Polarisierungen dienen, wenn erforderlich.

[0132] Für einschlägig bewanderte Fachpersonen ist offensichtlich, dass die Erfindung nicht auf die Einzelheiten der vorangehend illustrierten Ausführungsbeispiele beschränkt ist und dass die vorliegende Erfindung auch in anderen bestimmten Formen verkörpert sein kann. Die vorliegenden Ausführungsbeispiele sind deshalb in jeder Hinsicht als illustrativ zu betrachten, und also nicht als einschränkend. Der Geltungsbereich der Erfindung wird von den angehängten Ansprüchen festgelegt, und nicht von der vorangehenden Beschreibung, und alle Änderungen, die im Rahmen der Bedeutung und im Äquivalenzbereich der Ansprüche bleiben, sind folglich mit eingeschlossen.

Patentansprüche

1. Optische Vorrichtung, umfassend:

ein lichtdurchlässiges Substrat (**20**) mit mindestens zwei zueinander parallelen Hauptflächen (**26**) und Kanten, ein in dem Substrat (**20**) befindliches optisches Mittel (**16**) zum Einkoppeln von in einem gegebenen Sichtfeld befindlichen Lichtwellen in das Substrat (**20**) durch Totalreflexion, und mindestens eine in dem Substrat (**20**) befindliche teilreflektierende Fläche (**22**), die zu den Hauptflächen (**26**) des Substrats (**20**) nicht parallel ist,

dadurch gekennzeichnet, dass die teilreflektierende Fläche (**22**) eine flache, winkelselektive reflektierende Fläche ist, und

dass die teilreflektierende Fläche (**22**) so angeordnet ist, dass in dem Sichtfeld befindliche Lichtwellen an beiden Seiten (**42, 44**) der teilreflektierenden Fläche (**22**) ankommen.

2. Optische Vorrichtung nach Anspruch 1, wobei das optische Mittel (**16**) zum Einkoppeln von Licht in das

Substrat **(20)** abgewinkelt zu den Hauptflächen **(26)** angeordnet ist, so dass zumindest ein Teil der Lichtstrahlen des gekoppelten Lichts vor der Auskopplung aus dem Substrat **(20)** die teilreflektierende Fläche **(22)** mindestens zweimal unter zwei unterschiedlichen Einfallswinkeln schneidet.

3. Optische Vorrichtung nach Anspruch 1 oder 2, wobei die reflektierende Fläche **(22)** in dem Substrat **(20)** unter einem größeren Winkel als der außeraxiale Winkel der in das Substrat **(20)** eingekoppelten Lichtwellen angeordnet ist, wodurch Strahlen der gekoppelten Lichtwellen unter einem ersten Einfallswinkel auf eine Seite **(42)** der Fläche **(22)** treffen und Strahlen der gekoppelten Lichtwellen unter einem zweiten, kleineren Einfallswinkel auf eine zweite Seite **(44)** der Fläche **(22)** treffen.

4. Optische Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei die winkelselektive teilreflektierende Fläche **(22)** eine kleine Reflexion für einen Teil des Winkelspektrums und eine größere Reflexion für andere Teile des Winkelspektrums bewirkt.

5. Optische Vorrichtung nach Anspruch 4, wobei die winkelselektive teilreflektierende Fläche **(22)** einen geringen Reflexionsgrad bei großen Einfallswinkeln und einen hohen Reflexionsgrad bei kleinen Einfallswinkeln bewirkt.

6. Optische Vorrichtung nach Anspruch 3, wobei die winkelselektive teilreflektierende Fläche **(22)** eine geringe Reflexion für einen der Einfallswinkel und eine wesentlich größere Reflexion für den zweiten der Einfallswinkel bewirkt.

7. Optische Vorrichtung nach Anspruch 3, wobei der erste Einfallswinkel mit kleiner Reflektanz größer als der zweite Einfallswinkel ist.

8. Optische Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 7, wobei ein Array von zwei oder mehr teilreflektierenden Flächen **(22)** vorgesehen ist, dadurch gekennzeichnet, dass die teilreflektierenden Flächen **(22)** zueinander parallel und zu jeder der Kanten der Hauptflächen **(26)** des Substrats **(20)** nicht parallel sind.

9. Optische Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 8, wobei das optische Mittel **(16)** eine in dem Substrat **(20)** befindliche wellenreflektierende Fläche ist.

10. Optische Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 9, wobei die mindestens eine teilreflektierende Fläche **(22)** das durch Totalreflexion gefangene Licht aus dem Substrat **(20)** auskoppelt.

11. Optische Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 10, weiterhin umfassend ein Mittel zum Erzeugen von Ausgangslichtwellen aus Eingangslichtwellen, wobei sich die Eingangslichtwellen und Ausgangslichtwellen auf derselben Seite des Substrats **(20)** befinden.

12. Optische Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 10, weiterhin umfassend ein Mittel zum Erzeugen von Ausgangslichtwellen aus Eingangslichtwellen, wobei sich die Eingangslichtwellen auf einer Seite des Substrats **(20)** und sich die Ausgangslichtwellen auf einer anderen Seite des Substrats **(20)** befinden.

13. Optische Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 10, weiterhin umfassend ein Mittel zum Erzeugen von Ausgangslichtwellen aus Eingangslichtwellen, wobei die Eingangslichtwellen in das Substrat **(20)** durch eine seiner Kanten hindurch eingekoppelt werden.

14. Optische Vorrichtung nach Anspruch 8, wobei der Reflexionsgrad jeder der teilreflektierenden Flächen **(22)** über die reflektierenden Flächen **(22)** hinweg nicht identisch ist.

15. Optische Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 14, wobei die teilreflektierende Fläche **(22)** eine Beschichtung für p-polarisiertes Licht aufweist.

16. Optische Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 14, wobei die teilreflektierende Fläche **(22)** eine Beschichtung für s-polarisiertes Licht aufweist.

17. Optische Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 14, wobei die teilreflektierende Fläche **(22)** eine Beschichtung für unpolarisiertes Licht aufweist.

18. Optische Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 17, weiterhin umfassend eine zweite Menge von

einer oder mehr in dem Substrat (**20**) befindlichen reflektierenden oder teilreflektierenden Flächen, wobei diese zweite Menge teilreflektierender Flächen zueinander parallel ist und zu der mindestens einen teilreflektierenden Fläche (**22**) nicht parallel ist.

19. Optische Vorrichtung nach Anspruch 18, wobei die zweite Menge reflektierender oder teilreflektierender Flächen die Ausbreitungsrichtung des in das Substrat (**20**) eingekoppelten Lichts durch Totalreflexion verändert.

20. Optische Vorrichtung nach Anspruch 18 oder 19, wobei der Reflexionsgrad der zweiten Mehrzahl teilreflektierender Flächen ein Sichtfeld mit gleichförmigem Helligkeitsprofil erzeugt.

21. Optische Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 20, weiterhin umfassend mindestens ein Paar von dem Substrat (**20**) getragener reflektierender Flächen, wobei das Paar reflektierender Flächen zueinander parallel und Teil der Kanten des Substrats (**20**) sind.

22. Optische Vorrichtung nach Anspruch 21, wobei das mindestens eine Paar reflektierender Flächen die Ausbreitungsrichtung des in das Substrat (**20**) eingekoppelten Lichts durch Totalreflexion verändert und es dann in seine ursprüngliche Richtung zurück reflektiert.

23. Optische Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 22, weiterhin umfassend mindestens zwei unterschiedliche Substrate, die miteinander kombiniert sind.

24. Optische Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 23, weiterhin umfassend eine Anzeigenlichtquelle (**4**; **4a...4d**; **64**; **122**).

25. Optische Vorrichtung nach Anspruch 24, wobei die Anzeigenlichtquelle eine Flüssigkristallanzeige (LCD) (**130**) ist.

26. Optische Vorrichtung nach Anspruch 25, wobei sich ein winkelselektiver Diffusor zwischen einer Lichtquelle (**122**) und dem Flüssigkristall (**130**) der LCD befindet.

27. Optische Vorrichtung nach Anspruch 24, wobei die Anzeigenlichtquelle eine OLED-Anzeige (OLED: organic light-emitting diode) mit einem Divergenzwinkel ist.

28. Optische Vorrichtung nach einem der Ansprüche 24 bis 27, weiterhin umfassend ein Array von lateral auf die Anzeigenlichtquelle ausgerichteten Mikrolinsen.

29. Optische Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 28, wobei das Substrat (**20**) teiltransparent ist, um einen Durchsichtbetrieb zu gestatten.

30. Optische Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 29, weiterhin umfassend eine opake Fläche, die sich auf oder in dem Substrat (**20**) befindet, so dass der Eintritt von Licht blockiert wird, das von einer Außenszene durch das Substrat läuft.

31. Optische Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 30, weiterhin umfassend eine Fläche mit veränderlichem Durchlässigkeitsgrad, die so gelegen ist, dass sie den Eintritt von das Substrat (**20**) durchlaufendem Licht dämpft, um die Helligkeit von Licht zu steuern, das von einer Außenszene durch die Vorrichtung läuft.

32. Optische Vorrichtung nach Anspruch 31, umfassend eine automatische Vorrichtung zum automatischen Steuern des Durchlässigkeitsgrads der Fläche mit veränderlichem Durchlässigkeitsgrad, wobei der Durchlässigkeitsgrad des Filters durch die Helligkeit von Licht bestimmt wird, das so geleitet wird, dass es durch das Substrat (**20**) läuft.

33. Optische Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 32, wobei die mindestens eine teilreflektierende Fläche (**22**) gefangene Lichtwellen in eine Richtung zum Erreichen eines Auges eines Beobachters reflektiert.

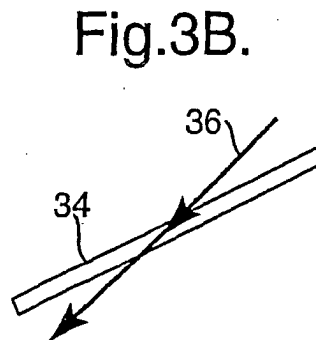
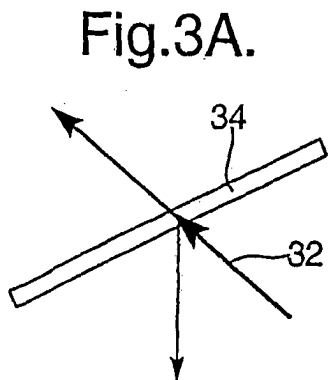
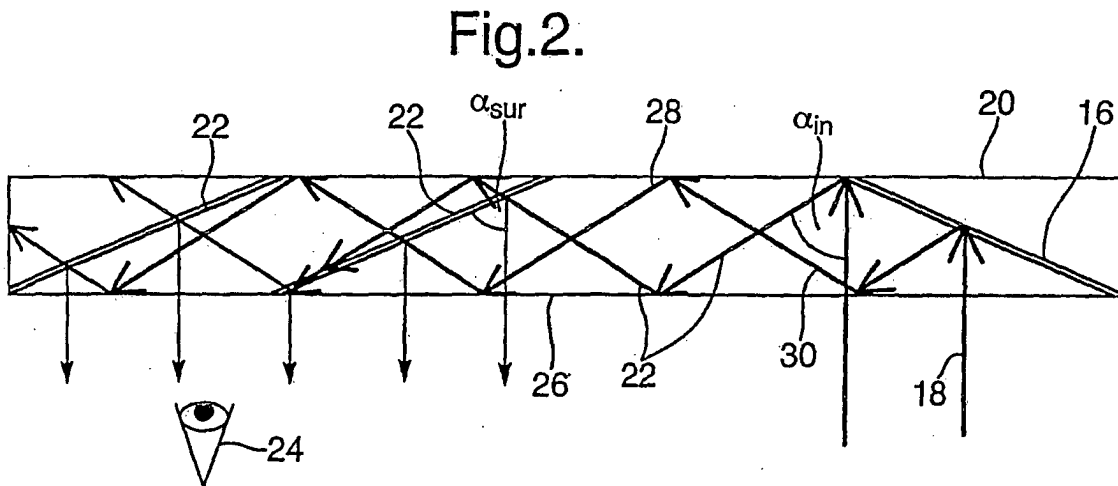
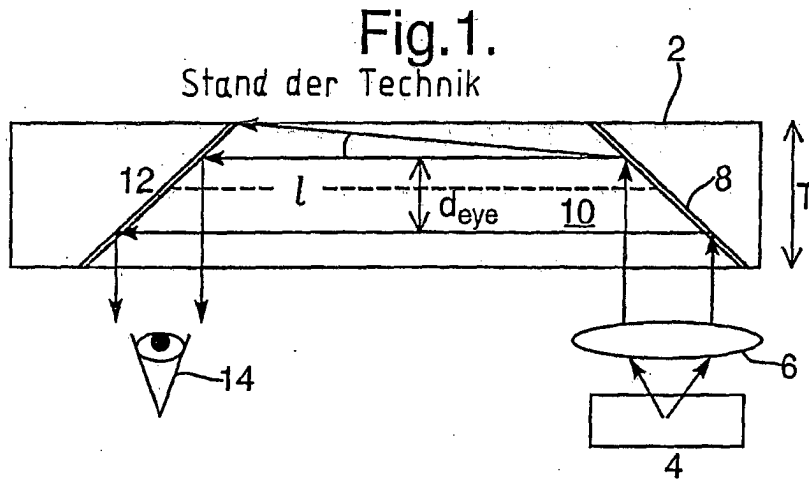
34. Optische Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 32, wobei die mindestens eine teilreflektierende Fläche (**22**) gefangene Lichtwellen in eine Richtung zum Erreichen beider Augen eines Beobachters reflektiert.

35. Optische Vorrichtung nach Anspruch 34, weiterhin mehrere Anzeigenlichtquellen (**4a...4d**) umfassend.

36. Optische Vorrichtung nach Anspruch 35, wobei sich die Bilder der mehreren Anzeigenlichtquellen (**4a...4d**) voneinander unterscheiden.
37. Optische Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 36, wobei die Vorrichtung (**16**) das Licht von der Außenszene in das Substrat (**20**) einkoppelt.
38. Optische Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 37, weiterhin einen Sternenlichtverstärker (**116**) umfassend.
39. Optische Vorrichtung nach einem der Ansprüche 33 bis 38, bei der die Vorrichtung zur Anordnung an der Seite des Kopfes des Beobachters ausgelegt ist, wobei das Objektiv hinten und das Okular vorne liegt.
40. Optische Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 39, wobei die Vorrichtung in einem Brillenrahmen (**100**) angebracht ist.
41. Optische Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 39, wobei die Vorrichtung in einer mobilen Kommunikationsvorrichtung angeordnet ist.
42. Optische Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 32, wobei die mindestens eine teilreflektierende Fläche (**22**) gefangene Lichtwellen in eine Richtung zum Beleuchten eines Gegenstands reflektiert.
43. Optische Vorrichtung nach Anspruch 42, wobei der Gegenstand eine Flüssigkristallanzeige (**130**) ist.

Es folgen 19 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen



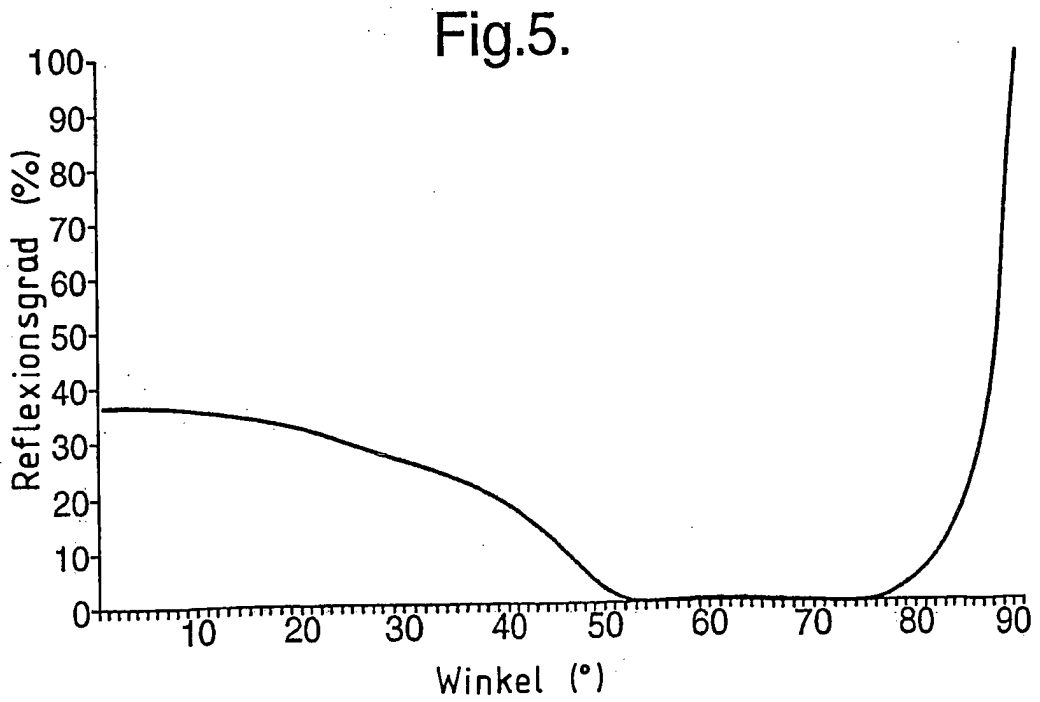
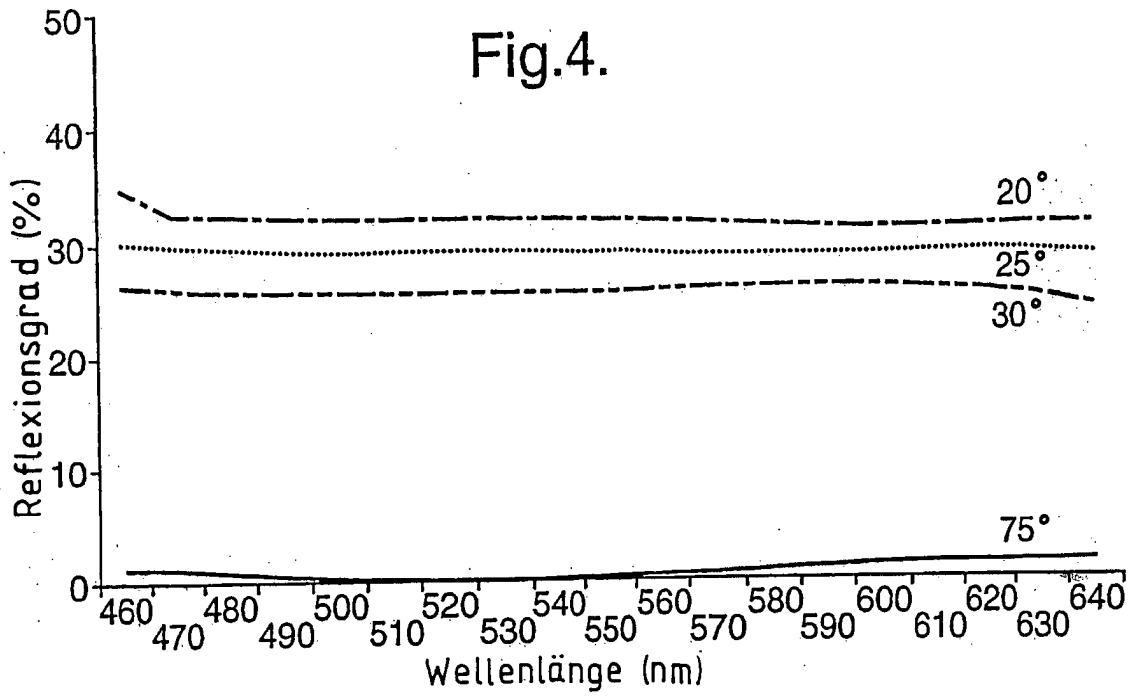


Fig.6.

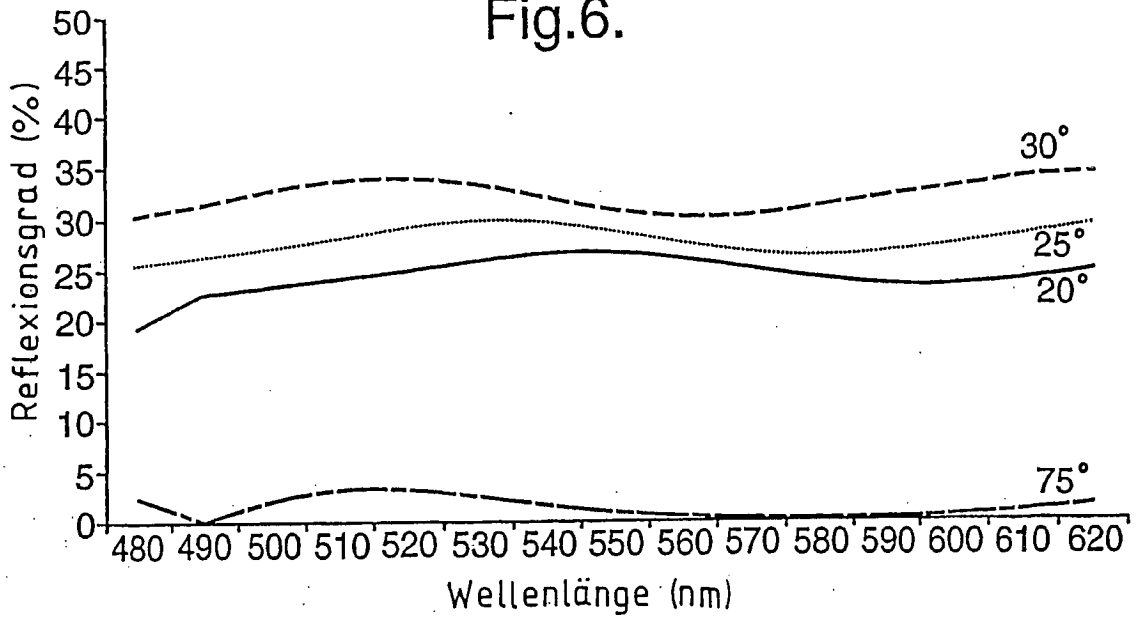
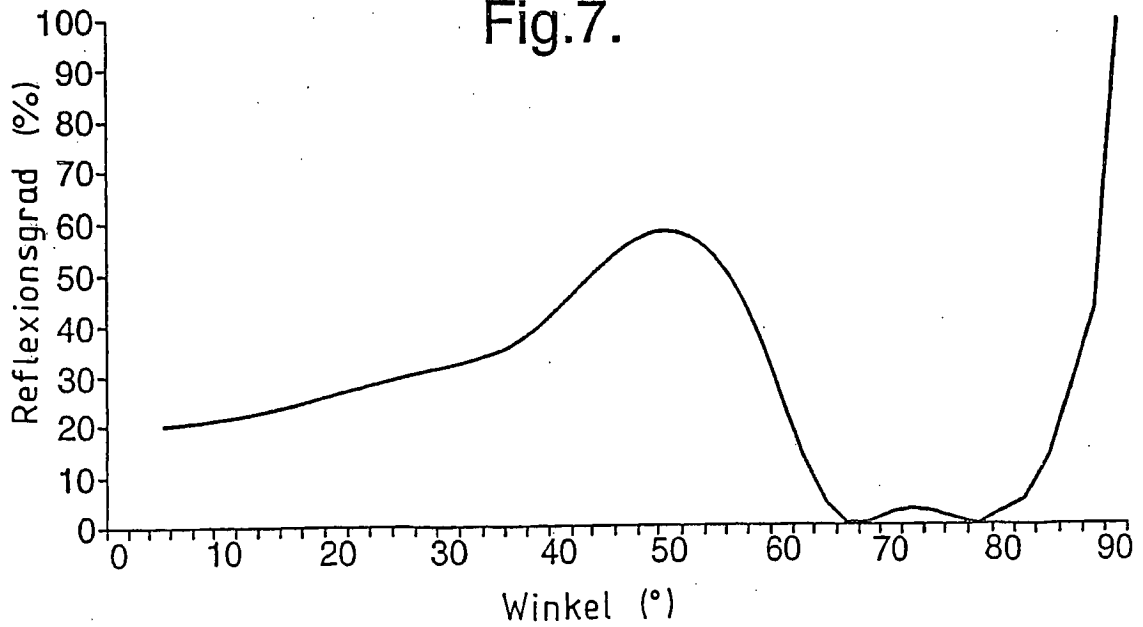


Fig.7.



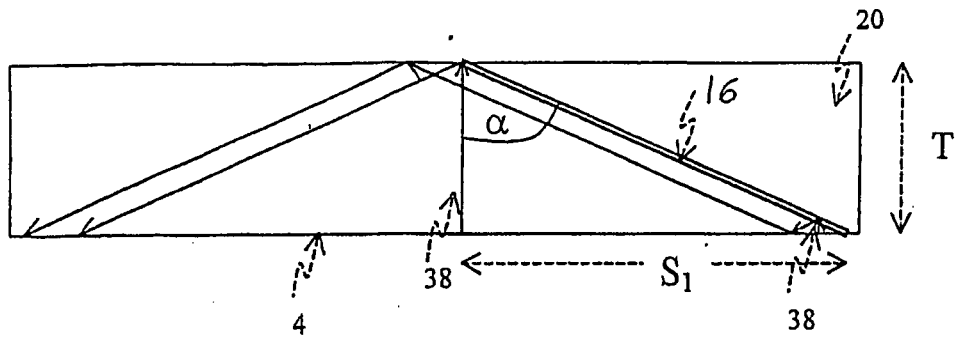


FIG. 8

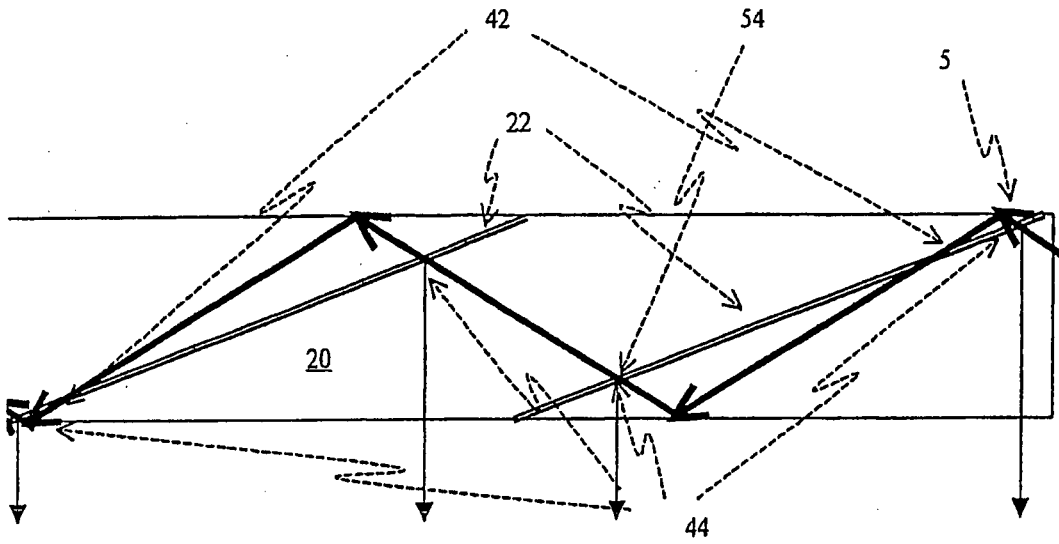


FIG 9A.

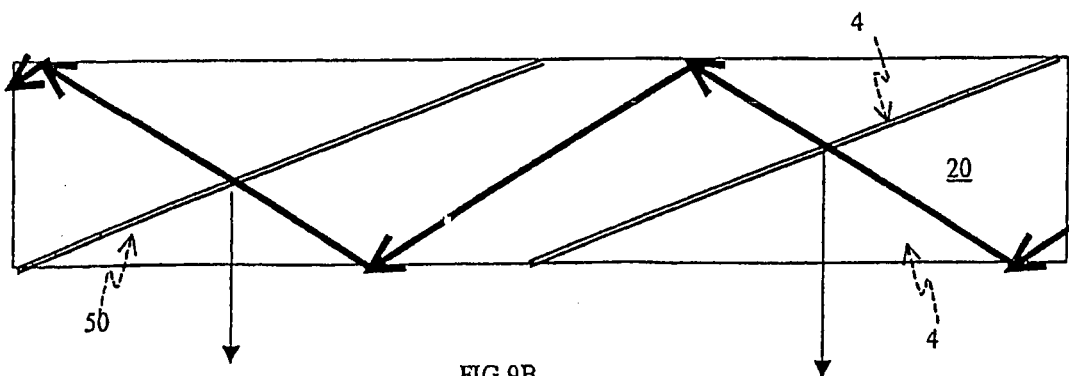


FIG 9B

Fig.10.

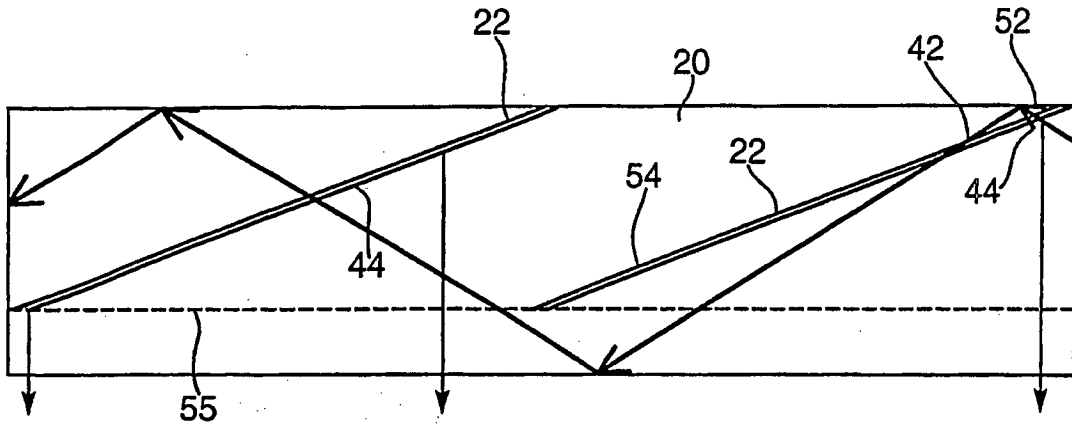


Fig.11.

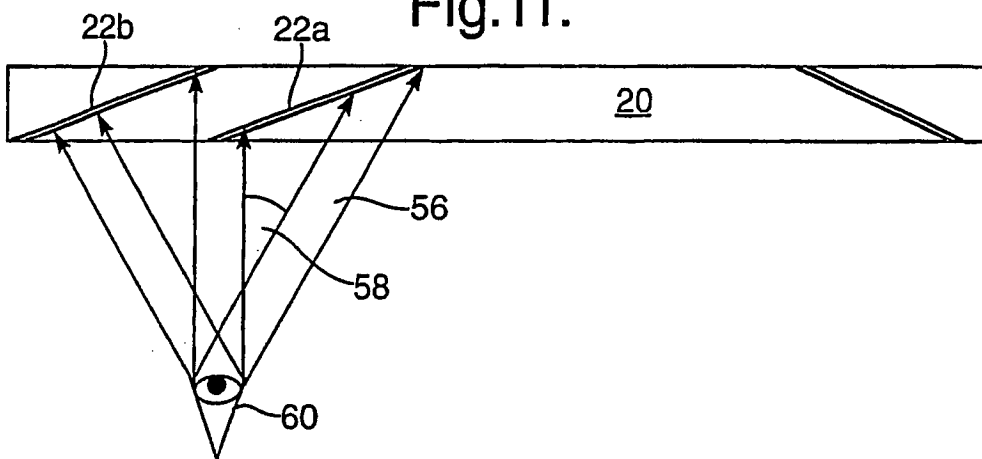


Fig.12.

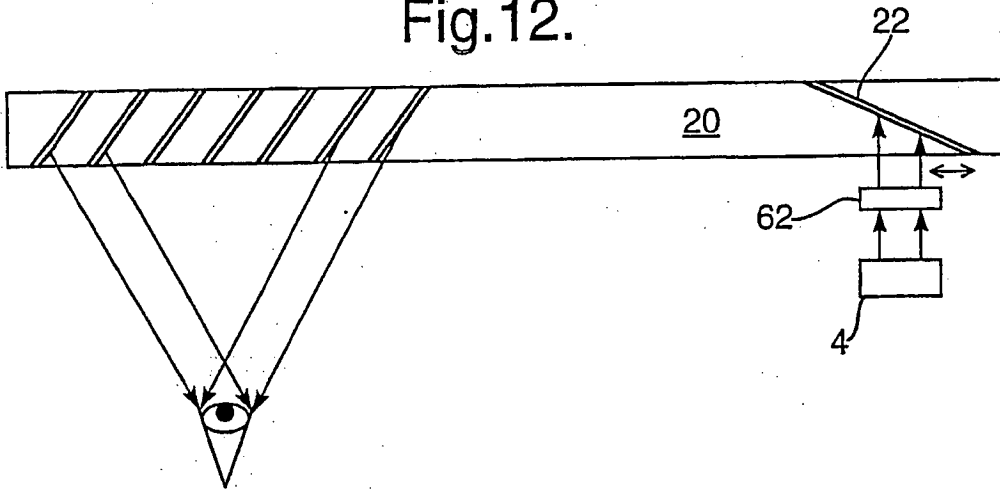


Fig.13.

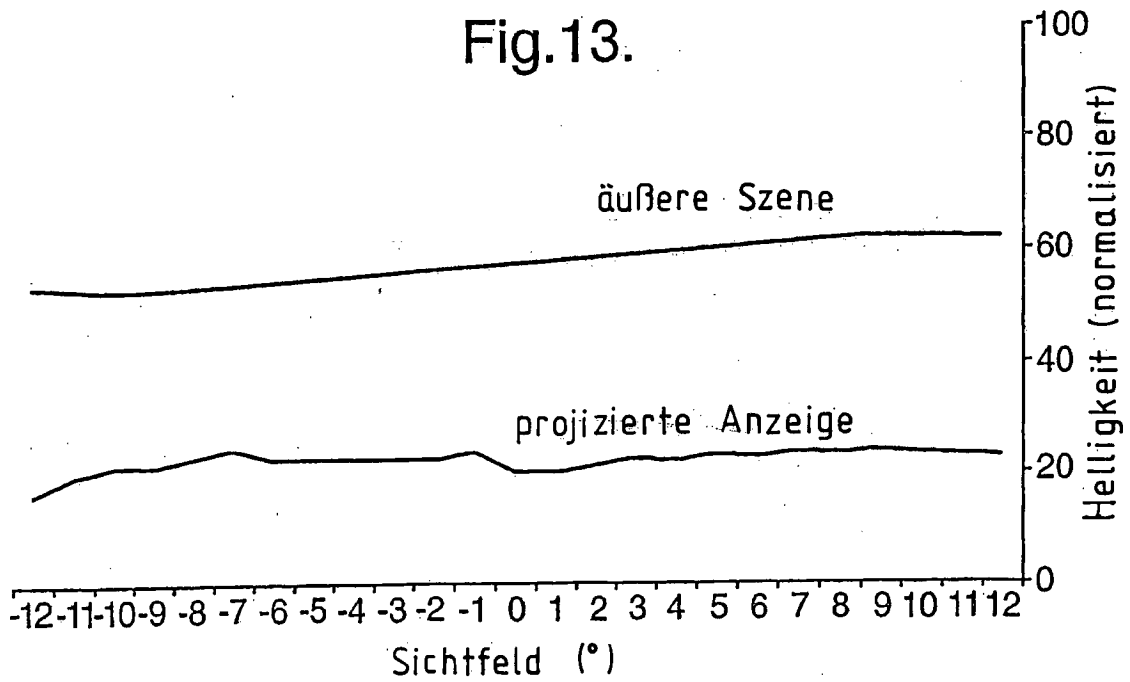


Fig.14.

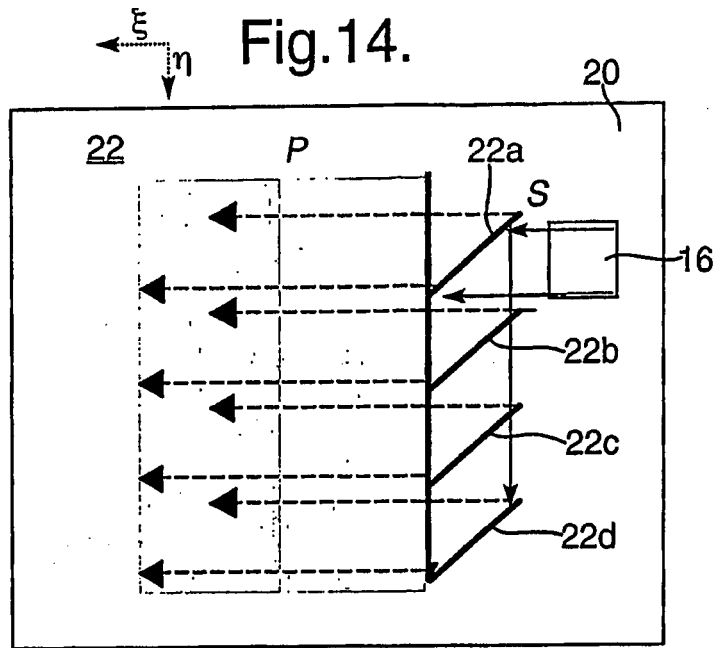


Fig.15.

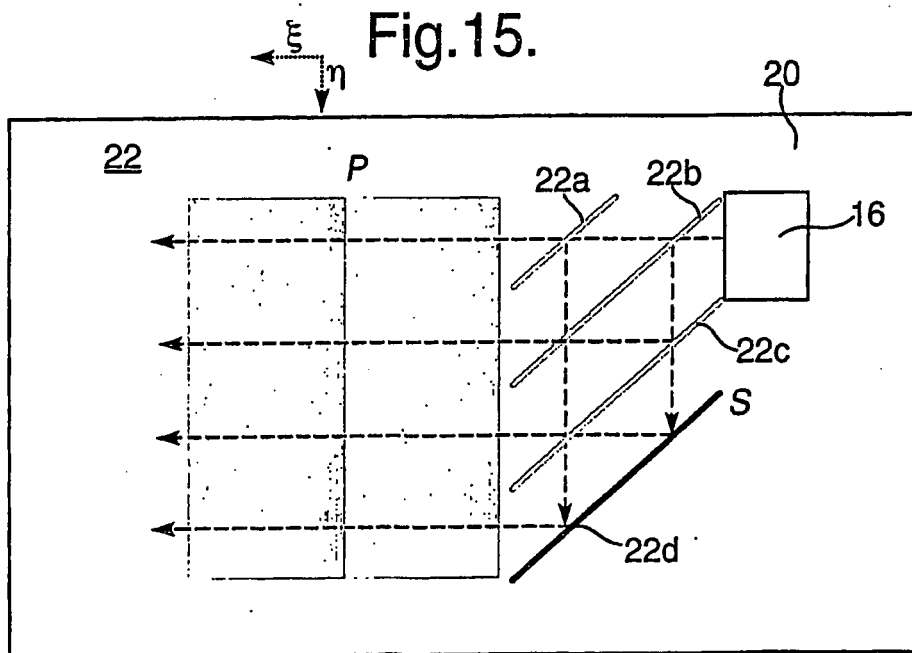


Fig.16.

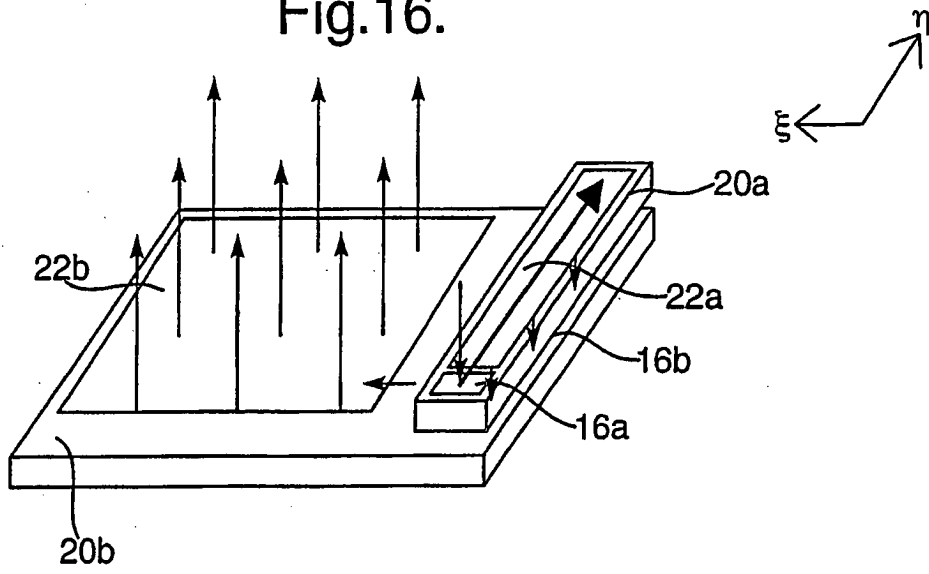


Fig.17.

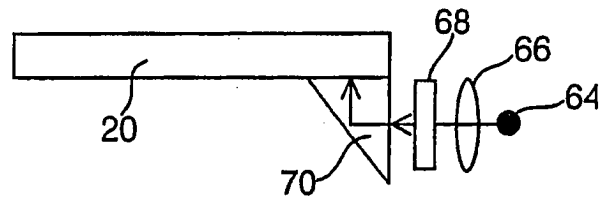


Fig.18.

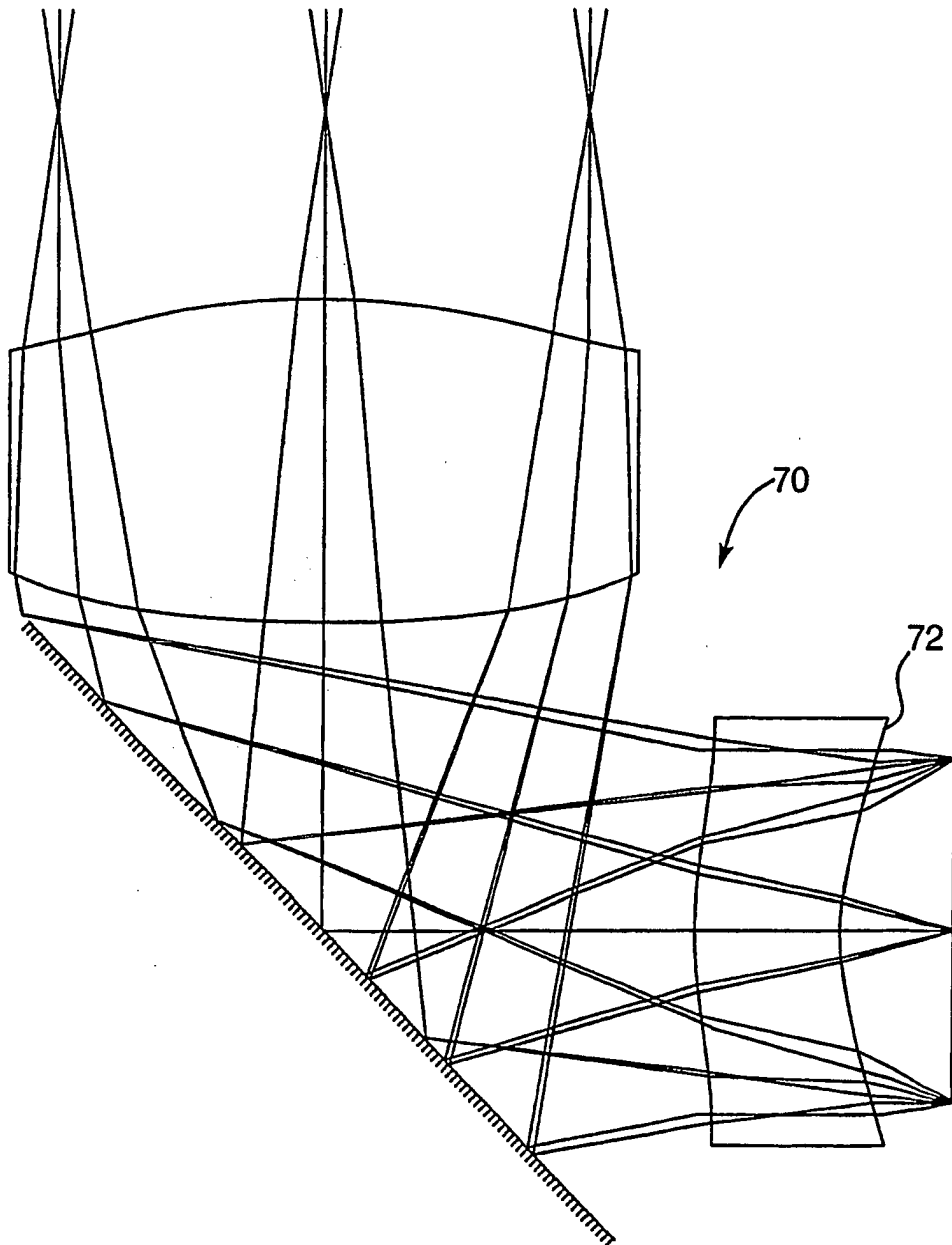


Fig.19.

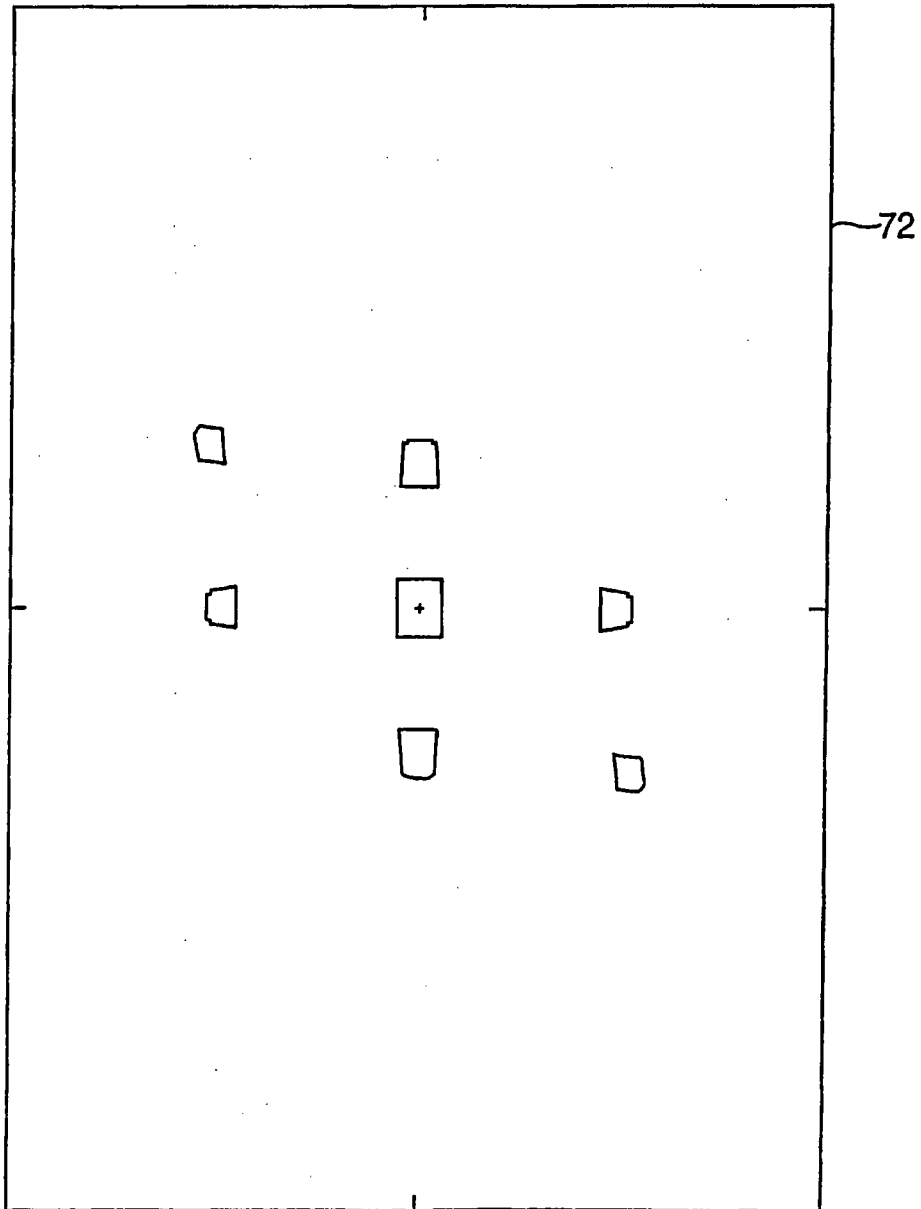


Fig.20.

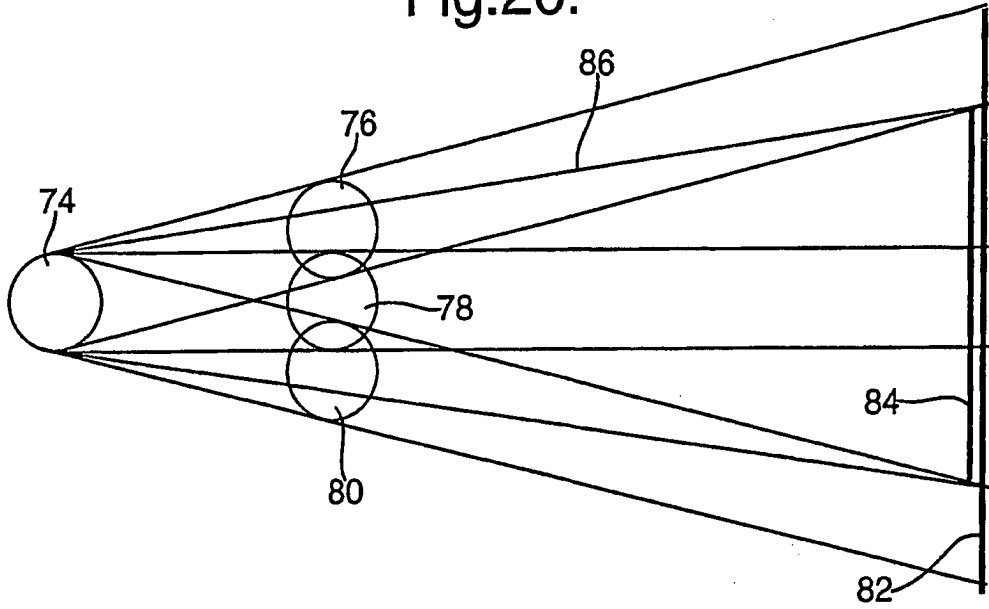


Fig.21.

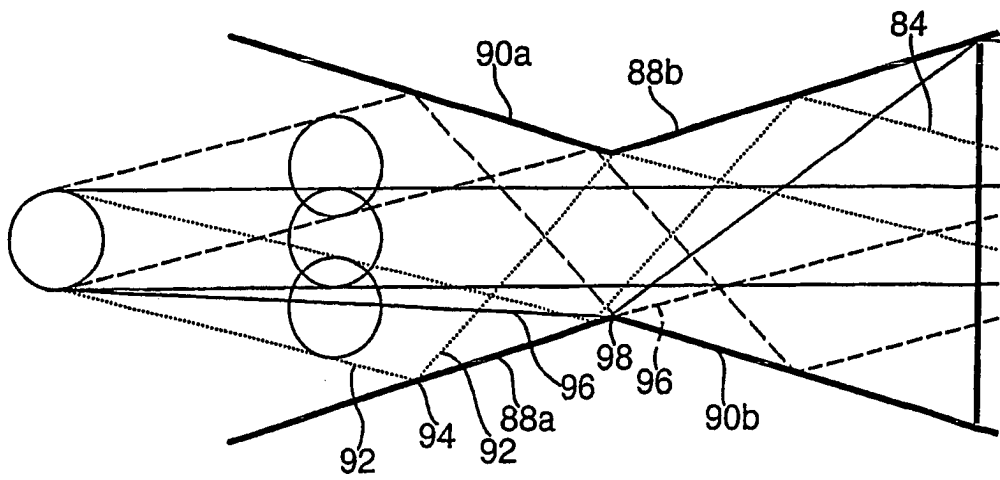


Fig.22A.

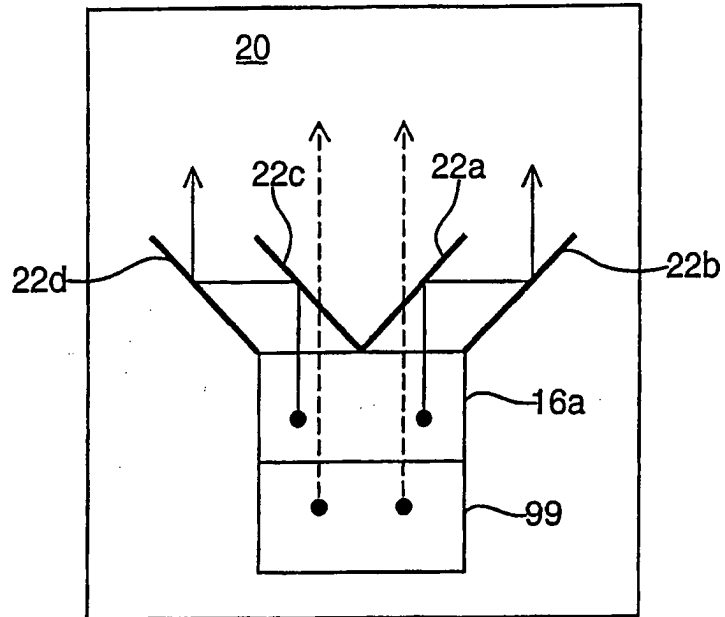


Fig.22B.

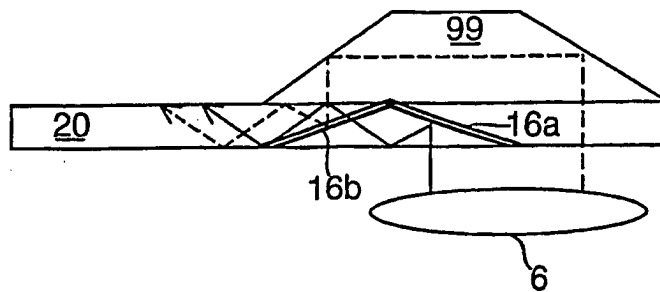


Fig.23.

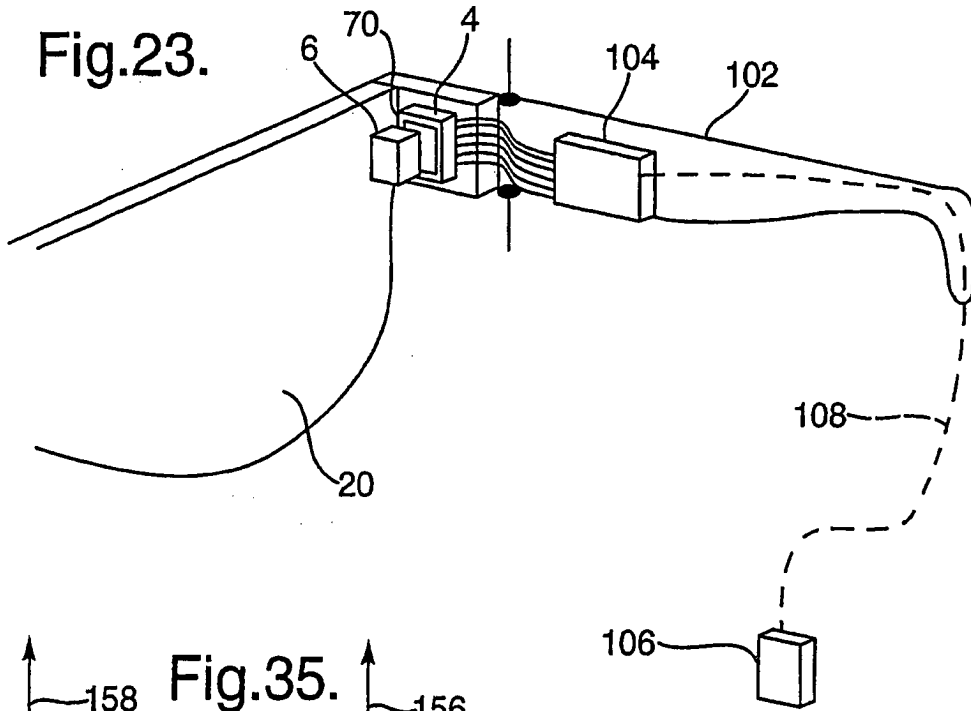


Fig.35.

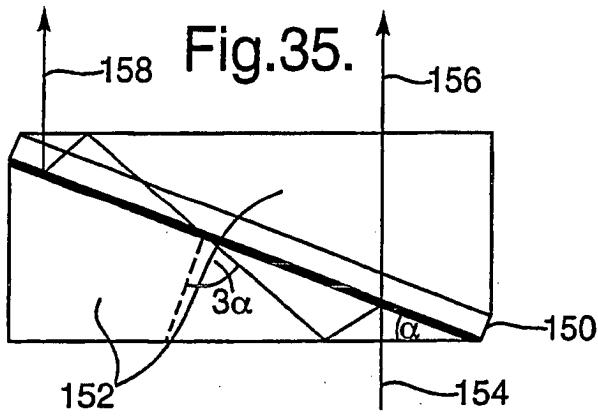


Fig.36.

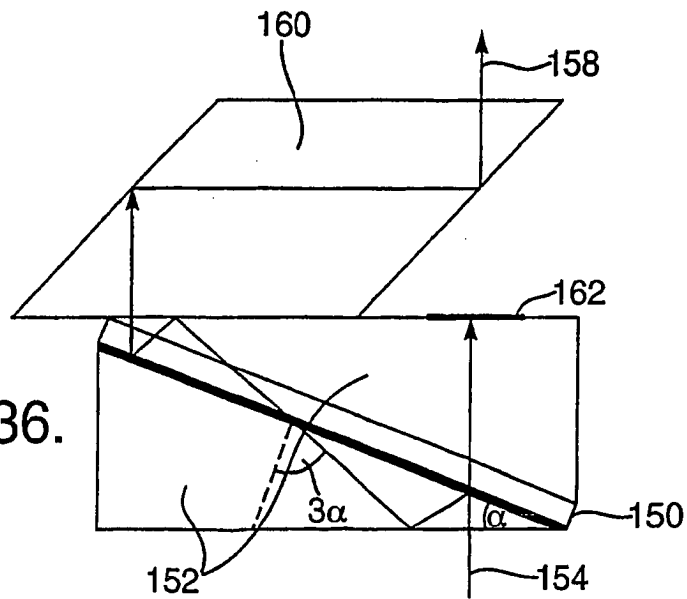


Fig.24.

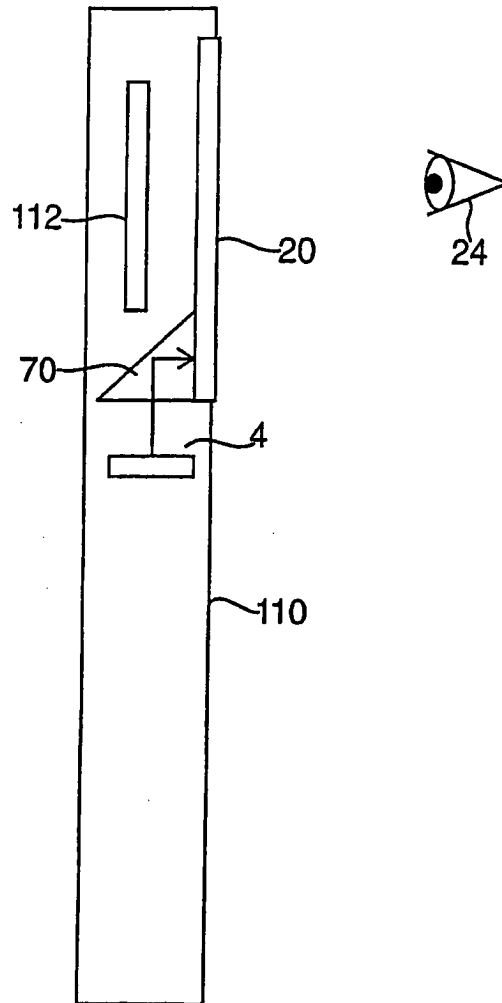


Fig.30.

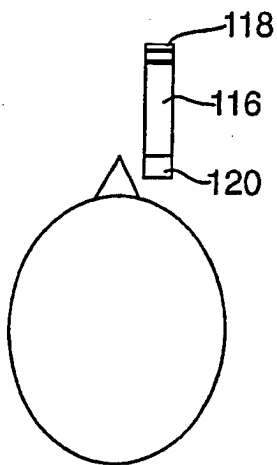


Fig.31.

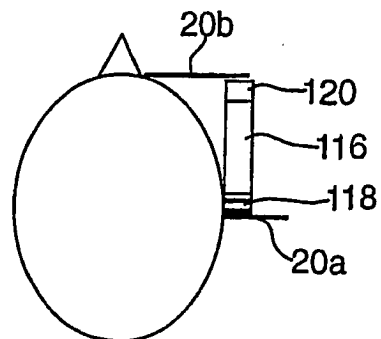


Fig.25.

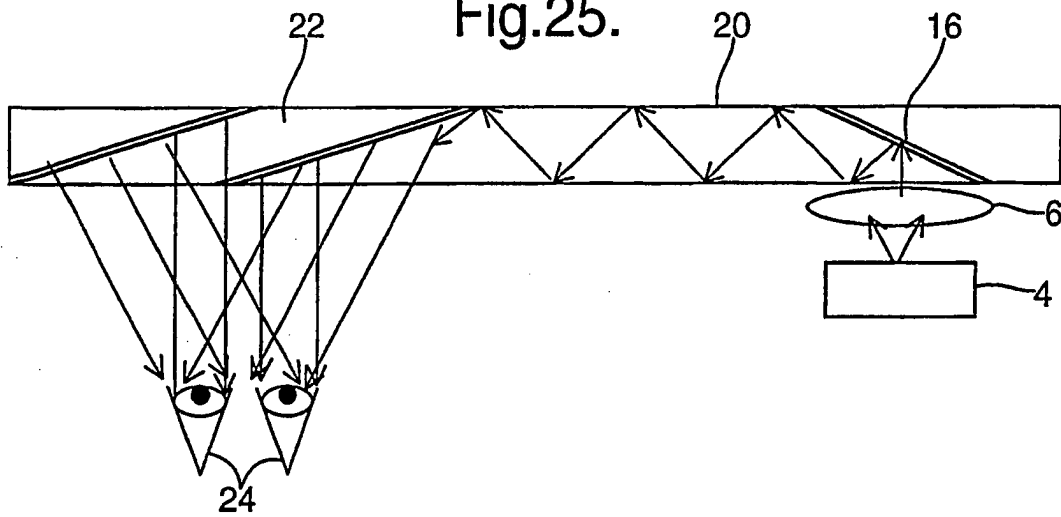


Fig.26.

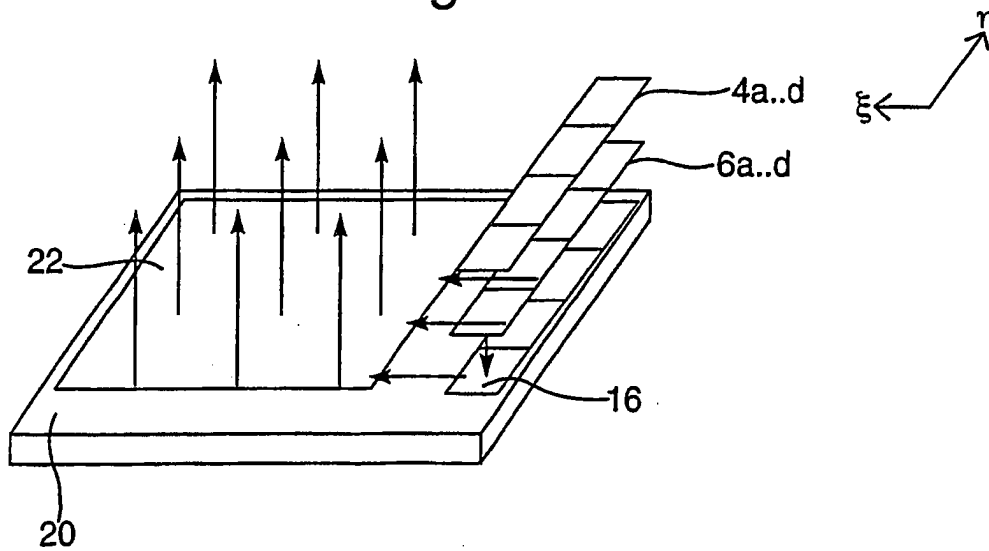


Fig.27A.

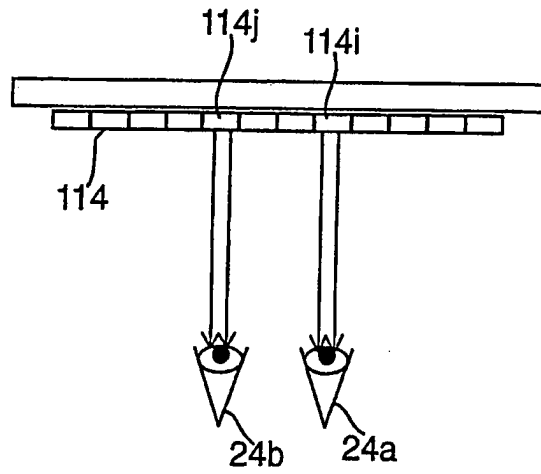


Fig.27B.

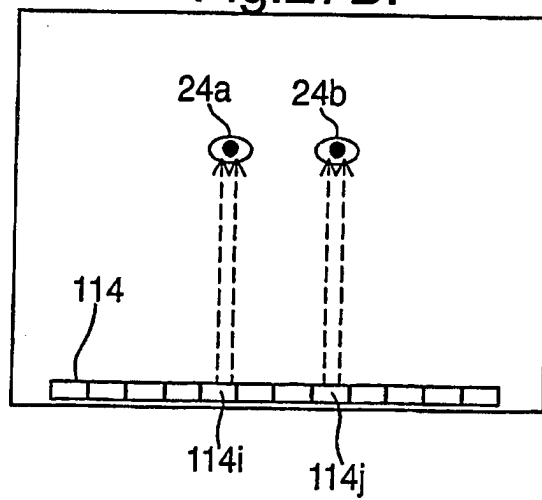


Fig.28A.

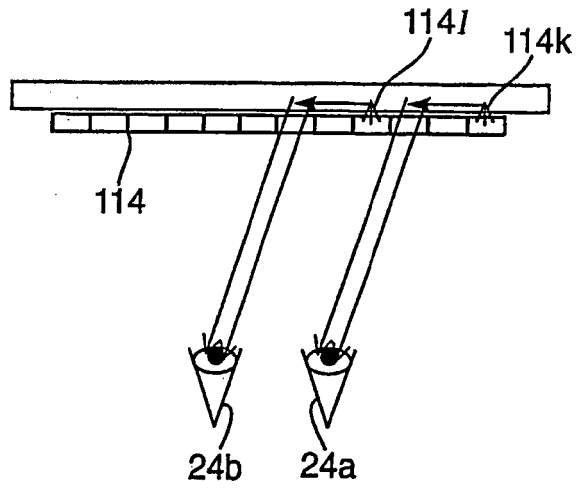


Fig.28B.

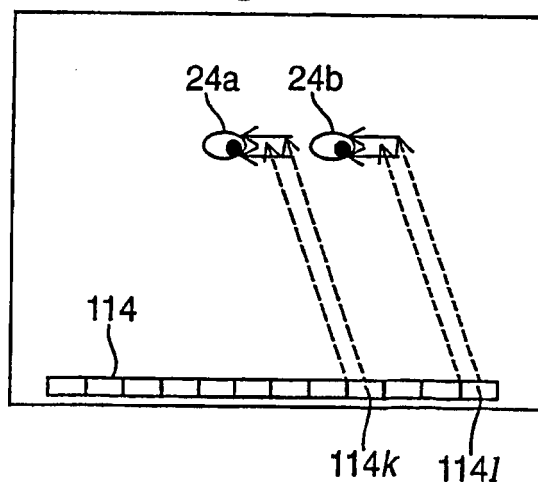


Fig.29A.

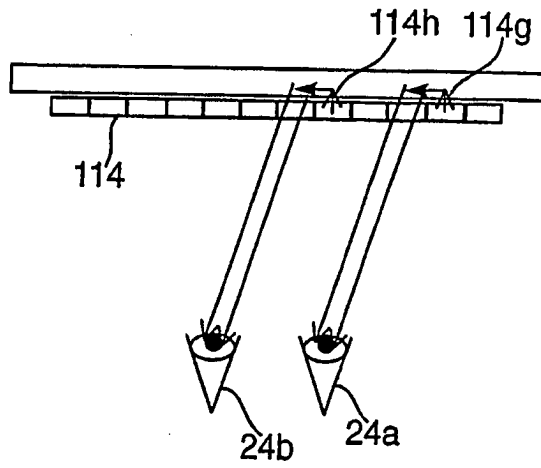


Fig.29B.

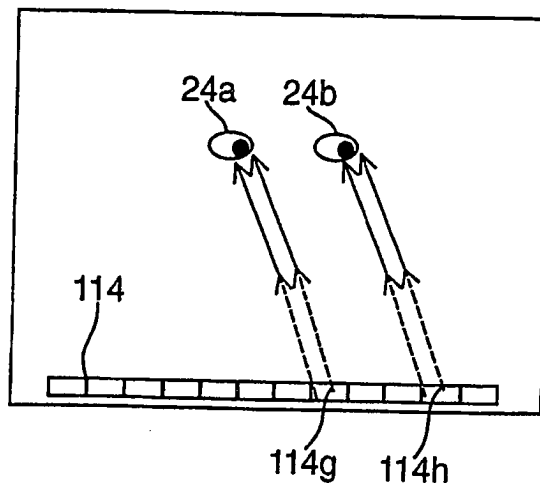


Fig.32.

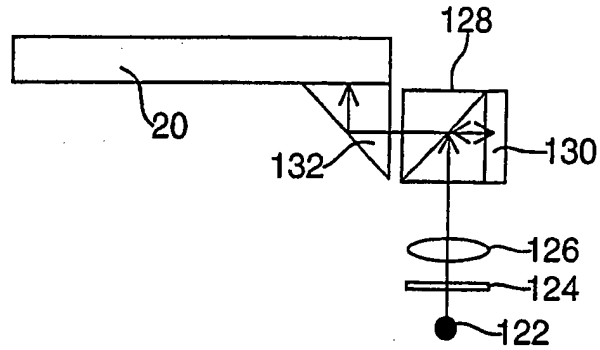


Fig.33

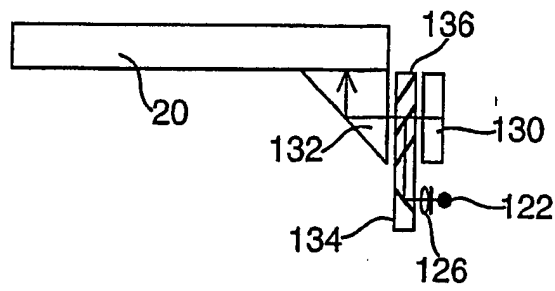


Fig.34.

