



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 103 58 967 B4** 2006.11.16

(12)

Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **103 58 967.8**
 (22) Anmeldetag: **15.12.2003**
 (43) Offenlegungstag: **21.07.2005**
 (45) Veröffentlichungstag
 der Patenterteilung: **16.11.2006**

(51) Int Cl.⁸: **G02B 1/00** (2006.01)
G02B 5/08 (2006.01)
G02B 26/08 (2006.01)
G03F 7/00 (2006.01)
B60Q 1/02 (2006.01)
E06B 9/24 (2006.01)

Innerhalb von drei Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 2 Patentkostengesetz).

(62) Teilung in:
103 62 103.2

(73) Patentinhaber:
Universität Kassel, 34125 Kassel, DE

(74) Vertreter:
Reinhardt, T., Dipl.-Phys., Pat.-Anw., 34117 Kassel

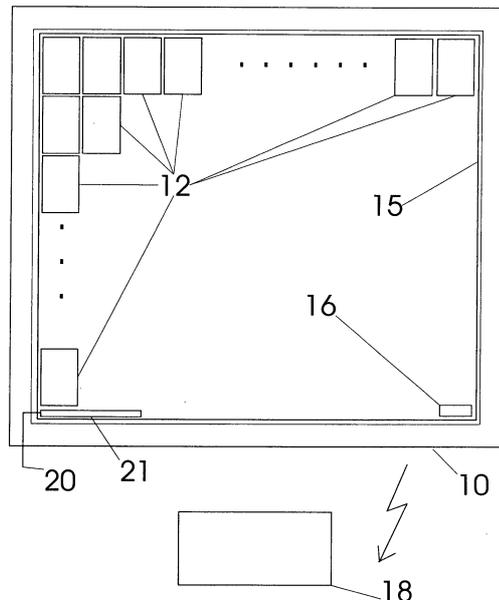
(72) Erfinder:
Hillmer, Hartmut, 34128 Kassel, DE; Stadler, Ingo, 34121 Kassel, DE; Schmid, Jürgen, 34128 Kassel, DE

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
 gezogene Druckschriften:
DE 197 37 653 A1
DE 197 12 201 A1
DE 196 46 943 A1
DE 695 24 815 T2
US2003/01 24 462 A1
US2002/00 47 172 A1

(54) Bezeichnung: **Mikrospiegelarray**

(57) Hauptanspruch: Vorrichtung mit Spiegelementen zur großflächigen Lichtumlenkung, gekennzeichnet dadurch, dass:

die Vorrichtung ein Panel (15) bildet, das eine Mehrzahl von Mikrospiegelvorrichtungen (12) umfasst, die ihrerseits eine jeweilige Mehrzahl von mit einer gemeinsamen Grundträgerfläche (30) verbundenen Einzelkörpern (31) enthalten, wobei ein Einzelkörper (31) wenigstens ein über der Grundträgerfläche (30) stehendes Halteelement (32; 32A, 32B) für ein damit verbundenes optisch reflektiv wirkendes Spiegelement (36) enthält, wobei eine leitende Schicht als gemeinsame Steuerelektrode für eine Bewegung einer Gruppe von Spiegelementen (36) vorgesehen ist.



Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft Mikrostrukturtechnologien und insbesondere Mikrospiegelanordnungen. Im Besonderen betrifft sie eine Mikrospiegelvorrichtung und Mikrospiegelarrays nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1.

Stand der Technik

[0002] Diese Mikrospiegelarrays sind gezielt gestaltete Anordnungen von miniaturisierten Spiegeln im Größenbereich weniger Quadratmikrometer. Sie werden vielfach als räumliche Lichtmodulatoren verwendet. Im einzelnen enthalten solche Mikrospiegelarrays, wie etwa offenbart in EP 0 877 272 A1 in US 2003/0124462 A1 oder in US 2002/047172 A1, eine Mehrzahl von mit einer gemeinsamen Grundträgerfläche verbundenen Einzelkörpern, wobei ein Einzelkörper wenigstens ein über der Grundträgerfläche erhaben stehendes Halteelement, quasi ein Halteblock für ein damit verbundenes optisch reflektiv wirkendes Element, also ein Spiegelement enthält, wobei die Elemente der Einzelkörper Strukturelemente von Schichten eines Dünnschichtherstellungsprozesses sind, bei dem übliche Dünnschichtherstellungstechniken wie Aufdampfen, Galvanisieren, Sputtern und nass- oder trockenchemisches Ätzen von Schichtmaterial kombiniert mit lithographischen Techniken zur Anwendung kommen, um in diesen kleinräumigen Bereichen die gewünschten Strukturen gezielt formen zu können.

[0003] Bei einem solchen Mikrospiegelarray ist jedes einzelne Spiegelement separat über eine entsprechende Adressierungsschaltungsanordnung elektrisch ansteuerbar, um ein Spiegelement bewegen zu können von einer mechanisch stabilen „EIN“- Spiegelstellung in eine zweite „AUS“- Spiegelstellung. Um es bewegen zu können, muss das Spiegelement auf eine entsprechend lokal begrenzt einwirkende magnetische, elektrostatische oder thermisch/mechanisch wirkende Kraft durch Bewegung reagieren zu können.

[0004] Diese Anordnungen finden Einsatz und Anwendung auf den Gebieten der optischen Informationsverarbeitung, der Projektionsanzeigen, der Video- und Grafikmonitore, des Fernsehens und des elektrografischen Drucks. Dabei dient der Mikrospiegelarray dazu, eine pixelgetreue Abbildung zwischen einer Bildwelle mit einer Vielzahl von Pixeln und einer Zielfläche, bspw. einem Display zu schaffen. Diese Pixelweise getrennt auf jedem Spiegel beruhende Abbildung erfordert ein extrem hohes Maß an Fertigungsgenauigkeit bei der Anfertigung solcher Mikrospiegelarrays. Desweiteren impliziert diese Art der Verwendung solcher Mikrospiegelarrays fast zwangsläufig, dass der entsprechende Elektronikschaltkreis, der die Logik für die „EIN/AUS Steue-

rung“ und die entsprechende Einzeladressierungslogik für die jeweiligen Spiegelemente enthält, und damit solche Bauelemente insbesondere durch die Verwendung des relativ teuren, hochreinen Siliziums für die oben genannte Schaltung extrem teuer sind, zumal ihre Herstellung bezogen auf ihre geringe Fläche extrem viel Entwicklungszeit und Herstellungsaufwand erfordert.

[0005] Gemäß einer grundlegenden Leitidee der vorliegenden Erfindung wäre es nun wünschenswert, ähnlich geartete Mikrospiegelanordnungen, die eine Vielzahl von nebeneinander stehenden Mikrospiegeln aufweisen, für ganz andere Zwecke einzusetzen, nämlich sie als großflächige, planare Bauelemente in der Fassade von Gebäuden und insbesondere in Verglasungen von Gebäuden, wie bspw. in Fenstern einzusetzen, um eine variantenreiche Vielfalt von technischen Wirkungen bei der Umlenkung von Licht an den Spiegelflächen auszunutzen.

Aufgabenstellung

[0006] Es ist daher Aufgabe der vorliegenden Erfindung, eine Vorrichtung nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1 zu schaffen, die ohne Aktuierbarkeit von einzelnen Spiegelementen dazu geeignet ist, als Fassadenelement für Gebäude im Vergleich zu eingangs genannten räumlichen Lichtmodulatoren großflächig im Bereich von Quadratdezimetern und größer und mit geringen Kosten hergestellt werden zu können.

VORTEILE DER ERFINDUNG

[0007] Der Gegenstand mit den Merkmalen des Anspruchs 1 sowie die Gegenstände mit den Merkmalen der Nebenansprüche 23 und 25 bis 28 lösen diese Aufgabe.

[0008] In den Unteransprüchen finden sich vorteilhafte Weiterbildungen und Verbesserungen des jeweiligen Gegenstandes der Erfindung.

[0009] Die vorliegende Erfindung beruht auf der grundlegenden Erkenntnis, dass eine Mikrospiegelanordnung für die fassadenbaulichen Zwecke der vorliegenden Erfindung viel einfacher, mit weniger Entwicklungsaufwand und im Vergleich zu vorgenannten räumlichen Lichtmodulatoren im Wesentlichen ohne nennenswerte Anteile von teurem Siliziummaterial in der Schaltungstechnik hergestellt werden kann. Dazu wird vorgeschlagen, die gesamte Mikrospiegelanordnung als modulweise replizierbares, flächenhaftes, architektonisch verwendbares Bauelement herzustellen, bei dem die Steuerelektronik, die die Logik enthält, welche Spiegelemente wie angesteuert werden sollen, zentral in einem dedizierten, entfernt (remote) gelegenen Steuergerät vorgesehen wird, von dem aus ein Adressierungsnetzwerk zur

Ansteuerung der Spiegelemente oder Module ausgeht, dass weitgehend in Form von gedruckten Leitungen in den flächenhaften Modulen bereits bei ihrer Herstellung integriert vorgesehen ist. Damit fällt die Notwendigkeit weg, in dem Fassadenelement selbst teure, siliziumbasierte Chiptechnologie zu implementieren. Desweiteren werden zur Herstellung der Mikrospiegelanordnungen selbst wesentlich billigere Materialien als hochreines Silizium verwendet. Daraus ergeben sich Herstellungskosten, die zumindest in derselben Größenordnung liegen wie andere, herkömmliche Fassadenelemente.

[0010] Wie aus den Ansprüchen hervorgeht, können die Materialien für die Grundträgerflächen, auf denen eine jeweilige Vielzahl von Einzelkörpern steht, und die Spiegelemente tragen, durch Wahl bspw. von Glas, Plexiglas, Kunststoffen, insbesondere Polymeren, tatsächlich so gewählt werden, dass zumindest der Materialwert der Grundträgerfläche eines Moduls mit einer Kantenlänge bspw. von knapp 25 cm sehr niedrig liegt. Dabei ist klar, dass bei einer Verwendung solcher erfindungsgemäßer Vorrichtungen, insbesondere dann wenn sie flächenfüllend im Fensterbereich eingesetzt werden, die Grundplatte oder Grundträgerfolie, die die einzelnen Spiegelemente trägt, aus einem Material sein sollte, das transparent für sichtbares Licht ist. Bei der Verwendung in der Fassade selbst ist dies nicht zwingend notwendig, da es im allgemeinen nicht erforderlich sein wird, durch das erfindungsgemäße flächenhafte Modul hindurch auf das Mauerwerk sehen zu können.

[0011] Als Material für die Halteelemente für die einzelnen Spiegelemente empfiehlt sich grundsätzlich ein solches Material, das ein gewisse, langzeitstabile Formfestigkeit besitzt und gleichzeitig gut geeignet ist, um in einem Ätzprozess als Opferschicht zu dienen. Dabei kommen verschiedene Polymere wie z.B. thermotrope Hauptketten-Flüssigkristalline-Polymere und in besonderer Weise auch handelsüblicher Fotolack in Frage, der gleichmäßig aufgetragen werden kann, um eine einheitliche Schichtdicke zu bilden. Um eine hohe Festigkeit der Halteblöcke zu erreichen, können diese Stellen zuvor komplett aus dielektrischen Materialien z.B. aus geeigneten Silizium-Stickstoffverbindungen, etwa Si_3N_4 , oder Siliziumoxide, besonders Siliziumdioxid (SiO_2) gefertigt werden.

[0012] Alternativ kann das Material für die Halteelemente so gewählt werden, dass es selektives Wachstum erlaubt, insbesondere durch Anwenden von Galvanik in tiefenlithographisch geformtem Polymethylmethacrylat (PMMA).

[0013] Als Material für die Spiegelemente kommt eine reflektive Einfachmetallschicht oder bspw. eine dielektrische Mehrfachschicht in Frage, welche derart ausgestaltet ist, dass sie ein Reflektionsband im

sichtbaren Spektralbereich aufweist (z.B. alternierende Si_3N_4 und SiO_2 $\lambda/4$ -Schichten) mit einer reflektiven Einzelschicht oder eine reflektive Polymerschicht, z.B. Poly[p-Phenylen].

[0014] Insbesondere dann, wenn die erfindungsgemäße Mikrospiegelvorrichtung als flächig ausgebildetes Modul Verbindungselemente enthält, mit denen sie mit anderen Vorrichtungen der gleichen Art randseitig verbunden werden kann, ist ein einfacher modularer Aufbau und Ausbau zu großen Flächen möglich. Dafür kommen bspw. Rastungen, andere verriegelbare Steckverbindungen oder andere, im Stand der Technik bekannte Verbindungselemente wie etwa einrastende, in Frage.

[0015] Es sollte weiter vom Fachmann verstanden werden, dass die Wahl der Größe der Spiegelfläche sowie die der Spiegelform wohlüberlegt, und an den Verwendungszweck des fertigen Bauelementes (bzw. des Systems) angepasst sein sollte. Hierbei empfiehlt sich eine geometrische Form für die Spiegelflächen, die insbesondere dann, wenn die Spiegel entlang eines großen Winkelbereichs verstellbar sind, bestmöglichst flächenfüllend sein sollte, um beispielsweise einen möglichst großen Anteil der Strahlung komplett zurück- oder weiter in das Rauminnere reflektieren zu können, falls dies gewünscht ist.

[0016] Die Spiegelemente können auch eine gekrümmte Form aufweisen, insbesondere dann, wenn sie ohne Einwirken äußerer Kräfte in dieser Form bleiben können. Damit können interessante, optische Effekte erzielt werden, insbesondere bei direkter Sonneneinstrahlung, da dann die Wirkung eines konvex oder konkav gewölbten Spiegels erzielt wird.

[0017] Wenn die Spiegelemente in regelmäßiger Matrixform aus parallelen Zeilen und parallelen Spalten angeordnet sind, so ergibt sich eine übersichtliche Herstellungsweise, da die Strukturen für die Herstellung relativ einfach replizierbar sind, was insbesondere für alle solchen Ausführungsformen wichtig sind, bei denen elektrische Zuleitungen für zusammengefasste Gruppen von Spiegelementen während des lithographischen Herstellungsprozesses eingebunden werden müssen.

[0018] In einer erfindungsgemäßen Ausführungsform mit beweglichen Spiegelementen, bei der ein Spiegelement als Strukturelement einer Einfachmetallschicht oder einer dielektrischen Mehrfachschicht mit leitfähiger Einzelschicht, oder einer leitfähigen Polymerschicht, bzw. Polymervielfachschicht, mit reflektierenden Eigenschaften ausgebildet ist, und wobei das Spiegelement aufgrund einer vorgegebenen, relativ geringen Biegesteifigkeit seiner selbst oder der relativ geringen Biegesteifigkeit seiner Verbindungsbrücke(n) zum Halteelement relativ zur Grundträgerfläche beweglich für einen auf das

Spiegelement wirkenden Aktuationsmechanismus gestaltet ist, ergibt sich über die teilweise leitende Eigenschaft der Spiegelfläche ein Ansatzpunkt, das Spiegelement über verschiedene Kräfte zu aktuieren, wie es an sich im Stand der Technik bekannt ist. Dabei kommen insbesondere eine elektrostatische Aktivierung, auf die weiter unten eingegangen wird, eine magnetische Aktivierung, eine piezoelektrische sowie eine thermische Aktivierung in Frage.

[0019] Soll der Aktuationsmechanismus für die Spiegelemente – wie hier bevorzugt wird – auf elektrostatischen Kräften ruhen, so ist zweckmäßiger Weise eine erste Elektrode eine im Spiegelement und eine zweite Elektrode der Grundträgerfläche zugeordnet. Dabei kann die zweite Elektrode optional auch für mehrere oder alle Spiegelemente als flächenhaft ausgebildete Elektrode an der Grundträgerfläche und mit dieser fest verbunden vorhanden sein.

[0020] Bei diesem Ausführungsbeispiel ist eine elektrische Zuleitung und Kontaktierung der Elektroden von Gruppen von Einzelkörpern bevorzugt vorzusehen, die zu einem der Außenränder der Vorrichtung führt, um von dort aus weitergeleitet werden zu können. Insbesondere sind die elektrischen Zuleitungen zur computergesteuerten Addressierung und Aktuierung der Einzelkörperbewegung und damit der Bewegung der Spiegelemente über die Elektrodenpaare als planare Leitungen (integrierte Leiterbahnen) vorgesehen, was eine leichte Handhabung bei der Verlegung der Fassadenbauelemente gemäß der vorliegenden Erfindung sowie eine vereinfachte Pflege und geringere Anfälligkeit gegenüber Korrosion und anderen, schädlichen Umwelteinflüssen zur Folge hat.

[0021] In vorteilhafter Weise enthalten die oben genannten Verbindungselemente neben den mechanischen Kopplungsgliedern auch die entsprechenden elektrischen Steckverbindungen, damit durch einen einzigen Steckvorgang sowohl die mechanische als auch die elektrische Verbindung gewährleistet ist. Damit sind einfache elektrische Verbindungen zu einem Steuergerät möglich, das gemeinsam für eine Vielzahl zusammengesteckter, erfindungsgemäßer Einzelmodule zur Steuerung der Gruppen von Einzelspiegeln verwendet wird.

[0022] Wenn in weiter vorteilhafter Weise ein Spiegelement über ein beispielsweise länglich geformtes Brückenelement vorgegebener Biegesteifigkeit mit dem Halteelement verbunden ist, dann ergibt sich eine einfache Dimensionierung und Auslegung der einzelnen Schichtdicken und Längen aufgrund der Abhängigkeit zwischen Kraftfeld und erzielttem Kippwinkel des Spiegelements durch das einfache Hebelgesetz und die relativ einfache Biegemechanik eines an einem freien Ende eingespanntem „Balkens“. Die komplexe Verformung der Verbindungsbrücke

(engl. cantilever, Biegebalken) ist in [Fig. 3](#) dargestellt. Die Bewegung der Spiegelebene, quasi eine Verkippung oder Schwenkbewegung der Spiegelebene kann dabei auf eine Achse bezogen werden, welche senkrecht zur Ausrichtung des Brückenelements liegt und gleichzeitig parallel zur Grundträgerfläche verläuft. Aus Gründen der besseren Verständlichkeit wird daher im folgenden eine Kipp- oder Schwenkbewegung angenommen, und auf die zugehörige Achse Bezug genommen. Diese Ausführungsform ist einfach zu fertigen, da das Brückenelement auch wieder ein Strukturelement einer Schicht sein kann. Es sind Kippwinkel ϑ je nach Vorkippung zwischen ca. -80° und $+30^\circ$ möglich, bei etwa 30° Vorkippung, und wenn eine Aktuationsspannung das Spiegelement bis auf 80° ziehen kann, wobei $\vartheta = 0^\circ$ dabei der Horizontalen im eingebauten Zustand entspricht.

[0023] Wenn in weiter vorteilhafter Weise das Spiegelement an zwei länglich ausgebildeten Brückenelementen befestigt ist, die in im wesentlichen paralleler Richtung verlaufend eine Schwenkachse für den Bereich des Spiegelements bilden und an entgegengesetzten Seiten des Spiegelements ansetzen, und die Verwindungssteifigkeit der Brückenelemente um ihre Schwenkachse so an die elektrostatischen Kräfte zwischen den Elektroden angepasst ist, dass eine Schwenkbewegung des Einzelkörpers mit gezielt einstellbarem Auslenkwinkel relativ zur Grundträgerfläche durchführbar ist, dann ergibt sich bei entsprechender Ladung der Elektroden durch Anziehung oder Abstoßung eine Kippbewegung des Spiegelements um die Schwenkachse, die senkrecht zur Schwenkachse des oben erwähnten Beispiels mit einem Brückenelement steht. Der Kippwinkel φ ist hier am einfachsten ohne Vorkippung zwischen ca. -80° und $+80^\circ$ einstellbar möglich, wenn die Aktuationsspannung bei elektrostatischer Aktuierung das Spiegelement bis auf $\pm 80^\circ$ ziehen kann. Der Winkel $\varphi = 0^\circ$ entspricht dabei der Horizontalen. Damit sind sehr weite Bereiche des Kippwinkels möglich.

[0024] Der zentrale Vorteil der elektrostatischen Aktuierung liegt darin, dass bei guter elektrischer Isolierung nur geringe Halteströme benötigt werden.

[0025] Wenn in weiter bevorzugter Weise ein Spiegelement kardanisch gelagert ist durch ein weiteres Brückenelementpaar, das innerhalb des nach dem vorstehenden Anspruch geschwenkten Bereichs vorgesehen ist, so ergibt sich die volle Funktionalität der Winkelanpassung. Die Winkel ϑ und φ sind fast unabhängig voneinander einstellbar. Damit ist der Spiegel selbst unabhängig oder abhängig vom Tagesgang des Sonnenstands sehr gut nachführbar, um für die verschiedenen Anwendungen die richtige Spiegelstellung zu bekommen. Dies setzt ein Steuerprogramm implementiert im Steuergerät voraus, das die entsprechende Nachführlogik und entsprechende

Treiberprogramme für das zur Anwendung kommende Gesamtsystem besitzt. Dabei kann das Gesamtsystem beispielsweise aus einer Vielzahl von 2048 Einzelmodulen bestehen, die jeweils in 4×4 , also 16er Gruppen aufgeteilt jeweils ein Gebäudefenster oder ein Fenster eines mobilen Systems mit einer Fläche von 1 qm bestücken, wobei insgesamt 128 Fenster im Gesamtsystem enthalten sind. Natürlich können dabei noch Sonnenstandssensoren eingesetzt werden, um Steuerinputs für die Nachführlogik zu realisieren. Dabei sollte klar sein, dass das Nachführziel individuell verschieden sein kann, je nach Verwendung und individuellem Bedarf.

[0026] Wenn, wie außerdem bevorzugt, das Spiegelement so zur Schwenkachse orientiert ist, dass eine Schwenkachse das Spiegelement außermittig teilt, so ist ein weiterer Parameter zum Optimieren des Kippwinkels gefunden, wobei beispielsweise die kurze Seite als Seite zur Anziehung oder Abstoßung an Elektroden verwendet werden kann. Ein kurzer Hebel bedeutet dann einen weiten Bereich der Kippbewegung, erfordert aber dementsprechend hohe Kraft.

Ausführungsbeispiel

ZEICHNUNGEN

[0027] Ausführungsbeispiele der Erfindung sind in den Zeichnungen dargestellt und in der nachfolgenden Beschreibung näher erläutert.

[0028] Es zeigen:

[0029] **Fig. 1** in einer schematischen Ansichtsdarstellung ein Gesamtsystem gemäß eines bevorzugten Ausführungsbeispiels der vorliegenden Erfindung enthaltend ein Panel passend für eine Fensterscheibe mit einer Vielzahl von erfindungsgemäßen Einzelmodulen und den zugehörigen Steuereinrichtungen;

[0030] **Fig. 2** eine schematische Darstellung der randseitigen Kopplungsvorrichtungen zwischen zwei Einzelmodulen zwölf aus **Fig. 1**;

[0031] **Fig. 3** eine schematische Querschnittsdarstellung eines Einzelkörpers mit Mikrospiegel, wie er vielfach wiederholt angeordnet auf einem Einzelmodul **12** in **Fig. 1** vorhanden ist, gemäß einem ersten Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung;

[0032] **Fig. 4** eine schematische Draufsichtdarstellung des in **Fig. 3** dargestellten Einzelkörpers;

[0033] **Fig. 5** eine schematische Querschnittsdarstellung eines Einzelkörpers, wie er vielfach wiederholt in einem Einzelmodul **12** aus **Fig. 1** vorkommt, in einer bevorzugten erfindungsgemäßen Variante, in der der Mikrospiegel an zwei Seiten aufgehängt ist;

[0034] **Fig. 6** eine Draufsichtsdarstellung auf den Einzelkörper gemäß **Fig. 5**;

[0035] **Fig. 7** in einer schematischen Draufsichtdarstellung weitere Einzelheiten für die relative Anordnung und Orientierung zwischen Mikrospiegel und Brückenelement gemäß Varianten a), b) und c) entsprechend dem Ausführungsbeispiel aus **Fig. 5** und **Fig. 6**;

[0036] **Fig. 8** in einer schematischen Draufsichtdarstellung einen Einzelkörper einer bevorzugten, weiteren Ausführungsform der vorliegenden Erfindung, bei der ein Mikrospiegel kardanisch gelagert ist;

[0037] **Fig. 9A** in einer skizzenhaften Darstellung eine Weiterbildung des kardanisch gelagerten Einzelkörpers nach **Fig. 8** mit nicht-rechteckförmiger Form;

[0038] **Fig. 9B** eine schematische Ausschnittsdarstellung einer flächenfüllenden Anordnung von unregelmäßig und verschieden geformten Mikrospiegeln als Teil eines Einzelmoduls **12** gemäß einem besonderen Aspekt der vorliegenden Erfindung;

[0039] **Fig. 10** eine skizzenhafte, schematische Querschnittsdarstellung eines erfindungsgemäßen Panels aus Einzelmodulen, eingebaut in ein Fenster, in vereinfachter Darstellung.

BESCHREIBUNG DER AUSFÜHRUNGSBEISPIELE

[0040] In den Figuren bezeichnen gleiche Bezugszeichen gleiche oder funktionsgleiche Komponenten.

[0041] Mit Bezug zu **Fig. 1** und ergänzendem Bezug zu **Fig. 10** (Querschnitt) ist eine erfindungsgemäßes Panel **15** enthaltend einer Vielzahl von matrixartig angeordneten (arrayförmigen) Einzelmodulen **12**, wobei die Außenmaße des Panels **15** etwa den Maßen des sichtbaren Bereichs einer Fensterfläche entsprechen, die innerhalb eines Fensterrahmens **10** angeordnet ist. Wie **Fig. 10** zusätzlich zeigt, ist das Panel **15** im Inneren zwischen einer äußeren Glasscheibe **90** und einer inneren Glasscheibe **92** angeordnet. Die Einzelmodule **12** enthalten ihrerseits wieder eine Vielzahl von optisch reflektiv wirkenden Mikrospiegeln, die ebenfalls matrixartig in regelmäßigen Zeilen und Spalten auf einer gemeinsamen Trägerfläche angeordnet sind, was allerdings in **Fig. 1** aus Gründen erhöhter Klarheit nicht dargestellt ist. Wie aus **Fig. 1** ebenfalls ersichtlich sind die Einzelmodule **12** von identischer Form und miteinander verbunden, wobei nähere Details in **Fig. 2** dargestellt sind.

[0042] Ein Ansteuerungsnetzwerk bestehend im wesentlichen aus planaren Leitungen im Inneren eines jeden Einzelmoduls **12** und Kontaktierungen zwi-

schen den Einzelmodulen ist vorgesehen, um die oben erwähnten Einzelkörper mit ihren Mikrosiegeln erfindungsgemäß durch eine entsprechende elektrische Aktuierung auf Grund elektrostatischer Kräfte gezielt zu bewegen, um damit gezielt Licht umlenken zu können. Zu diesem Zweck ist eine Versorgungsleitung **20** vorgesehen, die eine Gleichspannung vom beispielsweise der Größenordnung von 60 V über einen dafür vorgesehenen Anschluss **21** an ein speziell dafür eingerichtetes Einzelmodul **12** liefert.

[0043] Des weiteren ist ein Sensor **16** vorgesehen, der ebenfalls mit dem Aktuierungsnetzwerk operativ verbunden ist und dafür eingerichtet ist, Steuersignale von einem Steuergerät **18** drahtlos oder – falls drahtgebunden, dann vorteilhaft in einer Kapselung mit einem Anschluß zur Stromversorgung des Panels – zu empfangen, um damit einzelne Einzelmodule **12** oder Gruppen von Mikrosiegeln gezielt elektrostatisch zu aktuieren. Bei dem Sensor kann es sich beispielsweise um einen Infrarot (IR) oder einen Ultraschall – oder einen Funksensor handeln. Das Steuergerät **18** enthält die notwendige Hardware, um ein Programm ablaufen zu lassen, das sämtliche Algorithmen beinhaltet, die notwendig sind, um die Spiegel gemäß einer programmierten Bewegung zu bewegen. Diese Algorithmen sind hinlänglich aus dem Stand der Technik bekannt.

[0044] Auch die entsprechenden Treiberprogramme zur Umsetzung einer speziellen Ansteuerungsgeometrie und eines zugehörigen speziellen Ansteuerungsnetzwerks sind einfach herzustellen und im Steuergerät **18** enthalten.

[0045] Mit weiterem Bezug zu [Fig. 2](#) wird die Koppelung zwischen Einzelmodulen **12** aus [Fig. 1](#) näher beschrieben.

[0046] Zwei Einzelmodule **12A** und **12B** mit quadratischer Kontur liegen kanten- und eckenbündig auf Stoß angeordnet mit ihren jeweiligen Kantenseiten aneinander an. In vorteilhafter Weise ist eine Einrastverbindung **22a** und weitere Einrastverbindung **22b** jeweils außermittig vorgesehen, um die beiden Einzelmodule **12A** und **12B** an zwei Stellen miteinander mechanisch zu verbinden. Des weiteren ist ein elektrischer Kontakt **24** vorgesehen, der die elektrische Verbindung zwischen den Ansteuerungsnetzwerken der beiden Einzelmodule herstellt. In [Fig. 2](#) sind nur zwei Einzelleitungen dargestellt, (+ und –) es können natürlich auch mehrere solcher elektrischer Kontakte realisiert sein, wenn sich dies aus schaltungstechnischen oder herstellungstechnischen Gründen anbietet, z.B. deshalb, weil sich weniger Kreuzungspunkte zwischen sich überquerenden Leitungen ergeben sollten. Um die Komplexität des Ansteuerungsnetzwerks und die sich dabei ergebenden komplexen Randbedingungen des Herstellungsverfahrens für die Implementierung dieser Leitungen als planare

Schaltung während eines Dünnschicht-Herstellungsprozesses zu begrenzen, wird vorgeschlagen, ganze Gruppen von Einzelkörpern gemeinsam anzusteuern, so dass bei identischer Fertigung der Einzelkörper eine für alle in etwa gleich starke Schwenkbewegung der Mikrospiegel erfolgt. Als Untergruppen bieten sich beispielsweise eine oder mehrere Zeilen von Einzelkörpern eines Einzelmoduls **12** an. Ebenso können einzelne oder mehrere Spalten gemeinsam mit dem selben Steuersignal angesteuert werden.

[0047] Die Schaltung innerhalb einer Zeile kann beispielsweise aus einer Serienschaltung einer kompletten Zeile oder gezielt gewählten Unterabschnitten einer Zeile bestehen, je nachdem, wie groß der Spannungsabfall während der Aktivierung eines einzelnen Einzelkörpers ist. Um im bevorzugten Niederspannungsbereich bleiben zu können, kann es sich daher empfehlen, in einer einzigen Zeile eine Parallelschaltung von Serienschaltungen für die oben genannten Untergruppen zu realisieren.

[0048] Mit weiterem Bezug zu [Fig. 3](#) und [Fig. 4](#) wird im Folgenden der strukturelle Aufbau eines Einzelkörpers beschrieben, der einen Mikrospiegel trägt. Der gesamte Einzelkörper ist mit Bezugszeichen **31** gekennzeichnet. Auf einer Grundträgerfläche **30**, die weiter oben bereits erwähnt wurde, ist ein Halteelement **32** geeigneten Querschnitts und mit geeigneter Höhe im Verhältnis zur Schwenkbewegung des Mikrospiegels **36** vorgesehen. An dem der Grundträgerfläche entgegengesetzten Endabschnitt des Halteelements **32** ist ein Brückenelement **34** befestigt, das längliche Gestalt besitzt und den Mikrospiegel **36** trägt. Das Brückenelement **34** besitzt einen Endabschnitt, mit dem es am Halteelement **32** befestigt ist und einen frei, in der Luft schwebenden Endabschnitt, damit es durch eine Kraft, die in [Fig. 3](#) nach oben und unten gerichtet ist, mit seinem freien Ende biegeelastisch aus einer Ruhelage, die in [Fig. 3](#) horizontal dargestellt ist, ausgelenkt werden kann. Dabei stellt günstigerweise das Brückenelement **34** zumindest mit einem Teilbereich die eine-Elektrode dar, und die Gegenelektrode **38** ist der Grundträgerfläche **30** zugeordnet und mit dieser durch einen entsprechenden Dünnschichtprozess fest verbunden.

[0049] Wie [Fig. 4](#) zeigt, ist das Brückenelement länglich geformt und besitzt, siehe auch [Fig. 3](#), eine relativ dünne Stärke, damit eine jeweilige für die Aktunierungsspannungen geeignete Biegeelastizität des Brückenelements **34** realisiert werden kann. Der Mikrospiegel **36** ist eine eigene Schicht und besitzt eine Form, mit der er vorzugsweise in der in [Fig. 3](#) gezeigten Weise nach oben und unten bewegt werden kann, ohne mit dem Brückenelement **34** selbst oder mit der Gegenelektrode **38** zu kollidieren. Daher hat er vorzugsweise eine Ausparung um einen Teilabschnitt des Brückenelements **34** herum, der dem Halteelement **32** zugeordnet ist.

[0050] Die Querschnittsform des Halteelements **32** kann in einem weitem Bereich variiert werden, so lange die erforderliche Festigkeit gegeben ist, um eine präzise Mikrospiegelbewegung durchführen zu können. Die Kantenmaße a_x und a_y des Mikrospiegels **36** können in einem weitem Bereich variiert werden, wobei dann die Höhe und Festigkeit des Halteelements **32** passend dazu eingerichtet werden muss, damit sich eine störungsfreie Bewegung der Mikrospiegel **36** ergibt. Dabei können die Kantenlängen der Mikrospiegel **36** vorzugsweise in einem weiten Bereich zwischen wenigen Mikrometern und einigen Millimetern variieren, beispielsweise zwischen 5 Mikrometern und 5 Millimetern. Die Dimensionierung der Mikrospiegel **36** sollte auch vom späteren Verwendungszweck der Einzelmodule **12** bzw. der Panels **15** abhängig gemacht werden. Umso höher die mechanische Beanspruchung erwartet wird, desto kleiner sollten die Spiegel dimensioniert werden, damit sie eine möglichst geringe Reaktion auf üblicherweise relativ niederfrequente störende Schwingungen aufweisen und unempfindlich gegenüber starken Erschütterungen werden, d.h. eine sehr hohe mechanische Stabilität aufweisen.

[0051] Die Kontaktierung zwischen dem als Elektrode ausgebildeten Brückenelement **34** und dem zugehörigen Teil des Anschlussnetzwerks kann bevorzugt über das Halteelement **32** erfolgen, wenn das Anschlussnetzwerk, wie hier bevorzugt im unteren Bereich von [Fig. 3](#) angeordnet ist, beispielsweise kurz oberhalb der Grundträgerfläche wobei es zweckmäßiger Weise von dieser elektrisch isoliert ist. Wenn das Brückenelement **34** aus einem Metall besteht oder zumindest einen Metallüberzug besitzt, der gleichzeitig elektrisch gut leitend und gute reflektive Eigenschaften besitzt, dann kann die Kontaktierung zwischen Brückenelementen und Anschlussnetzwerk beispielsweise über ein durchgehendes Loch (Via) durch das Halteelement **32** hindurch, oder alternativ kann es auch randseitig an diesem in [Fig. 3](#) von oben nach unten gesehen, verlaufen. Die Gegenelektrode **38** besteht ebenfalls aus leitfähigem Material und ist je nach Ausführung des Materials der Grundträgerfläche **30** ggf. noch durch eine Isolierschicht von dieser getrennt, was in [Fig. 3](#) zum Zwecke erhöhter Klarheit nicht dargestellt ist.

[0052] Wenn die Netzwerke für Elektrode und Gegenelektrode entsprechend mit Spannung versorgt werden, so dass zwischen den Elektroden eine anstoßende oder eine abstoßende Kraft entsteht, bewegen sich die Spiegel wie es in [Fig. 3](#) angedeutet ist, gemäß den Gesetzen der Elektrostatik und den Kräften in einem elektrischen Feld.

[0053] Mit weiterem Bezug zu [Fig. 5](#) und [Fig. 6](#) wird im Folgenden ein weiteres bevorzugtes Ausführungsbeispiel für die Ausgestaltung eines erfindungsgemäßen Einzelkörpers näher beschrieben. In die-

sem Ausführungsbeispiel ist der Mikrospiegel **36** an zwei Brückenelementen **34A** und **34B** befestigt, wobei die Brückenelemente ihrerseits auf je einem eigenen Halteelement **32A** bzw. **32B** befestigt sind. Wie [Fig. 6](#) genauer zeigt, handelt es, sich um eine asymmetrische Anordnung, wie sie in [Fig. 7b](#) als Variante gezeigt ist.

[0054] In diesem Ausführungsbeispiel ergibt sich eine Schwenkbewegung des Mikrospiegels **36** um eine in der Zeichenebene von [Fig. 5](#) liegende Achse, da die Brückenelemente **34A** und **34B** als leicht verwindungsfähige mechanische Elemente gefertigt werden, die ebenso wie im vorangegangenen Ausführungsbeispiel über Elektroden aktiviert werden. In diesem Fall wird der Mikrospiegel **36** zweckmäßiger Weise als Elektrode benutzt, und es sind zwei Gegenelektroden **38A** und **38B** vorgesehen, die auf gegenüberliegenden Seiten der Schwenkachse, siehe [Fig. 6](#) auf der Grundträgerfläche angeordnet sind. Auch in diesem Ausführungsbeispiel kann der Mikrospiegel **36** über Via durch die Halteblöcke **32A** und **32B** kontaktiert werden. Es kann auch nur ein Elektrodenpaar vorgesehen sein.

[0055] Weiter sollte zu den vorstehend gezeigten Ausführungsvarianten angemerkt werden, dass ein und derselbe Halteblock **32** bzw. **32A** oder **32B** nicht nur für ein Brückenelement **34**, oder **34A** oder **34B** dienen kann, sondern gleich für das nächste Brückenelement mit verwendet werden kann. Zu diesem Zweck erstreckt sich zweckmäßigerweise ein Brückenelement nach der einen Seite und ein Brückenelement nach der entgegengesetzten Seite des Halteelements.

[0056] Mit weiterem Bezug zu [Fig. 7](#) werden im Folgenden Ausführungsvarianten für die oben genannten Ausführungsbeispiele beschrieben.

[0057] [Fig. 7](#) zeigt in einer schematischen Draufsichtsdarstellung weitere Einzelheiten für die relative Anordnung und Orientierung zwischen Mikrospiegel und Brückenelement gemäß Varianten a), b) und c) entsprechend dem Ausführungsbeispiel aus [Fig. 5](#) und [Fig. 6](#);

In [Fig. 7a](#)) ist der Mikrospiegel **36** randseitig mit den Brückenelementen **34A** und **34B** verbunden. Bei dieser Ausführungsform kann nur ein einziges Elektrodenpaar auf einer Seite der Schwenkachse benutzt werden, um die Spiegelbewegung durchzuführen. Dieses Elektrodenpaar wäre dann vorteilhaft in einem gezielt vorgewählten Abstand von der Schwenkachse angeordnet, und zwar sowohl bei der Elektrode am Mikrospiegel als auch bei der Elektrode am Grundträger **30**.

[0058] Bei den in [Fig. 7B](#) und [7C](#) gezeigten Varianten können prinzipiell auf beiden Seiten der Schwenkachse, die durch die Brückenelementen

34A und B gegeben ist, Elektrodenpärchen angebracht werden. Die in [Fig. 7B](#) gezeigte Variante enthält dabei die breitesten Variationsmöglichkeiten, um eine möglichst umfangreiche Schwenkbewegung des Mikrospiegels **36** zu ermöglichen. Denn wenn die Aktuierungsspannung groß genug gewählt werden kann, um an dem kurzen Ende **70** wirken zu können, so kann ein großer Winkelbereich realisiert werden, ohne dass die Gefahr besteht, dass sich der Mikrospiegel in seiner extremen Auslenkung und die Gegenlektrode berühren, für den Fall der Anziehung zwischen beiden Elementen.

[0059] In [Fig. 7C](#) ist der Vollständigkeit halber noch einmal der Fall der symmetrischen Aufteilung der Spiegelhälften gezeigt.

[0060] Mit weiterem Bezug zu [Fig. 8](#) wird ein weiteres, bevorzugtes Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung beschrieben, das sich dadurch auszeichnet, dass ein Mikrospiegelelement nach Art einer Kardanischen Lagerung bzgl. zweier voneinander im wesentlichen unabhängiger Schwenkachsen gelagert ist.

[0061] [Fig. 8](#) zeigt in einer schematischen Draufsichtsdarstellung auf einen Einzelkörper eine bevorzugte, weitere Ausführungsform der vorliegenden Erfindung, bei der ein Mikrospiegel kardanisch gelagert ist. Die Halteelemente **32A** bzw. **32B** sind in [Fig. 8](#) dem linken bzw. rechten Rand der Darstellung zugeordnet. Von diesen Halteelementen führen die Brückenelemente **34A** und **34B**, vgl. [Fig. 5](#) und [Fig. 6](#) eine gemeinsame Schwenkachse bildend jeweils nach innen und treffen dort auf einen Schwenkrahmen **80**. Dieser ist als Elektrode ausgebildet und kann mit einer bzw. zwei Gegenelektroden **38A** bzw. **38B** wechselwirken, vgl. die Beschreibung [Fig. 5](#) und [Fig. 6](#). Damit ergibt sich eine Schwenkbewegung des Schwenkrahmens **80** um die gemeinsame Schwenkachse von **34A** und **34B**. Es ist nun innerhalb des Schwenkrahmens **80** eine weitere Schwenklagerung vorgesehen, nämlich um eine Schwenkachse, die gebildet ist von einem inneren Brückenelement **84A** und einem anderen inneren Brückenelement **84B**, die jeweils den Schwenkrahmen **80** mit dem Mikrospiegel **36** oder dessen festes Auflager **86** verbinden.

[0062] Weiter ist wenigstens eine Aktuierungselektrode **88A** oder, um die volle Winkelfunktionalität in einem möglichst weiten Bereich zu gewährleisten, auch wieder eine zweite Aktuierungselektrode **88B** vorgesehen, um den Mikrospiegel um die vorgenannte zweite Schwenkachse (um **84A**, **84B** Achsen herum) bewegen zu können. [Fig. 8](#) sollte im wesentlichen in ihrer Einfachheit der Konstruktion nur als beispielhaft für eine kardanische Lagerung verstanden werden. Natürlich können auch andere als rechteckige Formen der Schwenkrahmen oder Mikrospiegel realisiert werden.

[0063] Um die Gesamtfläche besser mit Spiegelfläche von Mikrospiegeln füllen zu können, kann die in [Fig. 8](#) gezeigte innere Fläche auch nur als Auflager dienen, um den Mikrospiegel **36** in Z-Ebene aus der Papierebenen heraus gehoben tragen zu können. Dies hat den Vorteil, dass die Spiegelfläche weit größer sein kann und schränkt bei richtiger Dimensionierung des turmartigen Auflagers **86** die Beweglichkeit des Mikrospiegels **36** kaum ein.

[0064] Mit weiterem Bezug zu [Fig. 9A](#) und [Fig. 9B](#) wird eine Variante der besonders bevorzugten Ausführungsform nach [Fig. 8](#) näher gezeigt und beschrieben, bei der sich die beiden Schwenkachsen nicht rechtwinklig gegenüberstehen. Des Weiteren ist die Spiegelform ebenfalls nicht rechteckig, sondern besitzt eine eckenlose Außenkontur, die in der [Fig. 9](#) beispielhaft willkürlich, hier etwa birnenförmig dargestellt ist, um zu zeigen, dass hierbei nahezu beliebige Formenschnitte gewählt werden können. Dabei ändert sich an dem eigentlichen strukturellen Aufbau der Mikrospiegellagerung nur insoweit etwas, wie es erforderlich ist, um die geänderte Geometrie dieses unregelmäßigen Aufbaus konstruktiv abzubilden. Beispielsweise sind die Orte der Elektroden entsprechend angepasst, die Abstände der Halteelemente voneinander, etc.. Insoweit kann die Beschreibung des Aufbaus des Einzelkörpers mit dem rechteckig ausgebildeten, kardanisch gelagerten Mikrospiegel für die weiteren Details herangezogen werden.

[0065] Insbesondere dann, wenn die Fläche eines Mikrospiegelements eher größer gewählt ist, etwa im Bereich von 20 mm², dann nimmt der Betrachter bewusst gewählte unregelmäßige Formen für die Spiegelemente mit den bloßen Augen in einem gewissen Abstand von wenigen Metern oder darunter überhaupt erst wahr. Daher kann es ästhetisch vorteilhaft sein, die Gesamtfläche, wie sie etwa in [Fig. 1](#) am Beispiel der Fensterfläche gezeigt ist, mit einer einigermaßen flächenfüllenden Anordnung von vielen, unregelmäßig zugeschnittenen Spiegelementen **36** zu füllen, was in [Fig. 9B](#) angedeutet ist. Dabei ist insbesondere dann, wenn die Flächenfüllung zu einem großen Prozentsatz erfolgen soll, darauf zu achten, dass sich die Konturen von benachbarten Spiegelementen möglichst eng aneinander schmiegen, d.h. dass die verbleibenden Lücken zwischen den Außenkonturen möglichst klein sind.

[0066] Aus dem in [Fig. 8](#) gezeigten Beispiel der kardanischen Lagerung mit dem inneren Auflager **86** und der dort erwähnten Möglichkeit, das Spiegelement aus der Ebene des Schwenkrahmens **80** herauszuheben, ergibt sich die Möglichkeit, die Größe des Spiegels im wesentlichen unabhängig von der Größe seines Unterbaus, der für seine Schwenklagerung zuständig ist, zu dimensionieren. Wird der Abstand zwischen Unterseite Spiegelement und Oberseite Schwenkrahmen **80** groß genug gewählt,

so ergeben sich allein durch einfache geometrische Überlegungen die maximal möglichen Schwenkwinkel, bis der Mikrospiegel an einem Bereich des Schwenkrahmens oder der außenstehenden Haltelemente **32** anschlägt.

[0067] Mit weiterem Bezug zu [Fig. 10](#) und ergänzendem Bezug zu [Fig. 1](#) soll ein grundlegender Aspekt für die Verwendung des erfinderischen Produkts erläutert werden. [Fig. 10](#) zeigt eine skizzenhafte, schematische Querschnittsdarstellung eines erfindungsgemäßen Panels aus Einzelmodulen **12**, eingebaut in ein Fenster, in vereinfachter Darstellung.

[0068] In [Fig. 10](#) ist zum Zwecke der erhöhten Klarheit die Vereinfachung vorgenommen worden, die Mikrospiegel **36** nicht in ihrer wahren Größe, sondern deutlich vergrößert zu illustrieren, um den Strahlengang und das Prinzip der Umlenkung des von außen (von links) in der Zeichnung einfallenden Lichtes zu verdeutlichen.

[0069] In der Schnittdarstellung von [Fig. 10](#) begrenzt ein oberer bzw. ein unterer Endabschnitt **10** eines Fensterrahmens die verglaste Fläche des Fensters, wie es in [Fig. 1](#) auch dargestellt ist. Die Außenscheibe **90** und die Innenscheibe **92** dieses Doppelfensters sind nur schematisch als Linie dargestellt, und die Mikrospiegel **36**, **36'**, **36''**, **36'''**, aus demselben Einzelmodul **12** oder aus verschiedenen Einzelmodulen **12**, siehe zurück zu [Fig. 1](#), sind untereinander in teilweise verschiedenen Winkeln relativ zur einfallenden Strahlung dargestellt. Dabei ist die Darstellung nur schematisch zu verstehen, denn es ist für einen Strahl nur ein einziger Mikrospiegel stark vergrößert dargestellt.

[0070] Die Mikrospiegel im oberen Bereich reflektieren das schräg von oben einfallende Licht in das Rauminnere und zwar an dessen Decke, die nicht dargestellt ist. Dies erfolgt gezielt durch Einstellung des Winkels ϑ , der den Winkel zwischen Vertikalebene und der einfallenden Strahlung kennzeichnet.

[0071] In einem tieferliegenden Bereich, beispielsweise auf eine Höhe von etwa 1,40 m bis 1,80 m über dem Boden können nun die Mikrospiegel **36'** und **36''** so eingestellt sein, dass sie das von außen eintreffende Sonnenlicht wieder nach außen zurückreflektieren, um Blendungen von Personen zu vermeiden, aber Streulicht durchzulassen. Dies erfolgt, wie man aus der [Fig. 10](#) leicht erkennt, durch eine Kippung eines Mikrospiegels um etwa 70 Grad.

[0072] Dabei wird als stromlos/spannungsfrei realisierbare Ruhelage für die Mikrospiegel bevorzugt deren Vertikalausrichtung realisiert, also sich erstreckend von unten nach oben in [Fig. 10](#), wobei spannungsfrei hier als „ohne elektrische Vorspannung

verstanden wird.

[0073] In einem weiter unten liegenden Bereich, beispielsweise unterhalb von 1,20 m über dem Boden können die Mikrospiegel **36** --- wiederum anders eingestellt sein, nämlich senkrecht ausgerichtet, so dass man nicht von außen in das Fenster hineinsehen kann. Nebenbei hat es auch die Folge, dass ebenfalls die Sonnenstrahlung nach außen zurückreflektiert wird. Diese gegebenenfalls vorteilhaften Wirkungen zur zusätzlichen Beleuchtung eines Raumes durch Umlenken des einfallenden Lichtes vorzugsweise an die Raumdecke, Wärmeschutz bzw. Sichtschutz kann zumindest beim Sichtschutz und beim Hitzeschutz in zufriedenstellender Weise von Einzelmodulen **12** ([Fig. 1](#)) erreicht werden, von denen die jeweiligen Mikrospiegel **36** jeweils nur um eine einzige Achse schwenkbar gelagert sind, nämlich um die horizontale Achse, die in der Fensterebene liegt. Aus Sicht des im Raum stehenden, und nach draußen durch das Fenster sehenden Beobachters ergibt diese horizontale Schwenkachse einen „Auf/Ab“-Freiheitsgrad für die Lichtumlenkung.

[0074] Dieser Freiheitsgrad ist im Zusammenhang mit der vorliegenden Erfindung mit dem Winkel ϑ gekennzeichnet.

[0075] Wie aus [Fig. 10](#) leicht gedanklich weiter entwickelt werden kann, ergibt sich der zweite Freiheitsgrad durch die oben erwähnte zweite Schwenkachse des Spiegels, nämlich eine jeweilige Schwenkachse, die mehr oder weniger vertikal und ebenfalls in der Fensterebene liegt. Diese ermöglicht eine gezielte Steuerung einer „rechts-links“-Lenkung der Lichtstrahlen zur Umlenkung der Strahlen gemäß einer Variation eines Winkels φ , beispielsweise definiert zwischen der Normalen auf die Fensterebene und der Spiegelausrichtung um die letztgenannte, in der Fensterebene liegende Schwenkachse. Da die sich die außen befindende Lichtquelle (z.B. Sonne zeitlich veränderlich oder Scheinwerfer ist ortsfest) das Fenster im allgemeinen schräg von oben und schräg von der Seite beleuchtet, können die oben gezeigten Steuerungsmöglichkeiten die Bewegungen der Lichtquelle kompensieren, oder bewusst eigene Bewegungen des umgelenkten Lichts in beiden Winkelfreiheitsgraden realisieren.

[0076] Wie sich aus der oben beschriebenen Lehre zweifelsfrei ergibt, kann man nun durch programmgesteuerte Ansteuerung der Mikrospiegel **36** die Einzelmodule **12** eines gesamten Fensterpanels erreichen, das beispielsweise sämtliches, direktes Sonnenlicht auf einen relativ kleinflächigen Bereich an der Zimmerdecke umgelenkt wird. Dieser dann hell erleuchtete Fleck kann auch rechts/links verschoben werden, je nach eingestellten Winkeln. Eine solche gezielte Bündelung des direkten Sonnenlichts wird einfach dadurch erzielt, dass die Mikrospiegel **36** des

Panels in ihrer Erstreckung von rechts nach links und von oben nach unten jeweils kontinuierlich in kleinen Schritten so viel verändert werden, wie es gerade nötig ist, damit jeder Mikrospiegel das auf ihn fallende Strahlenbündel genau in die gezielt vorgewählte Zielfläche lenken kann. Dies kann in einem entsprechenden Steuerprogramm in dem zum Gesamtsystem gehörenden Steuergerät **18** mittels Implementierung elementarer, geometrischer Formeln und Zusammenhänge erfolgen. Ein entsprechender Treiber, der die elektromechanische Charakteristik des Panels abbildet, kann benutzt werden, um entsprechende Steuerbefehle für jeden, individuellen Mikrospiegel gezielt zu bewirken.

[0077] Im folgenden werden grundlegende Leitlinien für die Herstellung eines erfindungsgemäßen Mikrospiegelvorrichtung gegeben. Zunächst ist dabei festzustellen, dass die Basis der Herstellung übliche, im Stand der Technik bekannte Dünnschichtherstellungsprozesse sind, bei denen dünne Schichten durch Aufdampfen, Aufschleudern, Tauchbeschichtung, Sputtern, Galvanisieren, etc. hergestellt werden und die durch weitere lithografische Herstellungsprozesse dann kleinräumig und meist in planparallelem Aufbau zu den vorher aufgetragenen Schichten strukturiert werden können, je nach dem, wie groß die Strukturen in der Fotomaske sind. Insoweit wird vollständig auf Lehrbücher verwiesen, die die vorgenannten Techniken beschreiben.

Herstellungsverfahren:

[0078] Im folgenden werden die wichtigsten Herstellungsmerkmale exemplarisch für das in [Fig. 5](#) gezeigte Ausführungsbeispiel erläutert wie folgt:

I. Für eine Verwendung im Fensterbereich und zur Herstellung von Einzelmodulen quadratischer Form mit einer Kantenlänge von knapp 12,5 cm wird als Grundträgerfläche **30** eine dünne Glasscheibe als Glassubstrat mit diesen Abmessungen verwendet. Anstelle von anorganischem Glas kann auch ein anderes transparentes Material, organische Gläser (z.B. Plexiglas), transparente Kunststoffe bzw. Polymere evtl. unter Beimischung einer Abtönfarbe verwendet werden.

II. In einem zweiten Schritt werden planare Elektroden **38A** bzw. **38B** sowie das zugehörige Ansteuerungsnetzwerk für die Leiterbahnen beispielsweise durch Aufdampfen von leitenden Materialien, z.B. Metallen (Aluminium, ...) oder z.B. ITO (engl. indium tin oxide), oder z.B. leitfähige Polymere (Poly[p-Phenylen], ...), ggf. durch eine galvanische Verstärkung unterstützt auf das Glassubstrat **30** aufgebracht. Dieser Schritt kann durch Aufdampfen der elektrisch leitenden Materialien, verbunden mit üblichen lithografischen Strukturierungstechniken erfolgen. Bei Leiterkreuzungen werden Leitungen wie üblich durch eine isolierende Zwischenschicht voneinander

getrennt.

IIIa). In einem dritten Schritt erfolgt das Aufbringen einer Opferschicht mit definierter Dicke, die im wesentlichen durch die Höhe der in [Fig. 5](#) dargestellten Halteelemente **32A** und **32B** vorgegeben ist. Die Höhe der Opferschicht sollte wenigstens so hoch sein, dass der beabsichtigte, maximale Schwenkausschlag eines Mikrospiegelelementes **36** erfolgen kann, ohne dass der Mikrospiegel an die Grundplatte **30** stößt. Diese Opferschicht soll die Halteblöcke **32A** und **32B** bilden. An diesen Stellen muss sie nachfolgend erhalten bleiben, und an allen anderen Stellen wird die Opferschicht nachfolgend weggeätzt, um einen Freiraum auszubilden, der die spätere Spiegelschwenkung ermöglicht. Um eine hohe Transparenz zu gewährleisten, wird die Opferschicht vorzugsweise bis auf das Glassubstrat an diesen Stellen entfernt. Dies gelingt mit heutigen technologischen Verfahren perfekt. Die maximale Gesamttransparenz des Fensters ist dabei lediglich durch das Verhältnis „transparente Öffnungen“ zu „nicht transparenten Rahmen“ bestimmt. Es sei darauf hingewiesen, dass der Rahmen auch transparent gestaltet werden kann (z.B. elektrische Leitungen aus transparentem ITO, Halteblöcke aus Plexiglas und Grundplatte aus anorganischen Gläsern).

[0079] Als Materialien der Opferschicht kommen in erster Linie solche Materialien in Frage, die sich gegenüber allen anderen verwendeten Materialien selektiv ätzen lassen und die gegenüber Witterung, Feuchtigkeit und Temperaturunterschieden relativ unempfindlich sind, eine ausreichende mechanische Festigkeit aufweisen und kein nennenswertes plastisches Fließen aufweisen (ohne Hysterese). Beispielsweise kommen Materialien, etwa Polymethylmethacrylat, Siliziumdioxid oder ein UV-Fotolack in Frage, solange er sich mit einer definierten Dicke auftragen lässt.

[0080] Beispielhaft sei ferner die Materialklasse der thermotropen Hauptketten-Flüssigkristalline-Polymere genannt. Diese Materialklasse lässt sich mit bestimmten organischen Lösungsmitteln einerseits gut lösen (Opferschichteigenschaft) und erfüllt auf der anderen Seite auch relativ hohe, mechanische Stabilitätskriterien, falls diese Materialien gleichzeitig als Teil der Halteblöcke zum Einsatz kommen.

III.b). Alternativ zu IIIa) wird eine Variante angegeben, welche Halteblöcke mit erhöhter Festigkeit liefert. Im wesentlichen wird dabei der Prozessschritt IIIa) wie folgt ersetzt. Dazu wird ein tiefenlithographiefähiger Photolack (z.B. PMMA) aufgebracht, in welchem die Formen aller Halteblöcke durch Belichten und Entwickeln als Negativ definiert werden. Durch selektives Auffüllen (z.B. galvanische Prozesse) werden stabile Halteblöcke definiert.

Nachfolgend werden die weiter unten folgenden Prozessschritte IV, V, und VI angewandt, wobei der verbleibende Photolack (Opferschicht) nasschemisch entfernt wird. Ferner ist dabei der Prozessschritt II derart zu modifizieren, dass gleichzeitig zu den Elektroden auf der Grundplatte geeignete leitfähige Grundflächenschichten der Halteblöcke definiert werden, welche jeweils gerade die Form der Verbindungsfläche Halteblock/Grundplatte aufweisen. Dabei muss auf eine elektrische Isolation zwischen oberen und unteren Elektroden geachtet werden. Vorteilhaft anwendbar ist auch der Einsatz der LIGA-Technik mit kostengünstigen Abformschritten.

IV. In einem weiteren Herstellungsschritt wird eine Schicht aufgebracht, die die Spiegel oder gemäß einer besonderen Ausführungsvariante die optischen Filter, und die Brückenelemente **34A** und **B** mit ihren Halteschichten auf den Halteelementen **32A** und **B** bildet. Als Material kommt beispielsweise eine Einfachmetallschicht beispielsweise aus Aluminium oder eine dielektrische Mehrschicht mit einer äußeren elektrisch leitfähigen aber transparenten Schicht (z.B. ITO) oder eine Polymerschicht mit stark reflektierenden und leitfähigen Eigenschaften in Frage.

In einem kostengünstigen Ausführungsbeispiel erstreckt sich die leitende Schicht über die Spiegel, die Verbindungsbrücken und über die Halteschichten, und dient gleichzeitig als Elektrode (vor allem auf den Spiegelflächen), als Leiterbahn (vor allem auf den Verbindungsbrücken) und als Halteschichten auf den Halteelementen.

V. In einem weiteren Schritt werden vorzugsweise am Rand eines jeden Einzelmoduls umlaufende Abstandhalter aufgebracht, beispielsweise aus dem selben Material wie die vorgenannte Opferschicht, um in einem weiteren (späteren) Schritt das Anbringen einer äußeren Schutzschicht bewirken zu können, die sich flächig über die gesamte Modulfläche erstreckt, um eine hermetische Versiegelung gegen Staub und Feuchtigkeit sowie einen Spannungsschutz zu realisieren. Diese Schutzschicht kann beispielsweise auf die vorgenannten Abstandhalter, die besonders bevorzugt als umlaufende Randbegrenzung vorliegt, durch Kleben aufgebracht werden.

VI. In einem nächsten Schritt wird die vertikale Strukturierung vorgenommen, indem ein Ätztrog senkrecht zur Grundplatte **30** hin vorgenommen wird. Anschließend werden selektiv die oben beschriebenen Teile der Opferschicht entfernt, wobei die Verbindungsbrücken und Spiegel entstehen.

VII. In einem weiteren Schritt werden die Anschlussstecker für den elektrischen Anschluss der Einzelmodule untereinander, siehe zurück zu [Fig. 2](#), für die elektrischen Kontakte **24** und die mechanischen Verbindungen **22** aufgebracht und fest mit dem Modulrahmen bzw. leitend für den

elektrischen Kontakt mit dem Ansteuerungsnetzwerk verbunden.

[0081] Ebenso wird der oben bei der Beschreibung von [Fig. 1](#) erwähnte Infrarotsensor **16** mit der dafür vorgesehenen Stelle am Ansteuerungsnetzwerk kontaktiert und die oben erwähnte Anschlusskontaktierung für die Gleichspannungsversorgungsleitung **20** mit einem geeignet vorgesehenen Anschlussstecker **21** an vorzugsweise nur einem Modul vorgesehen, beispielsweise dem Einzelmodul **12**, das später einer der Ecken der Fensterfläche zugeordnet wird.

[0082] Optional kann je nach späterer Verwendung des so gefertigten Moduls noch ein hermetischer Abdichtungslack über den gesamten Randbereich des Moduls gebracht werden, damit das Modulinnere einen langzeitstabilen, verwitterungsresistenten Zustand behält.

[0083] Dann werden die somit hergestellten Module zusammengesteckt, wie es in [Fig. 2](#) skizziert ist, bis ein Panel mit der gewünschten Größe gebildet ist. Beispielsweise kann bei einer Einzelmodulgröße von 12,5 cm × 12,5 cm ein Raster von 8 × 8 Einzelmodulen zusammengesteckt werden, um ein zusammenhängendes Panel zu erhalten, das später als Ganzes in ein Fenster mit ausreichender Größe eingelegt werden kann, so dass eine Anordnung, wie sie in [Fig. 10](#) schematisch skizziert ist, erfolgt. Die Einzelmodule **12** haben zu diesem Zweck in vorteilhafter Weise auch geeignet steckbare Einrastverbindungen **22A** und **8** an den übrigen Kanten, die in [Fig. 2](#) nicht gezeigt sind. Dabei können die Einrastverbindungen in Querrichtung auch eines anderen Typs sein – beispielsweise eine L-förmige Rastung – im Vergleich zu dem Typ der Längsrichtung wie in [Fig. 2](#) gezeigt, um das Zusammenstecken zu vereinfachen.

[0084] In optionaler Weise kann dieses gesamte Panel nun noch auf einen weiteren Träger aufgebracht werden, wofür beispielsweise eine weitere Glasscheibe in Frage kommt. Dies würde sich besonders dann empfehlen, wenn eine erhöhte mechanische Stabilität des gesamten Panels erforderlich sein sollte. Dann kann es bei der Fertigung der Fenster entsprechend eingesetzt werden.

[0085] In Abwandlung des vorstehend Beschriebenen kann das erfindungsgemäße Konzept auch beinhalten, das Spiegelement als Bragg-Filterelement auszubilden, wobei über eine zwischen den Elektroden angelegte Steuerspannung und dadurch bewirkte mechanische Aktuation eine einstellbare Filterfunktion für vorbestimmte Wellenlängenbereiche realisiert werden kann.

[0086] Alternativ können die Verbindungsbrücken, Spiegel und Halteblöcke aus ursprünglich flächigen Elementen aufgestellt werden (siehe z.B. M.H. Ki-

ang, et al. IEEE Phot. Technol. Lett. 8, 1707 (1996)).

[0087] Die erfindungsgemäße Mikrospiegelanordnung kann, soviel wird dem Fachmann auf dem Gebiet der Dünnschichtherstellung und Mikrostrukturierung klar sein, auf vielen verschiedenen Wegen hergestellt werden. Charakteristisch für das erfindungsgemäße Herstellungsverfahren ist daher lediglich die Verwendung solcher Materialien, die ein vernünftiges Preis/Leistungsverhältnis für eine großflächige Verwendung im Fenster oder Fassadenbereich zulassen.

[0088] Desweiteren ist es vorteilhaft, vorzugsweise das erfindungsgemäße Gesamtsystem so auszulegen, dass es in einem Niedervoltbereich von weniger als etwa 60 Volt betrieben werden kann. Diese Vorgabe ist bei der Formgebung der Einzelkörper, also für Halteelement **32**, Brückenelement **34** und Spiegelement **36** hinsichtlich der zu konstruierenden Hebelkräfte zu berücksichtigen, damit die benötigten Aktuatorspannungen bei der Implementierung durch elektrostatische Anziehungskräfte nicht zu hoch werden.

Verwendungen:

[0089] Die vorliegende Erfindung eröffnet ein reichhaltiges Spektrum an Verwendungsmöglichkeiten für ein erfindungsgemäßes Panel **15**, Gesamtsystem bzw. für erfindungsgemäße Einzelmodule **12**. Diese werden im folgenden skizziert. Zunächst kann ein Gesamtsystem der vorliegenden Erfindung aus Panel, Stromversorgung, Ansteuerungssensor und Steuergerät mit verschiedenen weiteren Inputgrößen beschickt werden, um ein jeweils individuelles Ziel zu erreichen. Als Beispiel sei ein Sonnenstandsensor genannt und ein weiteres „Personensensorsystem“ genannt, etwa eine IR-Kamera, die mit einem Ultraschallsystem zwecks Positionsbestimmung der Person zusammenarbeitet. Insoweit als dieses Personensensorsystem betroffen ist, wird auf gängigen Stand der Technik beispielsweise im Bereich PKW-Innenraumüberwachung verwiesen. Dann kann als Regelziel definiert werden, immer die direkte Umgebung im Raum, dort wo sich die Person jeweils aufhält besser auszuleuchten.

[0090] In diesem Fall würde das Steuergerät **18** sowohl mit dem Sonnenstandsensor als auch mit dem Personensensorsystem verbunden werden, und eine entsprechende Programmierung kann die Spiegel je nach aktuellem Sonnenstand und aktuellem Aufenthaltsort einer Person einstellen. Beispielsweise kann eine Fläche von 1 Quadratmeter jeweils über der Person an der Raumdecke durch Umlenkung des direkten Sonnenlichts an diese Stelle beleuchtet werden, wodurch die Person und ihre direkte Umgebung, z.B. ihre Arbeitsfläche, immer relativ hell beleuchtet würde. Es ist klar, dass ein Fachmann auch andere Re-

gelziele als sinnvoll erkennt und nach dem selben oder einem abgewandelten Prinzip wie hierin vorgeschlagen realisieren kann. Für alle Zwecke der reinen Lichtumlenkung empfiehlt es sich, relativ hoch reflektierende Materialien zu verwenden. Die Spiegelfläche sollte daher aus einem relativ gut reflektiven Metall oder Polymer oder aus einer dielektrischen Vielfachschichtstruktur bestehen, wie bereits oben dargestellt wurde, oder kann je nach gegebenen Umständen auch aus einer Kombination solcher Materialien bestehen.

[0091] Für den Bereich der Lichtumlenkung an Fensterflächen kann also der Vorteil erzielt werden, dass sehr große Helligkeitskontraste, die in einem Raum insbesondere bei direkter Sonneneinstrahlung durch das Fenster auftreten würden, gemindert werden und die Helligkeitsverteilung im Raum kann je nach den Wünschen des Benutzers positiv beeinflusst werden. Neben der Wirkung als Blendschutz, als Hitzeschutz und als Sichtschutz, die bereits weiter oben im Zusammenhang mit [Fig. 10](#) erläutert wurden, können die erfindungsgemäßen Mikrospiegelarrays aber auch zur solaren Wärmegegewinnung verwendet werden, indem beispielsweise ein Fluid, das in einem Röhrensystem zirkulieren kann, durch die gebündelte Strahlung gezielt erwärmt wird, oder die an die Decke reflektierte Strahlung zur Verflüssigung eines Gels genutzt wird, das bei abnehmenden Raumtemperaturen wieder verfestigt und seine dabei frei werdende Energie in den Raum abgibt.

[0092] Desweiteren können natürlich auch künstliche Akzente im Raum durch bewusste Steuerung der Mikrospiegel erzielt werden. Es können beispielsweise Lichtmuster an die Wand geworfen werden, wobei nur das von außen kommende Sonnenlicht verwendet wird oder aber eine weitere Lichtquelle, etwa ein heller Halogenscheinwerfer, eingesetzt wird, die etwa von außen an der Fassade angebracht sozusagen als künstliche Sonne wirkt. Des weiteren kann das erfinderische Prinzip auch zur Steuerung der Intensität der Wärmestrahlung vorteilhaft ausgenutzt werden, die impliziert durch die natürliche Sonnenstrahlung in den Raum gelangt.

[0093] Wenn die Mikrospiegel gemäß einer weiteren bevorzugten Ausführungsvariante als dielektrische Vielfachschichten ausgeführt sind, so können gezielt optische Kanten- oder Bandpassfilter mit unterschiedlicher spektraler Charakteristik erzeugt werden. Durch Variation des Schwenkwinkels (Kippwinkels) kann eine spektrale Durchstimmung erfolgen. Dabei können einfache DBR-Spiegel oder auch FP-Filter auf der Basis von mindestens 2 DBR-Spiegeln eingesetzt werden. Die optischen Grundlagen dazu sind u.a. zu finden in Kasap, „Optoelectronics and Photonics“, Prentice Hall 2001. Dabei könnte insbesondere eine jahreszeitenangepasste Regelung des IR-Anteils des Sonnenlichtes erfolgen. In

heißen Jahreszeiten oder während heißer Tageszeiten würde der Hauptanteil der IR-Strahlung reflektiert und würde nicht in den Raum gelangen, in kalten Jahreszeiten oder während heißer Tageszeiten würde umgekehrt verfahren.

[0094] Im Vergleich zu herkömmlichen Fensterelementen zur Lichtumlenkung werden die mechanischen Belastungen beispielsweise durch Wind und Regen komplett ausgeschaltet, da die Mikrospiegel im Innern einer Doppelglasscheibe ihre bevorzugte Verwendung finden. Sie können natürlich auch auf der Innenseite einer Einfachverglasung ohne größere Probleme nachträglich angebracht werden. Es kommt jedoch noch ein weiterer beträchtlicher Vorteil dadurch hinzu, dass die Tatsache vorteilhaft ausgenutzt wird, dass ein Bauteil, je kleiner es ist, umso geringere mechanische Beanspruchungen während seiner Schwenkbewegung erleiden muss, denn solche Mikrospiegel und deren Arrays sind mit abnehmender Dimension zunehmend wartungsfreier und von zunehmend langer Lebensdauer. Diese Effekte treten bei Spiegelflächen unterhalb von 1 mm² bereits sehr deutlich in Erscheinung. Wie ein Fachmann auf dem Bereich der Mikromechanik zweifelsohne erkennen wird, besteht daher ein beträchtlicher Vorteil bei der Verwendung der erfindungsgemäßen Mikrospiegel insbesondere dann, wenn sie in einem Bereich von deutlich unter 1 mm Kantenlänge bzw. einer Fläche von unter 1 mm² gebaut werden.

[0095] Desweiteren kann ein erfindungsgemäßes Mikrospiegelmodul auch als Bauelement außerhalb von Fensterbereichen, nämlich in der Fassade von Gebäuden vorteilhaft eingesetzt werden. In diesem Falle soll es nicht transparent sein, sondern es erfüllt seine Funktion dadurch, dass das auftreffende Sonnenlicht gezielt in verschiedene Richtungen gelenkt wird. Dadurch können gezielt Muster in einem Panel erzeugt werden, ja es können sogar große Muster entlang zusammenhängender Panelflächen von mehreren 10 m erzeugt werden, wodurch eine großflächige Fassade als riesiges Display verwendet werden kann. Wenn zu wenig direktes Sonnenlicht vorhanden ist, um nennenswerte Lichteffekte zu erzielen, so kann eine Fassade künstlich beleuchtet werden, wodurch der gewünschte Effekt unabhängig von den tageslichtbedingten Verhältnissen erzielt werden kann. Durch diese Funktion als architektonisches Bauelement zur ästhetischen oder wie auch immer multifunktional gestalteten Fassade wird gegebenenfalls in Verbindung mit der Verwendung von DBR-Spiegel mit Farbfilterfunktion, für die Farbgebung an Fassaden ein riesiges Potential eröffnet, um den Lebensraum „Stadt“ enorm zu bereichern, denn ein überaus großer Teil der in Städten wahrgenommenen Flächen besteht nun einmal aus Gebäudefassaden.

[0096] Gemäß weiteren Variationen können die Mi-

krospiegel auf ihrer Vorder- bzw. Rückseite und selbst im Inneren aus verschiedenen Materialien bestehen. Hier ergibt sich ein großes Spektrum an Variationsmöglichkeiten. Nur beispielhaft seien die folgenden aufgeführt:

Die eine Fläche kann das von außen kommende Licht absorbieren und in Wärme umwandeln, die andere Fläche kann hochreflektierend ausgebildet sein. Wenn nun die Spiegel einen so weiteren Schwenkbereich besitzen, dass je nach Wunsch entweder die absorbierende oder die hochreflektierende Fläche vom Sonnenlicht getroffen wird, können verschiedene Wirkungen in einem jeweils individuellen Spektralbereich erzielt werden:

Beispielsweise kann es im Winter gewünscht sein, infrarote Strahlung von außen durch das Fenster hindurchgehen zu lassen und infrarote Wärmestrahlung von innen wieder zurück in den inneren Bereich zu reflektieren. Ebenso kann es gewünscht sein, den sichtbaren Spektralbereich von außen gesteuert jeweils über die Winkel der Spiegelflächen nach innen transmittieren zu lassen. Im Sommer hingegen kann es gewünscht sein, die infrarote Strahlung von außen wieder nach außen zu reflektieren, die Infrarotstrahlung von innen nach außen zu transmittieren, hingegen aber die sichtbaren spektralen Anteile von außen in das Rauminnere transmittieren zu lassen. Ein je weiliger, individuell eingestellter Mischbetrieb kann im Frühjahr bzw. im Herbst oder in den Dämmerungszeiten zwischen Tag und Nacht erfolgen.

[0097] Insbesondere durch die Verwendung von dielektrischen Multischichtspiegeln lassen sich solche komplexen Anforderungen erfindungsgemäß mit Hilfe verschiedener spektraler Stoppbänder und der Variation des Schwenkwinkels wenigstens zu einem beträchtlichem Teil erfüllen, wie bereits oben angesprochen. Solche Fenster besitzen dann eine außerordentlich hohe Funktionalität und ein enormes Energiesparpotential.

[0098] Wenn ein Raum beleuchtet werden soll, sind für eine wirkungsvolle Beleuchtung zwei Drehachsen pro Spiegelement wünschenswert, die beide etwa einen Schwenkwinkelbereich von mindestens 40 Grad aufweisen sollten.

[0099] In Modifikation des vorerwähnten „Bulk-Micromachining“ zur Herstellung der Mikrospiegelarrays für Fensterflächen kann auch weniger kostenintensives „Surface-Micromachining“ eingesetzt werden, wenn es um Anwendungen an Fassadenflächen geht, da dabei kleine Winkel ausreichen.

[0100] Des weiteren können die erfindungsgemäßen Mikrospiegelarrays als Einzelmodul **12** oder als Panel **15** bestehend aus einer Vielzahl von zusammengesetzten Modulen **12** auch vorteilhaft in der Beleuchtungstechnik zur Umlenkung von Kunstlicht benutzt werden, um diverse Beleuchtungsziele zu ver-

folgen. Dabei sind insbesondere variable und im besonderen Maße akzentuierte Beleuchtungsverteilungen realisierbar.

[0101] Desweiteren können die erfindungsgemäßen Mikrospiegelarrays auch in sehr vorteilhafter Weise zur Konzentration von Sonnenlicht beispielsweise für die solarthermische Nutzung selbst in der Größenordnung von Kraftwerksanforderungen ausgenutzt werden. Denn im Vergleich zu herkömmlichen Spiegelanordnungen mit makroskopischen Spiegeln werden die mechanischen Belastungen bei Mikrospiegeln gemäß der vorliegenden Erfindung erheblich reduziert. Dies führt zu beträchtlichen Einsparungen bei der Konstruktion, der Wartung und zu einer wesentlich erhöhten Lebensdauer der spiegelnden Anlagen. Ähnliches gilt für die Umlenkung und Konzentration von Sonnenlicht für andere Zwecke, etwa bei photovoltaischen Konzentratorsystemen.

[0102] Des weiteren können die erfindungsgemäßen Mikrospiegel, Module und Panels bei der Umlenkung von Sonnenlicht in der Verwendung in Fassaden- und Dachelementen wahlweise zur Nutzung der solaren Strahlung zum passiven Heizen oder zum aktiven Nutzen in Kollektorsystemen und/oder Fotovoltaiksystemen vorteilhaft verwendet werden.

[0103] Der einschlägige Fachmann auf dem jeweiligen Gebiet der oben skizzierten, unterschiedlichen Verwendungen für die erfindungsgemäßen Mikrospiegelarrays wird erkennen, dass ein Gesamtsystem gemäß der Erfindung vorteilhaft mit weiterer Sensorik betrieben werden kann, die dann für die jeweilige Verwendung spezifisch ausgewählt wird. Beispielsweise kann bei allen Verwendungen im Zusammenhang mit Solarstrahlung in vorteilhafter Weise ein Sonnenstandssensor und optional ein zusätzliches weiteres Sensorsystem eingesetzt werden, dass die Wolkenverteilung und/oder die Helligkeitsverteilung im sensorisch erfassten Halbraum, oder direkt am Himmel erfasst. Ein besonderer Vorteil im Bereich der Solarthermie ergibt sich durch das erfinderische Konzept dadurch, dass es möglich ist, die individuellen Mikrospiegel individuell gesteuert auf einen bestimmten Punkt zu richten, so dass die Strahlung gezielt auf die Geometrie der zu erwärmenden Elemente umgelenkt werden kann. Diese gerichtete, individuell steuerbare Strahlumlenkung, insbesondere für das direkte Sonnenlicht, kann also auch für völlig unregelmäßig geformte Strahlungsabsorberkörper realisiert werden. Im Vergleich zu herkömmlichen Makrospiegeln ist hier eine beträchtliche Erhöhung des Wirkungsgrades der Solarthermischen Anlage zu erwarten.

[0104] Desweiteren wird der einschlägige Fachmann ebenso verstehen, dass durch einen gezielt gewählten Krümmungsradius der Mikrospiegelelemente auch eine Fokussierung von parallel ankommenden

Lightstrahlen, insbesondere von Sonnenstrahlen erfolgen kann. Dabei muss dann der Abstand vom Spiegelement auf die angestrebte Fokussierungsebene oder Fokussierungspunkt dem Krümmungsradius angepasst sein. Auch dieses vorteilhafte Merkmal lässt sich in Kombination mit der leichten Nachführbarkeit der Mikrospiegel sehr vorteilhaft im Bereich Solarenergie ausnutzen, beispielsweise der fokussierende Effekt im Bereich der Solarthermie, wo Sonnenstrahlen auf einen relativ kleinen Raumpunkt, den Absorber fokussiert werden, oder im Bereich der Fotovoltaik, wo es primär darum geht, die gesamte Oberfläche eines Solarpanels möglichst gleichmäßig und möglichst intensiv zu bestrahlen.

[0105] Im Stand der Technik wird Licht auf leistungsfähige Solarzellenflächen mit makroskopischen Hohlspiegelanordnungen fokussiert. Diese Gesamtanordnungen wird oft nachführbar ausgestaltet. Dem Fachmann ist jedoch die enorme Winddruckanfälligkeit dieser Systeme bekannt. Dadurch, dass erfindungsgemäß individuell schwenkbare Mikrospiegel eingesetzt werden, können diese auf stabileren Einheiten fixiert werden, wobei die Gesamteinheit nur noch wenig, oder im Idealfall überhaupt nicht mehr bewegt werden muss.

[0106] Gemäß einem weiteren, vorteilhaften Aspekt der vorliegenden Erfindung können aufgrund der gezielt realisierbaren Lichtumlenkung auch über relativ große Winkelbereiche hinweg auch Solarzellenarrays mit unterschiedlicher Effizienz und dadurch verschiedenen Anschaffungskosten nebeneinander eingesetzt werden und mit den erfindungsgemäßen Mikrospiegeln tageszeitversetzt individuell mit Licht versorgt werden.

[0107] Obwohl die vorliegende Erfindung anhand eines bevorzugten Ausführungsbeispiels vorstehend beschrieben wurde, ist sie darauf nicht beschränkt, sondern auf vielfältige Weise modifizierbar.

[0108] Beispielsweise kann die Dimensionierung der Fläche der Einzelmodule an Herstellungsanlagen angepasst werden, die bereits existieren und vorher zur Herstellung von IC- Bauteilen, Festplatten im Computerbereich, etc, verwendet wurden.

[0109] Weiter kann auch die dem Mikrospiegelement zugeordnete Elektrode integral mit diesem ausgebildet sein, wenn dieses aus elektrisch leitfähigem Material besteht.

[0110] Auch das Mikrospiegelement kann aus derselben Schicht stammen wie das Brückenelement, wenn beide voneinander durch eine das Brückenelement definierende Aussparung (beispielsweise per Ätzung, s. [Fig. 4](#) und [Fig. 6](#)) getrennt sind.

[0111] Schließlich können die Merkmale der Unter-

ansprüche im wesentlichen frei miteinander und nicht durch die in den Ansprüchen vorliegende Reihenfolge miteinander kombiniert werden, sofern sie unabhängig voneinander sind.

[0112] Weitere Anwendungen liegen in der Präsentation von jeweils pixelartig aufgelöstem Text und/oder Graphik. Dazu werden z.B. in einem Raum alle Fensterflächen bis auf eine mit den entsprechenden Mikrosiegeln verdunkelt und ein Fenster im Durchlicht als Displayerzeugerfläche eingesetzt. Die Aktuierungssignale der Mikrospiegel-Gruppen werden durch einen Computer über ein Steuergerät und die elektrischen Zuleitungen an die Mikrospiegel-Gruppen weitergeleitet. Dabei können alle Graustufen beliebig angesteuert werden. Das Bild selbst entsteht dann durch Umlenkung des Sonnenlichts oder Scheinwerferlichts auf einer hinter dem Fenster im Rauminnen liegenden Schirmfläche, etwa einer Wand geeigneter Farbe.

[0113] Weitere Anwendungsmöglichkeiten bestehen in der gezielten Lichtlenkung durch das Ersetzen der in vielen Kunstlichtquellen existierenden, reflektorartigen Spiegel durch steuerbare oder starre Vielfachspiegelanordnungen, die flacher gebaut werden können, da die Hohlspiegelwirkung nicht wie im Stand der Technik durch eine unveränderliche 3D-Raumform einer einstückig ausgeführten 3D-Spiegelfläche, sondern durch individuelle Winkelleinstellung der Mikrospiegel erzielt werden kann. Die Mikrospiegel sind dabei vorteilhaft so voneinander beabstandet, dass eine möglichst geringe Abschattung der Mikrospiegel untereinander erfolgt.

Für KFZ-Frontscheinwerfer:

[0114] Bei der Kurvenfahrt oder durch Bodenwellen und Schlaglöcher in der Fahrbahn wandert der Lichtkegel oft aus dem relevanten Bereich heraus und kann generell zu Blendungen des entgegenkommenden Verkehrs führen. Im Rahmen der erfindungsgemäßen Lösung und in Verbindung mit neueren Techniken zur selektiven Ansteuerung von „Pixellicht“, wie etwa veröffentlicht in der deutschen Zeitschrift STERN 41/2002, S. 118 bis Seite 120 können mit steuerbaren Spiegelarrays mit erfindungsgemäß separatem Steuergerät stabile und verkehrstechnisch sichere Helligkeitsverteilungen erzielt werden, wobei die Kosten durch die Verwendung der erfindungsgemäßen Materialien weiter gesenkt werden können. Dabei können die Scheinwerferspiegelflächen auch eben oder nur leicht gewölbt sein, denn die Einzelspiegel oder Gruppen davon können je weiter außen im Reflektorbereich gelegen, eine umso stärker abgewinkelte Ruhelage besitzen, von der aus sie weiterbewegt werden können, wenn dies erforderlich ist. Mit einem solchen erfindungsgemäßen „Flachscheinwerfer“ kann in vorteilhafter Weise ein neues Designelement für den Automobilbereich geschaffen wer-

den, und der Scheinwerfer benötigt weniger Einbauraum.

Für Halogenlampen und Leuchtstofflampen:

[0115] Durch die im Raum meist fest installierten Lichtquellen, welche unterschiedliche Intensitäten und Abstrahlwinkel aufweisen, liegt eine stark entfernungabhängige und inhomogene Raumausleuchtung vor. Dabei fällt das Licht nicht immer präzise auf die Stellen, an denen es benötigt wird. Im Rahmen der erfindungsgemäßen Lösung kann mit Spiegellarrays selbst auf der Basis nur jeweils einer Drehachse pro Spiegelement wesentlich günstigere Helligkeitsverteilungen erzielt werden. Ferner ist in Kombination mit einem Personensensor wie bereits oben beschrieben, eine gezielte Lichtumlenkung mit oder ohne gezielter Bündelung möglich. Auch für eine Objektbeleuchtung (z.B. Statue, Bild) können so gezielt Akzente gesetzt werden.

[0116] Viele Lichtquellen besitzen bereits gekrümmte Reflektoren, nachfolgend als „Lampen auf Reflektorbasis“ bezeichnet (z.B. Beleuchtungseinheiten auf der Basis von Leuchtstofflampen oder Halogenlampen). Diese Reflektoren könne z.B. durch ein oder mehrere Panels ersetzt werden. In einem Ausführungsbeispiel stehen drei ebene Panels jeweils im 90° Winkel zueinander. Diese Anordnung ist an Retroreflektoren (engl. corner cubes) angelehnt. Jedoch ist auch eine Krümmung der Panels durch folienartigen Aufbau realisierbar.

Patentansprüche

1. Vorrichtung mit Spiegelementen zur großflächigen Lichtumlenkung, gekennzeichnet dadurch, dass:

die Vorrichtung ein Panel (**15**) bildet, das eine Mehrzahl von Mikrospiegelvorrichtungen (**12**) umfasst, die ihrerseits eine jeweilige Mehrzahl von mit einer gemeinsamen Grundträgerfläche (**30**) verbundenen Einzelkörpern (**31**) enthalten, wobei ein Einzelkörper (**31**) wenigstens ein über der Grundträgerfläche (**30**) stehendes Halteelement (**32**; **32A**, **32B**) für ein damit verbundenes optisch reflektiv wirkendes Spiegelement (**36**) enthält, wobei eine leitende Schicht als gemeinsame Steuerelektrode für eine Bewegung einer Gruppe von Spiegelementen (**36**) vorgesehen ist.

2. Vorrichtung nach dem vorstehenden Anspruch, wobei für die Bewegung der Spiegelemente (**36**) ein elektrisch steuerbarer Aktuierungsmechanismus vorgesehen ist.

3. Vorrichtung nach dem vorstehenden Anspruch, weiter enthaltend eine Einrichtung zum Anlegen einer Mehrzahl von elektrischen Steuergrößen an jeweils unterschiedliche, vorbestimmte Gruppen von räumlich benachbarten Spiegelementen (**36**),

um den Aktuierungsmechanismus anzusteuern.

4. Vorrichtung nach dem vorstehenden Anspruch, wobei der Aktuierungsmechanismus auf elektrostatischen Kräften beruht, wobei mindestens eine erste Elektrode (34) einem Spiegelement (36) und mindestens eine zweite Elektrode (38) der Grundträgerfläche (30) zugeordnet ist.

5. Vorrichtung nach Anspruch 3, wobei die Einrichtung zum Anlegen einer Mehrzahl von elektrischen Steuergrößen zum Zwecke einer gezielten Aktuierung von Spiegelementen (36) eine Einrichtung (16) zum drahtlosen Empfang einer Mehrzahl verschiedener Steuersignale von einem Steuergerät (18) aus enthält.

6. Vorrichtung nach Anspruch 1, wobei die Mehrzahl von Mikrospiegelvorrichtungen (12) in jeweils einzeln miteinander verbindbare Einzelmodule aufgliedert ist.

7. Vorrichtung nach Anspruch 1, wobei die Spiegelemente (36) als reflektive Metallschicht oder als dielektrische Mehrschicht mit elektrisch leitfähiger Einzelschicht, oder als reflektive Polymerschicht mit leitfähiger Einzelschicht ausgebildet sind.

8. Vorrichtung nach Anspruch 6; wobei sie Verbindungselemente (22, 24) enthält, mit denen Einzelmodule der gleichen Art randseitig verbunden werden kann.

9. Vorrichtung nach dem vorstehenden Anspruch, wobei sie steckbare Verbindungselemente (22, 24) enthält, wobei die Verbindungselemente neben der mechanischen Verbindung auch eine elektrische Steckverbindung zwischen Vorrichtungen gleicher Art enthalten.

10. Vorrichtung nach einem der vorstehenden Ansprüche 3 bis 9, wobei die vorbestimmte elektrische Steuergröße für jeweils eine Mikrospiegelvorrichtung (12) vorgebar ist.

11. Vorrichtung nach Anspruch 1, wobei die Spiegelemente (36) entweder
a) eben ausgebildet sind, oder
b) sie eine gekrümmte Form aufweisen.

12. Vorrichtung nach Anspruch 1, wobei ein Halteelement (32; 32A, 32B) und ein Spiegelement (36) aus einem Stück gefertigt sind.

13. Vorrichtung nach Anspruch 1 und 11 Alternative a), wobei die Spiegelemente (36) rechteckförmig ausgebildet sind.

14. Vorrichtung nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei die Spiegelemente (36) in regel-

mäßiger Matrixform aus parallelen Zeilen und parallelen Spalten angeordnet sind.

15. Vorrichtung nach Anspruch 1, wobei ein Spiegelement (36) als Strukturelement einer Metallschicht oder einer dielektrischen Mehrschicht mit leitfähiger Einzelschicht, oder einer leitfähigen Polymerschicht mit reflektierenden Eigenschaften ausgebildet ist, und wobei das Spiegelement (36) aufgrund einer vorgegebenen Biegesteifigkeit seiner selbst oder der Biegesteifigkeit seiner Verbindung zum Halteelement relativ zur Grundträgerfläche beweglich für einen auf das Spiegelement wirkenden Aktuationsmechanismus gelagert ist.

16. Vorrichtung nach dem vorstehenden Anspruch, wobei eine für mehrere oder alle Spiegelemente (36) gemeinsame, flächenhaft ausgebildete Gegenelektrode (38) an der Grundträgerfläche (30) vorhanden ist, und eine zu einem Außenrand der Vorrichtung führende, elektrische Zuleitung (26, 28) und Kontaktierung der Elektroden von Gruppen von Einzelkörpern mittels planarer Leitungen vorgesehen ist zur computergesteuerten, gruppenweisen Adressierung und Aktuierung der Einzelkörperbewegung über die Elektrodenpaare (34, 38).

17. Vorrichtung nach Anspruch 6 und dem vorstehenden Anspruch, wobei eine für mehrere oder alle Spiegelemente (36) gemeinsame, flächenhaft ausgebildete Gegenelektrode (38) an der Grundträgerfläche (30) vorhanden ist, und eine zu einem Außenrand eines Einzelmoduls führende, elektrische Zuleitung (26, 28) und Kontaktierung der Elektroden von Gruppen von Einzelkörpern mittels planarer Leitungen vorgesehen ist zur computergesteuerten, gruppenweisen Adressierung und Aktuierung der Einzelkörperbewegung über die Elektrodenpaare (34, 38).

18. Vorrichtung nach Anspruch 1, wobei ein Spiegelement (36) über wenigstens ein Brückenelement (34) vorgegebener Biegesteifigkeit mit dem Halteelement (32; 32A, 32B) verbunden ist.

19. Vorrichtung nach Anspruch 1, wobei das Spiegelement (36) an zwei Brückenelementen (34A, 34B) befestigt ist, die in paralleler Richtung verlaufend eine Schwenkachse für den Bereich des Spiegelements (36) bilden und an entgegengesetzten Seiten des Spiegelements ansetzen, und wobei die Verwindungssteifigkeit der Brückenelemente (34A, 34B) um ihre Schwenkachse so an die elektrostatischen Kräfte zwischen den Elektroden (34; 38) anpassbar ist, dass eine Schwenkbewegung des Spiegelements (36) mit gezielt einstellbarem Auslenkwinkel relativ zur Grundträgerfläche (31) durchführbar ist.

20. Vorrichtung nach dem vorstehenden An-

spruch, wobei ein Spiegelement (**36**) kardanisch gelagert ist durch ein weiteres Brückenelementpaar (**84A, 84B**), das innerhalb des nach dem vorstehenden Anspruch geschwenkten Bereichs vorgesehen ist.

21. Vorrichtung nach einem der beiden vorstehenden Ansprüche, wobei das Spiegelement (**36**) so zur Schwenkachse orientiert ist, dass eine Schwenkachse das Spiegelement (**36**) außermittig teilt.

22. Vorrichtung nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei das Spiegelement (**36**) als Bragg-Filterelement ausgebildet ist und eine über die zwischen den Elektroden (**34, 38**) angelegte Steuerungspannung spektral abstimmbare Filterfunktion besitzt.

23. Gebäudefenster enthaltend eine Vorrichtung nach einem der vorstehenden Ansprüche.

24. Gebäudefenster nach dem vorstehenden Anspruch, bei dem das Panel (**15**) zwischen zwei Fensterscheiben vorgesehen ist.

25. System zur Gestaltung von Gebäudefassaden, enthaltend eine oder mehrere Vorrichtungen nach einem der vorstehenden Ansprüche 1 bis 22, ein Steuergerät (**18**) zum Steuern der Auslenkung von Spiegelementen (**36**) der Panels (**15**), sowie eine Einrichtung zum Übertragen von Steuersignalen oder elektrischen Steuergrößen an ein oder mehrere Panels (**15**).

26. Verwendung einer Vorrichtung nach einem der vorstehenden Ansprüche 1 bis 22, oder eines Systems nach dem vorstehenden Anspruch, oder eines Gebäudefensters nach Anspruch 23 oder 24 zur Gestaltung von Gebäudefassaden, einschließlich deren Fenstern.

27. Verwendung einer Vorrichtung nach einem der vorstehenden Ansprüche 1 bis 22 in einer Anlage zur Nutzung von Solarenergie, bei der das Panel (**15**) dazu verwendet wird, Solarstrahlung umzulenken oder zu bündeln.

28. Verwendung einer Vorrichtung nach einem der vorstehenden Ansprüche 1 bis 22 mit Lampen auf Reflektorbasis zur gezielten Lichtumlenkung oder/und Lichtbündelung, wobei das Panel (**15**) wenigstens einen Teil der Reflektorfläche bildet.

Es folgen 8 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

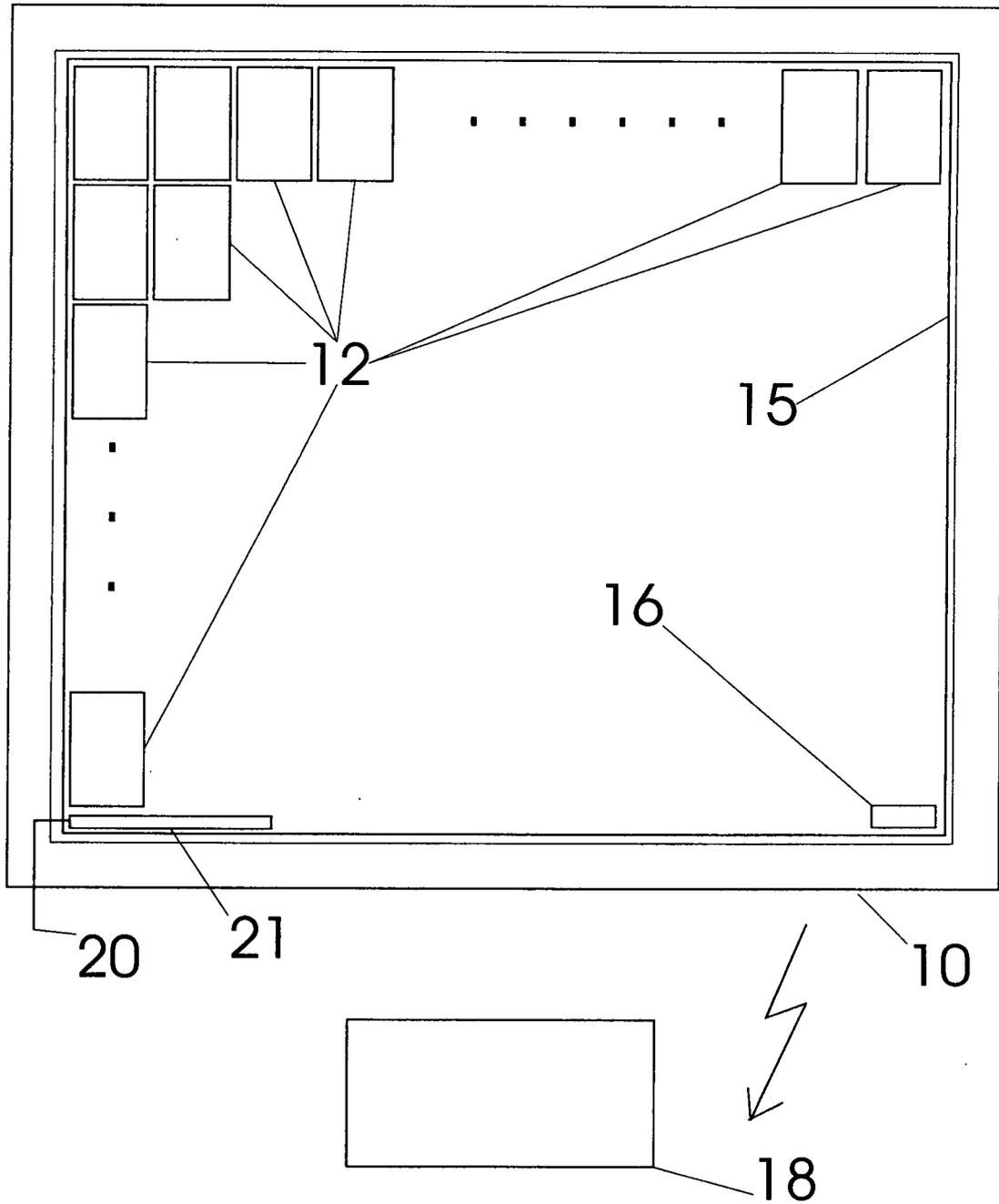


Fig. 1

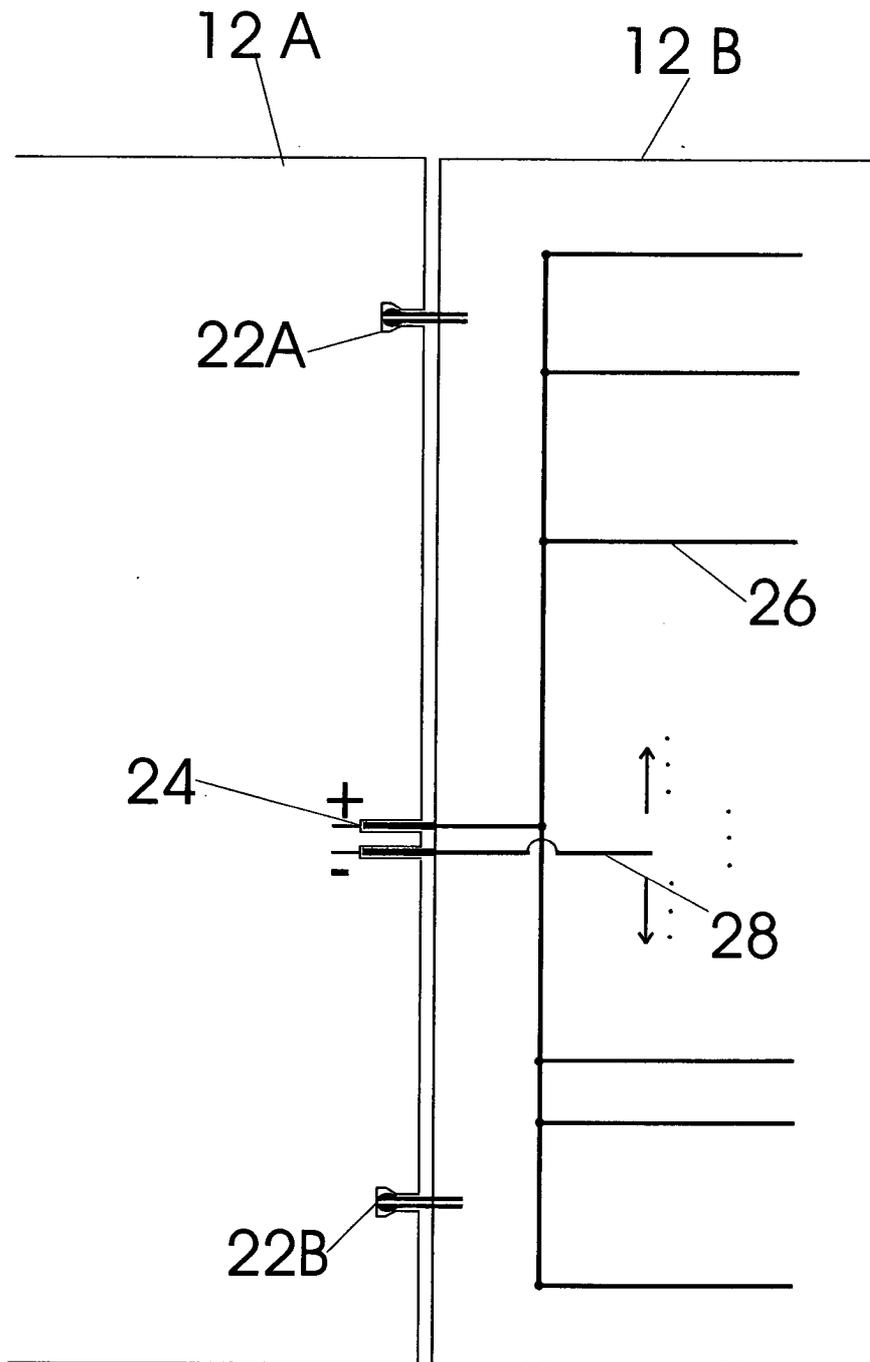
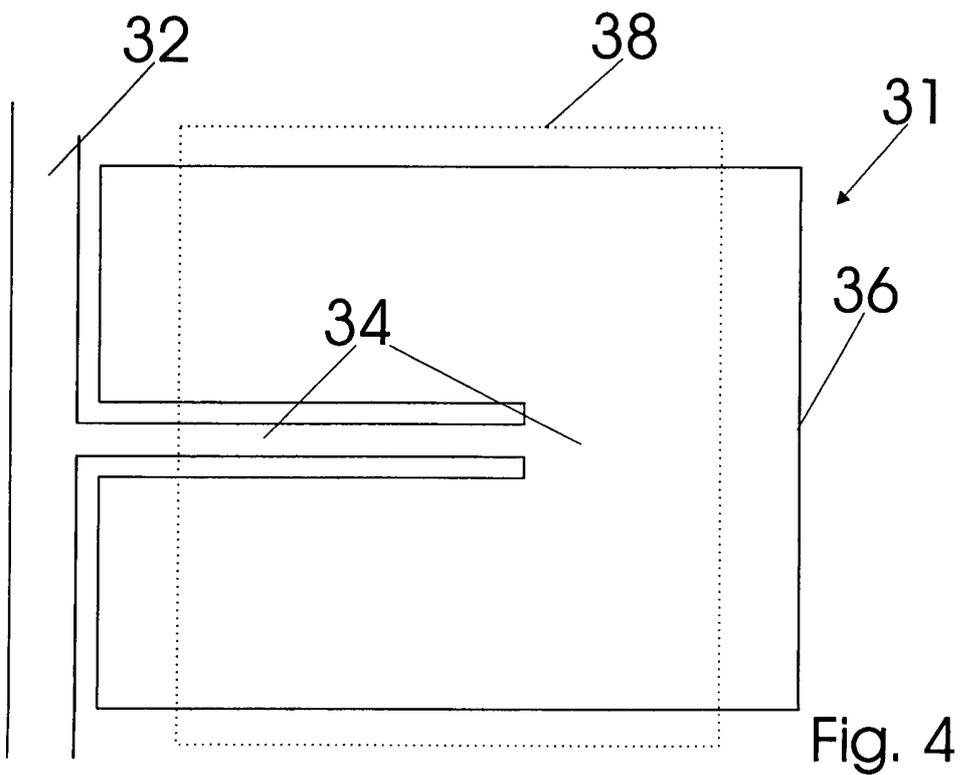
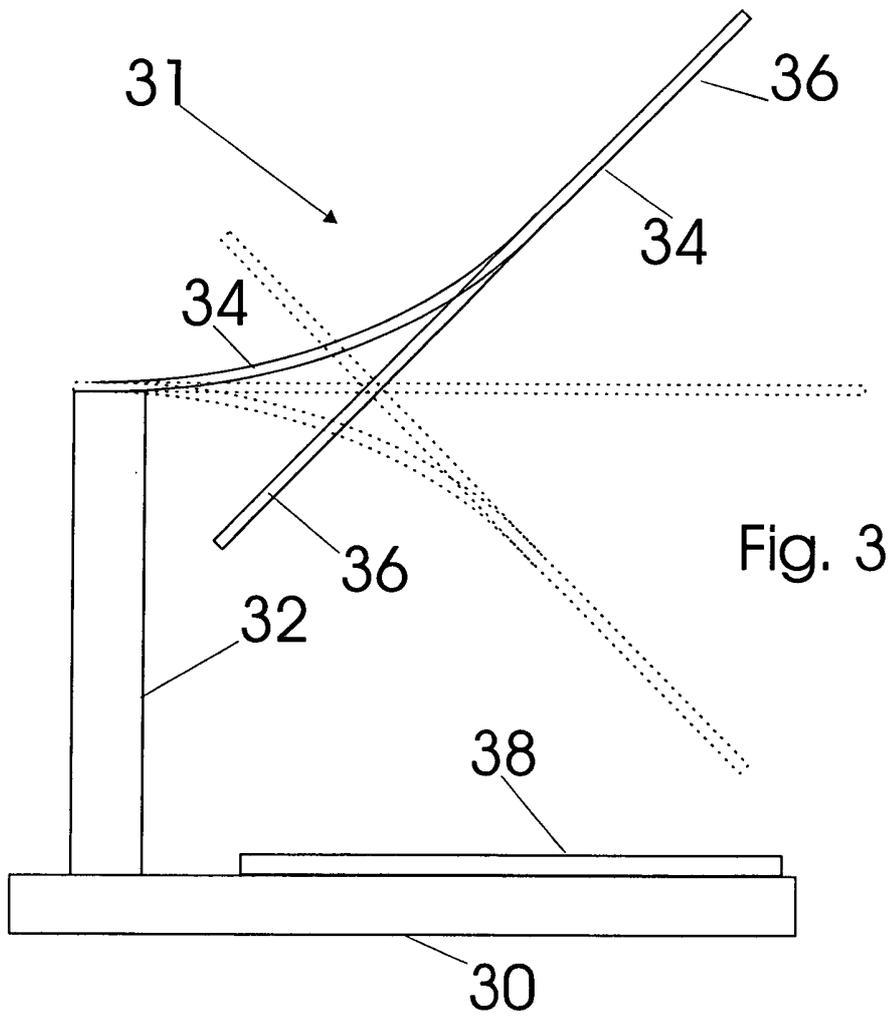


Fig. 2



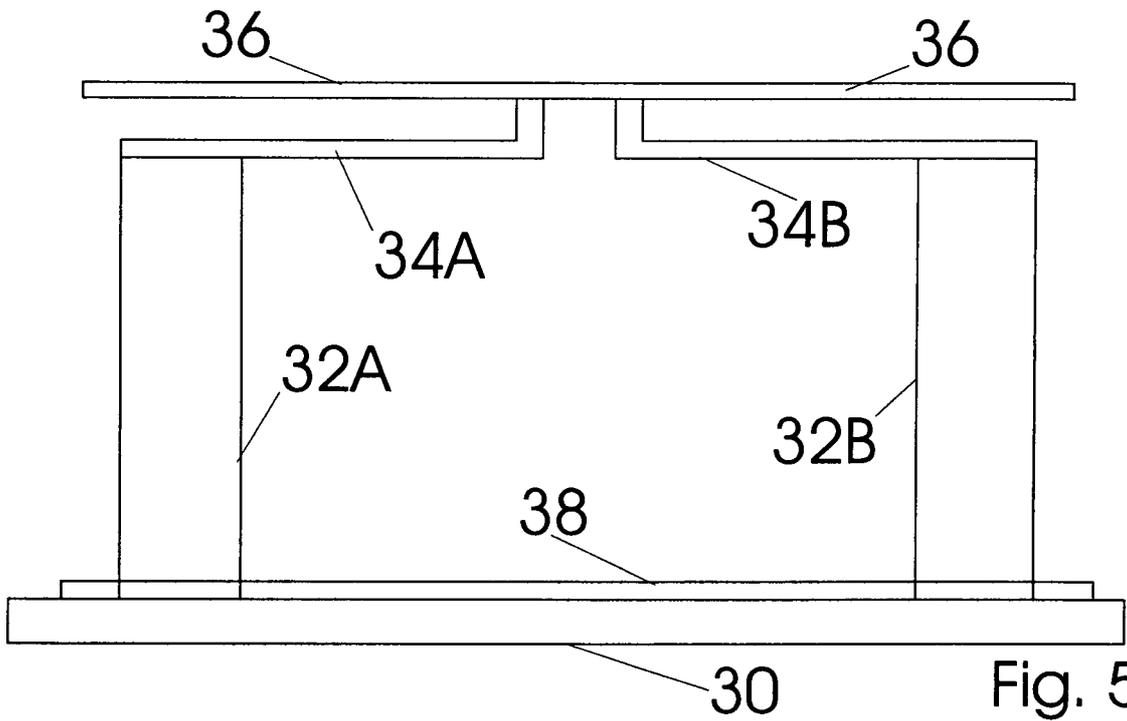


Fig. 5

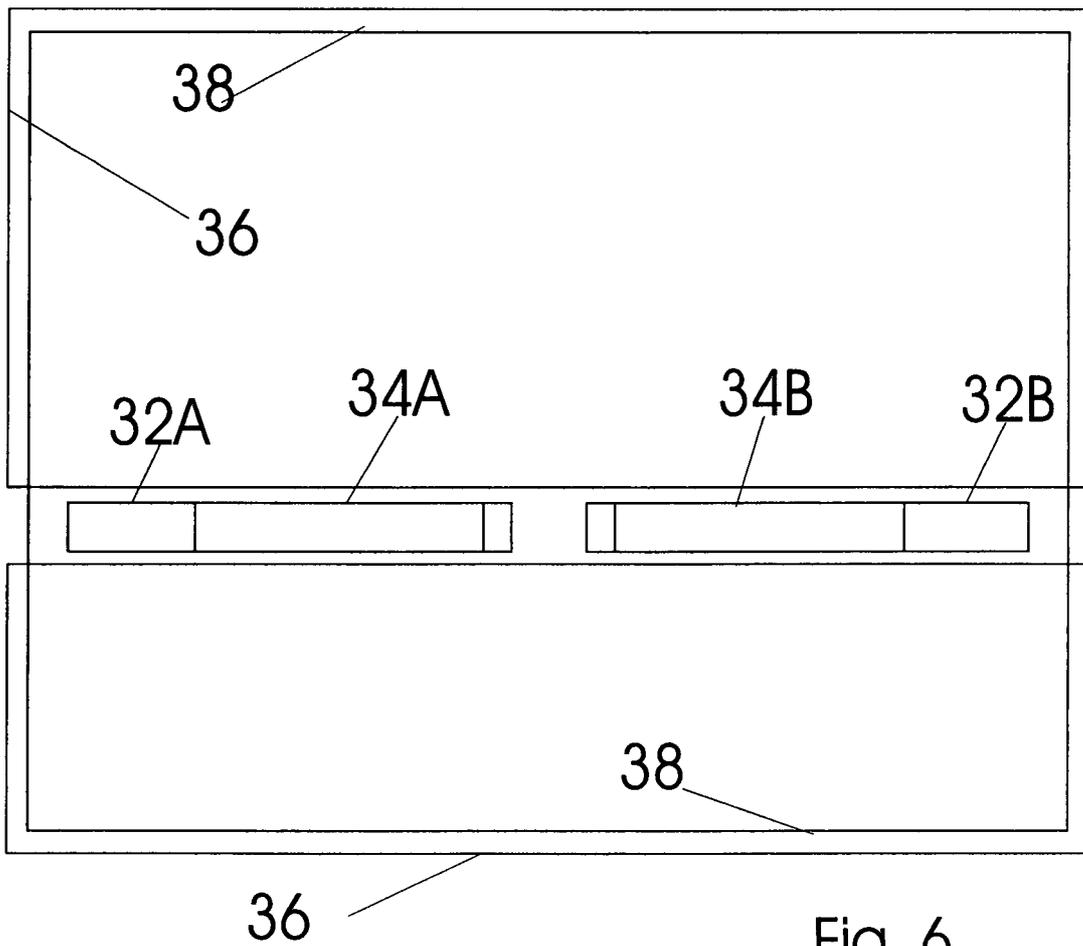


Fig. 6

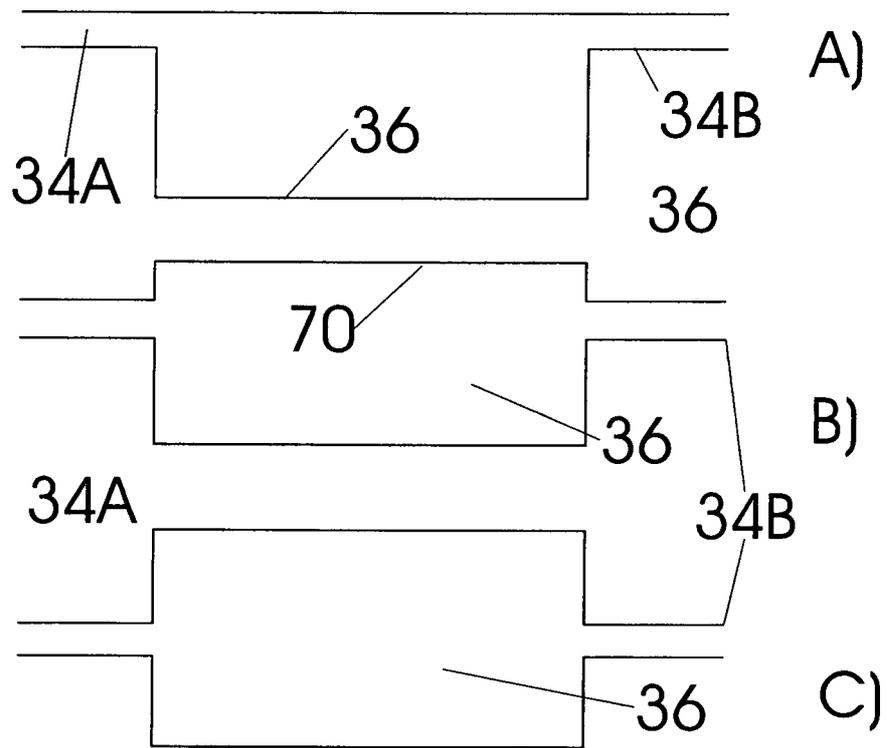


Fig. 7

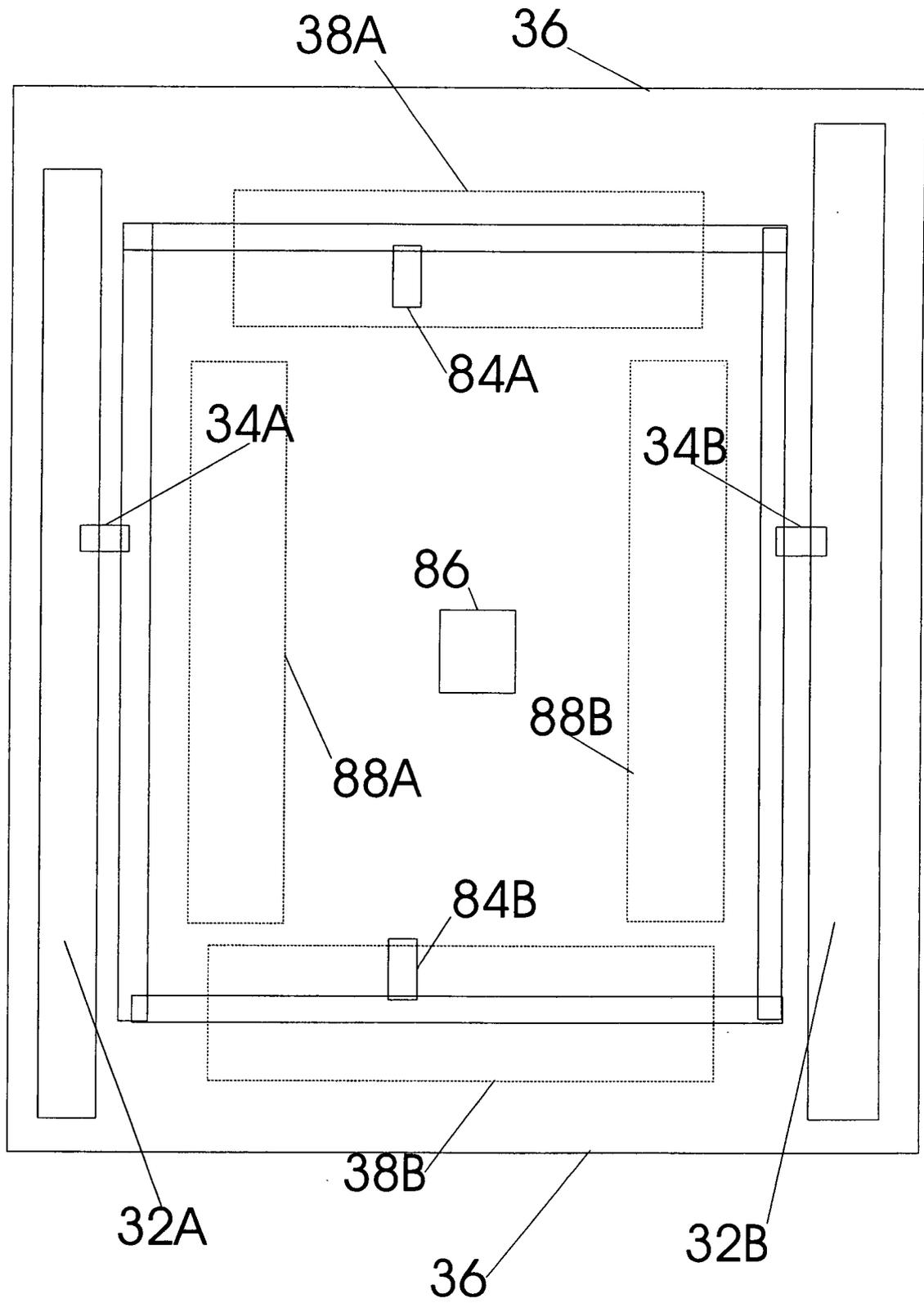


Fig. 8

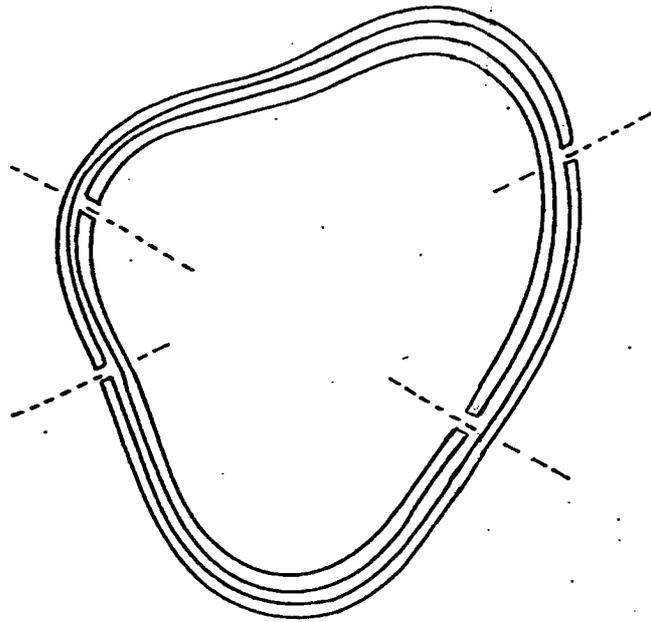


Fig. 9A

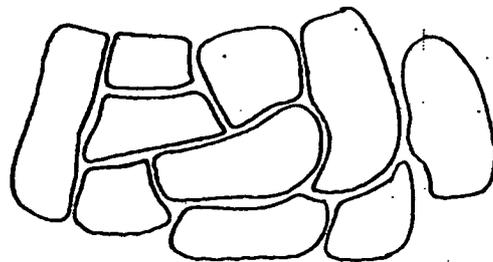


Fig. 9B

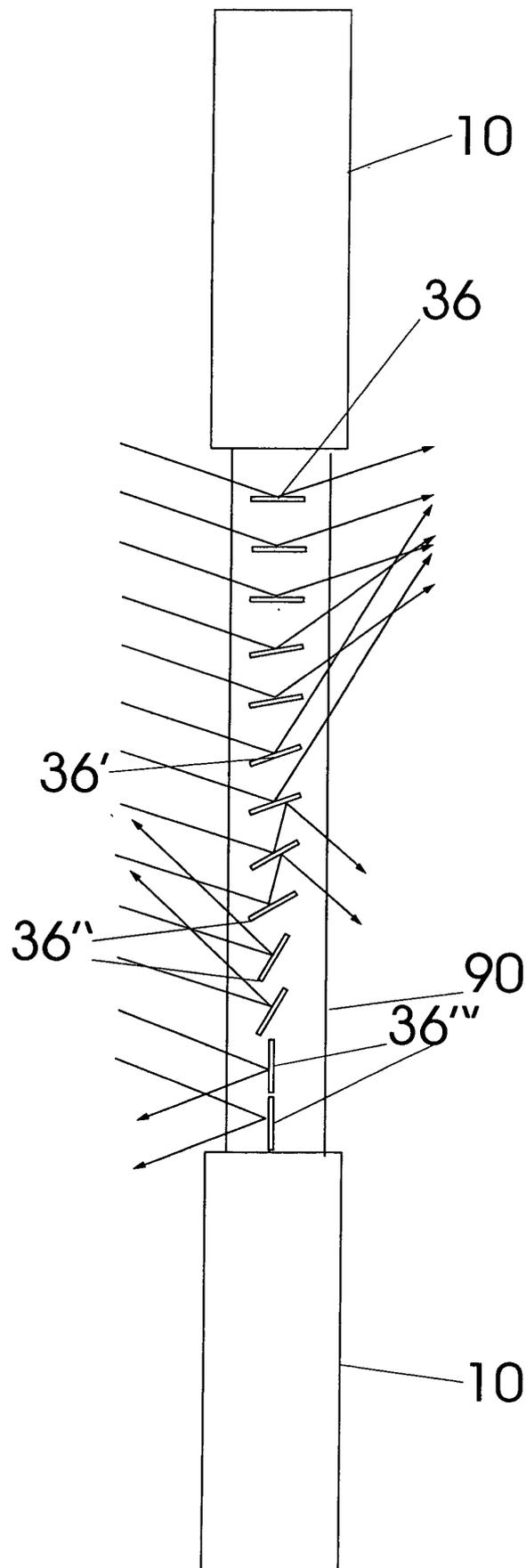


Fig. 10