



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 601 33 765 T2 2009.11.05**

(12) **Übersetzung der europäischen Patentschrift**

(97) **EP 1 342 108 B1**

(51) Int Cl.⁸: **G02B 5/18 (2006.01)**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **601 33 765.4**

(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/FI01/01082**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **01 270 792.3**

(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 2002/048758**

(86) PCT-Anmeldetag: **11.12.2001**

(87) Veröffentlichungstag
der PCT-Anmeldung: **20.06.2002**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **10.09.2003**

(97) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung beim EPA: **23.04.2008**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **05.11.2009**

(30) Unionspriorität:
20002737 13.12.2000 FI

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

(73) Patentinhaber:
Oy Modines Ltd., Helsinki, FI

(72) Erfinder:
**HATJASALO, Leo, FIN-00210 Helsinki, FI; RINKO,
Kari, FIN-00170 Helsinki, FI**

(74) Vertreter:
**Puschmann & Borchert Patentanwälte
Partnerschaft, 82041 Oberhaching**

(54) Bezeichnung: **STRAHLFORMER**

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

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

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft einen Strahlformer zur Verwendung in Verbindung mit einer quasi-monochromatischen Lichtquelle sowie ein Verfahren zur Herstellung eines Strahlformers.

[0002] Für die eingangs erwähnte Anwendung sind derzeit Übertragungselemente zum Beispiel folgender Art bekannt: a) Brechungsliniensysteme, b) Beugungsliniensysteme und c) Hybridanordnungen.

[0003] Darüber hinaus wird gegenwärtig auch ein so genannter Bragg-Reflektor verwendet, wobei die in diesem Zusammenhang verwendete Anordnung teilweise reflektierend und teilweise transparent ist. Weiterhin ist in Lichtwellenleiteranwendungen die Verwendung des Bragg-Aufbaus als so genanntes Faser-Bragg-Gitter bekannt, welches zwar als selektive Ausgabereinheit fungiert, jedoch effektiv nicht als linsenartiges Übertragungselement. Für die in diesem Zusammenhang beschriebenen Lösungen muss heutzutage jedoch erst noch eine praktische Einsatzmöglichkeit bei der Strahlformung gefunden werden.

[0004] Somit ist insbesondere im US-Patent 5,966,399 ein Bragg-Reflektor oder eine so genannte Fresnel-Linse beschrieben, die mit einem so genannten Vertical-Cavity Surface-Emitting-Laser (VCSEL) verbunden und mit diesem integrativ verbunden ist, welche jedoch effektiv keine Schutzmatrix für einen Halbleiter darstellt. In diesem Zusammenhang wurden jedoch bislang keine Lösungen beschrieben, die direkt auf die Massenfertigung anwendbar wären.

[0005] Ferner ist in der internationalen Patentanmeldung PCT/US98/17295 ein in Halbleiterlasern integrierter Strahlformer mit einem separaten Linsenelement beschrieben. Dabei basiert diese spezifische Linse auf herkömmlichen Brechungs- und Beugungsanordnungen sowie auf daraus aufgebauten Hybridanordnungen. Das in dieser Entgegenhaltung beschriebene Linsenelement stellt jedoch weder ein mit einer Lichtquelle integriertes Teil dar noch enthält diese Schrift auch nur den geringsten Hinweis auf die Nutzung des Bragg-Effekts.

[0006] Darüber hinaus ist in der US 607,550 A ein Strahlformer mit einer separaten, ebenfalls auf Licht brechenden oder beugenden Flächen basierenden, zylindrischen Linse offenbart, welcher derart modifiziert wurde, dass er eine vorwiegend durch Laserdioden erzeugte Lichtwellenfront formt. Auch in dieser Entgegenhaltung sind einerseits weder auf irgendeine Weise mit einer Lichtquelle integrativ verbundene Lösungen noch andererseits irgendeine Verwendung des Bragg-Gitters beschrieben.

[0007] Andererseits umfasst eine Lösung gemäß US 5,986,807 A ein binäres, Licht beugendes optisches Element für einen Strahlhomogenisator, das nur für kohärentes Licht geeignet ist, beispielsweise für Laser oder dergleichen. Diese Art einer binären Gitterstruktur mit Oberflächenreliefphasen beruht auf quantitativen und variablen Phasenfunktionen und ist nur zur Strahlfokussierung gedacht. In diesem Patent ist keine Nutzung einer Bragg-Beugungsgeometrie vorgeschlagen und es bietet keinerlei Lösungsansatz für die Strahlformung bei nichtkohärenten Lichtquellen.

[0008] Aus der Schrift „Bragg Holograms with Binary Synthetic Surface-Relief Profile“, von Jari Turunen et al., Optic letters 18, 15. Juni, N. 12, 1993, Seiten 1022 bis 1024, sind eine Lichtquelle und ein Element mit einer lokalen Gitterperiode bekannt, welche derart angeordnet sind, dass eine Beugung des auf das Element fallenden Lichts im Wesentlichen dem Bragg-Gesetz für einen spezifischen Bereich von Einfallswinkeln gehorcht.

[0009] Es ist Aufgabe eines Strahlformers gemäß der Erfindung, eine entscheidende Verbesserung auf dem Gebiet der oben beschriebenen quasi-monochromatischen Lichtquellentechnologie zu erzielen und die Effizienz einer derartigen Lichtquelle zu verbessern sowie die Voraussetzungen für die Massenfertigung zu schaffen.

[0010] Diese Aufgabe wird durch den Strahlformer mit den Merkmalen von Anspruch 1 sowie durch das Verfahren zur Herstellung eines Strahlformers mit den Merkmalen von Anspruch 13 gelöst.

[0011] Gemäß der Erfindung wird der Strahlformer zur Verwendung in Verbindung mit einer quasi-monochromatischen Lichtquelle mit einem Übertragungselement bereitgestellt. Dieses Übertragungselement umfasst ein im Wesentlichen transparentes Material mit einem Index. Dabei kann das Übertragungselement in seinem Betrieb die Ausbreitung des Lichts von der Lichtquelle mit unterschiedlichen Abbildungsgeometrie-Verhältnissen führen. Dieses Übertragungselement umfasst zumindest teilweise binäre Oberflächenrelief-Beugungsmuster mit bezüglich der Längs- und Querrichtung sowie bezüglich einer optischen Achse optimierten lokalen Gitterperioden. Die Lichtquelle mit einer Wellenlänge und die lokale Gitterperiode sind im Wesentlichen ent-

sprechend der Beugungsgeometrie gemäß dem Bragg-Gesetz für einen spezifischen Bereich von Einfallswinkeln optimiert, um bei der Führung der Lichtausbreitung eine größtmögliche Beugungseffizienz zu erzielen, wobei die Führung der Lichtausbreitung mindestens eine der Methoden Runden, Elliptischmachen, Kollimieren, Divergieren oder Konvergieren umfasst, wobei

- a) das Übertragungselement zur Lichtführung eine Abbildungsgeometrie von 1:1 aufweist und der Strahlformer ein diffraktiv auf einer flachen Oberfläche angeordnetes Oberflächenprofil aufweist, so dass die Führung der Ausbreitung des Lichts mit einem Einfallswinkel von über 5° bis 30° zumindest teilweise mittels eines diffraktiven Bragg-Gittermusters erfolgt, oder
- b) das Übertragungselement eine von einem Verhältnis von 1:1 geringfügig abweichende Abbildungsgeometrie aufweist und ferner eine Brechungslinse umfasst, und der Strahlformer ein in einem Hybridmuster ausgeführtes Oberflächenprofil aufweist, so dass die Führung von Licht mit einem Einfallswinkel von unter 15° bis 40° mittels einer Brechungslinse erfolgt und die Führung von Licht mit einem Einfallswinkel von über 15° bis 40° zumindest teilweise mittels eines diffraktiven Bragg-Gittermusters erfolgt, oder
- c) das Übertragungselement eine Abbildungsgeometrie im Verhältnis von im Wesentlichen ungleich 1:1 hat und ferner eine asphärische oder sphärische Brechungsfläche mit einem diffraktiven Bragg-Gittermuster aufweist, bei dessen Betrieb die Bragg-Bedingung erfüllt und gleichzeitig eine hohe Beugungseffizienz erzielt wird, wobei das Oberflächenrelief-Beugungsmuster des Übertragungselements in Form eines Hybridmusters ausgeführt ist.

[0012] Die wichtigsten Vorteile eines erfindungsgemäßen Strahlformers sind sein idealer Aufbau, sowohl im theoretischen Sinne als auch bei praktischen Anwendungen, wodurch der als peripheres Bauelement für die Lichtquelle integrierte Strahlformer eine größtmögliche theoretische Effizienz erzielen kann, insbesondere bei Ausnutzung des Bragg-Effekts bei der Erstellung linsenartiger Übertragungselementanordnungen. Darüber hinaus ermöglicht der ganzheitliche Charakter der Lichtquelle mit einem Strahlformer der Erfindung eine äußerst effektive Massenfertigung, sowie optische Systeme, die aus praktischer Sicht so einfach, wirkungsvoll und haltbar wie möglich sind. Dank der Erfindung ist auch eine Verbesserung beispielsweise im Fall von Strahlen möglich, die von Leuchtdioden und kanten-emittierenden Halbleiterlasern abgegeben und über einen breiten Einfallswinkelbereich hinweg divergiert werden und deren Kollimation oder Abbildung mit ausreichend hoher Effizienz unter Verwendung herkömmlicher optischer Elemente schwierig ist.

[0013] Die Erfindung betrifft ferner ein Verfahren zur Herstellung eines Strahlformers durch das Modellieren eines flachen und/oder vielgestaltigen Druckblocks und/oder Einsatzes mit einem Elektronenstrahl, einem Laserstrahldrucker zur Bereitstellung eines modellierten Oberflächenprofils, das mindestens teilweise binäre Oberflächenrelief-Beugungsmuster umfasst, deren lokale Gitterperioden bezüglich der Längs- und Querrichtung sowie bezüglich einer optischen Achse optimiert sind, bei dem die lokalen Gitterperioden im Wesentlichen gemäß der Beugungsgeometrie nach Bragg zur Bereitstellung einer größtmöglichen Beugungseffizienz bei der Führung der Lichtausbreitung optimiert werden; und Massenfertigung des Strahlformers unter Verwendung des flachen und/oder vielgestaltigen Druckblocks und/oder Einsatzes durch in Kontakt bringen des modellierten Oberflächenprofils mit einem im Wesentlichen transparenten Material zur Bildung eines Übertragungselements, das zur Führung der Lichtausbreitung von einer quasi-monochromatischen Lichtquelle mit verschiedenen Abbildungsgeometrie-Verhältnissen betrieben werden kann.

[0014] Es folgt nunmehr eine ausführliche Beschreibung der Erfindung unter Bezugnahme auf die beiliegenden Zeichnungen. Davon zeigen:

[0015] [Fig. 1](#) bis [Fig. 5](#) Ansichten, die vorwiegend einer Veranschaulichung hinsichtlich der Anwendung des Bragg-Effekts dienen; und

[0016] [Fig. 6](#) bis [Fig. 12](#) diverse fakultative Ausführungsformen für eine quasi-monochromatische Lichtquelle mit einem erfindungsgemäßen Strahlformer.

[0017] Die Erfindung betrifft einen Strahlformer, der zur Verwendung in Verbindung mit einer quasi-monochromatischen Lichtquelle **1** gedacht und aus einem im Wesentlichen transparenten Material mit einem Index n hergestellt ist, als Übertragungselement **3**, das die Ausbreitung von Licht zum Runden, Elliptischmachen, Kollimieren, Divergieren, Konvergieren und/oder für eine ähnliche Anwendung eines bzw. mehrerer Lichtstrahlen R führt. Dieses Übertragungselement **3** kann zur Führung der Ausbreitung von Licht von der Lichtquelle **1** mit unterschiedlichen Abbildungsgeometrie-Verhältnissen betrieben werden. Dabei umfasst das Übertragungselement **3** zumindest teilweise binäre Oberflächenrelief-Beugungsmuster, mit bezüglich der Längs- und Querrichtung sowie bezüglich einer optischen Achse optimierten lokalen Gitterperioden d . Die Lichtquelle **1** mit einer Wellenlänge λ und die lokale Gitterperiode d sind im Wesentlichen gemäß der Beugungsgeometrie nach dem

Bragg-Gesetz für einen spezifischen Bereich von Einfallswinkeln θ optimiert, um eine größtmögliche Beugungseffizienz bei der Führung der Lichtausbreitung zu erzielen. Diese Führung der Lichtausbreitung umfasst zumindest eine der Methoden Runden, Elliptischmachen, Kollimieren, Divergieren oder Konvergieren.

[0018] Das Übertragungselement **3** zur Lichtführung weist eine Abbildungsgeometrie von 1:1 auf und der Strahlformer hat ein diffraktiv auf einer flachen Oberfläche angeordnetes Oberflächenprofil **3'**, so dass die Führung der Ausbreitung des Lichts R, dessen Einfallswinkel über 5° bis 30° liegt, zumindest teilweise mittels eines diffraktiven Bragg-Gittermusters erfolgt.

[0019] Alternativ weist das Übertragungselement **3** eine von einem Verhältnis von 1:1 geringfügig abweichende Abbildungsgeometrie auf und umfasst ferner eine Brechungslinse, und der Strahlformer weist ein in einem Hybridmuster ausgeführtes Oberflächenprofil **3'** auf, so dass die Führung von Lichts R mit einem Einfallswinkel von unter 15° bis 40° mittels einer Brechungslinse erfolgt und die Führung von Licht R mit einem Einfallswinkel von über 15° bis 40° zumindest teilweise mittels eines diffraktiven Bragg-Gittermusters erfolgt.

[0020] Bei einer weiteren Alternative hat das Übertragungselement **3** eine Abbildungsgeometrie im Verhältnis von im Wesentlichen ungleich 1:1 und umfasst ferner eine asphärische oder sphärische Brechungsfläche mit einem diffraktiven Bragg-Gittermuster, so dass im Betrieb die Bragg-Bedingung erfüllt und gleichzeitig eine hohe Beugungseffizienz erzielt wird, wobei das Oberflächenrelief-Beugungsmuster des Übertragungselements in Form eines Hybridmusters ausgeführt ist.

[0021] Nachstehend werden grundlegende erfinderische Konzepte durch Erläuterung des Bragg-Effekts unter Bezugnahme auf die beiliegenden [Fig. 1-Fig. 5](#) beschrieben.

[0022] [Fig. 1](#) zeigt ein rein diffraktives Element, d. h. die Abbildungsgeometrie von 1:1. Dabei umfasst die Lichtquelle **1** zum Beispiel einen Laser oder eine Leuchtdiode (LED), die mit einer Matrix **2** mit einem Brechungsindex von n , einer Beugungslinse **3** und einem Multimodenfaserkern **4** versehen ist. Für eine Abbildungsgeometrie im Verhältnis von 1:1 müssen folgende Bedingungen erfüllt werden:

$$b = a/n \quad (1)$$

und

$$n \tan \theta_1 = \tan \theta_2 \quad (2)$$

[0023] Die Beugungslinse hat eine lokale Gitterperiode $d(r)$, bei der r eine Entfernung von der optischen Achse darstellt und die aus einer Gittergleichung wie folgt bestimmt wird:

$$\sin \theta_2 = n \sin \theta_1 - \lambda/d(r) \quad (3)$$

in der λ eine Wellenlänge darstellt. Somit bietet die Gleichung 3 eine Lösung für eine lokale Periode an jeder Stelle.

[0024] Es ist bekannt, beispielsweise aus den Quellen: E. Noponen, J. Turunen und A. Vasara, „Parametric Optimization of Multilevel Diffractive Optical Elements by Electromagnetic Theory“, Applied Optics 31, 5010–5012 (1992) sowie E. Noponen, J. Turunen und A. Vasara, „Electromagnetic Theory and Design of Diffractive-Lens Arrays“, Journal of the Optical Society of America A 10, 434–443 (1993), dass das optische Oberflächenprofil einer diffraktiven Fokussierungs- oder Kollimationslinse in hohem Maße von einer lokalen Periode bei großen Einfallswinkeln abhängt und dass die Herstellung optimaler Multilevel-Profile für große Einfallswinkel äußerst schwierig ist.

[0025] Im Fall einer Abbildungslinse, insbesondere bei der Abbildungsgeometrie von 1:1, ist es dennoch möglich, sich auch bei großen Einfallswinkeln den Bragg-Effekt zu Nutze zu machen, welcher bereits früher schon für die binäre Kodierung von diffraktiven Elementen verwendet wurde, wie es beispielsweise in den Quellen J. Turunen, P. Blair, J. M. Miller, M. R. Taghizadeh und E. Noponen, „Bragg Holograms with Binary Synthetic Surface-Relief Profile“, Optics Letters 18, 1022–24 (1993) offenbart ist, jedoch nicht im Fall von Linsen. Im obigen Fall wird die Linse im mittleren Bereich mit einem normalen diffraktiven Muster versehen, jedoch entlang ihren Rändern mit binären Bragg-Mustern, die weiter optimiert wurden, zum Beispiel gemäß der Quelle E. Noponen und J. Turunen, „Binary High-Frequency-Carrier Diffractive Optical Elements: Electromagnetic Theory“, Journal of the Optical Society of America A 11, 1097–1109 (1994).

[0026] **Fig. 2** zeigt ein typisches diffraktives Gittermuster (das an den in **Fig. 1**, **Fig. 3** und **Fig. 4** dargestellten Oberflächen erscheint), welches gemäß der Bragg-Bedingung modifiziert wird. Die Winkel θ_1 und θ_2 sind dabei die gleichen wie in **Fig. 1**, auch d stellt immer noch eine lokale Gitterperiode dar, c ist die Breite einer Spitze und h deren Höhe. Sind die Bragg-Bedingungen

$$n \sin \theta_1 = -\sin \theta_2 = \lambda / 2d \quad (4)$$

erfüllt und die lokale Gitterperiode liegt zwischen $0,5\lambda < 2\lambda$, dann ist es möglich, die Parameter c und h derart zu wählen, dass eine äußerst hohe Beugungseffizienz für das Gitter erzielt wird. Somit kann das Bragg-Gitter in der Praxis bei $\theta_2 > 15^\circ$ verwendet werden.

[0027] Aus einem Vergleich der obigen Gleichungen (2) und (4) ergibt sich, dass die Bragg-Bedingung **4** in der Geometrie von **Fig. 1** nur annähernd erfüllt wird. Die Annäherung gilt bei $\sin \theta_1 \approx \tan \theta_1$ und $\sin \theta_2 \approx \tan \theta_2$ (d. h. ein Fehler tritt insbesondere bei großen Einfallswinkeln auf). Die Bragg-Bedingung muss jedoch nicht genau gültig sein, damit das Gitter mit hoher Effizienz funktioniert (siehe die oben erwähnte Quelle E. Noponen und J. Turunen). Außerdem ist eine leichte Abweichung von der Abbildungsgeometrie 1:1 möglich, so dass die Bragg-Bedingung bei einem Einfallswinkel θ_{\max} erfüllt wird, über den die Intensitätsverteilung ihre höchsten Werte erreicht.

[0028] Anstelle von Gleichung (1) ergibt sich somit

$$b = a \frac{(1 - n^2 \sin^2 \theta_{\max})^{1/2}}{n \cos \theta_{\max}}. \quad (5)$$

[0029] Alternativ kann θ_{\max} durch einen Einfallswinkel ungleich Null ersetzt werden, der von der Form der Intensitätsverteilung abhängig ist und im Hinblick auf eine Maximierung der Gesamtbeugungseffizienz ausgewählt wird.

[0030] Im Prinzip kann die Linse von **Fig. 1** modifiziert werden, indem eine Brechungslinse im mittleren Bereich vorgesehen wird, während eine Beugungslinse nur bei Einfallswinkeln von über 30° verwendet wird, über die hinweg das Bragg-Gitter eine hohe Effizienz hat. **Fig. 3** zeigt einen derartigen Aufbau: Dabei verläuft ein Strahl R1 über die Licht brechende Oberfläche und ein Strahl R2 über die diffraktive Oberfläche. Die Lösung macht Sinn für eine Leuchtdiode mit Resonanzkörper (RC-LED), aber nicht so sehr für einen Laser, da die Grenze zwischen brechenden und beugenden Bereichen in einem räumlich kohärenten Feld zu Problemen führt.

[0031] In **Fig. 4** ist ein Zustand mit einer Abbildungsgeometrie dargestellt, die sich erheblich von der Abbildungsgeometrie im Verhältnis 1:1 unterscheidet (d. h. der Lichtwellenleiter wurde weiter weg von der Linse angeordnet, wodurch Licht in einen Lichtwellenleiter mit kleinerer numerischer Apertur aufgenommen oder eingespeist werden kann). Bei dieser Ansicht ist die Hybridlinse an ihrer Brechungsfläche mit einem Beugungsmuster versehen. Der Grund für die Verwendung einer Hybridanordnung liegt darin, dass der Winkel θ_2 bei II in **Fig. 4** nun kleiner ausfällt als in **Fig. 1**, zur Erzielung einer hohen Effizienz die Bragg-Bedingung jedoch nach wie vor erfüllt werden muss. Dies wird erreicht, wenn die binäre Struktur von **Fig. 2** auf eine passend gekrümmte Oberfläche aufgebracht wird, d. h. die Geometrie derart gedreht wird, dass die senkrechten Wände von Spitzen im Bragg-Gitter lokal senkrecht oder orthogonal zur gekrümmten Oberfläche verlaufen. Die optimale Oberflächenkontur lässt sich berechnen und das Ergebnis ist eine fast, wenn auch nicht vollkommen sphärische Oberfläche. Danach muss die lokale Periode einer Linse als räumliche Funktion bestimmt werden, was ebenfalls auf der Grundlage dessen, was vorstehend beschrieben wurde, erfolgen kann. Die Oberflächenkrümmung ist im Vergleich zur Verwendung einer rein brechenden Oberfläche ziemlich unbedeutend, was bedeutet, dass Fresnel-Verluste ebenfalls deutlich geringer ausfallen. Auch in diesem Fall ist es möglich, den mittleren Bereich einer Linse mit einer rein refraktiven Lösung zu versehen, wie es in **Fig. 3** dargestellt ist.

[0032] **Fig. 5** zeigt eine Situation, in der ein Linsensystem **3** Lichtstrahlen divergiert (d. h. der Einfallswinkel eines auf das Linsensystem fallenden Strahls ist kleiner als sein Ausgangswinkel).

[0033] Andererseits liegt das Bestreben bei einem Strahlformer gemäß vorliegender Erfindung darin, ein insbesondere von einem optischen Halbleiterbauelement (beispielsweise einer RC-LED oder einem VCSEL 1) erzeugtes Strahlungsfeld, einer Kollimation, Umformung in einem Fernfeld zu unterziehen, und dieses dann mittels eines diffraktiven oder hybriden Elements beispielsweise in einen Lichtwellenleiter einzuspeisen. Diese

Art von Element lässt sich zum Beispiel durch Gießen direkt um eine RC-LED oder einen VC-SEL herum oder auf dieser bzw. diesem anbringen, so dass es gleichzeitig das in Rede stehende Element hermetisch umschließt.

[0034] Es folgt nunmehr eine weitere nähere Analyse hinsichtlich der wesentlichen Grundlagen der Erfindung. In einer ersten Annäherung (die für industrielle Anwendungen als solche ausreichen dürfte), lassen sich folgende Hypothesen auf der Grundlage der Kohärenztheorie aufstellen:

1. Der zwischen einer Lichtquelle und einem Bragg-Aufbau befindliche aktive Bereich ist unendlich dünn und kann somit als planare oder ebene Quelle betrachtet werden.
2. Jeder Punkt im aktiven Bereich fungiert als Quelle für einen vollkommen kohärenten Bessel-Gauss-Strahl (d. h. den von einem VCSEL mit einem identischen Muster erzeugte Strahl).
3. Es kann davon ausgegangen werden, dass die Quelle global inkohärent (quasi-homogen) ist, wodurch es zu einer fast destruktiven Interferenz der von ihren diversen Punkten abgestrahlten kohärenten Bessel-Gauss-Strahlen kommt.

[0035] Auf der Grundlage dieser Hypothesen ist es durchaus denkbar, eine Theorie hinsichtlich der Ausbreitung der von einem optischen Halbleiterbauelement erzeugten, teilweise kohärenten Strahlungsfelder auszuarbeiten, was wiederum die optimale Auslegung optischer Elemente auf der Grundlage einer Hypothese, dass ein Strahlungsfeld in etwa eine teilweise kohärente konische Welle ist, ermöglicht.

[0036] Unter der Voraussetzung, dass sich das Strahlungsfeld eines optischen Halbleiterbauelements durch ein teilweise kohärentes Bessel-Gauss-Feld modellieren lässt, ist es ziemlich einfach, Beugungselemente zu konstruieren, die für eine flache Oberfläche erzeugt werden können, wodurch diese Felder kollimiert werden können, deren Beugungsverteilungen im Fernfeld derart konditioniert werden können, dass sich eine gewünschte Intensitätsverteilung ergibt, oder deren Lichtstärke beispielsweise in einen Lichtwellenleiter geführt werden kann. Die genauen räumlichen Kohärenzeigenschaften einer Quelle haben vermutlich keine größere Auswirkung auf die Erstellung eines theoretischen Modells.

[0037] Zunächst wird die Einspeisung von Licht von einer Lichtquelle in eine Multimodenfaser (MMF) untersucht; ein gutes Beispiel einer solchen sind Kunststoff-Lichtwellenleiter.

[0038] Hat das Strahlungsfeld einer Lichtquelle eine numerische Apertur, die in ihrer Größe kleiner oder gleich der numerischen Apertur eines Lichtwellenleiters ist, und der abstrahlende Bereich einer Lichtquelle hat einen Durchmesser kleiner oder gleich dem Durchmesser eines Lichtwellenleiterkerns, dann gestaltet sich die Einspeisung von Licht in den Lichtwellenleiter denkbar einfach. Die Verwendung einer 1:1-Abbildungslinse reicht aus. Eine derartige Linse lässt sich diffraktiv auf einer flachen Oberfläche realisieren (d. h. oben auf der Oberfläche einer um die Lichtquelle herum angegossenen zylindrischen Matrix), zum Beispiel wie folgt: Die Linse umfasst in ihrem mittleren Bereich eine herkömmliche Mikro-Fresnel-Linse, d. h. ihr Profil ist regelmäßig. Bei großen Einfallswinkeln, über die hinweg die abgegebene Lichtstärke einer Lichtquelle am höchsten ist, fällt die Beugungseffizienz bei dieser Art von Linse selbst theoretisch schlecht aus und mit der verfügbaren Fertigungstechnologie lassen sich nicht einmal theoretische Grenzen erreichen. Andererseits ermöglicht die Erfindung die Verwendung binärer Strukturen oder Muster, die beim Bragg-Einfallswinkel eine hervorragende Effizienz (von bis zu 97–98%) aufweisen und deren Fertigung oder Herstellung ebenfalls mit moderner Technologie möglich ist, wenn auch die lokale Gitterperiode in derselben Größenordnung liegt wie die Lichtwellenlänge. Die Linse lässt sich auf herkömmliche Weise mittels Elektronenstrahlolithographie auf einem so genannten Resist (Abdecklack) und anschließender Bildung eines so genannten Nickel-Shims, der in einer Gussform verwendet werden kann, herstellen.

[0039] Bei einer Abbildungsgeometrie von ungleich 1:1 gestaltet sich das Ganze etwas komplizierter. Dies ist der Fall, wenn die numerische Apertur eines Lichtwellenleiters kleiner als diejenige des Strahlungsfelds einer Lichtquelle ist, und insbesondere, wenn der Strahl anstelle der Einspeisung in den Lichtwellenleiter einer Kollimation unterzogen werden soll. In diesem Fall erfordert die Erfüllung der Bragg-Bedingung (die eine Voraussetzung für eine hohe Effizienz bei einer binären Linse darstellt) das Verbiegen oder Durchbiegen einer Oberfläche, woraufhin dann das diffraktive Muster darauf gebildet ist. Somit wird das diffraktive Muster auf einer asphärischen, brechenden Oberfläche hergestellt, d. h. es ist von einem Hybrid Aufbau die Rede (der dennoch aus vollkommen anderen Gründen als bei den gegenwärtig verfügbaren Lösungen realisiert wird). Gemäß dem aktuellen Wissensstand ist die Oberflächenkrümmung im Vergleich zur Krümmung einer rein refraktiven Oberfläche ziemlich unbedeutend, wodurch die Herstellung eines Beugungsmusters zum Beispiel wie folgt realisiert werden kann: Zunächst wird eine Elementvorlage (Master) auf einem Resist erzeugt, dann ein so genannter Shim aus Silikon hergestellt, der an einer durch Diamantdrehen hergestellten asphärischen Oberfläche entlang

flexibel ist (wobei selbst die Verwendung eines sphärischen Aufbaus für industrielle Anwendungen ausreichen dürfte), woraufhin der Aufbau reproduziert werden kann, beispielsweise als zur Verwendung in einer Gussform geeigneter Nickel-Shim.

[0040] Somit ist die oben beschriebene Technik immer dann anwendbar, wenn die Abbildungsseite eine numerische Apertur hat, die größer (oder kleiner) als diejenige der Objektseite ist. Eine weitere Einschränkung, die bei einer Lichtwellenleitereinspeisung zu beachten ist, besteht darin, dass es sich bei der spezifischen Lichtquelle um eine im Wesentlichen inkohärente Quelle handelt und somit eine Abbildung ihres aktiven Bereichs in den Durchmesser des Lichtwellenleiterkerns hinein passen muss. Daher kann die bei der Abbildung erforderliche Vergrößerung nicht einen beliebig großen Maßstab haben. Dieselbe Technologie ist auch auf die Kollimation von Licht anwendbar, wobei in diesem Fall der Krümmungsradius einer Oberfläche seinen Höchstwert erreicht.

[0041] Soll ein kollimierter Strahl bezüglich seines Beugungsmusters im Fernfeld modelliert oder geformt werden, zum Beispiel zur Bereitstellung einer rechteckig flachen Oberfläche, dann kann dies andererseits auch auf im Grunde genommen einfache Weise realisiert werden, zum Beispiel durch Ändern der lokalen Periode eines Beugungsmusters als räumliche Funktion zur kontrollierten Aberrationseinleitung in das Feld.

[0042] Unter Bezugnahme auf die obigen Ausführungen und bei einer bevorzugten Anwendung der Erfindung ist ein Strahlformer, dessen Übertragungselement **3** zur Führung von Lichtstrahlen eine Abbildungsgeometrie von 1:1 hat, mit einem Oberflächenprofil **3'** versehen, welches diffraktiv auf einer flachen Oberfläche derart angeordnet ist, dass die Führung eines oder mehrerer Lichtstrahlen R mit einem Einfallswinkel von über 5° – 30° , vorzugsweise 15° , mittels eines diffraktiven Bragg-Gittermuster realisiert wird.

[0043] Gemäß einer weiteren bevorzugten Anwendung umfasst ein Strahlformer ein Übertragungselement **3** zur Führung von Lichtstrahlen mit einer geringfügig vom Verhältnis 1:1 abweichenden Abbildungsgeometrie. In diesem Fall ist das Oberflächenprofil **3'** des Strahlformers in einem Hybridmuster derart angeordnet, dass die Führung eines oder mehrerer Lichtstrahlen R mit einem Einfallswinkel von unter 15° – 40° , vorzugsweise 30° , mittels einer Brechungslinse realisiert wird, und die Führung eines oder mehrerer Lichtstrahlen R mit einem Einfallswinkel von über 15° – 40° , vorzugsweise 30° , entsprechend durch ein diffraktives Bragg-Gittermuster realisiert wird.

[0044] Bei einer weiteren bevorzugten Anwendung handelt es sich um einen Strahlformer, dessen Übertragungselement **3** zur Führung eines oder mehrerer Lichtstrahlen R mit einer im Wesentlichen vom Verhältnis 1:1 abweichenden Abbildungsgeometrie versehen ist. In diesem Fall ist bei dem Strahlformer das Oberflächenprofil **3'** in einem Hybridmuster derart angeordnet, dass ein diffraktives Bragg-Gittermuster auf einer sphärischen oder sphärischen Brechungsoberfläche entsteht, so dass die Bragg-Bedingung unter gleichzeitiger Erzielung einer hohen Beugungseffizienz erfüllt wird.

[0045] Bei einer weiteren bevorzugten Anwendung ist der Strahlformer direkt auf der Oberfläche einer Lichtquelle **1** und/oder um diese herum in einer ganzheitlichen Struktur angeordnet, beispielsweise gemäß den Prinzipien der [Fig. 6–Fig. 8](#), so dass er gleichzeitig eine Schutzmatrix bildet, die die Lichtquelle **1** zumindest teilweise umschließt.

[0046] Bei einer noch weiteren Anwendung ist der Strahlformer auf alternative Weise integrativ mit der quasi-monochromatischen Lichtquelle verbunden, so dass er durch mechanische Befestigung und/oder chemisches Verkleben (Bonding), beispielsweise mit einem optisch hellen Fixiermittel vom Nanomer-Typ und/oder dergleichen, im Kontakt mit der Lichtquelle **1**, beispielsweise an deren Oberfläche und/oder um diese herum, als separates Element, beispielsweise als Dünnschicht, Überzug, Linse oder dergleichen, angeordnet ist, um eine Schutzmatrix zu bilden, die die Lichtquelle **1** zumindest teilweise umgibt, beispielsweise gemäß den Prinzipien der [Fig. 9–Fig. 11](#).

[0047] Gemäß einer noch weiteren Anwendung ist der mit der quasi-monochromatischen Lichtquelle integrativ verbundene Strahlformer insbesondere zur Formung der Strahlungsfelder und Intensitätsverteilungen einer oder mehrerer einzelner Lichtquellen **1** gedacht, beispielsweise einer Leuchtdiode, einer organischen Leuchtdiode, einer Leuchtdiode mit Resonanzkörper (RC-LED), einem Vertical-Cavity Surface-Emitting Laser (VCSEL), einer anderen Halbleiterdiode und/oder einem anderen Laser und/oder dergleichen. Eine weitere in Betracht kommende Lichtquelle umfasst Lichtwellenleiter (beispielsweise Kommunikationsnetze), deren Anschluss-/Querschnitts-Schnittstellen mit einem Strahlformer gemäß vorliegender Erfindung als separates Element oder in einem integrativen Aufbau versehen werden können.

[0048] Andererseits ist der Strahlformer bei einer Alternativlösung insbesondere zur Formung der Strahlungsfelder und Intensitätsverteilungen von zwei oder mehr Lichtquellen **1** oder zum Beispiel einer Lichtquellenmatrix **1'** wie in [Fig. 12](#) gezeigt, beispielsweise einer LED- und Laser-Matrix und/oder dergleichen, gedacht.

[0049] Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform ist der Strahlformer aus einem optisch im Wesentlichen transparenten Material hergestellt, beispielsweise Nanomer, Polymer, Elastomer, einem keramischen und/oder ähnlichen Material, das als isolierende, nicht stromleitfähige Zusammensetzung **3** fungiert, welche hinsichtlich ihrer Viskosität derart optimiert wurde, dass sie die Anforderungen eines angewandten Herstellprozesses erfüllt.

[0050] Bei einer weiteren alternativen Lösung ist der Strahlformer aus einem oder mehreren optisch im Wesentlichen transparenten Materialien, beispielsweise Nanomer, Polymer, Elastomer oder dergleichen, für eine Zusammensetzung hergestellt, die zumindest teilweise strom- und/oder wärmeleitfähig ist, um diverse zusätzliche Eigenschaften bereitzustellen, beispielsweise zum Verbessern der Stromdichte/Lichtstärke einer Lichtquelle **1**, zur Beugung eines Lichtstrahls, zum Erwärmen eines Elements und/oder für eine ähnliche Anwendung.

[0051] Gemäß einer weiteren bevorzugten Anwendung wird die Massenfertigung eines Strahlformers, zum Beispiel Spritzguss, Reaktionsstritzguss, Gießen, Heißprägen, Sprühen, Beschichten, Siebdruck und/oder dergleichen, unter Verwendung eines flachen und/oder polygonalen oder mehrgestaltigen Druckblocks und/oder Einlage realisiert, welche bzw. welcher mittels eines Elektronenstrahls, eines Laserstrahl Druckers und/oder dergleichen geformt wird, um ein geformtes Oberflächenprofil **3''** zu bilden, welches im Kontakt mit einem herzustellenden Gegenstand repliziert wird.

[0052] Selbstverständlich ist die Erfindung nicht auf die vorstehend offenbarten oder beschriebenen Ausführungsformen beschränkt, sondern kann im Umfang des Grundgedankens der Erfindung auf diverse Art und Weise modifiziert werden. Außerdem können strukturelle Lösungen der Erfindung zum Beispiel in folgenden Fällen zur Anwendung kommen:

- Impulsquellen/Impulsgeber für Kommunikationsnetze kurzer und mittlerer Reichweite, (zum Beispiel RC-LEDs, VCSELs)
- Alarm- und Signalquellen/-geber (zum Beispiel LED-Blitzlichter)
- Informationsquellen/-überträger (zum Beispiel Wegweisungszeichen)
- Lichtquellen/-sender (zum Beispiel LED-/Laser-Lampen)
- Lichtquellenmatrizen (zum Beispiel LED-Anzeigen)
- optronische Bauelemente (zum Beispiel integrierte CCD-Zellen).

Patentansprüche

1. System mit einem Strahlformer und einer quasi-monochromatischen Lichtquelle (**1**), wobei der Strahlformer ein Übertragungselement (**3**) aus einem im Wesentlichen transparenten Material mit einem Index (n) umfasst, wobei das Übertragungselement (**3**) zur Führung einer Lichtausbreitung von der Lichtquelle (**1**) mit verschiedenen Abbildungsgeometrie-Verhältnissen betrieben werden kann, wobei das Übertragungselement (**3**) zumindest teilweise binäre Oberflächenrelief-Beugungsmuster umfasst, mit bezüglich der Längs- und Querrichtung sowie bezüglich einer optischen Achse optimierten lokalen Gitterperioden (d), bei dem die Lichtquelle (**1**) mit einer Wellenlänge (λ) und die lokale Gitterperiode (d) im Wesentlichen gemäß der Beugungsgeometrie nach dem Bragg-Gesetz für einen spezifischen Bereich von Einfallswinkeln (θ) optimiert werden, um eine maximale Beugungseffizienz bei der Führung der Lichtausbreitung zu erzielen, wobei die Führung der Lichtausbreitung zumindest eine der Methoden Runden, Elliptischmachen, Kollimieren, Divergieren oder Konvergieren umfasst, wobei

a) das Übertragungselement (**3**) zur Lichtführung eine Abbildungsgeometrie von 1:1 aufweist und der Strahlformer ein diffraktiv auf einer flachen Oberfläche angeordnetes Oberflächenprofil (**3'**) hat, wobei dieses Oberflächenprofil (**3'**) in der Mitte ein Beugungsmuster und am Rand zumindest teilweise ein diffraktives Bragg-Muster zur Führung der Ausbreitung von Licht (R) mit einem Einfallswinkel von über 15° umfasst,

b) das Übertragungselement (**3**) eine Abbildungsgeometrie im Verhältnis von im Wesentlichen gleich 1:1 aufweist und ferner eine Brechungslinse im mittleren Bereich umfasst, und der Strahlformer ein Oberflächenprofil (**3'**) aufweist, das in einem Hybridmuster ausgeführt ist, so dass die Führung des Lichts (R) mit einem Einfallswinkel von unter einem Winkelbereich zwischen 15° und 40° , vorzugsweise 30° , mittels einer Brechungslinse erfolgt, und die Führung von Licht (R) mit einem Einfallswinkel von über einem Winkelbereich zwischen 15° und 40° , vorzugsweise 30° , zumindest teilweise mittels eines diffraktiven Bragg-Gittermusters erfolgt, oder

c) das Übertragungselement (**3**) eine Abbildungsgeometrie im Verhältnis von im Wesentlichen ungleich 1:1 hat

und ferner eine asphärische oder sphärische Brechungsoberfläche mit einem diffraktiven Bragg-Gittermuster mit senkrechten Wänden, die lokal rechtwinklig zur gekrümmten Oberfläche verlaufen, umfasst, wobei im Betrieb mit diesem Gittermuster die Bragg-Bedingung erfüllt und gleichzeitig eine hohe Beugungseffizienz erzielt wird, wobei bei dem Übertragungselement ein Oberflächenrelief-Beugungsmuster in Form eines Hybridmusters ausgeführt ist.

2. System nach Anspruch 1, gekennzeichnet durch eine Anordnung direkt auf einer Oberfläche der Lichtquelle (1) und/oder um diese herum in einer integralen Struktur, so dass sie eine Schutzmatrix bildet, welche die Lichtquelle (1) zumindest teilweise umschließt.

3. System nach Anspruch 2, weiterhin gekennzeichnet durch folgendes: mindestens entweder eine mechanische Befestigung oder eine chemische Art der Verbindung zum Verbinden des Strahlformers mit der quasi-monochromatischen Lichtquelle (1) derart, dass der Strahlformer eine Schutzmatrix bildet, welche die Lichtquelle (1) zumindest teilweise umschließt.

4. System nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass die mechanische Befestigung und/oder chemische Art der Verbindung ein optisch klares Fixiermittel vom Nanomer-Typ umfasst.

5. System nach Anspruch 3 oder 4, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens entweder die mechanische Befestigung oder die chemische Art der Verbindung ein separates Element umfasst, das eine die Lichtquelle zumindest teilweise umschließende Schutzmatrix darstellt, wobei das separate Element eine Dünnschicht, einen Überzug oder eine Linse umfasst.

6. System nach einem der Ansprüche 2 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass es eine oder mehrere Einzellichtquelle(n) (1), beispielsweise eine Leuchtdiode (LED), eine organische LED, eine RC-LED (engl. resonant cavity LED), einen VCSEL-Laser (engl. vertical cavity surface emitting laser), eine andere Halbleiterdiode und/oder Laser und/oder dergleichen, umfasst.

7. System nach Anspruch 6, gekennzeichnet durch zwei oder mehr Lichtquellen (1) oder beispielsweise eine Lichtquellenmatrix (1'), beispielsweise eine LED- und Laser-Matrix und/oder dergleichen.

8. System nach einem der vorhergehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch die Herstellung aus einem optisch im Wesentlichen klaren Material, beispielsweise Nanomer, Polymer, Elastomer, einem keramischen und/oder ähnlichen Material, das als isolierende, nicht stromleitfähige Zusammensetzung (3) fungiert, welche hinsichtlich ihrer Viskosität derart optimiert wurde, dass sie die Anforderungen eines angewandten Herstellprozesses erfüllt.

9. System nach einem der Ansprüche 1 bis 7, gekennzeichnet durch die Herstellung aus einem oder mehreren optisch im Wesentlichen klaren Materialien, beispielsweise Nanomer, Polymer, Elastomer oder dergleichen, einer Zusammensetzung (3''), die zumindest teilweise strom- und/oder wärmeleitfähig ist, um diverse zusätzliche Eigenschaften bereitzustellen, beispielsweise zum Verbessern der Stromdichte/Lichtstärke der Lichtquelle (1), zur Beugung eines Lichtstrahls, zum Heizen eines Elements und/oder für eine ähnliche Anwendung.

10. Verfahren zur Herstellung eines Strahlformers des Systems nach einem der vorhergehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch das Modellieren eines flachen und/oder vielgestaltigen Druckblocks und/oder Einsatzes mit einem Elektronenstrahl, einem Laserstrahldrucker zur Bereitstellung eines modellierten Oberflächenprofils, das mindestens teilweise binäre Oberflächenrelief-Beugungsmuster umfasst, deren lokale Gitterperioden bezüglich der Längs- und Querrichtung sowie bezüglich einer optischen Achse optimiert sind, bei dem die lokalen Gitterperioden im Wesentlichen gemäß der Beugungsgeometrie nach Bragg zur Bereitstellung einer maximalen Beugungseffizienz bei der Führung der Lichtausbreitung optimiert werden; und Massenfertigung des Strahlformers unter Verwendung des flachen und/oder vielgestaltigen Druckblocks und/oder Einsatzes durch in Kontakt bringen des modellierten Oberflächenprofils mit einem im Wesentlichen transparenten Material zur Bildung eines Übertragungselements, das zur Führung der Lichtausbreitung von einer quasi-monochromatischen Lichtquelle mit verschiedenen Abbildungsgeometrie-Verhältnissen betrieben werden kann.

Es folgen 8 Blatt Zeichnungen

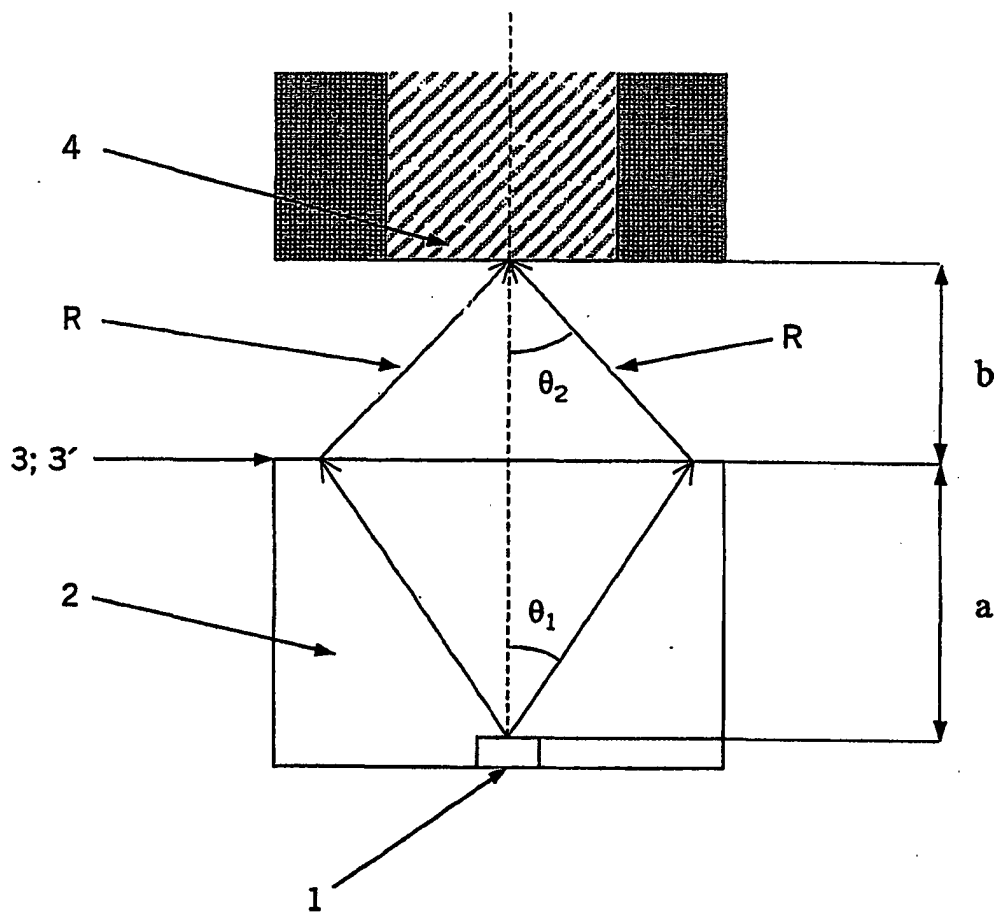


Fig. 1

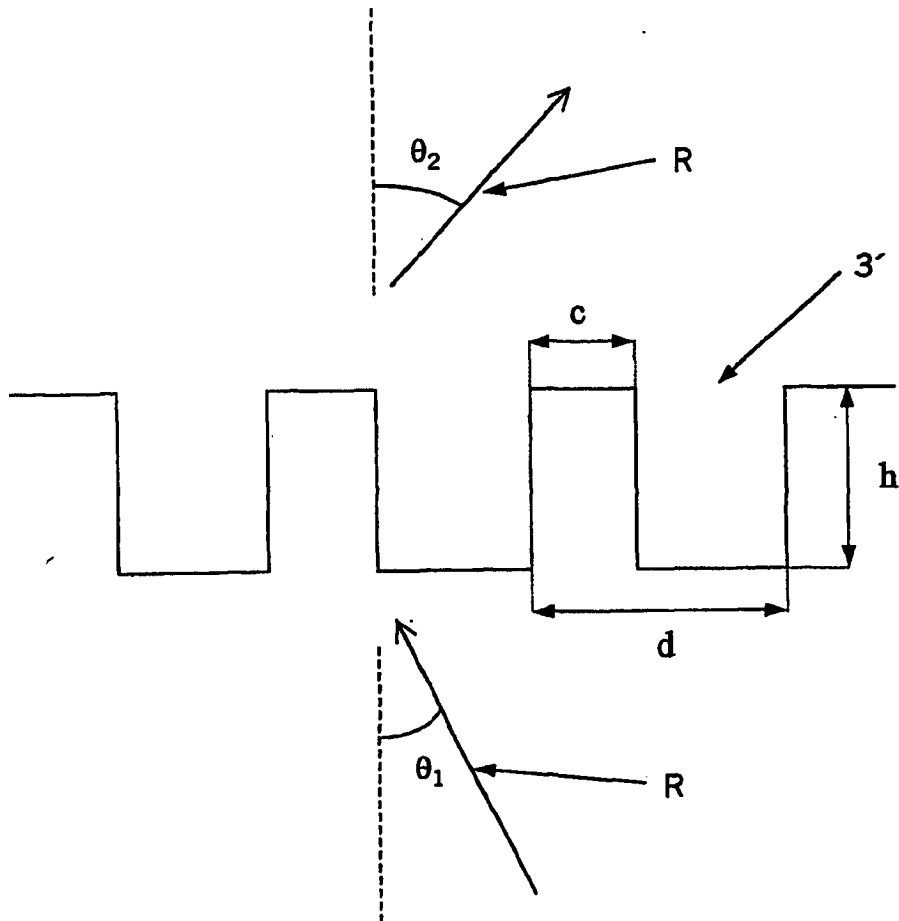


Fig. 2

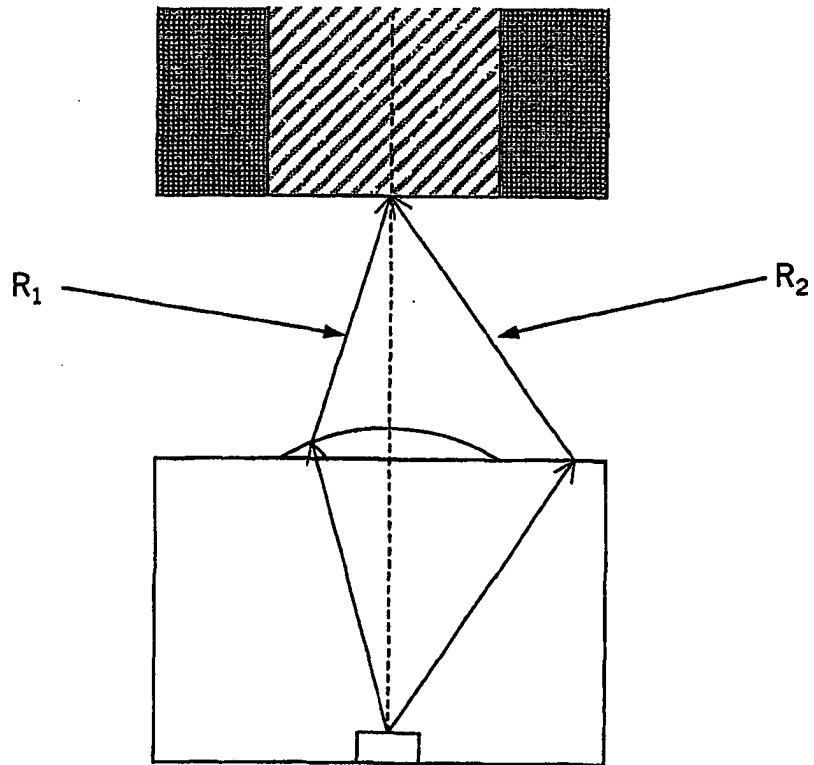


Fig. 3

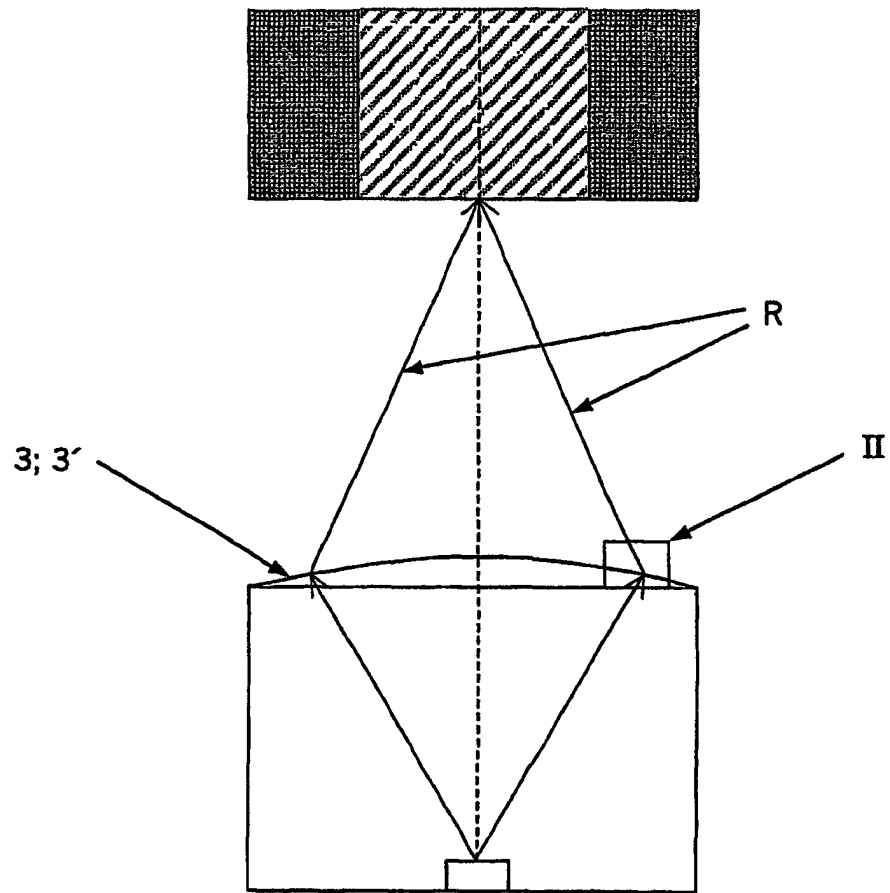


Fig. 4

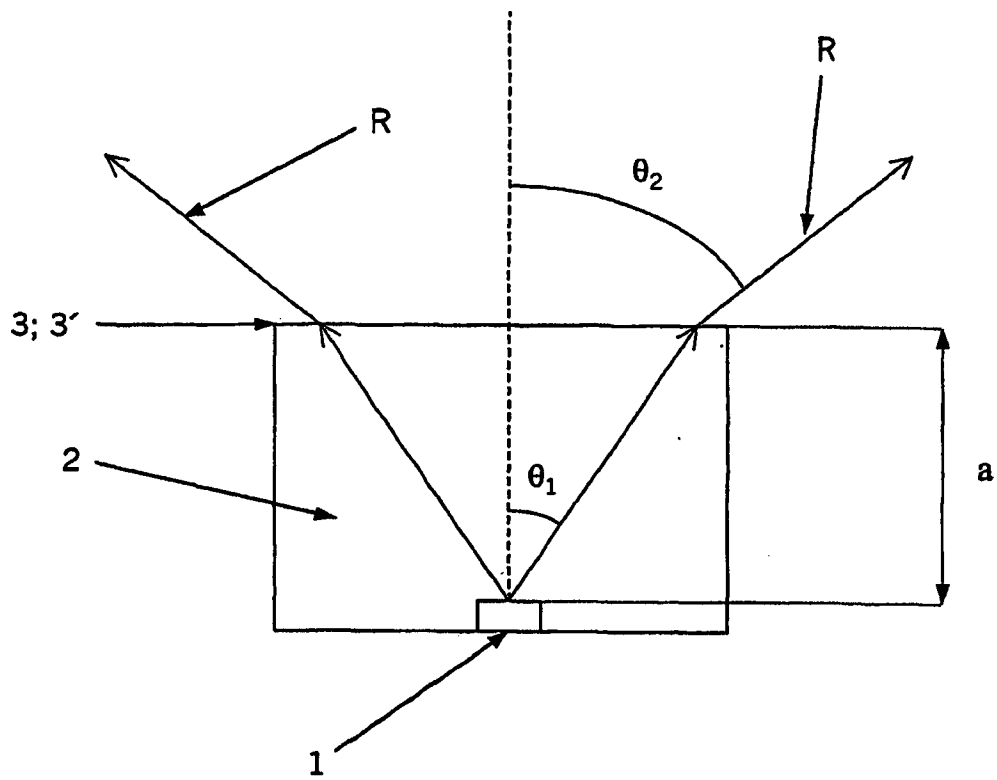


Fig. 5

Fig. 6

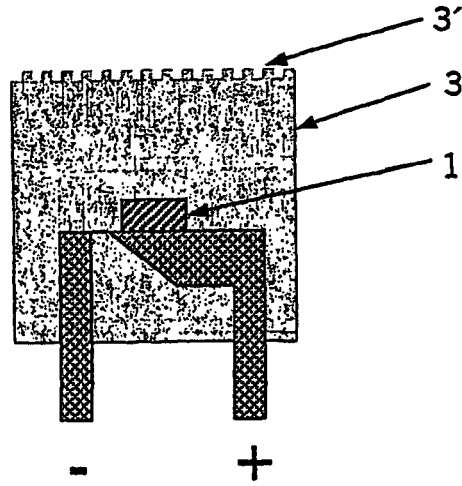


Fig. 7

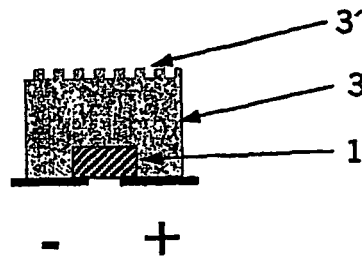


Fig. 8

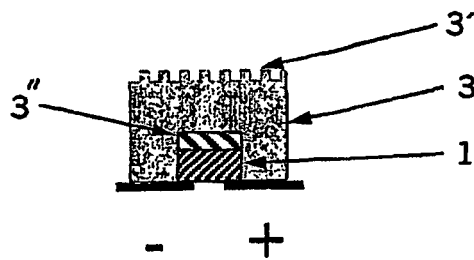


Fig. 9

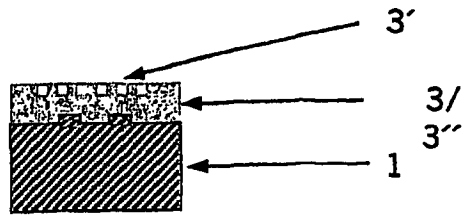


Fig. 10

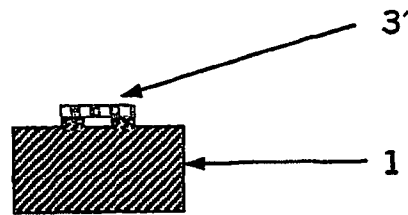


Fig. 11

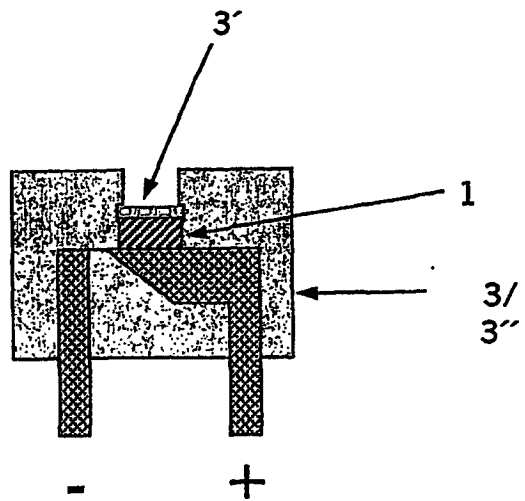


Fig. 12

