(19) Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 44 13 575 B4** 2005.09.29

(12) **Patentschrift**

(21) Aktenzeichen: **P 44 13 575.0**
(22) Anmeldetag: **19.04.1994**
(43) Offenlegungstag: **20.10.1994**
(45) Veröffentlichungstag der Patenterteilung: **29.09.2005**

(51) Int Cl.[7]: **C03C 17/25**
C03C 17/245, C03C 15/00

Innerhalb von drei Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zur 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).

(30) Unionspriorität:

5-91370	**19.04.1993**	**JP**
5-331153	**27.12.1993**	**JP**

(73) Patentinhaber:
Olympus Corporation, Tokio/Tokyo, JP

(74) Vertreter:
WUESTHOFF & WUESTHOFF Patent- und Rechtsanwälte, 81541 München

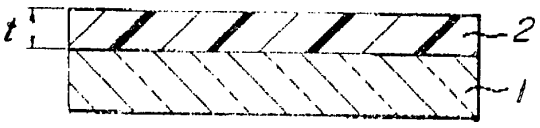
(72) Erfinder:
Kamihara, Yasuhiro, Hachioji, Tokio/Tokio, JP;
Ohashi, Hitoshi, Hachioji, Tokio/Tokyo, JP;
Imamura, Ayami, Hachioji, Tokio/Tokyo, JP

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht gezogene Druckschriften:

DE	**33 32 995 C2**
DE	**38 41 255 A1**
DE	**30 42 650 A1**
DE	**29 20 630 A1**
US	**49 36 665**
US	**45 30 736**

(54) Bezeichnung: **Verfahren zur Herstellung eines optischen Elements**

(57) Hauptanspruch: Verfahren zum Herstellen eines optischen Elementes, das die folgende Schritte umfasst:
– Bilden einer zu bearbeitenden Schicht (2) auf einer Oberfläche eines Substrats (1) aus optischem Material,
– Bearbeiten der Schicht (2) zur Ausbildung einer vorgegebenen Form oder Kontur darin, wobei die maximale Bearbeitungstiefe (d_{max}) kleiner als die Dicke (t) der Schicht (2) ist,
– Anisotropes Ätzen der Schicht (2) und des Substrats (1) zur Ausbildung einer Form oder Kontur in dem Substrat (1), welche der in der Schicht (2) gebildeten Form oder Kontur entspricht,
dadurch gekennzeichnet, dass die Bearbeitung der Schicht (2) spanend erfolgt und hierzu für die Schicht (2) ein Material verwendet wird, das wesentlich leichter mit einem Zerspanungswerkzeug (3) zu bearbeiten ist als das Material des Substrats (1).



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft Verfahren zur Herstellung optischer Elemente und insbesondere Verfahren zur Herstellung optischer Elemente, die darin ausgebildete Formen oder Konturen umfassen.

Stand der Technik

[0002] Bis vor kurzem wurden optische Elemente des Diffraktionstyps und asphärische Linsen dazu verwendet, die Anforderungen der Miniaturisierung zu erfüllen. Beispielsweise wurden Diffraktionsgitter häufig als optische Tiefpaßfilter verwendet. Ehemals wurden verschiedene Verfahren zur Herstellung derartiger optischer Elemente vorgeschlagen. Diese bekannten Verfahren können wie folgt zusammengefaßt werden.

a) In der japanischen Offenlegungsschrift der Patentanmeldung Kokai Sho 60-103311 (entsprechend dem US-Patent Nr. 4,530,736, erteilt am 23. Juli 1985), der japanischen Offenlegungsschrift der Patentanmeldung Kokai Sho 61-27505, veröffentlicht am 7. Februar 1986 und der japanischen Offenlegungsschrift der Patentanmeldung Kokai Hei 1-307724, veröffentlicht am 12. Dezember 1989, wird ein bekanntes Verfahren beschrieben, bei dem ein Photoresistlack auf ein Substrat aus einem optischen Material aufgebracht, der Resistlack belichtet und entwickelt wird, so daß ein gewünschtes Muster im Resistlack geformt wird, und anschließend trockengeätzt wird, wobei das Photoresistlackmuster als Maske für die Formung eines gewünschten Musters in dem Substrat verwendet wird. Bei diesem bekannten Verfahren wird das gewünschte, im Resistlack geformte Muster in das Substrat kopiert.

b) In der japanischen Offenlegungsschrift der Patentanmeldung Kokai Hei 2-1109 (entsprechend dem US-Patent Nr. 4,936,665, erteilt am 26. Juni 1990) wird ein weiteres bekanntes Verfahren beschrieben, bei dem ein Photoresistlack auf ein Substrat aus optischem Material aufgebracht, der Resistlack belichtet und entwickelt wird, so daß ein gewünschtes Muster im Resistlack geformt wird, und die Ätzungs- oder Ablagerungsverfahren wiederholt werden, wobei die Masken verändert werden, um eine stufenförmige Struktur, ähnlich einer zackenförmigen Konfiguration, im Substrat zu formen. Deshalb wird dieses Verfahren auch binäres Verfahren genannt.

c) In der japanischen Offenlegungsschrift der Patentanmeldung Kokai Hei 3-120501, veröffentlicht am 22. Mai 1991, wird ein weiteres bekanntes Verfahren beschrieben, bei dem eine Oberfläche eines Substrats direkt mit Hilfe einer Vorrichtung zur Herstellung von Diffraktionsgittern oder einer Drehbank bearbeitet wird, um Gitterrillen zu formen.

d) In der obengenannten japanischen Offenlegungsschrift der Patentanmeldung Kokai Hei 3-120501 wird darüber hinaus noch ein weiteres Verfahren vorgestellt, bei dem die Gitterrillen direkt in der Oberfläche eines Substrats mit Hilfe eines fokussierten Ionenstrahls geformt werden.

[0003] Im folgenden werden noch weitere bekannte Verfahren zur Herstellung von asphärischen Linsen aufgeführt.

e) In der japanischen Offenlegungsschrift der Patentanmeldung Kokai Hei 1-200925, veröffentlicht am 14. August 1989, wird ein bekanntes Verfahren zur Herstellung einer asphärischen Linse mit Hilfe eines Pressverfahrens, das Glas- oder Kunststoffmaterialien verwendet, beschrieben.

f) In der japanischen Offenlegungsschrift der Patentanmeldung Kokai Hei 2-304505, veröffentlicht am 18. Dezember 1990, wird ein weiteres bekanntes Verfahren zur Herstellung einer asphärischen Linse beschrieben, bei dem eine asphärische Kunststoffschicht auf eine asphärische Rohlinse aufgebracht wird.

g) In "COMPUTER-CONTROLLED OPTICAL SURFACING WITH ORBITAL TOOL MOTION", R. A. Jones, OPTICAL ENGINEERING, Juni 1986, Band 25, Nr. 6, Seiten 785 bis 790, wird ein weiteres Verfahren dargestellt, bei dem eine Glasplatte zu einer asphärischen Oberfläche mit Hilfe einer NC-Maschine poliert wird.

[0004] Die obengenannten, bekannten Verfahren weisen jedoch verschiedene Nachteile auf, die im folgenden erläutert werden.

[0005] Bei dem bekannten Verfahren a) ist die Dicke einer Restmenge des Photoresistlacks nicht proportional zur Menge des Exposionslichts, so daß, wenn z.B. eine zackenförmige Gitterkonfiguration im Photoresistlack durch Belichtung durch einen Elektronenstrahl geformt werden soll, die Dosierung der Elektronenstrahl-Belichtung gemäß den Merkmalen des Photoresistlacks genau gesteuert werden muß. Deshalb sollte das Verhältnis der Intensität des Belichtungselektronenstrahls zur Dicke oder Breite der Linien vorher genau festgelegt werden. Demgemäß ist eine Elektronenstrahl-Belichtungsvorrichtung kompliziert in der Konstruktion und kostenintensiv. Darüber hinaus wäre es schwierig, Muster auf großen Flächen zu formen.

[0006] Ferner würde ein feines Muster von einem vorbestimmten Muster, aufgrund der Streuung der Belichtungsstrahlen, wie etwa Elektronenstrahlen, ferne UV-Strahlen und UV-Strahlen, abweichen und somit ist es

ziemlich schwierig, ein Diffraktionsgitterelement effizient und mit großer Genauigkeit herzustellen.

[0007] Bei dem oben erläuterten, bekannten Verfahren b) kann eine zackenförmige Konfiguration nur durch Approximation einer Stufenstruktur erreicht werden, so daß die Diffraktionsleistung des so geformten optischen Diffraktionselements nicht viel höher ist. Bei dem bekannten Verfahren c) kann, wenn eine Glasplatte als Substrat verwendet wird, eine Werkzeugmaschine, die zum Zerspanen einer Oberfläche der Glasplatte eingesetzt wird, schnell verschleißen und die Bearbeitungsleistung ist somit äußerst gering, so daß bei der Herstellung eines Diffraktionsgitters mit in der Praxis brauchbaren Abmessungen hohe Kosten anfallen und viel Zeit verbraucht wird. Daher ist dieses bekannte Verfahren auf die Verwendung eines Metallsubstrats, das leicht verarbeitbar ist, begrenzt.

[0008] Bei dem bekannten Verfahren d) ist es möglich, eine Feinbearbeitung durchzuführen, da ein Lichtpunkt des fokussierten Ionenstrahls einen sehr geringen Durchmesser, etwa 0,1 μm, hat. Dieses Verfahren wird jedoch durch die Instabilität der Ionenquelle beeinträchtigt und darüber hinaus kann der Ionenstrahl nicht so tief in das Substrat eindringen, so daß die gewünschte Tiefe nicht in kurzer Zeit erreicht werden kann. Daher ist die Bearbeitungsgeschwindigkeit des Ionenstrahls äußerst gering und das Verfahren nimmt ziemlich viel Zeit in Anspruch.

[0009] In den bekannten Verfahren e) und f) zur Herstellung asphärischer Linsen muß eine sehr teuere Form verwendet werden, so daß die Herstellungskosten sehr hoch sind. Insbesondere sind diese Verfahren nicht zur Herstellung verschiedener Arten von optischen Elementen in kleinen Stückzahlen geeignet. In dem bekannten Verfahren g) ist es erforderlich, das Glas zu polieren, so daß sehr viel Zeit aufgewendet werden muß.

[0010] Aus DE 30 42 650 A1 ist es bekannt, zur Herstellung eines optischen Maßstabs ein beispielsweise aus Glas bestehendes Substrat an seiner Oberfläche mit einer Beschichtung zu versehen und in diese Beschichtung mittels eines Lasers strichförmige Maßmarkierungen einzubringen. Die Laserbestrahlung bewirkt dabei ein lokales Verdampfen oder Umwandeln der Beschichtung. Die mit den Markierungen versehene Beschichtung kann, sofern sie säurefest ausgeführt ist, als Ätzmaske dienen, um entsprechende Markierungen in das Substrat einzuätzen. Alternativ können die Markierungen in der Beschichtung die endgültigen Markierungen des optischen Maßstabs bilden. Die Einbringung der Markierungen mittels eines Lasers wird in DE 30 42 650 A1 wegen der fehlenden Spanbildung als vorteilhaft gegenüber einer mechanischen Lösung dargestellt, bei der Teilungsstriche mechanisch in die Beschichtung eingeritzt werden.

[0011] DE 38 41 255 A1 beschreibt ein Sol-Gel-Verfahren zur Bildung eines strukturierten Films einer anorganischen Metallverbindung auf einer Substratoberfläche. Bei diesem Verfahren wird ein Metallalkoxidsol flächig auf das Substrat aufgebracht. Der so gebildete Sol-Film wird sodann durch Hydrolyse in einen Gelfilm umgewandelt. Anschließend wird eine das Gel zersetzende Flüssigkeit auf die Substratoberfläche in denjenigen Bereichen aufgetragen, in denen der Gelfilm nicht stehenbleiben soll. Mittels einer Waschflüssigkeit wird dann das zersetzte Gel entfernt. Die stehengebliebenen Bereiche des Gelfilms werden schließlich durch Einbrennen in die gewünschte anorganische Metallverbindung umgewandelt.

[0012] Aus DE 29 20 630 A1 ist des Weiteren eine Methode zur Herstellung einer Fresnellinse bekannt, bei der ein transparentes Substrat mit einer ebenfalls transparenten Kunststoffschicht verbunden wird, die mit einer Vielzahl ein Fresnelmuster bildender lichtbrechender Facetten versehen ist. Die Kunststoffschicht wird durch Formgießen bzw. -pressen hergestellt. Dabei wird ein flüssiger Kunststoff oder eine Vorstufe eines Kunststoffs in eine Gießform eingefüllt, in deren eine Formhälfte das gewünschte Facettenmuster als Negativ maschinell eingearbeitet ist und deren andere Formhälfte unmittelbar von dem Substrat gebildet sein kann.

[0013] DE 33 32 995 C2 befasst sich schließlich mit einem Verfahren zur Herstellung einer gleichmäßig dicken Beschichtung aus Siliciumdioxid auf einem Substrat durch Eintauchen des Substrats in eine Behandlungsflüssigkeit.

Aufgabenstellung

[0014] Aufgabe der Erfindung ist es, Verfahren zur effizienten und genauen Herstellung optischer Elemente bereitzustellen.

[0015] Nach einem ersten Gesichtspunkt ist erfindungsgemäß zur Lösung dieser Aufgabe ein Verfahren zur Herstellung eines optischen Elements mit den folgenden Schritten vorgesehen:

– Bilden einer zu bearbeitenden Schicht auf einer Oberfläche eines Substrats aus optischem Material,

– Bearbeiten der Schicht zur Ausbildung einer vorgegebenen Form oder Kontur darin, wobei die maximale Bearbeitungstiefe kleiner als die Dicke der Schicht ist,
– Anisotropes Ätzen der Schicht und des Substrats zur Übertragung der in der Schicht gebildeten Form oder Kontur auf das Substrat.

[0016] Erfindungsgemäß erfolgt dabei die Bearbeitung der Schicht spanend, wobei für die Schicht ein Material verwendet wird, das wesentlich leichter mit einem Zerspanungswerkzeug zu bearbeiten ist als das Material des Substrats.

[0017] Bei diesem Verfahren wird auf einem mechanisch schwerer zu bearbeitenden Substrat eine Schicht gebildet, die aus einem mechanisch leichter zu bearbeitenden Material besteht, wie etwa einem Kunststoff oder Metall. Anschließend wird die aufgetragene Schicht mechanisch mit einem Zerspanungswerkzeug bearbeitet, um eine vorgegebene Form oder Kontur in dieser Schicht auszubilden. Die so gebildete Form oder Kontur wird danach durch Ätzen der Schicht und des Substrats auf Letzteres übertragen oder kopiert. Es können verschiedene Ätztechniken zum Einsatz kommen, beispielsweise Trockenätzen einschließlich Plasmaätzen, reaktives Ionenätzen und Ionenstrahlätzen. Das Ätzen erfolgt anisotrop; die Anordnung aus Substrat und zu bearbeitender Schicht wird dabei vertikal von der zu bearbeitenden Schicht zur Oberfläche des Substrats hin geätzt. Die in die Schicht eingearbeitete Form oder Kontur wird so auf das Substrat übertragen. Das in dem Substrat entstehende Muster stellt dann eine Kopie oder Entsprechung der in die Schicht eingearbeiteten Form oder Kontur dar. Auf diese Weise ist es möglich, mit hoher Bearbeitungsgenauigkeit eine gewünschte Form oder Kontur in dem Substrat zu bilden, auch wenn das Substrat selbst aus einem mechanisch schwer bearbeitbaren Material besteht.

[0018] Nach einem weiteren Gesichtspunkt sieht die Erfindung zur Lösung der vorstehenden Aufgabe ein Verfahren zum Herstellen eines durchlässigen optischen Elements vor, welches ein Substrat aus transparentem optischen Material und eine auf einer Oberfläche des Substrats gebildete, aus einem anderen, jedoch ebenfalls transparenten optischen Material bestehende Schicht umfasst, in das eine vorgegebene Form oder Kontur eingeformt ist. Dabei ist vorgesehen, dass die vorgegebene Form oder Kontur spanend in die auf das Substrat aufgebachte Schicht eingearbeitet wird, wobei die maximale Bearbeitungstiefe der aufgebrachten Schicht kleiner als deren Dicke ist und für die Schicht ein Material verwendet wird, das wesentlich leichter mit einem Zerspanungswerkzeug zu bearbeiten ist als das Material des Substrats.

[0019] Bei letzterem Verfahren werden für das Substrat und die zu bearbeitende Schicht transparente optische Materialien verwendet, wobei jedoch das Material des Substrats, beispielsweise Glas, wesentlich schwerer spanend zu bearbeiten ist als das Material der Schicht. Ein für die Schicht geeignetes Material kann beispielsweise Siliziumdioxid sein. Aufgrund der erheblich leichteren Bearbeitbarkeit der auf das Substrat aufgebrachten Schicht ist es möglich, mit großer Exaktheit eine gewünschte Form oder Kontur des optischen Elements zu erzielen. Insbesondere können so Diffraktionsgitter mit großen Abmessungen präzise hergestellt werden. Wenn die zu bearbeitende Schicht aus einem anorganischen Material besteht, können Diffraktionsgitter und Diffraktionslinsen mit einem breiten Bereich von durchgelassenen Wellenlängen hergestellt werden, wobei die optischen Elemente keine oder nur geringe Langzeitabweichungen, eine verringerte Feuchtigkeitsabsorption und eine verbesserte Widerstandsfähigkeit gegenüber Umgebungsbedingungen zeigen.

Ausführungsbeispiel

[0020] Nachfolgend wird die Erfindung anhand von Beispielen erläutert:

[0021] Die Fig. 1A bis Fig. 1D sind Querschnittsansichten, die die aufeinanderfolgenden Schritte einer ersten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens zur Herstellung eines optischen Elements zeigen;

[0022] die Fig. 2A bis Fig. 2D sind Querschnittsansichten, die die aufeinanderfolgenden Schritte einer zweiten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens zeigen;

[0023] die Fig. 3A bis Fig. 3E sind Querschnittsansichten, die die aufeinanderfolgenden Schritte einer dritten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens zeigen; und

[0024] die Fig. 4A und Fig. 4B sind Querschnittsansichten, die die aufeinanderfolgenden Schritte einer vierten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens zeigen;

[0025] Die Fig. 1A bis Fig. 1D sind Querschnittsansichten, die die aufeinanderfolgenden Schritte einer ersten

Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens zur Herstellung eines optischen Elements zeigen. Bei dieser Ausführungsform soll eine optische Linse in Form einer Diffraktionslinse hergestellt werden. Zuerst wird ein Substrat **1** aus einem optischen Material, wie etwa ein optisches Glas, vorbereitet und eine zu bearbeitende Schicht **2** mit einer Dicke t wird auf einer Oberfläche des Substrats geformt, wie in Fig. 1A dargestellt. Wie später noch erläutert werden wird, ist die Dicke t der zu bearbeitenden Schicht **2** etwas größer als eine maximale Bearbeitungstiefe d_{max}. Erfindungsgemäß kann die zu bearbeitende Schicht **2** aus einem künstlichen Harz, wie etwa Kunststoff, hergestellt sein, und in dieser Ausführungsform besteht die zu bearbeitende Schicht **2** aus einem Photoresistlack. Anschließend kann die Härte der zu bearbeitenden Schicht **2** durch Festlegen geeigneter Brennbedingungen des Photoresistlacks abgestimmt werden, so daß die zu bearbeitende Schicht **2** leicht und exakt bearbeitet werden kann.

[0026] Als nächstes wird, wie in Fig. 1B gezeigt, eine Anordnung bestehend aus dem Substrat **1** und der zu bearbeitenden Schicht **2** auf einer Antriebswelle einer Drehbank mit numerischer Steuerung angebracht und um eine optische Achse A-A gedreht. Während des Drehvorgangs wird ein Zerspanungswerkzeug **3** in Übereinstimmung mit den Gestaltungsdaten der in der zu bearbeitenden Schicht auszubildenden Form geführt. Dadurch wird die Oberfläche **2a** der zu bearbeitenden Schicht so bearbeitet, daß sie der vorgegebenen Form entspricht. Da die zu bearbeitende Schicht **2** aus Harz besteht, kann sie sehr leicht und mit hoher Geschwindigkeit bearbeitet werden. Außerdem arbeiten moderne NC-Maschinen mit sehr großer Genauigkeit, so daß eine Submikronbearbeitung durchgeführt werden kann und die gewünschten Formen mit sehr genauen Abmessungen hergestellt werden können.

[0027] Wenn man annimmt, daß eine Diffraktionslinse mit einer Diffraktionsleistung von beinahe 100%, in der Licht zu einer speziellen Diffraktionsart gebeugt wird, hergestellt werden soll, muß eine Querschnittsform jedes konzentrischen Rings der Diffraktionslinse geformt werden, und zwar in Form einer zackenförmigen Konfiguration, wie in Fig. 1D dargestellt. In diesem Fall hat jeder Ring die gleiche Tiefe d'. Um dies zu erreichen, muß beim Schritt der Bearbeitung der zu bearbeitenden Schicht **2**, wie in Fig. 1B gezeigt, die zu bearbeitende Schicht so bearbeitet werden, daß alle Ringe die gleiche Tiefe d haben. Wenn andererseits eine Diffraktionslinse mit einer Vielzahl von ringförmigen Bereichen hergestellt werden soll, und die Ringe jedes Bereiches zackenförmig sein sollen, um unterschiedliche Diffraktionsarten zu erreichen, müssen die Tiefen der Ringe in jedem Bereich unterschiedlich gestaltet werden.

[0028] Wenn man nun annimmt, daß die maximale Tiefe des in der zu bearbeitenden Schicht **2** geformten Rings d_{max} entspricht, muß die Dicke t jedoch nicht unbedingt immer d_{max} entsprechen, sie kann jedoch nicht kleiner als d_{max} sein. Demgemäß kann, wenn die Dicke t der zu bearbeitenden Schicht **2** etwas größer als die maximale Bearbeitungstiefe d_{max} festgelegt wird, wirkungsvoll verhindert werden, daß das Werkzeug **3** mit dem Substrat **1** in Kontakt kommt, auch wenn die Bewegung des Werkzeugs **3** in Richtung der optischen Achse geringe Abweichungen oder Fehler aufweist.

[0029] Bei der zackenförmigen Konfiguration sollten jede der geneigten Seiten **4** der in Fig. 1D gezeigten Ringe, Krümmungen aufweisen, die der Phasendistributionsfunktion einer Diffraktionslinse entsprechen, so daß die zu bearbeitende Schicht **2** während des in Fig. 1B gezeigten Verfahrens unter idealen Bedingungen zu gekrümmten Konfigurationen bearbeitet werden kann. In der Praxis können die geneigten Seiten der Ringe jedoch durch lineare Seiten ersetzt werden, wodurch die Diffraktionsleistung der Diffraktionslinse jedoch nur wenig beeinflußt wird. Bei dieser Ausführungsform wird die zu bearbeitende Schicht **2** so bearbeitet, daß jede Ringseite (im Schnitt) eine gerade Linie ist. Dadurch können die Bearbeitungsdaten stark vereinfacht und die Bearbeitbarkeit erheblich verbessert werden.

[0030] Nachdem die zu bearbeitende Schicht **2** mechanisch bearbeitet wurde, um in ihr eine vorgegebene Form oder Kontur auszubilden, wie in Fig. 1B dargestellt, wird ein anisotropes Ätzungsverfahren, wie etwa reaktives Ionenätzen, durchgeführt, wie in Fig. 1C gezeigt. Während des reaktiven Ionenätzens werden die zu bearbeitende Schicht **2** und das Substrat **1** nacheinander geätzt und die vorgegebene Form oder Kontur, die der in der zu bearbeitenden Schicht ausgebildeten Form entspricht, wird im Substrat ausgebildet, wie in Fig. 1D gezeigt. Auf diese Weise kann die in Fig. 1D gezeigte Diffraktionslinse hergestellt werden. Es sollte beachtet werden, daß die zu bearbeitende Schicht **2** während des Ätzungsvorgangs vollständig weggeätzt wird.

[0031] Bei dieser Ausführungsform kann bei dem Ätzungsverfahren aus Fig. 1C das Verhältnis des Ätzungsgrads der zu bearbeitenden Schicht **2** zum Ätzungsgrad des Substrats **1** durch Abstimmen der Zusammensetzung des Ätzungsgases **5** verändert werden. Wenn beispielsweise das obengenannte Verhältnis bei 1:1 liegt, wird die in der zu bearbeitenden Schicht **2** ausgebildete Form in das Substrat **1** kopiert, und zwar mit einer

Vergrößerung von "eins" in Tiefenrichtung und die Abmessungen der im Substrat **1** ausgebildeten Form stimmen genau mit denen der in der zu bearbeitenden Schicht **2** ausgebildeten Form überein. Wenn das obige Verhältnis jedoch ein anderes als 1:1 ist, wird die Form in der zu bearbeitenden Schicht **2** in das Substrat kopiert, und zwar mit einer Vergrößerung, die nicht "eins" entspricht, so daß die Tiefe der kopierten Form größer oder kleiner ist als die der in der zu bearbeitenden Schicht **2** ausgebildeten Form. Dadurch ist es möglich, durch Abstimmen der Zusammensetzung des Ätzungsgases **5**, die Tiefe der im Substrat **1** ausgebildeten Form zu steuern.

[0032] Wie im vorstehenden bereits erläutert, kann bei dieser Ausführungsform eine Linse des Diffraktionstyps mit einer großen Fläche leicht und exakt hergestellt werden.

[0033] Es sollte beachtet werden, daß das erfindungsgemäße Verfahren sowohl auf ein optisches Element des Übertragungstyps als auch auf ein optisches Element des Reflexionstyps angewendet werden kann. Bei der Herstellung eines optischen Elements des Reflexionstyps wird die Oberfläche des Substrats, nachdem eine in der zu bearbeitenden Schicht **2** ausgebildete Form in das Substrat **1** kopiert wurde, mit Metall, wie etwa Chrom, Aluminium oder Gold überzogen, um das Reflexionsvermögen zu steigern. Im allgemeinen wird die Tiefe einer zackenförmigen Struktur eines optischen Elements des Übertragungstyps und eines Elements des Reflexionstyps durch $\lambda m (n-1)$ dargestellt bzw. $\lambda m/2$, wobei m eine Diffraktionsart, λ eine Wellenlänge des einfallenden Lichts und n ein Brechungskoeffizient des Koeffizienten des Substrats ist.

[0034] Die Fig. 2A bis Fig. 2D sind Querschnittsansichten, die die aufeinanderfolgenden Schritte einer zweiten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens darstellen. Bei der zweiten Ausführungsform wird eine asphärische Linse geformt. Zuerst wird ein Glassubstrat **1** mit einer polierten Oberfläche vorbereitet und eine zu bearbeitende Schicht **2** aus Harz wird auf einer Oberfläche geformt. Die zu bearbeitende Schicht **2** hat eine Dicke t. Außerdem ist bei dieser Ausführungsform die Dicke t der zu bearbeitenden Schicht **2** etwas größer als die maximale Bearbeitungstiefe d_{max}. Danach wird eine Anordnung bestehend aus dem Substrat **1** und der zu bearbeitenden Schicht **2** an einer Drehbank mit numerischer Steuerung angebracht und ein Werkzeug **3** wird in Übereinstimmung mit den Gestaltungsdaten geführt, während die Anordnung um eine optische Achse A-A gedreht wird, die sich senkrecht zur Oberfläche des Substrats **1** erstreckt. Auf diese Weise wird eine Oberfläche **2a** der zu bearbeitenden Schicht **2** zu einer vorgegebenen, asphärischen Oberfläche zerspant. Auch bei dieser Ausführungsform besteht die Oberfläche **2a** der zu bearbeitenden Schicht aus Harz und kann leicht und exakt bearbeitet werden, und zwar mit einer Genauigkeit, die kleiner als submikroskopisch ist.

[0035] Nun wird angenommen, daß die asphärische Oberfläche **1a** symmetrisch in bezug auf die optische Achse A-A ist; eine Kontur Z der asphärischen Oberfläche wird im allgemeinen durch die folgende Funktion des Abstandes Y (siehe Fig. 2D) ausgedrückt.

$$Z = f(Y) \qquad (1)$$

[0036] Im allgemeinen könnte eine asphärische Oberfläche nicht durch eine einfache Funktion ausgedrückt werden, sondern müßte vielmehr durch eine ziemlich komplizierte Funktion ausgedrückt werden. Daher wird die asphärische Oberfläche durch ein Polynom ausgedrückt. Zum Beispiel kann die Funktion Z durch die folgende Reihe ausgedrückt werden.

$$Z = \frac{cY^2}{1+[1-c^2(k+1)Y^2]^{1/2}} + AY^4 + BY^6 + CY^8 \qquad (2)$$

wobei Y einen Abstand zu der optischen Achse, c die Krümmung, k die Konstante der Kuppe, A den asphärischen Koeffizienten der vierten Ordnung, B den asphärischen Koeffizienten der sechsten Ordnung und C den asphärischen Koeffizienten der achten Ordnung bezeichnen.

[0037] Die Anzahl der berücksichtigten Terme kann in Übereinstimmung mit der Kontur der asphärischen Oberfläche bestimmt werden. Im allgemeinen erfordert eine komplizierte asphärische Oberfläche eine größere Zahl von Termen. Bei dieser Ausführungsform wird das Werkzeug unter numerischer Steuerung angetrieben und die zu bearbeitende Schicht **2** wird mechanisch zu einer vorgegebenen Kontur bearbeitet.

[0038] Nachdem das in Fig. 2B gezeigte Bearbeitungsverfahren abgeschlossen ist, wird die aus dem Substrat **1** und der zu bearbeitenden Schicht **2** bestehende Anordnung einem anisotropen Ätzungsverfahren, wie etwa dem in Fig. 2C gezeigten reaktiven Ionenätzungsverfahren, unterzogen. Während diesem Ätzungsverfahren wird die asphärische Kontur der zu bearbeitenden Schicht **2** in das Substrat **1** kopiert. Auf diese Weise

wird die Oberfläche **1a** des Substrats **1** zu einer vorgegebenen asphärischen Oberfläche geformt, wie in Fig. 2D gezeigt.

[0039] Bei dieser Ausführungsform wird die Kontur der asphärischen Oberfläche in der zu bearbeitenden Schicht **2** durch Berücksichtigung des Verhältnisses des Ätzungsgrads der zu bearbeitenden Schicht **2** zum Ätzungsgrad des Substrats **1** bestimmt. Wenn die asphärische Oberfläche durch die Gleichung (1) ausgedrückt wird, wird der Unterschied zwischen den maximalen und minimalen Werten von Z der maximalen Tiefe d_{max} angeglichen.

[0040] Wie oben ausgeführt, ist es bei der zweiten Ausführungsform möglich, eine asphärische Linse mit einer großen Fläche auf schnelle und genaue Weise herzustellen.

[0041] Bei der ersten und zweiten Ausführungsform wird, wie bereits erläutert, die zu bearbeitende Schicht **2** vollständig entfernt, wodurch es sich erübrigt, die zu bearbeitende Schicht aus transparentem Material zu fertigen.

[0042] Die Fig. 3A bis Fig. 3E sind Querschnittsansichten, die die aufeinanderfolgenden Schritte einer dritten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens darstellen. Ein Substrat **11** aus transparentem optischen Material wird vorbereitet. Beide Oberflächen des Substrats **11** werden poliert. Auf einer Oberfläche des Substrats **11** wird eine zu bearbeitende Schicht **12** geformt, wie in Fig. 3A gezeigt. Die zu bearbeitende Schicht **12** hat eine Dicke t und ist aus transparentem Material hergestellt, das viel leichter zu bearbeiten ist als das Substrat **11**. Es sollte beachtet werden, daß in dieser Beschreibung der Begriff "transparent" bedeutet, daß das Material eine gewisse spezifische Durchlässigkeit für eine spezielle Wellenlänge oder einen Wellenlängenbereich des fraglichen Lichts aufweist. Wenn zum Beispiel ein optisches Element für sichtbares Licht verwendet wird, sollte das Material eine bestimmte spezifische Durchlässigkeit für sichtbares Licht aufweisen. Diese spezifische Durchlässigkeit muß nicht unbedingt bei 100% oder nahe 100% liegen. Wenn das optische Element dagegen für Infrarot-Strahlung verwendet wird, sollte das Material eine bestimmte spezifische Durchlässigkeit für Infrarot-Strahlung aufweisen.

[0043] Bei dieser Ausführungsform wurde das Substrat **11** aus Glas hergestellt und die zu bearbeitende Schicht **12** aus Siliziumdioxid (SiO_2). Als nächstes wird eine Anordnung bestehend aus dem Substrat **11** und der zu bearbeitenden Schicht **12** an einer Maschine, wie etwa einer Drehbank mit numerischer Steuerung, einer Fräsmaschine mit numerischer Steuerung oder einer Vorrichtung zur Herstellung von Diffraktionsgittern angebracht und die freie Oberfläche der zu bearbeitenden Schicht **12** wird mit einem Werkzeug **13** in Übereinstimmung mit den Gestaltungsdaten mechanisch bearbeitet, wie in den Fig. 3B bis Fig. 3E dargestellt. Wie vorstehend bereits ausgeführt, ist die zu bearbeitende Schicht **12** aus transparentem Material hergestellt, das leichter zu bearbeiten ist als das Substrat **11**, wodurch die zu bearbeitende Schicht **12** leicht und genau zu der vorgegebenen Form oder Kontur bearbeitet werden kann, ohne daß das Werkzeug beschädigt wird. Es sollte beachtet werden, daß bei dieser Ausführungsform das Substrat **11** aus einem schwer zu bearbeitenden Material, wie etwa Glas, gefertigt sein kann. Im Vergleich zur ersten und zweiten Ausführungsform ist es bei dieser Ausführungsform nicht mehr erforderlich, die in der zu bearbeitenden Schicht ausgebildete Form oder Kontur in das Substrat zu kopieren, so daß die vorgegebene Form oder Kontur mit sehr großer Genauigkeit direkt hergestellt werden kann. Auf diese Weise kann das optische Element mit sehr großer Genauigkeit und immer gleichbleibend hergestellt werden.

[0044] Erfindungsgemäß kann die zu bearbeitende Schicht **12** aus einem anorganischen Material durch Anwendung verschiedener Verfahren, wie etwa das Sol-Gel-Verfahren, Flüssigphasenablagerungsverfahren (liquid phase deposition, LPD) oder chemische Bedampfung (chemical vapor deposition, CVD), hergestellt werden.

[0045] Wenn die zu bearbeitende Schicht **12** durch das Sol-Gel-Verfahren mit Siliziumdioxid geformt wird, wird zuerst eine Organosiliziumverbindung, wie etwa Tetraethoxysilan ($Si(OC_2H_5)_4$), in einem Lösungsmittel, wie etwa Alkohol, gelöst. Anschließend werden der erhaltenen Lösung Wasser und ein Katalysator, wie etwa Salzsäure, zur Durchführung der Hydrolyse und der Polykondensation beigegeben. Während der Hydrolyse und der Kondensation werden Siliziumdioxidteilchen hergestellt und die Lösung wird in Sol und dann in Gel umgewandelt. Die Hydrolyse und Kondensation werden gemäß der folgenden Reaktionsgleichung durchgeführt.

$$Si(OC_2H_5)_4 + 4H_2O \rightarrow Si(OH)_4 + 4C_2H_5OH$$

$Si\ OH)_4 \rightarrow SiO_2 + 2H_2O$

[0046] Als nächstes wird ein Verfahren zur Formung der zu bearbeitenden Schicht auf dem Substrat durch das obengenannte Sol-Gel-Verfahren erläutert. Ein Sol, das Tetraethoxysilan enthält, wird auf die Oberfläche des Substrats durch Tauchbeschichtung oder Schleuderbeschichtung aufgebracht. Auf diese Weise wird auf der Oberfläche des Substrats **11** eine Gelschicht geformt, die anschließend getrocknet wird. Während dieses Vorgangs wird der Naßgel-Überzug in einen Trockengel-Überzug umgewandelt. Auf diese Weise wird die Siliziumoxidschicht erhalten.

[0047] Durch Anwendung des obengenannten Sol-Gel-Verfahrens zur Formung der zu bearbeitenden Schicht **12** können die Materialien bei im Vergleich zum Schmelzverfahren niedrigen Temperaturen zusammengesetzt werden. Beim Sol-Gel-Verfahren kann die zu bearbeitende Schicht bei Raumtemperatur geformt werden, es wird jedoch bevorzugt, die Gelschicht zu erwärmen. In diesem Fall ist die Schicht um so stabiler, je höher die Erwärmungstemperatur ist. Ferner kann die Dichte der Schicht durch Steuerung der Erwärmungstemperatur verändert werden.

[0048] Erfindungsgemäß kann die Gelschicht auf Temperaturen in einem Bereich von 300 bis 500°C erwärmt werden. Die Erwärmung kann die Haftfähigkeit der Gelschicht an dem Substrat steigern. Bei diesem Verfahren wird vorgewärmt bis die zu bearbeitende Schicht **12** mit der vogegebenen Dicke t erreicht ist. Erfindungsgemäß kann die so erhaltene Schicht einer Wärmebehandlung bei Temperaturen in einem Bereich von 500 bis 800°C oder 800 bis 1.200°C unterzogen werden.

[0049] Darüber hinaus kann ein hoher Reinheitsgrad leicht erreicht werden und eine gleichförmige Dicke kann erhalten werden, so daß die Qualität der zu bearbeitenden Schicht verbessert werden kann. Weiterhin können viele verschiedene Materialien im Beschichtungsverfahren verwendet werden, so daß verschiedene Arten von Schichten geformt werden können.

[0050] Als nächstes wird das LPD-Verfahren (Flüssigphasenablagerung) erläutert. Nun nimmt man an, daß zum Formen der zu bearbeitenden Schicht **12** aus Siliziumdioxid, Silikagel in einer gesättigten wäßrigen Lösung von H_2SiF_6 gelöst wird. Danach wird ein Reaktionsinitiierungsmittel, wie etwa eine wässrige Lösung von Borsäure, der Lösung zugegeben und die Lösung wird gemischt und gut durchgerührt. Dann wird das Substrat **11** in die Lösung getaucht. In der Lösung finden die folgenden Reaktionen statt.

a: Erzeugung von Kolloiden der Kieselsäure
b: Transport der Kolloide in der Lösung
c: Polykondensation der Kolloide auf der Substratoberfläche

[0051] Auf diese Weise wird eine Siliziumdioxidschicht auf der Oberfläche des Substrats **11** geformt. Das Substrat **11** wird in die Lösung getaucht bis eine Siliziumoxidschicht mit einer vorgegebenen Dicke geformt wurde. Als nächstes wird die Siliziumdioxidschicht erwärmt, sofern dies gewünscht wird. Wenn das Siliziumdioxid erwärmt wird, wird sein Brechungskoeffizient erhöht. Je höher die Erwärmungstemperatur, desto höher der Brechungskoeffizient; und der Brechungskoeffizient von Siliziumdioxid liegt nahe dem Brechungskoeffizenten von Quarzglas. Auf diese Weise kann durch Anpassen der Erwärmungstemperatur der Brechungskoeffizient des Siliziumdioxids verändert werden.

[0052] Bei Anwendung des LPD-Verfahrens kann die zu bearbeitende Schicht **12** bei niedrigen Temperaturen geformt werden und der Brechungskoeffizient der Schicht kann beliebig verändert werden. Darüber hinaus ist die Haftung der zu bearbeitenden Schicht **12** am Substrat hervorragend und die Konzentration von Verunreinigungen in der Schicht kann sehr niedrig gehalten werden und somit ist es möglich, auch dann wenn das Substrat **11** eine ungleichmäßige Oberfläche aufweist, eine zu bearbeitende Schicht **12** von hoher Qualität und wenigen Fehlerstellen zu formen. Ferner hat die zu bearbeitende Schicht **12** eine sehr hohe Dichte und die Abweichungen in der Dicke aufgrund der Erwärmung sind gering. Auf diese Weise ist es gemäß dem LPD-Verfahren möglich, die zu bearbeitende Schicht **12** auf genaue Art und Weise zu formen.

[0053] Im folgenden wird nun das CVD-Verfahren (chemische Bedampfung) erläutert. Bei dem CVD-Verfahren wird eine gasförmige Verbindung mittels thermischer Energie, Plasma- oder Photo-Strahlungsenergie in der Gasphase zersetzt und durch chemische Reaktion lagert sich eine Schicht auf der Substratoberfläche ab. Es wurde bereits das thermische CVD-Verfahren, Plasma-CVD-Verfahren und lichtunterstützte CVD-Verfahren vorgestellt. Beim CVD-Verfahren wird die Schicht durch die folgenden Schritte geformt.

a: Erzeugen reaktiver Produkte in der Gasphase (Zersetzung)
b: Diffusion der reaktiven Produkte auf die Substratoberfläche (Transport)

c: Adsorption, Reaktion, Diffusion oder Entkopplung auf der Substratoberfläche (Oberflächenreaktion)

[0054] Beim Plasma-CVD-Verfahren beispielsweise wird Plasma in einer Reaktionskammer erzeugt und ein Rohgas, wie etwa SiH_4, wird mit Hilfe der Plasmaenergie zersetzt. Es sollte beachtet werden, daß das Substrat **11** in der Reaktionskammer an einer Elektrode angebracht wird oder an einer anderen Stelle durch die das Plasma fließt. Beim Plasma-CVD-Verfahren erreichen die zersetzten Rohgasbestandteile die Substratoberfläche und die obengenannte Reaktion c findet statt und die zu bearbeitende Schicht **12** aus Siliziumdioxid lagert sich auf dem Substrat **11** ab.

[0055] Beim CVD-Verfahren kann die zu bearbeitende Schicht **12**, die aus einem Material mit einem hohen Schmelzpunkt hergestellt ist, bei niedrigen Temperaturen auf effiziente Weise geformt werden, wobei die Gleichmäßigkeit der Schicht unabhängig von der Oberflächenbeschaffenheit des Substrats **11** erreicht werden kann. Darüber hinaus kann die Konzentration der Verunreinigungen in der zu bearbeitenden Schicht **12** durch Verwendung hochreiner Gase auf einfache Weise verringert werden. Weiterhin kann Zusammensetzung, Aufbau und Konfiguration der abgelagerten, zu bearbeitenden Schicht **12** auf einfache Weise gesteuert werden. Auf diese Weise kann eine gleichförmige, zu bearbeitende Schicht **12** mit hohem Reinheitsgrad bei niedrigen Temperaturen geformt werden.

[0056] Bei dem thermischen CVD-Verfahren ist es möglich, ein Substrat mit einem großen Durchmesser zu behandeln und es kann in Massenproduktion hergestellt werden. Mit Hilfe des Plasma-CVD-Verfahrens ist es möglich, eine dünne Schicht mit hoher Qualitat zu formen. Insbesondere beim ECR-Plasma-CVD-Verfahren kann die Schicht mit einer sehr hohen Ablagerungsrate geformt werden, so daß die zu bearbeitende Schicht **12** bei niedrigen Temperaturen wirkungsvoll geformt werden kann. Beim lichtunterstützten CVD-Verfahren kann ein Zersetzungspfad mit angeregtem Zustand ausgewählt werden und eine weitere Beschädigung des Substrats aufgrund der Einwirkung der Ionen kann verhindert werden, es sei denn die Wellenlänge der Photo-Strahlung ist so kurz, daß eine Photo-Ionisation verursacht wird. Dadurch kann eine zu bearbeitende Schicht **12** von hoher Qualität geformt werden.

[0057] Auf die oben erläuterte Weise kann eine zu bearbeitende Schicht **12** von hoher Qualität und mit einer Dicke t auf dem Substrat **11** bei niedrigen Temperaturen geformt werden. Auf die oben ausgeführte Weise kann die zu bearbeitende Schicht aus anorganischem Material erfindungsgemäß entweder durch das Sol-Gel-Verfahren, das LPD-Verfahren oder das CVD-Verfahren geformt werden und die so geformte, zu bearbeitende Schicht kann leicht und genau bearbeitet werden. Es sollte beachtet werden, daß die zu bearbeitende Schicht **12**, die durch das oben erläuterte Sol-Gel-Verfahren, CVD-Verfahren oder LPD-Verfahren geformt wurde, so wie sie ist verwendet werden kann. Es wird jedoch bevorzugt, die so abgelagerte, zu bearbeitende Schicht **12** einem Erwärmungsverfahren mit hohen Temperaturen zu unterziehen. In diesem Fall kann durch angemessene Steuerung der Erwärmungstemperatur der Brechungskoeffizient der zu bearbeitenden Schicht abgestimmt werden.

[0058] Nun wird ein Schritt zur Bearbeitung der zu bearbeitenden Schicht **12** zur Ausbildung einer vorgegebenen Form oder Kontur in der Oberfläche der zu bearbeitenden Schicht erläutert. Zunächst wird im Falle der Formung eines optischen Elements des Diffraktionstyps, das aus konzentrischen Rillen besteht, wie etwa eine Diffraktionslinse, eine Anordnung bestehend aus dem Substrat **11** und der zu bearbeitenden Schicht **12** auf einer Spindel einer Zerspanungsmaschine befestigt und um eine optische Achse A-A gedreht, wie in **Fig. 3B** dargestellt. Während die Anordnung gedreht wird, wird ein Werkzeug **13** in Übereinstimmung mit den Gestaltungsdaten der zu formenden Diffraktionslinse geführt und die zu bearbeitende Schicht **12** wird zu der vorgegebenen Form bearbeitet. Erfindungsgemäß besteht die zu bearbeitende Schicht **12** aus einem Material, das viel leichter zu bearbeiten ist als das Substrat **11**, wodurch die zu bearbeitende Schicht **12** leicht, schnell und genau bearbeitet werden kann.

[0059] Bei der Herstellung eines optischen Elements des Diffraktionstyps mit geraden Rillen, wie etwa einem Diffraktionsgitter, wird entweder das Werkzeug **13** oder die Anordnung aus Substrat und zu bearbeitender Schicht **12** in die Richtungen X-Y bewegt, während das Gegenstück ortsfest ist; und die zu bearbeitende Schicht **12** wird so bearbeitet, dass ein vorgegebenes Muster ausgebildet wird, wie in den **Fig. 3C** bis **Fig. 3E** gezeigt. Auf diese Weise kann ein Diffraktionsgitter leicht und genau hergestellt werden.

[0060] Wie vorstehend bereits erläutert kann, wenn die zu bearbeitende Schicht **12** aus anorganischem Material, das im wesentlichen frei von sekularer Abweichung ist und eine geringe Feuchtigkeitsabsorption aufweist, hergestellt ist, ein optisches Diffraktionselement mit großer Genauigkeit und hoher Haltbarkeit auf einfache Weise hergestellt werden. Ferner weist das anorganische Material eine relativ große spezifische Durch-

lässigkeit für einen breiteren Wellenlängenbereich auf, als organisches Material, so daß das optische Diffraktionselement für einen breiten Wellenlängenbereich verwendet werden kann. Darüber hinaus kann, wenn das Substrat **11** und die zu bearbeitende Schicht **12** aus Materialien gefertigt sind, die die gleiche Zusammensetzung haben, z.B. wenn das Substrat aus Quarzglas und die zu bearbeitende Schicht **12** aus Siliziumoxid hergestellt sind, die zu bearbeitende Schicht wirkungsvoll mit dem Substrat gekoppelt werden; sie weisen überdies ähnliche Brechungskoeffizienten auf und eine Reflexion an ihrer Grenzfläche kann unterdrückt werden, so daß die spezifische Durchlässigkeit des optischen Elements verbessert werden kann.

[0061] Die Fig. 4A und Fig. 4B sind Querschnittsansichten, die die aufeinanderfolgenden Schritte einer vierten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens zeigen. Bei dieser Ausführungsform soll eine asphärische Linse geformt werden. Zunächst wird ein Substrat **21** aus transparentem Glas vorbereitet. Die Oberfläche **21a** kann sphärisch oder eben sein, auch wenn sie in Fig. 4A sphärisch dargestellt ist. Auf der Oberfläche **21a** des Substrats **21** wird eine zu bearbeitende Schicht **22** unter Anwendung eines der oben erläuterten Verfahren geformt. Die Oberfläche **22a** der zu bearbeitenden Schicht **22** hat eine Kontur, die der Oberfläche **21a** des Substrats **21** entspricht. Danach wird eine Anordnung aus dem Glassubstrat **21** und der zu bearbeitenden Schicht **22** an einer Spindel einer Drehbank befestigt und um eine optische Achse A-A gedreht, wie in Fig. 4B gezeigt. Ein Werkzeug **23** wird in Übereinstimmung mit den Gestaltungsdaten für die Erzeugung der zu formenden, asphärischen Oberfläche geführt, so daß die zu bearbeitende Schicht **22** so bearbeitet wird, daß die vorgegebene asphärische Kontur **22b** ausgebildet wird.

[0062] Auf diese Weise kann eine asphärische Linse mit einer vorgegebenen asphärischen Kontur **22b** auf einfache und genaue Weise hergestellt werden.

[0063] Die Erfindung ist nicht auf die oben erläuterten Ausführungsformen begrenzt, da Fachleute im Rahmen der Erfindung viele Variationen und Abänderungen entwickeln können. Beispielsweise kann die gegenüberliegende Oberfläche des Substrats zu einer asphärischen Form bearbeitet werden, und zwar mit Hilfe des gleichen Verfahrens durch das auch die asphärische Oberfläche **1a** hergestellt wurde. Dadurch ist es möglich, ein optisches Element herzustellen, dessen beide Oberflächen die vorbestimmte asphärische Form aufweisen. Darüber hinaus kann die andere Oberfläche des Substrats **1** mit Hilfe des üblichen Verfahrens poliert werden, so daß eine sphärische Oberfläche geformt wird. Somit kann ein optisches Element mit asphärischen und sphärischen Oberflächen hergestellt werden. Ferner kann eine sphärische Linse durch das Verfahren der zweiten Ausführungsform hergestellt werden.

[0064] Bei der dritten und vierten Ausführungsform besteht die zu bearbeitende Schicht aus anorganischem Material, sie kann jedoch auch aus einem transparenten organischen Material, wie etwa transparentem Kunststoff, hergestellt werden.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Herstellen eines optischen Elementes, das die folgende Schritte umfasst:
– Bilden einer zu bearbeitenden Schicht (**2**) auf einer Oberfläche eines Substrats (**1**) aus optischem Material,
– Bearbeiten der Schicht (**2**) zur Ausbildung einer vorgegebenen Form oder Kontur darin, wobei die maximale Bearbeitungstiefe (d_{max}) kleiner als die Dicke (t) der Schicht (**2**) ist,
– Anisotropes Ätzen der Schicht (**2**) und des Substrats (**1**) zur Ausbildung einer Form oder Kontur in dem Substrat (**1**), welche der in der Schicht (**2**) gebildeten Form oder Kontur entspricht,
dadurch gekennzeichnet, dass die Bearbeitung der Schicht (**2**) spanend erfolgt und hierzu für die Schicht (**2**) ein Material verwendet wird, das wesentlich leichter mit einem Zerspanungswerkzeug (**3**) zu bearbeiten ist als das Material des Substrats (**1**).

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Schicht (**2**) aus Harz oder Metall gebildet wird.

3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Schicht (**2**) aus Photoresistlack gebildet wird.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1-3, dadurch gekennzeichnet, dass das Substrat (**1**) aus Glas besteht.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1-4, dadurch gekennzeichnet, dass der Ätzvorgang mit Hilfe eines reaktiven Ionenätrungsverfahrens durchgeführt wird.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1-5, dadurch gekennzeichnet, dass die spanende Bearbeitung der Schicht (**2**) auf einer numerisch gesteuerten Drehbank durchgeführt wird.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1-6, dadurch gekennzeichnet, dass als optisches Element ein im Querschnitt zackenförmiges Beugungsgitter hergestellt wird.

8. Verfahren zum Herstellen eines durchlässigen optischen Elements, umfassend folgende Schritte:
– Formen einer zu bearbeitenden transparenten Schicht (**12**) auf der Oberfläche eines Substrats (**11**) aus transparentem optischen Material sowie
– Ausbilden einer vorgegebenen Form oder Kontur in der Schicht (**12**) mit einer maximalen Bearbeitungstiefe, die geringer als die Dicke der Schicht ist,
dadurch gekennzeichnet, dass die Schicht (**12**) zur Ausbildung der Form oder Kontur spanabhebend bearbeitet wird und für sie ein transparentes optisches Material verwendet wird, das wesentlich leichter spanabhebend zu bearbeiten ist als das Material des Substrats (**11**).

9. Verfahren nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass die zu bearbeitende Schicht (**12**) aus einem anorganischen Material besteht.

10. Verfahren nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass das anorganische Material SiO_2 ist.

11. Verfahren nach einem der Ansprüche 8-10, dadurch gekennzeichnet, dass die Schicht (**12**) durch ein Sol-Gel-Verfahren oder durch Flüssigphasenablagerung (LPD) oder durch chemische Bedampfung (CVD) auf dem Substrat (**11**) gebildet wird.

12. Verfahren nach einem der Ansprüche 8-11, dadurch gekennzeichnet, dass nach der spanenden Bearbeitung der Schicht (**12**) die Anordnung aus Substrat und Schicht auf eine Temperatur, die über der Raumtemperatur liegt, erwärmt wird.

13. Verfahren nach einem der Ansprüche 8-12, dadurch gekennzeichnet, dass die mechanische Bearbeitung der Schicht (**12**) auf einer Drehbank mit numerischer Steuerung durchgeführt wird.

14. Verfahren nach einem der Ansprüche 8-13, dadurch gekennzeichnet, dass als optisches Element ein im Querschnitt zackenförmiges Beugungsgitter hergestellt wird.

Es folgen 4 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

FIG_1A

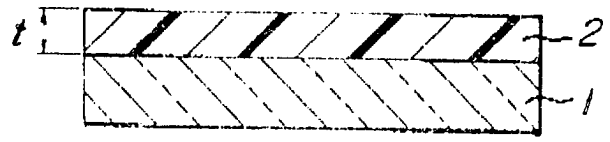


FIG_1B

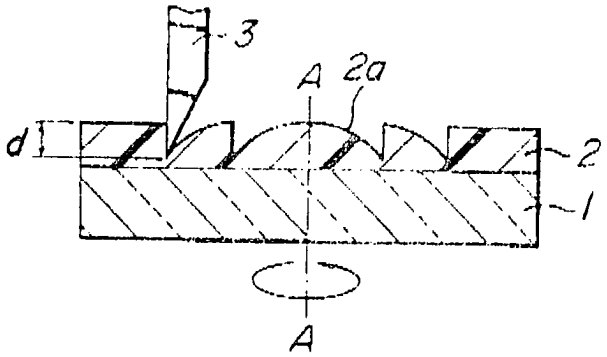


FIG_1C

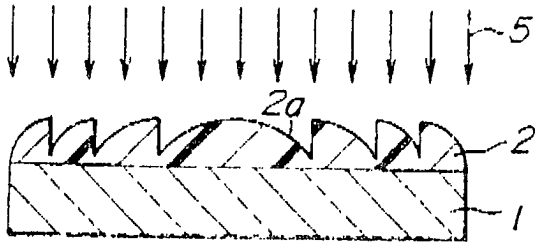


FIG_1D



FIG_2A

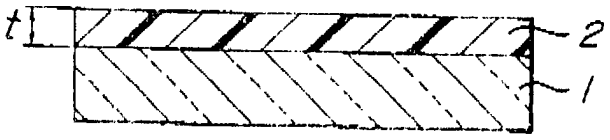


FIG_2B

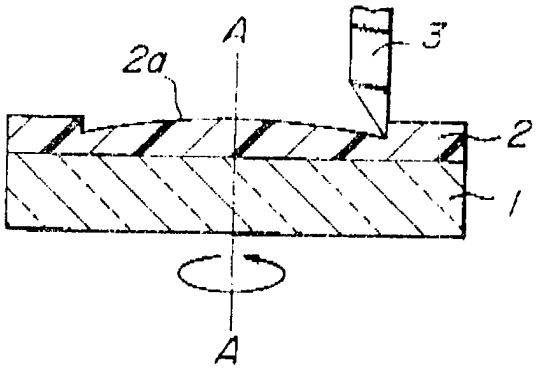


FIG_2C

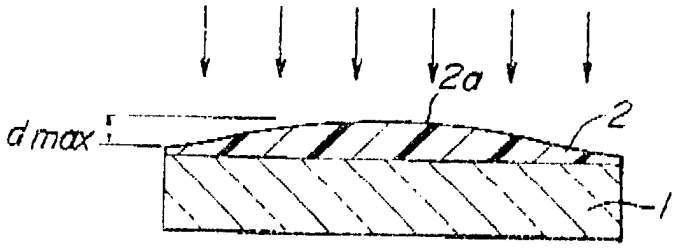


FIG_2D

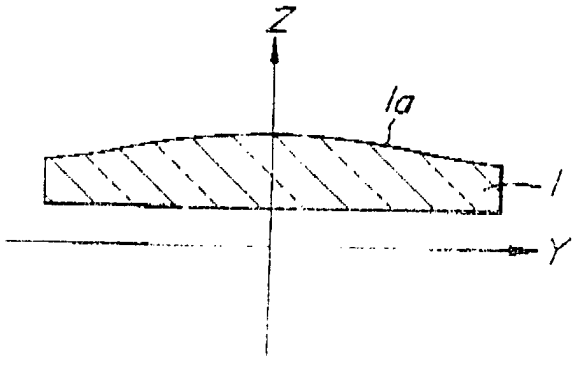


FIG_3A



FIG_3B

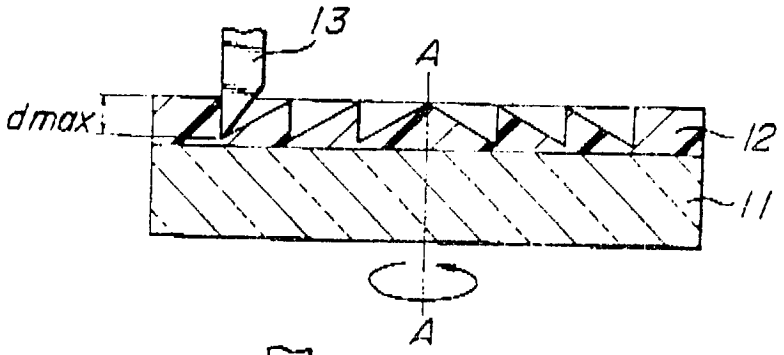


FIG_3C

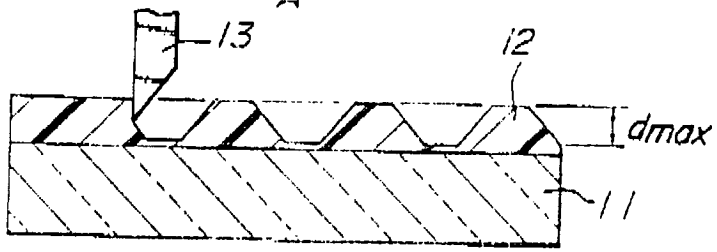


FIG_3D

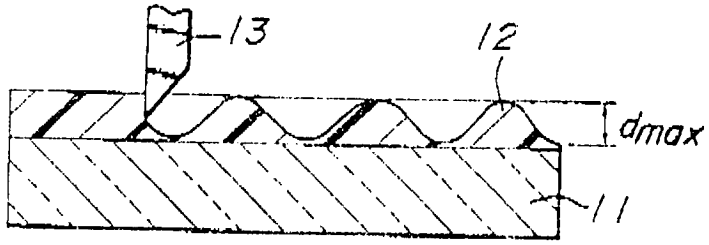


FIG_3E

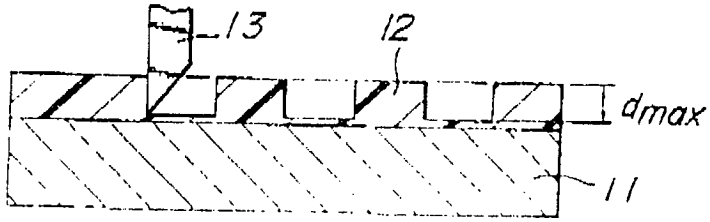


FIG_4A

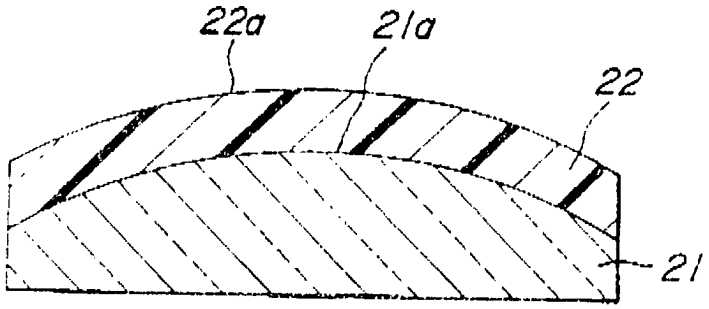


FIG_4B

