



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

(10) **DE 196 41 303 B4** 2006.11.23

(12)

## Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **196 41 303.6**  
 (22) Anmeldetag: **07.10.1996**  
 (43) Offenlegungstag: **17.04.1997**  
 (45) Veröffentlichungstag  
 der Patenterteilung: **23.11.2006**

(51) Int Cl.<sup>8</sup>: **G02B 5/28 (2006.01)**  
**G03F 7/00 (2006.01)**

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

(66) Innere Priorität:  
**195 37 728.1 10.10.1995**

(73) Patentinhaber:  
**Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der  
 angewandten Forschung e.V., 80686 München, DE**

(74) Vertreter:  
**PFENNING MEINIG & PARTNER GbR, 01217  
 Dresden**

(72) Erfinder:  
**Frank, Markus, 07749 Jena, DE; Schallenberg,  
 Uwe, 07743 Jena, DE**

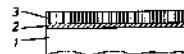
(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht  
 gezogene Druckschriften:  
**DE 30 48 879 A1**  
**GB 22 71 087 A**  
**US 53 58 806**  
**US 43 13 648**  
**JP 52-1 15 120 A**

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

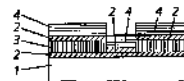
(57) Hauptanspruch: Verfahren zur Herstellung eines optischen mikrostrukturierten Elements aus dielektrischen Interferenzschichten, bei dem

- mindestens eine gegenüber dem Trockenätzverfahren resistente und damit als Ätzstoppschicht (2) wirkende optische Interferenzschicht aus  $MgF_2$  auf der gesamten Fläche des optischen Elementes ausgebildet wird,
- auf der  $MgF_2$ -Schicht ganzflächig ein Schichtaufbau aus einer oder mehreren gegenüber dem Trockenätzverfahren nicht resistenten optischen Interferenzschicht bzw. -schichten aufgebracht wird, wobei bei der Auslegung dieses Schichtaufbaus die optischen Parameter der  $MgF_2$ -Schicht berücksichtigt werden, so dass die  $MgF_2$ -Interferenz- und Ätzstoppschicht und der auf diese aufgebraute Schichtaufbau ein Interferenzschicht-System bilden,
- der Schichtaufbau unter Einsatz eines photolithographischen Maskierungsprozesses mit dem Trockenätzverfahren unter Verwendung fluoridischer Ätzgase in den nicht maskierten Teilbereichen bis zur  $MgF_2$ -Ätzstoppschicht entfernt wird.

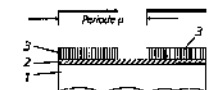
1. Iterationsschritt (Beschichten)



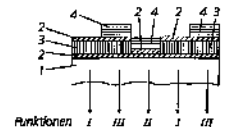
2. Iterationsschritt (Beschichten)



1. Iterationsschritt (Strukturieren)



2. Iterationsschritt (Strukturieren)



**Beschreibung**

**[0001]** Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung eines optischen Elementes.

**Stand der Technik**

**[0002]** Es ist bekannt, dielektrische Schichten ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{SiN}_x$ ) auf GaAs mit geeigneten Trockenätzverfahren (ECR) mikrostrukturiert aufzutragen (Pearson, S.J., Ren, F., Abernathy, C.R., „Low bias dry etching of tungsten and dielectric layers on GaAs“, *Semicond. Sci. Technol.* (October 1993) 8, Seiten 1897 bis 1903). Dabei wird der Ätzprozess durch Steuerung bzw. Regelung des Partialdruckes der verschiedenen Prozessgase optimiert und angepasst, um die verschiedenen dielektrischen Schichten geometrisch definiert, insbesondere in Bezug auf die Ätztiefe, abzutragen. Dabei ist auch der Einfluß verschiedener Prozeßgase untersucht worden.

**[0003]** Ähnliches ist auch von Curtis, B.J., Gale, M.T., Lehmann, H.W., Brunner, H., Schuetz, H., Widmer, R., "Fabrication of mosaic color filters by dry-etching dielectric stacks", *Journal of Vacuum Science & Technology A (Vacuum, Surfaces, and Films)*, Jan.-Feb. 1986 vol. 4, No. 1, Seiten 70 bis 74 für einen mehrstufigen reaktiven Sputter-Ätzprozeß bekannt, wobei auch die Herstellung hochauflösender Farbfilterarrays beschrieben worden ist. Dort wird ebenfalls die Abhängigkeit der Ätzrate von den Ätzparametern (Prozeßgas, Prozeßdruck u.a.) beschrieben. Ebenfalls ist dieser Veröffentlichung die Abhängigkeit des Ätzprozesses vom Beschichtungsverfahren zu entnehmen und es wird zusätzlich ein Hinweis zur Optimierung des Beschichtungsverfahrens in Bezug auf den Ätzprozeß gegeben.

**[0004]** Bei diesen Verfahrensweisen wird aus der Kenntnis der Ätzraten die exakte Ätztiefe eingestellt und ein gezielter Abtrag von Schichten bis in eine gewünschte Tiefe erreicht. Es kann aber auch ein sogenanntes Monitorieren zur Überwachung der Ätztiefe durchgeführt werden.

**[0005]** Schwierigkeiten ergeben sich dabei, daß die Prozeßbedingungen beim Abtragen exakt eingehalten werden müssen, um die gewünschte Ätztiefe über die gesamte Probenfläche einhalten zu können. Dies erfordert einen erhöhten Aufwand bei der Prozeßüberwachung und jeweils Vorversuche für die verschiedensten Schichtaufbauten, die entsprechend strukturiert werden sollen.

**[0006]** Des weiteren ist in der US 4 313 648 ein Mehrschichtaufbau und ein Verfahren zu dessen Herstellung beschrieben, bei dem Schutzschichten, die bevorzugt aus  $\text{Al}_2\text{O}_3$  bestehen sollen, unter bestimmten Bedingungen während eines Trockenätzverfahrens durch ihre kleinere Ätzrate, das unterhalb dieser Schutzschicht angeordnete Substrat oder als bestimmte Filter dienende Schichtaufbauten schützen sollen. Neben dem  $\text{Al}_2\text{O}_3$  sollen auch Zirkoniumoxide, Ceriumoxide, Ceriumfluoride, Thoriumoxide, Praseodymiumoxide, Lanthanoxide und Lanthanfluoride als Ausgangsmaterialien für solche Schutzschichten eingesetzt werden können.

**[0007]** Die in der US 4 313 648 während des Ätzvorganges verwendeten chlorhaltigen Gase verursachen einen sehr hohen verfahrenstechnischen Aufwand in bezug auf die erforderliche Steuerung des Prozesses und es ist außerdem erforderlich, daß optische Elemente, die mehrere optische Funktionen erfüllen sollen, entsprechend Berücksichtigung während des Ätzvorganges finden müssen, so daß die Bedingungen jeweils entsprechend modifiziert werden müssen. Dies geht soweit, daß ein jeweils anders zusammengesetztes Ätzgas bei entsprechend angepaßtem Druck verwendet werden muß.

**[0008]** Außerdem ist zu berücksichtigen, daß die vorgeschlagenen Schutzschichtmaterialien die optischen Eigenschaften des in dieser Form hergestellten optischen Elementes beeinflussen.

**[0009]** Als nachteilig muß weiter angesehen werden, daß mit der dort vorgeschlagenen Verfahrensweise hergestellte Farbfilter nur durch mehrere übereinander angeordnete Mehrschichtaufbauten, durch eine Summenfunktion dieser Mehrschichtaufbauten erhalten werden, was einer Abhängigkeit der Filterfunktionen untereinander gleichkommt. Die Filterfunktionen sind nicht mehr frei wählbar und können nur in spektral benachbarten Bereichen realisiert werden (cyan/grün oder grün/gelb).

**[0010]** Bei der Herstellung von Mehrschichtaufbauten dielektrischer Schichten für Farbfilter ist es weiter aus US 4 534 620 bekannt, neben dem Trockenätzprozeß auch naßchemische Ätzprozesse anzuwenden. Dabei wird das Trockenätzen dafür verwendet, die Anisotropie dieses Prozesses auszunutzen und so steile Kanten zu erzeugen.

**[0011]** Der naßchemische Prozeß nutzt eine Schutzschicht, die ebenfalls eine sehr geringe Ätzrate während

dieses Prozesses hat, um das unter dieser Schicht liegende Material während der naßchemischen Ätzung zu schützen und dessen Abtrag zu verhindern. Für den Trockenätzprozeß ist es bei diesem Verfahren entweder erforderlich, mit aufwendigen Vorversuchen die Ätzraten der verschiedenen Materialien zu bestimmen und in Kenntnis dessen den eigentlichen Trockenätzprozeß dann nach einer entsprechenden Zeit abzubrechen, wenn mit den empirisch ermittelten Werten davon ausgegangen werden kann, daß der gewünschte Abtrag erfolgt ist. Da hierbei die Prozeßbedingungen und der Fehler bei der Bestimmung der jeweiligen Ätzraten eingeht, ist mit einer entsprechend hohen Ausschußrate zu rechnen.

**[0012]** Eine andere Möglichkeit zur Überwachung des Trockenätzprozesses ist das dort ebenfalls erwähnte optische Monitorieren. Neben dem dafür erforderlichen Aufwand für die Überwachung des Abtrages muß auch hierbei der zwangsläufig auftretende laterale Ätztiefenfehler berücksichtigt werden, der nicht vollständig ausgeschlossen werden kann.

**[0013]** So ist in US 5,538,806 ein Trockenätzverfahren zur Fehlerkorrektur an Phasenverschiebungsmasken beschrieben, bei dem eine einzige Stoppschicht auf einem transparenten Substrat ausgebildet wird. In JP 52-115120 A ist ebenfalls ein Ätzverfahren für Multischichtinterferenzfilter beschrieben.

**[0014]** Die Herstellung von strukturierten optischen Elementen durch reaktives Ätzen an einem Mehrschichtaufbau eines Substrates sind in GB 2 271 087 A erwähnt.

**[0015]** Die DE 30 48 879 A1 betrifft optische Mehrfarben-Filter und ein entsprechendes Herstellungsverfahren. Dabei ist auf einem transparenten Substrat ein Interferenzfilter aus regelmäßig angeordneten Interferenzschichten ausgebildet, das durch zumindest bereichsweises Abschleifen bearbeitet werden soll.

#### Aufgabenstellung

**[0016]** Es ist daher Aufgabe der Erfindung, ein Verfahren zur Herstellung eines optischen Elementes vorzuschlagen, das einfach durchführbar ist und eine fehlerfreie Herstellung der optischen Strukturen entsprechend der gewollten Funktion ermöglicht.

**[0017]** Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe durch die im Anspruch 1 angegebenen Merkmale gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen und Weiterbildungen der Erfindung ergeben sich aus den in den untergeordneten Ansprüchen enthaltenen Merkmalen.

**[0018]** Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren zur Herstellung eines optischen strukturierten Elementes aus dielektrischen Interferenzschichten wird so vorgegangen, dass mindestens eine gegenüber dem Trockenätzverfahren resistente und damit als Ätzstoppschicht wirkende optische Interferenzschicht aus  $MgF_2$  auf der gesamten Fläche des optischen Elementes ausgebildet wird. Auf dieser Ätzstoppschicht wird ganzflächig ein Schichtaufbau aus einer oder mehreren gegenüber dem Trockenätzverfahren nicht resistenten optischen Interferenzschicht bzw. -schichten aufgebracht. Bei der Auslegung dieses Schichtaufbaus sollen die optischen Parameter der  $MgF_2$ -Schicht berücksichtigt werden, so dass die  $MgF_2$ -Interferenz-Ätzstoppschicht und der darauf aufgebrachte Schichtaufbau ein Interferenzschichtsystem bilden. Dieser Schichtaufbau wird mit einem photolithographischen Maskierungsprozess und dem Trockenätzverfahren unter Verwendung fluoridischer Ätzgase in nicht maskierten Teilbereichen bis zur  $MgF_2$ -Ätzstoppschicht entfernt.

**[0019]** Dieses Vorgehen hat gegenüber den beschriebenen Verfahrensweisen den Vorteil, dass ein Strukturierungsvorgang mit nur einem einzigen Ätzverfahren erzeugt werden kann, ohne daß während des Prozesses Parameter modifiziert werden müssen. Verfahren, die zur Erzeugung einer Struktur einen naßchemischen und anschließend einen Trockenätzprozeß benötigen, können so vermieden werden. Der erforderliche Verfahrensaufwand wird bei gleichem Ergebnis minimiert.

**[0020]** Bei herkömmlichen Verfahren, die auf Ätzstoppschichten verzichten, treten während des Ätzvorganges zwangsläufig Ätztiefenfehler auf (z.B. durch während der Ätzung inhomogen ausgebildetes Plasma über der Probenfläche). Zudem führt dieses Vorgehen mit zunehmender Prozeßdauer zu erhöhten Schichtrauigkeiten. Diese Effekte führen einerseits zu einem Fehlverhalten der erzeugten optischen Struktur, welches allein durch den Fehler in der Äztiefe verursacht wird, und andererseits zu Streuverlusten, die durch erhöhte Rauigkeiten auf der Schichtoberfläche bedingt werden.

**[0021]** Durch den Einsatz der Ätzstoppschichten kann der Ätzprozeß beliebig lange aufrecht erhalten werden, insbesondere bis die Schicht oder der Mehrschichtaufbau über der Stoppschicht vollständig entfernt ist. Ist die

Stoppschicht erreicht, bricht der Prozeß von alleine ab. Eine Erhöhung der Schichttrauhigkeiten kann vermieden werden, da durch die Ätzung die säulenartige Schichteigenstruktur des Stoppschichtmaterials  $MgF_2$  zerstört wird und die so entstandene Oberfläche weniger Streuverluste bedingt als die ursprüngliche Oberfläche. Neben diesen Vorteilen kann sowohl auf einen erhöhten verfahrenstechnischen Aufwand, wie z.B. das optische Monitorieren, als auch auf eine vorab Bestimmung der Ätzraten verzichtet werden, wodurch die jeweils damit verbundenen Nachteile ausgeschlossen sind.

**[0022]** Direkt auf ein Glassubstrat aufgebracht beinhaltet die erfindungsgemäß zu verwendende  $MgF_2$ -Ätzstoppschicht zwei weitere Vorteile: Es handelt sich bei  $MgF_2$  um ein niedrigbrechendes Schichtmaterial, das auf der Grenzfläche Glas/Luft zu einer Verminderung der Restreflexion des Glassubstrates führt und durch das Aufbringen dieser Schicht kann die Haftung der nachfolgend aufzubringenden Schichtaufbauten verbessert werden.

**[0023]** Vorteilhaft wirkt sich das erfindungsgemäße Verfahren auch dadurch aus, daß die Stoppschichten und die verschiedenen Schichtaufbauten iterativ aufgebracht werden können. Nach dem Aufbringen der Stoppschicht direkt auf das Substrat wird ein Mehrschichtaufbau auf diese aufgebracht, welcher anschließend innerhalb bestimmter lokaler Bereiche durch Trockenätzung abgetragen wird, wobei ein herkömmlicher photolithographischer Maskierungsprozeß verwendet wird, um die gewünschten Bereiche des jeweiligen Mehrschichtaufbaus während des Trockenätzprozesse zu schützen und so einen Abtrag zu verhindern.

**[0024]** Nach einem ersten Ätzprozeß wird eine zweite Stoppschicht und ein weiterer Mehrschichtaufbau die gesamte Fläche des optischen Elementes übergreifend aufgebracht und nach einem weiteren Maskierungsprozeß wird der zweite Mehrschichtaufbau innerhalb bestimmter lokaler Bereiche bis zur zweiten Stoppschicht abgetragen.

**[0025]** Dieses hier bis zum zweiten Iterationsschritt geschilderte Verfahren kann beliebig oft hintereinander ausgeführt werden, wobei die jeweiligen Strukturierungsprozesse mit ein und demselben Parametersatz durchgeführt werden können.

**[0026]** Je nach den während des Maskierungsprozesses verwendeten Maskenparametern (Periode  $p$ , Tastverhältnis) und der Anzahl der Iterationsschritte kann eine Vielzahl optischer Filterfunktionen nebeneinander angeordnet werden. (Es können Masken aus Liniengittern, also Linienstrukturen mit Linien, die Licht zu 100% hindurchlassen – hier wird der Fotolack belichtet und während der Entwicklung entfernt, womit der Mehrschichtaufbau freigelegt wird – und benachbarten Linien, welche kein Licht hindurchlassen – hier bleibt der Fotolack während der Entwicklung erhalten und schützt den Mehrschichtaufbau während des Trockenätzprozesse, verwendet werden.

**[0027]** Eine Periode  $p$  ist die Ausdehnung eines Strukturteils, der sich innerhalb des Gesamtmusters periodisch wiederholt, also bei Linienstrukturen die Summe aus der Linienbreite die Licht hindurchläßt und der Linienbreite die kein Licht hindurchläßt. Dabei ist das Tastverhältnis der Anteil einer der beiden Linienbreiten, bezogen auf die Periode. Wenn man eine Strukturperiode von  $p = 40 \mu m$  betrachtet und eine Streifenbreite von  $10 \mu m$ , welche kein Licht hindurchläßt – so ergibt sich eine Streifenbreite von  $30 \mu m$ , die Licht hindurchläßt. Man spricht dann von einem Tastverhältnis  $p$  von  $3/4$  (in einer Periode wird  $3/4$  des Lichtes transmittiert und  $1/4$  ausgeblendet).

**[0028]** Dabei können sowohl  $i$  (= Anzahl der Iterationsschritte) Einzelfunktionen der verschiedenen Mehrschichtaufbauten nebeneinander (Einzelfunktionen) und als auch  $i$  Einzelfunktionen übereinander (Summenfunktionen) angeordnet werden. Zwischen diesen beiden Extremfällen existiert eine Anzahl  $A$  von Möglichkeiten der Anordnung, die gegeben ist durch

$$A = \left( \sum_{n=1}^N \binom{N}{n} \right) - i = \left( \sum_{n=1}^N \frac{N!}{n! (N-n)!} \right) - i \quad (1)$$

wobei  $N$  von der Anzahl der Iterationsschritte  $i$  abhängt wie folgt:

$$M = 2^i \quad (2)$$

**[0029]** Werden also beispielsweise zwei Iterationsschritte durchgeführt ( $i = 2$ ) so erhält man  $N = 4$  und somit 11 Möglichkeiten der Anordnung. Die Beschreibung beinhaltet die Möglichkeit der Ausbildung von allen Kom-

binationen von jeweils zwei, drei oder allen  $N = 4$  optischen Funktionen (beide Funktionen einzeln, ihre Summenfunktion und weißes Licht, also keine Funktion) über der optisch aktiven Fläche. Es können also Summenfunktionen bewußt erzeugt werden oder, wenn es die Aufgabenstellung erfordert, auch bewußt vermieden werden, so daß die Mehrschichtaufbauten unabhängig voneinander angeordnet werden können. Diese Tatsache ermöglicht eine hohe Flexibilität bzgl. der Anpassung an verschiedene Anwendungsfälle.

**[0030]** Die gewünschten Filtereigenschaften werden dabei von dem jeweils ausgebildeten Mehrschichtaufbau und den Stoppschichten erreicht, deren optischer Einfluß vorteilhaft im Design berücksichtigt wird.

**[0031]** Die mit dem erfindungsgemäßen Verfahren ausgebildeten optischen Elemente sind bevorzugt mikrostrukturiert, d.h. die verschiedenen Flächen, die verschiedenen optischen Funktionen zugeordnet sind, weisen Abmessungen von wenigen  $\mu\text{m}^2$  auf, wodurch in Bereichen dieser Größenordnung eine Vielzahl von verschiedenen optischen Funktionen nebeneinander ausgebildet werden können.

**[0032]** Eine weitere Möglichkeit, die sich mit dem erfindungsgemäßen Verfahren ergibt, besteht darin, daß zwei verschiedene Substrate, die ebenfalls, wie auch bei den vorab beschriebenen Möglichkeiten aus Borsilikatglas bestehen können, mit einer  $\text{MgF}_2$  Stoppschicht auf der optisch nutzbaren Fläche beschichtet werden. Im Anschluß daran wird ein Mehrschichtaufbau mit jeweils unterschiedlicher optischer Funktion auf den beiden Stoppschichten auf den verschiedenen Substraten aufgebracht und durch Trockenätzung unter Verwendung herkömmlicher Maskierungsprozesse teilweise auf der optischen Fläche bis auf die Stoppschicht abgetragen, so daß auf dem jeweiligen Substrat ein Bereich mit dem Mehrschichtaufbau ausgebildet und ein anderer Teil optisch weitgehend neutral ist. Im Anschluß daran werden die beiden Substrate mit ihren Schichtseiten zueinander und unter Verwendung eines üblichen optischen Kittes miteinander verbunden. Je nach Wahl der Masken können die beiden Substrate so zueinander ausgerichtet werden, daß sich die Mehrschichtaufbauten in Teilbereichen überdecken, was zu optischen Summenfunktionen führt. In anderen Teilbereichen überdecken sich die beiden Mehrschichtaufbauten nicht, womit nur die jeweiligen optischen Einzelfunktionen wirken. Werden zwei Teilbereiche zur Deckung gebracht, an denen der Mehrschichtaufbau bis zur Stoppschicht abgetragen wurde, so entsteht ein optisch weitgehend neutraler Bereich.

**[0033]** Die beiden Substrate können aber auch, wie dies bereits ausgeführt worden ist, mit mehr als nur einem Mehrschichtaufbau als mehrere Funktionsschichten versehen werden. Dadurch kann ein optisches Element erzeugt werden, das entsprechend der ausgebildeten Mehrschichtaufbauten eine größere Anzahl optischer Funktionen erfüllen kann.

**[0034]** Das erfindungsgemäß ausgebildete optische Element ist bevorzugt mikrostrukturiert (die einzelnen Flächen, die verschiedene optische Funktionen haben, weisen Abmessungen von wenigen  $\mu\text{m}^2$  auf).

**[0035]** Ein so ausgebildetes optisches Element kann kombiniert mit mikromechanischen Stellelementen (z.B. Piezoschaltern) als spektraler Schalter eingesetzt werden. Werden mittels dem beschriebenen iterativen Prozeß drei verschiedene optische Filterfunktionen ausgebildet, können mit einem solchen optischen Element in Kombination mit strukturierten Empfängern (z.B. Si-Pin-Dioden) miniaturisierte oder ortsauflösende Farbsensoren realisiert werden.

**[0036]** Weiterhin sind mit dem beschriebenen Verfahren (ein Iterationsschritt) dielektrische Masken sowie entspiegelte binäre beugungsoptische Elemente realisierbar.

**[0037]** Die Anwendungsgebiete liegen in der Medizin- und Kommunikationstechnik sowie in der Qualitätssicherung.

**[0038]** Für die Strukturierung wird generell ein Trockenätzverfahren (RIE, ECR, IBE-ION BEAM ETCHING) eingesetzt, und das Abtragen des jeweiligen Schichtaufbaus kann durch den Einsatz der beschriebenen  $\text{MgF}_2$ -Stoppschicht ohne genaue Kenntnis der Abtragsrate (Ätzrate) erfolgen, wobei eine Tiefengenaugigkeit von  $< 1\%$  erreichbar ist, welche dem Schichtdickenfehler bei der Schichtabscheidung (Beschichtungsprozess) entspricht.

**[0039]** Neben der Resistenz gegenüber dem verwendeten Trockenätzverfahren muss von der Stoppschicht noch die Forderung erfüllt sein, dass sie sowohl in die optische Gesamtfunktion als auch in die optische Funktion des verbleibenden Schichtaufbaus integriert ist.

**[0040]** Als Material für die Stoppschicht wird  $\text{MgF}_2$  verwendet und beim Trockenätzen werden fluoridische

Ätzgase eingesetzt. Die Dicke der Stoppschicht(en) sollte wenigstens 10 nm betragen.

**[0041]** Beim Design eines erfindungsgemäß ausgebildeten optischen Elementes berücksichtigt mindestens eine der beiden Funktionsschichten, zwischen denen die Stoppschicht eingelagert ist, die optischen Parameter der Stoppschicht, um die Gesamtfunktion nicht zu beeinträchtigen. Wird beispielsweise ein antireflektierender Schichtaufbau und ein reflektierender Schichtaufbau miteinander kombiniert, so muss zumindest der antireflektierende Schichtaufbau den Einfluss der Stoppschicht berücksichtigen, wenn der reflektierende Schichtaufbau im Strahlengang des Lichtes zuerst angeordnet ist.

**[0042]** Bei der Herstellung eines erfindungsgemäß ausgebildeten optischen Elementes kann beispielsweise auf ein üblicherweise verwendetes Substrat (Borsilikatglas) mit bekannten Beschichtungsverfahren, wie PVD oder CVD ein Schichtaufbau, der eine vorgegebene optische Funktion aufweist, abgeschieden werden. Dabei ist die letzte Schicht als Stoppschicht ausgebildet, die gegenüber dem verwendeten Strukturierungsverfahren resistent ist. Auf die Stoppschicht wird anschließend ein weiterer Schichtaufbau abgeschieden, der in Kombination mit dem ersten Schichtaufbau eine weitere optische Funktion aufweist. Im Anschluß daran wird durch Trockenätzung der zweite Schichtaufbau bis hin zur Stoppschicht, auf einem Teil der optisch nutzbaren Fläche abgetragen. Dadurch kann der freigelegte Teil für die Ausnutzung der optischen Funktion des ersten Schichtaufbaus und der nicht freigelegte Teil des optischen Elementes für die zweite optische Funktion ausgenutzt werden.

**[0043]** Durch die Wahl der Prozeßparameter während des Trockenätzens kann das erfindungsgemäße optische Element so hergestellt werden, daß die Flächen der jeweiligen nach den Ätzprozessen freigelegten Stoppschichten und die Flächen der jeweilig entstandenen Kanten einen Winkel  $\alpha$  von annähernd  $90^\circ$  einschließen.

**[0044]** Dabei ist es vor dem Abtrag des zweiten Schichtaufbaus erforderlich eine partielle Maskierung auf diesen aufzubringen, um die gewünschten geometrischen Verhältnisse herzustellen.

#### Ausführungsbeispiel

**[0045]** Nachfolgend soll die Erfindung an Hand von Ausführungsbeispielen näher beschrieben werden.

**[0046]** Dabei zeigt:

**[0047]** **Fig. 1** den Aufbau eines optischen Elementes nach dem Beschichten und nach dem Strukturieren;

**[0048]** **Fig. 2a** und **Fig. 2b** eine schematische Darstellung zur iterativen Herstellung eines mikrostrukturierten Elementes; (zwei Iterationsschritte)

**[0049]** **Fig. 3** ein Beispiel für ein optisches Element mit drei Funktionsschichten, die iterativ aufgebracht wurden; (drei Iterationsschritte)

**[0050]** **Fig. 4** ein Beispiel eines Aufbaus mit zwei mikrostrukturierten Funktionsschichten auf zwei untereinander verbundenen Substraten;

**[0051]** **Fig. 5** einen schematischen Aufbau eines optischen Elementes mit einer antireflektierenden und hochreflektierenden Funktion und

**[0052]** **Fig. 6** eine Ausbildung der Kantenbereiche der strukturierten Mehrschichtaufbauten.

**[0053]** Die **Fig. 1** zeigt den prinzipiellen Aufbau eines mikrostrukturierten Elementes bei seiner Herstellung mit dem iterativen Verfahren (1. Iterationsschritt) in zwei verschiedenen Phasen. Dabei ist in der linken Darstellung der **Fig. 1** erkennbar, dass auf einem Substrat **1** aus einem Borsilikatglas BK 7 eine Stoppschicht **2** aus  $MgF_2$  über die gesamte optisch nutzbare Fläche mit einem PVD-Verfahren aufgebracht worden ist. Im Anschluß daran wurde eine Einzelschicht oder ein Mehrschichtaufbau **3** aus (einer) dielektrischen Schicht(en) mit einer gewünschten Schichtdicke (Fehler  $< 1\%$ ) aufgebracht, die/der im Anschluß daran mit einem Trockenätzverfahren unter Verwendung von fluoridischen Gasen, wie z.B.  $CHF_3$ ,  $CF_4$ ,  $SF_6$  teilweise wieder abgetragen wird. Dabei wird der Abtrag lokal durch die Verwendung eines herkömmlichen Maskierungsprozesses und des Trockenätzverfahrens beeinflusst. Die rechte Darstellung in der **Fig. 1** zeigt dann das so erhaltene Ergebnis, nämlich ein mikrostrukturiertes Element, welches eine exakte Ätztiefe aufweist.

**[0054]** Besteht die Funktionsschicht **3** aus einer Einzelschicht, so erhält man ein durch die niedrigbrechende  $\text{MgF}_2$ -Stoppschicht **2** entspiegeltes zweistufiges beugungsoptisches Element mit einer exakten Ätztiefe. Das erfindungsgemäße Verfahren zur Herstellung eines beugungsoptischen Elementes bietet den wesentlichen Vorteil, dass durch den Einsatz der Ätzstoppschicht die Ätzung exakt nach dem Abtrag der Einzelschicht **3** abbricht. Somit ist der Ätztiefenfehler lediglich durch den Fehler bestimmt, der während der Abscheidung der Schicht **3** (Beschichtungsprozess) auftritt, der  $< 1\%$  gehalten werden kann. Da das Fehlverhalten eines Beugungselementes (verminderte Beugungseffektivität) wesentlich durch Ätztiefenfehler mitbestimmt wird, kann die Beugungseffektivität so gesteigert werden.

**[0055]** Bei herkömmlichen Ätzverfahren ohne Ätzstoppschicht, welche nicht ohne eine vorhergehende Ätzratenbestimmung auskommen, liegt der Fehler bestenfalls bei  $< 5\%$ . Neben der exakten Ätztiefe, die durch das erfindungsgemäße Verfahren erreicht wird, führt auch die durch die  $\text{MgF}_2$ -Stoppschicht **2** verminderte Reflexion zu einer optimierten Beugungseffektivität.

**[0056]** Besteht die Funktionsschicht **3** aus einem Mehrschichtaufbau, so erhält man nach dem Ätzprozess ein Filterelement mit einer durch den Mehrschichtaufbau hervorgerufenen optischen Funktion I in den Bereichen, in denen der Mehrschichtaufbau nach der Ätzung erhalten geblieben ist, und einen durch den Ätzprozess bis zur Stoppschicht **2** freigelegten Bereich ohne Filterfunktion, in dem die Restreflexion der Grenzfläche Glas/Luft durch die verbliebene  $\text{MgF}_2$ -Stoppschicht **2** gemindert wird.

**[0057]** In den **Fig. 2a** bzw. **Fig. 2b** ist an jeweils einem Beispiel die Verfahrensweise zur iterativen Herstellung eines mikrostrukturierten optischen Elementes gezeigt (zwei Iterationsschritte). Je nach den verwendeten Maskenparametern (Periode, Tastverhältnis) kann eine Vielzahl optischer Funktionen nebeneinander angeordnet werden. Bei der Anordnung sind sowohl Summenfunktionen als auch Einzelfunktionen realisierbar. Die Anzahl A von Möglichkeiten der Anordnung ist gegeben durch die Formeln (1) und (2).

**[0058]** Werden zwei Iterationsschritte durchgeführt, bestehen also 11 Möglichkeiten der Anordnung. Beispielformhaft sollen lediglich je eine Möglichkeit der Anordnung in den **Fig. 2a** und **Fig. 2b** dargestellt werden.

**[0059]** Im ersten Verfahren (**Fig. 2a**) werden die beiden Einzelfunktionen und ihre Summenfunktion nebeneinander angeordnet und im zweiten Beispiel (**Fig. 2b**) lediglich die beiden Einzelfunktionen.

**[0060]** In **Fig. 2a** wird gezeigt, wie während des ersten Iterationsschrittes auf ein Substrat **1** eine erste Stoppschicht **2** aus  $\text{MgF}_2$  die gesamte Fläche des optischen Elementes übergreifend mit einem PVD-Verfahren aufgebracht wird. Im Anschluß daran wird ein Mehrschichtaufbau als Funktionsschicht **3** mit einem PVD-Verfahren ebenfalls vollflächig auf die Stoppschicht **2** aufgebracht.

**[0061]** Während des photolithographischen Maskierungsverfahrens kommt eine Maske mit einem Tastverhältnis (Lichtdurchlässiger Bereich/Periode) von  $1/3$  zum Einsatz. Dadurch wird beim ersten Strukturierungsprozeß der Mehrschichtaufbau **3** lediglich in einem Bereich von  $1/3$  der vollständigen Periode  $p$  bis zur Stoppschicht **2** abgetragen.

**[0062]** Nach diesen Schritten ist ein optisches Element mit zwei verschiedenen Bereichen entstanden. Im maskierten Bereich ist der Mehrschichtaufbau **3** verblieben, und in dem anderen Bereich ist dieser Mehrschichtaufbau **3** bis zur Stoppschicht **2** abgetragen.

**[0063]** Beim Beschichtungsprozeß im zweiten Iterationsschritt wird zunächst wieder auf die gesamte Fläche des optischen Elementes eine weitere Stoppschicht **2** und auf diese ein zweiter Mehrschichtaufbau **4** aufgebracht. Dabei ist das Design des Mehrschichtaufbaus **4** so ausgebildet, daß durch die Stoppschichten **2** und den Mehrschichtaufbau **4** eine gewünschte optische Funktion II erreicht wird. Zudem ist das Design des zweiten Mehrschichtaufbaus **4** in diesem Beispiel so gewählt, daß durch die Summenfunktion der beiden Mehrschichtaufbauten **3**, **4** zuzüglich der beiden Stoppschichten **2** eine weitere gewünschte optische Funktion III, auch eine Summenfunktion erreicht werden kann.

**[0064]** Während des nun folgenden zweiten photolithographischen Maskierungsverfahrens kommt wieder dieselbe Maske mit dem Tastverhältnis  $1/3$  zum Einsatz, wobei diese jedoch um den dritten Teil der Gesamtperiode  $p$  nach rechts verschoben wurde.

**[0065]** In einem weiteren Ätzprozeß wird der Mehrschichtaufbau **4** in den unmaskierten Bereichen bis zur zweiten Stoppschicht **2** abgetragen, wodurch in diesen Bereichen die optische Funktion I erreicht wird. In der

Darstellung ist nun ersichtlich, daß das Design des Mehrschichtaufbaus **3** so ausgebildet sein muß, daß gemeinsam mit zwei Stoppschichten **2** eine gewünschte optische Funktion I erreicht wird.

**[0066]** In den maskierten Bereichen, in denen der Mehrschichtaufbau **4** nicht abgetragen wird, bleiben die Funktionen III (Summenfunktion) und II (Einzelfunktion) erhalten. Aus der Darstellung kann entnommen werden, daß auf dem fertiggestellten Element drei verschiedene Bereiche mit den dazugehörigen optischen Funktionen I, II und III entstanden sind. Diese erreichten Funktionen sind die jeweiligen Einzelfunktionen I und II, sowie die Summenfunktion III. Im Design der Einzel- bzw Summenfunktionen sind die optischen Parameter der beiden Stoppschichten **2** jeweils mit einbezogen.

**[0067]** In **Fig. 2b** wird beispielhaft gezeigt, wie durch eine prinzipiell identische Verfahrensweise, welche sich nur durch die Wahl der Maske und der relativen Lage der Masken während des Maskierungsprozesses voneinander unterscheiden, ein Element hergestellt werden kann, auf dem lediglich zwei Bereiche entstehen, in denen die jeweiligen optischen Einzelfunktionen erreicht werden.

**[0068]** Im ersten Teil der Darstellung wird ebenso wie in **Fig. 2a** gezeigt, wie im ersten Iterationsschritt auf ein Substrat **1** eine erste Stoppschicht **2** aus  $MgF_2$  die gesamte Fläche des optischen Elementes übergreifend mit einem PVD-Verfahren aufgebracht wird. Im Anschluß daran wird wieder ein Mehrschichtaufbau **3** mit dem PVD-Verfahren ebenfalls vollflächig auf die Stoppschicht **2** aufgebracht.

**[0069]** Während des photolithographischen Maskierungsverfahrens kommt nun im Unterschied zu dem in **Fig. 2a** beschriebenen Verfahren eine Maske mit einem Tastverhältnis (Lichtdurchlässiger Bereich/Periode) von  $1/2$  zum Einsatz. Dadurch wird beim ersten Strukturierungsprozeß der Mehrschichtaufbau **3** in der Hälfte der vollständigen Periode  $p$  bis zur Stoppschicht **2** abgetragen. Nach diesen Schritten ist ein optisches Element mit zwei verschiedenen Bereichen entstanden. In der maskierten Periodenhälfte ist der Mehrschichtaufbau der Funktionsschicht **3** verblieben und in der anderen ist dieser Mehrschichtaufbau **3** bis zur Stoppschicht **2** abgetragen.

**[0070]** Beim Beschichtungsprozeß im zweiten Iterationsschritt wird zunächst wieder auf die gesamte Fläche des optischen Elementes eine weitere Stoppschicht **2** und auf diese ein zweiter Mehrschichtaufbau als Funktionsschicht **4** aufgebracht. Dabei ist das Design des Mehrschichtaufbaus **4** so ausgebildet, daß durch die Stoppschichten **2** und den Mehrschichtaufbau **4** eine gewünschte optische Funktion II erreicht wird. Im Gegensatz zu dem in **Fig. 2a** dargestellten Verfahren muß das Design des zweiten Mehrschichtaufbaus **4** in diesem Beispiel nicht zwangsläufig so gewählt werden, daß durch die Summenfunktion der beiden Mehrschichtaufbauten **3** und **4** zuzüglich der beiden Stoppschichten **2** eine weitere gewünschte optische Funktion III, als Summenfunktion erreicht wird.

**[0071]** Während des nun folgenden, zweiten photolithographischen Maskierungsverfahrens kommt wieder dieselbe Maske, mit dem Tastverhältnis  $1/2$  zum Einsatz, wobei diese jedoch im Unterschied zu dem in **Fig. 2a** dargestellten Verfahren nun um  $p/2$  nach rechts verschoben wurde.

**[0072]** In einem weiteren Ätzprozess wird der Mehrschichtaufbau **4** in den unmaskierten Bereichen bis zur zweiten Stoppschicht **2** abgetragen, wodurch in diesen Bereichen die optische Funktion I erreicht wird. Hier ist wieder ersichtlich, dass das Design des Mehrschichtaufbaus **3** so ausgebildet sein muss, dass gemeinsam mit den beiden Stoppschichten **2** die gewünschte optische Funktion I erreicht wird.

**[0073]** In den geschützten Bereichen, in denen der Mehrschichtaufbau **4** nicht abgetragen wird, wird in diesem Fall lediglich die zweite optische Einzelfunktion II erreicht. Aus der Darstellung kann entnommen werden, dass ein Element mit zwei verschiedenen Bereichen und den dazugehörigen optischen Funktionen entstanden ist. Diese erreichten Funktionen sind die jeweiligen Einzelfunktionen I und II. Im Design dieser Einzelfunktionen sind die optischen Parameter der beiden Stoppschichten **2** einbezogen.

**[0074]** In **Fig. 3** wird an einem Beispiel die Verfahrensweise zur iterativen Herstellung eines mikrostrukturierten optischen Elementes mit drei Iterationsschritten veranschaulicht. Wieder kann je nach den verwendeten Maskenparametern eine Vielzahl optischer Summen- bzw. Einzelfunktionen nebeneinander angeordnet werden. Die Anzahl  $A$  von Möglichkeiten der Anordnung ist ebenfalls durch die Formel (1) gegeben. Die Darstellungen in **Fig. 3** beschränken sich lediglich auf das Ausführungsbeispiel mit dem größten Anwendungspotential.

**[0075]** In dieser Darstellung wird nun beispielhaft gezeigt, wie bei einem iterativen Prozeß mit drei Iterations-



schritten durch die Wahl der Maske und der relativen Lage der Maske während der Maskierungsprozesse ein Element hergestellt werden kann, auf dem drei Bereiche entstehen, in denen jeweils eine optische Einzelfunktion erreicht wird.

**[0076]** Im ersten Teil der Darstellung wird gezeigt, wie auf ein Substrat **1** eine erste Stoppschicht **2** aus  $\text{MgF}_2$  die gesamte Fläche des optischen Elementes übergreifend mit einem PVD-Verfahren aufgebracht wird. Im Anschluß daran wird wieder ein Mehrschichtaufbau als Funktionsschicht **3** mit dem PVD-Verfahren ebenfalls vollflächig auf die Stoppschicht **2** aufgebracht. Während des ersten photolithographischen Maskierungsverfahrens wird nun eine Maske mit einem Tastverhältnis (Lichtdurchlässiger Bereich/Periode) von  $2/3$  verwendet. Dadurch wird beim Strukturierungsprozeß des ersten Iterationsschrittes der Mehrschichtaufbau **3** in  $2/3$  der vollständigen Periode  $p$  bis zur Stoppschicht **2** abgetragen. Nach diesen Schritten ist ein optisches Element mit zwei verschiedenen Bereichen entstanden. In dem maskierten Periodendrittel ist der Mehrschichtaufbau **3** verblieben und in den anderen zwei Dritteln ist dieser Mehrschichtaufbau **3** bis zur Stoppschicht **2** abgetragen.

**[0077]** Beim Beschichtungsprozeß des zweiten Iterationsschrittes wird zunächst wieder auf die gesamte Fläche des optischen Elementes eine weitere Stoppschicht **2** und auf diese ein zweiter Mehrschichtaufbau als Funktionsschicht **4** aufgebracht. Während des nun folgenden zweiten photolithographischen Maskierungsverfahrens kommt dieselbe Maske mit dem Tastverhältnis  $2/3$  zum Einsatz, wobei diese jedoch im Unterschied zum ersten Iterationsschritt um  $p/3$  nach rechts verschoben wurde.

**[0078]** Im zweiten Ätzprozeß wird der Mehrschichtaufbau **4** in den unmaskierten Periodendritteln bis zur zweiten Stoppschicht **2** abgetragen, wodurch hier zwei verschiedene Bereiche entstehen. Im ersten Bereich ist der Mehrschichtaufbau **3** zwischen zwei Stoppschichten **2** freigelegt und im zweiten Bereich lediglich die beiden übereinander angeordneten Stoppschichten **2**. Im geschützten Periodendrittel sind der Mehrschichtaufbau **4** und die beiden unter diesen liegenden Stoppschichten **2** erhalten geblieben.

**[0079]** Beim Beschichtungsprozeß des dritten und letzten Iterationsschrittes wird wieder auf die gesamte Fläche des optischen Elementes die Stoppschicht **2** und auf diese ein dritter Mehrschichtaufbau **5** aufgebracht. Während des nun folgenden dritten photolithographischen Maskierungsverfahrens kommt wieder dieselbe Maske zum Einsatz, wobei diese ein weiteres Mal um  $p/3$  nach rechts verschoben wurde. Im dritten Ätzprozeß wird der Mehrschichtaufbau der Funktionsschicht **5** in den ungeschützten Bereichen bis zur dritten Stoppschicht **2** abgetragen, wodurch nun drei verschiedene Bereiche entstehen. Im ersten Bereich entsteht die gewünschte optische Funktion I. In der Darstellung ist erkennbar, dass diese hauptsächlich durch den Mehrschichtaufbau **3** bestimmt ist. Beim Design müssen jedoch drei Stoppschichten **2** (eine unterhalb des Mehrschichtaufbaus **3** und zwei weitere darüber) berücksichtigt werden.

**[0080]** Im zweiten Bereich entsteht eine weitere gewünschte optische Funktion II, welche hauptsächlich durch den Mehrschichtaufbau **4** bestimmt ist. Beim Design müssen jedoch auch hier wieder die drei Stoppschichten **2** (zwei unterhalb des Mehrschichtaufbaus **3** und eine weitere darüber) berücksichtigt werden.

**[0081]** Die dritte und letzte gewünschte optische Funktion III entsteht im dritten Bereich. Diese ist hauptsächlich durch den Mehrschichtaufbau **5** bestimmt. Beim Design müssen die drei Stoppschichten jedoch ein weiteres Mal berücksichtigt werden, welche hier alle unterhalb des Mehrschichtaufbaus **5** angeordnet sind.

**[0082]** Bei dem in der **Fig. 4** gezeigten Beispiel wird gezeigt, wie auf je zwei Substraten **1** eine erste Stoppschicht **2** aus  $\text{MgF}_2$  die gesamte Fläche des optischen Elementes übergreifend mit einem PVD-Verfahren aufgebracht wird. Im Anschluss daran wird mit einem PVD-Verfahren auf ein Substrat ein Mehrschichtaufbau als Funktionsschicht **3** und auf das andere ein Mehrschichtaufbau als Funktionsschicht **4** ebenfalls vollflächig auf die jeweilige Stoppschicht **2** aufgebracht. Mittels einem photolithographischen Maskierungsverfahren und einem Trockenätzprozess werden die beiden Mehrschichtaufbauten **3** und **4** teilweise auf der jeweiligen optisch nutzbaren Fläche entfernt. Anschließend werden die beiden mit strukturierten Mehrschichtaufbauten **3** und **4** versehenen Substrate unter Verwendung eines optischen Kittes **6** so miteinander verbunden, daß die Mehrschichtaufbauten **3** und **4** zueinanderweisen. In der dargestellten Anordnung können so zwei optische Einzelfunktionen I und III sowie deren Summenfunktion II erreicht werden.

**[0083]** Die Anzahl der optischen Funktionen kann jedoch auch weiter erhöht werden, wenn weitere Funktionsschichten, wie dies bei den anderen Beispielen bereits beschrieben worden ist, entsprechend iterativ aufgebracht worden sind.

**[0084]** Es kann aber auch ein Element hergestellt werden, das abwechselnd reflektierende oder entspiegelte

Bereiche aufweist (siehe **Fig. 5**).

**[0085]** Zur Herstellung des in **Fig. 5** gezeigten Beispiels eines erfindungsgemäßen optischen Elementes wird in einem ersten Schritt ein Substrat **1**, mit einem PVD-Verfahren mit einem antireflektierenden Schichtaufbau **7** beschichtet, wobei die letzte Schicht des Systems eine gegenüber dem Trockenätzverfahren resistente Stoppschicht **2** aus  $\text{MgF}_2$  ist. Als Trockenätzverfahren, kann das reaktive Ionenätzen (RIE) verwendet werden.

**[0086]** Auf die Stoppschicht **2** wird ein  $\lambda/4$  Wechselschichtsystem (HR), also ein hochreflektierender Schichtaufbau **8** aufgebracht. (Die verschiedenen verwendeten Materialien, mit den zugehörigen geometrischen Maßen, den Brechungsindizes und das gesamte Design des so ausgebildeten Interferenzschichtsystems sind in der nachfolgenden Tabelle aufgenommen.)

$\lambda_0=633 \text{ nm}$	Substrat	H	M	L
Material	BK7	$\text{TiO}_2$	$\text{SiO}_2$	$\text{MgF}_2$
$n(\lambda_0)$	1,51	2,3	1,46	1,34
d	2mm	68nm	109nm	116nm
Design:	Substrat	1L 1M 1L	(1H 1M) <sup>6</sup>	Luft

**[0087]** Im Anschluß hieran wird eine ca. 200 nm dicke Aluminiumschicht aufgesputtert. Diese Schicht wird bei der nachfolgenden Strukturierung als Maske verwendet, wenn ein nachfolgend aufzubringendes Photoresist vollständig abbrennen sollte.

**[0088]** Nach der Beschichtung mit dem Photoresist wird dieser getempert, maskiert, belichtet und entwickelt.

**[0089]** Im Anschluß an diese Verfahrensgänge wird die Aluminiummaske naßchemisch entfernt, um das Schichtsystem freizulegen.

**[0090]** Der folgende achte Verfahrensschritt, ist das Abtragen des dielektrischen HR-Systems **8**, mit dem bereits genannten RIE-Verfahren, wobei eine HF-Leistung von 300 W, ein Prozeßdruck von 300 m Torr, als Prozeßgase  $\text{CF}_4/\text{O}_2$ , eine Biasspannung von -300 V und eine Prozeßzeit von 18 min eingehalten werden. Der Trockenätzprozeß bricht selbständig bei Erreichen der Stoppschicht **2** ab.

**[0091]** Nach dem Ablösen der restlichen Resistschicht und dem naßchemischen Entfernen der Aluminiummaske ist das mikrostrukturierte Interferenzschichtsystem, das zwei optische Funktionen aufweist, nämlich eine antireflektierende und eine hochreflektierende, fertiggestellt.

**[0092]** Der fertige Aufbau eines so ausgebildeten mikrostrukturierten optischen Elementes, das eine hochreflektierende und eine antireflektierende Funktion in Teilen der optisch wirksamen Fläche des Interferenzschichtsystems aufweist, ist in der **Fig. 5** schematisch dargestellt. Dabei ist auf einem Substrat **1** ein Schichtaufbau **7** für die antireflektierende Funktion abgeschieden, wobei dessen oberste Schicht als Stoppschicht **2** aus  $\text{MgF}_2$  besteht und auf die Stoppschicht **2** ein zweiter Schichtaufbau **8** aufgebracht ist, der allein oder in Kombination mit dem Schichtaufbau **7** die hochreflektierende Funktion aufweist. Das in diesem Beispiel ausgebildete Interferenzschichtsystem hat jeweils zwei Bereiche der optischen Fläche, die jeweils hochreflektierend oder antireflektierend sind. Die geometrischen Verhältnisse sind jedoch nicht auf diesen Fall beschränkt und können durch eine geeignete Wahl der Masken an die verschiedensten Anwendungsfälle, sowohl in Geometrie als auch in der Anzahl angepaßt werden.

**[0093]** Das Verfahren zur Herstellung es erfindungsgemäßen optischen Elementes zeichnet sich weiter vorteilhaft dadurch aus, daß der in Teilbereichen durch das Trockenätzverfahren abgetragene Schichtaufbau **3** bestehend aus mindestens einer dielektrischen Schicht so entfernt wird, daß die laterale Ausdehnung der durch die Strukturierung entstehende Kante minimal, bzw. gleich null ist (**Fig. 6a**), d.h., die Kanten werden vorzugsweise senkrecht und der Winkel  $\alpha$  wird damit zu  $90^\circ$ . Dieses Verfahrenskennzeichen ist wesentlich durch die Anisotropie des Ätzverfahrens sowie durch die Wahl der Prozeßparameter bestimmt. Durch die erreichten senkrechten Kanten werden die gewünschten optischen Funktionen über die vollständige ihnen zugeordneten

Flächen eindeutig erreicht.

**[0094]** Bei einer ungünstigen Wahl der Prozeßparameter während des RIE-Prozesses kann der Schichtaufbau **3** innerhalb eines bestimmten Bereiches nahe der Maske nicht vollständig entfernt werden (**Fig. 6b**). Isotrope Ätzverfahren hingegen führen i.a. zu einem Unterätzen in der Größenordnung der zu erreichenden Ätztiefe  $t$  (**Fig. 6c**). In beiden Fällen wird durch den Ätzprozeß ein Bereich  $a$  ausgebildet, in dem die Schichtaufbauten nicht vollständig vorhanden sind und die gewünschten optischen Funktionen somit nicht erreicht werden.

**[0095]** Erst durch das Erreichen von einem Kantenwinkel  $\alpha = 90^\circ$  werden iterative Prozesse ermöglicht, die eine Anordnung von mehreren verschiedenen optischen Funktionen zulassen, welche über die vollständige ihnen zugeordnete Fläche ausgebildet sind.

**[0096]** Die steilen Kantenwinkel ( $\approx 90^\circ$ ) werden hauptsächlich durch die richtige Wahl des Drucks während des RIE-Prozesses erreicht. Einerseits wird durch eine Verringerung des Prozeßdrucks der anisotrope Charakter der Ätzung erhöht, was zu steilen Kanten führt. Andererseits wird durch diese Maßnahme auch der physikalische Aspekt des Prozesses verstärkt (es handelt sich dann mehr um einen Sputterprozeß als um einen reaktiven Prozeß), was zu erhöhten Schichtrauigkeiten und damit optischen Verlusten an der Stoppschicht führen kann. Zwischen beiden Effekten gilt es abzuwägen, um den optimalen Prozessdruck zu finden. Einen weiteren positiven Einfluss auf die Kantenform hat die während des Ätzprozesses vorgenommene Kühlung des Substrates.

### Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung eines optischen mikrostrukturierten Elements aus dielektrischen Interferenzschichten, bei dem

- a) mindestens eine gegenüber dem Trockenätzverfahren resistente und damit als Ätzstoppschicht (**2**) wirkende optische Interferenzschicht aus  $\text{MgF}_2$  auf der gesamten Fläche des optischen Elements ausgebildet wird,
- b) auf der  $\text{MgF}_2$ -Schicht ganzflächig ein Schichtaufbau aus einer oder mehreren gegenüber dem Trockenätzverfahren nicht resistenten optischen Interferenzschicht bzw. -schichten aufgebracht wird, wobei bei der Auslegung dieses Schichtaufbaus die optischen Parameter der  $\text{MgF}_2$ -Schicht berücksichtigt werden, so dass die  $\text{MgF}_2$ -Interferenz- und Ätzstoppschicht und der auf diese aufgebrachte Schichtaufbau ein Interferenzschicht-System bilden,
- c) der Schichtaufbau unter Einsatz eines photolithographischen Maskierungsprozesses mit dem Trockenätzverfahren unter Verwendung fluoridischer Ätzgase in den nicht maskierten Teilbereichen bis zur  $\text{MgF}_2$ -Ätzstoppschicht entfernt wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem zunächst ganzflächig ein Schichtaufbau aus mindestens einer dielektrischen Interferenzschicht auf ein Substrat aufgebracht und dann die Verfahrensfolge gemäß den Schritten a) bis c) ausgeführt wird, wobei die im Schritt a) auf den Schichtaufbau aufgebrachte  $\text{MgF}_2$ -Interferenz- und Ätzstoppschicht die letzte Schicht des auf das Substrat aufgebrachten Schichtaufbaus ist.

3. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem die Verfahrensfolge gemäß den Schritten a) bis c) mehrfach nacheinander durchgeführt wird.

4. Verfahren nach Anspruch 3, bei dem

- bei der ersten Verfahrensfolge die  $\text{MgF}_2$ -Schicht beim Schritt a) ganzflächig direkt auf ein Substrat aufgebracht wird und
- bei einer anschließenden zweiten Verfahrensfolge beim Schritt a) die  $\text{MgF}_2$ -Interferenz- und Ätzstoppschicht ganzflächig auf die strukturierte Oberfläche aufgebracht wird und der beim Schritt b) aufgebrachte zweite Schichtaufbau beim anschließenden Schritt c) in den nicht maskierten Teilbereichen bis zur zweiten  $\text{MgF}_2$ -Ätzstoppschicht entfernt wird.

5. Verfahren nach Anspruch 4, bei dem bei einer anschließenden dritten Verfahrensfolge

- beim Schritt a) die  $\text{MgF}_2$ -Interferenz- und Ätzstoppschicht ganzflächig auf die strukturierte Oberfläche aufgebracht wird und
- der beim Schritt b) aufgebrachte dritte Schichtaufbau beim anschließenden Schritt c) in den nicht maskierten Teilbereichen bis zur dritten  $\text{MgF}_2$ -Ätzstoppschicht entfernt wird.

6. Verfahren nach Anspruch 4 oder 5, bei dem der zweite und/oder dritte Schichtaufbau beim Schritt c) zu-

mindest teilweise in Bereichen entfernt wird, in denen der bzw. die vorher strukturierten Schichtaufbauten nicht abgetragen wurden.

7. Verfahren nach Anspruch 4 bis 6, bei dem einer der Schichtaufbauten in Teilbereichen, in denen der bzw. die vorher strukturierte(n) Schichtaufbau(ten) nicht abgetragen wurde, ebenfalls nicht abgetragen wird, so dass das optische Element außer Bereichen, in denen nur ein Schichtaufbau verblieben ist, auch Bereiche aufweist, in denen mehrere jeweils durch eine  $\text{MgF}_2$ -Ätzstoppschicht getrennte Schichtaufbauten übereinander angeordnet sind.

8. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem im Schritt a) die  $\text{MgF}_2$ -Interferenz- und Ätzstoppschicht ganzflächig direkt auf ein Substrat aufgetragen wird.

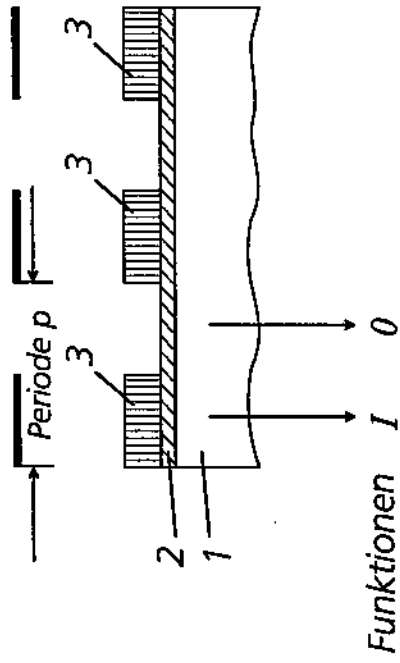
9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem bei dem Schritt c) der Schichtaufbau mit dem Trockenätzverfahren bis zur Ätzstoppschicht derart abgetragen wird, dass die freigelegte Fläche der Ätzstoppschicht und die Fläche der Kante des Schichtaufbaus einen Winkel von annähernd  $90^\circ$  einschließen.

10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem auf einem ersten Substrat ein erstes und auf einem zweiten Substrat ein zweites mikrostrukturiertes optisches Element hergestellt wird, wobei die strukturierten Schichtaufbauten auf den beiden Substraten unterschiedliche optische Eigenschaften aufweisen, und bei dem die beiden Substrate miteinander in einer Anordnung verbunden werden, in der sich die strukturierten Schichtaufbauten zumindest teilweise nicht überdecken.

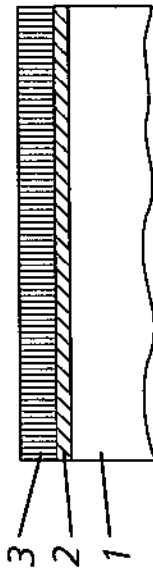
Es folgen 7 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

1. Iterationsschritt (Strukturieren)

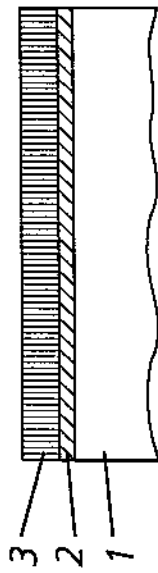


1. Iterationsschritt (Beschichten)

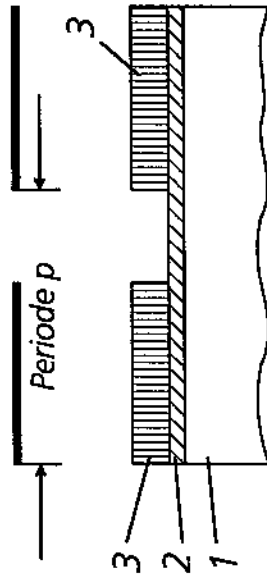


Figur 1

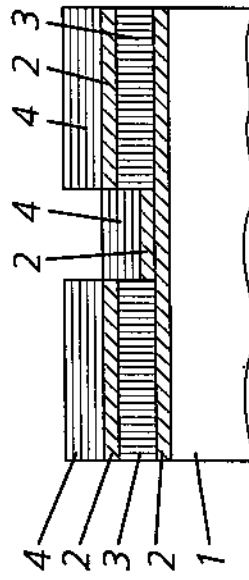
1. Iterationsschritt (Beschichten)



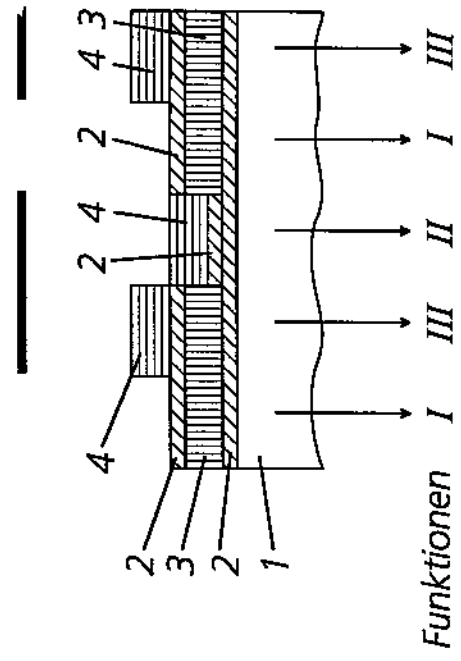
1. Iterationsschritt (Strukturieren)



2. Iterationsschritt (Beschichten)

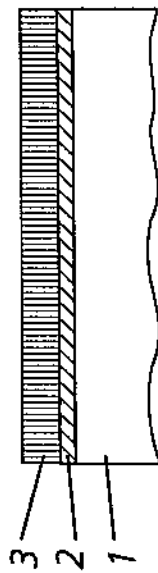


2. Iterationsschritt (Strukturieren)

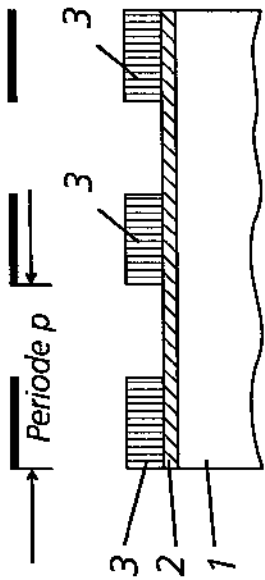


Figur 2a

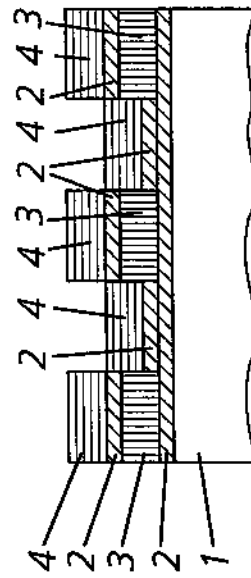
1. Iterationsschritt (Beschichten)



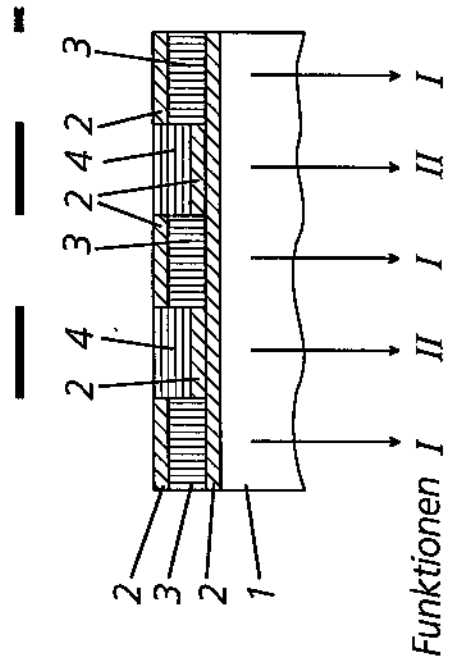
1. Iterationsschritt (Strukturieren)



2. Iterationsschritt (Beschichten)

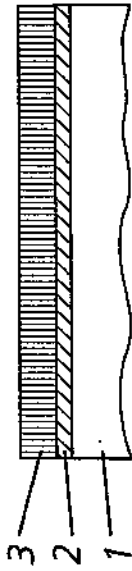


2. Iterationsschritt (Strukturieren)

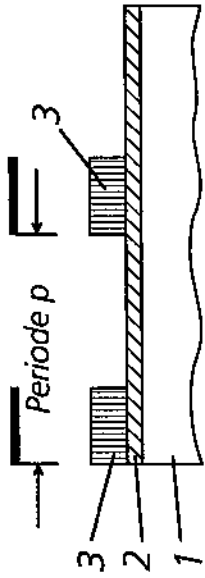


Figur 2b

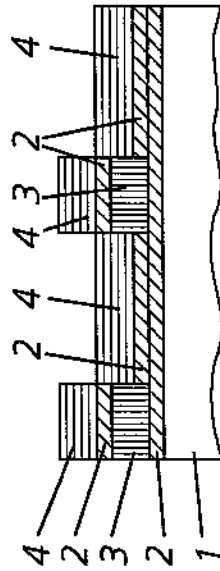
**1. Iterationsschritt (Beschichten)**



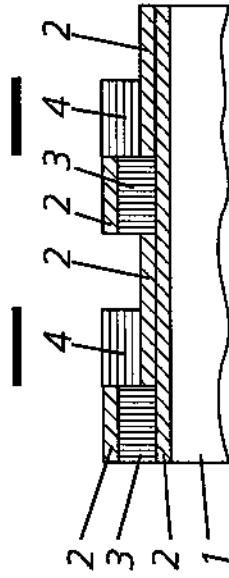
**1. Iterationsschritt (Strukturieren)**



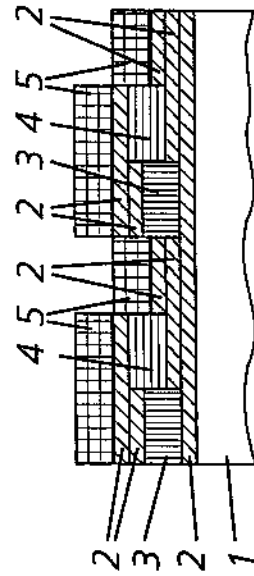
**2. Iterationsschritt (Beschichten)**



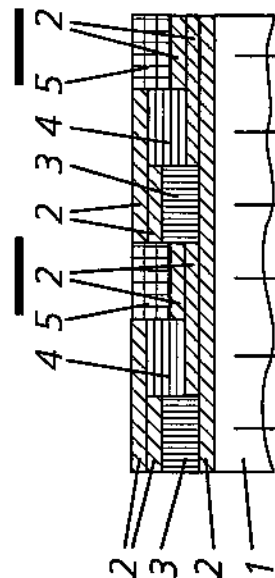
**2. Iterationsschritt (Strukturieren)**



**3. Iterationsschritt (Beschichten)**



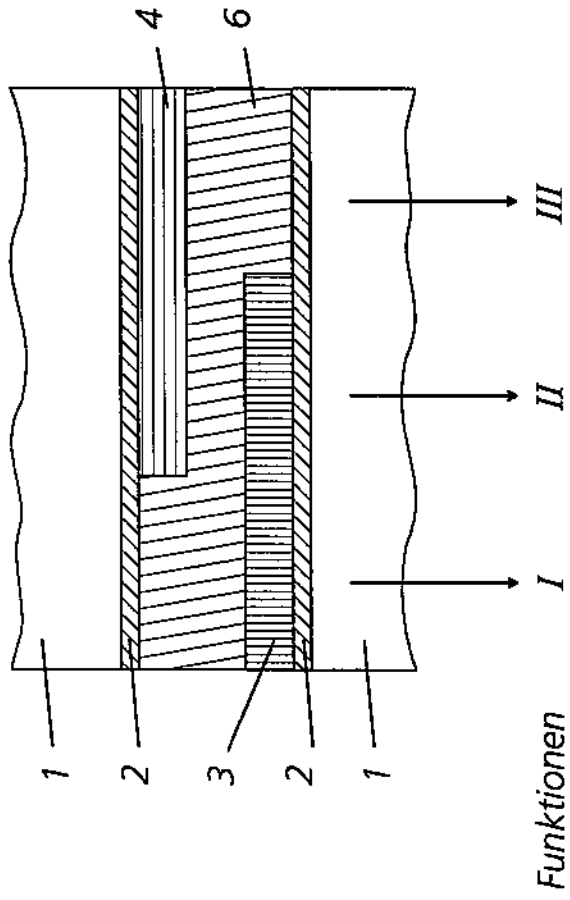
**3. Iterationsschritt (Strukturieren)**



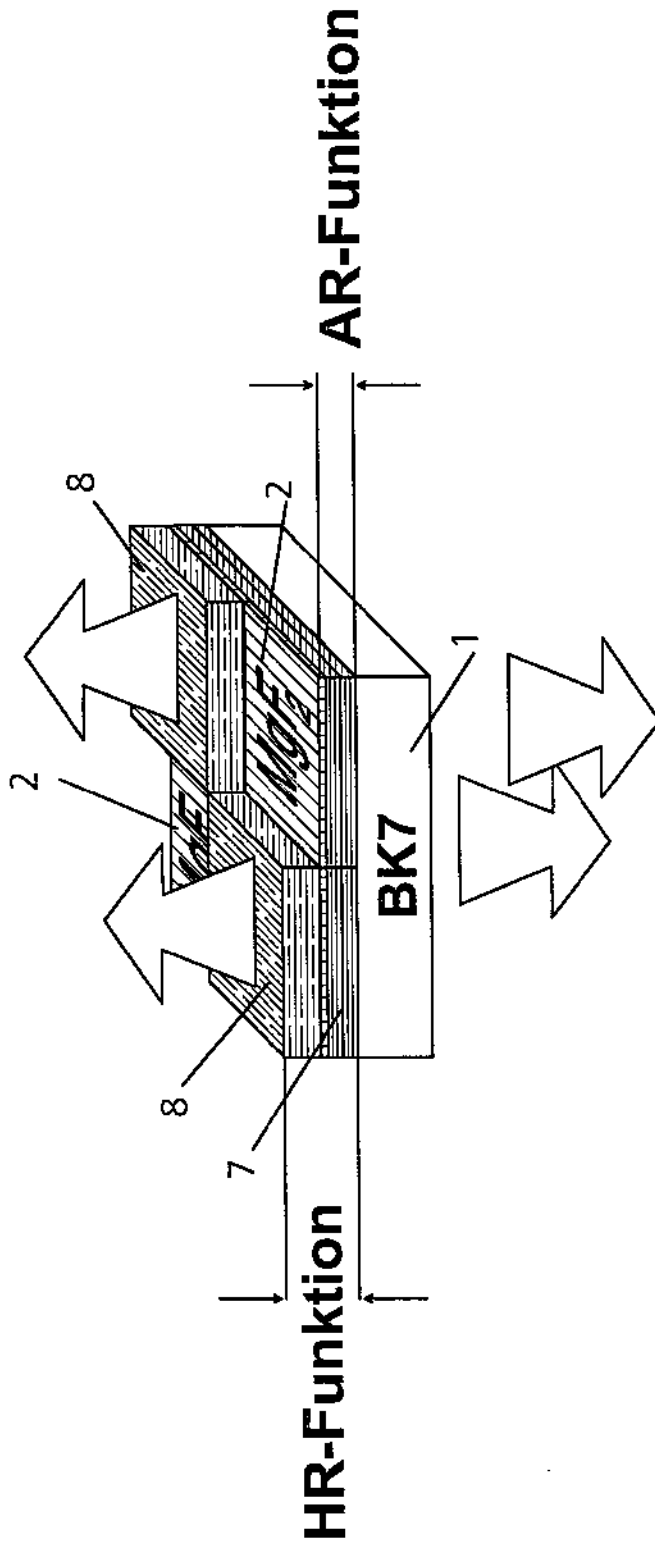
**Figur 3**

Funktionen I II III I II III

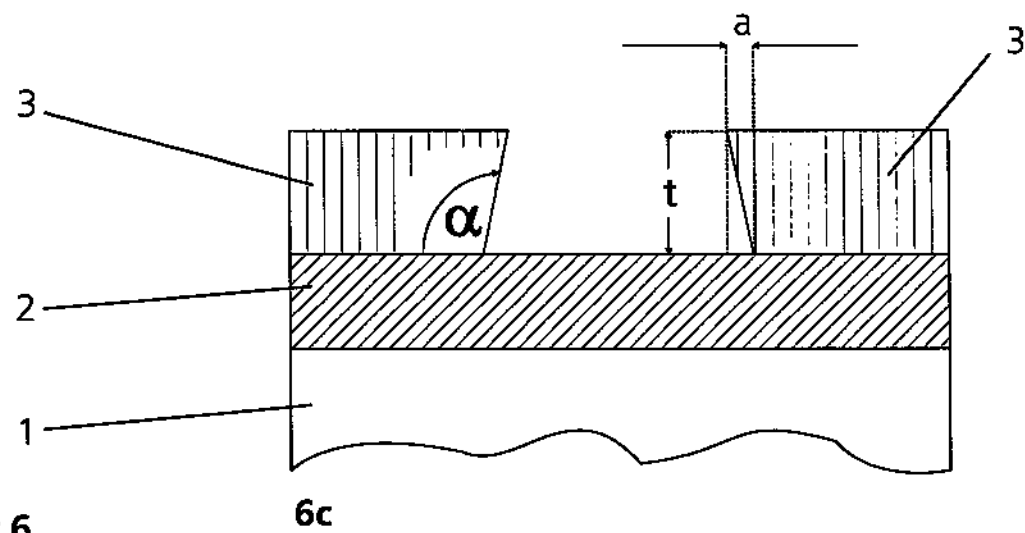
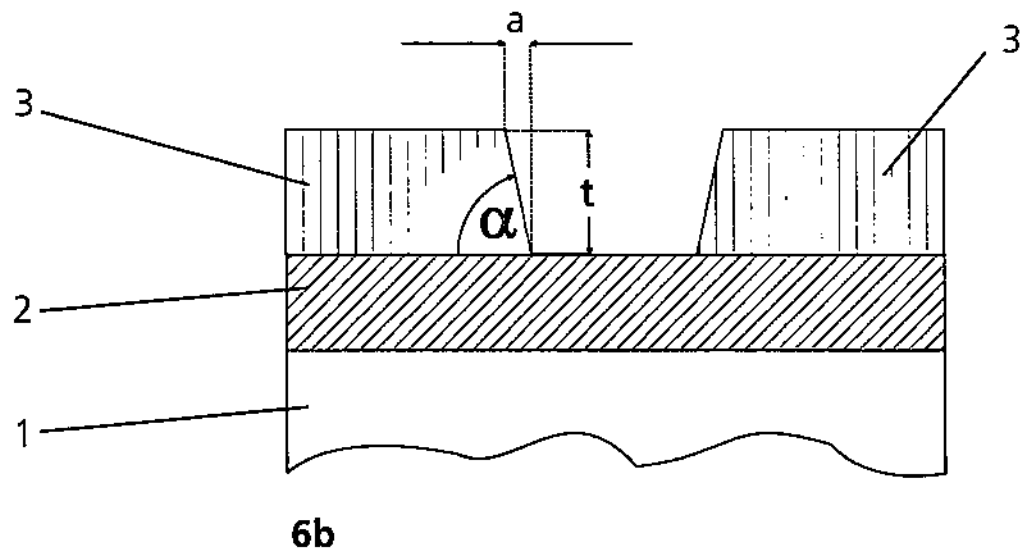
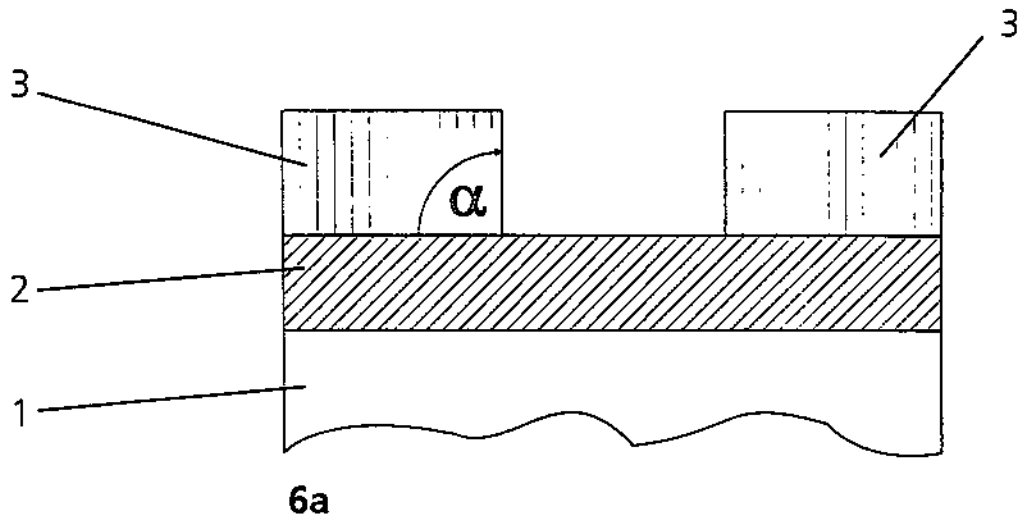




Figur 4



Figur 5



Figur 6