

CH 686 461 A5



19



SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT
EIDGENÖSSISCHES INSTITUT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

11 CH 686 461 A5

51 Int. Cl.⁶: G 03 F 001/08
G 03 F 001/14
H 01 J 037/32
C 23 C 014/08

Erfindungspatent für die Schweiz und Liechtenstein

Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

12 PATENTSCHRIFT A5

21 Gesuchsnummer: 02292/92

73 Inhaber:
Balzers Aktiengesellschaft, 9496 Balzers (LI)

22 Anmeldungsdatum: 21.07.1992

72 Erfinder:
Rudigier, Helmut, Dr. Dipl.-Phys., Bad Ragaz (CH)
Edlinger, Johannes, Feldkirch (AT)

24 Patent erteilt: 29.03.1996

74 Vertreter:
Troesch Scheidegger Werner AG,
Siewerdstrasse 95, Postfach, 8050 Zürich (CH)

45 Patentschrift
veröffentlicht: 29.03.1996

54 **Verfahren zur Herstellung eines Bauelementes, optisches Bauelement und Anlage zur Durchführung des Verfahrens.**

57 Es wird ein Verfahren zur Herstellung eines optischen Bauelementes, welches aus einem Trägersubstrat sowie einem Schichtsystem besteht, vorgeschlagen, welches Bauelement eine in ihrer Dicke gestufte, dielektrische Schicht umfasst. Es wird die dielektrische Schicht der Gattung MeO_x auf einer Unterlage aufgebracht, wobei Me, ein Metall der Masse von mind. 44 ist und x so gewählt wird, dass der Absorptionskoeffizient des Schichtmaterials bei Licht von 308 nm höchstens 0,01 beträgt. Die Schicht wird dabei durch reaktives Ätzen in ihrer Dicke gestuft.



CH 686 461 A5

Beschreibung

Die vorliegende Erfindung betrifft

- 5 a) ein Verfahren zur Herstellung eines Bauelementes, insbesondere eines optischen Bauelementes, nach dem Oberbegriff von Anspruch 1.
 Sie betrifft weiter
 b) ein nach dem genannten Verfahren hergestelltes optisches Bauelement nach dem Oberbegriff von Anspruch 26;
 10 c) ein optisches Abbildungssystem mit dem genannten Bauelement nach dem Oberbegriff von Anspruch 35 sowie
 d) eine Vakuumbehandlungsanlage zur Durchführung des genannten Verfahrens nach Anspruch 37.

15 Obwohl das erwähnte Verfahren nach a) und damit auch die erfindungsgemässe Vakuumbehandlungsanlage nach d) sich für die Herstellung einer weiten Palette von Bauelementen eignen, welche aus einem Trägersubstrat sowie mindestens einer dielektrischen Schicht bestehen, die an mindestens einer Stelle auf eine vorgebbare Dicke abzutragen ist, entspringt der Komplex der vorliegenden Erfindung im wesentlichen den Bedürfnissen der Halbleiter-Herstellungstechnologie.

20 Das Strukturieren von dielektrischen Schichten, ebenso wie von metallischen, ist nämlich in der Halbleitertechnologie ein wesentlicher Prozessschritt. Für den Abtrag derartiger dielektrischer Schichten werden dabei verschiedene Methoden eingesetzt.

25 Eine erste Methode, bekannt als «lift-off-Technik», besteht darin, einen Fotolack auf das Substrat aufzubringen und mit dem gewünschten Muster zu belichten, zu entwickeln und zu reinigen. Je nachdem, ob es sich um einen Positiv- oder Negativlack handelt, bleiben die unbelichteten oder die belichteten Stellen des Lackes stehen. Auf das so behandelte Substrat wird ein Schichtsystem aufgebracht und anschliessend der unter den Schichten liegende Lack mit Lösungsmitteln gelöst. Damit wird das Schichtsystem an den Bereichen des Substrates, an welchen der Lack verblieben ist, entfernt. Dabei ist wesentlich, dass das Schichtsystem den Lack vor allem an den Bereichskanten nicht gegen aussen dicht abschliesst, um den Lösungsmittelzutritt nicht zu verunmöglichen.

30 Eine weitere Methode besteht darin, auf das Substrat vorerst das Schichtsystem aufzubringen. Danach wird der Fotolack aufgebracht, belichtet mit dem erwünschten Muster, und entwickelt. Das Schichtsystem wird dadurch an denjenigen Stellen freigelegt, wo es teilweise oder bis hinunter auf das Substrat entfernt werden soll. Letzteres erfolgt durch Beschuss mittels Edelgas-Ionen bei typischen Energiewerten von 1000 eV und einer typischen Ionenstromdichte von ca. 1 mA/cm². Dadurch wird das Schichtmaterial weggeätzt und ebenfalls der Lack. Da die Ätzrate des Lackes im allgemeinen höher ist als diejenige des Schichtsystems, muss im allgemeinen ein dicker Lack aufgebracht werden. Dies, um zu verhindern, dass der Lack weggeätzt ist, bevor die nicht lackbedeckten Stellen auf die erwünschte Tiefe abgetragen sind.

40 Dieses Verfahren wird auch «ion milling» genannt und ist in dem Sinne nicht selektiv, als dass die Ätzraten für Schichtmaterialien gleichen Typs, wie beispielsweise von Metalloxiden, nicht wesentlich verschieden sind. Ein Vorteil dieses ion milling-Verfahrens besteht mithin darin, dass es kein materialspezifisches Verfahren ist.

45 Ein drittes Verfahren ist das reaktive Ätzen (RE, reactive etching). Ausgehend von einem Schichtsystem mit Maske, z.B. aus Fotolack, wie beim ion milling, wird selektiv, je nach abzutragendem Schichtmaterial, ein Gas aktiviert, in dem Sinne, dass daraus reaktive Teilchen erzeugt werden, welche das durch die Maske an bestimmten Stellen freigegebene Schichtmaterial in flüchtige Reaktionsprodukte umwandeln, welche in der Folge abgepumpt werden. Dadurch wird das Schichtsystem entfernt oder abgetragen. Durch geeignete Wahl des aktivierten Gases, im folgenden Reaktivgas genannt, kann erreicht werden, dass nur ein bestimmtes Material selektiv geätzt wird, wodurch eine hohe Selektivität erzielt wird. Dank der hohen Selektivität gegenüber dem Maskenmaterial, beispielsweise dem Fotolack, kann dieses nur dünn aufgebracht werden. Die Ätzraten, welche beim reaktiven Ätzen erzielt werden, können um Dekaden grösser sein als die beim ion milling erzielten Ätzraten, womit letzterwähnte Verfahren im allgemeinen wirtschaftlich vorteilhafter sind als ion milling-Verfahren.

55 Die Aktivierung des Reaktivgases kann auf verschiedene Art und Weise erfolgen, sei dies unmittelbar auf der abzutragenden Oberfläche durch Laserstrahlbeschuss, sei dies, räumlich verteilt, durch Laserstrahleinwirkung, die Einwirkung von Mikrowellenenergie oder von Ionen- bzw. Elektronenstrahlen. Im weiteren kann die Reaktivgasaktivierung in einer Glimmentladung erfolgen, wodurch reaktive Gas-Ionen gebildet werden.

60 Während das reaktive Ätzen durch lokale Lasereinwirkung unter Umständen zu hoher thermischer Belastung des Schichtsystems führen kann, weisen diejenigen Verfahren, bei denen über der abzutragenden Schichtoberfläche eine homogene Dichteverteilung reaktiver Gasspezies erreicht wird, wie insbesondere mittels einer Glimmentladung, gegenüber dem ion milling-Verfahren den weiteren wesentlichen Vorteil auf, dass die Kantenprofile der abgeätzten Oberflächenbereiche besser kontrolliert werden können, in dem Sinne, als sich dabei praktisch ideale vertikale Strukturstufenschritte einstellen lassen.

65 Aus der US-PS 4 684 436 ist es bekannt, ein Muster mittels eines Laserablationsprozesses auf die

Oberfläche eines Werkstückes aufzubringen, indem ein Laserstrahl mittels einer Maske mit örtlich unterschiedlichem Schichtsystem in seiner Intensität moduliert wird. Die Maske umfasst ein dielektrisches Schichtsystem, woran Bereiche zum Erzielen unterschiedlicher Energietransmissionswerte durch das obgenannte ion milling-Verfahren mehr oder weniger tief weggeätzt werden bzw. selektiv eine Anzahl der vorgesehenen Schichten weggeätzt wird. Bezüglich der Schichtstapelstrukturen einer derartigen Maske, welche Strukturen sich, wie erkenntlich werden wird, auch nach dem erfindungsgemässen Vorgehen realisieren lassen, wird der Offenbarungsgehalt dieser Schrift durch Bezugnahme in die vorliegende Beschreibung integriert.

Aus der US-PS 4 923 772 ist es weiter bekannt, für den Einsatz von Exzimerlasern für Laserablationsprozesse, beispielsweise auf einer Lichtwellenlänge von 248 nm arbeitend und wobei für den Ablationsprozess Energiedichten $> 100 \text{ mJ/cm}^2$ notwendig sind, hochreflektierende dielektrische Schichten, die beständig sind in bezug auf hohe Strahlenergieflüsse (laser damage threshold), als Maskenschichtsystem einzusetzen. Die Maske wird mit einem Mehrschichtenstapel gebildet, abwechselnd mit Schichten hochbrechenden und niedrigbrechenden Materials. Als hochbrechendes Material wird vorgeschlagen, Hafniumoxid, Scandiumoxid, Aluminiumoxid oder Thalliumfluorid einzusetzen. Der Oberflächenabtrag am Maskenschichtstapel könne dabei durch ein ion milling-Verfahren, durch Glimmentladungsätzen oder reaktives Ionenätzen realisiert werden, wobei aber die Glimmentladung (Plasma) oder reaktives Ionenätzen langsamer und schwieriger sei bei dielektrischen Schichten, aufgrund der Tatsache, dass das hochbrechende Material dazu neige, nicht reaktiv zu sein. Deshalb werden gemäss dieser Schrift die vorgeschlagenen hochbrechenden Schichten durch ion milling oder durch lift off-Technik strukturiert.

Die vorliegende Erfindung setzt sich zum Ziel, ein Verfahren eingangs genannter Art zu schaffen, welches kostengünstig ist, indem eine hohe Ätzrate und hohe Selektivität gegenüber einem Maskierungsmaterial, wie z.B. Fotolack und/oder Chrom, erzielt wird und dadurch dünne Lackschichten, typischerweise von 500 nm, eingesetzt werden können, auch für hohe abzutragende Dicken der dielektrischen Schicht. Dabei soll weiter die thermische Belastung des Maskierungsmaterials, insbesondere des Fotolackes und/oder Cr, gering bleiben. Im weiteren soll eine gute Stufenprofilkontrolle möglich sein, in dem Sinne, dass im wesentlichen vertikale Stufenwände erzielbar sein sollen.

Dies wird beim Vorgehen nach dem Wortlaut von Anspruch 1 erreicht.

Entgegen den Ausführungen in der US-A 4 923 772 wurde gefunden, dass sich die erfindungsgemäss ausgenützten dielektrischen Schichten ausgezeichnet für reaktives Ätzen eignen und zudem Materialien sind, die auch im UV-Bereich hochbrechend sind. Dadurch, dass erfindungsgemäss solche dielektrische Schichten reaktiv geätzt werden können, wird für diese Materialien ein Profilierungsverfahren mit hoher Selektivität und Ätzrate realisiert, wodurch die oben diskutierten Vorteile des reaktiven Ätzens, und insbesondere beim reaktiven Ionenätzen, die hohe Beherrschbarkeit der Stufenwinkelbildung realisiert wird.

Aus der US-PS 4 440 841 ist es zwar bekannt, Ta_2O_3 reaktiv zu ätzen, d.h. $\text{TaO}_{1.5}$, wobei aber trotz der Wahl von Tantal als Me die Wahl von x nicht die für die Anwendbarkeit für UV-Licht im Wellenlängenbereich $\lambda \leq 308 \text{ nm}$ notwendig kleine Absorption erzielt wird, nämlich $k_{308} \leq 0,01$ oder gar, gemäss Anspruch 2, entsprechend $k_{308} \leq 0,003$. Es soll an dieser Stelle betont sein, dass, obwohl die MeO -Schichten, die erfindungsgemäss geätzt werden, mit ihrem Verhalten im UV-Bereich spezifiziert werden, dies nicht heisst, dass sie nur im UV-Bereich einsetzbar sein sollen, z.B. aufgrund ihrer chemischen Resistenz sollen die beschriebenen und beanspruchten Schichten bzw. Schichtstapel auch in anderen Spektralbereichen, insbesondere im sichtbaren, eingesetzt werden.

Ebenso ist in «Fabrication of mosaic color filters by dry-etching dielectric stacks», B. J. Curtis et al., J. Vac. Sci. Technol. A 4(1), (1986), S. 70, ein reaktiver Ätzprozess für $\text{SiO}_2/\text{TiO}_2$ dielektrische Schichtsysteme beschrieben. Die Masse von Ti ist kleiner als diejenige der Metalle in den Dielektrika gemäss vorliegender Erfindung, und im weiteren kann TiO_2 für UV-Anwendungen im obgenannten Spektralbereich bzw. bereits für $\lambda \leq 350 \text{ nm}$ nicht eingesetzt werden.

Dem Wortlaut von Anspruch 3 folgend, wird in einer bevorzugten Variante beim erfindungsgemässen Verfahren die Schicht aus Ta_2O_5 oder, dem Wortlaut von Anspruch 4 folgend, HfO_2 erstellt. Im weiteren wird für viele Anwendungszwecke, wie beispielsweise für die Herstellung von Masken der in der US-PS-4 684 436 dargestellten Art ein Schichtsystem aufgebracht, bestehend aus mindestens zwei der dielektrischen Schichten, aus im UV-Bereich bei Wellenlängen $\lambda \leq 351 \text{ nm}$, insbesondere bei Wellenlängen $\lambda \leq 308 \text{ nm}$, hochbrechendem Material, mit Schichten in diesem Spektralbereich niedrigbrechenden Materials, wie beispielsweise von SiO_2 -Schichten.

Im weiteren wird bevorzugterweise als zu aktivierendes Gas ein Gas-Chloranteil, vorzugsweise mindestens mit CHClF_2 , eingesetzt, wobei es, gemäss Wortlaut von Anspruch 7, in gewissen Fällen weiter He und/oder CHF_3 und/oder H_2 enthält.

Es kann das hochbrechende Material auch mit einer Kombination der in Anspruch 8 erwähnten Gase geätzt werden.

Wird im weiteren die mindestens eine Schicht hochbrechenden Materials, d.h. die MeO_x -Schicht, vor ihrem Abbau mit einer Schicht niedrigbrechenden Materials, insbesondere von SiO_2 , mindestens teilweise abgedeckt, so ergibt sich die höchst vorteilhafte Möglichkeit, die erwähnte hochbrechende Schicht gleichzeitig als Ätz-Stopp-Schicht einzusetzen, indem die Schicht niedrigbrechenden Materials mit einem

anderen Gas, im wesentlichen ohne Chloranteil, reaktiv geätzt wird, so dass die MeO_x -Schicht nicht geätzt wird oder nur in einem verschwindenden Ausmasse.

Obwohl die Aktivierung des Reaktivgases generell mittels geladener Partikel, wie mittels Elektronen und/oder Ionen, wie beispielsweise aus einer Kaufman-Quelle, und/oder photonen- bzw. laserunterstützt, erfolgen kann, wird bevorzugterweise die Aktivierung des Gases in einer Glimmentladung in einer Vakuumkammer vorgenommen.

Im weiteren wird bevorzugterweise der Gaseinlass gekühlt, womit, zusätzlich zur Kühlung der Trägerfläche für das hergestellte Bauelement, erreicht wird, dass ein Maskierungsmaterial, z.B. ein Lack, nicht unzulässig erwärmt wird, was nachträglich eine bessere Ablösung der Maskenschicht von den nicht abgetragenen Oberflächenbereichen der dielektrischen Schicht ermöglicht.

Um den Ätzprozess im richtigen Zeitpunkt abzubrechen, sei dies, wenn das Schichtsystem mit der mindestens einen dielektrischen Schicht bis auf das Substrat abgetragen ist, oder sei dies, wenn an einem Mehrschichtsystem die Abtragung bis zu einer vorgegebenen verbleibenden Schichtsystemdicke erfolgt ist, können alle bekannten Verfahren eingesetzt werden, insbesondere können ein oder mehrere Ätz-Stopp-Schichten direkt auf dem Substrat, oder zwischen den Schichten des Mehrschichtsystems eingebaut werden, beispielsweise aus Al_2O_3 , wie aber erfindungsgemäss erkannt wurde, insbesondere eine Y_2O_3 -Schicht, die wesentlich weniger geätzt wird als eine Al_2O_3 -Schicht.

In diesem Zusammenhang wurde erkannt, dass mit der Verwendung einer Oberfläche eines mit Erdalkali-Ionen dotierten oder versehenen Materials ein markantes, orangefarbenes Leuchten beim Erreichen dieser Oberfläche durch das reaktive Ionenätzen mittels der Glimmentladung entsteht, was höchst einfach als Abschaltkriterium für den Ätzprozess ausgenützt werden kann. Ein eingesetztes Glas weist weiter gegenüber den Schichtmaterialien eine deutlich niedrigere Ätzrate auf, und letztere wirkt somit automatisch als sog. Ätz-Stopp-Schicht. Dadurch wird ein unzulässig tiefes Hineinätzen in das Glassubstrat verhindert.

Im weiteren können für die Überwachung des Ätzprozess-Fortschreitens auch die bekannten Reflexionsverfahren eingesetzt werden, wozu auf die diesbezüglichen Ausführungen in der US-PS 4 923 772 verwiesen sei, welche diesbezüglich als integrierter Bestandteil der vorliegenden Beschreibung erklärt wird.

Es wird weiter vorgeschlagen, mindestens einen Lichtstrahl von der nicht dem Abtrag ausgesetzten Seite des Bauelementes durch das Substrat gegen die Schicht zu richten und aus Änderungen des reflektierten Strahls auf die verbleibende Schichtdicke zu schliessen. Dies hat den wesentlichen Vorteil, dass die homogene Gaseindüsung behandlungsseitig des Bauteiles nicht für das Eindringen des Lichtstrahls und Auskoppeln des reflektierten Strahls beeinträchtigt werden muss und dass zudem Licht-Ein- und -Auskopplungsöffnungen, gegebenenfalls mit Lichtleitern, dem Abtragprozess nicht ausgesetzt sind, indem sie durch das Bauteil selbst geschützt bleiben.

Ein erfindungsgemässes optisches Bauelement zeichnet sich im weiteren nach dem Wortlaut des kennzeichnenden Teils von Anspruch 26 aus.

Die mindestens eine Schicht am Bauelement absorbiert im UV-Bereich $\lambda \leq 308$ nm praktisch keine Lichtenergie, womit sich dieses Bauelement ausgezeichnet für den Einsatz mit UV-Lasern eignet. Im weiteren kann die Dickenstufung ideal senkrecht zu den jeweiligen Schichtflächen sein, was durch den Einsatz des reaktiven Ionenätzverfahrens realisierbar ist.

Im weiteren wird ein optisches Abbildungssystem nach dem Wortlaut von Anspruch 35 vorgeschlagen.

Es wird dabei vorzugsweise als Laserquelle eine Quelle mit einer Strahlenergiedichte von über 100 mJ/cm^2 eingesetzt, vorzugsweise von über 200 mJ/cm^2 , dabei vorzugsweise gar von über 300 mJ/cm^2 . Dies wird aufgrund des eingesetzten Schichtmaterials MeO_x möglich, wobei aufgrund der durch das erfindungsgemäss eingesetzte reaktive Ionenätzen erzielten präzisen Dickenstufung das optische Abbildungssystem höchst präzise die Energie des Laserstrahls örtlich moduliert.

Die Vakuumbehandlungsanlage zeichnet sich nach dem Wortlaut von Anspruch 37 aus.

Bevorzugte Ausführungsvarianten dieser Anlage sind in den Ansprüchen 38 bis 48 spezifiziert.

Es wird weiter vorgeschlagen, auszunützen, dass ein Substrat, bestehend aus einem Glas mit Erdalkali-Ionen, eine derartige Oberfläche bildet und mithin durch die erwähnte Lichtemissionsdetektion rasch ermittelt werden kann, wann der Ätzprozess lokal das Substrat erreicht.

Weiter wird ausgenützt, dass hochbrechende Schichten, wie insbesondere die erwähnten MeO_x -Schichten, mittels des einen Gases, insbesondere mit Chloranteil, reaktiv geätzt werden, niedrigbrechende Schichten werden hingegen durch andere Gase, wie insbesondere fluorhaltige Gase, geätzt, bei denen die hochbrechenden in nur stark verringertem Masse geätzt werden. Damit wird ermöglicht, eine niedrigbrechende Schicht mit dem erwähnten einen Gas zu ätzen, dies bis zum Erreichen der hochbrechenden Schicht, und schliesslich weiter bis zum vollständigen, homogenen Abtrag der niedrigbrechenden Schicht im erwünschten Bereich, weil für das eine eingesetzte Gas, vorzugsweise im wesentlichen ohne Chloranteil, wie sich heute abzuzeichnen beginnt, die hochbrechende Schicht als Ätz-Stopp-Schicht wirkt. Erstaunlich ist aber, dass die hochbrechenden Schichten, und dies sei betont, auch mit gewissen fluorhaltigen Gasen, insbesondere CHF_3 , ätzbar sind, mit durchaus vernünftigen Ätzraten. Darnach kann gegebenenfalls mit Zuführung eines weiteren Gases, vorzugsweise mit Chloranteil, das Weiterätzen der hochbrechenden Schicht in Angriff genommen werden. Ausnützen der erwähnten Se-

lektivität ermöglicht einen grossflächig vollständigen Abtrag der niedrigbrechenden Schicht, auf der hochbrechenden aufliegend.

Die Erfindung wird nachfolgend anhand von Figuren erläutert.

Es zeigen:

5

Fig. 1 schematisch ein erfindungsgemäss zu bearbeitendes Schichtsystem mit Ätzmaske und Ätz-Stopp-Schicht am Substrat;

Fig. 2 ein Schichtsystem, analog zu demjenigen von Fig. 1, mit eingebetteter Ätz-Stopp-Schicht, beispielsweise um das Schichtsystem auf unterschiedliche Tiefen gestaffelt zu ätzen;

10 Fig. 3 schematisch ein erfindungsgemässes optisches Bauelement, tiefengestaffelt geätzt, mit verbleibenden, noch zu entfernenden Ätzmaskenpartien;

Fig. 4 schematisch ein erfindungsgemässes optisches Abbildungssystem;

Fig. 5 schematisch ein erfindungsgemäss hergestelltes Schichtsystem, bei welchem eine der MeO_x -Schichten selbst als Ätz-Stopp-Schicht eingesetzt wird;

15 Fig. 6 schematisch eine erfindungsgemässe Vakuumbehandlungsanlage;

Fig. 7a ein an der Anlage gemäss Fig. 6 bevorzugterweise eingesetztes, an sich erfindungsgemässes Ätztiefen- bzw. Schichtdicken-Detektionssystem, schematisch dargestellt, und

Fig. 7b das System gemäss Fig. 7a, bei welchem gesendeter und reflektierter Lichtstrahl in der Werkstückträger-Elektrode durch den gleichen Lichtleitkanal geführt werden.

20

In Fig. 1 ist auf einem Substrat 1 ein Schichtsystem 3 dargestellt. Das Schichtsystem 3 umfasst mindestens eine hochbrechende dielektrische Schicht 3H, ist aber für die meisten Anwendungsfälle als Schichtstapel aufgebaut, mit mindestens auch einer niedrigbrechenden Schicht 3L. Die Minimalkonfiguration ist Substrat 1 und eine hochbrechende Schicht 3H.

25

Erfindungsgemäss ist die hochbrechende Schicht 3H aus einer dielektrischen Verbindung MeO_x aufgebaut, wobei

– Me ein Metall mindestens der Masse 44 ist,

30

– x so gewählt wird, dass der Absorptionskoeffizient des Schichtmaterials bei Licht von $\lambda = 308 \text{ nm}$ zu

$$k_{308} \leq 0,01,$$

bevorzugterweise gar zu

35

$$k_{308} \leq 0,003$$

wird.

40

Dadurch wird die Schicht 3H auch für UV-Licht einsetzbar, wobei der kleine Absorptionskoeffizient sicherstellt, dass auch bei UV-Wellenlängen $\leq 308 \text{ nm}$ hohe Leistungen transmittiert werden können, ohne dass die Zerstörungsschwelle des dielektrischen Materials erreicht wird.

Als niedrigbrechende Schicht 3L wird vorzugsweise eine SiO_2 -Schicht eingesetzt.

45

Bei 7 ist eine in bekannter Art und Weise gebildete Ätzmaske dargestellt, auf der obersten Schicht 3H oder 3L aufliegend, die z.B. eine Fotolackschicht 7a und/oder eine Metallschicht 7b aus Cr, Al oder auch aus Fe_2O_3 umfassen kann. Die Maske 7 wurde auf bekannte Art und Weise, Entwickeln des Fotolackes, Ätzen der Metallschicht oder dergleichen, gebildet.

50

Bei 11 ist weiter gestrichelt eine Ätz-Stopp-Schicht eingetragen, insbesondere aus Y_2O_3 , welche beim noch zu beschreibenden Ätzen der freigesetzten Bereiche 3a verhindern soll, dass das Substrat 1 angeätzt wird. Dies aufgrund der selektiven Wirkung des Reaktivätzens, bei welchem an der Struktur gemäss Fig. 1 nur die das Schichtsystem 3 bildenden Schichtmaterialien geätzt werden. Eine Ätz-Stopp-Schicht analog der Schicht 11 kann überall dort im Schichtsystem eingebaut werden, wo der Ätzvorgang ab- oder unterbrochen werden soll.

55

In weitaus bevorzugter Weise wird als hochbrechendes Schichtmaterial der Schichten 3H Ta_2O_5 oder HfO_2 eingesetzt. Diese Schichtmaterialien eignen sich ausgezeichnet für den erwähnten Einsatz im UV-Lichtbereich, lassen sich aber selbstverständlich auch bei längerwelligem Licht einsetzen.

60

Soll der dielektrische Schichtstapel 3 nicht bis auf das Substrat 1 durch den reaktiven Ätzprozess abgetragen werden, so wird, wie in Fig. 2 dargestellt ist, zwischen einem oberen Teil des Schichtsystems 30 und einem unteren, 3u, eine etch-Stoppschicht 11, wie insbesondere aus Y_2O_3 , eingeführt. Entsprechend werden dann, wenn der dielektrische Schichtstapel auf unterschiedliche Niveaus abgetragen werden soll, mehrere Ätz-Stopp-Schichten 11 eingelegt und, wie bekannt, nach Erreichen der ersten Ätz-Stopp-Schicht, durch Wiederauftrag einer Ätzmaske, wie aus Fotolack und deren Entwicklung, an der Ätz-Stopp-Schicht von der neuerlich aufgetragenen Maskenschicht freigelassene Bereiche gebildet, sei dies durch entsprechendes Ätzen oder mittels einer Nasstechnik, worauf dann der darunterliegende dielektrische Schichtstapel 3 weitergeätzt wird, bis gegebenenfalls zum Erreichen einer weiteren Ätz-Stopp-Schicht etc.

65

Gegebenenfalls kann die in Fig. 1 bzw. 2 eingetragene Metallschicht 7b entfallen und die Maskierung lediglich mittels der Fotolackschicht 7a vorgenommen werden. Weiter kann auch nach Entwickeln der Lackschicht 7a, Wegätzen der Metallschicht 7b, z.B. aus Cr, die verbleibende Lackschicht entfernt werden und nur die verbleibende Metallschicht als Ätzmaske verwendet werden.

5 In Fig. 3 ist beispielsweise ein erfindungsgemässes optisches Bauelement dargestellt, an welchem das dielektrische Schichtsystem 3 auf zwei Niveaus lokal abgetragen wurde, wobei der Fotolack 7₁ bis 7₃ sowie die Ätz-Stopp-Schichten 11₁ und 11₂ als letztes noch zu entfernen sind. Ein erfindungsgemässes optisches Bauelement umfasst in seiner Minimalstruktur einen Träger 1 sowie eine Schicht 3H gemäss Fig. 1 und kann mit weiteren Schichten beliebig und auf bekannte Art und Weise weitergebildet sein.

10 Aufgrund der geringen Absorption des erfindungsgemäss eingesetzten, hochbrechenden Materials, insbesondere aus Ta₂O₅ oder HfO₂, werden optische Bauelemente realisierbar mit hochpräzisen Strukturierungskanten, die sich ausgezeichnet eignen, zusammen mit UV-Lasern, Exzimer-Lasern hoher Energie, eingesetzt zu werden, wie beispielsweise für die Laserablationstechnik bei der Materialbearbeitung, insbesondere bei der Halbleiterproduktion. Dabei werden Leistungsdichten einsetzbar über 15 100 mJ/cm², bevorzugterweise über 200 mJ/cm² oder gar über 300 mJ/cm².

Ein erfindungsgemässes optisches Abbildungssystem ist in Fig. 4 schematisch dargestellt und umfasst einen Exzimer-Laser 15, in dessen Strahlengang ein erfindungsgemässes optisches Bauelement 17 als Maske eingesetzt ist, derart, dass ein durch Laserablation zu strukturierendes Werkstück 19 aufgrund der maskenbedingten, lokal unterschiedlichen Laserenergietransmission, wie schematisch dargestellt, strukturiert wird.

15 In Fig. 5 ist ein Schichtsystem dargestellt, mit einer Ätzmaske 7, darunter einer Schicht 3L niedrigbrechenden Materials und einer weiteren Schicht 3H hochbrechenden Materials. Die letzterwähnte besteht aus dem spezifizierten Material MeO_x. Die Schicht niedrigbrechenden Materials ihrerseits besteht vorzugsweise aus SiO₂. Am schematisch dargestellten Ätzprofil (a) ist das Ätzen der Schicht 3L entsprechend der Maske 7 dargestellt. Dieses reaktive Ätzen erfolgt mit einem Reaktivgas G, das, wie sich heute abzeichnet, vorzugsweise mindestens im wesentlichen kein Chlor enthält, sondern bevorzugterweise Fluor. Mittels des einen Reaktivgases kann die Schicht 3H nicht oder nur unwesentlich geätzt werden, womit diese Schicht als Ätz-Stopp-Schicht für den Ätzprozess der Schicht 3L wirkt.

20 Im Falle eines reaktiven Ätzprozesses wird trotz Erreichens der Oberfläche der Schicht 3H mit dem vorzugsweise fluorhaltigen Reaktivgas weitergeätzt, bis die Schicht 3L entsprechend der Maske 7 von der Oberfläche der Schicht 3H völlig weggeätzt ist. Nun kann der Bearbeitungsvorgang abgeschlossen sein, wenn nämlich nicht beabsichtigt ist, die Schicht 3H ebenfalls zu ätzen, oder es wird das Reaktivgas geändert, indem nun ein anderes, vorzugsweise chlorhaltiges Gas eingesetzt wird, wie mit G(Cl) schematisch angedeutet. Möglicherweise können auch die Prozessparameter geändert werden.

25 In Fig. 6 ist schematisch eine erfindungsgemässe Vakuumbehandlungsanlage dargestellt, ausgelegt zur Durchführung des im Rahmen des erfindungsgemässen Verfahrens durchzuführenden Ätzprozesses. Wie erwähnt wurde, kann die Strukturierung im Rahmen des erfindungsgemässen Verfahrens grundsätzlich mit verschiedenen Reaktivätzprozessen durchgeführt werden. Bevorzugterweise wird aber reaktives Ionenätzen mit Hilfe einer Glimmentladung eingesetzt. Hierzu weist die Anlage gemäss Fig. 6 in einem Vakuumrezipienten 20 eine über ein Leitungssystem 22 wassergekühlte Werkstückträger-Elektrode 24 auf. Die Werkstückträger-Elektrode 24 für das Werkstück 25 ist bezüglich der Wandung des Rezipienten 20, wie schematisch bei 26 dargestellt, elektrisch isoliert montiert. Zentrisch unter der Werkstückträger-Elektrode 24 ist der mit einer Turbomolekularpumpe 28 verbundene Saugstutzen 30 angeordnet, dessen Pumpquerschnitt mittels einer Irisblende 32 und über eine Verstelleinheit 34 hierfür 30 verstellbar werden kann.

Der Werkstückträger-Elektrode 24 gegenüberliegend ist eine über ein Leitungssystem 36 vorzugsweise wassergekühlte Gegenelektrode 37 vorgesehen. An ihrer dem Werkstück 25 gegenüberliegenden Fläche sind, regelmässig verteilt, Gasauslassöffnungen 40 vorgesehen, welche mit einem Gasverteilsystem 38 und einer Gaszuführleitung 42 kommunizieren. Letztere ist über Durchfluss-Regelorgane 44 mit ein oder mehreren Gasvorräten 46 verbunden. Mit den Stellgliedern 44 wird die jeweilige Durchflussmenge bzw. die Reaktivgas-Zusammensetzung gestellt bzw. geregelt. Aus Gründen der Sauberkeit ist es durchaus möglich, die Anlagekonfiguration vertikal oder mit Werkstückträger-Elektrode obenliegend auszubilden.

35 Wie erwähnt wurde, wird oder werden die hochbrechenden Schichten des Schichtstapels gemäss den Fig. bis 3 bevorzugterweise mit einem chlorhaltigen Gas als Reaktivgas geätzt. Damit umfassen die Vorräte 46, wie mit dem Vorrat 46a dargestellt, ein chlorhaltiges Gas, bevorzugterweise CHClF₂, gegebenenfalls zusätzlich He bzw. CHF₃ bzw. H₂. Dieser Vorrat 46a kann im weiteren eine Kombination aus den Gasen Cl₂, H₂, F₂ oder CF₄ umfassen, welches Kombinationsgas auch aus mehreren Gasvorräten gemischt der Behandlungskammer zugeführt werden kann. Die niedrigbrechenden Schichten, insbesondere aus SiO₂, am Schichtstapel gemäss den Fig. 1 bis 3 sind auch mittels eines Reaktivgases ätzbar, das im wesentlichen kein Chlor enthält, sondern beispielsweise und vorzugsweise fluorhaltig ist.

40 Mithin wird mit einem zweiten Gasvorrat 46b gemäss Fig. 6 bevorzugterweise das letzterwähnte, nicht chlorhaltige, sondern fluorhaltige Gas bereitgestellt. Damit kann, wie noch erläutert werden wird und gemäss Fig. 5, jeweils eine Schicht niedrigbrechenden Materials mit dem fluorhaltigen Gas aus 65

dem Vorrat 46b geätzt werden, nach deren Abätzen, bis auf die nächstuntere, hochbrechende Schicht, letztere dann durch Zuführen eines anderen, vorzugsweise eines chlorhaltigen Gases in den Prozessraum P geätzt werden.

5 Am dargestellten Beispiel wird die Werkstückträger-Elektrode 24 mittels eines Hf-Generators 48 über ein Entkopplungsnetzwerk 50 gespiesen, bezogen auf Masse, worauf beispielsweise auch der Rezipient 20 geschaltet ist. Zur bias-Legung der Werkstückträger-Elektrode kann dem Hf-Signal durch eine Gleichspannungsquelle 52, wiederum über ein Entkopplungsnetzwerk 54, zusätzlich ein einstellbarer DC-Wert zugespiesen werden.

10 Selbstverständlich kann die elektrische Beschaltung in bekannter Art und Weise auch anders vorgenommen werden, indem das Wechselsignal zwischen Werkstückträger-Elektrode 24 und Elektrode 37 geschaltet wird und der Rezipient 20 von den Elektrodenpotentialen unabhängig schwebend oder auf ein Bezugspotential gelegt wird. Unabhängig davon kann die Werkstückträger-Elektrode weiterhin auf DC-bias gelegt sein.

15 Wie erläutert worden ist, ist es beim erfindungsgemäss eingesetzten reaktiven Ätzprozess wesentlich zu detektieren, wann der Abtrag des auf dem Substrat 1 gemäss den Fig. 1 bis 3 aufgebrachten Schichtstapels ein vorgegebenes Mass erreicht hat. Hierzu ist, wie in Fig. 6 schematisch dargestellt, eine Detektoreinheit 56 vorgesehen, die in einer der noch zu beschreibenden Arten das Erreichen einer vorgegebenen Abtragtiefe detektiert und über eine Auswerteeinheit 58 steuernd auf den Ätzprozess eingreift, sei dies, wie dargestellt, auf den Hf-Generator 48 und/oder auf die Durchfluss-Stellglieder 44 für das Reaktivgas bzw. die Reaktivgase.

20 Insbesondere ist es damit möglich, nach dem Ätzen der niedrigbrechenden Schichten mit dem einen Gas, vorzugsweise mit nicht chlor-, sondern bevorzugterweise fluorhaltigem Gas aus dem Vorrat 46b das Reaktivgas zu ändern, vorzugsweise durch Zuführen mindestens eines Chloranteiles bzw. des erwähnten chlorhaltigen Gases und, wie mit Fig. 5 erläutert wurde, die hochbrechende Schicht aus MeO_x zu ätzen. Generell geben die heutigen Resultate dazu Anlass zu vermuten, dass mit einiger Wahrscheinlichkeit die erwähnte Selektivität durch geeignete Wahl des Cl_2/F -Gehaltes sowie gegebenenfalls weiterer Gasanteile erreicht wird.

25 Werden, wie anhand der Fig. 1 bis 3 beschrieben wurde, Ätz-Stopp-Schichten 11 im erfindungsgemäss reaktiv ionengeätzten Schichtstapel vorgesehen, so detektiert die Detektoreinheit 56 beispielsweise eine sich dabei ändernde Prozessstrahlung. In diesem Zusammenhang wurde gefunden, dass, wenn als Substratmaterial ein Glas mit Erdalkali-Ionen eingesetzt wird, sich dann, wenn der Ätzprozess das Substrat erreicht, Licht mit einem hierfür signifikanten Spektralanteil erzeugt wird, nämlich oranges Licht, so dass bei Verwendung eines solchen Substrates letzteres gleichzeitig als Ätz-Stopp-Schicht, deren Erreichen leicht detektierbar ist, eingesetzt werden kann.

30 Generell können nun weiter am Schichtsystem Schichtoberflächen vorgesehen werden, welche Erdalkali-Ionen-dotiert sind, um in der erwähnten Art und Weise, anhand des sich bei Erreichen dieser Oberfläche durch den Ätzprozess signifikant ändernden Glimmentladungs-Lichtspektrums, zu detektieren, wann diese Oberfläche erreicht ist. Die Dotierung der erwähnten Oberfläche mit Erdalkali-Ionen erfolgt selbstverständlich in Abhängigkeit davon, ob eine solche Dotierung für den späteren Einsatz des erfindungsgemäss hergestellten Bauelementes toleriert werden kann oder nicht. So kann eine Erdalkali-Ionen-Dotierung, sei dies des Substrates, wie des Substratglases, oder einer Stapelschicht, insbesondere einer niedrigbrechenden, wie einer SiO_2 -Schicht, dazu führen, dass das fertiggestellte optische Bauelement nicht mehr optimal UV-tauglich ist. Da aber, wie bereits erwähnt wurde, die optischen Bauelemente mit der erfindungsgemäss bearbeiteten MeO_x -Schicht keinesfalls nur für den UV-Einsatz geeignet sind, sondern durchaus auch im sichtbaren Lichtbereich vorteilhaft eingesetzt werden können, ist die erwähnte Dotierung in vielen Fällen unbedenklich.

35 Es sei daran erinnert, dass die erwähnten MeO_x -Materialien, wie insbesondere HfO_2 , chemisch ausserordentlich stabil sind und, beispielsweise durch Ionenplattieren hergestellt, einen äusserst niedrigen Streulichtanteil aufweisen, so dass sich der Einsatz dieser Schichten auch bei optischen Bauelementen oft aufdrängt, die im sichtbaren Lichtbereich eingesetzt werden sollen.

40 Bei der Verwendung eines Substratmaterials aus Glas mit Erdalkali-Ionen, z.B. Natrium-Ionen, hat sich weiter ergeben, dass die Ätzrate dieses Substrates wesentlich geringer ist als diejenige der erfindungsgemäss eingesetzten dielektrischen Schichten MeO_x bzw. der bevorzugterweise eingesetzten niedrigbrechenden Schichten, wie aus SiO_2 , so dass zusätzlich bei Einsatz eines solchen Substratmaterials gewährleistet ist, dass die Substratoberfläche, vor Unterbrechung des Ätzprozesses bei Detektion des kennzeichnenden Glimmentladungs-Lichtspektralanteils, nur wenig angeätzt wird.

45 Zur Überwachung des Ätzprozesses bezüglich der verbleibenden Schicht bzw. Schichtstapeldicke können auch andere bekannte Verfahren eingesetzt werden, wie beispielsweise bekannte Reflexionsmessungen eines Laserstrahls, der beispielsweise durch die Elektrode 37 auf das geätzte Bauelement geführt wird und dessen Reflexion ausgewertet wird.

50 Im weiteren können auch Methoden, wie Plasmaemissions-Spektroskopie oder Massenspektroskopie der abgepumpten Gase zur Prozesssteuerung herangezogen werden.

55 Ein bevorzugtes Verfahren zur Prozessführung ist schematisch und, ausgehend von der Darstellung von Fig. 6, in den Fig. 7a und 7b dargestellt. Dieses Verfahren bzw. eine entsprechend aufgebaute Vakuumbehandlungsanlage werden für sich und losgelöst vom Komplex der Strukturätzung dielektrischer

Schichten als erfinderisch betrachtet. Dabei wird, bezogen auf Fig. 6, durch die Werkstückträger-Elektrode 24 hindurch der Strahl 60 einer Lichtquelle, vorzugsweise einer Laserlichtquelle 62, durchgeleitet und auf das im Spektralbereich des Lichtstrahls 60 transmittierende Bauelement 64 gerichtet, dessen Oberfläche dem Abtragprozess unterworfen ist oder generell bearbeitet, also z.B. auch beschichtet wird.
 5 Der vom Bauelement 64 reflektierte Strahl 66 oder die durch die mehreren Schichten reflektierten Strahlen 66 werden, beispielsweise über Lichtleiter, einer Auswerteeinheit 68 zugeführt. Änderungen der Strahlreflexion am Bauelement 64 werden als Mass dafür ausgewertet, welche Schichten bis dahin durch den Ätzprozess abgetragen worden sind oder welche Schichtdicken aufgebracht worden sind, z.B. mittels eines plasmaunterstützten CVD-Prozesses.

10 Wie in Fig. 7b dargestellt, kann diese Technik auch so ausgeführt werden, dass, mittels eines semipermeablen Spiegelelementes 70, der Strahl senkrecht gegen das Bauelement 64 gerichtet wird und über den semipermeablen Spiegel 70 der reflektierte Strahl 66 der Auswerteeinheit 68 zugeführt wird, welche auf die Reaktivgas-Stellglieder und/oder den Hf-Generator 48 gemäss Fig. 6 wirkt, im Rahmen des erfindungsgemässen Ätzprozesses. Dabei muss betont werden, dass je nach Ätzprozess bei Erreichen einer vorgegebenen Ätztiefe, bei welcher auf ein geändertes Schichtmaterial gestossen wird, dies nach Detektion an der Einheit 68 auch lediglich zu einer Änderung des Reaktivgasgemisches ausgenutzt werden kann, wie erwähnt wurde und sich heute mit einiger Wahrscheinlichkeit abzeichnet, durch Wechsel von chlorhaltigem auf fluorhaltiges Gas und umgekehrt bzw. durch Wechsel zwischen anderen Gasen.

20 Es werden nachfolgend Beispiele des erfindungsgemässen Verfahrens sowie erfindungsgemässer Bauelemente dargestellt.

Dabei bedeuten:

- 25 - L: Schicht niedrigbrechenden Materials,
- H: Schicht hochbrechenden Materials,
- optische Dicke = (Brechungsindex) * (physikalische Dicke x),
- x: physikalische Dicke.

30 Der Durchmesser der Werkstückträger-Elektrode 24 gemäss Fig. 5 beträgt 25 cm, der Abstand d zwischen Werkstückträger-Elektrode und Gegenelektrode 37 ist jeweils unter den Ätzparametern angegeben.

Beispiel 1

35 Ta₂O₅/SiO₂ Stack-(Stapel)-Spiegel, zentriert für 308 nm:

	Abfolge	Material	physikalische Dicke x
40	Substrat		
	L ₁	SiO ₂	106 nm
	H ₁	Ta ₂ O ₅	30 nm
	L ₂	SiO ₂	91 nm
45	H ₂	Ta ₂ O ₅	30 nm
	L	SiO ₂	53 nm 4 x
	H	Ta ₂ O ₅	33 nm 4 x
50	L ₃	SiO ₂	106 nm
	Struktur:	L ₁ H ₁ L ₂ H ₂ (LH) ⁴ L ₃	
	Gesamtdicke, physikalisch:	707 nm	

55 Ätzparameter:

Reaktivgas: CHClF₂, He
 Gasfluss: CHClF₂: 50 sccm He: 50 sccm
 Gasdruck: p = 1,8 × 10⁻³ mbar
 60 Rf-Leistung: 300 W
 Frequenz: 13.56 MHz
 Elektrodenabstand: d = 5 cm
 Ätzzeit bis Substrat: τ = 657 sec
 65 gemittelte Ätzrate: 1,08 nm/sec

DC-Bias: 0 V
 Bemerkung: inkl. Ätzen der Cr-Maske

Beispiel 2

5 HfO₂/SiO₂ Stack-(Stapel)-Spiegel, zentriert für 248 nm:

	Abfolge	Material	physikalische Dicke x
10	Substrat		
	L ₁	SiO ₂	83 nm
	H ₁	HfO ₂	29 nm
15	L	SiO ₂	42 nm 7 x
	H	HfO ₂	29 nm 7 x
	Luft		
20	Struktur:	L ₁ H ₁ (LH) ⁷	
	Gesamtdicke, physikalisch:		609 nm

Ätzparameter:

25 Reaktivgas: CHClF₂
 Gasfluss: 50 sccm
 Gasdruck: $p = 7 \times 10^{-3}$ mbar
 Rf-Leistung: 300 W (13,56 MHz)
 30 Elektrodenabstand: d = 5 cm
 Ätzzeit: $\tau = 1098$ sec
 Ätzrate: 0,555 nm/sec
 DC-Bias: 0 V
 mit 1 μ m AZ 1350 Fotolackmaske

Beispiel 3

Einzelschicht Ta₂O₅

Ätzparameter:

40 Reaktivgas: CHClF₂
 Gasfluss: 50 sccm
 Gasdruck: $p = 1,2 \times 10^{-2}$ mbar
 Rf-Leistung: 500 W (13,56 MHz)
 45 DC-Bias: 0 V
 Elektrodenabstand: d = 5 cm
 Ätzrate: 0,95 nm/sec

Beispiel 4

Einzelschicht HfO₂

Ätzparameter:

55 Reaktivgas: CHClF₂
 Gasfluss: 50 sccm
 Gasdruck: $1,1 \times 10^{-2}$ mbar
 Rf-Leistung: 300 W (13,56 MHz)
 DC-Bias: 0 V
 60 Elektrodenabstand: d = 5 cm
 Ätzrate: 0,39 nm/sec

65

Beispiel 5

Einzelschicht Y_2O_3 (als Ätz-Stopp-Schicht!)

5 Ätzparameter:

Reaktivgas: $CHClF_2$, He
 Gasflüsse: $CHClF_2$: 50 sccm
 He: 69 sccm
 10 Druck: $1,2 \cdot 10^{-2}$ mbar
 Rf-Leistung: 300 W (13,56 MHz)
 DC-Bias: -80 V
 Elektrodenabstand: $d = 5$ cm
 Ätzrate: 0,06 nm/sec

15 Beispiel 6

Einzelschicht, als niedrigbrechende in Stapel: Al_2O_3

20 Ätzparameter:

Reaktivgas: $CHClF_2$, He
 Gasflüsse: $CHClF_2$: 50 sccm
 He: 69 sccm
 25 Druck: $1,2 \cdot 10^{-2}$ mbar
 Rf-Leistung: 500 W (13,56 MHz)
 DC-Bias: -97 V
 Elektrodenabstand: $d = 5$ cm
 Ätzrate: 0,41 nm/sec

30 Es muss betont werden, dass anstelle des bevorzugten reaktiven Ionenätzens mittels Glimmentladung sich prinzipiell auch andere reaktive Ätzverfahren, wie beispielsweise «chemically assisted ion beam etching», eignen. Dabei werden Argon-Ionen aus einer Kaufman-Ionenquelle auf das strukturzuätzende Bauelement geschossen, welches gleichzeitig vorzugsweise mit $CHClF_2$ besprüht wird.

35 Im weiteren können mit der gleichen Anordnung gemäss Fig. 6, wie bereits erwähnt wurde, die L-Schichten insbesondere aus SiO_2 mit einem anderen Gas, z.B. mit SF_6 , geätzt werden, d.h. einem Gas ohne Chloranteil, wobei dann die H-Schichten als Ätz-Stopp-Schichten wirken.

40 **Patentansprüche**

40 1. Verfahren zur Herstellung eines Bauelementes, insbesondere eines optischen Bauelementes, bestehend aus einem Trägersubstrat sowie einem Schichtsystem, mit mindestens einer an mindestens einem Bereich gegenüber mindestens einem zweiten Bereich in ihrer Dicke gestuften dielektrischen Schicht, dadurch gekennzeichnet, dass

45 – die dielektrische Schicht der Gattung MeO_x auf eine Unterlage aufgebracht wird, wobei Me ein Metall ist, dessen Masse mindestens 44 beträgt, x so gewählt wird, dass der Absorptionskoeffizient k_λ des Schichtmaterials bei Licht der Wellenlänge $\lambda = 308$ nm

50 $k_{308} \leq 0,01$

ist,

55 – die Schicht durch reaktives Ätzen mittels eines aktivierten Gases zur Bildung der Dickenstufung abgebaut wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass $k_{308} \leq 0,003$ ist.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass gilt:

60 Me = Ta und
 x = 2,5,

und damit die Schicht aus Ta_2O_5 erstellt wird.

65 4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass gilt:

Me = Hf und
X = 2,

und damit die Schicht aus HfO_2 erstellt wird.

- 5 5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens die eine oder mehrere der Schichten als Teil eines Schichtstapels auf dem Substrat aufgebracht werden und der Stapel gestuft zur Bildung einer oder mehrerer Dickenabstufungen abgetragen wird.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass als zu aktivierendes Gas ein Gas mit CHClF_2 eingesetzt wird.
- 10 7. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass das zu aktivierende Gas weiter He und/oder CHF_3 und/oder H_2 enthält.
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass das zu aktivierende Gas eine Kombination von Cl_2 mit mindestens einem der weiteren Gase H_2 , F_2 , CF_4 , SF_6 umfasst.
- 15 9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass die Schicht vor ihrem Abbau mit einer Schicht niedrigbrechenden Materials, insbesondere von SiO_2 , mindestens teilweise abgedeckt wird und die letztgenannte mit einem Gas, vorzugsweise im wesentlichen ohne Chloranteil, reaktiv geätzt wird, vorzugsweise durch ein Gas mit Fluoranteil, welches die MeO_x -Schicht nicht ätzt.
10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass weitere Schichten vorgesehen werden und diese mit einem Gas, vorzugsweise im wesentlichen ohne Cl_2 -Anteil, geätzt werden, derart, dass die mindestens eine MeO_x -Schicht für diesen Ätzvorgang als Ätz-Stopp-Schicht wirkt.
- 20 11. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass das mindestens eine zu aktivierende Gas homogen verteilt über den abzutragenden Oberflächenbereich gedüst wird, vorzugsweise im wesentlichen senkrecht hierzu, und die Reaktivgasdichte dort im wesentlichen homogen ist.
- 25 12. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 11, dadurch gekennzeichnet, dass die Aktivierung des mindestens einen Gases mittels geladener Partikel, wie mittels Elektronen, insbesondere aber mittels Ionen, erfolgt.
13. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 12, dadurch gekennzeichnet, dass der Ätzvorgang photonenerunterstützt wird, insbesondere laserunterstützt.
- 30 14. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 13, dadurch gekennzeichnet, dass die Aktivierung des mindestens einen Gases in einer Glimmentladung erfolgt, welche vorzugsweise zwischen einer Bauelementträger-Elektrode und einer Gegenelektrode unterhalten wird, wobei das zu aktivierende Gas vorzugsweise im wesentlichen in Richtung der Entladung dem zu behandelnden Bauelement zugeführt wird.
- 35 15. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 14, dadurch gekennzeichnet, dass ein Gaseinlass für das mindestens eine zu aktivierende Gas gekühlt, vorzugsweise wassergekühlt, wird.
16. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 15, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens eine nicht niedrigerbrechende Schicht, vorzugsweise aus SiO_2 , vorgesehen wird, welche so dotiert ist, dass das Erreichen dieser Schicht durch den Ätzprozess, vorzugsweise durch Detektion einer Änderung der emittierten Lichtstrahlung, detektiert wird.
- 40 17. Verfahren nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, dass die Dotierung mit Erdalkali-Ionen erfolgt.
18. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 17, dadurch gekennzeichnet, dass als Substrat ein Glas mit Erdalkali-Ionen eingesetzt wird und vorzugsweise eine Änderung der emittierten Lichtstrahlung detektiert wird, wenn der reaktive glimmentladungs-unterstützte Ätzprozess die Glasoberfläche erreicht.
- 45 19. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 18, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens ein Lichtstrahl mit einem Spektralbereich, in welchem das Bauelement lichttransmittierend ist, von der nicht abgetragenen Seite des Bauelementes her auf letzteres gerichtet wird und aus Änderungen der Strahlreflexion auf die verbleibende Beschichtungsdicke des Substrates geschlossen wird.
- 50 20. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 19, dadurch gekennzeichnet, dass man von der unbehandelten Bauelementseite her mindestens einen Lichtstrahl in einem vom Bauelement transmittierten Spektralbereich auf und durch das Bauelement leitet und aus Änderungen des reflektierten Lichtstrahls auf die momentane Dicke des Bauelementes schliesst.
- 55 21. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 20, dadurch gekennzeichnet, dass man eine Fläche des Bauelementes mit Erdalkali-Ionen dotiert und ihr Erreichen durch den Ätzprozess aufgrund des Auftretens von Licht eines gegebenen Spektralbereiches im Prozessraum detektiert.
22. Verfahren nach Anspruch 21, dadurch gekennzeichnet, dass die Fläche durch ein Substrat aus Glas gebildet wird.
- 60 23. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 22, dadurch gekennzeichnet, dass man über der MeO_x -Schicht eine niedrigerbrechende Schicht, vorzugsweise aus SiO_2 , aufbringt und die letztere Schicht mit einem Gas, vorzugsweise ohne Cl_2 -Anteil, ätzt, Erreichen der Oberfläche der MeO_x -Schicht detektiert wird und darnach ein anderes Gas, vorzugsweise mit Cl_2 -Anteil, verwendet wird.
- 65 24. Verfahren nach einem der Ansprüche 1, 2, 5 bis 23, dadurch gekennzeichnet, dass

Me = Y und
x = 1,5

und damit die Schicht Y_2O_3 ist.

5 25. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 24, dadurch gekennzeichnet, dass für das Ätzen der MeO_x -Schicht ein fluorhaltiges Gas, vorzugsweise CHF_3 , eingesetzt wird.

26. Optisches Bauelement, hergestellt nach dem Verfahren gemäss einem der Ansprüche 1 bis 25 und aufgebaut aus einem Trägersubstrat und mindestens einer dielektrischen Schicht mit mindestens zwei in ihrer Dicke gestuften Bereichen, dadurch gekennzeichnet, dass die Schicht aus einem Material
10 der Gattung MeO_x besteht und

– Me ein Metall mindestens der Masse 44 ist,
– x so gewählt ist, dass das Schichtmaterial für Licht der Wellenlänge $\lambda = 308$ nm einen Absorptionskoeffizienten k_λ

15 $k_{308} \leq 0,01$

aufweist.

27. Optisches Bauelement nach Anspruch 26, dadurch gekennzeichnet, dass $k_{308} \leq 0,003$ ist.

28. Optisches Bauelement nach einem der Ansprüche 26 oder 27, dadurch gekennzeichnet, dass an
20 mindestens einer Schicht gilt:

– Me = Ta,
– x = 2,5.

29. Optisches Bauelement nach einem der Ansprüche 26 bis 28, dadurch gekennzeichnet, dass an
25 mindestens einer der Schichten gilt:

30 – Me = Hf,
– x = 2.

30. Optisches Bauelement nach einem der Ansprüche 26 bis 29, dadurch gekennzeichnet, dass die Schichtdicke am Bauelement in mindestens einem Bereich reduzierter Dicke nicht verschwindet.

31. Optisches Bauelement nach einem der Ansprüche 26 bis 30, dadurch gekennzeichnet, dass die
35 mindestens eine Schicht Teil eines auf dem Substrat aufgetragenen Schichtstapels ist, woran nebst der erwähnten Schicht mindestens eine Schicht niedrigerbrechenden Materials, vorzugsweise im wesentlichen aus SiO_2 oder Al_2O_3 , vorgesehen ist.

32. Optisches Bauelement nach einem der Ansprüche 26 bis 31, dadurch gekennzeichnet, dass es
40 mindestens eine Lage, die mit Erdalkali-Ionen dotiert ist, umfasst.

33. Optisches Bauelement nach Anspruch 32, dadurch gekennzeichnet, dass die Lage durch ein Substrat aus Glas mit Erdalkali-Ionen gebildet ist.

34. Optisches Bauelement nach einem der Ansprüche 26 bis 33, dadurch gekennzeichnet, dass gilt:

45 Me = Y
x = 1,5.

35. Optisches Abbildungssystem mit einer UV-Laserquelle, deren Strahl durch eine Maske läuft, zur Modulation des Laserstrahls, mit einem Bauelement nach einem der Ansprüche 26 bis 34 als
50 iMaske.

36. Optisches Abbildungssystem nach Anspruch 35, dadurch gekennzeichnet, dass die Laserquelle eine Strahlenenergiedichte von über 100 mJ/cm^2 abgibt, vorzugsweise von über 200 mJ/cm^2 , dabei vorzugsweise gar von über 300 mJ/cm^2 .

37. Vakuumbehandlungsanlage zur Durchführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis
55 25, dadurch gekennzeichnet, dass sie umfasst:

– einen Vakuumrezipienten, darin
– eine Substratträger Elektrode,
– diesbezüglich eine Gegenelektrode,
60 – einen Wechselspannungsgenerator an Substratträger Elektrode und Gegenelektrode,

wobei die Gegenelektrode eine Anordnung verteilter, im wesentlichen gegen die Werkstückträger-Elektrode gerichteter Gasauslassöffnungen für ein Reaktivgas umfasst.

38. Vakuumbehandlungsanlage nach Anspruch 37, dadurch gekennzeichnet, dass die Öffnungen an
65 der Gegenelektrode regelmässig flächig verteilt angeordnet sind.

39. Vakuumbehandlungsanlage nach einem der Ansprüche 37 oder 38, dadurch gekennzeichnet, dass die Gegenelektrode gekühlt ist, vorzugsweise wassergekühlt ist.

40. Vakuumbehandlungsanlage nach einem der Ansprüche 37 bis 39, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens eine Anordnung zur Durchleitung eines Lichtstrahls, gewinkelt – dies rechtwinklig einschließend –, durch die Werkstückträger-Elektrode vorgesehen ist und, an deren Trägerfläche für ein Werkstück, ausmündet, und dass weiter durch die Trägerelektrode, einmündend an deren Trägerfläche, eine weitere Anordnung zur Durchleitung eines Lichtstrahls vorgesehen ist, wobei die eine der Anordnung mit einer Lichtquelle verbunden ist, die andere mit einer Auswerteeinheit zur Auswertung des durch letzterwähnte Anordnung empfangenen Lichtstrahls.

41. Vakuumbehandlungsanlage nach Anspruch 40, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens eine der Anordnung durch Lichtleiter gebildet ist.

42. Vakuumbehandlungsanlage nach einem der Ansprüche 40 oder 41, dadurch gekennzeichnet, dass die beiden Anordnungen durch ein und denselben Lichtleitkanal gebildet werden, welcher im wesentlichen senkrecht zur Werkstückträger-Oberfläche der Trägerelektrode durch letztere durchgeführt ist.

43. Vakuumbehandlungsanlage nach einem der Ansprüche 37 bis 42, dadurch gekennzeichnet, dass die Anordnung verteilter Auslassöffnungen, vorzugsweise über Durchfluss-Stellglieder, mit einem Vorrat mit CHClF_2 kommuniziert, gegebenenfalls zusätzlich mit einem Vorrat für He und/oder CHF_3 und/oder H_2 .

44. Vakuumbehandlungsanlage nach einem der Ansprüche 37 bis 43, dadurch gekennzeichnet, dass die Anordnung verteilter Auslassöffnungen einerseits mit einem Vorrat Cl_2 enthaltenden Gases sowie mit einem Vorrat eines anderen Gases verbunden ist und die Verbindung zu den Vorräten stellbar ist.

45. Vakuumbehandlungsanlage nach Anspruch 44, dadurch gekennzeichnet, dass eine Detektoranordnung vorgesehen ist, die für unterschiedliche, dem Ätzprozess ausgesetzte Oberflächen unterschiedliche Signale abgibt, und dass eine Auswerteeinheit für die Signale das Umschalten der Vorräte steuert.

46. Vakuumbehandlungsanlage nach einem der Ansprüche 40 bis 45, dadurch gekennzeichnet, dass der Ausgang der Auswerteeinheit die Zusammensetzung des den Gasauslassöffnungen zugeführten Gases steuert.

47. Vakuumbehandlungsanlage nach einem der Ansprüche 37 bis 46, dadurch gekennzeichnet, dass der Ausgang der Auswerteeinheit auf den Wechselspannungsgenerator und/oder auf Stellglieder für die Gaszuspeisung zu den Auslassöffnungen wirkt.

48. Vakuumbehandlungsanlage nach einem der Ansprüche 37 bis 47, dadurch gekennzeichnet, dass durch die Substratträgerelektrode mindestens eine Lichtkanalanordnung durchgeführt ist und an der Trägerfläche ausmündet, welche mit einer Lichtquelle, vorzugsweise einer Laserquelle, kommuniziert, und dass an der Substratträgerelektrode eine weitere Anordnung zur Durchleitung eines Lichtstrahls vorgesehen ist, welche mit einer Auswerteeinheit für die Auswertung des durch diese Anordnung empfangenen Lichtstrahls verbunden ist, wobei vorzugsweise die beiden Lichtdurchleit-Anordnungen durch ein und denselben Lichtleitkanal gebildet sind, der im wesentlichen senkrecht zur Trägerfläche durch den Substratträger durchgeführt ist.

40

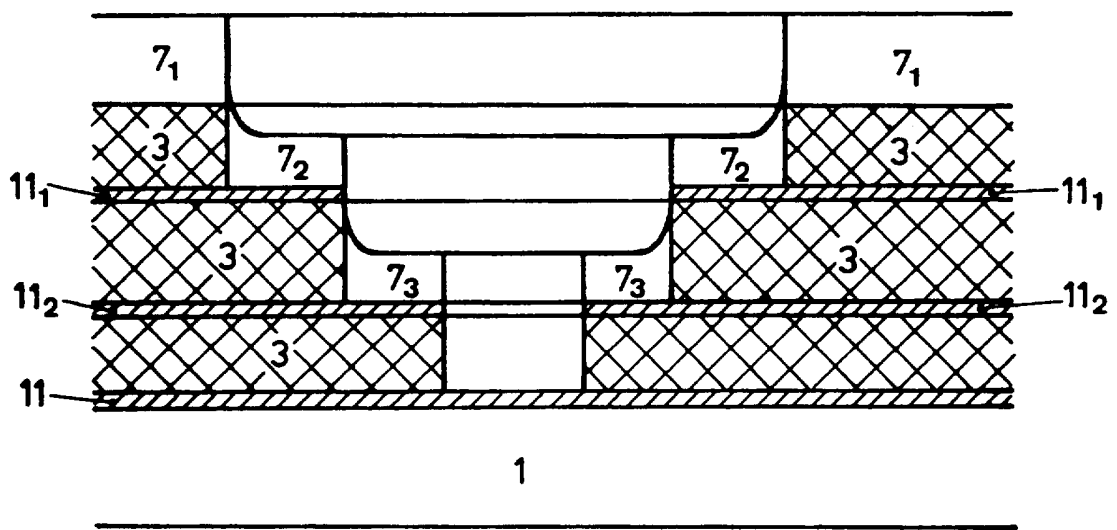
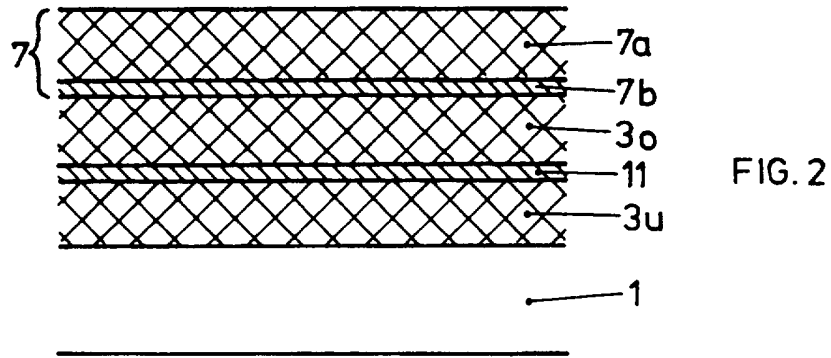
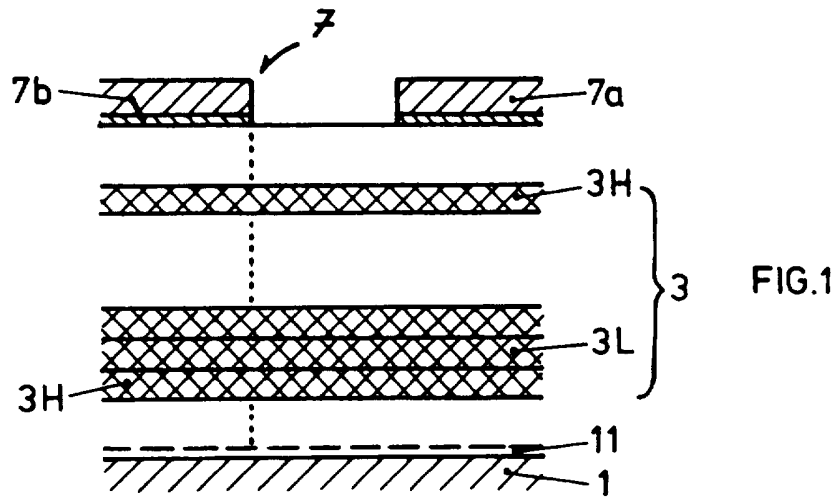
45

50

55

60

65



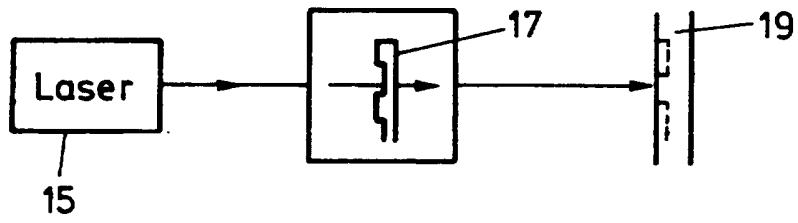


FIG. 4

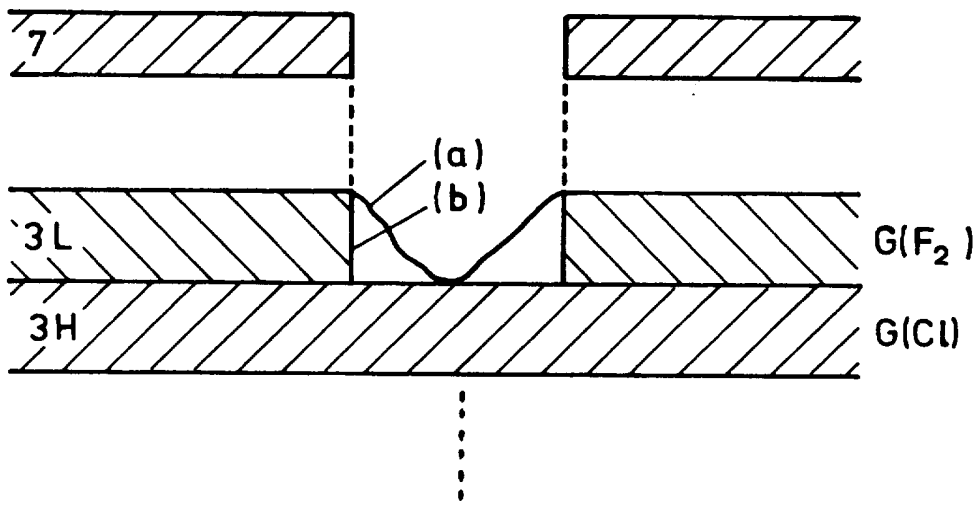


FIG. 5

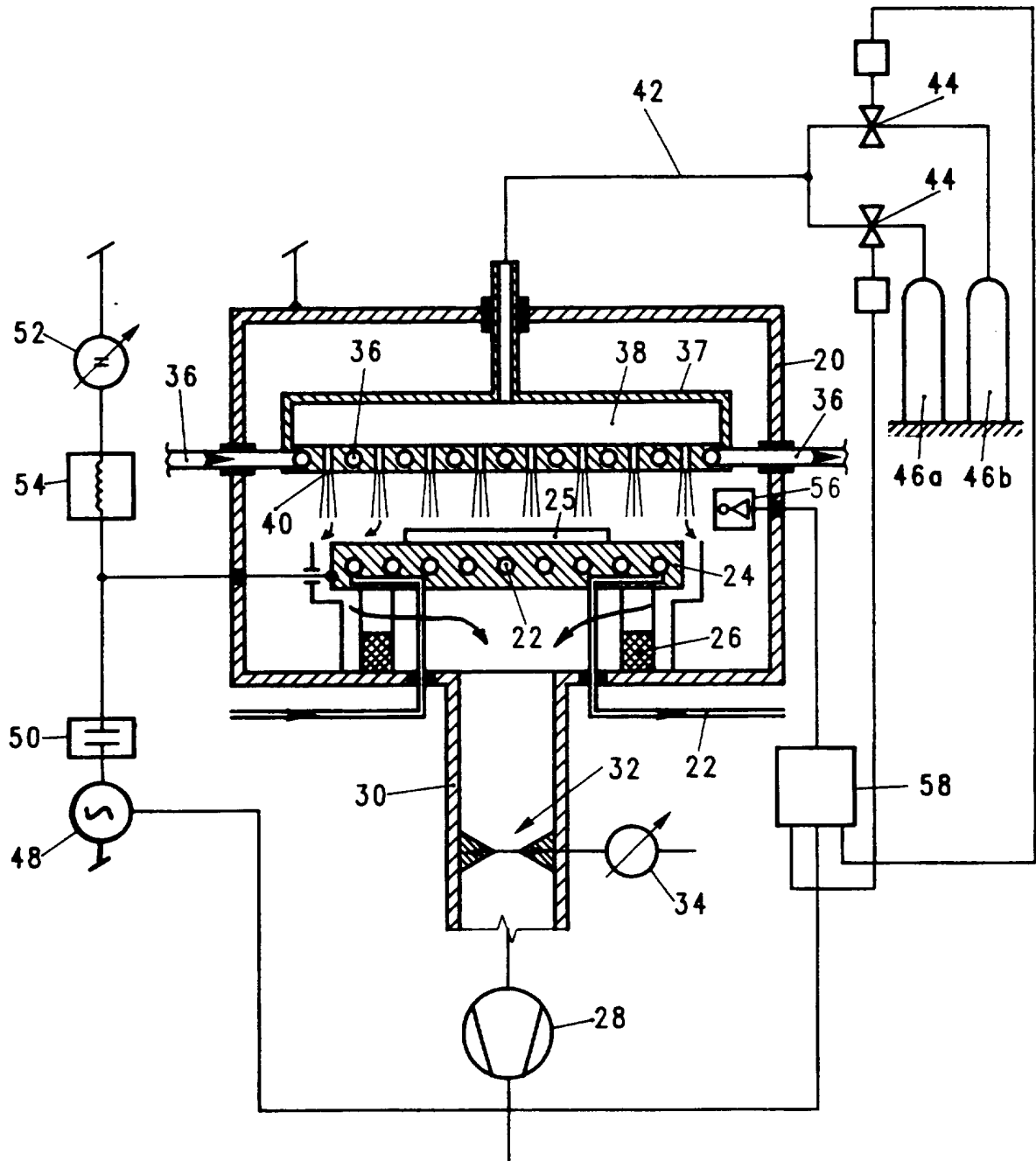


FIG.6

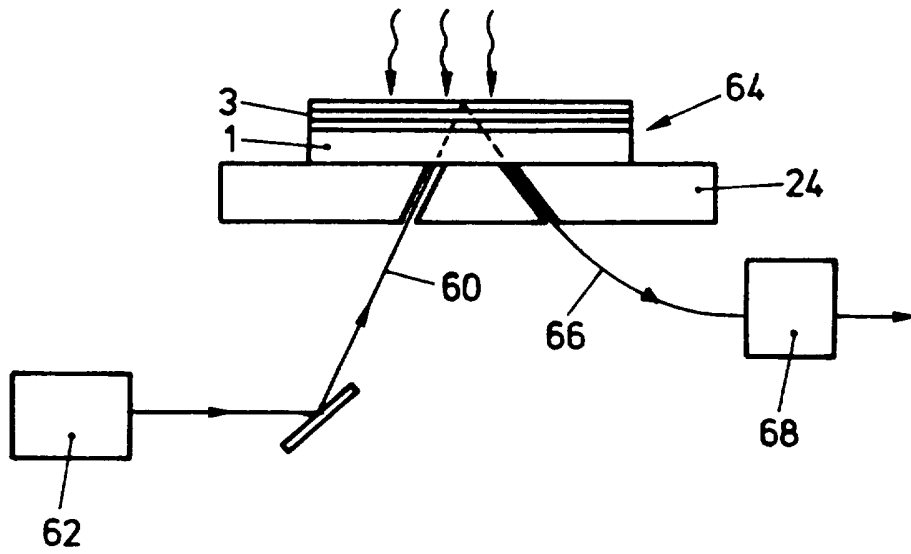


FIG. 7a

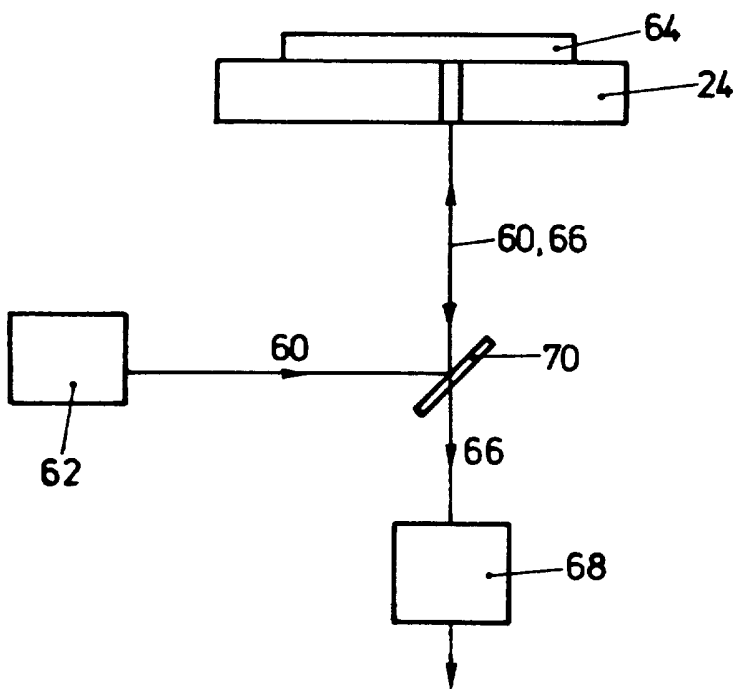


FIG. 7b