



# PATENTCHRIFT

(12)

(21) Anmeldenummer: A 336/2003  
(22) Anmeldetag: 06.03.2003  
(42) Beginn der Patentdauer: 15.04.2004  
(45) Ausgabetag: 25.11.2004

(51) Int. Cl.<sup>7</sup>: **B81C 1/00**  
H01L 21/20

(56) Entgegenhaltungen:

Z. TOTH ET AL., "LASER-INDUCED LOCAL CVD AND SIMULTANEOUS ETCHING OF TUNGSTEN", APPLIED SURFACE SCIENCE (ELSEVIER) ISSN: 0169-4332, BD. 186, NR. 1-4 (28. JÄNNER 2002), S. 184-189  
Z. TOTH ET AL., "LASER-INDUCED ETCHING OF TUNGSTEN AND FUSED SILICA IN WF<sub>6</sub>", APPLIED SURFACE SCIENCE (ELSEVIER), ISSN: 0169-4332, BD. 208-209, S. 205-209  
([HTTP://WWW.SCIENCEDIRECT.COM](http://www.sciencedirect.com))

(73) Patentinhaber:

INNOVATIONSAGENTUR GESELLSCHAFT  
M.B.H.  
A-1020 WIEN (AT).  
PIGLMAYER KLAUS DIPL.ING.  
A-4040 LINZ, OBERÖSTERREICH (AT).

(54) VERFAHREN ZUM LOKALEN ÄTZEN EINES SUBSTRATS UND VORRICHTUNG ZUR DURCHFÜHRUNG DES VERFAHRENS

AT 412 205 B

(57) Verfahren zum lokalen Ätzen eines Substrats, das eine obere, insbesondere metallische Leiterschicht und eine darunter befindliche isolierende Schicht aufweist, in einer reaktiven Gasatmosphäre, bei welchem Verfahren gleichzeitig beim Ätzen bei einer unterhalb einer Schwellenwert-Temperatur liegenden Temperatur Leitermaterial aus der Leiterschicht in die Gasatmosphäre überführt und aus der Gasatmosphäre bei einer Temperatur oberhalb der Schwellenwert-Temperatur ein dem Leitermaterial der Leiterschicht entsprechendes Leitermaterial örtlich im Ätzbereich auf dem Substrat abgeschieden wird, wozu ein Energiestrahл auf das Substrat gerichtet wird, dessen Leistung so bemessen wird, dass die Temperatur des Substrats in einem inneren Kernbereich für den Abscheidvorgang oberhalb der Schwellenwert-Temperatur und in einer diesen Kernbereich umgebenden Ringzone für den Ätzzvorgang unterhalb der Schwellenwert-Temperatur liegt; beim Ätzen wird nach dem ringförmigen Wegätzen der Leiterschicht auch die isolierende Schicht unter Erhitzen geätzt, und durch das Ätzen der isolierenden Schicht wird eine Vertiefung in der isolierenden Schicht gebildet, auf deren Boden das abgeschiedene Leitermaterial gehalten wird, und deren Tiefe durch die Dauer der Zuführung des Laserstrahls festgelegt wird.

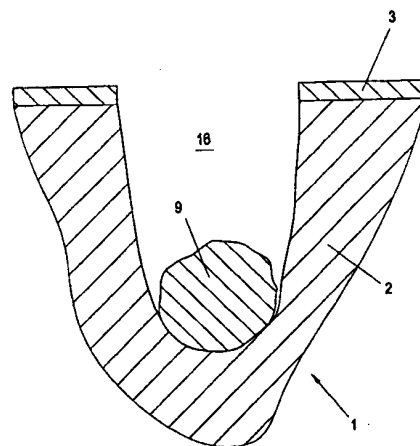


FIG. 6

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum lokalen Ätzen eines Substrats, das zumindest eine obere, insbesondere metallische Leiterschicht und eine darunter befindliche isolierende Schicht aufweist, in einer reaktiven Gasatmosphäre, bei welchem Verfahren gleichzeitig beim Ätzen bei einer unterhalb einer Schwellenwert-Temperatur, z.B. ca. 2200 K, liegenden Temperatur Leitermaterial aus der Leiterschicht in die Gasatmosphäre überführt und aus der Gasatmosphäre bei einer Temperatur oberhalb der Schwellenwert-Temperatur ein dem Leitermaterial der Leiterschicht entsprechendes Leitermaterial örtlich im Ätzbereich auf dem Substrat abgeschieden wird, wobei ein Energiestrahle, insbesondere Laserstrahl, zur Zuführung von Wärmeenergie für das gleichzeitige Ätzen und Abscheiden auf das Substrat gerichtet wird, dessen Leistung so bemessen wird, dass die Temperatur des Substrats in einem inneren Kernbereich für den Abscheidvorgang oberhalb der Schwellenwert-Temperatur liegt, wogegen in einer diesen Kernbereich umgebenden Ringzone die Temperatur des Substrats für den Ätzbvorgang unterhalb der Schwellenwert-Temperatur liegt.

Weiters bezieht sich die Erfindung auf eine Vorrichtung zur Durchführung dieses Verfahrens.

Ein Verfahren wie vorstehend angegeben kann beispielsweise zur Herstellung von Elektronenemitteranordnungen verwendet werden, wie sie für Bildwiedergabeeinrichtungen benötigt werden. Derartige Elektronenemitteranordnungen haben in einer Isolierschicht eingebettete leitende Partikel, die bei entsprechender Vorspannung gegenüber einer Basiselektrode - beispielsweise der leitenden Schicht des vorerwähnten Substrats - Elektronen emittieren. Dabei waren früher aufwendige mehrstufige Ätz- und Abscheideverfahren einschließlich fotochemischer Maskierungszwischenschritte erforderlich, um leitende Partikel innerhalb von Öffnungen in der leitenden Schicht des Substrats anzubringen. Um hier eine Vereinfachung zu erzielen, wurde auch bereits vorgeschlagen, leitende Partikel zusammen mit einer isolierenden Matrix im Druckverfahren auf einem Substrat aufzubringen und danach die erhaltene Struktur einer Hitzebehandlung zu unterziehen, um die isolierende Matrix zu reduzieren. Auch diese Vorgangsweise ist jedoch zeit- und kostenaufwendig, so dass ein Bedarf an einer Verbesserung derartiger Technologien gegeben ist.

Aus Z. Tóth et al., „Laser-induced local CVD and simultaneous etching of tungsten“, Applied Surface Science (Elsevier) ISSN: 0169-4332, Bd. 186, Nr. 1-4 (28. Jänner 2002), S. 184-189 und Z. Tóth et al., „Laser-induced etching of tungsten and fused silica in  $WF_6$ “, Applied Surface Science (Elsevier), ISSN: 0169-4332, Bd. 208-209, S. 205-209 (<http://www.sciencedirect.com>) ist ferner bereits allgemein ein gleichzeitiges Ätzen und Abscheiden von Wolfram auf einem Substrat bekannt, wobei eine Gasatmosphäre mit Wolframhexafluorid und Wasserstoff verwendet wird. Die Energie zum Erhitzen im Ätz- und Abscheidebereich erfolgt mit Hilfe eines Laserstrahls, wobei durch Abscheiden von Wolfram und durch Ätzen Strukturen im Mikro- und Submikrometerbereich erzielt werden. Dabei sind jedoch nur oberflächliche Materialbearbeitungen beschrieben.

Es ist nun Aufgabe der Erfindung, ein Verfahren der eingangs angeführten Art sowie eine Vorrichtung zur Durchführung dieses Verfahrens anzugeben, um auf einfache, kostengünstige und zeitsparende Weise Partikel aus leitendem Material in einer isolierenden Schicht an geätzten Stellen anbringen zu können.

Das erfindungsgemäße Verfahren der eingangs angeführten Art ist dadurch gekennzeichnet, dass beim Ätzen nach dem ringförmigen Wegätzen der Leiterschicht auch die isolierende Schicht unter Erhitzen geätzt wird, und dass durch das Ätzen der isolierenden Schicht eine Vertiefung in der isolierenden Schicht gebildet wird, auf deren Boden das abgeschiedene Leitermaterial gehalten wird, und deren Tiefe durch die Dauer der Zuführung des Laserstrahls festgelegt wird.

Bei der vorliegenden Technik wird somit in an sich bekannter Weise am zu bearbeitenden Substrat gleichzeitig geätzt und aus der Gasatmosphäre ein weiteres Material abgeschieden und niedergeschlagen, wobei der Wärmeeintrag bei der Durchführung dieses thermisch aktivierten chemischen Prozesses mit Hilfe eines Energiestrahls, insbesondere Laserstrahls, erfolgt, dessen Strahlquerschnitt und dessen Leistung so bemessen werden, dass - je nach den gegebenen Materialien, nämlich der Leiterschicht, der isolierenden Schicht sowie der Zusammensetzung der Gasatmosphäre - die gewünschte örtliche Temperaturkurve - mit dem heißen Kern oberhalb der Schwellentemperatur und der den Kern umgebenden Ringzone unterhalb der Schwellentemperatur - erzielt wird. Die Schwellentemperatur hängt dabei von den eingesetzten Materialien ab und beträgt beispielsweise im Falle einer reaktiven Gasatmosphäre mit Wolframhexafluorid ( $WF_6$ ), mit Wolfram (W) als leitendem Material für die leitende Schicht des Substrats und mit Quarz ( $SiO_2$  amorph) als Material für die isolierende Schicht des Substrats, ca. 2200 K (im Fall von Wolfram-

hexachlorid ( $WCl_6$ ) ca. 1400 K). Demgemäß liegt die Temperatur in der Kernzone innerhalb der erwähnten Ringzone, d.h. die im Material induzierte Temperatur, im Fall von  $WF_6$  bei Werten zwischen 2200 K und 2700 K, mit dem Maximum im Zentrum, wogegen in der diese Kernzone umgebenden Ringzone, wo geätzt wird, eine Temperatur im Bereich von beispielsweise 700 K bis 1000 K vorliegt. Diese lokale Temperaturverteilung wird mit Hilfe eines Energiestrahls, insbesondere Laserstrahls, erzielt, auch wenn dabei die Abmessungen im Bereich von bloß 1  $\mu m$  oder einigen  $\mu m$  liegen. Durch dieses örtlich nebeneinander erfolgende Ätzen und Abscheiden ergibt sich im Ergebnis, dass im genannten Beispiel mit Wolframhexafluorid und Wolfram bzw. Quarz, Wolfram aus der Atmosphäre abgeschieden und im Kernbereich niedergeschlagen wird, wobei Fluor in der Gasatmosphäre freigesetzt wird, und so Fluor-Radikale beim Ätztvorgang das Ätzen der Quarzschicht unterstützen. Gemäß der Erfindung wird aber nicht nur die obere Leiterschicht, sondern auch das darunter befindliche Material, also die isolierende Schicht, unter Erhitzen geätzt, wobei im Fall von Quarz (Glas) dieses Wegätzen durch die Erhitzung bzw. das dabei erzielte Erweichen oder Verflüssigen des Quarzmaterials unterstützt wird. Insgesamt kann das Verfahren mit Hilfe des Energiestrahls problemlos so gesteuert werden, dass durch das Ätzen der isolierenden Schicht eine Vertiefung in dieser gebildet wird, wobei auf dem Boden der Vertiefung das abgeschiedene Leitermaterial vorliegt, und wobei die Tiefe der Vertiefung durch die Dauer der Zuführung des Energiestrahls festgelegt wird. Es ergibt sich somit eine indirekte "Bohrer"-Wirkung, wobei die Vertiefung mit der darin befindlichen Metall-Ablagerung umso tiefer ausgebildet wird, je länger der Energiestahl auf das Substrat gerichtet wird. Dabei können Vertiefungen mit glatten, steilen Ätzwänden herbeigeführt werden, und diese Vertiefungen können überdies extrem kleine Querschnitte aufweisen. Mit der Erfindung können dadurch, dass Metallkerne am Boden der jeweiligen Vertiefung herbeigeführt werden, in den verschiedenen Gebieten der Technik besondere Anwendungen ermöglicht werden, wie etwa die Herstellung der bereits eingangs erwähnten Elektronen-Emitter, aber auch das direkte Herstellen von VIA-Bohrungen mit Einbettungen von Metall, und es ist überdies möglich, eine Vervielfachung der Einzelprozesse durch Aufsplitten des zugeführten Energiestrahls zu erzielen.

Im Hinblick auf die Bildung der vorerwähnten Elektronenemitter ist es dabei dann weiters günstig, wenn als Substrat ein solches mit zumindest zwei weiteren Schichten unter der isolierenden Schicht, nämlich einer unteren leitenden Schicht und einer isolierenden Basisschicht, verwendet wird, und wenn die Vertiefung bis zur unteren leitenden Schicht gebildet wird, auf der das abgeschiedene Leitermaterial abgesetzt wird. Über die untere leitende Schicht kann somit eine elektrische Spannung an die leitenden Ablagerungen oder Partikel gelegt werden (bezogen auf die obere Leiterschicht), so dass durch diese elektrische Spannung zwischen der oberen Leiterschicht und den abgelagerten Partikeln eine Emission von Elektronen aus den leitenden Partikeln bewirkt wird.

Um den Energieeintrag mit Hilfe des Laserstrahls je nach Fall entsprechend einstellen zu können, ist bei der erfindungsgemäßen Vorrichtung der Lasereinrichtung eine Leistungseinstelleinrichtung zugeordnet.

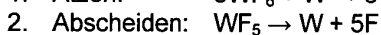
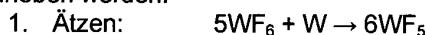
Die Erfindung wird nachfolgend anhand von bevorzugten Ausführungsbeispielen, auf die sie jedoch nicht beschränkt sein soll, und unter Bezugnahme auf die Zeichnung noch weiter erläutert. In der Zeichnung zeigen dabei im Einzelnen:

Fig. 1 ein Schema zur prinzipiellen Veranschaulichung der Vorgänge an einem Substrat beim kombinierten Abscheiden und Ätzen unter Zuführung von Wärmeenergie mit einem Energiestahl, insbesondere Laserstrahl; Fig. 2 in einem vergleichbaren Schema den Temperaturverlauf und Materialverlauf am Ort der Zuführung eines Energiestrahls; Fig. 3 in einem Diagramm die Reaktionsrate über der Temperatur, wobei ersichtlich ist, dass über einer Schwellenwert-Temperatur eine Abscheidung und unterhalb dieser Schwellenwert-Temperatur ein Ätzen erfolgt; Fig. 4 in einem Schema ähnlich jenem von Fig. 1 das erfindungsgemäße Abscheiden und Ätzen in einem fortgeschrittenen Verfahrensstadium; Fig. 5 die Wiedergabe eine Elektronenmikroskopaufnahme des Ergebnisses eines an einem Substrat praktisch durchgeführten kombinierten Ätz- und Abscheidungs Vorganges gemäß der Erfindung; Fig. 6 eine schematische Darstellung eines Teils eines Substrats mit bereits geätzter Vertiefung und darin abgelagertem Leitermaterial, zur Veranschaulichung des Erzeugens einer solchen Vertiefung mit Metallablagerung in der Art einer "Bohrung"; Fig. 7 schematisch einen Schnitt durch ein Substrat mit einer oberen Leiterschicht und einer zweiten, innerhalb des Substrats vorgesehenen, unteren leitenden Schicht, bis zu der hin die Vertiefung

durch Ätzen angebracht wurde, um so die Ablagerung aus leitendem Material direkt auf dieser zweiten, leitenden Schicht aufsitzen zu lassen; Fig. 8 in einer vergleichbaren schematischen Schnittdarstellung bzw. Ansicht das gleichzeitige Anbringen mehrerer solcher Metallablagerungen in bis zu einer unteren leitenden Schicht angebrachten Vertiefungen mit Hilfe von mehreren kugelförmigen Linsenelementen; Fig. 9 schematisch eine bevorzugte Vorrichtung mit einer Lasereinrichtung zur Durchführung des erfindungsgemäßen kombinierten Ätz- und Abscheideverfahrens; und Fig. 10 in einer ganz schematischen Draufsicht ein sogenanntes Array von solchen Ablagerungen in einem Substrat, zur Bildung eines "Pixel"-Elements einer Elektronenemitteranordnung.

In Fig. 1 ist schematisch ein Ausschnitt eines Substrats 1 gezeigt, bei dem oberhalb einer isolierenden Schicht 2 eine metallische Leiterschicht 3 angebracht ist. Auf dieses Substrat wird ein schematisch veranschaulichter gebündelter Energiestrahl, insbesondere ein Laserstrahl 4, gerichtet, der in seinem Auftreffbereich 5 das Substrat 1 erhitzt. Dieses Erhitzen mit Hilfe des Laserstrahls 4 erfolgt in einer kontrollierten reaktiven Gasatmosphäre, die in Fig. 1 nur schematisch mit 6 angedeutet ist. In einem bevorzugten Beispiel wird als reaktive Gasatmosphäre eine Wolframhexafluorid ( $WF_6$ )-Gasatmosphäre eingesetzt. Durch das Erhitzen des Substrats 1, d.h. genauer von dessen Leiterschicht 3 sowie auch von dessen isolierender Schicht 2, wird einerseits ein Ätzen zunächst der Leiterschicht 3 in einer mehr oder weniger ringförmigen Zone 7 um einen Kernbereich 8 herum begünstigt; in diesem Kernbereich 8, wo aufgrund des Auftreffens des Laserstrahls 4 eine stärkere Erhitzung als in der Ringzone 7 erfolgt, kommt es hingegen zu einem Abscheiden von Leitermaterial (Metall), insbesondere Wolfram, aus der reaktiven Gasatmosphäre, wobei das abgeschiedene Leitermaterial 9 eine ungefähr kegelige bzw. kegelstumpfförmige Gestalt einnimmt. Mit den Pfeilen 10 bzw. 11 sind in Fig. 1 die angeführten Prozesse des Ätzens und Abscheidens bzw. die damit verbundenen Teilchenströme schematisch angedeutet.

Mehr im Detail wird im Fall einer  $WF_6$ -Leiterschicht 3 beim Ätzen ein Strom 10 von Wolframpartikeln in die Gasatmosphäre 6 abgegeben, und umgekehrt wird Wolfram gemäß dem Strom 11 aus der Gasatmosphäre 6 auf dem Substrat 1 abgeschieden, vergleiche das niedergeschlagene Leitermaterial 9 in Fig. 1. Die dabei ablaufenden chemischen Prozesse können grob wie folgt beschrieben werden:



Die bei diesen Prozessen, insbesondere beim Abscheiden von Wolfram (in fester Form), erhaltenen freien (Fluor)-Radikale begünstigen auch das Ätzen der isolierenden Schicht 2 des Substrats 1, welche beispielsweise aus amorphem Quarzglas ( $SiO_2$ ) besteht. Diese isolierende Schicht 2, vorzugsweise Quarzschicht, wird durch die mit Hilfe des Laserstrahls 4 (Leitermaterial 9) eingetragene Wärmeenergie ebenfalls erhitzt, wobei sie in einem dem Auftreffbereich 5 benachbarten Bereich 12 modifiziert wird, d.h. erweicht, gegebenenfalls sogar verflüssigt und teilweise verdampft wird. Durch diese Modifizierung des Materials der isolierenden Schicht 2 wird auch deren Ätzen entsprechend der Ringzone 7 begünstigt, wenn die Metall-Leiterschicht 3 über die gesamte Dicke hindurch geätzt worden ist (vergleiche auch die nachfolgend noch näher zu beschreibende Fig. 4).

Die Leiterschicht 3 besteht wie erwähnt aus einem Metall, wie insbesondere Wolfram, und sie kann beispielsweise eine Dicke in der Größenordnung von ungefähr 100 nm oder einigen wenigen 100 nm aufweisen. Bei entsprechend vergrößertem Laserstrahldurchmesser und entsprechend erhöhter Leistung kann die Dimension der Schicht bzw. der Gesamtstruktur entsprechend erhöht werden.

Die reaktive Gasatmosphäre kann anstatt aus Wolframhexafluorid auch beispielsweise aus Wolframhexachlorid ( $WCl_6$ ) bestehen, wobei sich vergleichbare thermodynamische Charakteristika in Verbindung mit Wolfram als Leitermaterial für die Leiterschicht 3 ergeben, wie sie nachfolgend an Hand der Fig. 2 und 3 noch näher erläutert werden. Ganz allgemein können für die reaktive Gasatmosphäre bevorzugt Metall-Halogenide verwendet werden, wobei außer Fluor auch Chlor und Brom sehr ätzreaktiv, insbesondere auch für Quarz als Material für die isolierende Schicht 2, ist.

In Fig. 2 ist schematisch in einem Diagramm einerseits der Temperaturverlauf - Kurve T - im Auftreffbereich 5 des Energiestrahls, d.h. Laserstrahls 4, und andererseits der Verlauf der Materialveränderungen - Kurve 13 - veranschaulicht. Wie dabei ersichtlich ist, liegt die Temperatur T, die durch den Laserstrahl 4 im Material der Leiterschicht 3, schließlich auch der isolierenden Schicht 2

induziert wird, im Kernbereich 8 oberhalb einer Schwellenwert-Temperatur  $T_{th}$ . Rund um diesen höher erhitzten Kernbereich 8 liegt die Temperatur  $T$ , die im Material induziert wird, unterhalb der Schwellenwert-Temperatur  $T_{th}$ , wobei wie erwähnt in der den Kernbereich 8 umgebenden Ringzone 7 - die selbstverständlich nicht exakt kreisringförmig sein muss, jedoch in der Regel - bei kreisförmigem Laserstrahlquerschnitt - eine ungefähre Kreisringform aufweisen wird - ein Ätzen erfolgen kann, siehe auch den unteren Teil von Fig. 2, wo ausgehend vom ursprünglichen, ebenen Materialverlauf 13' eine Kurve 13 für den Materialverlauf erhalten wird, gemäß der im Kernbereich 8 eine Metall-Abscheidung 9 erhalten wird, wogegen um diesen Kernbereich 8 herum durch den Ätztvorgang eine Vertiefung - in der Ringzone 7 - herbeigeführt wird.

In Fig. 3 ist zur zusätzlichen Veranschaulichung die Reaktionsrate  $R$  über der Temperatur  $T$  des Materials veranschaulicht, wobei bei Temperaturen unterhalb der Schwellenwert-Temperatur  $T_{th}$  wie erwähnt ein Ätzen erfolgt (Bereich 14 im Diagramm von Fig. 3), wogegen oberhalb dieser Schwellenwert-Temperatur  $T_{th}$  (Bereich 15 in Fig. 3) Metall (Wolfram) aus der Gasatmosphäre auf dem Substrat 1 niedergeschlagen wird.

Bei dem vorstehend bereits angeführten Beispiel mit Wolfram als Metall für die Leiterschicht 3 ebenso wie für das Metall in der reaktiven Gasatmosphäre und mit Wolframhexafluorid ergibt sich für die Schwellenwert-Temperatur  $T_{th}$  ein Wert von ungefähr 2200 K (im Fall von Wolframhexachlorid ca. 1400 K). Die im Material induzierte Temperatur im Bereich der Ringzone 7, für den Ätztvorgang, liegt beispielsweise zwischen 700 K und 1000 K, und im Kernbereich 8 liegt der Spitzenwert der Temperatur  $T$  bei ca. 2700 K.

Wie bereits in Zusammenhang mit Fig. 1 erwähnt, wird nach dem Durchätzen der Leiterschicht 3 in der Ringzone 7, wenn der gebündelte Energie- bzw. Laserstrahl 4 weiterhin auf das Substrat 1 gerichtet wird, auch die isolierende Schicht 2 des Substrats 1 in dem Bereich der Ringzone 7 geätzt, vgl. Fig. 4, und im Kernbereich 8 wird die Reaktionstemperatur  $T$  oberhalb der Schwellenwert-Temperatur  $T_{th}$  durch die Absorption von Energie in der Abscheidung 9 aufrecht erhalten. Das Ätzen des isolierenden, insbesondere des transparenten (Quarz) Materials der isolierenden Schicht 2 durch die Produkte der Abscheidereaktion (im angegebenen Beispiel Fluor oder Chlor) wird durch die zumindest teilweise sich ergebende Verflüssigung des Materials der isolierenden Schicht 2 im Bereich 12 oder aber durch direktes teilweises Verdampfen dieses Isoliermaterials unterstützt. Auf diese Weise wird je nach Zeitdauer der Aufrechterhaltung des Energiestrahls 4 eine mehr oder weniger tiefe Vertiefung 16 erhalten, und innerhalb der Vertiefung 16 liegt der durch das Abscheiden erhaltene Metallkern 9 vor, der mit zunehmender Eintiefung der Vertiefung 16 absinkt. Dieser Vorgang ist auch aus Fig. 6 ersichtlich, in der nur ein Ausschnitt des Substrats 1 zusammen mit einem am Boden der hergestellten Vertiefung 16 vorliegenden Metallkern 9, der durch Abscheiden erhalten wurde, gezeigt ist. Je länger der Laserstrahl 4 auf das Substrat 1 gerichtet wird, desto tiefer wird die Vertiefung 16; hierbei ist eine Wirkung des kombinierten Ätztvorganges und der hoch absorbierenden Abscheidung ähnlich einem "Bohrer" gegeben, wobei vergleichsweise kleine Löcher als Vertiefungen (je nach Strahlquerschnitt des Laserstrahls 4 mit einem Durchmesser in der Größenordnung von 1  $\mu\text{m}$  oder einigen wenigen  $\mu\text{m}$ ; mit ultrahohem Aspektverhältnis im transparenten Isoliermaterial der Isolierschicht 2) erhalten werden.

In Fig. 5 ist die zeichnerische Wiedergabe einer Elektronenmikroskopaufnahme einer so hergestellten Ablagerung 9 in Form eines Wolframkerns in einer Vertiefung in einem Substrat 1 ersichtlich. Konkret handelte es sich dabei um ein Substrat mit einer isolierenden Schicht 2 aus amorphem  $\text{SiO}_2$ , auf der eine ungefähr 200 nm dicke Wolframschicht als Leiterschicht 3 angebracht war. Die reaktive Gasatmosphäre umfasste Wolframhexafluorid, und die zum Erhitzen des Substratmaterials erforderliche Energie wurde mit Hilfe eines Laserstrahls, unter Verwendung eines Argonionen-Lasers mit einer Wellenlänge von 514 nm und einer Leistung von 205 mW, eingebracht. Die Zeitdauer des Laserpulses, d.h. die Bestrahlungszeit, betrug 15 bis 20 ms, und der Durchmesser der Bestrahlungsfläche war ca. 1  $\mu\text{m}$ .

In Fig. 7 ist eine gegenüber Fig. 1, 4 und 6 modifizierte Ausführungsform veranschaulicht, bei der ein Substrat 1 eingesetzt wird, das unterhalb der mit der Leiterschicht 3 bedeckten isolierenden Schicht 2 eine im Substrat 1 eingebettete weitere leitende Schicht 17 oberhalb einer isolierenden Basisschicht 18 aufweist. Wiederum wurde mit Hilfe eines Energiestrahls, d.h. Laserstrahls 4 (siehe Fig. 1 und 4), im oberen Bereich des Substrats 1 eine Vertiefung 16 hergestellt, in der ein Metallkern 9 als abgeschiedenes Leitermaterial vorliegt. Im Einzelnen wurde diese Vertiefung 16

so weit in das Substrat 1 "gebohrt", bis die untere leitende Schicht 17 erreicht wurde, und der Metallkern 9 sitzt nun am Boden der Vertiefung 16 auf dieser leitenden Schicht 17. Dadurch ergibt sich eine leitende Verbindung des Metallkerns 9 mit der leitenden Schicht 17, und durch Anlegen einer Spannung zwischen der leitenden Schicht 17 und der Leiterschicht 3 an der Oberseite des Substrats 1 kann ein Elektronenemissionseffekt erzielt werden, welcher durch die kleine Oberfläche des Metallkerns 9, insbesondere wenn der Metallkern 9 wie gezeigt eine etwas spitze, ungefähr kegelige Form hat, unterstützt wird. Diese Elektronenemission ist in Fig. 7 ganz schematisch mit einem Pfeil 19 angedeutet. Auf diese Weise kann eine Elektronenemitteranordnung erhalten werden, die für Anzeigeeinrichtungen (Displays) verwendet werden kann, wobei Arrays von mehreren Vertiefungen 16, je mit Metallkernen 9, pro Pixel (Bildpunkt) verwendet und gemeinsam elektrisch angesteuert werden.

Aus Fig. 8 ist ersichtlich, dass bei Verwendung geeigneter Linsenelemente 20 unmittelbar nebeneinander, die mehrere Laserstrahlen 4 nebeneinander auf das Substrat 1 fokussieren, gleichzeitig mehrere Vertiefungen 16 mit Metallkernen 9 darin erzeugt werden können, wobei die Vertiefungen 16 entsprechend der Darstellung von Fig. 7 bis zu einer unteren leitenden Schicht 17 oberhalb einer isolierenden Basisschicht 18 reichen. Die reaktive Gasatmosphäre 6 wird dabei innerhalb einer in Fig. 8 nur ganz schematisch veranschaulichten Umhausung, innerhalb einer geschlossenen Kammer 21, aufrechterhalten.

In Fig. 9 ist eine entsprechende Vorrichtung 22 zur Durchführung eines solchen Verfahrens wie vorstehend beschrieben veranschaulicht, wobei diese Vorrichtung im Prinzip jener Vorrichtung entsprechen kann, wie sie in der älteren, nicht vorveröffentlichten Anmeldung PCT/AT/02/00354 (bzw. der dieser entsprechenden Anmeldung AT A 2019/2001) beschrieben wird, und deren Offenbarung hier durch Bezugnahme mit eingeschlossen sein soll.

Im Einzelnen ist bei der gezeigten Vorrichtung 22 das Substrat 1 innerhalb einer geschlossenen Kammer 21 mit einer vorgegebenen reaktiven Gasatmosphäre (z.B. wie erwähnt  $WF_6$ ) auf einem nur schematisch veranschaulichten Halter oder Träger 23 angeordnet. Die in den erwähnten Auftreffbereichen 5 auf dem Substrat 1 auftreffenden Laserstrahlen 4 werden mit Hilfe einer Lasereinrichtung 24 erhalten, deren allgemeiner Laserstrahl 25 durch die bereits erwähnten, insbesondere kugelförmigen Linsenelemente 20 auf mehrere Laserstrahlen 4 aufgesplittet wird, welche in den genannten Auftreffbereichen 5 auf dem Substrat 1 fokussiert werden. Die von der Lasereinrichtung 24 abgegebene Strahlung 25 kann über ihren Querschnitt (Durchmesser D) eine inhomogene Intensität aufweisen, wie in Fig. 9 in einer Detailzeichnung bei 26 gezeigt ist, und um eine homogene Strahlungsintensität für die Bearbeitung der Oberfläche des Substrats 1 zu erzielen, ist ein Homogenisator 27 vorgesehen, der ein an sich bekanntes Bauelement bildet, und der über Reflexionen an seiner Innenwandung zu einer homogenen Intensitätsverteilung im Strahlungsbündel 25 führt, wie in Fig. 9 in der Detailzeichnung 28 für den Durchmesser D' dargestellt ist. Selbstverständlich kann der Durchmesser D' gleich dem Strahlungsbündel-Durchmesser D sein.

Die homogenisierte Strahlung tritt dann durch ein nur schematisch gezeigtes Fenster 29 in die Kammer 21 ein und trifft dort auf einen Einzellinsenelement-Träger 30 in Form einer planparallelen, für die Bestrahlung durchlässigen Platte 31 aus Glas, insbesondere Quarzglas, auf. Diese Platte 31 ist an ihrer dem Substrat 1 zugewandten Seite mit einer Vielzahl von Einzellinsenelementen 20 versehen, die in einer der jeweiligen Bearbeitung des Substrats 1 angepassten Anordnung an der Platte 31 durch natürliche Adhäsion haften. Bevorzugt wird eine maximal dichte Anordnung von kugelförmigen oder aber in Draufsicht kreisförmigen, ellipsoidförmigen Einzellinsenelementen 20 angewendet. Diese Einzellinsenelemente 20 führen zu den gebündelten Teilstrahlen 4, deren Fokuspunkte (Auftrittsbereiche) 5 an der Oberfläche des Substrats 1 liegen.

Um die Anordnung der Einzellinsenelemente 20 in einem definierten Abstand vom Substrat 1 festzulegen, sind Abstandshalter 32 am Träger 30 vorgesehen, über die der Träger 30, also die Platte 31, an der Substratoberfläche abgestützt ist. Ein solcher genau definierter Abstand ist für die Durchführung des Verfahrens in der bestimmten chemischen Atmosphäre von Vorteil, insbesondere wenn eine ultrahohe Miniaturisierung gewünscht wird. Im Idealfall ist wie erwähnt die Fokustiefe gleich dem Abstand der Einzellinsenelemente 20 vom Substrat 1, wobei bei Fortdauer des Prozesses, bei Herstellung der Vertiefungen 16, die Fokustiefe auch nachgestellt (z.B. mit Piezoelementen, s. unten) werden kann, so dass die Strahlen 4 auf Stellen etwas innerhalb des Substrats 1 fokussiert werden.

Die Abstandshalter 32 können in einfacher Weise durch Aufdampfen von dünnen lokalen Metallschichten, aber auch durch Sputter-Deposition, oder aber mit Hilfe von Piezoelementen realisiert werden. Im letzteren Fall kann, abgesehen von einer in Fig. 9 nicht näher veranschaulichten Messanordnung für die Ermittlung des gegebenen Abstands, auch eine Spannungsquelle 33 zum Anlegen einer Spannung  $U_p$  an die Piezoelement-Abstandshalter 32, zwecks Einstellung des jeweils optimalen Abstandes, insbesondere auch zur Erzielung einer exakten Parallelität des Linsenarrays und der Substrat-Oberfläche, angelegt werden.

Der Träger 30 mit den Einzellinsenelementen 20 kann am ehesten mit einer speziellen Maskeineinrichtung verglichen werden, mit der die Strahlung 27 zu mehr oder weniger punktförmigen Stellen in großer Anzahl - den Fokusbereichen 5 - gebündelt wird. Die Einzellinsenelemente 20 sind dabei in einer einzelnen Schicht, in einer Monolage, wie schematisch in Fig. 8 und 9 gezeigt, auf der Platte 31 angebracht, an der sie durch natürliche adhäsive Kräfte haften. Selbstverständlich sind die Einzellinsenelemente 20 für die verwendete Strahlung 25 im Wesentlichen transparent, und sie bestehen wie ebenfalls bereits erwähnt beispielsweise aus Glas, insbesondere Quarzglas. Im Fall von Kügelchen oder Ellipsoiden haben diese kleinen Körper Querschnittabmessungen, d.h. einen Durchmesser in der Größenordnung von 100 nm (oder darunter) bis zu einigen  $\mu\text{m}$ . Durch die bündelnde Wirkung dieser Einzellinsenelemente 20 bezüglich der einfallenden Strahlung 25 wird ein paralleler Vielfach-Fokussiereffekt mit einer praktisch beliebig hohen Zahl von Fokuspunkten 5 erzielt. Wenn das Substrat 1 mit seiner Oberfläche entsprechend nahe den Einzellinsenelementen 20 angebracht ist, kann dieser Vielfach-Fokussiereffekt zur beschriebenen Modifizierung des Substrats 1 in Form der kombinierten Metallabscheidung und Ätzung verwendet werden. Wenn weiters das Substrat 1 auf dem Halter 23 in der Zeichenebene gemäß Fig. 9 hin und her und senkrecht zur Zeichenebene hin und her, siehe den Pfeil 34 und den Kreis mit Punkt 35 in Fig. 9 links unten, bewegt wird, können entsprechende Elektronenemitter - Arrays an den gewünschten exakten Stellen im Substrat 1 angebracht werden. Auf diese Weise ergibt sich der Vorteil einer Kombination von hoher paralleler Durchsatzrate mit den universellen Eigenschaften des Einzelschritt-Bearbeitungsverfahrens.

Für bestimmte Muster von Vertiefungen 16 und Metallablagerungen 9 kann es erwünscht sein, nicht über alle Einzellinsenelemente 20 eine Fokussierung herbeizuführen, sondern bestimmte Bereiche auszublenden bzw. abzuschalten; hierfür kann eine in Fig. 9 mit strichlierten Linien veranschaulichte Maske 36 vor der Platte 31 angeordnet werden.

Als Einzellinsenelemente 20 können beispielsweise Glaskügelchen verwendet werden, wie sie im Handel in destilliertem Wasser oder in Lösungen, wie Isopropanol, erhältlich sind. Diese Kügelchen werden mit einer Mikropipette auf die hochreine planparallele Platte 31 in Tropfenform aufgebracht. Das standardmäßig erhältliche 40%ige Konzentrat von 5  $\mu\text{m}$ -Kügelchen erlaubt im Bereich von Aufbringungen von 0,1 bis 0,3  $\mu\text{l}$  ein direktes Kondensieren von breiten Monolagen in dichtester Anordnung. Modifizierungen der Anordnungen können durch leichtes Kippen der Oberfläche beim Kondensieren des Tröpfchens erzielt werden. Die Herstellung dichtester Monolagen über große Bereiche wurde bereits im Speziellen für die Beschichtung von Substraten untersucht, vgl. z.B. F. Burmeister et al., "Colloid monolayer lithography. A flexible approach for monostructuring of surfaces", Appl. Surface Science 144-145 (1999) 461-466. Etwaige Lösungsmittelreste sind ebenfalls hochtransparent und stören nicht den Durchtritt der Strahlung durch die Anordnung.

Strukturierungsabstände können durch Ändern der Kügelchendurchmesser variiert werden. Lose Anordnungen (Einzel-, Doppel- und Dreifachstrukturen) werden durch Aufspinnen der Lösung erreicht.

Die Haftung der Kügelchen kann durch äußere Kräfte, z.B. durch Anlegen einer (Gleich-)Spannung  $U$  zwischen der Platte 31 und dem Substrat 1, verstärkt werden. Hierzu ist in Fig. 9 eine Spannungsquelle 37 dargestellt.

Die Fokussierwirkung kann bei Kügelchendurchmessern von kleiner 5  $\mu\text{m}$  im Bereich der verwendeten Strahlungswellenlängen liegen und damit sehr hoch sein. Für Kügelchendurchmesser kleiner als ca. 1  $\mu\text{m}$  würde die Fokusebene an eine Stelle innerhalb des Kügelchens rücken. Hier kann eine plastische Verformung zu linsenähnlichen, dünneren Strukturen, wie sie sich mitunter über längere Zeiten von selbst ergibt, oder die Verwendung kleinerer Kügelchen die Fokusebene wieder nach außen legen.

Der Abstand zum Substrat 1 muss der Anwendung entsprechend eingestellt werden. Die

Distanz des Fokus beträgt unter Umständen nur einen Bruchteil des Kugeldurchmessers; bei 5 µm-Kugeln kann die Distanz z.B. ca. 1 µm betragen.

In Fig. 9 ist die Anordnung des Substrats 1 in der geschlossenen Kammer 21 gezeigt, die das transparente Eintrittsfenster 29 für die Strahlung 25, insbesondere Laser-Strahlung, aufweist, welche entsprechend großflächig, wie auch in Fig. 1 gezeigt, auf der Platte 31 auftrifft, um sodann mit Hilfe der Einzellinsenelemente 20 in die gebündelten Teilstrahlen 4, zu den Einzel-Fokuspunkten 5, unterteilt zu werden. Dabei ist die reaktive Gasphase wiederum ganz schematisch bei 6 angedeutet. Zur Herbeiführung der entsprechenden Gasatmosphäre in der Kammer 21 sind ein Evakuierungs-Auslass 38 und ein Gaseinlass 39 an der Kammer 21 vorgesehen, wobei der Auslass 38 mit einer nicht näher gezeigten Vakuumpumpe und der Einlass 39 mit einer ebenfalls nicht näher gezeigten Gasquelle - selbstverständlich jeweils über ein Ventil oder dergleichen - verbunden ist. Die Gasversorgung kann durch optional angepasste Bohrungen in der Matrix 30/31 oder im Substrat 1 optimiert werden.

In Fig. 10 ist schließlich, wie bereits erwähnt, schematisch ein Array 40 von an einem Substrat 1 hergestellten Vertiefungen mit Metallablagerungen 9 hergestellt, wobei das gesamte Array 40 einem Bildpunkt oder Pixel in einer Display-Anordnung entsprechen kann. Zuzufolge der besonders kleinen Abmessungen der Metallkerne 9 (im Bereich von beispielsweise 1 µm) und der entsprechenden Anzahl von solchen Metallkernen 9 pro Array 40 ist die exakte Anordnung der Metallkerne 9 in einem regelmäßigen Muster im Array 40 nicht wirklich von Bedeutung, da das gesamte Array 40 von Metallkernen 9 wie erwähnt einen Bildpunkt definiert.

Um die Leistung des Laserstrahls 25 (bzw. 4) je nach Anwendungsfall einstellen zu können, ist eine in Fig. 9 nur schematisch gezeigte, an sich herkömmliche Leistungs-Einstelleinrichtung 41 vorgesehen. Eine Fokussier(einstell-)einrichtung 42 wird - abgesehen von den Linsenelementen 20 - durch die Vorspannungseinrichtung 33 und die Piezoelemente 32 erhalten.

#### PATENTANSPRÜCHE:

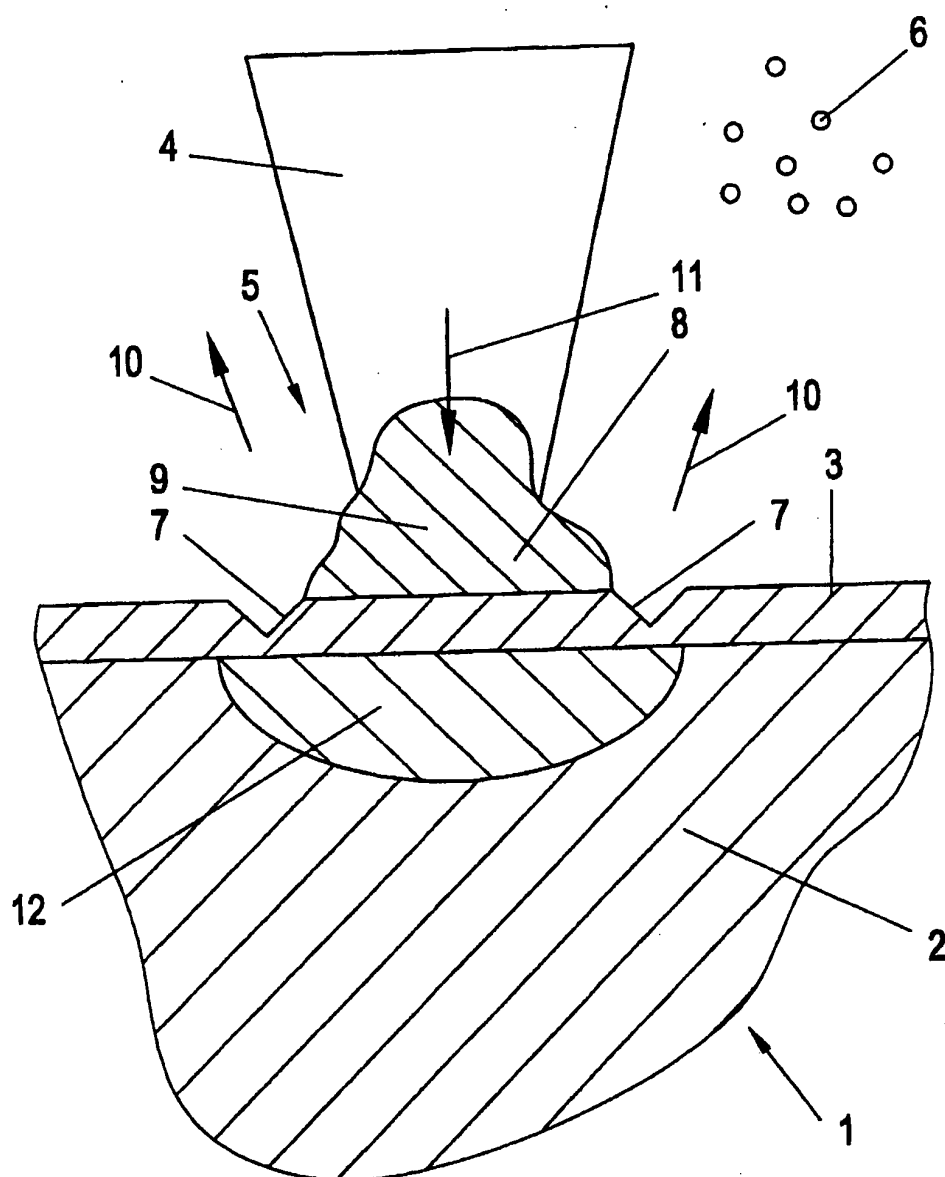
1. Verfahren zum lokalen Ätzen eines Substrats, das zumindest eine obere, insbesondere metallische Leiterschicht und eine darunter befindliche isolierende Schicht aufweist, in einer reaktiven Gasatmosphäre, bei welchem Verfahren gleichzeitig beim Ätzen bei einer unterhalb einer Schwellenwert-Temperatur, z.B. ca. 2200 K, liegenden Temperatur Leitermaterial aus der Leiterschicht in die Gasatmosphäre überführt und aus der Gasatmosphäre bei einer Temperatur oberhalb der Schwellenwert-Temperatur ein dem Leitermaterial der Leiterschicht entsprechendes Leitermaterial örtlich im Ätzbereich auf dem Substrat abgeschieden wird, wobei ein Energiestrahle, insbesondere Laserstrahl, zur Zuführung von Wärmeenergie für das gleichzeitige Ätzen und Abscheiden auf das Substrat gerichtet wird, dessen Leistung so bemessen wird, dass die Temperatur des Substrats in einem inneren Kernbereich für den Abscheidvorgang oberhalb der Schwellenwert-Temperatur liegt, wogegen in einer diesen Kernbereich umgebenden Ringzone die Temperatur des Substrats für den Ätzbvorgang unterhalb der Schwellenwert-Temperatur liegt, **dadurch gekennzeichnet**, dass beim Ätzen nach dem ringförmigen Wegätzen der Leiterschicht auch die isolierende Schicht unter Erhitzen geätzt wird, und dass durch das Ätzen der isolierenden Schicht eine Vertiefung in der isolierenden Schicht gebildet wird, auf deren Boden das abgeschiedene Leitermaterial gehalten wird, und deren Tiefe durch die Dauer der Zuführung des Laserstrahls festgelegt wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass als Substrat ein solches mit zumindest zwei weiteren Schichten unter der isolierenden Schicht, nämlich einer unteren leitenden Schicht und einer isolierenden Basisschicht, verwendet wird, und die Vertiefung bis zur unteren leitenden Schicht gebildet wird, auf der das abgeschiedene Leitermaterial abgesetzt wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Material der isolierenden Schicht beim Erhitzen zumindest erweicht, vorzugsweise verflüssigt, wird.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass ein Substrat mit einer Leiterschicht aus Wolfram, wie an sich bekannt, verwendet wird sowie als



reaktive Gasatmosphäre in an sich bekannter Weise eine  $WF_6$ -Atmosphäre eingesetzt wird, und dass mit dem Laserstrahl im inneren Kernbereich eine Temperatur von ca. 2700 K und in der Ringzone eine Temperatur von 700 K bis 1000 K herbeigeführt wird.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass als reaktive Gasatmosphäre eine  $WCl_6$ -Gasatmosphäre verwendet wird.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass ein Substrat mit einer transparenten isolierenden Schicht, insbesondere aus Quarz, wie an sich bekannt, verwendet wird.
7. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 6, mit einer geschlossenen Kammer (21) mit zumindest einem Anschluss (38, 39) zum Herbeiführen einer vorgegebenen Gasatmosphäre zu der Kammer (21), mit einem Substrat-Träger (23) und mit einer Lasereinrichtung (24) zum Richten eines Laserstrahls, vorzugsweise durch ein Fenster (29) der Kammer (21), auf das Substrat (1), **dadurch gekennzeichnet**, dass der Lasereinrichtung (24) eine Leistungs-Einstelleinrichtung (41) zugeordnet ist.

# HIEZU 8 BLATT ZEICHNUNGEN



**FIG. 1**

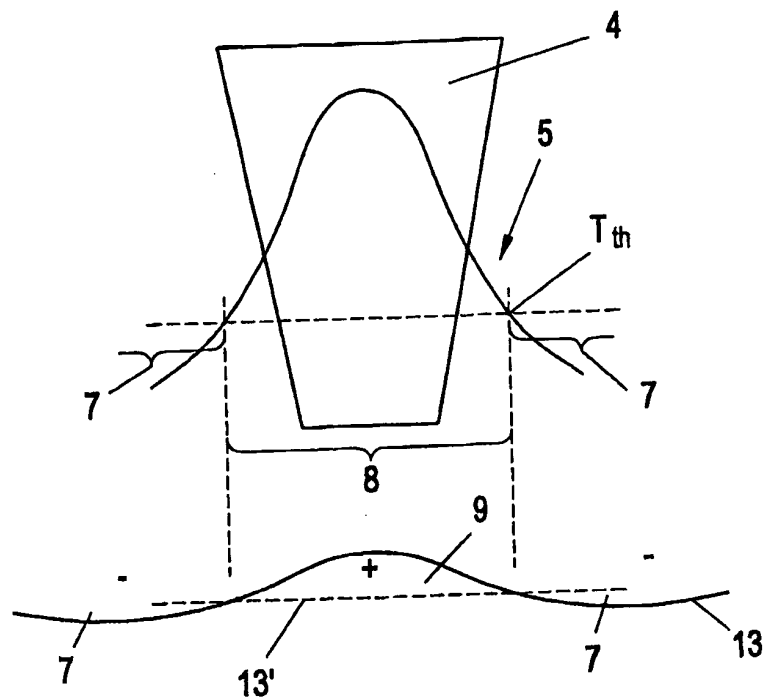


FIG. 2

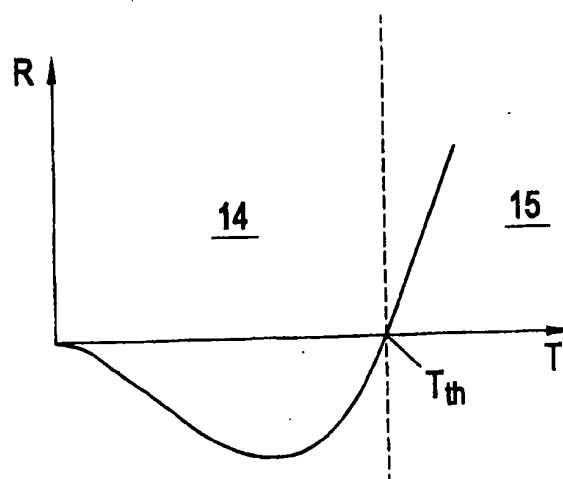


FIG. 3

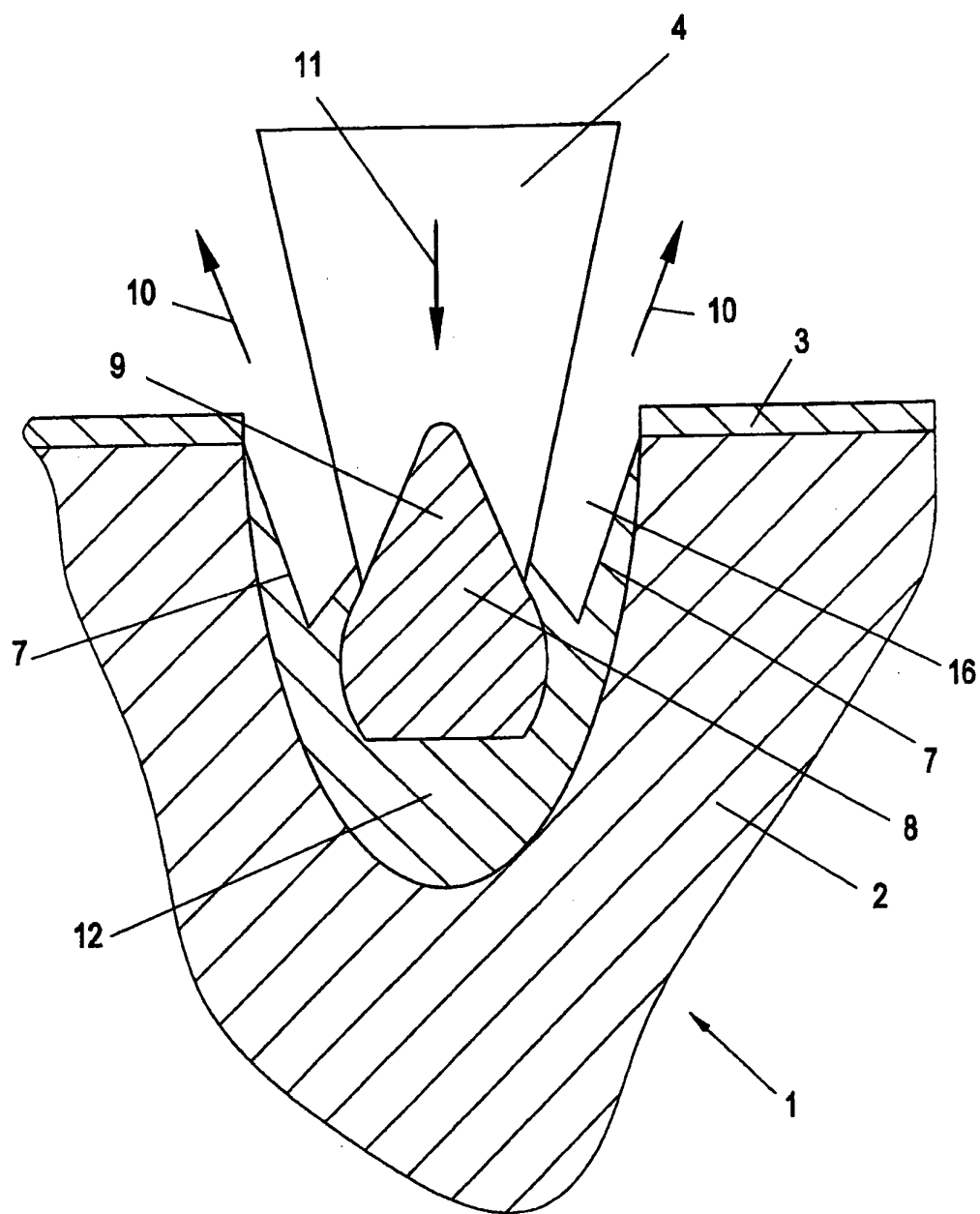


FIG. 4

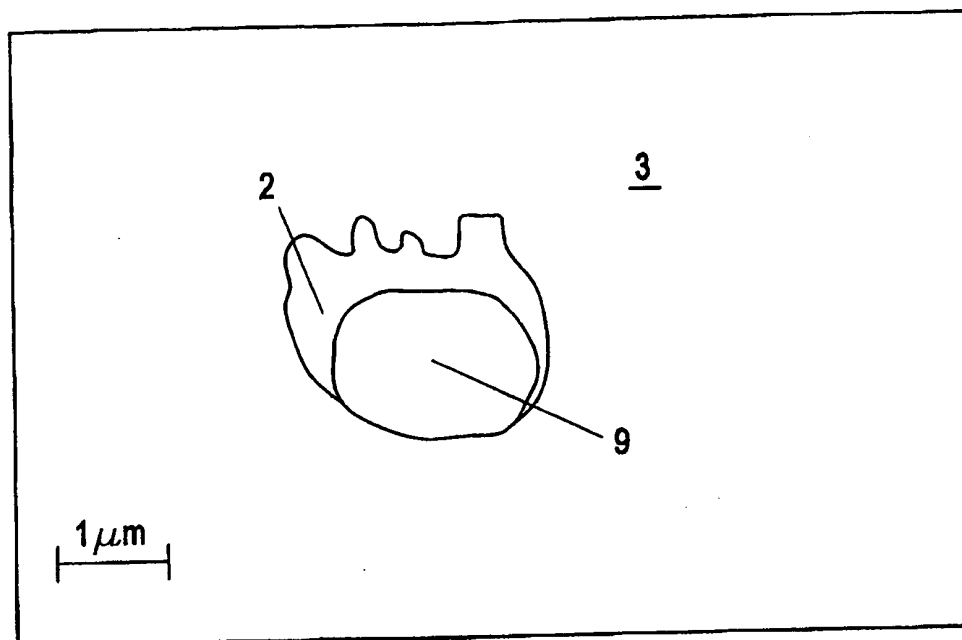


FIG. 5

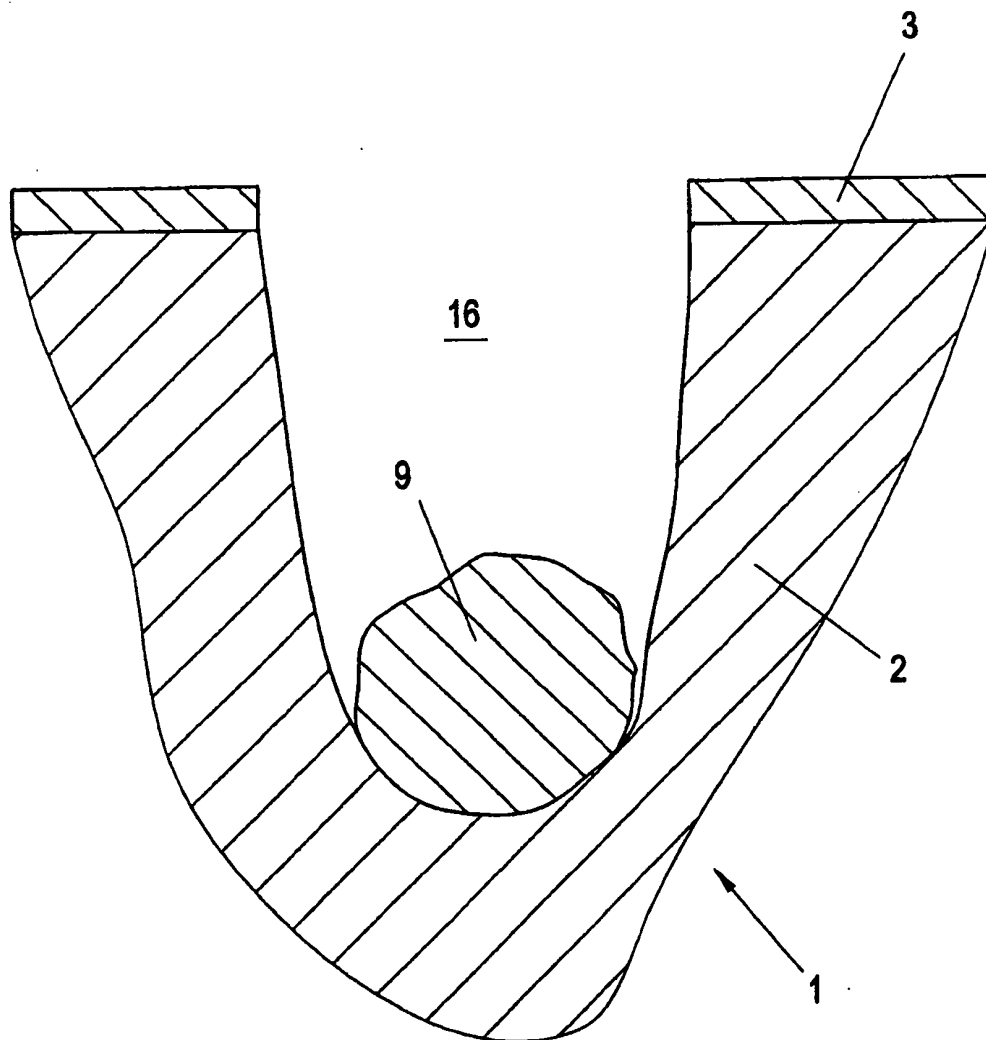


FIG. 6

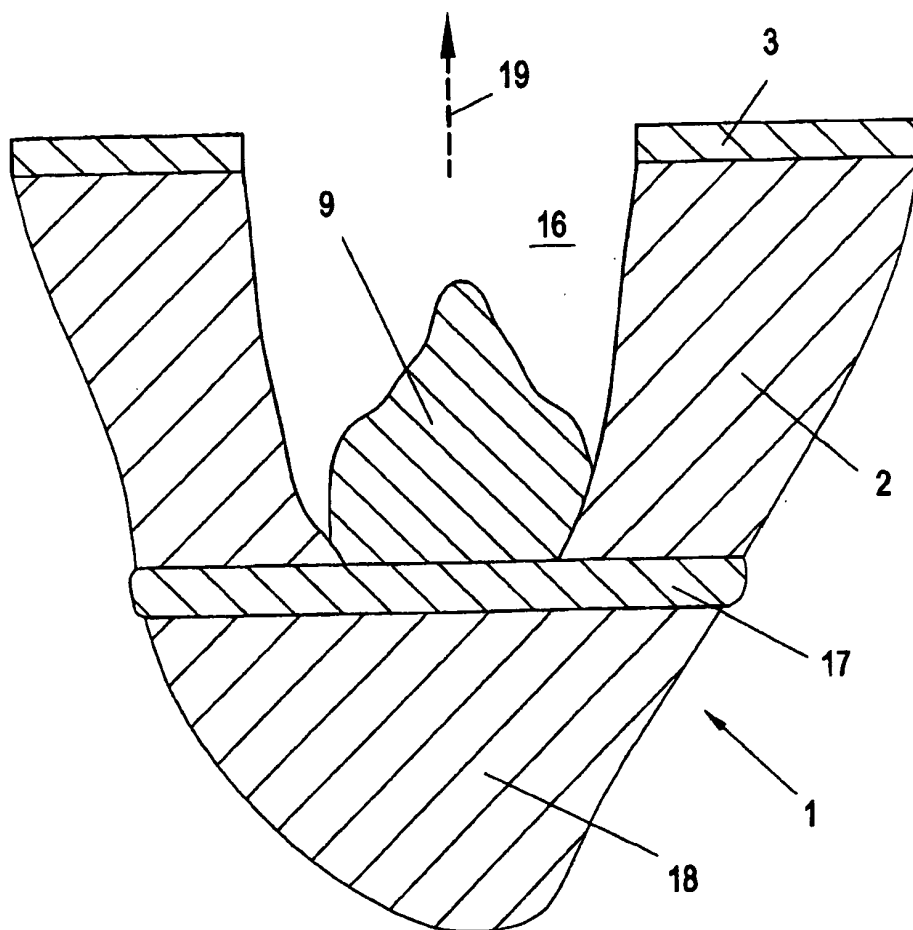


FIG. 7

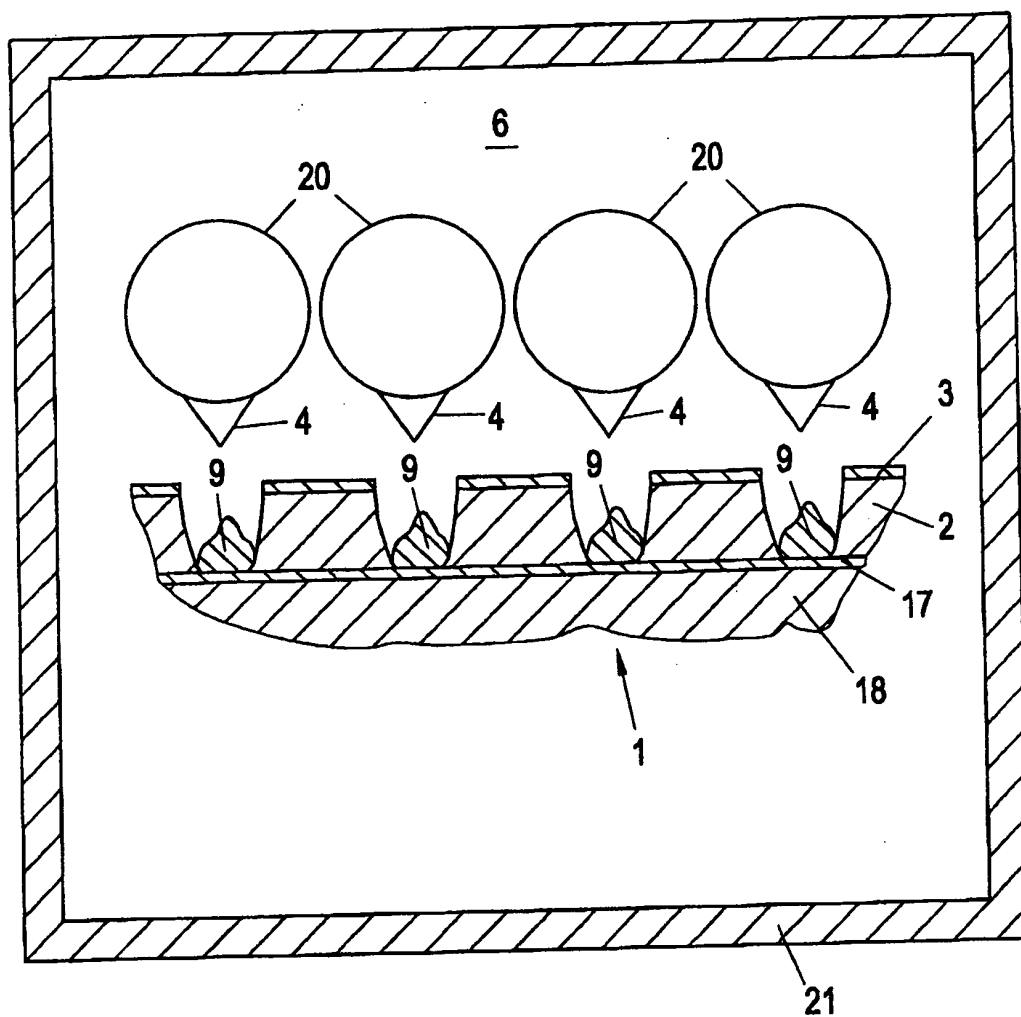


FIG. 8



FIG. 9

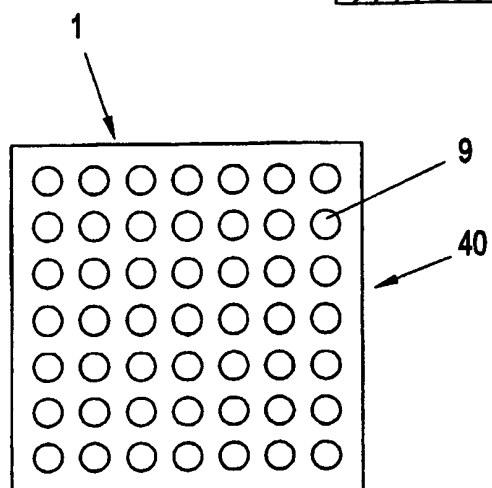
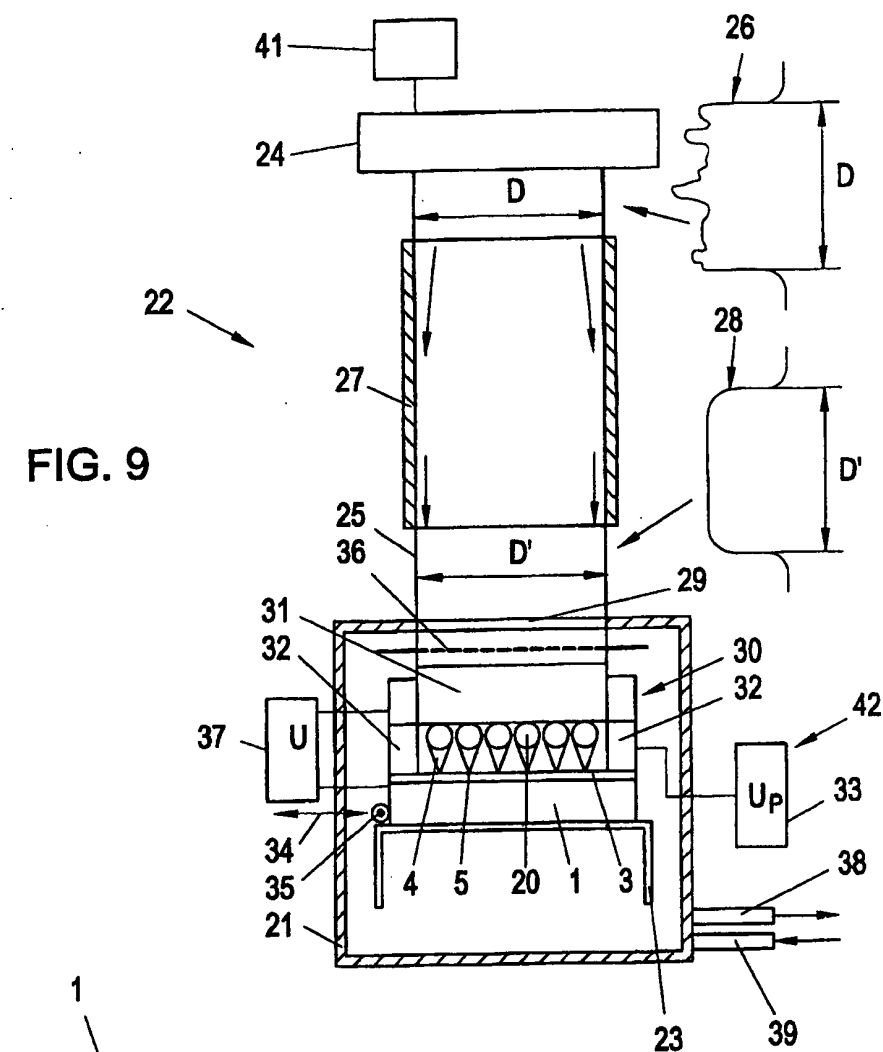


FIG. 10