

PCTWELTORGANISATION FÜR GEISTIGES EIGENTUM
Internationales BüroINTERNATIONALE ANMELDUNG VERÖFFENTLICHT NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE
INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT)

(51) Internationale Patentklassifikation⁶ : H01L 21/00	A2	(11) Internationale Veröffentlichungsnummer: WO 99/59191 (43) Internationales Veröffentlichungsdatum: 18. November 1999 (18.11.99)
(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE99/01485 (22) Internationales Anmeldedatum: 12. Mai 1999 (12.05.99) (30) Prioritätsdaten: 198 21 237.2 12. Mai 1998 (12.05.98) DE (71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten ausser US): FRAUNHOFER GESELLSCHAFT ZUR FÖRDERUNG DER ANGEWANDTEN FORSCHUNG E.V. [DE/DE]; Leonrodstrasse 54, D-80636 München (DE). (72) Erfinder; und (75) Erfinder/Anmelder (nur für US): LÖCHEL, Bernd [DE/DE]; Kränzchenweg 2a, D-14979 Grossbeeren (DE). MACIOSSEK, Andreas [DE/DE]; Landhausstrasse 36, D-10717 Berlin (DE). BLEIDIESSEL, Gerhard [DE/DE]; Rosenthaler Strasse 6, D-15320 Trebnitz (DE). WILBERS, Wilhelmus [NL/NL]; Kamille 23, NL-5071 Udenhout (NL). (74) Anwalt: GAGEL, Roland; Landsberger Strasse 480 a, D-81241 München (DE).	(81) Bestimmungsstaaten: JP, US, europäisches Patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE). Veröffentlicht <i>Ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts.</i>	
(54) Title: METHOD AND DEVICE FOR DRYING PHOTORESIST COATINGS (54) Bezeichnung: VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUR TROCKNUNG VON PHOTORESISTSCHICHTEN (57) Abstract <p>The present invention relates to a method and device for drying photoresist coatings. A substrate (12) provided with the photoresist coating is impinged upon by infrared radiation from an infrared radiation source (4) with an adjustable output. The temperature of the area around the photoresist layer is measured during drying. The output of the infrared radiation source is temperature-controlled so as to achieve a specific chronological temperature cycle. For this purpose, the inventive device is provided with a control unit (8) and a temperature measuring device (6, 7). The inventive method and device pertaining thereto enable especially thick photoresist coatings ($\geq 20 \mu\text{m}$) to be dried in an optimum manner over a short period of time. The photoresist mask that is subsequently produced has a high resolution.</p> (57) Zusammenfassung <p>Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Trocknung von Photoresistschichten, bei dem ein Substrat (12) mit der aufgetragenen Photoresistschicht mit IR-Strahlung einer in der Leistung verstellbaren IR-Strahlungsquelle (4) beaufschlagt wird. Während der Trocknung wird die Temperatur in der Umgebung der Photoresistschicht gemessen und die Leistung der IR-Strahlungsquelle anhand der Temperatur so gesteuert, daß ein vorgegebener zeitlicher Temperaturverlauf realisiert wird. In der erfindungsgemäßen Vorrichtung sind hierzu eine Steuereinheit (8) sowie eine Temperaturmeßeinrichtung (6, 7) vorgesehen. Mit dem erfindungsgemäßen Verfahren und der zugehörigen Vorrichtung lassen sich insbesondere dicke Photoresistschichten ($\geq 20 \mu\text{m}$) in kurzer Zeit optimal trocknen, wobei eine hohe Auflösung einer nachfolgend hergestellten Photoresistmaske erreicht werden kann.</p>		

LEDIGLICH ZUR INFORMATION

Codes zur Identifizierung von PCT-Vertragsstaaten auf den Kopfbögen der Schriften, die internationale Anmeldungen gemäss dem PCT veröffentlichen.

AL	Albanien	ES	Spanien	LS	Lesotho	SI	Slowenien
AM	Armenien	FI	Finnland	LT	Litauen	SK	Slowakei
AT	Österreich	FR	Frankreich	LU	Luxemburg	SN	Senegal
AU	Australien	GA	Gabun	LV	Lettland	SZ	Swasiland
AZ	Aserbajdschan	GB	Vereinigtes Königreich	MC	Monaco	TD	Tschad
BA	Bosnien-Herzegowina	GE	Georgien	MD	Republik Moldau	TG	Togo
BB	Barbados	GH	Ghana	MG	Madagaskar	TJ	Tadschikistan
BE	Belgien	GN	Guinea	MK	Die ehemalige jugoslawische Republik Mazedonien	TM	Turkmenistan
BF	Burkina Faso	GR	Griechenland	ML	Mali	TR	Türkei
BG	Bulgarien	HU	Ungarn	MN	Mongolei	TT	Trinidad und Tobago
BJ	Benin	IE	Irland	MR	Mauretanien	UA	Ukraine
BR	Brasilien	IL	Israel	MW	Malawi	UG	Uganda
BY	Belarus	IS	Island	MX	Mexiko	US	Vereinigte Staaten von Amerika
CA	Kanada	IT	Italien	NE	Niger	UZ	Usbekistan
CF	Zentralafrikanische Republik	JP	Japan	NL	Niederlande	VN	Vietnam
CG	Kongo	KE	Kenia	NO	Norwegen	YU	Jugoslawien
CH	Schweiz	KG	Kirgisistan	NZ	Neuseeland	ZW	Zimbabwe
CI	Côte d'Ivoire	KP	Demokratische Volksrepublik Korea	PL	Polen		
CM	Kamerun	KR	Republik Korea	PT	Portugal		
CN	China	KZ	Kasachstan	RO	Rumänien		
CU	Kuba	LC	St. Lucia	RU	Russische Föderation		
CZ	Tschechische Republik	LI	Liechtenstein	SD	Sudan		
DE	Deutschland	LK	Sri Lanka	SE	Schweden		
DK	Dänemark	LR	Liberia	SG	Singapur		
EE	Estland						

Verfahren und Vorrichtung
zur Trocknung von Photoresistschichten

5

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Trocknung von Photoresistschichten, insbesondere für die Mikrosystem- und Feinwerktechnik.

Innerhalb der Fertigungstechnologie in der Mikrosystem- und Feinwerktechnik stellt die Herstellung einer Maske mittels Photoresistmaterialien einen entscheidenden Verfahrensschritt dar.

Photoresiste sind maßgeschneiderte Vielstoffsysteme, die zur Fertigung von mikroelektronischen Bauelementen, Mehrschichtsystemen und mikromechanischen Teilen verwendet werden. Die Vielfalt der photographischen, chemischen und mechanischen Anforderungen im Fertigungsprozeß kann nur durch entsprechend angepasste Photoresiste erfüllt werden. Die Photoresiste sind Mehrkomponentensysteme, die aus einem polymeren Bindemittel, einer photoaktiven Komponente und einem Lösungsmittelgemisch bestehen. Dabei bestimmt das polymere Bindemittel die physikalischen Eigenschaften, die photoaktive Komponente wirkt auf den photochemischen Prozeß, und das Lösungsmittelgemisch beeinflusst das Verhalten des Resistsystems beim Trocknungsprozeß. Das Lösungsmittelgemisch wird so zusammengesetzt, daß ein Lösemittel enthalten ist, welches einen hohen Dampfdruck besitzt, um das Austreiben des Lösungsmittelgemisches aus dem Photoresist während des Trocknungsprozesses zu beschleunigen bzw. begünstigen.

Die Trocknung der Photoresiste als unmittelbare Vorstufe vor dem photolithographischen Schritt im

Fertigungsprozeß gilt als ein sehr sensibler
Prozeßschritt. Die physikalische Trocknung der
Photoresiste muß so durchgeführt werden, daß eine
vollständige Entfernung des Lösungsmittelgemisches
5 erreicht wird.

In modernen Fertigungslinien im Bereich der
Mikroelektronik erfolgt die Resistbeschichtung der
Scheiben (Wafer) in der Regel auf einer zentrischen
10 Schleuder bei circa 5000 min^{-1} . Die Resistdicke bewegt
sich hierbei in der Regel zwischen $0,5 \mu\text{m}$ bei ebenen bzw.
eingeebneten Oberflächen und $2 \mu\text{m}$ bei stark stufenbehaf-
teten Oberflächen. Die Trocknung erfolgt schließlich auf
einer Heizplatte bei circa 100°C , wobei das Lösungsmittel
15 vollständig ausgetrieben wird. Anschließend erfolgt das
Justieren und Belichten des Photoresists in einem beson-
deren Scheibenbelichtungsgerät.

Die Trocknungsdauer von dickeren Schichten ($\geq 40 \mu\text{m}$),
wie sie insbesondere in der Mikromechanik benötigt
20 werden, beträgt mit dieser konventionellen Technik jedoch
in der Regel 16 bis 20 Stunden je Charge, so daß dies
einen Engpaß in der Fertigungslinie darstellt.

Des weiteren können sich Resistblasen während des
25 Trocknungsprozesses für dickere Schichten bilden, da
Photoresist für diese Anwendungen einen hohen
Bindemittelanteil und eine niedrige Viskosität besitzt.
Die Blasen treten verstärkt bei der Trocknung im Ofen und
auf einer Heizplatte auf. Es handelt sich dabei um
30 Lösungsmittelgasblasen, die im getrockneten Photoresist
haften bleiben. Diese Blasen können mehrere $100 \mu\text{m}$ hoch
werden und bei der nachfolgenden Belichtung in der
Fertigungslinie die Strukturauflösung extrem
verschlechtern (Proximityeffekt).

Aus der EP 0 509 962 A1 ist ein Verfahren zur Trocknung von Photopolymeren auf metallisierten Substraten bekannt, bei dem die Schichten mittels Infrarotstrahlung (IR-Strahlung) getrocknet werden. Diese
5 Veröffentlichung beschäftigt sich speziell mit der Vorhangbeschichtung in der Leiterplattentechnik, wobei dünne Schichten im Bereich von 15 μm schnell und effizient getrocknet werden können. Dieses Verfahren läßt sich jedoch nicht in eine Fertigungslinie für die
10 Mikrosystemtechnik integrieren. Außerdem führt die bloße Beaufschlagung von dicken Schichten ($\geq 20 \mu\text{m}$) mit IR-Strahlung, wie sie in der Mikrosystemtechnologie benötigt werden, nicht zu zufriedenstellenden Ergebnissen hinsichtlich der Oberflächenqualität der getrockneten
15 Schichten. Im Gegensatz zur Leiterplattentechnik ist die Oberflächenqualität der Photoresiste in der Mikrosystemtechnologie zur Erzeugung hochauflösender Strukturen jedoch von großer Bedeutung.

20 Es ist eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Verfahren und eine Vorrichtung bereitzustellen, mit denen eine prozeßintegrierte Trocknung von Photoresistschichten mit Dicken von mehr als 20 μm in vertretbarer Zeit möglich ist. Des weiteren soll der Trocknungsprozeß für ver-
25 schiedene Resiste unterschiedlicher Dicken und für unterschiedliche Kombinationen Resist / Substrat geeignet sein und die Herstellung von Masken hoher Abbildegengenauigkeit ermöglichen.

30 Die Aufgabe wird mit dem Verfahren und der Vorrichtung gemäß den geltenden Patentansprüchen 1 und 8 gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen sind Gegenstand der Unter-
ansprüche.

35 Mit dem Verfahren und der zugehörigen Vorrichtung lassen sich eine drastische Reduzierung der Trocknungs-

zeiten um circa 80 % gegenüber bekannten Trocknungs-
verfahren sowie eine deutliche Energieeinsparung errei-
chen. Das Trocknungsverfahren führt zu homogenen, gleich-
mäßig durchgetrockneten Photoresisten und gestattet
5 dadurch eine Verkürzung der Belichtungszeiten für hoch-
aufgebaute Schichten.

Für die Mikrosystemtechnik ist bisher keine Trock-
nungstechnik bekannt, die in so kurzer Zeit hochauf-
10 gebaute Flüssig-Photoresiste mit einer Schicht-
dicke $\geq 20 \mu\text{m}$ qualitätsgerecht trocknet. Die Trocknung
bewirkt keine chemische Veränderung im Resistmaterial.

Mit dem erfindungsgemäßen Verfahren und der
15 erfindungsgemäßen Vorrichtung ist eine wesentliche
technologische Voraussetzung für die Applikation in der
Mikrosystemtechnik gegeben, die der Forderung nach immer
kürzerer technologischer Bearbeitungszeit von
Bauelementen gerecht wird. Das erfindungsgemäße Verfahren
20 eröffnet gleichzeitig die Möglichkeit, mikromechanische
Bauteile maßhaltig galvanisch abzuformen und
Mehrschichtsysteme aufeinander aufzubauen.

Mit dem erfindungsgemäßen Verfahren und der Vorrich-
25 tung konnten Produkte gefertigt werden, die bisher in der
erreichten Präzision mit keinem anderen Trocknungsverfah-
ren hergestellt werden konnten.

Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren wird ein
30 Substrat mit der aufgetragenen Photoresistschicht in
einer entlüfteten Prozeßkammer mit IR-Strahlung
beaufschlagt, während gleichzeitig die Temperatur bzw.
eine temperaturabhängige Größe in der Umgebung der
Photoresistschicht gemessen wird. Die Leistung der
35 IR-Strahlungsquelle wird in Abhängigkeit von der
gemessenen Temperatur bzw. temperaturabhängigen Größe

(z.B. elektr. Widerstand) zur Erzielung eines vorgegebenen zeitlichen Temperaturverlaufs in der Umgebung der Photoresistschicht in Echtzeit geregelt. Diese Regelung ermöglicht es, daß der Trocknungsverlauf der Schicht optimal für die jeweilige Kombination des Resistmaterials und des Substrates gewählt werden kann.

Als Umgebung der Photoresistschicht kann hierbei der von der Prozeßkammer umschlossene Raum angesehen werden. Eine Temperaturmessung möglichst nahe an der Photoresistschicht ist jedoch vorzuziehen.

Der Temperaturverlauf $T(t)$ (T : Temperatur; t : Zeit) kann hierbei konstant gewählt werden ($T(t) = T_0 = \text{const}$), so daß sich die Temperatur während des Trocknens nicht ändert. Die Höhe der Temperatur wird entsprechend den gewählten Resist- und Substratmaterialien eingestellt. Durch experimentelle Versuche können die optimalen Parameter, d.h. Höhe der Temperatur und Dauer der Bestrahlung, sowie eine eventuelle Veränderung der Temperatur über die Trocknungszeit optimal bestimmt werden. Bei der Höhe der Temperatur ist selbstverständlich eine Obergrenze zu beachten, oberhalb der der jeweilige Photoresist zerstört wird.

25

Die erfindungsgemäße Vorrichtung besteht vorzugsweise aus einer entlüftbaren Kammer mit einem Lufteinlaß sowie einem Luftauslaß zum Abführen der aus dem Photoresist austretenden Lösungsmittel. In der Kammer ist ein vorzugsweise höhenverstellbarer IR-Strahler über einer Substrathalterung angeordnet. Vorzugsweise ist die Substrathalterung drehbar und kann mehrere Substrate gleichzeitig aufnehmen. Ein Temperaturmeßsensor erfaßt die Temperatur während der Trocknung. Weiterhin ist eine Steuereinheit vorgesehen, die die Leistung des IR-Strahlers in Abhängigkeit von der gemessenen

35

Temperatur so steuert, daß ein vorgebbbarer zeitlicher Temperaturverlauf an der Meßstelle des Temperatursensors realisiert werden kann.

5 Die Erfindung wird nachfolgend anhand von Ausführungsbeispielen in Verbindung mit den Zeichnungen näher beschrieben. Hierbei zeigen

10 Fig. 1 eine Ausführungsform der erfindungsgemäßen Vorrichtung zur Trocknung von Photoresistschichten;

15 Fig. 2 ein Beispiel für einen vorgegebenen zeitlichen Temperaturverlauf, der eine Rampe beinhaltet;

20 Fig. 3 ein Beispiel für eine Anwendung des erfindungsgemäßen Trocknungsverfahrens zur Herstellung von Andruckfedern von Lese/Schreibköpfen für Festplatten;

25 Fig. 4 eine mikroskopische Aufnahme einer Struktur, die bei Einsatz des erfindungsgemäßen Trocknungsverfahrens realisiert werden kann;

30 Fig. 5a ein Beispiel einer besonders vorteilhaften Aufnahmevorrichtung für Substrate bzw. Wafer in der erfindungsgemäßen Vorrichtung in Draufsicht; und

35 Fig. 5b eine Schnittansicht einer kreisförmigen Einzelhalterung der Aufnahmevorrichtung der Fig. 5a.

Fig. 1 zeigt eine Prinzipskizze eines Ausführungsbeispiels einer erfindungsgemäßen IR-Trocknungsanlage.

Sie besteht im wesentlichen aus drei funktionellen Teilen, dem eigentlichen Ofen (entlüftbare Kammer) 1 mit einer Aufnahmemöglichkeit 5 für eine definierte Anzahl von Wafern 12 der Abmessungen 4" und 6", einer IR-Strahlungsquelle 4 mit zugehörigem Netzteil 9 und dem Steuermodul 8. Im Steuermodul sind die Regelungs-Hard- und Software und die erforderliche Rechnertechnik vereint, die die Regelung der Leistung der IR-Strahlungsquelle übernehmen.

10

Die Stellfläche der Gesamtanlage beträgt in diesem Beispiel circa 0,9 m². Die Leistungsaufnahme der IR-Strahlungsquelle beträgt 4 kW. Die aufzunehmende Leistung ist von 0 bis 100 % regelbar.

15

Für eine kontrollierte Prozeßführung ist die Erfassung der Temperatur von grundlegender Bedeutung. Hierzu sind im vorliegenden Fall zwei unterschiedliche Temperaturmeßsensoren 6, 7 vorgesehen. Die beiden Temperatursensoren, ein Pyrometer 7 und ein temperaturabhängiger Widerstand 6 (PT100) können komplementär zur Prozeßführung genutzt werden. Es versteht sich von selbst, daß auch andere Temperaturmeßsensoren, wie beispielsweise Thermoelemente, eingesetzt werden können. Ebenso ist es nicht notwendig, wie im vorliegenden Fall, zwei getrennte Temperatursensoren vorzusehen. Es reicht vielmehr ein Temperatursensor, vorzugsweise ein PT100, der die Temperaturdaten bzw. eine zur Temperatur in fester Relation stehende Meßgröße an das Steuermodul 8 liefert.

30

Anhand der bisher mit dem dargestellten System durchgeführten Trocknungsgänge an unterschiedlichen Kombinationen Photoresist / Substrat und mit unterschiedlichen Schichtdicken des Photoresists konnte erkannt werden, daß eine IR-Strahlungsquelle mit einer

35

Leistung von 2,5 kW für die meisten Anwendungen ausreichend ist.

Da eine präzise Temperaturmessung im IR-Strahlengang
5 sehr aufwendig ist, wird in der vorliegenden Vorrichtung
durch Anordnung der Temperatursensoren unterhalb der
Wafer-Aufnahme 5 eine Relativmessung der Temperatur der
umgebenden Luft bzw. des umgebenden Gases durchgeführt.
Insgesamt ist eine Temperaturmessung außerhalb der
10 Strahlung, d.h. außerhalb des Bereiches zwischen dem IR-
Strahler und der Wafer-Aufnahme, vorzuziehen.

In der in Fig. 1 gezeigten Vorrichtung sind ein
Lufteinlaß 2 und ein Luftauslaß bzw. Abluftauslaß 3 in
15 der Kammer 1 vorgesehen. Am Lufteinlaß 2 ist zusätzlich
ein steuerbares Gebläse 13 angeordnet. Die Infrarot-
Strahlungsquelle 4 ist über eine Verstelleinrichtung 10
höhenverstellbar über der Drehhalterung 5 für die
Wafer 12 mit der aufgebracht Photolackschicht
20 angebracht. Die IR-Strahlungsquelle 4 kann hierbei
beispielsweise aus einer Halterung für vier im Abstand
von etwa 10 cm parallel nebeneinander liegende IR-Röhren
gebildet sein. Die Strahlungsquelle wird über ein
regelbares Netzteil 9 versorgt. Die Leistung des
25 Netzteils 9 wird durch die Steuereinheit 8 geregelt.

Die Aufnahmemöglichkeit 12 für Wafer wird durch
einen rotierenden Probenteller gebildet, der mehrere
Wafer in sternförmiger Anordnung aufnimmt. Dieser Dreh-
30 teller hat im vorliegenden Fall einen Durchmesser von
etwa 40 cm und kann mit einer Geschwindigkeit von etwa 1
bis 5 min^{-1} rotieren. Die Drehgeschwindigkeit wird
ebenfalls von der Steuereinheit 8 vorgegeben.
Vorzugsweise wird hierbei eine Geschwindigkeit von
35 weniger als 5 min^{-1} gewählt, um ein Verlaufen des
Photoresists aufgrund von Zentrifugalkräften zu

verhindern. Die Drehung wird durch den Motor 11 realisiert. Der Abstand der IR-Strahlungsquelle zu dem Drehteller beträgt im vorliegenden Fall etwa 20 cm. Die Drehung der Wafer unter der Strahlungsquelle bewirkt in vorteilhafter Weise eine gleichmäßige Trocknung der auf den Wafern befindlichen Schichten, wobei mehrere Wafer gleichzeitig getrocknet werden können.

Die im Prozeß realisierte Luftzufuhr (Kaltluft) und Absaugung (Warmluft) führt zur Ausbildung eines dynamischen Gleichgewichts der Temperatur.

Ein Beispiel einer besonders vorteilhaften Aufnahmevorrichtung für Substrate bzw. Wafer in der erfindungsgemäßen Vorrichtung ist in Fig. 5a in Draufsicht dargestellt. Die Substrathalterung (5) besteht aus Edelstahl und weist im vorliegenden Beispiel sechs sternförmig angeordnete Einzelhalterungen (14) zur Aufnahme von sechs Wafern (12) auf. Selbstverständlich kann auch eine Anordnung mit einer größeren oder kleineren Anzahl von Einzelhalterungen gewählt werden. Für runde Wafer werden als Einzelhalterung kreisförmige Ringe mit einer Aussparung (15) verwendet, um das Ablegen der Wafer von einer Pinzette in die Ringe zu ermöglichen. Die Wafer (12) liegen vorteilhafterweise nur am Rand auf einer Breite von ca. 0,5 mm auf, so daß es zu keiner nennenswerten Wärmeübertragung zur Waferhalterung kommen kann.

Diese Ausgestaltung der Aufnahmevorrichtung hat daher einerseits den Vorteil, daß die Wafer (mit Photolack) im IR-Strahl mangels Wärmeübertragung auf die Halterung schneller erwärmt werden können. Andererseits wird vorteilhafterweise erreicht, daß bei jeder Trocknung gleiche Bedingungen hinsichtlich der Wärmeübertragung vorherrschen, da die Wärmekopplung zum Untergrund entfällt. Eine ganzflächige Auflage auf einer

Untergrundplatte würde im Gegensatz dazu durch möglicherweise ungleichmäßiges Aufliegen keine konstanten Wärmeübergangsverhältnisse ermöglichen.

5 Fig. 5b zeigt eine Schnittansicht einer kreisförmigen Einzelhalterung (14) der Aufnahmevorrichtung der Fig. 5a. Die Einzelhalterung weist am Außenumfang etwa eine Höhe von 10 mm auf. Die Auflagefläche (16) mit einer Auflagebreite der Wafer (12) von etwa 0,5 mm ist in
10 der Schnittansicht deutlich zuerkennen.

Die Realisierung der Steuer- und Regelfunktion in bezug auf die Temperatur in der Umgebung der Schichten ist notwendig, um gute Trocknungsergebnisse zu erzielen.
15 Versuche haben ergeben, daß aus Sicht einer guten Prozeßführung eine Temperaturabweichung von dem vorgegebenen Temperaturverlauf von weniger als 0,5°C eingehalten werden sollte. Die genaue Beschreibung und Vermessung des Temperaturverhaltens der Anlage in
20 Abhängigkeit von der IR-Strahlerleistung ist Voraussetzung für eine exakte Regelung. Diese Werte müssen in den Regelalgorithmus der Steuereinheit eingearbeitet sein. Hierbei wird vorteilhafterweise Software eingesetzt. Damit wird der Vorteil einer
25 flexiblen Software-Regelung genutzt. Es besteht die Möglichkeit, für die jeweils unterschiedlichen Photoresist- und Substratkombinationen spezifische Regelalgorithmen vorzugeben oder zu entwickeln und zu nutzen.

30 Mit der Steuerung ist es möglich, die IR-Strahlungsquelle in einem Leistungsbereich von 0 bis 100 % anzusteuern. Über die Eingabe von Stützstellen sind treppen- und rampenförmige Temperaturkurven möglich.

Tabelle 1 zeigt eine Aufstellung unterschiedlicher Trägersubstrate, auf denen eine 50 µm dicke Photoresistschicht einer erfindungsgemäßen Trocknung unterzogen werden konnte.

5

Grundsätzlich ist bei der Trocknung von Photoresisten auf Novolackbasis zu beachten, daß der Resist nicht verändert oder zersetzt wird. Die thermische Stabilität der lichtempfindlichen Komponente begrenzt die maximale Temperatur, die beim Trocknungsprozeß auftreten darf. Photoresiste auf Novolackbasis sind bis circa 100 bis 110°C stabil. Die genaue Zersetzungstemperatur einiger Photoresiste kann mit der UV-VIS-Spektroskopie bestimmt werden. Hierbei wird das Absorptionsspektrum der Photoresiste (lichtempfindliche Komponente) bei unterschiedlichen Trocknungstemperaturen verglichen und über die Veränderung auf die Zersetzung geschlossen. Die Photoresiste für die Mikroelektronik und Mikrosystemtechnik sind meist UV-empfindlich und absorbieren zwischen 340 nm und 405 nm Wellenlänge.

Die genaue Bestimmung der Reaktionsgeschwindigkeit der Zersetzungs- und Verdampfungsreaktion sollte für jeden Resist zunächst ermittelt werden. Für die Entwicklung von zeitoptimierten Trocknungsparametern ist die Ermittlung dieser Reaktionsgrößen sehr wichtig, da dadurch die Obergrenze der Trocknungstemperatur und die Trocknungszeit optimal bestimmt werden können.

Tabelle 2 zeigt verschiedene Kombinationen von Substrat und Resist (kommerziell erhältlich unter der Bezeichnung AZ[®] 4562 der Firma Hoechst bzw. ma-P100 der Firma micro resist technology GmbH) sowie verschiedene Schichtdicken des Resists, die mit den dort angegebenen Trocknungsparametern, d.h. Strahlerleistung und Trocknungsdauer (Zeit) optimal getrocknet werden konnten.

Substrat	Dicke in μm	IR geeignet
polierte Siliziumwafer	525	positiv
polierte Si-Wafer mit 100nm Au	525	positiv
Si-Wafer mit 1 μm Aluminium	500	positiv
Si-Wafer mit 100nm Oxid	525	positiv
Pyrex mit 100nm Au	525	positiv

Tabelle 1

Substrat- 4"-Siliziumwafer 525 μm dick	Resisttyp	Resistdicke/ μm	Trocknungs-parameter		Auflösung / μm
			Zeit/s	Strahlerleistung/%	
Si + Si/Au100 nm	ma -P100	55-60	3600	62	10
Si + Si/Au100 nm	ma -P100	40	3600	59	10
Si + Si/Au 100nm	ma -P100	55	900	67	10
Si + Si/Au 100nm	ma -P100	57	1200	67	10
Si-Monitor	AZ4562	32	3600	59	7
Si + Si/Au 100nm	AZ4562	55	3600	62	20
Si + Si/Au 100nm	AZ4562	100	3600	67	30

Tabelle 2

Die Strahlerleistung bezieht sich hierbei auf die
Maximalleistung der hier eingesetzten Strahlungsquelle
von 4 kW. Die Strukturauflösung der nachfolgend aus den
Photoresistschichten herstellbaren Masken ist ebenfalls
5 angegeben.

Siliziumwafer mit Nickeloberflächen können mit den
gleichen Parametern getrocknet werden. Die Resistdicke in
der Tabelle ist als Obergrenze anzusehen. Dünnere
Schichten können bei entsprechend verkürzter Zeit
10 getrocknet werden.

Ein Beispiel einer erzeugten Struktur, die mittels
der aus einer erfindungsgemäß getrockneten
Photoresistschicht erzeugten Maske hergestellt werden
15 konnte, ist in Fig. 4 gezeigt. Zur Herstellung wurde eine
60 µm dicke Photoresistschicht mit dem erfindungsgemäßen
Verfahren IR-getrocknet, daraus mittels Photolithographie
eine Maske hergestellt und mit Nickel galvanisch
abgeformt. Die Dicke der in der mikroskopischen Aufnahme
20 gezeigten Stege beträgt etwa 20 µm.

Das Hauptanwendungsgebiet der IR-Trocknung sind
hochviskose und hochauflösende Photoresiste. Diese werden
vorwiegend mit Kontaktbelichtern belichtet. Kontakt-
25 belichter arbeiten nach dem Schattenwurfprinzip. Die Mas-
kenstruktur wird 1 : 1 in den Resist übertragen. Das
bedeutet, daß das Auflösungsvermögen der Lithographie mit
dem Abstand der Maske zum Photoresist korreliert.

Nach der IR-Trocknung muß daher die Resistoberfläche
30 so eben wie möglich sein, damit sich ein geringer Abstand
zur Lithographiemaske ergibt. Dem steht allerdings die
Bildung einer Randwulst beim Aufschleudern des Resists
und eine Blasenbildung beim Trocknen gegenüber.

Die Ursache der Randwulst liegt in der Oberflächen-
35 spannung vom Resist zum Substrat und der hohen Viskosi-
tät.

Beim "Spin-On"-Verfahren (Belackungsprozeß) wird auf die Mitte des Wafers Resist aufgebracht und der Wafer in Rotation versetzt. In Abhängigkeit von Zeit und Rotationsgeschwindigkeit bildet sich eine unterschiedlich dicke Resistschicht aus. Am Waferrand verbleibt ein Überschuß von Resist, der sich zu einer Wulst zusammenzieht. Vor der Belichtung kann die Wulst durch einen Abschleuderprozeß mit einem Lösungsmittel entfernt werden.

10 Anders sieht es bei Resistblasen aus, die sich während des Trocknungsprozesses bilden können. Diese Blasen können mehrere 100 µm hoch werden und daher bei der Belichtung die Strukturauflösung extrem verschlechtern. Obwohl die Blasenbildung durch die IR-Trocknung bereits
15 deutlich verringert ist, kann sie durch Wahl eines geeigneten Temperaturverlaufes bei der Trocknung zusätzlich beinahe vollständig unterdrückt werden.

Hierzu wird der Photoresist beispielsweise durch eine kontinuierliche Temperaturerhöhung während der
20 Trocknung genügend flüssig gehalten, so daß entstehendes Gas die Resistoberfläche noch verlassen kann. Wichtig ist dabei, daß zum Ende der Trocknung die Temperatur ansteigt. Der Resist bleibt dabei genügend viskos, obwohl ständig Lösungsmittel verdampft.

25 Ein Temperaturverlauf zur Unterdrückung der Blasenbildung ist in Fig. 3 in Abhängigkeit von der Zeit dargestellt. Die Temperaturen für den konstanten Temperaturbereich und die Maximaltemperatur am Ende des Temperaturverlaufs betragen beispielsweise 90 und 105°C.
30 Diese sind jedoch abhängig von den zu trocknenden Resistmaterialien. Dieses Fahren einer Temperaturrampe kann mit der erfindungsgemäßen Vorrichtung aufgrund der Steuereinheit 8 in Verbindung mit den Temperatursensoren
35 und der Regelung der IR-Strahlungsquelle problemlos realisiert werden. Dies ist insbesondere von Vorteil, da

die Neigung zur Blasenbildung gerade mit zunehmender Dicke der zu trocknenden Photoresistschicht zunimmt.

Mit dem erfindungsgemäßen Verfahren bzw. der
5 erfindungsgemäßen Vorrichtung können beispielsweise
Andruckfedern von Lese/Schreibköpfen für Festplatten mit
hoher Genauigkeit hergestellt werden. Ein solcher Her-
stellungsprozeß, in dessen Verlauf eine erfindungsgemäße
10 IR-Trocknung stattfindet, ist in den Fig. 3A und 3B dar-
gestellt. Hierbei dient ein Silicium-Wafer (4" oder 10 cm
im Durchmesser) als Trägersubstrat. Auf dieses Substrat
wird eine metallische Schicht aufgebracht, die als galva-
nische Startschicht fungiert. Danach wird Photolack auf-
geschleudert (Schritt Nr. 3), erfindungsgemäß getrocknet
15 (Schritt Nr. 4), belichtet und entwickelt. Die Mikrofeder
entsteht nun durch eine galvanische Auffüllung der Lack-
struktur. Als letztes wird die Mikrofeder durch zwei Ätz-
prozesse vom Siliciumsubstrat abgelöst.

20 In diesem Beispielfall wurde ebenfalls eine maximale
Strahlungsleistung von 4 kW eingesetzt. Derartige
Andruckfedern für Lese/Schreibköpfe konnten bisher man-
gels geeigneter Trockenverfahren in der geforderten
Genauigkeit nicht hergestellt werden.

25 In den vorangegangenen Ausführungsbeispielen wurde
jeweils eine IR-Strahlungsquelle mit einer Leistung von
4 kW eingesetzt. Bei geeigneten Trocknungsbedingungen
beträgt hierbei das Maximum der IR-Strahlung etwa 2,6 µm.
30 Dies ist jedoch nur als Beispiel zu verstehen. Es ver-
steht sich von selbst, daß Strahlungsquellen mit anderer
Leistung und bei anderen Maximalwellenlängen je nach An-
wendungsfall eingesetzt werden können.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Trocknung von Photoresistschichten,
bei dem ein Substrat (12) mit einer aufgebracht
5 Photoresistschicht in einer entlüfteten Kammer mit
IR-Strahlung einer in der Leistung regelbaren
IR-Strahlungsquelle (4) beaufschlagt wird, die
Temperatur bzw. eine temperaturabhängige Größe in
der Umgebung der Photoresistschicht gemessen und die
10 Leistung der IR-Strahlungsquelle anhand der
gemessenen Temperatur bzw. temperaturabhängigen
Größe so geregelt wird, daß ein vorgegebener
zeitlicher Temperaturverlauf während der Trocknung
eingehalten wird.
15
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet,
daß der vorgegebene zeitliche Temperaturverlauf so
gewählt ist, daß die Temperatur über die Trocknungs-
zeit konstant bleibt.
20
3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet,
daß der vorgegebene zeitliche Temperaturverlauf so
gewählt ist, daß die Temperatur linear mit der Zeit
ansteigt.
25
4. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet,
daß der vorgegebene zeitliche Temperaturverlauf so
gewählt ist, daß die Temperatur über die Trocknungs-
zeit zunächst konstant ist, und dann linear,
30 stufenförmig oder in anderer Form ansteigt.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch
gekennzeichnet, daß die Temperatur unterhalb des
Substrates gemessen wird.
35

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Temperatur der photoresistbedeckten Oberfläche von der Oberseite durch ein Pyrometer gemessen wird, wobei die
5 unterschiedliche Emissivität des Substrates, auf dem sich die zu trocknende Photoresistschicht befindet, berücksichtigt wird.
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß der vorgegebene zeitliche Temperaturverlauf für jede neue Kombination von
10 Materialien für Photoresistschicht und Substrat zunächst experimentell ermittelt wird.
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß die Menge bzw. der Gehalt an Lösungsmitteln, vorzugsweise in einer von der Kammer abgehenden Leitung der Luftzirkulation, erfaßt wird, und daß bei Unterschreitung eines vorgebbaren
15 Grenzwertes die Beendigung des Trocknungsprozesses durch Abregelung der Leistung der IR-Strahlungsquelle eingeleitet wird.
9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß eine IR-Strahlungsquelle eingesetzt wird, die ihr Maximum der IR-Strahlung im Bereich von 1 bis 3 μm hat.
25
10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß bei gleichzeitiger Trocknung der Photoresistschichten mehrerer Substrate, die eine Rotationsbewegung um eine Achse in der Kammer durchführen, die Messung der Temperatur zeitlich so getaktet wird, daß bei jedem Durchlauf eines der
30 Substrate durch ein Meßfeld, in dem die Temperatur gemessen wird, eine Messung stattfindet.
35

11. Vorrichtung zur Trocknung von Photoresistschichten,
5 bestehend aus einer entlüftbaren Kammer (1), die einen Lufteinlaß (2) sowie einen Luftauslaß (3) aufweist, einer in der Kammer über einer Substrathalterung (5) angebrachten IR-Strahlungsquelle (4), die in der Leistung
10 regelbar ist, einem in der Kammer vorgesehenen Temperaturmeßsensor (6, 7) sowie einer Steuereinheit (8), die die Leistung der IR-Strahlungsquelle in Abhängigkeit von der gemessenen Temperatur so steuert, daß während der Trocknung ein vorgegebbarer
15 Temperaturverlauf in der Kammer eingehalten wird.
12. Vorrichtung nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß die IR-Strahlungsquelle (4) höhenverstellbar über der Substrathalterung (5)
20 angeordnet ist.
13. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 11 oder 12, dadurch gekennzeichnet, daß die Substrathalterung (5) so ausgestaltet ist, daß sie mehrere Substrate
25 (12) in sternförmiger Anordnung nebeneinander aufnehmen kann.
14. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 11 bis 13, dadurch gekennzeichnet, daß die
30 Substrathalterung (5) mehrere Einzelsubstrathalterungen (14) aufweist, die so ausgestaltet sind, daß das Substrat nur mit einem schmalen Rand aufliegt.
- 35 15. Vorrichtung nach Anspruch 13 oder 14, dadurch gekennzeichnet, daß die Substrathalterung (5)

drehbar gelagert ist und über einen in der Drehzahl regelbaren Motor (11) mit einer vorgebbaren Drehgeschwindigkeit in Rotation versetzt werden kann.

5

16. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 11 bis 15, dadurch gekennzeichnet, daß am Lufteinlaß (2) ein steuerbares Gebläse (13) vorgesehen ist.

10

17. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 11 bis 16, dadurch gekennzeichnet, daß der Temperaturmeßsensor (6) durch einen temperaturabhängigen Widerstand, ein Pyrometer oder ein Thermoelement gebildet wird.

15

18. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 11 bis 17, dadurch gekennzeichnet, daß die IR-Strahlungsquelle (4) eine maximale Leistungsaufnahme zwischen 2,5 und 4 kW hat.

20

19. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 11 bis 18, dadurch gekennzeichnet, daß, vorzugsweise im Luftauslaß bzw. in einer vom Luftauslaß abgehenden Leitung der Luftzirkulation, ein Sensor zur Messung der Menge bzw. des Gehaltes an Lösungsmitteln vorgesehen ist, dessen Ausgangssignal zur Festlegung der Beendigung des Trocknungsprozesses und zur Abregelung der Leistung der IR-Strahlungsquelle verwendet werden kann.

25

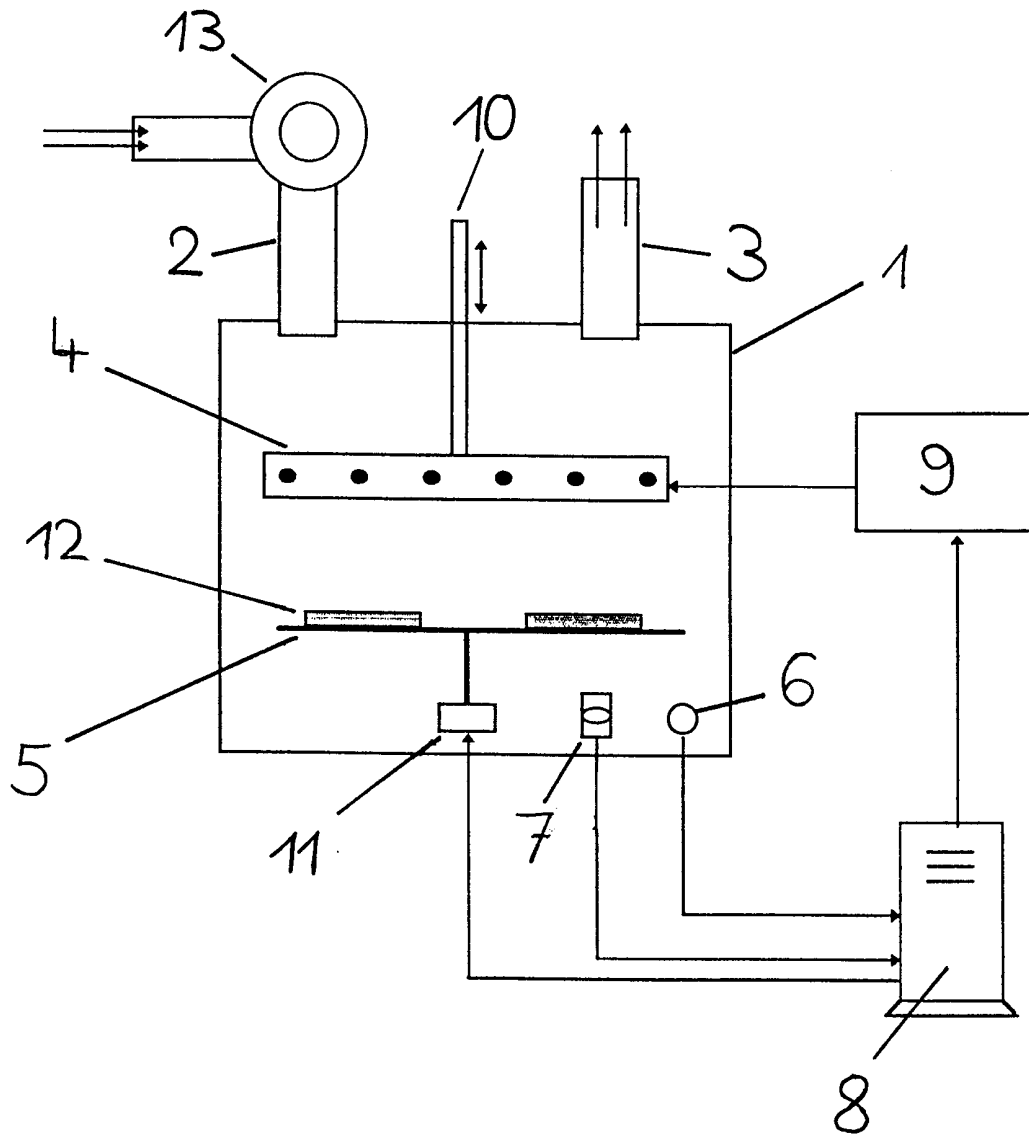


Fig. 1

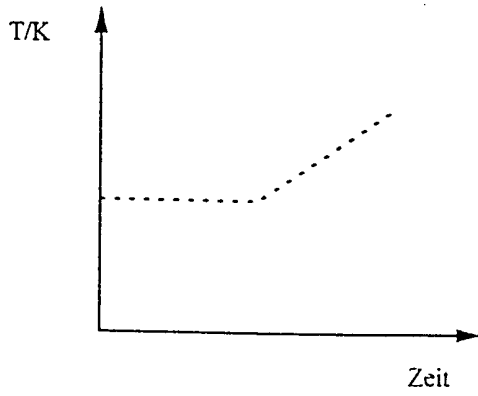


Fig. 2

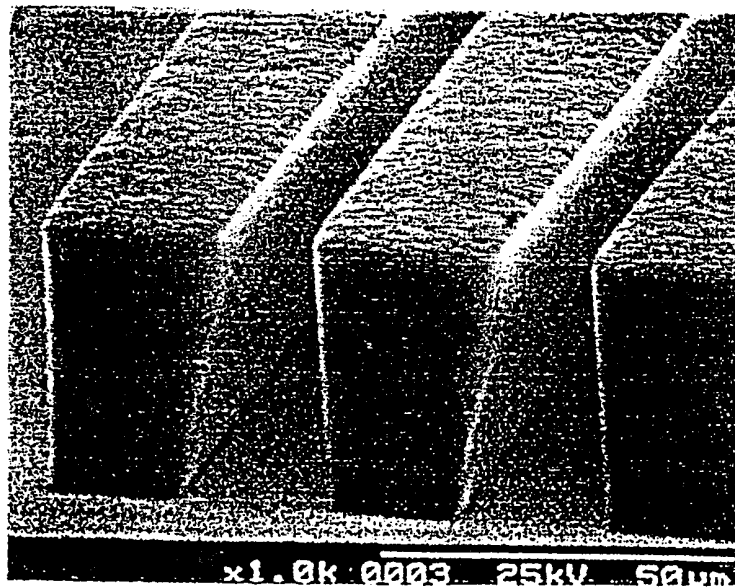
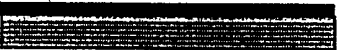
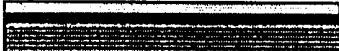


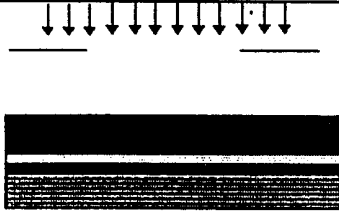



Fig. 4

Fig. 3a

Nr.	Prozeßbeschreibung	Prozeßschicht	Beschreibung
1	Aufbringen (Sputtern) einer Haftschicht für die galvanische Startschicht	Siliziumnitrid (SiN) 80nm Si-Wafer	
2	Aufbringen (Sputtern) einer galvanischen Startschicht	Gold 100nm	
3	Aufschleudern von Photolack Gerät: Firma Süss Typ RC-8 15s 300rpm + 5s 400rpm Lack: Firma mrt Typ V100	Photolack 55µm	
4	IR-Trocknung: 900s mit 67 % der max. Leistung		
5	UV Belichtung: Gerät Firma Süss Typ Ma 56 Kontaktbelichter 210s mit 18 mJ/cm²		
6	Entwicklung: Entwickler: Firma mrt Typ ma D 330 Entwicklungszeit :10min		



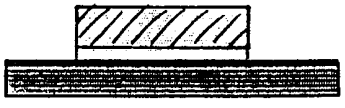

7	Galvanische Abscheidung von Nickel Bad Typ: Nickelsulfamat der Firma Blasberg Dauer: 2.5 Std Strom: 10mA/cm ²	Nickel 50µm	
8	Lackentfernung mit Aceton		
9	Entfernen der galvanischen Startschicht (Gold) durch einen Sputterätzprozeß (Ion-Milling) Dauer 180s		
10	Ablösung der Mikrofedern durch selektive Entfernung der Haftschicht (SiN) durch 5% Flußsäure (HF)		

Fig. 3b

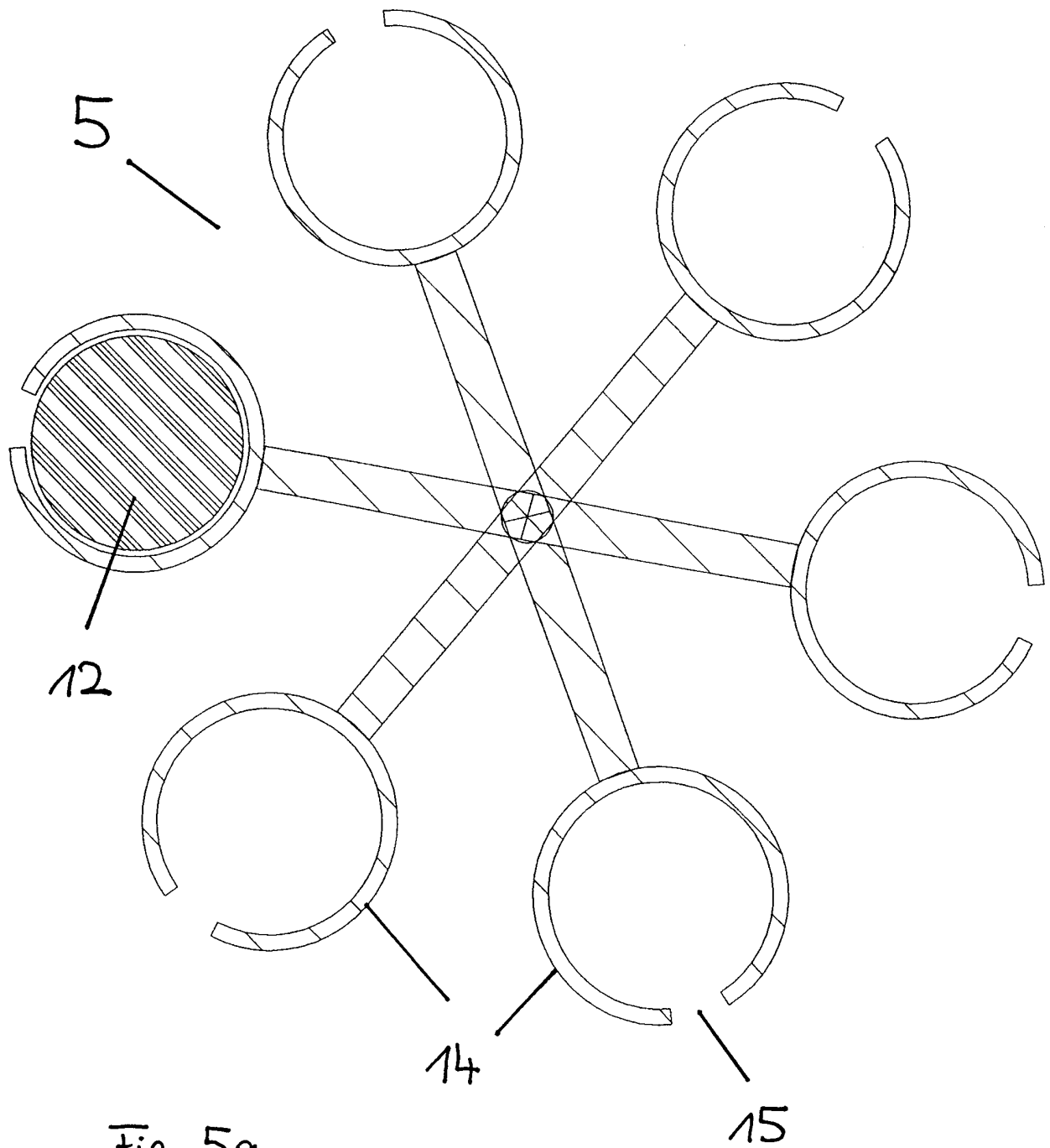


Fig. 5a

Fig. 5b

