

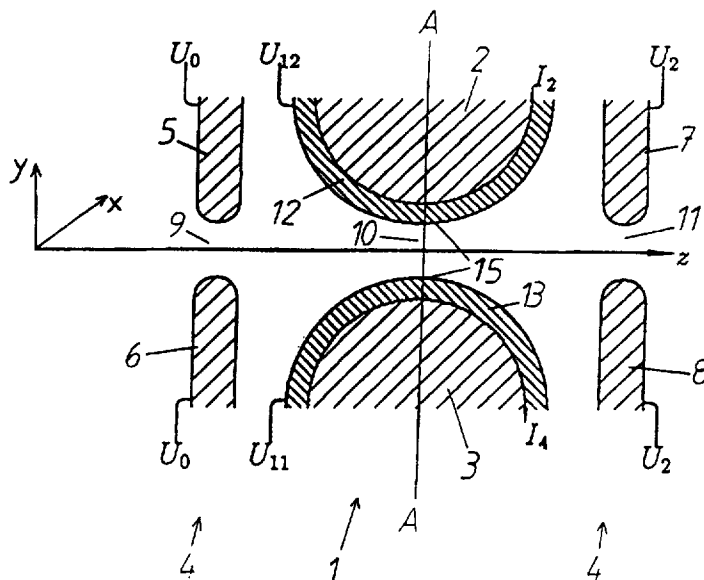
<b>(51) Internationale Patentklassifikation<sup>6</sup> :</b> <b>H01J 37/145</b>	<b>A1</b>	<b>(11) Internationale Veröffentlichungsnummer:</b> <b>WO 98/09313</b> <b>(43) Internationales Veröffentlichungsdatum:</b> 5. März 1998 (05.03.98)
<b>(21) Internationales Aktenzeichen:</b> PCT/DE97/01588 <b>(22) Internationales Anmeldedatum:</b> 23. Juli 1997 (23.07.97)  <b>(30) Prioritätsdaten:</b> 196 34 456.5      26. August 1996 (26.08.96)      DE  <b>(71)(72) Anmelder und Erfinder:</b> SPEHR, Rainer [DE/DE]; Erfurter Strasse 19, D-64372 Ober-Ramstadt (DE).  <b>(74) Anwalt:</b> PÖHNER, Wilfried; Kaiserstrasse 27, Postfach 63 23, D-97013 Würzburg (DE).	<b>(81) Bestimmungsstaaten:</b> JP, US, europäisches Patent (AT, BE, CH, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE).  <b>Veröffentlicht</b> <i>Mit internationalem Recherchenbericht.</i>	

**(54) Title:** ELECTRON OPTICAL LENS SYSTEM WITH A SLOT-SHAPED APERTURE CROSS SECTION

**(54) Bezeichnung:** ELEKTRONENOPTISCHE LINSENANORDNUNG MIT SPALTFÖRMIGEM ÖFFNUNGSQUERSCHNITT

**(57) Abstract**

This invention concerns a lens system, particularly for focusing electrons, with a cylindrical lens with pole shoes or electrodes, between which an aperture is located. This aperture has a slot-shaped cross section perpendicular to the optical axis of the lens. The cylindrical lens (4) is combined with a magnetic lens (1) with which a quadrupole field can be produced. The lenses are arranged with little or no distance between them and their optical axes run parallel to one another. The quadrupole lens (1) has a slot-shaped aperture (10) which is oriented parallel to the opening (9-11) of the cylindrical lens (4). The focusing plane of the quadrupole lens (1), which comprises the optical axis (19), is oriented parallel to the longitudinal axes of the apertures (9-11) and its defocusing plane perpendicular to the longitudinal axes. The refractive power of the cylindrical lens (4) can be set at twice that of the quadrupole lens (1).



**(57) Zusammenfassung**

Vorgeschlagen wird eine Linsenordnung, insbesondere zur Fokussierung von Elektronen, mit einer Zylinderlinse, welche mit Polschuhen oder Elektroden versehen ist, zwischen denen eine Öffnung befindlich ist, die einen spaltförmigen Querschnitt senkrecht der optischen Achse der Linse aufweist, bei der die Zylinderlinse (4) mit einer magnetischen Linse (1) kombiniert ist, mit der ein Quadrupolfeld erzeugbar ist, die Linsen in geringem oder ohne Abstand voneinander angeordnet sind und ihre optischen Achsen parallel zueinander verlaufen, die Quadrupollinse (1) eine spaltförmige Öffnung (10) aufweist, die parallel zur Öffnung (9-11) der Zylinderlinse (4) ausgerichtet ist, die fokussierende, die optische Achse (19) umfassende Ebene der Quadrupollinse (1) parallel der Längsachsen der Öffnungen (9-11) sowie ihre defokussierende Ebene senkrecht der Längsachsen ausgerichtet ist und die Brechkraft der Zylinderlinse (4) doppelt so groß wie die Brechkraft der Quadrupollinse (1) einstellbar ist.

### 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	Aserbaidshan	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						

Elektronenoptische Linsenanordnung mit  
-----  
spaltförmigem Öffnungsquerschnitt  
-----

5

Die Erfindung betrifft eine Linsenanordnung, insbesondere zur Fokussierung von Elektronen, mit einer Zylinderlinse, welche mit Polschuhen oder Elektroden versehen ist, zwischen denen eine Öffnung befindetlich ist, die einen spaltförmigen Querschnitt senkrecht der optischen Achse der Linse aufweist.

10

15

20

Mit Hilfe der Elektronenstrahl-Lithographie lassen sich Strukturen minimaler Größe erzeugen, wobei ein wesentliches Anwendungsfeld die Herstellung elektronischer Bauelemente und integrierter Schaltungen auf der Oberfläche scheibenförmiger Halbleiterkristalle (Wafer) ist. Zur Fokussierung der Elektronen werden Elektronenlinsen benötigt, die eine kurze Brennweite aufweisen und deren nutzbares Schreibfeld (d. h. der Bereich, in dem der Brennpunkt parallel der Linsenebene verschiebbar ist) möglichst groß ist.

25

30

Bekannt sind zu diesem Zweck sogenannte "variable axis"-Linsen (H. C. Pfeiffer und G. O. Langner, J. Vac. Sci. Technol., 1983, Seite 3 - 14). Bei ihnen wird dem Feld einer Rundlinse dynamisch ein geeignetes Korrekturfeld überlagert, das die Position des Schreibflecks bestimmt. Als nachteilig erweist sich jedoch, daß der nutzbare Arbeitsbereich dieser Linsen durch den Bohrungsradius der Polschuhe begrenzt ist, welcher von der Größenordnung der

- 2 -

Brennweite ist. In der Praxis ergeben sich somit Schreibbereiche mit Durchmessern im Bereich eines Millimeters. Um integrierte Schaltungen gebräuchlicher Größenordnung oder gar einen gesamten Wafer bearbeiten zu können, benötigen herkömmliche Lithographieanlagen daher neben der Elektronenoptik einen Tisch mit Werkstückhalterungen, der in einer Ebene senkrecht des Elektronenstrahls beweglich ist. Die Leistungsfähigkeit wird in diesem Fall durch die mechanischen Parameter des Tisches begrenzt, wobei die minimale Größe der erzeugbaren Strukturen von der Führungsgenauigkeit abhängt und die Bewegungsgeschwindigkeit des Tisches die maximale Schreibgeschwindigkeit bestimmt.

Weiterhin sind im Stande der Technik sowohl elektrostatische als auch magnetische Zylinderlinsen zur Fokussierung von Elektronen bekannt (H. Rose, Optik 36, 1972, Seite 19 - 36). Zylinderlinsen sind mit Elektroden bzw. Polschuhen versehen, die zur Führung des elektrischen bzw. magnetischen Feldes dienen, und zwischen denen sich eine spaltförmige Öffnung befindet, durch welche die möglichen Trajektorien geladener Teilchen in der Linse verlaufen. Dabei ist die Längsachse der spaltförmigen Öffnung senkrecht zur optischen Achse der Linse ausgerichtet; die durch optische Achse und Längsachse aufgespannte Ebene wird im folgenden als Mittelebene bezeichnet. Zur stigmatischen Abbildung, d. h. zur punktförmigen Abbildung punktförmiger Elektronenquellen und parallel einfallender Strahlen, sind Zylinderlinsen jedoch ungeeignet, da sie lediglich senkrecht zur Spaltrichtung fokussie-

- 3 -

ren, während Bewegungskomponenten der Teilchen parallel der Spaltrichtung unbeeinflusst bleiben. Somit entstehen stabförmige, astigmatische Punktbilder, die für lithographische Zwecke unzureichend sind.

5

Schließlich läßt sich die Bewegung geladener Teilchen auch durch Quadrupolfelder beeinflussen. Senkrecht zu seiner Ebene wirkt ein magnetischer Quadrupol dabei gleichfalls als Linse. Gebräuchliche  
10 Abbildungen lassen sich auf diese Weise jedoch nicht erzeugen, da der Einfluß einer Quadrupollinse auf ein ebenes, paralleles Strahlenbündel von dessen Winkelstellung zum Magnetfeld abhängt. Während die Quadrupollinse in einer Ebene, welche die optische Achse umfaßt, Parallelstrahlen fokussiert,  
15 wirkt sie in der dazu senkrechten, die optische Achse umfassenden Ebene defokussierend auf ein Parallelstrahlbündel. Lediglich der Betrag der Brennweiten läßt sich in beiden Ebenen gleich einstellen. Aufgrund dieser Eigenschaften sind Quadrupol-  
20 linsen für gebräuchliche optische Abbildungen ungeeignet.

Vor diesem Hintergrund hat sich die Erfindung die  
25 Entwicklung einer Linsenanordnung zur Aufgabe gestellt, bei der die Öffnungen für den Elektronenstrahl in einer Dimension von beliebiger Länge sind und die eine stigmatische Abbildung erzeugt.

30 Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß dadurch gelöst, daß die Zylinderlinse mit einer magnetischen Linse kombiniert ist, mit der ein Quadrupolfeld erzeugbar ist, die Linsen in geringem oder ohne Abstand von-

- 4 -

einander angeordnet sind und ihre optischen Achsen parallel zueinander verlaufen, die Quadrupollinse eine spaltförmige Öffnung aufweist, die parallel zur Öffnung der Zylinderlinse ausgerichtet ist, die  
5 fokussierende, die optische Achse umfassende Ebene der Quadrupollinse parallel der Längsachsen der Öffnungen sowie ihre defokussierende Ebene senkrecht der Längsachsen ausgerichtet ist und die Brechkraft der Zylinderlinse doppelt so groß wie  
10 die Brechkraft der Quadrupollinse einstellbar ist.

Der Kerngedanke der Erfindung besteht darin, eine Zylinderlinse mit einer magnetischen Quadrupollinse zu kombinieren, wobei der Begriff Quadrupollinse im  
15 Sinne der Erfindung sämtliche Linsen umfaßt, mit denen Felder von Quadrupolsymmetrie erzeugbar sind, etwa auch achtpolige Linsen. Dabei verlaufen die optischen Achsen beider Linsen parallel zueinander und ihre Hauptebenen stimmen überein oder weisen  
20 allenfalls einen geringen Abstand voneinander auf. Der Begriff "gering" ist in dem Sinne zu verstehen, daß der Abstand klein gegen die Brennweite beider Linsen ist und die Linsenanordnung in guter Näherung durch eine Einzellinse beschreibbar ist. Die  
25 Quadrupollinse weist zwischen ihren Polschuhen eine spaltförmige Öffnung auf, die parallel zur Öffnung der Zylinderlinse ausgerichtet ist, wobei die Länge beider Öffnungen beliebig ist. Die Projektionen beider Öffnungen in Richtung der optischen Achse  
30 stimmen vorzugsweise überein. Die Ausrichtung der Quadrupollinse erfolgt in der Weise, daß ihre fokussierende Ebene parallel der Längsachse der Öffnungen und ihre defokussierende Ebene senkrecht der

- 5 -

Längsachsen verläuft. Die Brechkraft der Zylinderlinse wird zweckmäßig doppelt so groß wie die des Quadrupols gewählt.

5 In Folge dieses Aufbaus entsteht durch die Quadru-  
pollinse eine fokussierende Wirkung in der Ebene  
des Spaltes, wobei die Brennweite gleich der dop-  
pelten Brennweite der Zylinderlinse ist. Senkrecht  
der Spaltrichtung wird die negative Brechkraft des  
10 Quadrupols durch die doppelt so große Brechkraft  
der Zylinderlinse überkompensiert. Im Ergebnis er-  
gibt sich damit eine Brennweite, die ebenfalls  
gleich der doppelten Brennweite der Zylinderlinse  
ist. Das Resultat ist folglich eine stigmatisch  
15 fokussierende Linse. Entscheidend ist für die Ab-  
stimmung der Linsenbrennweiten ausschließlich, daß  
die Summe der Brechkräfte der Quadrupollinse senk-  
recht der Spaltlängsachse und der Zylinderlinse  
gleich der Brechkraft der Quadrupollinse parallel  
20 der Spaltlängsachse ist.

Der Vorteil der Linsenanordnung besteht darin, daß  
Begrenzungen des Strahlverlaufes, wie sie bei Rund-  
linsen durch den Bohrungsradius der Polschuh beste-  
25 hen, in Richtung des Spaltes aufgehoben bzw. erheb-  
lich reduziert sind. Trotzdem gestattet die Anord-  
nung eine herkömmlichen Rundlinsen vergleichbare,  
stigmatische Abbildung. Insbesondere treten keine  
optischen Fehler der Linse auf, die niedriger als  
30 von dritter Ordnung sind. Zweckmäßig verläuft bei  
der Mehrzahl der Anwendungsfälle die optische Achse  
der Quadrupollinse in der Mittelebene der Zylinder-  
linse. Weiterhin erweist es sich als von wesentli-

- 6 -

chem Vorteil, daß entlang des Spaltes unter Vernachlässigung von Einflüssen der endseitigen Spaltränder weitgehende Translationssymmetrie besteht. Daher sind die Abbildungseigenschaften unabhängig von der Lage der optischen Achse der Quadrupollinse bezüglich der Längsachse des Spaltes. Bei geeigneter Anpassung der Linsenparameter, insbesondere der Feldstärken, lassen sich Abbildungen selbstverständlich auch mit beliebigen anderen geladenen Teilchen erzeugen, beispielsweise Ionen, die etwa zur Dotierung von Halbleitern verwendbar sind. Schließlich ist für spezielle Anwendungsfälle denkbar, daß die Abstimmung der Linsenbrennweiten von der oben beschriebenen Einstellung abweicht, etwa um auf einem Werkstück mit astigmatischem Brennfleck strichförmige Strukturen zu erzeugen.

Eine bevorzugte Quadrupollinse besteht aus einer Öffnung, auf oder an deren Rändern stromdurchflossene Leiter verlaufen. Die Leiter sind etwa parallel der optischen Achse ausgerichtet. Zweckmäßig handelt es sich bei den Leitern um auf ein Joch gewickelte Spulen. Die Leiter oder Wicklungen verlaufen an den inneren Rändern der Öffnung, die der optischen Achse zugewandt sind, vorzugsweise ohne Steigung, d. h. im Rahmen der Produktionsgenauigkeit exakt parallel der optischen Achse, um Verzerrungen der Felder zu vermeiden. Auf einander gegenüberliegenden Rändern der Öffnung ist die Richtung der Ströme parallel, während der Stromfluß auf dazu senkrechten Rändern entgegengesetzt gerichtet ist. Vorzugsweise ist die Summe aller Ströme durch die Öffnung Null, um geschlossen umlaufende Magnet-



- 7 -

feldlinien zu vermeiden, wobei sich die Stromdichten auf den kurzen und langen Rändern der spaltförmigen Öffnung umgekehrt proportional zu den Randlängen verhalten. Wird die Öffnung in einen Werkstoff eingebracht, etwa von einem Joch umschlossen, dessen magnetische Permeabilität sehr viel größer als eins ist, z. B. Eisen, reduziert sich die zur Erzeugung der Felder notwendige Stromstärke.

Als einfachste Möglichkeit zur Realisierung der notwendigen Translationssymmetrie in Spaltrichtung wird vorgeschlagen, daß die Öffnungen rechteckige Querschnitte aufweisen. In Folge der spaltförmigen Gestalt unterscheiden sich die beiden Kantenlängen des Rechteckes dabei erheblich.

In einer vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung ist die optische Achse der Quadrupollinse parallelverschiebbar. Sie läßt sich also derart in ihrer Lage verändern, daß die parallele Ausrichtung zur Mittelebene der Zylinderlinse stets erhalten bleibt. Bei großer Länge der Spalte oder geeigneter Kompensation von Randeffekten bleiben die Abbildungseigenschaften der Linsenordnung nahezu uneinflußt, wenn sich die Lage der optischen Achse der Quadrupollinse entlang der Längsachse des Spaltes ändert. Denkbar ist jedoch auch, die optische Achse der Quadrupollinse senkrecht oder in beliebigem Winkel zur Spaltlängsachse zu verschieben, also ihren Abstand von der Mittelebene der Zylinderlinse zu verändern.

Zum Zweck der Verschiebung der optischen Achse der

Quadrupollinse bietet es sich an, dem Quadrupolfeld ein magnetisches Dipolfeld zu überlagern. Dipolfelder parallel der Spaltrichtung erzeugen dabei Verschiebungen der optischen Achse senkrecht zum Spalt, während Dipolfelder senkrecht der Spaltrichtung die optische Achse in Richtung der Spaltlängsachse verschieben. Bei Erzeugung des Dipolfeldes durch elektrische Ströme ist die kontinuierliche Verschiebung der optischen Achse um beliebige Beträge möglich, indem die Stärke des Erregerstroms variiert wird. Zweckmäßig sind dem Quadrupolfeld zwei zueinander und zur optischen Achse orthogonale Dipolfelder überlagerbar, was die beliebige Verschiebung über die gesamte Fläche des Spaltquerschnittes gestattet.

Zur Erzeugung des Dipolfeldes sind gegenüberliegende Ränder der Öffnung vorzugsweise mit Leitern versehen, welche sich mit Strömen beaufschlagen lassen, die auf beiden Rändern entgegengesetzt und von gleichem Betrag sind. Es ist möglich, daß die Öffnung zu diesem Zweck spezielle Leiter bzw. Windungen aufweist. Alternativ lassen sich diejenigen Leiter verwenden, welche zur Erzeugung des Quadrupolfeldes dienen. Im letzteren Fall summieren sich die Stromflüsse in einzelnen Leitern bzw. heben sich zum Teil auf, so daß im Ergebnis die Gesamtströme auf gegenüberliegenden Rändern voneinander abweichen.

Weiterhin ist es von Vorteil, wenn dem Quadrupolfeld elektrische oder magnetische Multipolfelder höherer Ordnung überlagerbar sind. Zu diesem Zweck

- 9 -

sind die Öffnungsränder der Quadrupollinse vorzugsweise mit Leitern bzw. Wicklungen versehen, deren Flächendichte entlang einzelner Randabschnitte variiert. Mittels dieser, i. a. zusätzlichen Leiter lassen sich dem Quadrupolfeld bei entsprechender Anordnung beliebige magnetische Multipolfelder höherer Ordnung überlagern. Sie dienen dazu, Öffnungsfehler der Linse zu korrigieren, wobei die Korrekturfelder in der Regel erheblich schwächer sind als die Di- und Quadrupolfelder.

Um einen Abstand zwischen Zylinder- und Quadrupollinse zu vermeiden wird vorgeschlagen, die Quadrupollinse im Inneren der Zylinderlinse anzuordnen. Im allgemeinen besteht eine Zylinderlinse aus mehreren, voneinander beabstandeten Polschuhpaaren oder Elektroden. Diese Teile lassen sich der Quadrupollinse in Richtung der optischen Achse vor- und nachordnen.

Bei einer bevorzugten Weiterbildung der Erfindung bestehen auch die Polschuhe bzw. Elektroden der Zylinderlinse aus einem Werkstoff hoher magnetischer Permeabilität. In der Folge begrenzen sie das magnetische Feld der Quadrupollinse in Richtung der optischen Achse, wobei eine beidseitige Begrenzung erfolgt, sofern sich die Quadrupollinse im Inneren der Zylinderlinse befindet. Von besonderem Vorteil sind dabei plattenförmige Polschuhe bzw Elektroden der Zylinderlinse, deren Oberflächen senkrecht der optischen Achse verlaufen. Auf diese Weise wird eine Störung der Symmetrie des Quadrupolfeldes vermieden.

- 10 -

Als Zylinderlinsen haben sich sowohl elektrostatische Linsen als auch magnetische Linsen bewährt. Eine elektrostatische Linse besteht aus mehreren, beispielsweise drei, in Richtung der optischen Achse aufeinanderfolgenden Elektroden mit jeweils einer spaltförmigen Öffnung. Dabei unterscheidet sich das elektrische Potential aufeinanderfolgender Öffnungen. Um einen einfachen und kompakten Aufbau der Linsenanordnung zu erreichen wird vorgeschlagen, daß eine der Elektroden von den Oberflächen der Polschuhe der Quadrupollinse gebildet wird. Bei einer Zylinderlinse mit drei Elektroden bildet die Quadrupollinse vorzugsweise die mittlere Elektrode. Zweckmäßig wird dabei nicht der gesamte Polschuh mit der Elektrodenspannung beaufschlagt, sondern seine Oberfläche mit einer ihm gegenüber isolierten Elektrode versehen.

Liegen im Fall einer elektrostatischen Linse die endseitigen Elektroden auf unterschiedlichen Potentialen, so ergibt sich eine Immersionslinse, welche die kinetische Energie der durchlaufenden Teilchen verändert. Diese Ausbildung erweist sich speziell dann als vorteilhaft, wenn eine niedrige Teilchenenergie im Bildraum vorgesehen ist.

Eine erhebliche Erweiterung des Anwendungsbereiches ergibt sich, wenn die Quadrupollinse mit einem elektrischem Feld senkrecht zur optischen beaufschlagbar ist. Auf diese Weise lassen sich zusätzliche Kraftwirkungen auf die Elektronen ausüben und insbesondere ein Wienfilter für Elektronen herstel-

- 11 -

len. Im Stande der Technik bekannte Wienfilter bestehen aus zueinander senkrechten elektrostatischen und magnetischen Feldern und bewirken eine Richtungs-  
fokussierung, wobei der Ort des Bildes von der kinetischen Energie der geladenen Teilchen abhängt. Entsprechend dienen Wienfilter in Verbindung mit  
5 Blenden oder Ablenkvorrichtungen zur Erzeugung monochromatischer Elektronenstrahlen. Im Fall der erfindungsgemäßen Linsenanordnung ist das elektrische  
10 Feld senkrecht der Längsachse des Spaltes ausgerichtet, das magnetische Dipolfeld parallel der Längsachse. Die Richtung der Felder ist derart gewählt, daß die Kräfte auf bewegte, geladene Teilchen entgegengesetzt sind, wobei im Fall einer vor-  
15 gegebenen Teilchengeschwindigkeit eine Kompensation beider Kraftfelder erfolgt. Als vorteilhaft zeigt sich, daß die resultierende Kraft im Spalt entlang der gesamten Mittelebene konstant ist. Die Dispersion ist durch Verändern des elektrischen bzw. ma-  
20 gnetischen Feldes stufenlos einstellbar.

Besonders bevorzugt ist die vorgeschlagene Linsenanordnung zu Zwecken der Elektronen- oder Ionenstrahl-Lithographie. In diesem Fall ist sie in der  
25 Weise auf ein Werkstück ausgerichtet, daß sich ihr Brennpunkt an seiner Oberfläche befindet. Ein von einer Ladungsträgerquelle erzeugter Parallelstrahl wird somit auf die Oberfläche fokussiert. Das Werkstück, insbesondere ein Wafer aus Halbleitermaterial, ist in einer Halterung befestigt, die senkrecht zu Spaltrichtung und optischer Achse ver-  
30 schiebbar ist. Der Vorteil gegenüber im Stande der Technik gebräuchlichen Ausführungen mit Rundlinsen

- 12 -

besteht darin, daß eine mechanische Bewegung der Halterung lediglich in einer Dimension notwendig ist. Die Verwendung einer zweidimensional beweglichen Halterung ist jedoch nicht ausgeschlossen. Die

5 Verschiebung des Brennpunktes auf der Werkstückoberfläche in Spaltrichtung läßt sich durch eine Achsenverschiebung der Quadrupollinse realisieren, etwa durch Überlagerung eines Dipolfeldes. In dazu

10 senkrechter Richtung wird weiterhin eine mechanische Verschiebung des Werkstückes vorgenommen. Dennoch ergeben sich bei rasterartiger Führung des Elektronenstrahls über die Oberfläche erhebliche

15 Vorteile. Die Begründung liegt darin, daß bei zeilenweisem Rastern eine rasche Bewegung des Strahls in Zeilenrichtung erforderlich ist, während ein Zeilenwechsel ausschließlich am Ende der Zeilen erfolgt. Die Bewegung beim Zeilenwechsel kann aufgrund des geringen zurückzulegenden Weges erheblich

20 langsamer vorgenommen werden. Somit verringern sich die Anforderungen an die Bewegungsgeschwindigkeit und -strecke der Werkstückhalterung insbesondere dann, wenn die Längsachse des Spaltes in Richtung der Zeilen des Rasters verläuft. Eine erhebliche

25 Beschleunigung des Bearbeitungsvorganges sowie eine verbesserte Führungsgenauigkeit sind die vorteilhafte Folge.

30

Weitere Einzelheiten, Merkmale und Vorteile der Erfindung lassen sich dem nachfolgenden Beschreibungsteil entnehmen, in dem ein Ausführungsbeispiel

anhand der Zeichnung näher erläutert ist. Die Zeichnung zeigt in prinzipienhafter Darstellung

Figur 1: Längsschnitt durch die Linsenordnung,  
5      Figur 2: Querschnitt durch die Linsenordnung entlang der Linie A-A.

10      In Figur 1 ist der Querschnitt durch eine Linsenordnung gezeichnet, die aus einer Quadrupollinse (1) mit den Polschuhen (2, 3) sowie einer Zylinderlinse (4) besteht, welche neben plattenförmigen Elektroden (5 - 8) auch die Polschuhe (2, 3) als  
15      weitere Elektrode umfaßt. Zwischen den Polschuhen (2, 3) bzw. den Elektroden (5 - 8) befinden sich jeweils Öffnungen (9 - 11), die in Richtung der Z-Achse, welche parallel der optischen Achse von Quadrupollinse (1) und Zylinderlinse (4) verläuft, miteinander fluchten. Senkrecht der optischen Achse  
20      weisen die Öffnungen (9 - 11) einen spaltförmigen Querschnitt auf, wobei die Längsachse des Spaltes in Koordinatenrichtung X senkrecht der Bildebene ausgerichtet ist.

25      Indem sich die Elektroden (5 - 8) bzw. Oberflächen der Polschuhe (2, 3) der Zylinderlinse (4) auf unterschiedlichen elektrischen Potentialen  $U_0$ ,  $U_1$ ,  $U_2$  befinden, wird ein in Richtung der Z-Achse einfallender Parallelstrahl auf eine zur X-Achse parallele Linie in der XZ-Ebene, welche die Mittelebene der Zylinderlinse (4) bildet, fokussiert. Die  
30      Oberflächen der Polschuhe (2, 3) sind zu diesem Zweck gleichfalls mit dünnen, isolierten Elektroden

- 14 -

5 versehen. Um symmetrische Abbildungseigenschaften zu gewährleisten ist, besteht dabei eine Spiegelsymmetrie der Polschuhe (2, 3) und Elektroden (5 - 8) zur XY-Ebene. In X-Richtung ausgedehnte Wellenfronten erfahren dagegen keine Fokussierung in der XZ-Ebene durch die Zylinderlinse (4).

10 Die Fokussierung innerhalb der XZ-Ebene wird mit der magnetischen Quadrupollinse (1) erzeugt, die auf der Oberfläche ihrer Polschuhe (2, 3) elektrische Leiter (12, 13) aufweist, welche parallel der Z-Achse verlaufen. Zweckmäßig handelt es sich bei den Leitern um Wicklungen auf den Polschuhen, deren Liniendichte in X-Richtung konstant ist und die auf  
15 der Seite der Polschuhe (2, 3), welche der Z-Achse zugewandt sind, vorzugsweise ohne Steigung, also im Rahmen der Produktionsgenauigkeit exakt parallel der Z-Achse liegen, so daß keine Verzerrung der durch sie erzeugten magnetischen Felder entsteht.

20 Während die Quadrupollinse (1) in Richtung der Z-Achse einfallende Elektronenstrahlen in der XZ-Ebene fokussiert, ist ihre Brechkraft in der YZ-Ebene negativ, d. h. sie wirkt auf einfallende Parallelstrahlen als Zerstreuungslinse defokussierend.  
25 Um die stigmatische Abbildung auf Punkte der Bildebene zu ermöglichen, ist es daher erforderlich, daß die Brechkraft der Zylinderlinse (4) die der Quadrupollinse (1) übersteigt, so daß im Zusammenwirken beider auch in der YZ-Ebene eine Fokussierung erfolgt. Eine stigmatische Fokussierung ergibt sich, wenn die Brechkraft der Zylinderlinse  
30 (4) doppelt so groß wie die des Quadrupols ist, da



- 15 -

die Kombination beider Linsen in diesem Fall sowohl in der XZ- als auch in YZ-Ebene eine fokussierende Wirkung mit der einfachen Brechkraft des Quadrupols hat.

5

Zweckmäßig bestehen neben den Polschuhen (2, 3) auch die Elektroden (5 - 8) aus einem Material hoher magnetischer Permeabilität, so daß sie das magnetische Quadrupolfeld begrenzen. Aufgrund der plattenförmigen Ausbildung und Ausrichtung senkrecht der Z-Achse erfolgt keinerlei Störung der Feldsymmetrie. In bezug auf ihre Wirkung als Bestandteile der Zylinderlinse (4) können die Elektrodenpaare (5, 6) und (7, 8) sowohl auf gleichem, elektrischem Potential liegen ( $U_0 = U_2$ ) als auch unterschiedliche Potentiale aufweisen. Im letzteren Fall ist die Zylinderlinse (4) eine Immersionslinse.

Werden die Elektroden (5 - 8) durch magnetische Polschuhe ersetzt, bei denen das magnetische Potential in den Öffnungen (9, 11) von Null verschieden ist, so entsteht eine magnetische Zylinderlinse (4), die in gleicher Weise mit der Quadrupollinse (1) zusammenwirkt. In diesem Fall verlaufen die Trajektorien der Elektronen durch drei zueinander parallele Schlitze, von denen der erste und letzte die Zylinderlinse bilden, während die mittlere Öffnung (10) die Quadrupollinse ist. Sind die Potentiale in den endseitigen Öffnungen (9, 11) identisch, so kompensieren sich die Lamordrehungen der Elektronen durch beide Teile der Zylinderlinse (4) in erster Ordnung.

Schließlich ist es möglich, die Polschuhe (2, 3), bzw. Elektroden auf ihrer Oberfläche, anstelle einer einheitlichen Spannung  $U_1$  durch unterschiedliche Spannungen  $U_{11}$ ,  $U_{12}$  zu beaufschlagen, die ein elektrisches Feld in Richtung der Y-Achse erzeugen. Durch ein dazu gekreuzt stehendes magnetisches Dipolfeld in X-Richtung wird im Ergebnis ein Wienfilter für Elektronen erzeugt, das eine Richtungsfokussierung bewirkt, die von der kinetischen Energie abhängig ist. Die Felder sind in diesem Fall derart gerichtet, daß ihre Kraftwirkungen auf die bewegten Teilchen einander kompensieren. Die Sollenergie des Wienfilters erzeugt vorzugsweise eine Fokussierung auf die Z-Achse. Durch Veränderung der Spannungen  $U_{11}$ ,  $U_{12}$  ist die Filterdispersion stufenlos einstellbar.

Figur 2 zeigt einen Querschnitt entlang der Linie A-A durch die Quadrupollinse (1) in Figur 1. Dabei ist die Öffnung (10) der Quadrupollinse umlaufend von einem Werkstoff (14) hoher Permeabilität umgeben, der auf der Ober- und Unterseite der Öffnung (10) die Polschuhe (2, 3) bildet. Die Ränder (15) der Öffnung (10) sind mit elektrischen Leitern (12, 13, 16, 17) belegt, in denen der Stromfluß senkrecht der Bildebene, also in Z-Richtung erfolgt. Der Stromfluß durch die Leiter (12, 13) am oberen und unteren Rand (15) ist dabei aus der Bildebene heraus gerichtet, während der Fluß in den Leitern (16, 17) am linken und rechten Rand (15) in die Bildebene hinein erfolgt. Der Gesamtstrom auf jedem

- 17 -

5        Rand (15) der Öffnung (10) ist dabei gleich, so daß die Stromdichte auf geraden Randabschnitten umgekehrt proportional zu ihrer Länge und die Summe sämtlicher Ströme durch die Öffnung (10) somit Null ist. Im Ergebnis entsteht ein magnetisches Quadrupolfeld, dessen Verlauf durch die Äquipotentiallinien (18) dargestellt ist.

10        Werden die Leiter (12, 13) bzw. (16, 17) auf gegenüberliegenden Rändern (15) zusätzlich mit entgegengesetzt gleichgroßen Strömen beaufschlagt, so entsteht ein magnetisches Dipolfeld, das sich dem Quadrupolfeld überlagert. Die Überlagerung des Dipolfeldes mit dem Quadrupolfeld ergibt eine Verschiebung des letzteren, wobei sich beliebige Verschiebungen erzeugen lassen, indem ggf. verschiedene Zusatzströme in den Leitern (12, 13) und in den Leitern (16, 17) zwei zueinander senkrechte Dipolkomponenten erzeugen. Speziell im Fall einer in X-  
15        Richtung langgestreckten, spaltförmigen Öffnung (10) läßt sich die optische Achse der Linsenanordnung mit der optischen Achse (19) des Quadrupols entlang der Spaltlängsachse verschieben, ohne daß sich die Abbildungseigenschaften verändern.

25

30        Zusammenfassend entsteht eine stigmatisch abbildende Elektronenoptik mit spaltförmigem Öffnungsquerschnitt, deren optische Achse sich durch Anlegen eines magnetischen Dipolfeldes auf einfache Weise entlang des Spaltes verschieben läßt.

## P A T E N T A N S P R Ü C H E

=====

5

1. Linsenordnung, insbesondere zur Fokussierung von Elektronen, mit einer Zylinderlinse, welche mit Polschuhen oder Elektroden versehen ist, zwischen denen eine Öffnung befindlich ist, die einen spaltförmigen Querschnitt senkrecht der optischen Achse der Linse aufweist, **dadurch gekennzeichnet**, daß

10

15

20

25

30

- die Zylinderlinse (4) mit einer magnetischen Linse (1) kombiniert ist, mit der ein Quadrupolfeld erzeugbar ist,
- die Linsen in geringem oder ohne Abstand voneinander angeordnet sind und ihre optischen Achsen parallel zueinander verlaufen,
- die Quadrupollinse (1) eine spaltförmige Öffnung (10) aufweist, die parallel zur Öffnung (9 - 11) der Zylinderlinse (4) ausgerichtet ist,
- die fokussierende, die optische Achse (19) umfassende Ebene der Quadrupollinse (1) parallel der Längsachsen der Öffnungen (9 - 11) sowie ihre defokussierende Ebene senkrecht der Längsachsen ausgerichtet ist
- und die Brechkraft der Zylinderlinse (4) doppelt so groß wie die Brechkraft der Quadrupollinse (1) einstellbar ist.

2. Linsenordnung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Quadrupollinse (1) von einer Öff-

- 19 -

5 nung (10) in einem Werkstoff (14) hoher magnetischer Permeabilität gebildet wird, an deren Rändern (15) stromdurchflossene Leiter (12, 13, 16, 17) parallel der optischen Achse (19) verlaufen, wobei der Stromfluß in den Leitern (12, 13, 16, 17) auf gegenüberliegenden Rändern (15) parallel und auf den dazu senkrechten Rändern (15) entgegengesetzt gerichtet ist.

10

3. Linsenordnung nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Öffnungen (9 - 11) einen rechteckigen Querschnitt aufweisen.

15

4. Linsenordnung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, daß die optische Achse (19) der Quadrupollinse (1) parallelverschiebbar ist.

20

5. Linsenordnung nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet**, daß dem Quadrupolfeld ein magnetisches Dipolfeld überlagerbar ist.

25

30 6. Linsenordnung nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet**, daß gegenüberliegende Ränder (15) der Öffnung (10) der Quadrupollinse (1) mit Leitern (12, 13, 16, 17) versehen sind, die mit Strömen beaufschlagbar sind, welche auf beiden Rändern (15) entgegengesetzt und gleich groß sind.

- 20 -

5 7. Linsenordnung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, daß dem Feld der Quadrupollinse (1) Multipolfelder höherer Ordnung überlagerbar sind.

10 8. Linsenordnung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Quadrupollinse (1) in Richtung der optischen Achse im Innern der Zylinderlinse (4) angeordnet ist.

15 9. Linsenordnung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Polschuhe und/oder Elektroden (5 - 8) der Zylinderlinse (4) aus einem Werkstoff hoher magnetischer Permeabilität bestehen.

20 10. Linsenordnung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Zylinderlinse (4) eine elektrostatische Linse ist.

25 11. Linsenordnung nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Zylinderlinse (4) aus in Richtung der optischen Achse aufeinanderfolgenden Öffnungen (9 - 11) in Elektroden (5 - 8) besteht,  
30 von denen eine Elektrode von den Polschuhen (2, 3) der Quadrupollinse gebildet wird.

- 21 -

12. Linsenordnung nach Anspruch 10 oder 11, **dadurch gekennzeichnet**, daß die endseitigen Elektroden (5 - 8) der Zylinderlinse (4) unterschiedliche elektrische Potentiale aufweisen.

5

13. Linsenordnung nach einem der Ansprüche 1 - 9, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Zylinderlinse (4) eine magnetische Linse ist.

10

14. Linsenordnung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Quadrupollinse (1) senkrecht ihrer optischen Achse (19) mit einem elektrischem Feld beaufschlagbar ist.

15

15. Linsenordnung nach den Ansprüchen 5 und 14, **dadurch gekennzeichnet**, daß das elektrische Feld senkrecht der Längsachse des Spaltes ausgerichtet ist, ein magnetisches Dipolfeld parallel der Längsachse des Spaltes ausgerichtet ist und die Kraftwirkung beider Felder auf bewegte, geladene Teilchen einander entgegengesetzt ist.

20

25

16. Linsenordnung nach einem der Ansprüche 4 - 15, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Brennpunkt der Linsenordnung an der Oberfläche eines Werkstückes liegt, das in einer Werkstückhalterung befestigt ist, die senkrecht zur Längsachse der Öffnungen (9 - 11) verschiebbar ist.

30

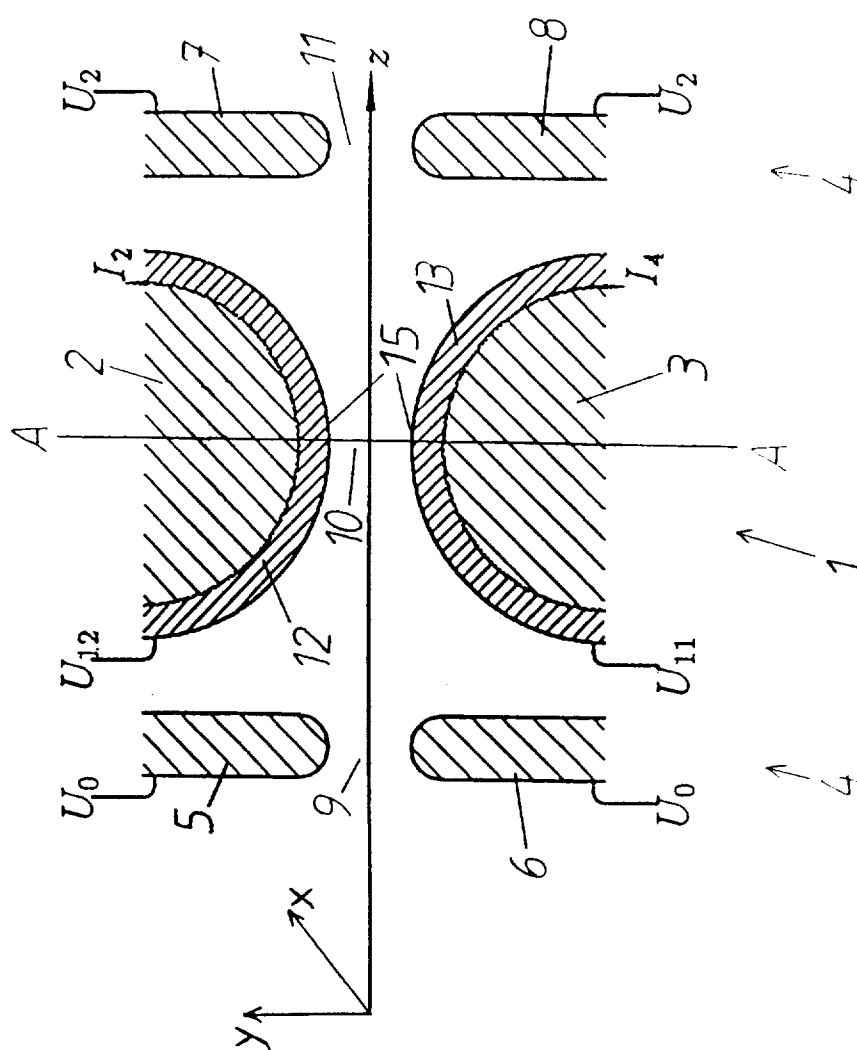


Fig. 1



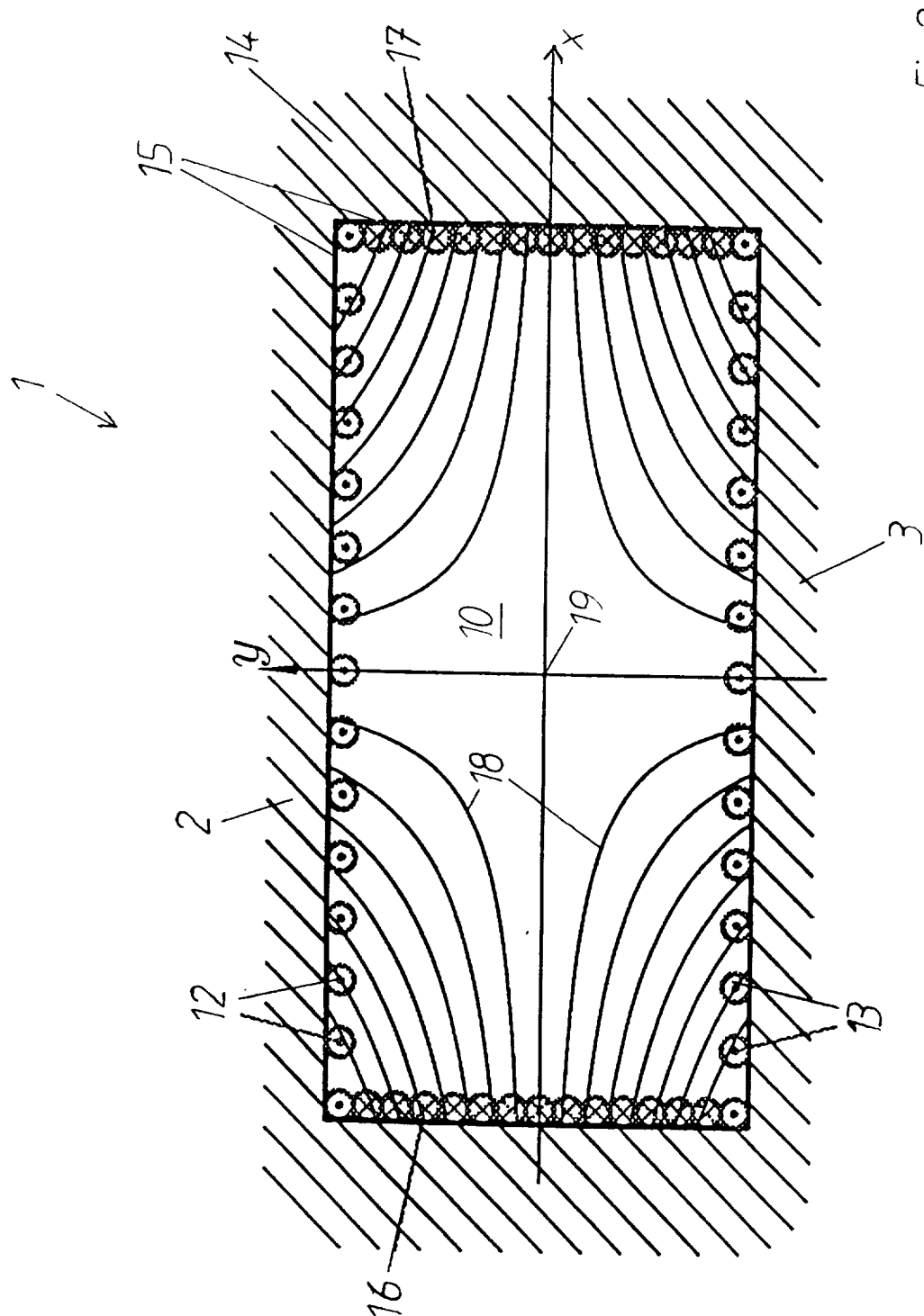


Fig. 2

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/DE 97/01588

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

IPC 6 H01J37/145

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 6 H01J

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	DE 26 23 337 A (STEIGERWALD STRAHLTECH) 8 December 1977 see claim 1; figures ----	1
A	FR 2 350 686 A (INST ELEKTROSWARKI PATONA) 2 December 1977 see page 3, line 38 - page 4, line 32; figures ----	1
A	DE 41 05 121 A (SIEMENS AG) 20 August 1992 see abstract; figures -----	1



Further documents are listed in the continuation of box C.



Patent family members are listed in annex.

### \* Special categories of cited documents :

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier document but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

19 November 1997

Date of mailing of the international search report

09/12/1997

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Schaub, G

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/DE 97/01588

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
DE 2623337 A	08-12-77	NONE	
FR 2350686 A	02-12-77	DE 2719725 A US 4105890 A	17-11-77 08-08-78
DE 4105121 A	20-08-92	NONE	

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/DE 97/01588

**A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES**  
IPK 6 H01J37/145

Nach der internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

## B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)  
IPK 6 H01J

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehorende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

## C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	DE 26 23 337 A (STEIGERWALD STRAHLTECH) 8.Dezember 1977 siehe Anspruch 1; Abbildungen ----	1
A	FR 2 350 686 A (INST ELEKTROSWARKI PATONA) 2.Dezember 1977 siehe Seite 3, Zeile 38 - Seite 4, Zeile 32; Abbildungen ----	1
A	DE 41 05 121 A (SIEMENS AG) 20.August 1992 siehe Zusammenfassung; Abbildungen -----	1

☐ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen

☒ Siehe Anhang Patentfamilie

\* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

"E" älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche  19.November 1997	Absenddatum des internationalen Recherchenberichts  09/12/1997
Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl, Fax: (+31-70) 340-3016	Bevollmächtigter Bediensteter  Schaub, G

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/DE 97/01588

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
DE 2623337 A	08-12-77	KEINE	
FR 2350686 A	02-12-77	DE 2719725 A US 4105890 A	17-11-77 08-08-78
DE 4105121 A	20-08-92	KEINE	