

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
16. Dezember 2004 (16.12.2004)

PCT

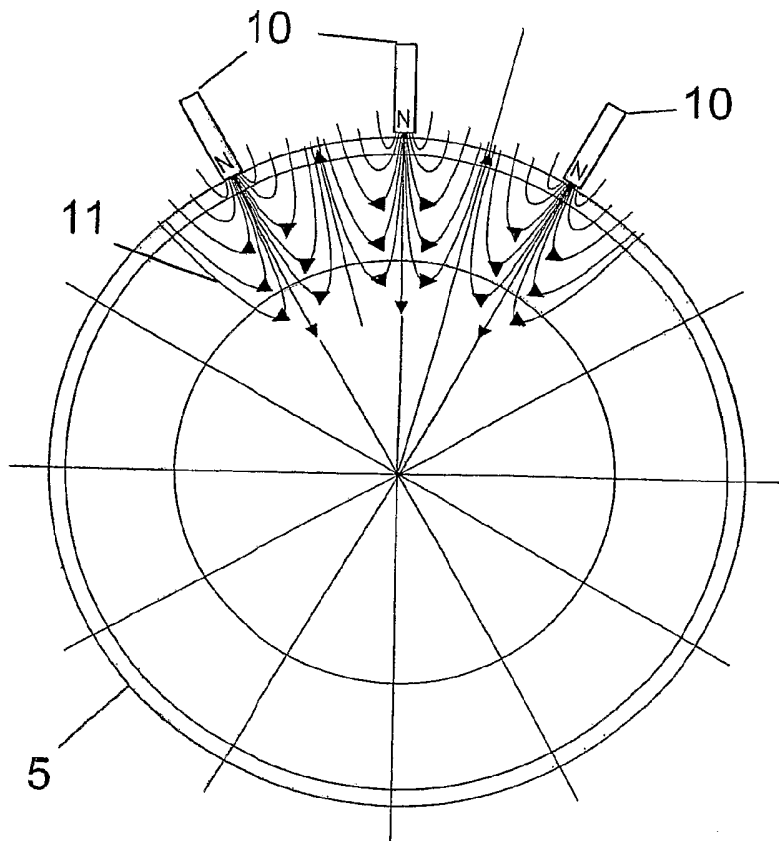
(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2004/109405 A2

- (51) Internationale Patentklassifikation⁷: **G03F 7/20** (71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): **INFINEON TECHNOLOGIES AG** [DE/DE]; St.-Martin-Strasse 53, 81669 München (DE).
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE2004/001132
- (22) Internationales Anmeldedatum:
27. Mai 2004 (27.05.2004) (72) Erfinder; und (75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **SCHWARZL, Siegfried** [DE/DE]; Josef-Kyrein-Strasse 11 b, 85579 Neubiberg (DE). **WURM, Stefan** [AT/US]; 5400 Amanda Ellis Ct., Austin, Texas 78749 (US).
- (25) Einreichungssprache: Deutsch
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch (74) Anwalt: **GROSS, Felix**; Patentanwälte Maikowski & Ninnemann, Postfach 15 09 20, 10671 Berlin (DE).
- (30) Angaben zur Priorität:
103 25 151.0 30. Mai 2003 (30.05.2003) DE (81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: DEVICE FOR GENERATION OF AND/OR INFLUENCING ELECTROMAGNETIC RADIATION FROM A PLASMA

(54) Bezeichnung: VORRICHTUNG FÜR DIE ERZEUGUNG UND / ODER BEEINFLUSSUNG ELEKTROMAGNETISCHER STRAHLUNG EINES PLASMAS



(57) Abstract: The invention relates to a device for generation of and/or influencing electromagnetic radiation from a plasma, for the lithographic production of semiconductor elements, in particular, for the generation and/or reflection of EUV-radiation for EUV-lithography. According to the invention, a magnetic means (10) for the generation of at least one inhomogeneous magnetic field (11) is provided as means for the targeted screening of at least one surface of the device (1; 5; 12) and/or another component (5; 12) from the charge carriers in the plasma (3). The service life of the device and/or other components is thus increased.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2004/109405 A2



AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

TJ, TM), europäisches (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

— ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts

(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU,

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung für die Erzeugung und / oder Beeinflussung elektromagnetischer Strahlung eines Plasmas für die lithographische Herstellung von Halbleiterbauelementen, insbesondere zur Erzeugung und / oder Reflexion von EUV-Strahlung für die EUV-Lithographie. Erfindungsgemäß ist ein Magnetmittel (10) zur Erzeugung mindestens eines inhomogenen Magnetfeldes (11) als Mittel zur gezielten Abschirmung von Ladungsträgern des Plasmas (3) von mindestens einer Fläche der Vorrichtung (1; 5; 12) und / oder eines anderen Bauteils (5; 12) vorgesehen. Hierdurch wird die Lebensdauer der Vorrichtung und / oder anderer Bauteile erhöht.

Beschreibung

Vorrichtung für die Erzeugung und / oder Beeinflussung elektromagnetischer Strahlung eines Plasmas.

5

Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung für die Erzeugung und / oder Beeinflussung elektromagnetischer Strahlung eines Plasmas nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1.

- 10 In der Halbleitertechnologie ist es notwendig, immer kleinere Strukturen auf einem Substrat zu erzeugen. Für die lithographische Strukturierung von Dimensionen unter 50 nm wird derzeit die sog. "Extreme Ultraviolett Lithographie" (EUVL)-Technologie mit Wellenlängen im weichen
- 15 Röntgenstrahlenbereich (10 - 15 nm) entwickelt. Eine Anlage dieser Technologie ist z.B. aus dem Artikel von D.A. Tichenor et al. "System Integration and Performance of the EUV-Engineering Test-Stand", Emerging Lithographic Technologies V, Proceedings of SPIE Vol. 4343, S. 19 bis 37, (2001)
- 20 bekannt. In diesem Artikel wird die Erzeugung der EUV-Strahlung durch ein Xenon-Plasma beschrieben.

- In der apparativen Ausgestaltung werden als Vorrichtung zur Beeinflussung beispielsweise Mehrlagen-Reflexionsspiegel für
- 25 Illuminator, Abbildungsoptik und Maske eingesetzt, um die emittierte Strahlung aufzufangen. Diese Mehrlagen-Reflexionsspiegel bestehen in der Regel aus 40 bis 50 Mo/Si-Doppelschichten mit einer Dicke von jeweils 6,8 nm, entsprechend der halben Wellenlänge der verwendeten EUV-
- 30 Strahlung.

- Als Strahlungsquellen zur Erzeugung des Plasmas sind "Laser Produced Plasma" (LPP) - Quellen und "Discharge Produced Plasma" (DPP) -Quellen bekannt (siehe z.B. Vanine and Moors,
- 35 "Extreme Ultraviolet Sources for Lithography Applications", Emerging Lithographic Technologies V, Proceedings of SPIE Vol. 4343, S. 203 bis 214, (2001); Lebert et al. "Comparision

Beschreibung

Vorrichtung für die Erzeugung und / oder Beeinflussung elektromagnetischer Strahlung eines Plasmas.

5

Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung für die Erzeugung und / oder Beeinflussung elektromagnetischer Strahlung eines Plasmas nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1.

- 10 In der Halbleitertechnologie ist es notwendig, immer kleinere Strukturen auf einem Substrat zu erzeugen. Für die lithographische Strukturierung von Dimensionen unter 50 nm wird derzeit die sog. "Extreme Ultraviolett Lithographie" (EUVL)-Technologie mit Wellenlängen im weichen
- 15 Röntgenstrahlenbereich (10 - 15 nm) entwickelt. Eine Anlage dieser Technologie ist z.B. aus dem Artikel von D.A. Tichenor et al. "System Integration and Performance of the EUV-Engineering Test-Stand", Emerging Lithographic Technologies V, Proceedings of SPIE Vol. 4343, S. 19 bis 37, (2001)
- 20 bekannt. In diesem Artikel wird die Erzeugung der EUV-Strahlung durch ein Xenon-Plasma beschrieben.

In der apparativen Ausgestaltung werden als Vorrichtung zur Beeinflussung beispielsweise Mehrlagen-Reflexionsspiegel für

25 Illuminator, Abbildungsoptik und Maske eingesetzt, um die emittierte Strahlung aufzufangen. Diese Mehrlagen-Reflexionsspiegel bestehen in der Regel aus 40 bis 50 Mo/Si-Doppelschichten mit einer Dicke von jeweils 6,8 nm, entsprechend der halben Wellenlänge der verwendeten EUV-

30 Strahlung.

Als Strahlungsquellen zur Erzeugung des Plasmas sind "Laser Produced Plasma" (LPP) - Quellen und "Discharge Produced Plasma" (DPP) -Quellen bekannt (siehe z.B. Vanine and Moors,

35 "Extreme Ultraviolet Sources for Lithography Applications", Emerging Lithographic Technologies V, Proceedings of SPIE Vol. 4343, S. 203 bis 214, (2001); Lebert et al. "Comparision

of Different Source Concepts for EVUL", Emerging Lithographic Technologies V, Proceedings of SPIE Vol. 4343, S. 215 bis 225, (2001) und Moyer et al. "Laser Produced Plasma (LPP) Scale-up and Commerzialisation", Emerging Lithographic Technologies V, Proceedings of SPIE Vol. 4343, S. 249 bis 254, (2001)).

In einer evakuierten Vakuumkammer des Illuminators (auch Kondensor genannt), die EUV-Quelle und Kondensorspiegel enthält, wird eine Substanz (meist Xenon) im Falle einer LPP-Quelle mittels eines Laserpulses (typischerweise Nd:YAG) oder im Falle einer DPP-Quelle mittels einer elektrischen Entladung hoch ionisiert. Das Plasma ist auf den Laserfokusbereich beschränkt und emittiert Licht im gewünschten EUV-Bereich. Die Mehrlagenspiegel des Illuminators, insbesondere der erste Kondensorspiegel, sind dem Beschuss durch vielfach geladene Ionen ausgesetzt.

Dadurch entsteht das Problem, dass durch Sputter- und Implantationseffekte, sowie durch Elektronen und Ionen unterstützte Abscheide- und Oxidationsprozesse besonders die Spiegelvorrichtungen und die Gasauslassdüsen der Plasmaquellen während des Betriebs der Plasmaquellen erheblich geschädigt werden und ihre Lebensdauer begrenzt wird. Mittelwert und Homogenität der Reflektivität der Spiegel nehmen dadurch schnell ab und die Rauigkeit zu. Die Folge sind hohe Kosten wegen des notwendigen Austausches der Mehrlagenspiegel (insbesondere des ersten Kondensorspiegels) und der Quellenkomponenten (z.B. Düsen).

30

Bislang wurde diesem Problem nur dadurch entgegengewirkt, dass für die Vorrichtung geeignete inerte Materialien ausgewählt wurden. Die plasmainduzierten Abscheidungen von kohlenstoffhaltigen Schichten können durch dosierte oxidierende Zugaben von z. B. Wasser oder Alkoholen kompensiert werden. Dabei dürfen beispielsweise die

35

Mehrlagenspiegel nicht durch übermäßige Oxidation geschädigt werden.

Das Problem der bekannten Lösungen ist es, dass bislang nicht
5 dem Ionenbeschuss entgegengewirkt wurde. Damit bleibt das Problem bestehen und die Vorrichtung weiterhin dem Ionenbeschuss und dem Verschleiß ausgesetzt.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, dem Ionenbeschuss
10 der Vorrichtung und / oder anderer Bauteile selbst entgegenzuwirken, also die Ursache zu bekämpfen. Dadurch soll die Lebensdauer der Vorrichtung und / oder anderer Bauteile erhöht und die Betriebskosten gesenkt werden.

15 Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch eine Vorrichtung mit den Merkmalen des Anspruch 1 gelöst.

Die erfindungsgemäße Lösung zeichnet sich dadurch aus, dass die Vorrichtung für die Erzeugung und / oder Beeinflussung
20 elektromagnetischer Strahlung eines Plasmas für die lithographische Herstellung von Halbleiterbauelementen, insbesondere zur Erzeugung und / oder Reflexion von EUV-Strahlung für die EUV-Lithographie, ein Magnetmittel zur Erzeugung mindestens eines inhomogenen Magnetfeldes als
25 Mittel zur gezielten Abschirmung von Ladungsträgern des Plasmas von mindestens einer Fläche der Vorrichtung und / oder eines anderen Bauteils aufweist.

Durch das inhomogene Magnetfeld werden die Ladungsträger des
30 Plasmas auf Spiralbahnen um die magnetischen Feldlinien gezwungen. Eine geeignete Ausrichtung und Abstimmung des Magnetfeldes bzw. der Magnetfelder hält die Ladungsträger gezielt z.B. von Flächen der Vorrichtung fern.

35 Aufgrund der temperaturbedingten statistischen Energieverteilung der Ladungsträger im Plasma können eventuell Ladungsträger eine so hohe Geschwindigkeit

aufweisen, dass sie die Vorrichtung trotz des Magnetfeldes erreichen. Auch diese Ladungsträger werden aber durch das inhomogene Magnetfeld zumindest abgebremst, bevor sie das zu schützende Bauteil erreichen und dort dementsprechend weniger Schaden anrichten. Die Lebensdauer der Vorrichtung wird
5 erhöht und die Kosten der EUV-Lithographie werden gesenkt.

Bevorzugt werden die Ladungsträger das Plasmas am inhomogenen Magnetfeld gespiegelt, d.h. ihre lineare Vorwärtsbewegung
10 wird umgekehrt. Beim Eindringen in Bereiche zunehmender Magnetfeldstärke werden die Ladungsträger abgebremst. Dadurch werden sie wieder an den Ort des Plasmas zurückbewegt und die Aufenthaltsdauer der Ladungsträger im Bereich des EUV-Plasmas wird erhöht. Dies vergrößert die Stoßwahrscheinlichkeit der
15 Elektronen mit den Atomen und Ionen des Plasmas und somit den Energieübertrag der Elektronen auf die Atome bzw. Ionen. Der Ionisationsgrad des Plasmas, die Rekombination der Ionen mit den Elektronen und dadurch die Strahlungsleistung des Plasmas wird verbessert. Bewegen sich die Ladungsträger in Bereiche
20 abnehmender Magnetfeldstärke, so werden diese beschleunigt und entlang der Magnetfeldlinien aus dem kritischen Bereich der Vorrichtung entfernt.

Dabei ist es besonders vorteilhaft, wenn mindestens ein
25 Magnetfeld so lokalisiert und erzeugt wird, dass die Funktion der Vorrichtung von Wirkungen des Magnetmittels abgeschirmt ist. Dies geschieht durch eine entsprechende Anordnung der/des Magnetmittels, z.B. neben oder hinter dem/den Bauteil/en.

30

Vorteilhafte Ausgestaltungen der erfindungsgemäßen Vorrichtung weisen als Magnetmittel mindestens einen Permanentmagneten, mindestens eine Spule, mindestens eine Spule mit einem Polschuh und/oder mindestens einen
35 Elektromagneten auf. Mit diesem Mittel kann ein besonders starkes Magnetfeld erzeugt werden. Auch ist vorteilhaft, wenn

5

mindestens ein Magnetmittel einen supraleitenden Magneten aufweist.

Dabei ist es vorteilhaft, wenn mindestens ein Magnetmittel in und/oder an einem Einlassmittel für eine plasmabildende Substanz angeordnet ist. Dieses Einlassmittel ist beispielsweise ein Düse. Die Gestaltung des Einlassmittels hängt u.a. von dem Aggregatzustand des Targets (gas, flüssig oder fest) ab.

10

Das inhomogene Magnetfeld kann besonders effizient zum Schutz der Vorrichtung dienen, wenn mindestens ein Magnetmittel konzentrisch zur Eintrittsrichtung der plasmabildenden Substanz angeordnet ist. Dabei wird beispielsweise das Einlassmittel der Vorrichtung geschützt, wenn die Vorrichtung ein Einlassmittel aufweist, sowie gegebenenfalls eine um das Einlassmittel angebrachte Spiegelvorrichtung.

20

Bevorzugt ist mindestens ein zum Einlassmittel azentrisches Magnetmittel vorgesehen. Dies kann alternativ oder zusätzlich als Magnetmittel eingesetzt werden, um ein inhomogenes Magnetfeld zu erzeugen oder ein Magnetfeld zu verstärken.

25

Mit Vorteil dient mindestens eine Spiegelvorrichtung zum Auffangen der vom Plasma emittierten EUV-Strahlung.

Bevorzugt weist die Spiegelvorrichtung mindestens teilweise eine Mehrlagenschicht auf.

30

Bevorzugte Ausgestaltungen des Strahlungssystems sehen vor, dass mindestens ein Magnetmittel auf der vom Plasma abgewandten Seite der Spiegelvorrichtung ausgebildet ist. Dadurch wird die Spiegelfunktion der Spiegelvorrichtung nicht durch ein Material im Strahlengang beeinträchtigt.

35

Besonders bevorzugt sind mehrere auf der vom Plasma abgewandten Seite der Spiegelvorrichtung ausgebildete

Magnetmittel zumindest teilweise der Form der Spiegelvorrichtung angepasst. Beispielsweise können Permanentmagneten so hergestellt werden, dass sie sich der Form der Spiegelvorrichtung anpassen.

5

Mit Vorteil sind die zumindest teilweise der Form der Spiegelvorrichtung angepassten Magnetmittel in geringem Abstand zur Spiegelvorrichtung angeordnet. So werden unerwünschte Wechselwirkungen zwischen der Spiegelvorrichtung und den Magnetmitteln minimiert, wie beispielsweise die Verzerrung der Spiegelvorrichtung durch die Gewichtskraft der Magnetmittel.

Zur vorteilhaften Erzeugung eines geeigneten inhomogenen Magnetfeldes weisen die zumindest teilweise der Form der Spiegelvorrichtung angepassten Magnetmittel alle mit dergleichen magnetischen Polung zur Spiegelvorrichtung. Dadurch wird verhindert, dass sich die Feldlinien der Magnetmittel auf engem Raum kurzschließen und dadurch Teilchen in einen Bereich zwischen zwei von benachbarten, unterschiedlich gepolten Magnetmitteln erzeugten Magnetfeldern im wesentlichen ungebremst eindringen können.

Eine weitere vorteilhafte Ausgestaltung der erfindungsgemäßen Vorrichtung weist ein Magnetmittel mit einer Steuerungsvorrichtung zur Erzeugung eines zeitlich veränderlichen, insbesondere gepulsten Magnetfeldes auf. Das Plasma lässt sich durch zeitlich und räumlich veränderliche Magnetfelder besonders effizient einschnüren.

30

Eine vorteilhafte Ausgestaltung der erfindungsgemäßen Vorrichtung weist ein Lasermittel und/oder ein beispielsweise elektrisches Entladungsmittel zur Erzeugung des Plasmas aus einem gasförmigen, festen oder flüssigem Targetmittel, insbesondere Xenon, Lithium, Gold und/oder Zinn auf.

35

Ein vorteilhaftes Lasermittel ist ein gepulster Nd:YAG Laser.

In Vorteilhafterweise wird das Plasma vor der Austrittsöffnung eines Einlassmittels gebildet, insbesondere vor einer Düse.

5

Die Erfindung wird nachfolgend unter Bezugnahme auf die Figuren an mehreren Ausführungsbeispielen näher erläutert. Es zeigen:

10 Figur 1 eine schematische Darstellung einer Vorrichtung mit einem Magnetmittel, das konzentrisch um ein Einlassmittel angeordnet ist;

15 Figur 2a in einem Diagramm die Abhängigkeit der Elektronenzyklotronradien von der Elektronenenergie und der magnetischen Induktion;

20 Figur 2b in einem Diagramm die Abhängigkeit der Xenonionenzyklotronradien vom Ionisationszustand der Xenonionen und der magnetischen Induktion;

Figur 3 eine schematische Darstellung von positiv geladenen Ionen in einem inhomogenen Magnetfeld;

25 Figur 4 eine schematisch dargestellte Anordnung von Magnetmitteln auf der Rückseite einer Spiegelvorrichtung, hier als planarer Mehrlagenspiegel dargestellt, als Vorrichtung zur Beeinflussung von EUV-Strahlung;

30

Figur 5a eine schematische Darstellung einer aus Segmenten zusammengesetzten Spiegelvorrichtung als Vorrichtung mit Magnetmitteln, die der Form der Spiegelvorrichtung angepasst sind in perspektivischer Ansicht; und

35

Figur 5b eine schematische Darstellung der Spiegelvorrichtung der Figur 5a in axialer Draufsicht.

- 5 Bevor auf die Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung eingegangen wird, sollen anhand der Fig. 2a, 2b und 3 die physikalischen Grundlagen erläutert werden.

10 In Figur 3 ist ein Schnitt durch ein in etwa kegelförmig und um eine nicht dargestellte Mittelachse kreissymmetrisch ausgebildetes, statisches inhomogenes Magnetfeld 11 schematisch dargestellt. Die Figur zeigt die bekannte Bewegung eines ersten positiv geladenen Ions I1 und eines zweiten positiv geladenen Ions I2.

15

Die durch Pfeile dargestellten Feldlinien des Magnetfeldes 11 verdichten sich in Richtung der Verjüngung des Kegels, die Magnetfeldstärke nimmt in Richtung der Verjüngung zu. Das Magnetfeld weist demnach einen Gradienten auf. Das erste
20 positiv geladene Ion I1 bewegt sich in einer durch einen Pfeil dargestellten Spiralbewegung in Richtung auf die Verstärkung des Magnetfeldes 11. Die Spiralbewegung kommt durch die Überlagerung einer Kreisbewegung und einer Linearbewegung zustande und wird durch die Lorentzkraft

25

$$K_L = qv_{\perp}B$$

verursacht. Dabei bezeichnet K_L den Betrag der Lorentzkraft in Richtung der Verbreiterung des Kegels, q die Ladung des Ions, $v_{\perp}$ die Geschwindigkeitskomponente des Ions, die senkrecht auf dem Magnetfeld steht, und B die magnetische
30 Induktion am Ort des Ions I1.

Setzt man den Betrag der Lorentzkraft K_L gleich dem Betrag der Zentrifugalkraft

$$K_Z = mv_{\perp}^2 / r$$

(wobei m für die Masse des Ions steht), so ergibt sich der
35 Radius r der Kreisbahn zu

$$r = \frac{m}{q} \cdot \frac{v_{\perp}}{B}$$

Die Überlagerung dieser Kreisbewegung mit der zum Magnetfeld B parallelen Geschwindigkeitskomponente v führt zu einer Spiralbahn um die magnetischen Feldlinien. Das kreisende Ion
5 weist ein magnetisches Moment

$$\mu = \frac{1}{2} \cdot \frac{mv_{\perp}^2}{B}$$

auf, welches eine adiabatische Invariante, d.h. konstant ist für hinreichend langsam veränderliche Magnetfelder.

10 Bewegt sich ein Teilchen wie das Ion I1 in Figur 3 in einen Bereich größerer Feldstärke, so nehmen die senkrechte Geschwindigkeit $v_{\perp}$ und der senkrechte Anteil der kinetische Energie

$$E_{\perp} = \frac{1}{2} mv_{\perp}^2$$

15 zu, während wegen der Energieerhaltung die Vorwärtsbewegung entlang der Feldlinien verzögert wird und der parallele Anteil der kinetischen Energie abnimmt. Da sich die kinetische Energie so verlagert, dass der parallele Geschwindigkeitsanteil durch das Magnetfeld in einen
20 senkrechten Geschwindigkeitsanteil umgewandelt wird, nennt man die wirkende Kraft auch "Spiegelkraft", welche bei axialer Symmetrie des Magnetfeldes durch

$$K_z^M = -\mu \frac{\partial B}{\partial z} = -\frac{1}{2} \left(\frac{mv_{\perp}^2}{B} \right) \frac{\partial B}{\partial z}$$

gegeben ist (vgl. hierzu S. D. Pinches, "Nonlinear
25 Interactions of Fast Particles with Alfen Waves in Tokamaks", <http://www.rzg.mpg.de/~sip/thesis/thesis.html>). Die z-Richtung ist hierbei die Richtung, in die sich das Magnetfeld verstärkt. An der Bewegung des Ions I1 ist die Wirkung der Spiegelkraft daran zu erkennen, dass die Höhe der Spiralbahn
30 abnimmt, wobei die Kreisbahn selbst enger wird.

Das zweite positiv geladene Ion I2 bewegt sich in Richtung abnehmender Feldstärke, wobei die Höhe der Spiralbahnen sowie der Kreisbahnradius zunimmt.

10

Bei hinreichend großem Gradienten des Magnetfeldes und $v_{\perp}/v$ -Verhältnis wird die parallele Geschwindigkeitskomponente v des Ions gleich Null und wächst mit entgegengesetzten Vorzeichen wieder an, d.h. das Teilchen wird reflektiert und
5 in die Richtung kleinerer Felder bewegt.

Die Spiegelkraft wirkt gleichermaßen auf Teilchen mit positiver und negativer Ladung.

10 Die Figur 2a zeigt in einem Diagramm die Abhängigkeit der Elektronenzyklotronradien von der Elektronenenergie und der magnetischen Induktion. Dabei ist auf der x-Achse die Elektronenenergie zwischen 0 eV und 35 eV aufgetragen, auf der y-Achse der Elektronenzyklotronradius zwischen 0 μm und 20
15 μm . Es sind insgesamt vier Verläufe dargestellt, in Abhängigkeit von der magnetischen Induktion B . Für eine magnetische Induktion B von einem Tesla liegen die Radien für etwa 1 eV bei ca. 3 μm , für 30 eV bei etwas über 18 μm . Mit steigender magnetischer Induktion werden die Radien
20 kleiner, bei 10 Tesla ist der größte errechnete Elektronenzyklotronradius bei einer Elektronenenergie von 30 eV kleiner als 2 μm .

Dem Diagramm der Figur 2a kann entnommen werden, dass bei
25 typischen Elektronenenergiewerten im Plasma von 1-10 eV ein B -Feld von 1 Tesla ausreicht, um die Elektronenradien auf maximal ca. 10 μm zu halten. Damit sind die Radien wesentlich kleiner als die Dimension des Plasmas (ca. 1 mm) und der Reichweite der magnetischen Felder. Die Folge ist eine große
30 Anzahl von Kreisbewegungen der Elektronen im Magnetfeld. Sie werden im Magnetfeld gehalten, bis sie mit Ionen rekombinieren oder das Magnetfeld entlang der Feldlinien im Bereich abnehmender Feldstärke verlassen.

35 Ähnliches gilt für die positiven Ionen, beispielsweise die zur EUV-Strahlung häufig verwendeten Xenonionen. Der

11

Magneteeffekt ist hier schwächer ausgeprägt, was sich in größeren Zyklotronradien zeigt.

Die Figur 2b zeigt in einem Diagramm die Abhängigkeit der Xenonionenzyklotronradien von der Ionisationsstufe der Xenonionen und der magnetischen Induktion. Auf der x-Achse ist die Ionisationsstufe zwischen 0 und 12 aufgetragen, auf der y-Achse die Xenonionenzyklotronradien zwischen 0 μm und 400 μm . Dabei wurden die Berechnungen für kalte Xenonionen durchgeführt, die eine Energie von 0.05 eV aufweisen, was einer Temperatur von etwa 580 K entspricht.

Auch hier sind die Radien für eine magnetische Induktion von 1 Tesla am größten und liegen zwischen 370 μm und 40 μm , je nach Ionisationsstufe. Dabei sind die Radien umso kleiner, je höher die Ionisationsstufe ist. Bei stärkeren Magnetfeldern wie etwa bei 10 Tesla sind die Radien kleiner als 40 μm . Diese kalten Xenonionen werden ebenfalls im Plasma gehalten. Bei heißen Xenonionen (mit Energien von 30 eV, entsprechend einer Temperatur von $3,5 \cdot 10^5$ K) liegen die Radien im Millimeterbereich. Deswegen verlassen diese Xenonionen zwar das Plasma, werden aber durch die Magnetfelder über den gesamten Abstand zwischen Plasma und zu schützendem Bauteil abgelenkt, abgebremst oder sogar reflektiert, so dass deren schädigende Wirkung gemindert wird. Die Abstände von Plasma und Kollektorspiegel liegen üblicherweise im Dezimeterbereich.

Die Figur 1 zeigt in einer schematische Darstellung eine Ausführungsform der erfindungsgemäßen Vorrichtung.

Die Vorrichtung ist hier ein Strahlungssystem 1, das hier eine Strahlungsquelle und zugehörige Komponenten, wie eine Spiegelvorrichtung zur Fokussierung der Strahlung aufweist.

In der Mitte befindet sich das Plasma 3, welches beispielsweise auf Xenon basiert, das als Strahl über ein

12

Einlassmittel 12 (hier als Austrittsdüse ausgestaltet) zugeführt und beispielsweise wie bei einer LPP-Quelle durch einen gepulsten Laserstrahl angeregt wird.

5 Diese Austrittsdüse 12 ist konzentrisch von einem ferromagnetischen Permanentmagneten 10 als Magnetmittel, umgeben, der ein durch Magnetfeldlinien dargestelltes inhomogenes Magnetfeld 11 erzeugt. Hier weist der magnetische Nordpol des Permanentmagneten in Richtung Plasma, allerdings
10 könnte dies ebenso gut der magnetische Südpol sein. Das Magnetfeld 11 ist am stärksten am Ort der Austrittsdüse 12 und wird schwächer entlang der Strahlrichtung des durch die Austrittsdüse 12 eingelassenen Strahls 15. Im besonderen verlaufen die Magnetfeldlinien des Magnetfeldes 11 auch durch
15 das Plasma 3.

Konzentrisch um die Austrittsdüse 12 ist ein im Wesentlichen halbkugelförmiger oder parabolischer Kollektorspiegel 5 als Spiegelvorrichtung angebracht. Dieser Kollektorspiegel 5 ist
20 vorzugsweise ein Mehrlagenspiegel und dient zum Bündeln der durch das Plasma 3 emittierten EUV-Strahlung.

Ein als Xe^{n+} bezeichnetes Xenonion bewegt sich auf einer durch einen Pfeil dargestellten Spiralbahn um eine
25 Magnetfeldlinie vom Plasma 3 weg in eine Richtung, in der es nicht mehr in Kontakt zum Kollektorspiegel 5 treten kann.

Zwei mit e^- bezeichnete Elektronen bewegen sich ebenfalls in immer größer werdenden Spiralbahnen um jeweils eine Feldlinie
30 von Plasma weg, auf die der Austrittsdüse 12 gegenüberliegende Seite und in Richtung abnehmender Magnetfeldstärke.

Die Spiegelkraft wirkt auf Elektronen ebenso wie auf Ionen in
35 die gleiche Richtung und ist vom Vorzeichen der Ladung unabhängig.

13

In einer anderen Ausgestaltungsform weist das Strahlungssystem zusätzlich oder alternativ auch azentrisch ein oder mehrere Magnetmittel auf, die ein inhomogenes Magnetfeld erzeugen. Durch diese Magnetmittel kann die Abschirmwirkung verstärkt werden.

Eine andere, nicht dargestellte Ausgestaltungsform umfasst ein Einlassmittel wie die Einlassdüse 12 mit Magnetmitteln ohne Spiegelvorrichtung.

10

Die Figur 4 zeigt eine schematisch dargestellte Anordnung von von Ferromagneten 10 als Magnetmittel auf der Rückseite einer Spiegelvorrichtung, hier als planarer Mehrlagenspiegel 5 dargestellt, als erfindungsgemäße Vorrichtung zur Beeinflussung von EUV-Strahlung.

15

Der Mehrlagenspiegel 5 ist in der Figur 4 planar dargestellt, obwohl er eigentlich wie in Figur 1 eine konkave, insbesondere sphärische oder parabolische Form aufweist. Auf der dem Plasma abgewandten Seite des Mehrlagenspiegels 5 sind einige Ferromagneten 10 so angeordnet, dass sie alle mit dergleichen Polung (hier mit dem magnetischen Nordpol) in Richtung zum Mehrlagenspiegel 5 weisen und ein inhomogenes Magnetfeld 11 auf der dem (hier nicht dargestellten) Plasma zugewandten Seite des Mehrlagenspiegels 5 erzeugen.

20

25

Die Magnetfeldlinien sind in der Zeichnung als Pfeile dargestellt. Das Magnetfeld 11 ist am stärksten an den den Ferromagneten gegenüberliegenden Stellen auf der dem Plasma zugewandten Seite des Mehrlagenspiegels an den Stellen, an denen die Magnetfeldlinien am engsten beieinander liegen und nimmt in Richtung zum Plasma ab. Damit ergibt sich wie in Figur 1 eine reflektierende Wirkung des inhomogenen Magnetfelds 11 auf Ladungsträger des Plasmas.

30

35

Durch die parallele Ausrichtung der Ferromagneten 10 wird verhindert, dass sich die Feldlinien zwischen den

Ferromagneten auf kurzem Wege schließen und dadurch dort Bereiche kleiner Feldgradienten entstehen, die nur geringe Spiegelkräfte auf geladene Teilchen ausüben.

- 5 Die Ferromagnete 10 haben hier eine zylindrische Form und sind in geringem Abstand zum Mehrlagenspiegel 5 angeordnet. Dabei sind sie so ausgestaltet, dass sie sich seiner Außenform anpassen. Ein direkter Kontakt der Ferromagnete 10 mit dem Mehrlagenspiegel 5 ist nicht vorhanden, um
- 10 Verzerrungen durch ihre Gewichtskraft und die magnetischen Kräfte zwischen den Ferromagneten zu vermeiden. Ebenso enthält der Mehrlagenspiegel 5 keine ferromagnetischen Bestandteile, damit keine Wechselwirkung zwischen den Ferromagneten 10 und dem Mehrlagenspiegel 5 entsteht. Obwohl
- 15 kein mechanischer Kontakt besteht, ist der Abstand möglichst gering gehalten, damit das Magnetfeld 11 vor dem Mehrlagenspiegel 5 möglichst stark ist.

- In einer anderen, nicht dargestellten Ausgestaltungsform
- 20 weist die Vorrichtung wie in Figur 1 eine Strahlungsquelle, eine Einlassdüse und eine Spiegelvorrichtung auf, wobei die Ferromagneten aus Figur 4 zusätzlich oder alternativ zu den Magnetmitteln der Figur 1 angebracht sein.

- 25 Die Figuren 5a und 5b zeigen eine schematische Darstellung eines aus Segmenten zusammengesetzten Kollektorspiegels 5 als Vorrichtung mit Ferromagneten 10 als Magnetmittel in perspektivischer Ansicht bzw. in axialer Draufsicht. Der hier dargestellte Kollektorspiegel 5 ist aus mehreren Segmenten
- 30 zusammengesetzt, die separat und in jeweils schmalen Abständen zueinander gehalten werden. Insgesamt ist der Kollektorspiegel 5 wieder in etwa halbkreisförmig ausgebildet. In Figur 5a ist nur ein Ferromagnet 10 dargestellt, um die prinzipielle Anordnung zu zeigen. In
- 35 einer tatsächlichen Ausgestaltung kann beispielsweise jedes Segment des Kollektorspiegels 5 mit einem Ferromagneten versehen sein, oder aber auch unabhängig von den

Kollektorspiegeln 5 mehrere Ferromagneten 10 auf der dem Plasma abgewandten Seite des Kollektorspiegels 5 angebracht sein.

- 5 In Figur 5b ist zudem noch der Verlauf der Feldlinien des inhomogenen Magnetfeldes 11 durch Pfeile dargestellt. Wieder sind alle Ferromagneten 10 parallel gepolt. Die Form der Feldlinien entspricht der aus Figur 4, wobei allerdings hier der Kollektorspiegel 5 in seiner richtigen Form dargestellt
10 ist und das Magnetfeld 11 dementsprechend verformt ist.

- Die Ferromagneten 10 sind möglichst nahe am Kollektorspiegel 5 angeordnet, ohne ihn zu berühren. Das resultierende inhomogene Magnetfeld 11, welches in der Nähe des
15 Kollektorspiegels 5 stärker als in Richtung zum nicht dargestellten Plasma ist, spiegelt positive und negative Ladungsträger und schützt dadurch den Mehrlagenspiegel 5.

- Eine möglichst spitze Ausgestaltung der Pole der
20 Ferromagneten 10 resultiert in großen Magnetfeldgradienten und Spiegelkräften.

Bezugszeichenliste

1	Strahlungssystem
3	Plasma
5	Spiegelvorrichtung
10	Magnetmittel
11	inhomogenes Magnetfeld
12	Einlassmittel
15	Strahl
I1	erstes positiv geladenes Ion
I2	zweites positiv geladenes Ion

Patentansprüche

1. Vorrichtung für die Erzeugung und / oder Beeinflussung elektromagnetischer Strahlung eines Plasmas für die lithographische Herstellung von Halbleiterbauelementen, insbesondere zur Erzeugung und / oder Reflexion von EUV-Strahlung für die EUV-Lithographie,

gekennzeichnet durch

10

ein Magnetmittel (10) zur Erzeugung mindestens eines inhomogenen Magnetfeldes (11) als Mittel zur gezielten Abschirmung von Ladungsträgern des Plasmas (3) von mindestens einer Fläche der Vorrichtung (1; 5; 12) und / oder eines anderen Bauteils (5; 12).

15

2. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Ladungsträger des Plasmas (3) am inhomogenen Magnetfeld (11) gespiegelt werden.

20

3. Vorrichtung nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens ein Magnetfeld so lokalisiert und erzeugt wird, dass die Funktion der Vorrichtung (1; 5; 12) von Wirkungen des Magnetmittel (10) abgeschirmt ist.

25

4. Vorrichtung nach einem der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Magnetmittel (10) mindestens einen Permanentmagneten, mindestens eine Spule, mindestens eine Spule mit einem Polschuh und / oder mindestens einen Elektromagneten aufweist.

30

5. Vorrichtung nach einem der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens ein Magnetmittel (10) einen supraleitenden Magneten aufweist.

35

18

6. Vorrichtung nach einem der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens ein Magnetmittel (10) in und/oder an einem Einlassmittel (12) für eine plasmabildende Substanz angeordnet ist.

5

7. Vorrichtung nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens ein Magnetmittel (10) konzentrisch zur Eintrittsrichtung der plasmabildenden Substanz angeordnet ist.

10

8. Vorrichtung nach einem der vorangegangenen Ansprüche gekennzeichnet durch mindestens ein zum Einlassmittel (12) azentrisches Magnetmittel (10).

15 9. Vorrichtung nach einem der vorangegangenen Ansprüche, gekennzeichnet durch mindestens eine Spiegelvorrichtung (5) zum Auffangen der vom Plasma (3) emittierten EUV-Strahlung.

20 10. Vorrichtung nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass die Spiegelvorrichtung (5) mindestens teilweise eine Mehrlagenschicht aufweist.

25 11. Vorrichtung nach Anspruch 9 oder 10, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens ein Magnetmittel (10) auf der vom Plasma (3) abgewandten Seite der Spiegelvorrichtung (5) ausgebildet ist.

30 12. Vorrichtung nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, dass mehrere Magnetmittel (10) auf der vom Plasma (3) abgewandten Seite der Spiegelvorrichtung (5) der Strahlungsquelle (1) ausgebildet sind, die zumindest teilweise der Form der Spiegelvorrichtung (5) angepasst sind.

35 13. Vorrichtung nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, dass die zumindest teilweise der Form

19

der Spiegelvorrichtung (5) angepassten Magnetmittel (10) in geringem Abstand zur Spiegelvorrichtung (5) angeordnet sind.

14. Vorrichtung nach Anspruch 12 oder 13, dadurch
5 gekennzeichnet, dass die zumindest teilweise der Form der Spiegelvorrichtung (5) angepassten Magnetmittel (10) alle mit der gleichen magnetischen Polung zur Spiegelvorrichtung (5) weisen.
- 10 15. Vorrichtung nach einem der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Magnetmittel (10) eine Steuerungsvorrichtung zur Erzeugung eines zeitlich veränderlichen, insbesondere gepulsten inhomogenen Magnetfeldes (11) aufweist.
- 15 16. Vorrichtung nach einem der vorangegangenen Ansprüche, gekennzeichnet durch ein Lasermittel und/oder ein Entladungsmittel zur Erzeugung des Plasmas (3) aus einem gasförmigen, festen oder flüssigem Targetmittel, insbesondere
20 Xenon, Lithium, Gold und/oder Zinn.
17. Vorrichtung nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, dass das Lasermittel als gepulster Nd:YAG Laser ausgebildet ist.
- 25 18. Vorrichtung nach einem der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Plasma (3) vor der Austrittsöffnung eines Einlassmittels (12) ausgebildet ist, insbesondere vor einer Düse.
- 30

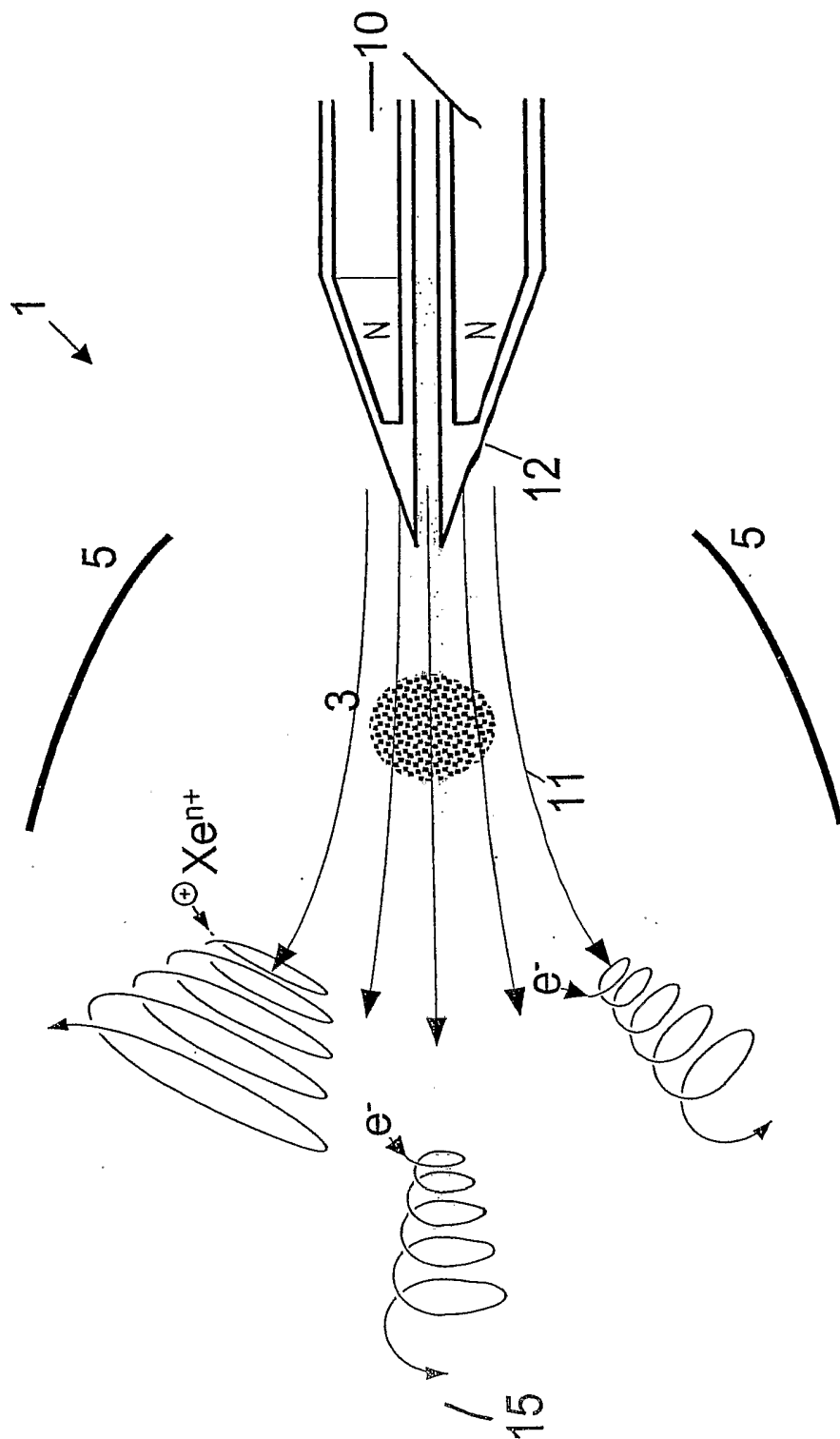


FIG 1

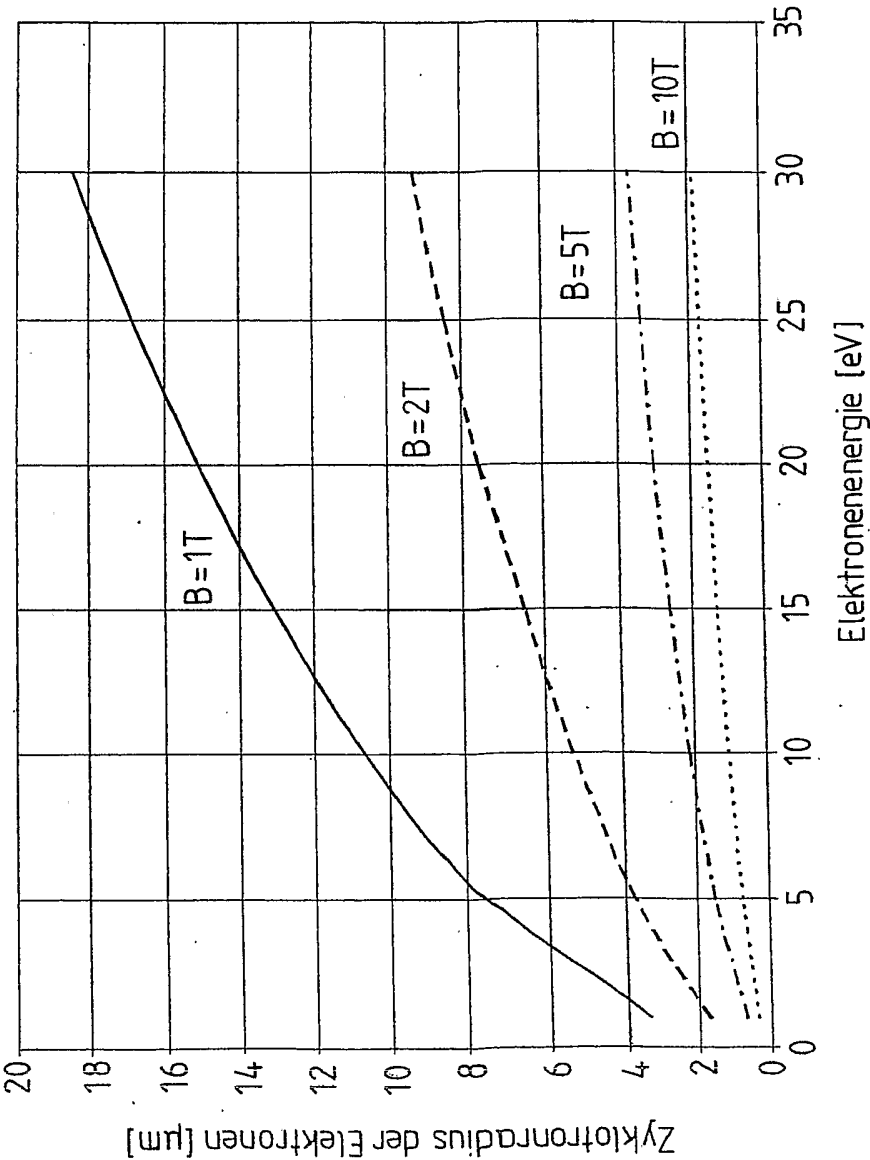


FIG 2A

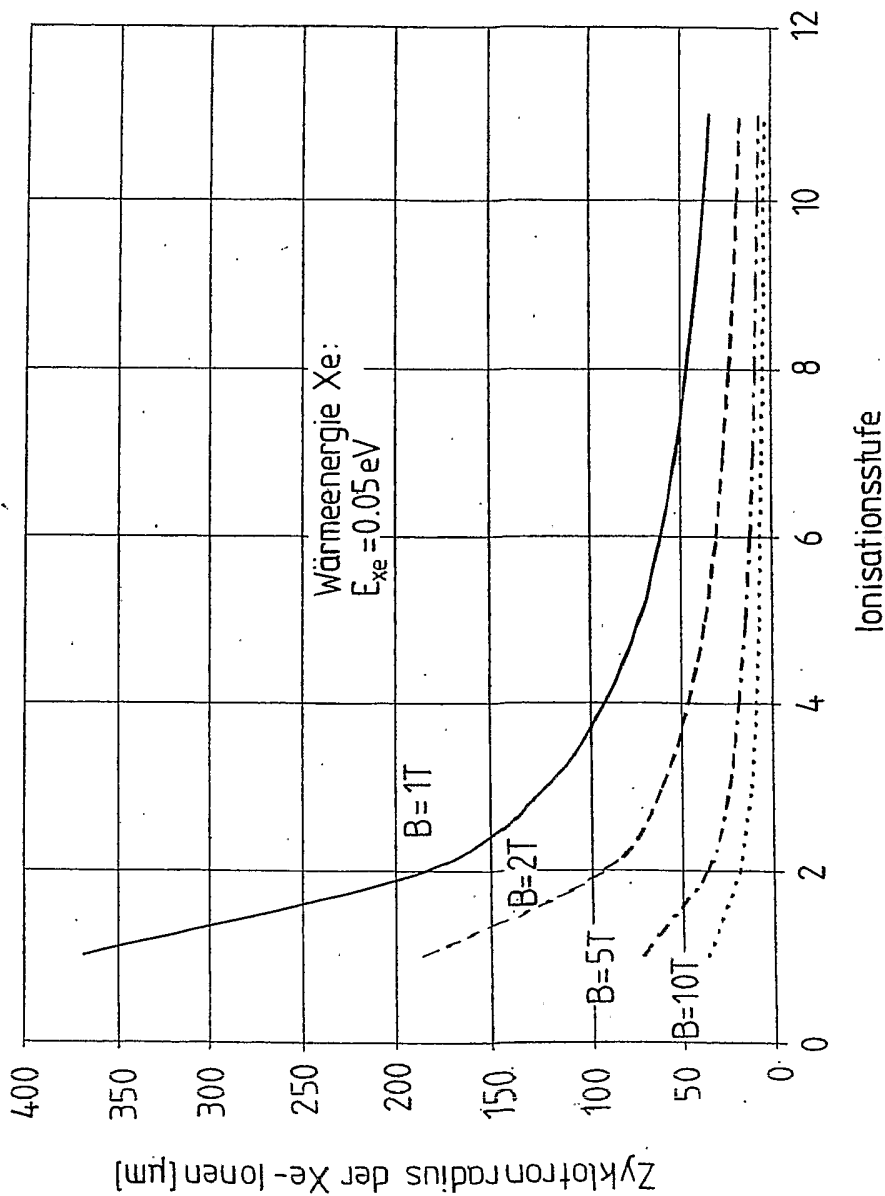
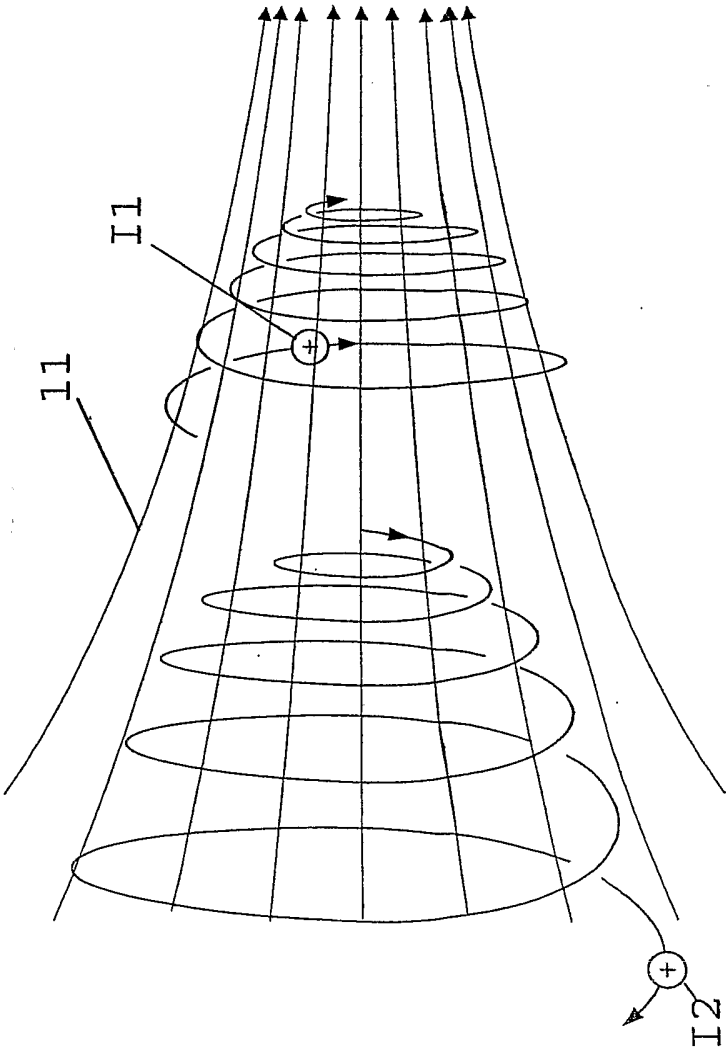


FIG 2B



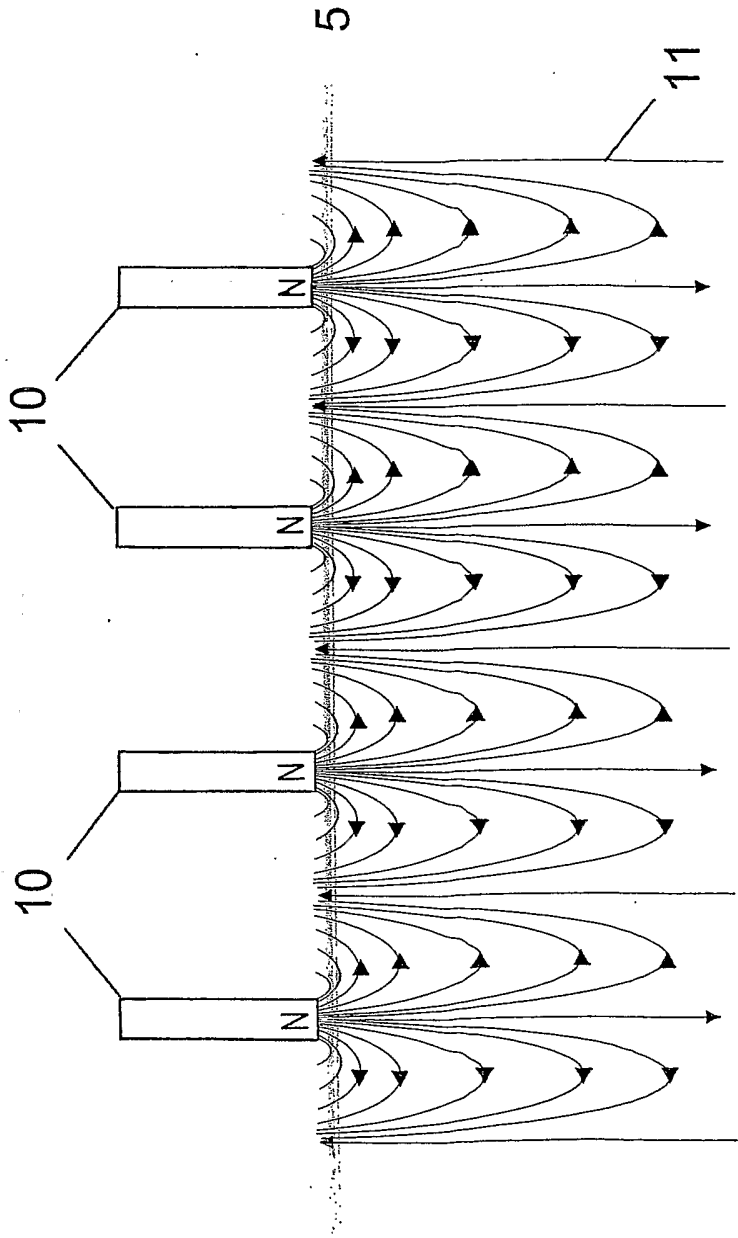


FIG 4

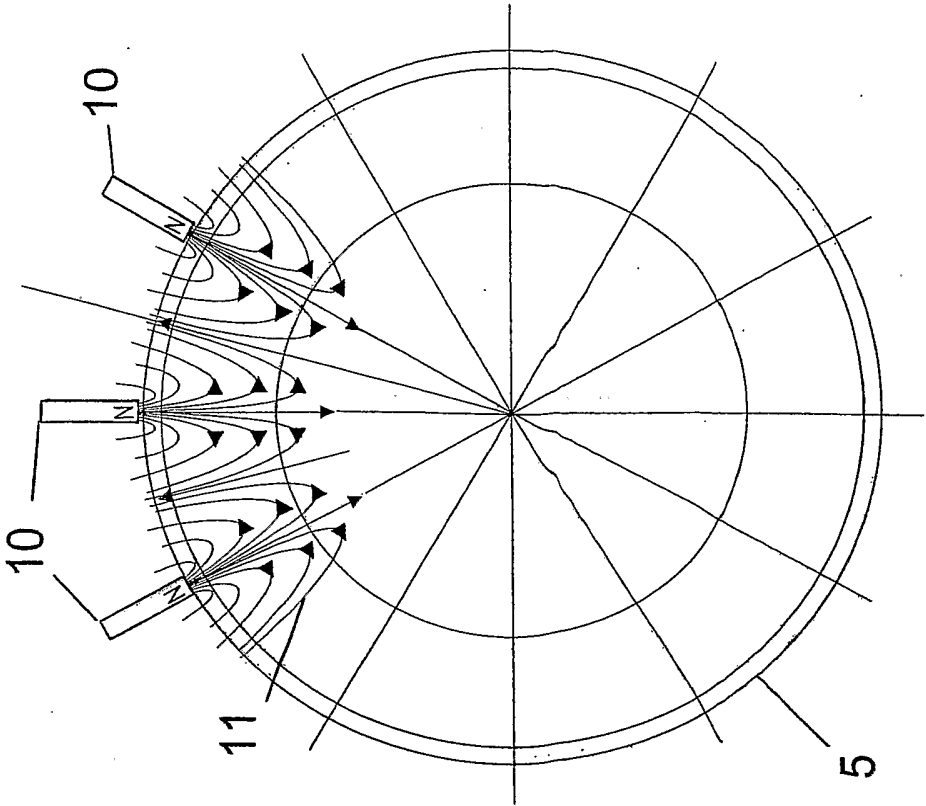


FIG 5A

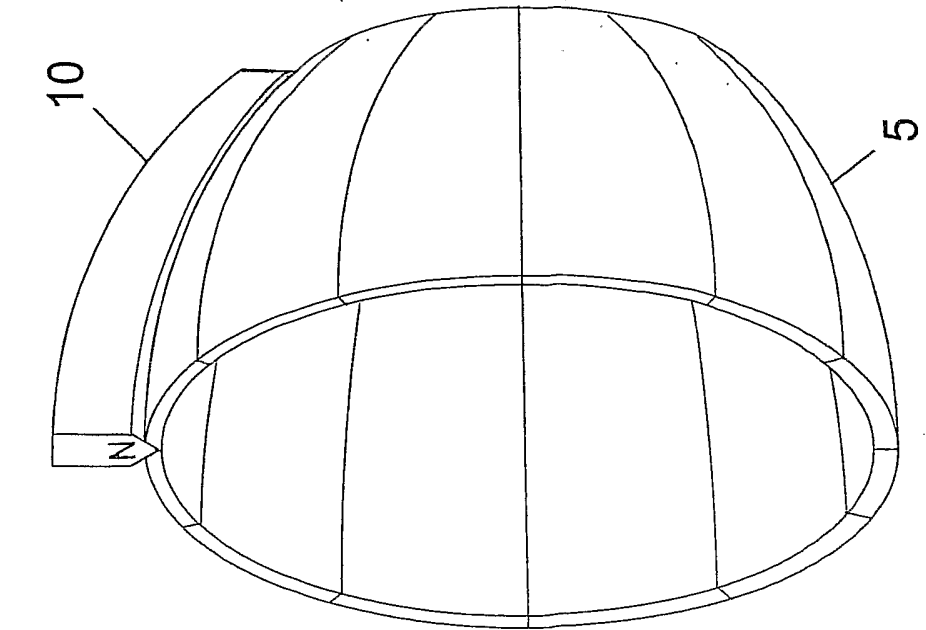


FIG 5B