



Ausschliessungspatent

Erteilt gemäß § 5 Absatz 1 des Aenderungsgesetzes
zum Patentgesetz

ISSN 0433-6461

(11)

208 011

Int.Cl.³

3(51) H 01 L 21/306

C 23 F 1/02

C 23 C 15/00

T FÜR ERFINDUNGS- UND PATENTWESEN

In der vom Anmelder eingereichten Fassung veröffentlicht

AP H 01 L / 235 634 1
17 3821/80; 150801/81

(22) 10.12.81

(32) 11.12.80; 25.09.81

(44) 21.03.83

(33) JP

siehe (73)

OKANO, HARUO; HORIIKE, YASUHIRO; JP;

TOKYO SHIBAURA DENKI KABUSHIKI KAISHA, HORIKAWA-CHO, SAIWAI-KU, KAWASAKI-SHI, JP

PAB (PATENTANWALTSBUERO BERLIN) 1480156 1130 BERLIN FRANKFURTER ALLEE 286

TROCKENAETZVERFAHREN UND -VORRICHTUNG

Die Erfindung betrifft ein Trockenätzverfahren, bei dem Strom bzw. Leistung zwischen einer Kathode und einer Anode angelegt, in einer Reaktionskammer ein Plasma aus einem Ätzmittelgas erzeugt und eine auf der Kathode angeordnete Probe bzw. ein Werkstück durch das Plasma an der Kathode angezogene Ionen geätzt wird. Die erfindungsgemäße Verbesserung besteht in, daß ein Magnetfeld induziert wird, dessen Feldlinien senkrecht zu einem elektrischen Feld der Oberfläche einer zu ätzenden Probe bzw. eines zu ätzenden Werkstücks verlaufen, und daß die Stärke des Magnetfelds an der Oberfläche der Probe bzw. des Werkstücks auf mindestens 1 Gauss gehalten wird. Außerdem betrifft die Erfindung eine Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens.

5

10

CMY-56P1162-3

Trockenätzverfahren und -vorrichtung

15

Anwendungsgebiet der Erfindung:

20

Die Erfindung betrifft ein Trockenätzverfahren, nach dem verschiedene Werkstoffe bei der Herstellung einer Halbleitervorrichtung mittels eines Ätzmittelplasmas geätzt werden können, sowie eine Vorrichtung zur Durchführung dieses Verfahrens.

Charakteristik der bekannten technischen Lösungen:

25

30

35

Integrierte Halbleiterschaltungen werden mit komplizierten Schaltungsmustern hergestellt, deren Kompliziertheit bzw. Feinheitgrad in jüngster Zeit weiter zugenommen hat. Beispielsweise werden bei der Integration sehr hohen Grades (VLSI) Muster-Mindestabmessungen von 1 - 1 µm angewandt. Für die Realisierung solcher Musterabmessungen ist die Anwendung der Trockenätzung unter Verwendung eines Ätzmittelplasmas unabdingbar. Beim Trockenätzverfahren wird ein Ätzmittel, d.h. ein reaktionsfähiges Gas, in eine mit parallelen Elektrodenplatten ausgestattete Reaktionskammer eingeleitet. An die Elektroden wird Leistung bzw. Strom, beispielsweise Hochfrequenz (wechsel)strom oder Gleichstrom, angelegt, um ein Plasma mit Glühentladung zu

1

erzeugen. Im Plasma enthaltene positive Ionen werden durch eine Kathodenabfallspannung in Richtung der Kathode beschleunigt, um eine auf der Kathode angeordnete Probe bzw. ein Werkstück zu beschließen und dabei zu ätzen. Dieses Trockenätzverfahren wird auch als reaktives Ionen-ätzen bezeichnet.

10

Bei diesem bisherigen Trockenätzverfahren ist jedoch die Ätzgeschwindigkeit niedrig, so daß der Ätzvorgang eine lange Zeit beansprucht. Beispielsweise beträgt die Ätzgeschwindigkeit im Fall von SiO_2 etwa $300 \text{ \AA}/\text{min}$ ($30 \text{ nm}/\text{min}$) bei Verwendung eines Gasgemisches aus CF_4 und H_2 als Ätzmittel, so daß das Ätzen einer SiO_2 -Schicht mit $1 \mu\text{m}$ Dicke etwa 40 min dauert. Die Ätzgeschwindigkeit im Fall von mit Phosphor dotiertem polykristallinen Silizium beträgt bei Verwendung eines CBrF_3 -Gases als Ätzmittel etwa $500 \text{ \AA}/\text{min}$ ($50 \text{ nm}/\text{min}$), so daß das Ätzen einer $4000 \text{ \AA}$ (400 nm) dicken, mit Phosphor dotierten polykristallinen Siliziumschicht etwa 8 min dauert. Weiterhin beträgt bei Verwendung eines CCl_4 -Gases als Ätzmittel die Ätzgeschwindigkeit bei Aluminium etwa $1000 \text{ \AA}/\text{min}$ ($100 \text{ nm}/\text{min}$), so daß das Ätzen einer $1 \mu\text{m}$ dicken Aluminiumschicht mehr als zehn Minuten dauert. Diese niedrige Ätzgeschwindigkeit beruht im wesentlichen auf einer niedrigen, z.B. in der Größenordnung von 3 - 5 % liegenden Ionisierungsleistung in der Glühentladung zwischen den parallelen Elektrodenplatten.

30

Zur Erhöhung der Ätzgeschwindigkeit kann beispielsweise die Hochfrequenzleistung vergrößert werden, womit die Ätzgeschwindigkeit geringfügig erhöht werden kann. Eine Vergrößerung der Hochfrequenzleistung ist jedoch mit den Nachteilen verbunden, daß ein großer Teil dieser Leistung in Wärme umgewandelt wird, eine Beeinträchtigung eines als Ätzmaske verwendeten Photoresist- bzw. Photolackfilms

35

1

in Abhängigkeit von einer Erhöhung der Kathodenabfallspannung o.dgl. auftritt und ein Siliziumsubstrat (dabei) elektrisch beschädigt werden kann. Im Hinblick auf diese Nachteile wird allgemein auf eine Erhöhung der Ätzgeschwindigkeit verzichtet; üblicherweise wird daher eine möglichst niedrige Hochfrequenzleistung angelegt. In jüngster Zeit wurde über eine mit hoher Geschwindigkeit bzw. Leistung erfolgende Ätzung von Si und Al_2O_3 unter Verwendung einer Dreielektroden-Stromversorgungsvorrichtung mit einer Einrichtung, welche die Elektronen im Plasma selbst liefert, berichtet (J. Vac. Sci. Technol., 17(3), 731, N. Heiman und Mitarbeiter, 1980). In diesem Fall wird jedoch ein Heizfaden benutzt, der durch das reaktionsfähige Gas korrodiert wird. Dieses Verfahren kann (daher) im Dauerbetrieb über einen längeren Zeitraum hinweg Schwierigkeiten aufwerfen. Zur Erhöhung der Dichte der Ätzquelle wurde auch bereits ein Verfahren zur Verwendung eines Laser-Geräts vorgeschlagen (J. Electrochem. Soc. 127, 514, J.I. Steinfeld und Mitarbeiter, 1980). Nach diesem Verfahren kann die Dichte der Ätzquelle erhöht werden, so daß eine hohe Ätzgeschwindigkeit erreicht wird. Die Ätzquelle mit vergrößerter Dichte besteht jedoch hauptsächlich aus neutralen Resten bzw. Radikalen, und da diese von der Kathode nicht angezogen werden, ist die Richtwirkung der Bewegung unsicher. Hierbei kann ein seitliches Ätzen erfolgen, weshalb die neutralen Reste bzw. Radikale nicht für hochentwickelte Muster mit Abmessungen von weniger als $1\text{ }\mu\text{m}$ eingesetzt werden.

25

30

Ziel der Erfindung:

35

Aufgabe der Erfindung ist damit insbesondere die Schaffung eines Trockenätzverfahrens, mit dessen Hilfe ein Halbleitermaterial, wie Silizium, ein Isoliermaterial, wie SiO_2 , und ein wärmebeständiges Metall, wie Aluminium, mit hoher Geschwindigkeit und ohne elektrische Beschädi-

1 gung eines Substratmaterials ätzbar sind. Zudem bezweckt die Erfindung die Schaffung einer Vorrichtung zur Durchführung dieses Verfahrens.

5 Darlegung des Wesens der Erfindung:

Diese Aufgabe wird durch die in den beigefügten Patentansprüchen gekennzeichneten Merkmale gelöst.

10 Beim erfindungsgemäßen Trockenätzverfahren wird ein Magnetfeld induziert, dessen magnetische Kraftlinien senkrecht zum elektrischen Feld zwischen den Elektroden liegen, wenn eine auf einer Kathode angeordnete Probe (Werkstück) mit einem Plasma eines Ätzmittelgases geätzt wird.

15 Die erfindungsgemäße Trockenätzvorrichtung umfaßt eine Reaktionskammer mit einer Anode und einer Kathode, eine Einrichtung zur Zufuhr von Strom oder Leistung zwischen die Elektroden zwecks Erzeugung eines Plasmas aus einem
20 in die Reaktionskammer eingeführten Ätzmittelgas und eine Einrichtung zum Induzieren eines Magnetfelds, dessen magnetische Kraftlinien senkrecht zum elektrischen Feld zwischen den Elektroden liegen.

25 Bei diesem Trockenätzverfahren verlagern sich Elektronen im Plasma innerhalb eines Magnetfelds senkrecht zur Elektronenbewegungsrichtung, so daß die Elektronen mit dem Ätzmittelgas kollidieren. Hierdurch wird die Dissoziation bzw. Zersetzung des Ätzmittelgases verstärkt. Infolgedessen
30 erhöht sich die Dichte der Ätzquelle, und es wird eine hohe Ätzgeschwindigkeit erreicht.

Ausführungsbeispiele:

Im folgenden sind bevorzugte Ausführungsformen der Erfindung anhand der beigefügten Zeichnung näher erläutert.
35 Es zeigen:

1

Fig. 1 eine schematische Schnittansicht des Grundaufbaus einer Trockenätzvorrichtung mit Merkmalen nach der Erfindung,

5

Fig. 2 eine graphische Darstellung der Ätzkennlinien beim Ätzen von SiO_2 und Si mittels eines Gasgemisches aus CF_4 und H nach dem erfindungsgemäßen Verfahren,

10

Fig. 3 eine graphische Darstellung der Beziehung zwischen der Magnetfeldstärke auf einer Proben- bzw. Werkstückoberfläche und der Ätzgeschwindigkeit beim Ätzen von SiO_2 und Si mittels eines C_2F_6 -Gases nach dem erfindungsgemäßen Verfahren,

15

Fig. 4 eine graphische Darstellung der Beziehung zwischen der Ätzgeschwindigkeit und der halben Strecke zwischen N- und S-Polen eines Magneten,

20

Fig. 5 eine graphische Darstellung der Beziehung zwischen der Hochfrequenz(strom)leistung und der Ätzgeschwindigkeit beim erfindungsgemäßen Verfahren,

25

Fig. 6 eine graphische Darstellung der Beziehung zwischen einer Spannung und einem Ionenstrom bei Anlegung eines Gleichstroms beim erfindungsgemäßen Verfahren,

30

Fig. 7 eine schematische Aufsicht auf die Oberfläche einer Si-Probe, die in dem Zustand geätzt wird, in welchem ihre Lage relativ zu einem Magnetfeld festgelegt ist,

35

- 1
Fig. 8 eine schematische Schnittansicht einer Trocken-
ätzvorrichtung gemäß einer Ausführungsform der
Erfindung,
- 5
Fig. 9 eine Aufsicht auf eine Ausführungsform einer
Magnetfeldinduktionseinrichtung,
- 10
Fig. 10 eine schematische Schnittansicht einer Trocken-
ätzvorrichtung gemäß einer anderen Ausführungs-
form der Erfindung,
- 15
Fig. 11 eine Aufsicht auf eine Kathode und eine Magnet-
feldinduktionseinrichtung bei der Trockenätz-
vorrichtung nach Fig. 10,
- 20
Fig. 12 eine graphische Darstellung der Beziehung
zwischen der Magnetfeldstärke auf der Proben-
bzw. Werkstückoberfläche, der Ätzgeschwindig-
keit und dem SiO_2/Si -Selektivitätsverhältnis
beim Ätzen von SiO_2 und Si mittels eines CHF_3 -
Gases nach dem erfindungsgemäßen Verfahren und
- 25
Fig. 13 eine graphische Darstellung der Beziehung
zwischen der Magnetfeldstärke auf der Proben-
bzw. Werkstückoberfläche und der Hochfrequenz-
stromdichte.

30 Zur Beschreibung der Wirkung eines Magnetfelds beim Trok-
kenätzen wird auf eine in Fig. 1 dargestellte Vorrichtung,
in welcher eine zu ätzende Probe bzw. ein Werkstück rela-
tiv zu einem Magnetfeld festgelegt ist, Bezug genommen.
Diese Vorrichtung weist eine Reaktionskammer auf, in
35 welcher eine Kathode 1 einer Anode 2 gegenüberstehend an-
geordnet ist, wobei diese Elektroden durch ein Abstands-
stück 3 gegeneinander isoliert sind. An die Kathode 1 ist

1

über einen Anpaßkreis 5 eine Hochfrequenz-Stromversorgung 4 angeschlossen, während die Anode normalerweise an Massepotential liegt. Im Zentrum der Kathode 1 ist ein magnetisches Material, z.B. ein Weicheisen-Polstück 6 angeordnet, das einen kastenförmigen Aufbau besitzt und eine Entladungsstrecke bzw. einen Luftspalt 7 aufweist, die bzw. der in Form von geschlossenen, rechteckigen oder kreisförmigen Schleifen auf der Oberseite des Polstücks 6 gebildet wird. Ein Magnet, z.B. ein Dauermagnet 8 aus Kobalt-Samarium, ist im Inneren des Polstücks 6 in dessen Zentrum so angeordnet, daß der Dauermagnet 8 einen von der Entladungsstrecke (Luftspalt) 7 umschlossenen Teil des Polstücks 6 trägt. Wenn die Oberseite des Dauermagneten 8 den N-Pol (Nordpol) und seine Unterseite den S-Pol (Südpol) bilden, werden längs der Entladungsstrecke (Luftspalt) 7 des Polstücks 6 bogenförmige Magnetkraftlinien erzeugt. Infolgedessen wird ein Magnetfeld induziert, das senkrecht zur Richtung E eines elektrischen Felds verlaufende Feldlinien B aufweist. Die Kathode 1 ist durch eine Wasserkühleinrichtung 16 kühlbar.

15

20

25

30

35

Wenn mittels der Vorrichtung gemäß Fig. 1 eine Probe bzw. ein Werkstück geätzt werden soll, wird ein aus einem nicht-magnetischen Werkstoff, wie Kohlenstoff oder Aluminiumoxid, bestehender Werkstück-Träger 9 auf das Polstück 6 aufgelegt. Auf dem Träger 9 wird eine Probe bzw. ein Werkstück 10 angeordnet. Das Innere der Reaktionskammer wird durch Öffnen eines Vakuumverschlußventils 11 evakuiert, worauf ein Ätzmittelgas über einen Gas-einlaß 12 eingeführt wird. An die Kathode 1 wird ein Hochfrequenzstrom angelegt. Infolgedessen wird zwischen den Elektroden eine Glühentladung erzeugt, so daß aus dem Ätzmittelgas ein Plasma entsteht. An der Kathode 1 wird dabei eine Kathodenabfallspannung (automatische

1

Gittervorspannung mit negativem Strom) induziert. Unter diesen Bedingungen wird in der Nähe der Entladungsstrecke 7 ein senkrecht zum elektrischen Feld liegendes Magnetfeld induziert. Infolgedessen verlagern sich in der Nähe dieses Felds befindliche Elektronen in der Richtung $1E \times 1B$, so daß die Elektronen im Bereich 13 nahe der Entladungsstrecke 7 in einer spiraligen bzw. wendelförmigen Wanderbahn eingefangen werden. Die Ionisierleistung des Ätzmittelgases im Bereich 13 über der Entladungsstrecke 7 ist dabei im Vergleich zum umgebenden Raum 14 stark erhöht. Erfindungsgemäß wurde die Dicke eines Kathoden-Dunkelraums 15 über der Kathode für den Fall untersucht, daß ein Magnetfeld induziert oder nicht induziert wurde. Bei induziertem Magnetfeld war die Dicke des Kathoden-Dunkelraums 15 so gering, daß dieser Dunkelraum nicht feststellbar war. Wenn im Bereich der Entladungsstrecke 7 ein senkrecht zum elektrischen Feld gerichtetes Magnetfeld vorhanden war, erwies sich die Plasmadichte als besonders hoch. Im Vergleich zur üblichen automatischen Gittervorspannung mit Gleichspannung erfordert somit die erfindungsgemäße Vorrichtung für eine hohe Plasmadichte eine niedrige Leistung. Dieses Arbeitsprinzip ist die Grundlage für das erfindungsgemäß angestrebte Ätzen mit hoher Geschwindigkeit. Bei einem Versuch, bei dem Siliziumdioxid (SiO_2) mit z.B. Freongas (CF_4) als Ätzmittel bearbeitet wurde, konnte eine hohe Ätzgeschwindigkeit erzielt werden; die Ätzgeschwindigkeit betrug hierbei etwa $1 \mu m/min$ bei einer SiO_2 -Schicht auf einem Si-Substrat unter einem CF_4 -Druck von 0,04 Torr und einer Hochfrequenzstromleistung von etwa 250 W (Stromdichte $0,2 - 0,25 W/cm^2$; dieser Wert wird bei einer bisherigen Vorrichtung ohne induziertes Magnetfeld bevorzugt). Außerdem war dabei die Beschädigung des Si-Substrats minimal. Beim Ätzen der SiO_2 -Schicht nach Ausbildung eines Photolackmusters auf dieser wurde

1

anschließend das Ätzprofil der SiO_2 -Schicht unter einem Elektronenmikroskop untersucht. Hierbei wurde belegt, daß ein anisotropes Ätzen stattgefunden hatte, weil die geätzte SiO_2 -Schicht eine lotrecht geätzte Wand bzw. Flanke aufwies.

5

Fig. 2 veranschaulicht Ätzkennlinien von SiO_2 und Si für ein bisheriges Verfahren ohne Anwendung eines Magnetfelds sowie für ein Verfahren gemäß der Erfindung. In diesem Fall wurde ein Gasgemisch aus C_2F_6 und H_2 verwendet, in welchem die H_2 -Konzentration variiert wurde. In Fig. 2 stehen die ausgezogenen Linien für die mit dem erfindungsgemäßen Verfahren erreichte Ätzgeschwindigkeit von Si und SiO_2 , während die gestrichelten Linien die Ätzgeschwindigkeit für Si und SiO_2 beim bisherigen Verfahren angeben. Mit Ausnahme des Ätzmittelgases wurden hierbei dieselben Ätzbedingungen wie beim vorstehend beschriebenen Versuch eingehalten. Wie sich aus Fig. 2 ergibt, ist die Ätzgeschwindigkeit beim erfindungsgemäßen Verfahren mehr als 10-mal so groß wie beim bisherigen Verfahren. Bei einer H_2 -Konzentration von etwa 70 % betrug das Selektionsverhältnis von SiO_2 zu Si mehr als das 10-fache desjenigen beim bisherigen Verfahren, so daß demzufolge eine gute Selektivität erzielt wurde.

10

15

20

25

Wie sich aus Fig. 3 ergibt, wurde erfindungsgemäß eine Erscheinung bzw. eine Beziehung zwischen den Ätzgeschwindigkeiten von SiO_2 und Si einerseits und der Magnetfeldstärke an der Oberfläche des zu ätzenden Werkstücks andererseits festgestellt. Der Ätzvorgang wurde mit einem C_2F_6 -Gasdruck von 0,04 Torr und einer Hochfrequenzstromleistung von 250 W (0,2 bis 0,25 W/cm^2) durchgeführt. Der aus Kohlenstoff bestehende Werkstück-Träger 9 wurde auf das Polstück 6 gemäß Fig. 1 aufgelegt, und das Magnetfeld über die Entladungsstrecke 7 an der Oberseite

30

35

1

des Trägers 9 wurde mit einem Hall-Meßfühler gemessen. Die gemessene Magnetfeldstärke ist in Fig. 3 auf der Abszisse aufgetragen. Die Magnetfeldstärke wurde entsprechend der Dicke des Werkstück-Trägers 9 geändert. Die Dicke des jeweiligen Trägers 9 ist in Fig. 3 angegeben. Wie aus Fig. 3 hervorgeht, erhöhten sich die Ätzgeschwindigkeiten für SiO_2 und Si mit einer Vergrößerung der Magnetfeldstärke; die Zunahme der Ätzgeschwindigkeit für SiO_2 war dabei mit einer Vergrößerung der Magnetfeldstärke größer als die Zunahme der Ätzgeschwindigkeit für Si. Das Ätzgeschwindigkeitsverhältnis zwischen SiO_2 und Si erhöht sich also mit einer Vergrößerung der Magnetfeldstärke. Zur Gewährleistung eines selektiven Ätzens von SiO_2 gegenüber Si mußte die Magnetfeldstärke in der Nähe bzw. im Bereich der Entladungsstrecke 7 mehr als etwa 350 Gauss betragen. Wenn das zu ätzende Werkstück unmittelbar auf das Polstück aufgelegt wurde ($h = 0$), konnte ein Ätzen von Si mit äußerst hoher Geschwindigkeit in der Größenordnung von 3 $\mu\text{m}/\text{min}$ erzielt werden. Das Verhältnis der Ätzgeschwindigkeit für SiO_2 zu derjenigen für Si (selektives Ätzverhältnis SiO_2/Si) betrug etwa 5 bis 6. Dieser Wert ist etwa doppelt so groß wie beim bisherigen Verfahren zum Ätzen von SiO_2 und Si mit C_2F_6 -Gas.

Fig. 4 veranschaulicht die Beziehung zwischen der Ätzgeschwindigkeit und dem Abstand vom Zentrum der Entladungsstrecke 7 in waagerechter Richtung gemäß Fig. 1. Der Ätzvorgang wurde unter einem C_2F_6 -Gasdruck von 0,04 Torr und bei Hochfrequenzstromleistungen von 250 W (0,2 bis 0,25 W/cm^2) und 80 W (0,06 bis 0,08 W/cm^2) sowie mit einer Dicke des Werkstück-Trägers 9 von 2 mm durchgeführt. Bei einer Hochfrequenzstromleistung von 250 W verringerten sich die Ätzgeschwindigkeiten oder -grade für SiO_2 und Si

1

mit zunehmendem Abstand vom Zentrum der Ätz-Entladungs-
strecke 7. Bei einer Hochfrequenzstromleistung von 80 W
trat eine Erscheinung auf, bei welcher die Ätzgeschwindig-
keit im Zentrum der Entladungsstrecke 7 äußerst gering
war. Diese Erscheinung kann durch Ablagerung bzw. Aus-
fällung hervorgerufen sein.

10

Gemäß Fig. 5 wurde der Ätzvorgang unter den selben Ätz-
bedingungen wie in Fig. 4 durchgeführt, wobei die Ätz-
geschwindigkeit bzw. -größe unter Änderung der Hochfre-
quenzleistung gemessen wurde. Die Leistung von 250 W ent-
spricht in diesem Fall einer Stromdichte von $0,2 \text{ W/cm}^2$.
Wie aus Fig. 5 hervorgeht, steigt die Ätzgeschwindigkeit
für SiO_2 bei einer Leistung von mehr als etwa 100 W stark
an, wobei das selektive Ätzverhältnis der Ätzgeschwindig-
keit für SiO_2 zu derjenigen für Si besonders groß wird.
Beim Ätzen mit einer Hochfrequenzleistung von 200 bis
400 W gemäß Fig. 5 ändert sich die Kathodenabfallspan-
nung nicht mit einer Erhöhung der Hochfrequenzleistung.
In diesem Fall wurde die Beziehung zwischen der Kathoden-
abfallspannung und einem Ionenstrom in der Weise darge-
stellt, daß die Kathodenabfallspannung auf der Abszisse
und der Ionenstrom auf der Ordinate aufgetragen wurden.
Es konnte eine Magnetron-Betriebsart oder -Arbeitsweise
beobachtet werden, bei welcher der Ionenstrom mit einer
Änderung der Kathodenabfallspannung plötzlich ansteigt.
Diese Erscheinung zeigt, daß Ionen in großen Mengen er-
zeugt werden. Dieselbe Erscheinung (Magnetron-Arbeits-
weise) war gemäß Fig. 6 auch im Fall eines Gleich-
stroms feststellbar. In diesem Fall wurde die Kathode
an Masse gelegt, und die dem Polstück gegenüberstehende
Anodenplatte innerhalb der Reaktionskammer wurde an
Spannung gelegt. Nachdem eine Probe bzw. ein Werkstück
unmittelbar auf das Polstück aufgelegt worden war, wurde
 C_2F_6 -Gas zugeführt. Die Magnetron-Betriebsart wurde ein-

15

20

25

30

35

1 geleitet, wenn der C_2F_6 -Gasdruck 2×10^{-3} Torr (a) oder
7 $\times 10^{-4}$ Torr (b) betrug, während sie bei einem Gasdruck
von 3×10^{-4} Torr (c) nicht auftrat.

5 Fig. 7 ist eine Aufsicht auf die Oberseite einer Probe
bzw. eines Werkstücks beim Ätzen von Si mit einer H_2 -
Konzentration von 70 %, bei welcher das anhand von Fig. 2
beschriebene Selektions- bzw. Selektivitätsverhältnis von
10 SiO_2 zu Si sehr groß wird. Bei dem in Fig. 2 dargestellten
Beispiel wurde ein organisches Material vom Polytetra-
fluoräthylentyp mit C-F-Bindung auf die gesamte Ober-
fläche eines Plättchens eines Si-Werkstücks aufgetragen,
das nach dem herkömmlichen Verfahren mit einer H_2 -Konzen-
15 tration von mehr als 60 % geätzt wurde. Bei dem in Fig. 7
veranschaulichten Verfahren gemäß der Erfindung wurde
ein solches organisches Material nicht auf die etwa 1 cm
breiten Flächen 7-a zu beiden Seiten der Entladungsstrecke
7 aufgetragen. Die außerhalb der Flächen 7-a liegenden
20 Flächen 7-b waren dagegen mit einem Film bzw. einer
Schicht eines solchen, das Ätzen verhindernden organi-
schen Materials versehen. Hierbei zeigte es sich, daß über
der Entladungsstrecke 7 und über den Flächen 7-a Plasma-
bereiche hoher Plasmadichte vorhanden waren.

25 Die Vorrichtung, bei welcher die Probe bzw. das Werk-
stück gemäß Fig. 1 relativ zum Magneten festgelegt ist,
ist für das gleichmäßige Ätzen der Gesamtoberfläche des
Werkstücks nicht geeignet. Wenn dagegen eine senkrecht
30 zum elektrischen Feld verlaufende Magnetfeldlinie durch
Verkleinerung des Abstands zwischen den Entladungsstrecken
7 im gesamten Bereich zwischen den Entladungsstrecken 7
auf mehr als 350 Gauss eingestellt wird, kann ein gleich-
mäßiges Ätzen auch dann erzielt werden, wenn die Relativ-
35 positionen von Werkstück und Magnet festgelegt sind, d.h.
wenn sich die Flächen 7-a gemäß Fig. 7 überlappen.

1 Die Fig. 8 bis 11 veranschaulichen eine Vorrichtung, mit
welcher ein gleichmäßiges Ätzen durch Änderung der Rela-
tivstellungen zwischen dem zu ätzenden Werkstück und
5 dem Magneten durchführbar ist. Gemäß Fig. 8 sind mehrere
Dauermagnete 28a, 28b und 28c in aus magnetischem Werk-
stoff bestehenden Polstücken 26a, 26b bzw. 26c angeordnet.
Die Polstücke 26a bis 26c sind in einem kastenförmigen
Behälter bzw. Gehäuse 41 angeordnet, der bzw. das so
10 mit einem Motor 40 verbunden ist, daß das Gehäuse 41
mittels des Motors 40 geradlinig hin- und herbewegt wer-
den kann. Eine aus nicht-magnetischem Werkstoff bestehen-
de Kathode 21 ist in einem Abstand von den Magneten und
den Polstücken angeordnet. Der die Magnete 28a bis 28c
15 überspannende Unterteil der Kathode 21 ist von einer
Dunkelraumabschirmung 42 zur Verhinderung einer Ent-
ladung unter die Kathode 21 umschlossen. Eine Belüftungs-
öffnung 43 in der Dunkelraumabschirmung 42 dient zur Be-
lüftung bzw. Entlüftung des die Dauermagnete 28a bis
20 28c aufnehmenden Raums unterhalb der Kathode 21. Die
eine Wasserkühleinrichtung 36 für die Kathode 21 und
eine Hochfrequenz-Stromversorgung 24 aufweisende Vor-
richtung gemäß Fig. 8 entspricht mit Ausnahme der ange-
gebenen Unterschiede der Vorrichtung nach Fig. 1. Bei der
25 Vorrichtung gemäß Fig. 8 kann die Oberfläche einer Probe
bzw. eines Werkstücks 30 während des Ätzvorgangs durch
Magnetfelder abgetastet werden, die durch die Dauer-
magnete 28 an den Entladungsstrecken 27 der Polstücke
26 induziert werden, so daß sich ein gleichmäßiges Ätzen
30 mit hoher Geschwindigkeit erzielen läßt. Bei dieser Kon-
struktion erfolgt das Ätzen vorzugsweise bei Verkleinerung
des Abstands zwischen den Entladungsstrecken und mit Über-
lappung der Magnetfelder.

35 Fig. 9 veranschaulicht eine andere Ausführungsform der
Magnetfeld-Induktionseinrichtung, bei welcher eine Ent-

1 ladungsstrecke (Luftspalt) 51 in Form einer geschlossenen Schleife an einem Polstück 50 ausgebildet ist. Unter einen Teil 52 des Polstücks 50 ist ein Dauermagnet 53 eingesetzt, 5 welcher dieselbe Form besitzt wie der Teil 52 des Polstücks 50 und welcher von der Entladungsstrecke 51 umschlossen ist. Mit dieser Magnetfeld-Induktionseinrichtung können mehrere querverlaufende, möglichst dicht benachbarte Entladungsstrecken (Luftspalte) ausgebildet 10 werden, so daß ohne weiteres einander überlappende Magnetfelder induziert werden können.

Die Fig. 10 und 11 veranschaulichen noch eine andere Ausführungsform der Trockenätzvorrichtung, bei welcher 15 ein zu ätzendes Werkstück über den Entladungsstrecken in Drehung versetzt wird. Dabei ist eine scheibenförmige Kathode 61 in der eine Anode 60 aufweisenden Reaktionskammer drehbar angeordnet. Unter der Kathode 61 sind ein sternförmiger Dauermagnet 63, dessen N-Pol nach oben 20 weist, und ein den Dauermagneten 63 umschließender Dauermagnet 64 mit nach obenweisendem S-Pol angeordnet. Zwischen den Dauermagneten 63 und 64 ist eine Entladungsstrecke (Luftspalt) 65 in Form einer geschlossenen Schleife vorgesehen. An den Seitenflächen von Kathode 61 und 25 Dauermagneten 63 und 64 ist eine Dunkelraumabschirmung 66 angeordnet. Die zu ätzenden Proben bzw. Werkstücke 67 werden auf die Kathode 61 aufgelegt und sodann geätzt, indem die Kathode 61 durch einen Motor 62 in Drehung versetzt und Hochfrequenzleistung zugeführt 30 wird, um aus einem über den Einlaß zugeführten Ätzmittelgas ein Plasma zu erzeugen. Da sich alle Teile der Werkstücke 67 bei der Drehung über die Entladungsstrecke 65 hinwegbewegen, wird ein gleichmäßiges Ätzen gewährleistet.

35 Die Einflüsse der Magnetfeldstärke und der Stromdichte der Hochfrequenzleistung auf den Ätzborgang sind im

folgenden anhand von Fig. 12 und 13 erläutert. Mit der Vorrichtung gemäß Fig. 8 wurde ein Versuch durchgeführt, bei dem SiO_2 - und Si-Proben bzw. -Werkstücke unter Verwendung von CHF_3 mit einem Druck von 0,05 Torr geätzt wurden.

Die Ätzergebnisse sind in Fig. 12 veranschaulicht, gemäß welcher der Ätztvorgang mit einer Stromdichte von $1,6 \text{ W/cm}^2$ erfolgte; dieser Wert liegt um ein Mehrfaches höher als die bevorzugte Stromdichte von 0,2 bis $0,5 \text{ W/cm}^2$ beim herkömmlichen Trockenätzen ohne Anwendung eines Magnetfeldes. Wie aus Fig. 12 hervorgeht, steigt die Ätzgeschwindigkeit (Kurve a) für SiO_2 zunächst steil an, um sich dann mit einer Erhöhung der Magnetfeldstärke mit einem konstanten Gradienten zu erhöhen. Gleichzeitig fällt die Kathodenabfallspannung (Kurve b) mit einer Vergrößerung der Magnetfeldstärke steil ab. Diese Erscheinung hängt von einer Verkleinerung des Radius der spiraligen Elektronenbahn ab, so daß eine Ionisierung dicht an der Oberfläche der Kathode stattfindet. Die Ansammlungsgröße oder -geschwindigkeit von Ionen in der Kathode steigt somit entsprechend der Vergrößerung der Magnetfeldstärke an, wobei Räume mit sehr hoher Plasmadichte teilweise in der Nähe der Entladungsstrecke (Luftspalt) entstehen. Hierdurch wird auch aufgezeigt, daß eine Beschädigung des Substrats in Abhängigkeit von der Vergrößerung der Magnetfeldstärke allmählich bzw. zunehmend herabgesetzt wird. Andererseits nimmt die Ätzgeschwindigkeit (Kurve c) für Si linear zu, so daß das selektive SiO_2/Si -Ätzverhältnis (Kurve d) in der Nähe des Punkts am größten ist, bei welchem sich die Ätzgeschwindigkeit (Kurve a) für SiO_2 zu ändern beginnt.

Wie sich aus Fig. 12 ergibt, ist eine Vergrößerung der Ätzgeschwindigkeit für SiO_2 durch Magnetron-Entladung

1

bei einer Hochfrequenzleistung von $1,6 \text{ W/cm}^2$ im Fall
einer Magnetfeldstärke von mehr als 50 Gauss festzu-
stellen. Die der Magnetfeldstärke von 50 Gauss entspre-
chende Kathodenabfallspannung beträgt etwa 1000 V, so
daß die durch Ionen hervorgerufene Beschädigung vergleichs-
weise gering ist und vernachlässigt werden kann. Bei
einer Magnetfeldstärke von 50 Gauss beträgt das Verhält-
nis der Ätzgeschwindigkeiten für SiO_2 und Si mehr als
10 : 1, so daß in diesem Fall nur SiO_2 selektiv geätzt
wird. Der in Verbindung mit Fig. 12 beschriebene Versuch
wurde unter folgenden Ätzbedingungen durchgeführt:
Stromdichte der Hochfrequenzleistung = $0,4 \text{ W/cm}^2$,
 $0,2 \text{ W/cm}^2$ und $0,1 \text{ W/cm}^2$, und Magnetfeldstärke zur Durch-
führung des Hochgeschwindigkeitsätzens von SiO_2 an der
Oberfläche der Probe bzw. des Werkstücks = mehr als
200 Gauss, 600 Gauss bzw. 1000 Gauss.

Fig. 13 veranschaulicht die Beziehung zwischen der Hoch-
frequenz-Stromdichte und der Magnetfeldstärke an der
Oberfläche der Probe bzw. des Werkstücks. Die gestrichel-
te Linie wurde durch Verbindung der Koordinatenpunkte
entsprechend den Versuchsergebnissen erzielt. Eine höhere
Dichte des Plasmas wurde beim Ätzen unter den für den
schraffierten Teil der Kurve gemäß Fig. 13 angegebenen
Bedingungen erreicht, wobei mit hoher Geschwindigkeit
geätzt werden konnte. Wenn der Ätzvorgang unter den
durch den schraffierten Teil der Kurve bestimmten Bedin-
gungen durchgeführt wird, können eine Beschädigung des
Si-Substrats durch Ionen auf ein Mindestmaß verringert
und ein selektives Ätzen wirksam durchgeführt werden.

Während vorstehend hauptsächlich das Ätzen von SiO_2 und
Si beschrieben ist, ist das erfindungsgemäße Verfahren
gleichermaßen auf polykristallines Silizium, Aluminium
oder eine Aluminiumlegierung oder ein Silizid, wie Molyb-

1

dänsilizid, anwendbar.

5

10

15

20

25

30

35

In Verbindung mit der vorstehend beschriebenen Ausführungsform wurde als Ätzmittelgas für das erfindungsgemäße Verfahren ein fluorhaltiges Gas, wie CF_4 , genannt. Es können jedoch auch andere reaktionsfähige Gase, die Chlor oder Brom enthalten, verwendet werden. Beispielsweise lassen sich für Aluminium, eine Aluminiumlegierung o.dgl. gasförmiges CCl_4 und $\text{CCl}_4 + \text{Cl}_2$ verwenden, während für polykristallines Silizium, Molybdänsilizid o.dgl. gasförmiges CBrF_3 , $\text{CBrF}_3 + \text{Cl}_2$ und Cl_2 eingesetzt werden kann. Auf diese Weise läßt sich mit verschiedenen anderen Werkstoffen der Ätztvorgang ebenso wie im Fall von SiO_2 mit hoher Ätzgeschwindigkeit und guter Selektivität durchführen. Bei der beschriebenen Ausführungsform der Erfindung wird die Probe bzw. das Werkstück zusammen mit der Kathode und dem Dauermagneten gekühlt. Neben einer Kühlung mit Wasser oder Alkohol kann jedoch weiterhin mit verflüssigtem Gas, wie Freon gekühlt werden, um ein Erweichen bzw. Verdampfen der Photolackschicht beim Hochgeschwindigkeitsätzen zu verhindern.

Anstelle des Dauermagneten kann auch ein Elektromagnet verwendet werden.

Zusammenfassend läßt sich also sagen, daß beim Verfahren und bei der Vorrichtung gemäß der Erfindung ein Magnet mit einer Entladungsstrecke bzw. einem Luftspalt in Form einer geschlossenen Schleife an oder unter einer Kathode angeordnet ist, wobei Elektronen unter dem Einfluß von Magnetfeldern und elektrischen Feldern, die senkrecht zueinander stehen und durch den Magneten bzw. die Kathode induziert werden, eine Magnetron-Bewegung ausführen. Auf diese Weise wird die Entladungsleistung bzw. -wirksamkeit erhöht, so daß ein auf der Kathode oder dem

1

Magneten angeordnetes Material (Werkstück) unter beträchtlicher Erhöhung der Produktionsleistung mit hoher Geschwindigkeit geätzt werden kann. Das erfindungsgemäße Trockenätzverfahren wird für die Ausbildung von Kontaktlöchern sowie Mustern für Elektroden und Verdrahtungen bzw. Leiterzüge bei Halbleitervorrichtungen, wie MOS-Vorrichtungen und bipolaren Vorrichtungen, eingesetzt.

10

15

20

25

30

35

1

Erfindungsanspruch

- 5 1. Trockenätzverfahren, bei dem Strom bzw. Leistung zwischen eine Kathode und eine Anode angelegt, in einer Reaktionskammer ein Plasma aus einem Ätzmittelgas erzeugt und eine auf der Kathode angeordnete Probe bzw. ein Werkstück durch aus dem Plasma an die Kathode angezogene Ionen geätzt wird,
- 10 d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , daß ein Magnetfeld induziert wird, dessen Feldlinien senkrecht zu einem elektrischen Feld an der Oberfläche einer zu ätzenden Probe bzw. eines zu ätzenden Werkstücks verlaufen, und daß die Stärke des Magnetfelds an der Oberfläche der Probe bzw. des Werkstücks auf
- 15 mindestens 350 Gauss gehalten wird.
2. Verfahren nach Punkt 1, dadurch gekennzeichnet, daß durch die senkrecht zueinander angeordneten magnetischen und elektrischen Felder eine Magnetron-Betriebsart bzw. -Wirkung erzeugt wird.
- 20 3. Verfahren nach Punkt 1, dadurch gekennzeichnet, daß das Magnetfeld durch einen Dauermagneten oder einen Elektromagneten induziert wird und daß das zu ätzende Werkstück während des Ätzvorgangs relativ zum Magneten bewegt wird.
- 25 4. Verfahren nach Punkt 1, dadurch gekennzeichnet, daß an der Oberfläche der Kathode mehrere einander überlappende Bereiche hoher Plasmadichte erzeugt werden.
- 30 5. Trockenätzverfahren, bei dem Strom bzw. Leistung zwischen eine Kathode und eine Anode angelegt, in einer
- 35

1

Reaktionskammer ein Plasma aus einem Ätzmittelgas erzeugt und eine auf der Kathode angeordnete Probe bzw. ein Werkstück durch aus dem Plasma an die Kathode angezogene Ionen geätzt wird, dadurch gekennzeichnet, daß ein Magnetfeld induziert wird, dessen Feldlinien senkrecht zu einem elektrischen Feld an der Oberfläche einer zu ätzenden Probe bzw. eines zu ätzenden Werkstücks verlaufen, und daß das Ätzen unter Bedingungen durchgeführt wird, die durch eine Fläche innerhalb einer Kurve bestimmt werden, die ihrerseits durch Verbindung von Koordinatenpunkten $X = 50$ Gauss und $Y = 1,6 \text{ W/cm}^2$, $X = 200$ Gauss und $Y = 0,4 \text{ W/cm}^2$, $X = 600$ Gauss und $Y = 0,2 \text{ W/cm}^2$ sowie $X = 1000$ Gauss und $Y = 0,1 \text{ W/cm}^2$, mit $X =$ Magnetfeldstärke an der Oberfläche der Probe bzw. des Werkstücks und $Y =$ Hochfrequenz(strom)leistung, erhalten wird.

5

10

15

20

25

30

35

6. Verfahren nach Punkt 5, dadurch gekennzeichnet, daß durch die senkrecht zueinander angeordneten magnetischen und elektrischen Felder eine Magnetron-Betriebsart bzw. -Wirkung erzeugt wird.
7. Verfahren nach Punkt 5, dadurch gekennzeichnet, daß das Magnetfeld durch einen Dauermagneten oder einen Elektromagneten induziert wird und daß das zu ätzende Werkstück während des Ätzvorgangs relativ zum Magneten bewegt wird.
8. Verfahren nach Punkt 5, dadurch gekennzeichnet, daß an der Oberfläche der Kathode mehrere einander überlappende Bereiche hoher Plasmadichte erzeugt werden.
9. Trockenätzvorrichtung mit einer Anode und eine Kathode enthaltenden Reaktionskammer, einer Einrich-

- 1
5
10
15
20
25
30
35
- tung zur Einführung eines Ätzmittelgases in die Reaktionskammer und einer Einrichtung zur Zufuhr (Anleitung) von Strom bzw. Leistung zwischen Anode und Kathode in der Weise, daß eine auf der Kathode angeordnete Probe bzw. ein Werkstück ätzbar ist, gekennzeichnet durch eine Einrichtung (z.B. 28) zur Erzeugung eines Magnetfelds mit senkrecht zu einem elektrischen Feld liegenden Feldlinien und durch eine Einrichtung (z.B. 40) zur Änderung der Relativstellungen zwischen der Probe bzw. dem Werkstück (z.B. 30) und der Einrichtung (z.B. 28) zum Induzieren des Magnetfelds.
10. Vorrichtung nach Punkt 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Einrichtung (z.B. 28) zum Induzieren des Magnetfelds eine Entladungsstrecke (Luftspalt) (z.B. 27) in Form einer geschlossenen Schleife aufweist, daß ein Innenteil und ein Außenteil der Entladungsstrecke entgegengesetzte Magnetpole sind, und daß zwischen Innen- und Außenteil ein Magnetfeld induzierbar ist.
11. Vorrichtung nach Punkt 10, dadurch gekennzeichnet, daß ein Magnet (z.B. 28) in einem Polstück (z.B. 26) aus magnetischem Material angeordnet ist und daß die Entladungsstrecke (Luftspalt) (z.B. 27) in der (Ober-) Fläche des Polstücks gebildet ist.
12. Vorrichtung nach Punkt 10, dadurch gekennzeichnet, daß zwei Magnete (z.B. 63, 64) an Innen- und Außenseite relativ zueinander so angeordnet sind, daß sie zwischen sich die Entladungsstrecke (Luftspalt) (z.B. 65) festlegen.

1

13. Vorrichtung nach Punkt 10, dadurch gekennzeichnet,
daß die gesamte Probe bzw. das gesamte Werkstück (z.B.
67) mittels der Einrichtung (z.B. 62) zur Änderung der
5 Relativstellungen zwischen dem Werkstück und der Ein-
richtung (63, 64) zum Induzieren des Magnetfelds über
die Entladungsstrecke (Luftspalt) (z.B. 65) bewegbar
ist.

10

Hierzu 7 Seiten Zeichnungen

15

20

25

30

35

FIG. 1

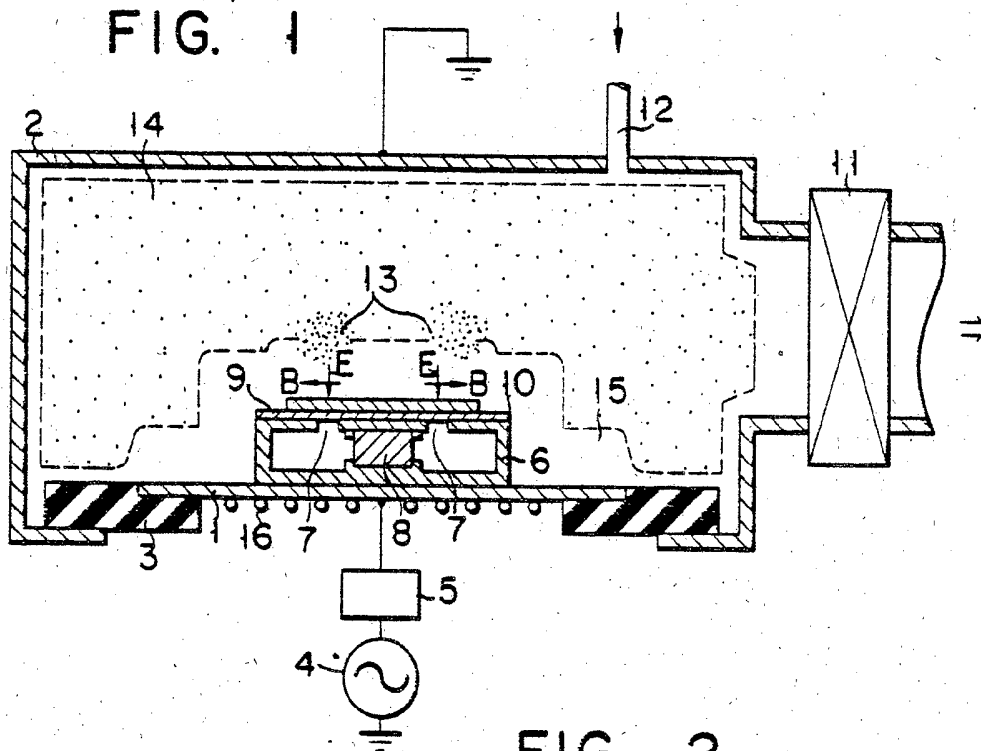


FIG. 2

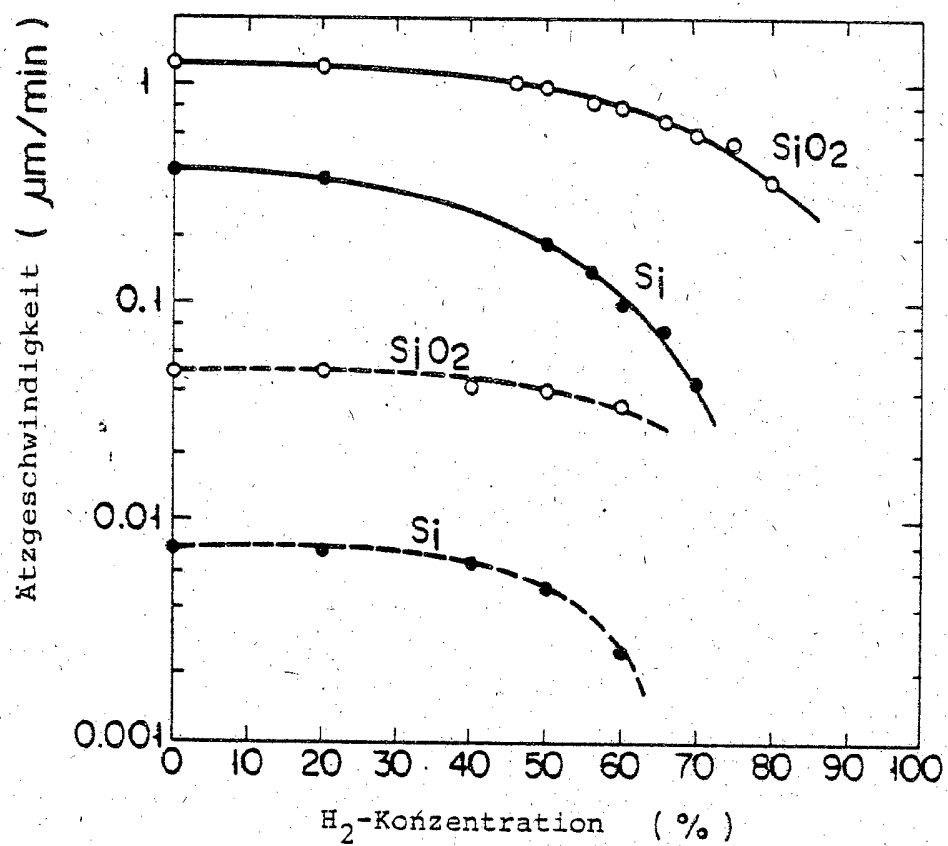


FIG. 3

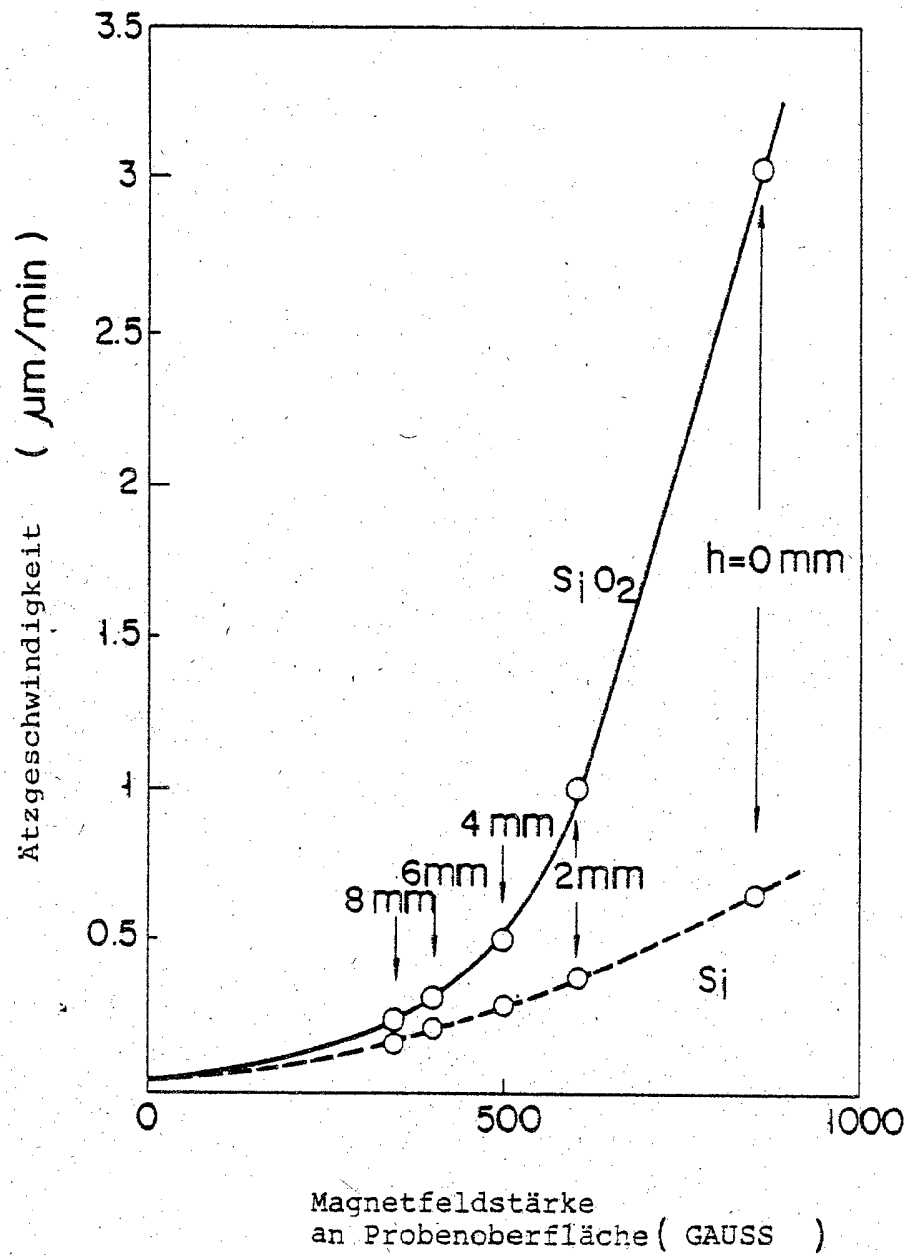
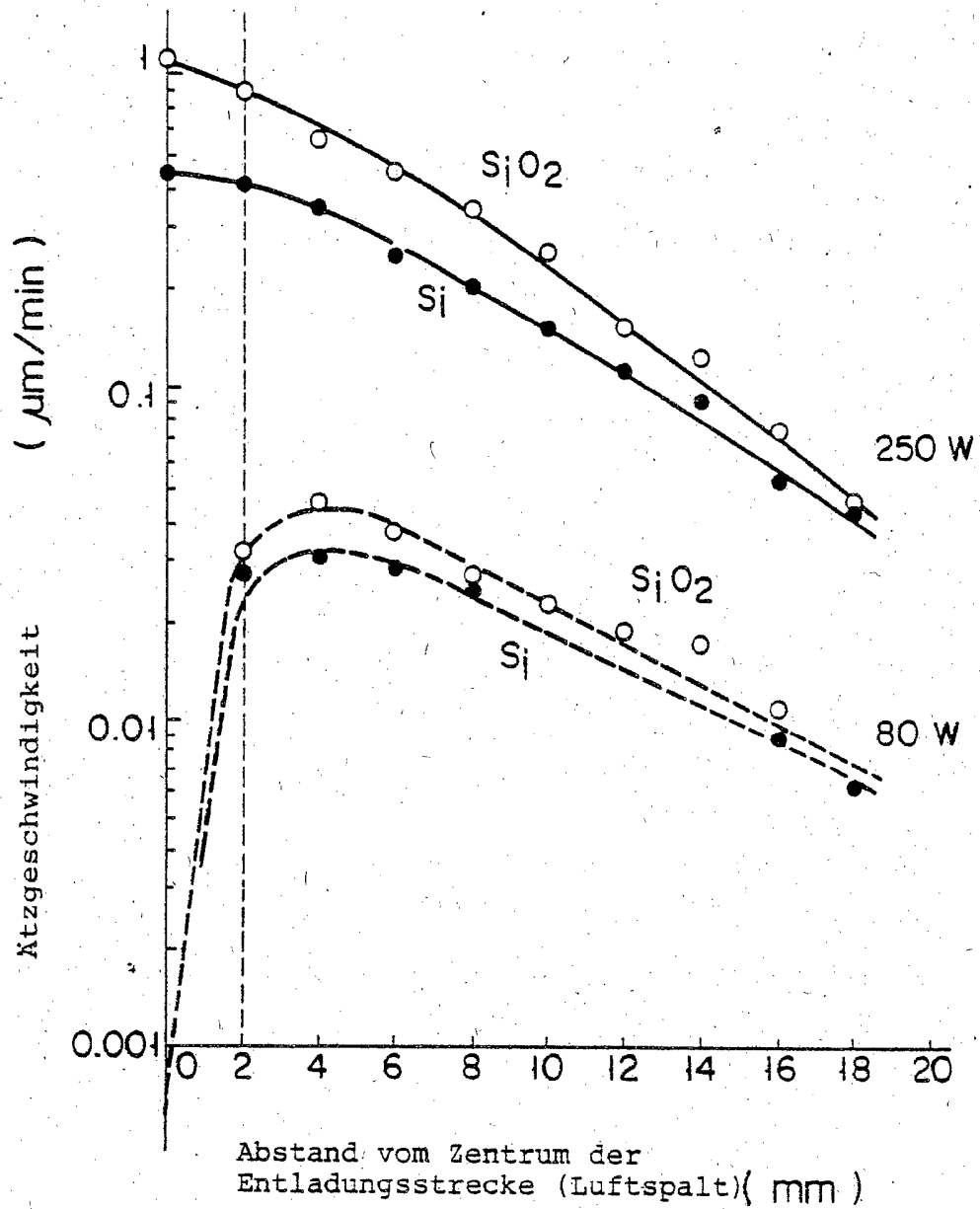


FIG. 4



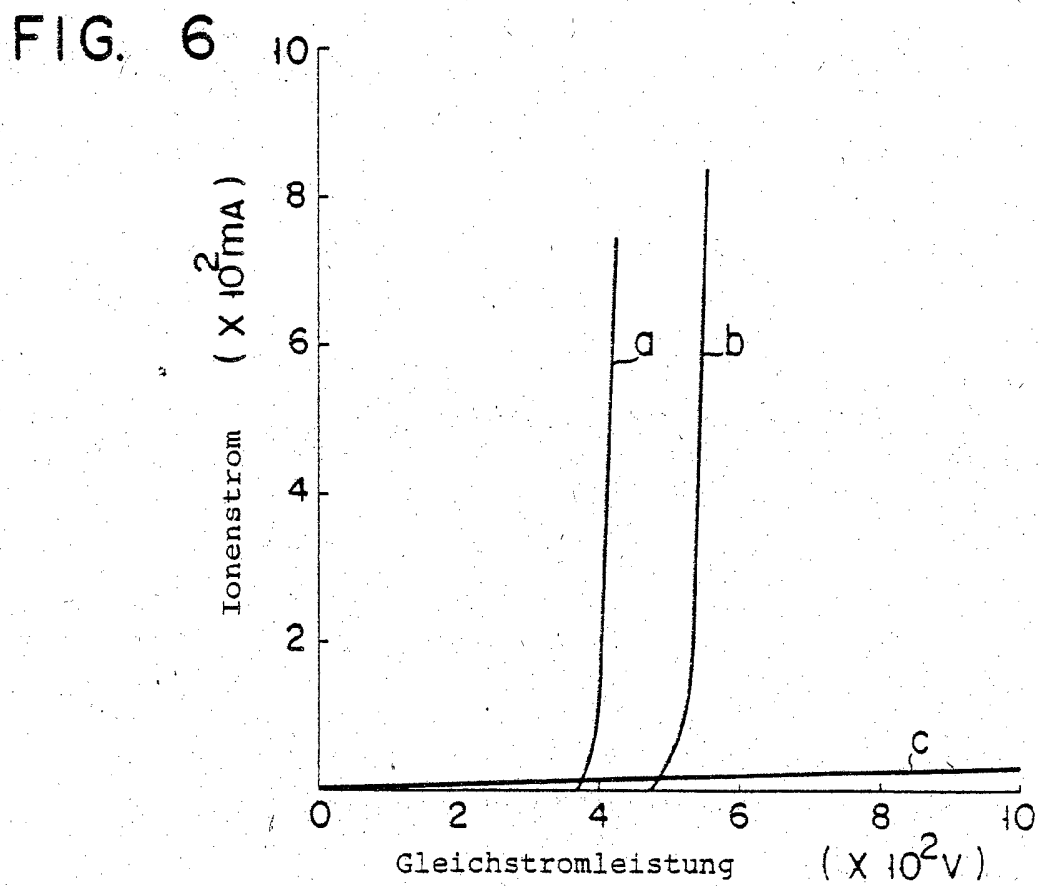
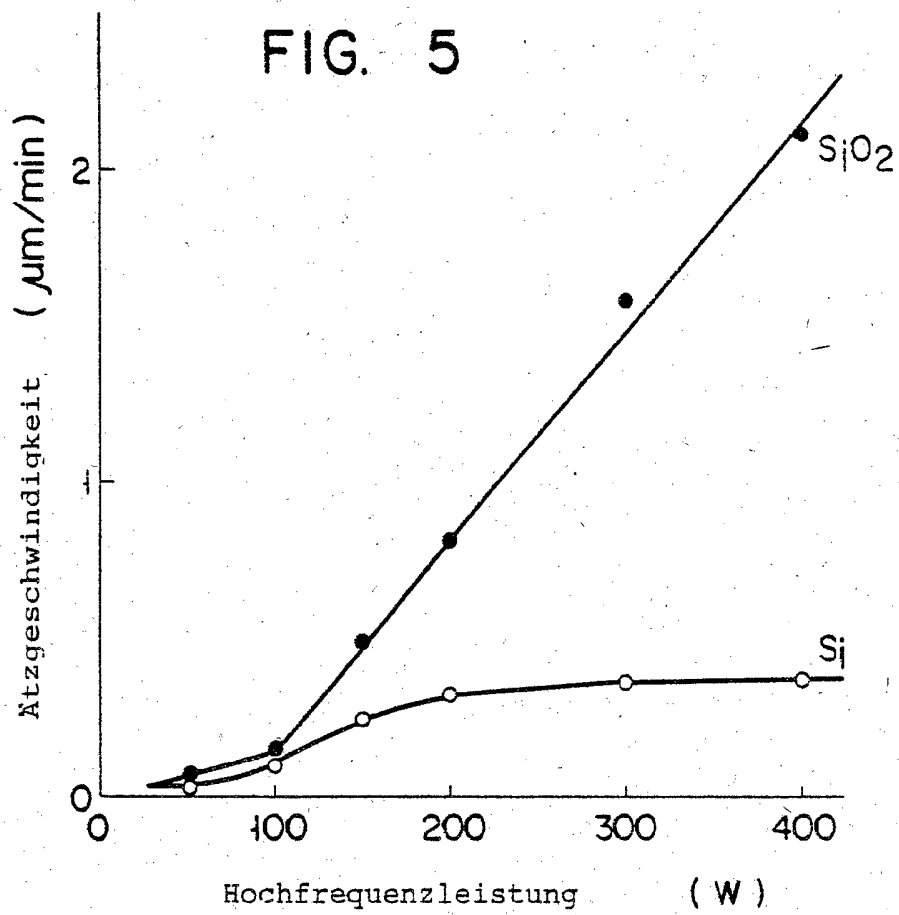


FIG. 7

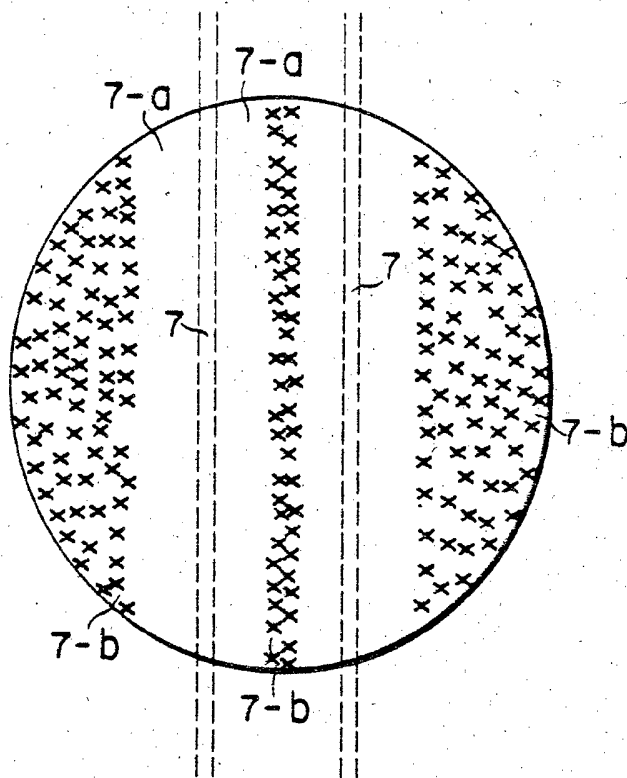


FIG. 8

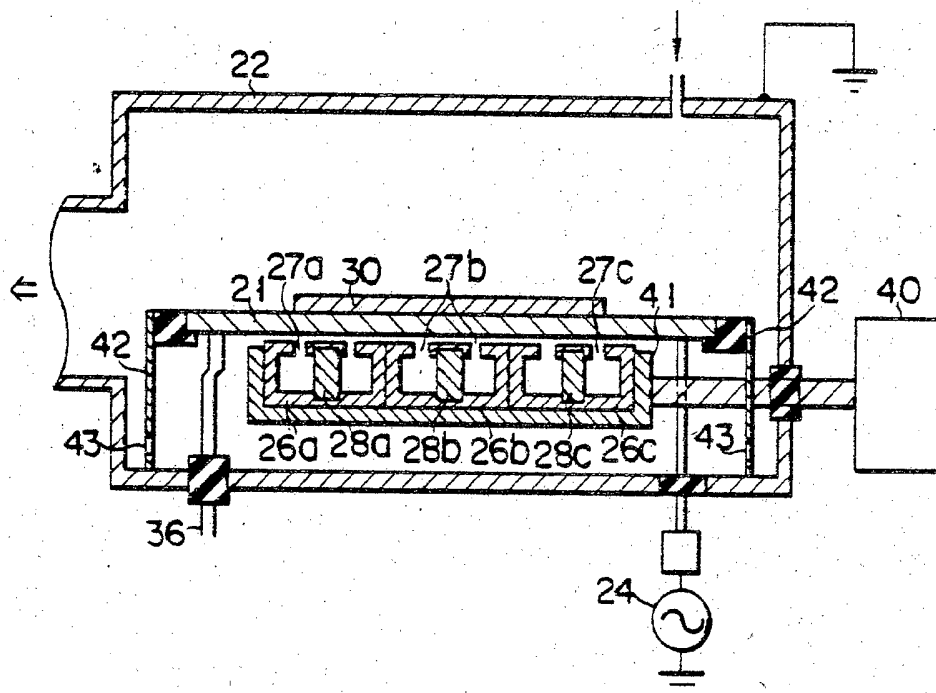


FIG. 9

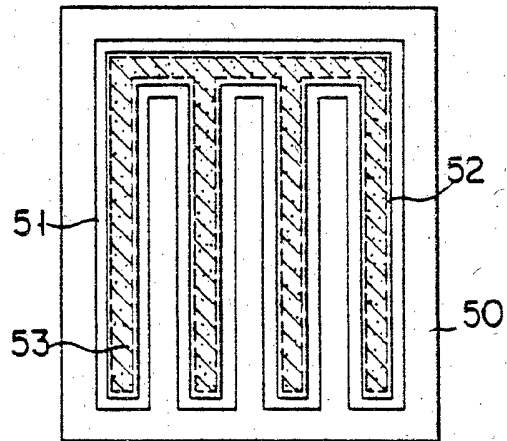


FIG. 10

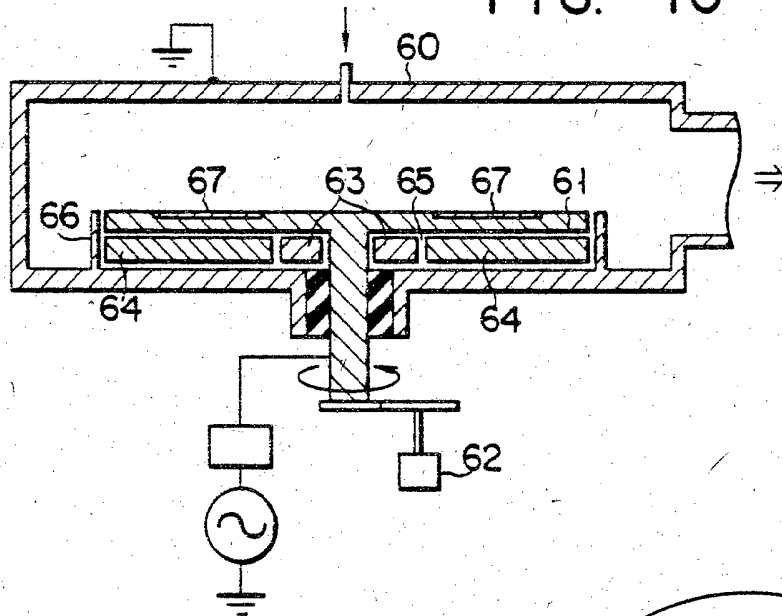


FIG. 11

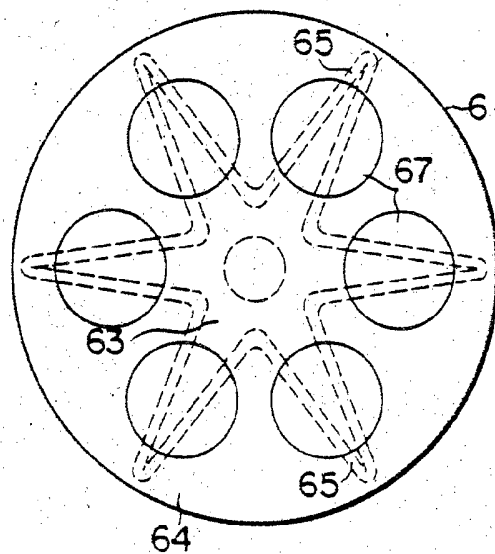


FIG. 12

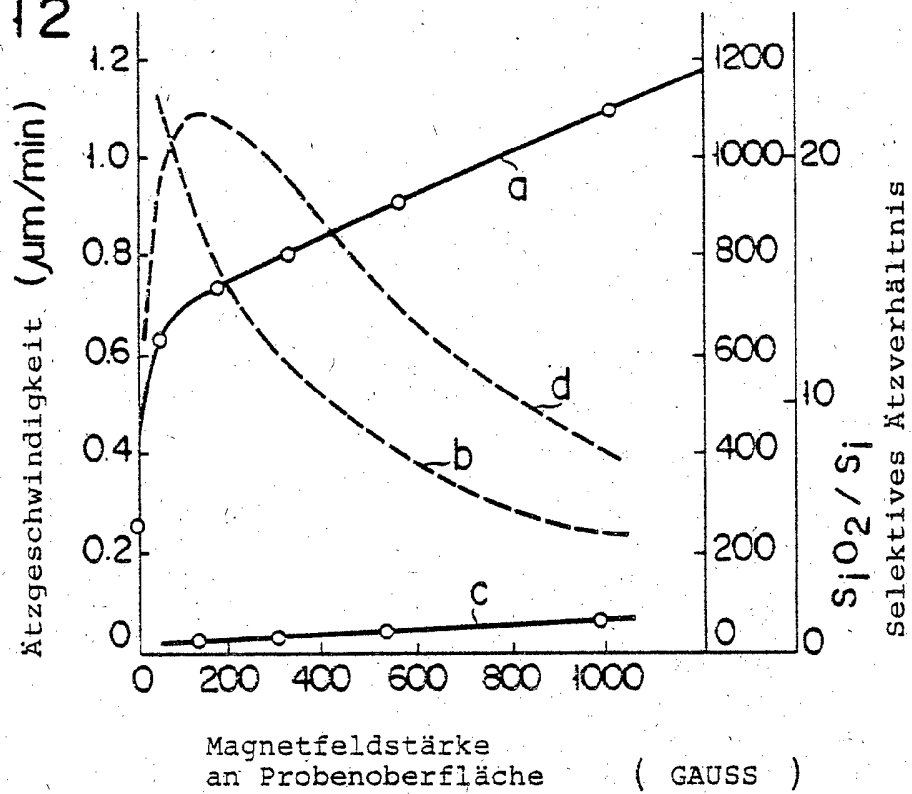


FIG. 13

