



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 697 25 245 T2 2004.08.12**

(12)

Übersetzung der europäischen Patentschrift

(97) **EP 0 822 582 B1**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **697 25 245.0**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **97 305 642.7**

(96) Europäischer Anmeldetag: **28.07.1997**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **04.02.1998**

(97) Veröffentlichungstag

der Patenterteilung beim EPA: **01.10.2003**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **12.08.2004**

(51) Int Cl.7: **H01L 21/306**

H01L 21/3065

(30) Unionspriorität:

9616224 01.08.1996 GB

9616223 01.08.1996 GB

(73) Patentinhaber:

**SURFACE TECHNOLOGY SYSTEMS PLC, Newport,
GB**

(74) Vertreter:

Zeitler und Kollegen, 80539 München

(84) Benannte Vertragsstaaten:

AT, BE, CH, DE, DK, ES, FI, FR, GB, IE, IT, LI, NL, SE

(72) Erfinder:

**Bhardwaj, Jyoti Kiron, Bristol, GB; Ashraf, Huma,
Newport, GB; Khamsehpour, Babak, Coventry,
GB; Hopkins, Janet, Crickhowell, GB; Hynes, Alan
Michael, Cardiff, GB; Ryan, Martin Edward,
Crickhowell, GB; Haynes, David Mark, Risca, GB**

(54) Bezeichnung: **Verfahren zur Ätzung von Substraten**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99 (1) Europäisches Patentübereinkommen).

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patent- und Markenamt inhaltlich nicht geprüft.

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft Verfahren zum Behandeln von Halbleitersubstraten und insbesondere, aber nicht ausschließlich, ein Verfahren zum Ablagern einer Seitenwand-Passivierungsschicht auf geätzten Strukturmerkmalen und ein Verfahren zum Ätzen derartiger Strukturmerkmale einschließlich des Passivierungsverfahrens.

[0002] Es ist bekannt, Gräben oder Ausnehmungen in Silizium anisotrop unter Verwendung von Verfahren zu ätzen, die Ätzen und Ablagern kombinieren. Das Ziel liegt darin, eine anisotrope Ätzung zu erzeugen, während die ausgebildeten Seitenwände des Grabens oder der Ausnehmung durch Ablagern einer Passivierungsschicht geschützt sind.

[0003] Derartige Verfahren sind beispielsweise in US-A-4579623, EP-A-0497023, EP-A-0200951, WO-A-94014187 und US-A-4985114 gezeigt. Diese beschreiben alle entweder eine Mischung aus Ablagerungs- und Ätzgasen oder abwechselnde Ätz- und Ablagerungsschritte. Nach allgemeiner Ansicht ist das Mischen der Gase weniger effektiv, da die beiden Prozesse dazu neigen, sich gegenseitig aufzuheben und tatsächlich tendiert man zu vollständig abwechselnden Schritten.

[0004] Andere Ansätze sind in EP-A-0383570, US-A-4943344 und US-A-4992136 beschrieben. Alle diese versuchen das Substrat auf einer niedrigen Temperatur zu halten und verwenden als erstes, was in gewisser Weise ungewöhnlich ist, Schauer von hochenergetischen Ionen während des Ätzens, um unerwünschte Ablagerungen von den Seitenwänden zu entfernen.

[0005] Der kontinuierliche Trend in der Halbleiterherstellung geht zu Strukturmerkmalen mit zunehmendem Geometrieverhältnis, wobei mit kleiner werdender Breite des Strukturmerkmals das Seitenwandprofil und die Oberflächenrauigkeit immer mehr Bedeutung bekommen. Gegenwärtige Vorschläge tendieren vielmehr zum Erzeugen von bogenförmigen oder hinterschnittenen Seitenwandprofilen sowie rauen Seitenwänden und/oder Böden der Strukturformationen abhängig von dem zu laufenden Prozess.

[0006] Das Auftreten verschiedener Probleme ist von der Anwendung und den jeweiligen Prozesserfordernissen, freiliegendem Siliziumbereich (unmaskierte Bereiche des Substrates), Ätztiefe, Geometrieverhältnis, Seitenwandprofil und Substratographie abhängig.

[0007] Das Verfahren der vorliegenden Erfindung betrifft und reduziert diese verschiedenen Probleme.

[0008] Gemäß einem Aspekt betrifft die Erfindung ein Verfahren gemäß Anspruch 1.

[0009] Die Ätz- und Ablagerungsschritte können sich zusätzlich überlagern.

[0010] Zusätzlich wird zwischen dem Ätzen und dem Ablagern und/oder zwischen dem Ablagern und dem Ätzen die Kammer ausgepumpt, wobei das Auspumpen ausgeführt wird bis

$$\frac{P_{pa}}{(P_{pa} + P_{pb})} < x$$

gilt, wobei P_{pa} der Partialdruck des in dem vorangegangenen Schritt verwendeten Gases (A), P_{pb} der Partialdruck des in dem nachfolgenden Schritt verwendeten Gases (B) und x der Prozentsatz ist, bei dem die Prozessrate des mit dem Gas (A) ausgeführten Prozesses auf einen stationären Zustand abfällt.

[0011] Vorzugsweise wird die Ätzrate während des ersten Zyklus oder für wenigstens einige der ersten Zyklen durch eine oder mehrere der folgenden Maßnahmen reduziert:

- (a) Einleiten eines Spülgases
- (b) Reduktion der Plasmaleistung
- (c) Reduktion der Zykluszeit
- (d) Reduktion der Gasströmung
- (e) Variieren des durchschnittlichen Kammerdruckes über einen Zyklus.

[0012] Vorzugsweise wird die Ätzrate während des ersten Zyklus oder für wenigstens einige der ersten Zyklen durch eine oder mehrere der folgenden Maßnahmen erhöht:

- (a) Erhöhung der Plasmaleistung
- (b) Erhöhung der Zykluszeit
- (c) Erhöhung der Gasströmungsrate
- (d) Erhöhung der Dichte der Ablagerungsart
- (e) Variieren des durchschnittlichen Kammerdruckes über einen Zyklus.

[0013] Andere vorteilhafte Merkmale des Verfahrens sind, dass das Ätzgas CF_x oder XeF_2 ist; und dass der durchschnittliche Kammerdruck über einen Zyklus reduziert und/oder die Strömungsrate während der Ablagerung erhöht wird, insbesondere für flaches Ätzen mit hohem Geometrieverhältnis, wobei dies von erhöhter Selbstvorspannung (beispielsweise Spannung > 20 eV oder tatsächlich > 100 eV) begleitet sein kann.

[0014] Der Ablagerungsschritt kann ein Kohlenwasserstoff-Ablagerungsgas verwenden, um eine Kohlenstoff-

oder Kohlenwasserstoffschicht abzulagern. Das Gas kann O-, N- oder F-Elemente enthalten, und die abgelagerte Schicht kann stickstoff- oder fluordotiert sein.

[0015] Das Substrat kann frei auf einem Träger in der Kammer liegen, wenn rückwärtige Kühlung ein Thema ist. Alternativ ist das Substrat festgeklammert und dessen Temperatur wird gesteuert, um beispielsweise im Bereich von -100°C bis 100°C zu liegen. In vorteilhafter Weise wird auch die Temperatur der Kammer auf den gleichen Temperaturbereich geregelt wie der Wafer, um Kondensation an der Kammer oder ihrer Einrichtung zu reduzieren, so dass eine Grundrauhigkeit reduziert ist.

[0016] Das Substrat ist beispielsweise GaAs, GaP, GaN, GaSb, SiGe, Mo, W oder Ta und in diesem Fall ist das Ätzgas insbesondere bevorzugt eines von oder eine Kombination von Cl_2 , BCl_3 , SiCl_4 , SiCl_2H_2 , CH_xCl_y , C_xCl_y oder CH_x mit oder ohne Wasserstoff oder einem Inertgas. Cl_2 ist besonders bevorzugt. Das Ablagerungsgas ist eines von oder eine Kombination von CH_x , CH_xCl_y oder C_xCl_y mit oder ohne Wasserstoff oder einem Inertgas; CH_4 , CH_2C_2 sind besonders bevorzugt.

[0017] Die Erfindung kann auf verschiedene Weise ausgeführt werden und es wird nun beispielhaft eine bestimmte Ausführungsform beschrieben unter Bezugnahme auf die beigefügten Zeichnungen. Diese zeigen in:

[0018] **Fig. 1** eine schematische Darstellung eines Reaktors zum Bearbeiten von Halbleitern;

[0019] **Fig. 2** eine schematische Darstellung eines Grabens, welcher gemäß einem Verfahren nach dem Stand der Technik ausgebildet ist;

[0020] **Fig. 3** eine vergrößerte Darstellung der Öffnung des Grabens von **Fig. 2**;

[0021] **Fig. 4** eine graphische Darstellung der Ätzrate von Silizium über den Prozentsatz von CH_4 in H_2 ;

[0022] **Fig. 5** eine graphische Darstellung der Stufenabdeckung über den Prozentsatz von CH_4 in N_2 für unterschiedliche mittlere Ionenenergien;

[0023] **Fig. 6** ein Diagramm, welches verschiedene mögliche Synchronisationen zwischen Gasen und Betriebsparametern der Vorrichtung gemäß **Fig. 1** illustriert (nicht Teil der Erfindung);

[0024] **Fig. 7** ein Diagramm entsprechend **Fig. 6**, welches jedoch ein alternatives Betriebsszenario illustriert (nicht Teil der Erfindung);

[0025] **Fig. 8** eine graphische Darstellung der Ätzrate von Silizium über einem Verhältnis des Partialdruckes;

[0026] **Fig. 9(i)** eine schematische Darstellung für den rampenartigen Verlauf von Parametern für tiefe anisotrope Profilsteuerung, während **Fig. 9(ii)** den rampenartigen Verlauf mehr allgemein darstellt;

[0027] **Fig. 10** und **11** REM-Aufnahmen bzw. -mikrobilder (REM – Rasterelektronenmikrobild für Oberflächen) eines Grabens, welcher gemäß dem Stand der Technik hergestellt ist, wobei **Fig. 11** eine Vergrößerung der Öffnung von **Fig. 10** ist;

[0028] **Fig. 12** und **13** entsprechende REM-Aufnahmen (REM – Rasterelektronenmikroskop für Oberflächen) eines Grabens, welcher gemäß dem Prozess der Anmelderin ausgebildet wurde, bei dem ein abrupter Übergang der Prozessparameter stattgefunden hat (nicht Teil der Erfindung);

[0029] **Fig. 14** eine Darstellung entsprechend **Fig. 12**, mit dem Unterschied, dass rampenartig verlaufende Parameter angewendet wurden;

[0030] **Fig. 15** eine graphische Darstellung einer Ablagerungsrate über der HF-Plattenleistung bei verschiedenen Kammerdrücken;

[0031] **Fig. 16** eine REM-Aufnahme eines Grabens mit hohem Geometrieverhältnis gemäß dem Stand der Technik;

[0032] **Fig. 17** eine entsprechende REM-Aufnahme, wobei der Prozess der Anmelderin mit abruptem Übergang angewendet wurde (nicht Teil der Erfindung);

[0033] **Fig. 18** eine REM-Aufnahme eines Grabens mit hohem Geometrieverhältnis, welcher mit dem Prozess der Anmelderin unter Anwendung von rampenartigen Übergängen ausgebildet wurde;

[0034] **Fig. 19(a)** und **19(b)** Tabellen, welche Prozessbedingungen enthalten, die für die Gräben gemäß **Fig. 14** und **18** verwendet wurden;

[0035] **Fig. 20** eine graphische Darstellung der Synchronisation von Ablagerungs- und Ätzgas während der initialen Zyklen des Verfahrens der Anmelderin; und

[0036] **Fig. 21** eine Darstellung eines bzgl. **Fig. 20** alternativen Ansatzes unter Verwendung eines Spülgases.

[0037] **Fig. 1** veranschaulicht schematisch eine im Stand der Technik bekannte Reaktorkammer **10**, welche zur Verwendung sowohl zum Ionenätzen (RIE) als auch Gasphasenabscheidung nach dem chemischen Verfahren (CVD) geeignet ist. Eine Vakuumkammer **11** enthält typischerweise eine Trägerelektrode **12** zur Aufnahme eines Halbleiterwafers **13** und ferner eine beabstandete Elektrode **14**. Der Wafer wird gegen den Träger **12** mittels Klammern **15** gedrückt und üblicherweise mittels Rückseitenkühlung (nicht dargestellt) gekühlt.

[0038] Die Kammer **11** ist von einer Spule **15a** umgeben, die von einer HF-Quelle **16** versorgt wird, um ein Plasma in der Kammer **11** zwischen den Elektroden **12** und **14** zu induzieren. Alternativ kann eine Mikrowellenquelle zum Erzeugen des Plasmas verwendet werden. In beiden Fällen gibt es die Notwendigkeit, eine Plasmavorspannung zu erzeugen, die sowohl HF als auch DC und an den Träger angeschlossen sein kann, um die Bewegung der Ionen von dem Plasma herunter auf den Wafer **13** zu beeinflussen. Ein Beispiel einer solchen einstellbaren Vorspannungsquelle ist mit **17** angedeutet. Die Kammer ist mit einem Gaseinlass **18**, durch

den Ablagerungs- oder Ätzgase eingeführt werden können, und einem Auslass zum Entfernen von gasförmigen Produkten und überschüssigem Gas ausgerüstet. Der Betrieb eines derartigen Reaktors im RIE- oder CVD-Betrieb ist im Stand der Technik wohl bekannt und verstanden.

[0039] Beim Ätzen von Gräben, Ätzgruben, Durchgängen oder anderen Formationen auf der Oberfläche des Halbleiterwafers ist es übliche Praxis, zuerst eine photoresistente Maske mit Öffnungen, welche Abschnitte des Substrates frei lassen, abzulagern. Es werden Ätzgase in die Kammer eingeführt, und es werden ein Anzahl von Schritten durchgeführt, um sicher zu stellen, dass der Ätzprozess in eine Abwärtsrichtung anisotrop ist, so dass so wenig wie möglich von den Seitenwänden der Formation geätzt wird. Aus verschiedenen Gründen ist es in der Praxis schwierig, ein echtes anisotropes Ätzen zu erzielen, und es wurden verschiedene Versuche unternommen, um passivierende Werkstoffe auf den Seitenwänden abzulagern, so dass dieser Werkstoff als Opferschicht geätzt wird. Das bis heute erfolgreichste System dieser Art ist in WO-A-94014187 beschrieben, und dieses System ist schematisch in **Fig. 2** illustriert. Der in diesem Dokument beschriebene Prozess verwendet aufeinander folgende und getrennte Ätz- und Ablagerungsschritte, so dass nach dem ersten Ätzschritt die Seitenwände hinterschnitten sind, wie mit 20 gezeigt, und dieser Hinterschnitt wird dann durch Ablagern einer Passivierungsschicht **21** geschützt. Wie aus **Fig. 2** ersichtlich, erzeugt diese Anordnung eine raue Seitenwand, und mit zunehmender Zahl von Ätzschritten oder mit zunehmendem Geometrieverhältnis kann es im Profil zu Bögen oder Hinterschneidungsspalten kommen. Die Dokumente im Stand der Technik beschreiben das Ablagern einer CF_x -Passivierungsschicht.

[0040] Die Anmelderin schlägt einen verbesserten Prozess vor, um eine Formation mit glatterer Wandstruktur und um insbesondere eine bessere Qualität bei tiefen Formationen und/oder Formationen mit hohem Geometrieverhältnis zu ermöglichen. Der Einfachheit halber wird die Beschreibung in zwei Teile unterteilt.

[0041] In der nachfolgenden Beschreibung ist vorausgesetzt, dass

- 1 eV entspricht $1,6 \cdot 10^{-19}$ Joule
- 1 mTorr entspricht 0,133 Pascal.

1. Passivierung

[0042] Wie zuvor bereits erwähnt, ist es in bekannten Verfahren vorgesehen, eine Passivierungsschicht in Form von CF_x abzulagern. Bei dem erfindungsgemäßen Prozess schlägt die Anmelderin vor, die Seitenwände mittels Kohlenstoff- oder Kohlenwasserstoffschichten zu passivieren, welche signifikant höhere Bindungsenergien zur Verfügung stellen, insbesondere wenn unter hoher Eigenvorspannung abgelagert, so dass die graphitische Phase zumindest teilweise entfernt ist.

[0043] Wenn es gewünscht ist, diese dünnen Schichten oder Lagen auch bei hohen Eigenvorspannungen von beispielsweise 20 eV oder höher, vorzugsweise über 100 eV, abzulagern, ergibt sich ein zusätzlicher signifikanter Vorteil, wenn es zu Formationen mit hohem Geometrieverhältnis kommt, da die hohe Eigenvorspannung sicher stellt, dass der Transport des Ablagerungswerkstoffes hinab zum zu ätzenden Boden der Formation derart verbessert ist, dass ein Ätzen von Hinterschneidungen in die Seitenwand verhindert ist. Dieser Transporteffekt kann noch durch progressives Reduzieren des Kammerdruckes und/oder Erhöhen der Gasflussrate verbessert werden, so dass die Verweilzeit reduziert ist. In einigen Anordnungen kann es wünschenswert sein, die Ablagerung so weit voran zu treiben, dass eine positiv abgeschrägte oder V-förmige Formation erzielt wird. In dem besonderen Fall von flachen ($< 20 \mu m$) Gräben mit hohem Geometrieverhältnis kann das Merkmal Öffnungsgröße (oder kritische Abmessung CD – critical dimension) im Bereich von $< 0,5 \mu m$ liegen.

[0044] Die dünnen Filme aus Kohlenwasserstoff (H-C), welche durch diese Passivierung ausgebildet werden, haben signifikante Vorteile gegenüber den dünnen Schichten aus Fluorkohlenstoff gemäß dem Stand der Technik.

[0045] Die dünnen H-C-Schichten beispielsweise können nach dem Abschluss des Ätzprozesses einfach durch eine Trockenaschungsbehandlung (dry ashing treatment) (Sauerstoffplasma) entfernt werden. Dies kann bei Formationen von MEMS (micro-electro-mechanical systems = mikroelektromechanische Systeme) besonders wichtig sein, bei denen Nassbehandlung zum Festhaften von resonanten Strukturen, die von Gräben mit hohem Geometrieverhältnis getrennt sind, führen. Bei anderen Anwendungen, wie beispielsweise optischen oder biomedizinischen Vorrichtungen, kann es von besonderer Bedeutung sein, die Seitenwandschicht vollständig zu entfernen.

[0046] Die dünnen H-C-Schichten können aus einem breiten Spektrum von H-C-Vorläufern (beispielsweise CH_4 , C_2H_4 , C_3H_6 , C_4H_8 , C_2H_2 usw. einschließlich aromatische H-C's mit hohem Molekulargewicht) abgelagert werden. Diese können mit Edelgasen und/oder H_2 gemischt sein. Ein Gas als Sauerstoffquelle kann ebenfalls hinzugefügt (beispielsweise CO , CO_2 , O_2 usw.) und zum Steuern der Phasenbalance der dünnen Schicht während der Ablagerung verwendet werden. Der Sauerstoff tendiert dazu, die graphitische Phase (sp^2) des Kohlenstoffes zu entfernen und die härtere Phase (sp^3) zurück zu lassen. Der proportionale Anteil von vorhandenem Sauerstoff beeinflusst daher die Charakteristik der dünnen Schicht oder Lage, die letztlich abgelagert wird.

[0047] Wie oben bereits erwähnt wurde, kann dem H-C-Vorläufer H_2 zugemischt werden. H_2 ätzt bevorzugt Silizium, und bei korrekt gewählten proportionalen Anteilen ist es möglich, eine Passivierung der Seitenwand zu erreichen, während das Ätzen des Bodens der Ausnehmung während der Passivierungsphase fortschreitet.

[0048] Der bevorzugte Prozess dafür besteht darin, den gewählten H-C-Vorläufer (beispielsweise CH_4) mit H_2 zu mischen und eine mit einer Maske strukturierte bzw. maskierte Siliziumoberfläche mit dem Gemisch in der Vorrichtung zu behandeln, welche für das vorgeschlagene Ätzverfahren verwendet wird. Die Siliziumätzrate wird als eine Funktion der CH_4 -Konzentration in H_2 aufgetragen, und eine beispielhafte graphische Darstellung ist in **Fig. 4** gezeigt. Es ist zu bemerken, dass sich die Ätzrate von einem anfänglichen stationären Zustand mit zunehmendem prozentualen Anteil von CH_4 bis zu einem Spitzenwert erhöht, bevor diese auf Null abfällt.

[0049] Es wird angenommen, dass die graphische Darstellung den folgenden Mechanismus darstellt. In dem anfänglichen stationären Zustand wird das Ätzen im Wesentlichen durch die Bildung von SiH_x -Reaktionsprodukten durch das N_2 dominiert. Bei etwa 10% CH_4 in H_2 wird das CH_4 -Ätzen des Substrates signifikant (durch Ausbilden von $Si(CH_x)_y$ -Produkten), und die Ätzrate erhöht sich. Ablagern einer Kohlenwasserstoffschicht findet überall statt, obwohl aufgrund des Ätzens keine Netzablagerung auf diesem Teil des Graphen vorliegt. Eventuell beginnt die Ablagerung den Ätzprozess zu dominieren, bis bei etwa 38% CH_4 die Netzablagerung auftritt.

[0050] Es wurde herausgefunden, dass diese veränderlichen Charakteristiken auf zwei verschiedene Arten angewendet werden können. Bei hoher Eigenvorspannung oder hoher mittlerer Ionenenergie, beispielsweise > 100 eV, ist die abgelagerte Schicht oder Beschichtung aufgrund der reduzierten graphitischen Phase relativ hart, und der Prozess kann im ansteigenden Abschnitt des Ätzratengraphen ausgeführt werden, da die Beschichtung gegenüber Ätzen wesentlich widerstandsfähiger ist als das Siliziumsubstrat. Es ist deshalb möglich, das Silizium während der ganzen Ablagerungsphase zu ätzen. Selektivitäten bzgl. Maskierung oder Resistenz, die $100 : 1$ überschreiten, können leicht erreicht werden. Es ist besonders zu bemerken, dass dann, während eine signifikante Entfernung der graphitischen Phase aufgrund des Ionenbombardements der Maske **22** vorliegt, die hohe Ausrichtung der Ionen bedeutet, dass die Seitenwandbeschichtung relativ unberührt bleibt.

[0051] Der Prozess kann auch bei niedrigen durchschnittlichen Ionenenergien entweder mit einem H-C-Vorläufer alleine oder mit H_2 -Verdünnung betrieben werden. Im letzten Fall ist es bevorzugt, dass der Prozess im abfallenden Teil des Ätzgraphen betrieben wird, d. h. für CH_4 mit einem Prozentanteil $> 18\%$ aber $< 38\%$, wenn Netzablagerung auftritt. Der Bereich für CN_4 ist typischerweise 18% bis 30% .

[0052] Es wird angenommen, dass die niedrigen Werte von mittlerer Ionenenergie während der Polymerablagerung für eine hohe Maskierungsselektivität von Vorteil sind. Unter diesen Bedingungen mit niedriger HF-Vorspannung steigt die Selektivität über ein weites Fenster für die Passivierungsablagerung ins Unendliche. Wenn also eine hohe Selektivität erforderlich ist, bringt der Ansatz mit kleinen mittleren Ionenenergien Vorteile. **Fig. 5** veranschaulicht die Stufenabdeckung (Seitenwandablagerung gemessen bei 50% der Stufenhöhe gegen Oberflächenablagerung) für dünne H-C-Schichten unter Verwendung von CN_4 und H_2 in einem Bereich von Bedingungen einschließlich der beiden oben beschriebenen Ausführungsformen. **Fig. 5** zeigt, dass bei hohen Ionenenergien die Stufenabdeckung steigt, aber selbst bei Bedingungen mit niedriger Vorspannung eine ausreichende Passivierung zum Schutz gegen seitliches Ätzen vorliegt. In dem letzteren Fall dient die höhere Ablagerungsrate ferner zum Verbessern der Maskierungsselektivität. Die Ablagerungsrate bei niedrigen Ionenenergien ist um einen Faktor zwei größer als bei dem 100 eV-Fall.

[0053] Es ist daher bevorzugt, dass durch die Verwendung dieser Techniken der Anwender im Wesentlichen diejenige Kombination von Ätzrate und Selektivität wählen kann, die zu der von ihm gewünschten Struktur am besten passt. Des Weiteren kann die Verbesserung der Maskenselektivität dazu verwendet werden, entweder die Ätzrate zu erhöhen und/oder die Kerbenbildung zu verringern.

[0054] **Fig. 6**, welche nicht Teil der Erfindung ist, veranschaulicht, wie verschiedene Parameter des Prozesses synchronisiert werden können. **Fig. 6(d)** zeigt kontinuierliche und unveränderte Spulenleistung, während bei **Fig. 6(e)** die Spulenleistung umgeschaltet wird, um den Ätz- oder Ablagerungsschritt zu verbessern, und die Leistung während des Ätzens kann anders gewählt werden als beim Ablagern, abhängig von der erforderlichen Prozessleistung. **Fig. 6(e)** veranschaulicht beispielhaft eine höhere Spulenleistung während der Ablagerung.

[0055] **Fig. 6(f)** bis **6(i)** zeigen Variationen bei der Vorspannungsleistung. Gemäß **Fig. 6(f)** liegt während des Ätzens eine hohe Vorspannungsleistung vor, um das Entfernen der dünnen Passivierungsschicht zu erleichtern, während gemäß **Fig. 6(g)** ein anfänglicher Hochleistungspuls verwendet wird, um diesen Entfernungsprozess zu verbessern, während die mittlere Ionenenergie niedrig gehalten wird, woraus sich Selektivitätsvorteile ergeben. **Fig. 6(h)** ist eine Kombination von **Fig. 6(f)** und **6(g)**, wenn die höheren Ionenenergien während des Ätzens erforderlich sind (beispielsweise bei tiefen Gräben). **Fig. 6(i)** zeigt, dass die Vorspannung während der Ablagerung abgeschaltet sein kann.

[0056] Bei einigen Prozessen wird zumindest die Segregationsperiode des Gases durch den Partialrestdruck des Gases "A" (Ppa) bestimmt, der in dem Partialrestdruck des Gases "B" (Ppb) toleriert werden kann. Dieser

minimale Wert von Ppa in Ppb wird aus der charakteristischen Prozessrate (Ätzen oder Ablagern) als eine Funktion von $Ppa/(Ppa + Ppb)$ bestimmt.

[0057] In **Fig. 8** ist Gas "A" 20% $CH_4 + H_2$, während Gas "B" SF_6 ist. Es zeigt sich, dass bei $Ppa/(Ppa + Ppb) < 5\%$ die Prozessrate im wesentlichen stationär ist. Bei typischen praktischen Bedingungen reicht eine Auspumpzeit von weniger als 1,5 s aus, und ein Plasma kann für über 65% der gesamten Zykluszeit aufrecht erhalten werden, wenn die Prozessschritte in der Größenordnung 2 bis 3 Sekunden dauern, und für über 80%, wenn die Schritte über 5 Sekunden lang sind. Eine geeignete Synchronisationsanordnung ist in **Fig. 7** gezeigt (nicht Teil der Erfindung). Es ist zu bemerken, dass das Ätzen dem Auspumpen vorangeht, da es wünschenswert ist, ein Vermischen von Ablagerungs- und Ätzgasen zu vermeiden. Im Stand der Technik bekannte Vorschläge (beispielsweise US-A-4985114) schlagen ein Abschalten oder Reduzieren des Flusses des Ablagerungsgases für eine lange Zeitperiode vor, bevor das Plasma eingeschaltet wird. Das kann bedeuten, dass die Plasmaleistung nur für einen kleinen Abschnitt der gesamten Zykluszeiten vorhanden ist, was zu einer signifikanten Reduktion der Ätzrate führt. Die Anmelderin schlägt vor, dass die Kammer zwischen zumindest einigen Gaswechseln ausgepumpt wird, jedoch muss darauf geachtet werden, dass der Druck und die Stabilisation des Gasflusses aufrechterhalten wird. Vorzugsweise werden Hochgeschwindigkeits-Massenflusssteuerungen (Anstiegszeiten 100 ms) und automatische Drucksteuerungen (Winkeländerung und Stabilisierung in 300 ms) verwendet.

[0058] Die Anmelderin hat herausgefunden (vgl. **Fig. 8**), dass die Zeitspanne für das Auspumpen, die zum Verhindern des Ätzens notwendig ist, von dem Ablagerungsgas kompromittiert wird. Das Auspumpen kann dem Ätzschritt oder sowohl dem Ätz- als auch dem Ablagerungsschritt vorangehen, abhängig von dem genauen auszuführenden Prozess. Auspumpen reduziert ebenfalls Mikro-Ladung (micro-loading) (was in US-A-4985114 beschrieben ist) und ist bei Ätzen mit hohem Geometrieverhältnis vorteilhaft, wie nachfolgend näher beschrieben wird.

[0059] Bei der Erfindung können viele der variierten Parameter "rampenartig" ("ramped") verlaufen, wie in **Fig. 9(ii)** veranschaulicht. Das bedeutet, dass diese Parameter Zyklus für Zyklus in ihrer Amplitude oder Periode progressiv ansteigen oder abfallen, anstatt sich zwischen den Zyklen abrupt zu ändern. Im Falle des Auspumpens kann der rampenartige Verlauf dazu verwendet werden, am Anfang des Prozesses ein Vermischen zu erlauben, was eine Reduzierung oder Eliminierung der Kerbenausbildung an der Seitenwand ermöglicht, was nachfolgend näher erläutert wird.

[0060] Typische Prozessparameter sind wie folgt:

1. Ablagerungsschritt

CH_4 Schrittzeit:	2 bis 15 Sekunden; vorzugsweise 4 bis 6 Sekunden
H_2 Schrittzeit:	2 bis 15 Sekunden; vorzugsweise 4 bis 6 Sekunden
HF-Spulenleistung:	600 W bis 1 kW; vorzugsweise 800 W
HF Vorspannungsleistung:	hoher Mittelwert der Energie im Falle: 50 W bis 300 W; vorzugsweise 100 W niedriger Mittelwert der Energie im Falle: 0 W bis 30 W; vorzugsweise 10 W
Druck:	2 mTorr bis 50 mTorr; vorzugsweise 20 mTorr

2. Ätzschritt

SF_6 Schrittzeit:	2 bis 15 Sekunden; vorzugsweise 4 bis 6 Sekunden
HF-Spulenleistung:	600 W bis 1 kW; vorzugsweise 800 W
HF-Vorspannungsleistung:	hoher Mittelwert der Ionenenergie im Falle: 50 W bis 300 W; vorzugsweise 150 W niedriger Mittelwert der Ionenenergie im Falle: 0 W bis 30 W; vorzugsweise 15 W
Druck:	2 mTorr bis 50 mTorr; vorzugsweise 30 mTorr

2. Ätz/Ablagerungsverhältnis

[0061] Die Anmelderin hat herausgefunden, dass die Ansätze im Stand der Technik zu vereinfacht sind, da diese weder eine Änderung von Bedingungen während eines bestimmten Prozesses noch unterschiedliche Anforderungen oder unterschiedliche Arten von Formationen erlauben. Des Weiteren befasst sich der Stand der Technik nicht mit Schwierigkeiten bei tiefem Ätzen.

[0062] Daher ist die Anmelderin im Gegensatz zu WO-A-94014187 der Auffassung, dass es häufig vorteilhaft ist, die Ätz- und Passivierungs- oder Ablagerungsschritte zu überlagern, so dass die Rauigkeit der Oberflächenwand, wie in **Fig. 2** dargestellt, signifikant reduziert werden kann. Die Anmelderin hat ebenfalls ermittelt,

dass in überraschender Weise die bisher verwendete starre sequentielle stufenwellenartige Abstufung weit vom Idealzustand entfernt ist. In vielen Fällen ist es wünschenswert, glatte Übergänge zwischen den Stufen zu verwenden, insbesondere wenn Überlappung auftritt, wenn eine Reduktion der Ätzrate akzeptabel ist. Da die Seitenwandrauigkeit im Wesentlichen eine Manifestation der verbesserten Seitenätzkomponente ist, kann diese durch Begrenzen dieser Komponente des Ätzens reduziert werden. Der gewünschte Effekt kann durch eine oder verschiedene Weisen erreicht werden: teilweises Vermischen der Passivierungs- und Ätzschritte (Überlappen); Minimieren der Ätzdauer (und Verbessern der entsprechenden Passivierungsdauer); Reduzieren der Ätzproduktvolatilität durch Reduzieren der Temperatur des Wafers; Hinzufügen von Passivierungskomponenten zu dem Ätzgas, beispielsweise SF_6 mit hinzugefügtem O, N, C, CF_x , CH_x oder Ersetzen des Ätzgases mit einer niedriger reaktiven Art eines Freisetzungsgases, wie beispielsweise Ersetzen von SF_6 durch CF_x usw..

[0063] Die Anmelderin hat ebenfalls herausgefunden, dass Änderungen im Grad des Ätzens und Ablagerens bei verschiedenen Stufen innerhalb des Prozesses wünschenswert sind.

[0064] Wie zuvor kurz angedeutet, kann es mit zunehmender Tiefe und/oder zunehmendem Geometrieverhältnis der Formation oder des Grabens progressiv schwieriger werden, Material abzulagern. Durch Steuern der Amplitude von Gasflussraten, durchschnittlicher Kammerdruck über einen Zyklus, Plasmaleistung, Vorspannungsleistung und/oder Zykluszeit kann das System in geeigneter Weise abgestimmt werden, um gutes anisotropes Ätzen mit guter Seitenwandpassivierung zu erzielen.

[0065] Dies und damit verbundene Techniken können zum Überwinden einiger Probleme im Ätzprofil verwendet werden:

a. Kerbenbildung an der Seitenwand

[0066] Das Problem der "Kerbenbildung an der Seitenwand" ("notching") ist vor allen Dingen hinsichtlich des freiliegenden Siliziumbereiches (schlecht bei kleinen freiliegenden Bereichen < 30%) sensitiv und ist entsprechend schlecht bei hohen durchschnittlichen Siliziumätzraten. Die Anmelderin ist der Auffassung, dass derartige Kerbenbildung durch eine relativ hohe Konzentration von Ätzmaterialien bedingt ist, die während der ersten Ätz-/Ablagerungszyklen vorhanden sind. Daher bestehen die von der Anmelderin vorgeschlagenen Lösungen darin, entweder die Passivierung zu verbessern oder die Ätzmaterialien während der ersten Zyklen zu löschen ("quenching"). Letzteres kann entweder durch Einstellung des Prozesses (rampenartiger Verlauf (ramping) eines von mehreren Parametern) oder durch Anordnen eines Werkstoffes innerhalb des Reaktors erfolgen, welcher (mittels chemischer Reaktion) Ätzmaterialien, wie beispielsweise Si, Ti, W usw., die mit dem F-Ätzmittel reagieren, bindet. Eine derartige chemische Beladung hat den Nachteil einer reduzierten mittleren Ätzrate, da das Löschen lediglich für die ersten wenigen Ätzschritte notwendig ist. Daher werden die Einstellungen des Prozesses als wichtig betrachtet.

[0067] Es ist wünschenswert, die "Kerbenbildung an der Seitenwand" ohne Beeinträchtigung oder Verschlechterung eines der anderen Aspekte des Ätzens, wie beispielsweise Ätzrate, Profilsteuerung, Selektivität usw., zu reduzieren/eliminieren. Untersuchungen durch die Anmelderin haben gezeigt, dass der Ansatz "Reduktion der Konzentration der Ätzmaterialien am Beginn des Ätzens" dadurch am besten gesteuert werden kann, indem man beginnt mit:

- a. Einführen eines Fluor-Spülgases oder
 - b. niedrige Spulenleistung oder
 - c. kurze Ätzzykluszeit (Schrittdauer) oder
 - d. niedriger Fluss des Ätzgases oder
 - e. Anstieg des entsprechenden obigen Parameters a bis d während des Passivierungszyklus
- d. eine Kombination des obigen.

gefolgt von einem Erhöhen der (des) jeweiligen Parameters) auf normale voroptimierte Ätzbedingungen.

[0068] Die Natur des Problems (welches sich aus der direkten Anwendung des Standes der Technik ergibt) während eines Ätzens eines Siliziumgrabens ist schematisch in **Fig. 3** und in den Rasterelektronenmikrobildern (SEM's – scanning electron micrographs) von **Fig. 10** und **11** dargestellt. Diese Figuren zeigen, dass für einen Graben mit 1,7 μm anfänglicher Grabenöffnung der CD-Verlust 1,2 μm (70%) beträgt, während die Kerbreite bis zu 0,37 μm beträgt. Derartige Werte des CD-Verlustes sind für die Mehrzahl der Anwendungen unakzeptabel.

[0069] Wenn abrupte Schritte (nicht Teil der Erfindung) zum Variieren der Prozessparameter verwendet werden, werden abrupte Übergänge in den Seitenwandprofilen erzeugt. Die SEMs in **Fig. 12** und **13** veranschaulichen dies für unterschiedliche Prozessparameter. In **Fig. 12** zeichnet sich der Übergang der Prozessparameter deutlich als abrupter Übergang im Seitenwandprofil am Punkt der Parameteränderung ab (nach 8,5 μm Ätztiefe). (Beachte, dass Kerbenbildungen an der Seitenwand eliminiert wurden.) **Fig. 13** veranschaulicht eine weitere abrupte/schrittartige Änderung eines anderen Prozessparameters. Hier ist die Seitenwandpassivie-

rung groß genug, um für die ersten 2 µm zu einem positiven Profil (und keiner Kerbenbildung an der Seitenwand) zu führen. Wenn die reduzierten Passivierungsbedingungen angewendet werden, ist dies gekennzeichnet durch den Übergang des Seitenwandwinkels und wieder Auftretens von Kerbenbildungen an der Seitenwand.

[0070] Durch Verwendung des Ansatzes mit "rampenartig verlaufendem" Parameter kann die Kerbenbildung an der Seitenwand eliminiert und das Erzeugen eines glatten Seitenwandprofils ohne abrupte Übergänge erzielt werden, wie sich aus dem SEM von **Fig. 14** ergibt. Diese zeigt eine Ätzung eines 22 µm tiefen Grabens mit einem glatten positiven Profil und ohne CD-Verlust, wobei gleichzeitig im Vergleich zu einem Prozess ohne rampenartigen Verlauf und hoher Unterwirksamkeit (underact) die Ätzrate aufrechterhalten wird. Die in diesem Fall verwendeten Prozessbedingungen sind in **Fig. 19(a)** angegeben.

b. Profilsteuerung während tiefem Ätzen mit hohem Geometrieverhältnis

[0071] Dort, wo ein Ätzen mit hohem Geometrieverhältnis ($> 10 : 1$) erforderlich ist, ist die dem Stand der Technik zu entnehmende Lehre begrenzt. Während hier die Grenzen und Lösungen für relativ tiefes Ätzen ($> 200 \mu\text{m}$) diskutiert werden, hat das flache Ätzen mit hohem Geometrieverhältnis eine ebenso große Relevanz selbst für niedrige Werte von CD, wie beispielsweise $< 0,5 \mu\text{m}$.

[0072] Ein grundlegender Mechanismus, welcher Ätzen mit hohem Geometrieverhältnis von anderem unterscheidet, ist die Diffusion des ätzenden (und auch passivierenden) reaktiven Vorläufers wie auch der Ätzprodukte. Diese Art von Transportphänomen wurde für den Passivierungsschritt untersucht. Die Ergebnisse zeigen eindeutig, dass der Transport von Passivierungsmaterialien von der Seitenwand zum Boden des tiefen Grabens bei niedrigen Drücken verbessert ist. Eine Erhöhung der Plattenleistung verbessert dies ebenfalls, wie aus **Fig. 15** ersichtlich ist. Der Graph veranschaulicht die verbesserte Passivierung in Richtung des Bodens des Grabens, wenn der Druck sinkt und die HF-Vorspannungsleistung steigt. Diese Daten wurden bei zuerst Ätzen von 200 µm tiefen Gräben, dann Verwenden nur des Passivierungsschrittes und Messen der Veränderung der Seitenwandpassivierung mit der Tiefe unter Verwendung eines SEM erhalten. Dies unterstützt die Veränderung der Passivierung mit der Ätztiefe und unterstützt ferner die Aussage, dass sich die optimalen Prozessbedingungen mit der Ätztiefe verändern.

[0073] Die Grenzen für die Anwendung von im Stand der Technik bekannten Verfahren für solche Prozesse mit hohem Geometrieverhältnis sind in dem SEM von **Fig. 16** gezeigt. Es ist zu bemerken, dass dieses relativ hohe Verhältnis von Passivierung zu Ätzen bei einem Prozess mit festen Parametern immer noch zu Kerbenbildung an der Seitenwand führt, jedoch die Vergrößerung des SEM nicht ausreicht, um dies für die Ätzung eines Grabens mit 10 µm-CD und 230 µm Tiefe darzustellen. Ausgehend von den in **Fig. 15** aufgezeigten Trends, kann das Profil durch Betrieb unterhalb der gewünschten hohen HF-Leistung der Vorspannung und bei niedrigen Druckbedingungen in gewisser Weise verbessert werden. Als Prozess mit festen Parametern verschlechtern jedoch hohe Vorspannung und niedriger Druck die Maskenselektivität (von $> 100 : 1$ auf $< 20 : 1$), wenn die Ionenenergie erhöht wird. Die Verwendung einer abrupten Parameteränderung führt zu einer entsprechenden abrupten Änderung der Seitenwand, wie in dem SEM von **Fig. 17** gezeigt. Durch rampenartigen Verlauf der Parameter Erhöhung der Plattenspannung, Absenken des Druckes sowie Erhöhen der Zykluszeiten und Gasflüsse ergeben sich die gewünschten Ergebnisse, während verhältnismäßig hohe Selektivitäten von $> 75 : 1$ aufrechterhalten werden, vgl. **Fig. 18**. Hier zeigt das SEM einen 295 µm tief geätzten Graben mit 12 µm CD (Geometrieverhältnis $25 : 1$). Die bei diesem Prozess verwendeten Prozessbedingungen sind in **Fig. 19(b)** angegeben.

[0074] **Fig. 20** veranschaulicht eine Synchronisation zwischen Ablagerungs- und Ätzgasen, die für die ersten Zyklen verwendet wurden, um Kerbenausbildung an der Seitenwand zu vermindern. Typische Prozessbedingungen sind in **Fig. 19(a)** und dem zugehörigen SEM von **Fig. 14** angegeben. **Fig. 21** veranschaulicht eine Synchronisationsreferenz für die Verwendung eines Spülgases mit dem Verfahren (a) der Technik zur Verminderung der Kerbenausbildung an der Seitenwand. Die gestrichelte Linie zeigt die Alternative, bei der die Flussrate des Spülgases rampenartig verringert wird.

[0075] **Fig. 9(i)** zeigt eine Synchronisation zum Erzielen einer tiefen, anisotropen Ätzung mit hohem Geometrieverhältnis, obwohl die Technik des rampenartigen Verlaufes auch zur Verminderung der Kerbenausbildung an der Seitenwand verwendet werden kann. Um die in **Fig. 18** gezeigten Ergebnisse zu erzielen, können die Bedingungen gemäß **Fig. 19(b)** verwendet werden.

[0076] Zurück zu **Fig. 9(i)**:

1. Dies zeigt einen rampenartigen Verlauf für den durchschnittlichen Druck. Es ist zu beachten, dass sich der Druck jeweils von niedrig zu hoch ändert, wenn sich der Zyklus von Ablagerung zu Ätzen ändert. Der sinkende, rampenartige Verlauf des Druckes führt dann zu der Druckerniedrigung sowohl bei den Ätzals auch den Passivierungszyklen.
2. Dies zeigt einen rampenartigen Verlauf der HF-Vorspannungsleistung. Es ist zu beachten, dass sich die Vorspannung jeweils von niedrig zu hoch ändert, wenn sich der Zyklus von Ablagerung zu Ätzen ändert.

Dies ist synchron mit der oben beschriebenen Änderung des Druckes. Der ansteigende rampenförmige Verlauf der Vorspannung betrifft in diesem Fall nur den Ablagerungsschritt.

3. Dies zeigt ein weiteres Beispiel für einen rampenartigen Verlauf der HF-Vorspannungsleistung. Wiederum und synchron mit dem Druck ändert sich die Vorspannung jeweils von niedrig zu hoch, wenn sich der Zyklus von Ablagerung zu Ätzen ändert. Der ansteigende rampenförmige Verlauf der Vorspannung betrifft in diesem Fall sowohl den Ablagerungsschritt als auch den Ätzschritt.

[0077] In **Fig. 9(ii)** sind rampenförmige Verläufe allgemein veranschaulicht. Diese Beispiele dienen zur Veranschaulichung des rampenförmigen Verlaufes der Zykluszeit und der Schrittdauer.

4. Dies zeigt einen rampenförmigen Verlauf der Zykluszeit, wobei die Größe des Parameters (wie beispielsweise Gasflussraten, Druck, HF-Leistung usw.) nicht rampenförmig verläuft. Bei einigen Anwendungen dient dies als eine Alternative zu den rampenförmigen Verläufen der "Größen" der obigen Fälle.

5. Dies zeigt einen rampenförmigen Verlauf der Zykluszeit, wobei die Größe des Parameters (wie beispielsweise Gasflussraten, Druck, HF-Leistung usw.) zusätzlich rampenförmig verläuft. Es ist zu beachten, dass der rampenförmige Verlauf des Parameters in seiner Größe ansteigend oder abfallend sein kann und dass der Abfall zu einem Wert Null oder einem von Null verschiedenen Wert erfolgen kann.

3. Ätzgase

[0078] Während jedes geeignete Ätzgas verwendet werden kann, hat die Anmelderin heraus gefunden, dass bestimmte Gase oder Gemische vorteilhaft sind.

[0079] In der WO-A-940114187 ist angegeben, dass es unerwünscht ist, irgendeine Art Passivierungsgas in der Ätzstufe zu haben, da dies die Prozessrate beeinflusst. Die Anmelderin hat jedoch herausgefunden, dass diese Vorgehensweise die Qualität der ausgebildeten Seitenwände der Gräben erheblich verbessern kann, und es wird vorgeschlagen, dass dem Ätzgas Passivierungsgase, wie beispielsweise O, N, C Kohlenwasserstoffe, Hydrohalogenkarbone und/oder Halogenkarbone hinzu gefügt werden. In gleicher Weise und zu demselben Zweck ist es wünschenswert, die chemische Reaktivität des geätzten Gases zu vermindern, und die Anmelderin schlägt die Verwendung von CF_x , beispielsweise Halogenide mit höheren Atommassen, wie beispielsweise Cl, Br oder I, vor. Es können jedoch XeF_2 und andere Ätzgase verwendet werden.

4. Galliumarsenid und andere Werkstoffe

[0080] Bisherige Vorschläge bezogen sich alle auf eine Grabenformation in Silizium. Die Anmelderin hat klargemacht, dass mit der Verwendung einer geeigneten Passivierung ein anisotropisches Ätzen von Galliumarsenid und in der Tat auch anderen ätzbaren Werkstoffen möglich ist. Beispielsweise wird vorgeschlagen, dass Galliumarsenid mit Cl_2 mit oder ohne Passivierungs- oder Ätzverstärkungsgasen geätzt wird, aber es wurde im Allgemeinen festgestellt, dass diese Technik mit der oben vorgeschlagenen Kohlenstoff- oder Kohlenwasserstoff-Passivierung weitaus mehr erfolgreich ist. Wenn die herkömmliche CF_x -Chemie verwendet wird, können Ätzverhinderungsverbindungen erzeugt werden, was die Oberflächenrauigkeit erhöht oder den Ätzvorgang begrenzt. Für Galliumarsenid sind niedrigere Temperaturen wünschenswert, wie auch die Verwendung eines Reaktors mit niedrigem Druck und hoher Plasmadichte. Geeignete Ätzchemikalien sind bereits in der vorliegenden Beschreibungseinleitung aufgelistet.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Ätzen eines vor dem Ätzen durch Ablagern einer Maske definierten Strukturmerkmals mit hohem Geometrieverhältnis auf einem Halbleitersubstrat in einer Reaktorkammer unter Verwendung der abwechselnden Prozessschritte reaktives Ionenätzen des Substrates in Anwesenheit einer Plasmavorspannung und Ablagern einer Passivierungsschicht mittels Gasphasenabscheidung nach chemischem Verfahren (CVD) in aufeinanderfolgenden Zyklen, um einen Netzätzeffekt zu erzielen, wobei sich das für das reaktive Ionenätzen verwendete Gas oder Gasgemisch von dem Gas oder Gasgemisch unterscheidet, welches für die Gasphasenabscheidung nach chemischem Verfahren (CVD) verwendet wird, und wobei Zyklus für Zyklus einer oder mehrere der folgenden Parameter:

Gasströmungsrate,
 durchschnittlicher Kammerdruck über den Zyklus,
 Plasmaleistung,
 Substratvorspannung,
 Ätzrate,
 Ablagerungsrate und
 Zykluszeit

progressiv erhöht oder erniedrigt wird, um die Form des von der Maske definierten Strukturmerkmals mit vertikalen Seitenwänden aufrecht zu erhalten.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß sich der Ätzschritt und der Ablagerungsschritt überlagern.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß zusätzlich zwischen dem Ätzen und dem Ablagern und/oder zwischen dem Ablagern und dem Ätzen die Kammer ausgepumpt wird.

4. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß das Auspumpen ausgeführt wird bis

$$\frac{P_{pa}}{(P_{pa} + P_{pb})} < x$$

gilt, wobei P_{pa} der Partialdruck des in dem vorangegangenen Schritt verwendeten Gases (A), P_{pb} der Partialdruck des in dem nachfolgenden Schritt verwendeten Gases (A) und x der Prozentsatz ist, bei dem die Prozeßrate des mit dem Gas (A) ausgeführten Prozesses auf einen stationären Zustand abfällt.

5. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Ätzrate während des ersten Zyklus oder für wenigstens einige der ersten Zyklen durch eine oder mehrere der folgenden Maßnahmen reduziert wird:

- (a) Einleiten eines Spülgases
- (b) Reduktion der Plasmaleistung
- (c) Reduktion der Zykluszeit
- (d) Reduktion der Gasströmung
- (e) Variieren des durchschnittlichen Kammerdruckes über einen Zyklus.

6. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Ätzrate während des ersten Zyklus oder für wenigstens einige der ersten Zyklen durch eine oder mehrere der folgenden Maßnahmen erhöht wird:

- (a) Erhöhung der Plasmaleistung
- (b) Erhöhung der Zykluszeit
- (c) Erhöhung der Gasströmungsrate
- (d) Erhöhung der Dichte der Ablagerungsart
- (e) Variieren der durchschnittlichen Kammerdruckes über einen Zyklus.

7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Maske verbessert wird durch oder selbst abgelagert wird als eine Kohlenstoff- oder Kohlenwasserstoffschicht.

8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das Ätzgas CF_x oder XeF_2 ist.

9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der durchschnittliche Kammerdruck über einen Zyklus reduziert und/oder die Strömungsrate während der Ablagerung erhöht wird.

10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das Substrat frei auf einem Träger in der Kammer, welcher von dem Plasma bis zum Gleichgewicht erhitzt wird, liegt.

11. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das Substrat auf einer Temperatur von -100°C bis 100°C gehalten wird.

12. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das Substrat GaAs, GaP, GaN, GaSb, SiGe, Ge, Mo, W oder Ta ist.

13. Verfahren nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, daß das Ätzgas eines oder eine Kombination ist von Cl_2 , BCl_3 , $SiCl_4$, $SiCl_2H_2$, CH_xCl_y , C_xCl_y , CH_x mit oder ohne Wasserstoff oder einem Inertgas.

14. Verfahren nach Anspruch 12 oder 13, dadurch gekennzeichnet, daß das Ablagerungsgas eines oder eine Kombination ist von CH_x , CH_xCl_y oder C_xCl_y mit oder ohne Wasserstoff oder einem Inertgas.

15. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das Ablagerungsgas ein Kohlenwasserstoffgas zum Ablagern von Kohlenstoff oder einer Kohlenstoffschicht ist.

16. Verfahren nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, daß das Ablagerungsgas O-, N-, oder F-Elemente enthält und/oder mit H₂ gemischt ist.

17. Verfahren nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, daß das Ablagerungsgas Stickstoff- und/oder Fluordotiert ist.

Es folgen 13 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

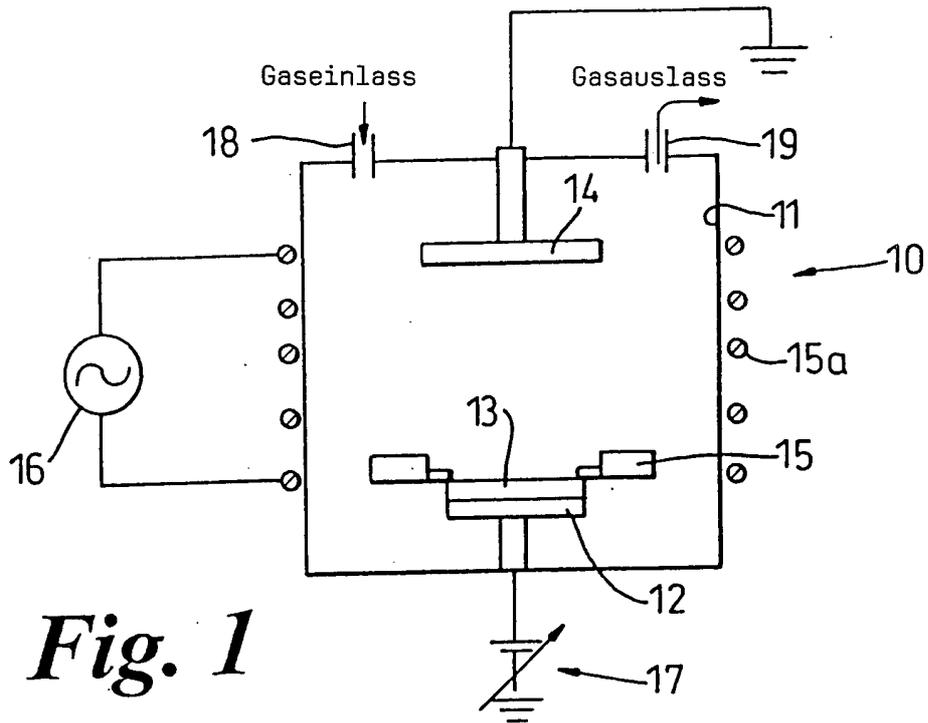


Fig. 1

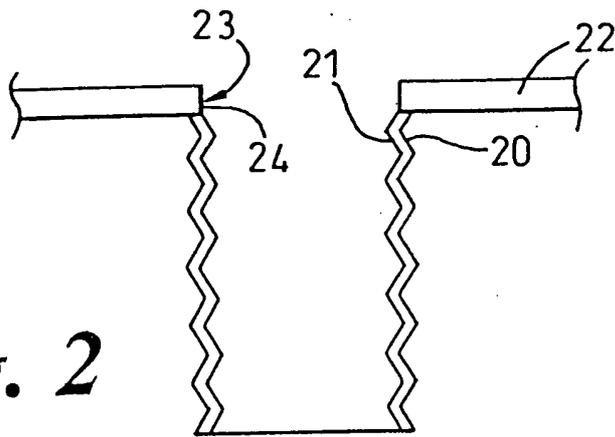


Fig. 2

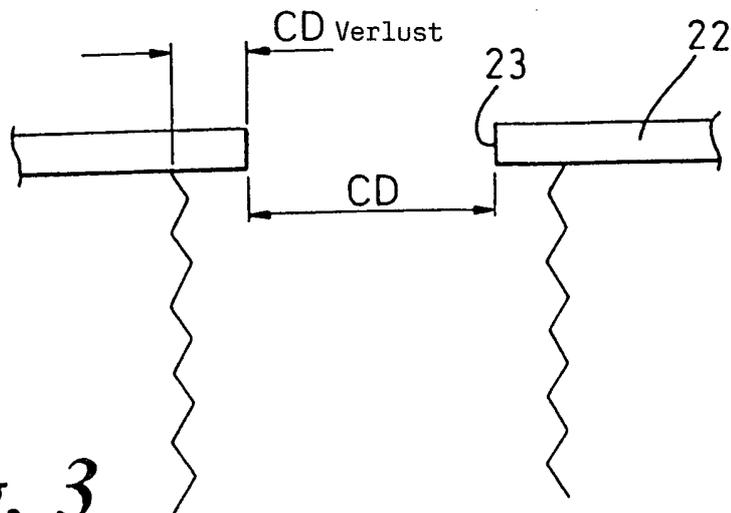


Fig. 3

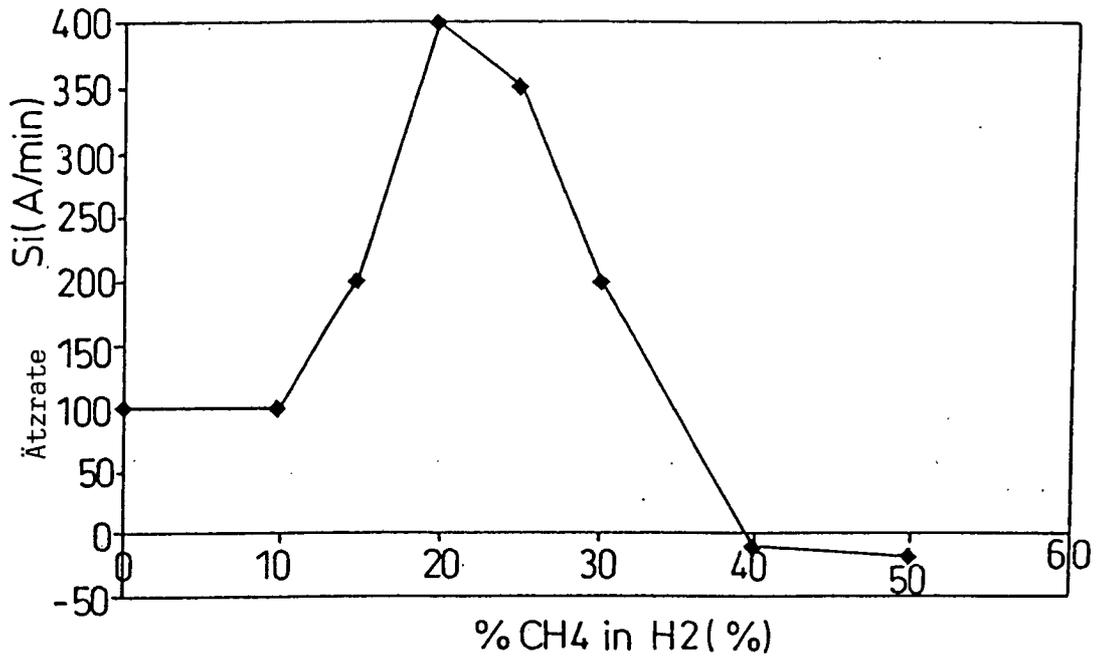


Fig. 4

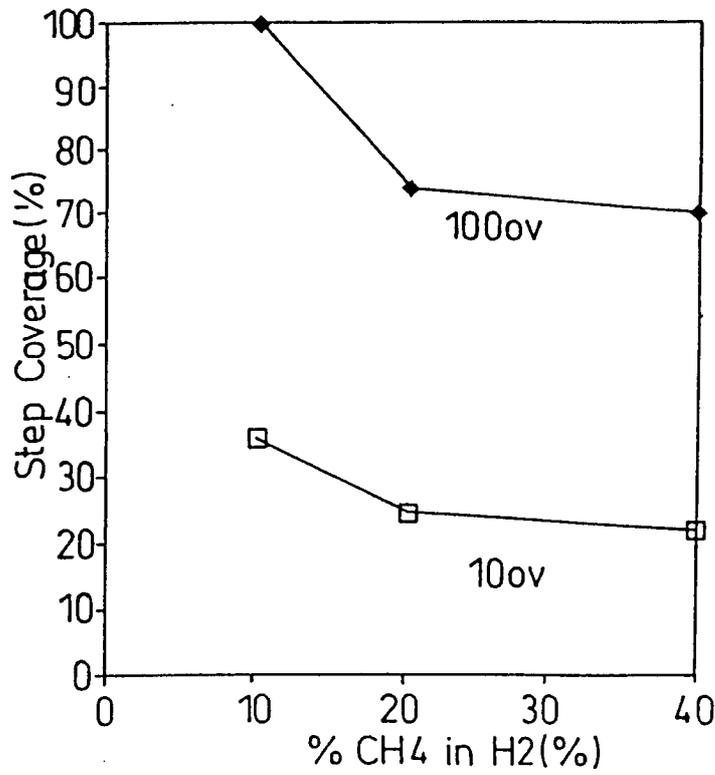
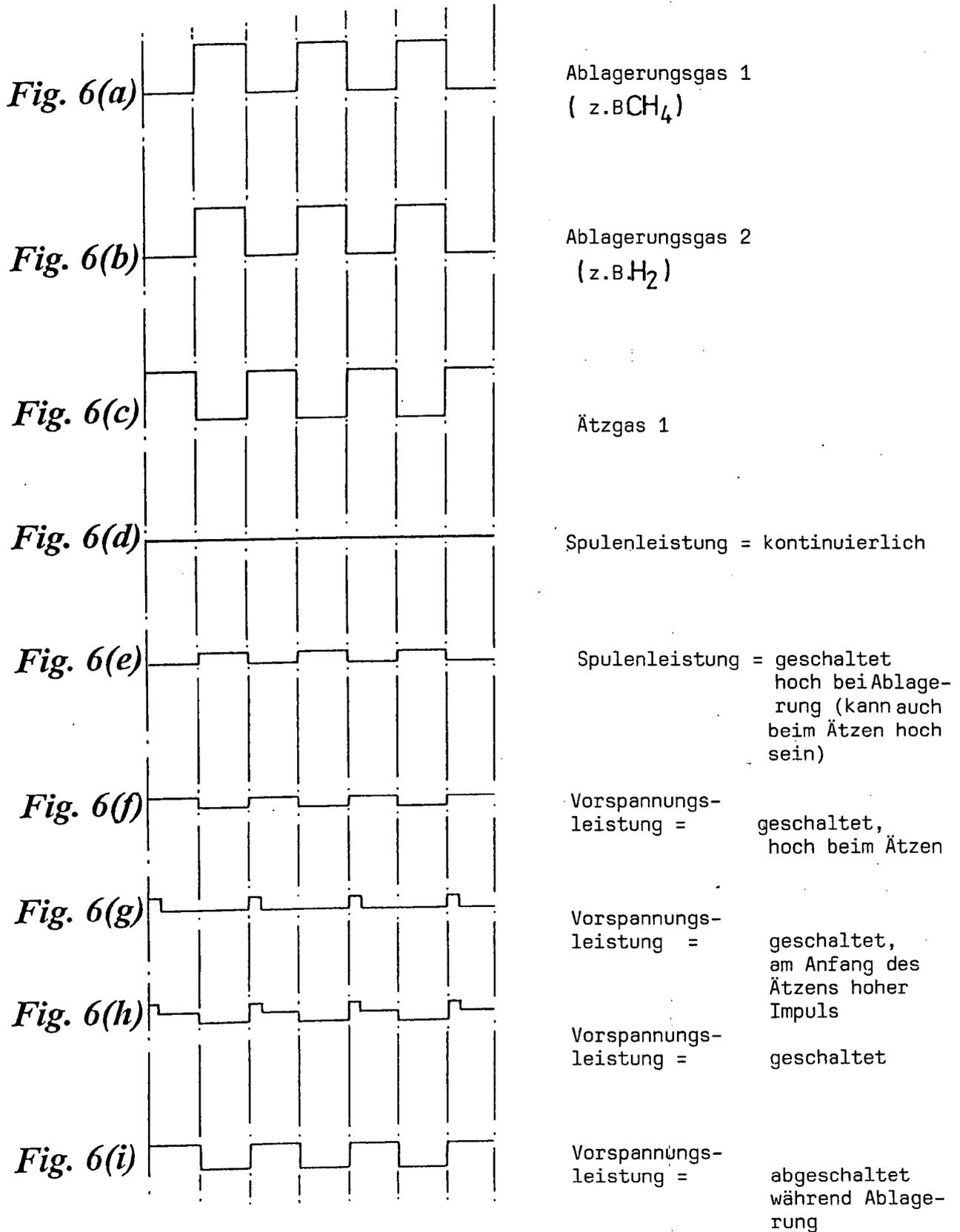


Fig. 5



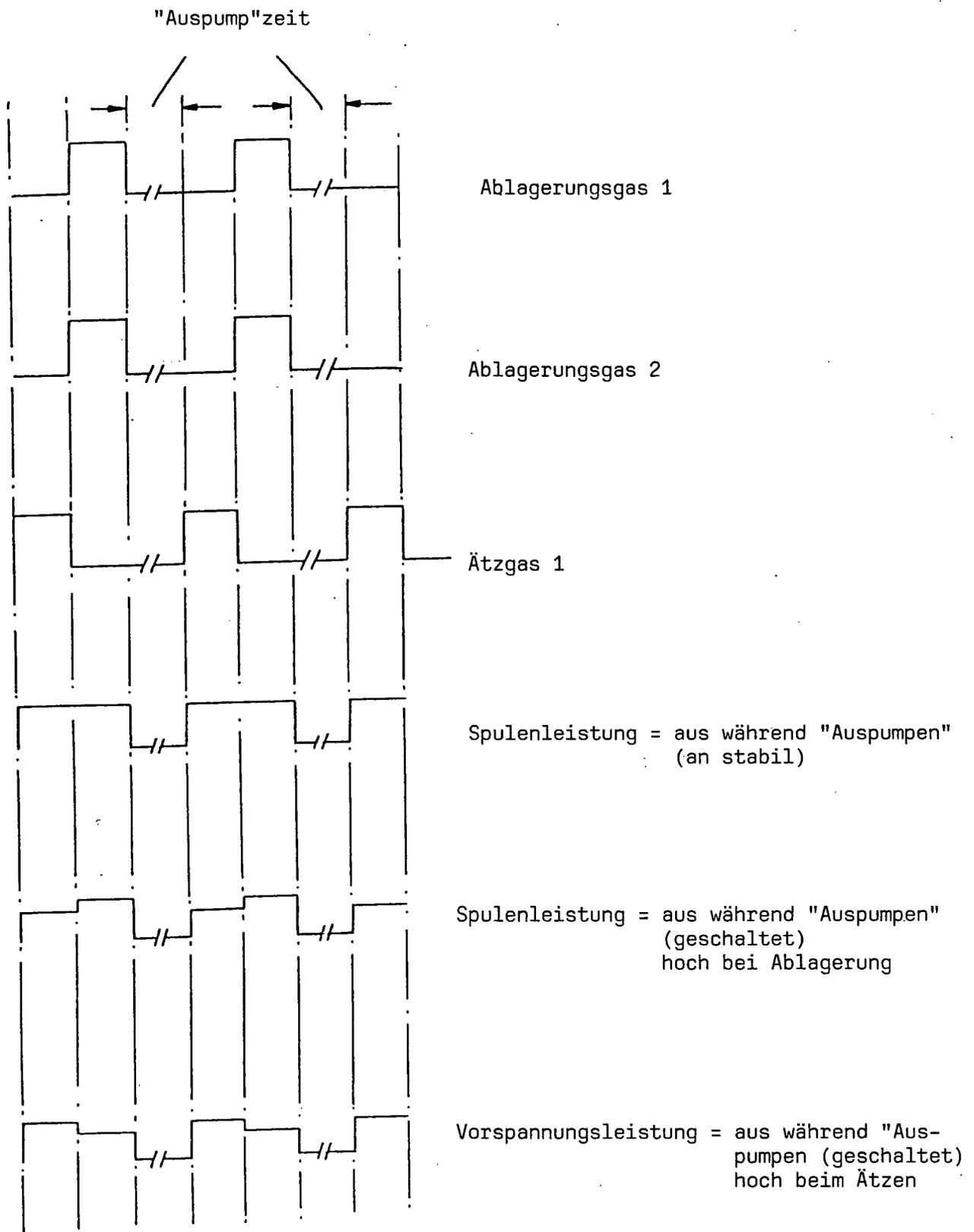


Fig. 7

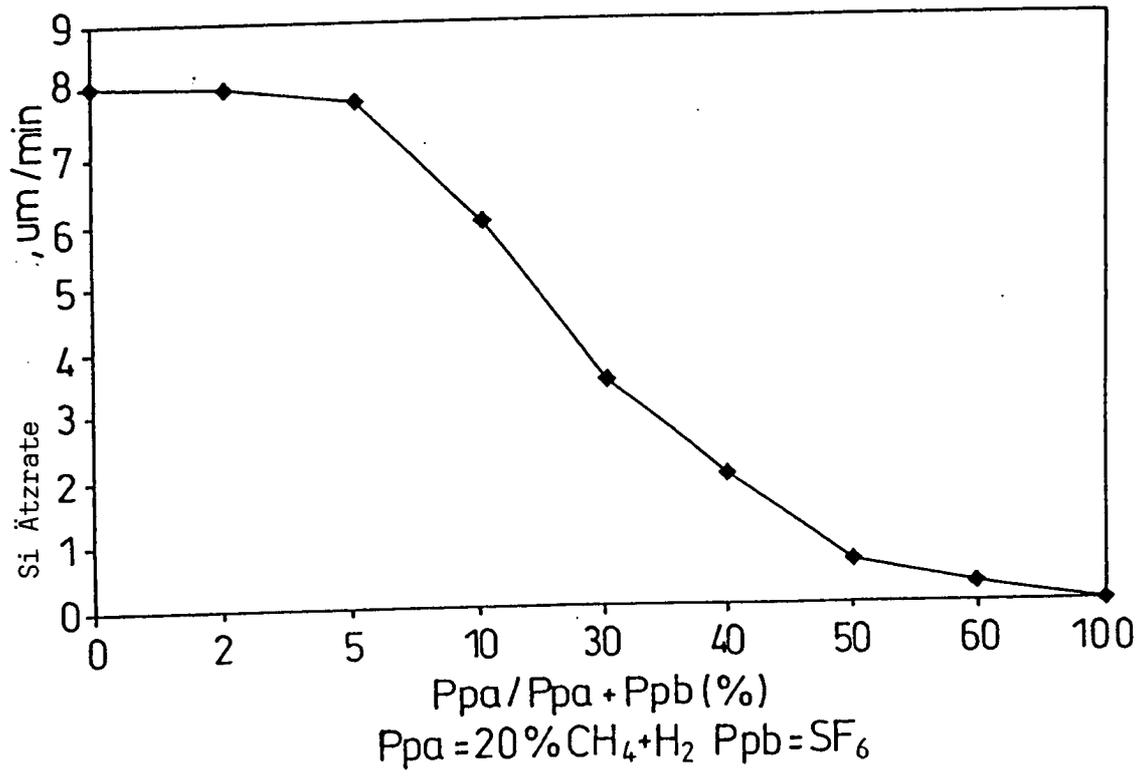


Fig. 8

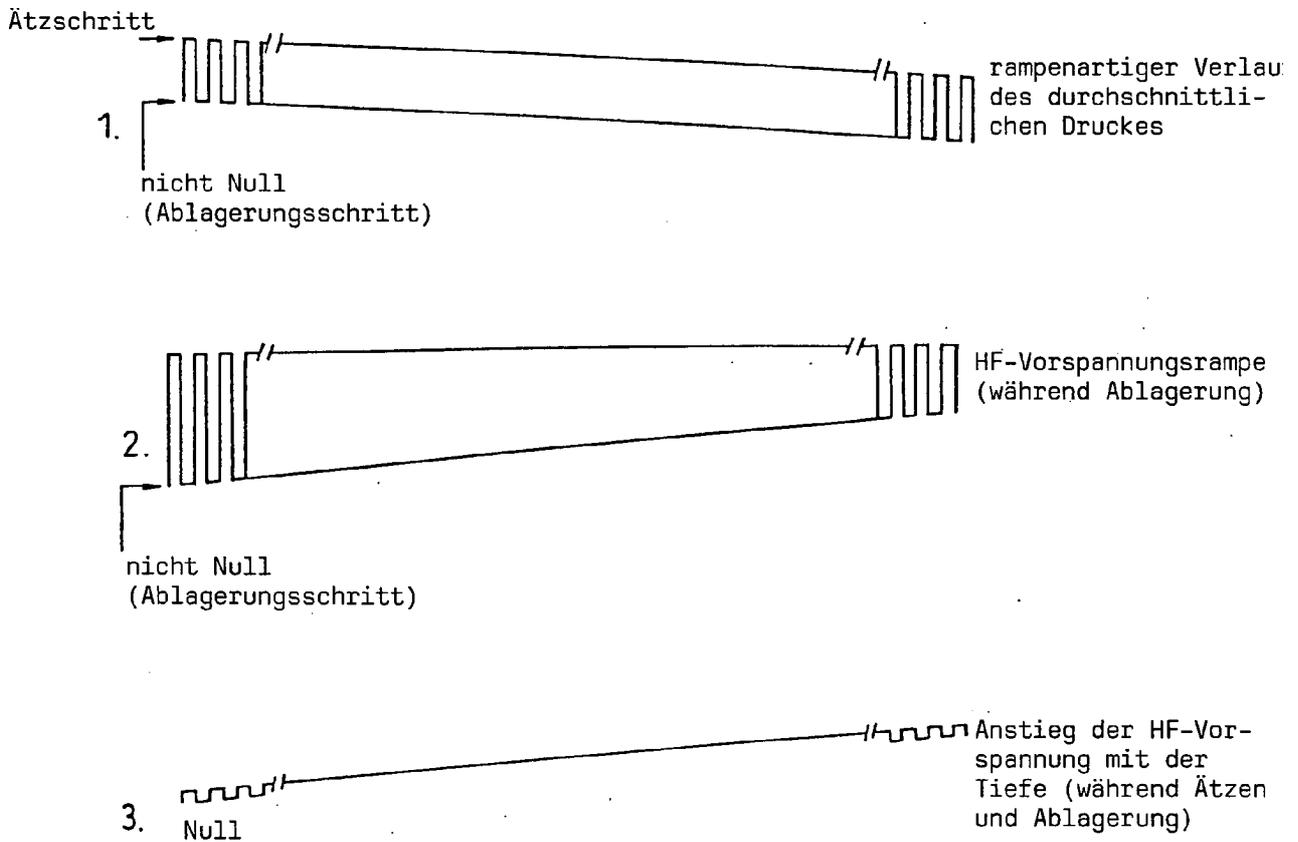


Fig. 9(i)

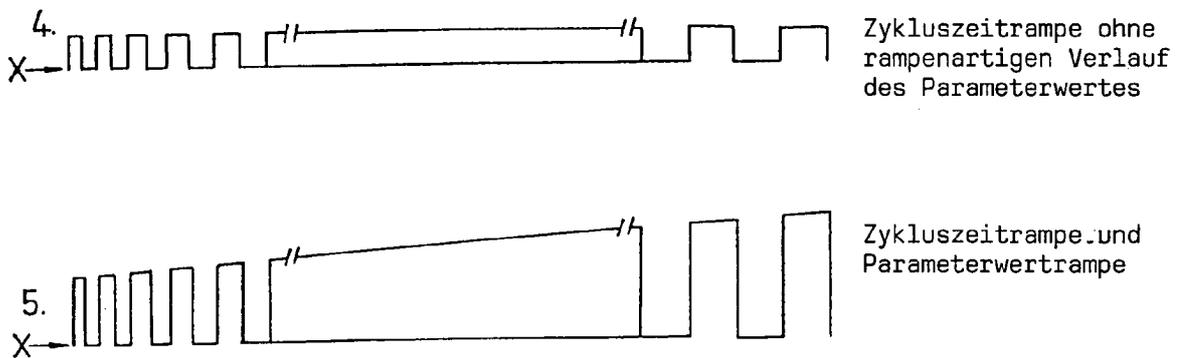


Fig. 9(ii)

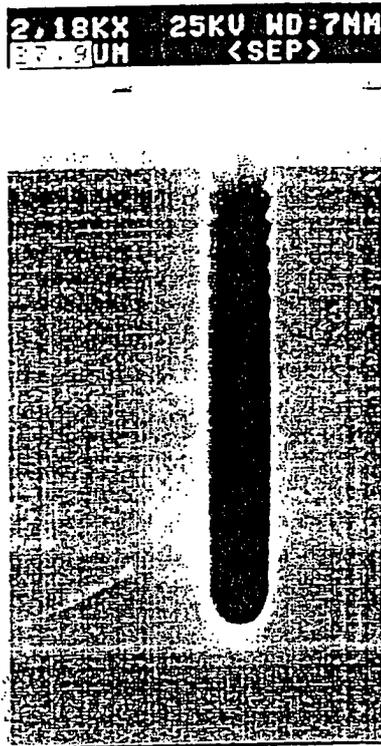


Fig. 10

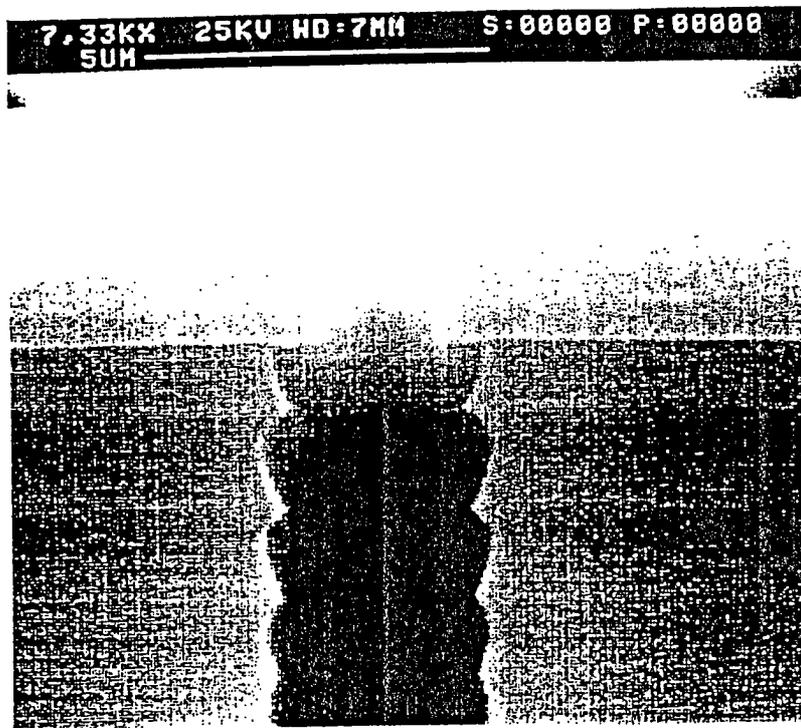


Fig. 11

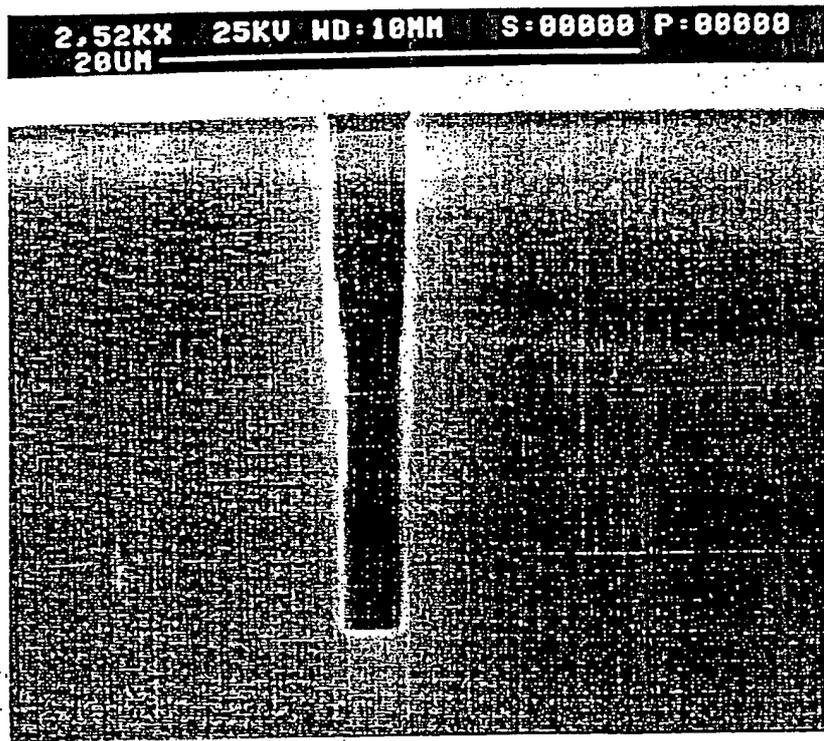


Fig. 12

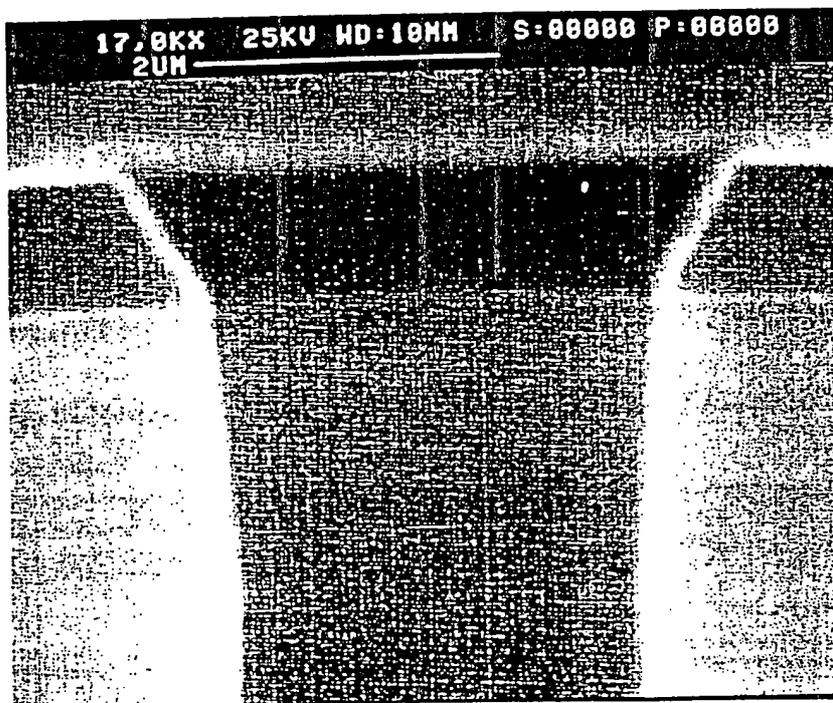


Fig. 13

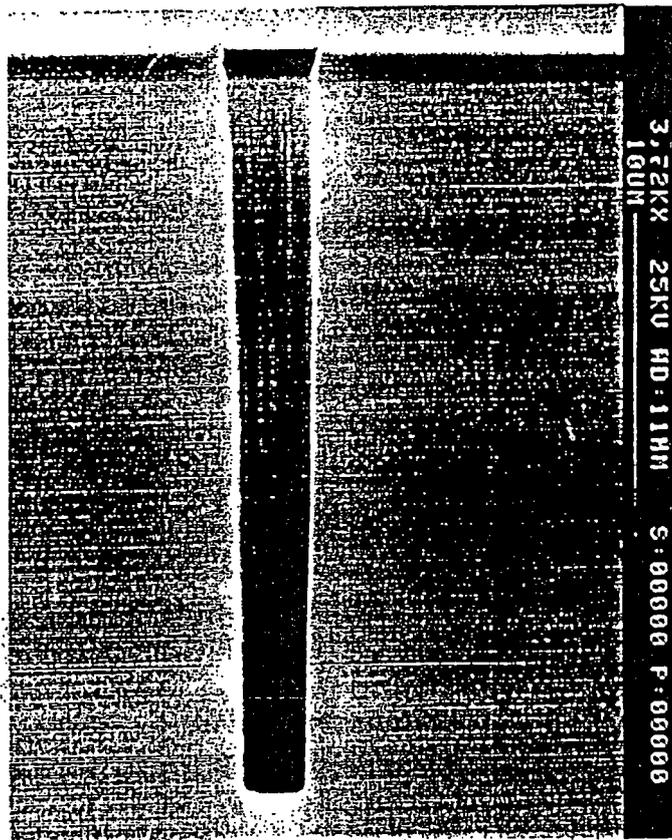


Fig. 14

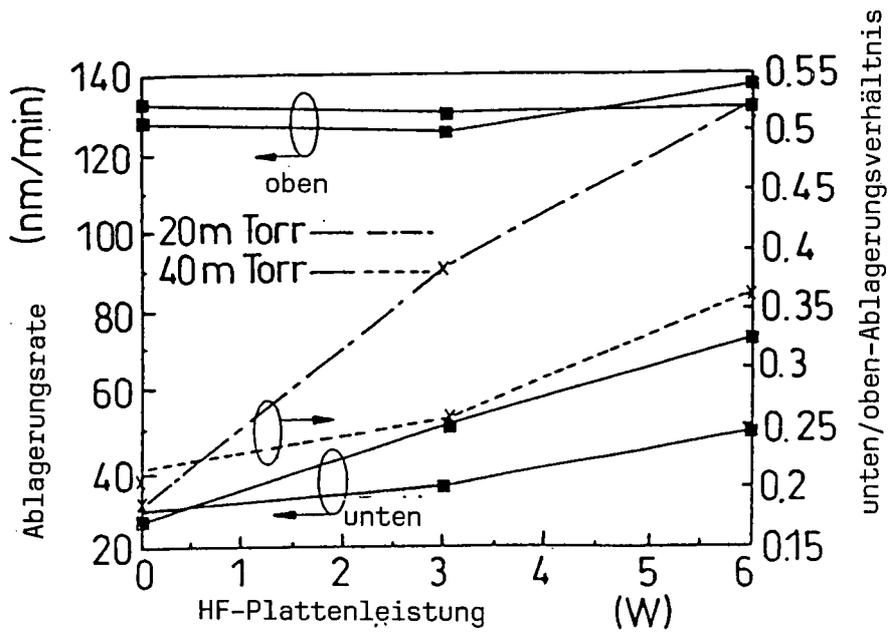


Fig. 15

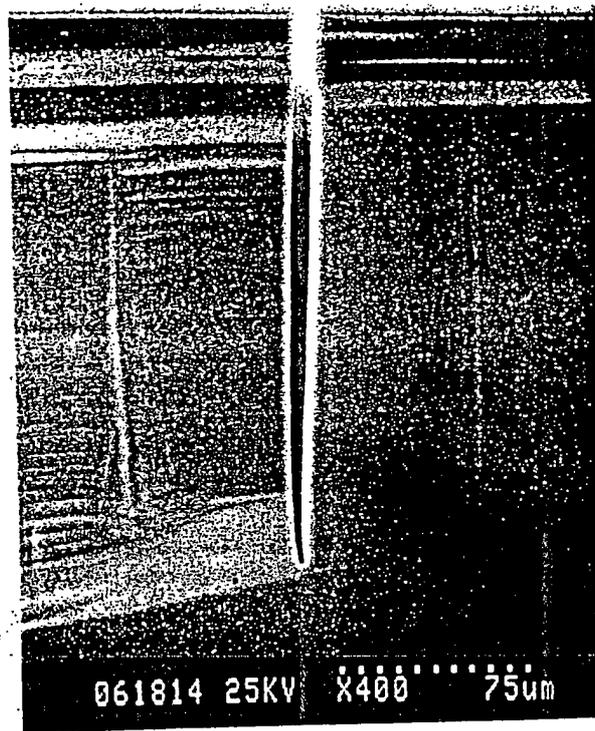


Fig. 16

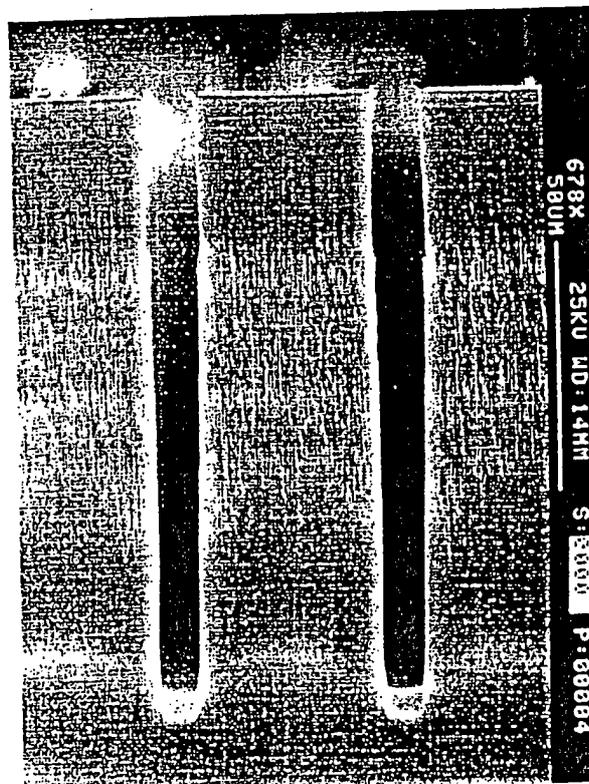


Fig. 17

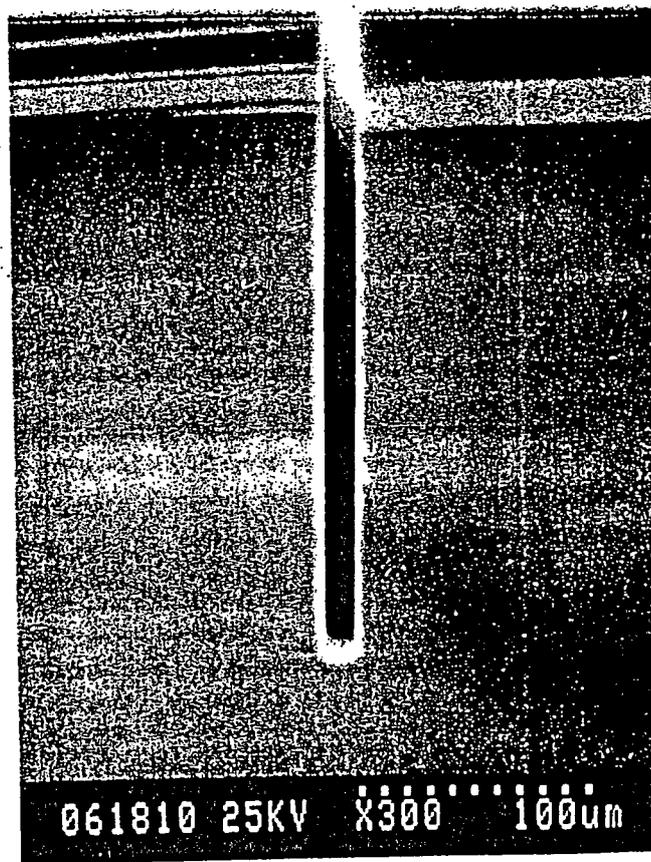


Fig. 18

Ätzschrift				Ablagerungsschritt				Bemerkungen		
Eflow (sccm)	Zeit (s)	Druck (m Torr)	Spulen Len P	Platten p (w)	pflow (sccm) C ₄ F ₈	Zeit (s)	Druck (m Torr)		Spulen R (w)	Platten P (w)
50	13	25	600	12	170	7	38	600	0	(Figure 14) (R) = rampenartig verlaufender Parameter Prozesszeit = 8 min Ätztiefe = 23µm, kritische Dimension=3µm beachte rampenartiger Verlauf nur während der ersten 10 Zyklen
130		35		10	85		21			

Fig. 19(a)

Ätzschrift				Ablagerungsschritt				Bemerkungen		
Eflow (sccm) SF ₆	Zeit (s)	Druck (m Torr)	Spulen p (w)	Platten p (w)	pflow (sccm) C ₄ F ₈	Zeit (s)	Druck (m Torr)		Spulen p (w)	Platten p (w)
80	12	35	600	10	52	7	20	600	0	(Figure 18) (R) = rampenartig verlaufender Parameter Prozesszeit = 90 min Ätztiefe ~ 250µm, kritische Dimension = bis zu 12µm
		25		12			15		5	

Fig. 19(b)

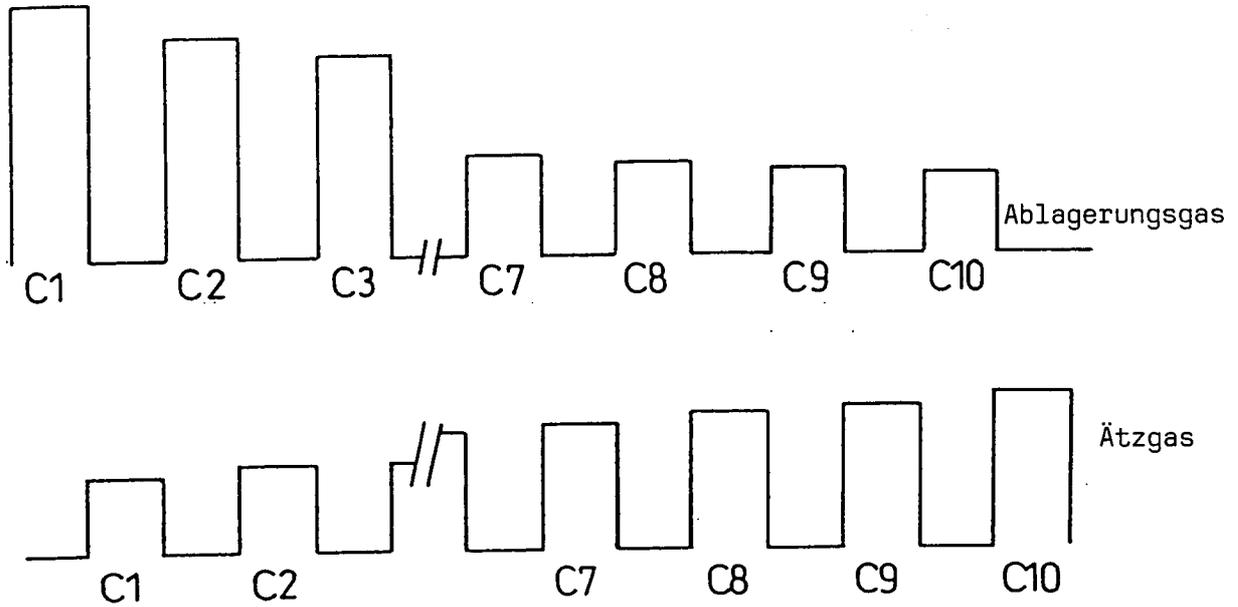


Fig. 20

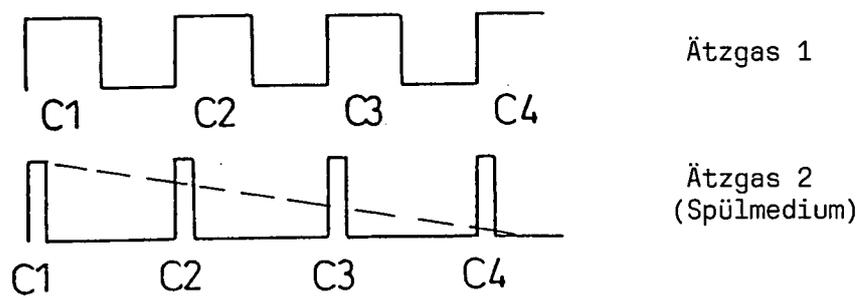


Fig. 21