



(19)  
Bundesrepublik Deutschland  
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) DE 198 29 309 B4 2008.02.07

(12)

## Patentschrift

(21) Aktenzeichen: 198 29 309.7  
(22) Anmeldetag: 30.06.1998  
(43) Offenlegungstag: 07.01.1999  
(45) Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: 07.02.2008

(51) Int Cl.<sup>8</sup>: H01L 21/316 (2006.01)  
C23C 8/12 (2006.01)

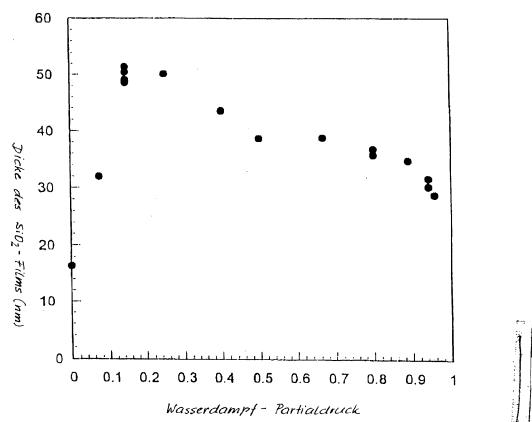
Innerhalb von drei Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 2 Patentkostengesetz).

(30) Unionspriorität:  
178766/97 04.07.1997 JP  
  
(73) Patentinhaber:  
Fuji Electric Co., Ltd., Kawasaki, Kanagawa, JP  
  
(74) Vertreter:  
Hoffmann, E., Dipl.-Ing., Pat.-Anw., 82166  
Gräfelfing

(72) Erfinder:  
Ueno, Katsunori, Kawasaki, JP  
  
(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht  
gezogene Druckschriften:  
WO 97/17 730 A1  
MELLOCH, M.R., COOPER, J.A. Jr.: Fundamentals  
of  
SiC-Based Device Processing, In: MRS Bulletin,  
März 1997, S. 42-47;

(54) Bezeichnung: **Verfahren zur Herstellung eines thermischen Oxidfilms auf Siliciumcarbid**

(57) Hauptanspruch: Verfahren zur Ausbildung eines thermischen Oxidfilms einer Siliciumcarbid-Halbleitervorrichtung, bei dem Wasserdampf und Sauerstoff zum Aufwachsen eines Siliciumdioxidfilms auf einer Oberfläche von erhitztem Siliciumcarbid eingeleitet werden und der Wasserdampf-Partialdruck auf einen Wert innerhalb des Bereichs von 0,1 bis 0,95 eingestellt wird, dadurch gekennzeichnet, daß der Siliciumdioxidfilm durch pyrogene Oxidation unter Einleitung von Wasserstoff und Sauerstoff ausgebildet wird, wobei das Verhältnis der Strömungsrate von Wasserstoff zu derjenigen von Sauerstoff auf einen Wert innerhalb des Bereichs von 1:0,55 bis 1:9,5 eingestellt wird.



**Beschreibung**

**[0001]** Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren der Ausbildung eines Siliciumdioxidfilms durch thermische Oxidation auf Siliciumcarbid, wie es etwa bei der Herstellung eines Halbleiterbauelements eingesetzt werden kann, welches Siliciumcarbid als Halbleitermaterial verwendet.

**[0002]** Siliciumcarbid (SiC) besitzt einen großen Bandabstand, und seine maximale elektrische Durchbruchsfeldstärke ist um eine Größenordnung größer als die von Silicium. Man hat deshalb erwartet, daß SiC als Material für Leistungshalbleiterbauelemente der nächsten Generation verwendet wird. Nachdem mehr und mehr  $\alpha$ -Phasen-Einkristalle hoher Qualität wie 6H-SiC und 4H-SiC hergestellt wurden, hat man verschiedene Halbleiterbauelemente, etwa Schottky-Dioden, MOS-Feldeffekttransistoren (MOSFETs) und Thyristoren unter Verwendung von SiC als Halbleitermaterial hergestellt und getestet. Dabei zeigte sich, daß diese Bauelemente sehr viel bessere Eigenschaften als bekannte Bauelemente aufweisen, die Silicium verwenden.

**[0003]** Wenn SiC einer oxidierenden Atmosphäre (beispielsweise trockenem Sauerstoff oder Wasserdampf) bei einer hohen Temperatur von 1000°C bis 1200°C ausgesetzt wird, wächst wie im Fall von Silicium ein Siliciumdioxidfilm (SiO<sub>2</sub>-Film) auf der Oberfläche des SiC. Man weiß auch, daß ein so hergestellter SiO<sub>2</sub>-Film eine günstige Grenzschicht zwischen einem Isolierfilm und einem Halbleitersubstrat schafft. Dies ist eine charakteristische Eigenart von SiC, die man bei anderen Verbindungshalbleitermaterialien nicht beobachten kann. Da diese Eigenschaft vorteilhaft zur relativ einfachen Herstellung von MOSFETs genutzt werden kann, erwartet man, daß SiC in der Zukunft in einem weiten Anwendungsfeld eingesetzt wird.

**[0004]** Man hat verschiedene Eigenschaften bezüglich des Wachstums eines SiO<sub>2</sub>-Films durch thermische Oxidation auf SiC herausgefunden. [Fig. 3](#) beispielweise zeigt in einer graphischen Darstellung die Temperaturabhängigkeit der Wachstums geschwindigkeit von SiC<sub>2</sub> auf SiC, wenn letzteres gemäß einem von M.R. Melloch und J.A. Copper (MRS Bulletin, März 1997, Seite 42) durchgeführten Test einer sich aus Wasserdampf zusammensetzenden Atmosphäre ausgesetzt wurde. Zum Vergleich zeigt [Fig. 3](#) auch die Wachstums geschwindigkeit eines Oxidfilms auf Silicium. Man beachte, daß in [Fig. 3](#) die Dicke des SiO<sub>2</sub>-Films über der Zeit aufgetragen ist. Andere Berichte, die sich auf das Wachstum eines SiO<sub>2</sub>-Films auf SiC beziehen, sind K. Ueno und Y. Seki "Silicon Carbide and Related Materials 1995" IOP Veröffentlichung, Seite 629 und A. Golz, G. Horstmann, E. Stein von Kamienski und H. Kurz "Silicon Carbide and Related Materials 1995", IOP Ver-

öffentlichung, Seite 633.

**[0005]** Wie in [Fig. 3](#) gezeigt, hängt die Wachstums geschwindigkeit des SiO<sub>2</sub>-Films auf SiC von der Kristallausrichtung ab. Das heißt, die Wachstums geschwindigkeit auf der (0001)-Siliciumfläche (nachfolgend als Si-Fläche bezeichnet) ist deutlich kleiner als die Wachstums geschwindigkeit auf der (000-1)-Kohlenstofffläche (nachfolgend als C-Fläche bezeichnet). Angesichts dessen könnte man erwägen, die C-Fläche als Flächenausrichtung bei der Herstellung von SiC-Halbleiterbauelementen zu verwenden. Tatsächlich ist die Grenzschichtzustandsdichte der Grenzschicht zwischen einem SiO<sub>2</sub>-Film und SiC im Fall der Verwendung der C-Fläche als Flächenausrichtung sehr viel höher als im Fall der Verwendung der Si-Fläche als Flächenausrichtung. Daraus ergibt sich, daß die Verwendung der C-Fläche zur Flächen- oder Ebenenausrichtung nicht geeignet ist, insbesondere nicht zur Herstellung von MOS-SiC-Halbleiterbauelementen. Unter diesen Umständen ist bei der Entwicklung von SiC-Halbleiterbauelementen in der unmittelbaren Vergangenheit im allgemeinen die Si-Fläche verwendet worden.

**[0006]** Die kleine Oxidations geschwindigkeit oder Wachstums geschwindigkeit, von der oben die Rede war, bedeutet, daß das SiC-Substrat für eine lange Zeit einer hohen Temperatur ausgesetzt werden muß, damit ein ausreichend dicker Oxidfilm zusteht kommt. Anhand von [Fig. 3](#) läßt sich beispielweise abschätzen, daß die Si-Fläche des SiC-Substrats etwa 17 Stunden einer hohen Temperatur von 1100°C ausgesetzt werden muß, damit ein Oxidfilm mit einer Dicke von 100 nm geschaffen wird.

**[0007]** Wenn das Halbleitersubstrat einer Wärmebehandlung bei hoher Temperatur für eine so lange Zeit ausgesetzt wird, können im Halbleitersubstrat Fehler auftreten, oder es können während der Wärmebehandlung andere Probleme auftreten. Aus diesem Grund ist man bestrebt, die Oxidationszeit so kurz wie möglich zu halten.

**[0008]** Unter bekannten Verfahren zur thermischen Oxidation von SiC-Halbleitern ist generell ein sogenanntes Naßoxidationsverfahren eingesetzt worden, bei dem reines Wasser erhitzt wird, um eine Blasenbildung von Sauerstoff zu bewirken. Bei diesem Verfahren ist es jedoch schwierig, den Partialdruck des Wasserdampfs zu steuern, und Wassertropfen gelangen unvermeidlich in den resultierenden Film, was zum Problem einer Verunreinigung führen kann.

**[0009]** Ein Verfahren gemäß dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1 ist aus den Druckschriften MELLOCH, M. R.; COOPER, J. A. Jr.: Fundamentals of SiC-Based Device Processing. In: MRS Bulletin, März 1997, S.42.-47 und WO 97/17730 A1 bekannt.

**[0010]** Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, ein Verfahren gemäß dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1 zu schaffen, mit dem ein sauberer, dicker Oxidfilm in kurzer Zeit hergestellt werden kann, und zwar insbesondere auf einer Si-Fläche eines Siliciumcarbidsubstrats.

**[0011]** Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch die kennzeichnenden Merkmale des Patentanspruchs 1 gelöst. Vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung sind Gegenstand der Unteransprüche.

**[0012]** Bei einem Verfahren gemäß der vorliegenden Erfindung werden Wasserdampf und Sauerstoff zum Aufwachsen eines Siliciumdioxidfilms auf einer Oberfläche von SiC, das erhitzt wird, eingeleitet, wobei der Partialdruck des Wasserdampfs, der repräsentiert ist durch  $p(\text{H}_2\text{O})/[p(\text{H}_2\text{O}) + p(\text{O}_2)]$ , auf einen Wert innerhalb des Bereichs von 0,1 bis 0,9 gesteuert wird, wobei  $p(\text{H}_2\text{O})$  und  $p(\text{O}_2)$  den Dampfdruck von Wasserdampf bzw. Sauerstoff repräsentieren.

**[0013]** Obwohl der Mechanismus des Einflusses des Partialdrucks des Wasserdampfs auf die Dicke des Siliciumdioxidfilms nicht oder noch nicht bekannt ist, nimmt die Oxidationsrate oder geschwindigkeit zu, wenn der Partialdruck des Wasserdampfs auf einen Wert innerhalb des oben genannten Bereichs eingestellt wird, und zwar verglichen mit dem Fall eines Partialdrucks von 1,0, dem Fall also, daß die Oxidationsatmosphäre ausschließlich aus Wasserdampf besteht. Auf diese Weise kann leicht ein  $\text{SiO}_2$ -Film mit großer Dicke erhalten werden.

**[0014]** Wenn der Partialdruck des Wasserdampfs auf einen Wert innerhalb des Bereichs von 0,1 bis 0,4 eingestellt wird, wird die Oxidationsgeschwindigkeit gegenüber dem Fall des Partialdrucks von 1,0 so gar nahezu verdoppelt. Anders ausgedrückt, die Oxidationszeit, die zum Aufwachsen eines  $\text{SiO}_2$ -Films mit einer bestimmten Dicke erforderlich ist, kann auf die Hälfte reduziert werden, verglichen mit der Oxidationszeit, die zur Erzielung derselben Dicke erforderlich ist, wenn der Partialdruck 1,0 beträgt.

**[0015]** Bei einem Verfahren zur Herstellung eines thermischen Oxidfilms auf einem Siliciumcarbidhalbleiter, bei dem Wasserstoff und Sauerstoff zum Aufwachsen eines  $\text{SiO}_2$ -Films auf einem erhitzten SiC-Substrat durch pyogene Oxidation umgeleitet werden, wird das Verhältnis der Strömungsrate von Wasserstoff zu derjenigen von Sauerstoff auf einen Wert innerhalb des Bereichs von 1:0,55 bis 1:9,5 eingestellt. In diesem Fall weist die Oxidationsatmosphäre in einem Ofen, in welchem die Oberfläche des Siliciumcarbids oxidiert wird, einen Wasserdampf-Partialdruck mit einem Wert innerhalb des Bereichs von 0,1 bis 0,95 auf.

**[0016]** Wenn das Verhältnis der Strömungsrate von

Wasserstoff zu derjenigen von Sauerstoff auf einen Wert innerhalb des Bereichs von 1:2 bis 1:9,5 eingestellt wird, ergibt sich der Wert des Wasserdampf-Partialdrucks in der oxidierenden Atmosphäre in dem Ofen zu einem Wert innerhalb des Bereichs von 0,1 bis 0,4.

**[0017]** Bei dem Verfahren gemäß einer Ausführungsform der Erfindung, bei dem Wasserstoff und Sauerstoff zum Aufwachsen eines Siliciumdioxidfilms auf einem erhitzten SiC-Substrat durch pyogene Oxidation eingeleitet werden, wird anfänglich ein Film mit einem Verhältnis der Strömungsrate von Wasserstoff zu derjenigen zu Sauerstoff von etwa 1:4,5 erzeugt und dann ein zusätzlicher Oxidfilm bei einem Verhältnis der Strömungsrate von Wasserstoff zu derjenigen von Sauerstoff von etwa 1:0,55 erzeugt, wobei der anfänglich erzeugte Oxidfilm einen großen Anteil der Gesamtdicke der Siliciumdioxidfilme oder teilfilme ausmacht.

**[0018]** Der Erfinder hat festgestellt, daß die Grenzschichtzustandsdichte verringert werden kann, wenn die Wasserstoffströmungsrate relativ zur Sauerstoffströmungsrate erhöht wird. In diesem Fall kann ein großer Teil eines Siliciumdioxidfilms, der den größten Anteil der endgültigen Filmdicke ausmacht, mit hoher Oxidationsgeschwindigkeit innerhalb einer relativ geringen Oxidationszeit ausgebildet werden, während der restliche Teil des Siliciumdioxidfilms unter der Bedingung ausgebildet werden kann, daß sich eine niedrige Grenzschichtzustandsdichte ergibt, wodurch die Grenzschichtzustandsdichte des resultierenden Siliciumdioxidfilms vorteilhafterweise gesenkt werden kann.

**[0019]** Ausführungsbeispiele der Erfindung werden nachfolgend anhand der Zeichnungen näher erläutert. Es zeigen:

**[0020]** [Fig. 1](#) in einer graphischen Darstellung den Zusammenhang zwischen der Dicke eines auf einer Si-Fläche von SiC gebildeten Oxidfilms und dem Wasserdampf-Partialdruck,

**[0021]** [Fig. 2](#) eine graphische Darstellung des Zusammenhangs zwischen der Oxidationszeit und der Dicke des auf einer Si-Fläche von SiC gebildeten Oxidfilms,

**[0022]** [Fig. 3](#) eine graphische Darstellung des Zusammenhangs zwischen der Oxidationszeit und der Dicke eines auf SiC bzw. Silicium ausgebildeten Oxidfilms, und

**[0023]** [Fig. 4](#) eine graphische Darstellung des Zusammenhangs zwischen der Dicke eines auf Silicium gebildeten Oxidfilms und dem Wasserdampfpartialdruck.

**[0024]** Bei dem nachfolgend beschriebenen Ausführungsbeispiel der Erfindung wird die pyrogene Oxidation eingesetzt, bei der Wasserstoff- und Sauerstoffgase eingeleitet und miteinander zur Reaktion gebracht werden, um Wasser zu erzeugen und dadurch eine nasse Atmosphäre zu schaffen. Da dieses Verfahren Gase als Speisequellen verwendet, erreicht man eine sehr geringe Verunreinigung, und der Wasserdampf-Partialdruck kann exakt gesteuert werden.

**[0025]** Unter Bezugnahme auf die Zeichnungen, die die Ergebnisse von Experimenten darstellen, wird das Verfahren zur Herstellung eines thermischen Oxidfilms gemäß der vorliegenden Erfindung nachfolgend im einzelnen erläutert.

#### Vorbereitendes Experiment

**[0026]** Bei diesem Experiment wurde Silicium einer thermischen Oxidation in einer Atmosphäre ausgesetzt, die durch Änderung der Strömungsraten von Wasserstoff und Sauerstoff zur Änderung des Wasserdampf-Partialdrucks in der Atmosphäre gesteuert wurde. Beispielsweise kann die oxidierende Atmosphäre durch Einstellen des Verhältnisses der Strömungsraten von Wasserstoff zu derjenigen von Sauerstoff auf 1:1,5, 1:1 und 1:0,7 gesteuert werden, so daß der Wasserdampf-Partialdruck 0,5, 0,67 bzw. 0,83 wird.

**[0027]** [Fig. 4](#) ist eine graphische Darstellung, die die Abhängigkeit der Dicke des durch thermische Oxidation von Silicium gebildeten Oxidfilms von dem Wasserdampf-Partialdruck zeigt. Die thermische Oxidation wurde bei 1000°C für 160 Minuten durchgeführt. Auf der Abszisse ist der Wasserdampf-Partialdruck in der oxidierenden Atmosphäre aufgetragen. Der Gesamtdruck dieser Atmosphäre beträgt 1 atm, und die Atmosphäre besteht aus dem Wasserdampf und Sauerstoff. Aus [Fig. 4](#) geht hervor, daß die Dicke des Oxidfilms proportional mit dem Wasserdampf-Partialdruck ansteigt.

**[0028]** Diese experimentellen Ergebnisse zeigen an, daß die Dicke des Oxidfilms zunimmt, wenn sich die Atmosphäre von trockenem Sauerstoff zu nassem Sauerstoff ändert. Die maximale Oxidationsgeschwindigkeit kann man erreichen, wenn der Wasserdampf-Partialdruck 1,0 beträgt, d.h. wenn die thermische Oxidation in einer ausschließlich Wasserdampf enthaltenden Atmosphäre ausgeführt wird.

#### Experiment 1

**[0029]** Man hat angenommen, daß die experimentellen Ergebnisse bei SiC ähnlich den obigen Ergebnissen bezüglich Silicium sein würden, denen zufolge die Dicke des Oxidfilms zunimmt, wenn die Atmosphäre von trockenem Sauerstoff zu nassem Sauer-

stoff geändert wird. Es gab jedoch keine experimentellen Daten, die diese Annahme bestätigt haben. Um diese Annahme zu verifizieren, führte der Erfinder ein ähnliches vorbereitendes Experiment unter Verwendung von SiC durch, bei dem das Verhältnis der Strömungsraten von Wasserstoff und Sauerstoff geändert wurde, um den Wasserdampf-Partialdruck zu ändern. Es zeigte sich, daß sich das SiC völlig anders verhält als das Silicium. Bei diesem Experiment wurde die Strömungsrate von Wasserstoff auf acht Liter/Minute eingestellt, während die Strömungsrate von Sauerstoff verändert wurde. Wo die Sauerstoffströmungsrate jedoch sehr hoch war, wurde die Wasserstoffströmungsrate auf vier Liter/Minute eingestellt.

**[0030]** Als Probe wurde ein p-leitendes SiC-Substrat vorbereitet, dessen Flächen- oder Ebenenaufrichtung die (0001)-Si-Fläche war und das mit Al bei einer Störstellenkonzentration von  $1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$  dotiert war. Dieses SiC-Substrat wurde einer thermischen Oxidation bei 1100°C während fünf Stunden ausgesetzt.

**[0031]** [Fig. 1](#) zeigt graphisch den Zusammenhang zwischen dem Wasserdampf-Partialdruck und der Dicke des  $\text{SiO}_2$ -Films. Auf der Abszisse ist der Wasserdampf-Partialdruck, d.h.  $p(\text{H}_2\text{O})/[p(\text{H}_2\text{O}) + p(\text{O}_2)]$  aufgetragen. Es wird angenommen, daß der gesamte Wasserstoff mit Sauerstoff reagiert, dessen Strömungsrate halb so groß wie die des Wasserstoffs ist, um Wasserdampf zu erzeugen, während der übrige Sauerstoff in gasförmigem Zustand bleibt. Die Dicke des  $\text{SiO}_2$ -Films wurde mit einem Ellipsometer gemessen.

**[0032]** Wie sich aus [Fig. 1](#) ergibt, zeigt die Dicke des  $\text{SiO}_2$ -Films eine Spitze bzw. ein Maximum bei einem Wasserdampf-Partialdruck von etwa 0,2. Bei der pyrogenen Oxidation, wo Wasserstoff und Sauerstoff eingeleitet werden, ist es zu gefährlich, den Wasserdampf-Partialdruck auf 1,0 einzustellen, d.h. eine ausschließlich aus Wasserdampf bestehende Atmosphäre zu erzeugen. Anhand der Ergebnisse gemäß [Fig. 1](#) in der Nähe des Partialdrucks von 1,0 kann angenommen werden, daß die Filmdicke etwa 25 nm betragen würde, wenn der Wasserdampf-Partialdruck auf 1,0 eingestellt würde. Es folgt, daß die Dicke des unter der Voraussetzung eines Wasserdampf-Partialdrucks von etwa 0,2 erzeugten Oxidfilms eineinhalbmal so groß wie die Dicke des Oxidfilms ist, die sich bei dem in dem Experiment erreichten maximalen Wasserdampf-Partialdruck von 0,95 ergab, und nahezu zweimal so groß ist wie diejenige, die sich in einer ausschließlich aus Wasserdampf bestehenden Atmosphäre ergeben würde. [Fig. 1](#) zeigt, daß, wenn der Wasserdampf-Partialdruck im Bereich von 0,1 bis 0,9 liegt, ein  $\text{SiO}_2$ -Film, der unter dieser Voraussetzung ausgebildet wird, eine Dicke aufweist, die um wenigstens 20% größer als die eines

$\text{SiO}_2$ -Films ist, welcher bei einem Partialdruck von 0,95 gebildet wird. Liegt der Wasserdampf-Partialdruck im Bereich von 0,1 bis 0,4, weist ein unter dieser Voraussetzung ausgebildeter  $\text{SiO}_2$ -Film sogar eine Dicke auf, die um wenigstens 50% größer als diejenige eines  $\text{SiO}_2$ -Films ist, der bei einem Partialdruck von 0,95 ausgebildet wird.

**[0033]** Was das oben beschriebene Phänomen an geht, daß die Dicke des  $\text{SiO}_2$ -Films, der auf  $\text{SiC}$  wächst, mit abnehmendem Wasserdampf-Partialdruck zunimmt, so sind der Mechanismus und die physikalische Bedeutung noch nicht bekannt und weiter Gegenstand der Forschung.

**[0034]** Die obigen experimentellen Ergebnisse haben noch eine andere Bedeutung. Herkömmlicherweise wurde ein  $\text{SiO}_2$ -Film dadurch auf  $\text{SiC}$  hergestellt, daß man Sauerstoffblasen in siedendem reinem Wasser verursacht hat und nassen Sauerstoff zur Ausführung der thermischen Oxidation in einen elektrischen Ofen eingeführt hat. Dieses herkömmliche Verfahren benötigt keine spezielle Ausrüstung und ist daher in großem Umfang als einfaches Oxidationsverfahren eingesetzt worden. Bei diesem einfachen Verfahren ist es jedoch schwierig, den Wasserdampf-Partialdruck zu steuern. Aufgrund der obigen experimentellen Ergebnisse ergeben sich daraus Schwierigkeiten der genauen Steuerung der Dicke des resultierenden  $\text{SiO}_2$ -Films. Wenn nämlich der Wasserdampf-Partialdruck verändert wird, ändert sich auch die Wachstumsgeschwindigkeit des  $\text{SiO}_2$ -Films mit der Folge von Schwankungen oder Variationen der Dicke des  $\text{SiO}_2$ -Films. Daraus ist verständlich, daß die Steuerung des Wasserdampf-Partialdrucks extrem wichtig zur Schaffung eines  $\text{SiO}_2$ -Films mit einer gleichförmigen Dicke ist, die präzise gesteuert wird.

## Experiment 2

**[0035]** [Fig. 2](#) zeigt graphisch den Zusammenhang zwischen der Oxidationszeit und der Dicke des  $\text{SiO}_2$ -Films mit dem Wasserdampf-Partialdruck als Parameter. Bei diesem Experiment erfolgte die Oxidation bei einer Temperatur von 1100°C. Auf der Abszisse in [Fig. 2](#) ist die Oxidationszeit aufgetragen, d.h. die Zeitdauer, während derer die Oxidation ausgeführt wurde.

**[0036]** Zur Schaffung eines  $\text{SiO}_2$ -Films mit einer Dicke von 50 nm muß beispielsweise die Oxidation für etwa zehn Stunden in einer Atmosphäre mit einem Wasserdampf-Partialdruck von 0,95 durchgeführt werden, wobei das Verhältnis der Strömungsrate von Wasserstoff zu derjenigen von Sauerstoff auf 1:0,55 eingestellt wird. Wenn das Verhältnis der Strömungsrate von Wasserstoff zu derjenigen von Sauerstoff auf 1:3,5 eingestellt wird, so daß der Wasserdampf-Partialdruck auf 0,25 gesenkt wird, wird zur

Ausbildung eines  $\text{SiO}_2$ -Films gleicher Dicke nur die Hälfte der oben genannten Oxidationszeit, nämlich etwa fünf Stunden, benötigt.

**[0037]** Gemäß [Fig. 2](#) zeigen die für beide Fälle erhaltenen experimentellen Werte einen im wesentlichen linearen Zusammenhang. Man kann daher annehmen, daß in einer anfänglichen Oxidationsphase die Filmdicke rasch auf etwa 15 nm ansteigt. Diese anfängliche Oxidationsphase scheint ähnlich der einer trockenen Oxidation ausgeführt an einem Siliciumsubstrat.

## Experiment 3

**[0038]** Der Erfinder hat festgestellt, daß die Grenzschichtzustandsdichte mit einer Zunahme des Verhältnisses der Wasserstoffströmungsrate zur Sauerstoffströmungsrate abnimmt. Daher ist es im Hinblick auf die Grenzschichtzustandsdichte ungünstig, einen  $\text{SiO}_2$ -Film unter der Bedingung eines geringen Wasserdampf-Partialdrucks auszubilden. Beispielsweise ist die Grenzschichtzustandsdichte eines  $\text{SiO}_2$ -Films, der bei einem Wasserdampf-Partialdruck von 0,2 ausgebildet wird, unmeßbar kleiner als der eines  $\text{SiO}_2$ -Films, der auf der C-Fläche des  $\text{SiC}$ -Substrats ausgebildet wird, aber wenigstens zweimal so groß wie der eines  $\text{SiO}_2$ -Films, der bei einem Wasserdampf-Partialdruck von 0,95 ausgebildet wird.

**[0039]** Bei diesem Experiment wurde nach Durchführung einer Oxidation während vier Stunden bei einem Wasserdampf-Partialdruck von 0,2 zur Ausbildung eines  $\text{SiO}_2$ -Films das  $\text{SiC}$ -Substrat für eine zusätzliche Stunde weiter oxidiert, wobei der Wasserdampf-Partialdruck auf 0,94 eingestellt wurde, um einen zusätzlichen  $\text{SiO}_2$ -Film zu bilden. Die Gesamtdicke der resultierenden  $\text{SiO}_2$ -Filme betrug 48 nm, was sehr viel mehr als die Dicke von 30 nm ist, die sich bei einer Oxidation für die Dauer von fünf Stunden bei einem Wasserdampf-Partialdruck von 0,95 ergibt. Die Grenzschichtzustandsdichte des resultierenden  $\text{SiO}_2$ -Films war äquivalent derjenigen des  $\text{SiO}_2$ -Films, der bei Einstellung des Wasserdampf-Partialdrucks auf 0,95 gebildet wird.

**[0040]** Auf diese Weise wird nach Ausbildung eines  $\text{SiO}_2$ -Films, der einen großen Anteil der endgültigen Dicke aufweist, unter der Bedingung eines relativ niedrigen Wasserdampf-Partialdrucks ein zusätzlicher  $\text{SiO}_2$ -Film mit der Restdicke unter einer Bedingung eines relativ hohen Wasserdampf-Partialdrucks ausgebildet, so daß der resultierende  $\text{SiO}_2$ -Film mit einer niedrigen Grenzschichtzustandsdichte in einer reduzierten Oxidationszeit ausgebildet werden kann.

**[0041]** Während bei den oben beschriebenen Experimenten das pyrogene Oxidationsverfahren eingesetzt wird, bei dem der Wasserdampf-Partialdruck leicht eingestellt werden kann, liegt die Erfindung in

der Einstellung des Wasserdampf-Partialdrucks in einer solchen Weise, daß eine gewünschte thermische Oxidation erreicht wird. Die Erfindung ist dabei nicht auf die pyrogene Oxidation beschränkt, solange der Wasserdampf-Partialdruck präzise gesteuert werden kann.

**[0042]** Wie oben beschrieben, wird bei dem Verfahren zur Ausbildung eines thermischen Oxidfilms eines Siliciumcarbidhalbleiters gemäß der vorliegenden Erfindung der Wasserdampf-Partialdruck in einer Mischung aus Wasserdampf und Sauerstoffgas auf einen Wert innerhalb des Bereichs von 0,1 bis 0,9 eingestellt, so daß der resultierende  $\text{SiO}_2$ -Film, der auf einer Si-Fläche des SiC-Substrats ausgebildet wird, um 10%- bis maximal 50% dicker ist als ein  $\text{SiO}_2$ -Film, der mit einem bekannten Verfahren unter einer Bedingung ausgebildet wird, von der angenommen wurde, daß sie die höchste Oxidationsgeschwindigkeit bietet. Andererseits kann die zur Ausbildung eines  $\text{SiO}_2$ -Films mit einer bestimmten Dicke erforderliche Oxidationszeit unter Gewährleistung einer ausreichend niedrigen Grenzschichtzustandsdichte verringert werden.

**[0043]**  $\text{SiO}_2$ -Filme sind wichtige Bestandteile, insbesondere von MOS-Halbleiterbauelementen. Gemäß der vorliegenden Erfindung können  $\text{SiO}_2$ -Filme mit niedriger Grenzschichtzustandsdichte in kurzer Oxidationszeit hergestellt werden, was bei der Herstellung von MOS-Halbleiterbauelementen mit SiC-Substraten besonders vorteilhaft ist.

### Patentansprüche

1. Verfahren zur Ausbildung eines thermischen Oxidfilms einer Siliciumcarbid-Halbleitervorrichtung, bei dem Wasserdampf und Sauerstoff zum Aufwachsen eines Siliciumdioxidfilms auf einer Oberfläche von erhitztem Siliciumcarbid eingeleitet werden und der Wasserdampf-Partialdruck auf einen Wert innerhalb des Bereichs von 0,1 bis 0,95 eingestellt wird, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Siliciumdioxifilm durch pyrogene Oxidation unter Einleitung von Wasserstoff und Sauerstoff ausgebildet wird, wobei das Verhältnis der Strömungsrate von Wasserstoff zu derjenigen von Sauerstoff auf einen Wert innerhalb des Bereichs von 1:0,55 bis 1:9,5 eingestellt wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Wasserdampf-Partialdruck dadurch auf einen Wert innerhalb des Bereichs von 0,1 bis 0,4 eingestellt wird, daß das Verhältnis der Strömungsrate von Wasserstoff zu derjenigen von Sauerstoff auf einen Wert innerhalb des Bereichs von 1:2 bis 1:9,5 eingestellt wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, gekennzeichnet durch die Schritte:  
Ausbilden eines ersten Teils des Siliciumdioxidfilms,

wobei der Wasserdampf-Partialdruck auf einen ersten Wert eingestellt ist, und  
Ausbilden eines zweiten Teils des Siliciumdioxidfilms auf dem ersten Teil, wobei der Wasserdampf-Partialdruck auf einen zweiten Wert eingestellt ist, der höher ist als der erste Wert.

4. Verfahren nach Anspruch 1, gekennzeichnet durch die Schritte:

Ausbilden eines ersten Teils des Siliciumdioxidfilms mit einer ersten Dicke, wobei das Verhältnis der Strömungsrate von Wasserstoff zu derjenigen von Sauerstoff auf etwa 1:4,5 eingestellt wird, und

Ausbilden eines zweiten Teils des Siliciumdioxidfilms mit einer zweiten Dicke, die kleiner ist als die erste Dicke, auf dem ersten Teil des Siliciumdioxidfilms, wobei das Verhältnis der Strömungsrate von Wasserstoff zu derjenigen von Sauerstoff auf etwa 1:0,55 eingestellt wird.

Es folgen 4 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

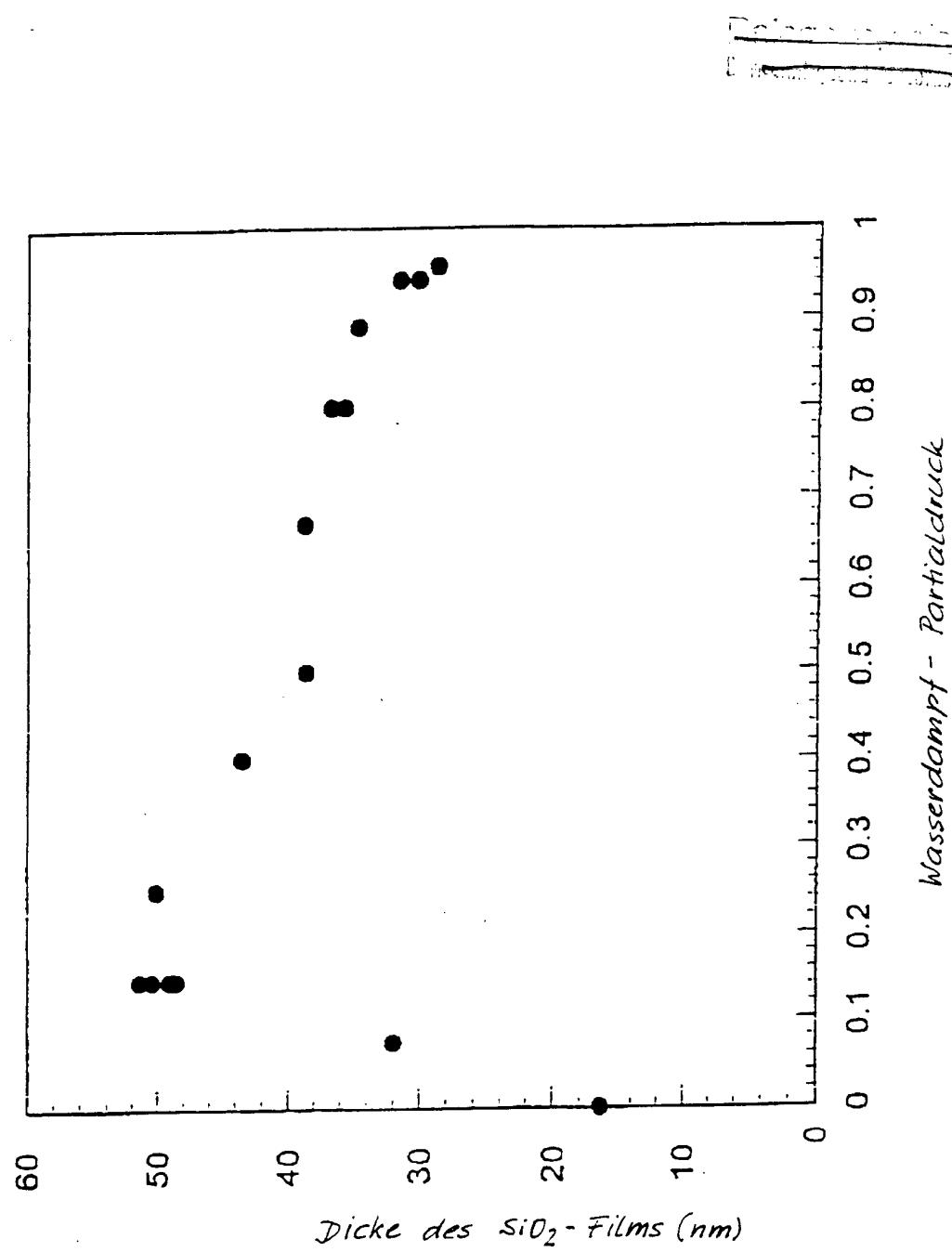


Fig. 1

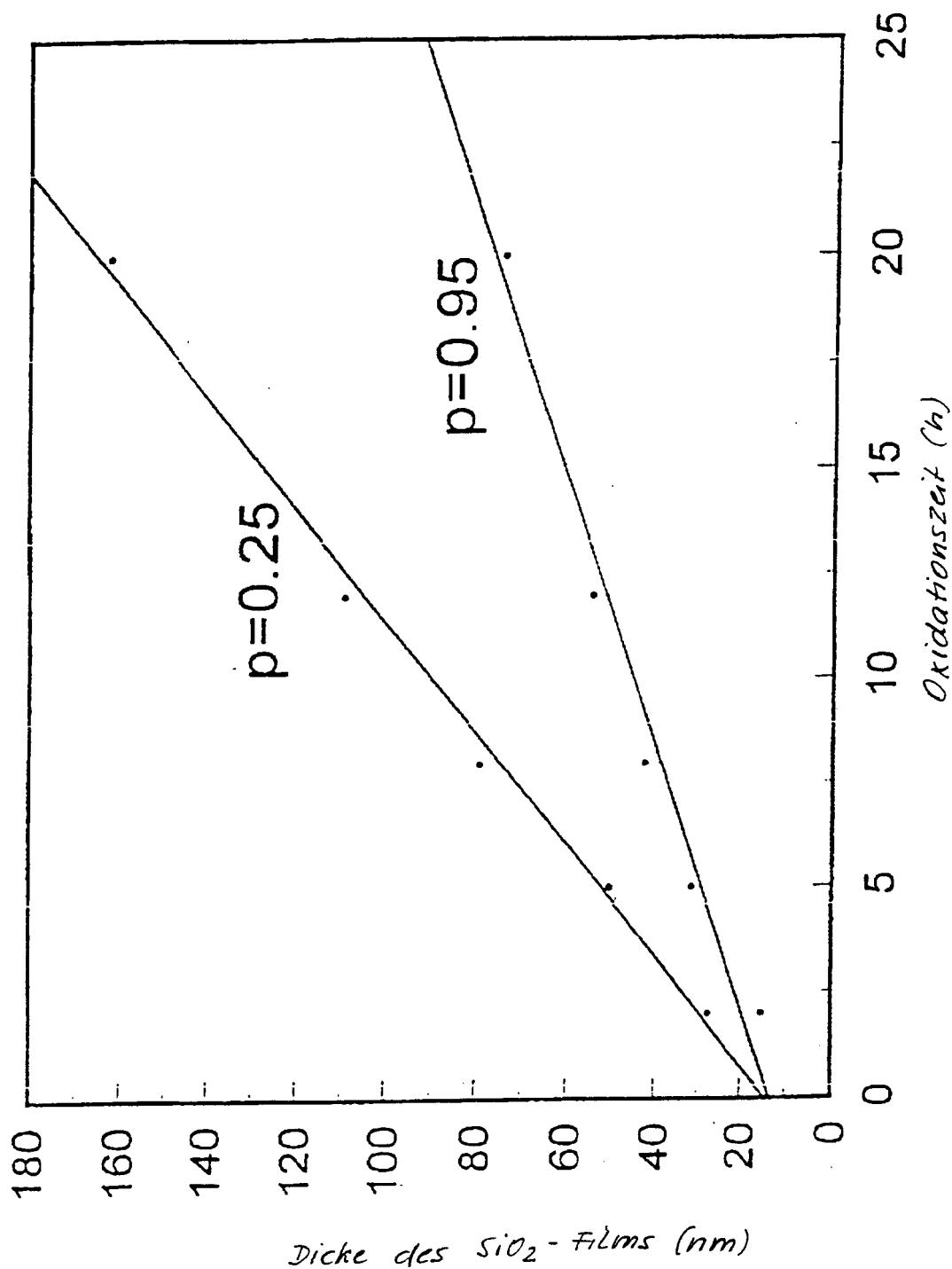


Fig. 2

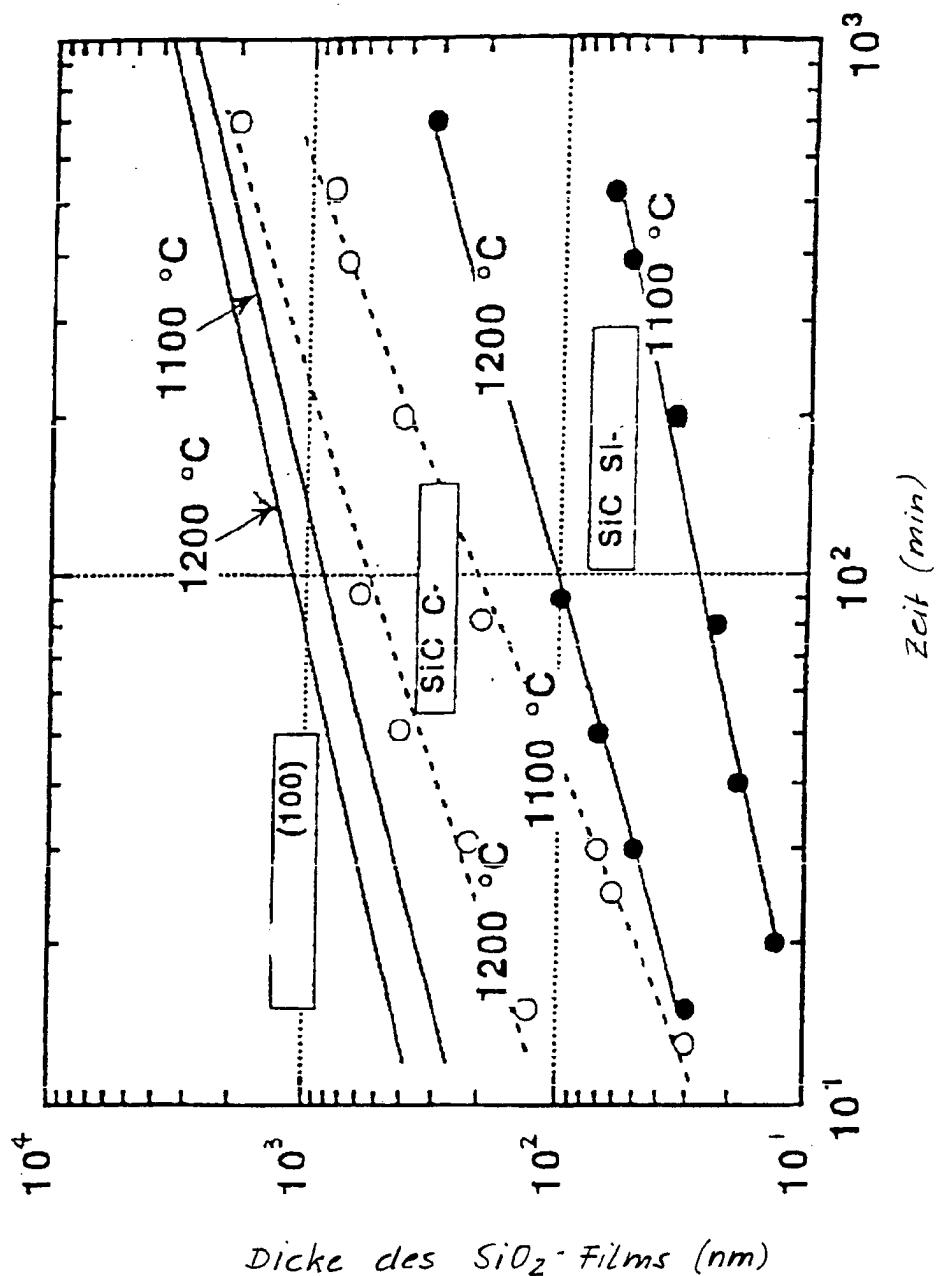


Fig. 3

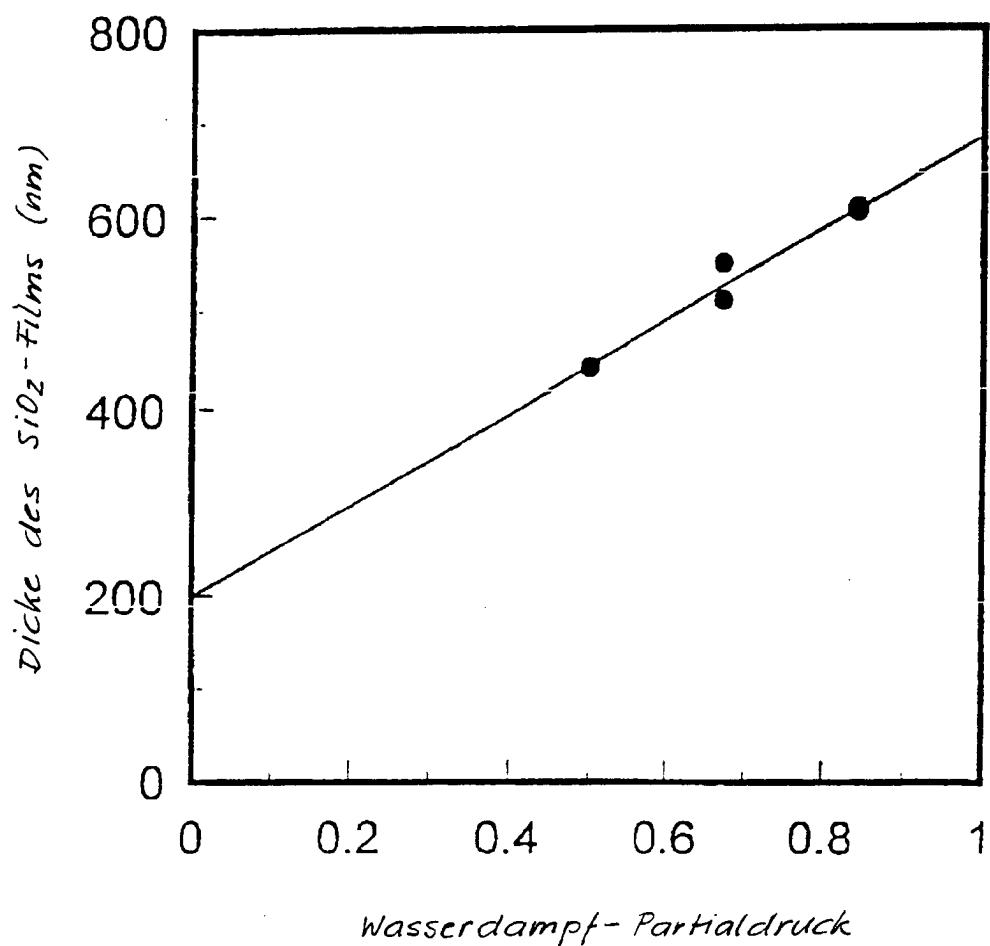


Fig. 4