

Beschreibung

Verfahren und Vorrichtung zum Abscheiden n-dotiertem SiC

Gebiet der Technik

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Abscheiden einer SiC-Schicht auf einem Substrat in einer Prozesskammer eines CVD-Reaktors, wobei Wände

5 der Prozesskammer mit einer Heizeinrichtung auf eine Prozesstemperatur aufgeheizt werden. Durch ein Gaseinlassorgan wird ein Prozessgasfluss in die Prozesskammer eingespeist. Der Prozessgasfluss durchströmt die Prozess-

10 kammer und überströmt die darin angeordneten Substrate in einer Horizontalrichtung. Der Prozessgasfluss enthält Wachstumsgasflüsse, die ein Silizium enthaltendes und ein Kohlenstoff enthaltendes reaktives Gas beinhalten. Der Prozessgasfluss enthält darüber hinaus Dotiergasflüsse, die gasförmige Dotier-

15 stoffträger enthalten. Die Kohlenstoff und Stickstoff enthaltenden reaktiven Gase zerlegen sich bei der Prozesstemperatur in der Prozesskammer beziehungsweise auf Oberflächen der aufgeheizten Wände der Prozesskammer sowie auf der Substratoberfläche. Die Zerlegungsprodukte der reaktiven Gase scheiden

20 sich als einkristalline Schicht auf dem Substrat ab. Ebenso zerlegen sich die Dotierstoffträger in der Prozesskammer beziehungsweise an Oberflächen der Wände der Prozesskammer oder auf der Substratoberfläche. Die Zerlegungsprodukte der Dotierstoffträger werden als Dotierstoff in die SiC-Schicht eingebaut. Bevorzugt führt der Dotierstoff zu einer n-dotierten Schicht. Der Dotierstoff ist bevorzugt Stickstoff.

Stand der Technik

[0002] Bei einem anderen Verfahren des Standes der Technik, das in der DE 10 2011 054 566 A1 beschrieben wird, nämlich beim Abscheiden von GaN-Schichten heizt sich das aus dem kalten Gaseinlassorgan austretende Prozess-

gas zunächst in einer Vorlaufzone auf. In dieser Phase findet parasitäres Wachstum auf der Oberfläche der Vorlaufzone statt. Während des Überströmens des Substrates vermindert sich die Konzentration beziehungsweise der Partialdruck der reaktiven Gase in dem durch die Prozesskammer strömenden Trägergasfluss. Dies führt zu einer in Strömungsrichtung des Prozessgases fortschreitenden Verarmung. Dies hat zur Folge, dass die Wachstumsrate der Schicht beziehungsweise der Transport des Dotierstoffs aus der Gasphase in Richtung auf die Substratoberfläche in Strömungsrichtung stetig abnimmt. Wird das Substrat während des Abscheidens um eine Vertikalachse gedreht, kann dieser Effekt kompensiert werden. Verläuft die Verarmungskurve oberhalb des Substrates auf einer in Strömungsrichtung abfallenden Geraden, so kann trotzdem eine Schicht mit einer homogenen Schichtdicke abgeschieden werden.

[0003] In der Realität verläuft die Verarmungskurve aber nicht auf einer idealen Geraden, sondern entlang einer gekrümmten Kurve. Die oben genannte DE 10 2011 054 566 A1 beschreibt ein Verfahren, bei dem verschiedene reaktive Gase durch ein im Zentrum der Prozesskammer angeordnetes Gaseinlassorgan durch vertikal übereinander angeordnete Gaseinlasszonen in die Prozesskammer eingespeist werden. Die Partialdrucke der verwendeten reaktiven Gase vermindern sich aufgrund des oben beschriebenen Verarmungseffektes entlang nicht geradlinig verlaufender Verarmungskurven. Durch eine geeignete Mischung der reaktiven Gase, die durch voneinander verschiedene Gaseinlasszonen strömen, kann ein laterales Profil der Schichtdicke beeinflusst werden.

[0004] Die US 2020/0043725 A1 beschreibt eine Vorrichtung und ein Verfahren zum Abscheiden von n-dotiertem SiC, wobei als Dotierstoff NH_3 und N_2 verwendet wird.

[0005] In der JP 2015-143168 A wird ein Verfahren beschrieben, bei dem ein Prozessgas, das eine Siliziumverbindung und eine Kohlenstoffverbindung sowie NH_3 enthält, in eine allseitig beheizte Prozesskammer eingespeist wird. Die Oberflächen der Wände der Prozesskammer sind mit SiC beschichtet. Auf einem sich um eine Drehachse drehenden Substrat wird mittels NH_3 als Dotierstoffträger n-dotiertes SiC abgeschieden. Der Partialdruck der Bestandteile des Prozessgases verringert sich stetig in Strömungsrichtung.

[0006] Aus der Veröffentlichung „Experimental Study of the Pyrolysis of NH_3 under Flow Reactor Conditions, Mario Benés, et al, 2021 American Chemical Society, p 7193“ ist es bekannt, dass sich bei hohen Temperaturen auf SiC-Oberflächen aus Ammoniak, Methan oder Ethan, Trichlorsilan und Wasserstoff Zwischenprodukte bilden, die Stickstoff enthalten, beispielsweise HCN oder Si_3N .

[0007] Die WO 2022/053963 A1 beschreibt ein ähnliches Verfahren zum Abscheiden von n-dotiertem SiC.

[0008] Die oben beschriebene Verarmung findet bei der Verwendung von N_2 als Dotierstoffträger nicht statt. N_2 reagiert allerdings katalytisch an der Oberfläche der Prozesskammer und insbesondere in der unmittelbaren Umgebung des Substrates beziehungsweise an der Oberfläche einer zwischen Gaseinlassorgan und Substrat liegenden Vorlaufzone. Hier kann sich HCN bilden. Die Menge des HCN, das zum Substrat gelangt, hängt im Wesentlichen mit der Geometrie der Vorlaufzone und insbesondere der dort angeordneten Abdeckplatte sowie deren Oberfläche ab. Als Folge dessen ist beim Abscheiden von stickstoffdotiertem SiC eine Überhöhung des Dotierstoffeinsatzes im Bereich des Randes des sich beim Abscheiden drehenden Substrates zu beobachten. Die Dotierstoffverteilung in der abgeschiedenen SiC-Schicht hängt somit von der

Konzentration von N_2 , HCN und dem Kohlenstoff enthaltenden reaktiven Gas in der Gasphase ab.

Zusammenfassung der Erfindung

[0009] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, die Dotierstoffhomogenität beim Abscheiden von n-dotiertem SiC zu verbessern und insbesondere in
5 einem CVD-Reaktor, bei dem ein Gaseinlassorgan von zu beschichtenden Substraten umgeben ist, die gleichzeitig mit einer SiC-Schicht beschichtet werden.

[0010] Die Aufgabe wird durch das in den Ansprüchen angegebene Verfahren beziehungsweise die beanspruchte Vorrichtung gelöst. Die Unteransprüche
10 stellen nicht nur vorteilhafte Weiterbildungen der in den nebengeordneten Ansprüchen angegebenen technischen Lehren dar, sondern sind auch eigenständige Lösungen der Aufgabe.

[0011] Zunächst und im Wesentlichen wird vorgeschlagen, den Prozessgasfluss auf mehrere vertikal übereinander angeordnete Gaseinlasszonen aufzutei-
15 len und die Paarung der verschiedenen Dotierstoffträger so zu wählen, dass der Dotierstoffträger des ersten Dotiergasflusses ein laterales Dotierungsprofil in einer SiC-Schicht erzeugt, das insbesondere am Rand des Substrates einen anderen Verlauf hat, als ein laterales Dotierungsprofil, das vom Dotierstoffträger des zweiten Dotiergasflusses in der SiC-Schicht erzeugt wird. So kann insbe-
20 sondere vorgesehen sein, dass das vom ersten Dotiergasfluss erzeugte laterale Dotierungsprofil eine zum Rand des Substrates hin abfallende Dotierstoffkonzentration aufweist und das zweite laterale Dotierungsprofil eine zum Rand des Substrates hin ansteigende Dotierstoffkonzentration aufweist. Durch geeignete Wahl der Dotiergasflüsse, also der Massenflüsse der Dotierstoffträger in
25 die Prozesskammer, kann ein überlagertes Dotierungsprofil erzeugt werden,

das sowohl vom ersten Dotierstoffträger als auch vom zweiten Dotierstoffträger erzeugt wird. Es bildet sich ein Summenprofil. Die Randüberhöhung, die von einem Dotiergasfluss erzeugt wird, kann durch eine Randverminderung des Summenprofils durch den anderen Dotiergasfluss kompensiert werden. Beispielsweise kann einer der Dotiergasflüsse ein auf einer durch eine diametrale Linie durch das Substrat gemessenes Dotierstoffprofil erzeugen, welches A-, U-, V- oder W-förmig ist. Der andere der Dotiergasflüsse kann ein diesem Dotierstoffprofil entgegengerichtetes Dotierstoffprofil erzeugen, welches beispielsweise die Form eines auf dem Kopf stehenden A, U, V oder W entspricht. Die unterschiedlichen Dotierstoffträger werden insbesondere durch voneinander verschiedene Gaseinlasszonen in die Prozesskammer eingespeist, wobei sich die Gaseinlasszonen auf unterschiedlichen vertikalen Niveaus befinden. Der Dotierstoffträger eines ersten Dotiergasflusses kann beispielsweise ein in der Mitte nach oben gekrümmtes Dotierungsprofil erzeugen. Der Dotierstoffträger eines zweiten Dotiergasflusses kann beispielsweise ein in der Mitte nach unten gekrümmtes Dotierungsprofil erzeugen. Durch eine geeignete Mischung der beiden Dotiergasflüsse kann ein effektives Dotierungsprofil eingestellt werden.

[0012] Die Dotierstoffträger sind bevorzugt Gase, die Stickstoff enthalten. Beispielsweise kann der erste Dotierstoffträger NH_3 und der zweite Dotierstoffträger N_2 sein. Es ist insbesondere bevorzugt, dass die Stickstoffatome in den Molekülen der Dotierstoffträger mit unterschiedlich starken Bindungskräften an die übrigen Atome der Moleküle gebunden sind. So kann vorgesehen sein, dass bei einem Dotierstoffträger der Stickstoff mit einer Einfachbindung an die übrigen Moleküle gebunden ist und bei einem anderen Dotierstoffträger der Stickstoff in einer Zweifach- oder Dreifachbindung an die übrigen Moleküle gebunden ist. Es ist insbesondere vorgesehen, dass die verwendeten Dotierstoffträger mit voneinander verschiedenen Reaktionsgeschwindigkeit an der Oberfläche des Substrates, an der Oberfläche der Vorlaufzone und/oder mit den Wachstumsgasen reagieren.

[0013] Es kann ferner vorgesehen sein, dass ein NH_3 enthaltender Dotiergasfluss nicht durch dieselbe Gaseinlasszone strömt, durch die ein Moleküle mit dem Element Chlor enthaltender Wachstumsgasfluss, beispielsweise Trichlorsilan, strömt. Ein anderer Wachstumsgasfluss kann Moleküle mit dem Element Kohlenstoff enthalten, beispielsweise Methan oder Ethen. Der Wachstumsgasfluss kann aber auch Dichlorsilan enthalten. In diesem Fall kann zusätzlich HCl in die Prozesskammer eingespeist werden.

[0014] Als Dotierstoffträger kommen insbesondere die folgenden Stickstoffverbindungen in Betracht: N_2 , NH_3 , HCN , Pyridin ($\text{C}_5\text{H}_5\text{N}$), Hydrazin (N_2H_4), Dimethylhydrazin ($\text{C}_2\text{H}_8\text{N}_2$) oder unsymmetrisches Dimethylhydrazin.

[0015] Gemäß einer bevorzugten Variante des Verfahrens enthält der durch zumindest drei vertikal übereinander angeordnete Gaseinlasszonen in die Prozesskammer eingespeiste Prozessgasfluss zwei voneinander verschiedene Dotiergasflüsse, die durch unterschiedliche Gaseinlasszonen eingespeist werden.

Die Dotiergasflüsse können jeweils zusammen mit einem Wachstumsgasfluss, also einem Moleküle mit dem Element Kohlenstoff enthaltenden oder einem Moleküle mit dem Element Silizium enthaltenden Gas durch dieselbe Gaseinlasszone in die Prozesskammer eingespeist werden. Es sind insbesondere genau drei vertikal übereinander angeordnete Gaseinlasszonen vorgesehen, nämlich eine zuoberst angeordnete, eine zuunterst angeordnete und eine in der Mitte angeordnete Gaseinlasszone. Es können aber auch weitere Gaseinlasszonen vorgesehen sein.

[0016] Gemäß einer Variante der Erfindung wird ein erster Dotiergasfluss durch eine zuoberst angeordnete Gaseinlasszone und ein zweiter Dotiergasfluss in eine tiefer liegende Gaseinlasszone eingespeist. Eine weitere Variante sieht vor, dass der erste Dotiergasfluss zusammen mit einem ersten Wachs-

tumsgasfluss durch dieselbe Gaseinlasszone fließt. Dabei kann vorgesehen sein, dass NH_3 zusammen mit C_2H_4 durch dieselbe Gaseinlasszone fließt. In einer weiteren Variation kann vorgesehen sein, dass der zweite Dotiergasfluss, also beispielsweise N_2 , zusammen mit einem zweiten Wachstumsgasfluss, beispielsweise einem Moleküle mit dem Element Silizium enthaltenden Wachstumsgasfluss, beispielsweise HCl_3Si , in die Prozesskammer eingespeist wird. Eine weitere Variante sieht vor, dass durch eine zuunterst angeordnete Gaseinlasszone ein dritter Wachstumsgasfluss fließt, der insbesondere Moleküle mit dem Element Kohlenstoff enthält. Es kann vorgesehen sein, dass durch alle Gaseinlasszonen ein Moleküle mit dem Element Kohlenstoff enthaltender Wachstumsgasfluss fließt und nur durch eine mittlere Gaseinlasszone ein Moleküle mit dem Element Silizium enthaltender und insbesondere ein Moleküle mit dem Element Chlor enthaltender Wachstumsgasfluss fließt. Es kann auch vorgesehen sein, dass durch die zuunterst liegende Gaseinlasszone oder dass durch die zuoberst liegende Gaseinlasszone kein Dotiergasfluss fließt. Es kann auch vorgesehen sein, dass sich die Dotierstoffträger der verschiedenen Dotiergasflüsse nicht unterscheiden. In diesem Falle werden die verschiedenen Dotiergasflüsse durch voneinander verschiedene Gaseinlasszonen eingespeist. Die vertikale Höhe der Gaseinlasszone beeinflusst die Form des Dotierungsprofils, sodass allein durch die Wahl der Gaseinlasszone das Dotierungsprofil beeinflusst werden kann. Hierbei ist insbesondere vorgesehen, dass die beiden Dotiergasflüsse durch die am weitesten vertikal voneinander entfernten Gaseinlasszonen in die Prozesskammer eingespeist werden, beispielsweise kann durch eine zuoberst angeordnete Gaseinlasszone NH_3 und eine zuunterst angeordnete Gaseinlasszone ebenfalls NH_3 in die Prozesskammer eingespeist werden. Durch die dazwischen liegenden Gaseinlasszonen fließt bevorzugt kein Dotiergasfluss.

[0017] Die erfindungsgemäße Vorrichtung besitzt einen CVD-Reaktor und eine Gasmischeinrichtung sowie eine Steuereinrichtung. Die Gasmischeinrichtung besitzt Vorratsbehälter für die reaktiven Gase, die Silizium und Kohlen-

- stoff enthalten. Sie besitzt ferner Vorratsbehälter für den zumindest einen Dotierstoffträger, bevorzugt aber Vorratsbehälter für mindestens zwei Dotierstoffträger. Die Gasmischeinrichtung besitzt darüber hinaus Massenflusscontroller und Ventile, um die reaktiven Gase und die Dotierstoffträger in geeigneter
- 5 Weise als Wachstumsgasflüsse und Dotiergasflüsse auf die vertikal übereinander angeordneten Gaseinlasszonen des Gaseinlassorgans aufzuteilen. Die Massenflusscontroller und die Ventile werden von der Steuereinrichtung nach einem Steuerprogramm gesteuert. Die reaktiven Gase werden zusammen mit H_2 in die Gaseinlasszonen eingespeist.
- 10 [0018] Der CVD-Reaktor besitzt ein Gaseinlassorgan. Letzteres ist im Zentrum einer Prozesskammer angeordnet. Das Gaseinlassorgan ist von einem Suszeptor umgeben, der auf einer Kreisbogenlinie um das Zentrum des Gaseinlassorgans angeordnete Substratträger aufweist. Die Substratträger können kreisscheibenförmige Körper sein, die jeweils in einer Tasche einer nach oben weisenden
- 15 Oberfläche des Suszeptors einliegen. In den Boden der Taschen mündet jeweils eine Gaszuleitung, durch die ein Spülgas in die Tasche eingespeist wird, sodass der Substratträger angehoben, auf einem Gaskissen schwebend gedreht wird. Auf dem Substratträger kann zumindest ein Substrat angeordnet sein, das während des Abscheidens der SiC-Schicht um eine Vertikalachse gedreht wird. Der
- 20 Suszeptor kann sich um eine zentrale Achse drehen. Der Suszeptor und eine dem Suszeptor gegenüberliegende Prozesskammerdecke können aus Graphit gefertigt sein. Die Oberfläche dieser Graphitteile ist beschichtet und insbesondere mit SiC oder TaC beschichtet. Das Gaseinlassorgan kann ebenfalls aus Graphit gefertigt sein. Bevorzugt ist das Gaseinlassorgan aber aus Quarz, Stahl
- 25 (Edelstahl) oder einem keramischen Material gefertigt. Die Oberfläche des Suszeptors kann auch mit Abdeckplatten belegt sein, die aus Graphit, insbesondere mit SiC oder TaC beschichtetem Graphit oder aus SiC oder TaC bestehen. Die Substratträger können aus demselben beschichteten oder unbeschichteten Gra-

phit-Material bestehen. Die Prozesskammerdecke kann von einem Träger getragen werden. Dieser kann aus einem anderen Werkstoff bestehen.

- [0019] Im Folgenden wird ein Verfahren zur Ermittlung von Massenflusswerten der Dotiergasflüsse beschrieben, mit denen sich ein möglichst flaches laterales Profil der Dotierstoffkonzentration in einer Schicht erzeugen lässt. Hierzu wird vorgeschlagen, dass in einer Prozesskammer des CVD-Reaktors auf einem Substrat eine erste Schicht abgeschieden wird. Bei dem Abscheiden der ersten Schicht wird zusätzlich zu den Wachstumsgasflüssen nur einer der Dotiergasflüsse, beispielsweise NH_3 in die Prozesskammer eingespeist. Es kann vorgesehen sein, dass in diesem Prozessschritt eine Optimierung vorgenommen wird derart, dass der Massenfluss des ersten Dotiergasflusses bzw. die Massenflüsse der Wachstumsgasflüsse variiert werden. Die Variierung erfolgt mit dem Ziel, in der Schicht ein laterales Profil der Dotierstoffkonzentration zu erzeugen, das möglichst flach verläuft.
- 15 [0020] Ein Kriterium für ein möglichst flach verlaufendes laterales Profil kann beispielsweise die Summe der Abstandskquadrate von Differenzen von an verschiedenen Radialpositionen gemessenen Dotierstoffkonzentrationen von einem Mittelwert sein. Diese Summe soll ein Minimum besitzen.
- 20 [0021] In einem darauf folgenden Schritt wird ein zweites laterales Profil ermittelt. Auf einem Substrat wird in der Prozesskammer eine zweite Schicht abgeschieden. Dabei werden wiederum vorgegebene Wachstumsgasflüsse in die Prozesskammer eingespeist. Bevorzugt handelt es sich dabei um dieselben Wachstumsgasflüsse, die auch im ersten Schritt verwendet werden, insbesondere um die Wachstumsgasflüsse, die sich durch die Optimierung des ersten
- 25 lateralen Profils ergeben haben. Im zweiten Schritt wird allerdings ein anderer

Dotiergasflusses in die Prozesskammer eingespeist, nämlich insbesondere der zweite Dotiergasfluss.

- [0022] An den beiden Schichten, die auf zwei voneinander verschiedenen Substraten abgeschieden worden sind, werden dann Messungen der Dotierstoffkonzentration innerhalb der Schichten vorgenommen. Es werden an von-
- 5 einander verschiedenen radialen Positionen Messwerte gewonnen. Es können auf einer Kreisbogenlinie um das Zentrum des Substrates verschiedene Messungen vorgenommen werden. Aus diesen Messungen kann ein Mittelwert gebildet werden.
- 10 [0023] Aus den Messwerten, insbesondere den jeweiligen Mittelwerten von Dotierstoffkonzentrationen an verschiedenen Radialpositionen werden dann Effizienzwerte E1, E2 wie folgt berechnet:

$$E1(R) = n1(R) / D1; E2(R) = n2(R) / D2$$

- wobei n1(R) und n2(R) jeweils eine Dotierstoffkonzentration an einer Radialpo-
- 15 sition R ist.

[0024] Mithilfe der Effizienzwerte E1, E2 kann dann eine Optimierung vorgenommen werden, in dem die erwartete Dotierstoffkonzentration n(R) in einer Schicht berechnet wird, wenn alle Dotiergasflüsse verwendet werden

$$n(R) = (E1'/D1') + (E2'/D2')$$

- 20 wobei D1', D2' zu optimierende Dotiergasflüsse sind. Bei der Optimierung werden die Dotiergasflüsse D1', D2' derart variiert, dass sich ein möglichst flaches drittes laterales Profil der Dotierung ausbildet.

Kurze Beschreibung der Zeichnungen

[0025] Im Folgenden wird die Erfindung anhand von Ausführungsbeispielen näher erläutert. Es zeigen:

- Fig. 1 schematisch in der Art eines Halbschnitts gemäß der Linie I-I in
Figur 2 einen CVD-Reaktor 1,
- 5 Fig. 2 den Schnitt gemäß der Linie II in Figur 1,
- Fig. 3 schematisch eine Vorrichtung zum Abscheiden von SiC-
Schichten mit einem Gasmischsystem und einem CVD-Reaktor,
- Fig. 4 ein Diagramm, welches oben zwei Dotierstoffprofile durch eine
SiC-Schicht und unten jeweils zwei Dotierstoffprofile zeigt, die
10 von unterschiedlichen Dotierstoffträgern erzeugt werden,
- Fig. 5 eine schematische Darstellung eines zweiten Ausführungsbei-
spiels hinsichtlich der Zusammensetzung und Aufteilung des
Prozessgasflusses,
- Fig. 6 eine Darstellung gemäß Figur 5 eines dritten Ausführungsbei-
15 spiels,
- Fig. 7 eine Darstellung gemäß Figur 5 eines vierten Ausführungsbei-
spiels,
- Fig. 8 eine Darstellung gemäß Figur 5 eines fünften Ausführungsbei-
spiels,

Fig. 9 eine Darstellung gemäß Figur 5 eine sechsten Ausführungsbeispiels, und

Fig. 10 eine Darstellung von durch Experimente ermittelten lateralen Dotierstoffprofilen a, b und einem berechneten Dotierstoffprofil.

Beschreibung der Ausführungsformen

[0026] Die Figuren 1 und 2 zeigen schematisch den Aufbau eines CVD-Reaktors 1. In einem Gehäuse des CVD-Reaktors 1, das aus Edelstahl bestehen kann, befindet sich ein Suszeptor 10, der aus Graphit bestehen kann und dessen Oberfläche mit SiC beschichtet sein kann. Der Suszeptor kann um eine zentrale Achse drehangetrieben werden. Der Suszeptor besitzt die in der Figur 2 dargestellte Kreisscheibenform.

[0027] Oberhalb des Suszeptors 10 befindet sich eine Prozesskammer 2, die nach oben hin von einer Prozesskammerdecke begrenzt wird. Die Prozesskammerdecke wird von einer Deckenplatte 19 gebildet, die sich auf einem Halteelement 18 abstützen kann. Die Deckenplatte 19 kann sich auch auf einem um den Suszeptor 10 herum angeordneten Gasauslassorgan 9 abstützen. Die Deckenplatte 19 kann aus mit SiC beschichtetem Graphit bestehen. Das Gasauslassorgan 9 kann ebenfalls aus diesem Material bestehen. Es kann aber auch aus einem keramischen Material gefertigt sein.

[0028] Der Suszeptor 10 ist mit Abdeckplatten 15, 16 belegt, die ebenfalls aus SiC-beschichtetem Graphit bestehen können. Sie können aber auch aus SiC bestehen. Es bilden sich Taschen 17 aus, die einen Taschenboden aufweisen, in den eine Gaszuleitung 13 mündet. Mit dem aus der Gaszuleitung 13 strömenden Spülgas, beispielsweise Wasserstoff, kann ein sich drehendes Gaskissen

erzeugt werden, das einen Substrathalter 11, der ebenfalls aus SiC-beschichtetem oder unbeschichtetem Graphit bestehen kann, in einer Schwebe hält und den Substrathalter 11 um eine Drehachse drehantreibt.

[0029] Unterhalb des Suszeptors 10 ist eine Heizeinrichtung 14 vorgesehen, bei der es sich um eine RF-Heizung handeln kann, mit der der Suszeptor 10 beheizt wird. Es kann darüber hinaus eine nicht dargestellte weitere Heizeinrichtung vorgesehen sein, um die Prozesskammerdecke, also die Deckenplatte 19, aufzuheizen, sodass die Prozesskammer 2 von allen Seiten beheizt wird. Bevorzugt wird die Deckenplatte 19 aber nicht aktiv beheizt. Die Deckenplatte 19 wird passiv über Wärmestrahlung vom Suszeptor 10 beziehungsweise von den Abdeckplatten 15, 16 beheizt, sodass die Oberflächentemperatur der Deckenplatte 19 wesentlich niedriger ist, als die Oberflächentemperatur der Abdeckplatten 15, 16. Dies hat zur Folge, dass an der Deckenplatte 19 andere Oberflächenreaktionen stattfinden als auf den Abdeckplatten 15, 16 beziehungsweise auf den Suszeptor 10. Die eingangs erwähnten, bei der Zerlegung von NH_3 oder N_2 entstehenden Zwischenprodukte können somit in einem verminderten Umfang im oberen Bereich der Prozesskammer 2 entstehen. Dies kann auch das Dotierungsprofil beeinflussen.

[0030] In der Mitte der Prozesskammer 2 befindet sich ein Gaseinlassorgan 3, welches aus einem keramischen Material, aus Edelstahl, aus Quarz oder aus einem SiC-beschichtetem Graphit bestehen kann. Das Gaseinlassorgan 3 bildet drei (siehe Figur 3) übereinander angeordnete Gaseinlasszonen 4, 5, 6 aus, die jeweils mit einer Zuleitung 24, 25, 26 verbunden sind, durch die jeweils Teile eines Prozessgasflusses in die jeweilige Gaseinlasszone 4, 5, 6 eingespeist werden können. Der Prozessgasfluss wird in einem Gasmischsystem bereitgestellt, das eine Gasquelle 27 für Stickstoff, eine Gasquelle 28 für Ammoniak, eine Gas-

quelle 29 für Trichlorsilan und eine Gasquelle 30 für Ethen (C_2H_4) besitzt. Es kann auch eine Gasquelle für HCl vorgesehen sein.

[0031] In einem nicht dargestellten Ausführungsbeispiel besitzt das Gaseinlassorgan 3 beispielsweise vier oder fünf oder mehr übereinander angeordnete
5 Gaseinlasszonen.

[0032] Jede der Gasquellen 27 bis 30 ist mit Ventilen 22 und Massenflusscontrollern 21 mit zumindest einer der Zuleitungen 24, 25, 26 verbunden. Die Massenflusscontroller 21 und die Ventile 20 werden nach einem Programm der Steuereinrichtung 20 gesteuert.

10 [0033] Mit dem Gasmischsystem werden zumindest zwei Dotiergasflüsse D1, D2 bereitgestellt, die jeweils einen Dotierstoffträger aufweisen, beispielsweise N_2 oder NH_3 oder eine der oben genannten weiterhin verwendbaren Stickstoffverbindungen. Mit dem Gasmischsystem werden darüber hinaus zumindest
15 Wachstumsgasflüsse Q1, Q2 bereitgestellt, bevorzugt aber mehrere Wachstumsgasflüsse Q1, Q2, Q3, Q4, Q5. Die Wachstumsgasflüsse enthalten Kohlenstoff und Silizium. Eines dieser Gase kann auch Chlor enthalten, beispielsweise Trichlorsilizium, Dichlorsilizium oder HCl.

[0034] Die Dotiergasflüsse D1, D2 und gegebenenfalls D3 oder D4 werden durch die voneinander verschiedenen und vertikal übereinander angeordneten
20 Gaseinlasszonen 4, 5, 6 zusammen mit den mehreren Wachstumsgasflüsse Q1 bis Q5 in die Prozesskammer 2 eingespeist. Der sich derart zusammensetzende Prozessgasfluss durchströmt zunächst eine Vorlaufzone 7 der Prozesskammer 2, die von der Heizeinrichtung 14 oder einer weiteren, oben angeordneten und nicht dargestellten Heizeinrichtung beheizt wird. In dieser Vorlaufzone 7 wird

das Prozessgas, das insbesondere Wasserstoff als Trägergas beinhalten kann, auf eine Prozesstemperatur aufgeheizt.

[0035] Zum Ende der Vorlaufzone 7 erreichen die Dotiergasflüsse D1, D2, D3, D4 und die Wachstumsgasflüsse Q1 bis Q5 eine Temperatur, bei der sich die Bestandteile der Dotiergasflüsse und der Wachstumsgasflüsse zerlegen beziehungsweise miteinander reagieren können. Die Bestandteile der Dotiergasflüsse und der Wachstumsgasflüsse können darüber hinaus katalytisch an den Oberflächen der Abdeckplatten 15 oder der Deckenplatte 19 reagieren. Dabei bilden sich Zwischenprodukte und insbesondere Zerlegungsprodukte. Die Zwischen- oder Zerlegungsprodukte und gegebenenfalls unzerlegte Dotierstoffträger (beispielsweise N_2) wandern aus der Gasphase oberhalb des Substrathalters 11 in einer Depositionszone 8 in Richtung der Oberfläche eines auf dem Substrathalter 11 aufliegenden, drehenden Substrates 12. Dies erfolgt im Wesentlichen durch Diffusion aufgrund einer durch die Kondensation beziehungsweise Konsumption der Zwischen- oder Zerlegungsprodukte auf der Substratoberfläche 12 verursachten Verarmung der Gasphase.

[0036] Wegen dieses Konsums des Si, C und N an der Oberfläche des Substrates 12 beziehungsweise der dort abgeschiedenen n-dotierten SiC-Schicht vermindert sich der Partialdruck des Wachstumsgases und des Dotierstoffträgers in der Gasphase oberhalb des Substrates 12. Die Figur 1 zeigt schematisch zwei Dotierungsprofile a und b, die über einen Durchmesser des Substrates 2 gemessen werden. Die als gekrümmte Linien dargestellten linearen Dotierungsprofile a und b sind rotationssymmetrisch und stellen einen Schnitt durch das laterale Dotierungsprofil in der auf dem Substrat 12 abgeschiedenen Schicht dar.

[0037] Das Dotierungsprofil a wird in einer auf dem Substrat 11 abgeschiedenen SiC-Schicht erzeugt, wenn das Substrat 11 während des Abscheidens ge-

- dreht wird und nur der erste Dotiergasfluss D1 durch die Gaseinlasszone 6 in die Prozesskammer 2 eingespeist wird. Das Dotierstoffprofil b wird in einer auf dem Substrat 11 abgeschiedenen SiC-Schicht erzeugt, wenn das Substrat 11 während des Abscheidens gedreht wird und nur der zweite Dotiergasflusses
- 5 D2 durch die Gaseinlasszone 5 in die Prozesskammer 2 eingespeist wird.

- [0038] Beim Ausführungsbeispiel ist der Dotierstoffträger des ersten Dotiergasflusses D1 NH_3 und der Dotierstoffträger des zweiten Dotiergasflusses D2 N_2 . Es ist ersichtlich, dass die beiden Dotierungsprofile nicht geradlinig verlaufen, sondern gekrümmt sind. Die Auswahl der Dotierstoffträger beziehungsweise die Auswahl der Gaseinlasszonen 4, 5, 6, durch die der jeweilige Dotiergasfluss D1, D2 strömt, erfolgt derart, dass sich zwei Dotierungsprofile a, b ausbilden, die in entgegengesetzter Richtung gekrümmt sind. Beispielsweise ist im Ausführungsbeispiel das Dotierungsprofil a nach oben hin und das Dotierungsprofil b nach unten hin gekrümmt. Durch eine Variation der Massenflüsse
- 10 der beiden Dotiergasflüsse D1, D2 kann ein Dotierungsprofil eingestellt werden, das nahezu geradlinig verläuft. Ein geradlinig verlaufendes Dotierungsprofil hat bei einem drehangetriebenen Substrat 12 die Folge, dass sich eine nahezu homogene Dotierstoffverteilung in der auf dem Substrat 12 abgeschiedenen SiC-Schicht ausbildet.

- 20 [0039] Die Wahl der Dotierstoffträger und die Wahl der Gaseinlasszonen 4, 5, 6, durch die die Dotierstoffträger in die Prozesskammer eingespeist werden, kann so vorgenommen werden, dass das inhomogene rotationssymmetrische Dotierungsprofil, welches durch einen Dotierstoffträger erzeugt wird, durch das ebenfalls inhomogene rotationssymmetrische Dotierungsprofil, welches
- 25 durch einen anderen Dotierstoffträger erzeugt wird, in Richtung eines homogenen rotationssymmetrischen Summenprofils kompensiert wird. Ein Dotie-

rungsprofil kann beispielsweise U-förmig sein. Das andere Dotierungsprofil kann die Form eines invertierten U sein.

[0040] Bei dem in der Figur 1 dargestellten ersten Ausführungsbeispiel wird in die zuunterst angeordnete Gaseinlasszonen 4 Wasserstoff und ein vierter Wachstumsgasfluss Q4 eingespeist, welcher C_2H_4 ist. Der Massenfluss des vierten Wachstumsgasflusses Q4 entspricht etwa 10% der Summe aller Kohlenstoff enthaltenden Wachstumsgasflüsse $Q1 + Q3 + Q4$. In der mittleren Gaseinlasszone 5 wird zusätzlich zu Wasserstoff ein dritter Wachstumsgasfluss Q3 eingespeist, der C_2H_4 enthält und ein zweiter Wachstumsgasfluss Q2, der HCl_3SI enthält. Der dritte Wachstumsgasfluss Q3 enthält etwa 80% der Summe aller Kohlenstoff enthaltenden Wachstumsgasflüsse. Zusätzlich wird durch die mittlere Gaseinlasszone 5 ein zweiter Dotiergasfluss D2 eingespeist, der Stickstoff ist. Durch die zuoberst liegende Gaseinlasszone 6 wird Stickstoff sowie ein erster Wachstumsgasfluss Q1, der C_2H_4 enthält, eingespeist. Der Massenfluss dieses Wachstumsgasflusses Q1 entspricht etwa 10% der Summe aller Kohlenstoff enthaltenden Wachstumsgasflüsse. Zusätzlich wird durch die zuoberst angeordnete Gaseinlasszone 6 auch ein erster Dotiergasfluss D1 eingespeist, der NH_3 enthält.

[0041] Die Figur 4 beschreibt den Effekt, den die Einspeisung verschiedener Dotiergasflüsse D1, D2 durch auf verschiedenen Niveaus angeordneten Gaseinlasszonen 5, 6 auf die Dotierstoffverteilung innerhalb der abgeschiedenen Schicht hat. Die oberen als offene und als geschlossene Dreiecke dargestellte Kurve c zeigt einen Schnitt durch den Mittelpunkt einer auf dem Substrat 12 abgeschiedenen Schicht und die Dotierstoffverteilung in der Schicht, die nahezu gleichmäßig verläuft. Lediglich im randnahen Bereich der Schicht des kreis-scheibenförmigen Substrates 12 ist eine geringfügige Verminderung der Dotierstoffkonzentration zu beobachten.

- [0042] Die beiden unteren Kurven a, b zeigen den Dotierstoffeinbau, den nur eines der beiden voneinander verschiedenen Dotierstoffträger erzeugen würde. Mit den offenen und geschlossenen Quadraten (Kurve b) ist der Dotierstoffeinbau dargestellt, den nur N₂ bewirken würde. Bei der Verwendung von ausschließlich N₂ als Dotierstoffträger wird eine starke Randüberhöhung des Dotierstoffeinbaus beobachtet. Mit den offenen und geschlossenen Kreisen (Kurve a) ist der Dotierstoffeinbau dargestellt, den nur NH₃ bewirken würde. Bei der Verwendung von ausschließlich NH₃ als Dotierstoffträger wird eine starke Mittenüberhöhung des Dotierstoffeinbaus beobachtet. Durch eine geeignete Wahl des Verhältnisses der Massenflüsse von N₂ und NH₃ beziehungsweise durch eine geeignete Wahl der vertikalen Höhenlage der Gaseinlasszonen, durch die die voneinander verschiedenen Dotierstoffträger in die Prozesskammer eingespeist werden, kann ein Dotierungsprofile erzeugt werden, die zu einer Kompensation der Mittenüberhöhung beziehungsweise Randüberhöhung führt.
- 15 [0043] Bei dem in der Figur 5 dargestellten Ausführungsbeispiel wird anders als bei dem in der Figur 1 dargestellten Ausführungsbeispiel zusätzlich durch die zuunterst angeordnete Gaseinlasszone 4 ein dritter Dotiergasflusses D3 eingespeist, bei dem es sich um NH₃ handelt.
- 20 [0044] Bei dem in der Figur 6 dargestellten Ausführungsbeispiel wird durch die zuoberst angeordnete Gaseinlasszone 6 kein Dotiergasfluss in die Prozesskammer 2 eingespeist. Hier wird nur durch die zuunterst liegende Gaseinlasszone 4 ein erster Dotiergasfluss D1 (NH₃) und durch die mittlere beziehungsweise unmittelbar darüber liegende Gaseinlasszone ein zweiter Dotiergasfluss D2 (N₂) eingespeist.
- 25 [0045] Bei dem in der Figur 7 dargestellten Ausführungsbeispiel werden zwei Dotiergasflüsse D1 und D2 in die Prozesskammer 2 eingespeist, die jeweils als

Dotierstoffträger NH_3 aufweisen. Die beiden Dotiergasflüsse D1 und D2 werden durch die zuunterst liegende Gaseinlasszone 4 beziehungsweise durch die zuoberst liegende Gaseinlasszone 6 in die Prozesskammer 2 eingespeist. Allein durch die Wahl der vertikal voneinander verschiedenen beziehungsweise beab-

5 standeten Gaseinlasszonen 4, 6 kann hier die Form des Verlaufs der Verarmungskurven a, b eingestellt werden.

[0046] Bei dem in der Figur 8 dargestellten Ausführungsbeispiel werden zwei Dotiergasflüsse D1, D2 gleichzeitig durch die oberste Gaseinlasszone 6 in die Prozesskammer 2 eingespeist. Bei diesem Ausführungsbeispiel werden N_2 und

10 NH_3 durch dieselbe Gaseinlasszone 6 in die Prozesskammer 2 eingespeist. Es kann vorgesehen sein, dass ausschließlich durch die oberste Gaseinlasszone 6 die Dotiergasflüsse D1, D2 in die Prozesskammer eingespeist werden und durch die übrigen Gaseinlasszonen 5, 4 keine Dotiergasflüsse, sondern allenfalls ein Trägergas beziehungsweise Wachstumsgasflüsse. Es ist insbesondere vor-

15 gesehen, dass durch eine Gaseinlasszone 6 ein Gasgemisch, das zwei voneinander verschiedene Dotierstoffträger aufweist, fließt, wobei das Gasgemisch aus NH_3 und N_2 besteht.

[0047] Bei dem in der Figur 9 dargestellten Ausführungsbeispiel werden durch zwei voneinander verschiedene Gaseinlasszonen 5, 6, bei denen es sich

20 bevorzugt um obere Gaseinlasszonen handelt, jeweils zwei voneinander verschiedene Dotiergasflüsse D1, D2, D3, D4 in die Prozesskammer 2 eingespeist. Die Massenflüsse der durch die verschiedenen Gaseinlasszonen 5, 6 eingespeisten Dotiergasflüsse D1, D2, D3, D4 unterscheiden sich dann. Wie bei dem in der Figur 8 dargestellten Ausführungsbeispiel kann vorgesehen sein, dass durch

25 eine Gaseinlasszone 5, 6 ein Gasgemisch, das zwei voneinander verschiedene Dotierstoffträger aufweist, fließt. Das Gasgemisch kann jeweils aus NH_3 und N_2 bestehen. Der NH_3 -Fluss durch die Gaseinlasszone 5 kann dabei verschieden

sein vom NH_3 -Fluss durch die Gaseinlasszone 6. Ebenso können sich die beiden N_2 -Flüsse unterscheiden.

- [0048] Durch die Einspeisung der Dotiergase verteilt auf verschiedene Einspeise-Niveaus ergibt sich die Möglichkeit, das Dotierprofil gezielt einzustellen.
- 5 Hierzu kann beispielsweise das folgende Verfahren verwendet werden: Es wird zunächst eine dotierte Schicht abgeschieden, bei der nur ein NH_3 -Fluss verwendet wird. Bei dieser Schicht wird das Dotierstoffprofil ermittelt. Es wird eine zweite Schicht auf einem zweiten Substrat abgeschieden, wobei als Dotierstoff nur ein N_2 -Fluss verwendet wird. Alternativ dazu kann die zweite Schicht
- 10 aber auch abgeschieden werden, indem gleichzeitig ein NH_3 -Fluss und ein N_2 -Fluss in die Prozesskammer eingespeist werden. An diesen Schichten wird wiederum das Dotierstoffprofil gemessen. Der NH_3 -Fluss beziehungsweise N_2 -Fluss wird dann beispielsweise in Modellrechnungen oder in weiteren Versuchen so lange angepasst/variiert, also erhöht oder vermindert, bis ein akzeptables „flaches“ Dotierprofil erreicht ist.
- 15

- [0049] Es wird als wesentlich angesehen, dass bei der Verwendung von NH_3 eine Gaseinlasszone 4 oder 6 verwendet wird, durch die kein chlorhaltiges Gasgemisch strömt. Es ist somit insbesondere vorgesehen, dass ein chlorhaltiger Wachstumsgasfluss ausschließlich durch eine mittlere Gaseinlasszone 5 in die
- 20 Prozesskammer eingespeist wird.

[0050] Es kann vorgesehen sein, dass durch sämtliche Gaseinlasszonen 4, 5, 6 ein Gasfluss eines kohlenstoffhaltigen Wachstumsgases strömt.

- [0051] Bei der Auswahl der Paarungen der Dotierstoffträger kann es vorteilhaft sein, wenn die Dotierstoffträger unterschiedliche Stickstoffbindungen (Einfach-, Zweifach- oder Dreifachbindungen) aufweisen, oder wenn die Dotierstoff-
- 25

fe der Dotierstoffträger mit unterschiedlich starken chemischen Bindungen im Molekül des Dotierstoffträgers gebunden sind. Es ist davon auszugehen, dass sich diese Dotierstoffträger unterschiedlich zerlegen und somit voneinander verschiedene Verarmungskurven zeigen, sodass das Dotierstoffprofil innerhalb
5 der abzuschneidenden Schicht einstellbar ist.

[0052] Es kann von Vorteil sein, wenn durch die zuoberst liegende und die zuunterst liegende Gaseinlasszone 4, 6 jeweils NH_3 eingespeist wird und durch die in der Mitte liegende Gaseinlasszone 5 N_2 eingespeist wird.

[0053] Das kohlenstoffhaltige Reaktionsgas, beispielsweise C_2H_4 , wird bevorzugt in folgender Massenverteilung in die Prozesskammer 2 eingespeist: 10%
10 jeweils durch die zuunterst und die zuoberst liegenden Gaseinlasszonen 4, 6 und 80% durch die mittlere Gaseinlasszone 5. Das Silizium enthaltende reaktive Gas, insbesondere Trichlorsilan oder Dichlorsilan, wird bevorzugt ausschließlich durch die mittlere Gaseinlasszone 5 in die Prozesskammer 2 eingespeist.

[0054] Die Figur 10 zeigt ein erstes laterales Dotierstoffprofil a, das in einer auf einem Substrat abgeschiedenen Schicht SiC gemessen worden ist. Bei dem Profil handelt es sich um die in der Schicht gemessene N-Konzentration in Abhängigkeit vom Abstand R zu einem Mittelpunkt des kreisförmigen Substrates.
15 Beim Abscheiden der Schicht wurde nur NH_3 als Dotierstoffträger verwendet.

[0055] Die Wachstumsgasflüsse Q1, Q2 wurden dabei derart variiert, dass das Profil a möglichst flach verläuft.
20

[0056] Mit denselben Wachstumsgasflüssen Q1, Q2 wurde auf einem zweiten Substrat eine SiC-Schicht abgeschieden, wobei beim Abscheiden der Schicht nur N_2 als Dotierstoffträger verwendet wurde.

- [0057] Die Kurve c zeigt ein berechnetes laterales Dotierstoffprofil der N-Konzentration in einer Schicht, wenn als Dotierstoffträger sowohl NH_3 als auch N_2 verwendet wird. Die Massenflüsse der Dotiergasflüsse D1', D2' wurden dabei derart optimiert, dass die Kurve c möglichst flach verläuft.
- 5 [0058] Die vorstehenden Ausführungen dienen der Erläuterung der von der Anmeldung insgesamt erfassten Erfindungen, die den Stand der Technik zumindest durch die folgenden Merkmalskombinationen jeweils auch eigenständig weiterbilden, wobei zwei, mehrere oder alle dieser Merkmalskombinationen auch kombiniert sein können, nämlich:
- 10 [0059] Ein Verfahren, das dadurch gekennzeichnet ist, dass die Massenflüsse der ersten und zweiten Dotiergasflüsse D1, D2 oder die vertikale Lage der Gasseinlasszonen 4, 5, 6, durch die die beiden Dotiergasflüsse D1, D2 strömen, so gewählt sind, dass die lateralen Profile a, b voneinander verschiedene Flächenkrümmungsverläufe aufweisen.
- 15 [0060] Ein Verfahren, das dadurch gekennzeichnet ist, dass der erste Dotierstoffträger ein Stickstoff enthaltendes Gas und insbesondere NH_3 und der zweite Dotierstoffträger ein Stickstoff enthaltendes Gas und insbesondere N_2 ist.
- [0061] Ein Verfahren, das dadurch gekennzeichnet ist, dass die Bindungskräfte eines Stickstoffatoms an andere Atome des zweiten Dotierstoffträgers größer
20 sind als die Bindungskräfte eines Stickstoffatoms an andere Atome des ersten Dotierstoffträgers.
- [0062] Ein Verfahren, das dadurch gekennzeichnet ist, dass der zweite Wachstumsgasfluss Q2 Chlor enthält und der erste Wachstumsgasfluss Q1 nicht zu-

sammen mit dem NH_3 enthaltenden ersten Dotiergasfluss D1 durch dieselbe Gaseinlasszone 4, 5, 6 strömt.

[0063] Ein Verfahren, das dadurch gekennzeichnet ist, dass die ersten und zweiten Dotierstoffträger und die Massenflüsse der sie tragenden Dotiergasflüsse D1, D2 derart gewählt sind, dass sich eine mit dem Verhältnis der Massenflüsse gewichtete Summe der beiden Profile a, b einer Ebene annähert.

[0064] Ein Verfahren, das dadurch gekennzeichnet ist, dass die Dotierstoffträger ausgewählt aus folgenden Stickstoffverbindungen sind: N_2 , NH_3 , HCN , Pyridin ($\text{C}_5\text{H}_5\text{N}$), Hydrazin (N_2H_4), Dimethylhydrazin ($\text{C}_2\text{H}_8\text{N}_2$) oder unsymmetrisches Dimethylhydrazin.

[0065] Ein Verfahren, das dadurch gekennzeichnet ist, dass der Prozessgasfluss in ein zentrales Gaseinlassorgan 3 eingespeist wird, das von kreisförmig um das Gaseinlassorgan 3 angeordneten Substrathaltern 11 umgeben ist, die in Taschen 17 eines Suszeptors 10 einliegen, wobei die Substrathalter 11 von einem Gaskissen getragen und drehangetrieben werden.

[0066] Ein Verfahren, das dadurch gekennzeichnet ist, dass der erste Dotiergasfluss D1 durch eine zuoberst angeordnete Gaseinlasszone 6 und der zweite Dotiergasfluss D2 durch eine tiefer liegende Gaseinlasszone 5 fließt und/oder dass der erste Dotiergasfluss D1 zusammen mit dem ersten Wachstumsgasfluss Q1 durch dieselbe Gaseinlasszone 6 fließt und/oder dass der zweite Dotiergasfluss D2 zusammen mit dem zweiten Wachstumsgasfluss Q2 durch dieselbe Gaseinlasszone 5 fließt und/oder dass durch eine zuunterst angeordnete Gaseinlasszone 4 ein dritter Wachstumsgasfluss Q3 fließt und durch die zuunterst angeordnete Gaseinlasszone 4 kein Dotiergasfluss fließt und/oder dass ein dritter Dotiergasfluss D3 durch eine zuunterst angeordnete Gaseinlasszone 4 fließt

und/oder dass der erste Dotiergasfluss D1 durch eine zuunterst angeordnete Gaseinlasszone 4 fließt und der zweite Dotiergasfluss D2 durch eine darüber liegende Gaseinlasszone 5 fließt und/oder dass der erste Dotiergasfluss D1 und der zweite Dotiergasfluss D2 denselben Dotierstoffträger beinhalten, wobei der

5 erste Dotiergasfluss D1 durch eine zuoberst angeordnete Gaseinlasszone 6 und der zweite Dotiergasfluss D2 durch eine zuunterst angeordnete Gaseinlasszone 4 fließt und/oder dass durch eine Gaseinlasszone 6, insbesondere die zuoberst angeordnete Gaseinlasszone, oder durch zwei Gaseinlasszonen 5, 6, insbesondere durch oben angeordnete Gaseinlasszonen 5, 6 zwei voneinander verschie-

10 dene Dotiergasflüsse D1, D2; D3, D4 in die Prozess-kammer 2 eingespeist werden, wobei die durch eine gemeinsame Gaseinlasszone 5, 6 fließenden Dotiergasflüsse D1, D2; D3, D4 voneinander verschiedene Dotierstoffträger aufweisen.

[0067] Eine Vorrichtung, die dadurch gekennzeichnet ist, dass die Steuereinrichtung 20 eingerichtet ist zur Durchführung eines Verfahrens gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche.

[0068] Die Erfindung betrifft auch Folgendes:

Ein Verfahren zur Ermittlung von Massenflusswerten der Dotiergasflüsse zur Durchführung eines Verfahrens gemäß einem der Ansprüche 1-8 mit den folgenden Schritten:

20

- Ermitteln eines ersten lateralen Dotierstoffprofils (a), wobei in der Prozesskammer (2) eine erste Schicht abgeschieden wird, wobei in die Prozesskammer (2) zusätzlich zu vorgegebenen Wachstumsgasflüssen (Q1, Q2) nur einer der Dotiergasflüsse (D1, D2) eingespeist wird;

- Ermitteln eines zweiten lateralen Dotierstoffprofils (b), wobei in der Prozesskammer (2) eine zweite Schicht abgeschieden wird, wobei in die Prozesskammer (2) zusätzlich zu den vorgegebenen Wachstumsgasflüssen (Q1, Q2) nur ein anderer der Dotiergasflüsse (D1, D2) eingespeist wird;
- 5 - Berechnen von Effizienzwerten (E1, E2) des Dotierstoffeinbaus der beiden lateralen Dotierstoffprofile (a), wobei an radial voneinander beabstandeten Stellenwerte der Dotierstoffkonzentration (D2) in der ersten und der zweiten Schicht ermittelt werden und diese Werte durch den Wert des Massenflusses des jeweiligen Dotiergasflusses (D1, D2) geteilt werden;
- 10 - Verwendung dieser Effizienzwerte (E1, E2) zur Berechnung eines optimierten zu erwartenden dritten lateralen Dotierstoffprofils (c), das sich in einer Schicht einstellt, wenn zusätzlich zu den vorgegebenen Wachstumsgasflüssen (Q1, Q2) alle Dotiergasflüsse (D1, D2) eingespeist werden, wobei Massenflusswerte der beiden Dotiergasflüsse (D1, D2) variiert werden.
- 15 [0069] Ein Verfahren nach dem vorhergehenden Anspruch, dadurch gekennzeichnet, dass bei der Variation der Massenflusswerte ein Mittelwert aller an den radial voneinander beabstandeten Stellen berechneter Dotierstoffkonzentrationen (D1, D2) berechnet wird und ein Abstandsquadrat der Summe der Differenzen der berechneten Dotierstoffkonzentrationen vom Mittelwert mini-
- 20 miert wird.
- [0070] Ein Verfahren nach den vorhergehenden Ansprüchen, dadurch gekennzeichnet, dass bei der Ermittlung des ersten lateralen Dotierstoffprofils (a) der Massenfluss des Dotiergasflusses (D1) und die Massenflüsse der Wachstumsgasflüssen (Q1, Q2) derart variiert werden, dass sich ein möglichst flaches
- 25 laterales Profil (a) einstellt.

[0071] Ein Verfahren nach den Merkmalen eines der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass bei der Ermittlung des zweiten lateralen Dostoffprofils (b) die dieselben Wachstumsgasflüssen (Q1, Q2) verwendet werden, die bei der Ermittlung des ersten lateralen Profils (a) gewonnen wurden.
5 den.

[0072] Alle offenbarten Merkmale sind (für sich, aber auch in Kombination untereinander) erfindungswesentlich. In die Offenbarung der Anmeldung wird hiermit auch der Offenbarungsinhalt der zugehörigen/beigefügten Prioritätsunterlagen (Abschrift der Voranmeldung) vollinhaltlich mit einbezogen, auch
10 zu dem Zweck, Merkmale dieser Unterlagen in Ansprüche vorliegender Anmeldung mit aufzunehmen. Die Unteransprüche charakterisieren, auch ohne die Merkmale eines in Bezug genommenen Anspruchs, mit ihren Merkmalen eigenständige erfinderische Weiterbildungen des Standes der Technik, insbesondere um auf Basis dieser Ansprüche Teilanmeldungen vorzunehmen. Die in
15 jedem Anspruch angegebene Erfindung kann zusätzlich ein oder mehrere der in der vorstehenden Beschreibung, insbesondere mit Bezugsziffern versehene und/oder in der Bezugsziffernliste angegebene Merkmale aufweisen. Die Erfindung betrifft auch Gestaltungsformen, bei denen einzelne der in der vorstehenden Beschreibung genannten Merkmale nicht verwirklicht sind, insbesondere
20 soweit sie erkennbar für den jeweiligen Verwendungszweck entbehrlich sind oder durch andere technisch gleichwirkende Mittel ersetzt werden können.

Liste der Bezugszeichen

1	CVD-Reaktor	29	Gasquelle, Trichlorsilan
2	Prozesskammer	30	Gasquelle, Ethen
3	Gaseinlassorgan		
4	Gaseinlasszone		
5	Gaseinlasszone		
6	Gaseinlasszone		
7	Vorlaufzone		
8	Depositionszone	D1	Dotiergasfluss
9	Gasauslassorgan	D2	Dotiergasfluss
10	Suszeptor	D3	Dotiergasfluss
11	Substrathalter	D4	Dotiergasfluss
12	Substrat	Q1	Wachstumsgasfluss
13	Gaszuleitung	Q2	Wachstumsgasfluss
14	Heizeinrichtung	Q3	Wachstumsgasfluss
15	Abdeckplatte	Q4	Wachstumsgasfluss
16	Abdeckplatte	Q5	Wachstumsgasfluss
17	Tasche	S	Strömungsrichtung
18	Halteelement		
19	Deckenplatte		
20	Steuereinrichtung		
21	Massenfluss-Controller		
22	Ventil	a	Dotierungsprofil
24	Zuleitung	b	Dotierungsprofil
25	Zuleitung		
26	Zuleitung		
27	Gasquelle, Stickstoff		
28	Gasquelle, Ammoniak		

Ansprüche

1. Verfahren zum Abscheiden einer SiC-Schicht auf einem Substrat (12)
in einer mit einer Heizeinrichtung (14) auf eine Prozesstemperatur aufge-
heizten Prozesskammer (2) eines CVD-Reaktors (1), wobei durch ein Ga-
seinlassorgan (3) ein Prozessgasfluss in die Prozesskammer (2) eingespeist
5 wird und in einer Horizontalrichtung in einer Strömungsrichtung (S) über
das drehangetriebene Substrat (12) fließt, wobei sich der Prozessgasfluss
aus zumindest einem Dotiergasfluss (D1), der einen ersten gasförmigen
Dotierstoffträger enthält, einem zweiten Dotiergasfluss (D2), der einen
zweiten gasförmigen Dotierstoffträger enthält, einem Kohlenstoff enthal-
10 tenden ersten Wachstumsgasfluss (Q1) und einem Silizium enthaltenden
zweiten Wachstumsgasfluss (Q2) zusammensetzt, wobei sich die Dotier-
stoffträger beim Durchströmen der Prozesskammer (2) in Zerlegungspro-
dukte zerlegen, wobei die Zerlegungsprodukte an der Oberfläche der auf
dem Substrat aufwachsenden SiC-Schicht als Dotierstoff in die SiC-Schicht
15 eingebaut werden und wobei die beiden Dotiergasflüsse (D1, D2) getrennt
voneinander geregelt durch vertikal übereinander angeordnete Gasein-
lasszonen (4, 5, 6) in die Prozesskammer (2) eingespeist werden, wobei
jeder der beiden Dotiergasflüsse (D1, D2) ein laterales Profil (a, b) seines
Dotierstoffs mit einem charakteristischen Flächenkrümmungsverlauf in
20 einer SiC-Schicht erzeugt, dadurch gekennzeichnet, dass die Massenflüsse
der ersten und zweiten Dotiergasflüsse (D1, D2) und/oder die vertikale
Lage der Gaseinlasszonen (4, 5, 6), durch die die beiden Dotiergasflüsse
(D1, D2) strömen, so gewählt sind, dass die lateralen Profile (a, b) vonei-
nander verschiedene Flächenkrümmungsverläufe aufweisen.
- 25 2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der erste Do-
tierstoffträger ein Stickstoff enthaltendes Gas und insbesondere NH_3 und

der zweite Dotierstoffträger ein Stickstoff enthaltendes Gas und insbesondere N_2 ist.

3. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Bindungskräfte eines Stickstoffatoms an andere Atome des zweiten Dotierstoffträgers größer sind als die Bindungskräfte eines Stickstoffatoms an andere Atome des ersten Dotierstoffträgers.
5
4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der zweite Wachstumsgasfluss (Q2) Chlor enthält und der erste Wachstumsgasfluss (Q1) nicht zusammen mit dem NH_3 enthaltenden ersten Dotiergasfluss (D1) durch dieselbe Gaseinlasszone (4, 5, 6) strömt.
10
5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die ersten und zweiten Dotierstoffträger und die Massenflüsse der sie tragenden Dotiergasflüsse (D1, D2) derart gewählt sind, dass sich eine mit dem Verhältnis der Massenflüsse gewichtete Summe der beiden Profile (a, b) einer Ebene annähert.
15
6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Dotierstoffträger ausgewählt aus folgenden Stickstoffverbindungen sind: N_2 , NH_3 , HCN, Pyridin (C_5H_5N), Hydrazin (N_2H_4), Dimethylhydrazin ($C_2H_8N_2$) oder unsymmetrisches Dimethylhydrazin.
20
7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Prozessgasfluss in ein zentrales Gaseinlassorgan (3) eingespeist wird, das von kreisförmig um das Gaseinlassorgan (3) angeordneten Substrathaltern (11) umgeben ist, die in Taschen (17) eines Sus-

zeptors (10) einliegen, wobei die Substrathalter (11) von einem Gaskissen getragen und drehangetrieben werden.

8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der erste Dotiergasfluss (D1) durch eine zuoberst angeordnete Gaseinlasszone (6) und der zweite Dotiergasfluss (D2) durch eine tiefer liegende Gaseinlasszone (5) fließt und/oder dass der erste Dotiergasfluss (D1) zusammen mit dem ersten Wachstumsgasfluss (Q1) durch dieselbe Gaseinlasszone (6) fließt und/oder dass der zweite Dotiergasfluss (D2) zusammen mit dem zweiten Wachstumsgasfluss (Q2) durch dieselbe Gaseinlasszone (5) fließt und/oder dass durch eine zuunterst angeordnete Gaseinlasszone (4) ein dritter Wachstumsgasfluss (Q3) fließt und durch die zuunterst angeordnete Gaseinlasszone (4) kein Dotiergasfluss fließt und/oder dass ein dritter Dotiergasfluss (D3) durch eine zuunterst angeordnete Gaseinlasszone (4) fließt und/oder dass der erste Dotiergasfluss (D1) durch eine zuunterst angeordnete Gaseinlasszone (4) fließt und der zweite Dotiergasfluss (D2) durch eine darüber liegende Gaseinlasszone (5) fließt und/oder dass der erste Dotiergasfluss (D1) und der zweite Dotiergasfluss (D2) denselben Dotierstoffträger beinhalten, wobei der erste Dotiergasfluss (D1) durch eine zuoberst angeordnete Gaseinlasszone (6) und der zweite Dotiergasfluss (D2) durch eine zuunterst angeordnete Gaseinlasszone (4) fließt und/oder dass durch eine Gaseinlasszone (6), insbesondere die zuoberst angeordnete Gaseinlasszone, oder durch zwei Gaseinlasszonen (5, 6), insbesondere durch oben angeordnete Gaseinlasszonen (5, 6) zwei voneinander verschiedene Dotiergasflüsse (D1, D2; D3, D4) in die Prozesskammer (2) eingespeist werden, wobei die durch eine gemeinsame Gaseinlasszone (5, 6) fließenden Dotiergasflüsse (D1, D2; D3, D4) voneinander verschiedene Dotierstoffträger aufweisen.

9. Vorrichtung mit einem CVD-Reaktor (1), der einen sich in einer Horizontalebene erstreckenden Suszeptor (10) zur Aufnahme von Substraten (12) und ein mehrere vertikal übereinander angeordnete Gaseinlasszonen (4, 5, 6) aufweisendes Gaseinlassorgan (3) aufweist, wobei die Gaseinlasszonen (4, 5, 6) mittels Zuleitungen (24, 25, 26) und in den Zuleitungen angeordneten Massenfluss-Controllern (21) und Ventilen (22) mit Gasquellen (27, 28, 29, 30) verbunden sind, in denen getrennt voneinander erste und zweite Dotierstoffträger sowie ein Kohlenstoff enthaltendes reaktives Gas und ein Silizium enthaltendes reaktives Gas bevorratet sind, und mit einer Steuereinrichtung (20) zur Steuerung der Massenfluss-Controller (21) und Ventile (22), dadurch gekennzeichnet, dass die Steuereinrichtung (20) eingerichtet ist zur Durchführung eines Verfahrens gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche.
10. Verfahren oder Vorrichtung, gekennzeichnet durch eines oder mehrere der kennzeichnenden Merkmale eines der vorhergehenden Ansprüche.