



(10) **DE 10 2009 035 417 B4** 2014.12.04

(12)

## Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2009 035 417.4**  
(22) Anmeldetag: **31.07.2009**  
(43) Offenlegungstag: **03.02.2011**  
(45) Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: **04.12.2014**

(51) Int Cl.: **H01L 21/316** (2006.01)  
**H01L 21/768** (2006.01)

Innerhalb von neun 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. 1 Patentkostengesetz).

(73) Patentinhaber:  
**Globalfoundries Dresden Module One LLC & CO.  
KG, 01109 Dresden, DE; GLOBALFOUNDRIES  
Inc., Grand Cayman, KY**

(74) Vertreter:  
**Grünecker, Kinkeldey, Stockmair &  
Schwanhäusser, 80802 München, DE**

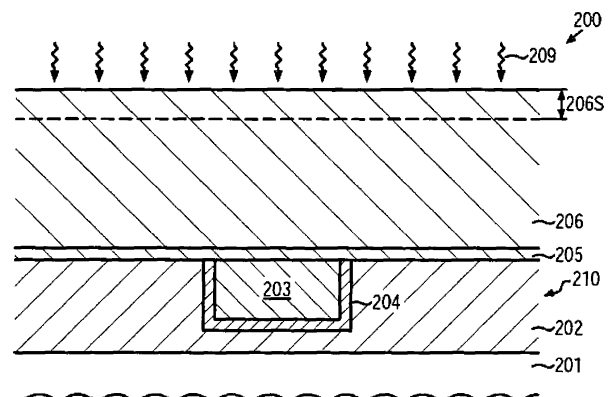
(72) Erfinder:  
**Mayer, Ulrich, 01109 Dresden, DE; Ruelke,  
Hartmut, 01109 Dresden, DE; Streck, Christof,  
01640 Coswig, DE**

(56) Ermittelter Stand der Technik:

US	6 846 515	B2
US	7 166 531	B1
US	7 253 125	B1
US	7 326 444	B1
US	2002 / 0 072 220	A1
US	2005 / 0 003 568	A1
US	2006 / 0 024 976	A1
US	2006 / 0 078 676	A1
US	2006 / 0 269 693	A1
US	2007 / 0 161 256	A1
US	2008 / 0 199 977	A1

(54) Bezeichnung: **Größere Dichte von dielektrischen Materialien mit kleinem  $\epsilon$  in Halbleiterbauelementen durch Anwenden einer UV-Behandlung**

(57) Hauptanspruch: Verfahren mit:  
Abscheiden eines dielektrischen Materials (206) mit kleinem  $\epsilon$  über einem Substrat (201) eines Halbleiterbauelements (200) bei einer Prozesstemperatur von 300 Grad C oder weniger durch Einrichten einer Plasmaumgebung auf der Grundlage lediglich einer Vorstufensorte (208A) und eines oder mehrerer Trägergase (208B); und  
Behandeln des dielektrischen Materials (206) mit kleinem  $\epsilon$  auf der Grundlage von Ultraviolett-(UV)Strahlung; und wobei die Dielektrizitätskonstante des dielektrischen Materials (206) mit kleinem  $\epsilon$  2,7 oder weniger nach Einwirken der UV-Strahlung beträgt und die Vorstufensorte (208A) Okta-methylzyklotetrasiloxan (OMCTS) ist.



**Beschreibung**

Gebiet der vorliegenden Erfindung

**[0001]** Im Allgemeinen betrifft die vorliegende Erfindung die Herstellung integrierter Schaltungen und betrifft insbesondere die Herstellung von dielektrischen Materialschichten mit geringer Permittivität.

Beschreibung des Stands der Technik

**[0002]** Halbleiterbauelemente und andere Mikrostrukturbauelemente werden typischerweise auf im Wesentlichen scheibenförmigen Substraten hergestellt, die aus einem geeigneten Material aufgebaut sind. Der Großteil der Halbleiterbauelemente mit sehr komplexen elektronischen Schaltungen wird gegenwärtig und in der vorhersehbaren Zukunft auf der Grundlage von Silizium hergestellt auf Grund der nahezu unbeschränkten Verfügbarkeit des Siliziums, wodurch Siliziumsubstrate und siliziumenthaltende Substrate, etwa SOI-(Silizium-auf-Isolator)Substrate, zu geeigneten Trägermaterialien werden, um Halbleiterbauelemente, etwa Mikroprozessoren, SRAM's, ASIC's (anwendungsspezifische IC's) und dergleichen herzustellen. Die einzelnen integrierten Schaltungen sind in einem Array angeordnet, wobei die meisten Fertigungsschritte, die sich auf bis einige 100 Prozessschritte in komplexen integrierten Schaltungen belaufen können, gleichzeitig für alle Chipbereiche auf dem Substrat ausgeführt werden, mit Ausnahme von Photolithographieprozessen, Messprozessen und dem Eindringen der einzelnen Bauelemente nach dem Zerschneiden des Substrats in ein Gehäuse. Daher zwingen ökonomische Rahmenbedingungen die Halbleiterhersteller dazu, die Substratabmessungen ständig zu vergrößern wodurch auch die verfügbare Fläche zur Herstellung der Halbleiterbauelemente erhöht wird, wodurch die Produktionsausbeute ansteigen soll. Andererseits werden die Bauteilabmessungen im Hinblick auf Leistungskriterien ständig verringert, da typischerweise kleinere Transistorabmessungen eine erhöhte Arbeitgeschwindigkeit mit sich bringen.

**[0003]** In modernen integrierten Schaltungen werden die Schaltungselemente in und auf einer Halbleiterschicht hergestellt, wobei die meisten elektrischen Verbindungen in einer oder mehreren „Verdrahtungsschichten“ hergestellt werden, die auch als Metallisierungsschichten bezeichnet werden, wobei die elektrischen Eigenschaften, etwa der Widerstand, die Elektromigration, die Signalausbreitungsverzögerung, etc. der Metallisierungsschichten deutlich das gesamte Leistungsverhalten der integrierten Schaltungen beeinflussen. Auf Grund der zunehmenden Anforderung für die Verringerung der Strukturgrößen in komplexen Halbleiterbauelementen ist Kupfer in Verbindung mit einem dielektrischen Material mit kleinem  $\epsilon$  eine häufig eingesetzte Alternative bei der Her-

stellung der Verdrahtungsstrukturen, die den Metallisierungsschichten mit Metallleitungsschichten und dazwischen liegenden Kontaktdurchführungsschichten enthalten. Metallleitungen fungieren als Verbindungen innerhalb einer Ebene und Kontaktdurchführungen ermöglichen die Verbindung zwischen den einzelnen Ebenen, wobei beide Strukturen die einzelnen Schaltungselemente miteinander verbinden, um die erforderliche Schaltungsfunktion der integrierten Schaltung zu erreichen. Typischerweise wird eine Vielzahl aus Metallleitungsschichten und Kontaktdurchführungsschichten, die aufeinander gestapelt sind, vorgesehen, um die Verbindungen zwischen allen inneren Schaltungselementen und den I/O-(Eingabe/Ausgabe)Anschlussflächen, der Versorgungsanschlussflächen und der Masseanschlussflächen der betrachteten Schaltungsaufbaus zu realisieren.

**[0004]** Für äußerst größenreduzierte integrierte Schaltungen ist die Signalausbreitungsverzögerung nicht mehr durch die Schaltungselemente, etwa durch die Feldeffekttransistoren auf Siliziumbasis beschränkt, sondern ist auf Grund der erhöhten Dichte an Schaltungselementen, die wiederum eine noch größere Anzahl an elektrischen Verbindungen für das gegenseitige Verringern dieser Schaltungselemente erfordert, durch den geringen Abstand der Metallleitungen beschränkt, da die Kapazität zwischen den Leitungen ansteigt, wenn der Zwischenraum zwischen den Metallleitungen reduziert wird. Z. B. beträgt in gegenwärtig verfügbaren Bauelementen, die durch Massenproduktionsverfahren hergestellt sind, der Abstand zwischen benachbarten Metallleitungen 100 nm und weniger, zumindest in gewissen Metallisierungsebenen. Diese Tatsache in Verbindung mit der geringeren Leitfähigkeit der Leitungen auf Grund einer reduzierten Querschnittsfläche führt zu erhöhten RC(Widerstand/Kapazitäts-)Zeitkonstanten. Aus diesem Grunde werden übliche Dielektrika, etwa Siliziumdioxid ( $\epsilon > 4$ ) und Siliziumnitrid ( $\epsilon > 6 \dots 7$ ) zunehmend in den Metallisierungsschichten durch dielektrische Materialien ersetzt, die eine geringere Permittivität besitzen und somit als Dielektrika mit kleinem  $\epsilon$  bezeichnet werden, die eine relative Permittivität von ungefähr 3 oder weniger aufweisen.

**[0005]** Jedoch werden in sehr komplexen Halbleiterbauelementen mit noch kleineren Abständen zwischen den benachbarten Metallleitungen, etwa in der 45 nm-Technologie, die resultierenden parasitären RC-Zeitkonstanten weiterhin als ungeeignet erachtet, wodurch noch geringere Werte für die Dielektrizitätskonstante des dielektrischen Zwischenschichtmetalls erforderlich sind. Zu diesem Zweck wird die Dielektrizitätskonstante weiter auf Werte von 2,7 oder weniger reduziert, in welchem Falle derartige dielektrische Materialien auch als Materialien mit ultra kleinem  $\epsilon$  (ULK) bezeichnet werden. Daher werden große Anstrengungen unternommen, um Materialien und

entsprechende Fertigungstechniken zu entwickeln, die in der Massenproduktion anwendbar sind. Dazu wird eine Vielzahl von Aufschleuderprozessen in Verbindung mit geeigneten Polymermaterialien häufig eingesetzt, während in anderen Lösungsansätzen plasmaunterstützte CVD-(chemische Dampfab-scheid-)Techniken sich als vielversprechende Techniken erwiesen haben, um dielektrische Materialien mit kleinem  $\epsilon$  bereitzustellen. Beispielsweise wird in vielen Vorgehensweisen die grundlegende Dielektrizitätskonstante einer Vielzahl von CVD abgeschiedenen dielektrischen Materialien mit kleinem  $\epsilon$  weiter verringert, indem die Materialdichte reduziert wird, was häufig durch Einbau sogenannter porenbildender Stoffe bewerkstelligt wird, d. h. organischer Materialien mit Methylgruppen, die zumindest teilweise nach dem Abscheiden entfernt werden, um damit ein poröses dielektrisches Material zu erzeugen, das die gewünschte geringe Dielektrizitätskonstante besitzt.

**[0006]** Z. B. wurde eine Vielzahl von Prozesstechniken entwickelt, in denen wasserstoffenthaltende organische Siliziummaterialien so vorgesehen werden, dass diese als ein dielektrisches Basismaterial mit kleinem  $\epsilon$  dienen und damit als ein Grundgerüst für ULK-Materialien verwendet werden, wobei zusätzlich geeignete Vorstufensorten in die Abscheidenumgebung während der plasmaunterstützten CVD-Abscheidung eingeführt werden, um damit flüchtige Komponenten in das dielektrische Basismaterial mit kleinem  $\epsilon$  einzubauen. Nach dem Abscheiden des dielektrischen Materials mit kleinem  $\epsilon$  wird eine weitere Behandlung, etwa eine Behandlung auf der Grundlage von Ultraviolettlicht ausgeführt, um insbesondere chemische Bindungen der porenbildenden Substanz aufzubrechen und um ein Herausdiffundieren der entsprechenden modifizierten Moleküle zu bewirken, wodurch entsprechende Nano-Hohlräume in dem dielektrischen Basismaterial mit kleinem  $\epsilon$  geschaffen werden.

**[0007]** In der US 7 166 531 B1 wird ein Verfahren zum Ausbilden eines dielektrischen Netzwerks auf der Grundlage mehrerer Vorstufensorten beschrieben.

**[0008]** In der US 2006/0 078 676 A1 wird ein Verfahren zum Ausbilden von porösen Organosilikatglasschichten, wobei ein Organosilikatvorstufenmaterial und ein porogenes Vorstufenmaterial vorgesehen sind, beschrieben.

**[0009]** In der US 2005/0 003 568 A1 wird ein Verfahren zum Ausbilden von Silizidoxidschichten als Gateisoliermaterial beschrieben.

**[0010]** In der US 2006/0 269 693 A1 wird ein Verfahren zum Ausbilden hoch verspannter Schichten beschrieben, wobei Dielektrika mit niedrigem  $\epsilon$  unter Verwendung von Wasserstoff oder Deuterium bei der

Abscheidung hoch verspannter Siliziumnitridschichten bereitgestellt werden können.

**[0011]** In der US 2006/0 024 976 A1 wird Verfahren zur Ausbildung von porösen dielektrischen Materialien mit kleinem  $\epsilon$ , die ein porogenes Material auf der Grundlage von Matrixvorstufenmaterialien und organische, Silizium enthaltende Porogene enthalten, beschrieben.

**[0012]** In der US 6 846 515 B2 wird ein Verfahren zur Ausbildung eines porösen Organosiliziumglasfilms auf der Grundlage zumindest eines Vorstufengases und eines Porogens, das von diesem Vorstufengas verschieden ist, beschrieben.

**[0013]** In der US 2008/0 199 977 A1 wird ein Verfahren zum Verbessern einer dielektrischen Konstante einer dielektrischen Schicht, die Poren enthalten kann, beschrieben.

**[0014]** In der US 2007/0 161 256 A1 wird ein Verfahren zur Herstellung einer dielektrischen Schicht mit kleinem  $\epsilon$  unter Verwendung zumindest eines organischen Silizium enthaltenden Vorstufenmaterials beschrieben.

**[0015]** In der US 7 253 125 B1 wird ein Verfahren zum Herstellen einer dielektrischen Schicht in Form eines kohlenstoffdotierten Oxids beschrieben, in dem eine UV-Behandlung der dielektrischen Schicht vorgenommen wird, um die mechanische Festigkeit derselben zu erhöhen.

**[0016]** In der US 2002/0 072 220 A1 wird ein Verfahren zum Abscheiden einer dielektrischen Schicht mit kleinem  $\epsilon$  von weniger als 2,5 beschrieben.

**[0017]** In der US 7 326 444 B1 wird Verfahren zum Herstellen einer kohlenstoffdotierten Oxidschicht mit einer Dielektrizitätskonstanten von weniger als 3 beschrieben.

**[0018]** Obwohl das Abscheiden von dielektrischen Materialien mit kleinem  $\epsilon$  mittels plasmaunterstützter CVD-Techniken sich als sehr vielversprechende Vorgehensweise für komplexe Halbleiterbauelemente erwiesen hat, zeigt sich dennoch, dass eine weitere Verringerung der Dielektrizitätskonstante auf einem Wert von 3,7 und weniger auf der Grundlage eines einzelnen Vorstufenmaterials äußerst schwierig ist, während in anderen Lösungsansätzen ein komplexeres Abscheideschema auf der Grundlage zumindest zweier unterschiedlicher Vorstufenmaterialien angewendet wird, woraus sich ebenfalls eine komplexe Fertigungssequenz ergibt, die zusätzlich zu nicht gewünschten Eigenschaften der dielektrischen Materialien mit kleinem  $\epsilon$  führt, wie dies nachfolgend detaillierter mit Bezug zu den **Fig. 1a** und **Fig. 1b** erläutert ist.

**[0019]** Fig. 1a zeigt schematisch eine Querschnittsansicht eines Halbleiterbauelements **100**, das ein Substrat **101** aufweist, das Schaltungselemente, etwa Transistoren, Kondensatoren und dergleichen aufweist. Der Einfachheit halber sind derartige Schaltungselemente nicht gezeigt. Das Substrat **101** repräsentiert ein Siliziumvollsubstrat oder ein SOI-Substrat, da typischerweise komplexe integrierte Schaltungen, die durch Massenproduktionstechniken hergestellt werden, auf der Grundlage eines Siliziummaterials erzeugt werden, wie dies auch zuvor erläutert ist. Des Weiteren ist eine dielektrische Schicht **102**, die zumindest teilweise aus einem Material mit kleinem  $\epsilon$  oder mit einem anderen dielektrischen Material aufgebaut ist, über dem Substrat **101** ausgebildet und repräsentiert einen Teil einer Metallisierungsebene oder einer Kontaktstruktur des Halbleiterbauelements **100**. Beispielsweise ist ein Metallgebiet **103** in der dielektrischen Schicht **102** ausgebildet und repräsentiert einen beliebigen leitenden Bauteilbereich, etwa einen Kontaktbereich eines Schaltungselements oder ein Metallgebiet einer Metallisierungsschicht. Das Metallgebiet **103** ist von dem Material der dielektrischen Schicht bei Bedarf mittels einer Barrierenschicht **104** getrennt, die typischerweise als eine Schicht vorgesehen wird, um die Diffusion von Metallatomen in das dielektrische Material **102** zu unterdrücken und um ebenso die Diffusion von Atomen der dielektrischen Schicht **102** in das Metallgebiet **103** zu reduzieren. Des Weiteren kann die Barrierenschicht auch die Haftung des Metallgebiets **103** an dem dielektrischen Material der Schicht **102** verbessern. In komplexen Bauelementen enthält das Metallgebiet **103** Kupfer und die Barrierenschicht **104** ist aus einer oder mehreren Schichten aufgebaut, etwa mit Tantal, Tantalnitrid, Titan, Titanitrid und dergleichen. Häufig ist eine dielektrische Barrierenschicht oder eine Deckschicht **105**, die aus einem dielektrischen Material aufgebaut ist, das im Wesentlichen eine Diffusion von Metallatomen des Metallgebiets **103** in benachbarte dielektrische Bereiche unterdrückt, vorgesehen, während in anderen Fällen die Schicht **104** zusätzlich Ätzstoppeigenschaften während des Strukturierens einer weiteren dielektrischen Schicht **106** besitzt, die eine Schicht aus dielektrischem Material repräsentiert, das eine gewünschte geringere Dielektrizitätskonstante besitzt, wie dies zuvor erläutert ist. Beispielsweise enthält die dielektrische Barrierenschicht oder Deckschicht **105** Siliziumnitrid, Siliziumkarbid, stickstoffhaltendes Siliziumkarbid und dergleichen, die effizient eine Kupferdiffusion reduzieren können und die auch für eine erhöhte mechanische Integrität und für die gewünschten Ätzstoppeigenschaften sorgen. Zu beachten ist, dass auch zusätzliche dielektrische Materialien zwischen der dielektrischen Schicht **102** und der Schicht **106** bei Bedarf vorgesehen werden können. Die Schicht **106** ist beispielsweise aus einer Mischung aus Silizium, Sauerstoff, Wasserstoff und Kohlenstoff aufgebaut, die somit das grundlegende Materialnetzwerk

der Schicht **106** bilden, deren Dichte in einer nachfolgenden Fertigungsphase verringert wird, indem ein porenbildendes Material **107** teilweise entfernt wird, um damit eine Dielektrizitätskonstante von 2,7 oder weniger zu erreichen, was für ein besseres Leistungsverhalten des Halbleiterbauelements **100** erforderlich ist.

**[0020]** Ein typischer Prozessablauf zur Herstellung des Halbleiterbauelements, wie es in Fig. 1a gezeigt ist, umfasst die folgende Prozesse. Nach der Herstellung der grundlegenden Strukturen von Schaltungselementen in und über dem Substrat **101** werden die dielektrische Schicht **102** und das Metallgebiet **103** auf der Grundlage gut etablierter Prozesstechniken hergestellt. Danach wird die dielektrische Barrierenschicht oder Deckschicht **105**, beispielsweise durch plasmagestützte CVD auf der Grundlage gut etablierter Prozessrezepte, um die gewünschte Zusammensetzung der Materialien zu erzeugen. Daraufhin wird die dielektrische Schicht **106** mittels plasmaunterstützter CVD **108** abgeschieden, wobei eine Plasmaumgebung eingerichtet wird, durch Anwendung einer geeigneten elektromagnetischen Leistung mit einer Frequenz von 10 bis 15 MHz, die kapazitiv oder induktiv in der Plasmaumgebung eingekoppelt wird. Während des Abscheidungsprozesses wird ein erstes Vorstufenmaterial, das als Vorstufenmaterial **1** bezeichnet ist, etwa in Form eines Silianderivats, eines Siloxanderivats und dergleichen die Plasmaumgebung in Verbindung mit geeigneten Trägergasen, etwa Edelgasen und dergleichen eingeführt, wodurch reaktive Moleküle in der Umgebung **108** erzeugt werden, die sich über dem Substrat **101**, d. h. auf der Schicht **105**, ablagern. Zu diesem Zweck wird eine Prozesstemperatur so gewählt, dass diese über ungefähr 300 Grad C liegt, beispielsweise im Bereich von 350 bis 500 Grad C, wodurch ein grundlegendes Netzwerk in Form der Schicht **106** geschaffen wird, das für die gewünschte moderat geringe Dielektrizitätskonstante in Verbindung mit speziellen chemischen und mechanischen Eigenschaften sorgt. Während des Abscheidungsprozesses **108** wird ein zweites Vorstufenmaterial zugeführt, um eine organische Sorte einzubauen, etwa ein komplexes Molekül mit einer Methylgruppe, die somit in das grundlegende Netzwerk des Materials eingebaut wird, das auf der Grundlage der ersten Vorstufenart erzeugt wurde. Folglich werden während des Abscheidungsprozesses **108** die porenbildenden Substanzen **107** in das grundlegende Material der Schicht **106** mit einer gewissen Konzentration eingebaut, die wesentlich von den gesamten Prozessparametern des Prozesses **108** abhängt. Somit sind die gesamten Eigenschaften der Schicht **106** einschließlich der porenbildenden Substanzen **107** einzustellen, indem eine Vielzahl an Prozessparametern gesteuert wird, die zumindest die drei unterschiedlichen Vorstufenmaterialien betreffen, die unterschiedliche Durchflussraten und spezielle Hochlaufzeiten, Stabilisierungspha-

sen und dergleichen erfordern, was wiederum zur gesamten Komplexität des Abscheideprozesses **108** beiträgt. Auf Grund des Vorhandenseins des Vorstufenmaterials **102**, d. h. des Vorstufenmaterials, das die porenbildende Substanz **107** erzeugt, ist auch ein großer Anteil an flüchtigen Abscheidenebenprodukten in der Abscheideumgebung **108** vorhanden und kann somit das Substrat **101** und andere freiliegende Oberflächenbereiche einer Prozessanlage kontaminieren, die zum Einrichten der Umgebung des Abscheideprozesses **108** verwendet wird. Folglich hängen die Bedingungen für das Abscheiden der Schicht **106** stark von der Prozessgeschichte der Prozessanlage und es können somit aufwendige Reinigungsprozesse regelmäßig erforderlich sein, wodurch ebenfalls zu einem deutlich geringeren Durchsatz der jeweiligen Abscheideanlagen beigetragen wird.

**[0021]** Fig. 1b zeigt schematisch das Halbleiterbauelement **100** in einer nachfolgenden Fertigungsphase, in der das Bauelement **100**, d. h. die Schicht **106**, der Einwirkung von Ultraviolett-(UV-)Strahlung während eines Prozesses **109** unterzogen wird, während welchem erhöhte Temperaturen, etwa im Bereich von 300 bis 500 Grad C, in Verbindung mit einer geeigneten Gasatmosphäre angewendet werden. Beispielsweise wird eine „inerte“ Gasumgebung, etwa eine Edelgasumgebung, eine Stickstoffumgebung und dergleichen, bei einem Druck von mehreren Torr eingerichtet, während UV-Strahlung mit einer Wellenlänge von 200 nm oder weniger angewendet wird, um chemische Bindungen abzureißen, wodurch das Herausdiffundieren organischer Moleküle **107a** in Gang gesetzt wird. Während der Behandlung **109** wird somit die empfindliche Dichte der Schicht **106** verringert, beispielsweise durch Erzeugung von Nanohohlräumen **106a** auf Grund des Herausdiffundierens eines Teils der zuvor eingebauten porenbildenden Substanzen **107** (siehe Fig. 1a). Auf Grund der Verringerung der Dicke wird auch ein gewisses Maß an Schrumpfung **106s** während des Prozesses **109** hervorgerufen, was zu einer geringeren Schichtdicke führt, wobei auch die mechanischen und chemischen Eigenschaften in der endgültigen Schicht **106** durch den Grad an Schrumpfung **106s** beeinflusst werden. Beispielsweise beträgt die typische Schrumpfung ungefähr 16% und mehr im Hinblick auf das anfängliche Volumen und die Schichtdicke während des Prozesses **106**, um damit eine reduzierte Dielektrizitätskonstante von 2,6 oder weniger zu erreichen. Zu beachten ist, dass auf Grund des Herausdiffundierens der Sorte **107a** auch eine ausgeprägte Kontamination der entsprechenden Prozessanlage auftreten kann, wodurch ebenfalls ein Reinigen der Prozessanlagen erforderlich sein kann. Somit kann die Behandlung **109** in Verbindung mit den zuvor eingebauten porenbildenden Stoffen **107** (siehe Fig. 1a) zu einem deutlichen Grad an Schrumpfung und auch zu einer Bauteil- und Anlagenkontamination beitragen, wodurch der gesamte Prozessdurchsatz verrin-

gert wird, während gleichzeitig die Komplexität für das Steuern des gesamten Prozessergebnisses, etwa im Hinblick auf Schichteigenschaften, etwa die endgültige Schichtdicke, die mechanische Stabilität, die chemische Stabilität, die Dielektrizitätskonstante und dergleichen, erhöht wird.

**[0022]** Obwohl die zuvor beschriebene Sequenz auf der Grundlage mindestens zweier unterschiedlicher Vorstufenmaterialien die Herstellung dielektrischer Materialien ermöglicht, die eine Dielektrizitätskonstante von 2,6 oder weniger besitzen, führt folglich der höhere Grad an Prozesskomplexität beim Steuern von Prozessergebnissen in Verbindung mit dem Erfordernis eines häufigen komplexen Leistungsprozesses dazu, dass dieses Konzept weniger attraktiv ist. Andererseits ermöglichen gut etablierte Prozessrezepte zur Herstellung eines siliziumbasierten dielektrischen Materials mit kleinem  $\epsilon$  unter Anwendung von plasmaunterstützten CVD-Techniken mit einem einzigen Vorstufenmaterial ohne Einbau einer porenbildenden Substanz ggf. keine weitere Verringerung der Dielektrizitätskonstante auf Werte von ungefähr 2,6 und darunter.

**[0023]** Angesichts der zuvor beschriebenen Situation betrifft die vorliegende Erfindung Techniken zur Herstellung von dielektrischen Materialien mit kleinem  $\epsilon$  in Halbleiterbauelementen auf der Grundlage einer plasmaunterstützten Abscheidetechnik, während eines oder mehrerer der oben erkannten Probleme vermieden oder zumindest in der Auswirkung reduziert werden.

#### Überblick über die Erfindung

**[0024]** Im Allgemeinen betrifft die vorliegende Erfindung Techniken zur Herstellung komplexer dielektrischer Materialien mit kleinem  $\epsilon$  auf der Grundlage plasmaunterstützter CVD-Prozesse, ohne dass aufwendige Prozesssteuerungsmechanismen erforderlich sind, indem die Anwesenheit eines komplexen Vorstufenmaterialsystems während des Abscheideprozesses vermieden wird. Dazu wird in einigen anschaulichen hierin offenbarten Ausführungsformen ein Vorstufenmaterial verwendet, um damit ein dielektrisches Basismaterial mit kleinem  $\epsilon$  bereitzustellen, ohne dass sehr flüchtige Sorten, etwa porenbildende Sorten und dergleichen eingebaut werden, wobei eine nachfolgende Behandlung, erfindungsgemäß auf der Grundlage von UV-Strahlung, angewendet wird, um die endgültige reduzierte dielektrische Konstante und gewünschte chemische und mechanische Eigenschaften einzustellen. D. h. eine unerwünschte Ausdiffusion von organischen Sorten wird vermieden, wobei dennoch eine gewünschte niedrige Dielektrizitätskonstante erreicht wird, so dass die Häufigkeit komplexer Reinigungsprozesse auf Grund einer Prozessanlagenkontamination und dergleichen deutlich verringert

wird. Gleichzeitig wird eine bessere Prozesssteuerbarkeit während des Abscheidens des grundlegenden dielektrischen Materials erreicht, da speziell ausgebildete porenbildende Vorstufenmaterialien nicht erforderlich sind. Erfindungsgemäß wird zunächst ein siliziumbasiertes dielektrisches Material auf der Grundlage eines weniger komplexen Vorstufenmaterialsystems abgeschieden, nämlich erfindungsgemäß auf Basis eines einzelnen Vorstufenmaterials, bei einer reduzierten Temperatur von ungefähr 300 Grad C und weniger, wodurch eine Materialschicht mit reduzierter Dichte und einem geringeren Grad an Vernetzung erzeugt wird. Daraufhin wird die Dichte erhöht durch Anwenden von Energie, beispielsweise in Form von UV-Strahlung und dergleichen, um die Materialdichte zu erhöhen, wobei dennoch eine gewünschte geringe Dielektrizitätskonstante erreicht wird. Auf diese Weise werden bessere chemische und mechanische Eigenschaften auf Basis der Abscheideparameter eingestellt, die in sehr effizienter Weise auf Grund des vereinfachten Vorstufenmaterialsystems gesteuert werden können und auf der Grundlage der nachfolgenden Behandlung, während in beiden Prozessschritten eine unerwünschte Kontamination von Substraten und Prozessanlagen im Wesentlichen vermieden wird. Ferner wird der Grad der Schrumpfung während der nachfolgenden Behandlung des dielektrischen Materials mit kleinem  $\epsilon$  auf einem geringen Niveau gehalten, beispielsweise bei ungefähr 10% oder weniger, was ebenfalls zu einer besseren Gesamtprozesssteuerbarkeit beiträgt. Folglich kann die Zuverlässigkeit und die Kostengestaltung der resultierenden Halbleiterbauelemente verbessert werden.

**[0025]** Ein anschauliches hierin offenbartes Verfahren umfasst

Abscheiden eines dielektrischen Materials (**206**) mit kleinem  $\epsilon$  über einem Substrat (**201**) eines Halbleiterbauelements (**200**) bei einer Prozesstemperatur von 300 Grad C oder weniger durch Einrichten einer Plasmaumgebung auf der Grundlage lediglich einer Vorstufenorte (**208A**) und eines oder mehrerer Trägergase (**208B**); und

Behandeln des dielektrischen Materials (**206**) mit kleinem  $\epsilon$  auf der Grundlage von Ultraviolett-(UV)Strahlung; und wobei

die Dielektrizitätskonstante des dielektrischen Materials (**206**) mit kleinem  $\epsilon$  2,7 oder weniger nach Einwirken der UV-Strahlung beträgt und die Vorstufenorte (**208A**) Oktamethylzyklotetrasiloxan (OMCTS) ist.

#### Kurze Beschreibung der Zeichnungen

**[0026]** Weitere Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung sind in den angefügten Patentansprüchen definiert und gehen deutlicher aus der folgenden detaillierten Beschreibung hervor, wenn diese mit Bezug zu den begleitenden Zeichnungen studiert wird, in denen:

**[0027]** Fig. 1a schematisch eine Querschnittsansicht eines Halbleiterbauelements während einer Fertigungsphase zeigt, wenn ein dielektrisches Material mit kleinem  $\epsilon$  auf der Grundlage eines plasmaunterstützten Abscheideprozesses auf Basis zumindest zweier unterschiedlicher Vorstufenmaterialsorten abgeschieden wird, um ein grundlegendes Materialnetzwerk zu bilden und um ein porenbildendes Material gemäß konventioneller Strategien einzubauen;

**[0028]** Fig. 1b schematisch das Halbleiterbauelement während einer UV-Strahlungsbehandlung zum Einstellen der endgültigen Dielektrizitätskonstante zeigt, indem organische Komponenten der porenbildenden Substanzen gemäß konventioneller Strategien herausdiffundieren;

**[0029]** Fig. 2a schematisch eine Querschnittsansicht eines Halbleiterbauelements während eines plasmaunterstützten Abscheideprozesses zur Herstellung eines dielektrischen Basismaterials mit reduzierter Dichte auf der Grundlage eines einzelnen Vorstufenmaterials gemäß anschaulicher Ausführungsformen zeigt;

**[0030]** Fig. 2b schematisch das Halbleiterbauelement zeigt, wenn es der Einwirkung einer Prozessumgebung zur Erhöhung der Dichte des Materials ausgesetzt wird, nämlich auf der Grundlage von UV-Strahlung, während ein Herausdiffundieren von Materialkomponenten gemäß anschaulicher Ausführungsformen vermieden wird; und

**[0031]** Fig. 2c schematisch das Halbleiterbauelement in einer weiter fortgeschrittenen Fertigungsphase zeigt, in der dicht gepackte Metallleitungen in dem dielektrischen Material mit kleinem  $\epsilon$  gemäß noch weiterer anschaulicher Ausführungsformen hergestellt sind.

#### Detaillierte Beschreibung

**[0032]** Im Allgemeinen betreffen die hierin offenbarten Prinzipien plasmaunterstützte CVD-Techniken zum Abscheiden von dielektrischen Materialien mit kleinem  $\epsilon$  auf der Grundlage besserer Prozessbedingungen im Vergleich zu komplexen Abscheidestrategien, in denen mindestens zwei unterschiedliche Vorstufenmaterialien vorzusehen sind, um damit flüchtige organische Sorten in das dielektrische Basismaterial mit kleinem  $\epsilon$  einzubauen. Im Gegensatz zu konventionellen Vorgehensweisen, in dem ein dielektrisches Material mit kleinem  $\epsilon$  auf der Grundlage eines einzelnen Vorstufenmaterials mit einer Dielektrizitätskonstante von 2,7 oder höher abgeschieden wird, beruhen jedoch die hierin offenbarten Techniken auf einer Prozessstrategie, in der das dielektrische Basismaterial mit kleinem  $\epsilon$  auf Grundlage besserer Prozessbedingungen mit einer geringeren

Dichte und einem geringeren Grad an Vernetzung aufgebracht wird, wobei die endgültigen Eigenschaften des dielektrischen Materials mit kleinem  $\epsilon$ , etwa Dielektrizitätskonstante, die Dichte, die Elastizität, die Härte und dergleichen weiter während einer nachfolgenden Behandlung auf der Grundlage energiereicher Teilchen und/oder Strahlung, erfindungsgemäß zumindest UV-Strahlung, eingestellt werden. Auf Grund des Vermeidens von porenbildenden Substanzen während des Abscheidens des Basismaterials mit kleinem  $\epsilon$  kann andererseits ein unerwünschtes Herausdiffundieren organischer Komponenten vermieden oder deutlich verringert werden. Somit wird eine gewünschte niedrige Dielektrizitätskonstante auf der Grundlage einer besseren Prozesssteuerbarkeit mit einem deutlich erhöhten Gesamtprozessdurchsatz erreicht auf Grund der deutlichen Verringerung der Anzahl an Reinigungsprozessen auf Grund des geringeren Grades an Anlagenkontamination. Die Schrumpfung des anfänglich abgeschiedenen dielektrischen Materials mit kleinem  $\epsilon$  wird während der nachfolgenden Behandlung bei ungefähr 10% oder weniger gehalten, wodurch ebenfalls zu einem erhöhten Grad an Steuerbarkeit der gesamten Prozesssequenz beigetragen wird.

**[0033]** Erfindungsgemäß wird ein einzelnes Vorstufenmaterial in Form von Oktamethylzyklotetrasiloxan (OMCTS) während des plasmaunterstützten Abscheidungsprozesses verwendet, das ein gut etabliertes Vorstufenmaterial repräsentiert, um siliziumbasierte dielektrische Materialien herzustellen. Folglich können entsprechende Ressourcen zum Handhaben und zum Verarbeiten des Vorstufenmaterials bei der Herstellung eines dielektrischen Materials mit kleinem  $\epsilon$  mit erhöhter Zuverlässigkeit eingesetzt werden.

**[0034]** Mit Bezug zu den **Fig. 2a** bis **Fig. 2c** werden nunmehr weitere anschauliche Ausführungsformen detaillierter beschrieben, wobei auch bei Bedarf auf die **Fig. 1a** und **Fig. 1b** verwiesen wird.

**[0035]** **Fig. 2a** zeigt schematisch eine Querschnittsansicht eines Halbleiterbauelements **200** mit einem Substrat **201**, in und über welchem Bauteilstrukturelemente, etwa Schaltungselemente komplexer integrierter Schaltungen in Form von Transistoren, Kondensatoren, Widerständen und dergleichen ausgebildet sind. Diese Schaltungselemente oder Bauteilstrukturelemente werden in einer oder mehreren Bauteilebenen bereitgestellt, wobei der Einfachheit halber eine Bauteilebene **210** in **Fig. 2a** der Anschaulichkeit halber dargestellt ist. Zu beachten ist, dass die Bauteilebene **210** ein Halbleitermaterial mit beispielsweise Silizium und dergleichen repräsentiert, in und über welchem Halbleiterbauelemente, etwa Transistoren, etwa Dioden und dergleichen gebildet sind. In anderen Fällen repräsentiert die Bauteilebene **210** eine geeignete Kontaktstruktur, die jeweilige

Schaltungselemente (nicht gezeigt) anbindet, die in einer tiefer liegenden Bauteilebene vorgesehen sind. In noch anderen anschaulichen Ausführungsformen repräsentiert die Bauteilebene **210** ein Metallisierungsschicht eines Metallisierungssystems des Bauelements **200**, wobei eine weitere Metallisierungsschicht über der Bauteilebene **210** auf der Grundlage eines dielektrischen Materials mit kleinem  $\epsilon$  vorzusehen ist. Z. B. umfasst die Bauteilebene **210** ein dielektrisches Material **212**, das in Form eines konventionellen dielektrischen Materials, etwa in Form Siliziumdioxid, Siliziumnitrid und dergleichen, vorgesehen wird, oder in Form eines dielektrischen Materials mit kleinem  $\epsilon$  mit einer Dielektrizitätskonstanten von 3,0 oder weniger.

**[0036]** In diesem Zusammenhang ist zu beachten, dass die Dielektrizitätskonstante eines dielektrischen Materials des Halbleiterbauelements **200** auf der Grundlage einer beliebigen geeigneten Teststruktur bestimmt werden kann, beispielsweise in Form von kapazitiven Elementen, die auf speziellen Testsubstraten oder Teststrukturen des Substrats **201** vorgesehen sind, wobei diese kapazitiven Elemente auf der Grundlage von Wechselstromsignalen mit bekannten Eigenschaften betrieben werden, um die Dielektrizitätskonstante auf der Grundlage einer entsprechenden Signalantwort des kapazitiven Elements oder der betrachteten Teststruktur zu bestimmen. Es ist beispielsweise gut bekannt, dass die Kapazität eines kapazitiven Elements zusätzlich zu den geometrischen Verhältnissen auch von den Materialeigenschaften, d. h. den dielektrischen Eigenschaften des Materials abhängt, das zwischen den jeweiligen Elektroden des Kondensators angeordnet ist. Der Dielektrizitätswert kann für einen Frequenzbereich ermittelt werden, in welchem dieser Wert im Wesentlichen unabhängig von einer Änderung der Frequenz ist, wodurch ein Wert ermittelt wird, der vergleichbar ist mit anderen Dielektrizitätswerten, die an deren Halbleiterbauelementen ermittelt werden.

**[0037]** In der Bauteilebene **210** ist ein Schaltungsstrukturelement **203** vorgesehen, beispielsweise in Form eines Metallgebiets, das ein leitendes Barrierenmaterial **204** enthalten kann, wenn ein direkter Kontakt eines gut leitendes Metalls, etwa von Kupfer und dergleichen, mit dem dielektrischen Material **202** als ungeeignet erachtet wird. Des Weiteren ist eine dielektrische Schicht **205**, etwa in Form von Siliziumnitrid, Siliziumkarbid, stickstoffhaltendem Siliziumkarbid, Siliziumdioxid und dergleichen oder einer Kombination aus zwei oder mehreren dieser Materialien vorgesehen. Ferner ist eine weitere Bauteilebene **220**, etwa in Form einer Metallisierungsschicht und dergleichen, über der Bauteilebene **210** angeordnet und enthält in der gezeigten Fertigungsphase ein dielektrisches Material mit kleinem  $\epsilon$  **206**. In einigen anschaulichen Ausführungsformen repräsentiert das dielektrische Material mit kleinem  $\epsilon$  **206** ein

siliziumhaltendes dielektrisches Material, das beispielsweise Sauerstoff, Kohlenstoff, Wasserstoff und dergleichen enthält, was somit auch als ein „organisches“ siliziumbasiertes Material bezeichnet werden kann. Die Schicht **206** besitzt eine moderat geringe Dichte, d. h., der Grad an Vernetzung innerhalb des Materials der Schicht **206** kann auf einem moderat geringen Niveau gehalten werden, was bewerkstelligt werden kann, indem die Prozessparameter eines Abscheideprozesses **208** geeignet eingestellt werden.

**[0038]** Allgemein kann das Halbleiterbauelement **200** auf der Grundlage gut etablierter Prozesstechniken entsprechend den zugehörigen Entwurfsregeln hergestellt werden, die beispielsweise die Herstellung von Schaltungselementen, etwa dem Element **203**, mit kritischen Abmessungen von 50 nm und weniger erfordern, wenn Transistorelemente betrachtet werden. Wenn das Bauteilstrukturelement **203** eine Metalleitung repräsentiert, beträgt eine Breite in komplexen Anwendungen 100 nm und weniger. Zu diesem Zweck wird das dielektrische Material **202** aufgebracht und anschließend auf der Grundlage von Photolithographie- und Ätztechniken strukturiert, woran sich das Abscheiden geeigneter Materialien anschließt, etwa des leitenden Barrierenmaterials **204** und eines Metalls, etwa von Kupfer, und dergleichen, wenn die Bauteilebene **210** eine Metallisierungsschicht repräsentiert. Daraufhin wird überschüssiges Material entfernt, etwa durch CMP (chemisch-mechanisches Polieren), woran sich das Abscheiden des Materials **205** etwa unter Anwendung plasmaunterstützter CVD-Techniken anschließt. Als nächstes wird eine Prozessumgebung für den Abscheideprozess **208** eingerichtet, was das Zuführen eines geeigneten Vorstufenmaterials **208a** und eines oder mehrerer Trägergase **208b** beinhaltet, auf deren Basis ein Plasma erzeugt wird. Zu diesem Zweck kann eine beliebige geeignete Abscheideanlage eingesetzt werden, in der die Plasmaumgebung für den Prozess **208** eingerichtet werden kann, wie dies auch beispielsweise zuvor mit Bezug zu dem Bauelement **100** beschrieben ist. Erfindungsgemäß wird das Vorstufenmaterial **208a** als eine einzelne Substanz zugeführt, sodass geeignete Abscheidebedingungen effizient gesteuert werden können, indem eine einzelne Hochlaufzeit, d. h. eine Zeit zum Einführen eines Vorstufenmaterials **208a** ausgewählt wird und indem gewünschte Gleichgewichtsbedingungen erzeugt werden, d. h. durch Stabilisieren der Konzentration von Vorstufenmolekülen in der Umgebung des Prozesses **208**. Geeignete Parameter können beispielsweise im Hinblick auf die Durchflussrate des Vorstufenmaterials **208a** und des einen oder der mehreren Trägergase **208b** können bei einer vorgegebenen Abscheideanlage auf der Grundlage von Experimenten ermittelt werden, die von konventionellen Abscheideprozessen ausgehen. Erfindungsgemäß wird unter Anwendung eines siliziumhaltenden Vorstufenmaterials, nämlich von OMCTS, beispielsweise ein Druck

in der Umgebung **208** von ungefähr 400 bis 933 Pa (3 bis 7 Torr) auf der Grundlage des Zuführens von 2000 bis 5000 mg des Vorstufenmaterials **208a** in einer Prozessanlage eingerichtet, die ausgebildet ist, 300 mm-Substrate zu bearbeiten. Die Durchflussraten in Standardkubikzentimeter pro Minute (SCCM) eines oder mehrerer Trägergase, etwa von Edelgasen und dergleichen, können im Bereich von 500 bis 2000 SCCM festgelegt. In einigen nicht erfindungsgemäßen Varianten wird zusätzlich Sauerstoff zugeführt, wobei für die zuvor genannten Prozessbedingungen die Durchflussrate von 0 bis 500 SCCM ausgewählt wird. Während des Abscheideprozesses **208** hängt der Grad der Vernetzung der Schicht **206** wesentlich von der Prozesstemperatur ab, d. h. der Oberflächentemperatur des Bauelements **200**, die erfindungsgemäß auf 300 Grad C und weniger festgelegt wird, beispielsweise auf einen Bereich von 200 bis 300 Grad C, um eine moderat geringe Materialdichte zu erreichen. Unter diesen Prozessbedingungen, die eine verbesserte Prozesssteuerung auf Grund des Fehlens von weiteren Vorstufenmaterialien ermöglichen, die ansonsten konventioneller Weise in eine plasmaunterstützte Abscheideumgebung zum Einbau einer porenbildenden Substanz eingeführt werden, kann die Schicht **206** mit einer gewünschten Dicke aufgebracht werden, wobei auch ein gewisser Grad an Schrumpfung berücksichtigt werden kann, die durch einen nachfolgenden Prozessschritt hervorgerufen wird, um die endgültigen Eigenschaften des dielektrischen Materials **206** einzustellen.

**[0039]** Fig. 2b zeigt schematisch das Halbleiterbauelement **200** während einer Behandlung **209**, um die Materialschicht **206** zu verdichten. Erfindungsgemäß wird die Behandlung **209** auf der Grundlage von UV-Strahlung, in einer anschaulichen Ausführungsform mit einer Wellenlänge von ungefähr 200 nm und weniger ausgeführt, um die Molekularstruktur des Materials **206** umzubauen, was auch als „Aushärten“ bezeichnet wird, wodurch die Dichte des Materials **206** vergrößert wird. Während der Behandlung **209** wird eine geeignete Gasumgebung eingerichtet, beispielsweise durch Einführen „inert“ Gase, etwa von Helium, Argon, Stickstoff oder einer Kombination davon, und dergleichen, bei einer geeigneten Durchflussrate, um damit einen gewünschten Prozessdruck zu schaffen, der in einigen anschaulichen Ausführungsformen auf ungefähr 533 bis 1200 Pa (4 bis 9 Torr) festgelegt wird. Ferner kann die Wirksamkeit der Behandlung **209** verbessert werden, indem eine erhöhte Prozesstemperatur eingerichtet wird, d. h. eine Temperatur von ungefähr 300 Grad C und mehr, wobei in einigen Ausführungsformen ein Temperaturbereich von 300 bis 500 Grad C ausgewählt wird. Beispielsweise wird für eine Prozessanlage, die ausgebildet ist, 300 mm-Substrate zu bearbeiten, und für eine Durchflussrate von ungefähr 5000 SCCM und mehr für die inert Gase in Verbindung mit einer



Temperatur und einem Druck, wie sie zuvor spezifiziert sind, eine effiziente Zunahme der Materialdichte und somit eine Verbesserung der mechanischen Eigenschaften des Materials **206** erreicht, während das Ausgasen von flüchtigen organischen Komponenten, etwa von Methylgruppen, reduziert ist, da die spezielle porenbildende Substanz nicht in die Schicht **206** während des vorhergehenden Abscheideprozesses **208** aus **Fig. 2a** eingebaut wurde. Zu beachten ist, dass eine geeignete Leistungsdichte einer Strahlung oder eines energiereichen Teilchenstromes, etwa eines Elektronenschauers, eines Ionenbombardements und dergleichen, effizient bestimmt werden kann, indem entsprechende Experimente ausgeführt werden, in denen unterschiedliche Leistungsdichten für ansonsten konstante Prozessbedingungen angewendet werden, um damit die gewünschten endgültigen Materialeigenschaften der Schicht **206** einzustellen. Somit kann der Grad an Schrumpfung **206s** der anfänglichen Schicht **206** während der Behandlung **209** eingestellt werden, indem geeignete Parameter der Behandlung **209** für eine gegebene anfängliche Materialkonfiguration der Schicht **206** ausgewählt werden. Z. B. wird in einigen anschaulichen Ausführungsformen die Schrumpfung **206s** auf ungefähr 10% oder weniger des anfänglichen Volumens oder der Dicke der Schicht **206** gesteuert, wodurch zu einem größeren Grad an Vorhersagbarkeit der Eigenschaften der Schicht und damit des gesamten Bauelements **200** beigetragen wird. Somit kann der Materialaufbau der Schicht **206** mit hoher Wirksamkeit während des Abscheideprozesses **208** (siehe **Fig. 2a**) gesteuert werden, da komplexe Vorstufenmaterialsysteme während des Abscheidens vermieden werden, wobei eine geringere Abscheidetemperatur für eine reduzierte Dichte und einen geringeren Grad an Vernetzung des Materials der Schicht **206** sorgt. Auf der Grundlage der anfänglichen Materialkonfiguration können dann die endgültigen Eigenschaften der Schicht **206**, etwa Dichte, Dielektrizitätskonstante effizient eingestellt werden, indem geeignete Prozessparameter für die Behandlung **209** verwendet werden. Daher kann eine gewünschte geringe Dielektrizitätskonstante von ungefähr 2,7 und weniger mit einem geringeren Grad an Schrumpfung erreicht werden, während gleichzeitig andere Eigenschaften, etwa mechanischer Eigenschaften, die Isolierfestigkeit und dergleichen, besser sind im Vergleich zu konventionellen Vorgehensweisen, die ein siliziumbasiertes dielektrisches Material mit der gleichen Dielektrizitätskonstante bereitstellen. Auf Grund des deutlich geringeren Grades an Ausgasung während des Abscheidens und der Behandlung der Schicht **206** kann ferner der gesamte Prozessdurchsatz deutlich erhöht werden, da die Komplexität und/oder die Anzahl an Reinigungsprozessen für die jeweiligen Prozessanlagen verringert wird.

**[0040]** Beispielhaft seien Parameterwerte aufgeführt, die während des Abscheideprozesses **208** und

während der Behandlung **209**, wie dies in den **Fig. 2a** und **Fig. 2b** gezeigt ist, angewendet werden, woraus sich für die Schicht **206** die folgenden Materialeigenschaften ergeben.

**[0041]** Die Schrumpfung der Materialschicht **206** in Prozent: 5 ... 15, wobei in einigen anschaulichen Ausführungsformen die Schrumpfung auf weniger als 10% gehalten wird;  
 Dichte in Gramm pro cm<sup>3</sup>: 1.15 ... 1.35;  
 Elastizität des Materials **206** ausgedrückt durch das Elastizitätsmodul E in GPa: 5 ... 9;  
 Härte der Schicht **206** in GPa: 0.75 ... 1.4;  
 Dielektrizitätskonstante: 2.5 ... 2.7;  
 Leckstrom bei einem angelegten elektrischen Feld von 1 MV pro cm, wobei der Leckstrom in Amper/cm<sup>2</sup> ausgedrückt ist: weniger als 5<sup>-10</sup>;  
 innerer Verspannungspegel der Schicht **206** ausgedrückt in MPa: kleiner als 75.

**[0042]** Folglich werden verbesserte mechanische Eigenschaften, etwa Härte, Elastizität und innerer Verspannungspegel erreicht, so dass bessere Prozessbedingungen während der weiteren Bearbeitung der Schicht **206** vorliegen, wobei dennoch eine gewünschte niedrige Dielektrizitätskonstante erreicht wird.

**[0043]** **Fig. 2c** zeigt schematisch das Halbleiterbauelement **200** in einer weiter fortgeschrittenen Fertigungsphase gemäß weiterer anschaulicher Ausführungsformen. Wie gezeigt ist, ist eine Vielzahl an Metallleitungen **222** in dem dielektrischen Material **206** gebildet, das die Materialeigenschaften besitzt, wie sie zuvor beschrieben sind. Die Metallleitungen **222** enthalten ein geeignetes Metall, etwa Kupfer, Kupferlegierungen und dergleichen, möglicherweise in Verbindung mit einem leitenden Barrierenmaterial **221**, um eine Wechselwirkung des leitenden Metalls mit dem dielektrischen Material mit kleinem  $\epsilon$  der Schicht **206** zu verringern. Die Metallleitungen **222** besitzen kritische Abmessungen, d. h. eine Breite **222w** entsprechend den Entwurfsregeln des betrachteten Technologiestandards, wobei eine entsprechende Breite 100 nm und weniger betragen kann. In ähnlicher Weise ist ein Abstand **222d** zwischen zwei benachbarten Metallleitungen **222** entsprechend den Entwurfsregeln ausgelegt und kann 100 nm oder weniger, etwa 60 nm und weniger in modernsten Halbleiterbauelementen gemäß der 45 nm-Technologie betragen. In diesem Falle wird die Dielektrizitätskonstante des Materials **206** zu 2, 6 und weniger, gewählt, wobei die ansonsten besseren Materialeigenschaften, beispielsweise im Hinblick auf die Isolationsfestigkeit, die Härte, die Elastizität und dergleichen, geeignete Bedingungen während der Prozesssequenz zur Herstellung der Metallleitungen **222** schaffen. D. h., das Reinigen des Materials **206**, das Vorsehen von Ätzmasken in Verbindung mit Hartmaskenmaterialien und dergleichen

wird auf der Grundlage besserer Oberflächenbedingungen der Schicht **206** bewerkstelligt, die ferner moderat gleichmäßige Materialeigenschaften im Hinblick auf die Härte und die Dielektrizitätskonstante besitzt, wie dies zuvor erläutert ist, wodurch der gesamte Strukturierungsvorgang zur Herstellung entsprechender Öffnungen in der Schicht **206** verbessert wird. Daraufhin wird das Barrierenmaterial **221** in Verbindung mit einem gewünschten Metall, etwa Kupfer, in die Öffnungen durch gut etablierte Prozesstechniken eingefüllt. Während des Entfernens von überschüssigem Material tragen die besseren mechanischen Eigenschaften der Schicht **206** ebenfalls zu einem besseren Leistungsverhalten und einer erhöhten Zuverlässigkeit der Metallisierungsschicht **220** bei. Während der Strukturierung von Öffnungen in Metallleitungen **222** möglicherweise in Verbindung mit zusätzlichen Kontaktdurchführungen wird der geringere Grad an Schrumpfung der Schicht **206** zu einer besser vorhersagbaren geometrischen Konfiguration der endgültigen Metallleitungen **222**, wodurch ebenfalls eine bessere Gleichmäßigkeit der Bauteileigenschaften des Bauelements **200** erreicht wird.

**[0044]** Es gilt also: Die vorliegende Erfindung stellt Techniken zur Herstellung von dielektrischen Materialien mit kleinem  $\epsilon$  und von ULK-Materialien auf der Grundlage plasmaunterstützter CVD-Prozesse bereit, in dem ein gut steuerbares Vorstufenmaterial, nämlich OMTCS, eingesetzt wird, während der Einbau von porenbildenden Substanzen während des Abscheidens des dielektrischen Basismaterials vermieden wird. In der nachfolgenden Behandlung werden die endgültigen Eigenschaften des dielektrischen Materials spezielle eingestellt. Folglich wird eine verbesserte gesamte Prozesssteuerbarkeit erreicht, ohne dass spezielle porenbildende Substanzen erforderlich sind, wodurch ebenfalls die Komplexität und die Produktionskosten für dielektrische Materialien für Metallisierungssysteme von Halbleiterbauelemente für einen vorgegebene Wert der Dielektrizitätskonstanten im Vergleich zu konventionellen Strategien verringert werden.

### Patentansprüche

#### 1. Verfahren mit:

Abscheiden eines dielektrischen Materials (**206**) mit kleinem  $\epsilon$  über einem Substrat (**201**) eines Halbleiterbauelements (**200**) bei einer Prozesstemperatur von 300 Grad C oder weniger durch Einrichten einer Plasmaumgebung auf der Grundlage lediglich einer Vorstufensorte (**208A**) und eines oder mehrerer Trägergase (**208B**); und  
Behandeln des dielektrischen Materials (**206**) mit kleinem  $\epsilon$  auf der Grundlage von Ultraviolett-(UV)Strahlung; und wobei  
die Dielektrizitätskonstante des dielektrischen Materials (**206**) mit kleinem  $\epsilon$  2,7 oder weniger nach Einwir-

ken der UV-Strahlung beträgt und die Vorstufensorte (**208A**) Oktamethylzyklotetrasiloxan (OMCTS) ist.

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei ein Druck in der Plasmaumgebung im Bereich von 400 bis 933 Pa liegt.

3. Verfahren nach Anspruch 1, wobei Behandeln des dielektrischen Materials (**206**) mit kleinem  $\epsilon$  auf der Grundlage von UV-Strahlung umfasst: Errichten einer Prozessumgebung auf der Grundlage eines inerten Gases und einer zweiten Prozesstemperatur von 200 Grad C oder höher.

4. Verfahren nach Anspruch 3, wobei die zweite Prozesstemperatur 500 Grad C oder weniger beträgt.

5. Verfahren nach Anspruch 6, wobei die Prozessumgebung bei einem Druck von 533 bis 1200 Pa eingerichtet wird.

6. Verfahren nach Anspruch 1, das ferner umfasst: Bilden von Metallleitungen (**222**) in dem dielektrischen Material (**206**) mit kleinem  $\epsilon$ , wobei zwei benachbarte Metallleitungen (**222**) einen Abstand (**222D**) von 100 nm oder weniger besitzen.

7. Verfahren nach Anspruch 1, das ferner umfasst: Einstellen einer Volumenverringerng des dielektrischen Materials (**206**) mit kleinem  $\epsilon$  während der Behandlung auf der Grundlage von UV-Strahlung auf 10% oder weniger im Vergleich zu einem Volumen des dielektrischen Materials (**206**) mit kleinem  $\epsilon$  vor der UV-Behandlung.

8. Verfahren nach Anspruch 1, wobei die Prozesstemperatur 200 Grad oder mehr beträgt.

Es folgen 4 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

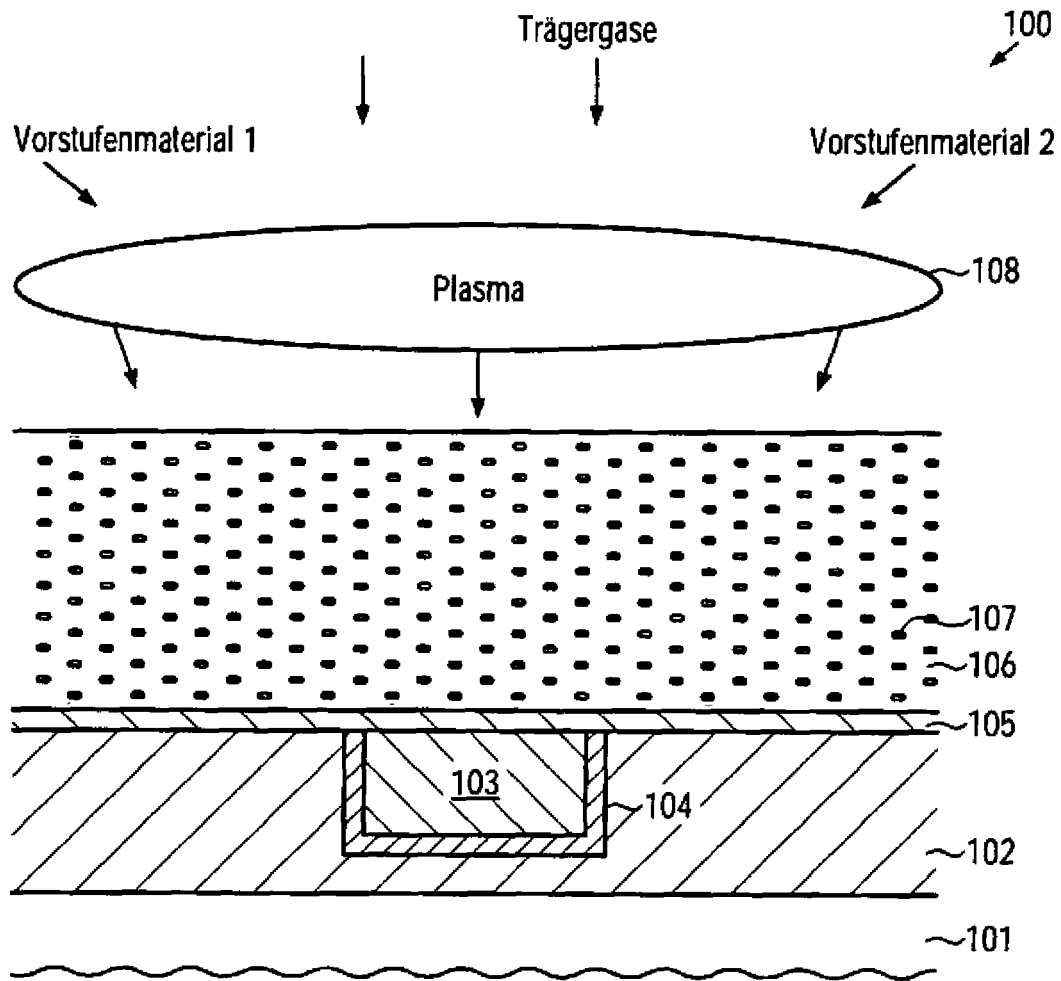
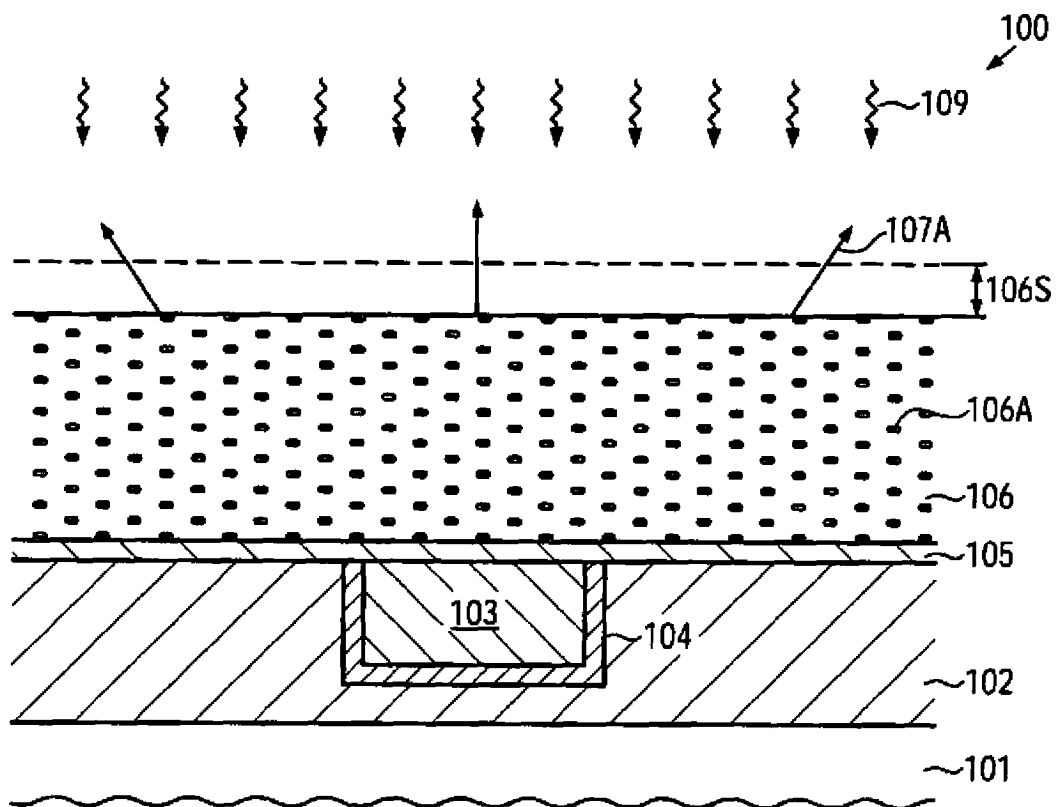


FIG. 1a

(Stand der Technik)



**FIG. 1b**  
(Stand der Technik)

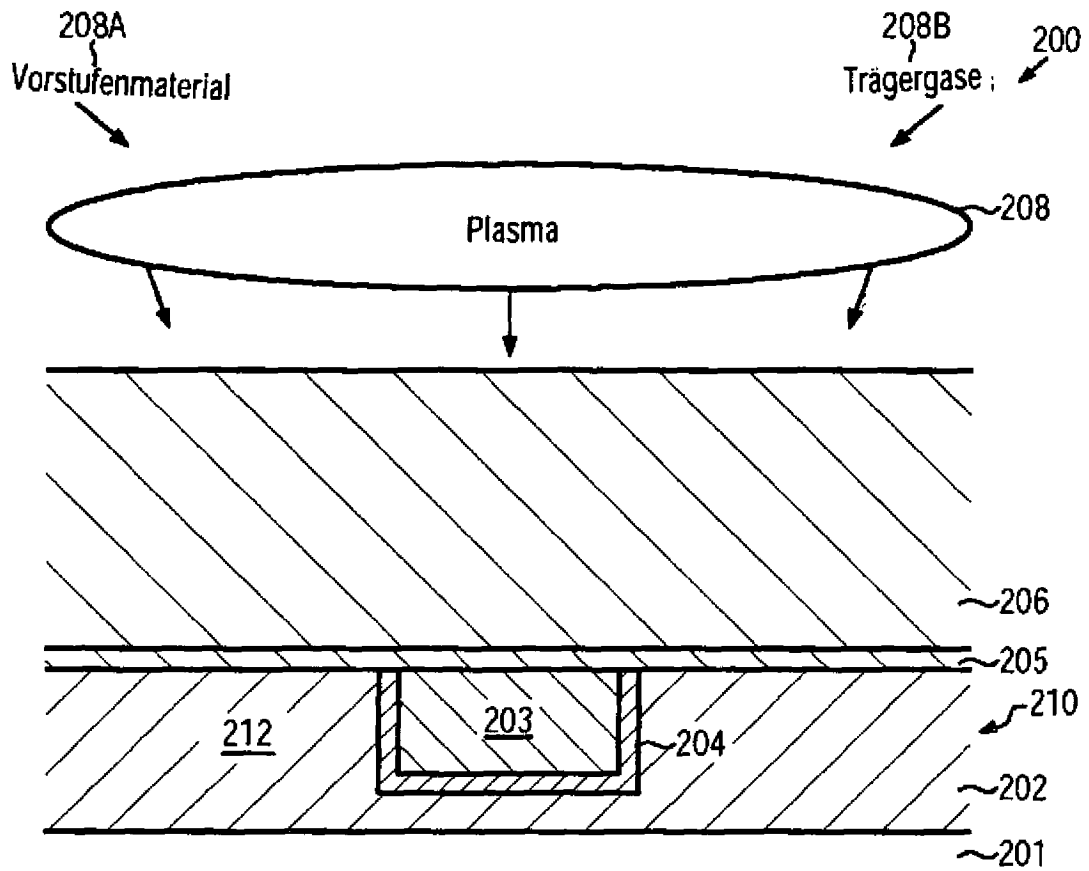


FIG. 2a

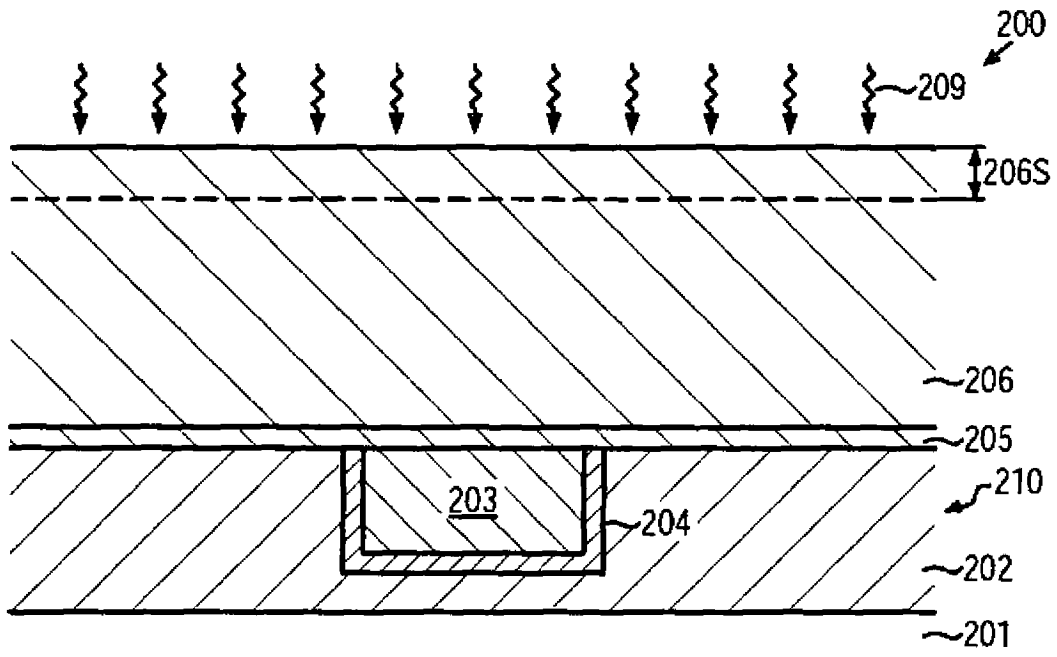


FIG. 2b

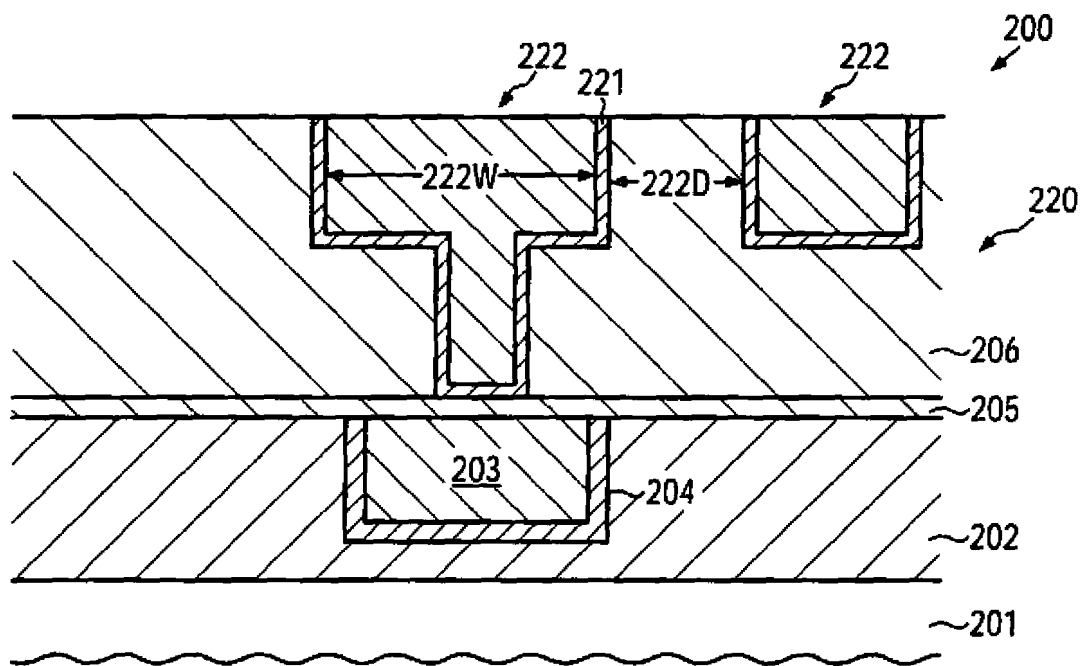


FIG. 2c