(19) Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 10 2008 050 511 B4** 2017.02.16

(12) # Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2008 050 511.0**
(22) Anmeldetag: **06.10.2008**
(43) Offenlegungstag: **23.04.2009**
(45) Veröffentlichungstag der Patenterteilung: **16.02.2017**

(51) Int Cl.: ***H01L 21/205*** (2006.01)
H01L 21/336 (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).

(30) Unionspriorität:
11/867,933 **05.10.2007** **US**

(73) Patentinhaber:
Applied Materials, Inc., Santa Clara, Calif., US

(74) Vertreter:
Zimmermann & Partner Patentanwälte mbB, 80331 München, DE

(72) Erfinder:
Ye, Zhiyuan, Cupertino, Calif., US; Chopra, Saurabh, Sunnyvale, Calif., US; Lam, Andrew, San Francisco, Calif., US; Kim, Yihwan, Milpitas, Calif., US

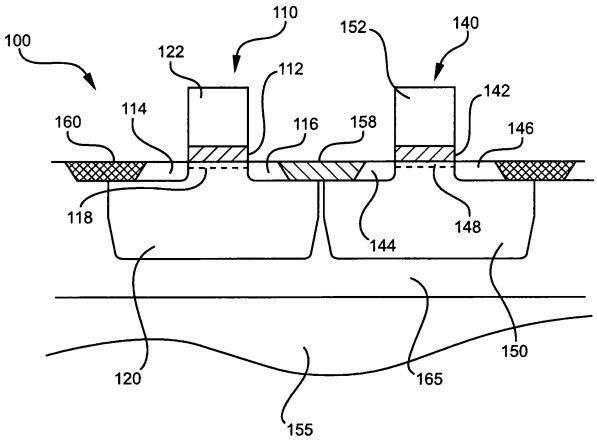
(56) Ermittelter Stand der Technik:

WO 2007/ 109 491 A2
WO 2007/ 112 058 A2

DUDEN: Deutsches Universalwörterbuch. Mannheim Leipzig Wien Zürich. Dudenverlag. 6. Aufl., S. 1227. oder. ISBN-10: 3-411-05506-5. ISBN-13: 978-3-411-05506-7

(54) Bezeichnung: **Selektive Bildung einer Silizium-Kohlenstoff-Epitaxialschicht**

(57) Zusammenfassung: Es werden Verfahren zur Bildung von Epitaxialschichten, die n-dotiertes Silizium enthalten, offenbart. Konkrete Ausführungsformen betreffen die Bildung und Behandlung von Epitaxialschichten in Halbleiterbauelementen, zum Beispiel Metalloxidhalbleiter-Feldeffekttransistor(MOSFET)-Bauelementen. In konkreten Ausführungsformen beinhaltet die Bildung der n-dotierten Epitaxialschicht das Inkontaktbringen eines Substrats in einer Prozesskammer mit Abscheidungsgasen, die eine Siliziumquelle, eine Kohlenstoffquelle und eine n-Dotandenquelle enthalten, bei einer ersten Temperatur und einem ersten Druck und dann das Inkontaktbringen des Substrats mit einem Ätzmittel bei einer zweiten, höheren Temperatur und einem höheren Druck als während der Abscheidung.



Beschreibung

ALLGEMEINER STAND DER TECHNIK

[0001] Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung betreffen allgemein Verfahren und Vorrichtungen zur selektiven Bildung von Epitaxialschichten, die Silizium und Kohlenstoff enthalten. Konkrete Ausführungsformen betreffen Verfahren und Vorrichtungen zur selektiven Bildung von n-dotierten Epitaxialschichten in Halbleiterbauelementen, zum Beispiel Metalloxidhalbleiter-Feldeffekttransistor (MOSFET)-Bauelemente.

[0002] Die Strommenge, die durch den Kanal eines MOS-Transistors fließt, ist direkt proportional zu einer Beweglichkeit von Trägern in dem Kanal, und die Verwendung von MOS-Transistoren mit hoher Beweglichkeit ermöglicht einen stärkeren Stromfluss und folglich schneller arbeitende Schaltkreise. Die Beweglichkeit der Träger in dem Kanal eines MOS-Transistors kann erhöht werden, indem eine mechanische Spannung in dem Kanal erzeugt wird. Ein Kanal unter Druckbelastung, zum Beispiel eine Silizium-Germanium-Kanalschicht, die man auf Silizium aufwachsen lässt, hat signifikant die Lochbeweglichkeit erhöht, wodurch ein pMOS-Transistor entsteht. Ein Kanal unter Zugbelastung, zum Beispiel eine Siliziumkanal-Dünnschicht, die man auf entspanntem Silizium-Germanium aufwachsen lässt, erreicht eine signifikant erhöhte Elektronenbeweglichkeit, wodurch ein nMOS-Transistor entsteht.

[0003] Ein nMOS-Transistorkanal unter Zugbelastung kann auch bereitgestellt werden, indem man eine oder mehrere Kohlenstoff-dotierte Silizium-Epitaxialschichten ausbildet, die komplementär zu dem unter Druckbelastung stehenden SiGe-Kanal in einem pMOS-Transistor sein können. Somit können Kohlenstoff-dotierte Silizium- und Silizium-Germanium-Epitaxialschichten auf der Sourceregion oder Drainregion von nMOS- bzw. pMOS-Transistoren abgeschieden werden. Die Source- und Drainbereiche können entweder flach sein oder können durch selektives Si-Trockenätzen vertieft werden. Bei ordnungsgemäßer Fertigung erzeugen nMOS-Source- und -Drainregionen, die mit Kohlenstoff-dotierter Silizium-Epitaxie bedeckt werden, eine Zugspannung in dem Kanal und erhöhen den nMOS-Ansteuerstrom.

[0004] Um eine erhöhte Elektronenbeweglichkeit in dem Kanal von nMOS-Transistoren, die eine vertiefte Source- oder Drainregion mit Kohlenstoff-dotierter Silizium-Epitaxie aufweisen, zu erreichen, ist es wünschenswert, die Kohlenstoff-dotierte Silizium-Epitaxialschicht auf der Source- oder Drainregion entweder durch selektive Abscheidungsbearbeitung oder durch Bearbeitung nach der Abscheidung selektiv zu bilden. Des Weiteren ist es wünschenswert, dass die Kohlenstoff-dotierte Silizium-Epitaxialschicht substituierte C-Atome enthält, um eine Zugbelastung in dem Kanal hervorzurufen. Eine höhere Zugbelastung in dem Kanal kann mit erhöhtem substituiertem C-Gehalt in einer Kohlenstoff-dotierten Silizium-Source- und -Drainregion erreicht werden.

[0005] Generell erfordern CMOS-Bauelemente (CMOS = Komplementäre Metalloxidhalbleiter), die kleiner als 100 nm sind, eine Grenzschichttiefe von weniger als 30 nm. Eine selektive epitaxiale Abscheidung wird oft dafür verwendet, Epitaxialschichten (”Epischichten”) aus Silizium-haltigen Materialien (zum Beispiel Si, SiGe und Si:C) in die Grenzschichten hinein zu bilden. Eine selektive epitaxiale Abscheidung gestattet das Aufwachsen von Epischichten auf Siliziumgräben ohne epitaxiales Wachstum auf dielektrischen Bereichen. Selektive Epitaxie kann innerhalb von Halbleiterbauelementen verwendet werden, wie zum Beispiel für erhöhte Source- oder Drainregionen, Source- oder Drainregionserweiterungen, Kontaktstecker oder Basisschichtabscheidung bipolarer Bauelemente.

[0006] Ein typischer selektiver Epitaxieprozess beinhaltet eine Abscheidungsreaktion und eine Ätzreaktion. Während des Abscheidungsprozesses wird die epitaxiale Schicht auf einer monokristallinen Fläche ausgebildet, während eine Schicht aus polykristallinem und/oder amorphem Material auf mindestens einer zweiten Schicht abgeschieden wird, wie zum Beispiel einer vorhandenen polykristallinen Schicht und/oder einer amorphen Schicht. Die Abscheidungs- und Ätzreaktionen vollziehen sich gleichzeitig mit relativ unterschiedlichen Reaktionsraten an einer Epitaxialschicht und an einer polykristallinen Schicht. Jedoch wird die abgeschiedene polykristalline oder amorphe Schicht im Allgemeinen mit einer schnelleren Rate geätzt als die epitaxiale Schicht. Darum führt der effektive selektive Prozess durch Ändern der Konzentration eines Ätzgases zur Abscheidung von Epitaxiematerial und allenfalls begrenzter Abscheidung von polykristallinem Material. Zum Beispiel kann ein selektiver Epitaxieprozess zur Bildung einer Epischicht aus Silizium-haltigem Material auf einer monokristallinen Siliziumfläche führen, während keine Abscheidung auf dem Abstandsring zurückbleibt.

[0007] Die selektive Epitaxie-Abscheidung von Silizium-haltigen Materialien hat sich zu einer nützlichen Technik während der Bildung von Strukturelementen für erhöhte Source- oder Drainregionen und Source- oder Drainregionserweiterungen entwickelt, zum Beispiel während der Bildung Silizium-haltiger MOSFET-Bauelemente (MOSFET = Metalloxidhalbleiter-Feldeffekttransistor). Strukturelemente für Source- oder Drainregionserweiterungen werden hergestellt, indem man eine Siliziumfläche ätzt, um ein Strukturelement einer vertieften Source- oder Drainregion herzustellen, und anschließend die geätzte Fläche mit einer selektiv aufgewachsenen Epischicht,

wie zum Beispiel einem Silizium-Germanium-Material (SiGe), füllt. Selektive Epitaxie ermöglicht eine nahezu vollständige Dotandenaktivierung mit in-situ-Dotierung, so dass der Nachtemperungsprozess entfällt. Darum kann die Grenzschichttiefe durch Siliziumätzen und selektive Epitaxie exakt definiert werden. Andererseits führt die ultra-flache Source- oder Drainregionen-Grenzschicht unvermeidlich zu einem erhöhten Serienwiderstand. Außerdem erhöht das Aufzehren der Grenzschicht während der Silicidbildung den Serienwiderstand noch weiter. Um das Aufzehren der Grenzschicht zu kompensieren, lässt man eine erhöhte Source- oder Drainregion epitaxial und selektiv auf der Grenzschicht aufwachsen. In der Regel besteht die erhöhte Source- oder Drainregionsschicht aus undotiertem Silizium.

[0008] Zum Beispiel wird in der WO 2007/112058 A2 ein System und Verfahren zum Bilden einer epitaktischen Schicht auf einem Substrat beschrieben. Dies erfolgt durch die Schritte der Abscheidung und des Ätzens, welche wiederholt werden können, bis eine Schicht der gewünschten Dicke erreicht wird.

[0009] Jedoch weisen die derzeitigen selektiven Epitaxieprozesse einige Nachteile auf. Um während der derzeitigen Epitaxieprozesse die Selektivität beizubehalten, müssen die chemischen Konzentrationen der Vorläufer sowie die Reaktionstemperaturen während des gesamten Abscheidungsprozesses geregelt und justiert werden. Wenn nicht genug Silizium-Vorläufer beigegeben wird, so kann die Ätzreaktion dominieren, und der Gesamtprozess wird verlangsamt. Außerdem kann es zu einer schädlichen Überätzung von Strukturelementen auf dem Substrat kommen. Wenn nicht genug Ätz-Vorläufer beigegeben wird, so kann die Abscheidungsreaktion dominieren, wodurch die Selektivität zum Ausbilden monokristalliner und polykristalliner Materialien auf der Substratoberfläche verringert wird. Außerdem erfordern derzeitige selektive Epitaxieprozesse in der Regel eine hohe Reaktionstemperatur, wie zum Beispiel etwa 800°C, 1.000°C oder höher. Solche hohen Temperaturen sind während eines Fertigungsprozesses aufgrund des Wärmeaufwandes und möglicher unkontrollierter Nitridierungsreaktionen an der Substratoberfläche nicht wünschenswert. Außerdem nehmen die meisten der C-Atome, die durch typische selektive Si:C-Epitaxieprozesse bei den höheren Prozesstemperaturen eingetragen werden, nichtsubstituierte Stellen (d. h. Zwischenplätze) des Si-Gitters ein. Durch Senken der Wachstumstemperatur kann ein höherer Anteilswert an substituiertem Kohlenstoff erreicht werden (zum Beispiel nahezu 100% bei einer Wachstumstemperatur von 550°C). Jedoch ist die langsame Wachstumsrate bei diesen niedrigeren Temperaturen für Bauelemente-Anwendungen nicht wünschenswert, und eine solche selektive Verarbeitung ist bei den niedrigeren Temperaturen unter Umständen nicht möglich.

[0010] Die Herstellungsbedingungen für die Silizium-Kohlenstoff-Epitaxie können für Epitaxie mit verschiedenen Dotanden und Dotandenkonzentrationen unterschiedlich sein. Die Einbindung großer Dotandenmengen (zum Beispiel mehr als 10^{20} Atome/cm^3) in die Si:C-Epitaxie während der Abscheidung ist von Interesse, weil die Einbindung großer Dotandenmengen während der Abscheidung die Notwendigkeit verringert, die Dotandenmenge während anschließender Verfahren, wie zum Beispiel einer Ionenimplantation, zu erhöhen. Angesichts der großen Vielzahl von Variablen in einem epitaxialen Herstellungsprozess, einschließlich beispielsweise der Temperatur, des Trägergastyps, des Abscheidungsgastyps, des Ätzgastyps, der Strömungsraten der Ätz-, Abscheidungs- und Trägergase und des Kammerdrucks, können Auswahl und Optimierung spezieller Variablen für eine bestimmte Epitaxie mit einem bestimmten Dotanden und einer bestimmten Dotandenkonzentration unvorhersagbar sein. Somit kann die Einbindung hoher Dotandenmengen in die Si:C-Epitaxie die Änderung einer großen Zahl von Variablen erfordern, um eine hochwertige Epitaxie zu erreichen. Es wäre wünschenswert, einen Prozess zum Ausbilden einer stark n-dotierten Si:C-Epitaxie bereitzustellen. Solche Verfahren wären bei der Herstellung von Transistorbauelementen von Nutzen.

KURZDARSTELLUNG DER ERFINDUNG

[0011] Die Probleme im Stand der Technik werden zumindest teilweise durch das Verfahren gemäß Anspruch 1 gelöst. Bevorzugte Ausführungsformen, Aspekte und Vorteile sind aus der Beschreibung, den Zeichnungen und den abhängigen Ansprüchen ersichtlich.

[0012] Es werden Verfahren zur Bildung von Epitaxialschichten, die n-dotiertes Silizium enthalten, offenbart. Konkrete Ausführungsformen betreffen die Bildung und Behandlung von Epitaxialschichten in Halbleiterbauelementen, zum Beispiel Metalloxidhalbleiter-Feldeffekttransistor(MOSFET)-Bauelementen. In konkreten Ausführungsformen beinhaltet die Bildung der n-dotierten Epitaxialschicht das Inkontaktbringen eines Substrats in einer Prozesskammer mit Abscheidungsgasen, die eine Siliziumquelle, eine Kohlenstoffquelle und eine n-Dotandenquelle enthalten, bei einer ersten Temperatur und einem ersten Druck und dann das Inkontaktbringen des Substrats mit einem Ätzmittel bei einer zweiten, höheren Temperatur und einem höheren Druck als während der Abscheidung.

[0013] Eine Ausführungsform der vorliegenden Erfindung betrifft Verfahren zum Ausbilden und Verarbeiten Silizium-haltiger Epitaxialschichten. Weitere Ausführungsformen betreffen Verfahren zum Herstellen von Transistorbauelementen, die Epitaxialschichten aufweisen, die Silizium und Kohlenstoff enthalten.

[0014] Gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung umfasst ein Verfahren zum epitaxialen Ausbilden eines Silizium-Kohlenstoff-Films auf einer Substratoberfläche Folgendes: Anordnen eines Substrats, das eine monokristalline Fläche und sekundäre Flächen enthält, in einer Prozesskammer; Inkontaktbringen des Substrats mit Abscheidungsgasen, die eine Siliziumquelle, eine Kohlenstoffquelle und einen Dotanden vom n-Typ umfassen, bei einer Temperatur von weniger als etwa 600°C und einem Abscheidungsdruck; und Inkontaktbringen des Substrats mit einem Chlorwasserstoff umfassenden Ätzgas bei einer Temperatur von mehr als etwa 600°C und bei einem Druck von mindestens etwa dem 10-fachen des Drucks während des Inkontaktbringens mit dem Abscheidungsgas, wobei das Verfahren in selektiver Abscheidung von stark dotierter Epitaxie vom n-Typ auf der monokristallinen Fläche resultiert.

[0015] In einer Ausführungsform umfasst der Dotand eine Phosphorquelle, zum Beispiel Phosphin. In anderen Ausführungsformen umfasst der Dotand eine Arsenquelle, zum Beispiel Arsin. Der Dotand kann eine Kombination aus Arsin und Phosphin umfassen. In einer Ausführungsform umfasst das Ätzgas nur Chlorwasserstoff. Der Chlorwasserstoff kann aus einem Chlorwasserstoffquellengas in die Kammer eingeleitet werden. Alternativ kann der Chlorwasserstoff in der Kammer gebildet werden, indem Wasserstoffquellengas und Chlorquellengas in der Kammer vermischt werden.

[0016] In einer Ausführungsform beträgt die Dotandenmenge mindestens etwa 2×10^{20} Atome/cm^3. Gemäß einer Ausführungsform liegt die Temperatur während der Abscheidung im Bereich von etwa 575°C und unter etwa 600°C. In einer Ausführungsform liegt die Temperatur während des Ätzens im Bereich von über etwa 600°C und unter etwa 650°C.

[0017] Eine weitere Ausführungsform beinhaltet das Einströmen von Dichlorsilan während der Abscheidung. In einer weiteren Ausführungsform lässt man Chlorwasserstoff während der Abscheidung einströmen. In einer Ausführungsform der Erfindung wird der Epitaxialfilm während eines Fertigungsschrittes eines Transistorherstellungsprozesses ausgebildet, und das Verfahren umfasst des Weiteren: Ausbilden eines Gatedielektrikums auf einem Substrat; Ausbilden einer Gateelektrode auf dem Gatedielektrikum; und Ausbilden von Source- und Drainregionen auf dem Substrat auf gegenüberliegenden Seiten der Elektrode und Definieren einer Kanalregion zwischen den Source- und Drainregionen.

[0018] Das oben Dargelegte hat in weitem Sinne bestimmte Merkmale und technische Vorteile der vorliegenden Erfindung umrissen. Dem Fachmann dürfte klar sein, dass die konkreten offenbarten Ausführungsformen ohne Weiteres als Grundlage zum Modifizieren oder Konstruieren anderer Strukturen oder Prozesse innerhalb des Geltungsbereichs der vorliegenden Erfindung genutzt werden können. Dem Fachmann dürfte ebenso klar sein, dass solche gleichwertigen Bauweisen nicht vom Geist und Geltungsbereich der Erfindung, wie er in den angehängten Ansprüchen dargelegt ist, abweichen.

[0019] Die Erfindung betrifft auch eine Vorrichtung zum Ausführen der vorgestellten Verfahren, die Einrichtungen zum Ausführen von jedem beschriebenen Verfahrensschritt enthält. Diese Verfahrensschritte können durch Hardwarekomponenten, durch ein mit entsprechender Software programmiertes Computerprogramm, durch eine Kombination der beiden oder in jeder anderen Art ausgeführt werden. Des Weiteren betrifft die Erfindung Verfahren, gemäß denen die beschriebene Vorrichtung arbeitet. Sie beinhaltet Verfahrensschritte zum Ausführen von jeder Funktion der Vorrichtung.

KURZE BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

[0020] Um die oben dargelegten Merkmale der vorliegenden Erfindung besser verstehen zu können, folgt nun eine ausführlichere Beschreibung der Erfindung, die oben kurz dargelegt wurde, anhand von Ausführungsformen, von denen einige in den angehängten Zeichnungen veranschaulicht sind. Es ist jedoch anzumerken, dass die angehängten Zeichnungen nur typische Ausführungsformen dieser Erfindung veranschaulichen und darum nicht so verstanden werden dürfen, als würden sie ihren Geltungsbereich einschränken, da sich die Erfindung auch für andere, gleichermaßen effektive Ausführungsformen anbieten kann.

[0021] **Fig.** 1 ist eine Querschnittsansicht eines Feldeffekttransistorpaares gemäß einer Ausführungsform der Erfindung; und

[0022] **Fig.** 2 ist eine Querschnittsansicht des in **Fig.** 1 gezeigten NMOS-Feldeffekttransistors, der zusätzliche auf dem Bauelement ausgebildete Schichten aufweist.

DETAILLIERTE BESCHREIBUNG

[0023] Ausführungsformen der Erfindung stellen allgemein Verfahren und Vorrichtungen zum Ausbilden und Behandeln einer Silizium-haltigen Epitaxialschicht bereit. Bestimmte Ausführungsformen betreffen Verfahren und Vorrichtungen zum Ausbilden und Behandeln einer Epitaxialschicht während der Herstellung eines Transistors.

[0024] Im Sinne des vorliegenden Textes meint epitaxiale Abscheidung die Abscheidung einer Einkristallschicht auf einem Substrat, so dass die Kristallstruktur der abgeschiedenen Schicht mit der Kristall-

struktur des Substrats übereinstimmt. Das heißt, eine Epitaxialschicht oder ein Epitaxialfilm ist eine Einkristallschicht oder ein Einkristallfilm mit einer Kristallstruktur, die auf die Kristallstruktur des Substrats abgestimmt ist. Epitaxialschichten unterscheiden sich von massiven Substraten und Polysiliziumschichten.

[0025] Im Verlauf der gesamten Anmeldung sind die Begriffe "Silizium-haltige" Materialien, Verbindungen, Filme oder Schichten so zu verstehen, dass sie eine Zusammensetzung enthalten, die mindestens Silizium enthält und Germanium, Kohlenstoff, Bor, Arsen, Phosphor, Gallium und/oder Aluminium enthalten kann. Andere Elemente, wie zum Beispiel Metalle, Halogene oder Wasserstoff, können in einem Silizium-haltigen Material, einer Silizium-haltigen Verbindung, einem Silizium-haltigen Film oder einer Silizium-haltigen Schicht, in der Regel in Konzentrationen von Teilen in einer Million Teilen (ppm), enthalten sein. Verbindungen oder Legierungen aus Silizium-haltigen Materialien können durch eine Abkürzung dargestellt werden, wie zum Beispiel Si für Silizium, SiGe für Silizium-Germanium, Si:C für Silizium-Kohlenstoff und SiGeC für Silizium-Germanium-Kohlenstoff. Die Abkürzungen stellen weder chemische Gleichungen mit stoichiometrischen Beziehungen dar, noch stellen sie einen bestimmten Reduktions- oder Oxidationszustand der Silizium-haltigen Materialien dar.

[0026] Eine oder mehrere Ausführungsformen der Erfindung stellen allgemein Prozesse zum selektiven und epitaxialen Abscheiden von Silizium-haltigen Materialien auf monokristallinen Flächen eines Substrats während der Fertigung elektronischer Bauelemente bereit. Ein Substrat mit einer monokristallinen Fläche (zum Beispiel Silizium oder Silizium-Germanium) und mindestens einer sekundären Fläche, wie zum Beispiel einer amorphen Fläche und/oder einer polykristallinen Fläche (zum Beispiel Oxid oder Nitrid), wird einem Epitaxialprozess unterzogen, um eine Epitaxialschicht auf der monokristallinen Fläche auszubilden, während allenfalls eine begrenzte polykristalline Schicht auf den sekundären Flächen ausgebildet wird. Der Epitaxialprozess beinhaltet in der Regel das Wiederholen eines Zyklus' eines Abscheidungsprozesses und eines Ätzprozess, bis die gewünschte Dicke einer Epitaxialschicht aufgewachsen ist. Beispielhafte wechselweise Abscheidungs- und Ätzprozesse sind in der gemeinsam übertragenen und gleichzeitig anhängigen US-Patentanmeldung mit der Seriennummer 11/001,774, veröffentlicht als US-Patentanmeldung Nr. 2006/0115934, mit dem Titel "Selective Epitaxy Process With Alternating Gas Supply", offenbart, deren gesamter Inhalt durch Bezugnahme in den vorliegenden Text aufgenommen wird.

[0027] In einer oder mehreren Ausführungsformen beinhaltet der Abscheidungsprozess das Inkontaktbringen der Substratoberfläche mit einem Abscheidungsgas, das mindestens eine Siliziumquelle und ein Trägergas enthält. Das Abscheidungsgas kann außerdem eine Germaniumquelle und/oder eine Kohlenstoffquelle sowie eine Dotandenquelle enthalten. In bestimmten Ausführungsformen enthält das Abscheidungsgas eine ausreichende Menge eines Dotandenvorläufers vom n-Typ, der zur Folge hat, dass der Epitaxialfilm mindestens etwa 1×10^{20} Atome/cm^3 eines Dotanden vom n-Typ enthält. In bestimmten Ausführungsformen enthält der endgültige Epitaxialfilm mindestens etwa 2×10^{20} Atome/cm^3 eines Dotanden vom n-Typ, und genauer gesagt mindestens etwa 5×10^{20} Atome/cm^3 eines Dotanden vom n-Typ. Im Sinne des vorliegenden Textes werde diese Dotandenkonzentrationen als stark mit einem Dotanden vom n-Typ dotiert bezeichnet. Zu Beispielen geeigneter Dotanden vom n-Typ gehören P, As und Sb. Während des Abscheidungsprozesses wird eine Epitaxialschicht auf der monokristallinen Fläche des Substrats gebildet, während eine polykristalline oder amorphe Schicht auf sekundären Flächen, wie zum Beispiel dielektrischen, amorphen und/oder polykristallinen Flächen, gebildet wird, die gemeinsam als "sekundäre Flächen" bezeichnet werden. Anschließend wird das Substrat mit einem Ätzgas in Kontakt gebracht. In der Regel enthält das Ätzgas ein Trägergas und ein Ätzmittel, wie zum Beispiel Chlorgas oder Chlorwasserstoff. Jedoch haben die Anmelder gemäß einer oder mehreren Ausführungsformen festgestellt, dass ein effektives Ätzen stark dotierter Filme vom n-Typ nur mit Chlorwasserstoff und nicht mit Chlorgas erfolgen kann. Das Ätzgas entfernt Silizium-haltige Materialien, die während des Abscheidungsprozesses abgeschieden wurden. Während des Ätzprozesses wird die polykristalline oder amorphe Schicht mit einer schnelleren Rate entfernt als die Epitaxialschicht. Das heißt, im Endergebnis der Abscheidungs- und Ätzprozesse entsteht epitaxial aufgewachsenes Silizium-haltiges Material auf monokristallinen Flächen, während das Wachstum von polykristallinem oder amorphem Silizium-haltigem Material auf den sekundären Flächen minimiert wird (sofern überhaupt eines stattfindet). Ein Zyklus der Abscheidungs- und Ätzprozesse kann nach Bedarf wiederholt werden, um die gewünschte Dicke von Silizium-haltigen Materialien zu erhalten. Zu den Silizium-haltigen Materialien, die durch Ausführungsformen der Erfindung abgeschieden werden können, gehören Silizium, Silizium-Germanium, Silizium-Kohlenstoff, Silizium-Germanium-Kohlenstoff und Varianten davon, einschließlich Dotanden.

[0028] In einem Beispiel des Prozesses führt die Verwendung von HCl-Gas als Ätzmittel zu einem ausreichenden Entfernen des polykristallinen oder amorphen Silizium-haltigen Materials auf den sekundären Flächen für stark n-dotierte Epitaxie. Im Allgemeinen können Abscheidungsprozesse bei niedrigeren Temperaturen ausgeführt werden als Ätzreaktionen, da

Ätzmittel oft eine hohe Temperatur zum Aktivieren erfordern. Gemäß einer oder mehreren Ausführungsformen ist festgestellt worden, dass durch Erhöhen des Druck nach der Abscheidung um mindestens etwa das 10-fache des Abscheidungsdrucks, und in bevorzugten Ausführungsformen um mehr als etwa das 20-fache des Abscheidungsdrucks, und in besonders bevorzugten Ausführungsformen um mehr als etwa das 30-fache des Abscheidungsdrucks, ein effektives Ätzen bei Temperaturen über etwa 600°C und unter etwa 650°C für stark dotierte Epitaxie vom n-Typ erfolgen kann.

[0029] Stickstoff ist in der Regel ein bevorzugtes Trägergas, weil die Verwendung von Argon und Helium als Trägergas vergleichsweise teurer ist. Ungeachtet der Tatsache, dass Stickstoff im Allgemeinen viel preisgünstiger als Argon ist, ist Argon gemäß einer oder mehreren Ausführungsformen der Erfindung ein bevorzugtes Trägergas, insbesondere in Ausführungsformen, in denen Methylsilan ein Siliziumquellengas ist. Ein Nachteil, der aus der Verwendung von Stickstoff als Trägergas entstehen kann, ist die Nitridierung von Materialien auf einem Substrat während der Abscheidungsprozesse. Jedoch ist eine hohe Temperatur, wie zum Beispiel über 800°C, erforderlich, um Stickstoff in einer solchen Weise zu aktivieren. Darum kann gemäß einer oder mehreren Ausführungsformen Stickstoff als inertes Trägergas in Prozessen verwendet werden, die bei Temperaturen unterhalb der Stickstoffaktivierungsschwelle ausgeführt werden. Die Verwendung eines inerten Trägergases hat verschiedene Attribute während eines Abscheidungsprozesses. Zum einen kann ein inertes Trägergas die Abscheidungsrate des Silizium-haltigen Materials erhöhen. Zwar kann Wasserstoff während des Abscheidungsprozesses als Trägergas verwendet werden, doch Wasserstoff neigt dazu, in das Substrat zu adsorbieren oder mit ihm zu reagieren, so dass Wasserstoff-terminierte Flächen entstehen. Eine Wasserstoff-terminierte Fläche reagiert viel langsamer auf epitaxiales Wachstum als eine reine Siliziumfläche. Darum erhöht die Verwendung eines inerten Trägergases die Abscheidungsrate, indem es nicht die Abscheidungsreaktion beeinträchtigt.

[0030] Gemäß einer ersten Ausführungsform der Erfindung führt eine Deck- oder nicht-selektive Epitaxie mit abwechselnden Schritten aus Abscheidung und Reinigung zu einer verbesserten Kristallinität von Epitaxialfilmen, die unter Verwendung eines Silans höherer Ordnung aufgewachsen wurden, im Vergleich zur kontinuierlichen Abscheidung. Im Sinne des vorliegenden Textes meint ”Silan höherer Ordnung” ein Disilan oder einen höheren Silan-Vorläufer. In bestimmten Ausführungsformen meint ”Silan höherer Ordnung” Disilane, Neopentasilan (NPS) oder ein Gemisch daraus. Ein beispielhafter Prozess beinhaltet das Laden eines Substrats in eine Prozesskammer und Justieren der Bedingungen innerhalb der Prozesskammer auf eine gewünschte Temperatur und einen gewünschten Druck. Dann wird ein Abscheidungsprozess eingeleitet, um eine Epitaxialschicht auf einer monokristallinen Fläche des Substrats auszubilden. Der Abscheidungsprozess wird dann beendet. Dann wird die Dicke der Epitaxialschicht ermittelt. Wenn die zuvor festgelegte Dicke der Epitaxialschicht erreicht ist, so wird der Epitaxialprozess beendet. Wenn jedoch die zuvor festgelegte Dicke nicht erreicht ist, so werden die Schritte der Abscheidung und Reinigung zyklisch wiederholt, bis die zuvor festgelegte Dicke ist erreicht. Weitere Details dieses beispielhaften Prozesses werden unten beschrieben.

[0031] Die Substrate können unstrukturiert oder strukturiert sein. Strukturierte Substrate sind Substrate, die elektronische Strukturelemente enthalten, die in die oder auf der Substratoberfläche ausgebildet sind. Das strukturierte Substrat enthält gewöhnlich monokristalline Flächen und mindestens eine sekundäre Fläche, die nicht-monokristallin ist, wie zum Beispiel dielektrische, polykristalline oder amorphe Flächen. Monokristalline Flächen enthalten das bloße kristalline Substrat oder eine abgeschiedene Einkristallschicht, die gewöhnlich aus einem Material wie zum Beispiel Silizium, Silizium-Germanium oder Silizium-Kohlenstoff hergestellt ist. Polykristalline oder amorphe Flächen können dielektrische Materialien, wie zum Beispiel Oxide oder Nitride, insbesondere Siliziumoxid oder Siliziumnitrid, sowie amorphe Siliziumflächen enthalten.

[0032] Nach dem Laden eines Substrats in die Prozesskammer werden die Bedingungen in der Prozesskammer auf eine zuvor festgelegte Temperatur und einen zuvor festgelegten Druck eingestellt. Die Temperatur wird exakt auf den konkret durchgeführten Prozess abgestimmt. Im Allgemeinen wird die Prozesskammer auf einer Temperatur unter etwa 600°C während der Abscheidung und auf über etwa 600°C während des Ätzens gehalten. Die geeignete Temperatur für die Durchführung des Epitaxialprozesses kann von den Vorläufern abhängen, die jeweils zum Abscheiden des Silizium-haltigen Materials verwendet werden. In einem Beispiel ist festgestellt worden, dass Chlorwasserstoff(HCl)-Gas gut als Ätzmittel für stark n-dotierte Silizium-haltige Materialien funktioniert, insbesondere wenn der Druck um mindestens etwa das 10-fache des Drucks, der während der Abscheidung benutzt wird, erhöht wurde.

[0033] Die Prozesskammer wird gewöhnlich auf einem Druck von etwa 20 Torr bis 50 Torr während der Abscheidung gehalten. Der Druck kann während und zwischen Prozessschritten schwanken, wird aber im Allgemeinen konstant gehalten. Während des Ätzens wird der Druck in der Kammer allmählich auf mindestens etwa das 10-fache des Drucks angehoben, der während der Abscheidung verwendet wird.

[0034] Während des Abscheidungsprozesses wird das Substrat mit einem Abscheidungsgas in Kontakt gebracht, um eine Epitaxialschicht zu bilden. Das Substrat wird mit dem Abscheidungsgas über einen Zeitraum von etwa 0,5 Sekunden bis etwa 30 Sekunden in Kontakt gebracht, zum Beispiel von etwa 1 Sekunde bis etwa 20 Sekunden, und genauer gesagt von etwa 5 Sekunden bis etwa 10 Sekunden. In einer konkreten Ausführungsform dauert der Abscheidungsschritt etwa 10 bis 11 Sekunden. Die konkrete Kontaktdauer des Abscheidungsprozesses wird in Bezug auf die Kontaktdauer während eines anschließenden Ätzprozesses sowie auf bestimmte Vorläufer und Temperaturen, die in dem Prozess verwendet werden, ermittelt. Im Allgemeinen wird das Substrat lange genug mit dem Abscheidungsgas in Kontakt gebracht, um eine maximierte Dicke einer Epitaxialschicht zu bilden.

[0035] In einer oder mehreren Ausführungsformen enthält das Abscheidungsgas mindestens eine Siliziumquelle und ein Trägergas und kann mindestens eine sekundäre Elementenquelle enthalten, wie zum Beispiel eine Kohlenstoffquelle und/oder eine Germaniumquelle. Außerdem kann das Abscheidungsgas noch eine Dotandenverbindung enthalten, um eine Dotandenquelle bereitzustellen, wie zum Beispiel Bor, Arsen, Phosphor, Gallium und/oder Aluminium. In einer alternativen Ausführungsform kann das Abscheidungsgas mindestens ein Ätzmittel, wie zum Beispiel Chlorwasserstoff, enthalten. Der Chlorwasserstoff kann als Chlorwasserstoffgas oder als separates Wasserstoffgas und Chlorgas, die in der Kammer zu HCl reagieren, zugeführt werden.

[0036] Die Siliziumquelle wird gewöhnlich mit einer Rate in einem Bereich von etwa 5 Standardkubikzentimetern bis etwa 500 Standardkubikzentimetern, bevorzugt von etwa 10 Standardkubikzentimetern bis etwa 300 Standardkubikzentimetern und besonders bevorzugt von etwa 50 Standardkubikzentimetern bis etwa 200 Standardkubikzentimetern, zum Beispiel etwa 100 Standardkubikzentimetern, in die Prozesskammer eingeleitet. In einer bestimmten Ausführungsform lässt man Silan mit etwa 60 Standardkubikzentimetern einströmen. Zu Siliziumquellen, die in dem Abscheidungsgas von Nutzen sind, um Siliziumhaltige Verbindungen abzuscheiden, gehören Silane, halogenierte Silane und Organosilane. Zu Silanen gehören Silan (SiH_4) und höhere Silane mit der empirischen Formel $Si_xH_{(2x+2)}$, wie zum Beispiel Disilan (Si_2H_6), Trisilan (Si_3H_8), Tetrasilan (Si_4H_{10}) und Neopentasilan sowie andere. Zu halogenierten Silanen gehören Verbindungen mit der empirischen Formel $X'_ySi_xH_{(2x+2-y)}$, wobei X' = F, Cl, Br oder I, wie zum Beispiel Hexachlordisilan (Si_2Cl_6), Tetrachlorsilane ($SiCl_4$), Dichlorsilan (Cl_2SiH_2) und Trichlorsilan (Cl_3SiH). Zu Organosilanen gehören Verbindungen mit der empirischen Formel $R_ySi_xH_{(2x+2-y)}$, wobei R = Methyl, Ethyl, Propyl oder Butyl, wie zum Beispiel Methylsilan ($(CH_3)SiH_3$), Dimethylsilan ($(CH_3)_2SiH_2$), Ethylsilan ($(CH_3CH_2)SiH_3$), Methyldisilan ($(CH_3)Si_2H_5$), Dimethyldisilan ($(CH_3)_2Si_2H_4$) und Hexamethyldisilan ($(CH_3)_6Si_2$). Organosilanverbindungen haben sich als vorteilhafte Siliziumquellen sowie Kohlenstoffquellen in Ausführungsformen erwiesen, die Kohlenstoff in der abgeschiedenen Silizium-haltigen Verbindung enthalten. Gemäß einer oder mehreren Ausführungsformen ist Methylsilan in einem Argon-haltigen Trägergas eine bevorzugte Kombination aus Silizium-haltiger Quelle und Trägergas.

[0037] Die Siliziumquelle wird gewöhnlich zusammen mit einem Trägergas in die Prozesskammer eingeleitet. Das Trägergas hat eine Strömungsrate von etwa 1 Standardliter pro Minute bis etwa 100 Standardliter pro Minute, zum Beispiel von etwa 5 Standardliter pro Minute bis etwa 75 Standardliter pro Minute, und genauer gesagt von etwa 10 Standardliter pro Minute bis etwa 50 Standardliter pro Minute, zum Beispiel etwa 10 Standardliter pro Minute. Zu Trägergasen können Stickstoff (N_2), Wasserstoff (H_2), Argon, Helium und Kombinationen daraus gehören. Ein inertes Trägergas ist bevorzugt; dazu gehören Stickstoff, Argon, Helium und Kombinationen daraus. Ein Trägergas kann anhand des oder der verwendeten Vorläufer und/oder der Prozesstemperatur während des Epitaxialprozesses ausgewählt werden. Gewöhnlich ist das Trägergas während aller Abscheidungs- und Ätzschritte das gleiche. Jedoch können in einigen Ausführungsformen in bestimmten Schritten verschiedene Trägergase verwendet werden.

[0038] In der Regel wird Stickstoff als ein Trägergas in Ausführungsformen verwendet, in denen Prozesse mit niedriger Temperatur (zum Beispiel < 800°C) stattfinden. Niedrigtemperaturprozesse sind zum Teil aufgrund der Verwendung von Chlorgas in dem Ätzprozess zugänglich. Stickstoff bleibt während Niedrigtemperatur-Abscheidungsprozessen inert. Darum wird Stickstoff während Niedrigtemperaturprozessen nicht in das abgeschiedene Silizium-haltige Material eingebunden. Außerdem bildet ein Stickstoff-Trägergas keine Wasserstoff-terminierten Flächen, wie ein Wasserstoff-Trägergas es tut. Die Wasserstoff-terminierten Flächen, die durch die Adsorption von Wasserstoff-Trägergas auf der Substratoberfläche entstehen, hemmen die Wachstumsrate von Silizium-haltigen Schichten. Und schließlich können die Niedrigtemperaturprozesse den wirtschaftlichen Vorteil von Stickstoff als Trägergas nutzen, da Stickstoff bei weitem billiger als Wasserstoff, Argon oder Helium ist. Trotz der wirtschaftlichen Vorteile ist Argon gemäß bestimmten Ausführungsformen ein bevorzugtes Trägergas.

[0039] Das verwendete Abscheidungsgas enthält außerdem mindestens eine sekundäre Elementenquelle, wie zum Beispiel eine Kohlenstoffquelle und/oder eine Germaniumquelle. Zusammen mit der Si-

liziumquelle und dem Trägergas kann während der Abscheidung eine Kohlenstoffquelle zu der Prozesskammer hinzugefügt werden, um eine Silizium-haltige Verbindung, wie zum Beispiel ein Silizium-Kohlenstoff-Material, zu bilden. Eine Kohlenstoffquelle wird gewöhnlich mit einer Rate im Bereich von etwa 0,1 Standardkubikzentimetern bis etwa 40 Standardkubikzentimetern in die Prozesskammer eingeleitet, zum Beispiel mit einer Rate von etwa 3 Standardkubikzentimetern bis etwa 25 Standardkubikzentimetern, und genauer gesagt von etwa 5 Standardkubikzentimetern bis etwa 25 Standardkubikzentimetern, zum Beispiel etwa 10 Standardkubikzentimetern. Die Kohlenstoffquelle kann 5% in Argon- oder Stickstoffgas verdünnt werden und mit einer Rate von 750 Standardkubikzentimetern einströmen. Zu Kohlenstoffquellen, die sich zum Abscheiden von Silizium-haltigen Verbindungen eignen, gehören Organosilane, Alkyle, Alkene und Alkyne von Ethyl, Propyl und Butyl. Zu solchen Kohlenstoffquellen gehören Methylsilan (CH_3SiH_3), Dimethylsilan ($(CH_3)_2SiH_2$), Ethylsilan ($CH_3CH_2SiH_3$), Methan (CH_4), Ethylen (C_2H4), Ethyn (C_2H_2), Propan (C_3H_8), Propen (C_3H_6), Butyn (C_4H_6) sowie andere. Die Kohlenstoffkonzentration einer Epitaxialschicht liegt im Bereich von etwa 200 ppm bis etwa 5 Atom-%, bevorzugt von etwa 1 Atom-% bis etwa 3 Atom-%, zum Beispiel 1,5 Atom-%. In einer Ausführungsform kann die Kohlenstoffkonzentration innerhalb einer Epitaxialschicht abgestuft sein, und zwar bevorzugt mit einer niedrigeren Kohlenstoffkonzentration im Anfangsabschnitt der Epitaxialschicht als im Endabschnitt der Epitaxialschicht. Alternativ können eine Germaniumquelle sowie eine Kohlenstoffquelle während der Abscheidung, zusammen mit der Siliziumquelle und dem Trägergas, in die Prozesskammer hinzugefügt werden, um eine Silizium-haltige Verbindung zu bilden, wie zum Beispiel ein Silizium-Kohlenstoff- oder Silizium-Germanium-Kohlenstoff-Material.

[0040] Alternativ kann eine Germaniumquelle mit der Siliziumquelle und dem Trägergas in die Prozesskammer hinzugefügt werden, um eine Silizium-haltige Verbindung, wie zum Beispiel ein Silizium-Germanium-Material, zu bilden. Die Germaniumquelle wird gewöhnlich mit einer Rate im Bereich von etwa 0,1 Standardkubikzentimetern bis etwa 20 Standardkubikzentimetern in die Prozesskammer eingeleitet, bevorzugt mit einer Rate von etwa 0,5 Standardkubikzentimetern bis etwa 10 Standardkubikzentimetern und besonders bevorzugt von etwa 1 Standardkubikzentimetern bis etwa 5 Standardkubikzentimetern, zum Beispiel etwa 2 Standardkubikzentimetern. Zu Germaniumquellen, die sich zum Abscheiden Silizium-haltiger Verbindungen eignen, gehören German (GeH_4), höhere Germane und Organogermane. Zu höheren Germanen gehören Verbindungen mit der empirischen Formel $Ge_xH_{(2x+2)}$, wie zum Beispiel Digerman (Ge_2H_6), Trigerman (Ge_3H_8) und Tetragerman (Ge_4H_{10}) sowie andere. Zu Organogermanen gehören Verbindungen wie zum Beispiel Methylgerman ($(CH_3)GeH_3$), Dimethylgerman ($(CH_3)_2GeH_2$), Ethylgerman ($(CH_3CH_2)GeH_3$), Methyldigerman ($(CH_3)Ge_2H_5$), Dimethyldigerman ($(CH_3)_2Ge_2H_4$) und Hexamethyldigerman ($(CH_3)_6Ge_2$). Germane und Organogermanverbindungen haben sich in Ausführungsformen als vorteilhafte Germaniumquellen und Kohlenstoffquellen herausgestellt, während Germanium und Kohlenstoff in die abgeschiedenen Silizium-haltigen Verbindungen eingebunden werden, und zwar SiGe- und SiGeC-Verbindungen. Die Germanium-Konzentration in der Epitaxialschicht liegt im Bereich von etwa 1 Atom-% bis etwa 30 Atom-%, zum Beispiel etwa 20 Atom-%. Die Germanium-Konzentration kann innerhalb einer Epitaxialschicht abgestuft werden, und zwar bevorzugt mit einer höheren Germanium-Konzentration im unteren Abschnitt der Epitaxialschicht als im oberen Abschnitt der Epitaxialschicht.

[0041] Das während der Abscheidung verwendete Abscheidungsgas kann des Weiteren mindestens eine Dotandenverbindung enthalten, um eine Quelle eines elementaren Dotanden zu bilden, wie zum Beispiel Bor, Arsen, Phosphor, Gallium oder Aluminium. Dotanden verleihen den abgeschiedenen Silizium-haltigen Verbindungen verschiedene Leitfähigkeitseigenschaften, wie zum Beispiel gerichteten Elektronenfluss auf einem kontrollierten und gewünschten Pfad, der von dem elektronischen Bauelement verlangt wird. Filme der Silizium-haltigen Verbindungen werden mit bestimmten Dotanden dotiert, um die gewünschte Leitfähigkeitseigenschaft zu erreichen. In einem Beispiel ist die Silizium-haltige Verbindung n-Typ-dotiert, wie zum Beispiel mit Phosphor, Antimon und/oder Arsen mit einer Konzentration im Bereich von etwa 10^{20} Atomen/cm^3 bis etwa 10^{21} Atomen/cm^3. In bestimmten Ausführungsformen übersteigt die Dotandenmenge etwa 2×10^{20} Atome/cm^3.

[0042] Eine Dotandenquelle wird gewöhnlich während der Abscheidung mit einer Rate im Bereich von etwa 0,1 Standardkubikzentimetern bis etwa 20 Standardkubikzentimetern in die Prozesskammer eingeleitet, zum Beispiel mit einer Rate von etwa 0,5 Standardkubikzentimetern bis etwa 10 Standardkubikzentimetern, und genauer gesagt von etwa 1 Standardkubikzentimetern bis etwa 5 Standardkubikzentimetern, zum Beispiel etwa 3 Standardkubikzentimetern. Zu Dotanden können außerdem Arsin (AsH_3), Phosphin (PH_3) und Alkylphosphine gehören, wie zum Beispiel mit der empirischen Formel $R_xPH_{(3-x)}$, wobei R = Methyl, Ethyl, Propyl oder Butyl und x = 1, 2 oder 3. Zu Alkylphosphinen gehören Trimethylphosphin ($(CH_3)_3P$), Dimethylphosphin ($(CH_3)_2PH$), Triethylphosphin ($(CH_3CH_2)_3P$) und Diethylphosphin ($(CH_3CH_2)_2PH$). Zu Aluminium- und Gallium-Dotandenquellen können alkylierte und/oder halogenierte Derivate gehören, wie zum Beispiel mit der empirischen Formel $R_xMX_{(3-x)}$ beschrieben, wobei M = Al

oder Ga, R = Methyl, Ethyl, Propyl oder Butyl, X = Cl oder F und x = 0, 1, 2 oder 3. Zu Beispielen von Aluminium- und Gallium-Dotandenquellen gehören Trimethylaluminium (Me_3Al), Triethylaluminium (Et_3Al), Dimethylaluminiumchlorid (Me_2AlCl), Aluminiumchlorid ($AlCl_3$), Trimethylgallium (Me_3Ga), Triethylgallium (Et_3Ga), Dimethylgalliumchlorid (Me_2GaCl) und Galliumchlorid ($GaCl_3$).

[0043] Gemäß einer oder mehreren Ausführungsformen kann, nachdem der Abscheidungsprozess beendet ist, die Prozesskammer mit einem Reinigungsgas oder dem Trägergas gespült werden, und/oder die Prozesskammer kann mit einer Vakuumpumpe entleert werden. Die Reinigungs- und/oder Entleerungsprozesse entfernen überschüssiges Abscheidungsgas, Reaktionsnebenprodukte und andere Kontaminanten. In einer beispielhaften Ausführungsform kann die Prozesskammer etwa 10 Sekunden lang gereinigt werden, indem man ein Trägergas mit etwa 5 Standardlitern pro Minute strömen lässt. Ein Zyklus aus Abscheidung und Reinigung kann über zahlreiche Zyklen hinweg wiederholt werden. In einer Ausführungsform wird der Abscheidungs- und Reinigungszyklus etwa 90-mal wiederholt.

[0044] In einem weiteren Aspekt der vorliegenden Erfindung wird eine Deck- oder nicht-selektive Abscheidung bei Niedrigtemperaturen, zum Beispiel unter etwa 600°C und niedriger, unter Verwendung einer Silanquelle höherer Ordnung (zum Beispiel Disilan und höher), durchgeführt. Dies unterstützt das amorphe Wachstum (anstatt des polykristallinen) auf dielektrischen Flächen wie zum Beispiel Oxid und Nitrid während des Abscheidungsschrittes (nicht-selektive Abscheidung), wodurch das Abtragen der Schicht auf dielektrischen Flächen durch einen anschließenden Ätzschritt vereinfacht wird und Beschädigungen auf einer einkristallinen Schicht, die auf dem kristallinen Substrat aufgewachsen wurde, minimiert werden.

[0045] Die Verwendung von Neopentasilan bei der Bildung von Epitaxialfilmen auf Substraten ist in der gemeinsam übertragenen US-Anmeldung mit der Seriennummer 10/688,797, veröffentlicht als US-Patentanmeldungsschrift Nr. 2004/0224089, mit dem Titel "Silicon-Containing Layer Deposition with Silicon Compounds", beschrieben, deren gesamter Inhalt durch Bezugnahme in den vorliegenden Text aufgenommen wird. Neopentasilan, ($(SiH_3)_4Si$), ist ein tertiäres Silan, das vier Silyl(-SiH_3)-Gruppen enthält, die an ein Siliziumatom gebunden sind. Die Verwendung von Silanen höherer Ordnung ermöglicht eine höhere Abscheidungsrate bei niedrigerer Temperatur und für Silizium-haltige Filme, die Kohlenstoff enthalten, eine höhere Einbindung von substituierten Kohlenstoffatomen als die Verwendung von Monosilan als ein Siliziumquellengas. Bei Deckabscheidungsexperimenten, die in einem Vergleich von Silan und Silizium als Siliziumquellengase bei einer Prozesstemperatur von 600°C und unter Verwendung von Stickstoff als Trägergas und Methylsilan (1% verdünnt in Wasserstoff) als Silizium-Kohlenstoffquelle durchgeführt wurden, waren in den abgeschiedenen Filmen 50% des Kohlenstoffs substituierter Kohlenstoff. Jedoch erzeugte bei den Silanen höherer Ordnung Disilan Filme mit mehr als etwa 90% substituiertem Kohlenstoff, und Neopentasilan erzeugte Filme mit nahezu 100% substituiertem Kohlenstoff.

[0046] In einer oder mehreren Ausführungsformen ermöglicht ein Flüssigquellenschrank, der eine Neopentasilanampulle enthält, die in unmittelbarer Nähe zu der Prozesskammer installiert ist, zum Beispiel innerhalb von weniger als etwa fünf Fuß, genauer gesagt weniger als etwa zwei oder drei Fuß von der Prozesskammer, eine höhere Zufuhrrate der Siliziumquelle und folglich eine höhere Abscheidungsrate.

[0047] Somit stellen Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung selektive Epitaxieprozesse für Silizium-haltige Filme, zum Beispiel Si:C-Filme mit hoher substituierter Kohlenstoffkonzentration (> 1%), bereit, die zum Ausbilden zugbelasteter Kanäle einer MOSFET-Struktur vom N-Typ verwendet werden können, wenn Epitaxialfilme auf vertieften Source- oder Drainregionen eines Transistors aufgewachsen werden. Im Allgemeinen ist es schwierig, sowohl eine hohe substituierte Kohlenstoffkonzentration (> 1%) in der Si:C-Epitaxie als auch ein selektives Wachstum mit gleichmäßiger Morphologie zu erreichen, weil ein Niedrigtemperaturprozess für eine hohe substituierte Kohlenstoffkonzentration erforderlich ist. Gemäß einer oder mehreren Ausführungsformen der Erfindung wird beides erreicht.

[0048] Ein weiterer Aspekt der Erfindung betrifft Verfahren für eine in-situ-Phosphordotierung und eine selektive epitaxiale Abscheidung von Si:C-Filmen. Im Allgemeinen verlangsamt eine in-situ-Phosphordotierung während der Silizium-Abscheidung die Wachstumsrate und erhöht die Ätzrate eines kristallinen Films. Darum ist es schwierig, Selektivität zu erreichen. Oder anders ausgedrückt: Es ist schwierig, kristallines Wachstum auf kristallinen Flächen des Substrats ohne Wachstum auf dielektrischen Flächen zu erreichen. Außerdem neigt eine in-situ-Phosphordotierung dazu, die Kristallinität von Epitaxialfilmen zu verschlechtern.

[0049] Gemäß einer oder mehreren Ausführungsformen folgen die Verfahren einer Ablaufreihenfolge. Jedoch ist der Prozess nicht auf die genauen Schritte beschränkt, die im vorliegenden Text beschrieben sind. Zum Beispiel können andere Prozessschritte zwischen Schritte eingefügt werden, solange die Reihenfolge des Prozessablaufs beibehalten bleibt. Die einzelnen Schritte einer epitaxialen Abscheidung

werden nun gemäß einer oder mehreren Ausführungsformen beschrieben.

[0050] Während der Experimente wurde festgestellt, dass Cl_2-Ätzgas auf n-Typ-dotiertem Silizium bei Temperaturen von etwa 600°C sehr aggressiv ist, was seine Verwendungstauglichkeit auf stark n-Typ-dotierten Substraten und auf stark n-Typ-dotierten Silizium-Kohlenstoff-Filmen beschränkte. Gemäß Ausführungsformen der Erfindung wurde stark P-dotierter Silizium-Kohlenstoff bei niedrigen Temperaturen von weniger als etwa 600°C abgeschieden. Während des Ätzens wurden die Temperatur und der Druck allmählich erhöht, wobei > 1 Standardliter pro Minute HCl zuströmte, um eine angemessene Ätzrate und Selektivität zu erreichen. Es wurde ein extrem hoher Dotierungswert von mehr als 5×10^{20} Atomen/cm^3 P mit einem substituierten Kohlenstoffwert von mehr als etwa 1,5% erreicht. Normalerweise erfordern solche hohen Dotierungswerte eine Ionenimplantation.

[0051] In einem Beispiel wurden Neopentasilan, Silan, Methylsilan und PH_3 vermischt und in die Kammer geleitet und nicht-selektiv auf einem Substrat bei 575°C und 10 Torr (liegt nicht im beanspruchten Bereich) abgeschieden. Während des Ätzens wurde die Temperatur allmählich auf 625°C angehoben, und der Druck wurde allmählich auf ungefähr das 30-fache des Abscheidungsdrucks auf 300 Torr angehoben. HCl strömte mit 18 Standardlitern pro Minute während des Ätzens ein, um die amorphem Filme zu ätzen, die auf dielektrischen Flächen abgeschieden wurden. Zwischen amorphen Filmen und Epitaxialfilmen wurde eine Ätzratenselektivität von mindestens 3:1 erreicht. Das Verfahren wurde wiederholt, bis ein selektiver, stark P-dotierter Silizium-Kohlenstoff mit einer gewünschten Dicke von etwa 500–900 Ångström auf der offenen Siliziumfläche erhalten wurde. Es wurde eine defektfreie Silizium-Kohlenstoff-Epitaxie mit > 1,3% Kohlenstoff, 95% Substitutionalität und einem Phosphordotierungsgrad von mehr als 3×10^{20} Atomen/cm^3 erhalten.

[0052] In einem weiteren Beispiel wurden 50 Standardkubikzentimeter Disilan, 150 Standardkubikzentimeter Silan und 200 Standardkubikzentimeter 5%-iges Methylsilan in Argon, 60 Standardkubikzentimeter Dichlorsilan (DCS) und 225 Standardkubikzentimeter 1%-iges PH_3 in H_2 vermischt und mit 5 Standardlitern pro Minute N_2-Trägergas während einer nicht-selektiven Abscheidung in die Kammer eingeleitet. Die nicht-selektive Abscheidung erfolgte auf einem Substrat bei einem Druck von 10 Torr (liegt nicht im beanspruchten Bereich) über eine Dauer von 11 Sekunden. Während des Ätzens wurde die Temperatur allmählich auf 625°C erhöht, und der Druck wurde allmählich auf 300 Torr erhöht. Während des Ätzens wurden 18 Standardliter pro Minute HCl verwendet, um die amorphen Filme zu ätzen, die auf dielektrischen Flächen abgeschieden wurden. Nach etwa 30-sekündigem Ätzen wurde eine defektfreie Silizium-Kohlenstoff-Epitaxie erhalten. Mit 20 Zyklen wurde eine Dicke von 550 Ångström selektiven Silizium-Kohlenstoffs, der etwa 1,4% Kohlenstoff enthielt, mit einer Substitutionalität von mehr als etwa 90% und mehr als etwa $5{,}2 \times 10^{20}$ Atomen/cm^3 P-Dotand auf einem unstrukturierten Substrat erhalten. Das Wiederholen des gleichen Rezepts auf einem strukturierten Substrat führte zu einem defektfreien Film mit ähnlichen Eigenschaften und einer Dicke von 850 Ångström.

[0053] Weitere Experimente offenbarten, dass Temperaturen von mehr als 600°C und Drücke von mehr als etwa dem 10-fachen des Abscheidungsdrucks ausreichen, um das amorphe Material effektiv mit HCl während des Ätzens zu ätzen. In früheren Schriften hielt man Disilan für Anwendungen mit P-dotiertem Silizium-Kohlenstoff aufgrund der erforderlichen niedrigen Prozesstemperaturen für ungeeignet. Man glaubte, dass Disilan bei solchen niedrigen Temperaturen nicht in der Lage sei, eine ausreichende Abscheidungsrate zu ermöglichen. Jedoch wurden bei unseren Experimenten Abscheidungsraten von mehr als etwa 600 Ångström/min erreicht. Es zeigte sich, dass die Beigabe von Dichlorsilian oder HCl während der Abscheidung die Selektivität unterstützte, wie in der US-Patentanmeldung mit der Seriennummer 11/227,874, veröffentlicht als US-Patentanmeldungsschrift Nr. US2006/0115933, offenbart. Außerdem wurde beobachtet, dass ein hoher Disilanstrom und die Beigabe von Dichlorsilan/HCl die positive Ladung auf strukturierten Substraten unterstützen könnte, was zu einer dickeren Epitaxialschicht auf den kristallinen Abschnitten des Substrats führt.

[0054] Eine oder mehrere Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung stellen Verfahren bereit, die sich besonders zum Ausbilden komplementärer Metalloxidhalbleiter(CMOS)-IC-Bauelemente eignen, und werden in diesem Kontext beschrieben. Andere Bauelemente und Anwendungen liegen ebenfalls innerhalb des Geltungsbereichs der Erfindung. **Fig.** 1 veranschaulicht Abschnitte einer Querschnittsansicht eines FET-Paares in einem typischen CMOS-Bauelement. Das Bauelement **100** umfasst ein Halbleitersubstrat nach dem Ausbilden von Wannen zum Erzeugen von Source- und Drainregionen, eines Gatedielektrikums und einer Gateelektrode eines NMOS-Bauelements und eines PMOS-Bauelements. Das Bauelement **100** kann unter Verwendung herkömmlicher Halbleiterprozesse gebildet werden, wie zum Beispiel Aufwachsen von Einkristallsilizium und Bilden flacher Grabenisolationsstrukturen durch Grabenätzung und Aufwachsen oder Abscheiden eines Dielektrikums in den Grabenöffnungen. Die Verfahren zum Ausbilden dieser verschiedenen Strukturen sind dem Fachmann im Einzelnen bekannt und werden hier nicht weiter beschrieben.

[0055] Das Bauelement **100** umfasst ein Halbleitersubstrat **155**, zum Beispiel ein Siliziumsubstrat, das mit einem Material vom p-Typ dotiert ist, eine epitaxiale Siliziumschicht **165** vom p-Typ auf dem Substrat **155**, eine Wannenregion **120** vom p-Typ und eine Wannenregion **150** vom n-Typ, die in der Epitaxialschicht **165** definiert sind, einen Transistor (NMOS-FET) **110** vom n-Typ, der in der p-Wanne **120** definiert ist, und einen Transistor (PMOS-FET) **140** vom p-Typ, der in der n-Wanne **150** definiert ist. Eine erste Isolationsregion **158** isoliert elektrisch einen NMOS-Transistor **110** und einen PMOS-Transistor **140**, und eine zweite Isolationsregion **160** isoliert elektrisch das Paar Transistoren **110** und **140** von anderen Halbleiterbauelementen auf dem Substrat **155**.

[0056] Gemäß einer oder mehreren Ausführungsformen der Erfindung umfasst der NMOS-Transistor **110** eine Gateelektrode **122**, eine erste Sourceregion **114** und eine Drainregion **116**. Die Dicke der NMOS-Gateelektrode **122** ist skalierbar und kann anhand von Überlegungen hinsichtlich der Leistung des Bauelements eingestellt werden. Die NMOS-Gateelektrode **122** hat eine Arbeitsfunktion, die der Arbeitsfunktion eines Bauelements vom N-Typ entspricht. Die Source- und Drainregionen sind Regionen vom n-Typ auf gegenüberliegenden Seiten der Gateelektrode **122**. Die Kanalregion **118** befindet sich zwischen der Sourceregion **114** und der Drainregion **116**. Eine Gatedielektrikumschicht **112** trennt die Kanalregion **118** und die Gateelektrode **122**. Prozesse zum Bilden der NMOS-Gateelektrode **122** und der Dielektrikumschicht sind dem Fachmann bekannt und werden nicht näher besprochen.

[0057] Gemäß einer oder mehreren Ausführungsformen umfasst der PMOS-Transistor **140** eine Gateelektrode **152**, eine Sourceregion **144** und eine Drainregion **146**. Die Dicke der PMOS-Gateelektrode **152** ist skalierbar und kann anhand von Überlegungen hinsichtlich der Leistung des Bauelements eingestellt werden. Die PMOS-Gateelektrode **152** hat eine Arbeitsfunktion, die der Arbeitsfunktion eines Bauelements vom N-Typ entspricht. Die Source- und Drainregionen sind Regionen vom p-Typ auf gegenüberliegenden Seiten der Gateelektrode **152**. Die Kanalregion **148** befindet sich zwischen der Sourceregion **144** und der Drainregion **146**. Ein Gatedielektrikum **142** trennt die Kanalregion **148** und die Gateelektrode **152**. Das Dielektrikum **142** isoliert die Gateelektrode **152** elektrisch von der Kanalregion **148**. Es versteht sich, dass die Strukturen der Transistoren **110** und **140**, die in **Fig.** 2 gezeigt sind und soeben oben beschrieben wurden, lediglich beispielhaft sind und dass verschiedene Varianten in Materialien, Schichten usw. innerhalb des Geltungsbereichs der vorliegenden Erfindung liegen.

[0058] Wenden wir uns nun **Fig.** 2 zu, die eine Ansicht zusätzlicher Details des NMOS-Bauelements **110** von **Fig.** 5 nach der Bildung von Abstandsringen, von Schichten über den Source- und Drainregionen, zum Beispiel Silicidschichten, und der Bildung des Ätzstopps **191** zeigt. Es versteht sich, dass das in **Fig.** 6 gezeigte PMOS-Bauelement ähnliche Abstandsringe und Schichten enthalten kann, die in ihren Abmessungen und/oder ihrer Zusammensetzung so angepasst werden können, dass die mechanische Spannung beeinflusst wird, die in dem Kanal des NMOS-Bauelements hervorgerufen wird, wie weiter unten beschrieben wird. Jedoch wird zu Veranschaulichungszwecken nur das NMOS-Bauelement im Detail gezeigt und beschrieben.

[0059] **Fig.** 2 zeigt Abstandsringe **175**, die aus einem geeigneten dielektrischen Material gebildet werden können, das um das Gate **119**, einschließlich der Gateelektrode **121**, herum integriert wird. Versatzabstandsringe **177** können ebenfalls vorhanden sein, die jeden der Abstandsringe **175** umgeben. Prozesse zum Ausbilden von Formen, Größen und Dicken von Abstandsringen **175** und **177** sind dem Fachmann bekannt und werden hier nicht weiter beschrieben. Eine Metallsilicidschicht **179** kann über der Sourceregion **114** und der Drainregion **116** ausgebildet werden. Die Silicidschicht **179** kann aus einem geeigneten Metall, wie zum Beispiel Nickel, Titan oder Kobalt, durch jeden geeigneten Prozess gebildet werden, wie zum Beispiel Sputtern oder PVD (Physikalische Dampfabscheidung). Die Silicidschicht **179** kann in Abschnitte der darunterliegenden Flächen diffundieren. Die Erhöhung der Drainregion **116** ist durch den Pfeil **181** gezeigt, die als die Distanz von der Substratoberfläche **180** bis zur Oberseite der Silicidschicht **179** gezeigt ist. Die Facette **183** der Source- und Drainregion ist als die gewinkelte Fläche gezeigt. Wie dem Fachmann einleuchtet, kann das oben beschriebene beispielhafte Bauelement so modifiziert werden, dass es eine Source- oder Drainregion oder eine Source- oder Drainregionserweiterung enthält, die eine Si:C-Epitaxialschicht aufweist, die gemäß den im vorliegenden Text beschriebenen Verfahren weiter modifiziert werden kann.

[0060] Wenn in dieser Spezifikation von ”einer Ausführungsform”, ”bestimmten Ausführungsformen” oder ”einer oder mehreren Ausführungsformen” gesprochen wird, so ist damit gemeint, dass ein bestimmtes Strukturelement, eine bestimmte Struktur, ein bestimmtes Material oder ein bestimmtes kennzeichnendes Merkmal, das bzw. die in Verbindung mit der Ausführungsform beschrieben wird, in mindestens einer Ausführungsform der Erfindung enthalten ist. Das heißt, dass das Erscheinen von Wendungen wie zum Beispiel ”in einer oder mehreren Ausführungsformen”, ”in bestimmten Ausführungsformen” oder ”in einer Ausführungsform” an verschiedenen Stellen in dieser Spezifikation sich nicht unbedingt auf dieselbe Ausführungsform der Erfindung bezieht. Des Weiteren können die konkreten Struk-

turelemente, Strukturen, Materialien oder kennzeichnenden Merkmale in jeder geeigneten Weise in einer oder mehreren Ausführungsformen kombiniert werden. Die Reihenfolge der Beschreibung des obigen Verfahrens ist nicht als Einschränkung zu verstehen, und in Verfahren können die beschrieben Operationen in einer anderen Reihenfolge oder mit Weglassungen oder Ergänzungen ausgeführt werden.

[0061] Es versteht sich, dass die obige Beschreibung der Veranschaulichung dient und nicht einschränkend ist. Dem Durchschnittsfachmann fallen beim Studium der obigen Beschreibung noch viele andere Ausführungsformen ein. Der Geltungsbereich der Erfindung ist darum anhand der angehängten Ansprüche, zusammen mit dem vollen Geltungsbereich von Äquivalenten, zu denen diese Ansprüche berechtigt sind, zu bestimmen.

Patentansprüche

1. Verfahren zum epitaxialen Ausbilden eines Silizium-Kohlenstoff-Films auf einer Substratoberfläche, wobei das Verfahren Folgendes umfasst:
Anordnen eines Substrats, das eine monokristalline Fläche und sekundäre Flächen enthält, in einer Prozesskammer;
Inkontaktbringen des Substrats mit Abscheidungsgasen, die eine Siliziumquelle, eine Kohlenstoffquelle und einen Dotanden vom n-Typ umfassen, bei einer Temperatur während der Abscheidung von weniger als 600°C und einem Abscheidungsdruck von 20 bis 50 Torr; und
Inkontaktbringen des Substrats mit einem Chlorwasserstoff umfassenden Ätzgas bei einer Temperatur während des Ätzens von mehr als 600°C und unter 650°C und einem Druck während des Ätzens von mindestens dem 10-fachen des Abscheidungsdrucks, wobei das Verfahren in selektiver Abscheidung von stark dotierter Epitaxie vom n-Typ auf der monokristallinen Fläche resultiert.

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei der Dotand eine oder mehrere von Phosphor- und Arsenquellen umfasst.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, wobei die Phosphorquelle Phosphin umfasst und die Arsenquelle Arsin umfasst.

4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das Ätzgas nur Chlorwasserstoff umfasst.

5. Verfahren nach Anspruch 4, wobei der Chlorwasserstoff aus einem Chlorwasserstoffquellengas in die Kammer eingeleitet wird.

6. Verfahren nach Anspruch 4, wobei der Chlorwasserstoff in der Kammer gebildet wird, indem Wasserstoff- und Chlorquellengas in der Kammer vermischt werden.

7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Siliziumquelle aus einem Gemisch aus Monosilan und einem Silan höherer Ordnung ausgewählt wird.

8. Verfahren nach Anspruch 7, wobei das Silan höherer Ordnung aus Disilan und Neopentasilan ausgewählt wird.

9. Verfahren nach Anspruch 2 oder einem der vorhergehenden, von Anspruch 2 abhängigen Ansprüche, wobei die Dotandenmenge in der n-Typ Epitaxie mindestens 2×10^{20} Atome/cm^3 beträgt.

10. Verfahren nach Anspruch 9, wobei die Dotandenmenge mindestens 5×10^{20} Atome/cm^3 beträgt.

11. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Temperatur während der Abscheidung im Bereich von über 575°C und unter 600°C liegt.

12. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei während der Abscheidung Dichlorsilan einströmt.

13. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Kohlenstoffquelle Methylsilan umfasst.

14. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei während der Abscheidung zusätzlich Chlorwasserstoff einströmt.

15. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der Epitaxialfilm während eines Fertigungsschrittes eines Transistorherstellungsprozesses gebildet wird und das Verfahren des Weiteren Folgendes umfasst:
Ausbilden eines Gatedielektrikums auf einem Substrat;
Ausbilden einer Gateelektrode auf dem Gatedielektrikum; und
Ausbilden von Source- und Drainregionen auf dem Substrat auf gegenüberliegenden Seiten der Gateelektrode und Definieren einer Kanalregion zwischen den Source- und Drainregionen.

16. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der Druck während des Ätzens mindestens das 30-fache des Abscheidungsdrucks beträgt.

17. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der Druck während des Ätzens min-

destens das 20-Fache des Abscheidungsdrucks beträgt.

Es folgt eine Seite Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

FIG. 1

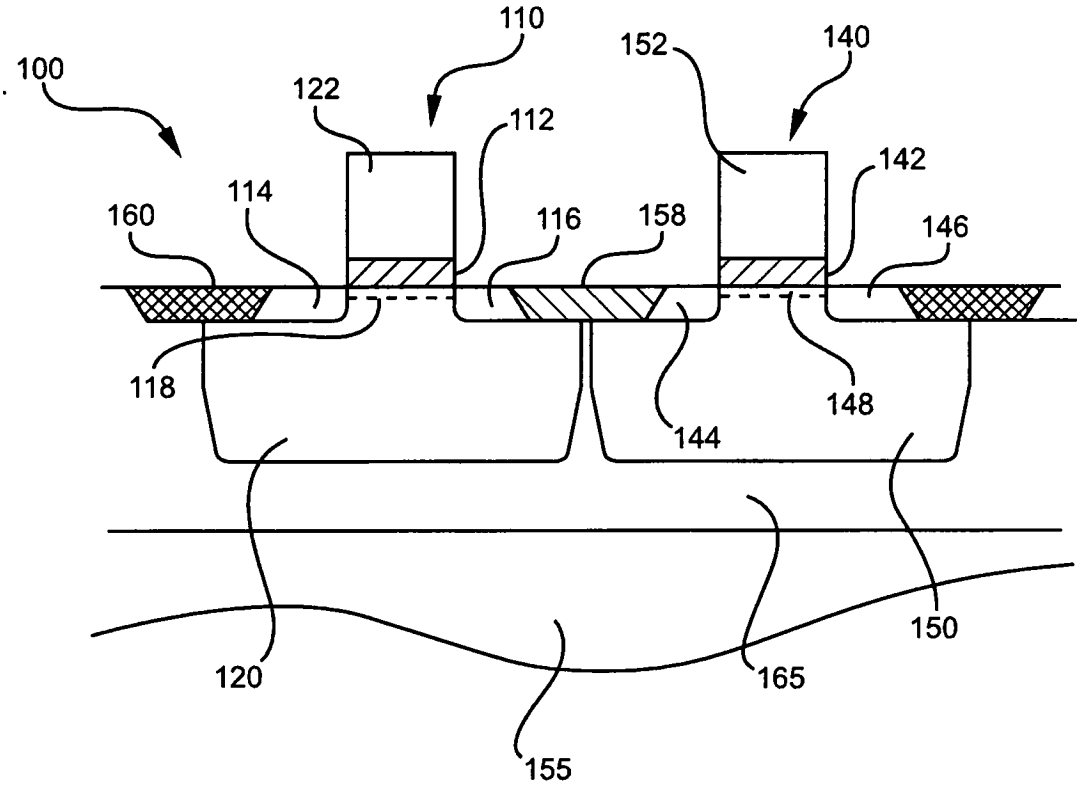


FIG. 2

