

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公表特許公報(A)

(11) 特許出願公表番号

特表2009-509333
(P2009-509333A)

(43) 公表日 平成21年3月5日(2009.3.5)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
HO 1 L 21/316 (2006.01)	HO 1 L 21/316 A	5 F 0 5 8
HO 1 L 29/78 (2006.01)	HO 1 L 29/78 3 0 1 B	5 F 1 4 0

審査請求 有 予備審査請求 有 (全 26 頁)

(21) 出願番号 特願2008-531090 (P2008-531090)
 (86) (22) 出願日 平成18年7月11日 (2006.7.11)
 (85) 翻訳文提出日 平成20年5月19日 (2008.5.19)
 (86) 国際出願番号 PCT/US2006/027198
 (87) 国際公開番号 W02007/040709
 (87) 国際公開日 平成19年4月12日 (2007.4.12)
 (31) 優先権主張番号 11/229,476
 (32) 優先日 平成17年9月16日 (2005.9.16)
 (33) 優先権主張国 米国 (US)

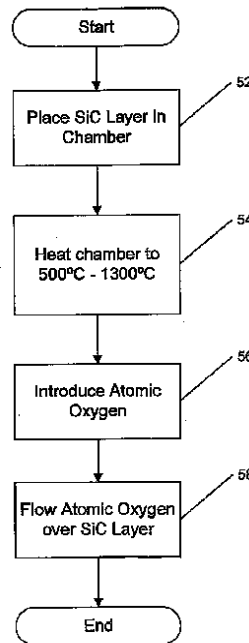
(71) 出願人 592054856
 クリー インコーポレイテッド
 CREE INC.
 アメリカ合衆国 ノースカロライナ州 2
 7703 ダラム シリコン ドライブ
 4600
 (74) 代理人 100077481
 弁理士 谷 義一
 (74) 代理人 100088915
 弁理士 阿部 和夫
 (72) 発明者 ムリナル ケー. ダス
 アメリカ合衆国 27713 ノースカ
 ライナ州 ダラム エンツォ コート 1

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 原子状酸素を利用して炭化シリコン層上に酸化物層を製作する方法

(57) 【要約】

炭化シリコン層上に酸化物層を形成する方法であって、金属不純物を実質的に含まない酸化炉管などの室の中に炭化シリコン層を置くこと、室の雰囲気、約500ないし約1300に加熱すること、室の中に原子状酸素を導入すること、および炭化シリコン層の表面に原子状酸素を流し、それによって炭化シリコン層上に酸化物層を形成することを含む方法が開示される。いくつかの実施形態では、原子状酸素を導入することが、室の中に源酸化物を提供すること、および源酸化物の上に、窒素ガスと酸素ガスの混合物を流すことを含む。源酸化物は、酸化アルミニウムを含み、または酸化マンガンなどの他の酸化物を含むことができる。いくつかの方法は、炭化シリコン層上に酸化物層を形成すること、および原子状酸素を含む雰囲気中で酸化物層をアニールすることを含む。



- 【特許請求の範囲】
- 【請求項 1】
炭化シリコン層上に酸化物層を形成する方法であって、
金属不純物を実質的に含まない室の中に炭化シリコン層を置くこと、
前記室の雰囲気、約 500 ないし約 1300 に加熱すること、
前記室の中に原子状酸素を導入すること、および、
前記炭化シリコン層の表面に前記原子状酸素を流し、それによって前記炭化シリコン層上に酸化物層を形成すること
を含むことを特徴とする方法。 10
- 【請求項 2】
前記原子状酸素を導入することは、
前記室の中に源酸化物を提供すること、および、
前記源酸化物の上に、窒素ガスと酸素ガスの混合物を流すこと
を含むことを特徴とする請求項 1 に記載の方法。
- 【請求項 3】
前記源酸化物は、酸化アルミニウムを含むことを特徴とする請求項 2 に記載の方法。
- 【請求項 4】
前記源酸化物は、酸化マンガンを含むことを特徴とする請求項 2 に記載の方法。
- 【請求項 5】
前記源酸化物は、金属不純物を実質的に含まないことを特徴とする請求項 2 に記載の方法。 20
- 【請求項 6】
前記源酸化物は、多孔質サファイアウェハを含むことを特徴とする請求項 2 に記載の方法。
- 【請求項 7】
サファイアウェハに非金属不純物を注入して、多孔質サファイアウェハを形成すること、および、
前記室の中に前記多孔質サファイアウェハを置くこと
をさらに含むことを特徴とする請求項 1 に記載の方法。
- 【請求項 8】
前記原子状酸素を導入することは、触媒を使用して原子状酸素を発生させることを含むことを特徴とする請求項 1 に記載の方法。 30
- 【請求項 9】
前記触媒は、白金を含むことを特徴とする請求項 8 に記載の方法。
- 【請求項 10】
前記原子状酸素を導入することは、
オゾンの流れを発生させること、および、
前記オゾンを分解して、原子状酸素を生み出すこと
を含むことを特徴とする請求項 1 に記載の方法。
- 【請求項 11】
前記原子状酸素を導入することは、
前記室の外で原子状酸素を発生させること、および、
発生した前記原子状酸素を前記室に供給すること
を含むことを特徴とする請求項 1 に記載の方法。 40
- 【請求項 12】
前記室は、酸化炉管を含むことを特徴とする請求項 1 に記載の方法。
- 【請求項 13】
前記室の雰囲気を加熱することは、前記室の雰囲気を、約 1000 ないし約 1100 に加熱することを含むことを特徴とする請求項 1 に記載の方法。
- 【請求項 14】 50

炭化シリコン層上に酸化物層を形成する方法であって、
 室の中に炭化シリコン層を置くこと、
 前記室の中にアルミナウェハを置くこと、
 前記室の雰囲気、約 500 ないし約 1300 に加熱すること、
 前記アルミナウェハの上に窒素ガスを流して、前記室の中で原子状酸素を発生させること、および、
 前記炭化シリコン層の表面に前記原子状酸素を流し、それによって前記炭化シリコン層上に酸化物層を形成すること
 を含むことを特徴とする方法。

【請求項 15】

10

前記室の雰囲気、約 1000 ないし約 1100 に加熱することを含むことを特徴とする請求項 14 に記載の方法。

【請求項 16】

前記アルミナウェハの上に酸素ガスを流すことをさらに含むことを特徴とする請求項 14 に記載の方法。

【請求項 17】

前記原子状酸素を酸素ガスと反応させて、オゾンを生み出すこと、
 前記アルミナウェハの上に前記オゾンを流すこと、および、
 前記オゾンを分解して、前記炭化シリコン層の近くに原子状酸素を生み出すことをさらに含むことを特徴とする請求項 16 に記載の方法。

20

【請求項 18】

炭化シリコン層上に酸化物層を形成する方法であって、
 室の中に炭化シリコン層を置くこと、
 前記室の中にアルミナウェハを置くこと、
 前記室の雰囲気、約 500 ないし約 1300 に加熱すること、
 前記アルミナウェハを窒化して、原子状酸素を遊離させること、および、
 前記炭化シリコン層の表面に前記原子状酸素を流して、前記炭化シリコン層上に酸化物層を形成すること
 を含むことを特徴とする方法。

【請求項 19】

30

前記室の雰囲気、約 1000 ないし約 1100 に加熱することを含むことを特徴とする請求項 18 に記載の方法。

【請求項 20】

前記アルミナウェハの上に酸素ガスを流すことをさらに含むことを特徴とする請求項 18 に記載の方法。

【請求項 21】

前記原子状酸素を酸素ガスと反応させて、オゾンを生み出すこと、
 前記アルミナウェハの上に前記オゾンを流すこと、および、
 前記オゾンを分解して、前記炭化シリコン層の近くに原子状酸素を生み出すことをさらに含むことを特徴とする請求項 20 に記載の方法。

40

【請求項 22】

前記アルミナウェハの主表面は、前記炭化シリコン層の主表面と平行であることを特徴とする請求項 18 に記載の方法。

【請求項 23】

炭化シリコン層上に酸化物層を形成する方法であって、
 炭化シリコン層上に酸化物層を形成すること、
 前記酸化物層をその上に有する前記炭化シリコン層を、金属不純物を実質的に含まない室の中に置くこと、
 前記室の雰囲気、約 500 ないし約 1300 に加熱すること、
 前記室の中に原子状酸素を導入すること、および、

50

前記炭化シリコン層の表面に前記原子状酸素を流すことを含むことを特徴とする方法。

【請求項 24】

前記原子状酸素を導入することは、前記室の中に源酸化物を提供すること、および、前記源酸化物の上に、窒素ガスと酸素ガスの混合物を流すことを含むことを特徴とする請求項 23 に記載の方法。

【請求項 25】

前記源酸化物は、酸化アルミニウムを含むことを特徴とする請求項 24 に記載の方法。

【請求項 26】

前記源酸化物は、酸化マンガンを含むことを特徴とする請求項 24 に記載の方法。

【請求項 27】

前記源酸化物は、金属不純物を実質的に含まないことを特徴とする請求項 24 に記載の方法。

【請求項 28】

前記源酸化物は、多孔質サファイアウェハを含むことを特徴とする請求項 24 に記載の方法。

【請求項 29】

サファイアウェハに非金属不純物を注入して、多孔質サファイアウェハを形成すること、および、

前記室の中に前記多孔質サファイアウェハを置くことをさらに含むことを特徴とする請求項 23 に記載の方法。

【請求項 30】

前記原子状酸素を導入することは、触媒を使用して原子状酸素を発生させることを含むことを特徴とする請求項 23 に記載の方法。

【請求項 31】

前記触媒は、白金を含むことを特徴とする請求項 30 に記載の方法。

【請求項 32】

前記原子状酸素を導入することは、オゾンの流れを発生させること、および、前記オゾンを分解して、原子状酸素を生み出すことを含むことを特徴とする請求項 23 に記載の方法。

【請求項 33】

前記原子状酸素を導入することは、前記室の外で原子状酸素を発生させること、および、発生した前記原子状酸素を前記室に供給することを含むことを特徴とする請求項 23 に記載の方法。

【請求項 34】

前記室は、酸化炉管を含むことを特徴とする請求項 23 に記載の方法。

【請求項 35】

前記室の雰囲気加熱することは、前記室の雰囲気を、約 1000 ないし約 1100 に加熱することを含むことを特徴とする請求項 23 に記載の方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は一般に、半導体デバイスの製造に関し、より具体的には、炭化シリコン (SiC) 上に酸化物層 (oxide layer) を製作することに関する。

【背景技術】

【0002】

炭化シリコン (SiC) は、高温、高電圧、高周波数および高電力電子デバイス用の半

10

20

30

40

50

導体材料として、炭化シリコンを魅力的なものにする電気特性と物理特性の組合せを有する。これらの特性には、 3.0 eV のバンドギャップ (bandgap)、 4 MV/cm の電界破壊、 4.9 W/cm-K の熱伝導率、および $2.0 \times 10^7\text{ cm/s}$ の電子ドリフト速度が含まれる。

【0003】

炭化シリコンは、自然酸化物を形成するという、広バンドギャップ複合半導体材料の中では独特の特性を有する。したがって、SiC層上に熱SiO₂層を形成することができる。SiC上に熱酸化物を形成できることは、例えばMOS電界効果トランジスタ(MOSFET)、MOSキャパシタ、絶縁ゲートバイポーラトランジスタ(IGBT)、MOS制御サイリスタ(MCT)、横型拡散MOSFET(LDMOSFET)およびその他の関連デバイスを含む金属-酸化物-半導体(MOS)デバイスを、炭化シリコンを使用して形成することに対して扉を開く。SiCの上記の独特の材料特性を考えると、このようなデバイスは、他の半導体材料を使用して形成されたデバイス、特に、高電力、高電流容量および/または高周波動作を必要とする用途向けのデバイスに比べて、相当に良好な理論動作特性を有することができる。したがって、MOSデバイスおよびその結果得られる集積回路においてSiCの電子的特性を十分に活用するためには、適切なSiC酸化技術が必要である。

10

【0004】

シリコン基板上に熱成長させたSiO₂の界面品質は優れている。しかし、熱成長させたSiC/SiO₂界面の品質は、Si/SiO₂界面のそれと同じレベルを達成していない。したがって、炭化シリコン(SiC)上の酸化物の品質は、商業的に成長可能な炭化シリコンMOSデバイスを開発することに対する大きな障害であった。実際に、SiC結晶品質の最近の向上により、酸化物の品質はおそらく、商業的に成長可能なSiC MOSパワーデバイスおよび集積回路の実現に対する最大の障害である。

20

【0005】

SiC上の酸化物が、容認できないほど高い界面状態(interface state)(または界面「トラップ(trap)」)密度および固定酸化物電荷を有することは広く報告されており、これらはともに、MOSデバイスの性能に対して不利な効果を有する。本明細書で使用される場合、用語「状態」または「トラップ」は、半導体または絶縁体材料のバンドギャップ内の使用可能なエネルギー準位位置を指す。界面トラップまたは状態は、半導体/絶縁体界面に位置し、または半導体/絶縁体界面の近くに位置することができる。界面状態は、材料内のダングリングボンド(dangling bond)、すなわち、末端が切れた(underminated)原子結合の存在によって生じる。したがって、界面の電子状態密度を、界面における結晶学的無秩序の量の指標とすることができる。

30

【0006】

界面トラップは、電荷キャリア(すなわち、電子および/または正孔)を捕獲することができ、このことは、この界面を含むデバイスの望ましくない動作特性を生み出すことがある。具体的には、SiC/SiO₂界面に存在する電子状態は、SiC層内の表面電子移動度を低下させうる。MOSデバイスのゲート酸化物が高密度の界面状態を有する場合、結果として生じるデバイスは、低い反転チャネル移動度、高いしきい電圧、高いオン抵抗および/または他の望ましくない特性を有することがある。

40

【0007】

最近、pウェル(well)注入を必要としない平面4H-SiC MOSFET構造において、一酸化窒素(NO)環境での熱酸化物のアニールが有望であることが分かった。非特許文献1および2を参照されたい。これらの文献の開示は、その全体が本明細書に記載されているかのように、参照によって本明細書に組み込まれる。このアニールは、非特許文献3に記載されているように、伝導帯端に近い界面状態密度をかなり低減させることが示されている。この文献の開示は、その全体が記載されているかのように、本明細書に組み込まれる。この改良されたMOS界面のため、表面反転層では高い電子移動度($35 \sim 95\text{ cm}^2/\text{Vs}$)が得られる。

50

【 0 0 0 8 】

残念なことに、NOは、全米防火協会 (National Fire Protection Association : NFPA) のヘルスデンジャーレーティング (health danger rating) が3の健康上の危険物であり、酸化後アニールが一般に実行される機器は、クリーンルームの雰囲気に対して開いている。それらはしばしば排気されるが、クリーンルーム内の安全なNO汚染レベルを超える危険性は無視できない。

【 0 0 0 9 】

非特許文献4に記載されているように、N₂O中で酸化物を成長させることは可能である。この文献の開示は、その全体が本明細書に記載されているかのように、参照によって組み込まれる。非特許文献4は、純粋なN₂O環境でSiCを1100、360分間酸化し、N₂中で1100、1時間アニールすることを記載している。

10

【 0 0 1 0 】

また、6H-SiC上の酸化物を、成長後に、1100のN₂O中で窒化させることが、非特許文献5によって検討された。この文献の開示は、その全体が本明細書に記載されているかのように、参照によって組み込まれる。しかし、非特許文献5は、このような処理は界面品質を低下させるとし、これは、N₂O中での窒化によって引き起こされた損傷を修復することができる後続のO₂中でのウェットまたはドライアニールで改善させることができると結論した。さらに、非特許文献5は、後続のO₂アニールを実施しても、界面状態密度は、N₂O中での窒化を実施しない場合と比べてあまり低減しないことを見出した。

20

【 0 0 1 1 】

NOおよびN₂O成長およびアニールに加えて、他の環境での成長後アニール (post growth anneal) についても調査が実施された。例えば、非特許文献6は、水素中での酸化後アニールを検討した。非特許文献6は、アルゴン中と水素中の両方の酸化後アニール (post oxidation annealing) によって、フラットバンド電圧シフトおよび界面状態密度を向上させることができると報告している。この研究では、4H-SiCが1200の乾燥O₂中で酸化された。次いで、400、700、800および1000のアルゴンまたは水素中で、酸化後アニールが30分間実施された。しかし、非特許文献7に記載されているように、他の複数の研究者が、水素中での酸化後アニールは、他の気体中での酸化後アニールに比べて大きな利益をもたらさないと報告している。

30

【非特許文献1】M. K. Das, L. A. Lipkin, J. W. Palmour, G. Y. Chung, J. R. Williams, K. McDonald, and L. C. Feldman, "High Mobility 4H-SiC Inversion Mode MOSFETs Using Thermally Grown, NO Annealed SiO₂," IEEE Device Research Conference, Denver, CO, June 19-21, 2000

【非特許文献2】G. Y. Chung, C. C. Tin, J. R. Williams, K. McDonald, R. A. Weller, S. T. Pantelides, L. C. Feldman, M. K. Das, and J. W. Palmour, "Improved Inversion Channel Mobility for 4H-SiC MOSFETs Following High Temperature Anneals in Nitric Oxide," IEEE Electron Device Letters (発表に向けて受諾済み)

【非特許文献3】G. Y. Chung, C. C. Tin, J. R. Williams, K. McDonald, M. Di Ventr a, S. T. Pantelides, L. C. Feldman, and R. A. Weller, "Effect of nitric oxide annealing on the interface trap densities near the band edges in the 4H polytype of silicon carbide," Applied Physics Letters, Vol. 76, No. 13, pp. 1713-1715, March 2000

40

【非特許文献4】J. P. Xu, P. T. Lai, C. L. Chan, B. Li, and Y. C. Cheng, "Improved Performance and Reliability of N₂O-Grown Oxynitride on 6H-SiC," IEEE Electron Device Letters, Vol. 21, No. 6, pp. 298-300, June 2000

【非特許文献5】P. T. Lai, Supratic Chakraborty, C. L. Chan, and Y. C. Cheng, "Effects of nitridation and annealing on interface properties of thermally oxidized SiO₂/SiC metal-oxide-semiconductor system," Applied Physics Letters, Vol. 76, No. 25, pp. 3744-3746, June 2000

50

【非特許文献6】Suzuki et al., "Effect of Post-oxidation-annealing in Hydrogen on SiO₂/4H-SiC Interface," Material Science Forum, Vols. 338-342, pp. 1073-1076, 2000

【非特許文献7】Mrinal Das, "Fundamental Studies of the Silicon Carbide MOS Structure"、博士論文、パーデュー大学 (Purdue University)、1999年12月提出

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0012】

本発明は、このような問題に鑑みてなされたものであり、その目的とするところは、原子状酸素を利用して炭化シリコン層上に酸化物層を製作する方法を提供することにある。

10

【課題を解決するための手段】

【0013】

本発明の実施形態は、炭化シリコン層上に酸化物層を形成する方法であって、金属不純物を実質的に含まない酸化炉管などの室の中に炭化シリコン層を置くこと、室の雰囲気、約500ないし約1300に加熱すること、室の中に原子状酸素を導入すること、および炭化シリコン層の表面に原子状酸素を流し、それによって炭化シリコン層上に酸化物層を形成することを含む方法を提供する。いくつかの実施形態では、原子状酸素を導入することが、室の中に源酸化物を提供すること、および源酸化物の上に、窒素ガスと酸素ガスの混合物を流すことを含む。源酸化物は、酸化アルミニウムを含み、または酸化マンガンの他の酸化物を含むことができる。

20

【0014】

いくつかの実施形態では、源酸化物が金属不純物を実質的に含まない。例えば、源酸化物は多孔質サファイアウェハを含むことができる。このようなケースでは、本発明に基づくいくつかの実施形態が、サファイアウェハに非金属不純物を注入して、多孔質サファイアウェハを形成すること、および室の中に多孔質サファイアウェハを置くことを含む。

【0015】

いくつかの実施形態では、原子状酸素を導入することが、白金などの触媒を使用して原子状酸素を発生させることを含む。いくつかの実施形態では、原子状酸素を導入することが、オゾンの流れを発生させること、およびオゾンを分解して、原子状酸素を生み出すことを含む。オゾンは、熱および/または電磁エネルギーを使用して分解することができる。

30

【0016】

いくつかの実施形態では、室の外で原子状酸素を発生させ、室に供給することができる。

【0017】

特定の実施形態では、室の雰囲気を、約1000ないし約1100に加熱することができる。

【0018】

炭化シリコン層上に酸化物層を形成する本発明のいくつかの実施形態に基づく方法は、酸化室の中に炭化シリコン層を置くこと、室の中にアルミナウェハを置くこと、室の雰囲気を、約500ないし約1300に加熱すること、アルミナウェハの上に窒素ガスを流して、室の中で原子状酸素を発生させること、および炭化シリコン層の表面に原子状酸素を流し、それによって炭化シリコン層上に酸化物層を形成することを含む。特定の実施形態では、室の雰囲気を、約1000ないし約1100に加熱することができる。さらに、アルミナウェハの上に酸素ガスを流すことができる。このようなケースでは、本発明の実施形態に基づく方法がさらに、原子状酸素を酸素ガスと反応させて、オゾンを生み出すこと、アルミナウェハの上にオゾンを流すこと、およびオゾンを分解して、炭化シリコン層の近くに原子状酸素を生み出すことを含むことができる。

40

【0019】

本発明に基づく他の実施形態は、室の中に炭化シリコン層を置くこと、室の中にアルミ

50

ナウエハを置くこと、室の雰囲気、約500ないし約1300に加熱すること、アルミナウエハを窒化して、原子状酸素を遊離させること、および炭化シリコン層の表面に原子状酸素を流し、それによって炭化シリコン層上に酸化物層を形成することを含む。特定の他の実施形態では、室の雰囲気、約1000ないし約1100に加熱することができる。さらに、アルミナウエハの上に酸素ガスを流すことができる。このようなケースでは、本発明の実施形態に基づく方法がさらに、原子状酸素を酸素ガスと反応させて、オゾンを生み出すこと、アルミナウエハの上にオゾンを生み出すこと、およびオゾンを分解して、炭化シリコン層の近くに原子状酸素を生み出すことを含むことができる。

【0020】

いくつかの実施形態では、源酸化物ウエハとSiC層の間の距離が実質的に均一になるように、源酸化物ウエハが、炭化シリコン層の向きに平行な垂直方向を向いているため、その結果、酸化物の均一性を向上させることができる。別の言い方をすれば、それぞれの源酸化物ウエハの主表面の向きが、炭化シリコン層に対して平行になり、炭化シリコン層の表面のそれぞれの点(point)が、隣接する源酸化物ウエハの主表面上のそれぞれの点から等距離に位置するように、炭化シリコン層と源酸化物ウエハを配置することができる。

10

【0021】

本発明の他の実施形態は、従来技法によるSiC層上に酸化物層を形成すること、および形成された酸化物層を、原子状酸素を含む環境でアニールすることを含む。例えば、炭化シリコン層上に酸化物層を形成する本発明のいくつかの実施形態に基づく方法は、炭化シリコン層上に酸化物層を形成すること、酸化物層がその上に形成された炭化シリコン層を、金属不純物を実質的に含まない室の中に置くこと、室の雰囲気、約500ないし約1300に加熱すること、室の中に原子状酸素を導入すること、および酸化物層がその上に形成された炭化シリコン層の表面に原子状酸素を流すことを含む。酸化物層は、熱プロセスおよび/または付着プロセスによって形成することができる。

20

【0022】

原子状酸素を導入することは、室の中に源酸化物を提供すること、および源酸化物の上に、窒素ガスと酸素ガスの混合物を流すことを含むことができる。源酸化物は、酸化アルミニウムを含み、または酸化マンガンなどの他の酸化物を含むことができる。いくつかの実施形態では、源酸化物が金属不純物を実質的に含まない。例えば、源酸化物は多孔質サファイアウエハを含むことができる。このようなケースでは、本発明に基づくいくつかの実施形態が、サファイアウエハに非金属不純物を注入して、多孔質サファイアウエハを形成すること、および室の中に多孔質サファイアウエハを置くことを含む。

30

【発明を実施するための最良の形態】

【0023】

次に、本発明の好ましい実施形態が示された添付図面を参照して、本発明をより詳細に説明する。しかし、本発明は、多くの異なる形態で具体化することができ、本発明が、本明細書に記載された実施形態に限定されるものと解釈してはならない。これらの実施形態は、この開示が網羅的かつ完全なものとなり、本発明の範囲が当業者に完全に伝わるように提供される。分かりやすくするために、図面では、層および領域の厚さが誇張されている。全体を通じて同様の符号は同様の要素を指す。

40

【0024】

本明細書で使用される場合、用語「および/または」は、記載された関連項目のうちの一つまたは複数の項目の任意のすべての組合せを含む。本明細書では、様々な要素、構成要素、領域、材料、層および/またはセクションを記述するために、第1、第2、第3などの用語が使用されることがあるが、これらの要素、構成要素、領域、層および/またはセクションはこれらの用語によって限定されない。これらの用語は、1つの要素、構成要素、領域、材料またはセクションを他の要素、構成要素、領域、層、材料またはセクションから区別するためだけに使用される。したがって、以下で論じられる第1の要素、構成要素、領域、層、材料またはセクションは、本発明の教示から逸脱することなく、第2の

50

要素、構成要素、領域、層、材料またはセクションと呼ぶことができる。

【0025】

本明細書で使用される用語は、特定の実施形態を説明することだけを目的としており、本発明を限定することを意図したものではない。本明細書で使用される場合、単数形「a」、「an」および「the」は、文脈がそうではないと明確に指示していない限り、複数形も含むことが意図される。また、本明細書で使用される場合、用語「含む (includes)」、「含む (including)」、「含む (comprised)」および/または「含む (comprising)」は、明示された特徴、完全体、ステップ、動作、要素および/または構成要素の存在を示すが、1つまたは複数の他の特徴、完全体、ステップ、動作、要素、構成要素および/またはこれらのグループの存在または追加を妨げないことを理解されたい。本明細書で使用される場合、ラテン語の成句「*exempli gratia*」に由来するよく知られた略語「例えば (e.g.)」は、以前に言及された事項の一般的な1つまたは複数の例を導入または列挙するために使用されることがあるが、この略語は、そのような事項の限定を意図したものではない。本明細書で使用される場合、ラテン語の成句「*id est*」に由来するよく知られた略語「すなわち (i.e.)」は、より一般的な説明から具体的な事項を指定するために使用されることがある。

10

【0026】

そうでないと定義されない限り、本明細書で使用されるすべての用語（技術用語および科学用語を含む）は、本発明が属する技術分野の技術者によって共通に理解される同じ意味を有する。さらに、一般的に使用されている辞書に定義された用語などの用語は、本明細書および関連技術の文脈におけるそれらの意味と一致した意味を有するものと解釈されなければならない。本明細書においてそのように明示されない限り、理想化された意味またはあまりに形式的な意味に解釈されないことを理解されたい。

20

【0027】

本発明の実施形態は、改良された界面を有するSiC層上の酸化物層の形成を可能にすることができる方法を提供する。これらの方法は、SiC層上に形成された金属-酸化物-半導体(MOS)デバイスの製造において特に有利であることがある。本発明の実施形態を使用すると、SiCの伝導帯に近いエネルギー準位を有する界面状態を劇的に低減させることができる。このような欠陥の低減が有利な理由は、これらの欠陥が、MOSデバイスの有効表面チャネル移動度を限定する可能性があるためである。本発明の実施形態を使用するとさらに、MOSデバイスのフラットバンド(flatband)電圧(すなわち、そのデバイスにおいてバンドベンディング(band bending)が起こらない電圧)を低くすることができる。

30

【0028】

熱酸化(thermal oxidation)は、シリコンを含む半導体層上にSiO₂層を成長させることを含む。Siの熱酸化の場合と同様に、SiCの熱酸化でも、成長下の酸化物層によって、その下の半導体層の一部が「消費される(consumed)」。酸化物層が成長するにつれて、酸素は、成長下の酸化物層を貫通して拡散し、SiC表面のSiと反応して、新たなSiO₂分子を形成することができる。したがって、SiO₂層が成長するにつれ、成長界面はSiC層の中へ前進する。

40

【0029】

MOS品質のSi-SiO₂界面を生み出すための分子状酸素(O₂またはH₂O)を使用した従来のSiC酸化は、遅い酸化速度(すなわち、酸化物層の成長速度)と低い界面品質とによって阻害された。これらの短所はともに、SiC-SiO₂界面におけるSiCから化学量論的SiO₂への転移による亜酸化物の形成に起因すると考えることができる。酸化速度は、酸化を高温(例えば、1200以上)で実行することによって高めることができる。しかし、高温での酸化はコスト高になる可能性があり、高温での酸化によって、成長下のSiO₂層に不必要な不純物が導入され、その結果、SiO₂層中に不必要な固定酸化物電荷が存在する可能性もある。前述のとおり、窒素を含む雰囲気(NO、N₂Oおよび/またはNH₃)で酸化物をアニールすることによって(いわゆる「窒化」アニ

50

ール)、分子状酸素を使用した酸化に起因する界面無秩序(interface disorder)の一部を不動態化(passivate)することができる。しかし、このようなアニールは、界面無秩序を完全に不動態化しないことがある。

【0030】

本発明のいくつかの実施形態は、原子状酸素(atomic oxygen)を使用してSiC層を酸化する方法を提供する。原子状酸素は、SiC表面における高い反応性と、成長下のSiO₂層内での高い移動性の両方を示すことができる。したがって、原子状酸素を使用してSiC層を酸化することによって、低減された結晶学的無秩序を有する界面を得ることができる。さらに、分子状酸素を使用した酸化に比べて、酸化速度が高まることがある。さらに、原子状酸素を使用した酸化は、分子状酸素を使用した酸化よりも低い温度で実施

10

【0031】

さらに、原子状酸素を使用したSiC層の酸化は、その結果得られるSiC-SiO₂界面の界面無秩序を低減させることができ、したがって、SiC-SiO₂界面における界面状態密度を低下させることができる。

【0032】

次に、原子状酸素を利用して炭化シリコン層上に酸化物層を成長させる本発明のいくつかの実施形態に基づく操作を示す流れ図である図1A~1Cを参照して、本発明の実施形態を説明する。図1Aを参照すると、室(chamber)の中に炭化シリコン層が置かれる(ブロック52)。室は、500を超える温度に耐えることができる石英管とすることができる。したがって、この室は酸化炉の働きをすることができる。SiC層は、SiC基板、および/あるいはホモ(homo)またはヘテロ(hetero)エピタキシャル基板上に形成されたSiCエピタキシャル層とすることができる。特定の実施形態では、SiC層が、4H-SiCおよび/または6H-SiCの単結晶層、バルク(bulk)層またはエピタキシャル層である。いくつかの実施形態では、室が、複数のSiC層を収容するように構成される。例えば、室を、複数のSiCウェハおよび/またはその上にSiC層が形成された複数のウェハを受け取るように構成することができる。この室を、約500ないし約1300に加熱することができる(ブロック54)。いくつかの実施形態では、室内の雰囲気

20

30

【0033】

次に、室の中に原子状酸素が導入される(ブロック56)。次いで、この原子状酸素がSiC層の上に流され(ブロック58)、その結果、SiC層上にSiO₂層が形成される。

【0034】

図1Bに示されているように、室の中に原子状酸素を導入することは、酸化アルミニウムなどの源酸化物(source oxide)を室の中または外に提供すること(ブロック62)、および酸化アルミニウムを窒化して、原子状酸素を遊離させること(ブロック64)を含むことができる。源酸化物は、いくつかの異なる形態で提供することができる。例えば、源酸化物は、サファイア(sapphire)ウェハまたは焼結アルミナ(alumina)ウェハを含むことができる。いくつかの実施形態では、源酸化物が、多孔質サファイアウェハを含むことができる。研磨された非多孔質サファイアウェハは、酸化プロセスを維持する十分な量の原子状酸素を生み出さないことが分かっている。完全には解明されていないが、研磨された非多孔質サファイアウェハは、窒化することができる表面積を比較的少ししか持たないと現時点では考えられている。多孔質サファイアウェハを提供することによって、窒化される酸化アルミニウムの表面積を増大させることができ、その結果、非多孔質サファイアウェハを使用して得ることができる量よりも多くの酸素を遊離させることができる。

40

【0035】

酸化アルミニウムの窒化は、窒素を酸化アルミニウムと反応させ、それによって窒化ア

50

ルミニウムを形成し、その結果ある量の原子状酸素を遊離させるのに十分な約500ないし約1300の温度で、酸化アルミニウムの上に窒素ガス(N₂)を流すことによって実行することができる。酸化アルミニウムの表面におけるAlNの形成が原子状酸素の発生プロセスを低下させるため、このプロセスは、自己制限的(self-limiting)であることがある。しかし、この懸念は、酸化アルミニウムの表面積を増大させることによって緩和することができる。

【0036】

原子状酸素を導入する他の方法を使用することもできる。例えば、原子状酸素を提供するために、室の中または室よりも上流で、分子状酸素を解離させることができる。例えば、室の中または室よりも上流に、オゾン(O₃)を提供することができる。このオゾンを室内の高温によって室の中で解離させて、原子状酸素を提供することができる。あるいは、室よりも上流で分子状酸素を解離させ、結果として生じる原子状酸素を室に導入してもよい。しかし、原子状酸素の平均自由行程では、原子状酸素が室の外で生み出される場合、原子状酸素の少なくとも一部が、酸化物層の成長に使用される前に、他の原子状酸素と実質的に反応してしまうと現時点では考えられている。したがって、いくつかの実施形態では、原子状酸素を室の中で発生させることができる。

10

【0037】

いくつかの実施形態では、例えば、酸化させるSiC層から離れた(室の中または外の)位置で分子状酸素を解離させることによって、または酸化アルミニウムを窒化することによって、原子状酸素を生成することができる。例えば、いくつかの実施形態では、室内における原子状酸素の平均自由行程よりも炭化シリコン層から離れた位置で、原子状酸素を発生させることができる。原子状酸素が分子状酸素ガスと反応してオゾンを生み出すことができるように、分子状酸素ガス(O₂)を、約500ないし約1300の温度で提供することができる。その結果生じる、原子状酸素よりも長い平均自由行程を有するオゾンを、オゾンを解離させる(「分解する(crack)」)のに十分な約500ないし約1300のSiC基板を横切って流し、それによってSiC層を酸化することができる原子状酸素を生み出すことができる。

20

【0038】

図1Cは、本発明の他の実施形態に基づく方法を示す。図1Cに示されているように、室の中にSiC層が置かれる(ブロック80)。室の中のSiC層の近くにアルミナウェハが置かれる(ブロック82)。室内の雰囲気は、500ないし1300に加熱される(ブロック84)。次に、アルミナウェハを窒化して、原子状酸素を発生させることができる(ブロック86)。例えば、1000ないし1300に加熱された窒素ガスをアルミナウェハの上に流して、アルミナウェハから原子状酸素を遊離させることができる。次いで、SiC層上にSiO₂層を生み出すため、この原子状酸素がSiC層の上に流される(ブロック88)。いくつかの実施形態では、前述の方法でアルミナウェハの上に酸素ガスを流して、オゾンを形成することができる。このオゾンを、SiCウェハを横切って流すことができ、このオゾンはそこで分解することができる、それによってSiC層の近くに、SiC層を酸化することができる原子状酸素を生み出す。

30

【0039】

図2は、本発明の特定の実施形態で使用するのに適した炉管(furnace tube)を示す図である。図2から分かるとおり、炉管とすることができる室10は、その上に酸化物層を形成させるSiC層を含む複数のウェハ12を有する。SiC層は4H-SiCであることが好ましい。ウェハ12は、キャリア(carrier)14の上に、ウェハが一般に室10の中の固定された位置を有するように置かれる。キャリア14は、ウェハが、室10の入口から距離L₁+L₂のところであり、室10内において距離L₃にわたって広がるように配置される。N₂、O₂、O₃および/または不活性ガスを含むことができるインプット(input)ガス16が室10の中へ通され、インプットガス16は、距離L₁を移動するにつれ、所定の温度プロファイルに基づいて、加熱されたガス18を提供するように加熱される。加熱されたガス18は、所定の温度プロファイルに基づく温度に維持することが

40

50

でき、距離 L 2 を移動して、最初のウェハ 1 2 に到達することができる。加熱されたガス 1 8 は室 1 0 を通過し続け、最終的に、排気ガス 2 0 として出口から室 1 0 を出る。したがって、加熱されたガス 1 8 は距離 L 3 を移動する。加熱されたガス 1 8 は、距離 L 2 および L 3 の間、実質的に一定の温度に維持されることが好ましいが、本明細書の開示を検討した当業者には理解されるように、様々な温度プロファイルを利用することができる。このようなプロファイルは、時間および / または距離の経過に伴う温度の変動を含むことができる。

【 0 0 4 0 】

いくつかの実施形態では、所定の流量限度内の流量プロファイルで N₂ および O₂ が供給された室の中で、約 5 0 0 を超える酸化温度を含む所定の温度プロファイルを使用して、ウェハ 1 2 上の S i C 層を酸化することができる。酸化温度は約 1 0 0 0 であることが好ましい。N₂ および O₂ の流量限度は、このプロセスが使用される特定の機器に基づいて選択することができる。しかし、特定の実施形態では、N₂ および O₂ の流量限度を、約 2 S L M (Standard Liters per Minute) または約 1 0 S L M、あるいはそれ以上とすることができる。他の実施形態では、約 5 S L M の流量限度が好ましい。この酸化は、酸化物層の所望の厚さに応じた時間、実施することができる。例えば、数分から数時間、またはそれを超える酸化時間を利用することができる。一般に、原子状酸素を使用した酸化の酸化速度は、分子状酸素を使用した酸化に比べて大きい。

10

【 0 0 4 1 】

前述のとおり、いくつかの実施形態では、多孔質サファイアウェハを窒化することによって原子状酸素を発生させることができる。単結晶サファイアウェハは通常、複合半導体材料のヘテロエピタキシャル成長用の基板として使用可能である。多孔質サファイアウェハは、イオン注入によって、例えばアルゴンおよび / または窒素などの不活性種をこのウェハに注入することによって形成することができる。アルミナの代わりに原子状酸素源として多孔質サファイアウェハを使用したほうが好ましいことがある。後に論じるとおり、アルミナは、酸化物内に取り込まれる可能性があるいくつかの望ましくない金属不純物を含む可能性がある。このような不純物は、M O S デバイスの動作に不利な影響を与えうる固定および / または移動酸化物電荷の存在につながる可能性がある。多孔質サファイアウェハを使用する追加の利点は、酸化プロセス後に、ウェハ上に形成された窒化アルミニウム層を除去し、(場合によってはウェハに再注入を実施した後に) 後の酸化プロセスの原子状酸素源としてこのウェハを再使用することができることである。

20

30

【 0 0 4 2 】

前述の方法の原子状酸素源として、他の酸化物材料を使用することもできる。例えば、酸化アルミニウムの代わりに酸化マンガンを使用することができる。

【 0 0 4 3 】

いくつかの実施形態では、白金などの触媒を使用して、原子状酸素の発生を助け、かつ / または促進することができる。この触媒は、S i C 層よりも上流の室の中または室よりも上流で、分子状酸素を解離させて、原子状酸素および / またはオゾンが発生させるために使用することができる。この触媒は、触媒の上を酸素ガスが流れるときに酸素ガスから原子状酸素が遊離するように、S i C 層と酸素ガス源の間に置かれる。

40

【 0 0 4 4 】

酸素を解離する他の方法を、本発明の実施形態とともに使用することができる。例えば、光または電気エネルギーを使用した分子状酸素の解離 (例えば、U V 光への暴露および / または静電放電) によって、原子状酸素を形成することができる。また、室よりも上流で酸素プラズマを発生させて、続いて室に供給することができる原子状酸素および / またはオゾンを形成することもできる。

【 0 0 4 5 】

図 3 は、室 1 0 内の S i C ウェハと酸化物の特定の構成を示す。図 3 に示されているように、いくつかの実施形態では、炭化シリコンパドル (paddle) 2 0 上に炭化シリコンボート (boat) 2 2 を置くことができる。ボート 2 2 上に、1 つまたは複数の炭化シリコン

50

ウェハ 24 (先に論じたとおり、バルク SiC ウェハおよび/またはその上に SiC 層が形成されたウェハを含むことができる)を垂直に装填することができる。ポート 22 上の隣接する SiC ウェハ 24 間に、アルミナブロックまたはウェハ 26 を提供することができる。次いで、パドル 20 が石英炉管などの室 10 の中に置かれる。アルミナブロック 26 および SiC ウェハ 24 を横切って、窒素ガス (N_2) および自由選択の酸素ガス (O_2) が、500 ないし 1300 の温度で流される。アルミナブロック 26 から遊離した原子状酸素が、SiC ウェハ 24 の表面を酸化する。図 3 には 2 枚の炭化シリコンウェハ 24 が示されているが、図面に示されたウェハの数は任意で決めたものである。本発明の実施形態に従って室 10 の中で処理することができるウェハの数は、室 10 のサイズ、幾何形状などの因子に依存することを理解されたい。

10

【0046】

図 4 から 8 に、本発明の実施形態を利用して得ることができる結果を示す。ここに記載する実験結果は、単に例として提供されるのであって、本発明を限定するものと考えてはならない。図 3 に示された炭化シリコンポート上にバルク 4H-SiC ウェハを置いた。隣接する SiC ウェハ間にアルミナウェハを置き、このポートを酸化室の中に入れた。室の雰囲気をも 1000 に加熱した。アルミナ基板および SiC ウェハの上に窒素および酸素ガスを 5.5 時間にわたって流し、5.5 時間後、酸素の流れを遮断し、窒素の流れを 4 時間継続した。その後、ポートを室から取り出した。SiC ウェハ上に酸化物が成長したことが観察され、アルミナウェハ上に窒化アルミニウム層が形成されたことが観察された。酸化された SiC ウェハ上の様々な位置に MOS キャパシタを形成し、形成されたデバイス上で静電容量 - 電圧 (C - V) を測定した。それらの C - V 測定値から、界面トラップ密度および酸化物の厚さを計算した。比較のため、従来の分子酸化技法を使用して MOS キャパシタを形成した。

20

【0047】

図 4 A は、本発明のいくつかの実施形態に従って原子状酸素を使用して製造されたキャパシタの電圧に対する測定および理論静電容量のグラフである。図 4 A に示されているように、測定静電容量 (点 30 によって示されている) は、理論上の理想的な曲線 32 とほとんど一致した。このように、本発明の実施形態は、低減された界面無秩序によって非常に高い反転層移動度を有する SiC MOSFET の形成を可能にすることができ、それによって、大幅に低減されたオン抵抗を有するパワー MOSFET および高周波スイッチング能力を有する LDMOSFET を製造することができる。さらに、酸化速度は、従来の分子酸化の 2 倍であることが観察された。

30

【0048】

比較のため、図 4 B に、従来の分子酸化を使用して形成された MOS キャパシタの C - V 測定値を示す。図 4 B に示されているように、従来の MOS キャパシタの C - V 曲線 (点 34 によって示されている) は、理想的な C - V 曲線 36 からかなりのずれを示す。

【0049】

同様に、図 5 は、前述のとおり形成された MOS キャパシタおよび従来のいくつかの分子酸化技術を使用して形成された MOS キャパシタの電圧に対する正規化された (normalized) 静電容量 (C/C_{ox}) のグラフである。図 5 に示されたデータでは、SiC - SiO₂ 界面品質を改良するために、従来の MOS キャパシタがさらに、NO 環境中で 2 時間、1300 でアニールされている。図 5 に示されているように、原子状酸素を使用して形成された SiO₂ 層の測定静電容量値 (点 40) は、理想的な曲線 (線 42) とほとんど一致し、これは、SiC - SiO₂ 界面における結晶学的無秩序の量が小さいことを示している可能性がある。分子状酸素を使用して形成された NO アニール SiO₂ 層の測定静電容量 (点 44) は、理想的な曲線 (線 46) に比べてかなりのストレッチアウト (stretch-out) を示し、界面トラップが存在することを示している。具体的には、NO アニールされた酸化物は、50 cm²/V - s のチャネル移動度を有する横型 MOSFET を生み出し、これは、近伝導帯状態 (near conduction band state) によって制限され、フラットバンドの C - V 曲線の累積範囲へのストレッチアウトを引き起こす。原子状酸素

40

50

の C - V データ (点 40) は、この領域に、検出可能なストレッチアウトをほとんど示さない。界面トラッピングを無視できると仮定すると、原子状酸素の存在下で成長させたゲート酸化物を有するように製造された横型 MOSFET に関して、チャネル移動度は $150 \text{ cm}^2 / \text{V} \cdot \text{s}$ まで増大すると予想される。

【0050】

図 6 は、分子状酸素および原子状酸素を使用して形成された SiC - SiO₂ 界面の伝導帯内の位置 ($E_c - E$) に対する界面状態密度 (D_{IT}) のグラフである。図 6 に示されているように、原子状酸素を使用して形成された SiC - SiO₂ 界面の界面状態密度 (点 45) は、分子状酸素を使用して形成された SiC - SiO₂ 界面のそれ (点 47) に比べてかなり低い。

10

【0051】

アルミナウェハを原子状酸素源として使用することの 1 つの問題点は、ウェハ内の不純物の存在である。これらの不純物は、酸化物の中に埋め込まれ、酸化物内に固定または移動電荷が存在する事態を引き起こす可能性があり、このような電荷の存在は、MOS デバイスの動作に影響を及ぼす可能性がある。例えば、固定および / または移動酸化物電荷は、移動している電荷ならびに / またはトラッピングおよびデトラッピング (de-trapping) している状態のために、デバイスの C - V 特性の電圧シフトを引き起こす可能性がある。例えば、図 7 に示されているように、C - V 曲線 41 では、印加電圧が高電圧から低電圧へ、再び低電圧から高電圧へ循環するときに、ヒステリシス曲線が存在することができる。このようなヒステリシスの存在は、実際のデバイスにおける電圧しきい値の不安定性を示している可能性がある。さらに、アルミナを使用して形成された MOS 界面は、温度安定性上の懸念を有することがある。図 8 に示されているように、200 のバイアスされた熱処理の後、測定界面トラップ密度 D_{IT} が上方へシフトする傾向があり (線 51)、これは、熱処理の前に測定された測定値 (線 53) からの界面トラップの濃度の増大を示す。最後に、図 3 に関して示した実施形態に従って成長させた酸化物層の酸化物の厚さは、SiC ウェハ 24 上の位置によって変化することがある。例えば、室 10 内のアルミナウェハに近いウェハ上の位置で測定された酸化物の厚さは 450 であり、アルミナウェハから離れるにつれ、ウェハ上で測定された酸化物の厚さは順に、300、270 および 200 であった。

20

【0052】

図 9 は、前述の限界のいくつかを克服することができる室 10 内の SiC ウェハおよび酸化物の他の構成を示す。図 9 に示されているように、炭化シリコンパドル 20 上に炭化シリコンポート 22 を置くことができる。ポート 22 上に、1 つまたは複数の炭化シリコンウェハ 24 を垂直に装填することができる。ポート 22 上の隣接する SiC ウェハ 24 間に、アルミナウェハ 28 を垂直に提供することができる。次いで、パドル 20 が石英炉管などの室 10 の中に置かれる。アルミナウェハ 28 および SiC ウェハ 24 を横切って、窒素ガス (N₂) および自由選択の酸素ガス (O₂) が、500 ないし 1300 の温度で流される。アルミナウェハ 28 から遊離した原子状酸素が、SiC ウェハ 24 の表面を酸化する。これらの実施形態では、アルミナウェハ 28 と SiC ウェハ 24 の間の距離が実質的に均一になるように、アルミナウェハ 28 が、炭化シリコンウェハの向きに平行な垂直方向を向いているため、その結果、酸化物の均一性を向上させることができる。別の言い方をすれば、それぞれのアルミナウェハ 28 の主表面の向きが、炭化シリコンウェハ 26 に対して平行になり、炭化シリコンウェハ 26 の表面上のそれぞれの点が、隣接するアルミナウェハ 28 の主表面上のそれぞれの点から等距離に位置するように、炭化シリコンウェハ 24 とアルミナウェハ 28 が配置される。

30

40

【0053】

図 10 は、前述の限界のいくつかを克服することができる室 10 内の SiC ウェハと酸化物の他の構成を示す。図 10 に示されているように、炭化シリコンパドル 20 上に炭化シリコンポート 22 を置くことができる。ポート 22 上に、1 つまたは複数の炭化シリコンウェハ 24 を垂直に装填することができる。ポート 22 上の隣接する SiC ウェハ 24

50

間に、多孔質サファイアウェハ38を垂直に提供することができる。次いで、パドル20が石英炉管などの室10の中に置かれる。多孔質サファイアウェハ38およびSiCウェハ24を横切って、窒素ガス(N₂)および自由選択の(optionally)酸素ガス(O₂)が、500ないし1300の温度で流される。多孔質サファイアウェハ38から遊離した原子状酸素が、SiCウェハ24の表面を酸化する。これらの実施形態では、多孔質サファイアウェハが高い純度を有するため、SiO₂層に取り込まれる可能性がある金属不純物を、室10が実質的に含まない。本明細書で使用される場合、「金属不純物を実質的に含まない(substantially free of metallic impurities)」とは、結果として生じるSiO₂層が、その中に、SiC/SiO₂界面の界面状態密度D_{IT}よりもおよそ2桁以上小さい、すなわち、約10¹⁰cm⁻²未満の量の金属不純物を有することを意味する。オゾンの解離など、原子状酸素を提供する他の方法も、金属不純物を実質的に含まない酸化室10を提供することができる。さらに、サファイアウェハ38とSiCウェハ24の間の距離が一定になるように、サファイアウェハ38が垂直方向を向いているため、その結果、酸化物の均一性を向上させることができる。

10

20

30

40

50

【0054】

本発明の他の実施形態は、従来技法に従ってSiC層上にSiO₂層を形成すること、および形成されたSiO₂層を、原子状酸素を含む環境でアニールすることを含む。例えば、炭化シリコン層上に酸化物層を形成する本発明のいくつかの実施形態に基づく方法が、図11に示されている。この図に示されているように、本発明のいくつかの実施形態に基づく方法は、炭化シリコン層上に酸化物層を形成すること(ブロック72)、酸化物層がその上に形成された炭化シリコン層を、金属不純物を実質的に含まない室の中に置くこと(ブロック74)、室の雰囲気、約500ないし約1300に加熱すること(ブロック76)、室の中に原子状酸素を導入すること(ブロック78)、および酸化物層がその上に形成された炭化シリコン層の表面に原子状酸素を流すこと(ブロック79)を含む。酸化物層は、熱プロセスおよび/または付着プロセスによって形成することができる。

【0055】

原子状酸素を導入することは、室の中に源酸化物を提供すること、および源酸化物の上に、窒素ガスと酸素ガスの混合物を流すことを含むことができる。源酸化物は、酸化アルミニウムを含み、または酸化マンガンなどの他の酸化物を含むことができる。いくつかの実施形態では、源酸化物が金属不純物を実質的に含まない。例えば、源酸化物は多孔質サファイアウェハを含むことができる。このような場合、本発明に基づくいくつかの実施形態は、サファイアウェハに非金属不純物を注入して、多孔質サファイアウェハを形成すること、および室の中に多孔質サファイアウェハを置くことを含む。

【0056】

いくつかの実施形態では、原子状酸素を導入することが、白金などの触媒を使用して原子状酸素を発生させることを含む。いくつかの実施形態では、原子状酸素を導入することが、オゾンの流れを発生させること、およびオゾンを分解して、原子状酸素を生み出すことを含む。オゾンは、熱および/または電磁エネルギーを使用して分解することができる。

【0057】

いくつかの実施形態では、室の外で原子状酸素を発生させ、室に供給することができる。

【0058】

特定の実施形態では、室の雰囲気を、約1000ないし約1100に加熱することができる。

【0059】

図面および明細書には、本発明の一般的な好ましい実施形態が開示されている。特定の用語が使用されるが、それらは、一般的かつ記述的な意味においてのみ使用されており、限定目的では使用されていない。本発明の範囲は特許請求の範囲に記載されている。

【図面の簡単な説明】

【0060】

【図1A】炭化シリコン層上に酸化物層を形成する本発明の実施形態に基づく処理ステップを示す流れ図である。

【図1B】炭化シリコン層上に酸化物層を形成する本発明の実施形態に基づく処理ステップを示す流れ図である。

【図1C】炭化シリコン層上に酸化物層を形成する本発明の実施形態に基づく処理ステップを示す流れ図である。

【図2】本発明の実施形態で使用するのに適した炉管の概略図である。

【図3】本発明の実施形態で使用するのに適した炉管内の炭化シリコンウェハの一構成の概略図である。

10

【図4A】本発明のいくつかの実施形態に従って形成された酸化物を有するキャパシタの電圧に対する静電容量のグラフである。

【図4B】従来のいくつかの技法に従って形成された酸化物を有するキャパシタの電圧に対する静電容量のグラフである。

【図5】本発明のいくつかの実施形態に従って形成された酸化物を有するキャパシタおよび従来のいくつかの技法に従って形成された酸化物を有するキャパシタの電圧に対する静電容量のグラフである。

【図6】本発明のいくつかの実施形態に従って形成された酸化物を有するキャパシタおよび従来のいくつかの技法に従って形成された酸化物を有するキャパシタの伝導帯からのエネルギー準位に対する D_{IT} のグラフである。

20

【図7】本発明のいくつかの実施形態に従って形成された酸化物を有するキャパシタの電圧に対する静電容量のグラフである。

【図8】本発明のいくつかの実施形態に従って形成された酸化物を有するキャパシタの伝導帯からのエネルギー準位に対する D_{IT} のグラフである。

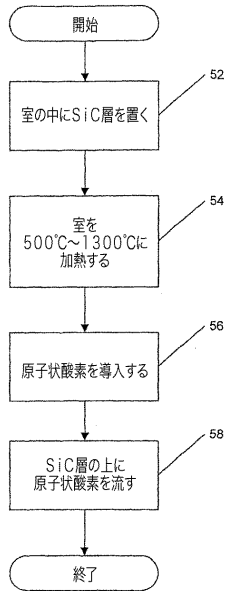
【図9】本発明の他の実施形態で使用するのに適した炉管内の炭化シリコンウェハの一構成の概略図である。

【図10】本発明の他の実施形態で使用するのに適した炉管内の炭化シリコンウェハの一構成の概略図である。

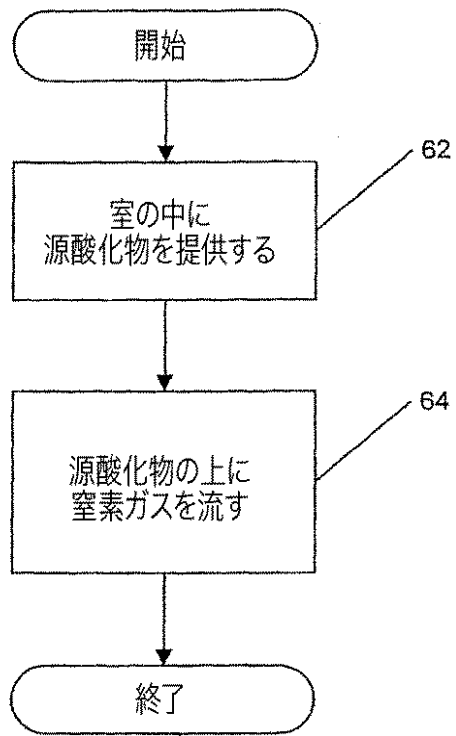
【図11】炭化シリコン層上に酸化物層を形成する本発明の実施形態に基づく処理ステップを示す流れ図である。

30

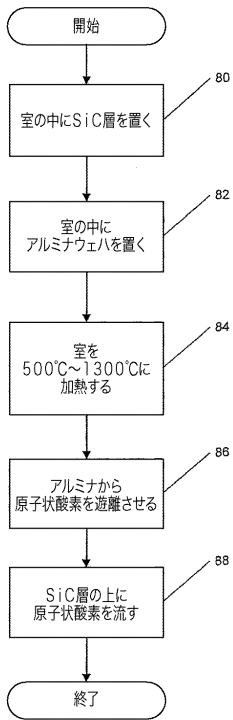
【図1A】



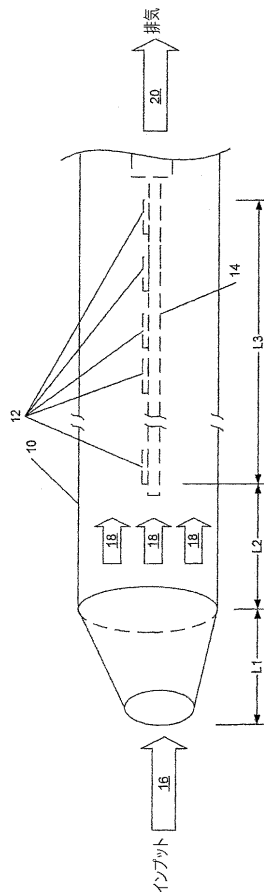
【図1B】



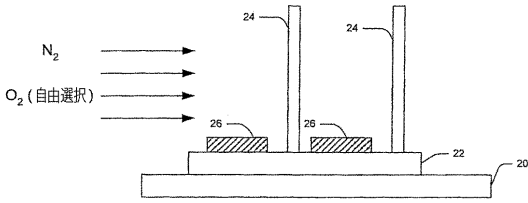
【図1C】



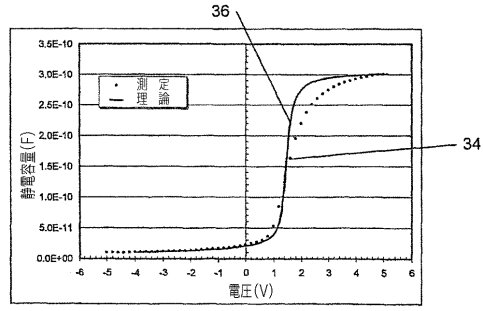
【図2】



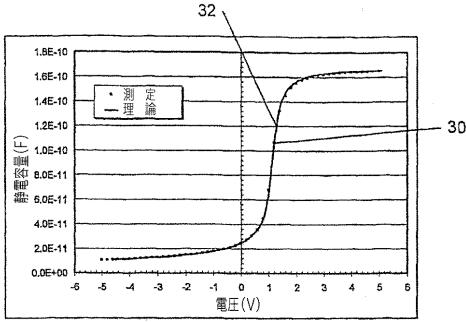
【 図 3 】



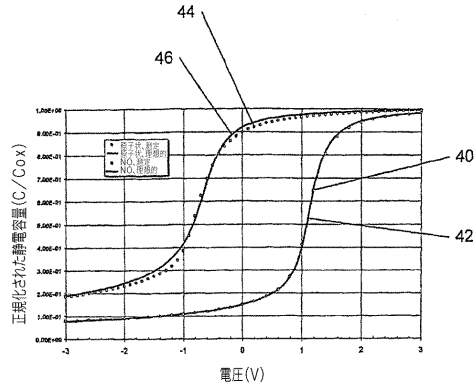
【 図 4 B 】



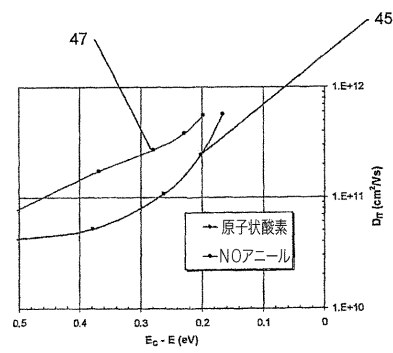
【 図 4 A 】



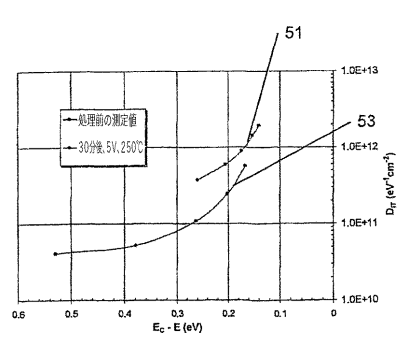
【 図 5 】



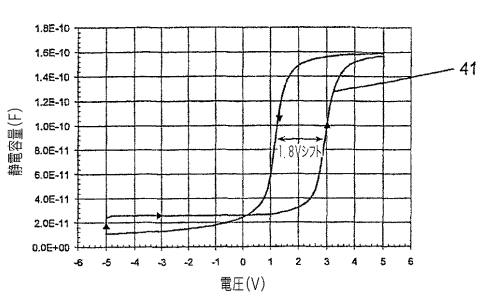
【 図 6 】



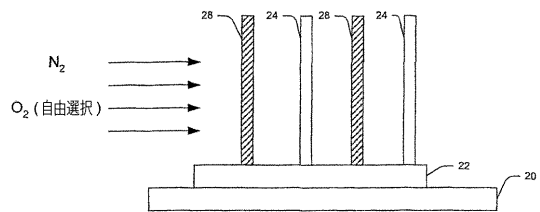
【 図 8 】



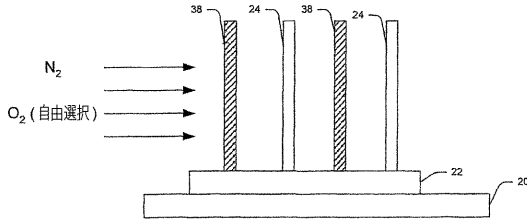
【 図 7 】



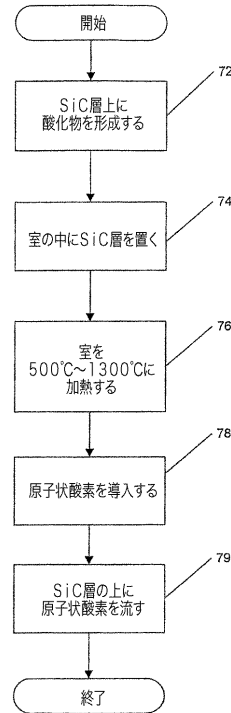
【 図 9 】



【図10】



【図11】



【手続補正書】

【提出日】平成19年7月16日(2007.7.16)

【手続補正1】

【補正対象書類名】特許請求の範囲

【補正対象項目名】全文

【補正方法】変更

【補正の内容】

【特許請求の範囲】

【請求項1】

炭化シリコン層上に酸化物層を形成する方法であって、
 金属不純物を実質的に含まない室の中に炭化シリコン層を置くこと、
 前記室の雰囲気、約500℃ないし約1300℃に加熱すること、
 前記室の中に原子状酸素を導入すること、および、
 前記炭化シリコン層の表面に前記原子状酸素を流し、それによって前記炭化シリコン層上に酸化物層を形成することを含み、
 前記原子状酸素を導入することは、
 前記室の中に実質的に金属不純物のない源酸化物を提供すること、および、
 前記源酸化物の上に、窒素ガスと酸素ガスの混合物を流すことを含むことを特徴とする方法。

【請求項2】

前記源酸化物は、酸化アルミニウムを含むことを特徴とする請求項1に記載の方法。

【請求項3】

前記源酸化物は、酸化マンガンを含むことを特徴とする請求項1に記載の方法。

【請求項4】

前記源酸化物は、多孔質サファイアウェハを含むことを特徴とする請求項1に記載の方

法。

【請求項 5】

サファイアウェハに非金属不純物を注入して、多孔質サファイアウェハを形成すること、および、
前記室の中に前記多孔質サファイアウェハを置くこと
をさらに含むことを特徴とする請求項 1 に記載の方法。

【請求項 6】

前記室は、酸化炉管を含むことを特徴とする請求項 1 に記載の方法。

【請求項 7】

前記室の雰囲気加熱することは、前記室の雰囲気を、約 1000 ないし約 1100 に加熱することを含むことを特徴とする請求項 1 に記載の方法。

【請求項 8】

炭化シリコン層上に酸化物層を形成する方法であって、
室の中に炭化シリコン層を置くこと、
前記室の中に実質的に金属不純物のないアルミナウェハを置くこと、
前記室の雰囲気を、約 500 ないし約 1300 に加熱すること、
前記アルミナウェハの上に窒素ガスを流して、前記室の中で原子状酸素を発生させること、および、
前記炭化シリコン層の表面に前記原子状酸素を流し、それによって前記炭化シリコン層上に酸化物層を形成すること
を含むことを特徴とする方法。

【請求項 9】

前記室の雰囲気加熱することは、前記室の雰囲気を、約 1000 ないし約 1100 に加熱することを含むことを特徴とする請求項 8 に記載の方法。

【請求項 10】

前記アルミナウェハの上に酸素ガスを流すことをさらに含むことを特徴とする請求項 8 に記載の方法。

【請求項 11】

前記アルミナウェハの主表面は、前記炭化シリコン層の主表面と平行であることを特徴とする請求項 8 に記載の方法。

【請求項 12】

炭化シリコン層上に酸化物層を形成する方法であって、
炭化シリコン層上に酸化物層を形成すること、
前記酸化物層をその上に有する前記炭化シリコン層を、金属不純物を実質的に含まない室の中に置くこと、
前記室の雰囲気を、約 500 ないし約 1300 に加熱すること、
前記室の中に原子状酸素を導入すること、および、
前記炭化シリコン層の表面に前記原子状酸素を流すことを含み、
前記原子状酸素を導入することは、
前記室の中に実質的に金属不純物のない源酸化物を提供すること、および、
前記源酸化物の上に、窒素ガスと酸素ガスの混合物を流すこと
を含むことを特徴とする方法。

【請求項 13】

前記源酸化物は、酸化アルミニウムを含むことを特徴とする請求項 12 に記載の方法。

【請求項 14】

前記源酸化物は、酸化マンガンを含むことを特徴とする請求項 12 に記載の方法。

【請求項 15】

前記源酸化物は、多孔質サファイアウェハを含むことを特徴とする請求項 12 に記載の方法。

【請求項 16】

サファイアウェハに非金属不純物を注入して、多孔質サファイアウェハを形成すること、および、

前記室の中に前記多孔質サファイアウェハを置くことをさらに含むことを特徴とする請求項 1 2 に記載の方法。

【請求項 1 7】

前記室は、酸化炉管を含むことを特徴とする請求項 1 2 に記載の方法。

【請求項 1 8】

前記室の雰囲気加熱することは、前記室の雰囲気を、約 1 0 0 0 ないし約 1 1 0 0 に加熱することを含むことを特徴とする請求項 1 2 に記載の方法。

【 国際調査報告 】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No PCT/US2006/027198

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER INV. H01L21/316 H01L21/321 H01L21/3105		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) H01L		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used) EPO-Internal, WPI Data, INSPEC		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X A	JP 2004 031864 A (NAT INST OF ADV IND & TECHNOL) 29 January 2004 (2004-01-29) abstract paragraphs [0001], [0012], [0021] - [0023]	1, 10, 12, 13 2-9, 11, 14-35
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C.		
<input checked="" type="checkbox"/> See patent family annex.		
* Special categories of cited documents : "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier document but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principles or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art. "&" document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search		Date of mailing of the international search report
23 November 2006		04/12/2006
Name and mailing address of the ISA/ European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl, Fax: (+31-70) 340-3016		Authorized officer Ekoué, Adamah

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/US2006/027198

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	HOFF A. M., TRIBEWALA A., SADDOW S. E.: "Afterglow thermal oxidation of silicon carbide" MATERIALS RESEARCH SOCIETY SYMPOSIUM PROCEEDINGS, vol. 742, 2003, pages K4.7.1-K4.7.6, XP008071766 abstract page K4.7.2, last paragraph - page K4.7.3, last paragraph page K4.7.4, last line figure 2	1,11,12
A		2-10, 13-35
X	WO 03/003435 A2 (KONINKL PHILIPS ELECTRONICS NV [NL]) 9 January 2003 (2003-01-09)	1-3,5, 12-16, 18-20, 22-25, 27,30, 31,34,35
A	page 5, lines 12-33	4,6-11, 17,21, 26,28, 29,32,33
X	EP 1 463 121 A (MATSUSHITA ELECTRIC IND CO LTD [JP]) 29 September 2004 (2004-09-29) column 17, paragraphs 131,132	23,30, 32-34
A		1-22, 24-29, 31,35
X	KOSUGI RYOJI ET AL: "Thermal oxidation of (0001) 4H-SiC at high temperatures in ozone-admixed oxygen gas ambient" APPLIED PHYSICS LETTERS, AIP, AMERICAN INSTITUTE OF PHYSICS, MELVILLE, NY, US, vol. 83, no. 5, 4 August 2003 (2003-08-04), pages 884-886, XP012035672 ISSN: 0003-6951 page 884, right-hand column, paragraphs 2,3	1,10,12, 13
A		2-9,11, 14-35
	----- -/-	

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/US2006/027198

(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	KOSUGI R., FUKUDA K., ARAI K.: "Reduction of interface trap density of SiO ₂ /4H-SiC by oxidation of atomic oxygen" MATERIALS SCIENCE FORUM, vol. 433-436, 2003, pages 563-566, XP008071785 abstract	1,10,12, 13
A		2-9,11, 14-35
X	US 2005/093081 A1 (BELYANSKY MICHAEL P [US] ET AL) 5 May 2005 (2005-05-05) page 2, paragraphs 19,23 page 3, paragraph 27 claims 1,3,4	1,8,9,12
X	US 2004/129673 A1 (BELYANSKY MICHAEL [US] ET AL) 8 July 2004 (2004-07-08) page 1, paragraph 6 page 2, paragraphs 17-19,26 page 3, paragraphs 29,30 page 4, paragraph 31 claims 1,17,18	1,8,9,12
A		2-7,10, 11,13-35
A	ALLERSTAM F. ET AL.: "High field-effect mobility in 6H-MOSFET with gate oxides grown in alumina environment" 5TH EUROPEAN CONFERENCE ON SILICON CARBIDE AND RELATED MATERIALS, vol. 483-485, 31 August 2004 (2004-08-31), pages 837-840, XP008071807 page 838, lines 2-10	1-35

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/US2006/027198

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
JP 2004031864	A	29-01-2004	NONE	
WO 03003435	A2	09-01-2003	CN 1531744 A EP 1430518 A2 JP 2004533727 T US 2003008442 A1	22-09-2004 23-06-2004 04-11-2004 09-01-2003
EP 1463121	A	29-09-2004	AU 2002349589 A1 CN 1599961 A WO 03047000 A1 US 2005017272 A1	10-06-2003 23-03-2005 05-06-2003 27-01-2005
US 2005093081	A1	05-05-2005	CN 1624870 A US 2006105516 A1 US 2006131659 A1	08-06-2005 18-05-2006 22-06-2006
US 2004129673	A1	08-07-2004	DE 102004001099 A1	22-07-2004

フロントページの続き

(81)指定国 AP(BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), EA(AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), EP(AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OA(BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG), AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW

(72)発明者 アナント ケー . アガルワル
 アメリカ合衆国 27514 ノースカロライナ州 チャペル ヒル ブラック タイ レーン
 208

(72)発明者 ジョン ダブリュ . パーマー
 アメリカ合衆国 27511 ノースカロライナ州 カリー デボンブルック レーン 231

(72)発明者 デイブ グライダー
 アメリカ合衆国 27709 ノースカロライナ州 ダラム ポスト オフィス ボックス 13
 868

Fターム(参考) 5F058 BA20 BB01 BB10 BC02 BF55 BF56 BF62 BF80 BG10 BJ01
 5F140 AA19 BA02 BE07