

(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2009-508799
(P2009-508799A)

(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)
C30B 29/36 (2006.01)	C30B 29/36 A	4G077
C30B 25/14 (2006.01)	C30B 25/14	4K030
C23C 16/42 (2006.01)	C23C 16/42	5F045
H01L 21/205 (2006.01)	H01L 21/205	

審査請求 未請求 予備審査請求 未請求 (全 16 頁)

(21) 出願番号 特願2008-531391 (P2008-531391)
 (86) (22) 出願日 平成18年9月16日 (2006.9.16)
 (85) 翻訳文提出日 平成20年5月3日 (2008.5.3)
 (86) 国際出願番号 PCT/US2006/036183
 (87) 国際公開番号 W02007/035570
 (87) 国際公開日 平成19年3月29日 (2007.3.29)
 (31) 優先権主張番号 60/717,695
 (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)
 (31) 優先権主張番号 11/521,869
 (32) 優先日 平成18年9月15日 (2006.9.15)
 (33) 優先権主張国 米国 (US)

(71) 出願人 506429385
 ミシシッピ ステート ユニバーシティー
 アメリカ合衆国 ミシシッピ 39762
 , ミシシッピ ステート, ポスト エ
 クステンション ドライブ 403
 (74) 代理人 100104411
 弁理士 矢口 太郎
 (74) 代理人 100099656
 弁理士 山口 康明
 (72) 発明者 コシュカ、ヤロスラブ
 アメリカ合衆国、39759 ミシシッピ
 ー州、スタークビル、209 ブルック
 アベニュー

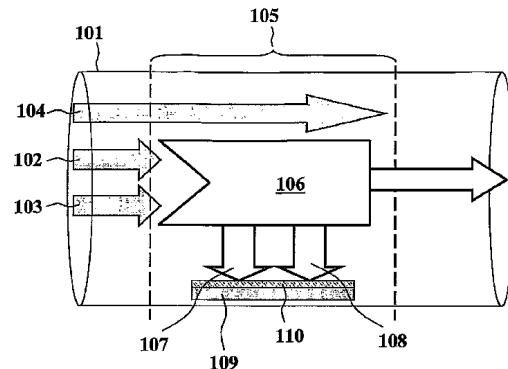
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 炭化ケイ素のエピタキシャル成長方法

(57) 【要約】

【解決手段】 化学気相堆積法 (chemical vapor deposition CVD) を用いた炭素ケイ酸のエピタキシャル成長方法が提供される。この方法は、ハロゲン化炭素前駆体を利用し、更にケイ素及び炭素を含むハロゲン含有中間体化学生成物間の気相相互作用制御するものである。また、デバイス品質であるエピタキシャル層を、低い成長温度で尚且つ軸上又は低いオフ角の基板表面上にて達成される可能性が確認された。当該成長方法は、SiC基板表面の非ケイ素カートリッジ領域に形成されるウインドウの中に成長を制限させることにより、所望の形と大きさのSiCデバイス領域の形成に適用可能である。本願明細書に記載された当該発明を適用させることにより、高品質炭化ケイ素物質及びデバイスの製造に大きな利益を与えるものである。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

化学気相堆積法による炭化ケイ素エピタキシャル層の製造方法であって、

a) キャリアガス、ケイ素前駆体ガス、及びハロゲン化炭素前駆体ガスを提供する工程と、

b) 前記ケイ素前駆体ガスと前記ハロゲン化炭素前駆体ガスとの気相における相互作用を調整することにより、ハロゲン含有中間体化学生成物を形成させる前記調整する工程であって、前記ハロゲン含有中間体化学生成物は、反応炉の成長領域において、ケイ素対炭素比率の好ましい値及び分布を提供するものである、前記調整する工程と

を有する、方法。

10

【請求項 2】

請求項 1 記載の化学気相堆積法により炭化ケイ素エピタキシャル層を製造する方法において、前記炭化ケイ素エピタキシャル層成長は、低温で行われるものである。

【請求項 3】

請求項 1 記載の化学気相堆積法により炭化ケイ素エピタキシャル層を製造する方法において、前記ケイ素前駆体ガスと前記ハロゲン化炭素前駆体ガスとの気相における相互作用の調整は、前記反応炉の成長領域におけるキャリアガスの低い流速を有するものである。

【請求項 4】

請求項 1 記載の化学気相堆積法により炭化ケイ素エピタキシャル層を製造する方法において、前記反応炉の成長領域における前記ケイ素対炭素比率の好ましい値は、炭化ケイ素成長のための標準的なエピタキシャル工程に使用するケイ素対炭素比率の典型的な値よりも大きいものである。

20

【請求項 5】

請求項 1 記載の化学気相堆積法により炭化ケイ素エピタキシャル層を製造する方法において、前記反応炉の成長領域における前記ケイ素対炭素比率の好ましい分布は、前記反応炉の成長領域におけるケイ素対炭素比率の均一な分布を有するものであり、前記均一な分布は、前記反応炉の上流部分で生じるケイ素縮合と、その後続く、前記気相におけるハロゲン含有中間体化学生成物の形成によりハロゲン化炭素前駆体の分解と基本的に同時に生じる前記ケイ素縮合の生成物の分離によるケイ素成長種の放出とにより達成されるものである。

30

【請求項 6】

請求項 1 記載の化学気相堆積法により炭化ケイ素エピタキシャル層を製造する方法において、前記ハロゲン含有中間体化学生成物の形成と、前記反応炉の成長領域におけるケイ素対炭素比率の好ましい値及び分布とによる作用は、前記反応炉の上流部分において生じるケイ素縮合によって均一化された成長に使用可能なケイ素種の濃度を有することにより、炭化ケイ素基板全領域にわたり成長速度が良好な均一性を有し、これに続いて、前記気相における分解によるハロゲン含有中間体化学生成物の形成によりハロゲン化炭素前駆体の分解と基本的に同時に発生するケイ素縮合生成物の分解によるケイ素成長種が放出されることである。

【請求項 7】

請求項 2 記載の化学気相堆積法により炭化ケイ素エピタキシャル層を製造する方法において、前記反応炉の成長領域における成長温度は、約 1300 ~ 1450 である。

40

【請求項 8】

請求項 2 記載の化学気相堆積法により炭化ケイ素エピタキシャル層を製造する方法において、前記反応炉の成長領域における成長温度は、約 1100 ~ 1300 である。

【請求項 9】

請求項 3 記載の化学気相堆積法により炭化ケイ素エピタキシャル層を製造する方法において、前記キャリアガスの低い流速は、標準サイズの炭化ケイ素反応炉において 1 分あたり約 5 リットル未満である。

【請求項 10】

50

請求項 3 記載の化学気相堆積法により炭化ケイ素エピタキシャル層を製造する方法において、前記キャリアガスの低い流速は、標準サイズの炭化ケイ素反応炉において 1 分あたり約 1 ~ 2 リットル未満である。

【請求項 1 1】

請求項 1 記載の化学気相堆積法により炭化ケイ素エピタキシャル層を製造する方法において、前記ハロゲン化炭素前駆体ガスは、以下の CH_3Cl 、 CH_2Cl_2 、 CHCl_3 、 CCl_4 、 CF_4 ガスの少なくとも 1 つを有するものである。

【請求項 1 2】

請求項 1 記載の化学気相堆積法により炭化ケイ素エピタキシャル層を製造する方法において、前記炭化ケイ素エピタキシャル層は、高純度低濃度にドーピングされた n 型、又は高純度低濃度にドーピングされた p 型 SiC である。

10

【請求項 1 3】

請求項 1 記載の化学気相堆積法により炭化ケイ素エピタキシャル層を製造する方法において、前記炭化ケイ素エピタキシャル層は、深い準位の欠陥によってドーピングされた半絶縁性 SiC を有するものである。

【請求項 1 4】

請求項 1 記載の化学気相堆積法により炭化ケイ素エピタキシャル層を製造する方法において、前記炭化ケイ素エピタキシャル層は、低濃度の極浅ドーパント及び深い準位の欠陥を有する半絶縁性 SiC を有するものである。

【請求項 1 5】

請求項 1 記載の化学気相堆積法により炭化ケイ素エピタキシャル層を製造する方法において、前記炭化ケイ素エピタキシャル層は、軸上又は低オフ角に切断された基板表面上に形成されるものである。

20

【請求項 1 6】

請求項 1 5 記載の化学気相堆積法により炭化ケイ素エピタキシャル層を製造する方法において、前記反応炉の成長領域における成長温度は、約 1300 ~ 1450 である。

【請求項 1 7】

請求項 1 5 記載の化学気相堆積法により炭化ケイ素エピタキシャル層を製造する方法において、前記反応炉の成長領域における成長温度は、約 1100 ~ 1300 である。

【請求項 1 8】

請求項 1 記載の化学気相堆積法により炭化ケイ素エピタキシャル層を製造する方法であって、この方法は、更に、

30

基板の上の非炭化ケイ素領域にある少なくとも 1 つのウィンドウの中に成長するように制限する工程であって、望ましい形及び大きさの少なくとも 1 つの SiC 領域が形成されるものである、前記制限する工程

を有するものである。

【請求項 1 9】

請求項 1 8 記載の化学気相堆積法により炭化ケイ素エピタキシャル層を製造する方法において、前記炭化ケイ素エピタキシャル層成長は低温で行われるものである。

【請求項 2 0】

請求項 1 9 記載の化学気相堆積法により炭化ケイ素エピタキシャル層を製造する方法において、前記非炭化ケイ素領域は、 SiO_2 、 Si_3N_4 、又は AlN を有するものである。

40

【請求項 2 1】

請求項 1 9 記載の化学気相堆積法により炭化ケイ素エピタキシャル層を製造する方法において、前記非炭化ケイ素領域は、多層構造を有するものである。

【請求項 2 2】

請求項 2 1 記載の化学気相堆積法により炭化ケイ素エピタキシャル層を製造する方法において、前記多層構造は、 SiO_2 、 Si_3N_4 、及び AlN の任意の組み合わせによる少なくとも 1 つの層を有するものである。

50

【請求項 23】

請求項 18 記載の化学気相堆積法により炭化ケイ素エピタキシャル層を製造する方法において、前記望ましい形及び大きさの少なくとも 1 つの SiC 領域は、高純度低濃度にドーパされた n 型、又は高純度低濃度にドーパされた p 型 SiC を有するものである。

【請求項 24】

請求項 18 記載の化学気相堆積法により炭化ケイ素エピタキシャル層を製造する方法において、前記望ましい形及び大きさの少なくとも 1 つの SiC 領域は、深い準位の欠陥によってドーパされた半絶縁性 SiC を有するものである。

【請求項 25】

請求項 18 記載の化学気相堆積法により炭化ケイ素エピタキシャル層を製造する方法において、前記望ましい形及び大きさの少なくとも 1 つの SiC 領域は、低濃度の極浅ドーパント及び深い準位の欠陥を有する半絶縁性 SiC を有するものである。

10

【請求項 26】

請求項 18 記載の化学気相堆積法により炭化ケイ素エピタキシャル層を製造する方法において、前記望ましい形及び大きさの少なくとも 1 つの SiC 領域は、軸上又は低オフ角に切断された基板表面上に形成されるものである。

【請求項 27】

請求項 19 記載の化学気相堆積法により炭化ケイ素エピタキシャル層を製造する方法において、前記望ましい形及び大きさの少なくとも 1 つの SiC 領域は、約 1350 未満の成長温度にて形成されるものである。

20

【請求項 28】

請求項 19 記載の化学気相堆積法により炭化ケイ素エピタキシャル層を製造する方法において、前記望ましい形及び大きさの少なくとも 1 つの SiC 領域は、約 1100 ~ 1300 の成長温度にて形成されるものである。

【請求項 29】

請求項 18 記載の化学気相堆積法により炭化ケイ素エピタキシャル層を製造する方法において、前記望ましい形及び大きさの少なくとも 1 つの SiC 領域は、標準サイズの SiC 反応炉において、1 分あたり約 5 リットル未満の流速のキャリアガスを用いて形成されるものである。

【請求項 30】

請求項 18 記載の化学気相堆積法により炭化ケイ素エピタキシャル層を製造する方法において、望ましい形及び大きさの少なくとも 1 つの SiC 領域は、標準サイズの SiC 反応炉において、1 分あたり約 1 ~ 2 リットル未満の流速のキャリアガスを用いて形成されるものである。

30

【請求項 31】

請求項 1 記載の方法によって形成される少なくとも 1 つの炭化ケイ素領域を有する半導体デバイス。

【請求項 32】

請求項 18 記載の方法によって形成される少なくとも 1 つの炭化ケイ素領域を有する半導体デバイス。

40

【請求項 33】

軸上又は低オフ角でカットされた基板表面上にデバイス品質の炭化ケイ素エピタキシャル層を作成する方法であって、軸上又は低オフ角基板に対する欠陥生成は、低温成長を行うことにより抑制されるものである、方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、デバイス品質の炭化ケイ素層のエピタキシャル成長に関する。本発明は、更に、ハロゲン化炭素前駆体を用いた化学気相堆積法による炭化ケイ素層のエピタキシャル成長に関連する。

50

【背景技術】

【0002】

炭化ケイ素 (SiC) のエピタキシャル成長は、従来から、1500 を超える温度におけるシラン及びプロパン前駆体を用いた化学気相堆積法 (chemical vapor deposition: CVD) によって行われている。シラン及びプロパンの代わりに、ケイ素及び炭素成分の両方を含む単一前駆体、又は塩素 (Cl) 及び他の分子を含む前駆体など、他の原料が使用される場合もある。Powell, J. A. and Will, H. A., "Epitaxial Growth of 6H SiC in the Temperature Range 1320 - 1390", J. Appl. Phys., Vol. 44, No. 11, pp. 5177 - 5178, 1973、及び Nishino, S. et al., "Epitaxial Growth of SiC on a -SiC Using Si₂Cl₆ + C₃H₈ + H₂ System", Mater. Sci. For., Vols. 264 - 268, pp. 139 - 142, 1998 を参照。1400 以下の温度において従来の成長前駆体ガスを用いたエピタキシャル成長についてもまた、研究環境で試みられているが、大した成果はない。Yamashita, A. et al., "Homoepitaxial Chemical Vapor Deposition of 6H - SiC at Low Temperatures on {0114} Substrates", Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 31, pp. 3655 - 3661, 1992。

10

【0003】

(1) 気体前駆体が効率的に分解され、エピタキシャル成長に必要な反応生成物を形成させるため、(2) 反応炉にて形成されるシリコンクラスターの形成を抑制、或いは分解を増強させるため、(3) 望ましいステップフロー成長機構に有利な表面における2次元及び3次元の核生成を抑えるためには、高温が必要とされている。より低い温度 (1400 ~ 1450 より低温) で実施した場合、任意配向のSiC表面におけるエピタキシャル成長は、ポリタイプの包接物、劣化した形態、及び多結晶物質がもたらされる。低温において有望な成長形態を生成させることについては、選択された表面配向における成長が報告されているのみである。Powell, J. A. and Will, H. A., "Epitaxial Growth of 6H SiC in the Temperature Range 1320 - 1390" J. Appl. Phys., Vol. 44, No. 11, pp. 5177 - 5178, 1973、及び Nishino, S. et al., "Epitaxial Growth of SiC on a -SiC Using Si₂Cl₆ + C₃H₈ + H₂ System" Mater. Sci. For., Vols. 264 - 268, pp. 139 - 142, 1998、Yamashita, A. et al., "Homoepitaxial Chemical Vapor Deposition of 6H - SiC at Low Temperatures on {0114} Substrates", Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 31, pp. 3655 - 3661 を参照。また、低温でのホモエピタキシャル成長実験の多くは6H - SiCポリタイプに注目していた。

20

30

【0004】

このような理由から、1450 を上回る温度は、通常、4H - 及び6H - SiCそれぞれの基板上における4H - 及び6H - SiCポリタイプのエピタキシャル成長のために使用される。3C - SiCポリタイプは1300 以下の温度において、ケイ素基板上でヘテロエピタキシャルに成長するが、成長温度を低くすると、通常、エピタキシャル層の品質が劣化する。一方、高温での成長を行うことにより、多くの複雑な状況が取り込まれてしまう。まず第1に、例えば石英、サセプタ、基板ホルダーなどの反応炉機材の劣化を含む重要な費用問題が挙げられる。第2に、高温成長により、成長エピ層におけるドーパント及び他の不純物の取り込みの制御が複雑になる可能性がある。第3に、高温により、格子欠陥成長、表面粗度、及び表面形態の劣化を増加させる可能性がある。更に、より低いオフ角および軸上の基板における高温成長により、品質の悪い物質となってしまう。

40

50

【0005】

通常の成長温度（すなわち1450～1500 以上）において、ハロゲン化前駆体及び他の更なる成分（HCl、シランの塩素化原料など）の添加により、表面及び気相反応機構を改善することが提案及び試みられている（Nishino, S. et al., "Epitaxial Growth of SiC on a -SiC Using Si₂Cl₆+C₃H₈+H₂ System," Mater. Sci. For., Vols. 264-268, pp. 139-142, 1998、Xie, Z. Y. et al., "Polytype Controlled SiC Epitaxy on On-axis 6H-SiC(0001) by Adding HCl during Growth," Electrochemical and Solid-State Letters, 3(8), pp. 381-384, 2000、及びKoshka, Y. et al., "Homoepitaxial Growth of 4H-SiC Using CH₃Cl Carbon Precursor," Mater. Sci. For., Vols. 483-485, pp. 81-84, 2005を参照）。しかしながら、際立った商業的な利用はなされておらず、低温ホモエピタキシャル成長を達成するために適用されていない。

10

【0006】

SiCのエピタキシャル成長におけるCH₃Clの使用に関しては、SiCヘテロエピタキシャル成長（すなわちケイ素上における3C-SiC）に関して報告されている。Ikoma, K. et al., "Heteroepitaxial Growth of -SiC on Si(111) by CVD Using a CH₃Cl-SiH₄-H₂ Gas System," J. Electrochem. Soc., Vol. 138, No. 10, pp. 3028-3031, 1991を参照。しかしながら、ハロゲン化炭素前駆体が関与した気相間相互作用を制御することは開示されていない。従って、本発明の本質を構成する気相間相互作用は開示されておらず、更にCH₃Cl成長前駆体を使用することによる顕著な利点については理解されていなかったため、ハロゲン化炭素前駆体に関する研究が継続することはなかった。

20

【0007】

本発明以前に、ハロゲン化炭素前駆体は、SiCのホモエピタキシャル成長（4H-SiC基板上の4H-SiCエピタキシャル層、又は6H-SiC基板上の6H-SiC基板）に対して使用されていなかった。更に重要なこととして、ハロゲン化炭素前駆体が関与する気相間相互作用に関する新たな機構の発明を除いて、ハロゲン化炭素前駆体を使用するという単純な試みでは、本発明によって提供されるいかなる利点も提供されない。

30

【発明の開示】

【課題を解決するための手段】

【0008】

本発明は、1450 以下（1300 以下）の温度で成長可能なSiCの新たな化学気相堆積エピタキシャル成長、及び通常の成長温度（すなわち、1450 以上）における改善された成長方法に関するものである。本発明はまた、低いオフ角及び軸上基板におけるデバイス品質のエピタキシャル層の新たな成長方法の用途も含む。この新たな成長方法はまた、欠陥及び不純物混入に関する制御の向上、基板領域全体の成長速度がより均一となっていること（成長工程期間の基板の回転を用いない場合であっても）、向上した結晶品質、及び表面形態を提供するものでもある。更に、本発明の方法は、基板の上の非炭化ケイ素領域に形成されたウィンドウの中に成長を制限させることにより、所望の形と大きさのSiC領域の形成に適用される（これは、選択的エピタキシャル成長とも呼ばれる）。さらに、本発明の成長方法を低温（例えばケイ素基板/領域の融点以下又は幅広いグループのマスキング材料が安全な温度）で実施することにより、低温マスキング材料から作成されたSiC基盤（すなわちマスキング領域）の表面に非炭化ケイ素を用いることが可能となる。このようなことにより、今までのエピタキシャル成長技術では不可能であった革新的なデバイスデザインが可能となる。

40

50

【発明を実施するための最良の形態】

【0009】

出願人により実験的に示された本説明に含まれる革新的発想は、低温、並びに中温及び高温での炭化ケイ素（SiC）のエピタキシャル成長の工程を個別に及び組み合わせるために用いることが可能である。本発明に含まれるものとしては、化学気相堆積法を用いたSiCのエピタキシャル成長の新たな成長方法／工程である。

【0010】

本発明の好ましいエピタキシャル成長方法は、図1に示したように、化学気相堆積法（chemical vapor deposition：CVD）成長工程の一般的な特徴を有する。成長チャンパー101は、周囲圧力又は低圧に維持される。ケイ素前駆体ガス102及びハロゲン化炭素前駆体ガス103は、水素、アルゴン、ヘリウム、又は他の一般的なキャリアガスなどのキャリアガス104と共に供給される。一般的なSiCエピタキシャル成長の工程との主な違いは、従来の炭化水素に置き換えてハロゲン化炭素前駆体ガス103を用いることであり、更に以下に説明するように特定の反応生成物を形成するための気相反応速度論を組み合わせることである。

【0011】

気相化学反応は、成長前駆体ガスが反応炉105の熱領域（hot zone）に到達した時に起こる。本発明の好ましい成長方法において、前記反応炉105の熱領域は、この反応炉内にサセプタを用いることにより所望温度に加熱されることが確保される。ハロゲン化炭素分解物のハロゲン含有中間体生成物106の領域は、反応炉105の熱領域に形成している。

【0012】

ハロゲン化炭素前駆体103はハロゲン含有中間体気体反応生成物（例えばCl、Cl_xなど）の原料としての役割を果たす。前記気相反応速度論は、ケイ素前駆体ガス102とハロゲン化炭素前駆体103の分解物とが相互作用し、炭素107を含むハロゲン含有中間体化学生成物及びケイ素108を含むハロゲン含有中間体化学生成物を形成するように制御されている。炭素107を含むハロゲン含有中間体化学生成物及びケイ素108を含むハロゲン含有中間体化学生成物は基板109の表面に送達され、ここでSiCエピタキシャル層110の成長をもたらす。

【0013】

ハロゲン化炭素ガスが関与する気相反応速度論を適切に調節することにより形成されるハロゲン含有中間体化学生成物106の具体的な役割は、本発明の新規且つ非自明な構成要件である。ハロゲン添加物を用いたこれまでのエピタキシャル成長方法は、表面においてアドアトムの移動を促進すること（Xie, Z. Y. et al., "Polytype Controlled SiC Epitaxy on On-axis 6H-SiC (0001) by Adding HCl during Growth," Electrochemical and Solid-State Letters, 3(8), pp. 381-384, 2000を参照）、又は気相におけるSiクラスタの直接エッチング（Y. Gao, J. H. et al., "Low-temperature Chemical-Vapor Deposition of 3C-SiC Films on Si(100) using SiH₄-C₂H₄-HCl-H₂," J. Crystal Growth, 191, pp. 439-445, 1998を参照）に注力されていた。本発明において、ハロゲン化炭素前駆体分解によるハロゲン含有中間体化学生成物の形成により、気相及び基板表面において、望ましくない核生成が大幅に抑制される可能性がある。ハロゲン含有中間体化学生成物の形成により、気相におけるケイ素蒸気の望ましくない縮合が阻止される。更に、エピタキシャル成長工程の前に、ケイ素蒸気の縮合により、通常、ケイ素成長前駆体が枯渇し、ケイ素対炭素比率（silicon-to-carbon ratio）が逆に減少する。本発明は、成長表面上においてケイ素クラスタの形成又はエピ層形態において重要な表面移動が不十分であることによる欠陥生成を制御するというよりむしろ、前記成長表面より上側でケイ素対炭素比率を制御すること

10

20

30

40

50

を確立したものである。このような理由により、ハロゲン化炭素前駆体の分解によるケイ素、炭素、及びハロゲン含有生成物を含む中間体化学生成物の形成を確実にすることにより本出願人が達成した工程の改善点は、反応炉においてHCl又は他の添加物によりケイ素クラスターを直接エッチングすること、又は反応炉においてHCl又は他の添加物により成長SiCを直接エッチングすることによって提供されるものではない。

【0014】

本発明の方法は広い成長温度範囲にわたって作用するものである。成長温度は、反応炉の成長領域における温度として定義される。より具体的には、前記温度は、基板109の表面における温度である。しかしながら、本発明の方法の主な利点は、低温でエピタキシャル成長を実施できるという特有の可能性にあり（例えば、1450 以下の温度、更に
10
低く1300 以下の温度における4H-及び6H-SiCポリタイプの成長など）、これは既存のエピタキシャル成長技術では不可能なことである。

【0015】

ハロゲン化炭素前駆体（これらに限らないが、クロロメタン CH_3Cl 、ジクロロメタン CH_2Cl_2 、トリクロロメタン $CHCl_3$ などの塩化炭素など、及び例えばテトラクロロメタン CCl_4 、テトラフルオロメタン CF_4 などの他の種類のハロゲン化炭素を含む）を炭素源として使用することにより、炭素分解の好ましい速度論が提供される。

【0016】

CH_3Cl 炭素前駆体を用いると、変化した気相速度論により、1300 以下のより低い温において、デバイス品質のホモエピタキシャル層が成長した。このような成長は、
20
本発明以前には不可能であった。図2に示したように、反射エピ層表面の形態が得られた。図2は、1700 T2における通常のエピタキシャル工程によるエピタキシャル層の成長と比較した、1300 T1における本発明の方法によるエピタキシャル層成長の発光スペクトル（Photoluminescence spectrum: PL）を示したものである。発光強度（PL intensity）は、測定期間に放出された発光の波長に対してプロットした。発光分光法を用いて記した標準的な発光線図の記録 A_1 及び Q_0 を図2に示す。発光線図の形は、示されているように、エピタキシャル層が高い結晶品質であることの更なる証拠に役立つものである。1700 T2で実施される従来のエピタキシャル成長との比較では、成長温度T1が従来の成長方法における成長可能最低温度よりかなり低い場合であっても、本発明の方法によって成長するエピタキシャル
30
層の質は、少なくとも従来のエピタキシャル層と同様に良質であることを示している。しかしながら、本発明の方法は（新規成長機構）、ホモエピタキシャルに対してもまた、高温（従来の成長温度である1450 以上を含む）において、機能し利点を提供するものである。しかしながら、主な利点は、SiCの低温エピタキシャル成長が可能であることである。

【0017】

目的とする成長機構は、例えば異なるハロゲン化炭素前駆体（例えばジクロロメタン- CH_2Cl_2 、トリクロロメタン- $CHCl_3$ 、テトラクロロメタン- CCl_4 、テトラフルオロメタン- CF_4 など）、単一前駆体（すなわち、ケイ素及び炭素分子の両方を含む前駆体）などを含む CH_3Cl 以外の前駆体の適切な成長条件下で達成される。好ましい
40
成長方法において使用されるキャリアガス104は水素である。しかし、アルゴン、ヘリウム、又はその他などを含む他のキャリアガスもまた、本発明の成長機構を提供するために、使用することが可能である。

【0018】

上述したように、本発明の方法の望ましい効果は、ケイ素ガス前駆体とハロゲン化炭素前駆体の分解生成物との相互作用により、ケイ素及び炭素を含むハロゲン含有中間体化学生成物の形成を確実にするために、制御または調整された気相反応速度論から導かれる。前記気相反応速度論を調整又は制御する好ましいアプローチでは、キャリアガス104（例えば水素）の著しく減少した流速を利用しており、従って、従来から使用されているキャリアガスの流速と比較して、反応炉における流速は減少し、更に前駆体の抵抗時間は減
50

少している。キャリアガスにおける1分あたり10リットル以上の速い流速は、一般的に、SiCに対して用いられる標準エピタキシャル成長工程におけるより均一な前駆体の分解を達成するために用いられる。低い流速は、基板領域にわたって成長速度の均一性を低下させることなく、前駆体の分解及びハロゲン含有中間体化学生成物の形成のために十分な時間を提供するために適用されることが好ましい。1分あたり1~2リットル又はそれ以下の低い流速は、前記成長反応炉の大きさによって、低成長温度（例えば1450以下）において用いられる。前記1分あたり1~2リットルの流速は、好ましくは、直径2~3インチの基板に対して通常用いられる標準的なSiC反応炉の大きさに対して用いられる。しかしながら、より大きな反応炉の場合、同じ効果を達成するためにはより速い流速の水素が必要となる可能性がある。図2に示した結果では、キャリアガス104については1分あたり1リットルの流速が得られた。

【0019】

図3は、CH₃Cl前駆体の2つ値、すなわち1分あたり2標準立方センチメートル(300)、1分あたり4標準立方センチメートル(301)に対して、ケイ素前駆体ガス(SiH₄の流量)の流速に対する成長速度の依存度を示したものである。デバイス品質のSiCエピタキシャル層(特に低温におけるもの)は、従来のエピタキシャル工程において使用してきた濃度と比較して、よりケイ素対炭素比率が高い値であることが必要であることが確立された。具体的には、従来のエピタキシャル工程の多くは、一般的には1以下のケイ素対炭素比率の値が用いられていたのに対して、新しい反応速度論により、図3から得られるように、3より大きなケイ素対炭素比によって最も良い品質のエピタキシャル層が提供される。SiH₄流量が最低値となる302のデータ点では、他のデータ点と比べて、幾分か分解したエピタキシャル層の形態を有しており、高い値のケイ素対炭素比率を維持することが極めて重要であることが確認された。

【0020】

本発明の方法において、見逃してはならないものとしては、従来のエピタキシャル工程において利用されてきた方法とは異なる、いわゆる有効なケイ素対炭素比率(すなわち、反応炉の成長領域におけるケイ素対炭素比率の値)である。この違いは、気相のケイ素縮合に由来するものである。本発明の新規な反応機構により、ケイ素種の減少を抑制し、より高い値の有効なケイ素対炭素比率が提供される。

【0021】

本発明の1実施形態によると、1300の成長温度及び1500トールの圧力が使用される。キャリアガス104は、1分あたり1標準リットルの流量の水素ガスである。ケイ素前駆体ガス102、すなわちシラン(SiH₄)、及びハロゲン化炭素前駆体ガス103、すなわちクロロメタン(CH₃Cl)の流量は、それぞれ、1分あたり30標準立方センチメートル、及び1分あたり4標準立方センチメートルである。成功した実験では、1250以下の温度で実行した。我々の実験によると、本発明の成長機構は、少なくとも1100までの温度で実行可能であることが示されている。更に成長温度を低下させることにより、より重要となる他の成長機構に対処することが必要となる可能性がある(非常に低い温度におけるアドアトムsの低核酸距離などを含む)。

【0022】

より好ましい本発明のエピタキシャル成長方法は、2つの前駆体(すなわちケイ素及び炭素前駆体)の代わりに、わずか1つの前駆体(すなわち炭素前駆体)の分解(クラッキング)速度論を制御することを必要とするものであり、これにより、更なる利点が提供される。ケイ素(どちらかといえば低温で分解するケイ素)の量がケイ素縮合閾値を超えて十分に提供されるのに対して、炭素源の分解速度論を制御することは主にキャリアガスの流速によって行われる(前に述べたように、SiC成長に使用される従来のキャリアガス流速より一般的に低い値となる)。

【0023】

好ましい成長方法において、改善された反応速度論及び成長速度の均一性によって、ケイ素縮合の割合が高くなり、更に低温にてクラスター核形成が提供される。クラスター核

形成は、通常、炭化ケイ素のエピタキシャル成長に対して望ましくない作用である。しかしながら、気体の流れの方向に沿って、ケイ素縮合とクラスター核形成とを発生させて前駆体の減少を抑制することは、本発明の成長方法を使用することにより可能となる。

【0024】

このような機構は、通常の成長温度においても適用可能であり、反応炉の形状に依存する。直径100mmのCVD反応炉の標準的な加熱壁を用いることにより、このようなクラスター形成機構が低流量且つ低温で生じる。この機構はまた、幾分か高い気体の流速において（それでもなお標準的な成長工程より低い流速）、通常の成長温度においても適用可能である。しかしながら、低温であることが特に効率的且つ有利である。クラスター形成機構により、基板領域全体に均一なケイ素対炭素比率、及び均一な成長速度を達成することが可能である。これは、気流の方向に沿って、サセプタの異なる位置におけるエピタキシャル成長のために利用可能な気相におけるケイ素の量が、ケイ素気相縮合のために均一化されているためである。この均一化は、成長領域においてケイ素縮合に必要な最大濃度に飽和したケイ素気体の量を有することにより確実となる。この量を超える過剰なケイ素は（例えばサセプタ上流と比較して下流など）、ケイ素クラスターに変換され、前記成長には利用不可能になる。この機構は、図3に示したように、 SiH_4 の流速への成長速度の依存度で示した曲線の飽和部分によって証明される。結果として、成長に利用可能なケイ素気体種の濃度は、気流方向に沿って均一性が維持される。この成長方法は、基板回転技術を用いることなく、ウエハー領域全体にわたって均一な成長速度を達成するために、大きな直径の基板のエピタキシャル成長に対しても適用できる。

10

20

【0025】

図4は、本発明の方法を用いた1300におけるエピタキシャル層成長の厚さのマッピングを示したものである。この成長に対する反応炉の形状は、1インチの直径の基板に最適化した。図4に示したように、前記基板の直径は、成長領域において開放されている大きさよりわずかに小さいのみである（ソースポット壁間の距離）。この反応炉の形状は、標準的な成長工程を用いた場合に、より大きな直径を有する基板における成長には適していない。しかしながら、直径2インチの基板を用いた実験では、本発明の方法によって得られた気流方向に沿ったエピタキシャル層成長速度の均一性は、標準的なエピタキシャル成長工程を用いた場合の任意の反応炉の大きさから期待されるものと比較して、より良いものであった。

30

【0026】

当該方法においてハロゲン化炭素前駆体を使用することにより、所望のケイ素クラスターのエッチング及びケイ素放出を誘導することが可能なハロゲン化炭素前駆体の分解によるハロゲン含有中間体化学生成物の利用可能性の更なる利点が提供される。ケイ素クラスターエッチングの概念は古いものではあるが、ハロゲン化炭素前駆体分解と基本的に同時に、ケイ素クラスターからケイ素成長種が放出される可能性は、本発明の革新的な概念の1つである。ケイ素成長種が早期に放出されると（例えば、この気流に加えたHClのエッチングによる。Gao, Y., et al., "Low-temperature Chemical Vapor Deposition of 3C-SiC Films on Si(100) Using SiH_4 - C_2H_4 -HCl- H_2 ", J. Cryst. Growth, 191, pp. 439-445, 1998を参照)、反応炉の好ましくない位置において所望のケイ素対炭素比率がより高くなり（すなわち、サセプタの上流）、更にケイ素前駆体の減少が引き起こされる（これにより、基板/サセプタの下流位置における成長に利用可能なケイ素の減少が引き起こされる）。より好ましい方法では、ハロゲン化炭素前駆体が分解する反応炉の位置において、ハロゲン化物含有気体反応生成物が形成される。これは、ハロゲン化炭素前駆体の分解により発生するハロゲン含有中間体の気体反応生成物によるものである。しかしながら、この低～中温の役割により、クラスターが早期分解されなくなる。その代わりに、前記クラスターは、ハロゲン含有前駆体の分解の後に利用可能となるや否や、ハロゲン含有気体反応生成物によりエッチングされる（一方で、ハロゲン化炭素前駆体の分解はフロー条件の選択により制御される）。

40

50

【0027】

この結果、ハロゲン化炭素前駆体物質の分解によるハロゲン含有中間体化学生成物が利用可能になると直ぐに、ケイ素クラスターのエッチングが起こる。従って、ケイ素及び炭素原子（表面における成長に必要な最終反応生成物）の供給は、ハロゲン化炭素前駆体の分解に結びつくケイ素クラスターの分解機構により、互いに連結している。

【0028】

更に、本発明の成長方法は、意図的なn型又はp型ドーピングに使用する任意のドーピング技術に適合する。これは、これらに限らないが、n型ドーピングのための窒素の添加、又はp型ドーピングのためのホウ素の添加などを含む。高純度かつ低ドーブのn型又はp型エピタキシャル層は、反応炉における不純物バックグラウンドを減少させることにより得られる場合がある。更に、望ましくない不純物の取り込みを抑えるためには、反応炉の成長領域におけるハロゲン含有中間体化学生成物が使用される。更に、提案した成長方法によって低い成長温度において実施可能性であることは、反応炉における望ましくない不純物のバックグラウンドを抑える更なる因子として使用される。ハロゲン含有中間体化学生成物の存在及び/又は低温を使用することは、SiCエピタキシャル層の半絶縁性の特性に必要な特定の深い順位の欠陥（例えば、点欠陥が関連する深い順位）の形成を増強するために使用される可能性がある。良品質の半絶縁体SiCは、低い順位及び深い順位の欠陥の両方の濃度が低い場合に得られ、これはハロゲン含有中間体化学生成物の存在及び/又は上述した低温を用いることにより、単純化される。

10

【0029】

本発明はまた、デバイス品質のエピタキシャル層を低いオフ角及び軸上SiC基板表面上に成長させるために、本発明の方法を適用させることを含む。上述の革新的成長方法により、低いオフ角及び軸上基板表面上での低温成長の可能性は高くなると同時に、新たな方法により可能な当該低温成長は、この新たな成長方法を用いた低いオフ角の基板表面上でのエピタキシャル層成長の光学顕微鏡解析を用いて示したように、「ステップバンチング」及びその他の高温が関連する表面形態の分解機構の既知の問題を減少又は完全に排除するために使用される。当該低温成長を低いオフ角及び軸上基板に適用させることは、ハロゲン化炭素前駆体に基づく方法に限られるものではない。当該低温成長は、この成長に好ましいあらゆる条件において、他の前駆体（従来のプロパンを含む）を用いた成長を含むものであっても良い。

20

30

【0030】

一方、ハロゲン含有中間体化学生成物のそのものの存在により、あらゆる成長温度、特に低温において、低いオフ角及び軸上SiC基板表面上での欠陥核形成を減少する。稀に、エピ層表面において欠陥（三角形欠陥を含む）が観察され、この観察された欠陥は低い基板の品質に結びつくものであった。

【0031】

例えば、1380の成長温度（8°軸外基板表面上での成長期間より高いが、標準/従来の成長温度よりはなお低い温度）における本発明の成長方法は、オフ角及び軸上基板表面上での成長のために用いた。1500トールの圧力を用いた。キャリアガス104は、1分あたり1標準リットルの流速の水素である。シラン（SiH₄）及びクロロメタン（CH₃Cl）の流速それぞれ、1分あたり30標準立方センチメートル及び1分あたり4標準立方センチメートルを用いた。高温で生じるステップバンチングを避けながら、幾分か高温であることが、ランダム欠陥核生成を抑制するためには有益である。

40

【0032】

低温における本発明の成長方法はまた、ヘテロ構造（特に、低い融点を有する物質のヘテロ構造）を形成するために適用される。例えば、ケイ素層は、低温～1410まで（ケイ素の融点）の温度におけるSiC成長に適合する。

【0033】

更に、基板の表面上の非炭化ケイ素領域において形成されたウィンドウ中に成長を制限させることにより、所望の形状及び大きさのSiC領域を形成することが可能である。低

50

温成長に適用される本発明の成長方法は、熱分解及びマスク物質の水素エッチング、及び他の高温効果を減少させるため、低温マスク（例えば SiO_2 、 Si_3N_4 、 AlN など）を用いることも可能である。 SiO_2 マスクは、最初は、このマスクが形成されることを証明するために使用した。しかしながら、 Si_3N_4 又は AlN などの他の低温マスク物質、炭素又はグラファイトなどの高温マスク物質、及び幾つかのマスク物質（多層構造）が使用可能である。高温マスク物質を用いた成長方法は、中温及び高温にて適用することが可能である。

【0034】

更に、低温における本発明の成長方法は、熱経費が削減された複合デバイス用途のための SiC 成長に適用することが可能である。例としては、これらに限らないが、減少したドーパント活性を引き起こす成長などを含む。例えば、緩衝層の厚さ、不純物濃度、及び不純物活性が厳しく調整された精密に設計された（特に薄い）緩衝層上での成長にも有用である可能性がある。

10

【0035】

更に、より好ましい本発明の低温成長方法は、商業用途に実用性のある市販の成長反応炉のより複雑な設計（サセプタ設計を含む）を可能にするためにも適用することが可能である。洗練され且つ複雑なサセプタのデザインは、より高温での成長には高価であるため禁止される可能性がある（なぜなら、高温で操作されたサセプタは頻繁に取り替えることが必要であり、頻繁に高価なサセプタを取り替えることは必ずしも経費的に適しているとは限らないからである）。1300以下～1400の温度での操作により、高価なサセプタの頻繁な交換の必要性が解消される。

20

【0036】

本発明の好ましい低温での SiC の成長方法は、これに限らないが、従来から高温成長が必要とされる最も重要な SiC ポリタイプである4H- SiC 及び6H- SiC に適用可能である。更に、任意の基板表面の配向性（これに限らないが、従来型0001オフ軸基板を含む）が使用可能である。或いは、本方法は、ヘテロエピタキシャル成長に有用である。これは、ケイ素基板上における別の SiC ポリタイプ、すなわち3C- SiC の成長を含む。このような場合、ケイ素の融点以下の温度が使用される。

【0037】

実験結果

第1実験

成長実験は、低温熱壁CVD反応炉中、150～400トル、キャリアガスとして H_2 を用いて、ケイ素源として SiH_4 （ H_2 中3%）、及び炭素源として CH_3Cl を用いて行った。8°のオフ角基板表面を用いた。エピ層の厚さマップは、Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR)の反射によって得られた。エピ層表面形態は、Nomarski干渉コントラストを有する光学顕微鏡によって調べ、エピ層の品質は、低温フォトルミネッセンス(Photoluminescence: PL)分光法によって調べた。

30

【0038】

本研究に使用した成長条件は、通常 SiC ホモエピタキシーに使用する標準的な流れと比較して減少したキャリアガスの流速を含む。鏡面形態は、1300の温度の間の1時間あたり2 μm 以上の成長速度によって、1300の温度においてNomarski顕微鏡で観察した。低温PLスペクトルの形は、エピ層が良質の結晶であることを示していた。1300における前記エピ層成長のスペクトルは、強固な窒素及びアルミニウムの結合励起子線、及び窒素-アルミニウム及び窒素-ホウ素の供与体-受容体対(donor-acceptor pairs: DAP)を示していた。しかしながら、前記PL信号の前記絶対吸収強度、及び前記励起直線の鋭さから、少なくとも1700におけるエピタキシャル層成長と同等に良いことが観察された。

40

【0039】

この研究における成長実験は、より小さな2つの熱壁CVD反応炉にて実施した。サセ

50

ブタの側面間の距離は、2"基板の直径よりわずかに7mm大きいのみである。これは、本反応炉の「芯(sweet-spot)」を明らかに2"より小さくするため、より小さな基板上におけるプロセス開発により望ましいものである。しかしながら、より大きなCVD反応炉に対する低温プロセスのスケーリングの前に、1300における2"基板上における成長をより小さな反応炉で行った。前記サセプタ壁に近い前記基板の左端及び右端において、~2mm領域以外のすべての表面形態は鏡面であることがわかった。更に、前記成長速度の均一性は期待したものよりも良かった。前記成長速度が著しく減少していることが前記サセプタ壁に近い劣化した形態領域近辺で見られ(使用したサセプタのサイズが小さいので当然なことではあるが)、気体流の方向に沿った(非最適化)成長速度の均一性は7%より良かった。前記気体流方向に沿った非最適化温度分布は、大部分の成長速度の非均一性に関与している。

10

【0040】

第2実験

第1実験に使用したものと同様の成長条件を低いオフ角基板上でのエピタキシャル層成長に適用させた(前回の実験において使用した8°オフ角に比べて2°オフ角)。標準成長技術を用いた常温における低いオフ角基板上での成長は、いわゆるステップバンチングによる表面劣化をもたらした。本発明の方法を用いた2°オフ角基板上での成長は、1380で行った。前記バンチング問題は完全に解消された。通常低温において低いオフ角の基板上で起こることが予想される他の欠陥の形成(例えば島状核形成(island nucleation))は期待よりはるかに低かった。この結果は、本発明の方法が低いオフ角基板上での主要な問題を解決することが可能であることを示していた。

20

【0041】

本発明の好ましい実施形態を説明及び記載してきたが、本発明の要旨を逸脱することなく様々な変化が可能であることが理解される。更に、当業者であれば、上述の明細書及び以下の請求項から本発明の他の多くの利点は明らかである。

【0042】

独占的な特性または権利を請求する本発明の実施形態は以下のように定義される。

【図面の簡単な説明】

【0043】

これらの図は、本発明の詳細な説明に付随するものであり、本発明とその利点を更に説明することを意図するものである。

30

【図1】図1は、本発明の成長方法の主要構成要素の概略図である。

【図2】図2は、本発明の方法による1300におけるエピタキシャル層成長と、1700における通常のエピタキシャル工程によるエピタキシャル層成長との発光スペクトルの比較を図示したものである。

【図3】図3は、 CH_3Cl の2つの濃度に対する成長速度のケイ素前駆体(SiH_4 流量)の流速への依存度を図示したものである。

【図4】図4は、本発明の成長方法を用いた場合の1300におけるエピタキシャル層成長の厚さのマッピングを示したものである。

【 図 1 】

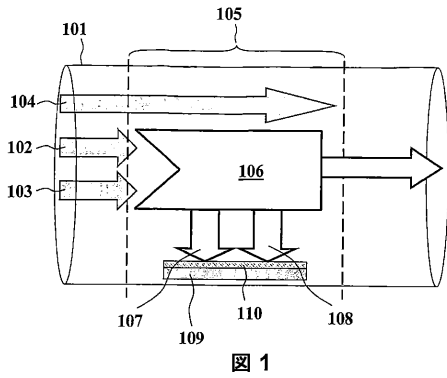


図 1

【 図 2 】

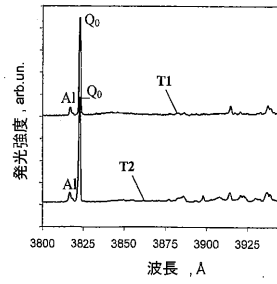


図 2

【 図 3 】

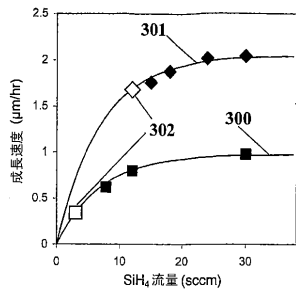


図 3

【 図 4 】

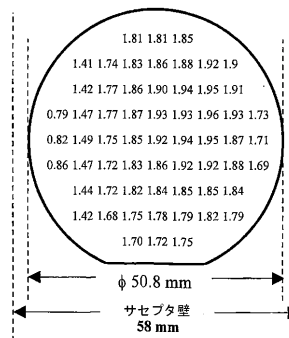


図 4

【国際調査報告】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT		International application No. PCT/US 06/36183
A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER IPC(8): C30B 28/14, C30B 15/14, C30B 19/00, B05D 3/14, C01B 31/36, H01L 21/331 (2007.01) USPC: 117/95, 117/3, 117/58, 427/563, 423/345, 438/312 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) USPC: 117/95, 117/3, 117/58, 427/563, 423/345, 438/312 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 practicable, search terms used) PubWEST (USPT, PGPB, EPAB, JPAB); DialogPRO; Google Scholar Search terms: Silicon, carbide, epitaxial, chemical, vapor, deposition, carrier, gas, precursor, reactor, flow, velocity, halogenated, dissociation, dopad, dopants, axis, angle, homogeneous, Khoshka, Yaroslav		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 5,591,492 A (Hirai et al.) 7 January 1997 (07.01.1997) and (col 03, in 07-23), (col 04, in 44-50), (col 04, in 31-34), (col 04, in 15-19), (col 05, in 45-55), (col 05, in 30-36), (col 03, in 50-56), (col 04, in 50-62), (Col 19 and 20 and Table 7c), (col 05, in 55), (col 05, in 57) (col 05, in 64-67), (col 06, in 01-08) and Fig. 10.	1, 3-6, 9-12, 18, 23, 29-32
Y		2, 7, 8, 13-17, 19, 20-22, 24-28, 33
Y	US 2001/0015170 A1 (Kitabatake) 23 August 2001 (23.08.2001), para [0004], para [0061] and para [0020]	2, 7, 8, 15-17, 19, 26-28, 33
Y	US 6,814,801 B2 (Jenny et al.) 9 November 2004 (09.11.2004), (col 02, in 58-67) and (col 04, in 01-09)	13-14, 24-25
Y	US 6,402,836 B1 (Leycuras) 11 June 2002 (11.06.2002) (col 01, in 52-64) and (col 04, in 58-62)	20-22
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input type="checkbox"/>		
* 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 application or patent 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 principle 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 26 June 2007 (26.06.2007)		Date of mailing of the international search report 28 AUG 2007
Name and mailing address of the ISA/US Mail Stop PCT, Attn: ISA/US, Commissioner for Patents P.O. Box 1450, Alexandria, Virginia 22313-1450 Facsimile No. 571-273-3201		Authorized officer: Lee W. Young PCT Helpdesk: 571-272-4300 PCT OSP: 571-272-7774

 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, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SV, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW

Fターム(参考) 4G077 AA03 BE08 DB05 DB09 EA02 EA06 EC09 EE07 TA04 TA07
 TB03 TC01 TC03 TC06 TC09 TC12 TJ05
 4K030 AA03 AA06 AA17 BA37 BB02 CA17 FA10 JA10 KA03
 5F045 AA03 AB06 AC01 AC07 AC16 AC17 AD15 AD16 AD17 AD18
 AE30 AF02 AF13 BB07 DP04 DQ06