

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 特 許 公 報 (B 2)

(11)特許番号

特許第3451325号
(P3451325)

(45)発行日 平成15年9月29日(2003.9.29)

(24)登録日 平成15年7月18日(2003.7.18)

(51)Int.Cl.⁷

識別記号

F I

H 0 1 L 21/203

H 0 1 L 21/203

M

C 3 0 B 29/36

C 3 0 B 29/36

Z

H 0 1 L 21/205

H 0 1 L 21/205

請求項の数11(全 7 頁)

(21)出願番号 特願2001-87297(P2001-87297)
(22)出願日 平成13年3月26日(2001.3.26)
(65)公開番号 特開2002-289526(P2002-289526A)
(43)公開日 平成14年10月4日(2002.10.4)
審査請求日 平成13年3月26日(2001.3.26)

(73)特許権者 391012224
名古屋大学長
愛知県名古屋市千種区不老町(番地なし)
(72)発明者 安田 幸夫
愛知県愛知郡長久手町五合池103
(72)発明者 財満 鎮明
愛知県春日井市高座台5-5-64
(72)発明者 鳥毛 裕二
石川県鹿島郡鹿島町二宮5部80番1-302
(74)代理人 100072051
弁理士 杉村 興作
審査官 酒井 英夫

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 シリコン・ゲルマニウム・カーボン三元混晶膜の作製方法及びシリコン・ゲルマニウム・カーボン三元混晶膜

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】 シリコン基板上に、複数のシリコン・ゲルマニウム二元混晶下地層と、複数のシリコン・ゲルマニウム・カーボン三元混晶層とを交互に順次形成し、前記シリコン・ゲルマニウム・カーボン三元混晶層中のカーボン原子の、前記シリコン・ゲルマニウム二元混晶下地層中のシリコン原子との優先的結合を介した、前記シリコン・ゲルマニウム二元混晶下地層中のゲルマニウム原子との置換を通じて、シリコン・ゲルマニウム・カーボン三元混晶膜を形成することを特徴とする、シリコン・ゲルマニウム・カーボン三元混晶膜の作製方法。

【請求項2】 前記シリコン・ゲルマニウム二元混晶下地層は、前記シリコン基板上に成膜処理を施すことによって形成することを特徴とする、請求項1に記載のシリコン・ゲルマニウム・カーボン三元混晶膜の作製方法。

【請求項3】 前記複数のシリコン・ゲルマニウム二元混晶下地層の前記シリコン基板に接する最下層は、前記シリコン基板上にゲルマニウム原子のイオン注入を施した後、前記シリコン基板に対して熱処理を施すことにより形成することを特徴とする、請求項1に記載のシリコン・ゲルマニウム・カーボン三元混晶膜の作製方法。

【請求項4】 前記シリコン・ゲルマニウム二元混晶下地層は、少なくとも1原子層分の厚さを有することを特徴とする、請求項1~3のいずれか一に記載のシリコン・ゲルマニウム・カーボン三元混晶膜の作製方法。

【請求項5】 前記シリコン・ゲルマニウム・カーボン三元混晶層は、前記Si・ゲルマニウム二元混晶下地層を含む前記シリコン基板を500~700に加熱して形成することを特徴とする、請求項1~4のいずれか一に記載のシリコン・ゲルマニウム・カーボン三元混晶

膜の作製方法。

【請求項6】 シリコン基板上に、1原子層厚さのシリコン・ゲルマニウム二元混晶単原子層と、このシリコン・ゲルマニウム二元混晶単原子層上に形成された1原子層厚さのシリコン・ゲルマニウム・カーボン三元混晶単原子層とを一周期として、2周期以上積層し、前記シリコン・ゲルマニウム・カーボン三元混晶単原子層中のカーボン原子の、前記シリコン・ゲルマニウム二元混晶単原子層中のシリコン原子との優先的結合を介した、前記シリコン・ゲルマニウム二元混晶単原子層中のゲルマニウム原子との置換を通じて、シリコン・ゲルマニウム・カーボン三元混晶膜を形成することを特徴とする、シリコン・ゲルマニウム・カーボン三元混晶膜の作製方法。

【請求項7】 前記シリコン・ゲルマニウム二元混晶単原子層及び前記シリコン・ゲルマニウム・カーボン三元混晶単原子層の少なくとも一方は、600未満の温度で形成することを特徴とする、請求項6に記載のシリコン・ゲルマニウム・カーボン三元混晶膜の作製方法。

【請求項8】 前記シリコン・ゲルマニウム二元混晶単原子層及び前記シリコン・ゲルマニウム・カーボン三元混晶単原子層の少なくとも一方は、600以上の温度で形成することを特徴とする、請求項6又は7に記載のシリコン・ゲルマニウム・カーボン三元混晶膜の作製方法。

【請求項9】 請求項1～8のいずれかに記載の方法によって作製され、カーボン原子がシリコン・ゲルマニウム・カーボン混晶の格子位置に配置していることを特徴とする、シリコン・ゲルマニウム・カーボン三元混晶膜。

【請求項10】 前記カーボン原子の含有量が4原子%以上であることを特徴とする、請求項9に記載のシリコン・ゲルマニウム・カーボン三元混晶膜。

【請求項11】 ボロン原子、ガリウム原子、砒素原子、燐原子、及びアンチモン原子の少なくとも一種を不純物原子として含有することを特徴とする、請求項9又は10に記載のシリコン・ゲルマニウム・カーボン三元混晶膜。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、シリコン・ゲルマニウム・カーボン三元混晶膜の作製方法、及びシリコン・ゲルマニウム・カーボン三元混晶膜に関し、特に、光伝送システムや移動体通信システムなどに使用する超高速動作ヘテロバイポーラトランジスタなどに好適に用いることのできる、シリコン・ゲルマニウム・カーボン三元混晶膜の作製方法、及びシリコン・ゲルマニウム・カーボン三元混晶膜に関する。

【0002】

【従来の技術】近年、シリコン基板上に、シリコン・ゲルマニウム二元混晶もしくはシリコン・ゲルマニウム・

カーボン三元混晶をベース領域に用いた超高速動作ヘテロバイポーラトランジスタを形成し、光伝送システムや移動体通信システムなどに適用する試みが盛んである。特にシリコン・ゲルマニウム・カーボン三元混晶は、シリコン・ゲルマニウム二元混晶の弱点を補う材料として注目されている。

【0003】カーบอนは、シリコンやゲルマニウムに比べて原子半径の小さな元素である。したがって、シリコン・ゲルマニウム混晶に少量のカーบอนを添加することにより、結晶の格子定数を小さくし、シリコンとゲルマニウムの格子定数差に起因して生じる圧縮歪みを補償し、組成によってはシリコン基板に格子整合させることも可能となる。この結果、結晶中に蓄積される歪みの量を極めて小さくできるので、熱的耐性が向上する。

【0004】また、ゲルマニウム濃度を数十%、カーボン濃度を数%以上と高くし、引張り歪み状態にすると、シリコン・ゲルマニウム・カーボン三元混晶の価電子帯と伝導帯の両方にバンドオフセットが生じるため、新たなヘテロ接合構造を有する番導体デバイスの構築が可能となる。

【0005】但し、高濃度のカーบอนを有する高品質なシリコン・ゲルマニウム・カーボン結晶を作製することは容易ではなく、例えば応用物理学会誌、66巻(2000年)2559ページに記載されているように、カーボン濃度4%以上のシリコン・ゲルマニウム・カーボン混晶の結晶性は劣悪であり、11%以上では、非晶質化する。

【0006】これは、カーボン原子が、格子位置のみならず、格子間にも入りやすい性質を持つこと、またカーบอนはシリコンと縮合しやすく、特に高温では安定相として炭化珪素(シリコンカーバイド)結晶を作りやすいことによる。

【0007】高濃度のカーบอนを有する高品質のシリコン・ゲルマニウム・カーボン三元結晶を作製する従来例の一つが、例えば特開平2000-269476号公報に開示されている。これは、数原子層程度の厚みの $Si_{1-x}Ge_x$ 層($0 < x < 1$)と、 $Si_{1-y}C_y$ 層($0 < y < 1$)とを交互に積層し、単一の $SiGeC$ 層として機能しうる $Si_{1-x}Ge_x/Si_{1-y}C_y$ 短周期格子を形成することにより、結晶性が良好であり、かつ熱的にも安定なシリコン・ゲルマニウム・カーボン三元混晶膜を作製しようとするものである。

【0008】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、上記従来例においては、 $Si_{1-y}C_y$ 層を用いた超格子構造であるため、安定な構造であるシリコンカーバイドを局所的に析出しやすく、膜中の全域にわたって均質な結晶性を有するシリコン・ゲルマニウム・カーボン三元混晶は形成しにくい、という問題点があった。

【0009】したがって本発明の目的は、カーボン濃度

を広範囲で制御することができ、シリコンカーバイドの析出を抑制して、膜中の全域にわたって均質且つ高品質なシリコン・ゲルマニウム・カーボン三元混晶膜を提供することにある。

【0010】

【課題を解決するための手段および作用】上記目的を達成するため、本発明は、シリコン基板上に、複数のシリコン・ゲルマニウム二元混晶下地層と、複数のシリコン・ゲルマニウム・カーボン三元混晶層とを交互に順次形成し、前記シリコン・ゲルマニウム・カーボン三元混晶層中のカーボン原子の、前記シリコン・ゲルマニウム二元混晶下地層中のシリコン原子との優先的結合を介した、前記シリコン・ゲルマニウム二元混晶下地層中のゲルマニウム原子との置換を通じて、シリコン・ゲルマニウム・カーボン三元混晶膜を形成することを特徴とする、シリコン・ゲルマニウム・カーボン三元混晶膜の作製方法（第1の作製方法）に関する。

【0011】図1～5は、本発明のシリコン・ゲルマニウム・カーボン三元混晶膜の作製方法を説明するための概念図である。本発明においては、最初、図1に示すように、シリコン基板11上に、例えば、シリコン・ゲルマニウム二元混晶下地層12を1原子層の厚さに形成する。次いで、シリコン・ゲルマニウム二元混晶下地層12上において、シリコン・ゲルマニウム・カーボン三元混晶層を超高真空分子線エピタキシー法や超高真空ガスソース分子線エピタキシー法を用いて形成する。

【0012】すると、図2に示すように、最初の1原子層13aが形成された時点において、シリコン原子とカーボン原子との結合に比較して、ゲルマニウム原子とカーボン原子との結合が著しく不安定であるため、シリコン・ゲルマニウム・カーボン三元混晶層中のカーボン原子は、シリコン・ゲルマニウム二元混晶下地層12中のシリコン原子と優先的に結合する。

【0013】また、ゲルマニウム原子の表面エネルギーが約 600 erg/cm^2 であるのに対し、カーボン原子の表面エネルギーが約 2500 erg/cm^2 であるので、カーボン原子は層表面に存在するよりも層内部に存在する方が層全体のエネルギーが低くなる。したがって、図3に示すように、シリコン・ゲルマニウム・カーボン三元混晶層13a内のカーボン原子と、シリコン・ゲルマニウム二元混晶下地層12中のゲルマニウム原子とが置換するようになる。

【0014】次いで、図4に示すように、1原子層分の厚さを有するシリコン・ゲルマニウム・カーボン三元混晶層が、当初のシリコン・ゲルマニウム・カーボン三元混晶層13a上に連続して形成されることにより、各層間において上述したシリコン原子とカーボン原子との優先的な結合と、カーボン原子とゲルマニウム原子との置換が生じ、最終的に図5に示すようなシリコン・ゲルマニウム・カーボン三元混晶膜14がシリコン基板11上

に形成される。

【0015】上述したように、シリコン・ゲルマニウム・カーボン三元混晶膜14は、その作製過程においてシリコン原子とカーボン原子とが優先的に結合する。そして、シリコン・ゲルマニウム・カーボン三元混晶膜14内において、カーボン原子はゲルマニウム原子と置換して配置される。このため、カーボン原子の凝集を効果的に抑制することができるとともに、カーボン原子はシリコン・ゲルマニウム・カーボン混晶の格子位置を占めるようになる。

【0016】したがって、本発明に従って得たシリコン・ゲルマニウム・カーボン三元混晶膜においては、カーボン原子が格子間に凝集することなく所定の格子位置に配置され、炭化珪素などの副次的な結晶が生成されることもない。この結果、膜中の全域にわたって均質かつ高品質なシリコン・ゲルマニウム・カーボン三元混晶膜を得ることができる。

【0017】また、本発明は、シリコン基板上に、シリコン・ゲルマニウム二元混晶単原子層と、このシリコン・ゲルマニウム二元混晶単原子層上に形成されたシリコン・ゲルマニウム・カーボン三元混晶単原子層とを一周期として、2周期以上積層することを特徴とする、シリコン・ゲルマニウム・カーボン三元混晶膜の作製方法（第2の作製方法）に関する。

【0018】上述した第1の作製方法においては、シリコン・ゲルマニウム・カーボン三元混晶層を、例えば、超高真空分子線エピタキシー法や超高真空ガスソース分子線エピタキシー法を用いて形成しようとする、1原子層の厚さを有するシリコン・ゲルマニウム・カーボン三元混晶単原子層の表面に水素が吸着してしまい、この結果、ゲルマニウム原子の表面偏析が抑制されて、ゲルマニウム原子とカーボン原子との置換が十分に行われないうちが生じる。

【0019】また、前記シリコン・ゲルマニウム・カーボン三元混晶膜の作製中において、連続して形成される1原子層毎のシリコン・ゲルマニウム・カーボン三元混晶層間において、カーボン原子はゲルマニウム原子と置換されずに残存するようになる。このため、各原子層間においてカーボン原子同士が優先的に結合し、結果としてカーボンの凝集を生ぜしめる場合がある。

【0020】このような場合、上述した本発明の第2の作製方法に従えば、1原子層分の厚さを有するシリコン・ゲルマニウム単原子層と、1原子層分の厚さを有するシリコン・ゲルマニウム・カーボン三元混晶単原子層とが常に隣接するようになる。

【0021】図6は、本発明の第2の作製方法を説明するための概念図である。図6においては、シリコン基板21上に、シリコン・ゲルマニウム二元混晶単原子層22とシリコン・ゲルマニウム・カーボン三元混晶単原子層23とが交互に積層されている。したがって、シリコ

ン・ゲルマニウム・カーボン三元混晶単原子層23同士は隣接せずに、シリコン・ゲルマニウム・カーボン三元混晶単原子層23とシリコン・ゲルマニウム二元混晶単原子層22とが常に隣接するようになる。

【0022】したがって、シリコン・ゲルマニウム・カーボン三元混晶単原子層23の表面に水素が吸着し、カーボン原子がゲルマニウム原子と置換することなく残存する場合においても、隣接するシリコン・ゲルマニウム二元混晶単原子層22中にカーボン原子が存在しないため、カーボン原子同士が優先的に結合して凝集することがなくなる。

【0023】この結果、シリコン・ゲルマニウム・カーボン三元混晶単原子層23の表面に水素が吸着しても、カーボン原子は凝集することなく、シリコン・ゲルマニウム・カーボン三元混晶単原子層23中の所定の位置に残存するようになる。したがって、シリコン・ゲルマニウム二元混晶単原子層22とシリコン・ゲルマニウム・カーボン三元混晶単原子層23とが交互に積層されてなるシリコン・ゲルマニウム・カーボン三元混晶膜24において、カーボン原子は凝集することなく所定の格子位置に配置されるようになる。

【0024】この結果、シリコン・ゲルマニウム・カーボン三元混晶単原子層の表面に水素が吸着している場合においても、膜中の全域にわたって均質且つ高品質なシリコン・ゲルマニウム・カーボン三元混晶膜を得ることができる。

【0025】

【発明の実施の形態】以下、本発明を発明の実施の形態に則して詳細に説明する。本発明の第1の作製方法においては、シリコン基板上にシリコン・ゲルマニウム二元混晶下地層を形成する。この下地層は、超高真空分子線エピタキシー法や超高真空化学気相成長法、超高真空ガスソース分子線エピタキシー法など公知の成膜手段によって形成することができる。また、シリコン基板上にゲルマニウム原子のイオン注入を施した後、シリコン基板に対して適当な熱処理を施すことによっても形成することができる。

【0026】シリコン基板に対する熱処理は、注入されたゲルマニウム原子を層状に拡散させて、前記シリコン膜中においてシリコン・ゲルマニウム二元混晶下地層を形成するために行うものである。したがって、その熱処理温度は600 ~ 1000 であることが好ましい。また、熱処理雰囲気は、窒素雰囲気やアルゴン雰囲気であることが好ましい。さらには、 10^{-7} Torr以下の真空であることが好ましい。

【0027】また、前記シリコン・ゲルマニウム二元混晶下地層の厚さは、少なくとも1原子層分の厚さを有することが好ましい。これによって、図1~5で説明したように、シリコン・ゲルマニウム二元混晶下地層中のゲルマニウム原子と、この下地層上に形成されたシリコン

・ゲルマニウム・カーボン三元混晶単原子層中のカーボン原子との置換が効率的に行われ、カーボン原子の凝集が効果的に抑制されて、均質且つ高品質なシリコン・ゲルマニウム・カーボン三元混晶膜を簡易に得ることができる。

【0028】本発明の第1の作製方法においては、前記シリコン・ゲルマニウム二元混晶下地層上に、シリコン・ゲルマニウム・カーボン三元混晶層を形成する。このシリコン・ゲルマニウム・カーボン三元混晶層は、上述したような超高真空分子線エピタキシー法や超高真空化学気相成長法、超高真空ガスソース分子線エピタキシー法などの公知の成膜手法を用いて形成することができる。

【0029】そして、シリコン・ゲルマニウム・カーボン三元混晶層は、前記シリコン・ゲルマニウム二元混晶下地層を含む前記シリコン基板を500 ~ 700 の範囲の温度、好ましくは550 ~ 650 の範囲の温度に加熱して形成することが好ましい。これによって、前記シリコン・ゲルマニウム二元混晶下地層の表面、及びシリコン・ゲルマニウム・カーボン三元混晶単原子層の表面に水素が吸着するのを効果的に抑制することができる。上述したようなカーボン原子の凝集を抑制して、均一かつ高品質のシリコン・ゲルマニウム・カーボン三元混晶膜を得ることができる。

【0030】また、本発明の第2の作製方法においては、シリコン基板上に、1原子層厚さのシリコン・ゲルマニウム二元混晶単原子層と、このシリコン・ゲルマニウム二元混晶単原子層上に形成された1原子層厚さのシリコン・ゲルマニウム・カーボン三元混晶単原子層を一周期として、2周期以上積層する。

【0031】前記シリコン・ゲルマニウム二元混晶単原子層、及び前記シリコン・ゲルマニウム・カーボン三元混晶単原子層は、それぞれ超高真空分子線エピタキシー法や超高真空化学気相成長法、超高真空ガスソース分子線エピタキシー法などによって形成することができる。

【0032】上記単原子層は600 以上、好ましくは650 以上の温度において形成することができる。これによって、各単原子層表面上における水素の吸着を効果的に防止し、カーボン原子の凝集を抑制した均一かつ高品質のシリコン・ゲルマニウム・カーボン三元混晶膜を得ることができる。

【0033】また、上記単原子層は600 未満の温度で形成することもできる。この場合においては、各原子層の表面に水素が吸着しやすくなるが、上述したように、シリコン・ゲルマニウム・カーボン三元混晶単原子層同士が隣接しないため、残存したカーボン原子同士が優先的に結合して凝集することがない。したがって、均一かつ高品質のシリコン・ゲルマニウム・カーボン三元混晶膜を簡易に得ることができる。

【0034】以上説明した本発明の第1の作製方法及び

第2の作製方法によれば、カーボン原子を、例えば4原子%以上含有する場合においても、従来と異なり、カーボン原子が凝集することなく、所定の格子位置に配置されてなるシリコン・ゲルマニウム・カーボン三元混晶膜を得ることができる。

【0035】また、本発明のシリコン・ゲルマニウム・カーボン三元混晶膜は、電動性を付与するために、必要に応じてボロン原子、ガリウム原子、砒素原子、燐原子、及びアンチモン原子の少なくとも一種を含有することもできる。

【0036】

【実施例】(実施例1)本実施例においては、上記本発明の第1の作製方法に従ってシリコン・ゲルマニウム・カーボン三元混晶膜を作製した。シリコン基板としてp型シリコン(100)基板を用い、これをSC1洗浄($\text{NH}_4\text{OH}:\text{H}_2\text{O}_2:\text{H}_2\text{O}=1:1:5$ の溶液中で10分放置)した後、HF処理($\text{HF}:\text{H}_2\text{O}=1:50$ の溶液中に10秒放置)を施し、さらに10分間超純水洗浄し、前記シリコン基板の表面の自然酸化膜を除去した。

【0037】次いで、前記シリコン基板を超高真空分子線エピタキシー装置内に設置し、装置内を到達真空度が 1×10^{-10} Torr以下となるまで排気した。そして、前記シリコン基板を850で3分間アニール処理し、前記シリコン基板の表面を清浄化した。次いで、前記シリコン基板を600に加熱して、分子線エピタキシーにより、 $\text{Si}_{0.5}\text{Ge}_{0.5}$ 二元混晶下地層を1原子層の厚さに形成した。次いで、同一温度において、前記下地層上に $\text{Si}_{0.473}\text{Ge}_{0.473}\text{C}_{0.054}$ 三元混晶層を6原子層の厚さに形成した。

【0038】図7は、上記のようにして作製したシリコン・ゲルマニウム・カーボン三元混晶膜の走査トンネル顕微鏡写真を示す図である。図中において、矢印Aに示すようなジグザグ部分は1原子層の高さに相当するステップであり、上記混晶膜がステップに沿った二次元的成長によって形成されたことが分かる。また、図中の矢印Bに示すような黒い線が周期的に配列した表面構造は、圧縮歪みを伴うシリコン・ゲルマニウム・カーボン三元混晶膜表面に固有である($n \times 2$)超周期構造に相当するものである。したがって、本実施例において作製されたシリコン・ゲルマニウム・カーボン三元混晶膜は、シリコン基板の結晶格子を反映してエピタキシャル成長により形成されたことが分かる。

【0039】すなわち、本実施例においては、カーボン原子が凝集することなく、均一かつ高品質のシリコン・ゲルマニウム・カーボン三元混晶膜が得られていることが分かる。

【0040】(実施例2)本実施例においては、上記本発明の第2の作製方法に従ってシリコン・ゲルマニウム・カーボン三元混晶膜を作製した。シリコン基板として

p型シリコン(100)基板を用い、これを実施例1と同様にして洗浄した後、超高真空化学気相成長装置内に設置し、装置内を到達真空度が 1×10^{-10} Torr以下となるまで排気した。そして、実施例1と同様にして、前記シリコン基板を850で3分間アニール処理し、前記シリコン基板の表面を清浄化した。

【0041】次いで、シリコン基板の温度を550とし、シリコン原料ガスとして Si_2H_6 、ゲルマニウム原料ガスとして GeH_4 、及びカーボン原料ガスとして SiH_3CH_9 を用い、1原子層の厚さの $\text{Si}_{0.5}\text{Ge}_{0.5}$ 二元混晶単原子層及び1原子層厚さの $\text{Si}_{0.45}\text{Ge}_{0.45}\text{C}_{0.1}$ 三元混晶単原子層を交互に36周期に亘って積層した。

【0042】このようにして作製したシリコン・ゲルマニウム・カーボン三元混晶膜について走査トンネル顕微鏡により、その結晶性を評価したところ、実施例1同様にカーボン原子が凝集することなく、均一かつ高品質のシリコン・ゲルマニウム・カーボン三元混晶膜が作製されていることが確認された。

【0043】(比較例)シリコン基板としてp型シリコン(100)基板を用い、これを実施例1と同様にして洗浄した後、超高真空分子線エピタキシー装置内に設置し、装置内を到達真空度が 1×10^{-10} Torr以下となるまで排気した。そして、前記シリコン基板を850で3分間アニール処理し、前記シリコン基板の表面を清浄化した。次いで、シリコン・ゲルマニウム二元混晶下地層を形成することなく、600に加熱された前記シリコン基板上に、 $\text{Si}_{0.478}\text{Ge}_{0.478}\text{C}_{0.044}$ 三元混晶膜を4原子層の厚さに形成した。

【0044】図8は、上記のようにして作製したシリコン・ゲルマニウム・カーボン三元混晶膜の走査トンネル顕微鏡写真を示す図である。図中において、矢印Aに示す白い隆起部は約2nm高さの結晶島であり、この薄膜表面は三次元的成長をしたことによって形成されたことが分かる。また、矢印Bに示すような黒い線が周期的に配列した表面構造は、図7の矢印Bで示したものと同様に、圧縮歪みを伴うシリコン・ゲルマニウム・カーボン三元混晶膜表面に固有な($n \times 2$)超周期構造であるが、図中、矢印Cに示すような黒い線が周期的に配列していない表面構造は、格子位置に配置せずに表面に析出したカーボン原子が凝集したことによって形成された、 $c(4 \times 4)$ 構造と呼ばれるものである。

【0045】すなわち、本発明と異なり、シリコン・ゲルマニウム二元混晶下地層を形成することなく、シリコン基板上に直接的に形成したシリコン・ゲルマニウム・カーボン三元混晶膜においては、カーボンが凝集して均一性及び品質の双方において劣化していることが分かる。

【0046】以上、具体例を挙げながら発明の実施の形態に基づいて本発明を詳細に説明してきたが、本発明は

上記内容に限定されるものではなく、本発明の範疇を逸脱しない限りにおいてあらゆる変形や変更が可能である。

【0047】

【発明の効果】以上説明したように、本発明によれば、従来よりも高濃度のカーボンを含む高品質かつ均質なシリコン・ゲルマニウム・カーボン三元混晶膜を形成できる。したがって、従来の低濃度カーボンを含むシリコン・ゲルマニウム・カーボン三元混晶膜を用いた半導体デバイスでは実現できなかった新たな機能を発現したり、更なる高速動作を実現することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の第1の作製方法を説明するための概念図である。

【図2】 同じく、本発明の第1の作製方法を説明するための概念図である。

【図3】 同じく、本発明の第1の作製方法を説明するための概念図である。

【図4】 同じく、本発明の第1の作製方法を説明するための概念図である。

【図5】 同じく、本発明の第1の作製方法を説明する

ための概念図である。

【図6】 本発明の第2の作製方法を説明するための概念図である。

【図7】 本発明の第1の作製方法によって作製されたシリコン・ゲルマニウム・カーボン三元混晶膜の走査トンネル顕微鏡写真である。

【図8】 従来の作製方法によって作製されたシリコン・ゲルマニウム・カーボン三元混晶膜の走査トンネル顕微鏡写真である。

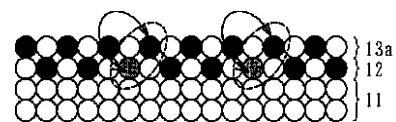
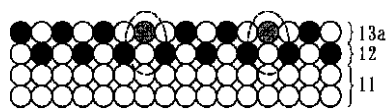
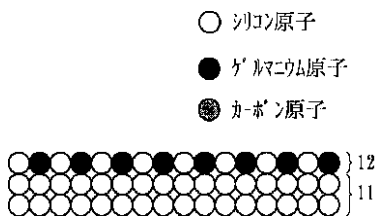
【符号の説明】

- 11 基板
- 12 シリコン・ゲルマニウム二元混晶下地層
- 13 シリコン・ゲルマニウム・カーボン三元混晶層
- 13a シリコン・ゲルマニウム・カーボン三元混晶単原子層
- 14 シリコン・ゲルマニウム・カーボン三元混晶膜
- 21 基板
- 22 シリコン・ゲルマニウム二元混晶単原子層
- 23 シリコン・ゲルマニウム・カーボン三元混晶単原子層
- 24 シリコン・ゲルマニウム・カーボン三元混晶膜

【図1】

【図2】

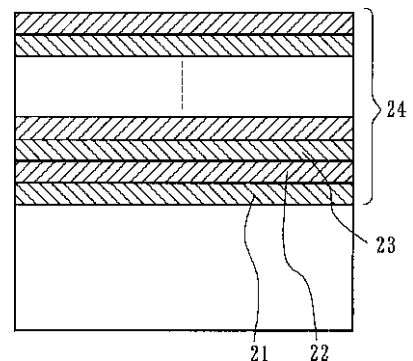
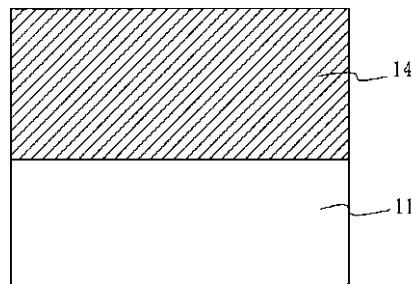
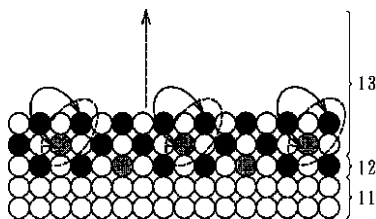
【図3】



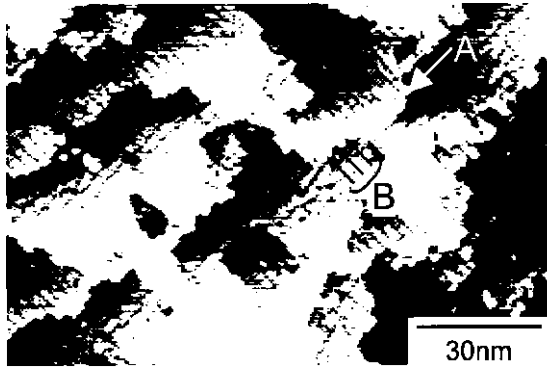
【図5】

【図6】

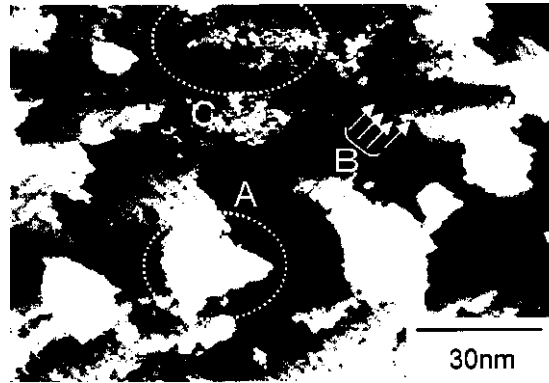
【図4】



【図7】



【図8】



フロントページの続き

(72)発明者 酒井 朗
愛知県名古屋市緑区篠の風3 - 252 滝
の水住宅6 - 205

(56)参考文献 特開 平9 - 278597 (J P , A)
特開 昭61 - 189620 (J P , A)
特開 昭62 - 130511 (J P , A)
特開2000 - 269476 (J P , A)
特開2001 - 338879 (J P , A)
特開2002 - 64105 (J P , A)
特開2001 - 320052 (J P , A)
特開2001 - 196317 (J P , A)
特開2002 - 329673 (J P , A)

(58)調査した分野(Int.Cl.7, D B名)

H01L 21/203, 21/205, 33/00

C30B 29/36