

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2015-44706

(P2015-44706A)

(43) 公開日 平成27年3月12日(2015.3.12)

(51) Int.Cl.			F I	テーマコード (参考)		
C30B	29/38	(2006.01)	C30B	29/38	D	4G077
C30B	25/18	(2006.01)	C30B	25/18		5F045
H01L	21/265	(2006.01)	H01L	21/265	Q	5F152
H01L	21/20	(2006.01)	H01L	21/20		
H01L	21/205	(2006.01)	H01L	21/205		

審査請求 未請求 請求項の数 4 O L (全 17 頁)

(21) 出願番号 特願2013-176635 (P2013-176635)
 (22) 出願日 平成25年8月28日 (2013.8.28)

(71) 出願人 000002130
 住友電気工業株式会社
 大阪府大阪市中央区北浜四丁目5番33号
 (71) 出願人 506158197
 公立大学法人 滋賀県立大学
 滋賀県彦根市八坂町2500
 (74) 代理人 110001195
 特許業務法人深見特許事務所
 (72) 発明者 佐藤 一成
 兵庫県伊丹市昆陽北一丁目1番1号 住友
 電気工業株式会社 伊丹製作所内
 (72) 発明者 山本 喜之
 兵庫県伊丹市昆陽北一丁目1番1号 住友
 電気工業株式会社 伊丹製作所内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 窒化物半導体成長用基板

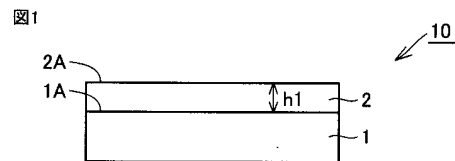
(57) 【要約】

【課題】 製造コストが低く、かつ、主面全体に窒化物半導体を均一にエピタキシャル成長させることができる窒化物半導体成長用基板を提供する。

【解決手段】

下地基板1と、下地基板1上に形成されている窒化物半導体層2とを備え、窒化物半導体層2は、下地基板1上に形成された窒化珪素膜に対して元素をイオンとして照射することにより形成されており、窒化物半導体層2において、厚み方向における上記元素の濃度の最大値と最小値との差を上記最大値で割った値が40%以下である。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

下地基板と、
前記下地基板上に形成されている窒化物半導体層とを備え、
前記窒化物半導体層は、前記下地基板上に形成された窒化珪素膜に対して元素をイオンとして照射することにより形成されており、
前記窒化物半導体層において、厚み方向における前記元素の濃度の最大値と最小値との差を前記最大値で割った値が40%以下である、窒化物半導体成長用基板。

【請求項 2】

前記元素は、ガリウム、インジウム、アルミニウムからなる群から選択される少なくとも1つである、請求項1に記載の窒化物半導体成長用基板。

10

【請求項 3】

前記窒化物半導体層の組成は、 $Al_{1-x-y}Ga_xIn_yN$ ($x \geq 0, y \geq 0, 0 < x + y < 1$) で表わされる、請求項2に記載の窒化物半導体成長用基板。

【請求項 4】

前記窒化物半導体層の膜厚は、10nm以下である、請求項1～請求項3のいずれか1項に記載の窒化物半導体成長用基板。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、窒化物半導体をエピタキシャル成長するための窒化物半導体成長用基板に関する。

20

【背景技術】

【0002】

3.4eVのエネルギーバンドギャップおよび高い熱伝導率を有する窒化ガリウム(GaN)基板などの窒化物基板は、短波長の光デバイスやパワー電子デバイスなどの半導体デバイス用の材料として注目されている。しかしながら、このような窒化物基板は高価である。

【0003】

国際公開2006/104064号(特許文献1)には、窒化ガリウム(GaN)膜をシリコン(Si)基板、ガラス基板、またはガリウムヒ素(GaAs)基板上に形成するための窒化ガリウム成長用基板およびその製造方法が開示されている。具体的には、基板上に形成された窒化珪素(SiN)膜の表面に、4keVのエネルギーでGaイオンを照射することにより、SiN膜の表層部にGaN膜を形成することができることが記載されている。

30

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献1】国際公開2006/104064号

【発明の概要】

40

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

しかしながら、本願発明者らは、特許文献1に記載の方法で作製された窒化ガリウム成長用基板を用いてエピタキシャル成長を行った場合に、窒化ガリウム成長用基板の主面全体に窒化ガリウムを均一に成長させることが困難であるという問題があることを見出した。

【0006】

本発明は上記のような課題を解決するためになされたものである。本発明の主たる目的は、製造コストが低く、かつ、主面全体に窒化物半導体を均一にエピタキシャル成長させることができる窒化物半導体成長用基板を提供することにある。

50

【課題を解決するための手段】

【0007】

本発明の窒化物半導体成長用基板は、下地基板と、下地基板上に形成されている窒化物半導体層とを備え、窒化物半導体層は、下地基板上に形成された窒化珪素膜に対して元素をイオンとして照射することにより形成されており、窒化物半導体層において、厚み方向におけるイオンの濃度の最大値と最小値との差を最大値で割った値が40%以下である。

【発明の効果】

【0008】

本発明によれば、製造コストが低く、かつ、主面全体に窒化物半導体をエピタキシャル成長させることができる窒化物半導体成長用基板を提供することができる。

10

【図面の簡単な説明】

【0009】

【図1】本実施の形態に係る窒化物半導体成長用基板を説明するための図である。

【図2】本実施の形態に係る窒化物半導体成長用基板の製造方法を説明するための図である。

【図3】本実施の形態に係る窒化物半導体成長用基板の製造方法を説明するための図である。

【図4】本実施の形態に係る窒化物半導体成長用基板の製造方法を説明するための図である。

【図5】本実施の形態に係る窒化物半導体エピタキシャル基板を説明するための図である。

20

【図6】実施例1において、窒化物半導体層としてのGaN層におけるGaの濃度プロファイルの測定結果を示すグラフである。

【発明を実施するための形態】

【0010】

以下、図面を参照して、本発明の実施の形態について説明する。なお、以下の図面において、同一または相当する部分には同一の参照番号を付し、その説明は繰り返さない。

【0011】

[本願発明の実施形態の説明]

はじめに、本発明の実施の形態の概要を列挙する。

30

【0012】

本発明者らは、上記課題を解決するため鋭意研究を重ねた結果、窒化物半導体成長用基板において、窒化物半導体層にて窒素と化合する原子の濃度の該窒化物半導体層の厚み方向におけるばらつきを小さくすることにより、窒化物半導体層上に窒化物半導体エピタキシャル層を均一にエピタキシャル成長することができることを見出した。

【0013】

(1) 図1および図2を参照して、本実施の形態に係る窒化物半導体成長用基板10は、下地基板1と、下地基板1上に形成されている窒化物半導体層2とを備え、窒化物半導体層2は、下地基板1上に形成された窒化珪素膜3に対して元素をイオンとして照射することにより形成されており、窒化物半導体層2において、厚み方向における上記元素の濃度の最大値と最小値との差を上記最大値で割った値が40%以下である。

40

【0014】

つまり、本実施の形態に係る窒化物半導体成長用基板10における窒化物半導体層2は、窒化物半導体層において窒素と化合する元素が膜厚方向(深さ方向)において偏在せずに分散している。窒化物半導体層2は、窒化珪素膜3に元素がイオン照射されることにより形成されるが、窒化珪素膜3の膜厚方向において当該元素が導入される位置は、イオンの照射エネルギーに応じて決まる。本実施の形態に係る窒化物半導体成長用基板10は、窒化珪素膜3に対して複数の照射エネルギー条件で元素をイオン照射することにより、1つの照射エネルギー条件で照射される場合と比べて窒化物半導体層2(あるいは窒化珪素膜3)の膜厚方向において元素を均一性よく分布させることができる。

50

【0015】

このようにして得られる本実施の形態に係る窒化物半導体成長用基板10は、たとえば窒化珪素膜3の表層部のみに窒化物半導体層を形成した従来の窒化物半導体成長用基板と比べて、第2の主面2A上に窒化物半導体をより密にエピタキシャル成長させることができる。

【0016】

(2) 本実施の形態に係る窒化物半導体成長用基板において、上記元素は、ガリウム(Ga)、インジウム(In)、アルミニウム(Al)からなる群から選択される少なくとも1つであってもよい。このようにしても、上記元素を窒化珪素膜3にイオン照射することにより、該元素が均一性よく分布した窒化物半導体層2を形成することができる。

10

【0017】

(3) 本実施の形態に係る窒化物半導体成長用基板10において、上記窒化物半導体層2の組成は、 $Al_{1-x-y}Ga_xIn_yN$ で表わされてもよい。上述のように、元素としてGa、In、Alからなる群から選択される少なくとも1つ以上をイオン照射することにより、 $Al_{1-x-y}Ga_xIn_yN$ ($x \geq 0, y \geq 0, 0 \leq x+y \leq 1$)で表わされる窒化物半導体層2を備える窒化物半導体成長用基板10を得ることができる。

【0018】

(4) 本実施の形態に係る窒化物半導体成長用基板10において、上記窒化物半導体層2の膜厚は、10nm以下であってもよい。

20

【0019】

つまり、元素がイオン照射される窒化珪素膜3の膜厚が10nm以下であってもよい。このようにすれば、所定の照射条件でイオン照射された元素は窒化珪素膜3において下地基板1の第1の主面1Aと隣接する領域にまで容易に到達することができる。その結果、窒化珪素膜3の膜厚方向(深さ方向)において広く上記元素のイオンを導入することができ、膜厚方向において元素の均一性がより高い窒化物半導体層2を得ることができる。つまり、本実施の形態に係る窒化物半導体成長用基板10において、窒化物半導体層2の膜厚が10nm以下であるときには、該窒化物半導体層2における元素は膜厚方向においてより均一性よく分布していることになる。

【0020】

[本願発明の実施形態の詳細]

30

次に、本発明の実施の形態の詳細について説明する。

【0021】

図1を参照して、本実施の形態に係る窒化物半導体成長用基板10について説明する。本実施の形態に係る窒化物半導体成長用基板10は、下地基板1と、下地基板1の第1の主面1A上に形成された窒化物半導体層2とを備える。

【0022】

下地基板1は、たとえば珪素(Si)からなり、外径が100mmである第1の主面1Aを有している。第1の主面1Aは、たとえば(100)面である。

【0023】

窒化物半導体層2は、下地基板1の第1の主面1A上に形成されている。窒化物半導体層2は、窒素(N)とガリウム(Ga)を主に含む。窒化物半導体層2は、第2の主面2Aを有している。窒化物半導体層2において、Gaの濃度は、第2の主面2Aと平行な方向および垂直な方向(厚み方向)において、いずれもほぼ均一である。窒化物半導体層2の厚み方向においては、窒化物半導体層2中の窒素と化合する元素であるGaの濃度の最大値 D_{max} と最小値 D_{min} との差を最大値 D_{max} で割った値($(D_{max} - D_{min}) / D_{max}$)は40%以下である。

40

【0024】

次に、図1~図4を参照して、本実施の形態に係る窒化物半導体成長用基板10の製造方法について説明する。本実施の形態に係る窒化物半導体成長用基板10の製造方法は、下地基板1と下地基板1上に形成された窒化珪素膜3とを含む材料基板20を準備する工

50

程 (S 1 1) と、窒化珪素膜 3 に対してイオンを照射する工程 (S 1 2) とを備える。

【 0 0 2 5 】

まず、材料基板 2 0 を準備する (工程 (S 1 1)) 。具体的には、はじめに、外径が 1 0 0 m m であり、S i からなる下地基板 1 を準備する。下地基板 1 は、第 1 の主面 1 A を有し、その面方位は (1 0 0) 面である。下地基板 1 は、任意の方法により準備すればよい。なお、下地基板 1 の外径は 1 0 0 m m に限られず、たとえば 6 インチなどであってもよい。次に、下地基板 1 の第 1 の主面 1 A 上に窒化珪素 (S i N) からなる窒化珪素膜 3 を形成する。窒化珪素膜 3 は、任意の方法で成膜すればよいが、たとえば有機金属気相成長法 (M O C V D 法) を用いて、第 1 の主面 1 A (S i (1 0 0) 面) 上に S i N からなる窒化珪素膜 3 を形成すればよい。または、第 1 の主面 1 A (S i (1 0 0) 面) をアンモニア (N H ₃) 雰囲気中、1 2 0 0 で窒化することにより、S i N からなる窒化珪素膜 3 を形成してもよい。窒化珪素膜 3 の膜厚は、1 0 n m 以下であることが好ましく、たとえば 5 n m である。窒化珪素膜 3 は、第 3 の第 3 の主面 3 A を有している。

10

【 0 0 2 6 】

次に、窒化珪素膜 3 に G a イオンを照射する (工程 (S 1 2)) 。具体的には、イオン注入装置を用いて、G a イオンを窒化珪素膜 3 に対して第 3 の主面 3 A 側から照射する。このとき、G a イオンは、たとえば照射エネルギーが 0 . 1 k e V 以上 1 0 0 k e V 以下の範囲において、複数のエネルギー条件で照射される。本実施の形態においては、窒化珪素膜 3 に対し、たとえば 0 . 5 k e V 、 2 k e V 、 5 k e V の 3 条件で G a イオンを照射する。各照射条件において、イオンのドーズ量は適宜選択され得るが、いずれも $1 . 0 \times 1 0 ^ { 1 6 } \text{ cm}^{-2}$ 以上が好ましく、より好ましくは $3 . 0 \times 1 0 ^ { 1 6 } \text{ cm}^{-2}$ 以上である。各照射条件におけるイオンのドーズ量は等しく設定されていてもよいし、それぞれ異なる値に設定されていてもよい。

20

【 0 0 2 7 】

窒化珪素膜 3 に G a イオンが照射されることにより、窒化珪素膜 3 を構成する S i が照射された G a に置き換わり、図 4 に示すように G a N からなる窒化物半導体層 2 が形成される。このとき、N との結合が解かれた S i は、窒化物半導体層 2 内に含まれている。このようにして、本実施の形態に係る窒化物半導体成長用基板 1 0 を製造することができる。なお、イオンを照射する際の温度条件は、たとえば室温であればよく、圧力条件は、たとえば $1 \times 1 0 ^ { - 6 } \text{ Pa}$ 程度であればよい。

30

【 0 0 2 8 】

次に、図 5 を参照して、本実施の形態に係る窒化物半導体成長用基板 1 0 を用いて、窒化物半導体エピタキシャル基板 3 0 を製造する方法について説明する。本実施の形態に係る窒化物半導体エピタキシャル基板の製造方法は、窒化物半導体成長用基板 1 0 を準備する工程 (S 1 0) と、窒化物半導体成長用基板 1 0 の第 2 の主面 2 A 上に窒化物半導体をエピタキシャル成長する工程 (S 2 0) とを備える。

【 0 0 2 9 】

まず、窒化物半導体成長用基板 1 0 を準備する (工程 (S 1 0)) 。具体的には、本実施の形態に係る窒化物半導体成長用基板を製造する方法により、窒化物半導体成長用基板 1 0 を製造する。

40

【 0 0 3 0 】

次に、窒化物半導体成長用基板 1 0 の第 2 の主面 2 A 上に窒化物半導体エピタキシャル層 4 をエピタキシャル成長する (工程 (S 2 0)) 。窒化物半導体エピタキシャル層 4 を成長させる方法は、特に制限はないが、結晶性のよい窒化物半導体エピタキシャル基板 3 0 を得る観点から、H V P E (ハイドライド気相成長) 法、M O V P E (有機金属気相成長) 法、M B E (分子線エピタキシー) 法、昇華法などの気相法、フラックス法、高窒素圧溶液法などの液相法などが好適である。

【 0 0 3 1 】

なお、窒化物半導体層 2 上に窒化物半導体エピタキシャル層 4 を成長させた後、下地基板 1 の一部をエッチングや化学機械研磨 (C M P) 等により除去して窒化物半導体エピタ

50

キシャル基板 30 から下地基板 1 を除去してもよい。このようにすれば、窒化物半導体エピタキシャル基板 30 として窒化物半導体層 2 および窒化物半導体エピタキシャル層 4 が積層されたウエハを得ることができる。

【0032】

次に、本実施の形態に係る窒化物半導体成長用基板 10 およびその製造方法の作用効果について説明する。

【0033】

本実施の形態に係る窒化物半導体成長用基板 10 における窒化物半導体層 2 は、下地基板 1 上に形成された窒化珪素膜 3 に対して複数の照射エネルギー条件で元素をイオンとして照射することにより形成されている。そのため、1つの照射エネルギー条件で照射されて形成される窒化物半導体層と比べて窒化物半導体層 2 の膜厚方向（深さ方向）において元素を均一性よく分布させることができる。

10

【0034】

このようにして得られる本実施の形態に係る窒化物半導体成長用基板 10 は、たとえば窒化珪素膜 3 の表層部のみ窒化物半導体層を形成した従来の窒化物半導体成長用基板と比べて、第 2 の主面 2A 上に窒化物半導体をより密にエピタキシャル成長させることができる。

【0035】

本実施の形態において、窒化珪素膜 3 に照射される元素は Ga のみであったが、これに限られるものではない。たとえば、上記元素は III 族元素から選択されることができ、In, Al であってもよい。また、Ga、In、Al の群から選択される少なくとも 1 つであってもよく、たとえば、Al と Ga とを組み合わせると照射してもよく、In と Ga とを組み合わせると照射してもよい。なお、2 種以上のイオンを組み合わせると照射する場合には、たとえば各イオンを連続して照射すればよい。つまり、1つのイオンを複数条件で照射した後、他のイオンを複数条件で照射すればよい。このようにすれば、 $Al_{1-x-y}Ga_xIn_yN$ ($x \geq 0, y \geq 0, 0 \leq x+y \leq 1$) で表わされる組成を有する窒化物半導体層 2 を得ることができる。

20

【0036】

また、本実施の形態に係る窒化物半導体成長用基板 10 において、下地基板 1 は Si 基板であり、第 1 の主面 1A が (100) 面であったがこれに限られるものではない。たとえば、下地基板は Si 基板であって、第 1 の主面 1A が (111) 面であってもよい。また、たとえば、下地基板 1 は合成石英や、結晶多形が 4H-SiC である SiC 基板であってもよい。このようにしても、本実施の形態に係る窒化物半導体成長用基板 10 と同様の効果を奏することができる。

30

【実施例 1】

【0037】

次に、本実施の形態の実施例 1 について説明する。

実施例 1 では、窒化珪素膜に対する元素のイオン照射条件が、照射により形成される窒化物半導体層における元素の濃度分布に与える影響を評価した。

【0038】

(試料)

下地基板として、(111) 面を第 1 の主面とする Si 基板、合成石英ガラス基板、(0001) 面を第 1 の主面とする結晶多形が 4H-SiC である SiC 基板を準備した。これらの第 1 の主面上に MOCVD 法により SiN_x 膜を成膜した。または、第 1 の主面上を、アンモニア (NH_3) 雰囲気中、1200 °C で窒化することにより、 SiN_x 膜を形成した。 SiN_x 膜の膜厚は、5 nm、10 nm、100 nm の三通りとした。

40

【0039】

次に、各下地基板上に形成した SiN_x 膜（第 2 の主面）に対し、Ga イオンを照射した。照射条件は、実施例（試料 ID 1 ~ 5）として照射エネルギーが 0.5 keV、2.0 keV、5.0 keV の 3 条件を組み合わせを行った。一方、比較例（試料 ID 6 ~ 1

50

2) としては、照射エネルギーが 0.5 keV の条件として行った。なお、各試料についてのイオン照射時のドーズ量は以下の表 1 に示す通りとした。このようにして、下記表 1 に示す実施例としての試料 ID 1 ~ 5、比較例としての試料 ID 6 ~ 12 の評価試料を製作した。

【 0 0 4 0 】

【表 1】

試料 ID	下地基板	窒化膜	厚さ(nm)	窒化物膜	イオン照射エネルギー(ドーズ量)	濃度ばらつき(%) (max - min) / max	表面被覆率(%)
1	Si(111)	SiNx	10	GaN	0.5 keV($3 \times 10^{16} \text{ cm}^{-2}$), 2 keV($3 \times 10^{16} \text{ cm}^{-2}$), 5 keV($6 \times 10^{16} \text{ cm}^{-2}$)	30	93
2	合成石英	SiNx	10	GaN	0.5 keV($3 \times 10^{16} \text{ cm}^{-2}$), 2 keV($3 \times 10^{16} \text{ cm}^{-2}$), 5 keV($6 \times 10^{16} \text{ cm}^{-2}$)	35	89
3	合成石英	SiNx (表面窒化)	5	GaN	0.5 keV($3 \times 10^{16} \text{ cm}^{-2}$), 2 keV($3 \times 10^{16} \text{ cm}^{-2}$), 5 keV($6 \times 10^{16} \text{ cm}^{-2}$)	33	91
4	4H-SiC(0001)	SiNx	10	GaN	0.5 keV($3 \times 10^{16} \text{ cm}^{-2}$), 2 keV($3 \times 10^{16} \text{ cm}^{-2}$), 5 keV($6 \times 10^{16} \text{ cm}^{-2}$)	20	98
5	4H-SiC(0001)	SiNx (表面窒化)	5	GaN	0.5 keV($3 \times 10^{16} \text{ cm}^{-2}$), 2 keV($3 \times 10^{16} \text{ cm}^{-2}$), 5 keV($6 \times 10^{16} \text{ cm}^{-2}$)	16	99
6	Si(111)	SiNx	100	GaN	0.5 keV($3 \times 10^{16} \text{ cm}^{-2}$)	99	3
7	Si(100)	SiNx	100	GaN	0.5 keV($3 \times 10^{16} \text{ cm}^{-2}$)	99	3
8	Si(111)	SiNx	100	GaN	0.5 keV($12 \times 10^{16} \text{ cm}^{-2}$)	97	15
9	Si(111)	SiNx	10	GaN	0.5 keV($3 \times 10^{16} \text{ cm}^{-2}$)	98	11
10	合成石英	SiNx	100	GaN	0.5 keV($3 \times 10^{16} \text{ cm}^{-2}$)	99	3
11	合成石英	SiNx	10	GaN	0.5 keV($3 \times 10^{16} \text{ cm}^{-2}$)	98	11
12	4H-SiC(0001)	SiNx	100	GaN	0.5 keV($3 \times 10^{16} \text{ cm}^{-2}$)	97	16
13	4H-SiC(0001)	SiNx	10	GaN	0.5 keV($3 \times 10^{16} \text{ cm}^{-2}$)	97	16

(評価方法)

評価試料に対して、第2の主面から垂直な方向(深さ方向)に2次イオン質量分析法(SIMS)を用いてGaの濃度プロファイルの評価した。具体的には、窒化物半導体層表面(第2の主面)から窒化物半導体層と下地基板との界面(第1の主面)まで、深さ方向にSIMS測定を行った。さらに、得られた濃度プロファイルから、窒化物半導体層におけるGaの濃度の最大値と最小値を求め、最大値と最小値の差を最大値で割った値(濃度ばらつき(%))を算出した。

【0042】

(結果)

表1に試料ID1~12の評価結果を示す。また、図6に、濃度プロファイルの評価結果の一部(試料ID1および試料ID6の評価結果)を示す。図6の縦軸はGaの濃度(単位:atoms/cc)であり、横軸は窒化物半導体層表面(第2の主面)からの深さ(単位:nm)である。

10

【0043】

まず、SiN_x膜に対しGaイオンを照射することにより、GaN層が形成されていることが確認できた。さらに、Gaの照射条件が、GaN層におけるGaイオンの濃度分布に大きく影響することが確認された。

【0044】

具体的には、Gaイオンの照射エネルギーが0.5keVである比較例としての試料ID6~12は、いずれも濃度プロファイルから算出したGaイオンの最大値と最小値を求め、最大値と最小値の差を最大値で割った値である濃度ばらつきが97%以上と高かった。つまり、比較例の試料のGaN層において、Gaの濃度は深さ方向においてばらつきが大きいことが確認された。この傾向は、SiN_x膜の膜厚や、下地基板の種類に依らずに確認された。さらに、同傾向は、Gaイオンのドーズ量を変えた場合にも確認された。具体的には、たとえばドーズ量が $3.0 \times 10^{16} \text{ cm}^{-2}$ の試料ID6と、 $1.2 \times 10^{17} \text{ cm}^{-2}$ の試料ID8とで、上記値に有意な差は確認されなかった。つまり、比較例としての試料に対するGaイオンの照射は、照射エネルギーが0.5keVの1条件で実施されているため、数nm以上の膜厚を有するSiN_x膜に対しては、Gaを深さ方向に均一に導入することができていないことが分かった。すなわち、図6のグラフから、膜厚が10nmのSiN_x膜に対してGaイオンを0.5keVエネルギーで照射したときには、窒化ガリウム成長用基板の第2の主面の表層部(1nm程度)にはGaN層が形成されていると考えられるが、下地基板側(5nm以上10nm以下)にはGaイオンは十分に供給されていないことが分かった。

20

30

【0045】

一方、照射エネルギーについて、0.5keV、2.0keV、5.0keVの3条件を組み合わせるとGaイオンが照射された実施例の試料ID1~5については、いずれも濃度プロファイルから算出したGaの濃度の最大値と最小値を求め、最大値と最小値の差を最大値で割った値である濃度ばらつきが35%以下であり、比較例の試料と比べて当該濃度ばらつきの値が格段に低かった。この傾向は、SiN_x膜の膜厚や、下地基板の種類に依らずに確認された。つまり、実施例の試料に対するGaイオンの照射は、照射エネルギーが0.5keV、2.0keV、5.0keVの3条件を組み合わせると実施されているため、10nm以下程度の膜厚を有するSiN_x膜に対しては、Gaを深さ方向に均一に導入することができることを確認された。

40

【実施例2】

【0046】

次に、本実施の形態の実施例2について説明する。

実施例2では、窒化珪素膜に対するイオンの照射条件が、照射により形成される窒化物半導体層上にエピタキシャル成長された窒化物半導体エピタキシャル層の表面被覆率に与える影響を評価した。

【0047】

50

(試料)

まず、窒化物半導体成長用基板を、実施例1と基本的に同様の方法で準備した。ここで、 SiN_x 膜に照射したイオンは、Gaの他に、In、Alの単一イオン、またはGaとAl、もしくはGaとInの組み合わせとした。これにより、GaN層を備えるGaN成長用基板(試料ID1~13)、AlN層を備えるAlN成長用基板(試料ID14~24)、InN層を備えるInN成長用基板(試料ID25~35)、 $\text{Al}_{0.5}\text{Ga}_{0.5}\text{N}$ 層を備えるAlGaN成長用基板(試料ID36~46)、 $\text{In}_{0.5}\text{Ga}_{0.5}\text{N}$ 層を備えるInGaN成長用基板(試料ID47~57)を準備した。なお、各試料の下地基板や窒化膜、窒化物膜などの条件は、上記表1および後述する表2~表5に示している。

10

【0048】

次に、準備した各窒化物半導体成長用基板の第2の主面上に、MOCVD法を用いて、窒化物半導体をエピタキシャル成長させて、窒化物半導体エピタキシャル基板を得た。

【0049】

(評価方法)

窒化物半導体エピタキシャル基板の表面(第3の主面)に対する光学顕微鏡像を取得し、該光学顕微鏡像に対して白黒の二値化処理を行うことにより、窒化物膜(窒化物半導体エピタキシャル層)が成長している面積を計測した。そして、第3の主面全体に対して窒化物膜が成長している面積の割合である、窒化物半導体エピタキシャル層の表面被覆率を求めた。

20

【0050】

(結果)

1. GaNエピタキシャル基板(試料ID1~13)

表面被覆率の結果を表1に示す。各比較例の試料(試料ID6~13)の表面被覆率が16%以下であるのに対し、各実施例の試料(試料ID1~5)の表面被覆率は89%以上と格段に高いことが確認された。つまり、GaNエピタキシャル層の表面被覆率は、 SiN_x 膜の膜厚や、下地基板の種類、Gaイオンのドーズ量に依らず、GaN層の深さ方向におけるGa濃度の均一性の影響を強く受けることが確認された。実施例の試料は、深さ方向においてGaの濃度の均一性に優れたGaN層を有するため、GaNエピタキシャル層の表面被覆率を向上することができたと考えられる。また、下地基板がSi(111)である窒化物半導体成長用基板(試料ID6)と、下地基板がSi(100)である窒化物半導体成長用基板(試料ID7)とでは、表面被覆率に差異は見られなかった。しかし、窒化物半導体エピタキシャル層の表面被覆率は、下地基板の第1の主面の面方位、および該下地基板上に形成される窒化物膜(本実施例におけるGaN膜)の成膜条件にも依存する可能性がある。

30

【0051】

2. AlNエピタキシャル基板(試料ID14~24)

表面被覆率の結果を表2に示す。各比較例の試料(試料ID19~24)の表面被覆率が15%以下であるのに対し、各実施例の試料(試料ID14~18)の表面被覆率は83%以上と格段に高いことが確認された。つまり、上述したGaNエピタキシャル基板と同様に、AlNエピタキシャル層の表面被覆率は、 SiN_x 膜の膜厚や、下地基板の種類に依らず、AlN層の深さ方向におけるAl濃度の均一性の影響を強く受けることが確認された。また、AlNエピタキシャル層の表面被覆率は、上述したGaNエピタキシャル基板と同様に、Alイオンのドーズ量にも依らなかった。実施例の試料(試料ID14~18)は、複数の照射エネルギー条件を用いることで、深さ方向においてAlの濃度の均一性に優れたAlN層を有するため、AlNエピタキシャル層の表面被覆率を向上することができたと考えられる。

40

【0052】

【 表 2 】

試料 ID	下地基板	窒化膜	厚さ(nm)	窒化物膜	イオン照射エネルギー(ドーズ量)	表面被覆率 (%)
14	Si(111)	SiNx	10	AIN	0.5 keV($3 \times 10^{16} \text{ cm}^{-2}$), 2 keV($6 \times 10^{16} \text{ cm}^{-2}$), 5 keV($9 \times 10^{16} \text{ cm}^{-2}$)	87
15	合成石英	SiNx	10	AIN	0.5 keV($3 \times 10^{16} \text{ cm}^{-2}$), 2 keV($6 \times 10^{16} \text{ cm}^{-2}$), 5 keV($9 \times 10^{16} \text{ cm}^{-2}$)	83
16	合成石英	SiNx (表面窒化)	5	AIN	0.5 keV($3 \times 10^{16} \text{ cm}^{-2}$), 2 keV($6 \times 10^{16} \text{ cm}^{-2}$), 5 keV($9 \times 10^{16} \text{ cm}^{-2}$)	85
17	4H-SiC(0001)	SiNx	10	AIN	0.5 keV($3 \times 10^{16} \text{ cm}^{-2}$), 2 keV($6 \times 10^{16} \text{ cm}^{-2}$), 5 keV($9 \times 10^{16} \text{ cm}^{-2}$)	95
18	4H-SiC(0001)	SiNx (表面窒化)	5	AIN	0.5 keV($3 \times 10^{16} \text{ cm}^{-2}$), 2 keV($6 \times 10^{16} \text{ cm}^{-2}$), 5 keV($9 \times 10^{16} \text{ cm}^{-2}$)	96
19	Si(111)	SiNx	100	AIN	0.5 keV($3 \times 10^{16} \text{ cm}^{-2}$)	3
20	Si(111)	SiNx	10	AIN	0.5 keV($3 \times 10^{16} \text{ cm}^{-2}$)	10
21	合成石英	SiNx	100	AIN	0.5 keV($3 \times 10^{16} \text{ cm}^{-2}$)	3
22	合成石英	SiNx	10	AIN	0.5 keV($3 \times 10^{16} \text{ cm}^{-2}$)	10
23	4H-SiC(0001)	SiNx	100	AIN	0.5 keV($3 \times 10^{16} \text{ cm}^{-2}$)	15
24	4H-SiC(0001)	SiNx	10	AIN	0.5 keV($3 \times 10^{16} \text{ cm}^{-2}$)	15

10

20

30

40

【 0 0 5 3 】

3. InNエピタキシャル基板(試料ID 25~35)

表面被覆率の結果を表3に示す。各比較例の試料(試料ID 30~35)の表面被覆率が14%以下であるのに対し、各実施例の試料(試料ID 25~29)の表面被覆率は77%以上と格段に高いことが確認された。つまり、上述したGaNエピタキシャル基板と同様に、InNエピタキシャル層の表面被覆率は、SiNx膜の膜厚や、下地基板の種類に依らず、InN層の深さ方向におけるIn濃度の均一性の影響を強く受けることが確認された。また、InNエピタキシャル層の表面被覆率は、上述したGaNエピタキシャル

50

基板と同様に、Inイオンのドーズ量にも依らなかった。実施例の試料（試料ID 25～29）は、複数の照射エネルギー条件を用いることで、深さ方向においてInの濃度の均一性に優れるInN層を有するため、InNエピタキシャル層の表面被覆率を向上することができたと考えられる。

【0054】

【表3】

試料ID	下地基板	窒化膜	厚さ (nm)	窒化物膜	イオン照射エネルギー(ドーズ量)	表面被覆率 (%)
25	Si(111)	SiNx	10	InN	0.5 keV($3 \times 10^{16} \text{ cm}^{-2}$), 2 keV($3 \times 10^{16} \text{ cm}^{-2}$), 5 keV($3 \times 10^{16} \text{ cm}^{-2}$)	81
26	合成石英	SiNx	10	InN	0.5 keV($3 \times 10^{16} \text{ cm}^{-2}$), 2 keV($3 \times 10^{16} \text{ cm}^{-2}$), 5 keV($3 \times 10^{16} \text{ cm}^{-2}$)	77
27	合成石英	SiNx (表面窒化)	5	InN	0.5 keV($3 \times 10^{16} \text{ cm}^{-2}$), 2 keV($3 \times 10^{16} \text{ cm}^{-2}$), 5 keV($9 \times 10^{16} \text{ cm}^{-2}$)	80
28	4H-SiC(0001)	SiNx	10	InN	0.5 keV($3 \times 10^{16} \text{ cm}^{-2}$), 2 keV($3 \times 10^{16} \text{ cm}^{-2}$), 5 keV($3 \times 10^{16} \text{ cm}^{-2}$)	88
29	4H-SiC(0001)	SiNx (表面窒化)	5	InN	0.5 keV($3 \times 10^{16} \text{ cm}^{-2}$), 2 keV($3 \times 10^{16} \text{ cm}^{-2}$), 5 keV($9 \times 10^{16} \text{ cm}^{-2}$)	90
30	Si(111)	SiNx	100	InN	0.5 keV($3 \times 10^{16} \text{ cm}^{-2}$)	3
31	Si(111)	SiNx	10	InN	0.5 keV($3 \times 10^{16} \text{ cm}^{-2}$)	9
32	合成石英	SiNx	100	InN	0.5 keV($3 \times 10^{16} \text{ cm}^{-2}$)	3
33	合成石英	SiNx	10	InN	0.5 keV($3 \times 10^{16} \text{ cm}^{-2}$)	9
34	4H-SiC(0001)	SiNx	100	InN	0.5 keV($3 \times 10^{16} \text{ cm}^{-2}$)	14
35	4H-SiC(0001)	SiNx	10	InN	0.5 keV($3 \times 10^{16} \text{ cm}^{-2}$)	14

【0055】

4. Al_{0.5}Ga_{0.5}Nエピタキシャル基板（試料ID 36～46）

表面被覆率の結果を表4に示す。各比較例の試料（試料ID 41～46）の表面被覆率が15%以下であるのに対し、各実施例の試料（試料ID 36～40）の表面被覆率は85%以上と格段に高いことが確認された。つまり、上述したGaNエピタキシャル基板と

10

20

30

40

50

同様に、 $Al_{0.5}Ga_{0.5}N$ エピタキシャル層の表面被覆率は、 SiN_x 膜の膜厚や、下地基板の種類に依らず、 $Al_{0.5}Ga_{0.5}N$ 層の深さ方向におけるAlおよびGa濃度の均一性の影響を強く受けることが確認された。また、 $Al_{0.5}Ga_{0.5}N$ エピタキシャル層の表面被覆率は、上述したGa_Nエピタキシャル基板と同様に、AlイオンおよびGaイオンの合計ドーズ量にも依らなかった。実施例の試料（試料ID36~40）は、複数の照射エネルギー条件を用いることで、深さ方向においてAlおよびGaの濃度の均一性に優れる $Al_{0.5}Ga_{0.5}N$ 層を有するため、 $Al_{0.5}Ga_{0.5}N$ エピタキシャル層の表面被覆率を向上することができたと考えられる。

【0056】

【 表 4 】

試料 ID	下地基板	窒化膜	厚さ(nm)	窒化物膜	イオン照射エネルギー(ドーズ量)	表面被覆率 (%)
36	Si(111)	SiNx	10	Al _{0.5} Ga _{0.5} N	0.5 keV(3 × 10 ¹⁶ cm ⁻²), 2 keV(3 × 10 ¹⁶ cm ⁻²), 5 keV(9 × 10 ¹⁶ cm ⁻²)	90
37	合成石英	SiNx	10	Al _{0.5} Ga _{0.5} N	0.5 keV(3 × 10 ¹⁶ cm ⁻²), 2 keV(3 × 10 ¹⁶ cm ⁻²), 5 keV(9 × 10 ¹⁶ cm ⁻²)	85
38	合成石英	SiNx (表面窒化)	5	Al _{0.5} Ga _{0.5} N	0.5 keV(3 × 10 ¹⁶ cm ⁻²), 2 keV(3 × 10 ¹⁶ cm ⁻²), 5 keV(9 × 10 ¹⁶ cm ⁻²)	88
39	4H-SiC(0001)	SiNx	10	Al _{0.5} Ga _{0.5} N	0.5 keV(3 × 10 ¹⁶ cm ⁻²), 2 keV(3 × 10 ¹⁶ cm ⁻²), 5 keV(9 × 10 ¹⁶ cm ⁻²)	97
40	4H-SiC(0001)	SiNx (表面窒化)	5	Al _{0.5} Ga _{0.5} N	0.5 keV(3 × 10 ¹⁶ cm ⁻²), 2 keV(3 × 10 ¹⁶ cm ⁻²), 5 keV(9 × 10 ¹⁶ cm ⁻²)	98
41	Si(111)	SiNx	100	Al _{0.5} Ga _{0.5} N	0.5 keV(3 × 10 ¹⁶ cm ⁻²)	3
42	Si(111)	SiNx	10	Al _{0.5} Ga _{0.5} N	0.5 keV(3 × 10 ¹⁶ cm ⁻²)	10
43	合成石英	SiNx	100	Al _{0.5} Ga _{0.5} N	0.5 keV(3 × 10 ¹⁶ cm ⁻²)	3
44	合成石英	SiNx	10	Al _{0.5} Ga _{0.5} N	0.5 keV(3 × 10 ¹⁶ cm ⁻²)	10
45	4H-SiC(0001)	SiNx	100	Al _{0.5} Ga _{0.5} N	0.5 keV(3 × 10 ¹⁶ cm ⁻²)	15
46	4H-SiC(0001)	SiNx	10	Al _{0.5} Ga _{0.5} N	0.5 keV(3 × 10 ¹⁶ cm ⁻²)	15

10

20

30

40

【 0 0 5 7 】

5. InGa_{0.5}Nエピタキシャル基板(試料ID47~57)

表面被覆率の結果を表5に示す。各比較例の試料(試料ID52~57)の表面被覆率が15%以下であるのに対し、各実施例の試料(試料ID47~51)の表面被覆率は85%以上と格段に高いことが確認された。つまり、上述したGa_{0.5}Nエピタキシャル基板と同様に、In_{0.5}Ga_{0.5}Nエピタキシャル層の表面被覆率は、SiNx膜の膜厚や、下地基板の種類に依らず、In_{0.5}Ga_{0.5}N層の深さ方向におけるInおよびGa濃度の均一性の影響を強く受けることが確認された。また、In_{0.5}Ga_{0.5}Nエ

50

ピタキシャル層の表面被覆率は、上述したGa_{0.5}Nエピタキシャル基板と同様に、In⁺イオンおよびGa⁺イオンの合計ドーズ量にも依らなかった。実施例の試料（試料ID 47～51）は、複数の照射エネルギー条件を用いることで、深さ方向においてInおよびGaの濃度の均一性に優れるIn_{0.5}Ga_{0.5}N層を有するため、In_{0.5}Ga_{0.5}Nエピタキシャル層の表面被覆率を向上することができたと考えられる。

【0058】

【表5】

試料ID	下地基板	窒化膜	厚さ(nm)	窒化物膜	イオン照射エネルギー(ドーズ量)	表面被覆率(%)
47	Si(111)	SiNx	10	In _{0.5} Ga _{0.5} N	0.5 keV(3 × 10 ¹⁶ cm ⁻²), 2 keV(3 × 10 ¹⁶ cm ⁻²), 5 keV(6 × 10 ¹⁶ cm ⁻²)	83
48	合成石英	SiNx	10	In _{0.5} Ga _{0.5} N	0.5 keV(3 × 10 ¹⁶ cm ⁻²), 2 keV(3 × 10 ¹⁶ cm ⁻²), 5 keV(6 × 10 ¹⁶ cm ⁻²)	79
49	合成石英	SiNx (表面窒化)	5	In _{0.5} Ga _{0.5} N	0.5 keV(3 × 10 ¹⁶ cm ⁻²), 2 keV(3 × 10 ¹⁶ cm ⁻²), 5 keV(9 × 10 ¹⁶ cm ⁻²)	82
50	4H-SiC(0001)	SiNx	10	In _{0.5} Ga _{0.5} N	0.5 keV(3 × 10 ¹⁶ cm ⁻²), 2 keV(3 × 10 ¹⁶ cm ⁻²), 5 keV(6 × 10 ¹⁶ cm ⁻²)	90
51	4H-SiC(0001)	SiNx (表面窒化)	5	In _{0.5} Ga _{0.5} N	0.5 keV(3 × 10 ¹⁶ cm ⁻²), 2 keV(3 × 10 ¹⁶ cm ⁻²), 5 keV(9 × 10 ¹⁶ cm ⁻²)	92
52	Si(111)	SiNx	100	In _{0.5} Ga _{0.5} N	0.5 keV(3 × 10 ¹⁶ cm ⁻²)	3
53	Si(111)	SiNx	10	In _{0.5} Ga _{0.5} N	0.5 keV(3 × 10 ¹⁶ cm ⁻²)	10
54	合成石英	SiNx	100	In _{0.5} Ga _{0.5} N	0.5 keV(3 × 10 ¹⁶ cm ⁻²)	3
55	合成石英	SiNx	10	In _{0.5} Ga _{0.5} N	0.5 keV(3 × 10 ¹⁶ cm ⁻²)	10
56	4H-SiC(0001)	SiNx	100	In _{0.5} Ga _{0.5} N	0.5 keV(3 × 10 ¹⁶ cm ⁻²)	14
57	4H-SiC(0001)	SiNx	10	In _{0.5} Ga _{0.5} N	0.5 keV(3 × 10 ¹⁶ cm ⁻²)	14

【0059】

10

20

30

40

50

以上のように本発明の実施の形態および実施例について説明を行なったが、上述の実施の形態および実施例を様々に変形することも可能である。また、本発明の範囲は上述の実施の形態および実施例に限定されるものではない。本発明の範囲は、特許請求の範囲によって示され、特許請求の範囲と均等の意味および範囲内でのすべての変更を含むことが意図される。

【産業上の利用可能性】

【0060】

この発明は、窒化物半導体をエピタキシャル成長するために用いる基板に有利に適用される。

【符号の説明】

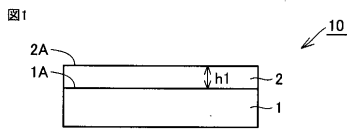
【0061】

- 1 下地基板
- 1A 第1の主面
- 2 窒化物半導体層
- 2A 第2の主面
- 3 窒化珪素膜
- 3A 第3の主面
- 4 窒化物半導体エピタキシャル層
- 10 窒化物半導体成長用基板
- 20 材料基板
- 30 窒化物半導体エピタキシャル基板。

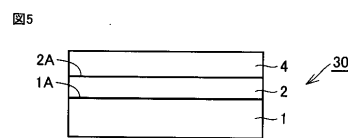
10

20

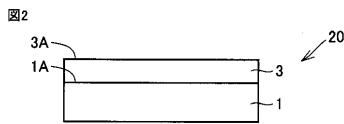
【図1】



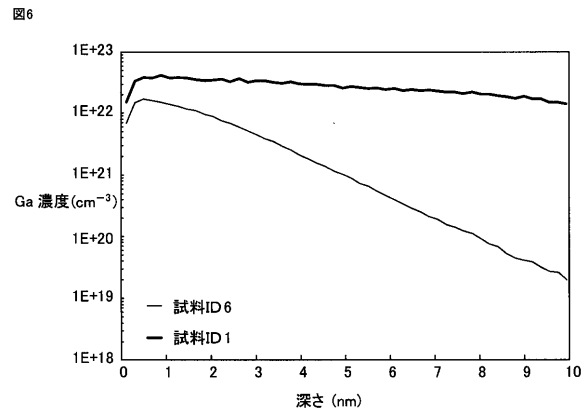
【図5】



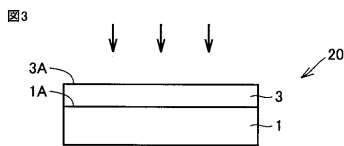
【図2】



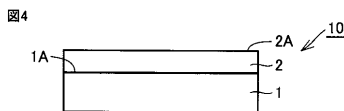
【図6】



【図3】



【図4】



フロントページの続き

(72)発明者 柳沢 淳一

滋賀県彦根市八坂町 2 5 0 0 公立大学法人滋賀県立大学内

Fターム(参考) 4G077 AA02 AA03 BE13 BE15 DB01 EE06 EE08 HA12 TC16 TK08
5F045 AA04 AB14 AF04 HA10
5F152 LL03 LL05 LL09 LL12 MM01 MM08 MM11 MM18 NN03 NN05
NN16 NP09 NQ09