

(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2010-34314

(P2010-34314A)

(43) 公開日 平成22年2月12日(2010.2.12)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
H O 1 L 33/32 (2010.01)	H O 1 L 33/00 C	5 F O 4 1
H O 1 S 5/343 (2006.01)	H O 1 S 5/343 6 1 O	5 F 1 7 3

審査請求 有 請求項の数 21 O L (全 22 頁)

(21) 出願番号	特願2008-195255 (P2008-195255)	(71) 出願人	000002130
(22) 出願日	平成20年7月29日 (2008.7.29)		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
		(74) 代理人	100088155
			弁理士 長谷川 芳樹
		(74) 代理人	100092657
			弁理士 寺崎 史朗
		(74) 代理人	100113435
			弁理士 黒木 義樹
		(74) 代理人	100108257
			弁理士 近藤 伊知良
		(72) 発明者	塩谷 陽平
			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

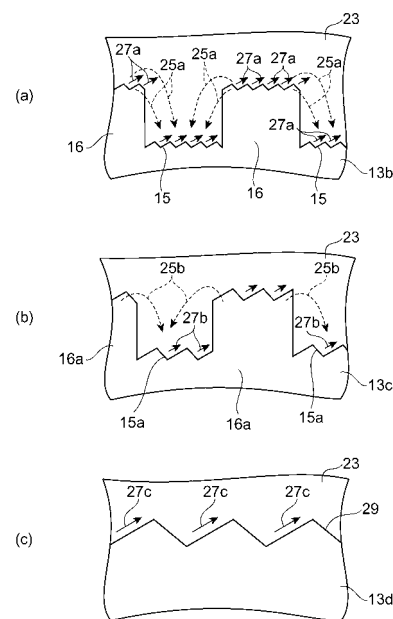
(54) 【発明の名称】 マクロステップを有する基板生産物を作製する方法、エピタキシャルウエハを作製する方法、及び窒化物系半導体発光素子を作製する方法

(57) 【要約】

【課題】半極性を示す窒化ガリウム表面に良好な結晶成長により、窒化物系半導体発光素子を作製する方法を提供する。

【解決手段】リソグラフィ及びエッチングにより、リッジ16及びトレンチ15を形成する。リッジ16及びトレンチ15をガリウム膜23で覆った後に、窒素雰囲気中で熱処理を行う。この熱処理中に、破線25aで示されるような原子のマイグレーションにより、リッジ16及びトレンチ15の形状が変形する、GaN膜表面のステップが成長して徐々に大きくなる。破線25bで示されるような原子の移動により、リッジ16aの高さが小さくなると共に、トレンチ15aの深さが浅くなる。GaN膜表面のステップが更に成長して大きくなる。リッジ16a及びトレンチ15aが消失して、再構築によりGaN膜表面が平坦化される。この結果、マクロステップ29がGaN膜13dの表面に形成される。

【選択図】図6



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

マクロステップを有する基板生産物を作製する方法であって、
窒化ガリウム領域の主面上に複数のトレンチを形成する工程と、
前記トレンチを形成した後に、前記窒化ガリウム領域上にガリウム膜を堆積する工程と

、
窒素を含む雰囲気中における第 1 の熱処理を前記窒化ガリウム領域及び前記ガリウム膜
に行う工程と、

前記第 1 の熱処理の後にガリウムを除去して、前記マクロステップを有する窒化ガリウ
ム表面を露出させる工程と

を備え、

前記ガリウム膜は前記トレンチ及び前記窒化ガリウム領域を覆っており、

前記窒化ガリウム領域の前記主面は半極性を示し、前記窒化ガリウム領域の前記主面の
法線は前記窒化ガリウム領域の c 軸に対して傾斜している、ことを特徴とする方法。

【請求項 2】

前記トレンチの間隔は、100nm 以上であり、1μm 以下である、ことを特徴とする
請求項 1 に記載された方法。

【請求項 3】

前記トレンチの深さは、50nm 以上であり、500nm 以下である、ことを特徴とす
る請求項 1 または請求項 2 に記載された方法。

【請求項 4】

前記ガリウム膜の厚さは、0.1μm 以上であり、1μm 以下である、ことを特徴とす
る請求項 1 ~ 請求項 3 のいずれか一項に記載された方法。

【請求項 5】

前記第 1 の熱処理の期間は 10 分以上である、ことを特徴とする請求項 1 ~ 請求項 4 の
いずれか一項に記載された方法。

【請求項 6】

前記第 1 の熱処理の温度は、摂氏 1000 度以上であり摂氏 1200 度以下である、こ
とを特徴とする請求項 1 ~ 請求項 5 のいずれか一項に記載された方法。

【請求項 7】

前記ガリウムの除去は、水素を含む雰囲気中における第 2 の熱処理によって行われる、
ことを特徴とする請求項 1 ~ 請求項 6 のいずれか一項に記載された方法。

【請求項 8】

前記第 2 の熱処理の温度は前記第 1 の熱処理の温度よりも高い、ことを特徴とする請求
項 7 に記載された方法。

【請求項 9】

前記トレンチを形成するに先立って、前記窒化ガリウム領域を基板上に成長する工程を
更に備える、ことを特徴とする請求項 1 ~ 請求項 8 のいずれか一項に記載された方法。

【請求項 10】

前記基板は GaN からなる、ことを特徴とする請求項 9 に記載された方法。

【請求項 11】

前記ガリウム膜の堆積、前記第 1 の熱処理、及び前記ガリウムの除去は、有機金属気相
成長炉で行われる、ことを特徴とする請求項 1 ~ 請求項 10 のいずれか一項に記載された
方法。

【請求項 12】

前記露出された窒化ガリウム表面上に、窒化ガリウム系半導体層を成長する工程を更に
備える、ことを特徴とする請求項 1 ~ 請求項 10 のいずれか一項に記載された方法。

【請求項 13】

前記窒化ガリウム系半導体層は $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ からなる、ことを特徴とする請求項
12 に記載された方法。

10

20

30

40

50

【請求項 14】

前記窒化ガリウム系半導体層の In 組成 X は 0.15 以上である、ことを特徴とする請求項 13 に記載された方法。

【請求項 15】

前記主面の法線と前記窒化ガリウム領域の前記 c 軸との成す角度は、10 度以上であり、50 度以下である、ことを特徴とする請求項 1～請求項 14 のいずれか一項に記載された方法。

【請求項 16】

前記窒化ガリウム領域の c 軸は、前記窒化ガリウム領域の前記主面の法線に対して前記窒化ガリウム領域の a 軸及び m 軸のいずれかの方向に傾斜している、ことを特徴とする請求項 1～請求項 15 のいずれか一項に記載された方法。

10

【請求項 17】

エピタキシャルウエハを作製する方法であって、

第 1 導電型の窒化ガリウム領域からなる半極性の主面を有する基板を準備する工程と、

前記主面上に複数のトレンチを形成する工程と、

前記トレンチを形成した後に、前記窒化ガリウム領域上にガリウム膜を堆積する工程と

、

窒素を含む雰囲気中における第 1 の熱処理を前記窒化ガリウム領域及び前記ガリウム膜に行う工程と、

前記第 1 の熱処理の後に余剰なガリウムを除去して、マクロステップを有する窒化ガリウム表面を露出させる工程と、

20

前記露出された窒化ガリウム表面上に活性層を成長する工程と、

第 2 導電型窒化ガリウム系半導体領域を前記活性層上に成長する工程とを備え、

前記活性層は、In を含む窒化ガリウム系半導体からなる井戸層を含み、

前記ガリウム膜は前記トレンチ及び前記窒化ガリウム領域を覆う、ことを特徴とする方法。

【請求項 18】

前記活性層のフォトルミネッセンススペクトルのピーク波長は、450 nm 以上であり、650 nm 以下である、ことを特徴とする請求項 17 に記載された方法。

30

【請求項 19】

窒化物系半導体発光素子を作製する方法であって、

第 1 導電型の窒化ガリウム領域の半極性の主面上に複数のトレンチを形成する工程と、

前記主面上に複数のトレンチを形成する工程と、

前記トレンチを形成した後に、前記窒化ガリウム領域上にガリウム膜を堆積する工程と

、

窒素を含む雰囲気中における第 1 の熱処理を前記窒化ガリウム領域及び前記ガリウム膜に行う工程と、

前記第 1 の熱処理の後に余剰なガリウムを除去して、マクロステップを有する窒化ガリウム表面を露出させる工程と、

40

前記露出された窒化ガリウム表面上に、活性層を成長する工程とを備え、

前記活性層は、In を含む窒化ガリウム系半導体からなる井戸層を含み、

前記ガリウム膜は前記トレンチ及び前記窒化ガリウム領域を覆う、ことを特徴とする方法。

【請求項 20】

第 2 導電型の窒化ガリウム系半導体領域を前記活性層上に成長する工程を更に備え、

前記井戸層は InGa_{1-x}N からなる、ことを特徴とする請求項 19 に記載された方法。

【請求項 21】

マクロステップを有する基板生産物を作製する方法であって、

50

窒化ガリウム領域の主面上に複数のトレンチを形成する工程と、

前記トレンチを形成した後に、ガリウム及び窒素を含む雰囲気中で熱処理を前記窒化ガリウム領域に行って、前記マクロステップを有する窒化ガリウム表面を形成する工程とを備え、

前記窒化ガリウム領域の前記主面の法線は、前記窒化ガリウム領域のc軸に対して傾斜している、ことを特徴とする方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、マクロステップを有する基板生産物を作製する方法、エピタキシャルウエハを作製する方法及び窒化物系半導体発光素子を作製する方法に関する。

10

【背景技術】

【0002】

特許文献1には、MOS型電界効果トランジスタ（以下、MOSFETと記す）およびMOSFETを製造する方法が記載されている。このMOSFETは、以下のように作製される。この方法は、SiC膜を形成する工程と、SiC膜の表面にSiを供給した状態で、SiC膜を熱処理する熱処理工程と、この熱処理工程によってSiC膜の表面に得られたファセットをチャンネルとする工程とを備える。上記のSiC膜の表面にはファセット形成層が設けられている。ファセット形成層におけるファセットの一周期の長さは100nm以上であり、ファセット形成層がチャンネルとして用いられる。

20

【特許文献1】特開2006-344942号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0003】

特許文献1では、SiC基板上にSiC膜を成長した後に、このSiC膜にファセット形成層を形成している。ファセット形成層は、ゲート絶縁膜の直下に位置しており、トランジスタのチャンネルとして働く。

【0004】

このIV族化合物のSiCに比べて、窒化ガリウム系半導体の結晶成長の機構は複雑である。特に、半極性面を有する窒化ガリウムウエハの表面では、表面のステップが非常にミクロであると共にステップ密度が高いため、テラス幅が狭い。これ故に、窒化ガリウム系半導体の構成元素（例えば、インジウム）がテラス表面に着いても、すぐに脱離してしまう。また、半極性面の結晶成長の機構は、c面への結晶成長の機構と異なっている。具体的には、半極性面の結晶成長では、ステップフロー成長により結晶が形成されるのではなく、結晶が島状に成長しているため、通常の成長条件では、結晶成長が進むにつれてテラス幅が大きくなっていくことはない。したがって、窒化ガリウム系半導体素子を作製する際に、所望の結晶成長を実現することは容易なことではない。

30

【0005】

特に、m面またはa面の方向にGaNのc面から傾斜した主面を有する基板上にInGaN系の発光層を成長する際には、インジウムの取り込みが大きくできず、意図した発光波長（フォトルミネッセンススペクトルにおけるピーク波長）を得るために、GaNのc面におけるInGaN系の発光層の成長に比べて、低い成長温度でInGaNを成長しなくてはならない。

40

【0006】

このような困難があるけれども、半極性面を有する窒化ガリウムウエハ上に半導体素子を作製することは、以下のような利点がある。窒化ガリウムの極性面に起因する極性の影響を緩和できると共に、a面やm面といった非極性面を有する窒化ガリウム基板よりも大口径のウエハを半導体素子の作製に利用できる。

【0007】

本発明は、このような事情を鑑みて為されたものである。本発明は、半極性を示す窒化

50

ガリウム表面に良好な結晶成長を可能する、マクロステップを有する基板生産物を作製する方法を提供することを目的とし、また、半極性を示す窒化ガリウム表面に良好な結晶成長により、エピタキシャルウエハを作製する方法を提供することを目的とし、さらに半極性を示す窒化ガリウム表面に良好な結晶成長により、窒化物系半導体発光素子を作製する方法を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0008】

本発明の一側面は、マクロステップを有する基板生産物を作製する方法である。この方法は、(a)窒化ガリウム領域の主面上に複数のトレンチを形成する工程と、(b)前記トレンチを形成した後に、前記窒化ガリウム領域上にガリウム膜を堆積する工程と、(c)窒素を含む雰囲気中における第1の熱処理を前記窒化ガリウム領域及び前記ガリウム膜に行う工程と、(d)前記第1の熱処理の後にガリウムを除去して、前記マクロステップを有する窒化ガリウム表面を露出させる工程とを備える。前記ガリウム膜は前記トレンチ及び前記窒化ガリウム領域を覆っており、前記窒化ガリウム領域の前記主面は半極性を示し、前記窒化ガリウム領域の前記主面の法線は前記窒化ガリウム領域のc軸に対して傾斜している。

10

【0009】

この方法によれば、窒化ガリウム領域及びトレンチ上にガリウム膜を堆積した後の第1の熱処理中に、窒化ガリウム領域とガリウム膜との界面が再構築される。この再構築により、トレンチによる段差の列からマクロステップが形成される。再構築の後に余剰なガリウムを除去して、窒化ガリウム表面を露出させる。この露出された窒化ガリウム表面には、引き続き結晶成長に好適なマクロステップが形成されている。窒化ガリウム領域における元の主面のいわゆる半極性面からマクロステップが形成可能になる。また、ガリウム膜によって窒化ガリウム表面が被覆された状態で、第1の熱処理が行われるので、窒化ガリウム表面からの窒素抜けが生じない。

20

【0010】

本発明に係る方法では、前記トレンチの間隔は100nm以上であることが好ましい。また、前記トレンチの間隔は1μm以下であることが好ましい。これらの間隔の範囲は、引き続き結晶成長に好適なマクロステップのピッチを提供する。100nm未満の間隔でトレンチを形成することは、リソグラフィに負担が大きい。1μmを越えるトレンチ間隔では、第1の熱処理によりトレンチを埋めることが難しい。

30

【0011】

本発明に係る方法では、前記トレンチの深さは50nm以上であることが好ましい。また、前記トレンチの深さは500nm以下であることが好ましい。50nm未満の深さでは、トレンチの形成の制御が難しい。500nmを越えるトレンチ深さでは、第1の熱処理によりトレンチを埋めることが難しい。

【0012】

本発明に係る方法では、前記ガリウム被覆膜の厚さは0.1μm以上であることが好ましい。また、前記ガリウム被覆膜の厚さは1μm以下であることが好ましい。これらの膜厚の範囲のガリウム膜によって、トレンチを埋め込むことができる。トレンチをガリウム膜で埋め込むことは、窒化ガリウム領域とガリウム膜との界面が再構築に好適である。

40

【0013】

本発明に係る方法では、前記第1の熱処理の期間は10分以上であることが好ましい。また、前記第1の熱処理の期間は1時間以下であることが好ましい。10分未満の熱処理では、大きなマクロステップを形成することが難しい。1時間を超える熱処理はスループットを低下させる。

【0014】

本発明に係る方法では、前記第1の熱処理の温度は摂氏1000度以上であることが好ましい。また、前記第1の熱処理の温度は摂氏1200度以下であることが好ましい。この温度の範囲では、Ga原子及びN原子のマイグレーションが可能であり、また、このマ

50

イグレーションによってトレンチが GaN で埋め込まれると共に、マクロステップが形成される。

【0015】

本発明に係る方法では、前記ガリウムの除去は、水素を含む雰囲気中における第2の熱処理によって行われることが好ましい。水素の添加が余剰な Ga 原子の除去に好適である。

【0016】

本発明に係る方法では、前記第2の熱処理の温度は前記第1の熱処理の温度よりも高いことが好ましい。高い温度により、ガリウム原子の蒸発が促進される。

【0017】

本発明に係る方法は、前記トレンチを形成するに先立って、前記窒化ガリウム領域を基板上に成長する工程を更に備えることができる。支持体としての基板上に、所望の特性を有する窒化ガリウム領域を成長できる。また、本発明に係る方法では、前記基板は窒化ガリウムからなることが好ましい。この方法の適用に、低欠陥且つ大口径の GaN 基板を使用できる。

【0018】

本発明に係る方法では、前記ガリウム膜の堆積、前記第1の熱処理、及び前記ガリウムの除去は、有機金属気相成長炉で行われることが好ましい。有機金属気相成長炉を用いることによって、上記の一連の処理を進める際に、個々の処理においてそれぞれ作製される生産物表面を大気に晒すことない。

【0019】

本発明に係る方法では、当該方法は、前記露出された窒化ガリウム表面上に、窒化ガリウム系半導体層を成長する工程を更に備えることができる。この方法によれば、この窒化ガリウム系半導体層はマクロステップ上に成長される。

【0020】

本発明に係る方法では、前記窒化ガリウム系半導体層は $In_xGa_{1-x}N$ からなることができる。この方法によるマクロステップによれば、半極性面における InGa_{1-x}N 成長においてインジウム原子の取り込みを促進できる。

【0021】

本発明に係る方法では、前記窒化ガリウム系半導体層の In 組成 X は 0.15 以上であることができる。このマクロステップによれば、半極性面にマクロステップを作製することなく直接に InGa_{1-x}N を成長することに比べて、InGa_{1-x}N 成長の際に成長温度を下げることなく In 組成を高めることができる。

【0022】

本発明に係る側面では、前記窒化ガリウム領域の c 軸は、前記窒化ガリウム領域の前記主面の法線に対して前記窒化ガリウム領域の a 軸及び m 軸のいずれかの方向に傾斜していることが好ましい。この方法によれば、マクロステップの配列を制御することが容易である。

【0023】

本発明に係る方法では、前記主面の法線と前記窒化ガリウム領域の前記 c 軸との成す角度は、10度以上であり、50度以下であることができる。この角度範囲の主面では、マクロなステップが設けられていないとき In 取り込みが悪い。しかしながら、本発明では、m 軸方向の傾斜であれば、基板主面が c 面と (10 - 11) 面とからなるマクロなステップで構成され、また a 軸方向の傾斜であれば、基板主面が c 面と (11 - 22) 面とからなるマクロなステップで構成される。故に、上記の角度範囲においても、In 取り込みが改善される。

【0024】

本発明の別の側面は、エピタキシャルウエハを作製する方法である。この方法は、(a) 第1導電型の窒化ガリウム領域からなる半極性の主面を有する基板を準備する工程と、(b) 前記主面上に複数のトレンチを形成する工程と、(c) 前記トレンチを形成した後

10

20

30

40

50

に、前記窒化ガリウム領域上にガリウム膜を堆積する工程と、(d)窒素を含む雰囲気中における第1の熱処理を前記窒化ガリウム領域及び前記ガリウム膜に行う工程と、(d)前記第1の熱処理の後に余剰なガリウムを除去して、マクロステップを有する窒化ガリウム表面を露出させる工程と、(e)前記露出された窒化ガリウム表面上に、活性層を成長する工程と、(f)第2導電型窒化ガリウム系半導体領域を前記活性層上に成長する工程とを備える。前記活性層は、Inを含む窒化ガリウム系半導体からなる井戸層を含み、前記ガリウム膜は前記トレンチ及び前記窒化ガリウム領域を覆う。

【0025】

本発明に係る別の側面によれば、窒化ガリウム領域及びトレンチ上にガリウム膜を堆積した後の第1の熱処理によって、窒化ガリウム領域とガリウム膜との界面が再構築される。この再構築により、トレンチによる段差の列からマクロステップが形成される。再構築の後に余剰なガリウムを除去して、窒化ガリウム表面を露出させる。この露出された窒化ガリウム表面には、引き続き結晶成長に好適なマクロステップが形成されている。窒化ガリウム領域の主面はいわゆる半極性を示すけれども、マクロステップ上に窒化ガリウム系半導体の堆積が可能になる。また、ガリウム膜によって窒化ガリウム表面が被覆された状態で第1の熱処理が行われるので、窒化ガリウム表面からの窒素抜けが生じない。さらに、マクロステップを有する窒化ガリウム表面上に、Inを含む窒化ガリウム系半導体からなる井戸層を含む活性層を成長できる。

10

【0026】

本発明の更なる別の側面は、窒化物系半導体発光素子を作製する方法である。この方法は、(a)第1導電型の窒化ガリウム領域の半極性の主面上に複数のトレンチを形成する工程と、(b)前記主面上に複数のトレンチを形成する工程と、(c)前記トレンチを形成した後に、前記窒化ガリウム領域上にガリウム膜を堆積する工程と、(d)窒素を含む雰囲気中における第1の熱処理を前記窒化ガリウム領域及び前記ガリウム膜に行う工程と、(e)前記第1の熱処理の後に余剰なガリウムを除去して、前記マクロステップを有する窒化ガリウム表面を露出させる工程と、(f)前記露出された窒化ガリウム表面上に、活性層を成長する工程とを備えることができる。前記活性層は、Inを含む窒化ガリウム系半導体からなる井戸層を含み、前記ガリウム膜は前記トレンチ及び前記窒化ガリウム領域を覆う。

20

【0027】

本発明に係る更なる別の側面によれば、窒化ガリウム領域及びトレンチ上にガリウム膜を堆積した後の第1の熱処理によって、窒化ガリウム領域とガリウム膜との界面が再構築される。この再構築により、トレンチによる段差の列からマクロステップが形成される。再構築の後に余剰なガリウムを除去して、窒化ガリウム表面を露出させる。この露出された窒化ガリウム表面には、引き続き結晶成長に好適なマクロステップが形成されている。窒化ガリウム領域の主面はいわゆる半極性を示すけれども、マクロステップ上に窒化ガリウム系半導体の堆積が可能になる。また、ガリウム膜により窒化ガリウム表面が被覆された状態で、第1の熱処理が行われるので、窒化ガリウム表面からの窒素抜けが生じない。さらに、マクロステップを有する窒化ガリウム表面上に、Inを含む窒化ガリウム系半導体からなる井戸層を含む活性層を成長できる。

30

40

【0028】

本発明に係る別の側面に係る方法は、第2導電型窒化ガリウム系半導体領域を前記活性層上に成長する工程を更に備えることができる。前記井戸層はInGa_{1-x}Nからなる。

【0029】

この方法によれば、半極性面にマクロステップを作製することなくInGa_{1-x}Nを成長することに比べてInGa_{1-x}N成長の際の成長温度を下げることなくIn組成を高めることができる。これ故に、InGa_{1-x}Nの結晶品質が良好になる。また、第2導電型窒化ガリウム系半導体領域の成長中に、InGa_{1-x}Nの結晶品質劣化することを低減できる。

【0030】

本発明に係る上記の方法では、前記活性層の発光スペクトルのピーク波長は、450nm

50

m以上であり、650nm以下であることが好ましい。この方法によれば、上記の波長範囲のPL波長を示す活性層を含むエピタキシャルウエハを作製できる。

【0031】

本発明のまた更なる側面は、マクロステップを有する基板生産物を作製する方法である。この方法は、(a)窒化ガリウム領域の主面上に複数のトレンチを形成する工程と、(b)前記トレンチを形成した後に、ガリウム及び窒素を含む雰囲気中で第1の熱処理を前記窒化ガリウム領域に行って、前記マクロステップを有する窒化ガリウム表面を形成する工程とを備える。前記窒化ガリウム領域の前記主面の法線は、前記窒化ガリウム領域のc軸に対して傾斜している。

【0032】

この方法によれば、トレンチを含む窒化ガリウム領域を、ガリウム及び窒素を含む雰囲気中で熱処理することによって、窒化ガリウム領域の表面が再構築される。この再構築により、トレンチによる段差の列からマクロステップが形成される。再構築された窒化ガリウム表面には、引き続き結晶成長に好適なマクロステップが形成されている。窒化ガリウム領域の元の主面のいわゆる半極性面から形成されたマクロステップ上に、窒化ガリウム系半導体の堆積が可能になる。

【0033】

本発明の上記の目的および他の目的、特徴、並びに利点は、添付図面を参照して進められる本発明の好適な実施の形態の以下の詳細な記述から、より容易に明らかになる。

【発明の効果】

【0034】

以上説明したように、本発明の一側面によれば、半極性を示す窒化ガリウム表面に良好な結晶成長を可能する、マクロステップを有する基板生産物を作製する方法が提供される。また、本発明に係る別の側面によれば、半極性を示す窒化ガリウム表面に良好な結晶成長により、エピタキシャルウエハを作製する方法が提供される。さらに、本発明の更なる別の側面によれば、半極性を示す窒化ガリウム表面に良好な結晶成長により、窒化物系半導体発光素子を作製する方法が提供される。

【発明を実施するための最良の形態】

【0035】

本発明の知見は、例示として示された添付図面を参照して以下の詳細な記述を考慮することによって容易に理解できる。引き続き、添付図面を参照しながら、本発明のマクロステップを有する基板生産物を作製する方法、エピタキシャルウエハを作製する方法、及び窒化物系半導体発光素子を作製する方法に係る実施の形態を説明する。可能な場合には、同一の部分には同一の符号を付する。

【0036】

図1及び図2は、本実施の形態に係る作製方法の主要な工程を示す図面である。作製方法としては、マクロステップを有する基板生産物を作製する方法、エピタキシャルウエハを作製する方法、及び窒化物系半導体発光素子を作製する方法がある。図1及び図2には、工程フロー100が示されている。

【0037】

工程S101では、窒化ガリウム(GaN)ウエハを準備する。GaNウエハは、半極性を示す主面を有する。好ましくは、GaNウエハは、n導電性を示す。GaNウエハのエッジ上の2点の距離の最大値は、例えば45mm以上であることが好ましく、例えば2インチウエハがこれに該当する。図3(a)を参照すると、GaNウエハ11が示されている。主面11aの法線ベクトル V_N とGaNウエハ11の結晶体のc軸ベクトル V_C とは互いに異なる方向を向く。法線ベクトル V_N とc軸ベクトル V_C との成す角度は、10度以上であり、50度以下であることができる。マクロステップが設けられていないとき、この角度範囲の主面においてIn取り込みの改善が望まれている。本実施例では、傾斜がm軸方向であれば、基板主面11aがc面と(10-11)面とからなるマクロステップで構成される。傾斜がa軸方向であれば、基板主面11aがc面と(11-22)面か

10

20

30

40

50

らなるマクロステップで構成される。故に、本実施の形態によれば、何れの傾斜でも、上記の角度範囲においてIn取り込みが改善される。また、GaNウエハ11のc軸は、主面11aの法線に対してGaNウエハ11のa軸及びm軸のいずれかの方向に傾斜していることが好ましい。この方法によれば、マクロステップの配列を制御することが容易である。具体的には、a軸傾斜であるとき、c面と(11-22)面とからなるステップの配列を制御できる。m軸傾斜であるとき、c面と(10-11)面とからなるステップの配列を制御できる。

【0038】

工程S102では、GaNウエハのサーマルクリーニングを行う。この熱処理は、これに続けて結晶成長を連続的に行うために有機金属気相成長炉10aで行うことが好ましい。熱処理の雰囲気G0は、例えばアンモニア(NH₃)及び水素(H₂)を含むことが好ましい。熱処理の温度は例えば摂氏1100度であり、熱処理の時間は例えば10分程度である。

【0039】

工程S103では、図3(b)に示されるように、成長炉10aを用いてGaNウエハ11の主面11a上に窒化ガリウム領域13を成長して、エピタキシャルウエハE1を形成する。既に説明したように、この成長のために、成長炉10aに原料ガス(例えばトリメチルガリウム及びアンモニアを含むガス)G1が供給される。GaNウエハ11上に、窒化ガリウム領域13がホモエピタキシャル成長される。故に、GaNウエハ11のc軸の方向は、窒化ガリウム領域13の結晶体のc軸に引き継がれる。成長温度は例えば摂氏1150度であり、膜厚は例えば5マイクロメートルである。窒化ガリウム領域13の厚さT_{GaN}は、例えば1マイクロメートル以上5マイクロメートル以下であることができる。好ましくは、窒化ガリウム領域13には、n導電性を示すように、n型ドーパント(例えば、シリコン)が添加される。

【0040】

工程S104では、窒化ガリウム領域13の主面13a上に複数のトレンチ15を形成する。本実施例では、トレンチ15は所定の方向に延びる溝である。c軸がa軸の方向に傾斜しているGaNウエハでは、トレンチ15の延在方向は、m軸の方向であることが好ましい。また、c軸がm軸の方向に傾斜しているGaNウエハでは、トレンチ15の延在方向は、a軸の方向であることが好ましい。この工程では、図3(c)に示されるように、基板生産物P1が作製される。

【0041】

トレンチ15は、例えば以下のように形成される。GaNウエハ11の主面11a上に成長された窒化ガリウム膜13の表面13aには、図4(a)に示されるように、ミクロステップ17が形成されている。ミクロステップ17のステップ幅は、例えば1nm~10nm程度であり、非常に小さい。工程S104-1では、図4(b)に示されるように、エピタキシャルウエハE1の表面(窒化ガリウム膜13の主面13a)上に、マスク19を形成する。マスク19は、例えばレジストマスクであることができ、リソグラフィを用いて作製可能である。エピタキシャルウエハE1をエッチング装置10cに配置する。工程S104-2では、図4(c)に示されるように、マスク19及びエッチャント21を用いて窒化ガリウム膜13をエッチングする。この結果、マスク19のパターンが窒化ガリウム膜13に転写されて、窒化ガリウム膜13bが形成される。エッチングは、例えば塩素Cl₂ガスを用いたドライエッチングにより行われる。エッチングの終了後に、工程S104-3においてマスク19を除去する。このエッチングにより、図4(d)に示されるように、窒化ガリウム膜13bの主面に複数のトレンチ15が形成される。本実施例では、トレンチ15の各々は、窒化ガリウム膜13bの縁上の一点から他点に延びている。トレンチ15の溝は、例えば底面及び側面により規定される。これらの底面及び側面は窒化ガリウムからなる。トレンチ15のピッチT_pは例えば500nm程度であり、トレンチ15の深さT_dは例えば100nm程度である。溝の間隔T_iは500nm程度である。トレンチ15の間隔T_i、深さT_d、ピッチT_pは、図4(d)に示されるように

10

20

30

40

50

規定される。

【0042】

工程S105では、図5(a)に示されるように、トレンチ15を形成した後に、窒化ガリウム領域13b上にガリウム膜23を堆積する。ガリウム膜23は、窒化ガリウム膜13b及びトレンチ15を覆っている。ガリウム23の堆積は、例えば成長炉10aを用いて行うことができる。Ga被覆の形成のために、ガリウム原料及び水素を含む原料ガスG2が成長炉10aに供給される。ガリウム原料としては、例えば有機ガリウム原料を用いることができ、具体的にはトリメチルガリウムが例示される。ガリウム膜23の成長温度は例えば摂氏500度あることができ、その厚さは例えば500nm程度である。この工程では、基板生産物P2が作製される。

10

【0043】

工程S106では、図5(b)に示されるように、温度T1で第1の熱処理を窒化ガリウム領域13b及びガリウム膜23に行う。第1の熱処理は、窒素を含む雰囲気中で行われ、このため、成長炉10aにガスG3が供給される。ガスG3は、例えば窒素ガス及び/又はガリウム原料ガス等を含むことができる。

【0044】

図6は、第1の熱処理における、窒化ガリウム膜の表面の改質を模式的に示す図面である。工程S105では、窒化ガリウム膜13bの表面のトレンチ15及びリッジ16がガリウム堆積物23で覆われている。この熱処理によって、窒化ガリウム膜13bの表面とガリウム堆積物23との界面においてガリウム原子及び窒素原子のマイグレーションを引き起こす。ガリウム溶融物によって窒化ガリウム13bの表面が被覆された状態で第1の熱処理が行われるので、窒化ガリウム表面からの窒素抜けが生じない。

20

【0045】

第1の熱処理の序盤では、図6(a)において破線25aで示されるような原子のマイグレーションにより、リッジ16及びトレンチ15の形状が変形する。また、矢印27aで示されるように、窒化ガリウム膜の表面のステップが成長して徐々に大きくなる。

【0046】

第1の熱処理の中盤では、上記の原子マイグレーションが引き続き生じている。図6(b)において破線25bで示されるような原子の移動により、リッジ16aの形状が変形してその高さが小さくなると共に、トレンチ15aの形状が変形してその深さが浅くなる。また、矢印27bで示されるように、窒化ガリウム膜の表面のステップが更に成長して大きくなる。

30

【0047】

第1の熱処理の終盤でも上記のマイグレーションは引き続き生じている。最終的に、図6(c)においてリッジ16a及びトレンチ15aの形状は消失して、窒化ガリウム膜13dの表面が平坦化される。また、矢印27cで示されるように、窒化ガリウム膜の表面とガリウム堆積物との界面においてステップが成長して、この結果、マクロステップ29が窒化ガリウム膜13dの表面に形成されている。

【0048】

10分未満の熱処理では、大きなマクロステップを形成することが難しいので、第1の熱処理の期間は10分以上であることが好ましい。また、1時間を超える熱処理はスループットを低下させるので、第1の熱処理の期間は1時間以下であることが好ましい。

40

【0049】

第1の熱処理の温度T1は摂氏1000度以上であることが好ましく、1000度以下では十分なマイグレーションが起きず、マクロステップの形成が難しいからである。また、第1の熱処理の温度T1は摂氏1200度以下であることが好ましく、1200度以上ではGa膜が蒸発してしまい、さらに窒化ガリウム膜の表面もエッチングが進んでしまうからである。この温度の範囲は、Ga-N結晶体とGa溶融物との界面において原子のマイグレーションが可能であり、また、このマイグレーションによってトレンチがGa-Nで埋め込まれると共に、マクロステップ29が形成される。

50

【 0 0 5 0 】

工程 S 1 0 7 では、第 1 の熱処理の後に余剰なガリウムを除去して、マクロステップ 2 9 を有する窒化ガリウム表面を露出させる。図 5 (c) に示されるように、余剰ガリウムの除去のために、例えば成長炉 1 0 a に処理ガス G 4 を供給して、このガス雰囲気中で第 2 の熱処理を行うことが好ましい。この熱処理中に、余剰なガリウムが蒸発して G a N 表面を露出させる。具体的には、処理ガス G 4 は、例えば水素を含むことが好ましく。成長炉 1 0 a への水素の供給によって、余剰な G a 原子が効率的に除去される。第 2 の熱処理の温度 T 2 は摂氏 1 2 0 0 度以上であることが好ましく、1 2 0 0 度以下であると G a 原子の除去が効率的に進まない。また、第 2 の熱処理の温度 T 2 は摂氏 1 3 0 0 度以下であることが好ましく、1 3 0 0 度以上の温度は、ヒーターの負担が大きく、故障の原因にもなりうる。また 1 3 0 0 度以上では G a 蒸発が急激に進み、基板表面が荒れてしまうことがある。例えば、第 2 の熱処理の温度 T 2 は第 1 の熱処理の温度 T 1 よりも高いことが好ましい。高い温度により、ガリウム原子の蒸発が促進される。この工程によって、マクロステップを有する基板生産物 P 3 が作製される。

10

【 0 0 5 1 】

この基板生産物を作製する方法によれば、窒化ガリウム領域 1 3 a 及びトレンチ 1 3 上にガリウム膜 2 3 を堆積した後の第 1 の熱処理によって、窒化ガリウム領域 1 3 b とガリウム膜 2 3 との界面が再構築される。この再構築により、トレンチ 1 5 による段差の列からマクロステップ 2 9 が形成される。再構築の後に余剰なガリウムを除去して、窒化ガリウム膜 1 3 d の表面を露出させる。この露出された窒化ガリウム表面には、引き続き結晶成長に好適なマクロステップ 2 9 が形成されている。窒化ガリウム領域 1 3 の主面 1 3 a はいわゆる半極性を示すけれども、再構築及び改質によって形成されたマクロステップ 2 9 上に窒化ガリウム系半導体の堆積が可能になる。

20

【 0 0 5 2 】

トレンチ 1 5 の間隔 T_I は 1 0 0 n m 以上であることが好ましい。1 0 0 n m 未満の間隔にトレンチ 1 5 を形成することは、リソグラフィに負担が大きい。また、トレンチ 1 5 の間隔 T_I は 1 μ m 以下であることが好ましい。1 μ m を越えるトレンチ間隔 T_I では、第 1 の熱処理によりトレンチ 1 5 を埋めて消失させることが難しい。上記の範囲では、引き続き結晶成長に好適なマクロステップのピッチが提供され。

【 0 0 5 3 】

トレンチ 1 5 の深さ T_D は 5 0 n m 以上であることが好ましい。5 0 n m 未満の深さでは、トレンチ 1 5 の形成の制御が難しい。また、トレンチ 1 5 の深さ T_D は 5 0 0 n m 以下であることが好ましい。5 0 0 n m を越えるトレンチ深さでは、第 1 の熱処理によりトレンチを埋めることが難しい。この範囲では、引き続き結晶成長に好適なマクロステップのピッチが提供される。

30

【 0 0 5 4 】

トレンチ 1 5 のピッチ T_P は 2 0 0 n m 以上であることが好ましい。この値未満のピッチでは、リソグラフィの制御が困難である。また、トレンチ 1 5 のピッチ T_P は 2 μ m 以下であることが好ましい。この値を越えるトレンチのピッチでは、溝間隔が大きくなりすぎてしまい、トレンチ形成によるエッジの存在によって起こる効率的なステップバンチングが起きなくなるからである。このピッチ T_P の範囲では、引き続き結晶成長に好適なマクロステップのピッチが提供される。

40

【 0 0 5 5 】

トレンチ 1 5 の溝幅 T_W は 1 0 0 n m 以上であることが好ましい。この値未満のピッチでは、リソグラフィの制御が困難である。また、トレンチ 1 5 の溝幅 T_W は 2 μ m 以下であることが好ましい。この値を越えるトレンチ溝幅では、溝幅が大きくなりすぎてしまい、トレンチ形成によるエッジの存在によって起こる効率的なステップバンチングが起きなくなるからである。この溝幅 T_W の範囲では、引き続き結晶成長に好適なマクロステップのピッチが提供される。

【 0 0 5 6 】

50

ガリウム被覆膜 23 の厚さ T_{Ga} は $0.1 \mu m$ 以上であることが好ましく、これ以下ではトレンチを Ga 膜によって十分覆うことができないからである。また、ガリウム被覆膜 23 の厚さ T_{Ga} は $1 \mu m$ 以下であることが好ましく、厚さ $1 \mu m$ の膜で十分に被覆膜として使用可能であり、それ以上の厚みを形成しても、原料の使用量や、成長時間がかさむのみで生産的でないからである。ガリウム堆積物は第 2 の熱処理において溶解して、Ga N 表面を露出させることがなく Ga N 表面全体を覆う。これらの膜厚の範囲のガリウム膜によって、トレンチ 15 を埋め込むと共に熱処理によりトレンチ 15 b を消失させることができる。トレンチ 15 をガリウム膜で埋め込んで Ga N 表面を覆うので、窒素抜けを確実に防止でき、また Ga N 表面を保護できる。故に、窒化ガリウム領域とガリウム膜との界面が再構築に好適である。

10

【0057】

既に説明したように、ガリウム 23 膜の堆積、第 1 の熱処理、及び余剰なガリウムの除去は、有機金属気相成長炉 10 a で行われることが好ましい。有機金属気相成長炉 10 a を用いることによって、上記の一連の処理を進める際に、上記の処理においてそれぞれ提供される生産物表面を大気に晒すことない。

【0058】

必要な場合には、工程 S 108 において、窒化ガリウム膜 13 d 上に、窒化ガリウム系半導体膜 31 を成長する。本実施例では、例えば $In_z Ga_{1-z} N$ 緩衝層を成長する。 $In_z Ga_{1-z} N$ 緩衝層のインジウム組成は井戸層のインジウム組成よりも小さく、例えば $z = 0.02$ である。成長温度は例えば摂氏 850 度であり、その厚さは $100 nm$ 程度である。 $In_z Ga_{1-z} N$ 緩衝層にマクロステップが引き継がれて、 $In_z Ga_{1-z} N$ 緩衝層の表面にもマクロステップが形成される。井戸層における In 組成に関連するが、 $In_z Ga_{1-z} N$ 緩衝層の In 組成としては、例えば 2% 以上であり、また 10% 以下であることができる。

20

【0059】

工程 S 109 では、図 7 (b) に示されるように、活性層 33 を窒化ガリウム領域 13 d 上に成長する。活性層 33 は量子井戸構造を有することができる。活性層 33 の成長において、障壁層及び井戸層にマクロステップが引き継がれて、障壁層及び井戸層の表面にもそれぞれマクロステップが形成される。工程 S 109 - 1 において、窒化ガリウム系半導体 (例えば $In_x Ga_{1-x} N$ 、 $x = 0$ 、又は $0 < x < 1$) からなる障壁層 35 a を成長する。障壁層 35 a としては、例えば Ga N または $In Ga N$ 等を用いることができる。障壁層 35 a の厚さは例えば $15 nm$ である。次いで、障壁層 35 a の成長のための基板温度 T_B よりも低い基板温度 T_W に変更する。この基板温度 T_W は例えば摂氏 750 度であることができる。温度変更の後に、工程 S 109 - 2 において、 $In_y Ga_{1-y} N$ からなる井戸層 37 a を成長する。井戸層 37 a のインジウム組成は例えば 0.30 であることができる。井戸層 37 a の厚さは例えば $4 nm$ である。工程 S 109 - 3 において、窒化ガリウム系半導体からなる障壁層 35 b を成長する。障壁層 35 b は、例えば障壁層 35 b の成長と同様に行われる。工程 S 109 - 4 では、井戸層 37 b ~ 37 c 及び障壁層 37 c ~ 37 d を交互に成長して、多重量子井戸構造 39 を形成する。

30

【0060】

活性層のフォトルミネッセンス (PL) スペクトルのピーク波長は、 $450 nm$ 以上であり、 $650 nm$ 以下であることができる。この方法によれば、様々な PL 波長の活性層を含むエピタキシャルウエハを作製できる。好適には、本実施の形態において特に、 $500 nm$ 以上 $550 nm$ 以下の波長領域、いわゆる長波長領域に PL ピーク波長及び EL ピーク波長が観測されるエピタキシャルウエハ及び半導体発光素子を作製できる。

40

【0061】

図 8 を参照しながら、マクロステップ上への $In Ga N$ 成長を説明する。マクロステップは、図 8 (a) に示されるように、主要な 2 つの面 S 1、S 2 を有する。本実施の形態における c 軸の傾斜角の範囲では、マクロステップの大きいテラス幅の面 S 1 は実質的な c 面であり、他方の面 S 2 は、例えば (10 - 11) 面、(11 - 22) 面等のファセッ

50

ト面である。故に、マクロステップ上の InGaN の In 組成を高めることができる。 Ga アニールによってマクロステップを形成することによって、半極性を示すオフ角ウエハ上の InGaN 成長においても c 面と同程度まで In の取り込みを向上できる。したがって、マクロステップ上には、高 In 組成の InGaN 膜を成長できる。井戸層のための InGaN の In 組成としては、例えば 0.15 以上であり、また 0.40 以下であることができる。これによって、 $450\text{ nm} \sim 650\text{ nm}$ といった範囲の長波長の発光が可能になる。この In 組成の範囲において、 InGaN の成長温度としては、例えば摂氏 700 度以上であり、また摂氏 800 度以下であることができる。また、井戸層のための InGaN 膜の厚さは、例えば 1 nm 以上であり、 10 nm 以下であることができる。

【0062】

マクロステップ無しの表面への In の取り込み量に比べて、マクロステップの In の取り込み量が増大する。このマクロステップの利用により、大きな In 組成の InGaN 層を成長できるので、長い発光波長の発光素子を提供できる。また、同じ In 組成の InGaN 膜の成長に際して、この InGaN 膜をマクロステップ無しの表面に成長するための基板温度よりも、該 InGaN 膜をマクロステップ表面に成長するための基板温度を高くできる。故に、この InGaN 膜は、マクロステップ表面上に成長されたので、その結晶品質は良好になる。

【0063】

活性層を成長した後に、工程 $S110$ において、図 7 (c) に示されるように、第 2 導電型窒化ガリウム半導体領域 41 を成長する。まず、最後の障壁層を成長した後に、基板温度を上昇する。p 型電子ブロック層 43 を成長する。p 型電子ブロック層 43 の厚さは例えば 20 nm 程度である。電子ブロック層 43 は例えば Mg 添加の p 型 $\text{Al}_{0.12}\text{Ga}_{0.88}\text{N}$ からなり、例えば摂氏 1150 度の基板温度で成長される。次いで、電子ブロック層 43 上にコンタクト層 45 を成長する。コンタクト層 45 の厚さは例えば 50 nm 程度である。コンタクト層 45 は例えば Mg 添加の p 型 GaN からなり、例えば摂氏 1150 度の基板温度で成長される。これらの工程の結果、エピタキシャルウエハ $E2$ が作製される。

【0064】

工程 $S111$ において、コンタクト層 45 上にアノード電極 47 を形成すると共に、基板裏面を研削して GaN 基板 11a を作製した後に、 GaN 基板 11a の裏面にカソード電極 49 を形成する。図 9 は、上記の工程によって作製された発光ダイオード (LED) といった窒化ガリウム系半導体発光素子の構造を模式的に示す図面である。

【0065】

(実施例)

有機金属気相成長法により窒化ガリウム基板上にエピタキシャル成長を行った。原料には、トリメチルガリウム (TMG)、トリメチルアルミニウム (TMA)、トリメチルインジウム (TMI)、アンモニア (NH_3)、シラン (SiH_4)、ビスシクロペンタジエニルマグネシウム (Cp_2Mg) を用いた。

【0066】

GaN 基板の準備：

c 面から a 面方向あるいは m 面方向に 10 度 ~ 50 度の角度で傾斜した主面を有する 2 インチ窒化ガリウムウエハを用意した。

【0067】

ホモエピタキシャル成長：

このウエハを反応炉にロードした後に、摂氏 1100 度の基板温度、 27 kPa の炉内圧力で、反応炉に NH_3 と H_2 を供給しながら、 10 分間程度の熱処理を GaN ウエハに施した。その後に、摂氏 1150 度の基板温度で Si ドープの GaN 層を成長した。その厚さは $5\text{ }\mu\text{m}$ であり、 Si の濃度は例えば $3 \times 10^{18}\text{ cm}^{-3}$ 程度であった。その後に、成長炉の温度を室温まで下げて、基板生産物を成長炉から取り出した。この基板生産物のエピタキシャル膜表面の RHEED 測定を行った。図 10 に示されるように、 $<11-2$

10

20

30

40

50

0 > 軸及び < 1 - 1 0 0 > 軸からの R H E E D 電子線の入射方向に関して、基板主面の傾斜角 1 8 度及び 2 8 度の G a N ウエハ上のエピタキシャル膜の表面には、数 n m 程度のステップ幅 a、b の微細なマイクロステップ構造（格子定数の 7 ~ 1 0 倍の周期）が形成されていた。一方、実質的な c 面である傾斜角 0 . 3 度の G a N ウエハ上のエピタキシャル膜の表面には、マイクロステップ構造は観察されなかった。

【 0 0 6 8 】

トレンチ形成

続いて、ホモエピタキシャル成長の後に、エピタキシャル膜にオフ角方向に交差する方向、例えば直交する方向に延びるトレンチのためのレジストマスクを形成した。このレジストマスクのパターンは、オフ角方向に配列されたストライプ状の複数の開口を有する。開口の配列の周期は、例えば 5 0 0 n m 周期であり、開口の幅は 2 5 0 n m であった。このレジストマスクを用いて、n 型 G a N 層のエッチングを行った。エッチングの深さは、例えば 1 0 0 n m 程度である。このエッチングの後に、レジストマスクを除去した。これらの工程により作製された基板生産物は、エピタキシャル表面に、所定の間隔及び所定の深さのストライプ状の溝を有する。

【 0 0 6 9 】

G a アニール：

上記基板生産物を反応炉に設置した後に、摂氏 5 0 0 度に成長炉内温度を上げる。T M G と H₂ を反応炉に供給して、n 型 G a N 層を覆うように、G a からなる被覆膜を形成した。被覆膜の厚さは、トレンチが埋まるように、例えば 5 0 0 n m であった。次いで、成長炉の温度を摂氏 1 1 5 0 度に上昇した後に、N₂ を副場ガスを成長炉に供給しながら 3 0 分間の熱処理を行った。この結果、n 型 G a N 層の表面が再構築され、複数のトレンチが消失すると共に複数のマクロステップが形成された。窒素雰囲気中の熱処理の後に、基板温度を上昇させて、H₂ を成長炉に供給しながら G a 被覆を蒸発させて、基板生産物を作製した。この基板生産物の表面には、窒化ガリウムからなるマクロステップが露出されていた。マクロステップが、トレンチのピッチに対応づけられてほぼ等間隔に形成されていることが観測された。ステップのテラス幅が 1 0 0 n m を越えていた。

【 0 0 7 0 】

マクロステップ形成過程：

G a アニール時のマクロステップの形成過程は、直感的には以下のように理解される。図 8 に示されるように、G a N のトレンチ及び G a 被覆膜をアニールすると、下地 G a N 表面が再構築される。c 軸と垂直方向であってオフ方向と同じ方向に、ステップが拡張される。これと同時に、トレンチの間に位置するリッジ状の部分では、その上面の G a 原子および N 原子が、トレンチの底面に拡散していく。その過程でいくつかのマイクロステップが集まって、より大きなステップが形成される。また、リッジ状の部分とトレンチの底面部分との間の高さの差が小さくなる。この過程が繰り返されて、より大きなステップが形成され、最終的にはトレンチ間隔と同程度の大きさのマクロステップが形成される。

【 0 0 7 1 】

マクロステップの観察：

成長炉の温度を降下させた後に、基板生産物を成長炉から取り出して、基板生産物の表面を原子間力顕微鏡（A F M）を用いて測定した。図 1 1（a）を参照すると、c 面 G a N 基板の表面に成長された窒化ガリウムの表面の A F M 像を示しており、その表面は筋状の細かなモフォロジを示していた。図 1 1（b）を参照すると、G a N 基板の半極性面（オフ角 1 8 度）に成長された窒化ガリウムの表面の A F M 像を示しており、その表面は島状成長に近いモフォロジを示していた。図 1 1（c）を参照すると、上記の実施例に従って作製されたマクロステップを有する窒化ガリウムの表面の A F M 像を示しており、その表面はステップ状のモフォロジを示していた。

【 0 0 7 2 】

再成長：

マクロステップ上に、発光ダイオード構造を作製した。この際は、G a アニール後にエピ

10

20

30

40

50

タキシャルウエハを成長炉から取り出さず、引き続き、同じ成長炉を用いて処理を行った。基板温度を摂氏 850 度に下げて、厚さ 100 nm の $\text{In}_{0.02}\text{Ga}_{0.98}\text{N}$ 緩衝層を成長した。続けて、厚さ 15 nm の GaN 障壁層を成長した。その後に、基板温度を摂氏 750 度に下げて、厚さ 3 nm の $\text{In}_{0.30}\text{Ga}_{0.70}\text{N}$ 層を成長した。この障壁層と井戸層からなる構造を 3 周期成長した後に、さらに障壁層 15 nm を成長して発光層を形成した。その後に、基板温度を摂氏 1100 度に上昇させた後に、電子ブロック層のために厚さ 20 nm の Mg ドープした p 型 $\text{Al}_{0.18}\text{Ga}_{0.82}\text{N}$ 層を成長した。コンタクト層のために厚さ 50 nm の Mg ドープ p 型 GaN 層を成長した。その後、炉内温度を室温まで下げ、LED 構造を有するエピタキシャルウエハを成長炉から取り出した。

10

【0073】

このエピタキシャルウエハ A のフォトルミネッセンススペクトル (PL) 測定を行った。LED 構造のピーク発光波長は 530 nm であった。比較のために、同じオフ角の GaN ウエハ上に、 Ga アニールせずに通常どおり成長された LED 構造を有するエピタキシャルウエハ C では、530 nm のピーク発光波長を得るためには、摂氏 700 度以下の成長温度で InGaN 井戸層を成長しなければならない。つまり、 Ga アニールによるマクロステップの形成により In の取り込みが改善されたので、摂氏 750 度の InGaN 成長の温度を用いて上記の PL 波長を実現できた。また、それぞれの発光強度を比較すると、エピタキシャルウエハ A の PL 強度は、エピタキシャルウエハ C の PL 強度に比べて、およそ 1 桁程度で大きかった。電極蒸着プロセスを行って LED デバイスを作製した。この LED デバイス電流注入による発光測定を行ったとき、エピタキシャルウエハ A の EL 強度は、エピタキシャルウエハ C の EL 強度に比べて、およそ 1 桁程度で大きかった。これは、以下の事項によると考えられる：所望の発光波長を得るための井戸層の成長温度を上げることができ、 InGaN 井戸層の結晶性が改善された。また、マクロステップの形成により個々のステップ幅が大きくなり、 InGaN の成長温度も高めることができたので、 InGaN 成長時に In マイグレーションが効果的に起こり、 InGaN 層発光で重要な局在準位が効果的に形成された。

20

【0074】

デバイス構造

本実施例では、発光ダイオード構造を作製した。しかしながら、 In 取り込み向上の利点は、発光ダイオード構造に限られたものではなく、レーザーダイオード構造にも適用可能である。特に、レーザーダイオード構造では、井戸層の成長温度が低いとき、その後に高温で成長される p 型半導体層の成長中に、井戸層の品質が劣化されることがある。しかし、本実施の形態により成長温度を上げて井戸層を成長すれば、 p 型半導体層成長中の井戸層の品質劣化が抑制される。

30

【0075】

以上説明したように、トレンチ形成及び Ga アニールを行ってマクロステップを形成することによって、オフ角を有する GaN ウエハにおける In 取り込み量が増大する。したがって、発光層の成長温度を上げることができ、発光層の結晶性が改善され、発光層の PL および EL 発光強度が向上する。

40

【0076】

本実施の形態では、 Ga アニールに関して、 Ga 被覆膜を利用して Ga アニールを行う方法を説明した。本発明はその方法に限るものではなく、トレンチ形成した窒化ガリウム領域を、 Ga 被覆膜ではなく Ga 雰囲気中、例えば TMG と N_2 の供給下で熱処理して、アニールされた窒化ガリウム領域の表面にマクロステップを形成できる。トレンチ形成した窒化ガリウム領域の表面に Ga を供給しながら熱処理することであり、 Ga 被覆膜を形成すると、ウエハ表面からの窒素 (N) 抜けを確実に抑制でき、より効果的に表面の再構築が進む。

【0077】

具体的には、窒化ガリウム領域の主面上に複数のトレンチを形成した後に、ガリウム及

50

び窒素を含む雰囲気中で熱処理を窒化ガリウム領域に行って、マクロステップを有する窒化ガリウム表面を形成する。この方法により、トレンチを含む窒化ガリウム領域を、ガリウム及び窒素を含む雰囲気中で熱処理することによって、窒化ガリウム領域の表面が再構築される。この再構築により、トレンチによる段差の列からマクロステップが形成される。再構築された窒化ガリウム表面には、引き続き結晶成長に好適なマクロステップが形成されている。窒化ガリウム領域の元の主面のいわゆる半極性から形成されたマクロステップ上に、窒化ガリウム系半導体の堆積が可能になる。上記の熱処理の温度及び時間は、第1の熱処理と同じ条件であることができる。

【0078】

好適な実施の形態において本発明の原理を図示し説明してきたが、本発明は、そのような原理から逸脱することなく配置および詳細において変更され得ることは、当業者によって認識される。本発明は、本実施の形態に開示された特定の構成に限定されるものではない。したがって、特許請求の範囲およびその精神の範囲から来る全ての修正および変更権利を請求する。

【産業上の利用可能性】

【0079】

通常のc面Ga₂N基板上と同様に平坦に研磨された半極性Ga₂N基板を用意し、このGa₂N表面をアンモニア及び水素の雰囲気中で熱処理して表面再構築を行った後に、n型Ga₂N層とったLED構造またはLD構造を成長している、これらLED構造及びLD構造は、InGa₂N活性層及びp型Ga₂N層を含む。

【0080】

しかしながら、半極性Ga₂N基板上へのGa₂N系半導体の成長モードは、c面上での成長モードと異なっており、上記の熱処理によって得られる再構築表面とその表面へのn型Ga₂N成長とによって得られる表面ステップ密度は、非常に高い。そのため、図12に示されるように、InGa₂N活性層におけるIn取り込み量が少ない、これ故に、特に長波長の発光を得るためには、InGa₂N活性層の成長温度を低くしなければならず、活性層の結晶品質が低下する。

【0081】

ところが、本実施の形態のように、窒化ガリウム表面に一定間隔で所定方向に延びる溝を形成すると共に、この溝構造をGa（好ましくは窒素の添加で）に晒しながら熱処理して表面の再構築を行う。この再構築によって、溝構造からマクロステップが形成される。このようなパターンングによって、基板主面に対して横方向の成長が促進され、ステップが大きく出るような成長モードが生じる。

【0082】

リソグラフィ、エッチング及び熱処理によって、エピタキシャル膜の表面における成長モードを変更でき、再構築によるマクロステップが形成される。このマクロステップによって、ステップフローな成長モードが可能になる。大きなテラスが形成されてステップ密度が小さくなり、In取り込み量を大きくできる。その結果、InGa₂N活性層の成長温度を上げることができ、活性層の結晶品質が向上する。マクロステップは、オフ角18度の半極性Ga₂N基板を用いた実験で原子間力顕微鏡（AFM）によって観測された。また、同じ基板上に活性層及びp型半導体層を含む発光ダイオード構造を作製した。

再構築無し：PL発光波長420nm

再構築有り：PL発光波長480nm。

であり、PL波長が長くなった。

【図面の簡単な説明】

【0083】

【図1】図1は、本実施の形態に係る作製方法の主要な工程を示す図面である。

【図2】図2は、本実施の形態に係る作製方法の主要な工程を示す図面である。

【図3】図3は、本実施の形態に係る作製方法の主要な工程を模式的に示す図面である。

【図4】図4は、トレンチの形成のための工程を模式的に示す図面である。

【図 5】図 5 は、本実施の形態に係る作製方法の主要な工程を模式的に示す図面である。

【図 6】図 6 は、第 1 の熱処理における、窒化ガリウム膜の表面の改質を模式的に示す図面である。

【図 7】図 7 は、本実施の形態に係る作製方法の主要な工程を模式的に示す図面である。

【図 8】図 8 は、マクロステップ上への InGa_N 成長を説明する図面である。

【図 9】図 9 は、上記の工程によって作製された発光ダイオード (LED) の構造を模式的に示す図面である。

【図 10】図 10 は、基板生産物のエピタキシャル膜表面の RHEED 測定を示す図面である。

【図 11】図 11 は、原子間力顕微鏡を用いた観測による基板生産物の表面の AFM 像を示す図面である。

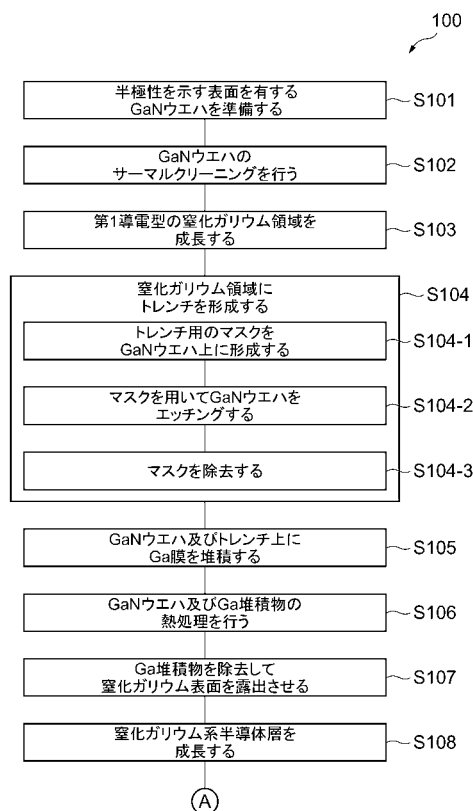
【図 12】図 12 は、InGa_N 成長に In 組成と GaN 主面のオフ角との関係を示す図面である。

【符号の説明】

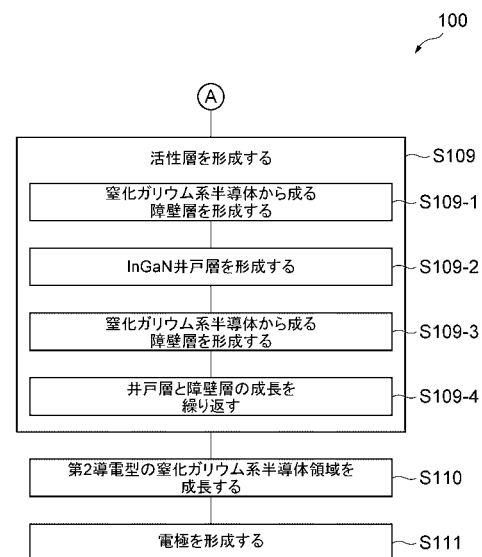
【0084】

E₁、E₂ ... エピタキシャルウエハ、P₁、P₂、P₃ ... 基板生産物、V_N ... 法線ベクトル、V_C ... c 軸ベクトル、10a ... 有機金属気相成長炉、10c ... エッチング装置、11 ... Ga_N ウエハ、11a ... Ga_N ウエハ主面、13、13b、13c、13d ... 窒化ガリウム領域、13a ... 窒化ガリウム膜表面、15、15a ... トレンチ、16、16a ... リッジ、17 ... ミクロステップ、19 ... マスク、23 ... ガリウム膜、29 ... マクロステップ、31 ... 窒化ガリウム系半導体膜、33 ... 活性層、37a ~ 37c ... 井戸層、37a ~ 37d ... 障壁層、39 ... 多重量子井戸構造、41 ... 第 2 導電型窒化ガリウム半導体領域、43 ... 電子ブロック層、45 ... コンタクト層、47 ... アノード電極、49 ... カソード電極

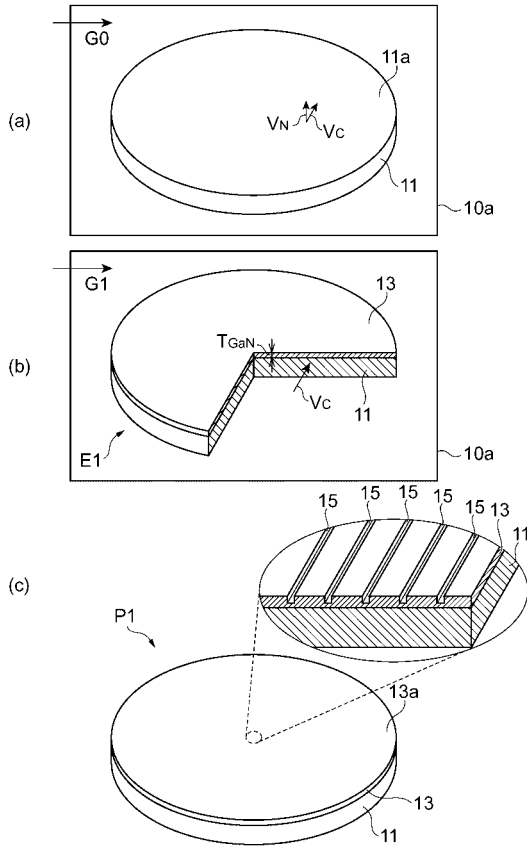
【図 1】



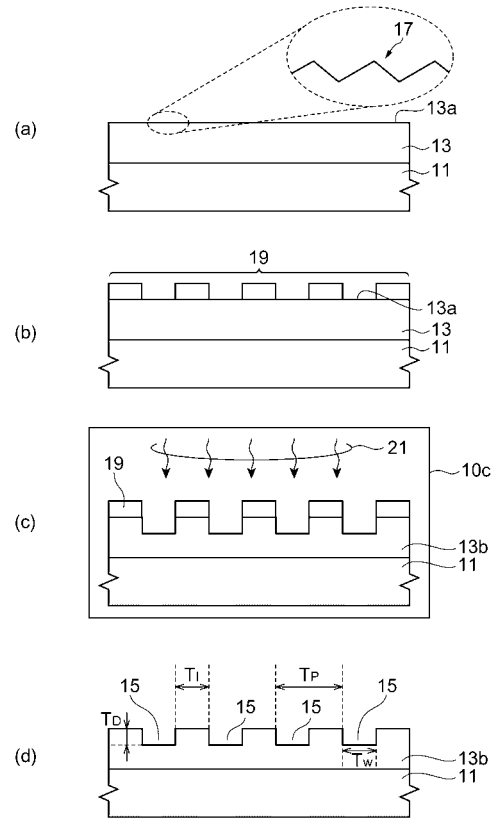
【図 2】



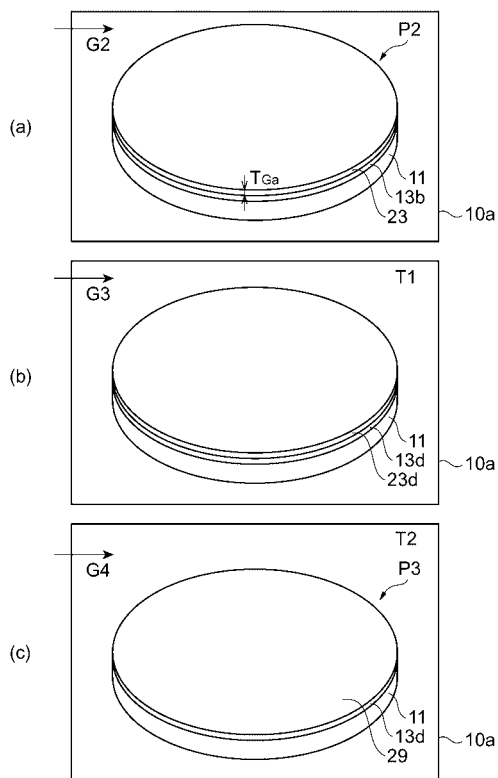
【図 3】



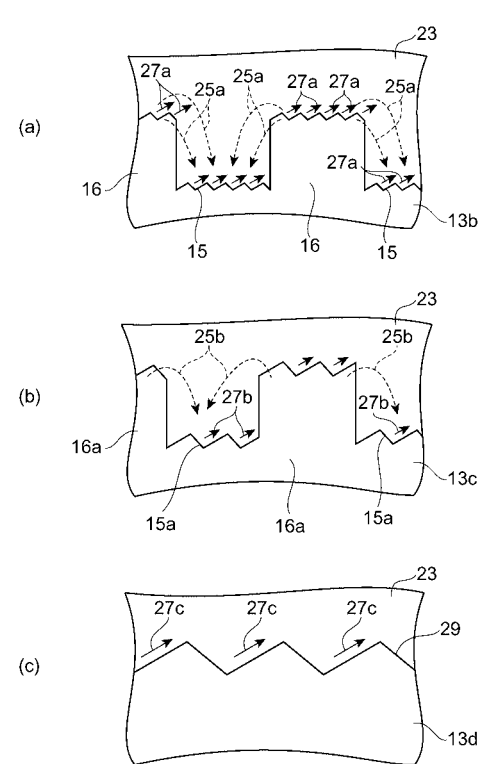
【図 4】



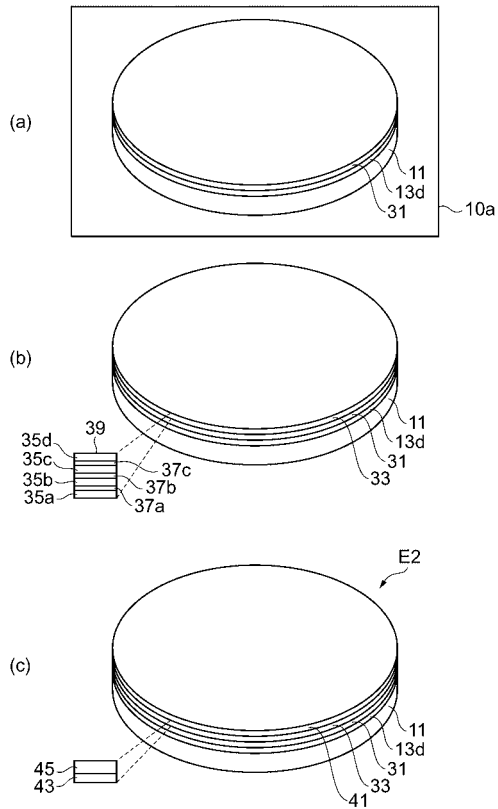
【図 5】



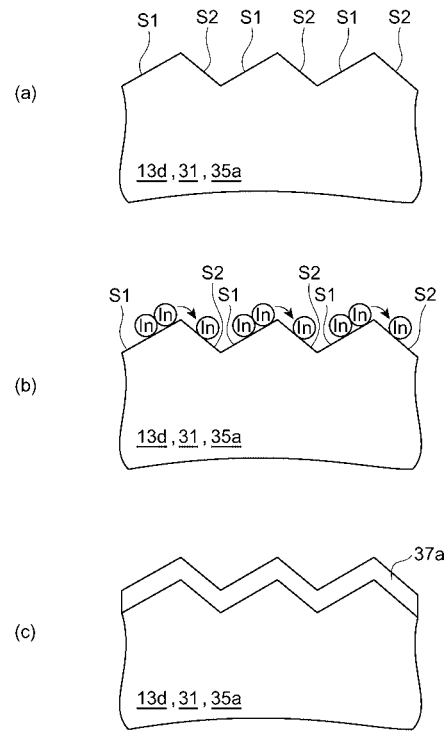
【図 6】



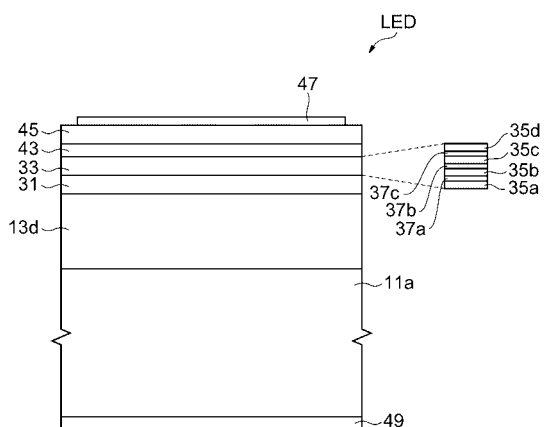
【 図 7 】



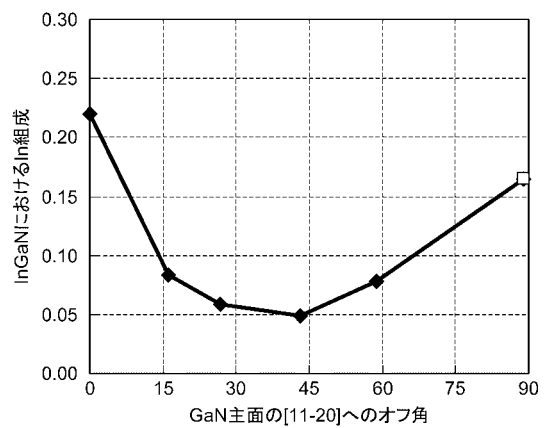
【 図 8 】



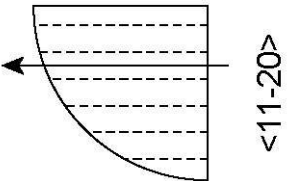
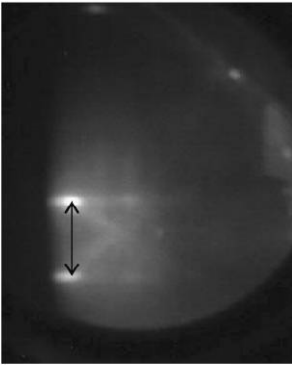
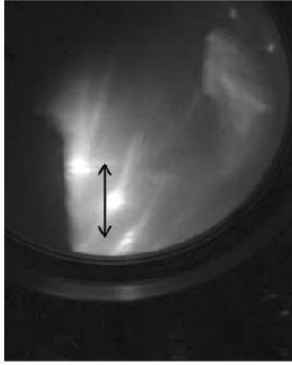
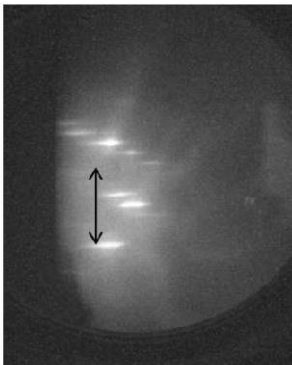
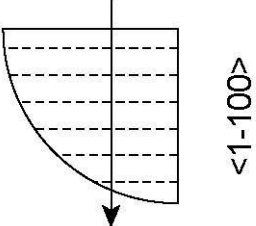
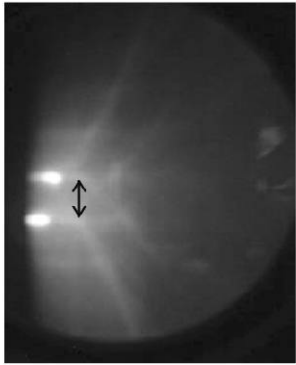
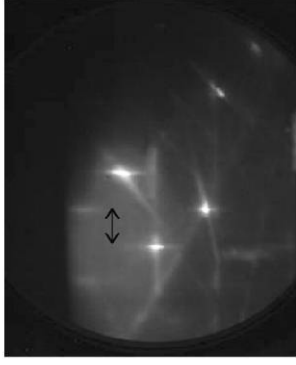
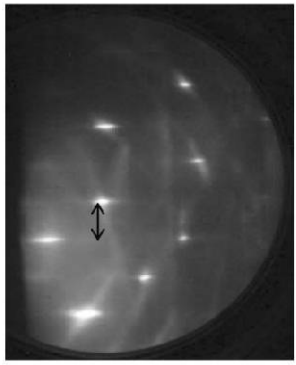
【 図 9 】



【 図 1 2 】

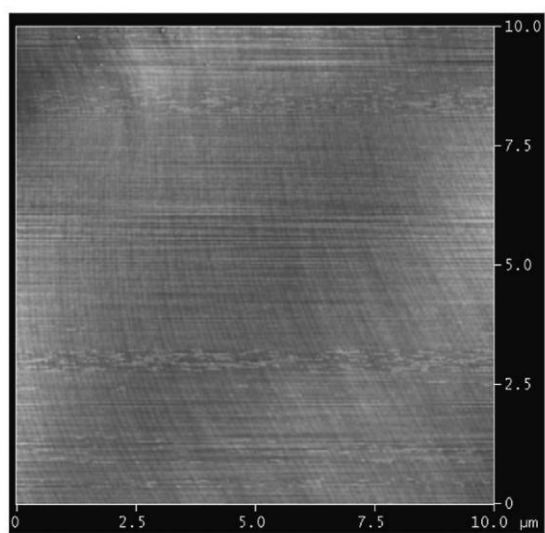


【図 10】

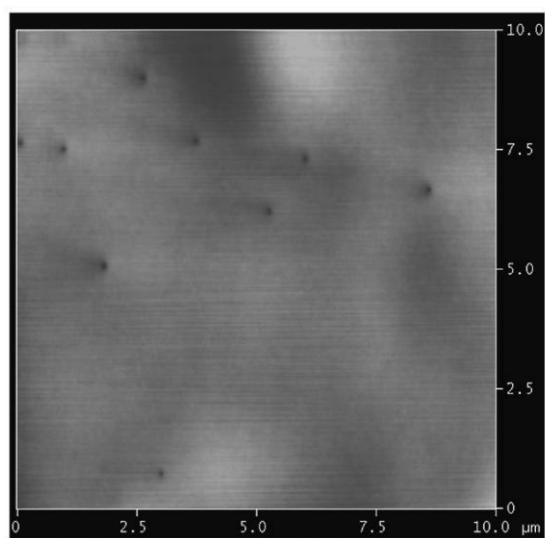
電子線入射方位	0.3° オフ	m-18° オフ	m-28° オフ
 <11-20>			
 <1-100>			

【 図 1 1 】

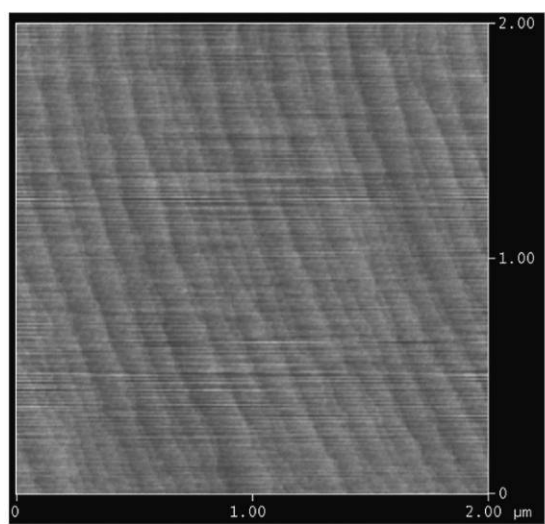
(a)



(b)



(c)



フロントページの続き

(72)発明者 上野 昌紀

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 中村 孝夫

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

Fターム(参考) 5F041 AA40 CA05 CA23 CA40 CA65 CA73 CA74 CA75

5F173 AH22 AP05 AP23 AP24 AP62 AR83 AR84