

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号
特許第4907691号
(P4907691)

(45) 発行日 平成24年4月4日 (2012. 4. 4)

(24) 登録日 平成24年1月20日 (2012. 1. 20)

(51) Int. Cl.	F I
HO 1 L 21/205 (2006. 01)	HO 1 L 21/205
C 2 3 C 16/02 (2006. 01)	C 2 3 C 16/02
C 2 3 C 16/34 (2006. 01)	C 2 3 C 16/34
HO 1 L 33/32 (2010. 01)	HO 1 L 33/00 1 8 6
HO 1 S 5/323 (2006. 01)	HO 1 S 5/323 6 1 0

請求項の数 14 (全 17 頁)

(21) 出願番号 特願2009-108661 (P2009-108661)	(73) 特許権者 509121983 高麗大学校 産学協力団
(22) 出願日 平成21年4月28日 (2009. 4. 28)	大韓民国 ソウル特別市 城北区 安岩洞
(65) 公開番号 特開2010-74133 (P2010-74133A)	5 街 高麗大学校
(43) 公開日 平成22年4月2日 (2010. 4. 2)	(74) 代理人 100082647
審査請求日 平成21年4月28日 (2009. 4. 28)	弁理士 永井 義久
(31) 優先権主張番号 10-2008-0091436	(72) 発明者 邊 東 進
(32) 優先日 平成20年9月18日 (2008. 9. 18)	大韓民国 ソウル特別市 城北区 安岩洞
(33) 優先権主張国 韓国 (KR)	5 街 高麗大学校 自然系工学館 3 0 1 号
	(72) 発明者 キム ポムジュン
	大韓民国 ソウル特別市 松坡区 石村洞
	ハンソルアパート 1 0 6 棟 1 5 0 3 号

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 イオンの注入による窒化物半導体の形成方法及びこれを利用して製造した電子素子

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

1 E 1 7 イオン / c m² 超過、5 E 1 8 イオン / c m² 以下のイオン注入ドーズ量及び 3 0 ~ 5 0 k e V のイオン注入エネルギーを用いて、基板の表面にイオン注入処理したラインパターンと、イオン注入処理していないスペースパターンを反復形成した領域を形成する段階と、

上記基板の全面に、I n_xA l_yG a_{1-x-y}N 層 (0 . 3 ≧ x ≧ 0、y ≧ 0 . 1、x + y ≦ 1) を形成する段階と、

上記 I n_xA l_yG a_{1-x-y}N 層を含む上記基板の全面に、金属窒化物薄膜を形成し、上記スペースパターンの上部から上記ラインパターンの上部へ上記窒化物が水平成長されながら、金属窒化物薄膜が形成されるようにする段階とを備えることを特徴とする窒化物半導体の形成方法。

【請求項 2】

上記基板は、S i 基板、サファイア基板、S i C 基板、G a A s 基板、I n P 基板、及び G e 基板のうち、選択された一つを利用することを特徴とする請求項 1 に記載の窒化物半導体の形成方法。

【請求項 3】

上記ラインパターンに注入されるイオンは、N、C、B、B e、L i、M g、O、F、S、P、A s、S r、T e、及びこれらの化合物のうち、選択されたいずれか一つを利用することを特徴とする請求項 1 に記載の窒化物半導体の形成方法。

【請求項 4】

上記領域は、上記基板の表面から 50 nm～1 μm の深さまで形成されることを特徴とする請求項 1 に記載の窒化物半導体の形成方法。

【請求項 5】

上記領域は、上記基板の表面から 50 nm～200 nm の深さまで形成されることを特徴とする請求項 1 に記載の窒化物半導体の形成方法。

【請求項 6】

上記金属窒化物薄膜は、GaN、InGaAlN、InGaN、AlGaN、及びAlNのうち、選択される一つ以上の物質から形成されることを特徴とする請求項 1 に記載の窒化物半導体の形成方法。

10

【請求項 7】

上記金属窒化物薄膜は、MOCVD (metal organic chemical vapor deposition)、MBE (molecular beam epitaxy)、HVPE (hydride vapor phase epitaxy)、及びALD (atomic layer deposition) のうち、選択された一つの方法により形成されることを特徴とする請求項 1 に記載の窒化物半導体の形成方法。

【請求項 8】

上記金属窒化物薄膜のXRD (X-ray Diffractometry) 半幅値は、820 arcsec 以下となるように成長させることを特徴とする請求項 1 に記載の窒化物半導体の形成方法。

20

【請求項 9】

上記金属窒化物薄膜の上部には、下部クラッド層、活性層、及び上部クラッド層を順次に形成する段階を更に備えることを特徴とする請求項 1 に記載の窒化物半導体の形成方法。

【請求項 10】

請求項 1 において形成された金属窒化物薄膜を含む窒化物半導体を利用して製造された光素子。

【請求項 11】

上記光素子は、発光ダイオードまたはレーザーダイオード (Laser diode) のうちのいずれか一つであることを特徴とする請求項 10 に記載の光素子。

30

【請求項 12】

請求項 1 において形成された金属窒化物薄膜を含む窒化物半導体を利用して製造された電子素子。

【請求項 13】

上記電子素子は、HEMT (Heterojunction Field-Effect Transistors) またはHBT (Heterojunction Bipolar Transistor) のうちのいずれか一つであることを特徴とする請求項 12 に記載の電子素子。

【請求項 14】

40

請求項 1 において形成された金属窒化物薄膜を含む窒化物半導体を個別素子に切断し、それぞれの素子を分離して製造したチップと、

上記チップが実装されるリードフレームと、

上記リードフレームと連結されるカソードと、

上記カソードと離隔して備えられ、金ワイヤーにより、上記チップと連結されるアノードと、

上記チップ、リードフレーム、及び上記金ワイヤーが連結された上記アノードの上部を保護し光を発散するレンズの役割をするエポキシとを備えることを特徴とする電子素子。

【発明の詳細な説明】

50

【技術分野】

【0001】

本発明は、金属窒化物薄膜の品質を向上させる窒化物半導体の形成方法に関し、窒化物薄膜の成長の際に薄膜の電位欠陥を減少させることができる表面処理技法に関する技術である。

【背景技術】

【0002】

最近、化学燃料が枯渇して行くに伴うエネルギー問題が台頭しながら、既存の照明を、高い効率の半導体照明に変えようとする動きが本格化している。また、IT分野においても、情報処理速度を早くするための競争が激しい中で、高速で動作するHEMT (High Electron Mobility Transistor)、パワースイッチ素子などに、窒化ガリウム (GaN) 物質を適用しようとする試みが活発に進行している。

10

【0003】

ウルツ鉱 (Wurtzite) 構造を有する窒化ガリウム (GaN) 薄膜は、常温で3.4 eVの直接遷移型バンドギャップを有し、青色及び紫外線領域の発光ダイオード (Light Emitting Diode: LED) 及びレーザーダイオード (Laser Diode: LD) 素子に有用に使用される材料である。

【0004】

特に、窒化ガリウム (GaN) 薄膜は、同じウルツ鉱 (Wurtzite) 構造を有し、バンドギャップがそれぞれ1.9 eV及び6.2 eVである窒化インジウム (InN) 及び窒化アルミニウム (AlN) と連続的な固溶体を形成することができる。

20

【0005】

従って、不純物の活性エネルギー及びドーピング濃度に応じて、波長の調節が可能になり、組成に応じた三元系窒化物を製造して、波長の選択範囲が広い可視発光ダイオードを製作することができるように手助けするので、窒化ガリウム (GaN) 薄膜は、その活用範囲が広い。

【0006】

このように、多様な応用性を有する窒化ガリウム (GaN) 薄膜は、物質の特性上、インゴット (Ingot) のようなバルク形態の単結晶基板への製造が非常に難しい。

【0007】

従って、現在商業化された窒化ガリウム (GaN) 薄膜形成方法として、有機金属化学気相蒸着法 (Metal Organic Chemical Vapor Deposition: MOCVD) を利用して、基板上にエピタクシャル (Epitaxial) 成長させる方法を使用する。

30

【0008】

ここで、窒化ガリウム (GaN) 薄膜は、ホモエピタクシャル成長よりヘテロエピタクシャル成長がもっと一般的であり、これによる基板の選択が根本的な問題として台頭される。

【0009】

特に、窒化ガリウム (GaN) 薄膜の成長に使用される異種基板としては、サファイア (sapphire、 α -Al₂O₃) 及びSiC基板が代表的であるが、窒化ガリウムとの格子不整合の差がa軸の場合にそれぞれ16%及び3.5%もされるので、薄膜の成長の初期から発生する不整合電位、貫通電位 (threading dislocation)、積層欠陥、及び反転ドメイン境界 (Inversion Domain Boundary: IDB) 等の欠陥が観察される。

40

【0010】

このような欠陥は、素子の寿命と発光効率を決定するのにかなり重要な要素であるので、欠陥を改善する努力が色々な方法を通し試みられている。

【0011】

これと関連して、従来に試みられた方法では、緩衝層を使用するものがある。通常的に

50

、窒化アルミニウム又は窒化ガリウム緩衝層が主に使われており、これは、非晶質又は多結晶質の緩衝層が、基板と同一の結晶性を有する多くの核の生成場所を提供して、窒化ガリウムの2次元成長を容易にし、薄膜と基板の間の界面エネルギーを減少させて、側面成長を促進させる役割をする。

【0012】

しかし、窒化ガリウム薄膜の結晶の成長前に、有機金属化学気相蒸着法又は分子線エピタキシャル方法で、窒化アルミニウム又は窒化ガリウム緩衝層を、まず形成する窒化処理時間により、むしろ表面が荒くなる結果を招き、低品質の窒化ガリウム薄膜が形成される問題が発生した。

【0013】

即ち、窒化処理されたサファイア基板の表面に非晶質状の化合物が生成されて、突出 (protrusion) 表面が形成されるので、上記従来の工程方法では、その工程条件の最適化の可否に応じて他の結果が得ていることがわかる。結果的に、窒化ガリウムの結晶の成長の際に制御過程を非常に敏感に調節すべき困難が発生するしかない。

【0014】

このような問題を解決するために、窒化ガリウムの結晶が水平成長 (ELOG: Epitaxial Lateral Overgrowth) するようにする方法が研究されている。水平成長のためには、まず基板又はバッファ層窒化ガリウム (GaN) 層上に、周期的なパターン状のマスク (mask) 層を形成させた後、マスク層のない所 (ウインドー領域) の基板上に、窒化ガリウム (GaN) をマスクの厚さ以上に成長させた後に、マスクの上部に窒化ガリウム (GaN) 薄膜を水平成長させることである。水平成長が起きた窒化ガリウム (GaN) の場合、貫通電位の密度が大きく減るようになり、素子性能を向上させることができるようになる。

【0015】

しかし、一般的な水平成長技術のためには、再成長 (regrowth) が必要である問題点がある。例えば、サファイア基板上に窒化ガリウム (GaN) を水平成長技術で形成する際、一般的に低温窒化ガリウム (GaN) バッファ層をまず形成しなければならない。このように、低温で窒化ガリウム (GaN) バッファ層を成長させる場合、ウインドー領域だけでなく、マスク表面でも望んでいない成長が起きようになり、水平成長に障害が発生する問題がある。

【0016】

従って、サファイア/低温窒化ガリウム (GaN) /高温窒化ガリウム (GaN) 層上に、マスクを成長させた後、水平成長を進行すべき不便さがある。また、マスクとして使用される絶縁層は、窒化ガリウム (GaN) 薄膜の内部に応力を発生させる可能性があり、潜在的な不純物として汚染源となり得る。そして、マスク上において核の生成がはやい場合、水平成長した窒化ガリウム (GaN) 層がマスク上で互いに遭えない場合も発生するので、速い水平成長のための別途の工程条件が必要である制約がある。

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0017】

本発明の目的は、水平成長法のためにマスクパターンを形成する代わりに、その領域にイオン注入領域を形成し、イオン注入のドーズ (Dose) 量を調節し、イオン注入領域をライン/スペース形態に形成して、金属窒化物薄膜の水平成長が効率的に行われるようにすることにより、金属窒化物薄膜の電位密度を減少させ、結晶性が安定した金属窒化物薄膜を形成できるようにするイオンの注入による窒化物半導体形成方法及びこれを利用して製造した電子素子を提供することである。

【課題を解決するための手段】

【0018】

本発明に係る窒化物半導体形成方法は、 1×10^{17} イオン/ cm^2 超過、 5×10^{18} イオン/ cm^2 以下のイオン注入ドーズ量及び $30 \sim 50 \text{ keV}$ のイオン注入エネルギーを用い

10

20

30

40

50

て、基板の表面にライン／スペースパターンからなるイオン注入領域を形成する段階と、上記基板の全面に、 $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$ 層 ($0.3 \geq x \geq 0$ 、 $y \geq 0.1$ 、 $x+y \leq 1$) を形成する段階と、上記 $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$ 層を含む上記基板の全面に、金属窒化物薄膜を形成し、上記スペースパターンの上部から上記ラインパターンの上部へ上記窒化物が水平成長されながら、金属窒化物薄膜が形成されるようにする段階と、を備えることを特徴とする。

【0019】

ここで、上記基板は、Si基板、サファイア基板、SiC基板、GaAs基板、InP基板、及びGe基板のうち、選択された1つを利用することを特徴とし、上記イオン注入領域に注入されるイオンは、N、C、B、Be、Li、Mg、O、F、S、P、As、Sr、Te、及びこれらの化合物のうち、選択されたいずれか一つを利用することを特徴とし、上記イオン注入領域は、上記基板の表面から50nm～1μmの深さまで形成し、より好ましくは、50nm～200nmの深さまで形成することを特徴とし、上記金属窒化物薄膜は、GaN、InGaAlN、InGaN、AlGaN、及びAlNのうち、選択された1つ以上の物質から形成されることを特徴とし、上記金属窒化物薄膜は、MOCVD (metal organic chemical vapor deposition)、MBE (molecular beam epitaxy)、HVPE (hydride vapor phase epitaxy)、及びALD (atomic layer deposition) のうち、選択された一つの方法により形成することを特徴とし、上記金属窒化物薄膜のXRD (X-ray Diffractometry) 半幅値は、820arcsec以下となるように成長させることを特徴とし、上記金属窒化物薄膜の上部には、下部クラッド層、活性層、及び上部クラッド層を順次に形成する段階を更に備えることを特徴とする。

【0020】

更に、本発明に係る電子素子は、前述の金属窒化物薄膜を含む窒化物半導体を用いて製造されたことを特徴とし、上記電子素子は、発光ダイオード、HEMT (Heterojunction Field-Effect Transistors)、HBT (Heterojunction Bipolar Transistor)、及びレーザーダイオード (Laser diode) のうちのいずれか1つであることを特徴とする。

更に、本発明の一実施例に係る電子素子は、前述の金属窒化物薄膜を含む窒化物半導体を個別素子に切断し、それぞれの素子を分離して製造したチップと、上記チップが実装されるリードフレームと、上記リードフレームと連結されるカソードと、上記カソードと隔離して備えられ、金ワイヤーにより上記チップと連結されるアノードと、上記チップ、リードフレーム、及び上記金ワイヤーが連結された上記アノードの上部を保護し光を発散するレンズ役割をするエポキシとを備えることを特徴とする。

【発明の効果】

【0021】

本発明は、単結晶のシリコン基板上に、ライン／スペースパターン状にイオン注入領域を形成した後、金属窒化物薄膜を水平成長させることにより、 SiO_2 又は Si_3N_4 のようなマスクを使用せずに、安定した金属窒化物薄膜を形成できるようにする効果を提供する。

【0022】

マスクとして使われていた物質は、潜在的な汚染源となり得、金属窒化物薄膜に応力を発生させて、欠陥の原因となり得るが、本発明は、基板の表面の変化なしに、平らな面上で金属窒化物薄膜を水平成長させることにより、金属窒化物薄膜の電位密度を減少させ、結晶性を向上させることができる効果を提供する。

【図面の簡単な説明】

【0023】

【図1】本発明に係るシリコン基板の上部に形成された金属窒化物薄膜の断面を示す透過電子顕微鏡写真である。

10

20

30

40

50

【図2】本発明に係るシリコン基板の上部に形成された窒化ガリウム薄膜の断面を示す透過電子顕微鏡写真である。

【図3】本発明に係る窒化物半導体の形成方法を示した断面図である。

【図4】シリコン結晶の〔1-10〕方位と垂直した方向にライン／スペースパターンを形成した場合、シリコン基板の上部に形成された金属窒化物薄膜の断面を示すSEM写真である。

【図5】シリコン結晶の〔1-10〕方位と垂直した方向に窒素イオン注入領域を形成した後、金属窒化物薄膜を成長させた断面を撮影した走査電子顕微鏡写真である。

【図6】シリコン結晶の〔1-10〕方位と垂直した方向に窒素イオン注入領域を形成した後、金属窒化物薄膜を成長させた断面を撮影した走査電子顕微鏡写真である。

10

【図7】シリコン結晶の〔1-10〕方位と垂直した方向に窒素イオン注入領域を形成した後、金属窒化物薄膜を成長させた断面を撮影した走査電子顕微鏡写真である。

【図8】本発明の実施例1に係る窒化ガリウム薄膜の形成過程を示す走査電子顕微鏡の上部面と断面写真である。

【図9】本発明の実施例1に係る窒化ガリウム薄膜の形成過程を示す走査電子顕微鏡の上部面と断面写真である。

【図10】本発明の実施例1に係る窒化ガリウム薄膜の形成過程を示す走査電子顕微鏡の上部面と断面写真である。

【図11】本発明に係る窒化ガリウム薄膜の形成過程を示す走査電子顕微鏡の上部面と、陰極線発光度(Cathode luminescence: CL)を測定した写真である。

20

【図12】本発明に係る窒化ガリウム薄膜の形成過程を示す走査電子顕微鏡の上部面と、陰極線発光度(Cathode luminescence: CL)を測定した写真である。

【図13】本発明に係る窒化ガリウム薄膜の形成過程を示す走査電子顕微鏡の上部面と、陰極線発光度(Cathode luminescence: CL)を測定した写真である。

【図14】本発明に係るイオン注入領域を含むシリコン基板と、イオン注入領域が形成されていないシリコン基板にそれぞれ成長した窒化ガリウム薄膜のX-ray rocking curve(rocking curve)を示すグラフである。

30

【発明を実施するための形態】

【0024】

本発明に係る金属窒化物薄膜製造用の単結晶基板は、シリコン基板またはサファイア基板を使用し、基板の表面にライン／スペースパターン状のイオン注入領域を形成する。

【0025】

ここで、単結晶のシリコン基板は、窒化ガリウムと異種結晶との間の格子不整合を最小化させるので、金属窒化物薄膜製造用の基板に適合する。イオン注入領域は、同一平面上に、イオン注入処理されたラインパターン部及びイオン注入処理されていないスペース部を規則的に反復形成することにより、金属窒化物薄膜製造用の単結晶基板が同一平面に対して非晶質部及び結晶質部を同時に有するようにする。即ち、2つの相(two phases)を同一平面上に形成することにより、2つの相の上にエピタクシャル成長層を形成する場合、2つの相の上でそれぞれ他の成長速度及び成長モードとなるようにすることである。イオン注入処理されたラインパターンの部分(非晶質部)の場合は、表面改質により、格子不整合を緩和させる役割をする。しかし、シリコン格子が衝撃を受けて、ねじれ(distortion)が発生した非晶質であるので、エピタクシャル層の成長速度が減少されることができる。

40

【0026】

反対に、イオン注入処理されていないスペースパターンの部分(結晶質部)の場合、格子不整合は、緩和されないが、パターン部に比べてエピタクシャル層の成長速度が早く、その結果、垂直方向への成長以外にラインパターンの部分に向かって水平成長ができる状

50

態となる。

【0027】

本発明においては、ライン／スペースパターンが反復されて形成されるので、ラインパターンの部分を中心に両側に隣接したスペースパターンの部分から同時に水平成長が起きようになり、結果的に水平成長した部分がラインパターンの部分で垂直成長したエピタクシャル層の表面と会うようになる。このように、互いに会うようになった部分は、同一の結晶構造を有する物質であるから、格子不整合の側面で有利な効果を有する薄膜となり得る。

【0028】

以下、本発明に係る実施例の具体的な事項は、詳細な説明及び添付図面に含まれている。

10

【0029】

本発明の利点及び特徴、そしてそれらを達成する方法は、添付の図面と共に詳細に後述される実施例を参照すれば、明確になるだろう。しかし、本発明は、以下で開示される実施例に限定されるのではなく、互いに異なる多様な形態に実現されることであり、ただ本実施例は、本発明の開示が完全になるようにし、本発明が属する技術分野で通常の知識を有する者に発明の範疇を完全に知らせるために提供されていることであり、本発明は、請求項の範疇により定義されるだけである。明細書の全体にわたって同一の参照符号は、同一の構成要素を指す。

【0030】

20

図1及び図2は、本発明に係るシリコン基板の上部に形成された金属窒化物薄膜の断面を示す透過電子顕微鏡写真であり、シリコン基板にイオンを注入する場合、金属窒化物薄膜の成長速度がどのように変るのかを比較するために実験した写真である。

【0031】

図1は、シリコン基板100上にイオン注入領域を形成せずに、金属窒化物薄膜130を形成したものを示すことである。金属窒化物薄膜130とシリコン基板100との間には、金属窒化物薄膜の成長を容易にするために、AlN層125が形成され、金属窒化物薄膜130の上部には、窮極的に発光ダイオード用の素子層が形成されることができ。

【0032】

図2は、シリコン基板100表面にイオン注入領域120を形成した後、AlN125を形成し、金属窒化物薄膜135を成長させたものである。この時、成長した金属窒化物薄膜135は、多結晶形態に成長される。

30

【0033】

ここで、図1及び図2を比較してみれば、イオン注入領域120が形成されていない図1の場合、金属窒化物薄膜130の厚さが図2の金属窒化物薄膜135の厚さより約5乃至10倍程度厚く形成されたことがわかる。従って、本発明によってシリコン基板にイオン注入領域を形成する場合、従来技術のようにSiO₂またはSi₃N₄により形成されたマスクがなくても、金属窒化物薄膜の水平成長が可能になることがわかる。

【0034】

図3は、本発明に係る窒化物半導体の形成方法を示した断面図である。

40

【0035】

図3を参照すれば、単結晶シリコン基板100の表面に、ライン／スペースパターンからなるイオン注入領域120を形成する。この時、基板100は、シリコン(Si)基板またはサファイア基板を利用することが好ましい。

ここで、シリコン基板にライン／スペースパターンを形成する際に、シリコン結晶の[1-10]方位と垂直にライン／スペースパターンを形成する場合、金属窒化物薄膜の水平成長速度が非常に遅くなるので、パターン形成方向を正確に遵守しなければならない。

以下、シリコン基板に窒化ガリウム薄膜を形成する場合を例として説明する。

【0036】

図4は、シリコン結晶の[1-10]方位と垂直した方向にライン／スペースパターン

50

を形成した場合、シリコン基板の上部に形成された金属窒化物薄膜の断面を示すSEM写真である。

【0037】

図4は、金属窒化物薄膜が4 μ m厚さまで成長したものを撮影したことであり、この時、水平成長が略起きなくて、イオン注入領域の上部には、金属窒化物薄膜が略形成されていないことがわかる。従って、ライン/スペースパターンの方位が、金属窒化物薄膜の水平成長速度を決定する重要な要素であることがわかる。

【0038】

次に、イオン注入領域120に注入されるイオンは、N、C、B、Be、Li、Mg、O、F、S、P、As、Sr、Te、及びこれらの化合物のうち、選択されたいずれか一つを利用することが好ましく、イオン注入ドーズ量を、1E17イオン/cm²超過、5E18イオン/cm²以下に調節し、注入エネルギーは、30～50keVに調節することが好ましい。このような条件により、イオン注入領域120がシリコン基板100の表面から50～1 μ mの深さまで形成され、より好ましくは、50～200nmの深さまで形成される。

【0039】

図5乃至図7は、シリコン結晶の[1-10]方位と垂直した方向に窒素イオン注入領域を形成した後、金属窒化物薄膜を成長させた断面を撮影した走査電子顕微鏡写真である。

【0040】

本発明に係る金属窒化物薄膜の成長工程のためには、イオン注入領域を[1-10]方位と平行な方向に形成することが好ましいが、ここで水平成長速度が遅れる方位にイオン注入領域を形成したことは、金属窒化物薄膜が垂直成長しないドーズ量の条件を明確に観察するためである。

【0041】

図5は、9.9E16イオン/cm²の注入量で形成したものであり、図6は、1E17イオン/cm²の注入量で形成したものであり、図7は、5E18イオン/cm²の注入量で形成した結果を示したものである。

【0042】

図5を参照すれば、わかるように、9.9E16イオン/cm²の場合には、イオン注入領域の影響が全く反映されなくて、イオン注入をしない領域と同一の成長速度で金属窒化物薄膜が垂直成長した。このように、金属窒化物薄膜が垂直成長する場合、従来の結晶欠陥問題が発生することができるので、イオン注入ドーズ量は、9.9E16イオン/cm²より増加されなければならない。

【0043】

図6を参照すれば、イオン注入ドーズ量を1E17イオン/cm²とした場合、イオン注入された部分で金属窒化物薄膜の垂直成長が略起こらないことがわかる。従って、イオン注入ドーズ量を1E17イオン/cm²超過に行った場合、イオン注入領域の上部には、水平成長のみにより金属窒化物薄膜が形成されることができる。

【0044】

図7は、イオン注入ドーズ量を5E18イオン/cm²とした場合であり、イオン注入領域のシリコン基板表面を見れば、この時から垂直成長層が再度形成されることがわかる。従って、本発明に係るイオン注入ドーズ量は、1E17イオン/cm²を超過しなければならず、5E18イオン/cm²の以下とならなければならない。

【0045】

また、イオン注入領域の両側の金属窒化物薄膜が安定的に結合されるためには、1E17イオン/cm²を超過しなければならず、5E18イオン/cm²の以下とならなければならない。

【0046】

イオン注入ドーズ量が、1E17イオン/cm²以下となると、本発明に係る水平成長

10

20

30

40

50

(ELOG: Epitaxial Lateral Overgrowth) 工程が不十分に行われて、完全な薄膜形態が現れ、金属窒化物薄膜の表面に凹み溝が発生することができ、イオン注入ドーズ量が 5×10^{18} イオン/cm² の超過となれば、水平成長が過度に行われて、金属窒化物薄膜の表面が凸状に突出した形態となり得る。

【0047】

次に、イオン注入領域120を含むシリコン基板100の全面に $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$ 層 ($0.3 \leq x \leq 0.7, y \geq 0.1, x+y \leq 1$) (図示せず) を形成する。 $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$ 層は、金属窒化物薄膜の成長のための緩衝層の役割をする。

【0048】

次に、 $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$ 層を含むシリコン基板100の全面に金属窒化物薄膜130を形成する。この時、イオン注入領域120が形成されていないシリコン基板100からイオン注入領域120が形成された方向へ金属窒化物薄膜が水平成長されて、金属窒化物薄膜130が完成されるものである。この時、金属窒化物薄膜130は、GaN、InGaAlN、InGaN、AlGaN、及びAlNのうち、選択される1つ以上の物質から形成されることが好ましく、MOCVD (metal organic chemical vapor deposition)、MBE (molecular beam epitaxy)、HVPE (hydride vapor phase epitaxy)、及びALD (atomic layer deposition) のうち、選択された一つの方法により形成されることが好ましい。

【0049】

次に、金属窒化物薄膜130の上部に、発光ダイオードのような電子素子の形成のための素子構造層140を形成する。この時、素子構造層140は、下部クラッド層、活性層、及び上部クラッド層を備える。

【0050】

以下、本発明の一実施例に係る金属窒化物薄膜の形成方法により、電位密度が減少し、結晶性が安定した金属窒化物薄膜が形成されるものを、走査電子顕微鏡写真を通して実際に証明しようとする。この時、金属窒化物薄膜は、代表的な物質として窒化ガリウム薄膜 (GaN) を使用することとする。

【実施例1】

【0051】

先ず、前述の本発明の金属窒化物薄膜の形成方法により、単結晶シリコン基板にライン/スペースパターン状のイオン注入領域を形成する。この際、スペースパターンの幅は、 $1.1 \mu\text{m}$ であり、イオン注入領域であるラインパターンの幅は、 $5 \mu\text{m}$ であった。

【0052】

次に、シリコン基板の上部には、 $10 \mu\text{m}$ 厚さのイオン注入マスクを形成した後、イオン注入工程を行って、窒素イオンのドーズ量は、 5×10^{17} イオン/cm² とし、イオン注入領域の深さが 100 nm となるようにイオン注入エネルギーは、 37.5 KeV とした。

【0053】

次に、イオン注入マスクを除去した後、アセトン、メタノール、D. I. water (deionized water) の順にシリコン基板の表面を洗浄し、それから窒素ガスを利用して乾燥させる。

【0054】

次に、乾燥されたシリコン基板をMOCVD (Metal Organic Chemical Vapor Deposition) 反応器に入れ、 100 nm 厚さのAlN層をまず形成した後、AlN層の上部に $1 \sim 2.5 \mu\text{m}$ の厚さの窒化ガリウム薄膜を形成した。

【0055】

図8乃至図10は、本発明の実施例1に係る窒化ガリウム薄膜形成過程を示す走査電子顕微鏡の上部面と断面写真であり、図8の(i)、図9の(i)、及び図10の(i)は

10

20

30

40

50

、上部面を示し、図8の(i i)、図9の(i i)、及び図10の(i i)は、本発明に係る窒化ガリウム薄膜の断面を示す。

【0056】

図8は、成長を始めて40分経過した後、窒化ガリウム薄膜が約1 μm 程度成長したことを示し、イオン注入領域の上部には、窒化ガリウム薄膜の成長が略起こらないことがわかる。

【0057】

また、イオン注入領域でないシリコン基板で成長する垂直方向の成長速度と水平方向の成長速度が略同一であることがわかる。

【0058】

図9は、成長を始めて80分経過した後、窒化ガリウム薄膜が2 μm 程度成長したときに撮影したものであり、水平成長が続き、両側で成長した窒化ガリウム薄膜が結合される直前の状態を示す。

【0059】

図10は、成長を始めて100分経過した後、窒化ガリウム薄膜が2.5 μm 程度成長したときに撮影したものであり、窒化ガリウム薄膜が完ぺきに形成されたことを示す。

【0060】

図11乃至図13は、本発明に係る窒化ガリウム薄膜の形成過程を示す走査電子顕微鏡の上部面と陰極線発光(Cathode luminescence: CL)写真であり、上記図8の(i)乃至図10の(i)のそれぞれに対する結果を示す写真である。

【0061】

図11乃至図13を参照すれば、水平成長した部分の電位密度が徐々に減少して、陰極線発光(Cathode luminescence: CL)がより明確に現れることがわかる。

【0062】

図14は、本発明に係るイオン注入領域を含むシリコン基板と、イオン注入領域が形成されていないシリコン基板とにそれぞれ成長した窒化ガリウム薄膜のX-rayロックイングカーブ(rocking curve)を示すグラフである。

【0063】

図14は、上記図8乃至図13に現れる水平成長領域に対して高分解能XRD(X-ray Diffractometry)を使用して、窒化ガリウム(GaN)薄膜の結晶性を示したものであり、イオン注入された領域であるラインパターン上部と、スペースパターンであるシリコン基板にそれぞれ成長した窒化ガリウム薄膜とのX-rayロックイングカーブを比較して示した。

【0064】

窒化ガリウム薄膜の厚さが1 μm となった時のXRD半幅値を比較してみれば、イオン注入領域で成長した窒化ガリウム薄膜の半幅値が812 arcsecに現れるのに反して、一般的なシリコン基板で成長した窒化ガリウム薄膜の半幅値が2877 arcsecに現れるので、水平成長を通して結晶性が向上したことがわかる。

【0065】

ここで、820 arcsecより大きい半幅値を有する場合、素子特性に悪い影響を及ぼし、これは、半幅値が低いほど結晶性が良いということを意味する。従って、本発明においては、820 arcsec以下に形成することが好ましい。また、現在の技術では、200 arcsec以下の半幅値を有する結晶は、得るのが難しいと知られているので、本発明においては、820 arcsec以下の半幅値のうち、最大限小さい値を得ることができるように、窒化ガリウム薄膜の水平成長工程を調節することが好ましい。

【0066】

上述した通り、イオン注入領域では、応力エネルギーが窒素イオン分布の規則性により、比較的少ないか、不均一に集中する現状を防止するので、金属窒化物薄膜の均一な核の生成を誘導することができる。即ち、イオン注入処理されたシリコン基板の表面において

10

20

30

40

50

は、格子不整合が緩和するようになり、窒素イオン注入処理されていない表面の窒化ガリウムにおいても、不整合が緩和される効果が複合的に発生するようになる。

【0067】

このような効果は、金属窒化物薄膜の上部に形成される発光ダイオード用の素子構造にも影響を与えて、光学的特性を改善することができるように手助けする。

【0068】

本発明に係る金属窒化物薄膜を含む窒化物半導体を個別素子に切断し、それぞれの素子を分離して、発光ダイオード用のチップを形成し、このチップをリードフレームに実装させる。

【0069】

次に、リードフレームにカソード電極を形成し、チップの上部を金ワイヤーで連結するアノード電極を形成する。

【0070】

次に、上記チップ、リードフレーム、及び上記金ワイヤーが連結された上記アノードの上部を保護するように、エポキシを砲弾型にモールドイングして発光ダイオードを形成する。この際、砲弾型の上部は、レンズの役割をするようにして光を発散する効果が增加されるようにする。

【0071】

このように、本発明に係る窒化物半導体をチップとして利用する電子素子は、HEMT (Heterojunction Field-Effect Transistors) またはHBT (Heterojunction Bipolar Transistor) のようなものがあり、発光ダイオードまたはレーザーダイオード (Laser diode) のような光素子に適用されることもできる。この時、上記電子素子には、詳述した通り、本発明の改善された結晶性を有する金属窒化物薄膜を含むので、優れる光学的特性を示すことができる。

【0072】

以上、添付の図面を参照して、本発明の実施例を説明したが、本発明は、上記実施例に限定されることなく、互いに異なる多様な形態に製造されることができ、本発明が属する技術分野で通常の知識を有する者は、本発明の技術的な思想や必須の特徴を変更せずに、異なる具体的な形態に実施されるということを理解するであろう。従って、以上において記述した実施例は、すべての面で例示的であり、限定的でないことを理解しなければならない。

【符号の説明】

【0073】

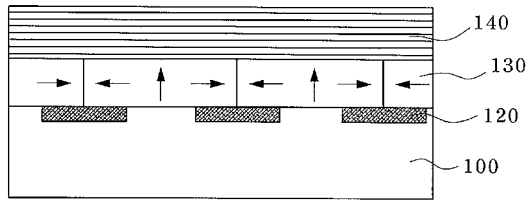
100 シリコン基板、120 イオン注入領域、
125 AlN層、130 金属窒化物薄膜、
135 金属窒化物薄膜、140 素子構造層

10

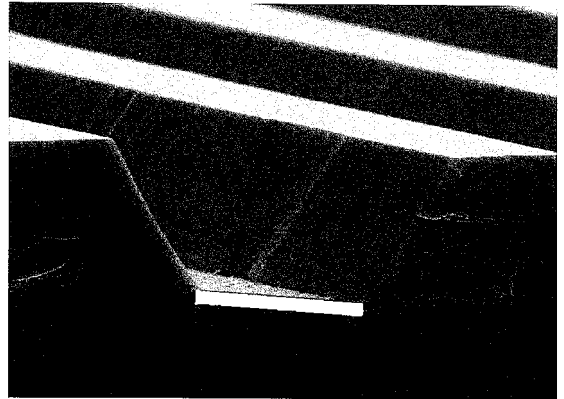
20

30

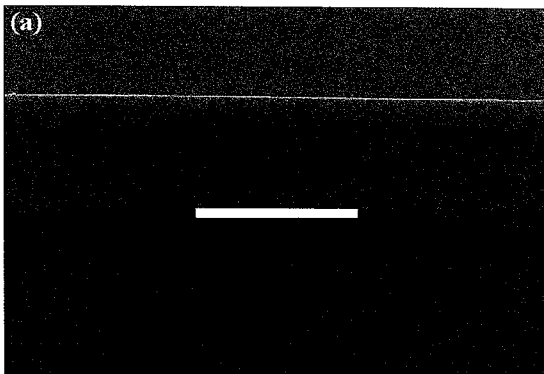
【図 3】



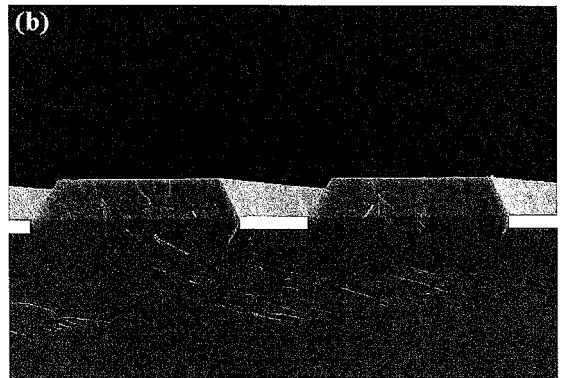
【図 4】



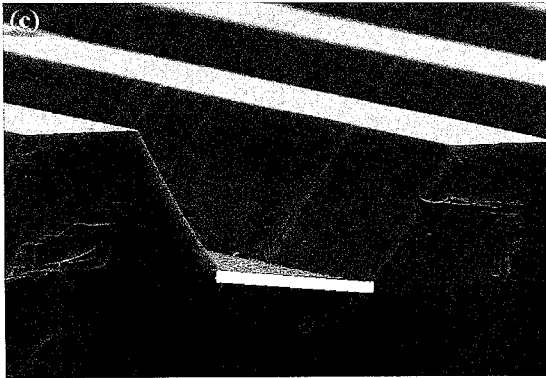
【図 5】



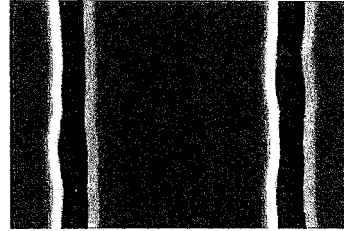
【図 6】



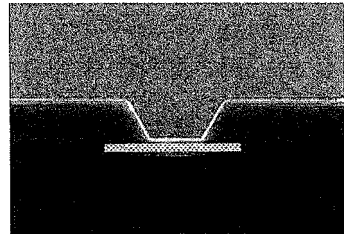
【図 7】



【図 8】

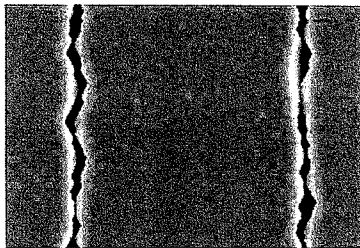


(i)

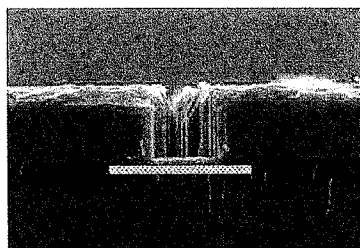


(ii)

【図 9】

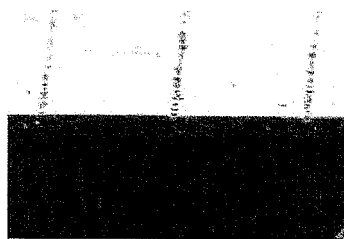


(i)

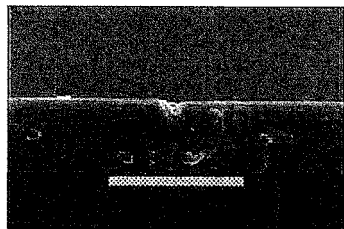


(ii)

【図 10】

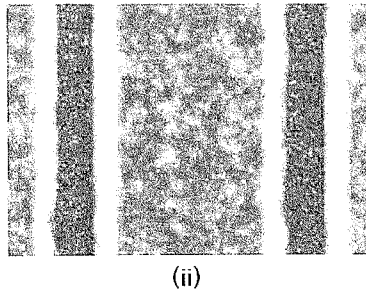
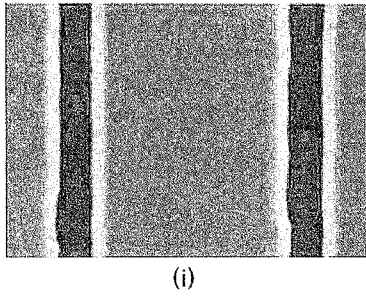


(i)

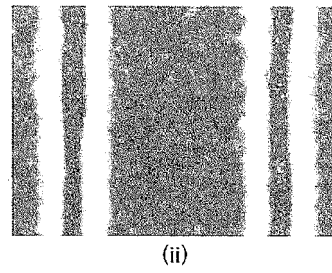
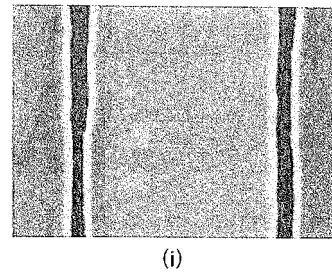


(ii)

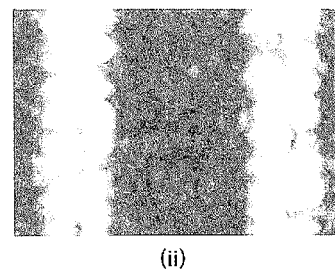
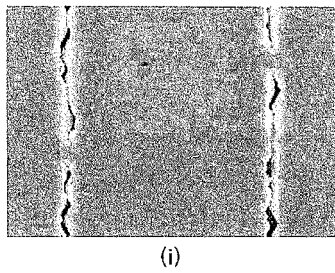
【図 1 1】



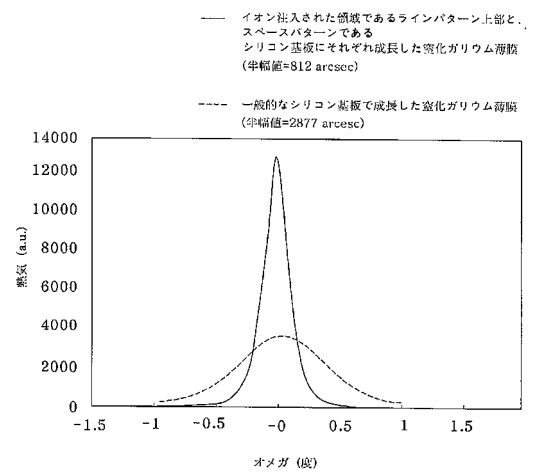
【図 1 2】



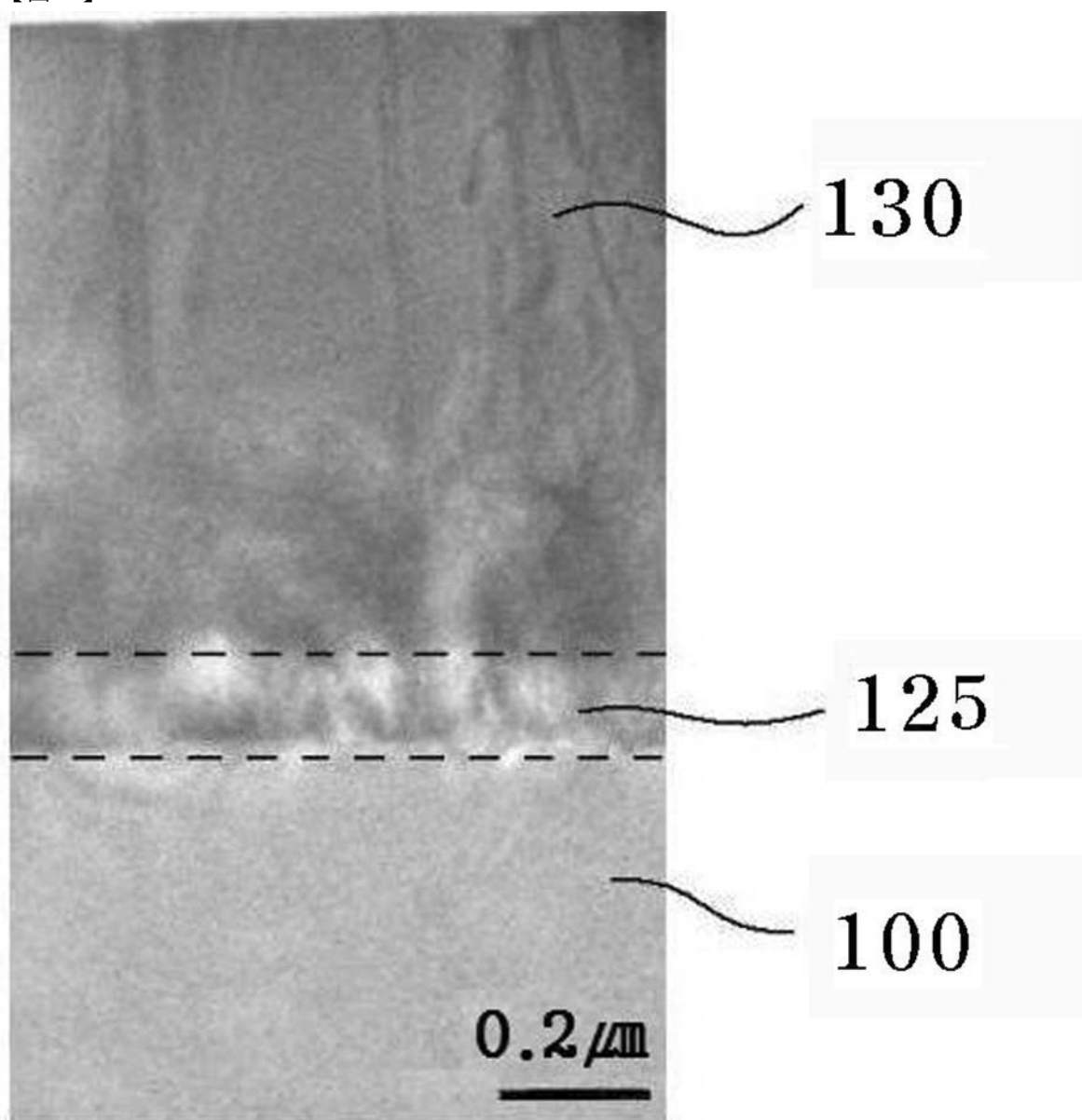
【図 1 3】



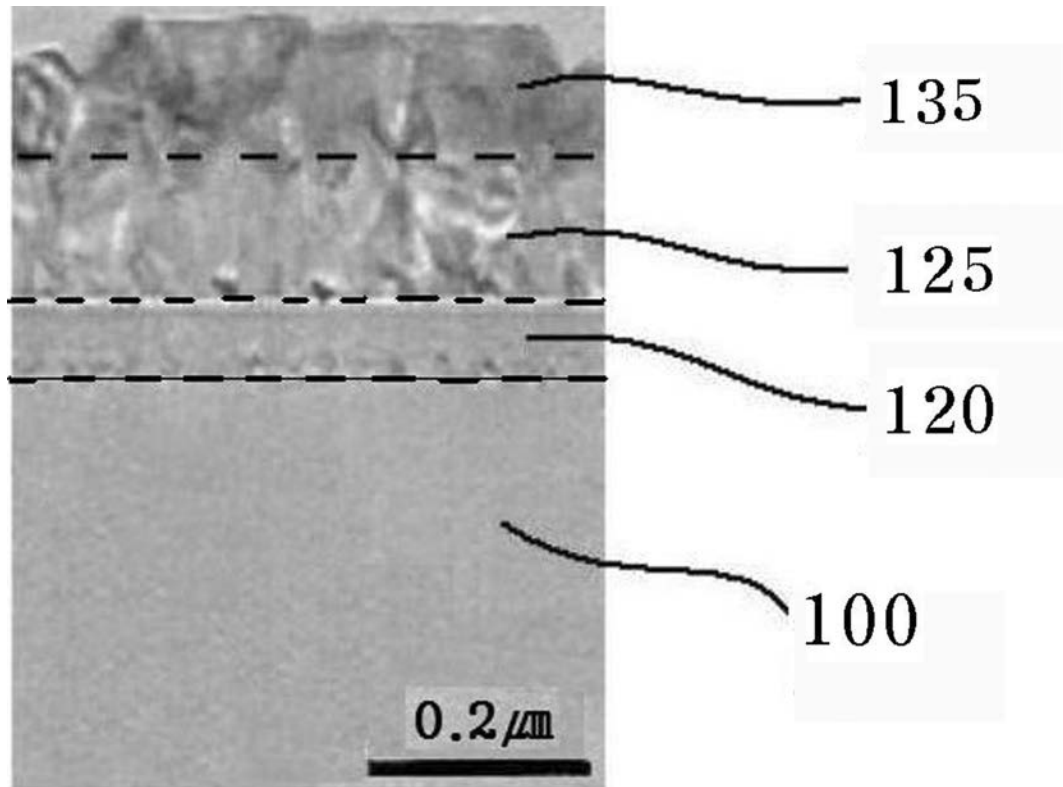
【図 1 4】



【図 1】



【図 2】



フロントページの続き

(72)発明者 晋 正 権

大韓民国 光州広域市 北区 北洞 添断 4 ギル 5 韓国光技術院

(72)発明者 白 宗 協

大韓民国 大田広域市 西区 万年洞 江邊アパート 109棟 401号

審査官 大塚 徹

(56)参考文献 特開平08-222812 (JP, A)

特開平11-274563 (JP, A)

特開2002-280308 (JP, A)

特開2000-077336 (JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01L 21/205