

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第5437135号
(P5437135)

(45) 発行日 平成26年3月12日 (2014. 3. 12)

(24) 登録日 平成25年12月20日 (2013. 12. 20)

(51) Int. Cl.

F I

H O 1 L 21/363 (2006. 01)

H O 1 L 21/363

C 3 O B 23/08 (2006. 01)

C 3 O B 23/08 M

H O 1 L 33/28 (2010. 01)

H O 1 L 33/00 1 8 2

H O 1 L 21/365 (2006. 01)

H O 1 L 21/365

請求項の数 5 (全 11 頁)

(21) 出願番号 特願2010-85642 (P2010-85642)
 (22) 出願日 平成22年4月2日 (2010. 4. 2)
 (62) 分割の表示 特願2001-133897 (P2001-133897)
 の分割
 原出願日 平成13年5月1日 (2001. 5. 1)
 (65) 公開番号 特開2010-171449 (P2010-171449A)
 (43) 公開日 平成22年8月5日 (2010. 8. 5)
 審査請求日 平成22年4月2日 (2010. 4. 2)

(73) 特許権者 000002303
 スタンレー電気株式会社
 東京都目黒区中目黒2丁目9番13号
 (73) 特許権者 594020031
 八百 隆文
 宮城県仙台市青葉区片平二丁目1番1号
 東北大学金属材料研究所内
 (74) 代理人 100091340
 弁理士 高橋 敬四郎
 (74) 代理人 100105887
 弁理士 来山 幹雄
 (72) 発明者 佐野 道宏
 東京都目黒区中目黒2丁目9番13号 ス
 タンレー電気株式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 半導体結晶の成長方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

S i C 基板の上に I I - V I 族の半導体結晶を成長させる方法であって、
 (a) S i C 基板表面を酸化性ガス雰囲気中において 8 0 0 以上で熱処理する工程と、
 (b) 加熱した前記 S i C 基板の表面上に I I 族原子として Z n を含み、かつ、V I 族原子として O を含む I I - V I 族半導体結晶を I I 族原子の極性面で成長する工程と、
 を含む半導体結晶の成長方法。

【請求項 2】

前記 (a) 工程は、酸素と N₂ O と N O_x とオゾンとから成る酸化性ガス群のうちから選択された少なくともいずれか 1 種のガス雰囲気中において、熱処理を行う工程を含む請求項 1 に記載の半導体結晶の成長方法。

【請求項 3】

前記 S i C 基板を熱処理する温度は、前記 I I - V I 族の半導体結晶の成長工程における結晶成長温度よりも高い温度である請求項 1 又は 2 に記載の半導体結晶の成長方法。

【請求項 4】

前記 (a) 工程は、R F プラズマ処理法と E C R プラズマ処理法とフィラメントから発生する熱を用いた熱処理法とから成る群のうちから選択される少なくとも 1 種の方法を用いて、前記酸化性ガスをクラッキングして形成する原子状の酸素を利用して熱処理する工程を含む請求項 2 又は 3 に記載の半導体結晶の成長方法。

【請求項 5】

10

20

前記 (b) 工程は、M B E 法又は M O C V D 法を用いて I I - V I 族半導体結晶を成長する工程を含む請求項 1 から 4 までのいずれか 1 項に記載の半導体結晶の成長方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、半導体結晶の成長方法に関し、特に、Z n O 系結晶の成長方法及びそれを用いた光半導体装置に関するものである。

【背景技術】

【0002】

Z n O 系の結晶は、R F - M B E 法 (別名 R S (ラジカルソース) - M B E 法) 又はレーザアブレーション法などを用いて、基板上に成長させている。基板としては、例えばサファイア基板、S c A l M g O₄ 基板或いは Z n O 基板などを用いる。

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0003】

ところで、従来の方法で成長した Z n O 結晶中には非発光センタが多く存在している。非発光センタの多い Z n O 結晶を用いて光半導体装置を製造すると、光学的特性に問題が生じる。加えて、Z n O 結晶に導電性を付与するための不純物をドーピングする際に、不純物の活性化率が良くない。成長中により多くの不純物を用を供給する必要があり、例えば高真空条件での成長が困難になる、或いは、良質な結晶成長が困難になる、などの問題が生じる。

【0004】

本発明の目的は、非発光センタの少ない良質な I I - V I 族結晶を成長することである。さらに、I I - V I 族結晶中の不純物の活性化率を向上させることを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0005】

本発明の一観点によれば、S i C 基板上に I I - V I 族の半導体結晶を成長させる方法であって、(a) S i C 基板表面を酸化性ガス雰囲気中において 800 以上で熱処理する工程と、(b) 加熱した前記 S i C 基板の表面上に I I 族原子として Z n を含み、かつ、V I 族原子として O を含む I I - V I 族半導体結晶を I I 族原子の極性面で成長する工程と、を含む半導体結晶の成長方法、が提供される。

【0007】

上記の光半導体素子を構成する半導体層は、特に非発光センタが少なく、かつ、ドーピング効率が良好である。従って、光半導体素子は、光学的特性に優れている。

【発明の効果】

【0008】

本発明によれば、光学的特性に優れた Z n O 系結晶を成長することができる。さらに、I I - V I 族半導体結晶への不純物のドーピング量を多くすることができる。これらの I I - V I 族半導体結晶を用いて、光学的特性に優れた光半導体装置を製造することができる。

【図面の簡単な説明】

【0009】

【図 1】本発明の第 1 の実施の形態による Z n O 系結晶の成長方法に用いる R F - M B E 装置の概略を示す断面図である。

【図 2】C A I C I S S 法により測定した Z n O 結晶の信号強度 (縦軸) と H e イオンの入射角度 θ (横軸) との関係を示すスペクトルグラフである。図 2 には、シミュレーション結果も併せて示した。

【図 3】Z n 極性面で成長した Z n O 結晶と O 極性面で成長した Z n O 結晶と 4 . 2 K における P L 測定の結果を示すスペクトルグラフである。

【図 4】本発明の第 3 の実施の形態による Z n O 系結晶を用いた p - n 接合ダイオードを

10

20

30

40

50

含むLED装置の構造を示す断面図である。

【発明を実施するための最良の形態】

【0010】

以下に、本発明の第1の実施の形態による半導体成長技術について図1から図3までを参照して説明する。

【0011】

図1は、RF-MBE法による結晶成長装置の概略構造を示す図である。図2は、サファイア基板上へ成長したZnO層に関して、CAICISS法(Coaxial Impact Collision Ion Scattering Spectroscopy)により測定した測定結果とシミュレーション結果を示すスペクトルグラフである。図3は、ZnO結晶のPL発光スペクトル測定の測定結果を示すスペクトルグラフである。

10

【0012】

図1に、III-V族化合物半導体結晶の成長装置の一例として、高周波分子線エピタクシー(RF-MBE)法を用いた結晶成長装置(以下「RF-MBE装置」という。)を示す。

【0013】

RF-MBE装置Aは、結晶成長が行われるチャンバ1と、チャンバ1を超高真空状態に保つ真空ポンプPとを含む。チャンバ1は、Znを蒸発させるためのZn用ポート11と、Mgを蒸発させるためのMg用ポート21と、Oラジカルを照射するためのOラジカルポート31と、Nラジカルを照射するためのNラジカルポート41とを含む。

20

【0014】

Zn用ポート11は、Zn(純度7N)原料15を収容するとともに加熱・蒸発させるクヌーセンセル(Knudsen cell: 以下Kセルと呼ぶ。)17とシャッタS₁とを備えている。

【0015】

Mg用ポート21は、Mg原料25を収容するとともに加熱・蒸発させるクヌーセンセル(Knudsen cell: 以下Kセルと呼ぶ。)27とシャッタS₂とを備えている。

【0016】

Oラジカルポート31は、無電極放電管内に原料ガスである酸素ガスを導入し、高周波(13.56MHz)を用いて生成したOラジカルを、MBEチャンバ1内に噴出する。Oラジカルのビームに対してオリフィス33とシャッタS₃とが設けられている。

30

【0017】

Nラジカルポート41は、無電極放電管内に原料ガスである窒素ガスを導入し、高周波(13.56MHz)を用いて生成したNラジカルを、MBEチャンバ1内に噴出する。Nラジカルのビームに対してシャッタS₄が設けられている。

【0018】

ラジカルポート31、41の構造としては、外側シールド管内に設けられている放電管の外側に誘導コイルが巻かれている構造である。

【0019】

40

チャンバ1内には、結晶成長の下地となるサファイア基板Sを保持する基板ホルダー3と、基板ホルダー3を加熱するためのヒータ3aとが設けられている。サファイア基板Sの温度は熱電対5によって測定可能である。基板ホルダー3の位置は、ベローズを用いたマニピュレータ7によって移動可能である。

【0020】

チャンバ1は、成長した結晶層をモニタリングするために設けられた反射高エネルギー電子線回折装置(RHEED装置)のガン51とRHEED装置のスクリーン55とを含む。RHEED装置のガン51とRHEED装置のスクリーン55とを用いて、MBE装置A内での結晶成長の様子(成長量、成長した結晶層の質)をモニタリングしながら成長を行うことができる。

50

【0021】

結晶成長の温度、結晶成長膜の厚さ、チャンバ内の真空度等は、制御装置Cによって適宜制御される。結晶成長はシャッタ S_1 から S_4 を適宜開閉しRF-MBE法により行う。

【0022】

ラジカルソースを発生させる方法としては、RFを用いる。13.56MHzの高周波を用いて、無電極放電管内に原料ガスである O_2 を導入することによりOラジカルを生成する。例えば、Oラジカルを高真空状態のMBEチャンバ1内に吹き出させることにより、Oラジカルビームとなる。OラジカルビームとKセルからのZnビームとをサファイア基板S上に同時に照射することにより、ZnO薄膜の成長を行うことができる。不純物としてNをドーピングする場合も同様にNラジカルビームを照射すれば良い。

10

【0023】

以下に、基板S上に、ZnOを成長する工程について、詳細に説明する。サファイア基板に所定の前処理を行う。まず、サファイア基板を有機溶媒によって洗浄する。次いで、リン酸と硫酸とを1:3の割合で混合し、110℃に加熱した混合溶液中において、サファイア基板を30分間ウェット処理する。その後、サファイア基板をチャンバ中の基板ホルダーに取り付け、チャンバ内を 10^{-10} Torr (1.33×10^{-8} Pa)の高真空にする。チャンバ内を高真空状態にした後、還元ガス、例えば水素ガス中にて、その後の成長温度よりも高い温度、例えば1000℃で、30分程度熱処理を行う。

【0024】

20

次いで、基板温度を所定の成長温度、例えば600℃まで下げ、基板にZnビーム及びOラジカルビームを照射し、ZnO結晶の成長を開始する。所定の厚さのZnO層を成長する。MgZnO層を成長する際には、シャッタ S_4 も開けてMgビームも基板に照射する。

【0025】

上記の成長工程により成長させたZnO結晶をCAICISS法により評価した。

【0026】

図2は、CAICISS法により測定したZnO膜の信号強度(縦軸)とHeイオンの入射角度 θ (横軸)との関係を示す図である。図2には、シミュレーション(理論計算)に基づく計算結果についても合わせて示した。シミュレーションは、3次元2原子3回散乱モデル(Three dimensional two-atom triple scattering model)を用いた。図2に示すシミュレーション結果は、Zn極性面が露出したZnO層に関する計算結果である。

30

【0027】

図2より、実験結果とシミュレーション結果とは良い一致を示すことがわかる。すなわち、上記成長条件で成長したZnO層は、Zn極性面で成長しているものと考えられる。この結果は、ZnO系結晶のみならず、他のII-V族半導体結晶に拡張できるものと考えられる。尚、II族元素としてはZnを含む系に限定することにより、以下に説明する作用効果を得やすくなると考えられる。

【0028】

40

サファイア基板上のZnO結晶を成長させる場合に、ZnO系結晶を成長する前の基板処理条件により、ZnO結晶をO極性面で成長するか、或いはZn極性面で成長するかを決めることができる。サファイア基板表面を還元ガス雰囲気中で、成長温度より高い温度、具体的には800℃以上の温度で熱処理を行った場合、その上にZn極性面でZnO結晶が成長する。サファイア基板表面を還元ガス以外の雰囲気中で熱処理を行った場合、又は還元ガス中であっても、例えば800℃以下の結晶成長温度よりも低い温度で熱処理を行うと、その上にO極性面でZnO結晶が成長する。

【0029】

上記基板処理雰囲気を水素ガス以外にプラズマ状水素や原子状水素を含む雰囲気、 NH_3 ガス雰囲気等の還元性ガス雰囲気とすることもできるであろう。また、基板処理条件と

50

してサファイア基板上に AlN バッファ層や Mg_3N_2 バッファ層を形成することにより II-VI 族半導体結晶を、 Zn を含む II 族原子の極性面で成長することもできるであろう。

【0030】

次に、 ZnO 結晶層中に不純物として N をドーピングするための実験を行った。 N ラジカルポート 41 を用いて生成した N ラジカルを、 ZnO 結晶層の成長中にサファイア基板に向けて照射することにより N 不純物のドーピングを行った。

【0031】

尚、 ZnO 結晶の成長は、 O 極性面又は Zn 極性面のいずれかで成長するように 2 通りの実験を行い、 O 極性面で成長した ZnO 結晶と Zn 極性面で成長した ZnO 結晶の特性とを比較した。前述のように、 O 極性面で成長させるためには、 ZnO 結晶成長前に高真空中で 1000、30 分間の熱処理を行った。

【0032】

不純物濃度分析により N の不純物濃度を測定した結果、 O 極性面で成長した ZnO 結晶と Zn 極性面で成長した ZnO 結晶とでは、 Zn 極性面で成長した ZnO 結晶中の N 不純物濃度の方が 2 桁程度高いことがわかった。 Zn 極性面で成長した ZnO 結晶中の N 不純物濃度としては、例えば 10^{19} cm^{-3} オーダーの値が得られる。

【0033】

Zn 面で成長させた ZnO 結晶と O 極性面で成長させた ZnO 結晶とについて、不純物 (N) をドーピングした場合の光学特性を比較する。

【0034】

図 3 は、サファイア基板上に、 Zn 極性面で成長させた ZnO 結晶と O 極性面で成長させた ZnO 結晶とについて、同一の条件で N をドーピングした場合の PL 特性を比較して示す図である。サファイア基板を還元ガス中で熱処理し Zn 極性面で成長させた N ドープ ZnO 結晶と、 ZnO 結晶成長前にサファイア基板を高真空中で 1000、30 分間の熱処理を行い O 極性面で成長させた N ドープ ZnO 結晶との PL 特性を比較した。 PL 測定は、基板温度 4.2 K で行った。

【0035】

図 3 に示すように、 Zn 極性面で成長させた N ドープ ZnO 結晶の PL 強度は、 O 極性面で成長させた N ドープ ZnO 結晶の PL 強度と比べて、8 倍ほど高いことがわかる。この結果から、不純物として N をドーピングした場合でも、 Zn 極性面で成長させた ZnO 結晶の方が O 極性面で成長した ZnO 結晶よりも光学的特性が優れていることがわかった。上述のように、これらの結果は、他の II-VI 族半導体結晶にも拡張することができると考えられる。

【0036】

尚、発明者の実験によれば、 N を 10^{19} cm^{-3} オーダーの高い濃度までドーピングすると、自己補償効果により非発光センタが増大し、光学的特性は劣化する傾向にあることがわかっている。この点と PL 強度の結果とを考慮すれば、 Zn 極性面で成長した ZnO 結晶と O 極性面で成長した ZnO 結晶とでは、 Zn 極性面で成長した ZnO 結晶の方が、不純物 (N) の活性化率がかなり良いと言える。すなわち、 Zn 極性面で成長した ZnO 結晶は、 O 極性面で成長した ZnO 結晶よりも光学特性と不純物の活性化率とが優れていると言える。

【0037】

以上説明したように、サファイア基板表面を、その上に Zn 極性面で ZnO 結晶が成長するように処理し、その後実際に Zn 極性面で ZnO 結晶を成長すると、光学的特性に優れた ZnO 結晶を成長することができることがわかった。

【0038】

次に、本発明の第 2 の実施の形態による半導体結晶について説明する。本実施の形態は、六方晶系 SiC 基板上に ZnO 結晶を成長するものである。 SiC 基板は (0001) 面 (+C 面) を主面とする基板を用いる。所定の条件を用いて SiC 基板表面にエッチン

10

20

30

40

50

グ処理を施す。その後、RF-MBE装置に基板を取り付け、所定の基板温度、例えば800℃まで基板温度を上げる。その後、酸素プラズマガン31のシャッタS₃を開ける。この際、酸素の流量を3sccmとし、RFパワーを300Wとする。基板温度により、必要な処理時間は異なるが、例えば基板温度を800℃とした場合には、30分以上の処理時間が好ましい。

【0039】

酸素処理を終了させた後、SiC基板の温度を所定の温度、例えば600℃まで下げて、ZnO結晶層の成長を行う。すなわち、ZnO結晶の成長は、酸素プラズマ雰囲気中で熱処理温度よりも低い温度で行うのが好ましい。

【0040】

上記のプロセスを用いると、ZnO結晶はZn極性面で成長する。Zn極性面で成長させることにより、上記第1及び第2の実施の形態による半導体成長技術の場合と同様に、ZnO結晶は、良好な光学的特性と高い活性化率を示す。

【0041】

尚、ZnO結晶成長前の処理ガスとして、酸素ガス、N₂O、NO_x及びオゾンとから成る群のうちの少なくともいずれか1種類以上を選択して用いても良い。これらの酸化性ガスを、クラッキングして形成した原子状の酸素を用いて熱処理を行っても良い。この際、RF法とECR法とフィラメントの熱などを用いた熱処理法とのうちから選択された方法を用いて酸化性ガスをクラッキングすれば良い。上記の処理を行った後にZnO結晶を成長すると、ZnO結晶をZn極性面で成長させることができる。

【0042】

以上のように、本発明の第2の実施の形態による半導体成長技術を用いると、SiC基板上にZnO系結晶をZnの極性面で成長させることができる。従って、非発光センタの少ない光学的特性に優れたZnO系結晶を成長させることができる。加えて、不純物の活性化率を高くすることができる。

【0043】

尚、上記第1及び第2の実施の形態による半導体結晶成長技術においては、SiC基板又はサファイア基板上にZnO系結晶を成長する場合を例にして説明したが、所定の前処理をもってZnO(0001)面(+C面)上にZnO結晶を成長すれば、Zn極性面で成長することができ、ZnO系結晶層の光学的特性を改善できることは明らかである。

【0044】

以上、説明したように、所定の基板上にZnO系結晶を成長させる際に、ZnO系結晶をZn極性面で成長させるための前処理条件は、用いる基板の種類によって異なるが、それぞれについてZn極性面でZnO系結晶が成長するような前処理条件、特に熱処理条件を選択すれば、実際にZnO系結晶をZn極性面で成長させることができる。

【0045】

次に、本発明の第3の実施の形態による光半導体装置について図4を参照して説明する。

【0046】

LED(Light Emitting Diode)やLD(Laser Diode)等の光半導体装置を構成する半導体結晶材料の結晶性は、光半導体素子の電気的な特性、光学的特性及び素子の信頼性(素子寿命)に重大な影響を与える。光半導体素子を構成する半導体結晶材料の結晶性が良好なほど、光半導体素子の光学的・電気的特性や信頼性が良好になる。

【0047】

まず、出発基板表面にZn極性面でZnO系結晶が成長するような処理を施し、その上に光半導体素子構造を構成するZnO系結晶層をZn極性面で成長すれば、光学的特性の良好な光半導体素子を製造することができる。

【0048】

図4に示す光半導体装置Cは、サファイア基板51を出発基板として用いている。サフ

10

20

30

40

50

アイア基板 5 1 の表面を還元ガス中で成長温度よりも高い温度の熱処理を行う。その後、RF-MBE 法により ZnO 系結晶を成長すると、ZnO 系結晶が Zn 極性面で成長する。

【0049】

尚、本実施の形態において、LED の設計上の自由度を向上させるため、ZnO 系結晶として、ZnO 層の他に $Mg_x Zn_{1-x}O$ 層をも成長させた。 $Mg_x Zn_{1-x}O$ 層は、図 1 に示す RF-MBE 装置内に、別途、Mg のポートを設け、Zn と O と Mg のビームを基板に照射することにより成長することができる。

【0050】

結晶成長時のチャンバ内圧力は、全層とも $1 \times 10^{-5} \text{ Torr}$ ($1.33 \times 10^{-3} \text{ Pa}$) である。 10

【0051】

以下に各層の成長温度、膜厚及び成長原料の例を示す。

【0052】

まず、サファイア基板 5 1 上に、Zn 極性面になる前処理を行った後、成長温度、例えば 600 °C まで下げる。

【0053】

尚、n 型のドーパントとしては N を用いる。

【0054】

$Mg_{0.05} Zn_{0.95}O$ バッファ層 5 3 上に、 $n-Mg_{0.33} Zn_{0.67}O$ クラッド層 5 5 を成長する次いで $Mg_{0.05} Zn_{0.95}O$ バッファ層 5 3 を成長する。クラッド層として、さらに $n-ZnO$ クラッド層を形成しても良い。 $Mg_{0.05} Zn_{0.95}O$ バッファ層 5 3 と $n-Mg_{0.33} Zn_{0.67}O$ クラッド層 5 5 との間に、 $n-ZnO$ クラッド層を挿入しても良い。 20

【0055】

次いで、 $MgZnO/ZnO$ の多重量子井戸構造を有する活性層 6 1 を成長する。活性層 6 1 上に、 $p-MgZnO$ クラッド層 6 3 を成長する。 $p-Mg_{0.33} Zn_{0.67}O$ クラッド層 6 3 の上に $p-ZnO$ コンタクト層 6 5 を成長する。

【0056】

上記のように成長した積層構造を加工する。 30

【0057】

活性層 6 1 と、クラッド層 6 3 と、クラッド層 6 5 とが島状に加工されて島状積層構造 SS 1 を形成する。 n 型 $Mg_x Zn_{1-x}O$ クラッド層 6 5 の表面の一部が露出する。

【0058】

島状積層構造 SS 1 の側壁は、サイドスペーサ絶縁膜 7 1 により被覆される。サイドスペーサ絶縁膜 7 1 の上部に開口 7 2 が形成されており、開口 7 2 から $p-ZnO$ コンタクト層 6 5 の表面が露出している。

【0059】

尚、活性層 6 1 としては、上記の多重量子井戸構造以外にも、 $ZnCdO/ZnO$ 又は $MgZnCdO/MgZnCdO$ 等の多重量子井戸構造を用いることもできる。 40

【0060】

活性層 6 1 を、 n 型のクラッド層 5 5 と p 型のクラッド層 6 3 とで挟んだダブルヘテロ構造を形成しても良い。その場合には、例えば活性層 6 1 の厚さが 10 から 100 nm である。多重量子井戸構造を形成する場合は、井戸層と障壁層が交互に形成されている。この場合、1 井戸層と 1 障壁層との合計の膜厚が 10 nm 以下であることが好ましい。但し、1 井戸層の厚さは 1 障壁層の厚さよりも薄いのが好ましい。これら 1 井戸層と 1 障壁層とを 1 単位として、この 1 単位を 3 周期から 5 周期繰り返すのが好ましい。

【0061】

n 型 ZnO クラッド層 5 5 に接触する下部電極 7 3 を形成するとともに、 p 型 ZnO コンタクト層 6 5 上に受光面に開口 7 2 を有する上部電極 7 5 を形成する。このようにして 50

、発光ダイオードLEDを形成することができる。発光ダイオードLEDは、上記の工程を経て、ZnO系の結晶層、特に活性層61がZn極性面で成長されるため、非発光センタが少ない。同じ非発光センタ量と比較すれば、不純物のドーピング量を増やせるので、例えばコンタクト層65中の抵抗率を下げることができ、電極との間のコンタクト抵抗などを低減できる。

【0062】

従って、LEDの光学特性を向上させることができる。例えば、短波長（紫外から青色）LED及びそれを用いた各種インジケータ、ディスプレイに適用可能である。さらに、白色LED及びそれを用いた照明器具、各種インジケータ、ディスプレイ及び各表示器のバックライトなどにも適用可能である。

10

【0063】

尚、本実施の形態においては、光半導体素子としてLEDを製造する場合を例にして説明したが、その他、レーザ装置などを形成した場合にも、光学的特性を向上させることができることは言うまでもない。

【0064】

また、サファイア基板以外にも、前述のSiC基板やZnO(0001)面(+C面)を主面とする基板上に同様のZnO系光半導体素子を形成することができる。

【0065】

さらに、上記ZnO系結晶の成長方法として、RF-MBE法を例示したが、その他のMBE法、例えばガスソースMBE法を用いても良い。或いは、MOCVD法を用いても良い。

20

【0066】

特に、MOCVD法を用いた成長技術では、H₂雰囲気中において基板表面処理を行い、次いで、II-V族などの半導体結晶を成長する工程が一般的に用いられている。従って、基板表面処理工程と結晶成長工程とを1つのMOCVD装置内において連続処理することが容易である。すなわち、MOCVD法を用いて基板の前処理を行い、次いでII-V族半導体結晶を成長させる技術は、本発明に包含されるものであり、かつ、その中でも有力な技術の1つと言える。

【0067】

以上、実施の形態に沿って本発明を説明したが、本発明はこれらに制限されるものではない。結晶成長の条件その他のプロセスパラメータも種々選択することができる。その他、種々の変更、改良、組み合わせ等が可能なことは当業者には自明であろう。

30

【符号の説明】

【0068】

A RF-MBE装置

P 真空ポンプ

1 チャンバ

3 基板ホルダー

3a ヒータ

5 熱電対

40

7 マニピュレータ

11 Zn用ポート

21 Mg用ポート

31 オリジナルポート

41 Nラジカルポート

17、27、47 クヌーセンセル

33 オリフィス

S 基板

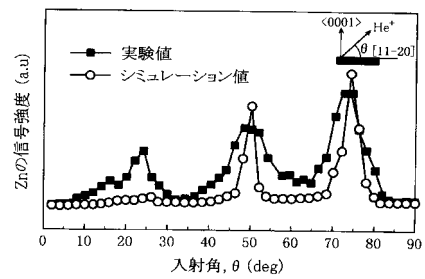
51 サファイア基板

53 Mg_{0.05}Zn_{0.95}Oパッファ層

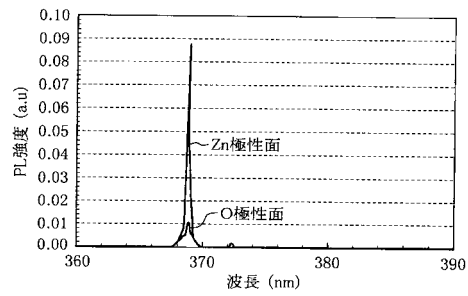
50

7 5 上部電極

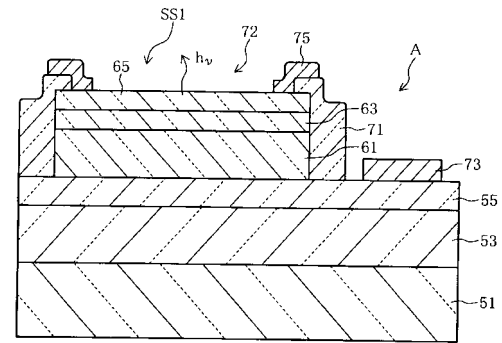
【 図 2 】



【図 3】



【図 4】



- | | |
|----------------------|-------------|
| 51: サファイア基板 | 71: サイドスペーサ |
| 53: MgZnOバッファ層 | 72: 開口 |
| 55: n-MgZnOクラッド層 | 73: 下部電極 |
| 61: MgZnO/ZnO MQW活性層 | 75: 上部電極 |
| 63: p-MgZnOクラッド層 | SS1: 積層 |
| 65: p-ZnOコンタクト層 | |

フロントページの続き

(72)発明者 八百 隆文

宮城県仙台市青葉区片平二丁目1番1号 東北大学金属材料研究所内

審査官 今井 拓也

(56)参考文献 国際公開第00/016411(WO, A1)

特開2001-068485(JP, A)

S.-K. Hong et al., Control of polarity of ZnO films grown by plasma-assisted molecular
-beam epitaxy: Zn- and O-polar Zn, Appl. Phys. Lett., 米国, American Institute of Phys
ics, 2000年11月27日, Vol. 77, No. 22, pp. 3571-3573

S. Kazuta et al., Determination of the polarities of ZnO thin films on polar and nonpo
lar substrates using scanning no, Jpn. J. Appl. Phys., 日本, The Japan Society of Appl
ied Physics, 2000年 5月, Vol. 39, pp. 3121-3124

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01L 21/363

H01L 21/365

H01L 33/28

C30B 23/28

C30B 25/20

C30B 29/16