

## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

基板上に n 型半導体および p 型半導体を含むように積層して構成された半導体素子の製造方法であって、

異なる III 族元素による少なくとも 2 つのターゲットを、V 族元素を含むガスによりスパッタリングして、III - V 族の化合物半導体の膜を前記基板上に形成する工程を含むことを特徴とする半導体素子の製造方法。

## 【請求項 2】

前記異なる III 族元素による少なくとも 2 つのターゲットの間に、遮蔽板を備えることを特徴とする請求項 1 に記載の半導体素子の製造方法。

10

## 【請求項 3】

前記化合物半導体は、前記 III 族元素の少なくとも 2 つのターゲットのそれぞれに供給されるスパッタリング電力により当該化合物半導体の組成比が設定されることを特徴とする請求項 1 または 2 に記載の半導体素子の製造方法。

## 【請求項 4】

前記基板は、前記少なくとも 2 つのターゲットのそれぞれに対向する位置に交互に設置されることにより、前記化合物半導体の膜が形成されることを特徴とする請求項 1 ないし 3 のいずれか 1 項に記載の半導体素子の製造方法。

## 【請求項 5】

前記 III 族元素は、インジウム (In) とガリウム (Ga) とであって、前記 V 族元素は、窒素 (N) であって、前記化合物半導体は、 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  ( $0 < x < 1$ ) であることを特徴とする請求項 1 ないし 4 のいずれか 1 項に記載の半導体素子の製造方法。

20

## 【請求項 6】

前記化合物半導体中のインジウム (In) の組成比  $x$  が、前記インジウム (In) のターゲットに供給されるスパッタリング電力  $P_1$  と前記ガリウム (Ga) のターゲットに供給されるスパッタリング電力  $P_2$  とから、

$$x = 1 - 2 P_1 / (P_1 + P_2)$$

により設定されることを特徴とする請求項 5 に記載の半導体素子の製造方法。

## 【請求項 7】

前記化合物半導体中のインジウム (In) の組成比  $x$  が 0.7 以上の範囲であって、基板温度が 150℃ 以上且つ 400℃ 以下に設定されることを特徴とする請求項 5 に記載の半導体素子の製造方法。

30

## 【請求項 8】

前記化合物半導体中のインジウム (In) の組成比  $x$  が 0.3 以上且つ 0.7 未満の範囲であって、基板温度が 400℃ を超え且つ 800℃ 以下に設定されることを特徴とする請求項 5 に記載の半導体素子の製造方法。

## 【請求項 9】

前記基板は、サファイア、炭化珪素 (SiC)、窒化ガリウム (GaN)、酸化亜鉛 (ZnO)、石英または非晶質固体 (ガラス) から形成されていることを特徴とする請求項 1 ないし 8 のいずれか 1 項に記載の半導体素子の製造方法。

40

## 【請求項 10】

前記半導体素子が、半導体発光素子または半導体受光素子であることを特徴とする請求項 1 ないし 9 のいずれか 1 項に記載の半導体素子の製造方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【技術分野】

## 【0001】

本発明は、III - V 族化合物半導体を用いた半導体素子の製造方法に関する。

## 【背景技術】

## 【0002】

III - V 族化合物半導体、なかでも、V 族元素として窒素 (N) を含有する窒化ガリ

50

ウム (GaN)、窒化アルミニウム (AlN)、窒化インジウム (InN) を用いた半導体素子は、青色発光の発光素子のみならず、高周波素子、大電流素子、受光素子、太陽電池などとしても研究が進められている。

とくに、GaN、AlN、InNの少なくとも二つを含む化合物半導体は、含まれるガリウム (Ga)、インジウム (In)、アルミニウム (Al) などの濃度を变化させることにより、バンドギャップを広い範囲で制御できる。

#### 【0003】

このような化合物半導体の膜の成長は、有機金属気相成長 (MOCVD: Metal Organic Chemical Vapor Deposition) 法、分子線結晶成長 (MBE: Molecular Beam Epitaxy) 法、ハイドライド系気相成長 (HVPE: Hydride Vapor Phase Epitaxy) 法などの方法によって行われる。

しかし、MOCVD法では、形成された膜の結晶性は、基板の格子定数と膜の格子定数との関係において決定されるため、格子定数のずれ (格子不整合) が小さいほど、結晶性に優れた膜となり、格子不整合が大きいほど、結晶性に劣る膜となる。よって、例えばガリウム (Ga)、インジウム (In)、アルミニウム (Al) の濃度を任意に設定した窒化膜の形成ができにくかった。

さらに、MOCVD法では、例えば1000 などの温度に基板を設定することが必要であるため、高温で析出しやすいInの濃度を高くすることが困難であった。

#### 【0004】

これに対し、スパッタリング (スパッタ) 法は、運動エネルギーを持った粒子 (原子、分子) などを基板に衝突させる方法であるため、必ずしも基板の温度を高く設定することを要しない。

特許文献1には、光学研磨したサファイアC面基板または光学研磨したガラスに金属を蒸着した導電性基板を用い、金属アルミニウム、金属ガリウム、金属インジウムの少なくとも一つをターゲットとし、該ターゲットと前記基板との間に直流バイアスを印加し、窒素ガスを含有した雰囲気中で高周波スパッタリング法により、III-V族化合物半導体である  $Al_xGa_{1-x}N$  ( $0 < x < 1$ ) またはInNをバッファ層として前記基板上に堆積させ、次に前記バッファ層上に該バッファ層と同一組成である  $Al_xGa_{1-x}N$  ( $0 < x < 1$ ) またはInNをエピタキシャル成長させる化合物半導体の成長方法が記載されている。

特許文献2には、GaやGa-Inなどの低融点材料のターゲットを用い、反応性スパッタを行うに際して、ターゲット表面の温度を融点以上に上昇させ、溶融させることにより、形成すべき化合物膜の成長レートを向上させるとともに、膜中に含まれる窒素の量を増加させ、膜質を改善した化合物膜の製造方法が記載されている。

#### 【先行技術文献】

##### 【特許文献】

#### 【0005】

【特許文献1】特開昭60-173829号公報

【特許文献2】特開2005-272894号公報

#### 【発明の概要】

#### 【発明が解決しようとする課題】

#### 【0006】

ところで、基板上に結晶性に優れた任意の組成比の化合物半導体の膜を形成することができることが好ましい。特に、Inを含む化合物半導体の膜においては、高いIn濃度を有する化合物半導体の膜が形成できることが好ましい。

しかし、特許文献1では、InNの膜の形成が示されているのみであり、特許文献2では、Gaをターゲットに用いたGaNの膜およびGa-75%Inのターゲットを用いたInGaNの膜の形成が示されているのみである。

バンドギャップを広い範囲で制御するためには、Inの組成比がより広い範囲の膜が形

10

20

30

40

50

成できることが好ましい。

本発明は、広い範囲で制御された組成比を有し、結晶性が優れる化合物半導体の膜を用いた半導体素子を製造する方法を提供する。

【課題を解決するための手段】

【0007】

かかる目的のもと、本発明が適用される半導体素子の製造方法は、基板上にn型半導体およびp型半導体を含むように積層して構成された半導体素子の製造方法であって、異なるIII族元素による少なくとも2つのターゲットを、V族元素を含むガスによりスパッタリングして、III-V族の化合物半導体の膜を基板上に形成する工程を含むことを特徴としている。なお、半導体素子には、半導体発光素子や半導体受光素子等が挙げられる。

10

ここで、異なるIII族元素による少なくとも2つのターゲットの間に、遮蔽板を備えることができる。

この化合物半導体は、III族元素の少なくとも2つのターゲットのそれぞれに供給されるスパッタリング電力により化合物半導体の組成比が設定されることを特徴とすることができる。

そして、半導体素子の基板は、少なくとも2つのターゲットのそれぞれに対向する位置に交互に設置されることにより、化合物半導体の膜が形成されることを特徴とすることができる。

また、III族元素は、インジウム(In)とガリウム(Ga)とであって、V族元素は、窒素(N)であって、化合物半導体は、 $In_xGa_{1-x}N$  ( $0 < x < 1$ )であることを特徴とすることができる。

20

そしてまた、III-V族の化合物半導体中のインジウム(In)の組成比xは、インジウム(In)のターゲットに供給されるスパッタリング電力P1とガリウム(Ga)のターゲットに供給されるスパッタリング電力P2とから、

$$x = 1 - 2 \cdot P_1 / (P_1 + P_2)$$

により設定されることを特徴とすることができる。

また、化合物半導体中のインジウム(In)の組成比xが0.7以上の範囲にあっては、基板温度は150℃以上且つ400℃以下に設定することができる。

一方、化合物半導体中のインジウム(In)の組成比xが0.3以上且つ0.7未満の範囲では、基板温度は400℃を超え且つ800℃以下に設定することができる。

30

さらに、基板は、サファイア、炭化珪素(SiC)、窒化ガリウム(GaN)、酸化亜鉛(ZnO)、石英または非晶質固体(ガラス)から形成されていることを特徴とすることができる。

半導体素子は、半導体発光素子または半導体受光素子であることを特徴とすることができる。

【発明の効果】

【0008】

本発明によれば、広い範囲で制御された組成比を有し、結晶性が優れる化合物半導体の膜を用いて、半導体素子が製造できる。

40

【図面の簡単な説明】

【0009】

【図1】本実施の形態が適用される半導体素子の製造方法に用いられるスパッタリング(スパッタ)装置の一例の断面構成を示す図である。

【図2】図1に示すスパッタリング装置のII-II断面図である。

【図3】スパッタリング装置における基板ホルダの表面図である。

【図4】スパッタリング装置を用いて製造される半導体素子の一例としての半導体発光素子の断面構造を示している。

【図5】基板上に下地層を形成する方法を説明するためのフローチャートである。

【図6】実施例1~7および比較例1、2における各種製造条件と評価結果との関係を示

50

す図である。

【図 7】実施例 1、4、6、7 および比較例 1、2 の X 線回折におけるピークを示す図である。

【図 8】実施例 1 ~ 7 における  $I_n$  の組成比  $x$  とスパッタリング電力比  $P_1(I_n) / (P_1(I_n) + P_2(Ga))$  との関係を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0010】

以下、添付図面を参照して、本発明の実施の形態について詳細に説明する。

図 1 は本実施の形態が適用される半導体素子の製造方法に用いられるスパッタリング（スパッタ）装置 1 の一例の断面構成を示す図である。また、図 2 は、図 1 に示すスパッタリング装置 1 の I I - I I 断面図である。

このスパッタリング装置 1 は、基板 110 と、基板 110 上に成膜される膜の原料となるターゲット（第 1 ターゲット 21、第 2 ターゲット 22）とが対向して配置された平行平板型の構成を有している。なお、本実施の形態では、ターゲットを 2 個設けたマルチターゲットとしたが、さらに多数のターゲットを備えていてもよい。また、スパッタリング装置 1 は、平行平板型に限らず、多角形筒型の基板ホルダを用い、垂直な回転軸の周りを回転しながら膜形成を行うカルーセル型であってもよい。

【0011】

スパッタリング装置 1 は、内部が減圧状態に維持されてプラズマ放電が形成されるチャンバ 10 と、チャンバ 10 内に設置され、第 1 ターゲット 21 および第 2 ターゲット 22 を保持する第 1 カソード 51 および第 2 カソード 52 と、基板 110 を保持し基板 110 が第 1 ターゲット 21 または第 2 ターゲット 22 に対向するように基板 110 を回転させる基板ホルダ 60 とを備えている。

これらのうち、チャンバ 10 は、円筒状の形状を有し上方に向かう開口が形成されるとともにその内部に第 1 ターゲット 21、第 2 ターゲット 22 を収容する収容部 11 と、円板状の形状を有しこの収容部 11 の上部に取り付けられ、基板ホルダ 60 を保持する蓋部 12 とを備えている。

【0012】

ここで、収容部 11 および蓋部 12 は、ステンレス等の金属にて構成されている。また、蓋部 12 は、収容部 11 に対して開閉自在に取り付けられており、収容部 11 に対して閉じられた場合には、収容部 11 とともにチャンバ 10 を形成する。なお収容部 11 と蓋部 12 とが対向する部位には、図示しない O リング等のシール材が取り付けられている。

なお、収容部 11 および蓋部 12 は接地されて、電位の基準となっている。

【0013】

また、蓋部 12 の中央部には、基板ホルダ 60 の回転軸 64 を貫通させるための貫通孔が形成されている。そして、この貫通孔と基板ホルダ 60 の回転軸 64 との間には、基板ホルダ 60 を、外気の流入なく回転自在に保持するための O リング等による軸シール 63 が設けられている。基板ホルダ 60 は回転軸 64 を中心に矢印 A で示す方向に回転するようになっている。

さらに、蓋部 12 の中央部から偏倚した位置には、外部に設けられたガス供給部 70 からチャンバ 10 内部にガスを供給するための貫通孔が形成されている。

【0014】

一方、収容部 11 の底面には、チャンバ 10 を排気するため、排気管 14 が貫通形成されている。また、排気管 14 には、排気速度を調節するため排気速度調整弁 81 が設けられている。

そして、収容部 11 の底面には、第 1 ターゲット 21 および第 2 ターゲット 22 を取り付けるための貫通孔が設けられている。第 1 ターゲット 21 および第 2 ターゲット 22 は、それぞれが第 1 カソード 51 および第 2 カソード 52 にそれぞれ設けられたターゲットホルダに固定されている。また、ターゲットホルダと収容部 11 とは、電氣的に絶縁されるとともに、減圧状態が維持できるよう O リング等によるシール材を介して固定されてい

10

20

30

40

50

る。

また、収容部 1 1 から延伸して第 1 ターゲット 2 1 および第 2 ターゲット 2 2 の周辺部を覆うシールド部材 1 5 が設けられている。シールド部材 1 5 は、収容部 1 1 の電位に保持され、ターゲット（第 1 ターゲット 2 1 および第 2 ターゲット 2 2）の周辺部にプラズマ放電が生じ、ターゲット以外（収容部 1 1 やターゲットホルダ）の構成材が膜に混入するのを抑制している。なお、シールド部材 1 5 は、収容部 1 1 と一体となっている必要はなく、別の部材から構成されていてもよい。

さらに、収容部 1 1 の側面には、外部から反応室内部を観察するための貫通孔（図示せず）も形成されている。

#### 【0015】

10

基板ホルダ 6 0 は、膜を形成する面が図 1 において下側になるように基板 1 1 0 を搭載できるようにになっている。

#### 【0016】

第 1 カソード 5 1 および第 2 カソード 5 2 は、高周波（RF）スパッタリングの場合には、高周波電力がターゲットに効率よく供給されるように、ターゲットホルダに接続されたコイルおよび可変コンデンサ等からなるインピーダンスマッチング回路を備えている。そして、インピーダンスマッチング回路に電力が供給されるようになっている。一方、直流（DC）スパッタリングの場合には、第 1 カソード 5 1 および第 2 カソード 5 2 のターゲットホルダに直接電力が供給されるようになっている。

また、ターゲット（第 1 ターゲット 2 1 および第 2 ターゲット 2 2）の近傍に磁界を発生させることにより電子をマグネトロン運動させて高密度なプラズマ放電を形成するマグネトロン方式の場合には、第 1 カソード 5 1 または / および第 2 カソード 5 2 に永久磁石（マグネット）のモジュールが設けられていてもよい。

20

#### 【0017】

そして、スパッタリング装置 1 は、第 1 ターゲット 2 1 および第 2 ターゲット 2 2 のそれぞれに電力を供給する第 1 電源 9 1 および第 2 電源 9 2 を備えている。また、スパッタリング装置 1 は、基板ホルダ 6 0 に電力を供給する第 3 電源 9 3 を備えている。第 3 電源 9 3 は、基板 1 1 0 表面にイオン衝撃を与える逆スパッタリング（逆スパッタ）を可能にする。

前述したように、高周波スパッタリングの場合には、これらの電源（第 1 電源 9 1、第 2 電源 9 2、第 3 電源 9 3）に高周波電源を用いることになる。一方、直流スパッタリングの場合には、これらの電源（第 1 電源 9 1、第 2 電源 9 2、第 3 電源 9 3）に直流電源を用いることになる。なお、第 1 電源 9 1 を高周波電源とし、第 2 電源 9 2 を直流電源とするように、高周波電源と直流電源とを混在して用いてもよい。これらは形成する膜に応じて選択すればよい。

30

前述したように、スパッタリング装置 1 の収容部 1 1 および蓋部 1 2 は接地されている。よって、収容部 1 1 および蓋部 1 2 と各電源（第 1 電源 9 1、第 2 電源 9 2、第 3 電源 9 3）との間に、高周波または直流の電圧が印加される。

#### 【0018】

また、スパッタリング装置 1 は、基板ホルダ 6 0 を回転軸 6 4 の周りで回転させるための基板ホルダ回転部 6 2 を備えている。基板ホルダ回転部 6 2 はモータ等で構成されており、回転速度を調整することができるようになっている。

40

さらに、スパッタリング装置 1 は、基板 1 1 0 の温度を制御する基板加熱 / 冷却部 6 1 を備えている。基板加熱 / 冷却部 6 1 は、中空状の基板ホルダ 6 0 の内部に、水等の冷媒を循環させて基板 1 1 0 を冷却するようになっている。また、基板加熱 / 冷却部 6 1 は、基板ホルダ 6 0 と蓋部 1 2 との間に設けられたハロゲンランプ等のヒータ 6 5 により、基板ホルダ 6 0 を加熱し、基板ホルダ 6 0 を介して基板 1 1 0 を加熱するようになっている。

#### 【0019】

そして、スパッタリング装置 1 は、供給管 1 3 からガスをチャンバ 1 0 に供給するガス

50

供給部 70 を備えている。本実施の形態では、ガス供給部 70 は、Ar 源 71 から供給されるアルゴンと、N<sub>2</sub> 源 72 から供給される V 族元素の一例としての窒素との混合ガスを供給するようになっている。なお、アルゴンは不活性ガスであるため、ターゲット（第 1 ターゲット 21 および第 2 ターゲット 22）の材料とは化合物を生成しないが、窒素はターゲット（第 1 ターゲット 21 および / または第 2 ターゲット 22）の材料と反応して窒化物を生成する。なお、窒化物はプラズマ内で生成し、窒化物が粒子として基板 110 の表面に飛来し、付着すると考えられる。

窒化物等の化合物を生成させるスパッタリングは反応性スパッタリング（リアクティブスパッタリング）と呼ばれる。

#### 【0020】

さらにまた、スパッタリング装置 1 は、第 1 ターゲット 21 の表面を覆う位置（後述する図 2 の B）と覆わない位置（後述する図 2 の C）とに移動できるように設けられた第 1 シャッタ 41 を備えている。同様に、第 2 ターゲット 22 に対して第 2 シャッタ 42 を備えている。

そして、スパッタリング装置 1 は、第 1 シャッタ駆動部 43 および第 2 シャッタ駆動部 44 を備えている。第 1 シャッタ駆動部 43 および第 2 シャッタ駆動部 44 は、それぞれ第 1 シャッタ 41 および第 2 シャッタ 42 を第 1 ターゲット 21 および第 2 ターゲット 22 の表面を覆う位置（B）から覆わない位置（C）へ、また覆わない位置（C）から覆う位置（B）へと移動させる。

また、スパッタリング装置 1 は、第 1 ターゲット 21 と第 2 ターゲット 22 との間に、遮蔽板 45 を備えている。遮蔽板 45 は、第 1 ターゲット 21 に対向する位置にある基板 110 に第 2 ターゲット 22 からスパッタされた（飛び出した）粒子（原子、分子）が付着するのを抑制するようになっている。同様に、第 2 ターゲット 22 に対向する位置にある基板 110 に第 1 ターゲット 21 からスパッタされた（飛び出した）粒子（原子、分子）が付着するのを抑制するようになっている。

#### 【0021】

スパッタリング装置 1 は、第 1 ターゲット加熱 / 冷却部 53 および第 2 ターゲット加熱 / 冷却部 54 を備え、第 1 ターゲット 21 および第 2 ターゲット 22 の温度を、第 1 カソード 51 および第 2 カソード 52 内の水等の冷媒循環またはヒータ加熱により、個別に設定することができるようになっている。

そして、スパッタリング装置 1 は、ターボ分子ポンプ、クライオポンプ、オイル拡散ポンプなどの真空ポンプを有する排気部 80 を備え、排気管 14 を介してチャンバ 10 の排気を行うことができるようになっている。

#### 【0022】

そして、スパッタリング装置 1 は、上述した第 1 シャッタ駆動部 43、第 2 シャッタ駆動部 44、第 1 ターゲット加熱 / 冷却部 53、第 2 ターゲット加熱 / 冷却部 54、基板加熱 / 冷却部 61、基板ホルダ回転部 62、ガス供給部 70、排気部 80、第 1 電源 91、第 2 電源 92 および第 3 電源 93 の動作を制御する制御部 95 を備えている。

#### 【0023】

本実施の形態では、排気速度調整弁 81 による排気部 80 の排気速度の制御とガス供給部 70 のガス供給量の制御とにより、チャンバ 10 内が予め定められたガス圧に設定されるようになっている。

#### 【0024】

図 2 は、図 1 に示すスパッタリング装置 1 の I I - I I 断面図であって、ターゲット（第 1 ターゲット 21 および第 2 ターゲット 22）を取り付けた状態における収容部 11 の底面を見た図である。そして、シャッタ（第 1 シャッタ 41 および第 2 シャッタ 42）が、ターゲット（第 1 ターゲット 21 および第 2 ターゲット 22）の表面を覆わない位置 C（シャッタ開の状態）に移動した状態を示している。シャッタ（第 1 シャッタ 41 および第 2 シャッタ 42）はターゲット（第 1 ターゲット 21 および第 2 ターゲット 22）の表面を覆う位置 B（シャッタ閉の状態）から覆わない位置 C（シャッタ開の状態）へ、また

10

20

30

40

50

覆わない位置 C (シャッタ開の状態) から覆う位置 B (シャッタ閉の状態) へと軸 D を中心に矢印 E 方向に移動することができるようになっている。

なお、シャッタ (第 1 シャッタ 4 1 および第 2 シャッタ 4 2) は、ターゲット (第 1 ターゲット 2 1 および第 2 ターゲット 2 2) 部分に発生したプラズマ放電が安定するまで、基板 1 1 0 に膜が形成されないようにターゲット (第 1 ターゲット 2 1 および第 2 ターゲット 2 2) と基板 1 1 0 とを隔てる役割を有している。

ターゲット (第 1 ターゲット 2 1 および第 2 ターゲット 2 2) の周囲は、収容部 1 1 の底面に接続され、収容部 1 1 の底面から設けられたシールド部材 1 5 に覆われている。

#### 【0025】

図 3 は、図 1 に示すスパッタリング装置 1 においてターゲット (第 1 ターゲット 2 1 および第 2 ターゲット 2 2) から見上げた基板ホルダ 6 0 の表面図である。本実施の形態では、基板ホルダ 6 0 は、円板状の形状を有し、その外周に近い位置に 8 枚の基板 1 1 0 を保持できるようになっている。しかし、保持する基板 1 1 0 の枚数や位置は適宜変更してよい。そして、基板ホルダ 6 0 は、回転軸 6 4 を中心にして、回転するようになっている。

基板 1 1 0 上に均一な膜を形成するためには、基板 1 1 0 の中心が、ターゲット (第 1 ターゲット 2 1 および第 2 ターゲット 2 2) の中心を通過するように、基板 1 1 0 とターゲット (第 1 ターゲット 2 1 および第 2 ターゲット 2 2) との位置関係を設定することが好ましい。また、基板 1 1 0 上に均一な膜を形成するためには、ターゲット (第 1 ターゲット 2 1 および第 2 ターゲット 2 2) の直径が、基板 1 1 0 の直径より大きいことが好ましい。

なお、本実施の形態では、基板ホルダ 6 0 は、矢印 A の方向に回転する。さらに、基板 1 1 0 が自転する機構を設けて、基板 1 1 0 が遊星回転するようにしてもよい。

#### 【0026】

図 4 は、上述したスパッタリング装置 1 を用いて製造される半導体素子の一例としての半導体発光素子 LC の断面構造を示している。この半導体発光素子 LC は化合物半導体を用いている。

なお、半導体発光素子 LC を構成する化合物半導体としては、特に限定されるものではなく、例えば、III-V 族化合物半導体、II-VI 族化合物半導体、IV-IV 族化合物半導体等が挙げられる。本実施の形態では、III-V 族化合物半導体が好ましく、中でも、III 族窒化物化合物半導体が好ましい。そして、以下では、III 族窒化物化合物半導体を有する半導体発光素子 LC を例として説明する。なお、例として図 4 に示す半導体発光素子 LC は、青色光を出力する半導体発光素子 LC である。

#### 【0027】

この半導体発光素子 LC は、基板 1 1 0 と、基板 1 1 0 上に形成された下地層 1 3 0 と、下地層 1 3 0 上に形成された n 型半導体層 1 4 0 と、n 型半導体層 1 4 0 上に形成された発光層 1 5 0 と、発光層 1 5 0 上に形成された p 型半導体層 1 6 0 とを備えている。

ここで、n 型半導体層 1 4 0 は、下地層 1 3 0 側に設けられる n 型コンタクト層 1 4 0 a と発光層 1 5 0 側に設けられる n 型クラッド層 1 4 0 b とを有している。また、発光層 1 5 0 は、障壁層 1 5 0 a と井戸層 1 5 0 b とが交互に積層され、2 つの障壁層 1 5 0 a によって 1 つの井戸層 1 5 0 b を挟み込んだ構造を有している。さらに、p 型半導体層 1 6 0 は、発光層 1 5 0 側に設けられる p 型クラッド層 1 6 0 a と最上層に設けられる p 型コンタクト層 1 6 0 b とを有する。なお、以下の説明においては、n 型半導体層 1 4 0、発光層 1 5 0 および p 型半導体層 1 6 0 を、まとめて積層半導体層 1 0 0 と称する。

#### 【0028】

半導体発光素子 LC においては、p 型半導体層 1 6 0 の p 型コンタクト層 1 6 0 b 上に透明正極 1 7 0 が積層され、さらにその上に正極ボンディングパッド 1 8 0 が形成されている。さらに、n 型半導体層 1 4 0 の n 型コンタクト層 1 4 0 a に形成された露出領域 1 4 0 c に負極ボンディングパッド 1 9 0 が積層されている。

#### 【0029】

10

20

30

40

50



## (基板 1 1 0)

基板 1 1 0 は、III 族窒化物化合物半導体とは異なる材料から構成され、基板 1 1 0 上に III 族窒化物化合物半導体結晶がエピタキシャル成長される。基板 1 1 0 を構成する材料としては、例えば、サファイア、炭化珪素（シリコンカーバイド：SiC）、窒化ガリウム（GaN）、酸化亜鉛（ZnO）、シリコン、酸化マグネシウム、酸化マンガン、酸化ジルコニウム、酸化マンガン亜鉛鉄、酸化マグネシウムアルミニウム、ホウ化ジルコニウム、酸化ガリウム、酸化インジウム、酸化リチウムガリウム、酸化リチウムアルミニウム、酸化ネオジウムガリウム、酸化ランタンストロンチウムアルミニウムタンタル、酸化ストロンチウムチタン、酸化チタン、酸化ハフニウム、酸化タンゲステン、酸化モリブデン、溶融石英（石英）などのガラス等が挙げられる。これらの中でも、サファイア、炭化珪素が好ましい。

10

## 【0 0 3 0】

## (下地層 1 3 0)

下地層 1 3 0 に用いる材料としては、Ga を含む III 族窒化物（GaN 系化合物半導体）が用いられ、特に、 $In_xGa_{1-x}N$  ( $0 < x < 1$ )（InGaN 系化合物半導体）を好適に用いることができる。下地層 1 3 0 の膜厚は  $0.1 \mu m$  以上、好ましくは  $0.5 \mu m$  以上、さらに好ましくは  $1 \mu m$  以上である。

## 【0 0 3 1】

## (n 型半導体層 1 4 0)

n 型半導体層 1 4 0 は、n 型コンタクト層 1 4 0 a および n 型クラッド層 1 4 0 b から構成される。

20

ここで、n 型コンタクト層 1 4 0 a としては、下地層 1 3 0 と同様に InGaN 系化合物半導体が用いられる。また、下地層 1 3 0 および n 型コンタクト層 1 4 0 a を構成する InGaN 系化合物半導体は同一組成であることが好ましく、これらの合計の膜厚を  $0.1 \mu m \sim 20 \mu m$ 、好ましくは  $0.5 \mu m \sim 15 \mu m$ 、さらに好ましくは  $1 \mu m \sim 12 \mu m$  の範囲に設定することが好ましい。

## 【0 0 3 2】

一方、n 型クラッド層 1 4 0 b は、AlGaIn、GaN、InGaIn 等によって形成することが可能である。また、これらの構造をヘテロ接合したものや複数回積層した超格子構造を採用してもよい。n 型クラッド層 1 4 0 b として InGaIn 系化合物半導体を採用した場合には、そのバンドギャップを、発光層 1 5 0 の InGaIn 系化合物半導体のバンドギャップよりも大きくすることが望ましい。n 型クラッド層 1 4 0 b の膜厚は、好ましくは  $5 nm \sim 500 nm$ 、より好ましくは  $5 nm \sim 100 nm$  の範囲である。

30

## 【0 0 3 3】

## (発光層 1 5 0)

発光層 1 5 0 は、GaN 系化合物半導体からなる障壁層 1 5 0 a と、InGaIn 系化合物半導体からなる井戸層 1 5 0 b とが交互に繰り返して積層され、且つ、n 型半導体層 1 4 0 側及び p 型半導体層 1 6 0 側にそれぞれ障壁層 1 5 0 a が配される順で積層して形成される。本実施の形態において、発光層 1 5 0 は、6 層の障壁層 1 5 0 a と 5 層の井戸層 1 5 0 b とが交互に繰り返して積層され、発光層 1 5 0 の最上層及び最下層に障壁層 1 5 0 a が配され、各障壁層 1 5 0 a 間に井戸層 1 5 0 b が配される構成となっている。

40

## 【0 0 3 4】

井戸層 1 5 0 b には、InGaIn 系化合物半導体として、例えば、 $In_yGa_{1-y}N$  ( $0 < y < 1$ ) 等を用いることができる。

また、障壁層 1 5 0 a としては、井戸層 1 5 0 b よりもバンドギャップエネルギーが大きい  $Al_cGa_{1-c}N$  ( $0 < c < 0.3$ ) 等の GaN 系化合物半導体を好適に用いることができる。

井戸層 1 5 0 b の膜厚としては、特に限定されないが、量子効果の得られる程度の膜厚であることが好ましい。

## 【0 0 3 5】

50

## (p型半導体層160)

p型半導体層160は、p型クラッド層160aおよびp型コンタクト層160bから構成される。p型クラッド層160aとしては、好ましくは、 $Al_dGa_{1-d}N$  ( $0 < d \leq 0.4$ )のものが挙げられる。p型クラッド層160aの膜厚は、好ましくは1nm~400nmであり、より好ましくは5nm~100nmである。

一方、p型コンタクト層160bとしては、 $Al_eGa_{1-e}N$  ( $0 \leq e < 0.5$ )を含んでなるGaN系化合物半導体層が挙げられる。p型コンタクト層160bの膜厚は、特に限定されないが、10nm~500nmが好ましく、より好ましくは50nm~200nmである。

## 【0036】

10

## (透明正極170)

透明正極170を構成する材料としては、例えば、ITO ( $In_2O_3 - SnO_2$ )、AZO ( $ZnO - Al_2O_3$ )、IZO ( $In_2O_3 - ZnO$ )、GZO ( $ZnO - Ga_2O_3$ )等の従来公知の材料が挙げられる。また、透明正極170の構造は特に限定されず、従来公知の構造を採用することができる。透明正極170は、p型半導体層160上のほぼ全面を覆うように形成しても良く、格子状や樹形状に形成しても良い。

## 【0037】

## (正極ボンディングパッド180)

透明正極170上に形成される電極としての正極ボンディングパッド180は、例えば、従来公知のAu、Al、Ti、V、Cr、Mn、Co、Zn、Ge、Zr、Nb、Mo、Ru、Ta、Ni、Cu等の材料から構成される。正極ボンディングパッド180の構造は特に限定されず、公知の構造を採用することができる。

20

正極ボンディングパッド180の厚さは、例えば100nm~2000nmの範囲内であり、好ましくは300nm~1000nmの範囲内である。

## 【0038】

## (負極ボンディングパッド190)

負極ボンディングパッド190は、基板110上に成膜された下地層130の上にさらに成膜された積層半導体層100 (n型半導体層140、発光層150およびp型半導体層160)において、n型半導体層140のn型コンタクト層140aに接するように形成される。このため、負極ボンディングパッド190を形成する際は、p型半導体層160、発光層150およびn型半導体層140の一部を除去し、n型コンタクト層140aの露出領域140cを形成し、この上に負極ボンディングパッド190を形成する。

30

負極ボンディングパッド190の材料としては、正極ボンディングパッド180と同じ組成・構造でもよく、各種組成および構造の負極が周知であり、これら周知の負極を何ら制限無く用いることができ、この技術分野でよく知られた慣用の手段で設けることができる。

## 【0039】

## (半導体発光素子LCの製造方法)

まず、予め定められた直径と厚さとを有するサファイア製の基板110を、図1に示すスパッタリング装置1にセットする。そして、スパッタリング装置1にて、基板110上に、III族窒化物化合物半導体からなる下地層130を形成する。

40

続いて、下地層130が形成された基板110上に、図示しないMOCVD装置により、n型コンタクト層140aを形成し、n型コンタクト層140aの上にn型クラッド層140bを形成する。さらに、n型クラッド層140bの上に発光層150すなわち障壁層150aと井戸層150bとを交互に形成し、発光層150の上にp型クラッド層160aを形成し、p型クラッド層160aの上にp型コンタクト層160bを形成する。

さらに、p型コンタクト層160b上に透明正極170を積層し、その上に正極ボンディングパッド180を形成する。また、エッチング等を用いてn型コンタクト層140aに露出領域140cを形成し、この露出領域140cに負極ボンディングパッド190を設ける。

50

その後、基板 110 の下地層 130 の形成面とは反対の面を、予め定められた厚さになるまで研削及び研磨する。

そして、基板 110 の厚さが調整されたウェハを、例えば  $350\ \mu\text{m}$  角の正方形に切断することにより、半導体発光素子 LC を得る。

なお、サファイア製の基板 110 を用いた半導体発光素子 LC においては、サファイア製の基板 110 と下地層 130 との間に、格子定数の違いを緩和するために AlN や AlGaIn の中間層が設けられることがある。しかし、本実施の形態では、結晶性に優れた下地層 130 が基板 110 上に直接形成できることから、中間層を設けていない。

#### 【0040】

では、上述した半導体発光素子 LC の製造方法におけるスパッタリング装置 1 の動作について説明する。

(スパッタリング装置 1 の動作)

図 5 は、基板 110 上に下地層 130 を形成する方法を説明するためのフローチャートである。以下では、図 1 を参照しつつ、図 5 に示す基板 110 上に下地層 130 を形成するためのフローチャートを説明する。

まず、第 1 ターゲット 21 として板状の III 族元素の一例としての金属インジウム (In) が第 1 カソード 51 のターゲットホルダに取り付けられ、第 2 ターゲット 22 として板状の III 族元素の一例としての金属ガリウム (Ga) が第 2 カソード 52 のターゲットホルダに取り付けられる。金属ガリウム (Ga) は、融点が  $29.8^\circ\text{C}$  であるので、スパッタリング中の温度上昇により溶融しやすい。そこで、溶融による流出を抑制するため、銅 (Cu) などで作られたシャーレ状の容器に入れて第 2 カソード 52 のターゲットホルダに設置するのが好ましい。

#### 【0041】

そして、予め定められた直径と厚さとを有するサファイア製の 8 枚の基板 110 を、スパッタリング装置 1 の蓋部 12 を開けて、基板ホルダ 60 上に設置する (ステップ 201)。このとき、下地層 130 を形成する面が基板ホルダ 60 の外側を向くように設置する。なお、サファイア製の基板 110 としては、例えば、表面がサファイア結晶の C 面に対して  $0.35^\circ$  のオフセット角を設けたものを使用する。

その後、蓋部 12 を閉じて、収容部 11 と蓋部 12 とを密着させる。

そして、排気部 80 により、スパッタリング装置 1 のチャンバ 10 が予め定められた真空度になるまで排気される。

#### 【0042】

基板ホルダ回転部 62 により基板ホルダ 60 の回転が開始される。すると、基板ホルダ 60 が図 1 に示す矢印 A 方向に回転する。回転速度は、例えば  $5\ \text{rpm}$  以上である。

第 1 ターゲット加熱 / 冷却部 53 および第 2 ターゲット加熱 / 冷却部 54 により、第 1 ターゲット 21 および第 2 ターゲット 22 がそれぞれ予め定められた温度に設定される (ステップ 202)。第 1 ターゲット 21 と第 2 ターゲット 22 とは異なる温度に設定されてもよい。ターゲット (第 1 ターゲット 21 および第 2 ターゲット 22) の温度としては、例えば、 $20^\circ\text{C}$ 、 $40^\circ\text{C}$  等が用いられる。金属ガリウム (Ga) の第 2 ターゲット 22 は、 $20^\circ\text{C}$  とすれば、固体状態が保たれるが、 $40^\circ\text{C}$  とすれば、液体状態になっている。

さらに、基板加熱 / 冷却部 61 により、基板 110 の温度が予め定められた温度に設定される (ステップ 203)。基板 110 の温度としては、例えば、 $150^\circ\text{C}$  以上且つ  $800^\circ\text{C}$  以下、好ましくは  $180^\circ\text{C}$  以上且つ  $700^\circ\text{C}$  以下、さらに好ましくは  $200^\circ\text{C}$  以上且つ  $600^\circ\text{C}$  以下が用いられる。

#### 【0043】

基板温度が、 $800^\circ\text{C}$  を超えると、スパッタにより成膜された  $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  ( $0 < x < 1$ ) からなる化合物半導体から In が多く昇華したり、成膜中に In が析出しやすくなり、所定の In 組成比  $x$  (図 8 では、Ga と In の総原子数に対する In 原子数の割合を指し、 $0 \sim 1$  の範囲となる。) を有する化合物半導体が形成できなくなる。また、基板温度が、 $150^\circ\text{C}$  未満の温度では、結晶性の良好な膜は得られなくなってしまう。

また、本実施形態では、 $\text{In}$  組成比  $x$  が 0.7 以上を含む  $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  ( $0 < x < 1$ ) からなる化合物半導体では、基板 110 の温度は、150 以上且つ 400 以下、好ましくは 180 以上且つ 350 以下、さらに好ましくは 200 以上且つ 300 以下の範囲を用いる。

基板温度が、400 を超えると、スパッタにより成膜された  $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  ( $0 < x < 1$ ) からなる化合物半導体から  $\text{In}$  が昇華したり、成膜中に  $\text{In}$  が析出しやすくなり、所定の  $\text{In}$  組成比  $x$  を有する化合物半導体が形成できなくなる。また、基板温度が、150 未満の温度では、結晶性の良好な膜は得られなくなってしまう。

さらにまた、本実施形態では、 $\text{In}$  組成比  $x$  が 0.7 未満の  $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  ( $0 < x < 1$ ) からなる化合物半導体では、基板 110 の温度は、150 以上且つ 800 以下、好ましくは 180 以上且つ 700 以下、さらに好ましくは 200 以上且つ 600 以下の範囲を用いる。

基板温度が、800 を超えると、スパッタにより成膜された  $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  ( $0 < x < 1$ ) からなる化合物半導体から  $\text{In}$  が多く昇華したり、成膜中に  $\text{In}$  が析出しやすくなり、所定の  $\text{In}$  組成比  $x$  を有する化合物半導体が形成できなくなる。また、基板温度が、150 未満の温度では、結晶性の良好な膜は得られなくなってしまう。

さらに、半導体受光素子の場合には、 $\text{In}$  組成比  $x$  が 0.3 以上且つ 0.7 未満が好ましく、基板 110 の温度も 400 を超え且つ 800 以下が好ましい。

#### 【0044】

なお、ターゲット (第 1 ターゲット 21 および第 2 ターゲット 22) および基板 110 の温度は、ターゲット (第 1 ターゲット 21 および第 2 ターゲット 22) の近傍および基板ホルダ 60 に取り付けられた熱電対などの温度計測手段によって計測され、それぞれの温度が第 1 ターゲット加熱 / 冷却部 53、第 2 ターゲット加熱 / 冷却部 54、基板加熱 / 冷却部 61 によって、予め定められた温度範囲に制御される。

#### 【0045】

ガス供給部 70 により、予め定められた流量の窒素がチャンバ 10 に供給される。そして、排気速度調整弁 81 により排気速度を調整して、チャンバ 10 内が予め定められたガス圧に調整される。

次に、基板 110 表面の吸着ガスや汚れ等を除去するため、第 3 電源 93 により基板ホルダ 60 に高周波電力が供給され、予め定められた時間、基板ホルダ 60 上の基板 110 の表面がスパッタリング (逆スパッタリング) される (ステップ 204)。

なお、逆スパッタリングにおいては、基板 110 表面が荒れるのを抑制するため、質量の大きなアルゴンを混合せず、窒素のみで行うのが好ましい。

#### 【0046】

ついで、ガス供給部 70 により、予め定められた流量のアルゴンと窒素とがチャンバ 10 に供給される。そして、排気速度調整弁 81 により排気速度を調整して、チャンバ 10 内が予め定められたガス圧に調整される。例えば、アルゴンの流量を 2 sccm、窒素の流量を 50 sccm ~ 100 sccm とすることができる。窒素の流量は上記の逆スパッタリングの時と同じでなくともよい。なお、窒素は、III 族窒化物化合物半導体を形成するための反応ガスなので、0% とすることはできないが、100% としてもよい。

そして、第 1 シャッタ 41 および第 2 シャッタ 42 を共にシャッタ閉の状態、第 1 ターゲット 21 および第 2 ターゲット 22 のそれぞれに第 1 電源 91 および第 2 電源 92 から予め定められた高周波電力または直流電力を供給して、第 1 ターゲット 21 および第 2 ターゲット 22 の表面近傍にプラズマ放電を発生させる。

プラズマ放電が安定したところで、第 1 シャッタ 41 および第 2 シャッタ 42 をシャッタ開の位置に移動させて、基板 110 表面に下地層 130 を形成する (ステップ 205)。

#### 【0047】

本実施の形態では、回転する基板ホルダ 60 上の基板 110 は、第 1 ターゲット 21 と第 2 ターゲット 22 とに対向する位置を交互に通過する。したがって、第 1 ターゲット 2

1 から飛来した粒子と第 2 ターゲット 2 2 から飛来した粒子とが交互に積層されていき、これらの粒子が混合した膜が形成される。そして、第 1 ターゲット 2 1 から飛来する粒子と第 2 ターゲット 2 2 から飛来する粒子との割合はそれぞれのターゲットに供給される電力により調整することができるようになっている。すなわち、III 族窒化物化合物半導体の膜の組成比が、第 1 ターゲット 2 1 に供給される第 1 スパッタリング電力 P 1（後述する図 6 参照）と第 2 ターゲット 2 2 に供給される第 2 スパッタリング電力 P 2（後述する図 6 参照）とによって決められる。

#### 【0048】

そして、予め定められた膜厚の下地層 1 3 0 が形成されたら、第 1 シャッタ 4 1 および第 2 シャッタ 4 2 をそれぞれシャッタ閉の位置に移動させて、膜の形成を終了する。下地層 1 3 0 の膜厚は、予め行なった膜形成における膜厚と形成時間との関係から、膜形成時間（シャッタ開からシャッタ閉までの時間）により制御すればよい。

この後、プラズマ放電を停止するとともに、チャンバ 1 0 からガスを排気する。次に、基板 1 1 0 の温度およびターゲット（第 1 ターゲット 2 1 および第 2 ターゲット 2 2）の温度が、チャンバ 1 0 内を大気圧に戻してよい状態になるまで待つ。そして、ガス供給部 7 0 により窒素をチャンバ 1 0 内に供給する等により大気圧に戻し、蓋部 1 2 を開けて、下地層 1 3 0 が形成された基板 1 1 0 を取り出す。

以上のようにして、スパッタリング装置 1 により、基板 1 1 0 上に III 族窒化物である下地層 1 3 0 が形成される。

そして、前述した半導体発光素子 LC の製造方法を経て、図 4 に示す半導体発光素子 LC が製造される。

#### 【0049】

なお、上述した半導体発光素子 LC の製造方法では、スパッタリング装置 1 を用いて基板 1 1 0 上に下地層 1 3 0 の形成を行っている。これに引き続く、n 型半導体層 1 4 0、発光層 1 5 0、p 型半導体層 1 6 0 についても、スパッタリング装置 1 を用いて、上述したと同様の手順により形成することができる。

一方、本発明では、前述したスパッタリング装置 1 を用いて製造される半導体素子の他の一例として、半導体受光素子（太陽電池（図示しない））を挙げることができる。そして、半導体受光素子では、一例として化合物半導体を用いることができる。

なお、半導体受光素子を構成する化合物半導体としては、特に限定されるものではなく、例えば、III-V 族化合物半導体、II-VI 族化合物半導体、IV-IV 族化合物半導体等が挙げられる。本実施の形態では、III-V 族化合物半導体が好ましく、中でも、III 族窒化物化合物半導体が好ましい。そして、III 族窒化物化合物半導体を有する半導体受光素子の例としては、特開 2008-235878 号公報に記載された断面構造や平面図（例えば図 1～図 4）を採用することができる。

また、半導体受光素子の製造方法でも、予め定められた直径と厚さとを有する基板 1 1 0（例えば、サファイア）を、図 1 に示すスパッタリング装置 1 にセットする。そして、スパッタリング装置 1 にて、基板 1 1 0 上に、III 族窒化物化合物半導体からなる膜を形成する。このような III 族窒化物化合物半導体からなる膜としては、 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ （ $0 < x < 1$ ）であることを特徴とすることができる。

このように、半導体受光素子の製造方法においても、前述の半導体発光素子 LC の製造方法で述べた方法を好ましく採用することができる。

#### 【実施例】

#### 【0050】

では次に、本発明の実施例について説明を行うが、本発明は実施例に限定されない。

本発明者は、図 1 に示すスパッタリング装置 1 を用いて、図 5 に示すフローチャートによって、サファイア製の基板 1 1 0 上に III 族窒化物化合物半導体の膜（下地層 1 3 0）の形成を行った。そして、膜の結晶性および膜の組成について検討を行った。なお、膜の結晶性は、Cu の K 線（Cu K）（波長 0.15418 nm）を用いた X 線回折（XD: X-ray Diffraction）および走査型電子顕微鏡（SEM）で評価

10

20

30

40

50

し、Inを含む膜の組成比は、湿式分析又はX線回折で行なった。

【0051】

(実施例1～7、比較例1、2)

図6は、実施例1～7および比較例1、2における各種製造条件と評価結果との関係を示す図である。なお、図6では金属インジウム(In)の第1ターゲット21(Inターゲット)に供給される第1スパッタリング電力P1(図6ではP1(In))が高いものから低いものへの順に、そして金属ガリウム(Ga)の第2ターゲット22(Gaターゲット)に供給される第2スパッタリング電力P2(図6ではP2(Ga))が低いものから高いものへの順に並べたので、比較例1と比較例2との間に、実施例1～7が示されている。

10

なお、サファイア製の基板110は直径2インチ(約50mm)のものを、InターゲットおよびGaターゲットはそれぞれ直径4インチ(約100mm)のものをを用いた。

【0052】

ここで、図6には、製造条件として、Inターゲットに供給される第1スパッタリング電力P1、Gaターゲットに供給される第2スパッタリング電力P2、基板110の温度(基板温度)、Gaターゲット温度、膜形成時間を記載している。また、評価結果として、X線回折におけるピークの角度(2θ)を示している。

【0053】

実施例1～7では、Inターゲット(第1ターゲット21)に供給される第1スパッタリング電力P1とGaターゲット(第2ターゲット22)に供給される第2スパッタリング電力P2との比率を異ならせて膜の形成を行っている。基板ホルダ60の回転速度は5rpmとしている。

20

比較例1は、Inターゲットのみを用いて成膜している。ここでは、基板ホルダ60の回転を停止し、基板110をInターゲットに対向させて膜の形成を行っている。また、比較例2は、Gaターゲットのみを用いて成膜している。この場合も、基板ホルダ60の回転を停止し、基板110をGaターゲットに対向させて膜の形成を行っている。

【0054】

基板温度は、比較例1および実施例1については、300℃に、実施例2では200℃に、実施例3～7および比較例2については、600℃に設定されている。比較例1および実施例1、2において基板温度を低く抑えているのは、Inの濃度が高く、例えば基板温度が600℃のように高いと、Inが析出しやすいためである。しかし、基板温度を室温まで低くすると結晶性の良好な膜は得られない。

30

Gaターゲットの温度は、実施例7の40℃を除いて、20℃に設定されている。Gaターゲットは、温度が20℃のときは固体状態を保っているが、40℃のときは液体状態になっている。なお、Gaターゲットが固体状態であっても、液体状態であっても、結果に差はなかった。

実施例1～7の膜形成時間は10分または20分とした。成膜された膜厚は、膜形成時間が10分で約10nm、膜形成時間が20分で約20nmである。一方、比較例1、2では基板ホルダ60を回転させていないので、膜形成時間は5分とした。

【0055】

40

2θは、比較例1、実施例1～7、比較例2の順に、31.2°から34.5°へと大きくなる方向に変化している。

比較例1では、Inターゲットのみで膜が形成されているので、InNの膜が形成されている。比較例1での2θは31.2°である。この値から、面間隔は0.29nmと算出される。

InNは六方晶系のウルツァイト構造(a=0.548nm、c=0.576nm)を有している。六方晶系では、c軸の間にも格子面を有している。そして、前述の面間隔0.29nmは、InNのc軸方向の格子間隔(c)の1/2である0.288nmにほぼ一致する。すなわち、比較例1のInNの膜は、InN結晶のc軸方向に配向した膜であることになる。

50

同様に、比較例 2 では、Ga ターゲットのみで膜が形成されているので、Ga N の膜が形成されている。比較例 2 での  $2\theta$  は  $34.5^\circ$  である。この値から、面間隔は  $0.26\text{ nm}$  と算出される。そして、この  $0.26\text{ nm}$  は、In N と同様のウルツァイト構造を有する Ga N 結晶 ( $a = 0.3186\text{ nm}$ 、 $c = 0.5176\text{ nm}$ ) の  $c$  軸方向の格子間隔 ( $c$ ) の  $1/2$  である  $0.2588\text{ nm}$  に一致する。すなわち、比較例 2 の Ga N の膜は、Ga N 結晶の  $c$  軸方向に配向した膜であることになる。

#### 【0056】

これに対し、図 6 に示すように、実施例 1 ~ 7 では、In ターゲットと Ga ターゲットとを用いて膜が形成されている。そして、実施例 1 ~ 7 のそれぞれの膜の X 線回折におけるピークは、比較例 1 の In N の膜のピークと比較例 2 の Ga N の膜のピークとの間にあ

10

る。よって、実施例 1 ~ 7 のそれぞれの膜は、In の組成比  $x$  がそれぞれ異なる  $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  ( $0 < x < 1$ ) の膜である。すなわち、In N と Ga N とによる膜が形成されていることになる。そして、これらの膜もそれぞれの結晶の  $c$  軸方向に配向している。

このことは、In ターゲットに供給される第 1 スパッタリング電力  $P_1$  と Ga ターゲット供給される第 2 スパッタリング電力  $P_2$  との比を異ならせて成膜すれば、 $c$  軸方向に配向した異なる組成比の III 族窒化物化合物半導体の膜が形成できることを示している。

20

すなわち、ここでは第 1 ターゲット 21 (In ターゲット) と第 2 ターゲット 22 (Ga ターゲット) とのマルチターゲットにより、基板 110 上に第 1 ターゲット 21 からの粒子 (In N) と第 2 ターゲット 22 からの粒子 (Ga N) とを交互に堆積しているが、形成された膜は化合物 ( $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ ) となっている。

#### 【0057】

なお、ここでは、基板ホルダ 60 を回転させて、第 1 ターゲット 21 (In ターゲット) と第 2 ターゲット 22 (Ga ターゲット) とからの粒子を基板 110 上に交互に堆積した。しかし、第 1 ターゲット 21 (In ターゲット) と第 2 ターゲット 22 (Ga ターゲット) とを基板 110 に近接して配置し、2 つのターゲット (In ターゲットおよび Ga ターゲット) からの粒子を同時に基板 110 上に堆積 (コスパッタリング) してもよい。

30

#### 【0058】

図 7 は、実施例 1、4、6、7 および比較例 1、2 の X 線回折におけるピークを示す図である。いずれの X 線回折ピークも、半値幅は約  $0.3^\circ$  と狭い。このことは、実施例 1、4、6、7 および比較例 1、2 のそれぞれの膜が、単結晶に近い膜であることを示している。図 7 に示していないが、実施例 2、3、5 についても同様であった。

走査型電子顕微鏡 (SEM) 観察によれば、比較例 1 および実施例 1 ~ 実施例 7 では、柱状結晶を含んだ結晶膜が形成されていた。

#### 【0059】

図 8 は、実施例 1 ~ 7 における In の組成比  $x$  と、スパッタリング電力比  $P_1 / (P_1 + P_2)$  (図 8 では、 $P_1(\text{In}) / (P_1(\text{In}) + P_2(\text{Ga}))$ ) である。以下でも、このように表記する。) との関係を示す図である。図 8 は、横軸がスパッタリング電力比  $P_1(\text{In}) / (P_1(\text{In}) + P_2(\text{Ga}))$ 、縦軸が In の組成比  $x$  である。

40

スパッタリング電力比  $P_1(\text{In}) / (P_1(\text{In}) + P_2(\text{Ga}))$  は、In ターゲットに供給される第 1 スパッタリング電力  $P_1$  および Ga ターゲットに供給される第 2 スパッタリング電力  $P_2$  から求めている。

$\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  における In の組成比  $x$  は、実施例 1 ~ 7 における  $2\theta$  から求めている。

実施例 1 ~ 7 の In の組成比  $x$  とスパッタリング電力比  $P_1(\text{In}) / (P_1(\text{In}) + P_2(\text{Ga}))$  との関係は、原点を通る一つの直線で表せる。そして、この直線は、

$$x = 1.21 \times P_1(\text{In}) / (P_1(\text{In}) + P_2(\text{Ga}))$$

で近似される。

50

このことから、 $I_n$ の組成比 $x$ は、上記の式に基づいて $I_n$ ターゲットに供給される第1スパッタリング電力 $P_1$ と $Ga$ ターゲットに供給される第2スパッタリング電力 $P_2$ とを調整することにより、任意に設定しうることを示している。

なお、スパッタリング装置が異なっても、上記のスパッタリング電力比が同じであれば、同様な $I_n$ の組成比 $x$ の $I_n \times Ga_{1-x}N$ の膜が形成されうる。

#### 【0060】

(比較例3)

図1に示すスパッタリング装置1から、第1ターゲット21と第2ターゲット22との間に備えられていた遮蔽板45を除いた以外は、実施例1と同様に実施して、サファイア製の基板110上にIII族窒化物化合物半導体の膜(下地層130)の形成を行った。そして、膜の結晶性および膜の組成について検討を行ったところ、 $I_n$ 組成比 $x$ は0.66であった。実施例1に比べて、成膜された化合物半導体膜中の $I_n$ 組成比 $x$ は低かった。

10

(比較例4)

図1に示すスパッタリング装置1から、第1ターゲット21と第2ターゲット22との間に備えられていた遮蔽板45を除いた以外は、実施例2と同様に実施して、サファイア製の基板110上にIII族窒化物化合物半導体の膜(下地層130)の形成を行った。そして、膜の結晶性および膜の組成について検討を行ったところ、 $I_n$ 組成比 $x$ は0.59であった。実施例1に比べて、成膜された化合物半導体膜中の $I_n$ 組成比 $x$ は低かった。

20

このように、比較例3や比較例4の結果から、第1ターゲット21と第2ターゲット22との間に備えられていた遮蔽板45を除いた場合には、図8に記載の関係を満たさず、所定の $I_n$ 組成比 $x$ を有する $I_n \times Ga_{1-x}N$  ( $0 < x < 1$ )の化合物半導体膜を製造することができなかった。

#### 【0061】

本実施の形態では、半導体素子の一例として、半導体発光素子LCについて主に述べたが、特開2008-235878号公報に記載のさまざまな $I_n$ 組成比 $x$  ( $I_n \times Ga_{1-x}N$ からなる化合物半導体膜において、 $0 < x < 1$ の範囲)を有する半導体受光素子も製造することができる。特に、本実施の形態では、インジウム( $I_n$ )の組成比 $x$ が、0.7以上を含む範囲においても化合物半導体膜を任意の異種基板上に大面積かつ低コストで形成することができる。

30

さらに、本発明は電子デバイスに適用することも可能である。

#### 【符号の説明】

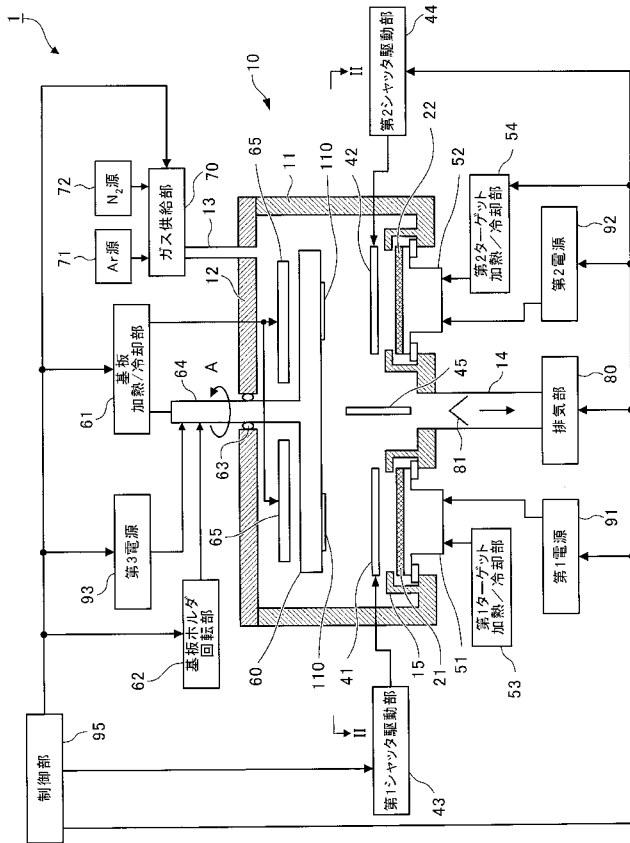
#### 【0062】

1...スパッタリング装置、10...チャンバ、11...収容部、12...蓋部、13...供給管、14...排気管、21...第1ターゲット、22...第2ターゲット、41...第1シャッタ、42...第2シャッタ、43...第1シャッタ駆動部、44...第2シャッタ駆動部、51...第1カソード、52...第2カソード、53...第1ターゲット加熱/冷却部、54...第2ターゲット加熱/冷却部、60...基板ホルダ、61...基板加熱/冷却部、62...基板ホルダ回転部、64...回転軸、65...ヒータ、70...ガス供給部、71...Ar源、72... $N_2$ 源、80...排気部、81...排気速度調整弁、91...第1電源、92...第2電源、93...第3電源、95...制御部、100...積層半導体層、110...基板、130...下地層、140... $n$ 型半導体層、150...発光層、160... $p$ 型半導体層、170...透明正極、180...正極ボンディングパッド、190...負極ボンディングパッド、LC...半導体発光素子、 $P_1$ ...第1スパッタリング電力、 $P_2$ ...第2スパッタリング電力

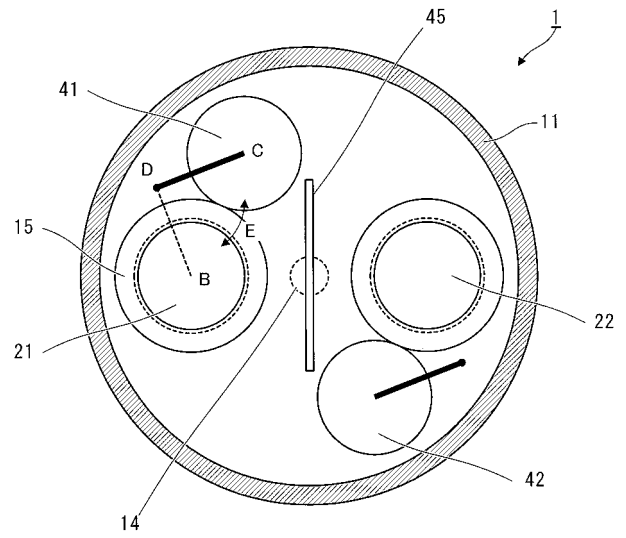
40



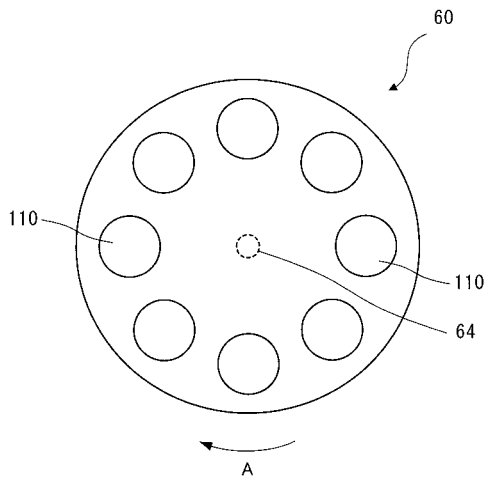
【図 1】



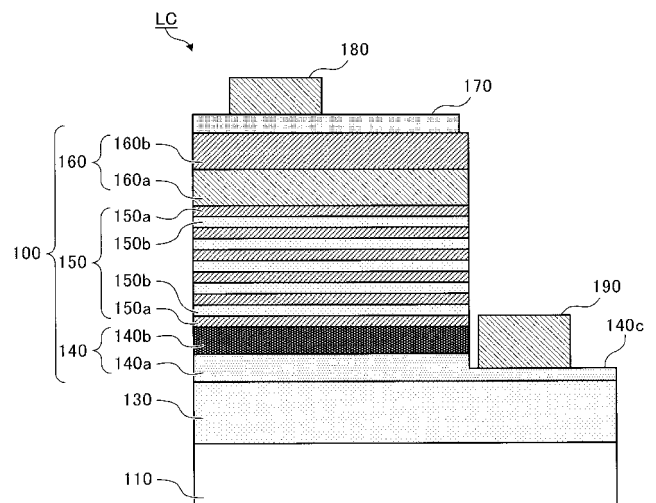
【図 2】



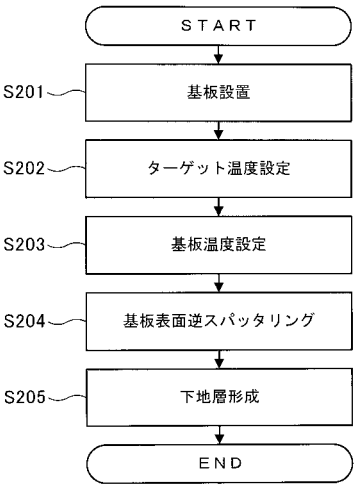
【図 3】



【図 4】



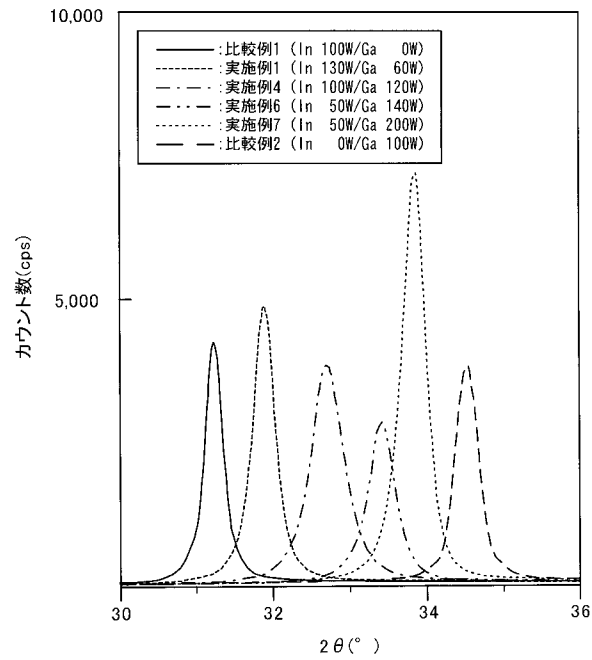
【 図 5 】



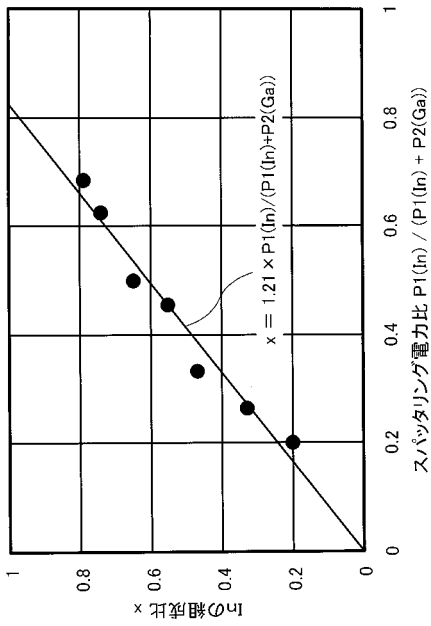
【 図 6 】

	P1(In) (W)	P2(Ga) (W)	基板温度(°C)	Gaターゲット 温度(°C)	膜形成時間 (分)	2θ (°)
比較例1	100	0	300	20	5	31.2
実施例1	130	60	300		20	31.8
実施例2	100	60	200	20	20	32.0
実施例3	100	100	600	20	10	32.4
実施例4	100	120	600	20	20	32.6
実施例5	60	120	600	20	10	32.9
実施例6	50	140	600	20	20	33.4
実施例7	50	200	600	40	20	33.8
比較例2	0	100	600	20	5	34.5

【 図 7 】



【 図 8 】



フロントページの続き

(51)Int.Cl. F I テーマコード(参考)  
**C 2 3 C 14/34 (2006.01)** C 2 3 C 14/34 C

F ターム(参考) 4K029 AA07 AA09 AA24 BA58 BB09 BD01 CA06 DA04 DC02 DC03  
 DC16 JA02  
 5F041 AA40 CA40 CA65 CA67 CA88  
 5F103 AA08 BB05 BB15 BB16 BB22 BB36 BB38 DD01 GG01 HH03  
 HH04 LL01 LL04 NN01  
 5F173 AA01 AH22 AH44 AH45 AP05 AP30 AR83 AR92