(19)日本国特許庁(JP)　(12)公表特許公報(A)　(11)公表番号
特表2025-507564
(P2025-507564A)
(43)公表日　令和7年3月21日(2025.3.21)

(51)国際特許分類		FI			テーマコード（参考）
H01S	*5/343(2006.01)*	H01S	5/343	610	5F173

審査請求　未請求　予備審査請求　有　（全26頁）

(21)出願番号　特願2024-548381(P2024-548381)
(86)(22)出願日　令和5年2月15日(2023.2.15)
(85)翻訳文提出日　令和6年8月22日(2024.8.22)
(86)国際出願番号　PCT/EP2023/053710
(87)国際公開番号　WO2023/156428
(87)国際公開日　令和5年8月24日(2023.8.24)
(31)優先権主張番号　22157544.2
(32)優先日　令和4年2月18日(2022.2.18)
(33)優先権主張国・地域又は機関
欧州特許庁(EP)
(81)指定国・地域　AP(BW,CV,GH,GM,KE,LR,LS,MW,MZ,NA,RW,SD,SL,ST,SZ,TZ,UG,ZM,ZW),EA(AM,AZ,BY,KG,KZ,RU,TJ,TM),EP(AL,AT,BE,BG,CH,CY,CZ,DE,DK,EE,ES,FI,FR,GB,GR,HR,HU,IE,IS,IT,LT,LU,LV
最終頁に続く

(71)出願人　520404964
エピノバテック、アクチボラグ
ＥＰＩＮＯＶＡＴＥＣＨ ＡＢ
スウェーデン国ルンド、シェーレバーゲン、２７、イデオン、ゲートウェイ、ゲート４
(74)代理人　100120031
弁理士　宮嶋 学
(74)代理人　100107582
弁理士　関根 毅
(74)代理人　100137523
弁理士　出口 智也
(72)発明者　マルティン、アンドレアス、オルソン
スウェーデン国ルンド、シェーレバーゲン、２７、イデオン、ゲートウェイ、ゲ
最終頁に続く

(54)【発明の名称】　発光デバイスおよび発光デバイスの製造方法

(57)【要約】
基板（２）と、
基板（２）上に配置されたベース層（４）と、
ベース層（４）上に配置された、ｎドープ半導体層（１２）とｐドープ半導体層（１４）の間に挟まれた量子井戸層構造（３０）を含むダイオード層構造（１０）と、を含み、
量子井戸層構造（３０）は、第１の量子井戸（４１）および第２の量子井戸（４２）、第１の近位バリア層（５１）および第２の近位バリア層（５２）、および第１の遠位バリア層（６１）および第２の遠位バリア層（６２）を含み、
第１の量子井戸（４１）および第２の量子井戸（４２）ならびに第１の近位バリア層（５１）および第２の近位バリア層（５２）は、第１の遠位バリア層（６１）および第２の遠位バリア層（６２）に挟まれている、発光デバイス（１）である。

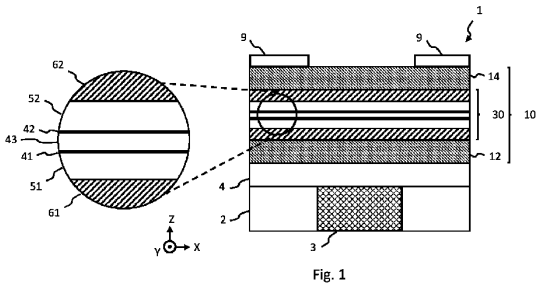


Fig. 1

【特許請求の範囲】
【請求項１】
基板（２）と、
前記基板（２）上に配置された、Ａｌ（ｘ）Ｇａ（１－ｘ）Ｎ（ここで、０＜ｘ≦１）からなるベース層（４）と、
前記ベース層（４）上に配置された、ｎドープ半導体層（１２）とｐドープ半導体層（１４）の間に挟まれた量子井戸層構造（３０）を含むダイオード層構造（１０）と、を含み、
前記量子井戸層構造（３０）は、第１の量子井戸（４１）および第２の量子井戸（４２）、第１の近位バリア層（５１）および第２の近位バリア層（５２）、および第１の遠位バリア層（６１）および第２の遠位バリア層（６２）を含み、
前記第１の量子井戸（４１）および第２の量子井戸（４２）はそれぞれ、５ｎｍ未満の厚さ、および前記第１の近位バリア層（５１）および第２の近位バリア層（５２）のバンドギャップよりも小さいバンドギャップを有し、
前記第１の近位バリア層（５１）および第２の近位バリア層（５２）はそれぞれ、本質的にドープされたＧａＮを含み、前記第１の量子井戸（４１）および第２の量子井戸（４２）は、前記第１の近位バリア層（５１）および第２の近位バリア層（５２）の間に挟まれ、
前記第１の遠位バリア層（６１）および第２の遠位バリア層（６２）はそれぞれ、Ａｌ（ａ）Ｇａ（１－ａ）Ｎ（ここで、０≦ａ≦０．３）を含み、前記第１の遠位バリア層（６１）および第２の遠位バリア層（６２）の両方が、第１の近位バリア層（５１）および第２の近位バリア層（５２）よりも大きなバンドギャップを有し、前記第１の量子井戸（４１）および第２の量子井戸（４２）ならびに前記第１の近位バリア層（５１）および第２の近位バリア層（５２）は、前記第１の遠位バリア層（６１）および第２の遠位バリア層（６２）に挟まれ、
前記ｎドープ半導体層（１２）は、前記量子井戸層構造（３０）に電子を注入するように構成され、
前記ｐドープ半導体層（１４）は、前記量子井戸層構造（３０）に正孔を注入するように構成され、好ましくは、前記ベース層（４）は、１００～５００ｎｍの厚さを有するＡｌＮである、発光デバイス（１）。
【請求項２】
前記量子井戸層構造（３０）は、電子および正孔の再結合のために、遠位ｎドープ半導体層および遠位ｐドープ半導体層によって実質的にドープされるように構成される、請求項１に記載の発光デバイス（１）。
【請求項３】
前記ダイオード層構造（１０）の前記量子井戸層構造（３０）は、複数の量子井戸を含むものであってもよく、前記複数の量子井戸の隣接する量子井戸は、１０ｎｍ未満の厚さを有するバリア層によって分離されている、請求項１または２に記載の発光デバイス（１）。
【請求項４】
前記ｐドープ半導体層（１４）は、ＧａＮ層（２２）とＡｌ（ｚ）Ｇａ（１－ｚ）Ｎ層（２４）との超格子（２０）を含み、ここで、０＜ｚ≦１であり、前記超格子（２０）の前記Ａｌ（ｚ）Ｇａ（１－ｚ）Ｎ層（２４）はｐドープされている、請求項１～３のいずれか一項に記載の発光デバイス（１）。
【請求項５】
前記ｎドープ半導体層（１２）は、ＧａＮ層（２２）とＡｌ（ｚ）Ｇａ（１－ｚ）Ｎ層（２４）との超格子（２０）を含み、ここで、０＜ｚ≦１であり、前記超格子（２０）の前記Ａｌ（ｚ）Ｇａ（１－ｚ）Ｎ層（２４）はｎドープされている、請求項１～４のいずれか一項に記載の発光デバイス（１）。
【請求項６】

前記基板（２）を貫通し、前記ダイオード層構造（１０）の前記ｎドープ半導体層（１２）または前記ｐドープ半導体層（１４）に電気的に接続する金属コンタクトであるビア（３）を更に含む、請求項１～５のいずれか一項に記載の発光デバイス（１）。

【請求項７】

前記ｎドープ半導体層（１２）はピラー層（１５）を含み、前記ｎドープ半導体層（１２）の前記ピラー層（１５）は、支持材料（１８）に埋め込まれた少なくとも１つのｎドープ半導体ピラー（１６）を含み、前記少なくとも１つのｎドープ半導体ピラー（１６）は、前記ｎドープ半導体層（１２）の前記ピラー層（１５）を通って前記量子井戸層構造（３０）への電子輸送チャネルを形成するように構成され、および／または、

前記ｐドープ半導体層（１４）はピラー層（１５）を含み、前記ｐドープ半導体層（１４）の前記ピラー層（１５）は、支持材料（１８）に埋め込まれた少なくとも１つのｐドープ半導体ピラー（１６）を含み、前記少なくとも１つのｐドープ半導体ピラー（１６）は、前記ｐドープ半導体層（１４）の前記ピラー層（１５）を通って前記量子井戸層構造（３０）への正孔輸送チャネルを形成するように構成される、請求項１～６のいずれか一項に記載の発光デバイス（１）。

【請求項８】

前記デバイス（１）の１つ以上のピラー層（１５）について、前記支持材料（１８）は、前記支持材料（１８）に埋め込まれた前記半導体ピラー（１６）の前記ドーピングとは反対のドーピングを有する半導体材料である、請求項７に記載の発光デバイス（１）。

【請求項９】

前記デバイス（１）の１つ以上のピラー層（１５）について、前記支持材料（１８）は酸化ガリウムである、請求項７または８に記載の発光デバイス（１）。

【請求項１０】

前記デバイス（１）の１つ以上のピラー層（１５）について、前記半導体ピラー（１６）の直径（Ｄ）は１０～５００ｎｍであり、前記半導体ピラー（１６）のピッチ（Ｂ）は２００～５００ｎｍである、請求項７～９のいずれか一項に記載の発光デバイス（１）。

【請求項１１】

前記ｐドープ半導体層（１４）には、歪みによって、軽い正孔の電荷キャリア濃度が提供される、請求項１～１０のいずれか一項に記載の発光デバイス（１）。

【請求項１２】

前記デバイス（１）は、前記第１の量子井戸（４１）および前記第２の量子井戸（４２）の下方の下部反射鏡（７２）と、前記第１の量子井戸（４１）および前記第２の量子井戸（４２）の上方の上部反射鏡（７４）とを含む垂直共振器面発光レーザ（７０）であり、前記上部反射鏡（７４）および前記下部反射鏡（７２）は、前記第１の量子井戸（４１）および前記第２の量子井戸（４２）によって放射された光のための光共振器を形成する、請求項１～１１のいずれか一項に記載の発光デバイス（１）。

【請求項１３】

基板（２）を提供する工程（Ｓ１０１）と、

物理蒸着により、Ａｌ（ｘ）Ｇａ（１－ｘ）Ｎを含むベース層（４）を前記基板（２）上に堆積させる工程（Ｓ１０２）と、

ｎドープ半導体層（１２）とｐドープ半導体層（１４）の間に挟まれた量子井戸層構造（３０）を含むダイオード層構造（１０）を前記ベース層（４）上に形成する工程（Ｓ１０３）と、を含み、

前記量子井戸層構造（３０）は、第１の量子井戸（４１）および第２の量子井戸（４２）と、第１の近位バリア層（５１）および第２の近位バリア層（５２）と、第１の遠位バリア層（６１）および第２の遠位バリア層（６２）を含み、

前記第１の量子井戸（４１）および第２の量子井戸（４２）はそれぞれ、５ｎｍ未満の厚さ、および前記第１の近位バリア層（５１）および第２の近位バリア層（５２）のバンドギャップよりも小さいバンドギャップを有し、

前記第１の近位バリア層（５１）および第２の近位バリア層（５２）はそれぞれ、本質

的にドープされたＧａＮを含み、前記第１の量子井戸（４１）および第２の量子井戸（４２）は、前記第１の近位バリア層（５１）および第２の近位バリア層（５２）の間に挟まれ、

前記第１の遠位バリア層（６１）および第２の遠位バリア層（６２）はそれぞれ、Ａｌ（ａ）Ｇａ（１－ａ）Ｎ（ここで、０≦ａ≦０．３）を含み、前記第１の遠位バリア層（６１）および第２の遠位バリア層（６２）の両方が、第１の近位バリア層（５１）および第２の近位バリア層（５２）よりも大きなバンドギャップを有し、前記第１の量子井戸（４１）および第２の量子井戸（４２）ならびに前記第１の近位バリア層（５１）および第２の近位バリア層（５２）は、前記第１の遠位バリア層（６１）および第２の遠位バリア層（６２）の間に挟まれ、

前記ｎドープ半導体層（１２）は、前記量子井戸層構造（３０）に電子を注入するように構成され、

前記ｐドープ半導体層（１４）は、前記量子井戸層構造（３０）に正孔を注入するように構成され、好ましくは、前記ベース層（４）は、１００～５００ｎｍの厚さを有するＡｌＮである、発光デバイス（１）の製造方法（１００）。

【請求項１４】

反応性イオンエッチングにより、前記基板（２）を貫通する孔をエッチングする工程と、

前記基板（２）を貫通し、前記ダイオード層構造（１０）の前記ｎドープ半導体層（１２）または前記ｐドープ半導体層（１４）に電気的に接続する金属コンタクトが形成されるように、前記基板（２）を貫通する前記孔に金属を堆積させる工程と、を更に含む、請求項１３に記載の方法。

【請求項１５】

反応性イオンエッチングによる前記基板（２）を貫通する前記孔の前記エッチングは、塩化アルミニウムまたはフッ化アルミニウムの分子種を分光学的に検出することに基づいて終了する、請求項１４に記載の方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【０００１】

本発明は、概して、発光デバイスおよび発光デバイスの製造方法に関する。

【背景技術】

【０００２】

発光ダイオード（light-emitting diode、ＬＥＤ）などの半導体ダイオード、またはレーザダイオードは、発光デバイスを形成することができる。このような発光デバイスは、例えば３Ｄ印刷など、様々な用途で使用されている。

【発明の概要】

【０００３】

本発明の目的は、高出力を有する発光デバイスを提供することである。本発明の更なる目的は、紫外（ultraviolet、ＵＶ）光を放射する発光デバイスを提供することである。本発明の別の目的は、発光ＧａＮデバイスにおける発光のための電子および正孔キャリア注入を増加させることである。

【０００４】

本発明の概念のこれらおよび他の目的は、独立請求項に定義される本発明によって少なくとも部分的に満たされる。好ましい実施形態は従属請求項に記載される。

【０００５】

いくつかの実施形態では、高出力レーザが提供される。炭酸ガスレーザは実用にはまだ高価であるため、代替発光ダイオードのヘテロ構造レーザダイオードは、大規模に大量生産できる興味深い代替手段である。しかし、３Ｄ印刷用のレーザダイオードは、現在は１００Ｗ未満の出力に制限されている。窒化物ベースのレーザダイオード技術の開発が始まった当初から、これらの発光デバイスの活性領域を構成するエピタキシャル層の結晶品質

の低さという問題によって妨げられてきた。この問題は、格子定数と熱膨張係数の両方に関してＧａＮに適合する適切な基板材料が不足していることに関連している。

【０００６】

第１の態様によれば、

基板と、

基板上に配置された、Ａｌ（ｘ）Ｇａ（１－ｘ）Ｎ（ここで、０＜ｘ≦１）からなるベース層と、

ベース層上に配置された、ｎドープ半導体層とｐドープ半導体層の間に挟まれた量子井戸層構造を含むダイオード層構造と、を含み、

量子井戸層構造は、第１および第２の量子井戸、第１および第２の近位バリア層、および第１および第２の遠位バリア層を含み、

第１および第２の量子井戸はそれぞれ、５ｎｍ未満の厚さ、および第１および第２の近位バリア層のバンドギャップよりも小さいバンドギャップを有し、

第１および第２の近位バリア層はそれぞれ、本質的にドープされたＧａＮを含み、第１および第２の量子井戸は、第１および第２の近位バリア層の間に挟まれ、

第１および第２の遠位バリア層はそれぞれ、Ａｌ（ａ）Ｇａ（１－ａ）Ｎ（ここで、０≦ａ≦０．３）を含み、第１および第２の量子井戸ならびに第１および第２の近位バリア層は、第１および第２の遠位バリア層に挟まれ、

ｎドープ半導体層は、量子井戸層構造に電子を注入するように構成され、

ｐドープ半導体層は、量子井戸層構造に正孔を注入するように構成され、好ましくは、ベース層が、１００～５００ｎｍの厚さを有するＡｌＮである、発光デバイスが提供される。

【０００７】

上記によれば、発光デバイスは順方向にバイアスされると光を放射する。ｎドープ半導体層は、ダイオード層構造が順方向にバイアスされたときに、量子井戸層構造に電子を注入するように構成されるものであってもよい。ｎドープ半導体層は、１×１０^{１０}ｃｍ$^{-３}$を超えるドーピングレベルを有するものであってもよい。ｎドープ半導体層は、Ａｌ（ｙ）Ｇａ（１－ｙ）Ｎ層（ここで、０≦ｙ≦０．５）を含むものであってもよい。ｐドープ半導体層は、ダイオード層構造が順方向にバイアスされたときに、量子井戸層構造に正孔を注入するように構成されるものであってもよい。ｐドープ半導体層は、１×１０^{１５}ｃｍ$^{-３}$を超えるドーピングレベルを有するものであってもよい。量子井戸層構造に注入された電子および正孔は、量子井戸層構造の第１の量子井戸と第２の量子井戸で再結合し、これにより発光デバイスが光を放射する。

【０００８】

第１および第２の量子井戸は、ＩｎＧａＮ量子井戸であってもよく、したがって、ＧａＮ近位バリア層のバンドギャップよりも小さいバンドギャップを有するものであってもよい。その結果、電荷キャリア、すなわち電子および正孔は、近位バリア層によって第１および第２の量子井戸内に閉じ込められ得る。電荷キャリアは、遠位バリア層によって第１および第２の量子井戸内に閉じ込められ得る。遠位バリア層は、近位バリア層よりも大きなバンドギャップを有するものであってもよい。更に、遠位バリア層は、ｎドープおよびｐドープ半導体層よりも大きなバンドギャップを有するものであってもよい。したがって、遠位バリア層は、量子井戸と電荷キャリアを注入する層との間のトンネルバリアなどのバリアとして機能することができる。

【０００９】

更に、量子井戸近傍のドーパントを避けることが有利である。このようなドーパントは、第１および第２の量子井戸内の電荷キャリアの非放射経路として作用するか、または非放射経路を形成することができる。したがって、第１および第２の量子井戸を、本質的にドープされたＧａＮの近位バリア層間で挟むことが有利である。「本質的にドープされたＧａＮ」という用語は、例えば、ｎ型ＧａＮのシリコンドナー原子またはｐ型ＧａＮのマグネシウムアクセプタ原子によって意図的にドープされていないＧａＮを指し、例えば、

室温で電子および正孔キャリア濃度がともに５×１０^{16}ｃｍ$^{-3}$未満のＧａＮなどである。ＧａＮの意図的なドーピングは、ＧａＮの成長中にその場で行われるものであってもよい。更に、遠位バリア層は、第１の量子井戸および第２の量子井戸の電荷キャリアを、ｎドープおよびｐドープ半導体層のドーパントから分離するものであってもよい。したがって、電荷キャリアは、例えば遠位バリア層中をトンネルすることによって第１および第２の量子井戸に注入され得、電荷キャリアがｎドープ半導体層のドナー原子またはｐドープ半導体層のアクセプタ原子に戻ることが防止される第１および第２の量子井戸にトラップされ得る。しかしながら、量子井戸層構造は、第１および第２の量子井戸の間の電荷キャリアのトンネリングを許容するように構成されていてもよい。例えば、第１および第２の量子井戸は、トンネリングを可能にするために十分に薄いバリア層、例えばＧａＮバリア層によって分離されていてもよい。第１および第２の量子井戸の間のバリア層は、３０ｎｍ未満、好ましくは１０ｎｍ未満の厚さを有するものであってもよい。したがって、第１および第２の量子井戸は、量子力学的に結合していてもよく、例えばトンネル結合していてもよい。このような量子井戸は、発光デバイスが高出力を有するように強く放射することができる。加えて、更なる利点を持つことができる。一例として、発光スペクトルは、第１および第２の量子井戸の間の障壁厚さによって調整され得る。別の例として、発光波長は、第１および第２の量子井戸の間に印加される電界によって調整可能であり得る。

【００１０】

第１および第２の量子井戸への電荷キャリアの導電性が高いことが、高出力を可能にすることが更に認識されている。電流連続方程式は、次式のとおりである。

【００１１】

【数１】

$$\frac{\partial n}{\partial t} = \frac{1}{q}\frac{dJ}{dt} - U(n,p)$$

【００１２】

ここで、ｎは電荷キャリア濃度、ｑは素電荷、Ｊは電流密度、Ｕ（ｎ，ｐ）は正味の再結合速度である。したがって、第１および第２の量子井戸に入った電荷は、反対側に出てくるか、トラップされるか、または再結合によって中和されなければならない。したがって、高注入移動度のような高導電性が達成されると、再結合、ひいては発光またはパワーが高くなる。第１および第２の量子井戸を、近位バリア層によってｎドープおよびｐドープ半導体層から分離することにより、高注入移動度が達成される。例えば、近位バリア層、例えば本質的にドープされた近位バリア層における低濃度のドーパント原子によって、電荷キャリアは近位バリア層中を弾道的に、すなわち散乱することなく移動することができる。したがって、電荷キャリアは近位バリア層中を非常に速く移動することができ、それによって高出力を可能としている。

【００１３】

さらに、発光デバイスは、ｎドープ半導体層の伝導バンド端が、ｎドープ半導体層が電子を注入する近位バリア層の伝導バンド端よりも高いエネルギーを有するように構成されていてもよい。したがって、エネルギー差は、注入された電子の運動エネルギーに変換され、その後、第１および第２の量子井戸に速く移動する。

【００１４】

さらに、発光デバイスは、ｐドープ半導体層の荷電子バンド端が、ｐドープ半導体層が正孔を注入する近位バリア層の荷電子バンド端よりも低いエネルギーを有するように構成されていてもよい。したがって、エネルギー差は、注入された正孔の運動エネルギーに変換され、その後、第１および第２の量子井戸に速く移動する。

【００１５】

第１および第２の量子井戸の結晶品質が高いことが、非放射再結合中心の少なさおよび／または発光デバイスの高い量子効率につながるため、高出力を可能にすることが認識さ

れている。第１および第２の量子井戸を、近位および遠位バリア層によってｎドープおよびｐドープ半導体層から分離することにより、第１および第２の量子井戸の結晶品質を高くすることが可能となる。さらに、基板とダイオード層構造との間にベース層を使用することにより、ダイオード層構造の結晶品質を高くすること、特に第１および第２の量子井戸の結晶品質を高くすることが可能となる。窒化物ベースの基板は高価であるため、基板はダイオード層構造に対して格子不整合を有し得る。したがって、基板は、シリコン基板、サファイア基板、または炭化ケイ素基板であってもよい。本明細書において、ベース層は、非放射再結合中心として機能し得る転位の形成を防止または低減することができる。ベース層は、転位がダイオード層構造に広がるのを防止することができ、特に、転位が第１または第２の量子井戸に広がるのを防止することができる。本明細書において、ベース層がＡｌＮ層を含む場合、例えば基板上にＡｌＮ層が直接形成される場合は特に有利である。ＡｌＮ層は、転位のリスクを低減するために特に有利な、スパッタリングＡｌＮを含むものであってもよい。ベース層は、基板に対して垂直に配置されたピラーである、ベース層ピラーを含むものであってもよい。ベース層ピラーは、ＡｌＮ、例えばスパッタリングされたＡｌＮを含むものであってもよい。例えばシリコン基板やサファイア基板上のＧａＮバッファ層に使用されるような、ＭＯＣＶＤにおけるＡｌＮ処理は、ＩｎＧａＮ量子井戸にとって深刻な汚染プロセスであるというのが、本発明者の認識である。そのため、ベース層は、ＭＯＣＶＤプロセス以外の場で提供されるものであってもよい。ベース層ピラーは５００ｎｍよりも小さい、例えば１００ｎｍよりも小さい直径を有するものであってもよい。ベース層ピラーは、$Al_xGa_{1-x}N$（ここで、０≦ｘ≦０．９５）などのベース層封止材料で横方向に封止されていてもよい。ベース層ピラーを横方向に封止する$Al_xGa_{1-x}N$は、ベース層ピラーから横方向に伝搬する転位を含むものであってもよい。したがって、ベース層は、転位がダイオード層構造に到達しないように、ベース層ピラーから横方向に優先的に伝播する転位によって転位を閉じ込めることができる。

【００１６】

量子井戸層構造は、隣接する層のバンドギャップの差に起因するエネルギーバンドの曲がりによる電子および正孔の再結合のために、遠位ｎドープ半導体層および遠位ｐドープ半導体層によって実質的にドープされるように構成されていてもよい。ＡｌＮのバンドギャップは室温で６．０１５ｅＶ、ＧａＮのバンドギャップは３．４Ｖである。遠位バリアのバンドギャップは、ドナー原子を電子から分離し、アクセプタ原子を電子正孔から分離するように構成することができる。遠位バリアは、量子井戸からのトンネリングを防止することで電荷キャリアを量子井戸に閉じ込めるためのポテンシャルエネルギー障壁として提供されるＡｌＧａＮ合金であってもよく、一方、近位バリアは、量子井戸間の実質的なトンネリングを許容するように構成されていてもよい。形成されたポテンシャルエネルギー井戸により、電荷キャリアは、隣接する量子井戸にトンネルできるヘテロ構造界面の２次元ガス中に閉じ込められ得る。量子井戸層構造からのエレクトロルミネッセンスを最適化するために、遠位バリアの厚さとそのアルミニウム濃度の両方が設定され得る。ドーパントが量子井戸層構造から分離され、それによってクーロンポテンシャルが量子井戸層構造によって提供されるポテンシャルエネルギー井戸を変化させることを低減できるため、遠位層によって量子井戸層構造をドープすることは有利である。

【００１７】

量子井戸層構造をドープするための遠位ｎドープ半導体層は、量子井戸層構造に電子を注入するように構成されたｎドープ半導体層であってもよい。したがって、この層は、量子井戸層構造をドープすることと、量子井戸層構造に電子を注入することの両方であり得る。あるいは、量子井戸層構造をドープするための遠位ｎドープ半導体層は、量子井戸層構造に電子を注入するように構成されたｎドープ半導体層とは異なるものであってもよい。

【００１８】

量子井戸層構造をドープするための遠位ｐドープ半導体層は、量子井戸層構造に正孔を注入するように構成されたｐドープ半導体層であってもよい。したがって、この層は、量

子井戸層構造をドープすることと、量子井戸層構造に正孔を注入することの両方であり得る。あるいは、量子井戸層構造をドープするための遠位ｐドープ半導体層は、量子井戸層構造に正孔を注入するように構成されたｐドープ半導体層とは異なるものであってもよい。

【００１９】

ダイオード層構造の量子井戸層構造は、複数の量子井戸を含むものであってもよく、複数の量子井戸の隣接する量子井戸は、１０ｎｍ未満の厚さを有するバリア層によって分離される。層の量子化は、ＧａＮの成長方向であり得るシリコン（１１１）ウェハ上のＣ方向に対して垂直である。例えば、量子井戸層構造は、電荷キャリアを２次元ガスとして量子状態に閉じ込めるのに十分薄くてもよく、２つより多い量子井戸、例えば５個の量子井戸または１０個の量子井戸を含むものであってもよい。分離障壁の厚さは、隣接する量子井戸のすべての対で同じであってもよく、または、それぞれ１～５ｎｍの厚さを有する隣接する量子井戸の異なる対で異なっていてもよい。

【００２０】

複数の量子井戸は、例えばトンネル結合によって、互いに量子力学的に結合することができる。したがって、複数の量子井戸は、エネルギー準位のミニバンドを形成することができる。このようなミニバンドは、発光デバイスが高出力を有するように強く放射することができる。更に、発光スペクトルは、隣接する量子井戸の間の障壁厚さによって調整され得る。

【００２１】

ｐドープ半導体層は、ＧａＮ層とＡｌ（ｚ）Ｇａ（１－ｚ）Ｎ層との超格子を含むものであってもよく、ここで、０＜ｚ≦１であり、超格子のＡｌ（ｚ）Ｇａ（１－ｚ）Ｎ層はｐドープされている。

【００２２】

超格子は、量子井戸層構造に正孔を注入するｐドープ半導体層におけるドーピングを増強できることが認識されている。あるいは、超格子は、量子井戸層構造に正孔を注入するｐドープ半導体層の成長後アニールの必要性を除去または低減することができる。

【００２３】

ｐドーピングは、ＧａＮベースの材料では実現が難しいかもしれない。ｐドーピングに使用されるＭｇなどのドーピング原子は、水素不純物や窒素空孔によってしばしば不動態化される。そのため、ドーピング濃度が高くても自由正孔濃度が低くなることがあり得る。パッシベーションを除去する（またはドーピング原子を活性化する）ために、例えば水素濃度の低い雰囲気中で、成長後アニールを行ってもよい。

【００２４】

Ｋｏｚｏｄｏｙ ｅｔ ａｌ．[Ａｐｐｌ．Ｐｈｙｓ．Ｌｅｔｔ．７５，２４４４（１９９９）]に記載されているように、超格子は、価電子バンド端の変動を通じてｐドーピングを増強することができる。本明細書では、価電子バンド端の変動は、超格子のＡｌ（ｚ）Ｇａ（１－ｚ）Ｎ層が超格子のＧａＮ層よりも高いＡｌ含有量を有する場合、超格子中のＡｌ含有量の変化によって引き起こされる。アクセプタは、バンド端がフェルミエネルギーよりはるかに低い位置でイオン化され得、その結果生じる正孔は、バンド端がフェルミ準位に近い位置で蓄積され得る。本明細書では、価電子バンド端は、超格子の層に対して垂直な方向に変動することができる。価電子バンド端の変動の結果として、正孔濃度も変動することができる。しかしながら、平均正孔濃度は、価電子バンド端が変動しないバルク膜内よりも高くなり得る。価電子バンド端の変動は、超格子におけるバンドギャップの変動、およびバンド曲がりによる分極効果に起因し得ることを理解されたい。Ｋｏｚｏｄｏｙ ｅｔ ａｌ．[Ａｐｐｌ．Ｐｈｙｓ．Ｌｅｔｔ．７５，２４４４-２４４６（１９９９）]に更に記載されているように、超格子は正孔移動度を高めることができる。

【００２５】

ｐドープ半導体層の超格子のＧａＮ層は、有利には、本質的にドープされたものであってもよい。あるいは、ｐドープ半導体層の超格子のＧａＮ層はｐドープされていてもよい

。
【００２６】
同様に、ｎドープ半導体層は、ＧａＮ層とＡｌ（ｚ）Ｇａ（１－ｚ）Ｎ層との超格子を含むものであってもよく、ここで、０＜ｚ≦１であり、超格子のＡｌ（ｚ）Ｇａ（１－ｚ）Ｎ層はｎドープされている。
【００２７】
超格子を用いることで、ｐドープ半導体層と同様の増強効果がｎドープ半導体層でも得られることが認識されている。
【００２８】
ｎドープ半導体層の超格子のＧａＮ層は、有利には、本質的にドープされたものであってもよい。あるいは、ｎドープ半導体層の超格子のＧａＮ層はｎドープされていてもよい。
【００２９】
発光デバイスは更に、基板を貫通し、ダイオード層構造のｎドープ半導体層またはｐドープ半導体層に電気的に接続する金属コンタクトであるビアを含むものであってもよい。
【００３０】
したがって、下部電荷キャリア注入層がｎドープ半導体層であり、上部電荷キャリア注入層がｐドープ半導体層である場合（すなわち、ｎドープ半導体層がｐドープ半導体層よりも基板に近い場合）、ｎドープ半導体層はビアによって電気的に接続され得、ｐドープ半導体層は上部コンタクトによって電気的に接続され得る。
【００３１】
同様に、下部電荷キャリア注入層がｐドープ半導体層であり、上部電荷キャリア注入層がｎドープ半導体層である場合（すなわち、ｐドープ半導体層がｎドープ半導体層よりも基板に近い場合）、ｐドープ半導体層はビアによって電気的に接続され得、ｎドープ半導体層は上部コンタクトによって電気的に接続され得る。
【００３２】
その結果、下部電荷キャリア注入層への横方向電流が回避され得る。さらに、複数の発光デバイスが同一チップ上に配置される場合、下部電荷キャリア注入層へのビアが使用されると、複数の発光デバイスが高密度に収納され得る。
【００３３】
発光デバイスは、更に、以下のように構成され得る。
ｎドープ半導体層はピラー層を含み、ｎドープ半導体層のピラー層は、支持材料に埋め込まれた少なくとも１つのｎドープ半導体ピラーを含み、少なくとも１つのｎドープ半導体ピラーは、ｎドープ半導体層のピラー層を通って量子井戸層構造への電子輸送チャネルを形成するように構成され、および／または、
ｐドープ半導体層はピラー層を含み、ｐドープ半導体層のピラー層は、支持材料に埋め込まれた少なくとも１つのｐドープ半導体ピラーを含み、少なくとも１つのｐドープ半導体ピラーは、ｐドープ半導体層のピラー層を通って量子井戸層構造への正孔輸送チャネルを形成するように構成され得る。
【００３４】
ｎドープ半導体ピラーは、例えば、ｎドープＧａＮピラー、例えば、ｎドープＧａＮナノワイヤであってもよい。ｐドープ半導体ピラーは、例えば、ｐドープＧａＮピラー、例えば、ｐドープＧａＮナノワイヤであってもよい。
【００３５】
半導体ピラーは、電荷キャリアを量子井戸層構造へ効果的に導き得ることが認識されている。したがって、注入された電荷キャリアに対して高い導電性が達成され得る。量子井戸層構造への電荷キャリアの弾道的な輸送を可能にし得ることから、量子閉じ込めを示す半導体ピラーが特に有用であり得る。したがって、少なくとも１つの半導体ピラーは、５００ｎｍよりも小さい直径を有するものであってもよい。特に、少なくとも１つの半導体ピラーは、１００ｎｍよりも小さい直径を有するものであってもよい。特に、少なくとも

１つの半導体ピラーはナノワイヤであってもよい。前述したように、電荷キャリアの弾道的な輸送は、電荷キャリアが非常に速く移動することを可能にし、それによって高出力を可能とし、電荷キャリアの散乱を低減することができる。

【００３６】

発光デバイスの１つ以上のピラー層について、支持材料は、この支持材料に埋め込まれた半導体ピラーのドーピングとは反対のドーピングを有する半導体材料であってもよい。

【００３７】

このように、ｎドープ半導体層では、ピラー層の半導体ピラーがｎドープされ、支持材料がｐドープされてもよい。その結果、ｎドープ半導体層から注入された電子は、ｎドープ半導体ピラーを通過することを強いられ得る。

【００３８】

このように、ｐドープ半導体層では、ピラー層の半導体ピラーがｐドープされ、支持材料がｎドープされてもよい。その結果、ｐドープ半導体層から注入された正孔は、ｐドープ半導体ピラーを通過することを強いられ得る。

【００３９】

支持材料は、例えば、ピラー層の半導体ピラーがｎドープされている場合には、鉄ドープまたは炭素ドープされたＧａＮであってもよい。鉄ドーパントまたは炭素ドーパントは、ＧａＮ中の望ましくない浅いドナーおよび残留不純物を補償する深いアクセプタドーパントとして作用し得る。鉄ドープまたは炭素ドープのＧａＮ支持材料を使用することにより、ピラー層の上または後に、例えばピラー層の後に成長させた量子井戸層構造において、より高品質な材料を成長させることが可能になる。

【００４０】

代替的に、または追加的に、発光デバイスの１つ以上のピラー層について、支持材料は酸化ガリウムまたはその場のSi_3N_4であってもよい。

【００４１】

酸化ガリウムは、Ga_2OまたはGa_2O_3などであってもよい。酸化ガリウムはバンドギャップが大きいため、電荷キャリアの半導体ピラーへの効果的な閉じ込めが促進できる。

【００４２】

さらに、発光デバイスの１つ以上のピラー層について、半導体ピラーの直径は１０～５００ｎｍであってもよく、半導体ピラーのピッチは２００～５００ｎｍであってもよい。このような構成により、電荷キャリアを半導体ピラーに良好に閉じ込めることができ、同時にピラー層を通る電流密度を充分に確保することができる。

【００４３】

ｐドープ半導体層には、歪みによって、軽い正孔の電荷キャリア濃度が提供され得る。例えば、歪みによって、軽い正孔のバンドエネルギーを重い正孔のバンドエネルギーよりも高くすることができる。したがって、主に軽い正孔を介した伝導が促進され得、正孔の高速注入、ひいては高出力につながり得る。例えば、ｐドープ半導体層はピラー層を含み、ピラー層の半導体ピラーは、半導体ピラーの軽い正孔バンドが半導体ピラーの重い正孔バンドよりも高いエネルギーを有するように、支持材料によって歪められる。

【００４４】

発光デバイスは、第１および第２の量子井戸の下方の下部反射鏡と、第１および第２の量子井戸の上方の上部反射鏡とを含む垂直共振器面発光レーザ（vertical-cavity surface emitting laser、ＶＣＳＥＬ）であってもよく、上部反射鏡および下部反射鏡は、第１および第２の量子井戸によって放射された光のための光共振器を形成する。

【００４５】

下部および上部の反射鏡は、それぞれ分布反射鏡（distributed Bragg reflectors、ＤＢＲｓ）であってもよい。ＤＢＲは、高屈折率と低屈折率を交互に繰り返す層を含むものであってもよい。層の厚さは、発光波長の４分の１、例えば量子井戸層構造の量子井戸によって放射される光の波長の４分の１に対応するように構成することができる。

【００４６】
ｐドープ半導体層がＧａＮ層とＡｌ（ｚ）Ｇａ（１－ｚ）Ｎ層の超格子を含む場合、超格子はＶＣＳＥＬのＤＢＲの一部を形成していてもよい。
【００４７】
ｎドープ半導体層がＧａＮ層とＡｌ（ｚ）Ｇａ（１－ｚ）Ｎ層の超格子を含む場合、超格子はＶＣＳＥＬのＤＢＲの一部を形成していてもよい。
【００４８】
第１および第２の量子井戸から放射される光のための光共振器は、第１および第２の量子井戸からの放射の波長と同様の共振波長に対応する分離を有する上部および下部反射鏡によって形成されるものであってもよい。光共振器のこの共振波長は、第１および第２の量子井戸からの放射の波長の±２０％以内であってもよい。
【００４９】
上述したように、電荷キャリア、すなわち電子および正孔が、近位バリア層および遠位バリア層の両方によって量子井戸内に閉じ込められると、特に有利になり得る。例えば、第１および第２の遠位バリア層の両方が、第１および第２の近位バリア層よりも大きなバンドギャップを有する。このような状況では、遠位バリア層は、遠位バリア層に挟まれた領域の両側に正孔のためのエネルギー障壁を形成し得る。同様に、このような状況では、遠位バリア層は、遠位バリア層に挟まれた領域の両側に電子のためのエネルギー障壁を形成し得る。したがって、電子および正孔の両方を２段階構造で閉じ込めることができる。電子および正孔は、まず、近位バリア層によって量子井戸内に閉じ込められ得る。電子および正孔は、次に、遠位バリア層によって、遠位バリア層に挟まれた領域に閉じ込められ得る。遠位バリア層によって電子および正孔の両方を閉じ込めるこのような構造は、エレクトロルミネッセンスを有利に向上させる。
【００５０】
上述したように、近位バリア層のアルミニウム含有量を遠位バリア層よりも少なくすると、量子井戸内へのアルミニウムの拡散を防ぐことができ、性能が劣化する可能性があるため、特に有利となり得る。
【００５１】
以下では、第１および第２の遠位バリア層の両方が、第１および第２の近位バリア層よりも大きなバンドギャップを有する構造の更なる例を示す。第１および第２の遠位バリア層はそれぞれ、ＧａＮのバンドギャップよりも大きなバンドギャップを有するものであってもよい。したがって、第１および第２の遠位バリア層はそれぞれ、Ａｌ（ａ）Ｇａ（１－ａ）Ｎ（ここで、０＜ａ≦０．３、例えば０．１＜ａ≦０．３）を含むものであってもよい。さらに、第１および第２の近位バリア層はそれぞれ、５０ｎｍ未満の厚さ、例えば１０ｎｍ未満の厚さを有するものであってもよい。このような厚さは、近位バリア層からの閉じ込めと遠位バリア層からの閉じ込めとの間に有利な関係を提供し得る。構造の量子井戸セクション（例えば、第１から最後の量子井戸までの厚さの、第１および第２の近位バリア層に挟まれた量子井戸を含む）は、２０～１００ｎｍ未満の厚さを有するものであってもよい。
【００５２】
有利な構造は、以下のとおり（下部の層から上部の層へと記載）であり得る。
・基板。
・Ａｌ（ｘ）Ｇａ（１－ｘ）Ｎ（ここで、０＜ｘ≦１）を含むベース層。
・例えばｎドープされたＧａＮの、ｎドープ層。
・Ａｌ（ａ）Ｇａ（１－ａ）Ｎ（ここで、０＜ａ≦０．３、例えば０．１＜ａ≦０．３）の、第１の遠位バリア層。第１の遠位バリア層は本質的なものであってもよく、あるいはドープされたものであってもよい。第１の遠位バリア層の厚さは１０ｎｍ未満であってもよい。
・本質的にドープされたＧａＮの、第１の近位バリア層。第１の遠位バリア層の厚さは５０ｎｍ未満、例えば１０ｎｍ未満であってもよい。

・それぞれ５ｎｍ未満の厚さを有する、第１および第２の量子井戸。量子井戸は、例えば２０ｎｍ未満、例えば５ｎｍ未満の厚さを有するＧａＮバリア層によって分離されていてもよい。
・本質的にドープされたＧａＮの、第２の近位バリア層。第２の遠位バリア層の厚さは１０ｎｍ未満、例えば５ｎｍ未満であってもよい。
・Ａｌ（ａ）Ｇａ（１－ａ）Ｎ（ここで、０＜ａ≦０．３、例えば０．１＜ａ≦０．３）の、第２の遠位バリア層。第２の遠位バリア層は本質的なものであってもよく、あるいはドープされたものであってもよい。第１の遠位バリア層の厚さは２０ｎｍ未満、例えば１０ｎｍ未満であってもよい。
・例えばｐドープされたＧａＮの、ｐドープ層。

【００５３】

特に、有利な構造は、以下のとおり（下部の層から上部の層へと記載）であり得る。
・基板。
・Ａｌ（ｘ）Ｇａ（１－ｘ）Ｎ（ここで、０＜ｘ≦１）を含むベース層。
・ｎドープされたＧａＮの、ｎドープ層。
・１０ｎｍ未満のＡｌ（ａ）Ｇａ（１－ａ）Ｎ（ここで、０．１＜ａ≦０．３）の、第１の遠位バリア層。
・本質的にドープされたＧａＮの、第１の近位バリア層。第１の遠位バリア層の厚さは５０ｎｍ未満、例えば１０ｎｍ未満であってもよい。
・それぞれ５ｎｍ未満の厚さを有する、ＩｎＧａＮの第１および第２の量子井戸。量子井戸は、例えば３０ｎｍ未満、例えば１０ｎｍ未満の厚さを有するＧａＮバリア層によって分離されていてもよい。
・本質的にドープされたＧａＮの、第２の近位バリア層。第２の遠位バリア層の厚さは５０ｎｍ未満、例えば１０ｎｍ未満であってもよい。
・１０ｎｍ未満のＡｌ（ａ）Ｇａ（１－ａ）Ｎ（ここで、０．１＜ａ≦０．３）の、第２の遠位バリア層。
・ｐドープされたＧａＮの、ｐドープ層。

【００５４】

上記の構造において、ｎドープ層とｐドープ層が入れ替わっていてもよい。

【００５５】

上記の構造において、第１および第２の近位バリア層の間に２つ以上の量子井戸が存在していてもよい。

【００５６】

第２の態様によれば、
基板を提供する工程と、
物理蒸着により、Ａｌ（ｘ）Ｇａ（１－ｘ）Ｎを含むベース層を基板上に堆積させる工程と、
ｎドープ半導体層とｐドープ半導体層の間に挟まれた量子井戸層構造を含むダイオード層構造をベース層上に形成する工程と、を含み、
量子井戸層構造は、第１および第２の量子井戸と、第１および第２の近位バリア層と、第１および第２の遠位バリア層を含み、
第１および第２の量子井戸はそれぞれ、５ｎｍ未満の厚さ、および第１および第２の近位バリア層のバンドギャップよりも小さいバンドギャップを有し、
第１および第２の近位バリア層はそれぞれ、本質的にドープされたＧａＮを含み、第１および第２の量子井戸は、第１および第２の近位バリア層の間に挟まれ、
第１および第２の遠位バリア層はそれぞれ、Ａｌ（ａ）Ｇａ（１－ａ）Ｎ（ここで、０≦ａ≦０．３）を含み、第１および第２の量子井戸ならびに第１および第２の近位バリア層は、第１および第２の遠位バリア層の間に挟まれ、
ｎドープ半導体層は、量子井戸層構造に電子を注入するように構成され、
ｐドープ半導体層は、量子井戸層構造に正孔を注入するように構成され、好ましくは、

ベース層は、１００～５００ｎｍの厚さを有するＡｌＮである、発光デバイスの製造方法が提供される。

【００５７】

したがって、ベース層は物理蒸着、例えばスパッタリングによって堆積される。ダイオード層構造の各層は、ベース層上にエピタキシャル成長によって形成され得る。

【００５８】

第２の態様によって製造された発光デバイスは、第１の態様による発光デバイスと同じ利点、または同様の利点を有するものであり得、将来の分割出願の対象となり得る。

【００５９】

この製造方法は更に、

反応性イオンエッチングにより、基板を貫通する孔をエッチングする工程と、

基板を貫通し、ダイオード層構造のｎドープ半導体層またはｐドープ半導体層に電気的に接続する金属コンタクトが形成されるように、基板を貫通する孔に金属を堆積させる工程と、を含んでもよい。

【００６０】

このように、ビアが形成されていてもよい。反応性イオンエッチングは、基板を貫通する孔のような深い孔をエッチングするのに特に適し得る。反応性イオンエッチングは、塩素反応性イオンエッチングであってもよい。

【００６１】

反応性イオンエッチングによる基板貫通孔のエッチングは、塩化アルミニウムまたはフッ化アルミニウムの分子種を分光学的に検出することに基づいて終了することができる。

【００６２】

基板を貫通する孔のような深い孔をエッチングする場合、正確なエッチング深さを知ることは難しいかもしれない。塩化アルミニウムまたはフッ化アルミニウムの分光学的信号は、反応性イオンエッチングが基板、例えばシリコン基板を貫通し、ベース層のＡｌ（ｘ）Ｇａ（１－ｘ）Ｎに到達したことを示し得ることが認識されている。分子種は、例えば、紫外可視近赤外分光法によって分光学的に検出することができる。

【００６３】

分光学的信号は、エッチング完了、すなわちＡｌＮまたはアルミニウム含有Ａｌ（ｘ）Ｇａ（１－ｘ）Ｎベース層のブレークスルーに達した時点で停止されるエッチングのトリガーとして使用することができ、これによりＡｌＮからの信号強度が低下する。プラズマエッチングは、ＩＣＰプラズマエッチングで行うことができる。この製造方法の利点は、発光デバイスのドレインコンタクト用のトレンチを定義するために使用されるのと同じベース層を、シリコン上に高品質のＧａＮを成長させるために使用できることである。

【００６４】

上記、および本発明の概念の付加的な目的、特徴および利点は、添付の図面を参照しながら、以下の例示的かつ非限定的な詳細な説明を通じて、よりよく理解されるであろう。図面では、特に断りが無い限り、同様の参照数字は同様の要素に使用される。

【図面の簡単な説明】

【００６５】

【図１】図１は、発光デバイスを示す図である。

【図２】図２は、バンド構造を示す図である。

【図３】図３は、量子井戸層構造を示す図である。

【図４】図４は、電荷キャリア注入層を示す図である。

【図５】図５は、電荷キャリア注入層を示す図である。

【図６】図６は、電荷キャリア注入層を示す図である。

【図７】図７は、電荷キャリア注入層を示す図である。

【図８】図８は、電荷キャリア注入層を示す図である。

【図９】図９は、ベース層を示す図である。

【図１０】図１０は、垂直共振器面発光レーザを示す図である。

【図１１】図１１は、方法のフローチャートである。
【発明を実施するための形態】
【００６６】
以下、添付図面と連携しながら、本発明の技術的な内容および詳細な説明を好ましい実施形態に従って説明するが、特許請求の範囲を限定するために使用されるものではない。本発明は、多くの異なる形態で具体化され得、本明細書に記載された実施形態に限定されると解釈されるべきではなく、むしろ、これらの実施形態は、徹下性および完全性のため、および当業者に本発明の範囲を充分に伝えるために提供される。
【００６７】
図１は、発光デバイス１を示す断面図である。この発光デバイスは、基板２と、基板２上に配置されたベース層４と、ベース層４上に配置されたダイオード層構造１０とを含む。
【００６８】
基板２は、半導体ウェハまたは半導体ウェハの一部であってもよい。基板２は、例えば、シリコン基板２、サファイア基板２、または炭化ケイ素基板２であってもよい。シリコン基板２は、低コストであるため好ましい。基板２は、以下でＸＹ平面と呼ぶ平面内に延在していてもよい。発光デバイス１の種々の層は、基板２の上部上に、ＸＹ平面に垂直な方向に次々と配置されていてもよく、この垂直な方向は、以下でＺ方向と呼ぶ。本明細書における発光デバイス１の図示は、概略的な図示であることを理解されたい。発光デバイス１は、一般に、ＸＹ平面のＸ方向およびＹ方向において、Ｚ方向よりも実質的に大きな寸法を有する。
【００６９】
ベース層４およびダイオード層構造１０は、窒化物系半導体材料を含むものであってもよい。
【００７０】
ベース層４は、Ａｌ（ｘ）Ｇａ（１－ｘ）Ｎ（ここで、０＜ｘ≦１）を含む。ベース層４は、１００～５００ｎｍの厚さのＡｌＮ層、すなわちｘ＝１の層、すなわちＡｌ含有量が１００％の層を含むことが好ましい。ＡｌＮ層は、好ましくは基板２上に直接、例えばシリコン基板２上に直接配置される。ＡｌＮ層は、好ましくは、物理蒸着によって堆積されたＡｌＮを含む。ＡｌＮ層は、例えばスパッタリングされたＡｌＮを含むものであってもよい。代替的に、または追加的に、ベース層４は、他のＡｌ組成のスパッタリング層を含むものであってもよい。
【００７１】
ベース層４は、単一の層または複数の層を含むものであってもよい。例えば、ベース層は、基板２上に直接配置されたＡｌＮ層と、その上に配置された、Ａｌ含有量がより低い、すなわちｘ＜１である、１つ以上のＡｌ（ｘ）Ｇａ（１－ｘ）Ｎ層とを含むものであってもよい。ベース層４は、後述するように、ベース層ピラー６を更に含むものであってもよい。
【００７２】
ベース層４は、エピタキシャル成長層を含むものであってもよい。例えば、ベース層４は、スパッタ層とダイオード層構造１０との間に、少なくとも１つのエピタキシャル成長層を含むものであってもよい。ベース層４は、転位の形成を防止または低減し、および／または転位がダイオード層構造１０に広がるのを防止することができる。
【００７３】
前述したように、ダイオード層構造１０は、ベース層４上に配置される。ダイオード層構造１０は、窒化物系半導体材料を含むものであってもよい。ダイオード層構造は、ｎドープ半導体層１２とｐドープ半導体層１４との間に挟まれた量子井戸層構造３０を含む。図１において、ダイオード層構造１０における層の順序は、ベース層４からＺ方向に見て、ｎドープ半導体層１２の後に量子井戸層構造３０が続き、その後にｐドープ半導体層１４が続く。あるいは、順序は逆であってもよく、すなわち、ｐドープ半導体層１４の後に

量子井戸層構造３０が続き、その後にｎドープ半導体層１２が続くものであってもよい。ｎドープ半導体層１２は、ダイオード層構造１０が順方向にバイアスされたときに、量子井戸層構造３０に電子を注入する電荷キャリア注入層として機能する。同様に、ｐドープ半導体層１４は、ダイオード層構造１０が順方向にバイアスされたときに、量子井戸層構造３０に正孔を注入する電荷キャリア注入層として機能する。

【００７４】

量子井戸層構造３０は、第１の量子井戸４１および第２の量子井戸４２と、第１の近位バリア層５１および第２の近位バリア層５２と、第１の遠位バリア層６１および第２の遠位バリア層６２とを含む。第１の量子井戸４１および第２の量子井戸４２は、バリア層４３によって分離されていてもよい。第１の量子井戸４１および第２の量子井戸４２は、第１の近位バリア層５１および第２の近位バリア層５２の間に挟まれている。第１の量子井戸４１および第２の量子井戸４２ならびに第１の近位バリア層５１および第２の近位バリア層５２は、第１の遠位バリア層６１および第２の遠位バリア層６２の間に挟まれている。したがって、量子井戸層構造３０における層の順序は、下部電荷キャリア注入層からＺ方向に見て、第１の遠位バリア層６１、第１の近位バリア層５１、第１の量子井戸４１、バリア層４３、第２の量子井戸４２、第２の近位バリア層５２、第２の遠位バリア層６２とすることができる。

【００７５】

第１の量子井戸４１および第２の量子井戸４２はそれぞれ、５ｎｍ未満の厚さを有し、第１の近位バリア層５１および第２の近位バリア層５２のバンドギャップよりも小さいバンドギャップを有する。第１の量子井戸４１および第２の量子井戸４２は、ＩｎＡｌＧａＮ層またはＩｎＧａＮ層であってもよい。例えば、第１の量子井戸４１および第２の量子井戸４２は、Ｉｎ（ｂ）Ａｌ（ｃ）Ｇａ（１－ｂ－ｃ）Ｎ層（ここで、０≦ｂ≦１かつ０≦ｃ≦１）であってもよい。第１の量子井戸４１および第２の量子井戸４２は、同じ組成を有していてもよいし、異なる組成を有していてもよい。第１の量子井戸４１および第２の量子井戸４２の間の障壁４３は、第１の量子井戸４１および第２の量子井戸４２のバンドギャップよりも大きなバンドギャップを有していてもよい。第１の量子井戸４１および第２の量子井戸４２の間の障壁４３は、ＧａＮ層、例えば、本質的にドープされたＧａＮ層であってもよい。第１の量子井戸４１および第２の量子井戸４２の間のバリア層４３は、３０ｎｍ未満、好ましくは１０ｎｍ未満の厚さを有するものであってもよい。

【００７６】

第１の近位バリア層５１および第２の近位バリア層５２はそれぞれ、本質的にドープされたＧａＮを含む。第１の遠位バリア層６１および第２の遠位バリア層６２はそれぞれ、Ａｌ（ａ）Ｇａ（１－ａ）Ｎ（ここで、０≦ａ≦０．３）を含む。好ましくは、第１の遠位バリア層６１および第２の遠位バリア層６２はそれぞれ、０．３≦ａ≦１の組成を有する。これにより、第１の量子井戸４１および第２の量子井戸４２の電荷キャリアを、ｎドープ半導体層１２およびｐドープ半導体層１４のドーパントから分離するための良好な障壁が得られる。

【００７７】

発光デバイス１は、ダイオード層構造１０に電荷キャリアをバイアスおよび／または提供するための電気接点を更に含むものであってもよい。図１に図示されるように、発光デバイス１は、上部電荷キャリア注入層に電気的に接続された上部コンタクト９と、下部電荷キャリア注入層に電気的に接続されたビア３とを含むものであってもよい。図１では、上部コンタクト９はｐドープ半導体層１４に電気的に接続され、ビア３はｎドープ半導体層１２に電気的に接続されている。ビア３は、基板２を貫通する金属コンタクトである。

【００７８】

ビア３は、例えば下部電荷キャリア注入層とオーミック接触を形成することによって、下部電荷キャリア注入層に電気的に接続することができる。このように、ビア３は基板２を貫通し、ベース層４を貫通して、下部電荷キャリア注入層まで延びるものであってもよい。

【００７９】
あるいは、ビア３は、１つ以上の中間層を介して下部電荷キャリア注入層に電気的に接続するものであってもよい。ビア３と下部電荷キャリア注入層との間に、下部電荷キャリア注入層と同じドーピングタイプ（ｎまたはｐ）を有する１つ以上の中間層が存在していてもよい。したがって、ビアは下部中間層とオーミック接触を形成することができ、それによって中間層を介して下部電荷キャリア注入層に電気的に接続され得る。図１は、ベース層４が、ビア３と、ここではｎドープ半導体層１２である下部電荷キャリア注入層との間の中間層として機能する状況を示している。
【００８０】
発光デバイス１は、垂直方向、すなわちＺ方向に光を放射するように構成することができる。本明細書において、光は、図１に図示されるように、上部コンタクト９を貫通する開口を通して、または上部コンタクト９が半透明であることによって、放射され得る。したがって、発光デバイス１は、ＶＣＳＥＬ７０であってもよい。
【００８１】
あるいは、発光デバイス１は、横方向、例えばＸ方向またはＹ方向に光を放射するように構成することができる。本明細書において、光は、ダイオード層構造１０の側面において放射され得る。したがって、発光デバイス１は、端面発光レーザであってもよい。
【００８２】
ダイオード層構造１０の半導体バンド構造の一例を図２に示す。図示されるように、遠位バリア層６１、６２は、遠位バリア層６１、６２が境界を接する電荷キャリア注入層１２、１４よりも大きなバンドギャップを有するものであってもよい。したがって、遠位バリア層６１、６２は、電荷キャリアが量子井戸層構造３０に注入されるときにトンネルするトンネル障壁を形成することができる。トンネル障壁を形成する遠位バリア層６１、６２は、電荷キャリアがトンネルするために充分に薄い厚さを有するように構成されていてもよい。例えば、このようなトンネル障壁は、３０ｎｍよりも薄く、例えば１０ｎｍよりも薄くてもよい。代替として、遠位バリア層６１、６２は、遠位バリア層６１、６２が境界を接する電荷キャリア注入層１２、１４よりも小さなバンドギャップを有するものであってもよい。この場合、電荷キャリアは、トンネルすることなく量子井戸層構造３０に注入され得る。
【００８３】
量子井戸層構造３０は、電子および正孔の再結合のために、遠位ｎドープ半導体層および遠位ｐドープ半導体層によって実質的にドープされるように構成されていてもよい。例えば、量子井戸層構造３０をドープするための遠位ｎドープ半導体層は、量子井戸層構造３０の量子井戸４１、４２から５０ｎｍ未満に配置されていてもよい。同様に、量子井戸層構造３０をドープするための遠位ｐドープ半導体層は、量子井戸層構造３０の量子井戸４１、４２から５０ｎｍ未満に配置されていてもよい。
【００８４】
量子井戸層構造３０は、２つ以上の量子井戸４０を含むものであってもよい。ダイオード層構造１０の量子井戸層構造３０は、複数の量子井戸４０を含むものであってもよく、複数の量子井戸４０の隣接する量子井戸４０は、１０ｎｍ未満の厚さを有するバリア層によって分離される。図３は、４つの量子井戸４０を含む量子井戸層構造３０を示す断面図である。
【００８５】
発光デバイス１の電荷キャリア注入層は、超格子２０を含むものであってもよい。これにより、電荷キャリア注入層のドーピングを高めることができる。
【００８６】
例えば、ｐドープ半導体層１４は、ＧａＮ層２２とＡｌ（ｚ）Ｇａ（１－ｚ）Ｎ層２４との超格子２０を含むものであってもよく、ここで、０＜ｚ≦１であり、超格子２０のＡｌ（ｚ）Ｇａ（１－ｚ）Ｎ層２４はｐドープされている。
【００８７】

同様に、ｎドープ半導体層１２は、ＧａＮ層２２とＡｌ（ｚ）Ｇａ（１－ｚ）Ｎ層２４との超格子２０を含むものであってもよく、ここで、０＜ｚ≦１であり、超格子２０のＡｌ（ｚ）Ｇａ（１－ｚ）Ｎ層２４はｎドープされている。

【００８８】

図４は、ＧａＮ層２２とＡｌ（ｚ）Ｇａ（１－ｚ）Ｎ層２４の超格子２０を含む電荷キャリア注入層、ここではｐドープ半導体層１４の断面図である。この図および以下の図において、各層のドーピングは、各層の隣に示されている。ここで、ｐはｐドーピングを表し、ｉは真性ドーピングを表し、ｎはｎドーピングを表す。図４に図示されるように、ＧａＮ層２２は本質的にドープされたものであってもよい。これは、ｐドープ半導体層１４の超格子２０にも、ｎドープ半導体層１２の超格子２０にも適用され得る。

【００８９】

好ましくは、Ａｌ（ｚ）Ｇａ（１－ｚ）Ｎ層２４は、ｚ＞０．１５、例えば０．２＜ｚ＜０．４の組成を有する。これは、最も効率的なドーピング強化を提供することができる。

【００９０】

更に、発光デバイス１の電荷キャリア注入層は、ピラー層１５を含むものであってもよい。これにより、電荷キャリア注入層における高い導電性および／または高い移動度が促進できる。追加的に、または代替的に、電荷キャリア注入層を通る弾道的な輸送を促進することができる。

【００９１】

例えば、ｐドープ半導体層１４は、ピラー層１５を含むものであってもよく、ｐドープ半導体層１４のピラー層１５は、支持材料１８に埋め込まれた少なくとも１つのｐドープ半導体ピラー１６を含む。

【００９２】

図５および図６は、ピラー層１５を示している。同図において、ピラー層１５はｐドープ半導体層１４を形成している。しかしながら、ピラー層１５は、例えばピラー層１５のドーピングが逆であれば、代替的にｎドープ半導体層１２を形成することができる。図５は、Ｚ方向から見たピラー層１５の上面図である。図６は、Ｙ方向から見たピラー層１５の断面図である。

【００９３】

ピラー層１５の半導体ピラー１６は、主に、基板に対して垂直、すなわちＺ方向の軸線に沿って延びることができる。

【００９４】

半導体ピラー１６は、図５に示すように、円形の断面を有するものであってもよい。あるいは、半導体ピラー１６は、非円形の断面を有するものであってもよい。ピラー層１５の半導体ピラー１６は、１０ｎｍ～５００ｎｍの範囲の直径Ｄを有するものであってもよい。半導体ピラー１６が非円形の断面を有する場合、直径Ｄは、非円形の断面を包含する最小の円の直径である。

【００９５】

ピラー層１５の半導体ピラー１６は、２００ｎｍ～５００ｎｍの範囲の間隔Ｂを有するものであってもよい。ここで、間隔Ｂとは、図５に示すように、半導体ピラー１６の周期的な繰り返しにおいて、隣接する半導体ピラー１６間の距離である。

【００９６】

ピラー層１５の半導体ピラー１６は、例えば、Ａｌ（ｘ）Ｇａ（１－ｘ）Ｎ（ここで、０≦ｘ≦１）のような単一の半導体材料を含むものであってもよい。あるいは、ピラー層１５の半導体ピラー１６は、ＧａＮ層２２とＡｌ（ｚ）Ｇａ（１－ｚ）Ｎ層２４（ここで、０＜ｚ≦１）との超格子２０を含むものであってもよい。図７は、ｎドープ半導体層１２を形成するピラー層１５をＹ方向に見た断面図であり、半導体ピラー１６は超格子２０を含む。図８は、ｐドープ半導体層１４を形成するピラー層１５をＹ方向に見た断面図であり、半導体ピラー１６は超格子２０を含む。

【００９７】
ピラー層１５の半導体ピラー１６は、電荷キャリアの輸送チャネルを形成するためにドープされる。ピラー層１５がｎドープ半導体層１２の一部を形成する場合、ピラー層１５の半導体ピラー１６は、ピラー層１５を通る電子輸送チャネルを形成するためにｎドープされる。ピラー層１５がｐドープ半導体層１４の一部を形成する場合、ピラー層１５の半導体ピラー１６は、ピラー層１５を通る正孔輸送チャネルを形成するためにｐドープされる。ドーピングは、半導体ピラー１６の軸線に沿って一定であってもよい。あるいは、ドーピングは、半導体ピラー１６の軸線に沿って変化していてもよい。特に、半導体ピラー１６が超格子２０を含む場合、ＧａＮ層２２は本質的にドープされていてもよく、一方、Ａｌ（ｚ）Ｇａ（１－ｚ）Ｎ層２４は、半導体ピラー１６が正孔輸送チャネルを形成するようにｐドープされていてもよく、または半導体ピラー１６が電子輸送チャネルを形成するようにｎドープされていてもよい。
【００９８】
ピラー層１５は、半導体層を成長させ、半導体層をパターニングし、次いで半導体ピラー１６をエッチング除去することによって形成することができる。その後、半導体ピラー１６が支持材料１８内に横方向に埋め込まれるように、ピラー間の空間が支持材料１８によって埋められ得る。支持材料１８は、エピタキシャル成長させたものであってもよく、または他の手段で堆積させたものであってもよい。
【００９９】
支持材料１８は、半導体材料、例えばエピタキシャル成長させた半導体材料であってもよい。支持材料１８は、この支持材料１８に埋め込まれた半導体ピラー１６のドーピングとは反対のドーピングを有する半導体材料であってもよい。このように、ｎドープ半導体層１２では、ピラー層１５の半導体ピラー１６がｎドープされ、支持材料１８がｐドープされていてもよい。同様に、ｐドープ半導体層１４では、ピラー層１５の半導体ピラー１６がｐドープされ、支持材料１８がｎドープされていてもよい。
【０１００】
ドープされた半導体材料を支持材料１８に使用することとは代替的に、または追加的に、支持材料１８が酸化物であってもよい。例えば、支持材料は、Ga_2OまたはGa_2O_3などの酸化ガリウムであってもよい。
【０１０１】
ｐドープ半導体層には、歪みによって、軽い正孔の電荷キャリア濃度を提供することができる。このように、ｐドープ半導体層１４の少なくとも一部は、ｐドープ半導体層１４の前記一部が歪むように、周囲に対して格子不整合であってもよい。本明細書において格子不整合という用語は、周囲と比較して異なる格子定数を有することを意味する。格子不整合は、ｐドープ半導体層１４の前記一部について、軽い正孔のバンドエネルギーを重い正孔のバンドエネルギーよりも高くすることで構成され得る。
【０１０２】
一例では、ｐドープ半導体層１４は、隣接する層に対して格子不整合である。
【０１０３】
他の例では、ｐドープ半導体層１４のピラー層１５のｐドープ半導体ピラー１６は、ピラー層１５の支持材料１８に対して格子不整合である。
【０１０４】
前述したように、ベース層４は、Ａｌ（ｘ）Ｇａ（１－ｘ）Ｎ（ここで、０＜ｘ≦１）を含む。ベース層４は、例えば、１つ以上のＡｌ（ｘ）Ｇａ（１－ｘ）Ｎ層を含むものであってもよい。追加的に、または代替的に、ベース層４は、ベース層封止材料８で横方向に封止されたベース層ピラー６を含むものであってもよい。図９は、このようなベース層４をＹ方向から見た断面図である。
【０１０５】
ベース層ピラー６は、主に、基板に対して垂直、すなわちＺ方向の軸線に沿って延びるピラーである。

【０１０６】
ベース層ピラー６は、円形の断面を有するものであってもよい。あるいは、ベース層ピラー６は、非円形の断面を有するものであってもよい。ベース層ピラー６は５００ｎｍよりも小さい、例えば１００ｎｍよりも小さい直径を有するものであってもよい。ベース層ピラー６が非円形の断面を有する場合、前記直径は、非円形の断面を包含する最小の円の直径である。
【０１０７】
ベース層封止材料８は、ベース層ピラー６を横方向に封止する。さらに、図９に示すように、ベース層封止材料８は、ベース層ピラー６の上端を封止するものであってもよい。
【０１０８】
ベース層ピラー６はＡｌＮピラーであってもよく、ベース層封止材料８は$Al_xGa_{1-x}N$（ここで、０≦ｘ≦０．９５）であってもよい。
【０１０９】
発光デバイス１は、レーザ、例えば垂直共振器面発光レーザ（vertical-cavity surface emitting laser、ＶＣＳＥＬ）または端面発光レーザダイオード７０であってもよい。
【０１１０】
図１０は、ＶＣＳＥＬ７０の形態の発光デバイス１を示す断面図である。図示されたＶＣＳＥＬ７０は、第１の量子井戸４１および第２の量子井戸４２の下方の下部反射鏡７２と、第１の量子井戸４１および第２の量子井戸４２の上方の上部反射鏡７４とを含み、上部反射鏡７４および下部反射鏡７２は、第１の量子井戸４１および第２の量子井戸４２によって放射された光のための光共振器を形成する。
【０１１１】
図１０に図示されるように、下部反射鏡７２および上部反射鏡７４は、それぞれ分布反射鏡（distributed Bragg reflectors、ＤＢＲｓ）であってもよい。ＤＢＲは、高屈折率と低屈折率を交互に繰り返す層を含むものであってもよい。層の厚さは、発光波長の４分の１、例えば量子井戸層構造３０の量子井戸４１、４２によって放射される光の波長の４分の１に対応するように構成することができる。図１０において、下部反射鏡７２は、高屈折率と低屈折率を交互に繰り返す４つの周期を含み、上部反射鏡７４は、高屈折率と低屈折率を交互に繰り返す２つの周期を含む。
【０１１２】
図１１は、発光デバイス１の製造方法１００を示すフローチャートである。この製造方法１００は、基板２を提供する工程Ｓ１０１と、ベース層４を堆積する工程Ｓ１０２と、ダイオード層構造１０を形成する工程Ｓ１０３とを含む。
【０１１３】
基板２は、例えば、シリコン基板２、サファイア基板２、または炭化ケイ素基板２として提供されるものであってもよい。
【０１１４】
工程Ｓ１０２において、物理蒸着、例えばスパッタリングによって、Ａｌ（ｘ）Ｇａ（１－ｘ）Ｎを含むベース層４を堆積させることが可能である。
【０１１５】
工程Ｓ１０３において、下部電荷キャリア注入層、第１の遠位バリア層６１、第１の近位バリア層５１、第１の量子井戸４１、バリア層４３、第２の量子井戸４２、第２の近位バリア層５２、第２の遠位バリア層６２、および上部電荷キャリア注入層をベース層４上に順次形成することによって、ダイオード層構造１０を形成することが可能である。ダイオード層構造１０の前記各層は、エピタキシャル成長によって形成され得る。下部電荷キャリア注入層はｎドープ半導体層１２であってもよく、上部電荷キャリア注入層はｐドープ半導体層１４であってもよく、またはこれらは逆であってもよい。
【０１１６】
任意で、製造方法１００は、

反応性イオンエッチングによって基板２を貫通する孔をエッチングする工程と、
基板を貫通し、下部電荷キャリア注入層に電気的に接続する金属コンタクトが形成されるように、基板２を貫通する孔に金属を堆積する工程と、によって、ビア３を形成する工程Ｓ１０４を含むものであってもよい。

【０１１７】

反応性イオンエッチングによる基板２を貫通する孔のエッチングは、塩化アルミニウムまたはフッ化アルミニウムの分子種を分光学的に検出することに基づいて終了することができる。分子種は、例えば、紫外可視近赤外分光法によって分光学的に検出することができる。基板２を貫通する孔の反応性イオンエッチングは、基板２を貫通するエッチングを行うプラズマを生成する工程を含むものであってもよい。プラズマは、エッチング中に光を放射することができる。光の一部は、エッチングガスが被エッチング材料と反応することによって生成される分子種に由来するものであってもよい。したがって、エッチングが基板、例えばシリコン基板２を通過したとき、エッチングガスは基板上の層のアルミニウムと反応することができる。したがって、エッチングガスは、例えばベース層４のアルミニウムと反応して、プラズマによって励起されたときに特徴的なスペクトルを放射する塩化アルミニウムまたはフッ化アルミニウム種を形成することができる。

【０１１８】

上記では、本発明の概念を主に、限られた数の実施例を参照して説明した。しかしながら、当業者には容易に理解されるように、添付の特許請求の範囲によって定義される本発明の概念の範囲内において、上記に開示された実施例以外の他の実施例も同様に実現可能である。

【図面】

【図１】

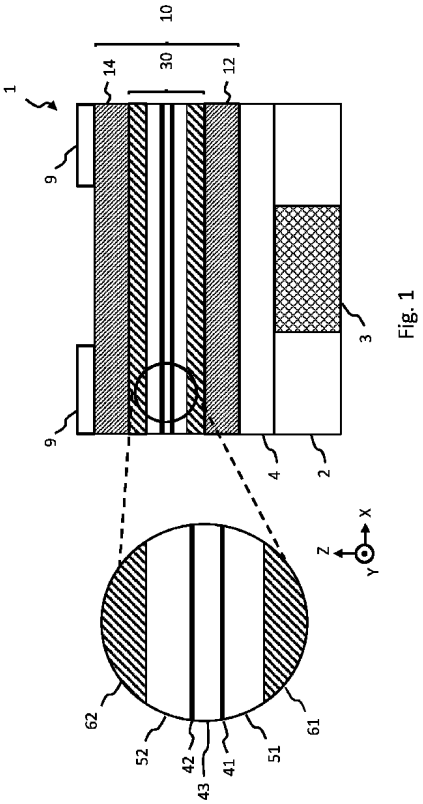
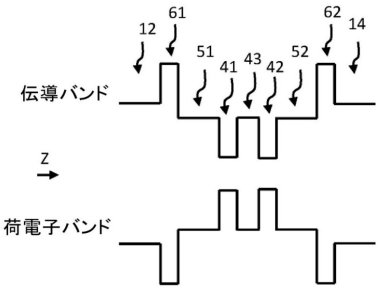


Fig. 1

【図２】



【図３】

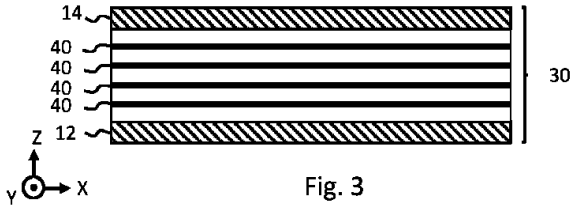
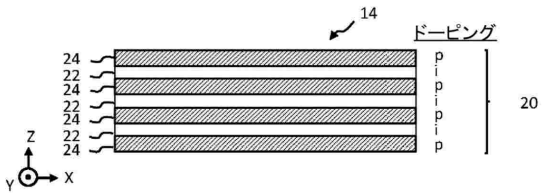


Fig. 3

【図４】



【図５】

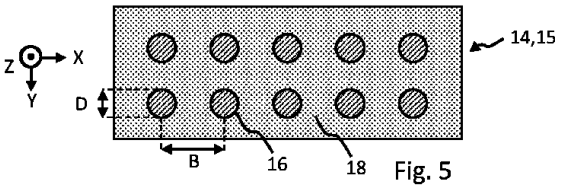


Fig. 5

【図６】

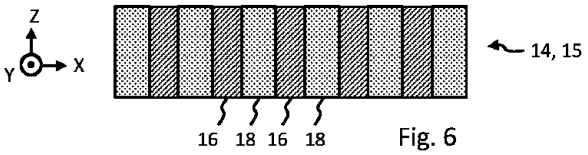
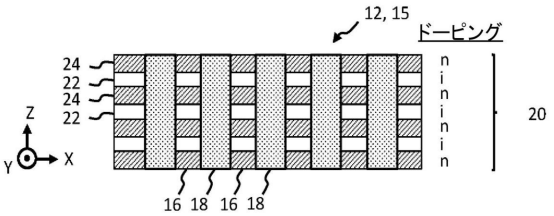
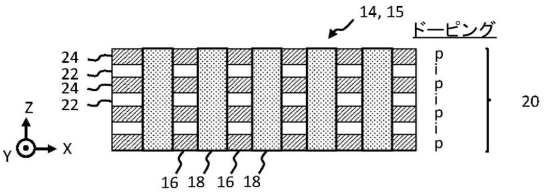


Fig. 6

【図７】



【図８】



【図９】

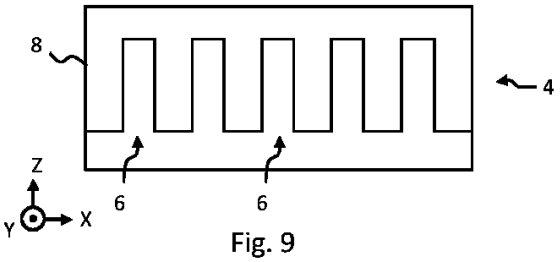


Fig. 9

【図１０】

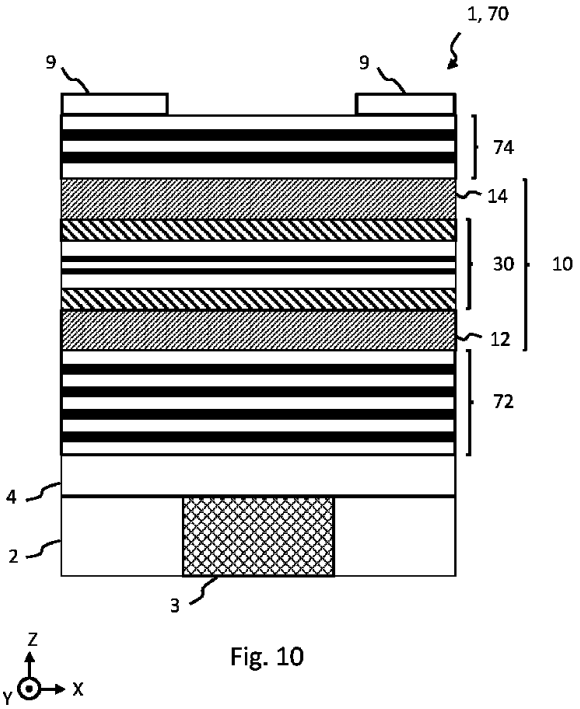
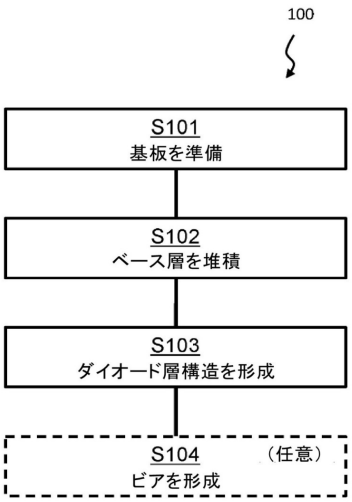


Fig. 10

【図１１】



【国際調査報告】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2023/053710

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. H01L33/00 H01L33/04 H01L33/06 H01L33/32 H01S5/183
H01S5/20 H01S5/30 H01S5/32 H01S5/343 H01S5/42
H01L33/14
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
H01L H01S

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)
EPO-Internal, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	EP 1 959 530 A1 (ROHM CO LTD [JP]) 20 August 2008 (2008-08-20) paragraphs [0023] - [0035] figures 1-3	1
X	WO 2013/049817 A1 (UNIV CALIFORNIA [US]; NAKAMURA SHUJI [US] ET AL.) 4 April 2013 (2013-04-04)	1-6, 12-15
Y	page 7, lines 23-28	11
A	figure 2	7-10
X	US 2014/183446 A1 (NAGO HAJIME [JP] ET AL) 3 July 2014 (2014-07-03) figure 3	1
X	US 2021/057601 A1 (OLIVER RACHEL A [GB] ET AL) 25 February 2021 (2021-02-25) figure 3A	1

-/--

[X] Further documents are listed in the continuation of Box C. [X] See patent family annex.

* Special categories of cited documents :
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed
"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"X" document of particular relevance;; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"Y" document of particular relevance;; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
5 April 2023	14/04/2023

Name and mailing address of the ISA/	Authorized officer
European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Gijsbertsen, Hans

Form PCT/ISA/210 (second sheet) (April 2005)

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2023/053710

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	EP 2 955 763 A1 (TOKUYAMA CORP [JP]) 16 December 2015 (2015-12-16) paragraphs [0077] - [0081] figure 11	1
Y	EP 2 838 125 A1 (PALO ALTO RES CT INC [US]) 18 February 2015 (2015-02-18)	11
A	paragraphs [0010], [0011]	7-10
A	US 2011/233575 A1 (HUANG HSIN-CHIEH [TW] ET AL) 29 September 2011 (2011-09-29) figures 7,8A	6,14
A	US 2012/292592 A1 (HWANG JONGIL [JP] ET AL) 22 November 2012 (2012-11-22) paragraphs [0055], [0063]	1
A	US 2015/318448 A1 (NAN QI [CN] ET AL) 5 November 2015 (2015-11-05) paragraph [0005]	1

Form PCT/ISA/210 (continuation of second sheet) (April 2005)

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No
PCT/EP2023/053710

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
EP 1959530 A1	20-08-2008	CN 101322292 A	10-12-2008
		EP 1959530 A1	20-08-2008
		JP 5113330 B2	09-01-2013
		JP 2007157766 A	21-06-2007
		KR 20080075212 A	14-08-2008
		TW 200737632 A	01-10-2007
		US 2009146160 A1	11-06-2009
		WO 2007063920 A1	07-06-2007
WO 2013049817 A1	04-04-2013	NONE	
US 2014183446 A1	03-07-2014	JP 2014127708 A	07-07-2014
		US 2014183446 A1	03-07-2014
		US 2015318435 A1	05-11-2015
US 2021057601 A1	25-02-2021	US 2021057601 A1	25-02-2021
		WO 2019145728 A1	01-08-2019
EP 2955763 A1	16-12-2015	CN 105009310 A	28-10-2015
		EP 2955763 A1	16-12-2015
		KR 20150114488 A	12-10-2015
		US 2016005919 A1	07-01-2016
		WO 2014123092 A1	14-08-2014
EP 2838125 A1	18-02-2015	EP 2838125 A1	18-02-2015
		US 2015048397 A1	19-02-2015
		US 2017162750 A1	08-06-2017
		US 2018158990 A1	07-06-2018
US 2011233575 A1	29-09-2011	CN 102201428 A	28-09-2011
		JP 5491438 B2	14-05-2014
		JP 2011211189 A	20-10-2011
		KR 20110108225 A	05-10-2011
		TW 201133814 A	01-10-2011
		US 2011233575 A1	29-09-2011
		US 2014065740 A1	06-03-2014
US 2012292592 A1	22-11-2012	JP 5123414 B2	23-01-2013
		JP 2012243814 A	10-12-2012
		US 2012292592 A1	22-11-2012
		US 2014319457 A1	30-10-2014
US 2015318448 A1	05-11-2015	CN 103236477 A	07-08-2013
		US 2015318448 A1	05-11-2015
		WO 2014169719 A1	23-10-2014

Form PCT/ISA/210 (patent family annex) (April 2005)

フロントページの続き

,MC,ME,MK,MT,NL,NO,PL,PT,RO,RS,SE,SI,SK,SM,TR),OA(BF,BJ,CF,CG,CI,CM,GA,GN,GQ,GW,KM,ML,MR,NE,SN,TD,TG),AE,AG,AL,AM,AO,AT,AU,AZ,BA,BB,BG,BH,BN,BR,BW,BY,BZ,CA,CH,CL,CN,CO,CR,CU,CV,CZ,DE,DJ,DK,DM,DO,DZ,EC,EE,EG,ES,FI,GB,GD,GE,GH,GM,GT,HN,HR,HU,ID,IL,IN,IQ,IR,IS,IT,JM,JO,JP,KE,KG,KH,KN,KP,KR,KW,KZ,LA,LC,LK,LR,LS,LU,LY,MA,MD,MG,MK,MN,MW,MX,MY,MZ,NA,NG,NI,NO,NZ,OM,PA,PE,PG,PH,PL,PT,QA,RO,RS,RU,RW,SA,SC,SD,SE,SG,SK,SL,ST,SV,SY,TH,TJ,TM,TN,TR,TT,TZ,UA,UG,US,UZ,VC,VN,WS,ZA,ZM,ZW

ート４、ケアオブ、エピノバテック、アクチボラグ

Ｆターム（参考）　5F173　AC52 AF03 AF32 AF38 AH22 AH48