

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2007-324583
(P2007-324583A)

(43) 公開日 平成19年12月13日(2007.12.13)

(51) Int. Cl. F I テーマコード (参考)
HO 1 L 33/00 (2006.01) HO 1 L 33/00 C 5 F O 4 1

審査請求 未請求 請求項の数 43 O L (全 43 頁)

<p>(21) 出願番号 特願2007-120970 (P2007-120970) (22) 出願日 平成19年5月1日(2007.5.1) (31) 優先権主張番号 特願2006-128019 (P2006-128019) (32) 優先日 平成18年5月1日(2006.5.1) (33) 優先権主張国 日本国(JP)</p>	<p>(71) 出願人 000005968 三菱化学株式会社 東京都港区芝4丁目14番1号 (74) 代理人 100106297 弁理士 伊藤 克博 (74) 代理人 100129610 弁理士 小野 暁子 (72) 発明者 堀江 秀善 茨城県牛久市東獺穴町1000番地 株式 会社三菱化学科学技術研究センター内 Fターム(参考) 5F041 AA14 AA31 CA13 CA40 CA65 CA74 CB25 DA04 DA09 FF11</p>
---	--

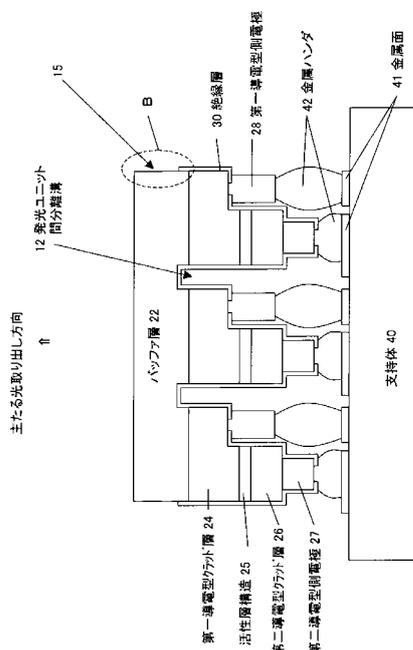
(54) 【発明の名称】 集積型半導体発光装置およびその製造方法

(57) 【要約】

【課題】本発明は、大面積の面光源的発光に適した集積型化合物半導体発光装置の構造、およびその製造方法を提供することを目的とする。

【解決手段】複数の発光ユニットを有する集積型化合物半導体発光装置であって、発光ユニットが、第一導電型半導体層24、活性層構造25および第二導電型半導体層26を有する薄膜結晶層を少なくとも有し、主たる光取り出し方向が第一導電型半導体層24側方向であり、第一および第二導電型側電極27、28がその反対側に形成されて、発光ユニット11同士が、薄膜結晶層の表面から前記バッファ層22の一部までを除去して形成された発光ユニット間分離溝12により電気的に分離されている。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

複数の発光ユニットを有する集積型化合物半導体発光装置であって、
前記発光ユニットは、第一導電型クラッド層を含む第一導電型半導体層、活性層構造、
および第二導電型クラッド層を含む第二導電型半導体層を有する化合物半導体薄膜結晶層
と、第二導電型側電極と、並びに第一導電型側電極とを少なくとも有し、

主たる光取り出し方向が前記活性層構造から見て前記第一導電型半導体層側方向であり、
前記第一導電型側電極および前記第二導電型側電極が、前記主たる光取り出し方向とは
、反対側に形成されており、

前記第一導電型半導体層より前記主たる光取り出し方向側に、前記複数の発光ユニット 10
間に共通して設けられたバッファ層を有し、

前記発光ユニット同士は、隣接する発光ユニットの間に設けられ、前記薄膜結晶層の表
面から前記バッファ層の界面まで、または前記バッファ層の一部までを除去して形成され
た発光ユニット間分離溝により電氣的に分離されていることを特徴とする集積型化合物半
導体発光装置。

【請求項 2】

前記バッファ層が、薄膜結晶成長により形成された層であることを特徴とする請求項 1
記載の発光装置。

【請求項 3】

前記バッファ層の少なくとも前記第一導電型半導体層に直接接する部分の比抵抗が、0 20
.5 (\cdot cm) 以上であることを特徴とする請求項 1 または 2 記載の発光装置。

【請求項 4】

前記バッファ層全体の比抵抗が、0 . 5 (\cdot cm) 以上であることを特徴とする請求
項 1 ~ 3 のいずれかに記載の発光装置。

【請求項 5】

前記バッファ層が複数の層の積層構造であることを特徴とする請求項 1 ~ 4 のいずれか
に記載の発光装置。

【請求項 6】

前記発光ユニット間分離溝の幅が、2 ~ 3 0 0 μ m の範囲である請求項 1 ~ 5 のいずれ
かに記載の発光装置。 30

【請求項 7】

前記発光装置は、複数の発光装置の間に設けられた装置間分離溝から分割されたもので
あって、この装置間分離溝が、前記バッファ層の途中まで形成されたことを特徴とする請
求項 1 ~ 6 のいずれかに記載の発光装置。

【請求項 8】

前記発光装置は、複数の発光装置の間に設けられた装置間分離溝から分割されたもので
あって、この装置間分離溝が、前記バッファ層を除去して形成されたことを特徴とする請
求項 1 ~ 6 のいずれかに記載の発光装置。

【請求項 9】

前記発光ユニット間分離溝内の底面および側面の全面を被覆し、この発光装置の側面に 40
露出した層のうち、少なくとも前記第一導電型半導体層、活性層構造および第二導電型半
導体層の側面を被覆し、前記第一導電型側電極の主たる光取り出し方向側の一部に接し、
前記第二導電型側電極の主たる光取り出し方向と反対側の一部を覆っている絶縁層を有す
ることを特徴とする請求項 1 ~ 8 のいずれかに記載の発光装置。

【請求項 10】

この発光装置の側面に、前記主たる光取り出し方向から、前記絶縁層が形成されていな
い絶縁層非形成領域が存在し、かつ、前記絶縁層が少なくとも前記第一導電型半導体層、
前記活性層構造、および前記第二導電型半導体層の側壁を覆っていることを特徴とする請
求項 9 記載の発光装置。

【請求項 11】

前記薄膜結晶層が、V族として窒素原子を含むIII-V族化合物半導体からなることを特徴とする請求項1~10のいずれかに記載の発光装置。

【請求項12】

前記活性層構造が、量子井戸層とバリア層からなり、バリア層の数をB、量子井戸層の数をWで表したとき、BとWが、

$$B = W + 1$$

を満たすことを特徴とする請求項1~11のいずれかに記載の発光装置。

【請求項13】

前記絶縁層が、複数の層からなる誘電体多層膜であることを特徴とする請求項9または10記載の発光装置。

10

【請求項14】

前記第一導電型半導体層側から前記バッファ層へ垂直入射する当該発光装置の発光波長の光が前記バッファ層で反射される反射率をR2で表し、前記絶縁層に前記第二導電型半導体層側から垂直入射する当該発光装置の発光波長の光が前記絶縁層で反射される反射率をR12、前記絶縁層に第一導電型半導体層側から垂直入射する当該発光装置の発光波長の光が前記絶縁層で反射される反射率をR11、前記絶縁層に前記活性層構造側から垂直入射する当該発光装置の発光波長の光が前記絶縁層で反射される反射率をR1qでそれぞれ表したとき、

$$(式1) \quad R2 < R12$$

$$(式2) \quad R2 < R11$$

$$(式3) \quad R2 < R1q$$

20

のすべての条件を満たすように、前記絶縁層が構成されていることを特徴とする請求項9、10および13のいずれかに記載の発光装置。

【請求項15】

前記バッファ層の主たる光取り出し方向の表面が平坦でないことを特徴とする請求項1~14のいずれかに記載の発光装置。

【請求項16】

前記第一導電型半導体層からバッファ層側に垂直入射する当該発光装置の発光波長の光がバッファ層で反射される反射率をR3、前記バッファ層から光取り出し側の空間に垂直入射する当該発光装置の発光波長の光が空間との界面で反射される反射率をR4で表したとき

$$R4 < R3$$

を満たすようにバッファ層の光取り出し側に低反射光学膜を有することを特徴とする請求項1~15のいずれかに記載の発光装置。

30

【請求項17】

第一導電型がn型であり、第二導電型がp型であることを特徴とする請求項1~16のいずれかに記載の発光装置。

【請求項18】

前記第一導電型側電極および前記第二導電型側電極が、金属ハンダによって金属面を有する支持体に接合されていることを特徴とする請求項1~17のいずれかに記載の発光装置。

40

【請求項19】

前記第一導電型側電極および前記第二導電型側電極と、前記支持体の金属面との接合が、金属ハンダのみ、または金属ハンダと金属バンプによってなされていることを特徴とする請求項18記載の発光装置。

【請求項20】

前記支持体の母材が、金属、AlN、Al₂O₃、Si、ガラス、SiC、ダイヤモンド、BNおよびCuWからなる群より選ばれることを特徴とする請求項18または19記載の発光装置。

【請求項21】

50

前記支持体の発光装置間の分離部分に、金属層が形成されていないことを特徴とする請求項 18 ~ 20 のいずれかに記載の発光装置。

【請求項 22】

複数の発光ユニットを支持体上に有する集積型化合物半導体発光装置の製造方法であって、

基板上に、バッファ層を形成する工程と、

少なくとも、第一導電型クラッド層を含む第一導電型半導体層、活性層構造、および第二導電型クラッド層を含む第二導電型半導体層を有する薄膜結晶層を成膜する工程と、

前記第二導電型半導体層の表面に第二導電型側電極を形成する工程と、

前記第一導電型半導体層の一部を表面に露出させる第一エッチング工程と、

前記第一エッチング工程により、露出した第一導電型半導体層の面に第一導電型側電極を形成する工程と、

前記発光ユニットを互いに電氣的に分離するための発光ユニット間分離溝を形成するために、前記薄膜結晶層表面から前記バッファ層の界面まで、または前記薄膜結晶層表面から前記バッファ層の一部までを除去する第二エッチング工程と、

複数の発光装置に分離するための装置間分離溝を形成するために、少なくとも前記第一導電型半導体層、活性層構造および第二導電型半導体層を除去する第三エッチング工程と、

前記基板を除去する工程と

を有することを特徴とする集積型化合物半導体発光装置の製造方法。

【請求項 23】

前記の基板を除去する工程の前に、前記第一導電型側電極および第二導電型側電極を、支持体上の金属面に接合して前記支持体に搭載する工程を有することを特徴とする請求項 22 記載の方法。

【請求項 24】

前記の基板を除去する工程の後、複数の発光装置に分離する工程を有することを特徴とする請求項 23 記載の方法。

【請求項 25】

前記バッファ層の成膜工程を、前記薄膜結晶層の成膜工程の一部として、かつ前記第一導電型半導体層の形成に先立って行うことを特徴とする請求項 22 ~ 24 のいずれかに記載の方法。

【請求項 26】

前記バッファ層の少なくとも前記第一導電型半導体層に直接接する部分の比抵抗が、 $0.5 (\Omega \cdot \text{cm})$ 以上であることを特徴とする請求項 22 ~ 25 のいずれかに記載の方法。

【請求項 27】

前記バッファ層全体の比抵抗が、 $0.5 (\Omega \cdot \text{cm})$ 以上であることを特徴とする請求項 22 ~ 26 のいずれかに記載の方法。

【請求項 28】

前記バッファ層を、複数の層の積層構造として成膜することを特徴とする請求項 22 ~ 27 のいずれかに記載の方法。

【請求項 29】

前記第三エッチング工程を、前記第二エッチング工程と同時にまたは別に行い、前記薄膜結晶層表面から前記バッファ層の界面まで、または前記薄膜結晶層表面から前記バッファ層の一部を除去するまでエッチングを行うことを特徴とする請求項 22 ~ 28 のいずれかに記載の方法。

【請求項 30】

前記第三エッチング工程において、少なくとも前記基板表面に達するまでエッチングを行うことを特徴とする請求項 22 ~ 28 のいずれかに記載の方法。

【請求項 31】

10

20

30

40

50

前記第二および第三エッチング工程が、 Cl_2 、 BCl_3 、 $SiCl_4$ 、 CCl_4 およびそれらの2種以上の組み合わせからなる群より選ばれるガス種を用いたドライエッチングで行われることを特徴とする請求項22～30のいずれかに記載の方法。

【請求項32】

エッチングマスクとして、パターニングされた金属フッ化物層を用いることを特徴とする請求項31記載の方法。

【請求項33】

前記金属フッ化物層が、 SrF_2 、 AlF_3 、 MgF_2 、 BaF_2 、 CaF_2 およびそれらの組み合わせからなる群より選ばれることを特徴とする請求項32記載の方法。

【請求項34】

前記第二導電型側電極を形成する工程、前記第一エッチング工程および前記第一導電型側電極を形成する工程をこの順番に行い、前記第一導電型側電極を形成する工程の前に、さらに絶縁層を形成する工程を有することを特徴とする請求項22～33のいずれかに記載の方法。

【請求項35】

前記絶縁層を形成する工程が、第一～第三エッチング工程の後に行われることを特徴とする請求項34記載の方法。

【請求項36】

前記第二導電型側電極を形成する工程、前記第一エッチング工程および前記第一導電型側電極を形成する工程をこの順番に行い、

前記第三エッチング工程では、表面から、前記バッファ層の少なくとも一部を除去するまでの深さでエッチングを行って前記装置間分離溝を形成し、

さらに、第一～第三エッチング工程の後であって、前記第一導電型側電極を形成する工程の前に、さらに絶縁層を形成する工程と、

前記装置間分離溝内で、溝底面に堆積した絶縁層の一部を除去し、スクライプ領域を形成する工程と

を有することを特徴とする請求項22～28のいずれかに記載の方法。

【請求項37】

前記第二導電型側電極を形成する工程、前記第一エッチング工程および前記第一導電型側電極を形成する工程をこの順番に行い、

前記第三エッチング工程では、表面から、前記バッファ層の少なくとも一部を除去するまで、または少なくとも前記基板に達するまでの深さでエッチングを行って前記装置間分離溝を形成し、

さらに、第一～第三エッチング工程の後であって、前記第一導電型側電極を形成する工程の前に、さらに絶縁層を形成する工程と、

前記装置間分離溝内で、溝底面に堆積した絶縁層のすべてと、前記装置間分離溝の側壁に形成された絶縁層のうち、前記溝底面側の一部を除去する工程と

を有することを特徴とする請求項22～28のいずれかに記載の方法。

【請求項38】

前記第二、第三エッチング工程を同時に実施し、前記バッファ層の界面まで、または、バッファ層の一部を除去するまでエッチングを行って前記装置間分離溝を形成することを特徴とする請求項36記載の方法。

【請求項39】

前記第二、第三エッチング工程を同時に実施し、前記バッファ層の界面まで、または、バッファ層の一部を除去するまでエッチングを行って前記装置間分離溝を形成することを特徴とする請求項37記載の方法。

【請求項40】

前記の基板を除去する工程を、前記基板に対しては透明であって、前記バッファ層に対しては吸収される波長の光を前記基板側から照射して、前記バッファ層の一部を分解して、前記基板と前記バッファ層の界面での剥離を生じさせることを行うことを特徴とする請

10

20

30

40

50

求項 22 ~ 39 のいずれかに記載の方法。

【請求項 41】

前記第一導電型側電極および第二導電型側電極と前記支持体上の金属面との接合を、金属ハンダで行うことを特徴とする請求項 23 記載の方法。

【請求項 42】

前記支持体の母材が、金属、AlN、Al₂O₃、Si、ガラス、SiC、ダイヤモンド、BN および CuW からなる群より選ばれることを特徴とする請求項 23 または 41 記載の方法。

【請求項 43】

前記基板が、サファイア、SiC、GaN、LiGaO₂、ZnO、ScAlMgO₄、NdGaO₃ および MgO からなる群より選ばれることを特徴とする請求項 22 ~ 42 のいずれかに記載の方法。

10

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は集積型の化合物半導体発光装置に関するものであり、特に、GaN系材料を用いた発光ダイオード(LED)に関するものである。なお、本明細書中において、発光ダイオードまたはLEDとの表現は、レーザダイオード、スーパーluminescentダイオード等を含んだ発光素子一般を含む言葉として使用する。

【背景技術】

20

【0002】

従来よりIII-V族化合物半導体を用いた電子デバイスおよび発光デバイスが知られている。特に発光デバイスとしては、GaAs基板上に形成されたAlGaAs系材料やAlGaInP系材料による赤色発光、GaP基板上に形成されたGaAsP系材料による橙色または黄色発光等が実現されてきている。また、InP基板上ではInGaAsP系材料を用いた赤外発光デバイスも知られている。

【0003】

これらデバイスの形態としては、自然放出光を利用する発光ダイオード(light emitting diode: LED)、さらに誘導放出光を取り出すための光学的帰還機能を内在させたレーザダイオード(laser diode: LD)、および半導体レーザが知られており、これらは表示デバイス、通信用デバイス、高密度光記録用光源デバイス、高精度光加工用デバイス、さらには医療用デバイスなどとして用いられている。

30

【0004】

1990年代以降において、V族元素として窒素を含有するIn_xAl_yGa_(1-x-y)N系III-V族化合物半導体(0 < x < 1、0 < y < 1、0 < x+y < 1)の研究開発が進み、これを用いたデバイスの発光効率が飛躍的に改善され、高効率な青色LED、緑色LEDが実現されている。その後の研究開発によって、紫外領域においても高効率なLEDが実現され、現在では、青色LEDも市販されるに至っている。

【0005】

40

紫外または青色LEDを励起光源として蛍光体と一体化すると白色LEDが実現できる。白色LEDは、次世代の照明デバイスとしての利用可能性があるために、励起光源となる紫外または青色LEDの高出力化、高効率化の産業的な意義は極めて大きい。現在、照明用途を念頭にした、青色または紫外LEDの高効率化、高出力化の検討が精力的になされている。

【0006】

素子の高出力化、すなわち、全放射束を向上させるためには、素子の大型化と大きな投入電力に対する耐性の確保は必須である。また、通常のLEDが点光源であるのに対して十分な大型化がなされた素子は、面光源としての発光特性を示す様になり、特に照明用途には好適となる。

50

【0007】

しかし、通常の小型LEDの面積を単に相似形的に大きくしただけの素子では、一般に素子全体の発光強度の均一性が得られないという問題がある。そこで、基板上に複数の素子を並べることが考えうる。例えば、同一基板上に複数のLEDを形成する技術が、特開平11-150303号公報(特許文献1)、特開2001-156331号公報(特許文献2)、特開2002-26384号公報(特許文献3)および特開2003-115611号公報(特許文献4)に記載されている。

【0008】

特開平11-150303号公報(特許文献1)には、基板上で複数のLEDが直列接続された集積型の発光部品が開示されている。この文献では、単一の発光ユニットである1対のpn接合を有する部分を電氣的に完全に分離するために、Niマスクを使用して、絶縁性基板が露出するまでGaN層をエッチングしている(段落0027参照)。しかし、Ni等の金属マスクを使用してGaN系材料をドライエッチングする方法は、金属マスクの耐性が必ずしも高くないため、GaN系材料をエッチングする際に、選択比がとれずに、エッチングの形状制御に問題があり、結果として発光ユニット間は、大きく離れざるを得ないため、各発光ユニットは単に同一基板上に離間して形成された個別のLEDとなっているだけであった。また、金属マスクの耐性が低いことから、良好な結晶性の発光素子を作製するために必要な、十分に厚いバッファ層を用いることができない。すなわち、金属マスクではGaN系材料を十分な深さだけエッチングすることはできないため、特許文献1の構造を金属マスクで作製するためには、バッファ層は薄膜となってしまう。当該明細書の実施例では19段落記載のとおり、基板上にn-GaN層3.0 μm (nGaNバッファ層)と発光層0.1 μm 、p-GaN層0.5 μm の計3.6 μm をエッチングするだけである。その上に形成される素子構造部分の結晶性を犠牲にしなければならない問題があった。

【0009】

即ち、特許文献1記載の発光装置は、基板上に単一の発光ユニットを有する発光素子を、複数個離間して並べたものと本質的に差異がなく、発光強度の均一性の高い面光源ではない。この特許文献1の図6に示されているように、各発光ユニットを分離している分離溝部分では発光がないことが示されている。また、このような形態では、集積化した素子の中の発光ユニットの1つが劣化した際には、その箇所のみが極端に発光強度が落ちてしまう問題がある。さらに、その製造法上の制約から発光層部分も良質な結晶性に出来なかった。

【0010】

特開2001-156331号公報(特許文献2)にも同一基板上に複数の発光ユニットを形成した集積型装置が記載されている。しかしこの文献でも、その図2に示されているように、1対のpn接合部分を含む発光ユニットは、互いに分離溝で完全に分離されており、同一基板上で個別のLEDとなっているだけである。従来の製造方法で形成したものは、発光ユニットを分離している分離溝部分(作製方法は開示されていない)の幅を大きく取らざるを得ないため、発光しない部分の距離が大きく、面光源全体での発光強度の均一性は確保できない。従って、集積化した素子中の1つの発光ユニットが劣化した場合にも、その箇所のみが極端に発光強度が落ちてしまう。

【0011】

また、従来の製造方法のマスクでは、選択比が十分でないため、GaN系材料を十分な深さだけエッチングすることはできないため、良好な結晶性の発光素子を作製するために必要な、十分に厚いバッファ層を用いることができない。当該明細書には層構成のすべては開示されていないが、12段落記載のとおり、バッファ層はその低温部分が約20nmであることのみ開示されている。

【0012】

特開2002-26384号公報(特許文献3)には、大面積で発光効率の良い集積型窒化物半導体発光素子を提供する目的で、LEDの集積方法が開示されている。しかし、

10

20

30

40

50

その図2、図3および段落0038段落に記載されている通り、発光ユニットと他の発光ユニット部分の間の分離溝は、SiO₂をマスクとしてサファイア基板に到達するまでRIE法によって半導体層をエッチングすることで形成されている。この分離溝形成プロセスでは、SiO₂をエッチングマスクとして使用しているため(酸化物マスク、窒化物マスクの耐性は必ずしも高くない)、GaN系材料をエッチングする際に、選択比がとれずに、エッチングの形状制御に問題があり、分離溝部分の幅が大きくならざるを得ない。そのため、発光しない部分の距離が大きく、特許文献1、2と同様に、面光源全体での発光強度の均一性は確保できない。従って、集積化した素子中の発光ユニットの1つが劣化した際には、その箇所のみが極端に発光強度が落ちてしまう。また、SiO₂マスクの耐性が低いことから、良好な結晶性の発光素子を作製するために必要な、十分に厚いバッファ層を用いることができない。すなわち、SiO₂マスクではGaN系材料を十分な深さだけエッチングすることはできないため、特許文献3の構造をSiO₂マスクで作製するためには、バッファ層は薄膜となってしまふ。当該明細書の実施例では19段落記載のとおり、基板上にn-GaN層1.5μm(アンドープGaN層)をバッファ層として形成しているだけであって、その上に形成される素子構造部分の結晶性を犠牲にしなければなら

10

【0013】

また、特開2003-115611号公報(特許文献4)には、面発光光源またはディスプレイとして利用する目的で、LEDを集積化した発光装置が開示されている。この文献には、2つのタイプの装置が記載されており、そのうちの1つタイプは、1対のpn接合部分を含む発光ユニットが、互いに電氣的に分離されている装置である(請求項4、図10(b)等)。そして、この分離はダイシングによって形成されている(図10)。このタイプでは、前記の3つの文献と同様に、発光ユニット間の分離溝部分で発光強度が大きく低下するために、面光源全体での均一性が確保できない。また、発光ユニットの1つが劣化した場合に、その近傍のみが極端に発光強度が落ちてしまうという問題も同様にある。この文献に記載されている装置の2つ目のタイプは、1対のpn接合部分を含む発光ユニットが、互いに電氣的に結合されている装置である(請求項5、図10(a)等)。このタイプでは、n型半導体層が発光装置全体で共通となっている(図10(a))。このような場合には、n側電極から最も近接するp側電極に電流が流れ込むだけでなく、1つのn側電極からあらゆるp側電極に電流が流れ込むことになり、発光装置全体としてみたときの電流注入効率は高くない。また、すべてのp側電極とすべてのn側電極が電氣的に結合しているため、1箇所の劣化が、装置全体の劣化となってしまふ。よって、このタイプの装置は、面光源を目指した大面積化には、本質的に不向きである。

20

30

【特許文献1】特開平11-150303号公報

【特許文献2】特開2001-156331号公報

【特許文献3】特開2002-26384号公報

【特許文献4】特開2003-115611号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0014】

40

以上のように、従来から同一基板上に複数の発光ユニットを形成する提案はあったが、面光源を目的とした集積化のために適した構造ではなかった。

【0015】

即ち、本発明は、大面積の面光源的発光に適した集積型化合物半導体発光装置の構造、およびその製造方法を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0016】

本発明は、以下の事項に関する。

【0017】

1. 複数の発光ユニットを有する集積型化合物半導体発光装置であって、

50

前記発光ユニットは、第一導電型クラッド層を含む第一導電型半導体層、活性層構造、および第二導電型クラッド層を含む第二導電型半導体層を有する化合物半導体薄膜結晶層と、第二導電型側電極と、並びに第一導電型側電極とを少なくとも有し、

主たる光取り出し方向が前記活性層構造から見て前記第一導電型半導体層側方向であり、前記第一導電型側電極および前記第二導電型側電極が、前記主たる光取り出し方向とは、反対側に形成されており、

前記第一導電型半導体層より前記主たる光取り出し方向側に、前記複数の発光ユニット間に共通して設けられたバッファ層を有し、

前記発光ユニット同士は、隣接する発光ユニットの間に設けられ、前記薄膜結晶層の表面から前記バッファ層の界面まで、または前記バッファ層の一部までを除去して形成された発光ユニット間分離溝により電氣的に分離されていることを特徴とする集積型化合物半導体発光装置。

10

【0018】

2. 前記バッファ層が、薄膜結晶成長により形成された層であることを特徴とする上記1記載の発光装置。

【0019】

3. 前記バッファ層の少なくとも前記第一導電型半導体層に直接接する部分の比抵抗が、 $0.5 (\cdot \text{cm})$ 以上であることを特徴とする上記1または2記載の発光装置。

【0020】

4. 前記バッファ層全体の比抵抗が、 $0.5 (\cdot \text{cm})$ 以上であることを特徴とする上記1～3のいずれかに記載の発光装置。

20

【0021】

5. 前記バッファ層が複数の層の積層構造であることを特徴とする上記1～4のいずれかに記載の発光装置。

【0022】

6. 前記発光ユニット間分離溝の幅が、 $2 \sim 300 \mu\text{m}$ の範囲である上記1～5のいずれかに記載の発光装置。

【0023】

7. 前記発光装置は、複数の発光装置の間に設けられた装置間分離溝から分割されたものであって、この装置間分離溝が、前記バッファ層の途中まで形成されたことを特徴とする上記1～6のいずれかに記載の発光装置。

30

【0024】

8. 前記発光装置は、複数の発光装置の間に設けられた装置間分離溝から分割されたものであって、この装置間分離溝が、前記バッファ層を除去して形成されたことを特徴とする上記1～6のいずれかに記載の発光装置。

【0025】

9. 前記発光ユニット間分離溝内の底面および側面の全面を被覆し、この発光装置の側面に露出した層のうち、少なくとも前記第一導電型半導体層、活性層構造および第二導電型半導体層の側面を被覆し、前記第一導電型側電極の主たる光取り出し方向側の一部に接し、前記第二導電型側電極の主たる光取り出し方向と反対側の一部を覆っている絶縁層を有することを特徴とする上記1～8のいずれかに記載の発光装置。

40

【0026】

10. この発光装置の側面に、前記主たる光取り出し方向から、前記絶縁層が形成されていない絶縁層非形成領域が存在し、かつ、前記絶縁層が少なくとも前記第一導電型半導体層、前記活性層構造、および前記第二導電型半導体層の側壁を覆っていることを特徴とする上記9記載の発光装置。

【0027】

11. 前記薄膜結晶層が、V族として窒素原子を含むIII-V族化合物半導体からなることを特徴とする上記1～10のいずれかに記載の発光装置。

【0028】

50

12. 前記活性層構造が、量子井戸層とバリア層からなり、バリア層の数をB、量子井戸層の数をWで表したとき、BとWが、

$$B = W + 1$$

を満たすことを特徴とする上記1～11のいずれかに記載の発光装置。

【0029】

13. 前記絶縁層が、複数の層からなる誘電体多層膜であることを特徴とする上記9または10記載の発光装置。

【0030】

14. 前記第一導電型半導体層側から前記バッファ層へ垂直入射する当該発光装置の発光波長の光が前記バッファ層で反射される反射率をR2で表し、前記絶縁層に前記第二導電型半導体層側から垂直入射する当該発光装置の発光波長の光が前記絶縁層で反射される反射率をR12、前記絶縁層に第一導電型半導体層側から垂直入射する当該発光装置の発光波長の光が前記絶縁層で反射される反射率をR11、前記絶縁層に前記活性層構造側から垂直入射する当該発光装置の発光波長の光が前記絶縁層で反射される反射率をR1qでそれぞれ表したとき、

$$(式1) \quad R2 < R12$$

$$(式2) \quad R2 < R11$$

$$(式3) \quad R2 < R1q$$

のすべての条件を満たすように、前記絶縁層が構成されていることを特徴とする上記9、10および13のいずれかに記載の発光装置。

【0031】

15. 前記バッファ層の主たる光取り出し方向の表面が平坦でないことを特徴とする上記1～14のいずれかに記載の発光装置。

【0032】

16. 前記第一導電型半導体層からバッファ層側に垂直入射する当該発光装置の発光波長の光がバッファ層で反射される反射率をR3、前記バッファ層から光取り出し側の空間に垂直入射する当該発光装置の発光波長の光が空間との界面で反射される反射率をR4で表したとき

$$R4 < R3$$

を満たすようにバッファ層の光取り出し側に低反射光学膜を有することを特徴とする上記1～15のいずれかに記載の発光装置。

【0033】

17. 第一導電型がn型であり、第二導電型がp型であることを特徴とする上記1～16のいずれかに記載の発光装置。

【0034】

18. 前記第一導電型側電極および前記第二導電型側電極が、金属ハンダによって金属面を有する支持体に接合されていることを特徴とする上記1～17のいずれかに記載の発光装置。

【0035】

19. 前記第一導電型側電極および前記第二導電型側電極と、前記支持体の金属面との接合が、金属ハンダのみ、または金属ハンダと金属バンプによってなされていることを特徴とする上記18記載の発光装置。

【0036】

20. 前記支持体の母材が、金属、AlN、Al₂O₃、Si、ガラス、SiC、ダイヤモンド、BNおよびCuWからなる群より選ばれることを特徴とする上記18または19記載の発光装置。

【0037】

21. 前記支持体の発光装置間の分離部分に、金属層が形成されていないことを特徴とする上記18～20のいずれかに記載の発光装置。

【0038】

10

20

30

40

50

22. 複数の発光ユニットを支持体上に有する集積型化合物半導体発光装置の製造方法であって、

基板上に、バッファ層を形成する工程と、

少なくとも、第一導電型クラッド層を含む第一導電型半導体層、活性層構造、および第二導電型クラッド層を含む第二導電型半導体層を有する薄膜結晶層を成膜する工程と、

前記第二導電型半導体層の表面に第二導電型側電極を形成する工程と、

前記第一導電型半導体層の一部を表面に露出させる第一エッチング工程と、

前記第一エッチング工程により、露出した第一導電型半導体層の面に第一導電型側電極を形成する工程と、

前記発光ユニットを互いに電氣的に分離するための発光ユニット間分離溝を形成するために、前記薄膜結晶層表面から前記バッファ層の界面まで、または前記薄膜結晶層表面から前記バッファ層の一部までを除去する第二エッチング工程と、

複数の発光装置に分離するための装置間分離溝を形成するために、少なくとも前記第一導電型半導体層、活性層構造および第二導電型半導体層を除去する第三エッチング工程と

、

前記基板を除去する工程と

を有することを特徴とする集積型化合物半導体発光装置の製造方法。

【0039】

23. 前記の基板を除去する工程の前に、前記第一導電型側電極および第二導電型側電極を、支持体上の金属面に接合して前記支持体に搭載する工程を有することを特徴とする上記22記載の方法。

【0040】

24. 前記の基板を除去する工程の後、複数の発光装置に分離する工程を有することを特徴とする上記23記載の方法。

【0041】

25. 前記バッファ層の成膜工程を、前記薄膜結晶層の成膜工程の一部として、かつ前記第一導電型半導体層の形成に先立って行うことを特徴とする上記22～24のいずれかに記載の方法。

【0042】

26. 前記バッファ層の少なくとも前記第一導電型半導体層に直接接する部分の比抵抗が、 $0.5 (\Omega \cdot \text{cm})$ 以上であることを特徴とする上記22～25のいずれかに記載の方法。

【0043】

27. 前記バッファ層全体の比抵抗が、 $0.5 (\Omega \cdot \text{cm})$ 以上であることを特徴とする上記22～26のいずれかに記載の方法。

【0044】

28. 前記バッファ層を、複数の層の積層構造として成膜することを特徴とする上記22～27のいずれかに記載の方法。

【0045】

29. 前記第三エッチング工程を、前記第二エッチング工程と同時にまたは別に行い、前記薄膜結晶層表面から前記バッファ層の界面まで、または前記薄膜結晶層表面から前記バッファ層の一部を除去するまでエッチングを行うことを特徴とする上記22～28のいずれかに記載の方法。

【0046】

30. 前記第三エッチング工程において、少なくとも前記基板表面に達するまでエッチングを行うことを特徴とする上記22～28のいずれかに記載の方法。

【0047】

31. 前記第二および第三エッチング工程が、 Cl_2 、 BCl_3 、 SiCl_4 、 CCl_4 およびそれらの2種以上の組み合わせからなる群より選ばれるガス種を用いたドライエッチングで行われることを特徴とする上記22～30のいずれかに記載の方法。

10

20

30

40

50

【0048】

32. エッチングマスクとして、パターニングされた金属フッ化物層を用いることを特徴とする上記31記載の方法。

【0049】

33. 前記金属フッ化物層が、 SrF_2 、 AlF_3 、 MgF_2 、 BaF_2 、 CaF_2 およびそれらの組み合わせからなる群より選ばれることを特徴とする上記32記載の方法。

【0050】

34. 前記第二導電型側電極を形成する工程、前記第一エッチング工程および前記第一導電型側電極を形成する工程をこの順番に行い、前記第一導電型側電極を形成する工程の前に、さらに絶縁層を形成する工程を有することを特徴とする上記22~33のいずれかに記載の方法。 10

【0051】

35. 前記絶縁層を形成する工程が、第一~第三エッチング工程の後に行われることを特徴とする上記34記載の方法。

【0052】

36. 前記第二導電型側電極を形成する工程、前記第一エッチング工程および前記第一導電型側電極を形成する工程をこの順番に行い、

前記第三エッチング工程では、表面から、前記バッファ層の少なくとも一部を除去するまでの深さでエッチングを行って前記装置間分離溝を形成し、 20

さらに、第一~第三エッチング工程の後であって、前記第一導電型側電極を形成する工程の前に、さらに絶縁層を形成する工程と、

前記装置間分離溝内で、溝底面に堆積した絶縁層の一部を除去し、スクライプ領域を形成する工程と

を有することを特徴とする上記22~28のいずれかに記載の方法。

【0053】

37. 前記第二導電型側電極を形成する工程、前記第一エッチング工程および前記第一導電型側電極を形成する工程をこの順番に行い、

前記第三エッチング工程では、表面から、前記バッファ層の少なくとも一部を除去するまで、または少なくとも前記基板に達するまでの深さでエッチングを行って前記装置間分離溝を形成し、 30

さらに、第一~第三エッチング工程の後であって、前記第一導電型側電極を形成する工程の前に、さらに絶縁層を形成する工程と、

前記装置間分離溝内で、溝底面に堆積した絶縁層のすべてと、前記装置間分離溝の側壁に形成された絶縁層のうち、前記溝底面側の一部を除去する工程と

を有することを特徴とする上記22~28のいずれかに記載の方法。

【0054】

38. 前記第二、第三エッチング工程を同時に実施し、前記バッファ層の界面まで、または、バッファ層の一部を除去するまでエッチングを行って前記装置間分離溝を形成することを特徴とする上記36記載の方法。 40

【0055】

39. 前記第二、第三エッチング工程を同時に実施し、前記バッファ層の界面まで、または、バッファ層の一部を除去するまでエッチングを行って前記装置間分離溝を形成することを特徴とする上記37記載の方法。

【0056】

40. 前記の基板を除去する工程を、前記基板に対しては透明であって、前記バッファ層に対しては吸収される波長の光を前記基板側から照射して、前記バッファ層の一部を分解して、前記基板と前記バッファ層の界面での剥離を生じさせることを行うことを特徴とする上記22~39のいずれかに記載の方法。

【0057】

41. 前記第一導電型側電極および第二導電型側電極と前記支持体上の金属面との接合を、金属ハンダで行うことを特徴とする上記23記載の方法。

【0058】

42. 前記支持体の母材が、金属、AlN、Al₂O₃、Si、ガラス、SiC、ダイヤモンド、BNおよびCuWからなる群より選ばれることを特徴とする上記23または41記載の方法。

【0059】

43. 前記基板が、サファイア、SiC、GaN、LiGaO₂、ZnO、ScAlMgO₄、NdGaO₃およびMgOからなる群より選ばれることを特徴とする上記22~42のいずれかに記載の方法。

【発明の効果】

【0060】

本発明によれば、大面積の面光源的発光に適した構造を有する集積型化合物半導体発光装置およびその製造方法を提供することができる。

【0061】

特に本発明によれば、発光装置の面積が数cm²を越える場合であっても、発光強度の均一性の高い面的な青色または紫外発光が可能である。また、本発明は、フリップチップ型であって、サブマウントに搭載できるために、十分な放熱性と高い光取出し効率を確保することができる。

【0062】

本発明では、発光ユニット間分離溝が、バッファ層を含めた全ての層が除去されて形成されているのではないので、隣接発光ユニット同士を、電気的には分離しながら近接させることができる。そのため、集積密度の向上および面光源的発光に非常に有利である。また、1箇所の劣化が、装置全体に影響を及ぼさないことで信頼性の観点でも優れる。さらに、発光ユニット間に共通する、電気的に十分高抵抗なバッファ層の一部まで発光ユニット間分離溝を形成するだけでよいため、エッチング深さの制約を考慮することなしに、十分に厚いバッファ層を用いることも可能であって、このために発光素子部分の結晶性をより良好にすることも可能であって、発光装置の高出力化の観点で望ましい。また、エッチング時間も短時間ですむなどの観点でも望ましい。

【0063】

また、本発明では主たる光取り出し方向に基板が存在しないため、以下のような利点を併せ持つことが出来る。たとえばC+サファイア基板上に一般的なMOCVD法で形成された、GaN系材料、InGaN系材料、AlGaN系材料、InAlGaN系材料、InAlGaBN形材料などの材料いずれかの材料で構成された半導体発光素子であれば、これら材料のサファイア基板面側は窒素面となり、これら材料の成長方向はGa面となるのが普通である。ここで、一般的にGa面はケミカルエッチング等のしにくい面であって、光取り出し効率を向上させるための粗面化などは実施しにくい、窒素面は比較的容易にケミカルエッチングが可能であって、これによって粗面化などが可能である。これに対して、基板が存在する場合、代表的なサファイア等の基板ではケミカルエッチングがほとんど不可能である。従って、本発明では、サファイア基板等を剥離し、その後露出した窒素面をケミカルエッチングすることで、容易に粗面化が可能になり、その結果、発光装置の発光効率等を容易に向上することができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0064】

本明細書において、「積層」または「重なる」の表現は、もの同士が直接接触している状態に加え、本発明の趣旨を逸脱しない限りにおいて、互いに接触していなくても、一方を他方に投影した際に空間的に重なる状態をも指す場合がある。また、「~の上(~の下)」の表現も、もの同士が直接接触して一方が他方の上(下)に配置されている状態に加え、本発明の趣旨を逸脱しない限りにおいて、互いに接触していなくても、一方が他方の上(下)に配置されている状態にも使用する場合がある。さらに、「~の後(前、先)」

10

20

30

40

50

との表現は、ある事象が別の事象の直後（前）に発生する場合にも、ある事象が別の事象との間に第三の事象を挟んだ後（前）発生する場合にも、どちらにも使用する。また、「接する」の表現は、「物と物が直接的に接触している場合」に加えて、本発明の趣旨に適合する限りにおいて、「物と物が直接的には接触していなくても、第三の部材を介して間接的に接している場合」、「物と物が直接的に接触している部分と、第三の部材を介して間接的に接している部分が混在している場合」などを指す場合もある。

【0065】

さらに、本発明において、「薄膜結晶成長」とは、いわゆる、MOCVD (Metal Organic Chemical Vapor Deposition)、MBE (Molecular Beam Epitaxy)、プラズマアシストMBE、PLD (Pulsed Laser Deposition)、PED (Pulsed Electron Deposition)、VPE (Vapor Phase Epitaxy)、LPE (Liquid Phase Epitaxy) 法等の結晶成長装置内における薄膜層、アモルファス層、微結晶、多結晶、単結晶、あるいはそれらの積層構造の形成に加えて、その後の薄膜層の熱処理、プラズマ処理等によるキャリアの活性化処理等も含めて薄膜結晶成長と記載する。

10

【0066】

図1に、本発明の集積型化合物半導体発光装置（以下、単に発光装置という）の1例を示す。また、図1の発光装置の構造を詳細に説明するために、作製途中の形状を示す図2も参照しながら説明する。ここでは、図1、図2に示すように、3つの発光ユニット11によって1つの発光装置10を構成する例を示しているが、集積の個数は特に限定はなく、提供される一つの基板内で適宜個数を設定可能である。例えば2個でもよく、また、500個を超える個数を集積してもかまわない。ここで、好ましくは25～200個であり、また2次元的に配列されていることも好ましい。

20

【0067】

本発明において、1つの発光ユニットは、図に示すように、少なくとも、第一導電型クラッド層24を含む第一導電型半導体層、第二導電型クラッド層26を含む第二導電型半導体層、および前記第一および第二導電型半導体層の間に挟まれた活性層構造25を有する化合物半導体薄膜結晶層、第二導電型側電極27、並びに第一導電型側電極28を有する。図のように発光ユニット間分離溝12は、集積型化合物半導体発光装置10内の発光ユニット11を区画しているが、バッファ層22は、発光ユニット間に共通して設けられている。

30

【0068】

この例では、第二導電型クラッド層26の表面の一部に、第二導電型側電極27が配置され、第二導電型クラッド層26と第二導電型側電極27の接触している部分が第二電流注入領域35となっている。また、第二導電型クラッド層、活性層構造の一部、第一導電型クラッド層の一部が除去された構成となっており、除去した箇所に露出する第一導電型クラッド層24に接して、第一導電型側電極28が配置されることで、第二導電型側電極27と第一導電型側電極28が、基板に対して同じ側に配置されるように構成されている。

【0069】

本発明では、発光ユニット11は、互いに発光ユニット間分離溝12により電気的には分離されている。即ち、発光ユニット間分離溝12は、薄膜結晶層中の導電性の高い層を分断しており、少なくともバッファ層22まで、好ましくは図1に示すようにバッファ層の途中まで除去されているために、発光ユニット間で実質的な電気的結合はない。そして、詳細は後述するが、バッファ層のうちで少なくとも第一導電型半導体層（図では第一導電型クラッド層24）に直接接触している部分は実質的に絶縁性である。尚、本発明において、1つの発光ユニット内の発光ポイント（独立した発光部）は1つである。

40

【0070】

また、本発明では、発光ユニット間分離溝の幅が、好ましくは2～300 μm 、さらに好ましくは5～50 μm 、最も好ましくは8～15 μm である。本発明では、特に後述す

50

る製造方法とあいまって、発光ユニット間分離溝の幅を短くすることが可能であり、面光源に適した集積化が可能になる。

【0071】

図2には、中央の発光装置10に隣接する別の発光装置も一部図示されている。製造過程ではこのように、同一基板21上に、それぞれの発光装置10が、装置間分離溝13によって分離されて形成される。図1に示す完成した発光装置は、図2の中の1つの発光装置10を、支持体40上の金属面41に、金属ハンダ42を介して第二導電型側電極27および第一導電型側電極28をそれぞれ接続した構造に相当する。製造方法の1例は、後述する。

【0072】

装置間分離溝13は、図2の例では、基板に達するまで薄膜結晶層を除去して形成されており、好ましい形態の1つである。一方、装置間分離溝が、バッファ層の途中まで形成されている形態も好ましい。これらの場合のいずれも、バッファ層よりも活性層構造側にある導電性の高い層の側壁に絶縁層を容易に形成できる。

【0073】

本発明の発光装置では、絶縁層30は、薄膜結晶層22～26の表面、側壁等を含んだ露出部分の大部分を覆っているが、図1の発光装置の側壁部分、即ち発光装置が分離されていない図2の状態における装置間分離溝13中の絶縁層形状は、いくつかの形態が可能である。いずれの形態においても、絶縁層は基板に接触せず、発光装置を分離する前に、発光装置を区画する装置間分離溝13中に、絶縁層が存在しない部分が存在することが好ましい。そして、絶縁膜が存在しない部分から、発光装置間が分離されることが好ましい。その結果、本発明の発光装置の好ましい形状では、側壁を覆う絶縁層は、バッファ層の光取り出し面側界面まで達していない。絶縁層の好ましい形態の具体例を次に示す。

【0074】

本発明の1形態においては、図2に示すように、絶縁層30が装置間分離溝13の溝内の表面の全てを覆うのではなく、絶縁層30が基板面（即ち、溝底面）と基板に近接する溝側壁部分で形成されていない絶縁層非形成部分15が存在する。この構造では、基板21に付着している絶縁層30がないので、基板21を例えば剥離により除去するときに、絶縁層の剥がれ等が生じる可能性がないので最も好ましい。得られる発光装置では、図1のB部分に示すように、絶縁層30が基板面まで達していない絶縁層非形成部分15が存在する。この形状ができている装置では、絶縁層の剥がれがないことが保証される結果、仮にハンダの回り込みがあっても、発光装置の機能が損なわれることがなく信頼性の高い装置となる。

【0075】

この図1では、バッファ層22の壁面の一部までが露出しているが、露出している部分は、ドーピングされていないアンドープ層であることが好ましい。露出しているのが絶縁性の高い材料であれば、信頼性の高い装置となる。

【0076】

また、装置間分離溝が、バッファ層の途中まで形成されている場合には、次のような形状の発光装置が得られる。例えば図13および図14に示すように、発光装置端までバッファ層22が存在し、バッファ層には、装置間分離溝の底面に基づく段差が存在しており、バッファ層の側壁は、絶縁層で覆われていない部分（装置端部分）と、発光装置端から内側に入った側壁部分（装置間分離溝の側壁）とを有する。絶縁層30は、図13の例では、図13中にC部分で示すように、バッファ層22の端から離れた溝底面の位置から、分離溝底面部分と、分離溝の側壁部分とを被覆している。この形態は、図2において、装置間分離溝をバッファ層22の途中で止め、バッファ層の溝底面に堆積した絶縁層の一部を除去してスクライプ領域を形成し、スクライプ領域から装置を分離した形状に対応する。また、図14の例は、図1および図2において、装置間分離溝をバッファ層22の途中で止めた形態に対応し、図14のD部分に示すように、発光装置端から内側に入った側壁部分（装置間分離溝の側壁）のうち、主たる光取り出し方向側に絶縁層で覆われていない

10

20

30

40

50

部分が存在する。

【0077】

また、装置間分離溝の深さは、バッファ層の途中の任意の位置に設定することが可能である。図13および図14において、装置間分離溝の深さを変更した例を、それぞれ図15および図16に示す。図15中のE部分、図16中のF部分の形状は、それぞれ図13のC部分、図14のD部分と同じである。

【0078】

これらの例のように、装置間分離溝が、バッファ層の途中まで形成されている場合にも、側壁を覆う絶縁層が、発光装置の端まで達していない形状ができていない装置は、絶縁層の剥がれがないことが保証され、また露出している層を絶縁性の高い材料で構成することにより、図1の形態の発光装置と同じく信頼性の高い装置となる。

【0079】

さらに、本発明の発光装置では、絶縁層30が図1のように、第一導電型側電極28の主たる光取り出し方向側の一部に接していること、即ち、第一導電型側電極28と第一導電型半導体層（図では第一導電型クラッド層24）とのコンタクト部分の周囲に絶縁層が介在している部分があること、および第二導電型側電極27の主たる光取り出し方向と反対側の一部を覆っていること、即ち、第二導電型側電極27と第二導電型半導体層（図では第二導電型クラッド層26）の間には絶縁層が存在せずに第二導電型側電極27の周囲に被覆している部分があることが好ましい。この形態は、第二導電型側電極27が形成された後に絶縁層30が形成され、絶縁層30が形成された後に第一導電型側電極28が形成されたことを意味する。このような順序による製造方法は、後述するが、第二導電型クラッド層26等の第二導電型半導体層にダメージが少なく、また第一導電型側電極のダメージが少ないために、高効率の発光装置が得られる。即ち、このような構造を有する発光装置は、高効率を示すことを意味する。

【0080】

さらに、第二導電型側電極27の大きさは、第二電流注入領域35と同じであるが、第二導電型側電極の露出面37（第二導電型側電極露出部分）は、第二電流注入領域35の大きさよりも小さいことが好ましい。さらに、第一導電型クラッド層24の表面を覆う絶縁層30の一部に、第一導電型側電極28が第一導電型クラッド層24と接触するための開口が設けられ、それが、第一電流注入領域36となる。第一導電型側電極28の面積を、第一電流注入領域よりも大きくすることが好ましい。

【0081】

また、第二導電型側電極と第一導電型側電極は、空間的に重なりを有さないことも望ましい。

【0082】

以下に、装置を構成する各部材と構造についてさらに詳細に説明する。

【0083】

<基板>

本発明では、基板はその上に半導体層を成長させることが可能なものが選ばれ、また最終的に除去できるものが用いられる。基板は、透明である必要はないが、製造工程で、基板を後述するレーザディボンディングにより剥離するときには、その特定の波長のレーザ光を透過することが好ましい。また、電気的には絶縁性基板である事が好ましい。これは、製造工程で、同様にレーザディボンディング法によって基板を剥離する際に、導電性基板ではその自由電子による吸収等によって、このような基板剥離方法を採用しにくくなるからである。具体的な材料としては、例えばInAlGaN系発光材料またはInAlBaN系材料をその上に薄膜結晶成長させるためには、サファイア、SiC、GaN、LiGaO₂、ZnO、ScAlMgO₄、NdGaO₃、およびMgOから選ばれることが望ましく、特にサファイア、GaN、ZnO基板が好ましい。特にGaN基板を用いる際には、そのSiのドーピング濃度はアンドープ基板を用いる場合には、 $3 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ のSi濃度以下が望ましく、さらに望ましくは $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以下であること

が、電気抵抗の観点と結晶性の観点からが望ましい。一方、基板を除去する際にケミカルエッチングを前提とする際には、塩酸等で容易に除去可能なZnOが望ましい。

【0084】

本発明で使用される基板は、いわゆる面指数によって完全に確定されるジャスト基板だけではなく、薄膜結晶成長の際の結晶性を制御する観点から、いわゆるオフ基板(misoriented substrate)であることもできる。オフ基板は、ステップフローモードでの良好な結晶成長を促進する効果を有するため、素子のモフォロジ改善にも効果があり、基板として広く使用される。たとえば、サファイアのc+面基板をInAlGa_nN系材料の結晶成長用基板として使用する際には、m+方向に0.2度程度傾いた面を使用することが好ましい。オフ基板としては、0.1~0.2度程度の微傾斜を持つものが広く一般的に用いられるが、サファイア上に形成されたInAlGa_nN系材料においては、活性層構造内の発光ポイントである量子井戸層にかかる圧電効果による電界を打ち消すために、比較的大きなオフ角度をつけることも可能である。

10

【0085】

基板は、MOCVDやMBE等の結晶成長技術を利用して集積型化合物半導体発光装置を製造するために、あらかじめ化学エッチングや熱処理等を施しておいてもよい。また、後述するバッファ層との関係で、意図的に凹凸をつけた基板にしておき、これによって、薄膜結晶層と基板との界面で発生する貫通転移を発光素子あるいは、後述する発光ユニットの活性層近傍に導入しないようにすることも可能である。

【0086】

基板の厚みとしては、本発明の1形態においては、装置作成初期においては、通常250~700μm程度のものであり、半導体発光装置の結晶成長、素子作製プロセスにおける機械的強度が確保されるようにしておくのが普通である。基板を用いて必要な半導体層を成長した後に、基板は、例えば研磨、エッチング、またはレーザディボンディング等により除去される。

20

【0087】

<バッファ層>

バッファ層22は、基板上に薄膜結晶成長する上で、転移の抑制、基板結晶の不完全性の緩和、基板結晶と所望の薄膜結晶成長層との各種の相互不整合の軽減など、主に薄膜結晶成長のための目的のために形成される。さらに、発光ユニット間分離溝をバッファ層の途中までで止められる程度の厚さと、発光ユニット間の電气的分離ができる程度の絶縁性が必要である。

30

【0088】

バッファ層は、薄膜結晶成長で成膜され、本発明で望ましい形態であるInAlGa_nN系材料、InAlBGa_nN系材料、InGa_nN系材料、AlGa_nN系材料、Ga_nN系材料などを基板上に異種基板上に薄膜結晶成長する際には、必ずしも基板との格子定数のマッチングが確保されないので、バッファ層は特に重要である。たとえば、薄膜結晶成長層を有機金属気相成長法(MOVPE法)で成長する際には、600近傍の低温成長AlN層をバッファ層に用いたり、あるいは500近傍で形成した低温成長Ga_nN層を用いたりすることも出来る。また、800から1000程度の高温で成長したAlN、Ga_nN、AlGa_nN、InAlGa_nN、InAlBGa_nNなども使用可能である。これらの層は一般に薄く5~40nm程度である。

40

【0089】

バッファ層22は必ずしも単一の層である必要はなく、低温で成長したGa_nNバッファ層の上に、結晶性をより改善するために、ドーピングを施さない1000程度の温度で成長したGa_nN層を数μm程度有するようによってもかまわない。実際には、このような厚膜バッファ層を有することが普通であって、その厚みは0.5~7μm程度である。本発明においては、バッファ層は、化合物半導体発光装置内の発光ユニット間に共通して存在することから、ドーピングされた層を有さないことが望ましい。しかし、バッファ層内に結晶性等の観点でドーピングされた層を有するようにする際には、ドーピング層を成長し

50

た後に、さらにアンドープ層を形成し、発光ユニット間の電氣的絶縁が完全に確保できるようにすることが必須である。また、バッファ層内にドーピング層とアンドープ層を積層して形成することも可能である。

【0090】

特に好ましい形態では、基板に接して350 ~ 650 未満程度の低温で薄膜結晶成長させた低温バッファ層と、650 ~ 1050 程度の高温で薄膜結晶成長させた高温バッファ層の2層構造のものである。

【0091】

さらに、バッファ層の全厚は、好ましくは4 ~ 20 μm 、さらに好ましくは4 . 5 ~ 10 μm 、最も好ましくは5 ~ 8 μm であって、厚膜バッファ層は、その上に形成される発光ユニットの主要層となる薄膜結晶層の品質が向上するために好ましい。

【0092】

また、バッファ層の形成に関しては、いわゆるマイクロチャネルエピタキシーの一種である横方向成長技術 (ELO) も使用可能であり、これによってサファイア等の基板とInAlGaN系材料の間で発生する貫通転移の密度を大幅に低減することも可能である。さらに基板の表面に凹凸の加工を施したような加工基板を使用する際にも、横方向成長をさせる際に転位の一部を消滅させることが可能であって、このような基板とバッファ層の組み合わせを本発明に適応する事は好ましい。さらに、この際には基板上に形成された凹凸によって光取り出し効率が向上する効果もあって、好ましい。

【0093】

本発明においては、バッファ層は、各発光ユニットに共通して存在するため、各発光ユニット間の電氣的絶縁を阻害しないように材料選択をすることが必須である。もし、例えば発光装置内のすべての発光ユニットが電氣的に結合しているとすると、発光ユニット (一对のpn接合) の1つが劣化した際に、その影響は劣化した発光ユニットの光度低下にとどまらずに、集積型化合物半導体発光装置内全体の電流注入経路の変化として現れる。そのため、1発光ユニットの劣化が発光装置の特性変動として大きく現れてしまう。本発明においては、バッファ層は、各発光ユニット間の電氣的絶縁を確保できるように材料選択をすることが極めて好ましい。電氣的に絶縁されていることで、駆動中にある発光ユニットが劣化したとしても、その劣化は、発光ユニット1つの問題で済む。

【0094】

ここで、バッファ層は、1つの発光ユニットにおける劣化等の変化が他のユニットに影響を及ぼさない程度に実質的に絶縁性を有していればよく、例えば層全体の比抵抗 ρ_c ($\cdot \text{cm}$) が0 . 5 ($\cdot \text{cm}$) 以上であることが好ましい。さらに好ましくは、1 . 0 ($\cdot \text{cm}$) 以上であり、さらに好ましくは1 . 5 ($\cdot \text{cm}$) 以上、最も好ましくは5 ($\cdot \text{cm}$) 以上である。比抵抗が高いためには、バッファ層はアンドープであることが望ましいが、バッファ層が複数の層からなる場合などにおいては、一部ドーピングされている層があっても、これがアンドープ層の間にあり、発光ユニット間が電氣的に結合していないのであれば問題はない。この場合、第一導電型半導体層 (例えば第一導電型クラッド層) に隣接する層が上記の比抵抗を有していればよい。

【0095】

さらに、バッファ層は、基板を製造工程中に除去するので、本発明の1形態においてはその表面が主たる光取り出し面になる。後述するように基板の剥離の1つ方法として、基板に対して透明で、バッファ層に対して吸収のある光を用いて、バッファ層の一部を光学的に分解して、基板を剥離する方法が挙げられる。そのような方法を採用する場合には、その方法に適合した材料が選択される。たとえば、基板がサファイアで、バッファ層がGaNである場合には、248 nmの発振波長を有するエキシマレーザを薄膜結晶成長がされていない基板側から光を照射し、バッファ層のGaNを金属Gaと窒素に分解して、その結果、基板を剥離するレーザディボンディングを実施することも可能である。

本発明では、主たる光取り出し方向に基板が存在しないので、バッファ層の主たる光取り出し方向の面に、いわゆる低反射コーティング層あるいは低反射光学膜が形成されるこ

10

20

30

40

50

とが望ましい。バッファ層 - 空気界面での屈折率差による反射を抑制し、高出力化、素子の高効率化を図ることができる。ここで、後述する第一導電型半導体層からバッファ層側に垂直入射する当該発光装置の発光波長の光がバッファ層で反射される反射率を R_3 、前記バッファ層から光取り出し側の空間に垂直入射する当該発光装置の発光波長の光が空間との界面で反射される反射率を R_4 で表したとき、

$$R_4 < R_3$$

を満たすようにバッファ層の光取り出し側に低反射光学膜を有する事は望ましい。たとえばバッファ層が GaN である場合には、低反射コーティング膜として Al_2O_3 等を用いることが望ましい。これは素子の発光波長におけるバッファ層の屈折率 n_{bf} に対して、低反射コーティング膜の屈折率が、 n_{bf} に近いことが望ましいので、GaN の屈折率の平方根に対して、 Al_2O_3 の屈折率が近いからである。

【0096】

本発明においては、バッファ層の主たる光取り出し方向の面が、平坦でない面あるいは粗面であることも好ましい。これにより量子井戸層内で発光した光を高効率で取り出すことが可能になり、素子の高出力化、高効率化の観点で望ましい。ここで、素子の発光波長を (nm) とすると、バッファ層の粗面の程度は、平均粗さ Ra (nm) が

$$/5 \text{ (nm)} < Ra \text{ (nm)} < 10 \times \text{ (nm)}$$

を満たすことが望ましく、

$$/2 \text{ (nm)} < Ra \text{ (nm)} < 2 \times \text{ (nm)}$$

を満たすことがより望ましい。

【0097】

また、バッファ層は装置間分離溝の露出部分になってもよい。露出する部分は、特にアンドープ部分であることが好ましく、装置組み立て時のハンダ等による絶縁不良を抑制することができる。

【0098】

< 第一導電型半導体層および第一導電型クラッド層 >

本発明の代表的形態では、図 1 に示すようにバッファ層 22 に接して、発光ユニット間で分断された第一導電型クラッド層 24 が存在する。第一導電型クラッド層 24 は、後述する活性層構造 25 に対して、後述する第二導電型クラッド層 26 と共に機能して、キャリアを効率よく注入し、かつ、活性層構造からのオーバーフローも抑制し、量子井戸層における発光を高効率で実現するための機能を有している。また、あわせて活性層構造近傍への光の閉じ込めにも寄与し、量子井戸層における発光を高効率で実現するための機能を有している。第一導電型半導体層は、上記のクラッド機能を有する層に加えて、コンタクト層のように装置の機能向上のため、または製造上の理由により、第一導電型にドーパされた層を含むものである。広義には、第一導電型半導体層の全体を第一導電型クラッド層と考えてもよく、その場合にはコンタクト層等は、第一導電型クラッド層の一部と見ることできる。

【0099】

一般的に第一導電型クラッド層は、後述する活性層構造の平均屈折率より小さな屈折率を有する材料で、かつ、後述する活性層構造の平均的なバンドギャップよりも大きな材料で構成されることが好ましい。さらに、第一導電型クラッド層は、活性層構造内の特にバリア層との関係において、いわゆるタイプ I 型のバンドラインナップとなる材料で構成されるのが一般的である。このような指針の元で、第一導電型クラッド層材料としては、所望の発光波長を実現するために準備される基板、バッファ層、活性層構造等に鑑みて、適宜選択することができる。

【0100】

例えば、基板として C+ 面サファイアを使用し、バッファ層として低温成長した GaN と、高温成長したアンドープ GaN の積層構造を使用する場合には、第一導電型クラッド層として GaN 系材料、AlGaIn 系材料、AlGaInN 系材料、InAlBaN 系材料、もしくはその多層構造を用いることができる。

【0101】

第一導電型クラッド層のキャリア濃度としては、下限としては $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以上が好ましく、 $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以上がより好ましく、 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以上が最も好ましい。上限としては $5 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 以下が好ましく、 $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 以下がより好ましく、 $7 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以下が最も好ましい。また、ここでは、第一導電型がn型の場合、ドーパントとしては、Siが最も望ましい。

【0102】

第一導電型クラッド層の構造は、図1の一例では単一の層からなる第一導電型クラッド層を示すが、第一導電型クラッド層は、2層以上の層からなるものであってもよい。この場合には、たとえばGaN系材料とAlGaN系材料、InAlGaN系材料、InAlBaN系材料を使用することも可能である。また第一導電型クラッド層の全体を異種材料の積層構造として超格子構造とすることもできる。さらに、第一導電型クラッド層内において、前述のキャリア濃度を变化させることも可能である。

10

【0103】

第一導電型クラッド層の第一導電型側電極と接触している部分においては、そのキャリア濃度を意図的に高くして、当該電極との接触抵抗を低減することも可能である。

【0104】

第一導電型クラッド層の一部はエッチングされており、かつ、第一導電型クラッド層の露出した側壁、エッチングされた部分などは、後述する第一導電型側電極との接触を実現する第一電流注入領域を除いて、すべて絶縁層で覆われている構造が望ましい。

20

【0105】

第一導電型クラッド層に加えて、第一導電型半導体層として、必要によりさらに異なる層が存在してもよい。例えば、電極との接続部にキャリアの注入を容易にするためのコンタクト層が含まれていてもよい。また、各層を、組成または形成条件等の異なる複数の層に分けて構成してもよい。

【0106】

< 活性層構造 >

第一導電型クラッド層24の上には、活性層構造25が形成されている。活性層構造とは、前述の第一導電型クラッド層と、後述する第二導電型クラッド層から注入される、電子と正孔（あるいは正孔と電子）が再結合して発光する層である量子井戸層を含み、かつ、量子井戸層に隣接して配置される、あるいは、量子井戸層とクラッド層間に配置されるバリア層をも含む構造を指す。ここで、本発明のひとつの目的である高出力化、高効率化を実現するためには、活性層構造中の量子井戸層の層数をW、バリア層の層数をBとすると、 $B = W + 1$ を満たすことが望ましい。すなわち、クラッド層と活性層構造の全体の層の関係は、「第一導電型クラッド層、活性層構造、第二導電型クラッド層」と形成され、活性層構造は、「バリア層、量子井戸層、バリア層」、あるいは、「バリア層、量子井戸層、バリア層、量子井戸層、バリア層」のように形成されることが、高出力化のために望ましい。図3に、5層の量子井戸層と、6層のバリア層が積層された構造を模式的に示す。

30

【0107】

ここで、量子井戸層においては量子サイズ効果を発現させて、発光効率を高めるために、その層厚はド・ブロイ波長と同程度にうすい層である。このため、高出力化を実現するためには、単層の量子井戸層のみではなく、複数の量子井戸層を設けてこれを分離して活性層構造とすることが望ましい。この際に各量子井戸層間の結合を制御しつつ分離する層がバリア層である。また、バリア層は、クラッド層と量子井戸層の分離のためにも存在することが望ましい。たとえば、クラッド層がAlGaNからなり、量子井戸層がInGaNからなる場合には、この間にGaNからなるバリア層が存在する形態が望ましい。これは結晶成長の最適温度が異なる場合の変更も容易にできるので、薄膜結晶成長の観点からも望ましい。また、クラッド層が、最もバンドギャップの広いInAlGaNからなり、量子井戸層が最もバンドギャップの狭いInAlGaNからなる場合は、バリア層にその

40

50

中間のバンドギャップを有する InAlGaN を用いることも可能である。さらに、一般にクラッド層と量子井戸層との間のバンドギャップの差は、バリア層と量子井戸層の間のバンドギャップの差よりも大きく、量子井戸層へのキャリアの注入効率を考えると、量子井戸層はクラッド層に直接隣接しないことが望ましい。

【0108】

量子井戸層は意図的なドーピングは実施しないほうが望ましい。一方、バリア層には、ドーピングを施して、系全体の抵抗を下げるなどのことを実施するのが望ましい。特に、バリア層には n 型のドーパント、特に Si をドーピングするのが望ましい。これは、p 型のドーパントである Mg はデバイス内では拡散しやすく、高出力動作時には、Mg の拡散を抑制することが重要となる。このために、Si は有効であって、バリア層には Si がドーピングされていることが望ましい。但し量子井戸層とバリア層との界面においては、ドーピングを実施しないほうが望ましい。

10

【0109】

1 つの素子の活性層構造側壁は、図 1 に示される通り、絶縁層 30 で覆われていることが望ましい。このようにすると、本発明で作製された素子をフリップボンドする際には、活性層構造の側壁におけるハンダ等による短絡が発生しない利点がある。

【0110】

本発明においては、各発光ユニット内の量子井戸層から発せられる光は、ほぼ同じ発光スペクトルを有することが望ましい。これは、化合物半導体発光装置として、面光源的で、かつ、均一な発光を実現するためである。

20

【0111】

<第二導電型半導体層および第二導電型クラッド層>

第二導電型クラッド層 26 は、前述の活性層構造 25 に対して、前述の第一導電型クラッド層 24 と共に、キャリアを効率よく注入し、かつ、活性層構造からのオーバーフローも抑制し、量子井戸層における発光を高効率で実現するための機能を有している。また、あわせて活性層構造近傍への光の閉じ込めにも寄与し、量子井戸層における発光を高効率で実現するための機能を有している。第二導電型半導体層は、上記のクラッド機能を有する層に加えて、コンタクト層のように装置の機能向上のため、または製造上の理由により、第二導電型にドーパされた層を含むものである。広義には、第二導電型半導体層の全体を第二導電型クラッド層と考えることもよく、その場合にはコンタクト層等は、第二導電型クラッド層の一部と見ることできる。

30

【0112】

一般的に第二導電型クラッド層は、前述の活性層構造の平均屈折率より小さな屈折率を有する材料で、かつ、前述の活性層構造の平均的なバンドギャップよりも大きな材料で構成される。さらに、第二導電型クラッド層は、活性層構造内の特にバリア層との関係において、いわゆるタイプ I 型のバンドラインナップとなる材料で構成されるのが一般的である。このような指針の元で、第二導電型クラッド層材料としては、所望の発光波長を実現するために準備される基板、バッファ層、活性層構造等に鑑みて、適宜選択することができる。例えば、基板として C+面サファイアを使用し、バッファ層として GaN を使用する場合には、第二導電型クラッド層として GaN 系材料、AlGaInN 系材料、AlGaInN 系材料、AlGaBInN 系材料等を用いることができる。また、上記材料の積層構造であってもかまわない。また、第一導電型クラッド層と第二導電型クラッド層は同じ材料で構成することも可能である。

40

【0113】

第二導電型クラッド層のキャリア濃度としては、下限としては $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以上が好ましく、 $4 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以上がより好ましく、 $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以上がさらに好ましく $7 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以上が最も好ましい。上限としては $7 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以下が好ましく、 $3 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以下がより好ましく、 $2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以下が最も好ましい。また、ここでは、第二導電型が p 型の場合ドーパントとしては、Mg が最も望ましい。

50

【0114】

第二導電型クラッド層の構造は、図1の一例では単一の層で形成された例を示しているが、第二導電型クラッド層は、2層以上の層からなるものであってもよい。この場合には、たとえばGa_{0.5}In_{0.5}N系材料とAlGa_{0.5}In_{0.5}N系材料を使用することも可能である。また第二導電型クラッド層の全体を異種材料の積層構造からなる超格子構造とすることもできる。さらに、第二導電型クラッド層内において、前述のキャリア濃度を変化させることも可能である。

【0115】

一般に、Ga_{0.5}In_{0.5}N系材料においてはn型ドーパントがSiであって、かつ、p型ドーパントがMgである場合には、p型Ga_{0.5}In_{0.5}N、p型AlGa_{0.5}In_{0.5}N、p型AlInGa_{0.5}Nの結晶性は、n型Ga_{0.5}In_{0.5}N、n型AlGa_{0.5}In_{0.5}N、n型AlInGa_{0.5}Nにはそれぞれ及ばない。このため、素子作製においては、結晶性の劣るp型クラッド層を活性層構造の結晶成長後に実施することが望ましく、この観点で、第一導電型がn型で、第二導電型がp型である場合が望ましい。

10

【0116】

また、結晶性の劣るp型クラッド層（これは、望ましい形態をとった場合の第二導電型クラッド層に相当する）の厚みは、ある程度薄いほうが望ましい。これは、フリップチップボンディングを実施する本発明においては、基板側が主たる光の取り出し方向となるため、後述する第二導電型側電極側からの光の取り出しを考慮する必要がなく、大面積の厚膜電極を形成することが可能である。このため、フェイスアップマウントを実施する際のように、第二導電型クラッド層における横方向への電流拡散を期待する必要がなく、第二導電型クラッド層は、ある程度薄くすることが素子構造からも有利である。但し、極端に薄い場合には、キャリアの注入効率が低下してしまうため、最適値が存在する。第二導電型クラッド層の厚みは、適宜選択可能であるが、0.05 μmから0.3 μmが望ましく、0.1 μmから0.2 μmが最も望ましい。

20

【0117】

第二導電型クラッド層の第二導電型側電極と接触している部分においては、そのキャリア濃度を意図的に高くして、当該電極との接触抵抗を低減することも可能である。

【0118】

第二導電型クラッド層の露出した側壁は、後述する第二導電型側電極との接触を実現した第二電流注入領域を除いて、すべて絶縁層で覆われている構造であることが望ましい。

30

【0119】

さらに、第二導電型クラッド層に加えて、第二導電型半導体層として、必要によりさらに異なる層が存在してもよい。例えば、電極の接する部分にキャリアの注入を容易にするためのコンタクト層が含まれていてもよい。また、各層を、組成または形成条件等の異なる複数の層に分けて構成してもよい。

【0120】

尚、本発明の要旨に反しない限り、薄膜結晶層として、必要により上述のカテゴリに入らない層を形成してもよい。

【0121】

<第二導電型側電極>

第二導電型側電極は、第二導電型の窒化物化合物半導体と良好なオーム性接触を実現し、かつ、フリップチップマウントをした際には、良好な発光波長帯域における反射ミラーとなり、また、フリップチップマウントした際に、ハンダ材などによる支持体などとの良好な接着を実現するものである。本目的のためには、適宜材料選択が可能であり、第二導電型側電極は単一の層であっても、複数の層からなる場合でもかまわない。一般には、電極に要請される複数の目的を達するために、複数の層構成をとるのが普通である。

40

【0122】

また、第二導電型がp型で第二導電型クラッド層の第二導電型側電極側がGa_{0.5}In_{0.5}Nである場合には、第二導電型側電極の構成元素として、Ni、Pt、Pd、Mo、Auのいずれ

50

かを含むことが望ましい。特に、第二導電型側電極のp側クラッド層側の第一層目はNiであることが望ましく、第二導電型側電極のp側クラッド層側と反対側の表面はAuであることが望ましい。これは、Niの仕事関数の絶対値が大きく、p型材料にとって都合がよく、また、Auは、後述するプロセスダメージに対する耐性、マウントの都合などを考えると最表面の材料として好ましい。

【0123】

第二導電型側電極は、第二導電型のキャリアを注入可能であれば、薄膜結晶層のどの層と接してもよく、例えば第二導電型側コンタクト層が設けられるときは、それに接するように形成される。

【0124】

<第一導電型側電極>

第一導電型側電極は第一導電型の窒化物化合物半導体と良好なオーム性接触を実現し、かつ、フリップチップマウントをした際には、良好な発光波長帯域における反射ミラーとなり、また、フリップチップマウントした際に、ハンダ材等による支持体などとの良好な接着を実現するものであって、本目的のためには、適宜材料選択が可能である。第一導電型側電極は単一の層であっても、複数の層からなる場合でもかまわない。一般には、電極に要請される複数の目的を達するために、複数の層構成をとるのが普通である。

【0125】

第一導電型がn型であるとする、n側電極は、Ti、Al、Moのいずれかから選択される材料、もしくはすべてを構成元素として含むことが望ましい。これは、これらの金属の仕事関数の絶対値が小さいためである。また、n側電極の主たる光取り出し方向とあ

【0126】

本発明においては、第一導電型側電極は第一電流注入領域の大きさよりも大きな面積に形成され、かつ、第一導電型側電極と第二導電型側電極は、空間的に重なりを有さないことが望ましい。これは、発光装置をハンダなどでフリップチップマウントした際に、支持体などとの十分な密着性を確保するに十分な面積を確保しつつ、第二導電型側電極と第一導電型側電極との間のハンダ材等による意図しない短絡を防止するのに十分な間隔を確保するために重要である。

【0127】

ここで、第一導電型側電極が絶縁層に接している部分の幅の中で、最も狭い部分の幅は15μm以上であることが望ましい。これはフォトリソグラフィ工程とリフトオフ法によって形成することが好ましい第一導電型側電極の形成プロセスにおけるマージンが必要であるからである。

【0128】

第一導電型側電極は、第一導電型のキャリアを注入可能であれば、薄膜結晶層のどの層と接してもよく、例えば第一導電型側コンタクト層が設けられるときは、それに接するように形成される。

【0129】

<絶縁層>

絶縁層30は、フリップチップマウントを実施した際に、マウント用のハンダ、導電性ペースト材等が「第二導電型側電極と第一導電型側電極の間」、「活性層構造などの薄膜結晶層の側壁」、「異なる発光ユニット間のあらゆる場所」に回りこんで、意図しない短絡が発生しないようにするためのものである。絶縁層は、電氣的に絶縁が確保できる材料であれば、材料は適宜選択することができる。例えば、単層の酸化物、窒化物、フッ化物等が好ましく、具体的には、SiO_x、AlO_x、TiO_x、TaO_x、HfO_x、ZrO_x、SiN_x、AlN_x、AlF_x、BaF_x、CaF_x、SrF_x、MgF_x等から選ばれることが好ましい。これらは、長期に渡って安定に絶縁性を確保できる。

【0130】

一方、絶縁層30を絶縁物の多層膜とすることも可能である。これは、誘電体多層膜と

10

20

30

40

50

なるので、絶縁層内の誘電体の屈折率を適宜調整することによって、発光装置内で発生した光に対して光学的に比較的高い反射率を有するいわゆる高反射コーティングの機能もあわせて発現させることが可能である。たとえば、素子の発光波長の中心値が λ であった場合には、 SiO_x と TiO_x をそれぞれ光学厚みで $\lambda/4n$ (ここで n は波長 λ におけるそれぞれの材料の屈折率) に積層することなどで高い反射特性を実現することが可能である。このようにすると、素子をフリップチップボンダした際には、主たる取り出し方向側への光の取り出し効率を上げることが可能となり素子の高出力化、高効率化の観点とハンダ材等による意図しない短絡等を防止することが両立できることとなり非常に望ましい。

【0131】

具体的には、第一導電型クラッド層を含む第一導電型半導体層側からバッファ層へ垂直入射する当該発光装置の発光波長の光がバッファ層で反射される反射率を R_2 で表し、絶縁層に第二導電型クラッド層を含む第二導電型半導体層側から垂直入射する当該発光装置の発光波長の光が、絶縁層で反射される反射率を R_{12} 、絶縁層に第一導電型クラッド層を含む第一導電型半導体層側から垂直入射する当該発光装置の発光波長の光が、絶縁層で反射される反射率を R_{11} 、絶縁層に量子井戸層を含む活性層構造側から垂直入射する当該発光装置の発光波長の光が、絶縁層で反射される反射率を R_{1q} でそれぞれ表したとき

$$(式1) \quad R_2 < R_{12}$$

$$(式2) \quad R_2 < R_{11}$$

$$(式3) \quad R_2 < R_{1q}$$

の少なくとも1つの条件、特に式1~3のすべての条件を満たすように、絶縁層が構成されることが好ましい。

【0132】

これらは、誘電体多層膜で形成された絶縁層が光学的な反射ミラーとして効率よく機能するために望ましい範囲である。また、その材料の安定性、屈折率の範囲から考えて、誘電体膜中に、フッ化物が含まれることは望ましく、かつ、具体的には AlF_x 、 BaF_x 、 CaF_x 、 SrF_x 、 MgF_x のいずれかが含まれることが望ましい。

【0133】

<支持体>

支持体40は、基板剥離の際の薄膜結晶層の支持体としての役割を果たせることが必須であるが、さらに、本支持体は、素子完成後の電流導入と放熱の機能をあわせ持つことも非常に望ましい。この観点で、支持体の母材は、金属、 AlN 、 SiC 、ダイヤモンド、 BN および CuW からなる群より選ばれることが望ましい。これら材料は、放熱性に優れ、高出力の発光素子に不可避である発熱の問題を効率よく抑制できる点で好ましい。また Al_2O_3 、 Si 、ガラス等も安価であって支持体として利用範囲が広く好ましい。また、後述する基板除去時にレーザ照射によって薄膜結晶層の一部を金属 Ga と窒素に分解した際には、金属 Ga を除去する際にウェットエッチングを実施する事が望ましいが、この際も、支持体はエッチングされない材質であることが望ましい。さらに、基板そのものをウェットエッチングすることも可能であって、この際にも支持体はエッチングされない材質であることが望ましい。尚、支持体の母材を金属から選択する際には、その周りを耐エッチング性のある誘電体等で覆う事が望ましい。金属の母材としては、発光素子の発光波長における反射率の高い材料が望ましく、 Al 、 Ag 等が望ましい。また、誘電体等で覆う最には、各種CVD法で形成した SiN_x 、 SiO_2 等が望ましい。

【0134】

支持体は、さらに素子完成後の電流導入と放熱の機能をあわせ持つとの観点では、母材の上に、電流導入用の電極配線を有することが望ましく、また、この電極配線上で装置を搭載する部分には、適宜発光装置と支持体の接合用の接着層を有することが望ましい。ここで、接着層は、 Ag を含んだペースト、金属バンプ等を使用することも可能ではあるが、金属ハンダで構成されていることが、放熱性の観点で非常に望ましい。金属ハンダは Ag を含んだペースト材、金属バンプなどと比較して圧倒的に放熱性に優れたフリップチッ

10

20

30

40

50

ブマウントが実現可能である。ここで、金属ハンダとしては、In、InAg、InSn、SnAg、PbSn、AuSn、AuGeおよびAuSi等を挙げることができる。特に、AuSn、AuSi、AuGe等の高融点ハンダがより望ましい。これは、発光素子を超高出力動作させるために大電流を注入すると、素子近傍の温度が200程度に上昇するためであって、ハンダ材の融点として駆動時の素子温度よりも高い融点を有する金属ハンダがより好ましい。また、場合によっては、フリップチップマウント時の素子の段差を打ち消すために、パンプを用い、さらに、金属ハンダ材でその周りを埋めながら接合する事も望ましい。

【0135】

また、本発明の集積型化合物半導体発光装置は、支持体上の金属配線を自在に変化させることで、1つの発光装置内の各発光ユニットを並列接続にも、直列接続にも、またはこれらを混在させることも可能である。

【0136】

〔製造方法〕

次に、本発明の集積型化合物半導体発光装置の製造方法について説明する。

【0137】

本発明の製造方法の1例では、図4に示すように、まず基板21を用意し、その表面にバッファ層22、第一導電型クラッド層24、活性層構造25および第二導電型クラッド層26を薄膜結晶成長により順次成膜する。これらの薄膜結晶層の形成には、MOCVD法が望ましく用いられる。しかし、MBE法、PLD法なども全部の薄膜結晶層、あるいは一部の薄膜結晶層を形成するために用いることが可能である。これらの層構成は、素子の目的等に合わせて適宜変更が可能である。また、薄膜結晶層の形成後には、各種の処理を実施してもかまわない。なお、本明細書では、薄膜結晶層の成長後の熱処理等も含めて、「薄膜結晶成長」と記載している。

【0138】

薄膜結晶層成長の後、本発明において図1、図2に示された形状を実現するためには、図4に示すように、第二導電型側電極27を形成することが好ましい。即ち、予定されている第二電流注入領域35に対する第二導電型側電極27の形成が、絶縁層30の形成よりも、また、第一電流注入領域36の形成よりも、さらには、第一導電型側電極28の形成よりも、早く実施されることが望ましい。これは、望ましい形態として第二導電型がp型である場合において、表面に露出しているp型クラッド層の表面に対して各種プロセスを経た後にp側電極を形成すると、GaN系材料では比較的活性化率の劣るp-GaNクラッド層中の正孔濃度をプロセスダメージによって低下させてしまうからである。たとえばp-CVDによる絶縁層の形成工程を第二導電型側電極の形成より前に実施すれば、その表面にプラズマダメージが残存してしまう。このため、本発明では薄膜結晶成長の後には第二導電型側電極の形成が他のプロセス工程（たとえば後述する第一エッチング工程、第二エッチング工程、第三エッチング工程、あるいは絶縁層形成工程、第二導電型側電極露出部分形成工程、第一電流注入領域形成工程や第一導電型側電極形成工程など）よりも先に実施されることが望ましい。

【0139】

また、本発明においては、第二導電型がp型である場合には、前述のとおり、第二導電型側電極の表面がAuである場合が代表的な例として想定されるが、露出面がAuなどの比較的安定な金属である場合には、その後のプロセスを経ても、プロセスダメージを受ける可能性が低い。この観点からも本発明では薄膜結晶成長の後には第二導電型側電極の形成が他のプロセス工程よりも先に実施されることが望ましい。

【0140】

なお、本発明では、第二導電型側電極が形成される層が、第二導電型コンタクト層である場合にも同様に、第二導電型半導体層に対してのプロセスダメージを低減することができる。

【0141】

10

20

30

40

50

第二導電型側電極 27 の形成には、スパッタ、真空蒸着等種々の成膜技術を適応可能であり、所望の形状とするためには、フォトリソグラフィ技術を用いたリフトオフ法や、メタルマスク等を用いた場所選択的な蒸着等を適宜使用可能である。

【0142】

第二導電型側電極 27 を形成した後、図 5 に示すように、第一導電型クラッド層 24 の一部を露出させる。この工程は、第二導電型クラッド層 26、活性層構造 25、さらには第一導電型クラッド層 24 の一部をエッチングにより除去することが好ましい（第一エッチング工程）。第一エッチング工程においては、後述する第一導電型側電極が第一導電型のキャリアを注入する半導体層を露出することが目的であるので、薄膜結晶層に他の層、たとえば、クラッド層が 2 層からなる場合や、あるいはコンタクト層がある場合には、その層を含んでエッチングしてもかまわない。

【0143】

第一エッチング工程では、エッチング精度があまり要求されないので、 SiN_x のような窒化物や SiO_x 等の酸化物をエッチングマスクとして Cl_2 等を用いたプラズマエッチング法による公知のドライエッチングを使用することができる。しかし、後述する第二エッチング工程、第三エッチング工程で詳細に説明するような金属フッ化物マスクを用いたドライエッチングを実施することも望ましい。特に、 SrF_2 、 AlF_3 、 MgF_2 、 BaF_2 、 CaF_2 およびそれらの組み合わせからなる群より選ばれる金属フッ化物層を含むエッチングマスクを用いて、 Cl_2 、 SiCl_4 、 BCl_3 、 SiCl_4 等のガスを用いたプラズマ励起ドライエッチングによりエッチングを行うことが好ましい。さらに、ドライエッチングの方法としては、高密度プラズマを生成可能な ICP 型のドライエッチングが最適である。

【0144】

ここで第二導電型側電極 27 はプラズマ CVD 等によって形成される SiN_x マスクの形成履歴、あるいは第一エッチング工程後に実施される該 SiN_x マスク除去工程を履歴するが、Au などの安定な金属が表面に形成されている場合には、第二導電型側電極が受けるプロセスダメージは少なくなる。

【0145】

次に図 6 に示すように、発光ユニット間分離溝 12 を、第二エッチング工程により形成する。第二エッチング工程は、第一エッチング工程と比較して、さらに深く GaN 系材料をエッチングすることが必要となる。一般に、第一エッチング工程によってエッチングされる層の総和は、 $0.5 \mu\text{m}$ 程度が普通であるが、第二エッチング工程においては、第一導電型クラッド層 24 のすべてと、バッファ層 22 の一部までをエッチングすることが必要なことから、 $1 \mu\text{m}$ 以上となることが多く、例えば $1 \sim 5 \mu\text{m}$ の範囲、または $3 \mu\text{m}$ 以上の範囲、例えば $3 \sim 7 \mu\text{m}$ の範囲となることがある。場合によっては、 $3 \sim 10 \mu\text{m}$ の範囲、さらには $10 \mu\text{m}$ を越えることもある。しかし、基板に達するまでエッチングする場合に比べ、エッチング深さを短くできる利点がある。そのため、発光ユニット間分離溝 12 の幅を、前述のように短い幅にすることができる。

【0146】

一般に、金属マスク、 SiN_x 等の窒化物マスク、 SiO_x 等の酸化物マスク等は、 Cl_2 系プラズマに対するエッチング耐性を示す GaN 系材料に対する選択比は 5 程度であって、膜厚の厚い GaN 系材料をエッチングする必要がある第二エッチング工程を実施するには、比較的厚めの SiN_x 膜が必要となってしまう。たとえば第二ドライエッチング工程で $4 \mu\text{m}$ の GaN 系材料をエッチングする最には、 $0.8 \mu\text{m}$ を越える SiN_x マスクが必要となってしまう。しかし、この程度の厚みの SiN_x マスクになると、ドライエッチング実施中に SiN_x マスクもエッチングされてしまい、その縦方向の厚みのみではなく水平方向の形状も変ってしまい、所望の GaN 系材料部分のみを選択的にエッチングすることができなくなってしまう。

【0147】

そこで、第二エッチング工程において発光ユニット間分離溝を形成する際には、金属フ

10

20

30

40

50

ッ化物層を含むマスクを用いたドライエッチングが好ましい。金属フッ化物層を構成する材料は、ドライエッチング耐性とウェットエッチング性のバランスを考慮すると、 MgF_2 、 CaF_2 、 SrF_2 、 BaF_2 、 AlF_3 が好ましく、この中でも SrF_2 が最も好ましい。

【0148】

金属フッ化物膜は、第一、第二、第三エッチング工程で行うドライエッチングに対しては十分な耐性があり、一方でパターニングのためのエッチング（好ましくはウェットエッチング）に対しては、容易にエッチング可能でかつパターニング形状、特に側壁部分の直線性の良いものが求められる。金属フッ化物層の成膜温度を150以上にするこ
10
とで、下地との密着性に優れ、緻密な膜が形成され、同時にエッチングによってパターニングした後に、マスク側壁の直線性にも優れている。成膜温度は、好ましくは250以上、さらに好ましくは300以上、最も好ましくは350以上である。特に350以上で成膜された金属フッ化物層は、あらゆる下地との密着性に優れ、かつ、緻密な膜となり、高いドライエッチング耐性を示しつつ、パターニング形状についても、側壁部分の直線性に非常に優れ、開口部の幅の制御性も確保されるようになり、エッチングマスクとして最も好ましい。

【0149】

このように、下地との密着性に優れ、かつ、緻密な膜となり、高いドライエッチング耐性を示しつつ、パターニング形状についても、側壁部分の直線性と開口部の幅の制御性に非常に優れたエッチングマスクとするためには、高温で成膜することが好ましいが、一方
20
、成膜温度が高すぎると、金属フッ化物をパターニングする際に好ましく実施される塩酸等に対するウェットエッチングに対する耐性が必要以上になり、その除去が容易でなくなる。特に、後述するように SrF_2 等のマスクは半導体層のドライエッチング時に塩素等のプラズマにさらされると、その後実施するマスク層の除去時のエッチングレートが、塩素等のプラズマにさらされる前に比較して低下する傾向を有している。このため、金属フッ化物の過剰な高温での成膜はそのパターニングと最終除去の観点から好ましくない。

【0150】

まず半導体層のドライエッチング時のプラズマにさらされる前の金属フッ化物にあっては、低温成膜した層ほど塩酸等のエッチャントに対するエッチングレートが大きくエッチ
30
ングが速く進行し、成膜温度を高くするほどエッチングレートが低下し、エッチングの進行が遅くなる。成膜温度が300以上になると、成膜温度が250程度の膜よりエッチングレートの低下が目立ってくるが、350から450程度では、非常に都合の良いエッチング速度の範囲にある。しかし、成膜温度が480を超えるとエッチング速度の絶対値が必要以上に小さくなり、当該金属フッ化物のパターニングに過剰な時間を費やすこととなり、また、レジストマスク層等が剥離しない条件でのパターニングが困難になる事もある。さらに、半導体層のドライエッチング時のプラズマにさらされた後の金属フッ化物にあっては、除去時の塩酸等に対するウェットエッチングレートは低下する性質があり、過剰な高温成長は金属フッ化物の除去を困難にしてしまう。

【0151】

このような観点から、金属フッ化物層の成膜温度は、好ましくは480以下であり、
40
さらに好ましくは470以下、特に好ましくは460以下である。

【0152】

このようなことに配慮してパターニングされたマスク（金属フッ化物層が表面層になるように SiN_x 、 SiO_2 などと積層されていてよい）を用いて、ドライエッチングを行う。ドライエッチングのガス種としては、 Cl_2 、 BCl_3 、 $SiCl_4$ 、 CCl_4 およびこれらの組み合わせから選ばれるものが望ましい。ドライエッチングの際に、 SrF_2 マスクの GaN 系材料に対する選択比は100を越えるため、厚膜 GaN 系材料のエッチングが容易に、かつ、高精度に行うことができる。さらに、ドライエッチングの方法としては、高密度プラズマを生成可能なICP型のドライエッチングが最適である。

【0153】

10

20

30

40

50

エッチング後に、不要となった金属フッ化物層のマスクを、塩酸等のエッチャントで除去する際に、金属フッ化物マスクの下に酸に弱い材料が存在する場合、例えば電極材料が酸に弱い場合には、金属フッ化物層が表面層になるようにして SiN_x 、 SiO_2 などとの積層マスクとしてもよい。この場合、 SiN_x 、 SiO_2 等は、金属フッ化物マスク層の下部の全体に存在していてもよいし、または例えば図17に示すように、 SiN_x 、 SiO_2 等マスク51は、金属フッ化物マスク層52の下部の全体に存在していなくても、少なくとも酸に弱い材料上に形成されていればよい。

【0154】

このような第二エッチング工程により、図6に示すように、発光ユニット間分離溝が形成される。

【0155】

次に、図7に示すように、装置間分離溝13を、第三エッチング工程により形成する。第三エッチング工程では、エッチングすべきGaN系材料の厚みは、バッファ層をすべてエッチングすることが必要なことから、第二エッチング工程と比較しても、極めて深く、 $5 \sim 10 \mu\text{m}$ となることがあり、また $10 \mu\text{m}$ を超えることもある。そのため、第二エッチング工程で説明したと同様に、金属フッ化物層を含むマスクを用いたドライエッチングが好ましい。その好ましい条件等（積層マスク等も含む）は、第二エッチング工程について説明したとおりである。

【0156】

装置間分離溝は、少なくとも第一導電型クラッド層を分断して形成されていることが必要である。本発明の好ましい形態の1つでは、図7に示すように、装置間分離溝13が基板21に到達するように形成される。この場合には、装置の分離が容易である。また、基板の一部までをエッチングして装置間分離溝を形成してもよい。

【0157】

一方、装置間分離溝が、基板に達していない形態も好ましい形態である。例えば、装置間分離溝が、バッファ層の途中まで形成されていれば、第一導電型クラッド層の側壁に絶縁層を形成することができて、ハンダ等の回りこみに対して絶縁性を保つことができる（発光装置完成後の形態は、図13～図16を参照。）。この場合、絶縁層で被覆されずに側壁から露出する層は、高い絶縁性を有することが好ましい。装置間分離溝を、バッファ層の途中まで形成する形態では、第二エッチング工程と第三エッチング工程を同時実施することにも可能になるので、工程を簡略化できる利点がある。

【0158】

なお、第一エッチング工程、第二エッチング工程および第三エッチング工程は、いずれの工程を先に実施しても、後に実施してもかまわない。また、プロセスを簡略にするため、第一エッチング工程を先に実施し、その際のエッチングマスクを除去しないで、第二エッチングおよび/または第三エッチング工程を実施することも好ましい。図17に示すように、まず SiN_x 、 SiO_2 等の酸に強い材料（好ましくは SiN_x ）により第一エッチングマスク51を形成し、第一導電型クラッド層24が現れるようにエッチングし、マスク51を除去しないで、金属フッ化物層による第二および/または第三エッチングマスク52を形成する。そして、第二および/または第三エッチング工程を実施した後、マスク52を酸により除去し、その後、マスク51を適宜除去することが好ましい。第一エッチングマスク51は、第二エッチング工程と第三エッチング工程が別々に実施される場合にも、両方のエッチングが終了するまで存在させることもできる。

【0159】

形成される装置分離溝間の最も狭い部分の幅を $2L_{WSP T 1}$ とすると、 $L_{WSP T 1}$ はプレーキングによって素子分離を行う際には、 $20 \mu\text{m}$ 以上、例えば $30 \mu\text{m}$ 以上であることが望ましい。また、ダイシング等によって実施する際には、 $L_{WSP T 1}$ は $300 \mu\text{m}$ 以上であることが望ましい。また、大きすぎても無駄であるので、 $L_{WSP T 1}$ は通常は $2000 \mu\text{m}$ 以下である。これは、素子作製プロセスのマージンと、さらには、スクライブ領域の確保のために必要であるからである。

10

20

30

40

50

【0160】

第三エッチング工程の後には、図8に示すように、絶縁層30を形成する。絶縁層は、電氣的に絶縁が確保できる材料であれば、適宜選択することができ、詳細は前述のとおりである。成膜方法は、プラズマCVD法等の公知の方法を用いればよい。

【0161】

次に、図9に示すように、絶縁層30の所定部分を除去し、第二導電型側電極27上で絶縁層が除去された第二導電型側電極露出部分37、第一導電型クラッド層上で絶縁層が除去された第一電流注入領域36、装置間分離溝13内で基板面と側壁から絶縁層が除去された絶縁層非形成部分15を形成する。第二導電型側電極27上の絶縁層30の除去は、第二導電型側電極の周辺部分が絶縁層によって覆われているように実施することが望ましい。すなわち第二導電型側電極露出部分の表面積は第二電流注入領域の面積よりも小さいことが望ましい。ここで、素子作製プロセス、特にフォトリソグラフィ工程のマージン、あるいは、ハンダ材による意図しない短絡等の発生を防止するためには、第二導電型側電極の周辺から絶縁層で覆われている幅の中で、最も狭い部分の幅を L_{2w} とすると、 L_{2w} は $15\mu\text{m}$ 以上であることが好ましい。さらに好ましくは $30\mu\text{m}$ 以上、特に好ましくは $100\mu\text{m}$ 以上である。絶縁層によって第二導電型側電極の面積の多くが覆われることによって、特に、金属ハンダ材によるたとえば第一導電型側電極等の他の部分との意図しない短絡を低減することができる。また、 L_{2w} は、通常 $2000\mu\text{m}$ 以下であり、好ましくは $750\mu\text{m}$ 以下である。

【0162】

絶縁層の除去は、選択された材質によってドライエッチング、ウェットエッチング等のエッチング手法が選択可能である。たとえば、絶縁層が SiN_x 単層である場合には、 SF_6 等のガスを用いたドライエッチングも、あるいはフッ酸系のエッチャントを用いたウェットエッチングも可能である。また、絶縁層が SiO_x と TiO_x からなる誘電体多層膜である場合には、 Ar イオンミリングによって所望の部分の多層膜を除去することも可能である。

【0163】

また、第二導電型側電極露出部分37、第一電流注入領域36、および絶縁層非形成部分15の形成は、別々に行ってもよいが、通常は同時にエッチングで形成する。

【0164】

絶縁層非形成部分15を設ける際の溝側壁の絶縁層の一部の同時除去は、たとえば、以下の様なプロセスで形成が可能である。装置間分離溝13の面積とほぼ同等か少し小さめの開口を有するレジストマスクをフォトリソグラフィによって形成し、次に、絶縁層をエッチング可能なエッチャントを用いてウェットエッチングを実施すると、装置間分離溝内の基板面上の絶縁層の除去が進む。その後、さらに長時間エッチングを継続するとサイドエッチングが起こり、溝側壁の基板側を覆っていた絶縁層がウェットエッチャントで除去され、図9に示したように装置間分離溝の基板側に絶縁層が存在しない形状が得られる。このように絶縁層を除去する場合においては、絶縁層が存在しない薄膜結晶層の側壁は、アンドープ層の側壁であることが望ましい。これは、フリップチップマウントを実施する際に、万が一、支持体との接合用ハンダ等が側壁に付着しても、意図しない電氣的短絡が発生しないためである。このような絶縁層の除去形状は、特に発光装置の製造工程中に、基板を除去する際には、これに付随して絶縁層の剥離など意図しない不具合が発生しないため、望ましい形状である。尚、装置間分離溝が、バッファ層の途中まで形成される場合にも、発光装置端から内側に入った側壁部分(装置間分離溝の側壁)のうち、主たる光取り出し方向側に絶縁層で覆われていない部分が存在する形態(例えば図14、図16の構造を作製する場合)では、上記のプロセスで絶縁膜を堆積するとき、基板面でなく溝底面に堆積される点が異なるが、同一のプロセスを採用することができる。また、絶縁層が、分離溝底面の一部と分離溝の側壁部分とを被覆する形態(例えば図13、図15の構造を作製する場合)には、上記のプロセスで、予定した形状に適したフォトリソグラフィによって、適切なエッチングマスク形状を準備し、かつ、サイドエッチングを行わずに、

10

20

30

40

50

溝底面に堆積した絶縁層の一部を除去してスクライプ領域を形成すればよい。

【0165】

次に、図10に示すように、第一導電型側電極28を形成する。電極材料としては、すでに説明したとおり、第一導電型がn型であるとする、Ti、AlおよびMoのいずれかから選択される材料、またはすべてを構成元素として含むことが望ましい。また、n側電極の主たる光取り出し方向とあい対する向きには、Alが露出するのが普通である。

【0166】

電極材料の成膜には、スパッタ、真空蒸着等種々の成膜技術を適応可能であり、電極形状とするためには、フォトリソグラフィ技術を用いたリフトオフ法や、メタルマスク等を用いた場所選択的な蒸着等を適宜使用可能である。ここで、形成プロセスにおけるマージン
10
をある程度見込むために、第一導電型側電極が絶縁層に接している部分の幅の中で、最も狭い部分の幅を L_{1w} とすると、 L_{1w} は7 μm 以上が好ましく、特に9 μm 以上が好ましい。また、 L_{1w} は、通常500 μm 以下であり、好ましくは100 μm 以下である。通常、5 μm 以上があれば、フォトリソグラフィ工程とリフトオフ法によるプロセスマージンは確保できる。

【0167】

第一導電型側電極は、この例では、第一導電型クラッド層にその一部が接して形成されるが、第一導電型側コンタクト層が形成されるときはそれに接するように形成することができる。

【0168】

本発明の製造方法では、第一導電型側電極が、積層構造形成の最終段階にて製造されることにより、プロセスダメージ低減の観点でも有利である。第一導電型がn型である場合には、n側電極は、好ましい形態では、Alがその電極材の表面に形成される。この場合に、n側電極が第二導電型側電極のように絶縁層の形成よりも前になされると、n側電極表面、すなわちAl金属は、絶縁層のエッチングプロセスを履歴することになる。絶縁層のエッチングには、前述のとおりフッ酸系のエッチャントを用いたウェットエッチング等が簡便であるが、Alはフッ酸を含めた各種エッチャントに対する耐性が低く、このようなプロセスを実効的に実施すると電極そのものにダメージが入ってしまう。また、ドライエッチングを実施してもAlは比較的反応性が高く酸化を含めたダメージが導入される可能性
20
30
がある。従って、本発明においては、第一導電型側電極の形成が絶縁層の形成後かつ絶縁層の予定されている不要部分の除去後に行われることは、電極に対するダメージの低減に効果がある。

【0169】

このようにして、図10(図2)の構造が形成された後には、基板除去するための前準備をする。通常、図10に示された構造を、ウエハー全体として、あるいはその一部を、まず、支持体40に接合する。これは、薄膜結晶層全体としても高々15 μm 程度の厚みであるので、基板を剥離してしまうと、機械的強度が不十分になりそれだけで自立してその後のプロセスを受けることが困難になるからである。支持体の材料等については前述のとおりであり、支持体上の金属面41(電極配線等)に例えば金属ハンダ42で接続して搭載する。
40

【0170】

このとき、本発明の発光装置では、第二導電型側電極27と第一導電型側電極28は、お互いが空間的に重ならない配置となっており、かつ、第一導電型側電極が第一電流注入領域よりも大きく、十分な面積も有しているため、意図しない短絡の防止と高い放熱性の確保が両立しており望ましい。また、他の薄膜結晶層の側壁もバッファ層の一部、特にアンドープ部分を除いて絶縁層で保護されるため、ハンダの染み出し等があっても薄膜結晶層内、たとえば活性層構造側壁における短絡等も発生することがない。

【0171】

次に、支持体に素子を接合した後に、基板を剥離する。基板の剥離には、研磨、エッチング、レーザディボンディング等のあらゆる方法を用いる事が可能である。サファイア基
50

板を研磨する場合には、ダイヤモンド等の研磨材を使用して基板を除去することが可能である。また、ドライエッチングによって基板を除去することも可能である。さらには、たとえばサファイアが基板でInAlGaN系材料によって薄膜結晶成長部分が形成されている場合には、サファイア基板側から、サファイア基板は透過し、たとえばバッファ層に使用されるGaNには吸収される248nmの発振波長を有するエキシマレーザを用いて、バッファ層の一部のGaNを金属Gaと窒素に分解し、基板を剥離するレーザディボンディングを実施する事も可能である。

【0172】

またZnOおよびScAlMgO₄等を基板として使用する場合には、HCl等のエッチャントを用いて基板をウェットエッチングで除去することも可能である。

10

【0173】

ここで、本発明の好ましい形態では、基板上には絶縁層が接している部分がないため、基板剥離を実施した際に副次的に絶縁層の剥離等が発生することがない。

【0174】

その後、装置間分離溝が存在する箇所に対応する分離領域において、支持体と共に発光装置を分離して単体の発光装置を得る。ここで、支持体の分離領域には、金属配線が存在しないことが望ましい。ここに金属配線が存在すると装置間の分離が実施しにくいからである。本発明の集積型化合物半導体発光装置は、支持体上の金属配線を自在に変化させることで、1つの発光装置内の各発光ユニットを並列接続にも、直列接続にも、これらを混合した配線にする事も可能である。

20

【0175】

支持体の分離領域部分の切断には、母材によって、ダイシング、スクライピングとブレーキングなど適宜プロセスを選択可能である。また、装置間分離溝が、バッファ層の途中まで形成されている場合（例えば、発光ユニット間分離溝と同等の深さで、バッファ層の途中まで溝が形成されている場合）には、装置間分離溝を使用して、ダイヤモンドスクライブによる傷いれ、レーザスクライブによるバッファ層の一部のアブレーション等を実施する事で、薄膜結晶成長層部分における発光装置間の分離は容易に実現可能である。その後、支持体はダイシングによって、各発光装置に分離することが可能である。場合によっては、発光装置間の分離は、薄膜結晶成長層と支持体をダイシングによって同時に分離することも可能である。

30

【0176】

このようにして、図1に示された発光装置が完成する。

【0177】

本発明の製造方法では、面光源的発光に有利な構造を効果的に製造できることに加えて、説明のとおり薄膜結晶層の形成、第二導電型側電極の形成、エッチング工程（第一エッチング工程、第二エッチング工程、第三エッチング工程）、絶縁層の形成、絶縁層の除去（第二導電型側電極露出部分および第一電流注入領域の形成や装置間分離溝近傍の絶縁層の除去）、第一導電型側電極の形成は、この順に実施されることが望ましく、この工程順により、第二導電型側電極直下の薄膜結晶層のダメージがなく、また第一導電型側電極にもダメージのない発光装置を得ることができる。そして、装置形状はプロセスフローを反映したものとなっている。即ち、発光装置は、第二導電型側電極、絶縁層、第一導電型側電極がこの順番に積層された構造を内在している。つまり、第二導電型側電極は、第二導電型クラッド層（またはその他の第二導電型薄膜結晶層）に絶縁層を介在しないで接しており、第二導電型側電極の上部周辺には絶縁層で覆われた部分があり、第一導電型側電極と第一導電型クラッド層（またはその他の第一導電型薄膜結晶層）の間には、電極周囲部分に絶縁層が介在している部分が存在している。

40

【実施例】**【0178】**

以下に実施例を挙げて本発明の特徴をさらに具体的に説明する。以下の実施例に示す材料、使用量、割合、処理内容、処理手順等は、本発明の趣旨を逸脱しない限り適宜変更す

50

ることができる。したがって、本発明の範囲は以下に示す具体例により限定的に解釈されるべきものではない。また、以下の実施例において参照している図面は、構造を把握しやすくするために敢えて寸法を変えている部分があるが、実際の寸法は以下の文中に記載されるとおりである。

【0179】

(実施例1)

図15に示した半導体発光装置を以下の手順で作製した。関連する工程図として、図4~10を参照する。

【0180】

厚みが430 μm のc+面サファイア基板21を用意し、この上に、まずMOCVD法を用いて、第1のパウファ層22aとして厚み10nmの低温成長したアンドープのGaN層を形成し、この後に第2のパウファ層22bとして厚み4 μm のアンドープGaN層を1040 で形成した。

【0181】

さらに、第一導電型(n型)第二クラッド層24bとしてSiドープ(Si濃度 $1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$)のGaN層を2 μm 厚に形成し、第一導電型(n型)コンタクト層24cとしてSiドープ(Si濃度 $3 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$)のGaN層を0.5 μm 厚に形成し、さらに第一導電型(n型)第一クラッド層24aとしてSiドープ(Si濃度 $1.5 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$)の $\text{Al}_{0.15}\text{Ga}_{0.85}\text{N}$ 層を0.1 μm の厚さに形成した。さらに活性層構造25として、バリア層として850 で13nmの厚さに成膜したアンドープGaN層と、量子井戸層として720 で2nmの厚さに成膜したアンドープ $\text{In}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ 層とを、量子井戸層が全部で5層で両側がバリア層となるように交互に成膜した。さらに成長温度を1025 にして、第二導電型(p型)第一クラッド層26aとしてMgドープ(Mg濃度 $5 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$) $\text{Al}_{0.15}\text{Ga}_{0.85}\text{N}$ 層を0.1 μm の厚さに形成した。さらに連続して、第二導電型(p型)第二クラッド層26bとしてMgドープ(Mg濃度 $5 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$)GaN層を0.07 μm の厚さに形成した。最後に第二導電型(p型)コンタクト層26cとしてMgドープ(Mg濃度 $1 \times 10^{20} \text{cm}^{-3}$)GaN層を0.03 μm の厚さに形成した。

【0182】

この後にMOCVD成長炉の中で徐々に温度を下げて、ウエハーを取り出し、薄膜結晶成長を終了した。

【0183】

薄膜結晶成長が終了したウエハーに対してp側電極を形成するために、フォトリソグラフィ法を用いてp側電極27をリフトオフ法でパターンニングする準備をしてレジストパターンを形成した。ここでp側電極としてNi(20nm厚)/Au(500nm厚)を真空蒸着法によって形成し、アセトン中で不要部分をリフトオフ法によって除去した。次いで、その後熱処理を実施してp側電極を完成させた。ここまでの工程で完成した構造は、概ね図4に対応する。尚、ここまでの工程では、p側電極直下のp側電流注入領域には、プラズマプロセス等のダメージが入るような工程はなかった。

【0184】

次いで、第一エッチング工程を実施するために、エッチング用マスクの形成を実施した。ここでは、p-CVD法を用いて0.4 μm 厚みの SiN_x を基板温度400 で、ウエハー全面に成膜した。ここでp側電極表面にはAuが露出していたため、p-CVDによる SiN_x 成膜プロセスによってもまったく変質しなかった。次に再度フォトリソグラフィ工程を実施して SiN_x マスクをパターンニングし、 SiN_x エッチングマスクを作製した。この際には、 SiN_x 膜の不要部分のエッチングはRIE法を用いて SF_6 プラズマを用いて実施し、後述する第一エッチング工程において薄膜結晶層のエッチングを行わない部分はマスクを残し、かつ予定されている薄膜結晶層のエッチング部分に相当する部分の SiN_x 膜を除去した。

【0185】

10

20

30

40

50

次いで第一エッチング工程として、p - GaNコンタクト層 26c、p - GaN第二クラッド層 26b、p - AlGaIn第一クラッド層 26a、InGaIn量子井戸層とGaNバリア層からなる活性層構造 25、n - AlGaIn第一クラッド層 24aを経てn - GaNコンタクト層 24cの途中まで、Cl₂ガスを用いたICPプラズマエッチングを実施し、n型キャリアの注入部分となるn型コンタクト層 24cを露出させた。

【0186】

ICPプラズマエッチング終了後は、SiN_xマスクをバッファフッ酸を用いてすべて除去した。ここにおいてもp側電極表面にはAuが露出していたため、p - CVDによるSiN_x成膜プロセスによっても、p側電極はまったく変質しなかった。ここまでの工程で完成した構造は、概ね図5に対応する。

10

【0187】

次いで、各発光装置内にある発光ユニット間分離溝 12を形成する第二エッチング工程を実施するために、真空蒸着法を用いて、SrF₂マスクをウエハー全面に形成した。次いで、発光ユニット間分離溝を形成する領域のSrF₂膜を除去し、薄膜結晶層の発光ユニット間分離溝形成用マスク、すなわち、第二エッチング工程用SrF₂マスクを形成した。

【0188】

次いで、第二エッチング工程として、発光ユニット間分離溝に相当する部分の、p - GaNコンタクト層 26c、p - GaN第二クラッド層 26b、p - AlGaIn第一クラッド層 26a、InGaIn量子井戸層とGaNバリア層からなる活性層構造 25、n - AlGaIn第一クラッド層 24a、n - GaNコンタクト層 24c、n - GaN第二クラッド層 24b、アンドープGaNバッファ層 22の一部までの薄膜結晶層を、Cl₂ガスを用いたICPエッチングした。この第二エッチング工程中には、SrF₂マスクはほとんどエッチングされなかった。発光ユニット間分離溝 12の幅は、マスクの幅どおり、10 μmで形成できた。

20

【0189】

第二エッチング工程によって発光ユニット間分離溝 12を形成後は、不要となったSrF₂マスクを除去した。ここにおいてもp側電極表面にはAuが露出していたため、まったく変質しなかった。ここまでの工程で完成した構造は、概ね図6に対応する。

【0190】

次いで、各々の化合物半導体発光装置間の装置間分離溝 13を形成する第三エッチング工程を実施するために、真空蒸着法を用いて、SrF₂マスクをウエハー全面に形成した。次いで、装置間分離溝を形成する領域部分のSrF₂膜を除去し、薄膜結晶層の装置間分離溝形成用マスク、すなわち、第三エッチング工程用SrF₂マスクを形成した。

30

【0191】

次いで、第三エッチング工程として、装置間分離溝に相当する部分の、p - GaNコンタクト層 26c、p - GaN第二クラッド層 26b、p - AlGaIn第一クラッド層 26a、InGaIn量子井戸層とGaNバリア層からなる活性層構造 25、n - AlGaIn第一クラッド層 24a、n - GaNコンタクト層 24c、n - GaN第二クラッド層 24b、アンドープGaNバッファ層 22 (22a、22b)と薄膜結晶層のすべてを、Cl₂ガスを用いたICPエッチングした。当該第三エッチング工程中には、SrF₂マスクはほとんどエッチングされなかった。この工程により、幅50 μmの装置間分離溝を形成した。

40

【0192】

第三エッチング工程によって装置間分離溝 13を形成後は、不要となったSrF₂マスクを除去した。ここにおいてもp側電極 27表面にはAuが露出していたため、まったく変質しなかった。ここまでの工程で完成した構造は、概ね図7に対応する。

【0193】

次いで、ウエハー全面にp - CVD法によってSiO_xとSiN_xをこの順に形成し、誘電体多層膜とした。この際には、SiN_xとSiO_xはそれぞれ素子の発光波長に対し

50

て光学波長として $1/4$ となるような厚みで1層ずつ形成し、発光波長に対して比較的高い反射率を有するようにした。ここまでの工程で完成した構造は、概ね図8に対応する。

【0194】

次いで、Ni-Auからなるp側電極27上へのp側電極露出部分の形成、n側コンタクト層24c上へのn側電流注入領域(36)の形成、装置間分離溝内のアンドープバッファ層の側壁の一部に残存する絶縁層の除去を、同時に実施するために、フォトリソグラフィ技術を用いてレジストマスクを形成した。次いでフッ酸系のエッチャントでレジストマスクを形成しなかった誘電体多層膜(絶縁層)を除去した。さらに、フッ酸によるサイドエッチングの効果によって、アンドープバッファ層の側壁の一部の誘電体多層膜(絶縁層)も除去した。ここでは、p側電極27の周辺は SiO_x と SiN_x からなる絶縁層に $150\mu m$ 覆われているようにした。

10

【0195】

この後に、不要となったレジストマスクは、アセトンで除去し、かつ、RIE法による酸素プラズマでアッシングし除去した。この際にも、p側電極表面にはAuが露出していたため、p-CVDによる SiN_x 成膜プロセスによってもまったく変質しなかった。ここまでの工程で完成した構造は、概ね図9に対応する。

【0196】

次いで、n側電極28を形成するために、フォトリソグラフィ法を用いてn側電極をリフトオフ法でパターンニングする準備をしてレジストパターンを形成した。ここでn側電極として $Ti\ 20nm / Al\ 300nm$ を真空蒸着法でウエハー全面に形成し、アセトン中で不要部分をリフトオフ法によって除去した。次いで、その後熱処理を実施してn側電極を完成させた。n側電極は、その面積がn側電流注入領域よりも大きくなるように、絶縁層にその周辺が $30\mu m$ ほど接するようにし、かつ、p側電極27との重なりを有さないように形成し、金属ハンダによるフリップチップボンディングが容易で、かつ放熱性等にも配慮した。尚、別の製作例では、 $10\mu m$ ほど接するようにして作製し、この実施例と同等の性能の発光素子が得られた。Al電極は、プラズマプロセス等により変質しやすく、かつ、フッ酸等によってもエッチングされるが、素子作製プロセスの最後にn側電極の形成を行ったことから、まったくダメージを受けなかった。ここまでの工程で完成した構造は、概ね図10に対応する。

20

【0197】

次いで、基板剥離を実施する前準備として、支持体40として、表面にNi/Pt/Auの積層構造の金属配線(金属層41)が形成されたSi基板を用意した。この支持体に、発光装置が作りこまれたウエハー(基板21上の薄膜結晶成長層、電極、絶縁層等)全体を、AuSnハンダを用いて接合した。接合時には、支持体40と発光装置が形成されたウエハーを $300^\circ C$ に加熱してp側電極とn側電極が、それぞれ設計された支持体上の金属配線にAuSnハンダで融着されるようにした。この際に、素子の意図しない短絡等は発生しなかった。

30

【0198】

次に、基板剥離を実施するために、エキシマレーザー($248nm$)を、薄膜結晶成長を実施していない基板21面から照射し、基板を剥離した(レーザーディボンディング)。この後に、GaNバッファ層の一部が窒素と金属Gaに分解されることで発生したGa金属をウェットエッチングによって除去した。

40

【0199】

次いで、支持体40に金属ハンダ42で融着されている極薄膜の発光素子のバッファ層側に、アルミナからなる低反射光学膜45をスパッタ法によって形成した。この際には、アルミナは素子の発光波長に対して低反射コーティングとなるように、光学膜厚として発光波長の $1/4$ を成膜した。

【0200】

最後に、1つ1つの発光装置を分割するために、ダイシングソーを用いて、支持体内の素子分離領域部分をカットした。ここで、支持体内素子分離領域には、金属配線等が存在

50

しなかったことから意図しない配線の剥離等は発生しなかった。このようにして、図 1 1 に示す集積型の化合物半導体発光素子を完成させた。

【0201】

(実施例 2)

実施例 1 において、バッファ層 2 2 を成膜した後の薄膜結晶層の成膜を次のように行った以外は実施例 1 を繰り返した。即ち、実施例 1 で、第 2 のバッファ層 2 2 b として厚み $4 \mu\text{m}$ のアンドープ GaN を 1040 で形成した後、さらに、第一導電型 (n 型) 第二クラッド層 2 4 b として Si ドープ (Si 濃度 $5 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$) の GaN 層を $4 \mu\text{m}$ 厚に形成し、第一導電型 (n 型) コンタクト層 2 4 c として Si ドープ (Si 濃度 $8 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$) の GaN 層を $0.5 \mu\text{m}$ 厚に形成し、さらに第一導電型 (n 型) 第一クラッド層 2 4 a として Si ドープ (Si 濃度 $5.0 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$) の $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ 層を $0.1 \mu\text{m}$ の厚さに形成した。さらに活性層構造 2 5 として、バリア層として 850 で 13nm の厚さに成膜したアンドープ GaN 層と、量子井戸層として 720 で 2nm の厚さに成膜したアンドープ $\text{In}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ 層とを、量子井戸層が全部で 8 層で両側がバリア層となるように交互に成膜した。さらに成長温度を 1025 にして、第二導電型 (p 型) 第一クラッド層 2 6 a として Mg ドープ (Mg 濃度 $5 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$) $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ を $0.1 \mu\text{m}$ の厚さに形成した。さらに連続して、第二導電型 (p 型) 第二クラッド層 2 6 b として Mg ドープ (Mg 濃度 $5 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$) GaN を $0.07 \mu\text{m}$ の厚さに形成した。最後に第二導電型 (p 型) コンタクト層 2 6 c として Mg ドープ (Mg 濃度 $1 \times 10^{20} \text{cm}^{-3}$) GaN を $0.03 \mu\text{m}$ の厚さに形成した。その後は、実施例 1 と同様にして、図 1 1 に示す発光装置を完成させた。この際には、素子の意図しない短絡等は発生しなかった。

【0202】

尚、実施例 1、2 のプロセスでは、第一エッチング工程後に SiN_x マスクを除去したが、 SiN_x マスクを除去せずに、第二エッチング工程後に除去してもよいし、さらには第三エッチング工程後に除去することも好ましい。

【0203】

さらに、第三エッチング工程でのエッチングを、バッファ層の途中で止めることで、図 1 4、図 1 6 に示す発光装置を製作することができる (但し、絶縁膜は多層誘電体膜)。また、その際に、予定した形状に適したフォトリソグラフィによって、適切なエッチングマスク形状を準備し、かつ、サイドエッチングを行わなければ、図 1 3、図 1 5 に示す発光装置が得られる。

【0204】

(実施例 3)

図 1 2 に示す半導体発光装置を以下の手順で作製した。

【0205】

厚みが $430 \mu\text{m}$ の c+ 面サファイア基板 2 1 を用意し、この上に、まず MOCVD 法を用いて、第 1 のバッファ層 2 2 a として厚み 10nm の低温成長したアンドープの GaN 層を形成し、この後に第 2 のバッファ層 2 2 b として厚み $3.5 \mu\text{m}$ のアンドープ GaN 層を 1040 で形成した。

【0206】

次いで、第一導電型 (n 型) 第二クラッド層 2 4 b として Si ドープ (Si 濃度 $1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$) の GaN 層を $2 \mu\text{m}$ 厚に形成し、第一導電型 (n 型) コンタクト層 2 4 c として Si ドープ (Si 濃度 $2 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$) の GaN 層を $0.5 \mu\text{m}$ 厚に形成し、さらに第一導電型 (n 型) 第一クラッド層 2 4 a として Si ドープ (Si 濃度 $1.5 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$) の $\text{Al}_{0.15}\text{Ga}_{0.85}\text{N}$ 層を $0.1 \mu\text{m}$ の厚さに形成した。

【0207】

さらに活性層構造 2 5 として、バリア層として 850 で 13nm に成膜したアンドープ GaN 層と、量子井戸層として 715 で 2nm に成膜したアンドープ $\text{In}_{0.13}\text{Ga}_{0.87}\text{N}$ 層を、量子井戸層が全部で 3 層で両側がバリア層となるように交互に成膜し

た。

【0208】

さらに成長温度を1025にして、第二導電型(p型)第一クラッド層26aとしてMgドープ(Mg濃度 $5 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$)Al_{0.15}Ga_{0.85}N層を0.1μmの厚さに形成した。さらに連続して、第二導電型(p型)第二クラッド層26bとしてMgドープ(Mg濃度 $5 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$)GaN層を0.05μmの厚さに形成した。最後に第二導電型(p型)コンタクト層26cとしてMgドープ(Mg濃度 $1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$)GaN層を0.02μmの厚さに形成した。

【0209】

この後にMOCVD成長炉の中で徐々に温度を下げて、ウエハーを取り出し、薄膜結晶成長を終了した。 10

【0210】

薄膜結晶成長が終了したウエハーに対してp側電極27を形成するために、フォトリソグラフィ法を用いてp側電極をリフトオフ法でパターンニングする準備をしてレジストパターンを形成した。ここでp側電極としてPd(20nm厚)/Au(1000nm厚)を真空蒸着法によって形成し、アセトン中で不要部分をリフトオフ法によって除去した。次いで、その後熱処理を実施してp側電極27を完成させた。尚、ここまでの工程では、p側電極直下のp側電流注入領域には、プラズマプロセス等のダメージが入るような工程はなかった。

【0211】

次いで、発光ユニット間分離溝を形成する第二エッチング工程と、装置間分離溝を形成する第三エッチング工程を同時に実施するために、真空蒸着法を用いて、SrF₂マスクをウエハー全面に形成した。次いで、発光ユニット間分離溝の形成領域と装置間分離溝の形成領域にあるSrF₂膜を除去し、薄膜結晶層の分離エッチングマスク、すなわち、第二エッチング工程と第三エッチング工程を同時に実施するためのエッチングマスクを形成した。 20

【0212】

次いで、同時に実施する第二、第三エッチング工程として、発光ユニット間分離溝と装置間分離溝に相当する部分の、p-GaNコンタクト層26c、p-GaN第二クラッド層26b、p-AlGa_{0.15}N第一クラッド層26a、InGa_{0.15}N量子井戸層とGaNバリア層からなる活性層構造25、n-AlGa_{0.15}N第一クラッド層24a、n-GaNコンタクト層24c、n-GaN第二クラッド層24b、アンドープGaNバッファ層22の一部までの薄膜結晶層を、Cl₂ガスを用いたICPEッチングした。第二・第三同時エッチング工程中には、SrF₂マスクはほとんどエッチングされなかった。また、発光ユニット間分離溝12は、マスクの幅のとおり6μmで形成できた。 30

【0213】

第二・第三エッチング工程を同時に実施し、発光ユニット間分離溝と装置間分離溝を形成後は、不要となったSrF₂マスクを除去した。ここにおいてもp側電極表面にはAuが露出していたためまったく変質しなかった。

【0214】

次に、第一導電型側電極を形成する前準備として第一導電型コンタクト層を露出させる第一エッチング工程を実施するために、エッチング用マスクの形成を実施した。ここでは、真空蒸着法を用いてSrF₂をウエハー全面に製膜した。次に再度フォトリソグラフィ工程を実施してSrF₂マスクをパターンニングし、第一エッチング用のマスクを作製した。 40

【0215】

次いで第一エッチング工程として、p-GaNコンタクト層26c、p-GaN第二クラッド層26b、p-AlGa_{0.15}N第一クラッド層26a、InGa_{0.15}N量子井戸層とGaNバリア層からなる活性層構造25、n-AlGa_{0.15}N第一クラッド層24aを経てn-GaNコンタクト層24cの途中まで、Cl₂ガスを用いたICPプラズマエッチングを実施 50

し、n型キャリアの注入部分となるn型コンタクト層を露出させた。

【0216】

ICPプラズマエッチング終了後は、 SrF_2 マスクをすべて除去した。ここにおいてもp側電極表面にはAuが露出していたため、これらのプロセスによってもまったく変質しなかった。

【0217】

次いで、ウエハー全面にp-CVD法によって絶縁層30として SiN_x を125nm厚だけウエハー全面に形成した。次いで、Pd-Auからなるp側電極27の上にp側電極露出部分を形成し、n側コンタクト層上にはn側電流注入領域を形成し、さらに、装置間分離溝に存在する絶縁層の一部の除去を、同時に実施するために、フォトリソグラフィ技術を用いてレジストマスクを形成し、次いで SF_6 ガスのRIEプラズマを用いてレジストマスクを形成しなかった部分、すなわち、p側電極露出部分の形成と、n側コンタクト層24c上のn側電流注入領域の形成と、さらに、装置間分離溝に存在する絶縁層の一部の除去を実施した。ここでは、p側電極の周辺は SiN_x 絶縁層に覆われているようにした。また、n側電流注入領域を除いて薄膜結晶層の側壁なども絶縁層に覆われているようにした。また、例えば実施例1、2で説明したように、予定した形状に適したフォトリソグラフィによって、適切なエッチングマスク形状を準備し、かつ、絶縁層のサイドエッチングを進めることで図14の形状(図12は、この形状を示した。)の形成も、あるいは、予定した形状に適したフォトリソグラフィによって、適切なエッチングマスク形状を準備し、かつ、絶縁層のサイドエッチングを進めないことで図13の形状も可能である。

【0218】

この後に、不要となったレジストマスクは、アセトンで除去し、かつ、RIE法による酸素プラズマでアッシングし除去した。この際にも、p側電極表面にはAuが露出していたため、pまったく変質しなかった。

【0219】

次いで、n側電極28を形成するために、フォトリソグラフィ法を用いてn側電極をリフトオフ法でパターニングする準備をしてレジストパターンを形成した。ここでn側電極としてTi(20nm厚)/Al(1500nm厚)を真空蒸着法でウエハー全面に形成し、アセトン中で不要部分をリフトオフ法によって除去した。次いで、その後熱処理を実施してn側電極を完成させた。n側電極は、その面積がn側電流注入領域よりも大きく、かつ、p側電極との重なりを有さないように形成し、金属ハンダによるフリップチップボンディングが容易で、かつ放熱性等にも配慮した。Al電極は、プラズマプロセス等により変質しやすく、かつ、フッ酸等によってもエッチングされるが、素子作製プロセスの最後にn側電極の形成を行ったことから、まったくダメージを受けなかった。

【0220】

次いで、基板剥離を実施する前準備として、支持体40として、表面にTi/Pt/Auの積層構造の金属配線(金属層41)が形成されたAlN基板を用意した。この支持体に、発光装置が作りこまれたウエハー(基板21上の薄膜結晶成長層、電極、絶縁層等)全体を、AuSnハンダを用いて接合した。接合時には、支持体40と発光装置が形成されたウエハーを300に加熱してp側電極とn側電極が、それぞれ設計された支持体上の金属配線にAuSnハンダで融着されるようにした。この際に、この際には、素子の意図しない短絡等は発生しなかった。

【0221】

次に、基板剥離を実施するために、エキシマレーザ(248nm)を、薄膜結晶成長を実施していない基板21面から照射し、基板を剥離した(レーザディボンディング)。この後に、GaNバッファ層の一部が窒素と金属Gaに分解されることで発生したGa金属をウェットエッチングによって除去した。

【0222】

最後に、1つ1つの発光装置を分割するために、ダイシングソーを用いて、支持体内の

素子分離領域部分を、装置間分離溝底部のバッファ層と共にカットした。ここで、支持体内素子分離領域には、金属配線等が存在しなかったことから意図しない配線の剥離等は発生しなかった。このようにして、図 1 1 に示す集積型の化合物半導体発光素子を完成させた。

【図面の簡単な説明】

【0223】

【図 1】本発明の発光装置の 1 例を示す図である。

【図 2】本発明の発光装置の 1 例の完成前の構造を示す図である。

【図 3】活性層構造を模式的に示す図である。

【図 4】本発明の製造方法の 1 実施形態を説明する工程断面図である。 10

【図 5】本発明の製造方法の 1 実施形態を説明する工程断面図である。

【図 6】本発明の製造方法の 1 実施形態を説明する工程断面図である。

【図 7】本発明の製造方法の 1 実施形態を説明する工程断面図である。

【図 8】本発明の製造方法の 1 実施形態を説明する工程断面図である。

【図 9】本発明の製造方法の 1 実施形態を説明する工程断面図である。

【図 10】本発明の製造方法の 1 実施形態を説明する工程断面図である。

【図 11】実施例 1 で製造した発光装置を示す図である。

【図 12】実施例 2 で製造した発光装置を示す図である。

【図 13】本発明の発光装置の 1 例を示す図である。

【図 14】本発明の発光装置の 1 例を示す図である。 20

【図 15】本発明の発光装置の 1 例を示す図である。

【図 16】本発明の発光装置の 1 例を示す図である。

【図 17】本発明の製造方法の 1 実施形態を説明する工程断面図である。

【符号の説明】

【0224】

10 発光装置

11 発光ユニット

12 発光ユニット間分離溝

13 装置間分離溝

15 絶縁層非形成部分 30

21 基板

22 バッファ層

22 a 第 1 のバッファ層

22 b 第 2 のバッファ層

24 第一導電型クラッド層

24 a 第一導電型第一クラッド層

24 b 第一導電型第二クラッド層

24 c 第一導電型 (n 型) コンタクト層

25 活性層構造

26 第二導電型クラッド層 40

26 a 第二導電型第一クラッド層

26 b 第二導電型第二クラッド層

26 c 第二導電型 (p 型) コンタクト層

27 第二導電型側電極

28 第一導電型側電極

30 絶縁層

35 第二電流注入領域

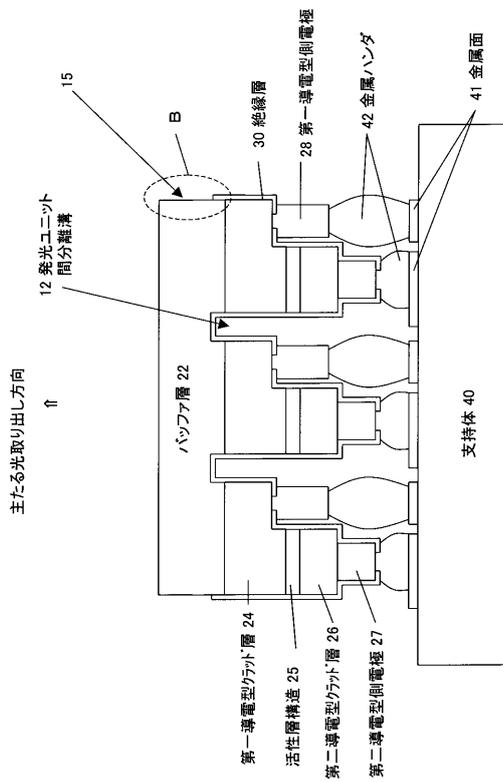
36 第一電流注入領域

37 第二導電型側電極露出部分

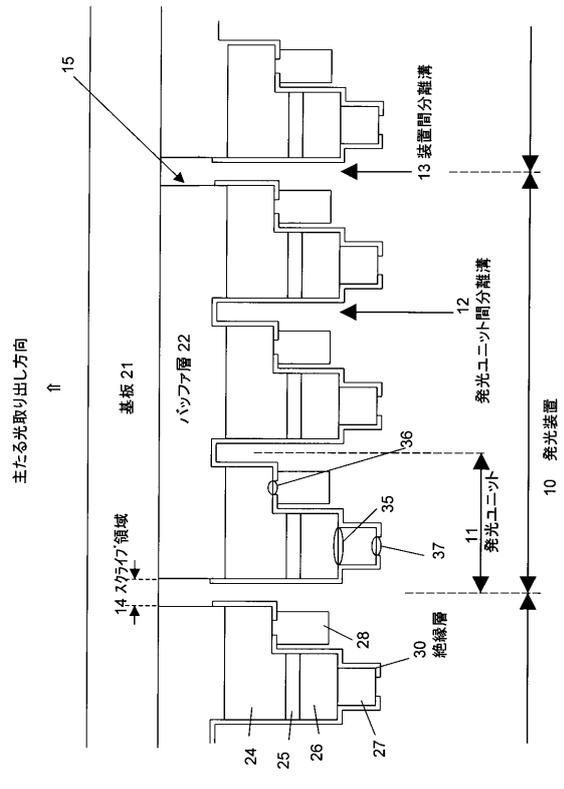
40 支持体 50

- 4 1 金属面
- 4 2 金属ハンダ
- 4 5 低反射光学膜
- 5 1 第一エッチングマスク (SiNx 等)
- 5 2 第二および/または第三エッチングマスク (金属フッ化物マスク)

【 図 1 】



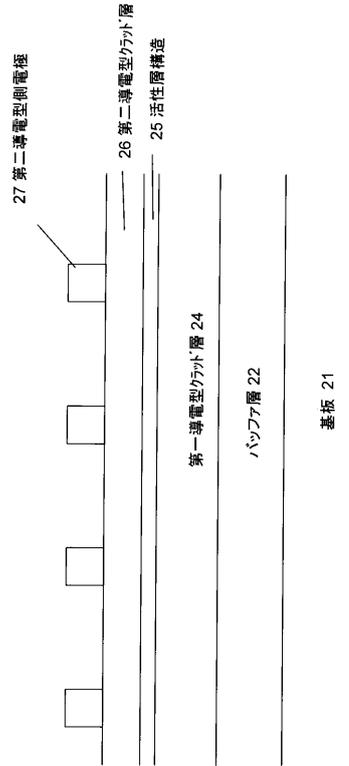
【 図 2 】



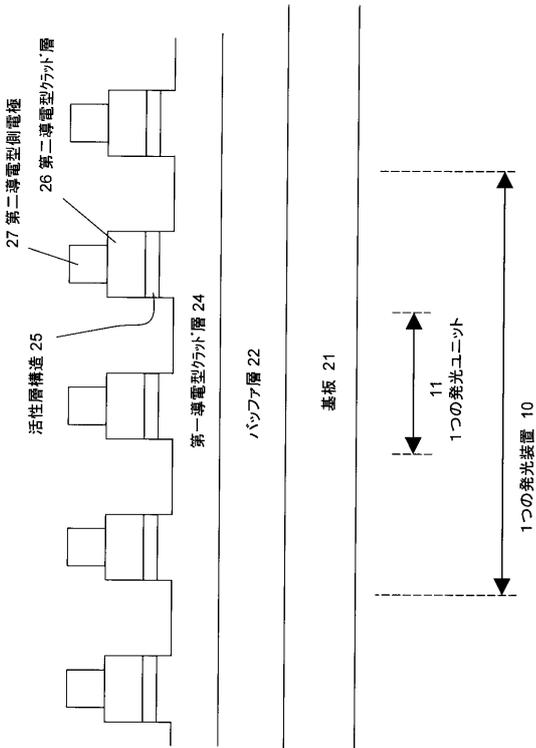
【 図 3 】



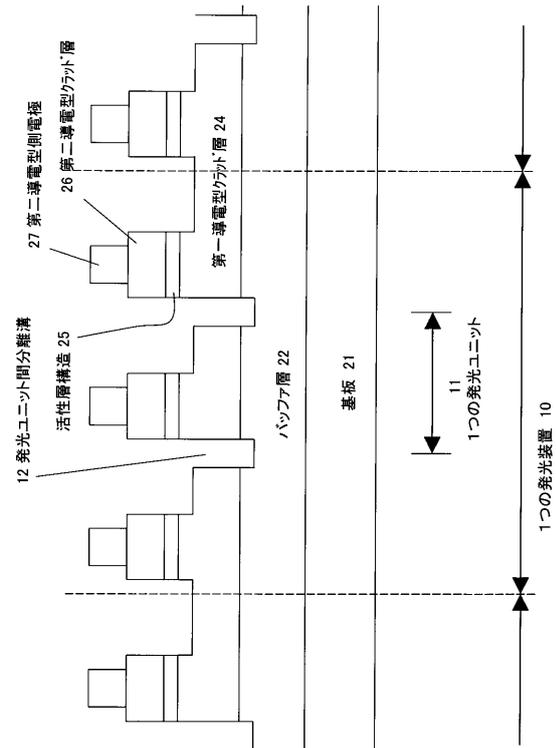
【 図 4 】



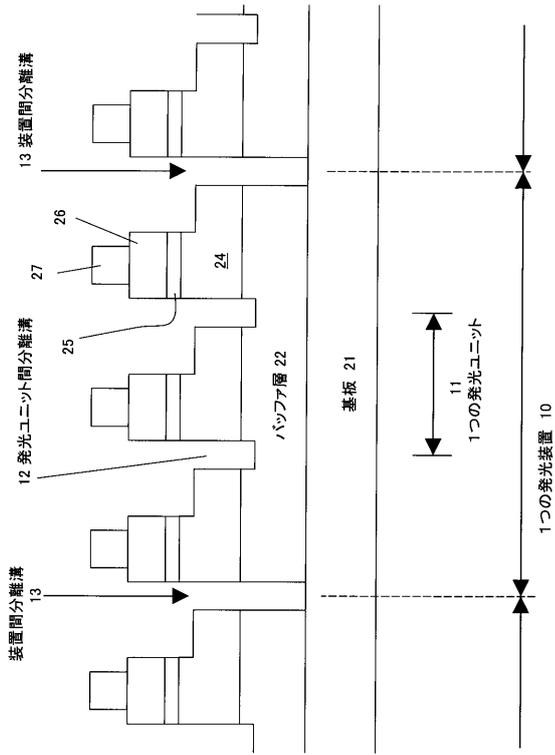
【 図 5 】



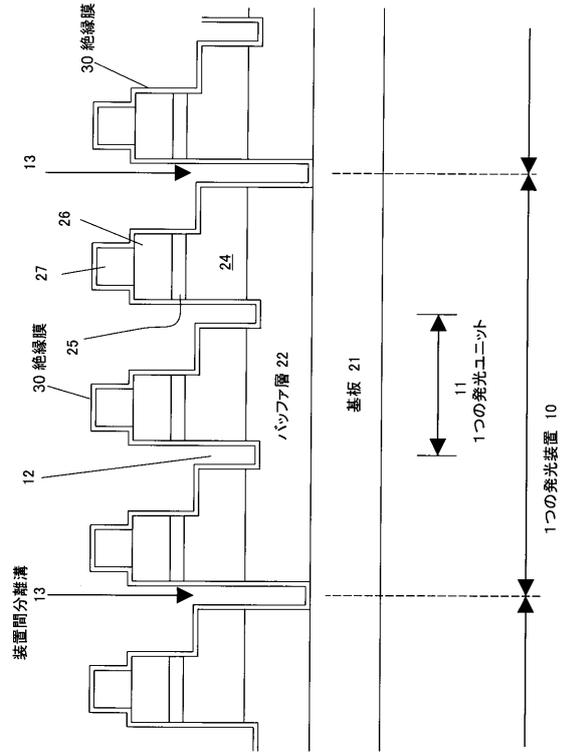
【 図 6 】



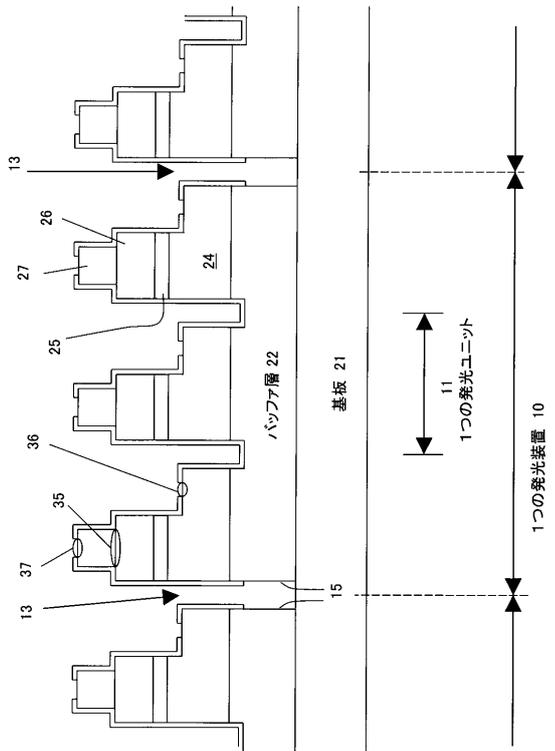
【 図 7 】



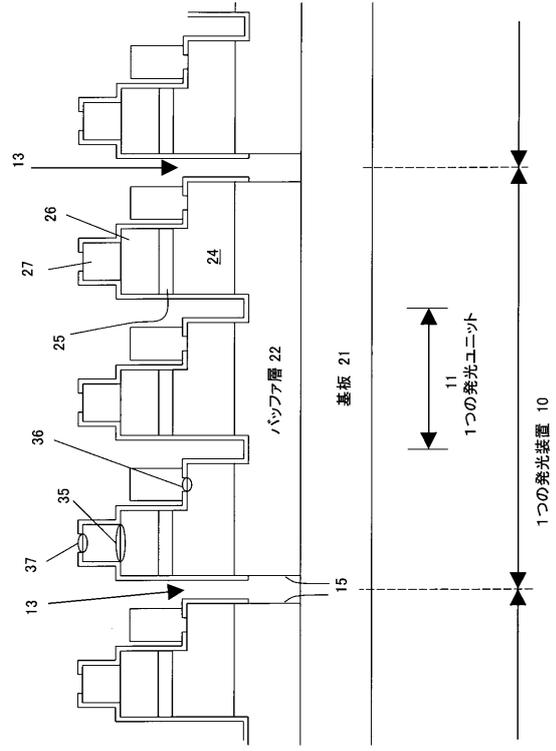
【 図 8 】



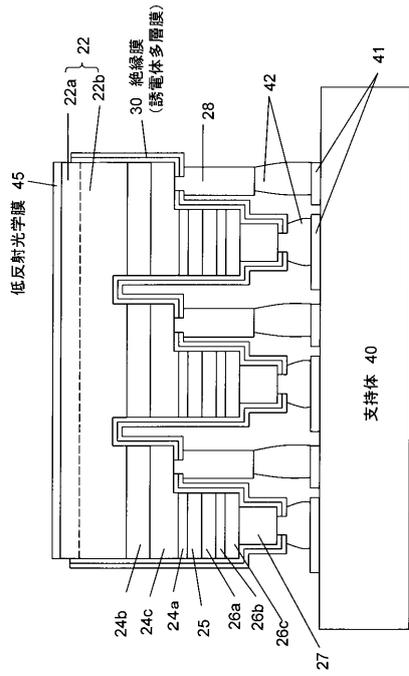
【 図 9 】



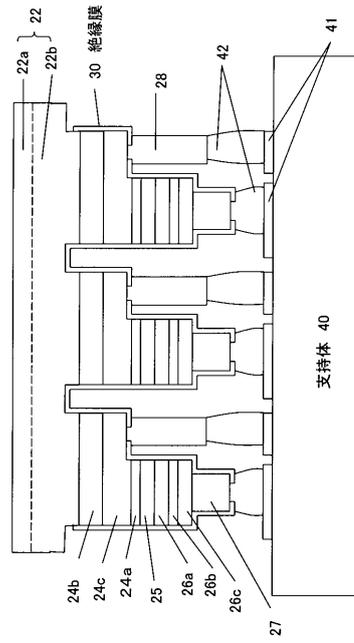
【 図 10 】



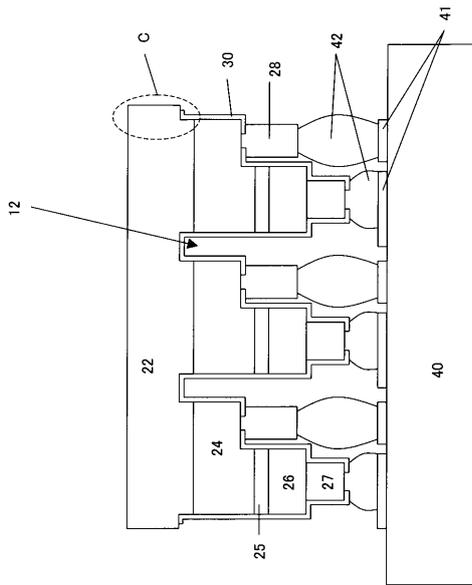
【 図 1 1 】



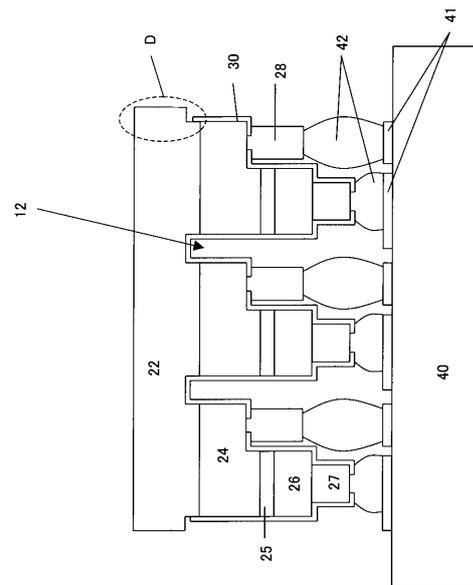
【 図 1 2 】



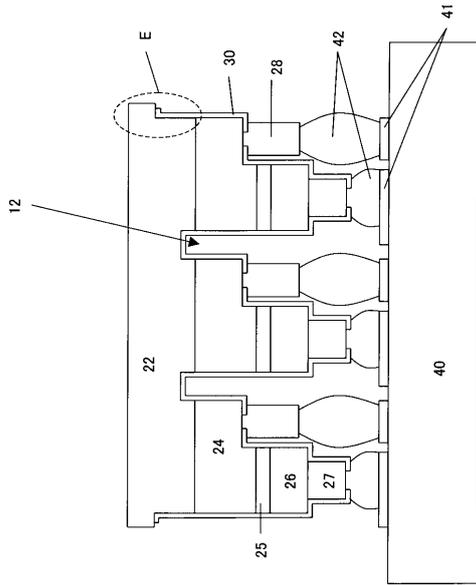
【 図 1 3 】



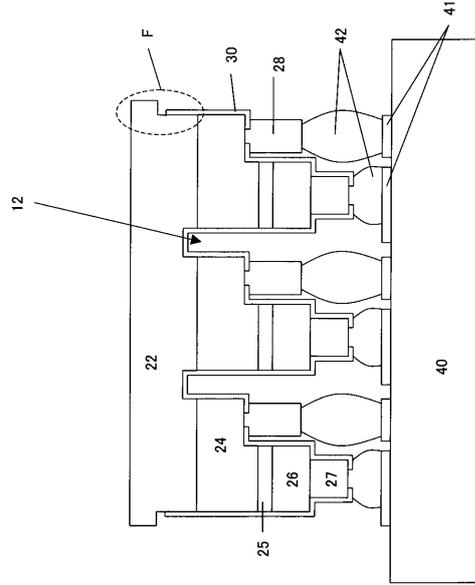
【 図 1 4 】



【 図 1 5 】



【 図 1 6 】



【 図 1 7 】

