

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関  
国際事務局

(43) 国際公開日  
2016年9月15日(15.09.2016)



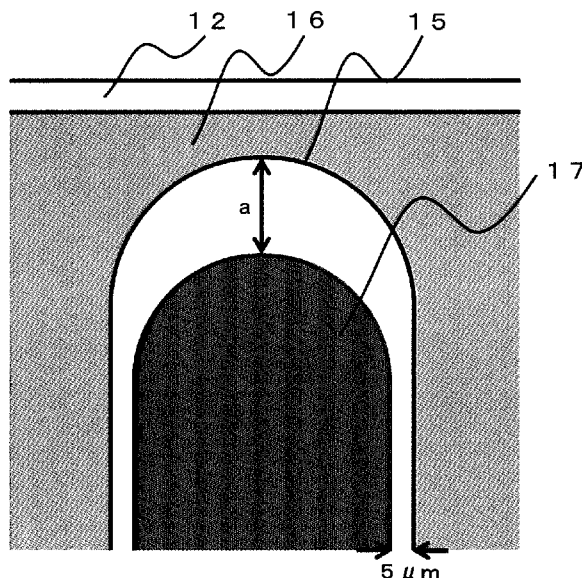
(10) 国際公開番号  
**WO 2016/143574 A1**

- (51) 国際特許分類:  
H01L 33/38 (2010.01) H01L 33/32 (2010.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2016/055992
- (22) 国際出願日: 2016年2月29日(29.02.2016)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:  
特願 2015-044744 2015年3月6日(06.03.2015) JP
- (71) 出願人: 株式会社トクヤマ(TOKUYAMA CORPORATION) [JP/JP]; 〒7458648 山口県周南市御影町1番1号 Yamaguchi (JP).
- (72) 発明者: 小幡 俊之(OBATA, Toshiyuki); 〒7458648 山口県周南市御影町1番1号 株式会社トクヤマ内 Yamaguchi (JP). 佐藤 伴光(SATOU, Tomoaki); 〒7458648 山口県周南市御影町1番1号 株式会社トクヤマ内 Yamaguchi (JP).
- (74) 代理人: 前田・鈴木国際特許業務法人(MAEDA & SUZUKI); 〒1010003 東京都千代田区一ツ橋2丁目5番5号 岩波書店一ツ橋ビル8階 Tokyo (JP).
- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, 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, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ユーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).
- 添付公開書類:  
— 国際調査報告 (条約第21条(3))

(54) Title: GROUP III NITRIDE SEMICONDUCTOR LIGHT EMITTING ELEMENT AND WAFER CONTAINING ELEMENT STRUCTURE

(54) 発明の名称: III族窒化物半導体発光素子および該素子構成を含むウエハ

[図5]



(57) Abstract: [Problem] To provide a technique whereby the current flowing between a p-electrode and an n-electrode is prevented from being concentrated in a region near the end part of a mesa structure, without increasing the number of steps in the production of a light emitting element, and without increasing the operating voltage excessively. [Solution] The invention is a group III nitride semiconductor light emitting element comprising an active layer between an n-type layer and a p-type layer, having an n-electrode on the n-type layer and a p-electrode on the p-type layer, and having a mesa structure containing the p-type layer. In a top view of the group III nitride semiconductor light emitting element, the distance between a portion of an end part of the mesa structure and the periphery of the p-electrode is 1/3 or more of a diffusion length  $L_s$ .

(57) 要約: 【課題】 発光素子の製造における工程数を増加することなく、また、動作電圧を過度に増大させることなく、p電極とn電極との間に流れる電流がメサ端付近

の領域に集中するのを抑制する技術を提供する。【解決手段】 n型層とp型層との間に活性層を含み、前記n型層上にn電極、前記p型層上にp電極を有し、p型層を含むメサ構造を有するIII族窒化物半導体発光素子であって、前記III族窒化物半導体発光素子の上面視において、メサ端の一部と前記p電極の外周との距離が拡散長 $L_s$ の1/3以上であるIII族窒化物半導体発光素子。

## 明 細 書

発明の名称：

ⅢⅢⅢ族窒化物半導体発光素子および該素子構成を含むウエハ

### 技術分野

[0001] 本発明は、紫外線の発光ピーク波長を有するⅢⅢⅢ族窒化物半導体発光素子に関する。特に、発光素子のメサ構造端部における電流集中に起因する素子の劣化を防止する技術に関する。また、本発明は該発光素子構成を含むウエハに関する。

### 背景技術

[0002] 図 7 A、図 7 B にⅢⅢⅢ族窒化物半導体発光素子 2 0 の典型的模式構造を示す。図 7 A は、素子の上面図であり、図 7 B は図 7 A の A - A 線断面図を示す。ⅢⅢⅢ族窒化物半導体発光素子 2 0 は、基板 1 1 の一表面側に n 型層 1 2、活性層 1 3 および p 型層 1 4 を含む積層体（以下、「積層半導体層」と記載することがある）が形成され、その積層半導体層の一部にメサ構造 1 5 を形成したものが知られている。メサ構造 1 5 は、基板 1 1 の一表面側に n 型層 1 2、活性層 1 3 および p 型層 1 4 を含む積層半導体層を形成した後に、エッチング等により積層構造の一部を除去し、n 型層 1 2 の一部を露出させて形成される。活性層 1 3 および p 型層 1 4 を含む台地状の部分（メサとも呼ばれる）を残存させることによりメサ構造 1 5 が形成される（特許文献 1 参照）。露出した n 型層 1 2 表面には n 電極 1 6 が形成され、p 型層 1 4 表面には p 電極 1 7 が形成される。

[0003] メサ構造 1 5 を有するⅢⅢⅢ族窒化物半導体発光素子 2 0 において、p 型層上の p 電極 1 7 および n 型層上の n 電極 1 6 に動作電圧を印加すると、電流は p 電極と n 電極との間で抵抗の低い経路（通常は最短経路）を流れようとするため、電流は n 電極および p 電極に近接するメサ構造 1 5 の端部（以下、「メサ端」と記載することがある）付近の領域に集中して流れる。この結果、電流が活性層 1 3 に均一に流れずに発光ムラが生じる。また、電流がメサ

端に集中するため、メサ端近傍で局所的に発熱する。この結果、発光素子の劣化が進行しやすくなり、発光効率の低下、動作電圧の増加、信頼性の低下などを招く。

[0004] 特許文献2には、p型層もしくはp電極よりも高抵抗の高抵抗層が、p型層の表面においてn電極に近い側でp型層側の形状に沿った形状に形成された紫外半導体発光素子が開示されている。特許文献2のように、メサ端に近いp型層上に高抵抗層を形成すると、メサ端付近の領域に電流が集中するのを抑制できる。しかし、高抵抗層の存在により、p電極と半導体層との間の抵抗が大きくなって、動作電圧が増大するという問題が生じる。

[0005] 特許文献3には、p電極とn電極との間にトレンチが形成された半導体発光素子が開示されている。トレンチを形成することにより、p電極とn電極との間に流れる電流経路の長さのバラツキを減少させ、特定の部分に電流が集中するのを抑制する。しかし、電流経路の長さのバラツキを十分に小さくするには、トレンチの深さを大きくする必要がある。トレンチの深さを大きくすると、電流経路が全体的に長くなり、抵抗が大きくなって、動作電圧が増大するという問題を生じる。

[0006] さらに、近年のデバイス設計の多様化により、様々な形状、構成の発光素子が提案され、メサ構造、電極形状のデザインも多様化している。上記のような高抵抗層の形成、トレンチの形成などの技術は、発光素子の製造における工程数の増加を招くため、多様化したメサ構造、電極形状に迅速に対応することが困難になっている。

[0007] そして、特に、発光ピーク波長が200～350nmである深紫外の発光素子は、発光素子自体の製造が難しく、歩留まりが低下しやすい。さらに、通電した際に電流がメサ端付近の領域に集中するため、その部分は発熱等により劣化が進行し品質不良を生じやすい。そのため、電流がメサ端付近の領域に集中することによる劣化を抑制できる発光素子の開発が望まれていた。

**先行技術文献**

**特許文献**

[0008] 特許文献1：特開2014-96539号公報

特許文献2：特開2014-96460号公報

特許文献3：特開2007-134700号公報

## 発明の概要

### 発明が解決しようとする課題

[0009] 本発明は、発光素子の製造における工程数を増加することなく、また、動作電圧を過度に増大させることなく、p電極とn電極との間に流れる電流がメサ端付近の領域に集中することによる発光素子の劣化を抑制する技術を提供することを目的としている。

### 課題を解決するための手段

[0010] 本発明者等は、p電極の構造を調整することにより、上記課題が解決できるのではないかと考え、鋭意検討した。そして、メサ構造の一部、特に、メサ構造の突出した部分において、メサ構造の端部から一定の距離以上離してp電極を形成することにより、上記課題を解決できることを見出し、本発明を完成するに至った。

[0011] すなわち、第1の発明は、n型層とp型層との間に活性層を含み、前記n型層上にn電極、前記p型層上にp電極を有し、p型層を含むメサ構造を有するIII族窒化物半導体発光素子であって、前記III族窒化物半導体発光素子の上面視において、メサ端の一部と前記p電極の外周との距離が拡散長 $L_s$ の $1/3$ 以上である、または、前記III族窒化物半導体発光素子の上面視において、メサ端の一部と前記p電極の外周との距離が $12\mu\text{m}$ 以上であるIII族窒化物半導体発光素子である。現在の発光素子の製造技術であれば、メサ端の一部とp電極の外周との距離が $12\mu\text{m}$ 以上の距離を有していれば、十分に本発明の目的を達成することができる。

[0012] 第2の発明は、第1の発明において、メサ端の突部と前記p電極の外周との距離が拡散長 $L_s$ の $1/3$ 以上であるIII族窒化物半導体発光素子である。メサ端の突部におけるp電極部に電流が集中し易いため、メサ端の突部と前記p電極の外周との距離を上記範囲とすることが好ましい。

[0013] 第3の発明は、第1の発明において、メサ端の突部と前記p電極の外周との距離が $12\mu\text{m}$ 以上であるIII族窒化物半導体発光素子である。

[0014] 第4の発明は、第1～3の発明において、発光ピーク波長が $200\sim350\text{nm}$ のIII族窒化物半導体発光素子である。発光ピーク波長が $200\sim350\text{nm}$ のIII族窒化物半導体発光素子は、その製造自体が難しく、歩留まりの向上が強く望まれており、本発明が適している。

[0015] さらに、第5の発明は、n型層とp型層との間に活性層を含み、前記n型層上にn電極、前記p型層上にp電極を有するIII族窒化物半導体発光素子の構成を含むウエハであって、前記III族窒化物半導体発光素子の構成が前記第1～4の発明の構成であるウエハである。

### 発明の効果

[0016] 本発明では、III族窒化物半導体発光素子を上面視から見た場合に、メサ端の一部と前記p電極の外周との距離が所定値以上として、メサ構造の端部近傍にp電極制限領域を設ける。p電極制限領域では、この領域以外のメサ部と比べて、p電極の形成割合が低く制限されている。p電極制限領域を設けることで、素子の動作電圧を過度に増大させることなく、p電極とn電極との間に流れる電流がメサ端付近の領域に集中するのを抑制する。その結果、メサ構造における局所的な劣化が生じにくく、また、電流が活性層に均一に流れやすくなることで発光ムラの生じにくい、III族窒化物半導体発光素子が得られる。

[0017] その結果、通電した際にメサ端近傍の電流集中による品質不良の発生を低減することができ、発光素子の歩留まりを向上することができる。

特に、 $200\sim350\text{nm}$ に発光ピーク波長を有する紫外発光素子は、 $350\text{nm}$ を超える発光ピーク波長の発光素子、例えば、可視光領域の発光素子よりも、各層の組成の影響により製造が難しく、歩留まりが低下する傾向にある。本発明は、メサ構造における局所的な劣化を原因とする歩留まりの低下を抑制できるため、 $200\sim350\text{nm}$ に発光ピーク波長を有する紫外発光素子に適している。

## 図面の簡単な説明

- [0018] [図1A]上面視から見たIII族窒化物半導体発光素子の例を示す。
- [図1B]上面視から見たIII族窒化物半導体発光素子の例を示す。
- [図1C]上面視から見たIII族窒化物半導体発光素子の例を示す。
- [図1D]上面視から見たIII族窒化物半導体発光素子の例を示す。
- [図1E]上面視から見たIII族窒化物半導体発光素子の例を示す。
- [図1F]上面視から見たIII族窒化物半導体発光素子の例を示す。
- [図1G]上面視から見たIII族窒化物半導体発光素子の例を示す。
- [図2]定義円を用いた「メサ端の突部」の判定方法手法を示す。
- [図3]様々なメサ端の形状を示す。
- [図4A] p 電極制限領域を決定する手法を示す。
- [図4B] p 電極制限領域を決定する手法を示す。
- [図5]実施例における素子のメサ端と p 電極との位置関係を示す。
- [図6A]メサ端と p 電極との位置関係の例を示す。
- [図6B]メサ端と p 電極との位置関係の例を示す。
- [図7A]上面視から見た典型的III族窒化物半導体発光素子の例を示す。
- [図7B]典型的III族窒化物半導体発光素子の断面図を示す。

## 発明を実施するための形態

- [0019] 以下、本発明の実施の形態について適宜図面を参照して説明する。ただし、以下に説明する発光素子は、本発明の技術思想を具体化した一例であって、本発明を限定しない。たとえば、以下に記載されている構成要素の寸法、材質、形状、その相対的配置等は特定の記載がない限りは、本発明の範囲をそのみに限定する趣旨ではなく、単なる説明例にすぎない。なお、各図面が示す部材の大きさや位置関係等は、説明を明確にするため誇張していることがある。
- [0020] 本発明のIII族窒化物半導体発光素子が放出する光の発光領域は、特に制限されるものではない。本発明によれば、発光領域に関係なく、メサ構造における局所的な電流集中による劣化を原因とする出力低下を抑制し、歩留ま

りを向上することができる。好ましくは、本発明は、可視光領域、又は紫外領域に発光ピーク波長を有するIII族窒化物半導体発光素子に適用される。より好ましくは、本発明は、発光ピーク波長200～350nmの紫外線を放出するIII族窒化物半導体発光素子に適用される。以下、発光ピーク波長が200～350nmのIII族窒化物半導体発光素子を中心に説明する。

[0021] 典型的なIII族窒化物半導体発光素子20は、図7Aおよび図7Bに示したように、基板11と、n型層12、活性層13およびp型層14を含むメサ構造15（積層半導体層）と、n電極16およびp電極17とを含む。以下に、これらについて非限定的な典型例を説明する。

[0022] なお、屈折率、透過率および反射率は、波長265nmの光を基準とした。これは、DNAが波長265nm付近で極大吸収を持つことから波長265nmの光は殺菌に最も適しており、産業上の利用価値が高いと考えられるからである。以下、単に、屈折率、透過率、および反射率とした場合には、波長265nmの光に対する値である。

[0023] <基板>

基板11は、III族窒化物半導体結晶を表面にエピタキシャル成長でき、紫外線を透過する基板であれば特に限定されるものではない。基板11に用いられる材料としては、例えば、サファイア、SiC（炭化ケイ素）、AlN（窒化アルミニウム）、Si（シリコン）などが挙げられる。中でもc面を主面とするAlN単結晶基板が好ましい。

[0024] 基板11の波長265nmの光に対する透過率は、高ければ高いほど良く、好ましくは50%以上であり、より好ましくは60%以上である。基板11の透過率の上限は、好ましくは100%であるが、工業的な生産を考慮すると上限は80%である。透光性基板の透過率は、材質、基板の厚み、結晶性、不純物含有量によって調整できる。

[0025] 基板11の厚みは、特に制限されるものではないが、好ましくは30～150μmであり、より好ましくは50～100μmである。基板11の厚みを上記範囲とすることにより、透過率が向上し、かつ生産性が向上する。基

板 1 1 の厚みは、III族窒化物半導体発光素子の製造後に上記範囲を満たせばよく、基板上に後述する積層半導体層または電極を積層後に該基板の下面を研削または研磨することにより、基板の厚みが上記範囲となるようにしてもよい。

[0026] <積層半導体層>

積層半導体層（図 7 におけるメサ構造 1 5 を含む素子の主要部）は、図 7 B に示すように基板 1 1 上に形成され、n 型層 1 2、活性層 1 3 ならびに p 型層 1 4（p 型クラッド層および p 型コンタクト層からなる層）がこの順で積層されてなる。各層について以下に非限定的例を説明する。

[0027] <n 型層>

n 型層 1 2 は、 $Al_xIn_yGa_zN$ （ $x$ 、 $y$ 、 $z$  は、 $0 < x \leq 1$ 、 $0 \leq y \leq 0.1$ 、 $0 \leq z < 1$ 、 $0$  を満たす有理数とし、 $x + y + z = 1$ 、 $0$  である）で構成される III 族窒化物半導体であり、好ましくは不純物を含む。

[0028] 不純物としては、特に限定されるものではないが、例えば Si、Ge、Sn などが挙げられる。中でも Si、Ge が好ましい。不純物の濃度は  $1.0 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$  以上  $5.0 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$  以下、好ましくは  $1.0 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$  以上  $5.0 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$  以下である。不純物の濃度を上記範囲とすることで、n 型層の結晶性およびコンタクト特性が向上する。このような n 型層は、MOCVD 法により製造できる。

[0029] n 型層の屈折率は、特に制限されるものではないが、 $1.5 \sim 3.0$  である。屈折率は、n 型層の組成等により調整すればよい。

[0030] n 型層の厚みは、 $100 \text{ nm}$  以上  $10000 \text{ nm}$  以下であり、好ましくは  $500 \text{ nm}$  以上  $3000 \text{ nm}$  以下である。n 型層の厚みを上記範囲とすることで、n 型層の結晶性および導電性が向上する。

[0031] なお、図 7 には図示していないが、III族窒化物半導体発光素子 2 0 は、基板 1 1 と n 型層 1 2 との間に、AlN、または上記 n 型層と同じ、または類似した組成の III 族窒化物半導体を含むバッファ層を有していてもよい。

[0032] <活性層>

活性層13は、 $\text{Al}_x\text{In}_y\text{Ga}_z\text{N}$  ( $x$ 、 $y$ 、 $z$ は、 $0 < x \leq 1$ 、 $0 \leq y \leq 0.1$ 、 $0 \leq z < 1$ 、 $0$ を満たす有理数とし、 $x + y + z = 1$ 、 $0$ である)で構成される井戸層と、前記井戸層よりもバンドギャップエネルギーの大きい $\text{Al}_x\text{In}_y\text{Ga}_z\text{N}$  ( $x$ 、 $y$ 、 $z$ は、 $0 < x \leq 1$ 、 $0 \leq y \leq 0.1$ 、 $0 \leq z < 1$ 、 $0$ を満たす有理数とし、 $x + y + z = 1$ 、 $0$ である)で構成される障壁層との積層構造からなる。活性層は、多重量子井戸構造であっても単一量子井戸構造であってもよい。

[0033] 井戸層の厚みは1 nm以上、好ましくは2 nm以上であり、上限は100 nmである。障壁層の厚みは1 nm以上、好ましくは2 nm以上であり、上限は1  $\mu\text{m}$ である。このような活性層は、MOCVD法により製造できる。

[0034] <p型層>

p型層14は、p型クラッド層およびp型コンタクト層で構成される。p型クラッド層は、 $\text{Al}_x\text{In}_y\text{Ga}_z\text{N}$  ( $x$ 、 $y$ 、 $z$ は、 $0 < x \leq 1$ 、 $0 \leq y \leq 0.1$ 、 $0 \leq z < 1$ 、 $0$ を満たす有理数とし、 $x + y + z = 1$ 、 $0$ である)で構成されるIII族窒化物半導体であり、好ましくは不純物を含む。

[0035] p型クラッド層の不純物は、好ましくはMgである。p型クラッド層における不純物の濃度は $1.0 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以上 $5.0 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ 以下、好ましくは $1.0 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以上 $5.0 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ 以下である。p型クラッド層の厚みは、5 nm以上100 nm以下、好ましくは10 nm以上50 nm以下である。

[0036] p型コンタクト層は、 $\text{Al}_x\text{In}_y\text{Ga}_z\text{N}$  ( $x$ 、 $y$ 、 $z$ は、 $0 \leq x < 1$ 、 $0 \leq y \leq 0.1$ 、 $0 < z \leq 1$ 、 $0$ を満たす有理数とし、 $x + y + z = 1$ 、 $0$ である)で構成されるIII族窒化物半導体である。好ましくは、p型コンタクト層はGa Nで構成される。p型コンタクト層をGa Nで構成すると、すなわち、p-Ga N層とすると、p型コンタクト層のコンタクト特性を向上させることができる。また、p型コンタクト層は、好ましくは不純物を含む。

[0037] p型コンタクト層の不純物は、p型クラッド層と同様に、好ましくはMg

である。p型コンタクト層における不純物の濃度は $1.0 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以上 $5.0 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ 以下、好ましくは $1.0 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以上 $2.0 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ 以下である。p型コンタクト層の厚みは、1 nm以上100 nm以下であり、好ましくは5 nm以上50 nm以下である。p型コンタクト層の厚みを上記範囲とすることで、p型層の紫外線透過性およびコンタクト特性が向上する。

[0038] p型層14の透過率、すなわち波長265 nmの光に対する透過率は、好ましくは50%以上であり、より好ましくは60%以上である。透過率の上限は、特に制限されるものではないが、生産の安定性を考慮すると85%である。p型層の波長265 nmの光に対する透過率を上記範囲とすることで、光取り出し効率が向上する。

[0039] p型層14の透過率は、p型コンタクト層の組成や層厚みに大きく依存する。p型コンタクト層をGaN（p-GaN層）で構成する場合、GaNは波長365 nmに吸収端を持つため、層厚みが大きすぎると波長265 nmの光はほとんど透過しない。p型コンタクト層の厚みと透過率との関係は、 $T$ を透過率、 $\alpha$ を吸収係数（ $\text{cm}^{-1}$ ）、 $t$ を層厚み（cm）としたとき、 $T = \exp(-\alpha t)$ で表すことができる。GaNの波長265 nmにおける吸収係数 $\alpha$ は $1.8 \times 10^5 \text{ (cm}^{-1}\text{)}$ である。すなわち、p-GaN層の厚みが小さいほど高い透過率が得られる。しかし、p-GaN層の厚みが小さすぎると十分に電流が拡がらず、発光素子の電気特性が劣ることがある。

[0040] したがって、p型コンタクト層をGaN（p-GaN層）で構成する場合、p-GaN層の厚みは、好ましくは1 nm以上40 nm以下であり、より好ましくは10 nm以上30 nm以下である。p-GaN層の厚みを上記範囲とすることで、p型コンタクト層において電流が十分に拡がって発光素子の電気特性が向上し、また、p型層の紫外線透過性が向上する。このようなp型層は、MOCVD法により製造できる。

[0041] <n電極>

n電極16は、n型層12の露出面に形成される。n型層の露出面はエッ

チング等の手段により形成される。n型層の露出面形成により、積層半導体層は台地状に残り、メサ構造15が形成される。n型層上のn電極はメサ構造の低地部に、メサ構造の下端に沿って形成されるが、メサ構造の底部からやや距離をあげ、メサ構造15とn電極16との間にn型層12が露出した構造であってもよい。

[0042] III族窒化物半導体発光素子20の上面視において、n電極16は、メサ端に沿ってp電極17の全部を取り囲むように形成されてもよく、n電極がp電極の一部を取り囲むように形成されてもよい。または、p電極がn電極を取り囲むように形成されてもよい。

[0043] エッチングの手法としては、例えば反応性イオンエッチング、誘導結合プラズマエッチング等のドライエッチングが挙げられる。n型層12の露出面形成後、エッチングのダメージを除去するため、好ましくは、露出面を酸またはアルカリの溶液で表面処理する。その後、n型層の露出面にオーミック性を有するn電極16を形成する。

[0044] n電極のパターニングは、リフトオフ法を用いて実施することができる。リフトオフ法では、電極を形成する面にフォトレジストを塗布して、フォトリソマスクを備えたUV露光機で紫外線を照射し、現像液に浸漬させて感光したフォトレジストを溶解させて所望のパターンを形成した後、パターニングされたフォトレジスト上に電極金属を堆積させ、剥離液でフォトレジストを溶解して電極金属のパターンを形成する。また、その他のパターニング手法として、電極形成面に電極金属膜を形成し、フォトレジストを塗布後、露光、現像工程を経てフォトレジストをパターニングし、フォトレジストをマスクとしてドライエッチング、またはウェットエッチングで電極金属をパターニングし、剥離液でフォトレジストを溶解する方法もある。リフトオフ法は、比較的工程が簡略であるため好ましい。

[0045] n電極金属を堆積する手法としては、例えば、真空蒸着、スパッタリング、化学気相成長法等が挙げられる。特に、電極金属中の不純物を排除できるため真空蒸着が好ましい。n電極に用いられる材料は、公知の材料から選択

することができる。例えば、Ti、Al、Rh、Cr、In、Ni、PtおよびAuなどが挙げられる。中でも、Ti、Al、Rh、Cr、NiおよびAuが好ましい。特に、Ti、AlおよびAuの組み合わせは、オーミック性および反射率を向上できるため好ましい。n電極は、これらの金属の合金または酸化物を含む単層、または多層構造であってもよい。

[0046] n電極の層厚みは、特に制限されるものではないが、生産の安定性を考えると好ましくは2 nm以上であり、上限は2  $\mu$ mである。

[0047] 図1に種々示すように、n電極のパターンは特に限定はされず、メサ端に沿ってメサ構造15の全部を取り囲むように形成されてもよく（図1A～図1F）、n電極がメサ構造15の一部を取り囲むように形成されてもよい（図1G）。この場合、n電極がp電極を取り囲むように形成されてもよく（図1A～EおよびG）、その逆にp電極がn電極を取り囲むように形成されてもよい（図1F）。

[0048] 図1Fに示すように、n電極が線状部分を有する場合、n電極の幅は特に限定はされないが、通常は5～100  $\mu$ m程度であり、好ましくは10～50  $\mu$ mである。この場合、n電極の幅は、一様でなくてもよい。たとえば、幅の狭い部分と幅の広い部分とが混在してもよい。この場合、n電極の平均幅が上記の範囲にあればよい。

[0049] n型層とのコンタクト性を向上させるため、好ましくは、n電極金属を堆積後、300℃～1100℃の温度で30秒～3分間熱処理を施す。熱処理の温度、時間については、n電極の金属種、層厚みに応じて適宜最適な条件を選択できる。

[0050] <p電極>

p電極17は、メサ構造15のp型層14上に形成される。p電極17の形成パターン、すなわちp電極17の形状、大きさはメサ構造15とほぼ相似である。本発明では、p電極17の形成位置を、メサ構造15の形状と関連する所定の指針に基づいて設定する。これにより、メサ端近傍に集中しやすい電流を拡散し、メサ端への電流集中を抑制する。p電極の形成パターン

の設定指針については後述し、まず一般的な p 電極の性質およびその形成方法について、非限定的な典型例を説明する。

[0051] p 電極 17 は、紫外線透過性を有してもよい。p 電極の 265 nm の光に対する透過率は、好ましくは 60% 以上、より好ましくは 70% 以上である。透過率の上限は、特に制限されるものではなく、好ましくは 100% であるが、工業的には 90% 以上である。なお、波長 265 nm の光に対する波長の透過率が 60% 以上であれば、波長 200 ~ 350 nm の範囲で、十分な透過性を有する。

[0052] p 電極のパターニングは、n 電極のパターニング同様、リフトオフ法を用いて実施することが好ましい。p 電極に用いられる金属材料は、公知の材料から選択することができる。例えば、Ni、Cr、Au、Mg、Zn、Pd および Pt などが挙げられる。中でも、Ni、Au の組み合わせが好ましい。p 電極は、これらの金属の合金または酸化物を含む単層、または多層構造であってもよい。

[0053] p 電極の形状は特に限定はされないが、前述したようにメサ構造 15 よりもやや小さな相似形に形成される。したがって、p 電極の形状は、図 1 A に示したメサ構造 15 とほぼ相似形となる矩形状、図 1 B、C に示したように十字状、図 1 D ~ 図 1 G に示したように楕状であってもよい。p 電極の幅は特に限定はされないが、図 1 B ~ 図 1 G に示したメサ構造 15 に類似した形状では、通常は 5 ~ 100  $\mu\text{m}$  程度であり、好ましくは 10 ~ 50  $\mu\text{m}$  である。p 電極の幅は、一様でなくてもよい。たとえば、幅の狭い部分と幅の広い部分とが混在してもよい。この場合、p 電極の平均幅が上記の範囲にあればよい。

[0054] p 電極金属を堆積する方法としては、n 電極の形成方法と同様に、例えば真空蒸着、スパッタリング、化学気相成長法等が挙げられる。特に、電極金属中の不純物を排除できるため真空蒸着が好ましい。p 型コンタクト層とのコンタクト性向上のため、好ましくは、p 電極金属を堆積後、200°C ~ 800°C の温度で 30 秒 ~ 3 分間熱処理を施す。熱処理の温度、時間について

は、p電極の金属種、層厚みに応じて適宜最適な条件を選択できる。

[0055] <p電極の形成パターン>

図7に示したように、p電極17は、台地状のメサ構造15の上部に位置するp型層14上に、メサ構造15とほぼ相似形に形成される。n電極16はメサ構造15から見て下方の低地部に形成されている。n電極16とp電極17との導通は、抵抗の低い経路が優先されるため、電流はn電極とp電極との最短距離にあるメサ構造15の端部付近の領域に集中しやすい。

[0056] そこで、本発明では、メサ端における電流集中を回避するため、メサ端とp電極との間に一定以上の距離を設けることとした。すなわち、第1の本発明では、III族窒化物半導体発光素子を上面視から見た場合に、メサ端の一部とp電極の外周との距離を拡散長 $L_s$ の $1/3$ 以上とする。つまり、メサ端の一部とp電極の間には、電極の形成が制限されたp電極制限領域が存在する。換言すれば、本発明は、メサ構造の端部近傍の一部に、幅が拡散長 $L_s$ の $1/3$ 以上のp電極制限領域を有することを特徴としている。

[0057] ここで、「メサ端」とは、メサ構造15の輪郭であり、メサ構造における上面視における端部であり、p型層14の外周（すなわち輪郭）として示される。メサ構造は、積層半導体層をほぼ垂直にエッチングして形成されるが、完全に垂直である必要はなく、メサ構造上部から下部にかけて、テーパ状に形成されていてもよい。メサ構造上部の面積がメサ構造下部の面積よりも小さい場合には、テーパ部は上面視により観察される。メサ構造上部の面積がメサ構造下部の面積よりも大きな場合には、テーパ部はオーバーハング状に形成されるため、上面視では観察が難しくなる。

[0058] 以下の説明では、メサ端とは、上面視におけるメサ構造の端部であり、メサ構造の最上層に位置するp型層17の外周（すなわち輪郭）と定義し、テーパ部は含めない。

[0059] また、メサ端とp電極の外周との距離とは、上面視において、任意に選択したメサ端からp電極の輪郭に到達する最短経路の長さである。

[0060] メサ端の「一部」とした意味は、メサ端のすべてがp電極から拡散長 $L_s$ の

1 / 3 以上離れていることを必須とするものではなく、一部において、メサ端と p 電極の輪郭とが拡散長  $L_s$  の 1 / 3 以下の距離で近接していてもよいことを意味する。すなわち、電流集中が起りやすい部分において、メサ端と p 電極とが所定距離以上離れていれば、素子不良の要因となる電流集中は解消される。一方、電流集中が起り難い部分では、メサ端と p 電極の輪郭とが近接し、上面視において、p 電極と n 電極とが拡散長  $L_s$  の 1 / 3 未満の距離で近接していてもよい。

[0061] 電流集中が起りやすいメサ端とは、周囲が n 電極により囲まれた状態にある。このような状態にあるメサ端は、メサ構造の輪郭形状により様々であるが、メサ構造の全周に対して、通常は 5 ~ 30 % の割合で存在する。したがって、本発明では、メサ端の中でも、周囲が n 電極に囲まれたメサ端において、メサ端と p 電極との間に所定値以上の距離をとり、p 電極制限領域を設ける。

[0062] このように、メサ端と p 電極との間に距離があると、この部分には電流が流れにくくなり、メサ構造 15 の端部付近の領域における電流集中を抑制できる。すべてのメサ端において、p 電極の外周との距離を拡散長  $L_s$  の 1 / 3 以上とすると、III 族窒化物半導体発光素子の動作電圧が上がり、発光効率は低下することがある。したがって、本発明では、特に電流が集中しやすい部分で、メサ端と p 電極との距離を所定値以上とすればよい。

[0063] 本発明者等の検討によれば、メサ端の一部と p 電極の外周との距離が拡散長  $L_s$  の 1 / 3 以上であれば、動作電圧を過度に増大させることなく、電流集中を効果的に抑制し、発光素子の歩留まりを向上できることを見出した。

[0064] 発光素子に通電すると、電子が n 型層から p 型層へと移動する。拡散長  $L_s$  とは、電子が p 型層へ移動するのを考慮し、メサ端に近い側の n 電極の端からメサ端へ向かって、大部分の電子が n 型層内で拡散できる距離を指す。従来技術においては、メサ端の一部と p 電極の外周との距離を、拡散長  $L_s$  に基づいて調整することは行われていない。本発明者等は、該距離を拡散長  $L_s$  の 1 / 3 以上とすることにより、優れた効果が発揮されることを見出し、本発

明を完成した。

[0065] なお、拡散長 $L_s$ は、以下の式で定義される。

$$L_s = \{ (\rho_c + \rho_p t_p) t_n / \rho_n \}^{1/2}$$

[0066] ここで、 $\rho_c$  : p電極／p型層間およびn電極／n型層間の接触抵抗、 $\rho_p$  : p型層の比抵抗、 $\rho_n$  : n型層の比抵抗、 $t_p$  : p型層の厚み、 $t_n$  : n型層の厚みである。

[0067] (接触抵抗の測定方法)

本発明において、接触抵抗はTLM (Transfer Length Method) 法により測定する。まず、発光素子の製造と同様の方法により、p-GaN表面上にドーナツ状の電極不形成領域を有するp電極パターンを形成する(電極間距離 : 5、10、20、40、60、80、100  $\mu$ m)。得られた電極パターンを用いて、各電極間距離における抵抗値を測定し、電極間距離と抵抗値との関係からp電極/p型層間およびn電極/n型層間の接触抵抗を算出する。

[0068] (比抵抗の測定方法)

まず、本発明においては、発光素子の製造と同様の方法を用いて、7mm角のp-GaN、p-AlGaNおよびn-AlGaNの表面四隅に直径1.5mmの円形のp電極およびn電極をそれぞれ4つ形成する。得られたサンプルについてホール効果測定を行うことで、p型層(p-GaN、p-AlGaN)およびn型層(n-AlGaN)の比抵抗を算出する。

[0069] 第1の発明において、メサ端の一部とp電極の外周との距離を、拡散長 $L_s$ の $1/3$ 以上とすることにより、紫外発光素子の歩留まりを向上できる。中でも、動作電圧の増大を抑制し、より効率よく歩留まりを向上するためには、メサ端の一部とp電極の外周との距離を、好ましくは拡散長 $L_s$ の $1/3$ 以上、拡散長 $L_s$ の1.2倍以下、より好ましくは拡散長 $L_s$ の $1/3$ 以上、拡散長 $L_s$ の1.0倍以下とする。

[0070] 拡散長 $L_s$ は、電極の幅に依存しないため、素子が小型化し、電極が細線化した場合であっても、電流集中を抑制するためのデバイス設計の指針となる

。

[0071] また、第1の発明では、メサ端の一部とp電極の外周との距離を拡散長 $L_s$ の $1/3$ 以上と規定したが、本発明の現時点での技術においては、メサ端の一部とp電極の外周との距離を $12\mu\text{m}$ 以上とすれば十分である（第2の本発明）。そして、動作電圧の増大を抑制し、歩留まりをより効率よく向上するためには、メサ端の一部とp電極の外周との距離を、好ましくは $12\sim 80\mu\text{m}$ 、より好ましくは $15\sim 80\mu\text{m}$ 、さらに好ましくは $20\sim 80\mu\text{m}$ 、一層好ましくは $20\sim 40\mu\text{m}$ とすればよい。この距離は現行（2015年）の素子設計における十分値である。しかしながら、素子がさらに小型化し、電極が細線化した場合には、メサ端の一部とp電極の外周との距離を $12\mu\text{m}$ 以上にできないことがある。このような場合には、第1の本発明のように、拡散長 $L_s$ を目安として、メサ端の一部とp電極の外周との距離を設定すればよい。

[0072] 第2の本発明によれば、メサ端の一部とp電極との間には、電極の形成が制限されたp電極制限領域が存在する。換言すれば、本発明は、メサ構造の端部近傍の一部に幅 $12\mu\text{m}$ 以上のp電極制限領域を存在させることを特徴としている。

[0073] 第1および第2の発明では、発光素子を上面視から見た場合に、メサ端の一部とp電極の外周との距離が所定値以上であることを規定した。メサ端の「一部」とした意味は、主に、電流集中が起りやすい部分において、メサ端とp電極の外周との距離を所定値以上とすれば十分なためである。

[0074] 電流が集中しやすい部分とは、上面視において、p電極がn電極の形成領域に突出している部分を指す。この部分では、p電極がn電極に囲繞されているため、n電極からの電子を集中しやすい。その結果、その部分はより強く発光するが、負荷も大きく劣化が生じやすい。p電極17はメサ構造15上に、メサ構造とほぼ相似形状に形成される。したがって、メサ構造15がn電極の形成領域に突出している部分において、メサ端とp電極との距離を所定値以上とすれば、劣化しやすいメサ構造端部における電流集中を抑制で

きる可能性がある。

[0075] したがって、第3の本発明においては、メサ端の突部とp電極の外周との距離を拡散長 $L_s$ の $1/3$ 以上、好ましくは拡散長 $L_s$ の $1/3$ 以上、拡散長 $L_s$ の $1.2$ 倍以下、より好ましくは拡散長 $L_s$ の $1/3$ 以上、拡散長 $L_s$ の $1.0$ 倍以下とする。また、第4の発明では、メサ端の突部とp電極の外周との距離を $12\mu\text{m}$ 以上、好ましくは $12\sim 80\mu\text{m}$ 、より好ましくは $15\sim 80\mu\text{m}$ 、さらに好ましくは $20\sim 80\mu\text{m}$ 、一層好ましくは $20\sim 40\mu\text{m}$ とする。すなわち、第3、第4の発明では、メサ端の突部近傍にp電極制限領域を設けることを特徴とする。

[0076] ここで、「メサ端の突部」とは、上面視において、メサ構造15の輪郭がn電極の形成領域に突出している部分を指す。この部分にp電極が形成されていると、周囲を囲繞するn電極からの電子が当該部分のp電極に集中するため、p電極直下の半導体層が劣化しやすい。したがって、メサ端の突部からp電極への距離を所定値以上とすることで、電流集中を抑制し、素子の劣化を低減できる。

[0077] メサ構造15の輪郭は、素子設計における電極パターンに応じて様々である。したがって、「メサ端の突部」を一義的に定義することは困難である。そこで、図1に素子の上面視におけるメサ構造15の輪郭と、n電極の形成パターンについての非制限的な例を示し、電流が集中しやすい「メサ端の突部」を破線の円により表示した。なお、図1の上面視ではn電極12とメサ構造15とが接しているが、図7Bに示すように断面ではメサ構造15の端部とn電極との間には、メサ構造のテーパ部や、露出したn型層が存在していてもよい。第3および第4の発明に係るIII族窒化物半導体発光素子においては、「メサ端の突部」から所定距離を離れてp電極が形成され、所定距離未満の領域にはp電極の形成が制限された、p電極制限領域が形成される。

[0078] 図1Aは、上面視において長方形のメサ構造15が形成された素子構造を示す。この構造では、長方形の各頂点がn電極の形成領域に突出しており、この部分にp電極を形成すると、p電極直下のメサ部に電流が集中しやすい

。

図 1 B は、十字状のメサ構造 1 5 を示す。この構造でも十字の各頂点が n 電極の形成領域に突出している。

図 1 C は、十字状の端部に丸みを帯びた形状のメサ構造 1 5 を示す。この構造でも十字の端部は n 電極の形成領域に突出している。

図 1 D は、楕状のメサ構造 1 5 を示す。この構造でも楕の各先端や、矩形の頂点は n 電極の形成領域に突出している。

図 1 E は、図 1 D の変形例であり、楕の背からも楕歯状に電極が延在する構造を示す。

図 1 F は、n 電極が線状部分を有し、さらに、n 電極を形成する楕の背からも電極が延在する構造を示す。

図 1 G は、楕状のメサ構造を囲繞する楕状の n 電極が形成された状態を示す。

[0079] これら図示した構成では、p 電極である楕の各先端や、矩形の頂点は n 電極の形成領域に突出している。第 3 および第 4 の発明に係る III 族窒化物半導体発光素子においては、これら図示した構成、および類似の構成を有するメサ構造の形成パターンにおいて、「メサ端の突部」を示す円の中心から所定距離未満の領域には p 電極が存在しない。

[0080] また、「メサ端の突部」とは、III 族窒化物半導体発光素子を上面視から見て、周囲に n 電極が過剰に存在しているメサ部分と定義することもできる。したがって、メサ端の「ある点」が「メサ端の突部」に該当するか否かを判定するために、当該「ある点」の周囲に存在する n 電極の面積を考慮してもよい。具体的には、判定対象の「ある点」を中心として、所定半径の円（以下では「定義円」と呼ぶことがある）を描き、円の内部に存在する n 電極の面積が大きいほど、当該「ある点」は n 電極に囲繞されている度合いが高いと判定される。また、逆に、判定対象の「ある点」を中心として、所定半径の円を描き、円の内部に存在するメサ部（p 電極を含む）の面積が小さいほど、当該「ある点」は n 電極に囲繞されている度合いが高いともいえる。

[0081] これらの知見から、メサ端の「ある点」が「メサ端の突部」に該当するかどうかを判定するために、図2に示すように、メサ端上の「ある点」を中心とする、所定の円内におけるメサ部（p電極、p型層を含む）、n電極の面積を用いた、以下の評価パラメータが提案される。

$$\text{評価パラメータ} = (\text{n電極面積} / \text{メサ構造面積}) \times 100 (\%)$$

[0082] 上記の評価パラメータが大きいほど、当該「ある点」はn電極により囲繞されている割合が高く、「メサ端の突部」に位置すると判定される。

[0083] 定義円の半径は、円と他のメサ端とが接しない程度であればよい。しかし、円が小さすぎると、メサ端とn電極との間のテーパ部や露出しているn型層の面積が過大に評価されるため、ある程度以上の大きさの円である必要がある。すなわち、メサ端における定義円が小さすぎると、定義円内において、メサ部のテーパ部の面積、露出したn型層の面積が過大に評価され、メサ部（p電極を含む）およびn電極の合計面積が相対的に低下し、適切な評価ができなくなる。

[0084] したがって、メサ端上の任意の点（判定対象の点）を中心点として、徐々に大きくなる半径 $r_n$ の円を描く。円の半径が小さな場合には、テーパ部の面積やn電極の面積の相対比は大きいですが、円が大きくなるに従いこれらの相対比は小さくなり、メサ部（p電極を含む）およびn電極の面積を適正に評価できるようになる。したがって、円内におけるメサ部（p電極を含む）およびn電極の合計面積が円の全面積に対し、80%となる円の半径を「定義円」の半径とすることが好ましい。なお、定義円が他のメサ端と接しないかぎり、定義円の半径を大きくしてもよい。

[0085] 図2に参照して、定義円を用いた「メサ端の突部」の判定法を説明する。メサ端上のある点を中心にして定義円を描いた場合、定義円内には、メサ部（p電極）、n型層、n電極の領域が存在し、上面視においてメサ構造のテーパ部が観察されることもある。この円において、メサ部の面積、電極の面積、円の全面積から、上記の評価パラメータを算出する。図2において、p電極を省略した。p電極はメサ構造15上に、メサ部と同形状であるか、こ

れよりも小さく形成される。

[0086] 図3には、様々な輪郭のメサ端、n電極の上面視を模式的に示した。なお、図3では、電極間に露出したn型層およびテーパ部の面積は小さいため、図示を省略した。またp電極もメサ部よりもやや小さな相似形状であり、p電極の面積はメサ部の面積に算入されるため、図示を省略した。

[0087] 状態Aで示すように、鋭角なメサ端がn電極の形成領域に突出している場合、定義円内のメサ部の面積は小さく、n電極の面積は大きい。すなわち、評価パラメータは大きくなり、この部分のp電極には電流集中が起りやすい。

[0088] 状態Bで示すように、メサ端が直角の場合も、定義円内のメサ部の面積は、n電極の面積よりも小さい。すなわち、評価パラメータは状態Aよりは小さいが、なおn電極の面積が過大であり、この部分のp電極には電流集中が起りやすい。

[0089] 状態Cで示すように、メサ構造が細い場合も、定義円内のメサ部の面積は、n電極の面積よりも小さい。すなわち、n電極の面積が過大であり、この部分のp電極には電流集中が起りやすい。

[0090] 状態Dで示すように、メサ構造がn電極側に凸状の円弧を描く場合も、定義円内のメサ部の面積は、n電極の面積よりも小さい。すなわち、n電極の面積が過大であり、この部分のp電極には電流集中が起りやすい。

[0091] 状態Eで示すように、メサ構造の輪郭が直線の場合、定義円内のメサ部の面積は、n電極の面積とほぼ等しい。すなわち、評価パラメータはほぼ100%である。この部分のp電極には電流集中は起こり難い。

[0092] 状態Fで示すように、n電極をメサ構造が囲繞する場合、定義円内のメサ部の面積は、n電極の面積よりも大きくなる。すなわち評価パラメータは100%未満である。この部分のp電極には状態Eよりもさらに電流集中は起こり難い。

[0093] 状態Gで示すように、n電極形成領域がメサ構造側に凸状の円弧を描く場合も、定義円内のメサ構造の面積は、n電極の面積よりも大きくなる。すな

わち、評価パラメータは100%未満である。この部分のp電極には電流集中は起こり難い。

[0094] 以上から明らかなように、本発明では状態A～Dのような、メサ部の面積に対し、n電極の面積が過大な場合には、当該メサ端の近傍にはp電極を設けずに、p電極制限領域とする。すなわち評価パラメータが大きなメサ端の近傍をp電極制限領域とする。

[0095] したがって、本発明の好ましい態様は以下のとおりである。

メサ端上の任意の点を中心点として、定義円を描く。定義円内の各部の面積により計算される評価パラメータが100%を超える場合には、当該定義円の中心は「メサ端の突部」に位置すると判定される。メサ端の突部に位置すると判定された場合、当該円の中心と、p電極との距離が拡散長 $L_s$ の $1/3$ 以上（絶対距離としては $12\mu\text{m}$ 以上）となる範囲にp電極を設ける。換言すると、円の中心から拡散長 $L_s$ の $1/3$ 未満（絶対距離としては $12\mu\text{m}$ 未満）の範囲は、p電極制限領域とする。

[0096] 上記について、図4を参照して、さらに具体的に説明する。なお、図4でも、電極間に露出したn型層およびテーパ部は面積も小さいため、図示を省略した。図4AのX点（矩形の頂点）における定義円では、評価パラメータはほぼ300%となる。したがって、矩形の頂点であるX点から拡散長 $L_s$ の $1/3$ 未満（絶対距離としては $12\mu\text{m}$ 未満）の範囲にはp電極を形成しない。また図4AのY点（頂点Xから定義円の半径の距離にあるメサ端部）における定義円では、評価パラメータはほぼ100%となる。したがって、Y点から半径が拡散長 $L_s$ の $1/3$ の長さ（絶対距離としては $12\mu\text{m}$ ）の円上が、p電極形成の限界点となる。ここで、定義円の半径が拡散長 $L_s$ の $1/3$ 以上の長さであったとすると、図4Bにおいて、メサ部の輪郭と破線で囲繞される領域をp電極制限領域とする。この結果、第3の本発明で規定する電極構造が得られる。また、X点、Y点からの距離を $12\mu\text{m}$ 以上としてp電極制限領域とすることで、第4の本発明で規定する電極構造が得られる。

[0097] なお、上記で規定されるp電極制限領域のすべてにおいて、p電極が形成

されていないことが好ましいが、p電極制限領域の一部において、p電極が形成されていても、本発明の目的を阻害しない限り、本発明では許容される。特にメサ端からの距離が離れている部分にはp電極を形成しても良い場合がある。具体的には、上記で規定されるp電極制限領域のうち、90%以上、さらに好ましくは98%以上、特に好ましくは99%以上の面積において、p電極が形成されていなければよい。

[0098] 上記では、評価パラメータの下限を100%としたが、これらの下限値は積層半導体層（メサ構造部）の材質や、素子の動作環境に応じて適宜に設定することができる。

[0099] たとえば、素子の材質が劣化を受けやすく、動作環境が厳しい場合には、メサ部への電流集中を確実に抑制する観点から、許容される評価パラメータの下限値を低くし、p電極制限領域を広めにする。ただし、この場合には、p電極とn電極との平均距離が長くなるため、素子の動作電圧が上昇することがある。たとえば評価パラメータは80%以上であってもよく、60%以上であってもよい。

[0100] 一方、素子の材質が劣化し難い場合、動作環境が温和な場合には、メサ部への電流集中はある程度許容されるため、評価パラメータの下限値を高くして、p電極制限領域を狭くしてもよい。たとえば評価パラメータは120%以上であってもよく、140%以上であってもよい。

[0101] なお、適切な定義円の設定が難しい場合には、現行品については12  $\mu\text{m}$  を定義円の半径の目安とすれば良い。また今後の電極の細線化が進むにつれて、定義円の半径を小さくすれば、適切な評価は可能である。なお、この場合にも、円が他のメサ端と接することの無いようにする。

[0102] 上記の態様では、「メサ端の突部」から所定範囲内をp電極制限領域とした。p電極制限領域以外のメサ部（以下、「p電極許容領域」とよぶことがある）にp電極が形成されるが、すべてのp電極許容領域にp電極が形成されている必要はない。p電極は、p電極許容領域の少なくとも一部に導通するように形成されていればよい。メサ端の突部近傍に形成されるp電極の

外周形状は、図5に示すように円弧状、楕円弧状、放物線状などの形状となるように形成することが好ましい。

[0103] また、p電極形成の技術上の問題から、メサ端とp電極端部とが一致するようにp電極を形成することは困難であるため、p電極端部とメサ端との間に、拡散長 $L_s$ の $1/3$ 未満あるいは $12\mu\text{m}$ 未満の幅での余白部を設けても良い。なお、図5には幅 $5\mu\text{m}$ の余白部を形成した例を示した。

[0104] さらに、第3および第4の発明では、評価パラメータが規定値以上となる「メサ端の突部」から所定の範囲内にはp電極を設けないことを要件としたが、上記したようにメサ部の突出の度合を示す評価パラメータは、メサ端の形状によって連続的に変化する。したがって、メサ部の突出の度合によって、メサ端からp電極への距離を設定することもできる。図4Aにおいて、X点は評価パラメータ値が高い（メサ部が高度に突出している）ため、この周辺（たとえば $12\mu\text{m}$ 以内）にp電極を形成することは禁止される。しかし、Y点の評価パラメータは低く、電流集中も起こり難いため、Y点とp電極との距離を拡散長 $L_s$ の $1/3$ 未満あるいは $12\mu\text{m}$ 未満としてもよい。

[0105] すなわち、n電極形成領域への突出の度合が高いメサ端では、p電極との距離をより十分にとり、突出度合の低いメサ端では、p電極とメサ端との距離をより短めに設定することもできる。たとえば、メサ端上の任意の点で、評価パラメータを決定し、その結果に基づいて「突出の度合」を評価し、当該メサ端からのp電極制限領域を設定してもよい。

[0106] つまり、評価パラメータの高いメサ端では、よりp電極制限領域を広くし、評価パラメータの低いメサ端では、p電極制限領域を上記の定義よりも狭くすることができる。このため、評価パラメータの絶対値や二乗した値を用いてp電極制限領域を定義することも有効と考えられる。

[0107] 図6Aのようにメサ端が矩形状の端部の場合には、長手方向について、矩形の頂点からp電極までの距離は長く、矩形の短手方向の中点からはp電極までの距離が短くなるようにp電極を設ける。p電極との距離は、長手方向について、頂点からは長く、中点からは短く、距離は連続的に変化し、中点

に近づくほど、距離の変化は緩やかになる。長手方向では、最終的にはメサ端と p 電極端部が一致してもよい。

[0108] 図 6 B のようにメサ端が円弧、楕円弧状の場合、短手方向について、円弧（楕円弧）の頂点から p 電極までの距離は長い。長手方向に沿って、メサ端の円弧（楕円弧）が直線状に代わるにつれて、メサ端から p 電極までの距離が短くなるように p 電極を設ける。p 電極との距離は、メサ端の円弧の頂点からは長く、円弧の両端からは短く、距離は連続的に変化し、両端に近づくほど、距離の変化は緩やかになる。長手方向において、最終的にはメサ端と p 電極端部が一致してもよい。

[0109] また、本発明の III 族窒化物半導体発光素子では、基板 11 の積層面とは反対側の面（以下、発光面と記載することがある。）から発光する光の発光強度分布において、発光強度の最大値と最小値との比（以下、発光強度比と記載することがある。）は、好ましくは 2.1 以下である。本発明によれば、メサ構造における局所的な電流集中を防ぐことが可能になるため、発光面の発光領域において発光強度のばらつきを抑制することができる。発光強度の最大値と最小値との比は、より好ましくは 2.05 以下である。なお、発光強度分布は、後述する発光素子の発光強度分布の測定に従って求めることが出来、発光強度の最大値と最小値は、発光面の発光領域における発光強度の最大値と最小値である。発光面の発光領域とは、基板 11 の積層面とは反対側の面のうち、光を発光している領域をいう。

[0110] <発光素子の製造>

上記 III 族窒化物半導体発光素子の構成を含むウエハを製造した後、透光性基板 11 の下面を研削または研磨することにより、透光性基板の厚みを薄くして透過率を向上させることもできる。その後、スクライビング、ダイシング、レーザ溶断など、公知の発光素子分離方法を適宜用いて、発光素子を製造する。

[0111] なお、本発明の上記説明においては、p 電極部の形状のみを調整した場合の例を示したが、当然のことながら、性能をより向上させるためには、本発

明の発光素子に、従来技術、例えば、高抵抗層の形成、トレンチの形成の技術を組み合わせることもできる。

[0112] <発光素子の発光強度分布の測定>

発光素子の n 電極 - p 電極間へ電流を連続して通電しながら、発光素子の基板 11 の積層面とは反対側の面から発光する光の発光強度を測定する。発光強度分布の評価装置は、発光素子へ電圧を印加する電気制御回路、レンズとカメラにより測定範囲を制御する光学系、光検出部およびデータ解析装置から成る。10  $\mu\text{m}$  × 10  $\mu\text{m}$  を 1 範囲として、発光面の発光領域における発光強度を測定しマッピングすることで、発光強度の分布を測定する。電流集中が起こっている場所は発光強度が強く観測されるため、本測定により、メサ端と p 電極との距離を調整することによる電流集中抑制の効果が確認できる。

## 実施例

[0113] 次に、本発明を実施例により、さらに詳細に説明するが、本発明は、これらの例によってなんら限定されるものではない。

(実施例 1、2 および比較例 1、2)

[0114] 図 7 B に示した断面構造を有する積層半導体層を形成した。

まず、MOCVD 法を用いて、C 面 AlN 基板（一辺 7 mm 角、厚さ 500  $\mu\text{m}$ ）上に、Si を  $1.0 \times 10^{19} [\text{cm}^{-3}]$  ドープした  $\text{Al}_{0.7}\text{Ga}_{0.3}\text{N}$  層（1  $\mu\text{m}$ ）を n 型半導体層として形成した。この n 型層上に、量子井戸構造を有する活性層（井戸層 2 nm、障壁層 7 nm）を形成した。この時、井戸層および障壁層の組成はそれぞれ  $\text{Al}_{0.5}\text{Ga}_{0.5}\text{N}$  および  $\text{Al}_{0.7}\text{Ga}_{0.3}\text{N}$  とし、障壁層には  $1.0 \times 10^{18} [\text{cm}^{-3}]$  の Si をドープした。活性層は、井戸層 3 層と障壁層 4 層の積層構造から成る。

[0115] 次に、この活性層上に、電子ブロック層として、Mg を  $5 \times 10^{19} [\text{cm}^{-3}]$  ドープした AlN 層（15 nm）を形成した。その後、電子ブロック層上に、p クラッド層として、Mg を  $5 \times 10^{19} [\text{cm}^{-3}]$  ドープした  $\text{Al}_{0.8}\text{Ga}_{0.2}\text{N}$  層（50 nm）を形成した。最後に、p クラッド層上に、p コンタク

ト層として、Mgを $2 \times 10^{19} [\text{cm}^{-3}]$ ドーピングしたGa<sub>0.9</sub>N<sub>0.1</sub>層（100 nm）を形成した。

[0116] 次に、得られた半導体ウエハをN<sub>2</sub>中において、900℃で20分間の熱処理を行った。その後、pコンタクト層の表面にフォトリソグラフィーおよび真空蒸着により所定のメタルマスクパターンを形成した後、パターンの形成されていないpコンタクト層表面をn型層が露出するまでドライエッチングする事で、図1Cに示す端部が丸みを帯びた十字状のメサ構造を形成した。このとき、n型層の掘量は、300 nmであった。次に、フォトリソグラフィーによりpコンタクト層上にレジストパターンを形成した後、真空蒸着によって、Ti（20 nm）/Al（200 nm）/Au（5 nm）層を形成した後、N<sub>2</sub>中において810℃で1分間熱処理することでn電極を形成した。同様に、図5に示すように、端部から所定の範囲がp電極制限領域となるように、p型層上にNi（20 nm）/Au（50 nm）層を形成し、O<sub>2</sub>中において550℃で3分間焼成することでp電極を形成した。得られた半導体ウエハを750 μm角に切り出して、窒化物半導体発光素子（発光ピーク波長265 nmの窒化物半導体発光素子）とした。

[0117] なお、突部におけるメサ端からp電極までの距離（a）が、40 μm（実施例1）、20 μm（実施例2）、10 μm（比較例1）、5 μm（比較例2）となるように、p電極制限領域を有する4種の素子を作成した。また、p電極許容領域におけるメサ端とp電極との距離は5 μmとした。以上のような発光素子を各実施例、比較例において、50個製造し、得られた発光素子について、出力特性の経時変化を測定した。なお、瞬時劣化率の測定は、150 mAの電流を通電した際の結果を示す。

[0118] 実施例1の発光素子では、500時間経過後の瞬時劣化率（全素子の中で出力の大幅な低下があった素子の割合（p電極に電流集中が起こり劣化した素子の割合））が2%であったのに対して、実施例2では4%、比較例1では20%、比較例2では24%となり、p電極許容領域におけるメサ端とp電極との距離を20 μm以上にした場合に瞬時劣化率の急激な改善が見られ

た。なお、得られた発光素子について拡散長 $L_s$ を算出したところ $60\mu\text{m}$ であったため、 $20\mu\text{m}$ は拡散長 $L_s$ の $1/3$ に相当する。

[0119] (実施例3、4および比較例3、4)

n電極形成時のドライエッチングによるn型層の堀量を $100\text{nm}$ に変更した以外は、実施例1と同様の方法で窒化物半導体発光素子を作製した。

[0120] なお、実施例1と同様の方法で、突部におけるメサ端からp電極までの距離(a)が、 $20\mu\text{m}$ (実施例3)、 $12\mu\text{m}$ (実施例4)、 $8\mu\text{m}$ (比較例3)、 $5\mu\text{m}$ (比較例4)となるように、p電極制限領域を設けた4種の素子を作製した。また、p電極許容領域におけるメサ端とp電極との距離は $5\mu\text{m}$ とした。以上のような発光素子を各実施例、比較例において、50個製造し、得られた発光素子について、出力特性の経時変化を測定した。

[0121] 実施例3の発光素子では、500時間経過後の瞬時劣化率(全素子の中で出力の大幅な低下があった素子の割合(p電極に電流集中が起こり劣化した素子の割合))が2%であったのに対して、実施例4では4%、比較例3では16%、比較例4では24%となり、p電極許容領域におけるメサ端とp電極との距離を $12\mu\text{m}$ 以上にした場合に瞬時劣化率の急激な改善が見られた。なお、得られた発光素子について拡散長 $L_s$ を算出したところ $36\mu\text{m}$ であったため、 $12\mu\text{m}$ は拡散長 $L_s$ の $1/3$ に相当する。

[0122] また、実施例3と実施例4、比較例3と比較例4で得られた窒化物半導体発光素子について、発光面の発光領域における発光強度の最大値と最小値との比(発光強度比)を測定した結果を表1に示した。発光強度比は、p電極とメサ端との距離が拡散長 $L_s$ の $1/3$ に相当する $12\mu\text{m}$ の時に、2.10であった(実施例4)。つまり、p電極とメサ端との距離を拡散長 $L_s$ の $1/3$ 以上に調整することで、発光強度比が2.1以下となり、かつ、瞬時劣化率が抑制されることが分かった。

[0123]

[表1]

|                                       | 実施例 3 | 実施例 4 | 比較例 3 | 比較例 4 |
|---------------------------------------|-------|-------|-------|-------|
| 突部における p 電極とメサ端との距離 [ $\mu\text{m}$ ] | 20    | 12    | 8     | 5     |
| 瞬時劣化率 [%]                             | 2     | 4     | 16    | 24    |
| 発光強度比                                 | 2.02  | 2.10  | 2.28  | 2.50  |

### 産業上の利用可能性

[0124] 本発明では、III族窒化物半導体発光素子を上面視から見た場合に、メサ端の一部と前記 p 電極の外周との距離が所定値以上であることにより、動作電圧を過度に増大させることなく、p 電極と n 電極との間に流れる電流がメサ端付近の領域に集中するのを抑制する。その結果、メサ構造における局所的な劣化が生じにくく、また、電流が活性層に均一に流れやすくなることで発光ムラの生じにくい、III族窒化物半導体発光素子が得られる。

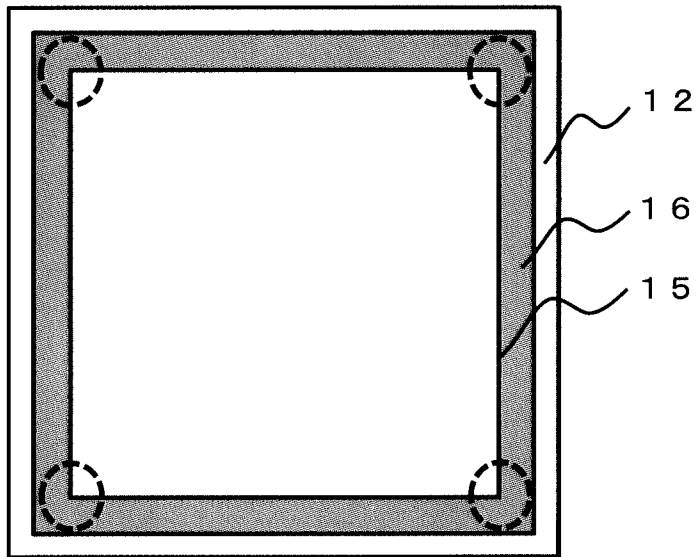
### 符号の説明

- [0125] 1 1 …基板  
1 2 …n 型層  
1 3 …活性層  
1 4 …p 型層  
1 5 …メサ構造  
1 6 …n 電極  
1 7 …p 電極  
2 0 …III族窒化物半導体発光素子

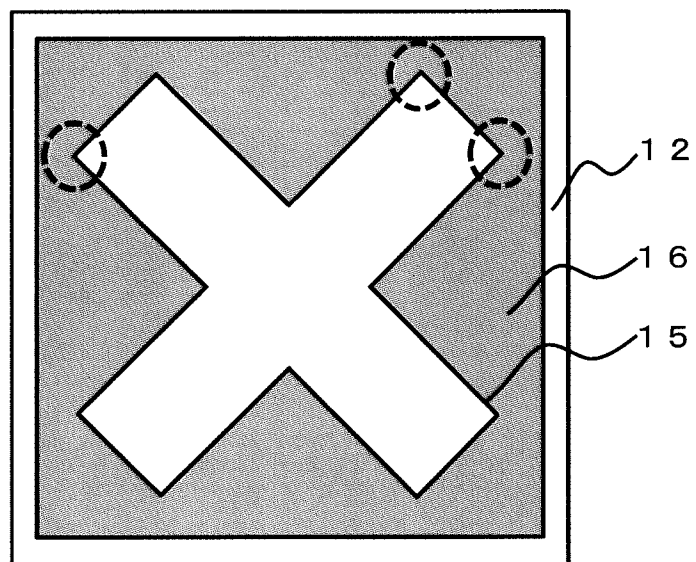
## 請求の範囲

- [請求項1]           n型層とp型層との間に活性層を含み、前記n型層上にn電極、前記p型層上にp電極を有し、p型層を含むメサ構造を有するIII族窒化物半導体発光素子であって、
- 前記III族窒化物半導体発光素子の上面視において、メサ端の一部と前記p電極の外周との距離が拡散長 $L_s$ の $1/3$ 以上である、または、
- 前記III族窒化物半導体発光素子の上面視において、メサ端の一部と前記p電極の外周との距離が $1.2\mu\text{m}$ 以上である、III族窒化物半導体発光素子。
- [請求項2]           前記III族窒化物半導体発光素子の上面視において、メサ端の突部と前記p電極の外周との距離が拡散長 $L_s$ の $1/3$ 以上である、請求項1に記載のIII族窒化物半導体発光素子。
- [請求項3]           前記III族窒化物半導体発光素子の上面視において、メサ端の突部と前記p電極の外周との距離が $1.2\mu\text{m}$ 以上である、請求項1に記載のIII族窒化物半導体発光素子。
- [請求項4]           発光ピーク波長が $200\sim 350\text{nm}$ である請求項1～3の何れかに記載のIII族窒化物半導体発光素子。
- [請求項5]           n型層とp型層との間に活性層を含み、前記n型層上にn電極、前記p型層上にp電極を有するIII族窒化物半導体発光素子の構成を含むウエハであって、
- 前記III族窒化物半導体発光素子の構成が請求項1～4の何れかに記載の構成であるウエハ。

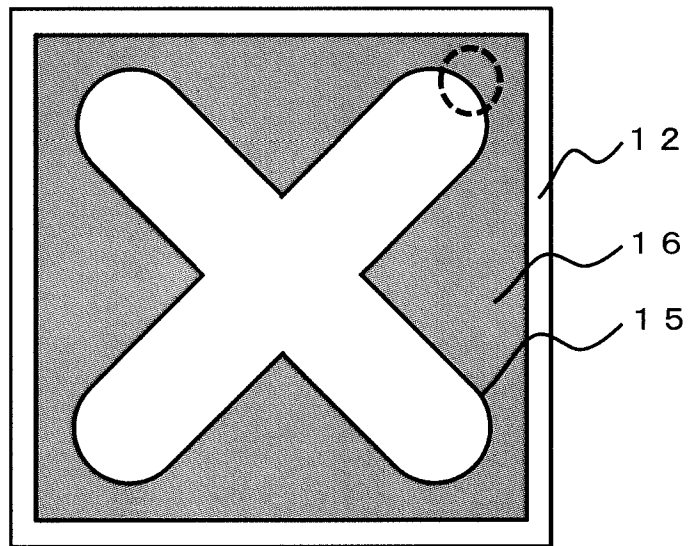
[図1A]



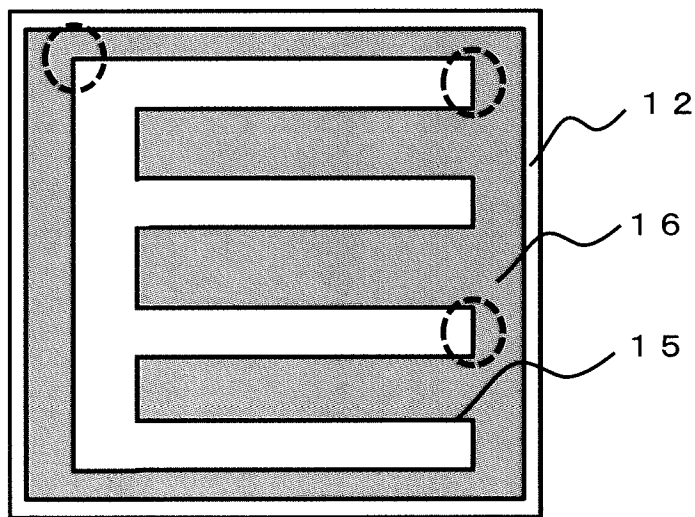
[図1B]



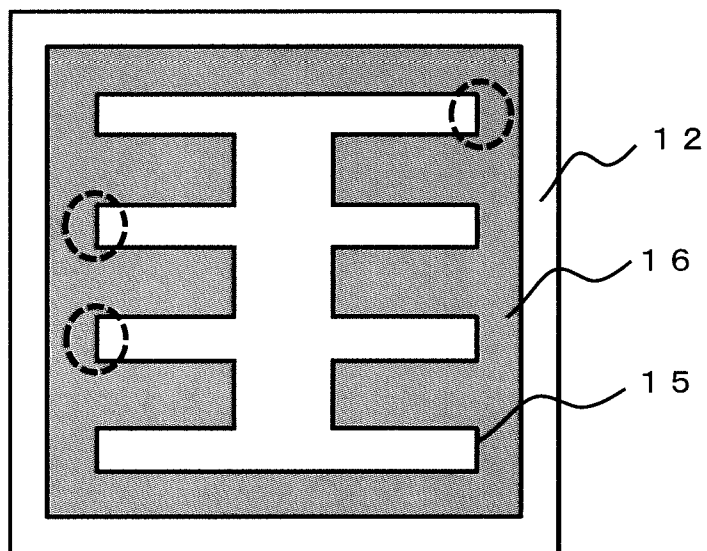
[図1C]



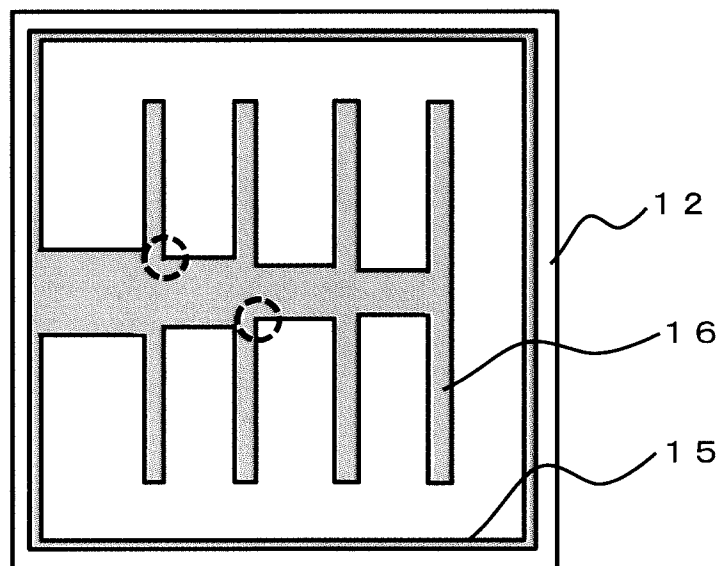
[図1D]



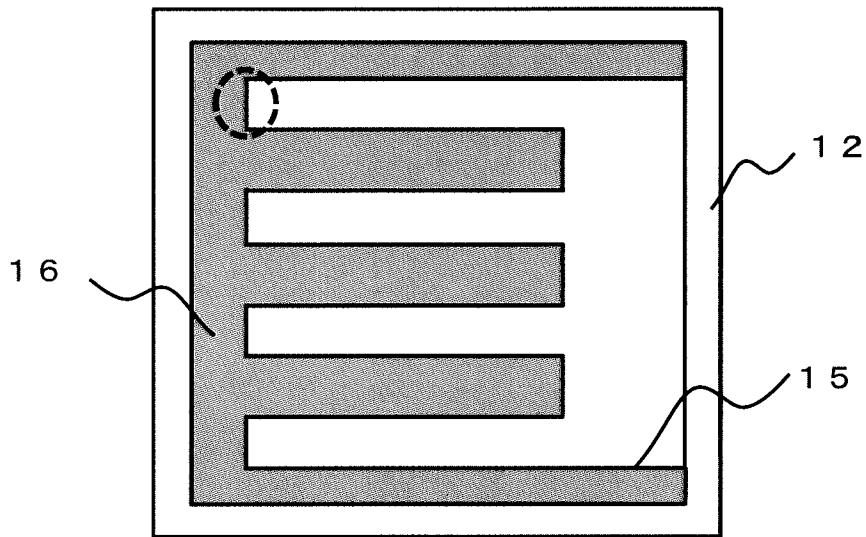
[図1E]



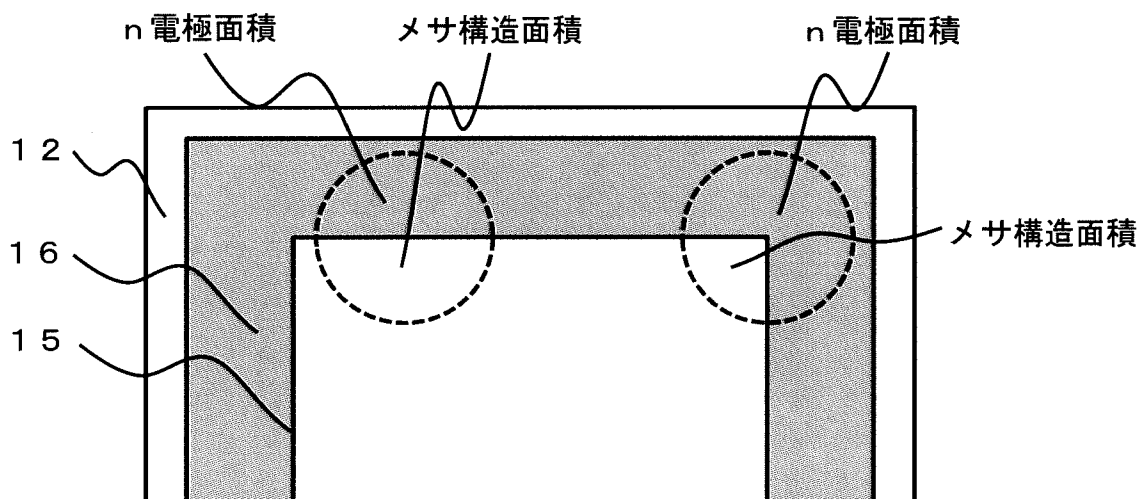
[図1F]



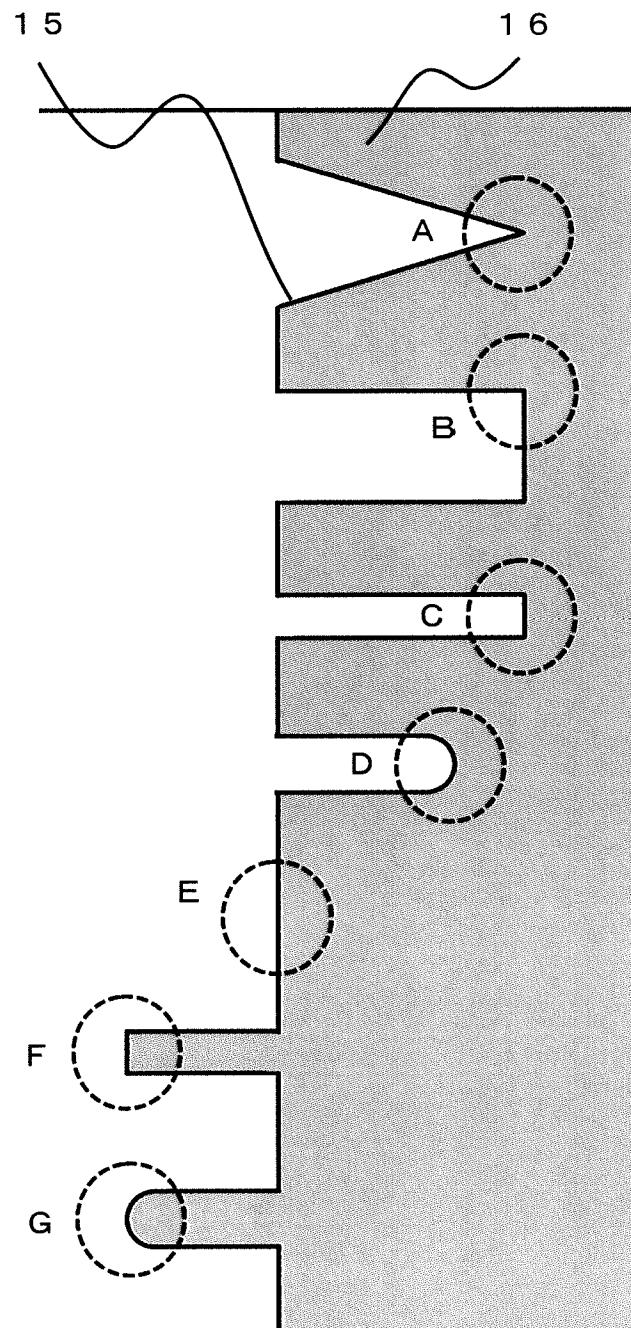
[図1G]



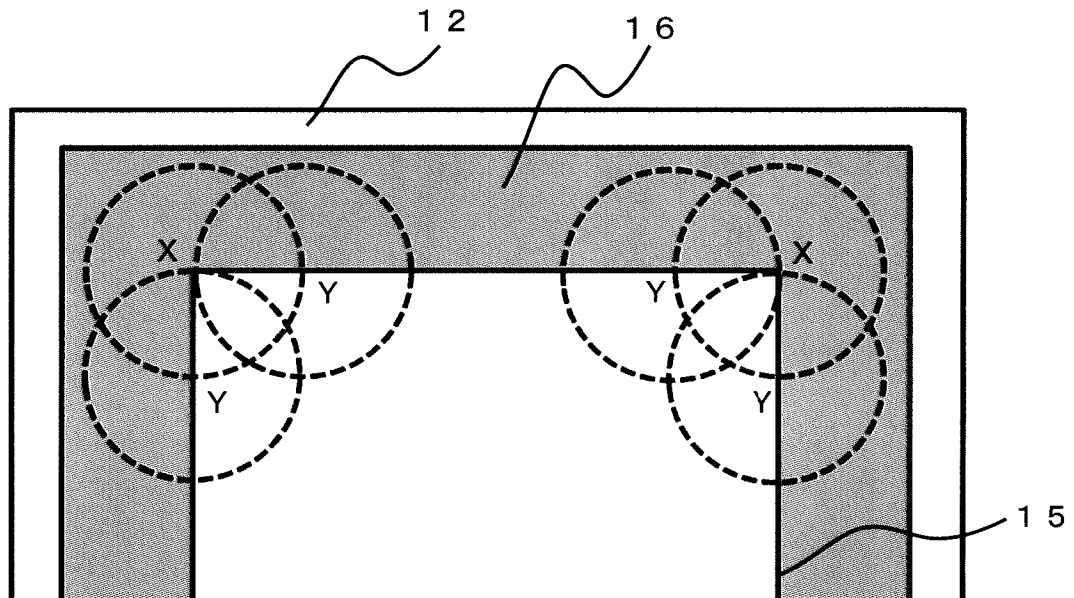
[図2]



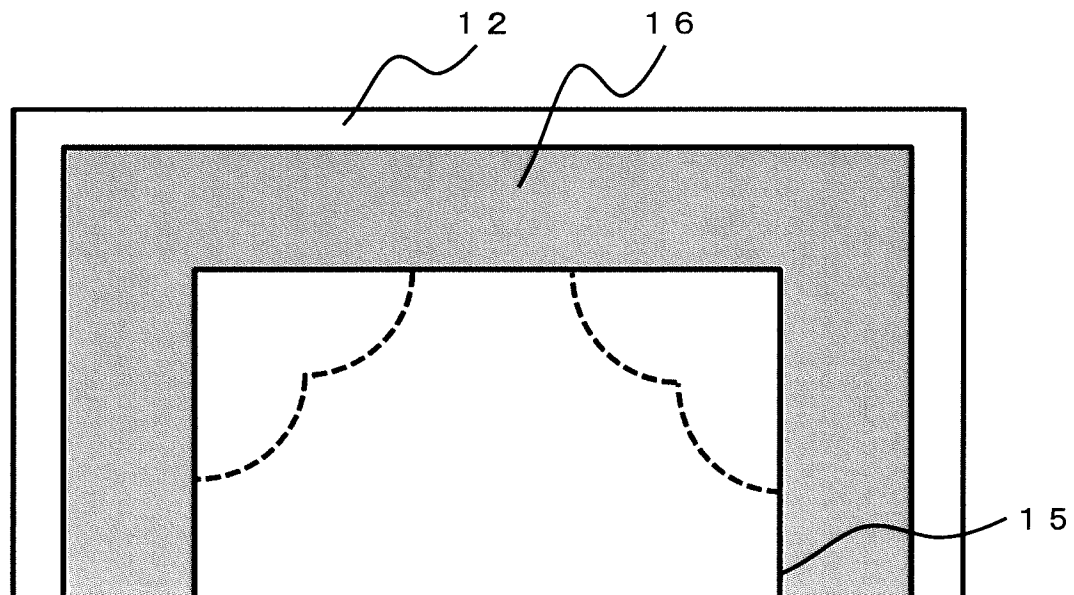
[図3]



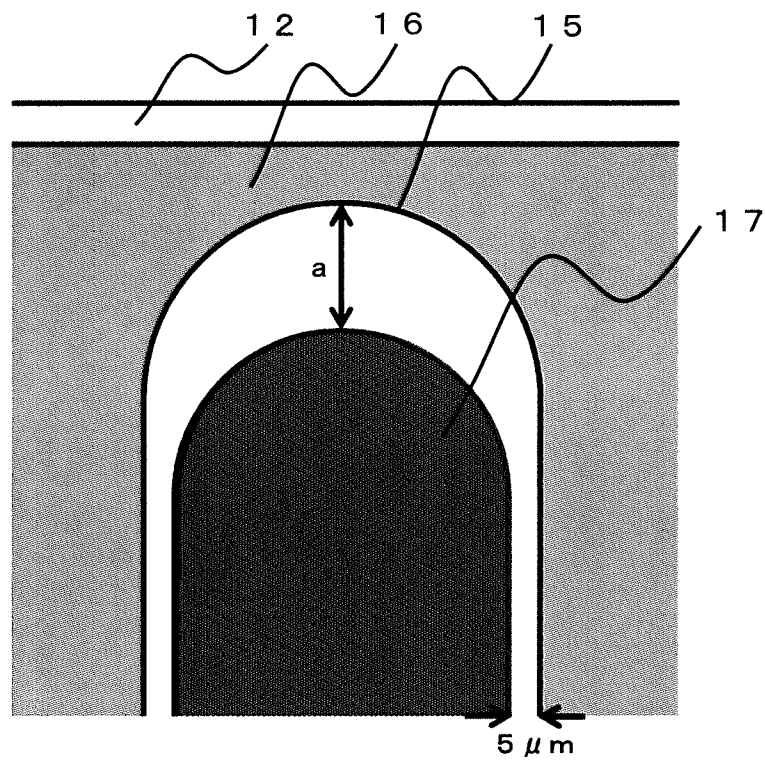
[図4A]



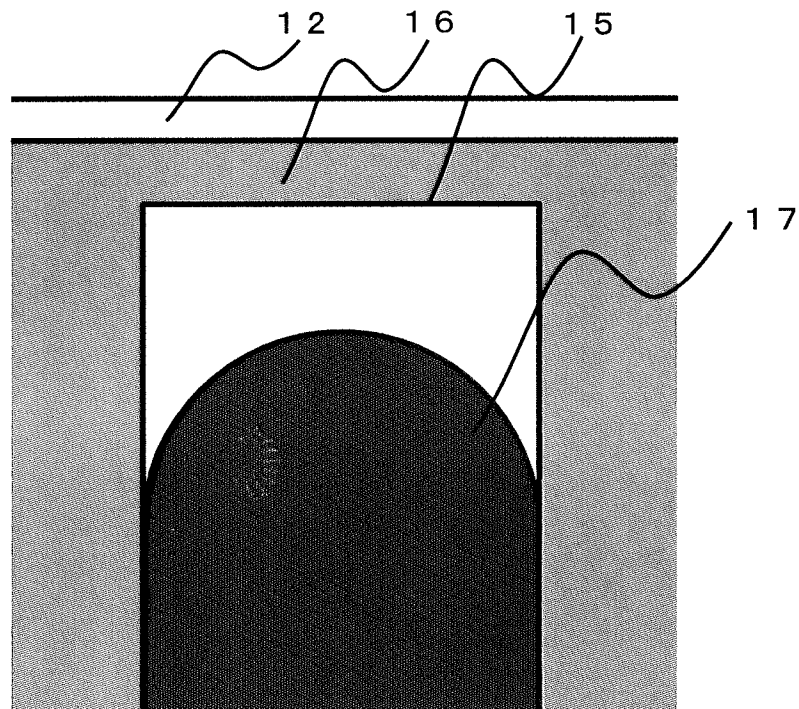
[図4B]



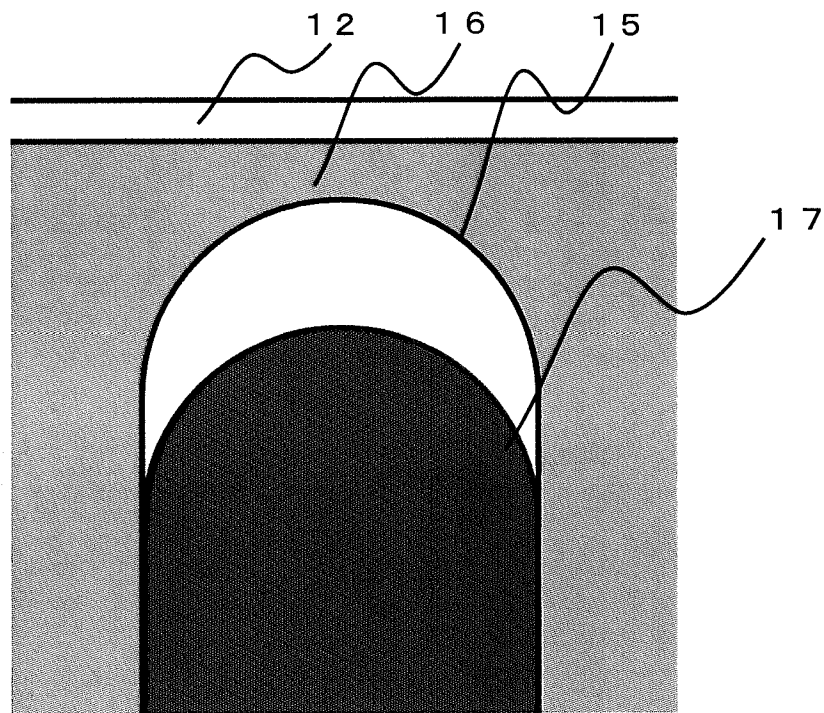
[図5]



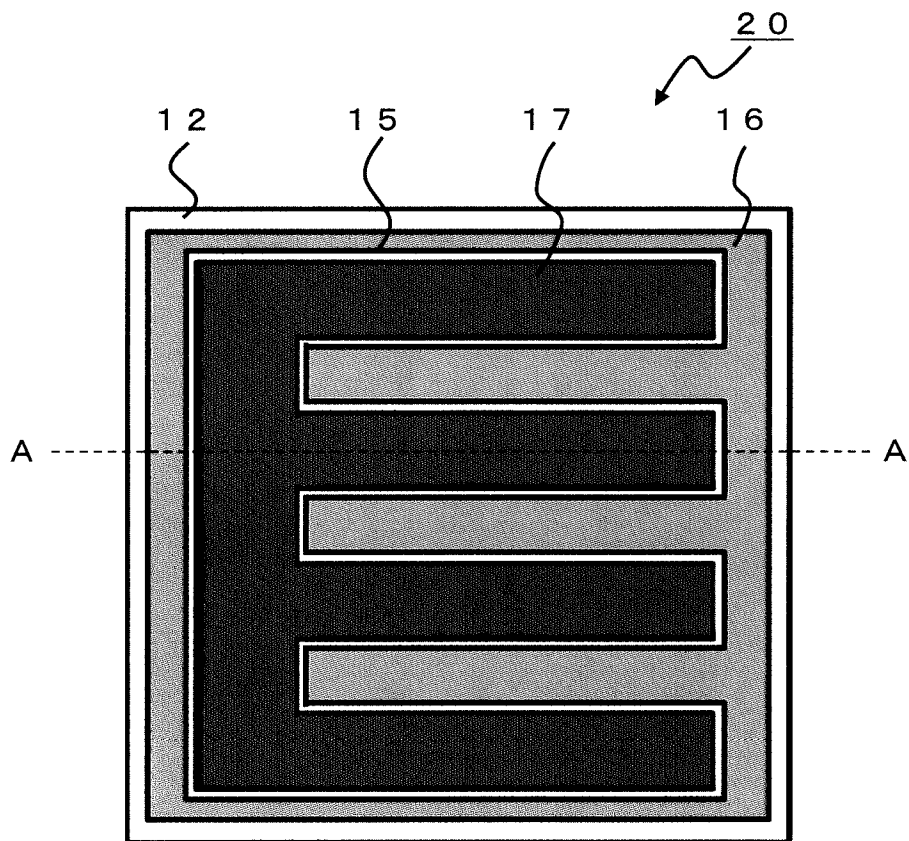
[図6A]



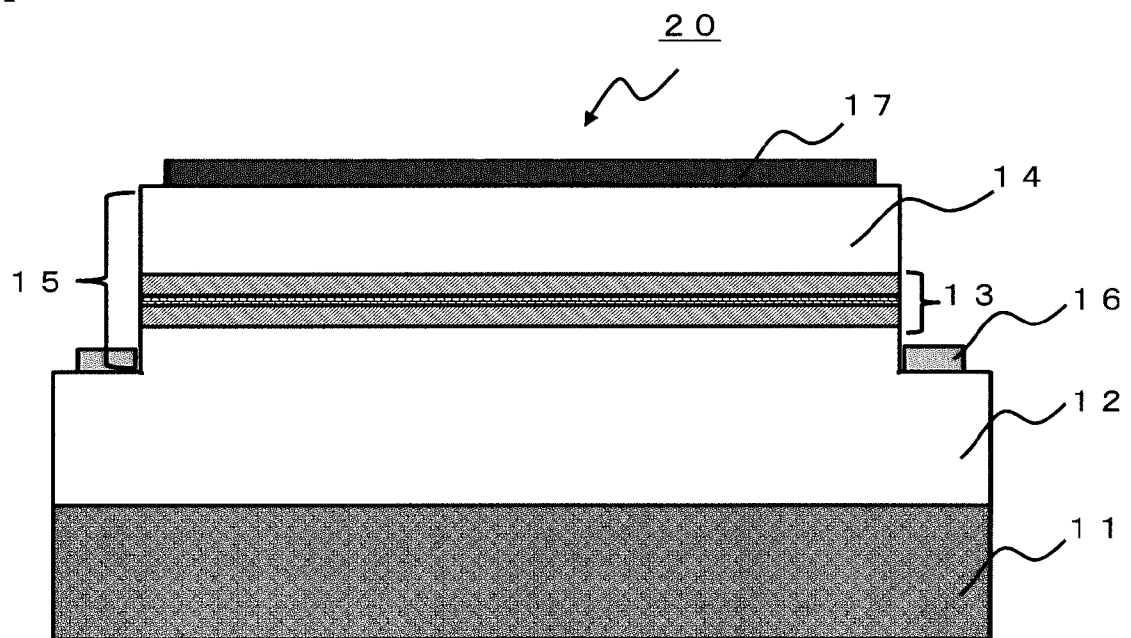
[図6B]



[図7A]



[図7B]



# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2016/055992

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H01L33/38(2010.01)i, H01L33/32(2010.01)i

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)

H01L33/00-33/64

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

|                           |           |                            |           |
|---------------------------|-----------|----------------------------|-----------|
| Jitsuyo Shinan Koho       | 1922-1996 | Jitsuyo Shinan Toroku Koho | 1996-2016 |
| Kokai Jitsuyo Shinan Koho | 1971-2016 | Toroku Jitsuyo Shinan Koho | 1994-2016 |

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

| Category* | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages                                                                                                                                                                                                                                                       | Relevant to claim No. |
|-----------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| X         | JP 2013-30817 A (Toshiba Corp.),<br>07 February 2013 (07.02.2013),<br>paragraphs [0012] to [0019], [0070] to [0072];<br>fig. 1<br>(Family: none)                                                                                                                                                                                         | 1-5                   |
| A         | WO 2011/033625 A1 (Toshiba Corp.),<br>24 March 2011 (24.03.2011),<br>paragraphs [0006] to [0008], [0011] to [0030],<br>[0048] to [0059], [0123] to [0136]; fig. 1 to<br>3, 12 to 14<br>& US 2012/0061713 A1<br>paragraphs [0026] to [0050], [0071] to [0085],<br>[0163] to [0179]; fig. 1A, 1B, 2, 3A to 3D,<br>12A, 12B, 13A to 13C, 14 | 1-5                   |

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ 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  
11 April 2016 (11.04.16)

Date of mailing of the international search report  
19 April 2016 (19.04.16)

Name and mailing address of the ISA/  
Japan Patent Office  
3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku,  
Tokyo 100-8915, Japan

Authorized officer

Telephone No.

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

International application No.

PCT/JP2016/055992

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

| Category* | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages                                                                                                                                                   | Relevant to claim No. |
|-----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| A         | JP 2007-214569 A (Samsung Electro-Mechanics Co., Ltd.),<br>23 August 2007 (23.08.2007),<br>paragraphs [0011] to [0031]; fig. 3<br>& US 2007/0181888 A1<br>paragraphs [0022] to [0041]; fig. 3<br>& KR 10-0682878 B1 & CN 101017868 A | 1-5                   |

## A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC））

Int.Cl. H01L33/38(2010.01)i, H01L33/32(2010.01)i

## B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（IPC））

Int.Cl. H01L33/00-33/64

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

|             |            |
|-------------|------------|
| 日本国実用新案公報   | 1922-1996年 |
| 日本国公開実用新案公報 | 1971-2016年 |
| 日本国実用新案登録公報 | 1996-2016年 |
| 日本国登録実用新案公報 | 1994-2016年 |

国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）

## C. 関連すると認められる文献

| 引用文献の<br>カテゴリー* | 引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示                                                                                      | 関連する<br>請求項の番号 |
|-----------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|
| X               | JP 2013-30817 A（株式会社東芝）<br>2013.02.07, [0012]～[0019], [0070]～[0072], 図1<br>(ファミリーなし)                                   | 1-5            |
| A               | WO 2011/033625 A1（株式会社東芝）<br>2011.03.24, [0006]～[0008], [0011]～[0030], [0048]～[0059],<br>[0123]～[0136], 図1～図3, 図12～図14 | 1-5            |

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。

☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

## \* 引用文献のカテゴリー

「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの  
「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの  
「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）  
「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献  
「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの  
「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの  
「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの  
「&」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

11.04.2016

国際調査報告の発送日

19.04.2016

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁（ISA/J P）

郵便番号100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官（権限のある職員）

吉野 三寛

2 K

6204

電話番号 03-3581-1101 内線 3255

| C (続き) . 関連すると認められる文献 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                |
|-----------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|
| 引用文献の<br>カテゴリー*       | 引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | 関連する<br>請求項の番号 |
| A                     | & US 2012/0061713 A1, [0026]～[0050], [0071]～[0085], [0163]～<br>[0179], FIG. 1A, FIG. 1B, FIG. 2, FIG. 3A～<br>FIG. 3D, FIG. 12A, FIG. 12B, FIG. 13A～FIG. 13C, FIG. 14<br><br>JP 2007-214569 A (三星電機株式会社)<br>2007. 08. 23, [0011]～[0031], 図 3<br>& US 2007/0181888 A1, [0022]～[0041], FIG. 3<br>& KR 10-0682878 B1<br>& CN 101017868 A | 1-5            |