

W/O 2014/171467 A1



MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラ  
シア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッ  
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))

## 明 細 書

発明の名称：ＬＥＤ素子及びその製造方法

### 技術分野

[0001] 本発明は、ＬＥＤ素子及びその製造方法に関する。

### 背景技術

[0002] サファイア基板の表面上に形成され発光層を含むIII族窒化物半導体と、サファイア基板の表面側に形成され発光層から発せられる光が入射し当該光の光学波長より大きく当該光のコヒーレント長より小さい周期で凹部又は凸部が形成された回折面と、基板の裏面側に形成され回折面にて回折した光を反射して回折面へ再入射させるＡＩ反射膜と、を備えるＬＥＤ素子が知られている（特許文献１参照）。このＬＥＤ素子では、回折作用により透過した光を回折面に再入射させて、回折面にて再び回折作用を利用して透過させることにより、複数のモードで光を素子外部へ取り出すことができる。

### 先行技術文献

#### 特許文献

[0003] 特許文献１：国際公開第２０１１／０２７６７９号

### 発明の概要

#### 発明が解決しようとする課題

[0004] 本願発明者らは、さらなる光取り出し効率の向上を追及していた。

[0005] 本発明は、前記事情に鑑みてなされたものであり、その目的とするところは、さらに光取り出し効率を向上させることのできるＬＥＤ素子及びその製造方法を提供することにある。

#### 課題を解決するための手段

[0006] 前記目的を達成するため、本発明では、発光層を含む半導体積層部と、前記発光層から発せられる光が入射し、当該光の光学波長より大きく当該光のコヒーレント長より小さい周期で凸部が形成され、入射光をブラッグの回折条件に従って複数のモードで反射するとともに、入射光をブラッグの回折条

件に従って複数のモードで透過する回折面と、前記回折面にて回折した光を反射して前記回折面へ再入射させる反射面と、を備え、前記半導体積層部は、前記回折面上に前記凸部の周囲に空隙なく形成され、前記回折面において、平面視にて、前記平坦部の割合が40%以上であるLED素子が提供される。

[0007] また、本発明では、上記LED素子を製造するにあたり、サファイア基板の表面上にマスク層を形成するマスク層形成工程と、前記マスク層上にレジスト膜を形成するレジスト膜形成工程と、前記レジスト膜に所定のパターンを形成するパターン形成工程と、前記レジスト膜をマスクとして前記マスク層のエッチングを行うマスク層のエッチング工程と、エッチングされた前記マスク層をマスクとして、前記サファイア基板のエッチングを行って前記凸部を形成する基板のエッチング工程と、エッチングされた前記サファイア基板の表面上に、前記半導体積層部を形成する半導体形成工程と、を含むLED素子の製造方法が提供される。

[0008] さらに、本発明では、サファイア基板と、前記サファイア基板の表面上に形成され青色光を発する発光層を含む半導体積層部と、を備え、前記サファイア基板の表面は、平面視にて、仮想の三角格子又は四角格子の交点に配置される複数の凹部又は凸部を有し、前記仮想の三角格子又は四角格子をなす三角形又は四角形は、正多角形ではなく、各辺の長さが前記青色光の光学波長の2倍より大きくコヒーレント長より小さいLED素子が提供される。

[0009] さらにまた、本発明では、基板と、前記基板の表面上に形成された発光層を含む半導体積層部と、前記基板の裏面上に形成された反射部と、前記半導体積層部上に形成された電極と、を備え、前記電極は、前記半導体積層部上に形成される拡散電極層と、前記拡散電極層上に形成され表面が前記発光層から発せられる光の光学波長の2倍より小さい周期の凹部又は凸部を有する透過モスアイ面をなすモスアイ層と、を有し、前記モスアイ層は、前記発光層から発せられる光について、前記拡散電極層を構成する材料よりも消衰係数が小さく、前記拡散電極層を構成する材料と屈折率がほぼ同じ材料から構

成したLED素子が提供される。

## 発明の効果

[0010] 本発明のLED素子によれば、さらに光取り出し効率を向上させることができる。

## 図面の簡単な説明

[0011] [図1]図1は、本発明の第1の実施形態を示すLED素子の模式断面図である。

[図2]図2は、異なる屈折率の界面における光の回折作用を示す説明図であり、(a)は界面にて反射する状態を示し、(b)は界面を透過する状態を示す。

[図3]図3は、凹部又は凸部の周期を500nmとした場合の、III族窒化物半導体層とサファイア基板の界面における、半導体層側から界面へ入射する光の入射角と、界面での回折作用による透過角の関係を示すグラフである。

[図4]図4は、凹部又は凸部の周期を500nmとした場合の、III族窒化物半導体層とサファイア基板の界面における、半導体層側から界面へ入射する光の入射角と、界面での回折作用による反射角の関係を示すグラフである。

[図5]図5は、素子内部における光の進行方向を示す説明図である。

[図6]図6は、LED素子の一部拡大模式断面図である。

[図7]図7はサファイア基板を示し、(a)が模式斜視図、(b)がA-A断面を示す模式説明図、(c)が模式拡大説明図である。

[図8]図8は凸部の配置状態を示す平面模式図であり、(a)が仮想の三角格子を正三角形としたもの、(b)が仮想の三角格子を二等辺三角形としたものである。

[図9]図9は、仮想の三角格子又は四角格子を正多角形とした場合における、1辺の長さと言取り出し効率との関係を言すグラフである。

[図10]図10は、仮想の三角格子を二等辺三角形とした場合における、等辺の長さと言取り出し効率との関係を言すグラフである。

[図11]図11は、プラズマエッチング装置の概略説明図である。

[図12]図12は、サファイア基板のエッチング方法を示すフローチャートである。

[図13A]図13Aはサファイア基板及びマスク層のエッチング方法の過程を示し、(a)は加工前のサファイア基板を示し、(b)はサファイア上にマスク層を形成した状態を示し、(c)はマスク層上にレジスト膜を形成した状態を示し、(d)はレジスト膜にモールドを接触させた状態を示し、(e)はレジスト膜にパターンが形成された状態を示す。

[図13B]図13Bはサファイア基板及びマスク層のエッチング方法の過程を示し、(f)はレジスト膜の残膜を除去した状態を示し、(g)はレジスト膜を変質させた状態を示し、(h)はレジスト膜をマスクとしてマスク層をエッチングした状態を示し、(i)はマスク層をマスクとしてサファイア基板をエッチングした状態を示す。

[図13C]図13Cはサファイア基板及びマスク層のエッチング方法の過程を示し、(j)はマスク層をマスクとしてサファイア基板をさらにエッチングした状態を示し、(k)はサファイア基板から残ったマスク層を除去した状態を示し、(l)はサファイア基板にウェットエッチングを施した状態を示す。

[図14]図14は、Ni層の厚さを変化させた際における凸部の基端部の径と凸部の高さの関係を示すグラフである。

[図15]図15は、凸部の周期及びC面領域の割合と、転位密度が所定値以下となったか否かを示す表である。

[図16]図16は、実施例1の反射部の反射率を示すグラフである。

[図17]図17は、実施例2の反射部の反射率を示すグラフである。

[図18]図18は、本発明の第2の実施形態を示すLED素子の模式断面図である。

[図19]図19は、LED素子の一部拡大模式断面図である。

[図20]図20は、実施例3の反射部の反射率を示すグラフである。

[図21]図21は、実施例4の反射部の反射率を示すグラフである。

[図22]図22は、本発明の第2の実施形態を示すLED素子の模式断面図である。

[図23]図23は、素子内部における光の進行方向を示す説明図である。

[図24]図24はモスアイ層を加工する説明図であり、(a)は透過モスアイ面に第1マスク層が形成された状態を示し、(b)は第1マスク層上にレジスト層が形成された状態を示し、(c)はレジスト層に選択的に電子線を照射する状態を示し、(d)はレジスト層を現像して除去した状態を示し、(e)は第2マスク層が形成された状態を示している。

[図25]図25はモスアイ層を加工する説明図であり、(a)はレジスト層を完全に除去した状態を示し、(b)は第2マスク層をマスクとして第1マスク層をエッチングした状態を示し、(c)は第2マスク層を除去した状態を示し、(d)第1マスク層をマスクとして透過モスアイ面をエッチングした状態を示し、(e)は第1マスク層を除去した状態を示す。

### 発明を実施するための形態

[0012] 図1は、本発明の第1の実施形態を示すLED素子の模式断面図である。

[0013] 図1に示すように、LED素子1は、サファイア基板2の表面上に、III族窒化物半導体層からなる半導体積層部19が形成されたものである。このLED素子1は、フリップチップ型であり、サファイア基板2の裏面側から主として光が取り出される。半導体積層部19は、バッファ層10、n型GaN層12、発光層14、電子ブロック層16、p型GaN層18をサファイア基板2側からこの順に有している。p型GaN層18上にはp側電極27が形成されるとともに、n型GaN層12上にはn側電極28が形成されている。

[0014] 図1に示すように、バッファ層10は、サファイア基板2の表面上に形成され、AlNで構成されている。本実施形態においては、バッファ層10は、MOCVD (Metal Organic Chemical Vapor Deposition) 法により形成されるが、スパッタリング法を用いることもできる。第1導電型層としてのn型GaN層12は、バッファ層10上に形成され、n-GaNで構成されて

いる。発光層 14 は、n 型 GaN 層 12 上に形成され、GaInN/GaN で構成され、電子及び正孔の注入により青色光を発する。ここで、青色光とは、例えば、ピーク波長が 430 nm 以上 480 nm 以下の光をいうものとする。本実施形態においては、発光層 14 の発光のピーク波長は 450 nm である。

[0015] 電子ブロック層 16 は、発光層 14 上に形成され、p-AlGaInN で構成されている。第 2 導電型層としての p 型 GaN 層 18 は、電子ブロック層 16 上に形成され、p-GaN で構成されている。n 型 GaN 層 12 から p 型 GaN 層 18 までは、III 族窒化物半導体のエピタキシャル成長により形成され、サファイア基板 2 の表面には周期的に凸部 2c が形成されているが、III 族窒化物半導体の成長初期に横方向成長による平坦化が図られる。尚、第 1 導電型層、活性層及び第 2 導電型層を少なくとも含み、第 1 導電型層及び第 2 導電型層に電圧が印加されると、電子及び正孔の再結合により活性層にて光が発せられるものであれば、半導体層の層構成は任意である。

[0016] サファイア基板 2 の表面は垂直化モスアイ面 2a をなし、サファイア基板 2 の裏面は透過モスアイ面 2g をなす。サファイア基板 2 の表面は、平坦部 2b と、平坦部 2b に周期的に形成された複数の凸部 2c と、が形成されている。本実施形態においては、各凸部 2c の周囲に半導体積層部 19 が空隙なく形成されている。各凸部 2c の形状は、円錐、多角錐等の錐状の他、錐の上部を切り落とした円錐台、多角錐台等の錐台状とすることができる。各凸部 2c は、発光層 14 から発せられる光を回折するよう設計される。本実施形態においては、周期的に配置される各凸部 2c により、光の垂直化作用を得ることができる。ここで、光の垂直化作用とは、光の強度分布が、垂直化モスアイ面へ入射する前よりも、反射及び透過した後の方が、サファイア基板 2 と半導体積層部 19 の界面に対して垂直な方向に偏ることをいう。

[0017] また、サファイア基板 2 の裏面は、平坦部 2h と、平坦部 2h に周期的に形成された複数の凸部 2i と、が形成されている。各凸部 2i の形状は、円錐、多角錐等の錐状の他、錐の上部を切り落とした円錐台、多角錐台等の錐

台状とすることができる。透過モスアイ面の凸部 2 i の周期は、垂直化モスアイ面の凸部 2 c の周期より短い。本実施形態においては、周期的に配置される各凸部 2 i により、外部との界面におけるフレネル反射が抑制される。

[0018] 図 2 は、異なる屈折率の界面における光の回折作用を示す説明図であり、(a) は界面にて反射する状態を示し、(b) は界面を透過する状態を示す。

[0019] ここで、ブラッグの回折条件から、界面にて光が反射する場合において、入射角  $\theta_{in}$  に対して反射角  $\theta_{ref}$  が満たすべき条件は、

$$d \cdot n_1 \cdot (\sin \theta_{in} - \sin \theta_{ref}) = m \cdot \lambda \cdots (1)$$

である。ここで、 $n_1$  は入射側の媒質の屈折率、 $\lambda$  は入射する光の波長、 $m$  は整数である。半導体積層部 19 からサファイア基板 2 へ光が入射する場合、 $n_1$  は III 族窒化物半導体の屈折率となる。図 2 (a) に示すように、上記 (1) 式を満たす反射角  $\theta_{ref}$  で、界面へ入射する光は反射される。

[0020] 一方、ブラッグの回折条件から、界面にて光が透過する場合において、入射角  $\theta_{in}$  に対して透過角  $\theta_{out}$  が満たすべき条件は、

$$d \cdot (n_1 \cdot \sin \theta_{in} - n_2 \cdot \sin \theta_{out}) = m' \cdot \lambda \cdots (2)$$

である。ここで、 $n_2$  は出射側の媒質の屈折率であり、 $m'$  は整数である。例えば半導体積層部 19 からサファイア基板 2 へ光が入射する場合、 $n_2$  はサファイアの屈折率となる。図 2 (b) に示すように、上記 (2) 式を満たす透過角  $\theta_{out}$  で、界面へ入射する光は透過される。

[0021] 上記 (1) 式及び (2) 式の回折条件を満たす反射角  $\theta_{ref}$  及び透過角  $\theta_{out}$  が存在するためには、サファイア基板 2 の表面の周期は、素子内部の光学波長である  $(\lambda / n_1)$  や  $(\lambda / n_2)$  よりも大きくなければならない。従って、サファイア基板 2 の表面は、回折光が存在するように周期が  $(\lambda / n_1)$  や  $(\lambda / n_2)$  よりも大きく設定されている。

[0022] 図 3 は、凹部又は凸部の周期を 500 nm とした場合の、III 族窒化物半導体層とサファイア基板の界面における、半導体層側から界面へ入射する光の入射角と、界面での回折作用による透過角の関係を示すグラフである。また

、図4は、凹部又は凸部の周期を500nmとした場合の、III族窒化物半導体層とサファイア基板の界面における、半導体層側から界面へ入射する光の入射角と、界面での回折作用による反射角の関係を示すグラフである。

[0023] 垂直化モスアイ面2aに入射する光には、一般的な平坦面と同様に全反射の臨界角が存在する。GaN系半導体層とサファイア基板2との界面では、臨界角は45.9°である。図3に示すように、臨界角を超えた領域では、上記(2)式の回折条件を満たす $m' = 1, 2, 3, 4$ での回折モードでの透過が可能である。また、図4に示すように、臨界角を超えた領域では、上記(1)式の回折条件を満たす $m = 1, 2, 3, 4$ での回折モードでの反射が可能である。臨界角が45.9°の場合、臨界角を超える光出力が約70%、臨界角を超えない光出力が約30%となる。すなわち、臨界角を超えた領域の光を取り出すことは、LED素子1の光取り出し効率の向上に大きく寄与する。

[0024] ここで、入射角 $\theta_{in}$ よりも透過角 $\theta_{out}$ が小さくなる領域では、垂直化モスアイ面2aを透過する光は、サファイア基板2とIII族窒化物半導体層の界面に対して垂直寄りに角度変化する。図3中、この領域をハッチングで示す。図3に示すように、垂直化モスアイ面2aを透過する光については、臨界角を超えた領域では、 $m' = 1, 2, 3$ の回折モードの光は全ての角度域で垂直寄りに角度変化する。 $m' = 4$ の回折モードの光は一部の角度域で垂直寄りとならないが、回折次数が大きい光の強度は比較的小さいため影響が小さく、この一部の角度域においても実質的に垂直寄りに角度変化する事となる。すなわち、半導体積層部19側にて垂直化モスアイ面2aへ入射する光の強度分布と比べて、サファイア基板2側にて垂直化モスアイ面2aを透過して出射する光の強度分布が、半導体積層部19とサファイア基板2の界面に対して垂直な方向に偏る。

[0025] また、入射角 $\theta_{in}$ よりも反射角 $\theta_{ref}$ が小さくなる領域では、垂直化モスアイ面2aで反射する光は、サファイア基板2とIII族窒化物半導体層の界面に対して垂直寄りに角度変化する。図4中、この領域をハッチングで示す。図

4に示すように、垂直化モスアイ面2aにて反射する光については、臨界角を超えた領域では、 $m = 1, 2, 3$ の回折モードの光は全ての角度域で垂直寄りに角度変化する。 $m = 4$ の回折モードの光は一部の角度域で垂直寄りとならないが、回折次数が大きい光の強度は比較的小さいため影響が小さく、この一部の角度域においても実質的に垂直寄りに角度変化する事となる。すなわち、半導体積層部19側にて垂直化モスアイ面2aへ入射する光の強度分布と比べて、半導体積層部19側にて垂直化モスアイ面2aから反射により出射する光の強度分布が、半導体積層部19とサファイア基板2の界面に対して垂直な方向に偏る。

[0026] 図5は、素子内部における光の進行方向を示す説明図である。

[0027] 図5に示すように、発光層14から発せられた光のうち、サファイア基板2へ臨界角を超えて入射する光は、垂直化モスアイ面2aで入射時よりも垂直寄りの方向へ透過及び反射する。すなわち、垂直化モスアイ面2aを透過した光は、垂直寄りへ角度変化した状態で透過モスアイ面2gへ入射する。また、垂直化モスアイ面2aで反射した光は、垂直寄りへ角度変化した状態でp側電極27及びn側電極28で反射された後、垂直化モスアイ面2aに再度入射する。このときの入射角は、先の入射角よりも垂直寄りとなる。この結果、透過モスアイ面2gへ入射する光を垂直寄りとすることができる。

[0028] 図6は、LED素子の一部拡大模式断面図である。

[0029] 図6に示すように、p側電極27は、p型GaN層18上に形成される拡散電極21と、拡散電極21上の所定領域に形成される誘電体多層膜22と、誘電体多層膜22上に形成される金属電極23とを有している。拡散電極21は、p型GaN層18に全面的に形成され、例えばITO(Indium Tin Oxide)等の透明材料からなる。また、誘電体多層膜22は、屈折率の異なる第1材料22aと第2材料22bのペアを複数繰り返して構成される。誘電体多層膜22は、例えば、第1材料22aを $ZrO_2$ (屈折率: 2.18)、第2材料22bを $SiO_2$ (屈折率: 1.46)とし、ペア数を5とすることができる。尚、 $ZrO_2$ と $SiO_2$ と異なる材料を用いて誘電体多層膜22を構

成してもよく、例えば、 $\text{AlN}$ （屈折率：2.18）、 $\text{Nb}_2\text{O}_3$ （屈折率：2.4）、 $\text{Ta}_2\text{O}_3$ （屈折率：2.35）等を用いてもよい。金属電極23は、誘電体多層膜22を被覆し、例えばAl等の金属材料からなる。金属電極23は、誘電体多層膜22に形成されたビアホール22cを通じて拡散電極21と電氣的に接続されている。

[0030] 図6に示すように、n側電極28は、p型Ga<sub>0.49</sub>N層18からn型Ga<sub>0.51</sub>N層12をエッチングして、露出したn型Ga<sub>0.51</sub>N層12上に形成される。n側電極28は、n型Ga<sub>0.51</sub>N層12上に形成される拡散電極24と、拡散電極24上の所定領域に形成される誘電体多層膜25と、誘電体多層膜25上に形成される金属電極26とを有している。拡散電極24は、n型Ga<sub>0.51</sub>N層12に全面的に形成され、例えばITO(Indium Tin Oxide)等の透明材料からなる。また、誘電体多層膜25は、屈折率の異なる第1材料25aと第2材料25bのペアを複数繰り返して構成される。誘電体多層膜25は、例えば、第1材料25aを $\text{ZrO}_2$ （屈折率：2.18）、第2材料25bを $\text{SiO}_2$ （屈折率：1.46）とし、ペア数を5とすることができる。尚、 $\text{ZrO}_2$ と $\text{SiO}_2$ と異なる材料を用いて誘電体多層膜25を構成してもよく、例えば、 $\text{AlN}$ （屈折率：2.18）、 $\text{Nb}_2\text{O}_3$ （屈折率：2.4）、 $\text{Ta}_2\text{O}_3$ （屈折率：2.35）等を用いてもよい。金属電極26は、誘電体多層膜25を被覆し、例えばAl等の金属材料からなる。金属電極26は、誘電体多層膜25に形成されたビアホール25aを通じて拡散電極24と電氣的に接続されている。

[0031] このLED素子1においては、p側電極27及びn側電極28が反射部をなしている。p側電極27及びn側電極28は、それぞれ垂直に近い角度ほど反射率が高くなっている。反射部へは、発光層14から発せられて直接的に入射する光の他、サファイア基板2の垂直化モスアイ面2aにて反射して、界面に対して垂直寄りに角度変化した光が入射する。すなわち、反射部へ入射する光の強度分布は、サファイア基板2の表面が平坦面だった場合と比較すると、垂直寄りに偏った状態となっている。

[0032] 次いで、図7を参照してサファイア基板2について詳述する。図7はサファイア基板を示し、(a)が模式斜視図、(b)がA-A断面を示す模式説明図、(c)が模式拡大説明図である。

[0033] 図7(a)に示すように、垂直化モスアイ面2aは、平面視にて、各凸部2cの中心が正三角形の頂点の位置となるように、所定の周期で仮想の三角格子の交点に整列して形成される。尚、各凸部2cの中心が二等辺三角形の頂点の位置となるように配置してもよい。各凸部2cの周期は、発光層14から発せられる光の光学波長より大きく、当該光のコヒーレント長より小さくなっている。尚、ここでいう周期とは、隣接する凸部2cにおける高さのピーク位置の距離をいう。また、光学波長とは、実際の波長を屈折率で除した値を意味する。さらに、コヒーレント長とは、所定のスペクトル幅のフォトン群の個々の波長の違いによって、波の周期的振動が互いに打ち消され、可干渉性が消失するまでの距離に相当する。コヒーレント長 $l_c$ は、光の波長を $\lambda$ 、当該光の半値幅を $\Delta\lambda$ とすると、おおよそ $l_c = (\lambda^2 / \Delta\lambda)$ の関係にある。ここで、各凸部2cの周期は光学波長の1倍以上で臨界角以上の角度の入射光に対して徐々に回折作用が有効に働き出し、発光層14から発せられる光の光学波長の2倍より大きいと、透過モード及び反射モードの数が十分に増えるので好ましい。また、各凸部2cの周期は、発光層14から発せられる光のコヒーレント長の半分以下であることが好ましい。

[0034] 本実施形態においては、仮想の三角格子をなす正三角形の一辺の長さが460nmとなっている。すなわち、各凸部2cの主な周期は、460nm及び797nmである。また、サファイア基板2は、平面視にて、平坦部2bの割合が40%以上となるよう構成されている。発光層14から発せられる光の波長は450nmであり、III族窒化物半導体層の屈折率が2.4であることから、その光学波長は187.5nmである。また、発光層14から発せられる光の半値幅は27nmであることから、当該光のコヒーレント長は、7500nmである。すなわち、垂直化モスアイ面2aの周期は、発光層14の光学波長の2倍より大きく、かつ、コヒーレント長の半分以下となっ

ている。

[0035] 図8は凸部の配置状態を示す平面模式図であり、(a)が仮想の三角格子を正三角形としたもの、(b)が仮想の三角格子を二等辺三角形としたものである。

ここで、図8(a)に示すように、仮想の三角格子を正三角形とすると、各凸部2cについて、最も近接する距離a1に位置する凸部2cは60°おきに6つ存在する。すなわち、図8(a)に示すように、所定の凸部2cを基準として、最も近接する凸部2cは、0°方向、60°方向、120°方向、180°方向、240°方向及び300°方向に位置している。このうち、0°方向と180°方向、60°方向と240°方向、120°方向と300°方向は等価な方向である。

[0036] また、これらに次いで近い距離a2の凸部2cは、30°方向、90°方向、150°方向、210°方向、270°方向及び330°方向に位置している。このうち、30°方向と210°方向、90°方向と270°方向、150°方向と330°方向は等価な方向である。すなわち、仮想の三角格子を正三角形とした場合、主として、距離a1と距離a2の2種類の周期が存在することとなる。

[0037] 一方、図8(b)に示すように、仮想の三角格子を二等辺三角形とすると、各凸部2cについて、等辺の距離b1に位置する凸部2cが、底角を $\theta$ とすると、 $\theta$ 方向、 $(180^\circ - \theta)$ 方向、 $(180^\circ + \theta)$ 方向、 $(360^\circ - \theta)$ 方向に位置している。このうち、 $\theta$ 方向と $(180^\circ + \theta)$ 方向、及び、 $(180^\circ - \theta)$ 方向と $(360^\circ - \theta)$ 方向は等価な方向である。

また、各凸部2cについて、底辺の距離b2に位置する凸部2cが0°方向と180°方向に位置している。これらの方向は等価な方向である。

さらに、各凸部2cについて、 $(2 \cdot b1 \cdot \sin \theta)$ の距離b3に位置する凸部2cが、90°方向と270°方向に位置している。これらの方向は等価な方向である。

さらにまた、各凸部2cについて、 $((3/2 \times b2)^2 + (b1 \cdot \sin$

$\theta)^2)^{1/2}$ の距離 $b_4$ に位置する凸部 $2c$ が、 $\tan^{-1}(b_3/3 \cdot b_2)$ 方向、 $(180^\circ - \tan^{-1}(b_3/3 \cdot b_2))$ 方向、 $(180^\circ + \tan^{-1}(b_3/3 \cdot b_2))$ 方向及び $(360^\circ - \tan^{-1}(b_3/3 \cdot b_2))$ 方向に位置している。このうち、 $\tan^{-1}(b_3/3 \cdot b_2)$ 方向と $(180^\circ + \tan^{-1}(b_3/3 \cdot b_2))$ 方向、及び、 $(180^\circ - \tan^{-1}(b_3/3 \cdot b_2))$ 方向と $(360^\circ - \tan^{-1}(b_3/3 \cdot b_2))$ 方向は等価な方向である。

すなわち、仮想の三角格子を二等辺三角形とした場合、主として、距離 $b_1$ 、距離 $b_2$ 、距離 $b_3$ 及び距離 $b_4$ の4種類の周期が存在することとなり、光取り出しに利用可能な回折モードが多くなる。

[0038] 図9は、仮想の三角格子又は四角格子を正多角形とした場合における、1辺の長さとの光取り出し効率との関係を示すグラフである。

図9に示すように、仮想の三角格子又は四角格子を正多角形として、1辺の長さとの光取り出し効率の関係をシミュレーションにて計算した。具体的には、光の波長を $450\text{ nm}$ とし、Ga N系半導体とサファイア基板の界面において、Ga N系半導体からサファイア基板への透過率を計算した。

この結果、仮想の三角格子においては、1辺の長さを $460\text{ nm}$ 以下とした場合と、 $550\text{ nm}$ 以上 $800\text{ nm}$ 以下とした場合に比較的良好な透過率となった。また、仮想の四角格子においては、1辺の長さを $500\text{ nm}$ 以下とした場合に比較的良好な透過率となった。

[0039] 図10は、仮想の三角格子を二等辺三角形とした場合における、等辺の長さとの光取り出し効率との関係を示すグラフである。

図10に示すように、仮想の三角格子を二等辺三角形として、等辺の長さとの光取り出し効率の関係をシミュレーションにて計算した。具体的には、底辺の長さを $600\text{ nm}$ 、光の波長を $450\text{ nm}$ とし、Ga N系半導体とサファイア基板の界面において、Ga N系半導体からサファイア基板への透過率を計算した。

この結果、仮想の三角格子を正三角形とした場合と同様に、等辺の長さを

460nm以下とした場合と、550nm以上800nm以下とした場合に比較的良好な透過率となった。

[0040] また、二等辺三角形の等辺の長さ、正三角形の1辺の長さが同じ場合、三角格子を二等辺三角形とした方がおおむね透過率が高かった。具体的には、等辺及び1辺の長さが400nmで4%、460nmで5%、500nmで1%、700nmで1%、透過率が高くなった。尚、二等辺三角形の底辺が600nmであることから等辺が600nmのときは正三角形と等しい透過率となった。また、等辺が800nmのときは、1辺800nmの正三角形とほぼ等しい透過率であった。

[0041] これにより、仮想の三角格子では、正三角形より二等辺三角形の方が光取り出し効率が高くなることが理解される。このとき、二等辺三角形の等辺及び底辺をそれぞれ、460nm以下、または、550nm以上800nm以下とすることが好ましい。また、460nm以下の領域と、550nm以上800nm以下の領域では、光の入射角度と透過率の関係が異なる傾向を示すものと考えられる。すなわち、二等辺三角形の等辺及び底辺の一方を460nm以下とし、他方を550nm以上800nm以下とすることが、さらに好ましい。

[0042] 本実施形態においては、図7(c)に示すように、垂直化モスアイ面2aの各凸部2cは、平坦部2bから上方へ伸びる側面2dと、側面2dの上端から凸部2cの中心側へ湾曲して伸びる湾曲部2eと、湾曲部2eと連続的に形成される平坦な上面2fとを有する。後述するように、側面2dと上面2fの会合部により角が形成された湾曲部2e形成前の凸部2cのウェットエッチングにより、角を落とすことで湾曲部2eが形成される。尚、平坦な上面2fが消失して凸部2cの上側全体が湾曲部2eとなるまでウェットエッチングを施すようにしても差し支えない。本実施形態においては、具体的に、各凸部2cは、基端部の直径が380nmであり、高さは350nmとなっている。サファイア基板2の垂直化モスアイ面2aは、各凸部2cの他は平坦部2bとなっており、半導体の横方向成長が助長されるようになって

いる。

[0043] また、サファイア基板 2 の裏面の透過モスアイ面 2 g は、平面視にて、各凸部 2 i の中心が三角形の頂点の位置となるように、所定の周期で仮想の三角格子の交点に整列して形成される。各凸部 2 i の最も短い周期は、発光層 1 4 から発せられる光の光学波長の 2 倍より小さくなっている。本実施形態においては、仮想の三角格子をなす正三角形の一辺の長さが 300 nm となっている。すなわち、各凸部 2 i の最も短い周期は、300 nm である。発光層 1 4 から発せられる光の波長は 450 nm であり、サファイアの屈折率が 1.78 であることから、その光学波長は 252.8 nm である。すなわち、透過モスアイ面 2 g のうち最も短い周期は、発光層 1 4 の光学波長の 2 倍より小さくなっている。尚、モスアイ面の周期は、光学波長の 2 倍以下であれば界面におけるフレネル反射を抑制することができる。フレネル反射抑制作用は、凸部 2 i の最も短い周期が光学波長の 2 倍より小さければ十分に得ることができる。また、凸部 2 i の全ての周期を光学波長の 2 倍より小さくすると、より大きなフレネル反射抑制作用を得ることができる。透過モスアイ面 2 g の周期が光学波長が 2 倍から 1 倍に近づくにつれ、フレネル反射の抑制作用が大きくなる。サファイア基板 2 の外部が樹脂や空気であれば、透過モスアイ面 2 g の周期が光学波長の 1.25 倍以下であれば、1 倍以下とほぼ同じフレネル反射の抑制作用を得ることができる。

[0044] ここで、図 1 1 から図 1 3 C を参照して LED 素子 1 用のサファイア基板 2 の作製方法について説明する。図 1 1 は、サファイア基板を加工するためのプラズマエッチング装置の概略説明図である。

[0045] 図 1 1 に示すように、プラズマエッチング装置 9 1 は、誘導結合型 (ICP) であり、サファイア基板 2 を保持する平板状の基板保持台 9 2 と、基板保持台 9 2 を収容する容器 9 3 と、容器 9 3 の上方に石英板 9 6 を介して設けられたコイル 9 4 と、基板保持台 9 2 に接続された電源 9 5 と、を有している。コイル 9 4 は立体渦巻形のコイルであり、コイル中央から高周波電力を供給し、コイル外周の末端が接地されている。エッチング対象のサファイ

ア基板 2 は直接或いは搬送用トレーを介して基板保持台 9 2 に載置される。基板保持台 9 2 にはサファイア基板 2 を冷却するための冷却機構が内蔵されており、冷却制御部 9 7 によって制御される。容器 9 3 は供給ポートを有し、 $O_2$  ガス、 $Ar$  ガス等の各種ガスが供給可能となっている。

[0046] このプラズマエッチング装置 1 でエッチングを行うにあたっては、基板保持台 9 2 にサファイア基板 2 を載置した後、容器 9 3 内の空気を排出して減圧状態とする。そして、容器 9 3 内に所定の処理ガスを供給し、容器 9 3 内のガス圧力を調整する。その後、コイル 9 4 及び基板保持台 9 2 に高出力の高周波電力を所定時間供給して、反応ガスのプラズマ 9 8 を生成させる。このプラズマ 9 8 によってサファイア基板 2 のエッチングを行う。

[0047] 次いで、図 1 2、図 1 3 A、図 1 3 B 及び図 1 3 C を参照して、プラズマエッチング装置 9 1 を用いたエッチング方法について説明する。

図 1 2 は、エッチング方法を示すフローチャートである。図 1 2 に示すように、本実施形態のエッチング方法は、マスク層形成工程 S 1 と、レジスト膜形成工程 S 2 と、パターン形成工程 S 3 と、残膜除去工程 S 4 と、レジスト変質工程 S 5 と、マスク層のエッチング工程 S 6 と、サファイア基板のエッチング工程 S 7 と、マスク層除去工程 S 8 と、湾曲部形成工程 S 9 と、を含んでいる。

[0048] 図 1 3 A はサファイア基板及びマスク層のエッチング方法の過程を示し、(a) は加工前のサファイア基板を示し、(b) はサファイア基板上にマスク層を形成した状態を示し、(c) はマスク層上にレジスト膜を形成した状態を示し、(d) はレジスト膜にモールドを接触させた状態を示し、(e) はレジスト膜にパターンが形成された状態を示す。

図 1 3 B はサファイア基板及びマスク層のエッチング方法の過程を示し、(f) はレジスト膜の残膜を除去した状態を示し、(g) はレジスト膜を変質させた状態を示し、(h) はレジスト膜をマスクとしてマスク層をエッチングした状態を示し、(i) はマスク層をマスクとしてサファイア基板をエッチングした状態を示す。尚、変質後のレジスト膜は、図中、塗りつぶすこ

とで表現している。

図13Cはサファイア基板及びマスク層のエッチング方法の過程を示し、(j)はマスク層をマスクとしてサファイア基板をさらにエッチングした状態を示し、(k)はサファイア基板から残ったマスク層を除去した状態を示し、(l)はサファイア基板にウェットエッチングを施した状態を示す。

[0049] まず、図13A(a)に示すように、加工前のサファイア基板2を準備する。エッチングに先立って、サファイア基板2を所定の洗浄液で洗浄しておく。本実施形態においては、サファイア基板2はサファイア基板である。

[0050] 次に、図13A(b)に示すように、サファイア基板2にマスク層30を形成する(マスク層形成工程:S1)。本実施形態においては、マスク層30は、サファイア基板2上のSiO<sub>2</sub>層31と、SiO<sub>2</sub>層31上のNi層32と、を有している。各層31, 32の厚さは任意であるが、例えばSiO<sub>2</sub>層を1nm以上100nm以下、Ni層32を1nm以上200nm以下とすることができる。尚、マスク層30は、単層とすることもできる。マスク層30は、スパッタリング法、真空蒸着法、CVD法等により形成される。

[0051] 次に、図13A(c)に示すように、マスク層30上にレジスト膜40を形成する(レジスト膜形成工程:S2)。本実施形態においては、レジスト膜40として熱可塑性樹脂が用いられ、スピンコート法により均一な厚さに形成される。レジスト膜40は、例えばエポキシ系樹脂からなり、厚さが例えば100nm以上300nm以下である。尚、レジスト膜40として、光硬化性樹脂を用いることもできる。

[0052] そして、レジスト膜40をサファイア基板2ごと加熱して軟化させ、図13A(d)に示すように、モールド50でレジスト膜40をプレスする。モールド50の接触面には凹凸構造51が形成されており、レジスト膜40が凹凸構造51に沿って変形する。

[0053] この後、プレス状態を保ったまま、レジスト膜40をサファイア基板2ごと冷却して硬化させる。そして、モールド50をレジスト膜40から離隔す

ることにより、図10A(e)に示すように、レジスト膜40に凹凸構造41が転写される(パターン形成工程:S3)。ここで、凹凸構造41の周期は1 $\mu$ m以下となっている。本実施形態においては、凹凸構造41の周期は460nmである。また、本実施形態においては、凹凸構造41の凸部43の直径は100nm以上300nm以下となっており、例えば230nmである。また、凸部43の高さは100nm以上300nm以下となっており、例えば250nmである。この状態で、レジスト膜40の凹部には残膜42が形成されている。

[0054] 以上のようにレジスト膜40が形成されたサファイア基板2を、プラズマエッチング装置1の基板保持台92に取り付ける。そして、例えばプラズマアッシングにより残膜42を取り除いて、図13B(f)に示すように被加工材であるマスク層30を露出させる(残膜除去工程:S4)。本実施形態においては、プラズマアッシングの処理ガスとしてO<sub>2</sub>ガスが用いられる。このとき、レジスト膜40の凸部43もアッシングの影響を受け、凸部43の側面44は、マスク層30の表面に対して垂直でなく、所定の角度だけ傾斜する。

[0055] そして、図13B(g)に示すようにレジスト膜40を変質用条件にてプラズマに曝して、レジスト膜40を変質させてエッチング選択比を高くする(レジスト変質工程:S5)。本実施形態においては、レジスト膜40の変質用の処理ガスとして、Arガスが用いられる。また、本実施形態においては、変質用条件として、プラズマをサファイア基板2側に誘導するための電源95のバイアス出力が、後述のエッチング用条件よりも低くなるよう設定される。

[0056] この後、エッチング用条件にてプラズマに曝し、エッチング選択比が高くなったレジスト膜40をマスクとして被加工材としてのマスク層30のエッチングを行う(マスク層のエッチング工程:S6)。本実施形態においては、レジスト膜40のエッチング用の処理ガスとして、Arガスが用いられる。これにより、図13B(h)に示すように、マスク層30にパターン33

が形成される。

- [0057] ここで、変質用条件とエッチング用条件について、処理ガス、アンテナ出力、バイアス出力等を適宜に変更できるが、本実施形態のように同一の処理ガスを用いてバイアス出力を変えることが好ましい。具体的に、変質用条件について、処理ガスをArガスとし、コイル94のアンテナ出力を350W、電源95のバイアス出力50Wとすると、レジスト膜40の硬化が観察された。そして、エッチング用条件について、処理ガスをArガスとし、コイル94のアンテナ出力を350W、電源95のバイアス出力を100Wとすると、マスク層30のエッチングが観察された。尚、エッチング用条件に対してバイアス出力を低くする他、アンテナ出力を低くしたり、ガス流量を少なくしても、レジストの硬化が可能である。
- [0058] 次に、図13B(i)に示すように、マスク層30をマスクとして、サファイア基板2のエッチングを行う（サファイア基板のエッチング工程：S7）。本実施形態においては、マスク層30上にレジスト膜40が残った状態でエッチングが行われる。また、処理ガスとしてBCl<sub>3</sub>ガス等の塩素系ガスを用いたプラズマエッチングが行われる。
- [0059] そして、図13C(j)に示すように、エッチングが進行していくと、サファイア基板2に垂直化モスアイ面2aが形成される。本実施形態においては、垂直化モスアイ面2aの凹凸構造の高さは、350nmである。尚、凹凸構造の高さを350nmより大きくすることもできる。ここで、凹凸構造の高さが、例えば300nmのように比較的浅くするのならば、図13B(i)に示すように、レジスト膜40が残留した状態でエッチングを終了しても差し支えない。
- [0060] 本実施形態においては、マスク層30のSiO<sub>2</sub>層31により、サイドエッチングが助長されて、垂直化モスアイ面2aの凸部2cの側面2dが傾斜している。また、レジスト膜40の側面43の傾斜角によっても、サイドエッチングの状態を制御することができる。尚、マスク層30をNi層32の単層とすれば、凸部2cの側面2dを主面に対してほぼ垂直にすることができ

る。

[0061] また、本実施形態においては、Ni層32の厚さによって凸部2cの基端部の大きさを制御している。本願発明者らは、メタルマスクとしてのNi層32の厚さを制御することにより、凸部2cの基端部の径を調整可能なことを見出した。図14は、Ni層の厚さを変化させた際における凸部の基端部の径と凸部の高さの関係を示すグラフである。実験にあたっては全て同一のモールド50を使用し、Ni層32の厚さと、凸部2cの高さを変化させてデータを取得した。具体的に、Ni層32の厚さを50nm、75nm、100nmの3種類とし、凸部2cの高さを400nm、500nm、600nm、700nmの4種類とした。尚、エッチング後の凸部2cの高さについては、厳密に狙った高さ通りとならなかった試料体も存在した。図14に示すように、Ni層32が厚くなるほど、凸部2cの基端部の径が大きくなることが理解される。これにより、モールド50の型を変更することなく、凸部2cの基端部を変化させることができる。

[0062] この後、図13C(k)に示すように、所定の剥離液を用いてサファイア基板2上に残ったマスク層30を除去する（マスク層除去工程：S8）。本実施形態においては、高温の硝酸を用いることでNi層32を除去した後、フッ化水素酸を用いてSiO<sub>2</sub>層31を除去する。尚、レジスト膜40がマスク層30上に残留していても、高温の硝酸でNi層32とともに除去することができるが、レジスト膜40の残留量が多い場合はO<sub>2</sub>アッシングにより予めレジスト膜40を除去しておくことが好ましい。

[0063] そして、図13C(l)に示すように、ウェットエッチングにより凸部2cの角を除去して湾曲部を形成する（湾曲部形成工程：S9）。ここで、エッチング液は任意であるが、例えば170℃程度に加温したリン酸水溶液、いわゆる“熱リン酸”を用いることができる。尚、この湾曲部形成工程は、適宜省略することができる。以上の工程を経て、表面に凹凸構造を有するサファイア基板2が作製される。

[0064] このサファイア基板2のエッチング方法によれば、レジスト膜40をプラ

ズマに曝して変質させたので、マスク層30とレジスト膜40のエッチングの選択比を高くすることができる。これにより、マスク層30に対して微細で深い形状の加工を施しやすくなり、微細な形状のマスク層30を十分に厚く形成することができる。

[0065] また、プラズマエッチング装置1により、レジスト膜40の変質と、マスク層30のエッチングとを連続的に行うことができ、工数が著しく増大することもない。本実施形態においては、電源95のバイアス出力を変化させることにより、レジスト膜40の変質とマスク層30のエッチングとを行っており、簡単容易にレジスト膜40の選択比を高くすることができる。

[0066] さらに、十分に厚いマスク層30をマスクとして、サファイア基板2のエッチングを行うようにしたので、サファイア基板2に対して微細で深い形状の加工を施しやすくなる。特に、サファイア基板において、周期が $1\mu\text{m}$ 以下で深さが $300\text{nm}$ 以上の凹凸構造を形成することは、マスク層が形成された基板上にレジスト膜を形成し、レジスト膜を利用してマスク層のエッチングを行うエッチング方法では従来は不可能であったが、本実施形態のエッチング方法では可能となる。特に、本実施形態のエッチング方法では、周期が $1\mu\text{m}$ 以下で深さが $500\text{nm}$ 以上の凹凸構造を形成するのに好適である。

[0067] ナノスケールの周期的な凹凸構造はモスアイと称されるが、このモスアイの加工をサファイアに行う場合、サファイアは難削材であることから、 $200\text{nm}$ 程度の深さまでしか加工ができなかった。しかしながら、 $200\text{nm}$ 程度の段差では、モスアイとして不十分な場合があった。本実施形態のエッチング方法は、サファイア基板にモスアイ加工を施す場合の新規な課題を解決したものといえる。

[0068] 尚、被加工材として、 $\text{SiO}_2/\text{Ni}$ からなるマスク層30を示したが、マスク層30がNiの単層であったり他の材料であってもよいことは勿論である。要は、レジストを変質させて、マスク層30とレジスト膜40のエッチング選択比を高くすればよいのである。

[0069] また、プラズマエッチング装置 1 のバイアス出力を変化させて変質用条件とエッチング用条件とするものを示したが、アンテナ出力、ガス流量を変化させる他、例えば処理ガスを変更することで設定してもよい。要は、変質用条件は、レジストがプラズマに曝された際に変質してエッチング選択比が高くなる条件であればよい。

[0070] また、マスク層 30 として N i 層 32 が含まれるものを示したが、他の材料のエッチングであっても本発明を適用可能なことはいうまでもない。尚、本実施形態のサファイア基板のエッチング方法は、S i C、S i、G a A s、G a N、I n P、Z n O 等の基板にも適用可能である。

[0071] 以上のように作製されたサファイア基板 2 の垂直化モスアイ面 2 a に、横方向成長を利用して III 族窒化物半導体からなる半導体積層部 19 をエピタキシャル成長させ（半導体形成工程）、p 側電極 27 及び n 側電極 28 を形成する（電極形成工程）。この後、サファイア基板 2 の裏面に、表面の垂直化モスアイ面 2 a と同様の工程で凸部 2 i を形成した後、ダイシングにより複数の L E D 素子 1 に分割することにより、L E D 素子 1 が製造される。

[0072] ここで、本願発明者らは、サファイア基板 2 の平坦部 2 b の割合を変化させて、半導体積層部 19 が所定厚さのときに、転位密度が所定値以下となっているかどうか調査を行った。具体的には、平坦部 2 b を C 面とし、凸部 2 c の周期等を変化させて、半導体積層部 19 の厚さが  $2.5 \mu\text{m}$  で転位密度が  $2 \times 10^8 / \text{cm}^2$  以下であるかどうか調査を行った。調査は、凸部 2 c が正三角形の頂点の位置となるように三角格子の交点に整列して形成された試料体を用いて行った。この調査結果を図 15 に示す。図 15 は、凸部 2 c の周期及び C 面領域の割合と、転位密度が所定値以下となったか否かを示す表である。尚、図 15 中に示した周期は、正三角形の一辺の長さに相当する周期である。

[0073] 図 15 に示すように、凸部 2 c の周期が  $600 \text{ nm}$  以上となれば転位密度が  $2 \times 10^8 / \text{cm}^2$  以下となることが理解される。また、周期が  $460 \text{ nm}$  であっても、平坦部 2 b の割合が  $41\%$  以上であれば、転位密度が  $2 \times 10^8$

／ $\text{cm}^2$ 以下となることが理解される。すなわち、凸部 2 c の周期を 600 nm 以上とするか、平坦部 2 b の割合を 41% 以上とすることにより、半導体積層部 19 を薄くしても良好な結晶品質とすることができる。

[0074] 以上のように構成された LED 素子 1 では、平坦部 2 b の割合を 41% 以上とすることにより、発光層 14 の結晶品質を損なうことなく、半導体積層部 19 を薄くすることができる。また、従来と同程度の半導体積層部 19 の厚さであれば、発光層 14 の結晶品質を向上させることができ、光取り出し効率をさらに向上させることができる。

[0075] また、メタルマスクの厚さを制御することで、凸部 2 c の基端部を制御することができ、同じモールド 50 を用いて異なる凸部 2 c を製造することができ、モールド 50 の共用化を図り製造コストを低減することができる。

[0076] また、垂直化モスアイ面 2 a を備えたので、サファイア基板 2 と III 族窒化物半導体層の界面において、全反射臨界角を超える角度で入射する光を界面に対して垂直寄りとすることができる。さらに、フレネル反射を抑制する透過モスアイ面 2 g を備えたので、サファイア基板 2 と素子外部との界面において、垂直寄りとされた光をスムーズに素子外部へ取り出すことができる。このように、サファイア基板 2 の表面と裏面はともに凹凸加工されるものの、垂直化機能とフレネル反射抑制機能という異なる機能が付与されており、これらの機能の相乗効果によって光取り出し効率を飛躍的に向上することができる。

[0077] また、発光層 14 から発せられた光が、サファイア基板 2 の裏面に到達するまでの距離を格段に短くすることができ、素子内部における光の吸収を抑制することができる。LED 素子においては、界面の臨界角を超える角度領域の光が横方向に伝搬してしまうので素子内部で光が吸収されてしまう問題があったが、臨界角を超える角度領域の光を垂直化モスアイ面 2 a で垂直寄りとし、垂直寄りとされた光の透過モスアイ面 2 g におけるフレネル反射が抑制されることから、素子内部にて吸収される光を飛躍的に減じることができる。

[0078] また、サファイア基板 2 の表面が、平面視にて、仮想の三角格子の交点に配置される複数の凸部 2 c を有するようにし、仮想の三角格子をなす三角形が正多角形ではないようにすると、多くの回折モードを利用して光を取り出すことができるようになる。特に、仮想の三角格子をなす三角形の一辺の長さが、青色光の光学波長の 2 倍以上 460 nm 以下、または、550 nm 以上 800 nm 以下とすると、光取り出し効率を向上させることができる。また、仮想の三角格子をなす三角形を二等辺三角形とすると、凸部 2 c を規則的に配置しつつ、回折モードを増加させることができる。さらに、二等辺三角形の等辺を青色光の光学波長の 2 倍以上 460 nm 以下とし、底辺を 550 nm 以上 800 nm 以下とすることにより、異なる性質の回折モードを利用して光を取り出すことができる。

[0079] ここで、本願発明者らは、p 側電極 27 及び n 側電極 28 として誘電体多層膜 22、25 及び金属層 23、26 の組み合わせを用いることにより、LED 素子 1 の光取り出し効率が顕著に増大することを見いだした。すなわち、誘電体多層膜 22、25 と金属層 23、26 の組み合わせとすると、界面に対して垂直に近い角度ほど反射率が高くなり、界面に対して垂直寄りとなった光に対して有利な反射条件となる。

[0080] 図 16 は、実施例 1 の反射部の反射率を示すグラフである。実施例 1 では、ITO 上に形成される誘電体多層膜を  $ZrO_2$  と  $SiO_2$  の組み合わせでペア数を 5 とし、誘電体多層膜に重ねて Al 層を形成した。図 16 に示すように、入射角が 0 度から 45 度の角度域で、98% 以上の反射率を実現している。また、入射角が 0 度から 75 度の角度域で、90% 以上の反射率を実現している。このように、誘電体多層膜と金属層の組み合わせは、界面に対して垂直寄りとなった光に対して有利な反射条件となる。

[0081] 図 17 は、実施例 2 の反射部の反射率を示すグラフである。実施例 2 では、ITO 上に Al 層のみを形成した。図 17 に示すように、入射角によらず、ほぼ 84% の一定の反射率となっている。このように、反射部を Al 層のみのような金属の単層としてもよい。

[0082] 図18は、本発明の第2の実施形態を示すLED素子の模式断面図である。

[0083] 図18に示すように、このLED素子101は、サファイア基板102の表面上に、III族窒化物半導体層からなる半導体積層部119が形成されたものである。このLED素子101は、フェイスアップ型であり、サファイア基板102と反対側から主として光が取り出される。半導体積層部119は、バッファ層110、n型GaN層112、発光層114、電子ブロック層116、p型GaN層118をサファイア基板102側からこの順に有している。p型GaN層118上にはp側電極127が形成されるとともに、n型GaN層112上にはn側電極128が形成されている。

[0084] 図18に示すように、バッファ層110は、サファイア基板102の表面上に形成され、AlNで構成されている。n型GaN層112はバッファ層110上に形成され、n-GaNで構成されている。発光層114はn型GaN層112上に形成され、GaInN/GaNで構成されている。本実施形態においては、発光層114の発光のピーク波長は450nmである。

[0085] 電子ブロック層116は、発光層114上に形成され、p-AlGaInNで構成されている。p型GaN層118は、電子ブロック層116上に形成され、p-GaNで構成されている。n型GaN層112からp型GaN層118までは、III族窒化物半導体のエピタキシャル成長により形成され、サファイア基板102の表面には周期的に凸部102cが形成されているが、III族窒化物半導体の成長初期に横方向成長による平坦化が図られる。尚、第1導電型層、活性層及び第2導電型層を少なくとも含み、第1導電型層及び第2導電型層に電圧が印加されると、電子及び正孔の再結合により活性層にて光が発せられるものであれば、半導体層の層構成は任意である。

[0086] 本実施形態においては、サファイア基板102の表面は垂直化モスアイ面102aをなし、p側電極127は透過モスアイ面127gをなす。サファイア基板102の表面は、平坦部102bと、平坦部102bに周期的に形成された複数の凸部102cと、が形成されている。また、サファイア基板

102は、平面視にて、平坦部102bの割合が40%以上となるよう構成されている。各凸部102cの形状は、円錐、多角錐等の錐状の他、錐の上部を切り落とした円錐台、多角錐台等の錐台状とすることができる。各凸部102cは、発光層114から発せられる光を回折するよう設計される。本実施形態においては、周期的に配置される各凸部102cにより、光の垂直化作用を得ることができる。

[0087] p側電極127は、p型GaN層118上に形成される拡散電極121と、拡散電極121上の一部に形成されるパッド電極122と、を有している。拡散電極121は、p型GaN層118に全面的に形成され、例えばITO(Indium Tin Oxide)等の透明材料からなる。また、パッド電極122は、例えばAl等の金属材料からなる。拡散電極121の表面は、平坦部127hと、平坦部127hに周期的に形成された複数の凸部127iと、が形成されている。各凸部127iの形状は、円錐、多角錐等の錐状の他、錐の上部を切り落とした円錐台、多角錐台等の錐台状とすることができる。透過モスアイ面の凸部127iの周期は、発光層114の光学波長の2倍より小さくなっている。本実施形態においては、周期的に配置される各凸部127iにより、外部との界面におけるフレネル反射が抑制される。

[0088] n側電極128は、p型GaN層118からn型GaN層112をエッチングして、露出したn型GaN層112上に形成される。n側電極128は、n型GaN層112上に形成され、例えばAl等の金属材料からなる。

[0089] 図19は、LED素子の一部拡大模式断面図である。

[0090] 図19に示すように、サファイア基板102の裏面側には、誘電体多層膜124が形成されている。誘電体多層膜124は、屈折率の異なる第1材料124aと第2材料124bのペアを複数繰り返して構成される。誘電体多層膜124は金属層であるAl層126により被覆される。この発光素子101においては、誘電体多層膜124及びAl層126が反射部をなしており、発光層114から発せられ垂直化モスアイ面102aを回折作用によって透過した光を当該反射部で反射する。そして、回折作用により透過した光

を回折面 102a に再入射させて、回折面 102a にて再び回折作用を利用して透過させることにより、複数のモードで光を素子外部へ取り出すことができる。

[0091] 以上のように構成された LED 素子 101 では、平坦部 102b の割合を 41% 以上とすることにより、発光層 114 の結晶品質を損なうことなく、半導体積層部 119 を薄くすることができる。また、従来と同程度の半導体積層部 119 の厚さであれば、発光層 114 の結晶品質を向上させることができ、光取り出し効率をさらに向上させることができる。

[0092] また、垂直化モスアイ面 102a を備えたので、サファイア基板 102 と III 族窒化物半導体層の界面において、全反射臨界角を超える角度で入射する光を垂直寄りとすることができる。さらに、透過モスアイ面 127g を備えたので、サファイア基板 102 と素子外部との界面において、垂直寄りとされた光のフレネル反射を抑制することができる。これにより、光取り出し効率を飛躍的に向上することができる。

[0093] また、発光層 114 から発せられた光が、p 側電極 127 の表面に到達するまでの距離を格段に短くすることができ、素子内部における光の吸収を抑制することができる。LED 素子においては、界面の臨界角を超える角度領域の光が横方向に伝搬してしまうので素子内部で光が吸収されてしまう問題があったが、臨界角を超える角度領域の光を垂直化モスアイ面 102a で垂直寄りとすることで、素子内部にて吸収される光を飛躍的に減じることができる。

[0094] また、サファイア基板 102 の表面が、平面視にて、仮想の三角格子の交点に配置される複数の凸部 102c を有するようにし、仮想の三角格子をなす三角形が正多角形ではないようにすると、多くの回折モードを利用して光を取り出すことができるようになる。特に、仮想の三角格子をなす三角形の一辺の長さが、青色光の光学波長の 2 倍以上 460nm 以下、または、550nm 以上 800nm 以下とすると、光取り出し効率を向上させることができる。また、仮想の三角格子をなす三角形を二等辺三角形とすると、凸部 1

02cを規則的に配置しつつ、回折モードを増加させることができる。さらに、二等辺三角形の等辺を青色光の光学波長の2倍以上460nm以下とし、底辺を550nm以上800nm以下とすることにより、異なる性質の回折モードを利用して光を取り出すことができる。

[0095] ここで、本願発明者らは、サファイア基板102の裏面の反射部として誘電体多層膜124及び金属層126の組み合わせを用いることにより、LED素子101の光取り出し効率が顕著に増大することを見いだした。すなわち、誘電体多層膜124と金属層126の組み合わせとすると、界面に対して垂直に近い角度ほど反射率が高くなり、界面に対して垂直寄りとなった光に対して有利な反射条件となる。

[0096] 図20は、実施例3の反射部の反射率を示すグラフである。実施例3では、サファイア基板上に形成される誘電体多層膜を $ZrO_2$ と $SiO_2$ の組み合わせでペア数を5とし、誘電体多層膜に重ねてAl層を形成した。図20に示すように、入射角が0度から55度の角度域で、99%以上の反射率を実現している。また、入射角が0度から60度の角度域で、98%以上の反射率を実現している。また、入射角が0度から75度の角度域で、92%以上の反射率を実現している。このように、誘電体多層膜と金属層の組み合わせは、界面に対して垂直寄りとなった光に対して有利な反射条件となる。

[0097] 図21は、実施例4の反射部の反射率を示すグラフである。実施例4では、サファイア基板上にAl層のみを形成した。図21に示すように、入射角によらず、ほぼ88%の一定の反射率となっている。このように、反射部をAl層のみのような金属の単層としてもよい。

[0098] 図22は、本発明の第3の実施形態を示すLED素子の模式断面図である。

図22に示すように、LED素子201は、フェイスアップ型であり、サファイア基板202の表面上に、III族窒化物半導体層からなる半導体積層部219が形成されたものである。半導体積層部219は、バッファ層210、n型Ga<sub>0.99</sub>N層212、発光層214、電子ブロック層216、p型Ga<sub>0.99</sub>N

層 218 をサファイア基板 202 側からこの順に有している。p 型 GaN 層 218 上には p 側電極 227 が形成されるとともに、n 型 GaN 層 212 上には n 側電極 228 が形成されている。

[0099] 図 22 に示すように、バッファ層 210 は、サファイア基板 2 の表面上に形成され、AlN で構成されている。本実施形態においては、バッファ層 210 は、MOCVD (Metal Organic Chemical Vapor Deposition) 法により形成されるが、スパッタリング法を用いることもできる。第 1 導電型層としての n 型 GaN 層 212 は、バッファ層 210 上に形成され、n-GaN で構成されている。発光層 214 は、n 型 GaN 層 212 上に形成され、GaInN/GaN で構成され、電子及び正孔の注入により青色光を発する。ここで、青色光とは、例えば、ピーク波長が 430 nm 以上 480 nm 以下の光をいうものとする。本実施形態においては、発光層 214 の発光のピーク波長は 450 nm である。

[0100] 電子ブロック層 216 は、発光層 214 上に形成され、p-AlGaInN で構成されている。第 2 導電型層としての p 型 GaN 層 218 は、電子ブロック層 216 上に形成され、p-GaN で構成されている。n 型 GaN 層 212 から p 型 GaN 層 218 までは、III 族窒化物半導体のエピタキシャル成長により形成され、サファイア基板 2 の表面には周期的に凸部 2c が形成されているが、III 族窒化物半導体の成長初期に横方向成長による平坦化が図られる。尚、第 1 導電型層、活性層及び第 2 導電型層を少なくとも含み、第 1 導電型層及び第 2 導電型層に電圧が印加されると、電子及び正孔の再結合により活性層にて光が発せられるものであれば、半導体層の層構成は任意である。

[0101] サファイア基板 202 の表面は垂直化モスアイ面 202a をなし、p 側電極 227 の表面は透過モスアイ面 227g をなす。サファイア基板 202 の表面は、平坦部 202b と、平坦部 202b に周期的に形成された複数の凸部 202c と、が形成されている。また、サファイア基板 202 は、平面視にて、平坦部 202b の割合が 40% 以上となるよう構成されている。各凸

部 202c の形状は、円錐、多角錐等の錐状の他、錐の上部を切り落とした円錐台、多角錐台等の錐台状とすることができる。各凸部 202c は、発光層 214 から発せられる光を回折するよう設計される。本実施形態においては、周期的に配置される各凸部 202c により、光の垂直化作用を得ることができる。ここで、光の垂直化作用とは、光の強度分布が、垂直化モスアイ面へ入射する前よりも、反射及び透過した後の方が、サファイア基板 202 と半導体積層部 219 の界面に対して垂直な方向に偏ることをいう。

[0102] サファイア基板 202 の裏面側には、誘電体多層膜 224 が形成されている。誘電体多層膜 224 は金属層である A1 層 226 により被覆される。この発光素子 201 においては、誘電体多層膜 224 及び A1 層 226 が反射部をなしており、発光層 214 から発せられ垂直化モスアイ面 202a を回折作用によって透過した光を当該反射部で反射する。そして、回折作用により透過した光を回折面 202a に再入射させて、回折面 202a にて再び回折作用を利用して透過させることにより、複数のモードで光を素子外部へ取り出すことができる。

[0103] p 側電極 227 は、p 型 GaN 層 218 上に形成される拡散電極層 221 と、拡散電極層 221 上に形成されるモスアイ層 222 と、を有している。また、本実施形態においては、p 側電極 227 は、拡散電極層 221 及びモスアイ層 222 を貫通して p 型 GaN 層 218 と接触するパッド電極 223 を有している。拡散電極層 221 は、p 型 GaN 層 218 上にパッド電極 223 の形成領域を除いて形成され、透明材料からなる。また、モスアイ層 222 は、拡散電極層 221 上にパッド電極 223 の形成領域を除いて形成され、透明材料からなる。モスアイ層 222 は、拡散電極層 221 を構成する材料よりも消衰係数が小さく拡散電極層 221 を構成する材料と屈折率がほぼ同じ材料からなる。屈折率がほぼ同じとは、ここでは拡散電極層 221 とモスアイ層 222 の屈折率の差が、モスアイ層 222 の屈折率に対して 20% 以内であることをいう。また、拡散電極層 221 はシート抵抗がモスアイ層 222 よりも小さい材料で構成され、モスアイ層 222 よりも薄く形成さ

れている。さらに、拡散電極層 221 の厚さはモスアイ層 222 よりも薄くなっている。また、パッド電極 223 は、例えば Al 等の金属材料からなる。また、パッド電極 223 は、拡散電極層 221 に対する密着力よりも半導体積層部 219 に対する密着力が高い材料からなる。

[0104] 本実施形態においては、拡散電極層 221 は厚さ 100 nm の ITO (Indium Tin Oxide) からなり、モスアイ層 222 は厚さ 400 nm の  $ZrO_2$  からなる。450 nm の波長の光について、ITO の消衰係数は 0.04 であり、 $ZrO_2$  の消衰係数はほぼ 0 である。また、450 nm の波長の光について、ITO の屈折率は 2.04 であり、 $ZrO_2$  の屈折率は 2.24 である。尚、拡散電極層 221 として例えば IZO (indium zinc oxide) 等の材料を用いることができるし、モスアイ層 222 として例えば  $Nb_2O_5$  等の材料を用いることもできる。

[0105] モスアイ層 222 の表面は、平坦部 227h と、平坦部 227h に周期的に形成された複数の凸部 227i と、が形成されている。各凸部 227i の形状は、円錐、多角錐等の錐状の他、錐の上部を切り落とした円錐台、多角錐台等の錐台状とすることができる。透過モスアイ面の凸部 227i の周期は、発光層 214 の光学波長の 2 倍より小さくなっている。本実施形態においては、周期的に配置される各凸部 227i により、外部との界面におけるフレネル反射が抑制される。

[0106] n 側電極 228 は、p 型 GaN 層 218 から n 型 GaN 層 212 をエッチングして、露出した n 型 GaN 層 212 上に形成される。n 側電極 228 は、n 型 GaN 層 212 上に形成され、例えば Al 等の金属材料からなる。

[0107] 図 23 は、素子内部における光の進行方向を示す説明図である。

図 23 に示すように、発光層 214 から発せられた光のうち、サファイア基板 202 へ臨界角を超えて入射する光は、垂直化モスアイ面 202a で入射時よりも垂直寄りの方向へ透過及び反射する。すなわち、垂直化モスアイ面 202a で反射した光は、垂直寄りへ角度変化した状態で透過モスアイ面 227g へ入射する。また、垂直化モスアイ面 202a を透過した光は、垂

直寄りへ角度変化した状態で後述する誘電体多層膜 224 及び A1 層 226 からなる反射部で反射された後、垂直化モスアイ面 202a に再度入射する。このときの入射角は、先の入射角よりも垂直寄りとなる。この結果、透過モスアイ面 227g へ入射する光を垂直寄りとすることができる。

[0108] また、p 側電極 227 の透過モスアイ面 227g は、平面視にて、各凸部 227i の中心が正三角形の頂点の位置となるように、所定の周期で仮想の三角格子の交点に整列して形成される。各凸部 227i の最も短い周期は、発光層 214 から発せられる光の光学波長より小さくなっている。すなわち、透過モスアイ面 227g においては、フレネル反射が抑制されることとなる。本実施形態においては、仮想の三角格子をなす正三角形の一辺の長さが 300nm となっている。すなわち、各凸部 227i の最も短い周期は、300nm である。発光層 214 から発せられる光の波長は 450nm であり、 $ZrO_2$  の屈折率が 2.24 であることから、その光学波長は 200.9nm である。すなわち、透過モスアイ面 227g の最も短い周期は、発光層 214 の光学波長の 2 倍より小さくなっている。尚、モスアイ面の周期は、光学波長の 2 倍以下であれば界面におけるフレネル反射を抑制することができる。フレネル反射抑制作用は、凸部 227i の周期のうち最も短い周期が光学波長の 2 倍より小さければ十分に得ることができる。また、凸部 227i の全ての周期を光学波長の 2 倍より小さくすると、より大きなフレネル反射抑制作用を得ることができる。透過モスアイ面 227g の周期が光学波長が 2 倍から 1 倍に近づくと、フレネル反射の抑制作用が大きくなる。モスアイ層 222 の外部が樹脂や空気であれば、透過モスアイ面 227g の周期が光学波長の 1.25 倍以下であれば、1 倍以下とほぼ同じフレネル反射の抑制作用を得ることができる。

[0109] 次いで、図 24 及び図 25 を参照して p 側電極 227 の透過モスアイ面 227g の形成方法について説明する。図 24 はモスアイ層を加工する説明図であり、(a) は透過モスアイ面に第 1 マスク層が形成された状態を示し、(b) は第 1 マスク層上にレジスト層が形成された状態を示し、(c) はレ

ジスト層に選択的に電子線を照射する状態を示し、(d)はレジスト層を現像して除去した状態を示し、(e)は第2マスク層が形成された状態を示している。

[0110] まず、図24(a)に示すように、モスアイ層222の表面に第1マスク層330を形成する。第1マスク層330は、例えば $\text{SiO}_2$ からなり、スパッタリング法、真空蒸着法、CVD法等により形成される。第1マスク層330の厚さは、任意であるが、例えば $1.0\mu\text{m}$ である。

[0111] 次に、図24(b)に示すように、モスアイ層222の第1マスク層330上にレジスト層332を形成する。レジスト層332は、例えば、日本ゼオン社製のZEP等の電子線感光材料からなり、第1マスク層330上に塗布される。レジスト層332の厚さは、任意であるが、例えば $100\text{nm}$ から $2.0\mu\text{m}$ である。

[0112] 次に、図24(c)に示すように、レジスト層332と離隔してステンシルマスク334をセットする。レジスト層332とステンシルマスク334との間は、 $1.0\mu\text{m}\sim 100\mu\text{m}$ の隙間が明けられる。ステンシルマスク334は、例えばダイヤモンド、 $\text{SiC}$ 等の材料で形成されており、厚さは任意であるが、例えば、厚みが $500\text{nm}\sim 100\mu\text{m}$ とされる。ステンシルマスク334は、電子線を選択的に透過する開口334aを有している。

[0113] この後、図24(c)に示すように、ステンシルマスク334へ電子線を照射し、レジスト層332をステンシルマスク334の各開口334aを通過した電子線に曝す。具体的には、例えば、 $10\sim 100\mu\text{C}/\text{cm}^2$ の電子ビームを用いて、ステンシルマスク334のパターンをレジスト層332に転写する。

[0114] 電子線の照射が完了した後、所定の現像液を用いてレジスト層332を現像する。これにより、図24(d)に示すように、電子線が照射された部位が現像液に溶出し、電子線が照射されていない部位が残留して、開口332aが形成される。レジスト層332として日本ゼオン社製のZEPを用いた場合、現像液として例えば酢酸アミルを用いることができる。

[0115] 次いで、図24(e)に示すように、レジスト層332がパターンニングされた第1マスク層330上に、第2マスク層336を形成する。このようにして、第1マスク層330上に第2マスク層336を電子線照射を利用してパターンニングする。第2マスク層336は、例えばNiからなり、スパッタリング法、真空蒸着法、CVD法等により形成される。第2マスク層336の厚さは、任意であるが、例えば20nmである。

[0116] 図25はモスアイ層を加工する説明図であり、(a)はレジスト層を完全に除去した状態を示し、(b)は第2マスク層をマスクとして第1マスク層をエッチングした状態を示し、(c)は第2マスク層を除去した状態を示し、(d)第1マスク層をマスクとして透過モスアイ面をエッチングした状態を示し、(e)は第1マスク層を除去した状態を示す。

[0117] 図25(a)に示すように、レジスト層332を剥離液を用いて除去する。例えば、レジスト層332を剥離液中に浸し、所定時間だけ超音波を照射することにより除去することができる。具体的に、剥離液としては例えばジエチルケトンを用いることができる。これにより、第1マスク層330上に、ステンシルマスク334の開口334aのパターンを反転させた第2マスク層336のパターンが形成される。

[0118] 次いで、図25(b)に示すように、第2マスク層336をマスクとして、第1マスク層330のドライエッチングを行う。これにより、第1マスク層330に開口330aが形成され、第1マスク層330のパターンが形成される。このとき、エッチングガスとして、第2マスク層336に比してモスアイ層222及び第1マスク層330が耐性を有するものが用いられる。例えば、第1マスク層330がSiO<sub>2</sub>で第2マスク層336がNiである場合、SF<sub>6</sub>等のフッ素系ガスを用いると、NiはSiO<sub>2</sub>に対してエッチングの選択比が100程度であることから、第1マスク層330のパターンニングを的確に行うことができる。

[0119] この後、図25(c)に示すように、第1マスク層330上の第2マスク層336を除去する。第1マスク層330がSiO<sub>2</sub>であり、第2マスク層3

36がNiである場合、水で希釈して1：1程度で混合した塩酸及び硝酸に浸漬したり、アルゴンガスによるドライエッチングによりNiを除去することができる。

[0120] そして、図25（d）に示すように、第1マスク層330をマスクとして、モスアイ層222のドライエッチングを行う。このとき、モスアイ層222のうち第1マスク層330が除去された部位のみがエッチングガスに曝されることになるため、モスアイ層222にステンスルマスク334の各開口334aの反転パターンを転写することができる。このとき、第1マスク層330は、モスアイ層222よりも、エッチングガスへの耐性が大きいため、第1マスク層330に被覆されていない箇所を選択的にエッチングすることができる。そして、モスアイ層222のエッチング深さが所期の深さとなるとところでエッチングを終了させる。ここで、エッチングガスとしては、例えば、 $\text{Cl}_2$ 等の塩素系ガスや、フッ素系ガスを用いることができる。尚、フッ素系ガスはITOをエッチングすることができないので、電流拡散層221としてITOを用いた場合に、モスアイ層222を超えて電流拡散層221が加工されてしまうことはない。すなわち、モスアイ層222を凹凸形成に必要な最小限な厚さとして、エッチング時に電流拡散層221が露出したとしても、電流拡散層221がエッチングされることはない。

[0121] この後、図25（e）に示すように、所定の剥離液を用いてモスアイ層222上に残った第1マスク層330を除去する。剥離液としては、例えば、第1マスク層330に $\text{SiO}_2$ が用いられている場合は希弗酸を用いることができる。このとき、p型GaN層218のパッド電極223形成領域に $\text{SiO}_2$ からなるマスクが形成されているのならば、このマスクも一括して除去することができる。この後、モスアイ層222上にパッド電極223を形成する。このようにして、p側電極227の表面に凸部227iを形成した後、ダイシングにより複数のLED素子201に分割することにより、LED素子201が製造される。

[0122] 以上のように構成されたLED素子201では、半導体積層部219から

p側電極227へ流れる電流は、拡散電極層221にて電流が拡散された後、パッド電極223に電流が流れる。このとき、拡散電極層221はシート抵抗が低いため、電流を的確に拡散することができる。尚、パッド電極223と電流拡散層221とが直接的に接触しているので、モスアイ層222を介することなく、電流拡散層221からパッド電極223へ電流が直接的に流れることとなる。ここで、パッド電極223は、拡散電極層221よりも半導体積層部219に対する密着力が高い材料であることから、パッド電極223が機械的負荷等により半導体積層部219から簡単容易に剥離するようなことはない。

[0123] 一方、p側電極227へ入射する光は、拡散電極層221，モスアイ層222を通して素子外部へ放出される。ここで、消衰係数が高い拡散電極層221を薄型とし、消衰係数が低いモスアイ層222を厚くしたので、p側電極227における光吸収を小さくすることができる。これにより、LED素子201の光取り出し効率を向上することができる。また、拡散電極層221とモスアイ層222は、屈折率がほぼ同じであるため、これらの界面における全反射を抑制することができる。

[0124] また、垂直化モスアイ面202aを備えたので、サファイア基板202とII族窒化物半導体層の界面において、全反射臨界角を超える角度で入射する光を界面に対して垂直寄りとすることができる。さらに、フレネル反射を抑制する透過モスアイ面227gを備えたので、サファイア基板202と素子外部との界面において、垂直寄りとされた光をスムーズに素子外部へ取り出すことができる。これにより、光取り出し効率を飛躍的に向上することができる。

[0125] また、発光層214から発せられた光が、透過モスアイ面227gに到達するまでの距離を格段に短くすることができ、素子内部における光の吸収を抑制することができる。LED素子においては、界面の臨界角を超える角度領域の光が横方向に伝搬してしまうので素子内部で光が吸収されてしまう問題があったが、臨界角を超える角度領域の光を垂直化モスアイ面202aで

垂直寄りとし、垂直寄りとされた光の透過モスアイ面 2 2 7 g におけるフレネル反射が抑制されることから、素子内部にて吸収される光を飛躍的に減じることができる。

[0126] また、平坦部 2 0 2 b の割合を 4 1 % 以上とすることにより、発光層 2 1 4 の結晶品質を損なうことなく、半導体積層部 2 1 9 を薄くすることができる。また、従来と同程度の半導体積層部 2 1 9 の厚さであれば、発光層 2 1 4 の結晶品質を向上させることができ、光取り出し効率をさらに向上させることができる。

[0127] また、サファイア基板 2 0 2 の表面が、平面視にて、仮想の三角格子の交点に配置される複数の凸部 2 0 2 c を有するようにし、仮想の三角格子をなす三角形が正多角形ではないようにすると、多くの回折モードを利用して光を取り出すことができるようになる。特に、仮想の三角格子をなす三角形の一辺の長さが、青色光の光学波長の 2 倍以上 4 6 0 nm 以下、または、5 5 0 nm 以上 8 0 0 nm 以下とすると、光取り出し効率を向上させることができる。また、仮想の三角格子をなす三角形を二等辺三角形とすると、凸部 1 0 2 c を規則的に配置しつつ、回折モードを増加させることができる。さらに、二等辺三角形の等辺を青色光の光学波長の 2 倍以上 4 6 0 nm 以下とし、底辺を 5 5 0 nm 以上 8 0 0 nm 以下とすることにより、異なる性質の回折モードを利用して光を取り出すことができる。

[0128] ここで、本願発明者らは、サファイア基板 2 0 2 の裏面の反射部として誘電体多層膜 2 2 4 及び金属層 2 2 6 の組み合わせを用いることにより、LED 素子 2 0 1 の光取り出し効率が顕著に増大することを見いだした。すなわち、誘電体多層膜 2 2 4 と金属層 2 2 6 の組み合わせとすると、界面に対して垂直に近い角度ほど反射率が高くなり、界面に対して垂直寄りとなった光に対して有利な反射条件となる。

[0129] 尚、前記実施形態においては、垂直化モスアイ面及び透過モスアイ面を周期的に形成された凸部で構成するものを示したが、各モスアイ面を周期的に形成された凹部で構成してもよいことは勿論である。また、透過モスアイ面

をp側電極にのみ形成したものを示したが、さらにn側電極に形成してもよい。また、凸部又は凹部を、三角格子の交点に整列して形成する他、例えば、仮想の正方格子の交点に整列して形成することもできる。

[0130] 以上、本発明の実施の形態を説明したが、上記に記載した実施の形態は特許請求の範囲に係る発明を限定するものではない。また、実施の形態の中で説明した特徴の組合せの全てが発明の課題を解決するための手段に必須であるとは限らない点に留意すべきである。

### 産業上の利用可能性

[0131] 本発明のLED発光素子及びその製造方法は、光取り出し効率を向上させることができるので、産業上有用である。

### 符号の説明

- [0132]
- 1 LED素子
  - 2 サファイア基板
  - 2 a 垂直化モスアイ面
  - 2 b 平坦部
  - 2 c 凸部
  - 2 d 側面
  - 2 e 湾曲部
  - 2 f 上面
  - 2 g 透過モスアイ面
  - 2 h 平坦部
  - 2 i 凸部
  - 1 0 バッファ層
  - 1 2 n型GaN層
  - 1 4 発光層
  - 1 6 電子ブロック層
  - 1 8 p型GaN層
  - 1 9 半導体積層部

- 2 1 拡散電極
- 2 2 誘電体多層膜
- 2 2 a 第 1 材料
- 2 2 b 第 2 材料
- 2 2 c ビアホール
- 2 3 金属電極
- 2 4 拡散電極
- 2 5 誘電体多層膜
- 2 5 a ビアホール
- 2 6 金属電極
- 2 7 p 側電極
- 2 8 n 側電極
- 3 0 マスク層
- 3 1  $\text{SiO}_2$  層
- 3 2 Ni 層
- 4 0 レジスト膜
- 4 1 凹凸構造
- 4 2 残膜
- 4 3 凸部
- 5 0 モールド
- 5 1 凹凸構造
- 9 1 プラズマエッチング装置
- 9 2 基板保持台
- 9 3 容器
- 9 4 コイル
- 9 5 電源
- 9 6 石英板
- 9 7 冷却制御部

98 プラズマ

101 LED素子

102 サファイア基板

102a 垂直化モスアイ面

110 バッファ層

112 n型GaN層

114 発光層

116 電子ブロック層

118 p型GaN層

119 半導体積層部

122 パッド電極

124 誘電体多層膜

124a 第1材料

124b 第2材料

126 Al層

127 p側電極

127g 透過モスアイ面

128 n側電極

201 LED素子

202 サファイア基板

202a 垂直化モスアイ面

202b 平坦部

202c 凸部

210 バッファ層

212 n型GaN層

214 発光層

216 電子ブロック層

218 p型GaN層

- 2 1 9 半導体積層部
- 2 2 1 拡散電極層
- 2 2 2 モスアイ層
- 2 2 3 パッド電極
- 2 2 4 誘電体多層膜
- 2 2 6 A I 層
- 2 2 7 p 側電極
- 2 2 7 g 透過モスアイ面
- 2 2 7 h 平坦部
- 2 2 7 i 凸部
- 2 2 8 n 側電極
- 3 3 0 第 1 マスク層
- 3 3 0 a 開口
- 3 3 2 レジスト層
- 3 3 2 a 開口
- 3 3 4 ステンシルマスク
- 3 3 4 a 開口
- 3 3 6 第 2 マスク層

## 請求の範囲

- [請求項1] 発光層を含む半導体積層部と、  
前記発光層から発せられる光が入射し、当該光の光学波長より大きく当該光のコヒーレント長より小さい周期で凸部が形成され、入射光をブラッグの回折条件に従って複数のモードで反射するとともに、入射光をブラッグの回折条件に従って複数のモードで透過する回折面と、  
前記回折面にて回折した光を反射して前記回折面へ再入射させる反射面と、を備え、  
前記半導体積層部は、前記回折面上に前記凸部の周囲に空隙なく形成され、  
前記回折面において、平面視にて、前記平坦部の割合が40%以上であるLED素子。
- [請求項2] 前記発光層は青色光を発し、  
前記凸部は、平面視にて、仮想の三角格子又は四角格子の交点に配置され、  
前記仮想の三角格子又は四角格子をなす三角形又は四角形は、正多角形ではなく、各辺の長さが前記青色光の光学波長の2倍より大きくコヒーレント長より小さい請求項1に記載のLED素子。
- [請求項3] 前記凸部は、仮想の三角格子の交点に配置され、  
前記仮想の三角格子をなす三角形の一辺の長さが、前記青色光の光学波長の2倍以上460nm以下、または、550nm以上800nm以下である請求項2に記載のLED素子。
- [請求項4] 前記仮想の三角格子をなす三角形は、二等辺三角形である請求項3に記載のLED素子。
- [請求項5] 前記二等辺三角形の等辺と底辺の一方の長さが前記青色光の光学波長の2倍以上460nm以下であり、他方の長さが550nm以上800nm以下である請求項4に記載のLED素子。

[請求項6] 前記サファイア基板の表面は、前記凸部が、前記青色光の光学波長の2倍より大きくコヒーレント長より小さい周期で配置された垂直化モスアイ面をなし、

前記垂直化モスアイ面は、前記半導体積層部側から当該垂直化モスアイ面へ入射する光を反射及び透過し、臨界角を超えた角度域において、前記半導体積層部側にて当該垂直化モスアイ面へ入射する光の強度分布と比べて、前記半導体積層部側にて当該垂直化モスアイ面から反射により出射する光の強度分布が、前記半導体積層部と前記サファイア基板の界面に対して垂直な方向に偏るとともに、臨界角を超えた角度域において、前記半導体積層部側にて当該垂直化モスアイ面へ入射する光の強度分布と比べて、前記サファイア基板側にて当該垂直化モスアイ面から透過により出射する光の強度分布が、前記界面に対して垂直な方向に偏るよう構成され、

前記垂直化モスアイ面を透過した光を反射する反射部を有し、

前記発光層から発せられる光の光学波長の2倍より小さい周期の凹部又は凸部を有する透過モスアイ面を有し、

前記垂直化モスアイ面における反射及び透過により、前記界面に対して垂直な方向に偏るよう強度分布が調整された光は、前記透過モスアイ面にてフレネル反射が抑制された状態で素子外部へ放出される請求項5に記載のLED素子。

[請求項7] 前記反射部は、前記界面に対して垂直に近い角度ほど反射率が高い請求項6に記載のLED素子。

[請求項8] 前記半導体積層部上に形成された電極、を備え、

前記電極は、前記半導体積層部上に形成される拡散電極層と、前記拡散電極層上に形成され表面が前記発光層から発せられる光の光学波長の2倍より小さい周期の凹部又は凸部を有する前記透過モスアイ面をなすモスアイ層と、を有し、

前記モスアイ層は、前記発光層から発せられる光について、前記拡

散電極層を構成する材料よりも消衰係数が小さく、前記拡散電極層を構成する材料と屈折率がほぼ同じ材料から構成した請求項 7 に記載の L E D 素子。

[請求項9] 前記拡散電極層は、I T O からなり、  
前記モスアイ層は、Z r O<sub>2</sub> からなる請求項 8 に記載の L E D 素子。  
。

[請求項10] 請求項 9 に記載の L E D 素子を製造するにあたり、  
サファイア基板の表面上にマスク層を形成するマスク層形成工程と、  
、  
前記マスク層上にレジスト膜を形成するレジスト膜形成工程と、  
前記レジスト膜に所定のパターンを形成するパターン形成工程と、  
前記レジスト膜をマスクとして前記マスク層のエッチングを行うマスク層のエッチング工程と、  
エッチングされた前記マスク層をマスクとして、前記サファイア基板のエッチングを行って前記凸部を形成する基板のエッチング工程と、  
、  
エッチングされた前記サファイア基板の表面上に、前記半導体積層部を形成する半導体形成工程と、を含む L E D 素子の製造方法。

[請求項11] 前記マスク層は、メタルマスクを含み、当該メタルマスクの厚さによって凸部の基端部の大きさを制御する請求項 1 0 に記載の L E D 素子の製造方法。

[請求項12] 請求項 1 に記載の L E D 素子を製造するにあたり、  
サファイア基板の表面上にマスク層を形成するマスク層形成工程と、  
、  
前記マスク層上にレジスト膜を形成するレジスト膜形成工程と、  
前記レジスト膜に所定のパターンを形成するパターン形成工程と、  
前記レジスト膜をマスクとして前記マスク層のエッチングを行うマスク層のエッチング工程と、

エッチングされた前記マスク層をマスクとして、前記サファイア基板のエッチングを行って前記凸部を形成する基板のエッチング工程と、

エッチングされた前記サファイア基板の表面上に、前記半導体積層部を形成する半導体形成工程と、を含むＬＥＤ素子の製造方法。

[請求項13] 前記マスク層は、メタルマスクを含み、当該メタルマスクの厚さによって凸部の基端部の大きさを制御する請求項１２に記載のＬＥＤ素子の製造方法。

[請求項14] サファイア基板と、  
前記サファイア基板の表面上に形成され青色光を発する発光層を含む半導体積層部と、を備え、

前記サファイア基板の表面は、平面視にて、仮想の三角格子又は四角格子の交点に配置される複数の凹部又は凸部を有し、

前記仮想の三角格子又は四角格子をなす三角形又は四角形は、正多角形ではなく、各辺の長さが前記青色光の光学波長の２倍より大きくコヒーレント長より小さいＬＥＤ素子。

[請求項15] 前記凹部又は凸部は、仮想の三角格子の交点に配置され、  
前記仮想の三角格子をなす三角形の一辺の長さが、前記青色光の光学波長の２倍以上４６０ｎｍ以下、または、５５０ｎｍ以上８００ｎｍ以下である請求項１４に記載のＬＥＤ素子。

[請求項16] 前記仮想の三角格子をなす三角形は、二等辺三角形である請求項１５に記載のＬＥＤ素子。

[請求項17] 前記二等辺三角形の等辺と底辺の一方の長さが前記青色光の光学波長の２倍以上４６０ｎｍ以下であり、他方の長さが５５０ｎｍ以上８００ｎｍ以下である請求項１６に記載のＬＥＤ素子。

[請求項18] 前記サファイア基板の表面は、前記凹部又は凸部が、前記青色光の光学波長の２倍より大きくコヒーレント長より小さい周期で配置された垂直化モスアイ面をなし、

前記垂直化モスアイ面は、前記半導体積層部側から当該垂直化モスアイ面へ入射する光を反射及び透過し、臨界角を超えた角度域において、前記半導体積層部側にて当該垂直化モスアイ面へ入射する光の強度分布と比べて、前記半導体積層部側にて当該垂直化モスアイ面から反射により出射する光の強度分布が、前記半導体積層部と前記サファイア基板の界面に対して垂直な方向に偏るとともに、臨界角を超えた角度域において、前記半導体積層部側にて当該垂直化モスアイ面へ入射する光の強度分布と比べて、前記サファイア基板側にて当該垂直化モスアイ面から透過により出射する光の強度分布が、前記界面に対して垂直な方向に偏るよう構成され、

前記垂直化モスアイ面を透過した光を反射する反射部を有し、

前記発光層から発せられる光の光学波長の2倍より小さい周期の凹部又は凸部を有する透過モスアイ面を有し、

前記垂直化モスアイ面における反射及び透過により、前記界面に対して垂直な方向に偏るよう強度分布が調整された光は、前記透過モスアイ面にてフレネル反射が抑制された状態で素子外部へ放出される請求項14から17のいずれか1項に記載のLED素子。

[請求項19] 前記反射部は、前記界面に対して垂直に近い角度ほど反射率が高い請求項18に記載のLED素子。

[請求項20] 基板と、  
前記基板の表面上に形成された発光層を含む半導体積層部と、  
前記基板の裏面上に形成された反射部と、  
前記半導体積層部上に形成された電極と、を備え、  
前記電極は、前記半導体積層部上に形成される拡散電極層と、前記拡散電極層上に形成され表面が前記発光層から発せられる光の光学波長の2倍より小さい周期の凹部又は凸部を有する透過モスアイ面をなすモスアイ層と、を有し、

前記モスアイ層は、前記発光層から発せられる光について、前記拡

散電極層を構成する材料よりも消衰係数が小さく、前記拡散電極層を構成する材料と屈折率がほぼ同じ材料から構成したLED素子。

[請求項21] 前記拡散電極層は、ITOからなり、  
前記モスアイ層は、 $ZrO_2$ からなる請求項20に記載のLED素子。

[請求項22] 前記基板は、サファイアからなり、  
前記サファイア基板の表面は、前記発光層から発せられる光の光学波長の2倍より大きくコヒーレント長より小さい周期の複数の凹部又は凸部を有する垂直化モスアイ面をなし、

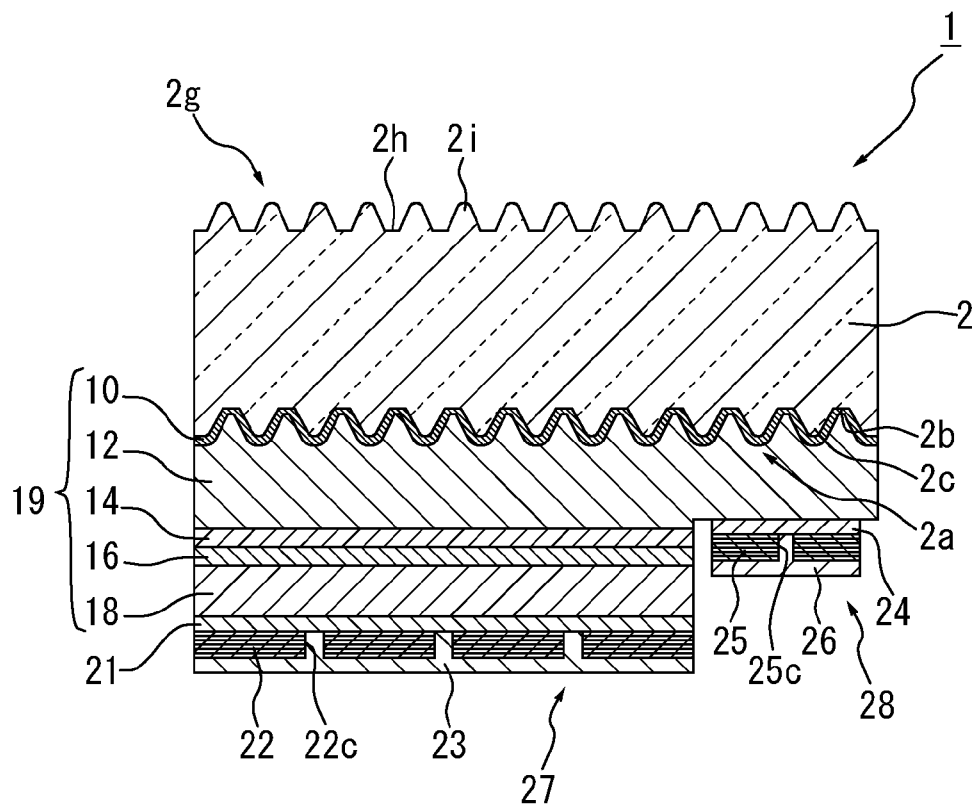
前記垂直化モスアイ面は、前記半導体積層部側から当該垂直化モスアイ面へ入射する光を反射及び透過し、臨界角を超えた角度域において、前記半導体積層部側にて当該垂直化モスアイ面へ入射する光の強度分布と比べて、前記半導体積層部側にて当該垂直化モスアイ面から反射により出射する光の強度分布が、前記半導体積層部と前記サファイア基板の界面に対して垂直な方向に偏るとともに、臨界角を超えた角度域において、前記半導体積層部側にて当該垂直化モスアイ面へ入射する光の強度分布と比べて、前記サファイア基板側にて当該垂直化モスアイ面から透過により出射する光の強度分布が、前記界面に対して垂直な方向に偏るよう構成され、

前記垂直化モスアイ面における反射及び透過により、前記界面に対して垂直な方向に偏るよう強度分布が調整された光は、前記透過モスアイ面を通じてフレネル反射が抑制された状態で素子外部へ放出される請求項20または21に記載のLED素子。

[請求項23] 前記反射部は、前記界面に対して垂直に近い角度ほど反射率が高い請求項22に記載のLED素子。

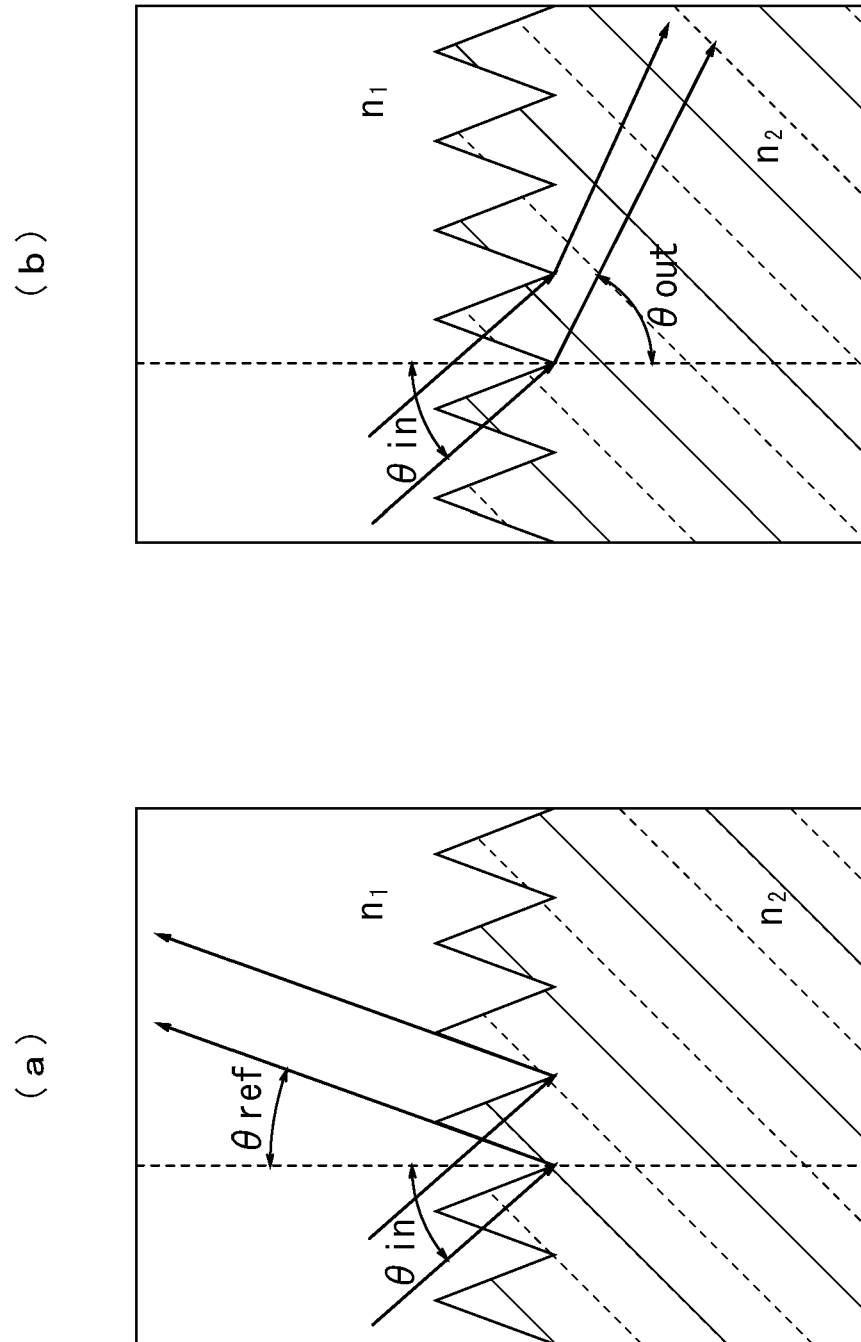
[図1]

図 1



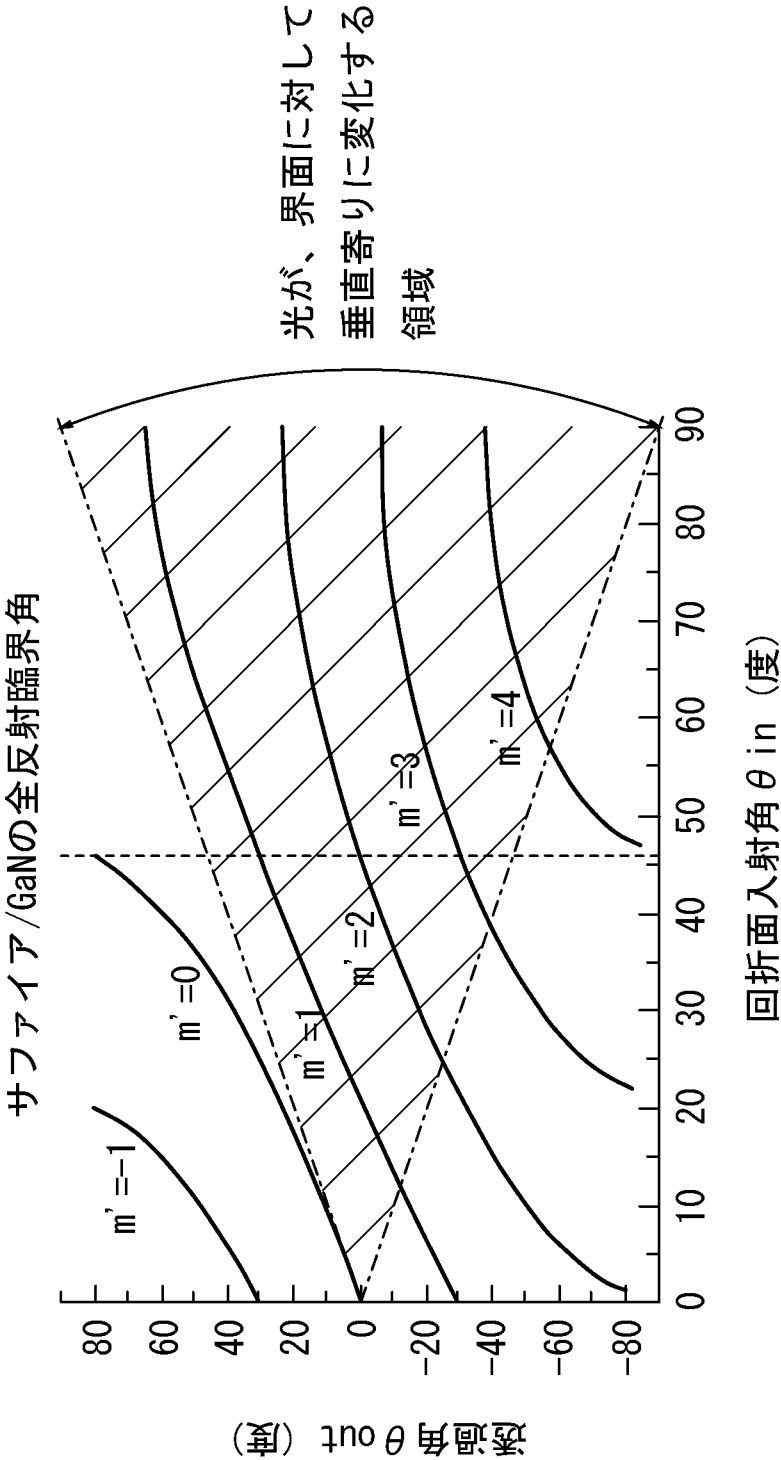
[図2]

図 2



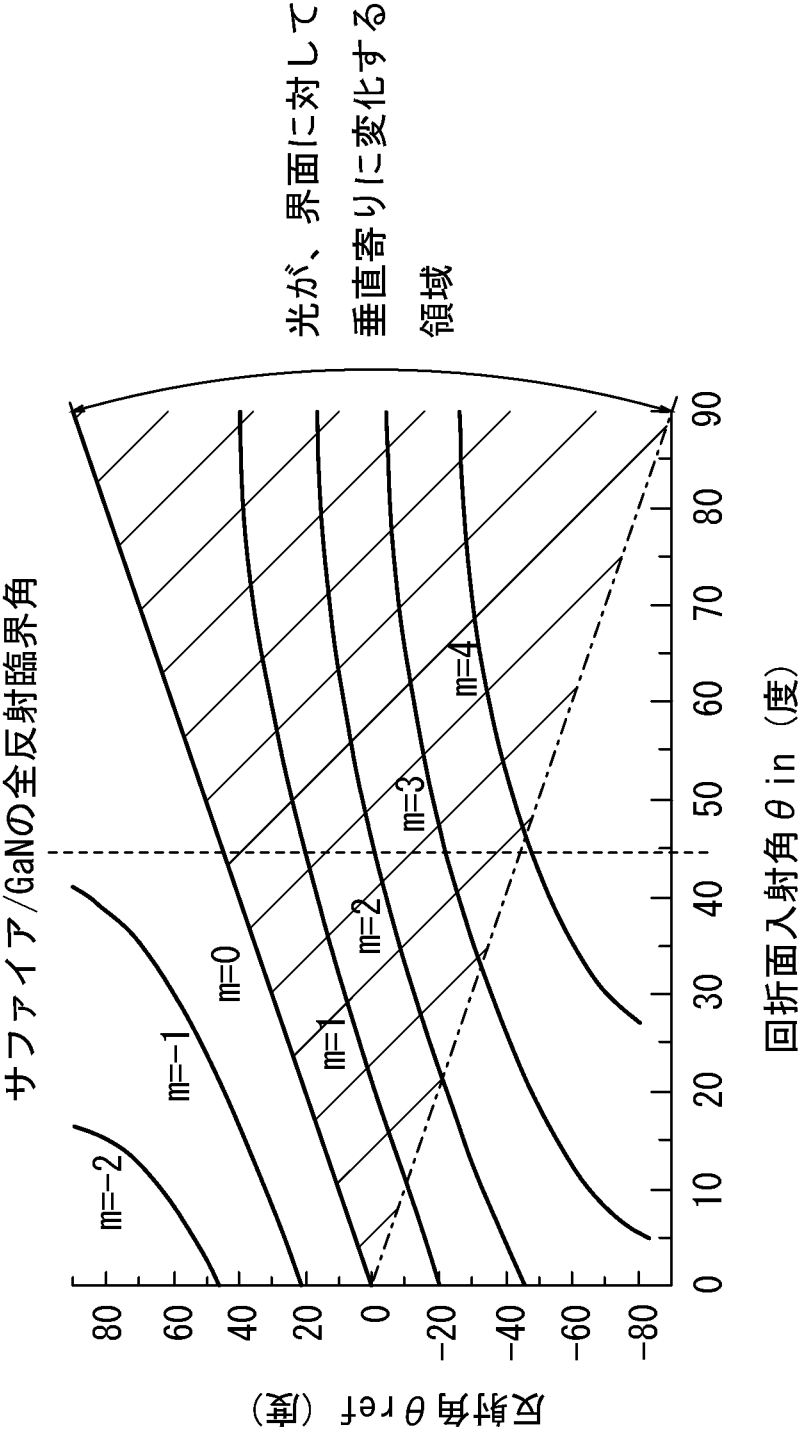
[図3]

図 3



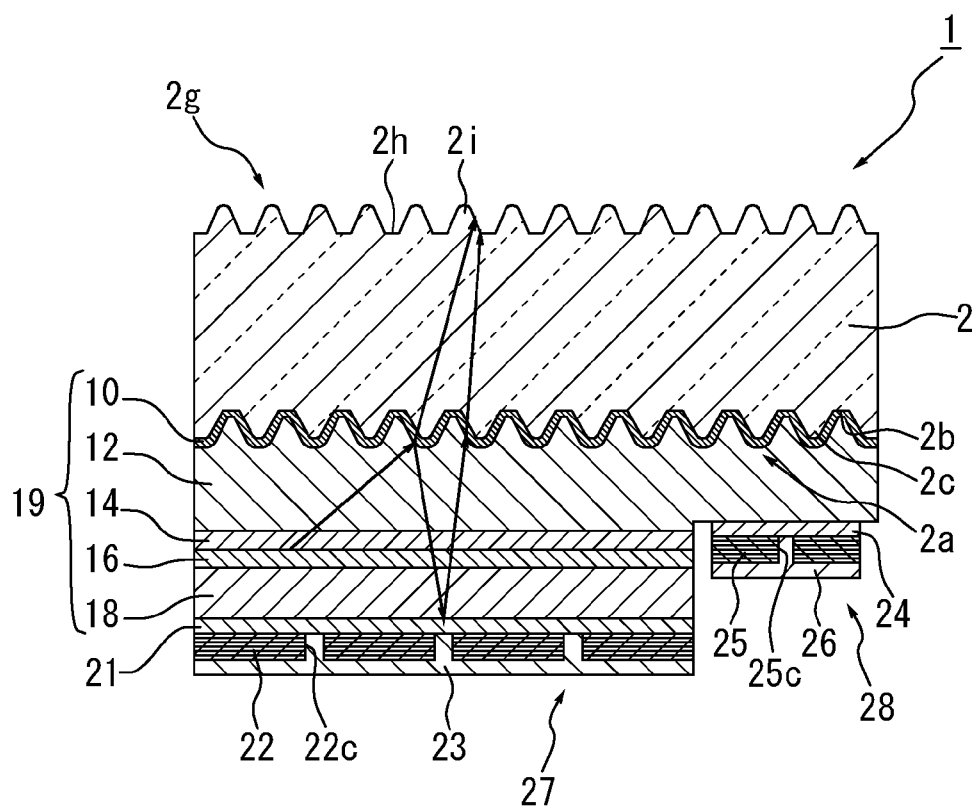
[図4]

図 4



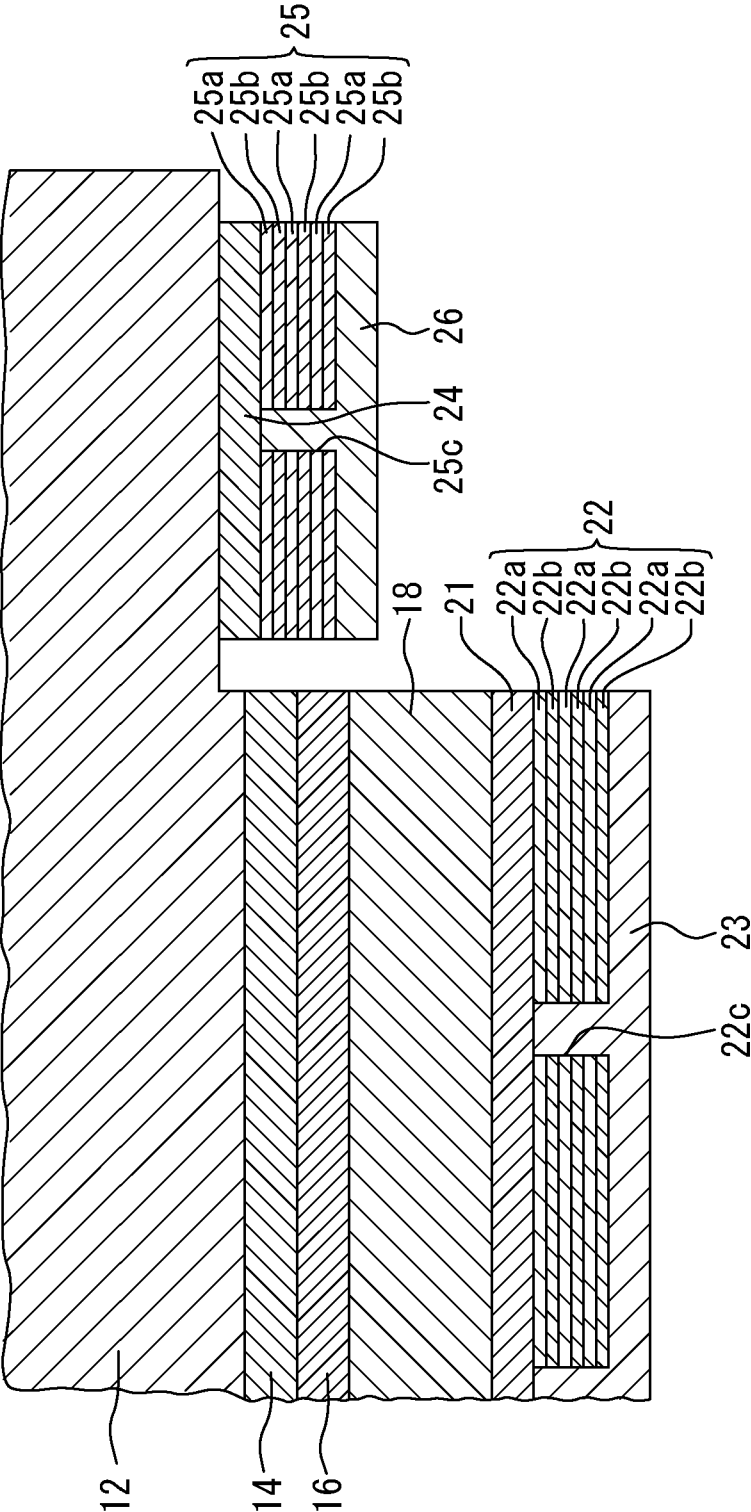
【図5】

図 5



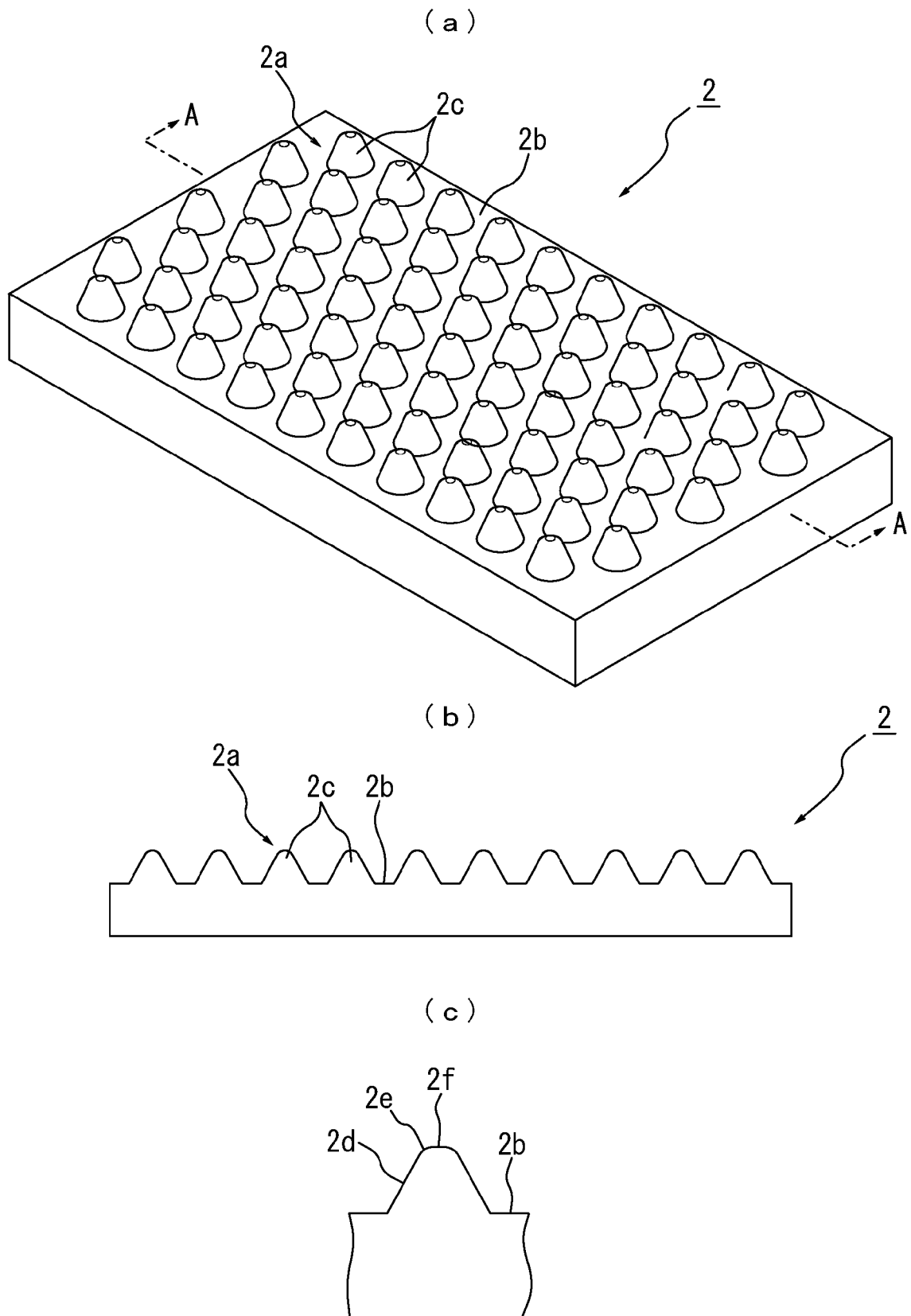
[図6]

図 6



[図7]

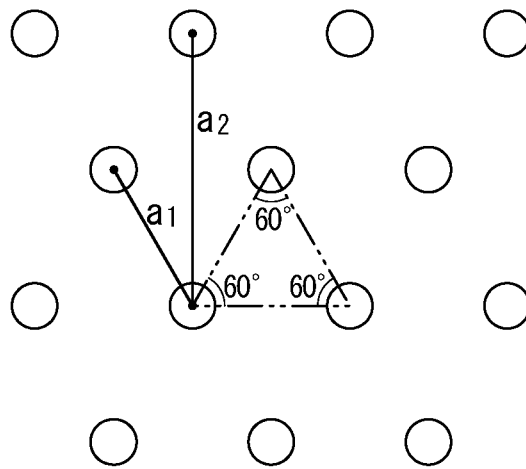
図 7



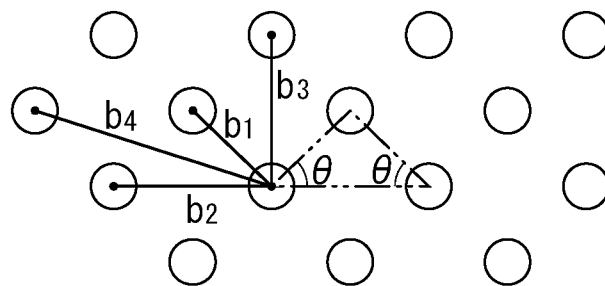
[図8]

図 8

( a )

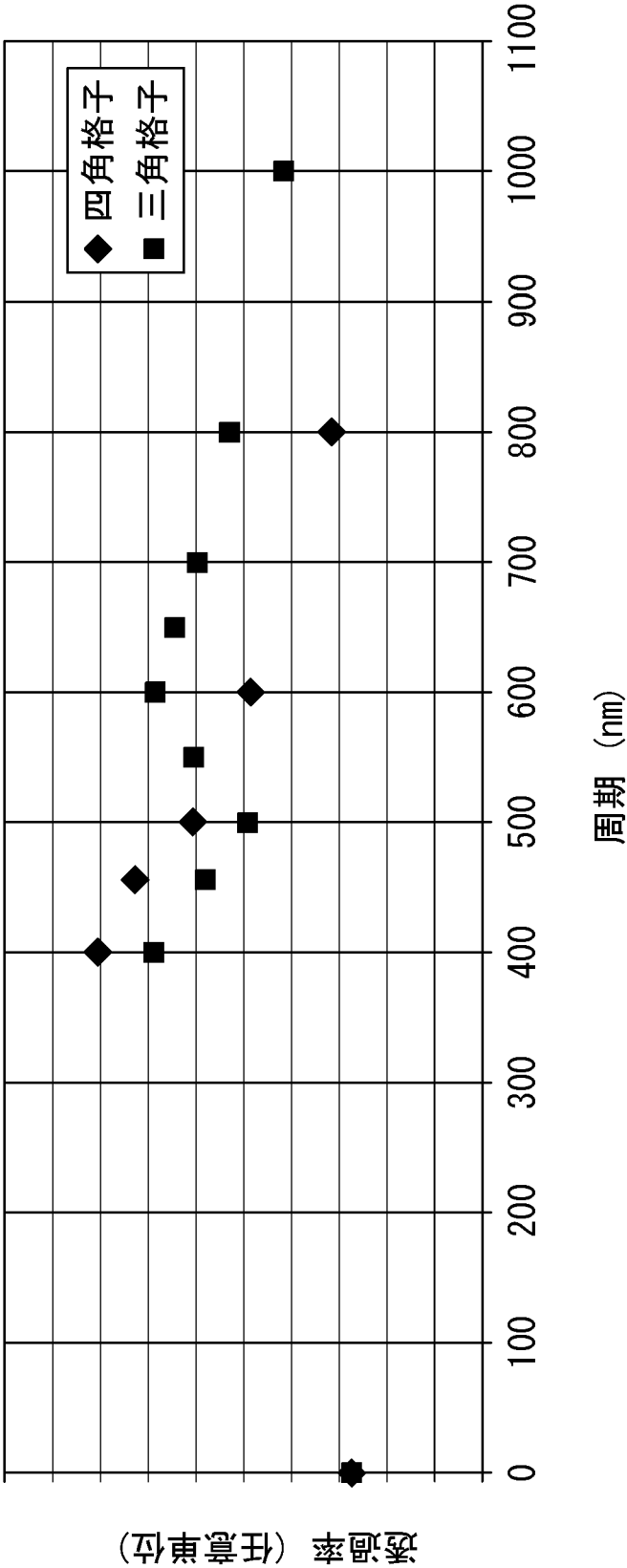


( b )



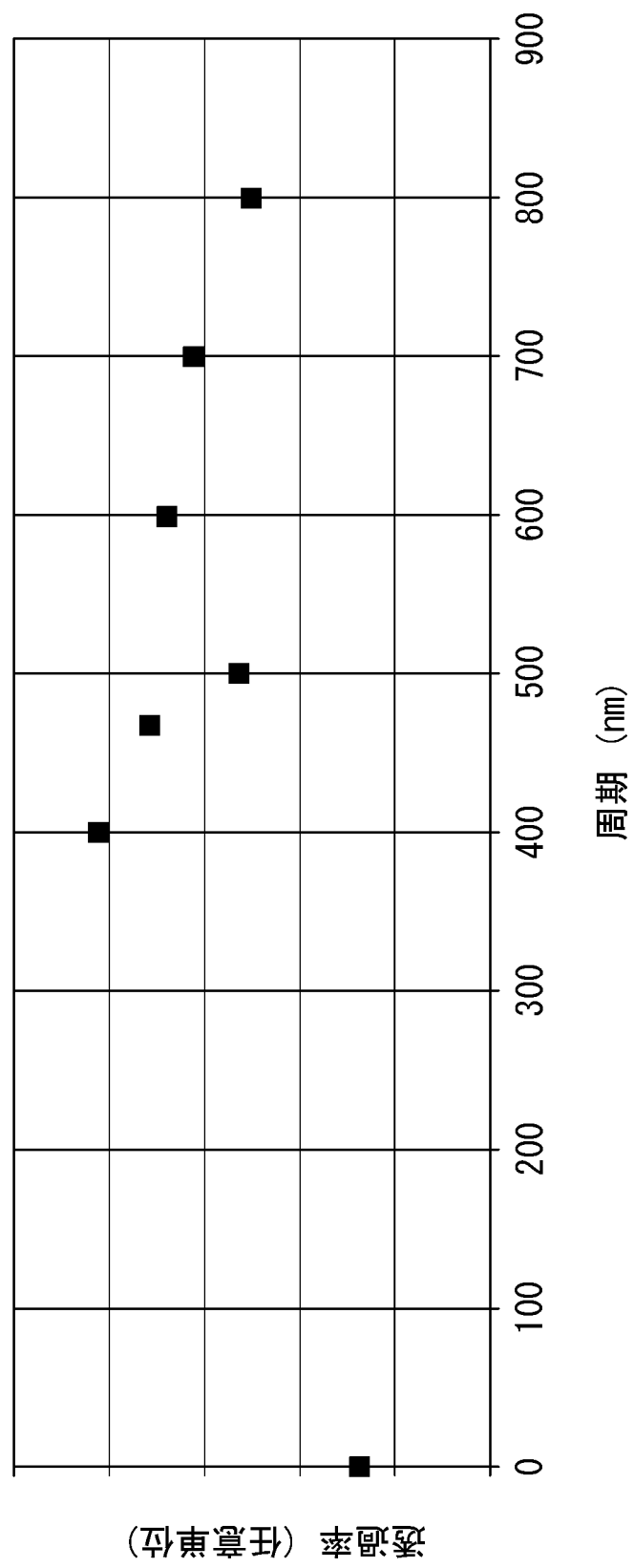
[図9]

図 9



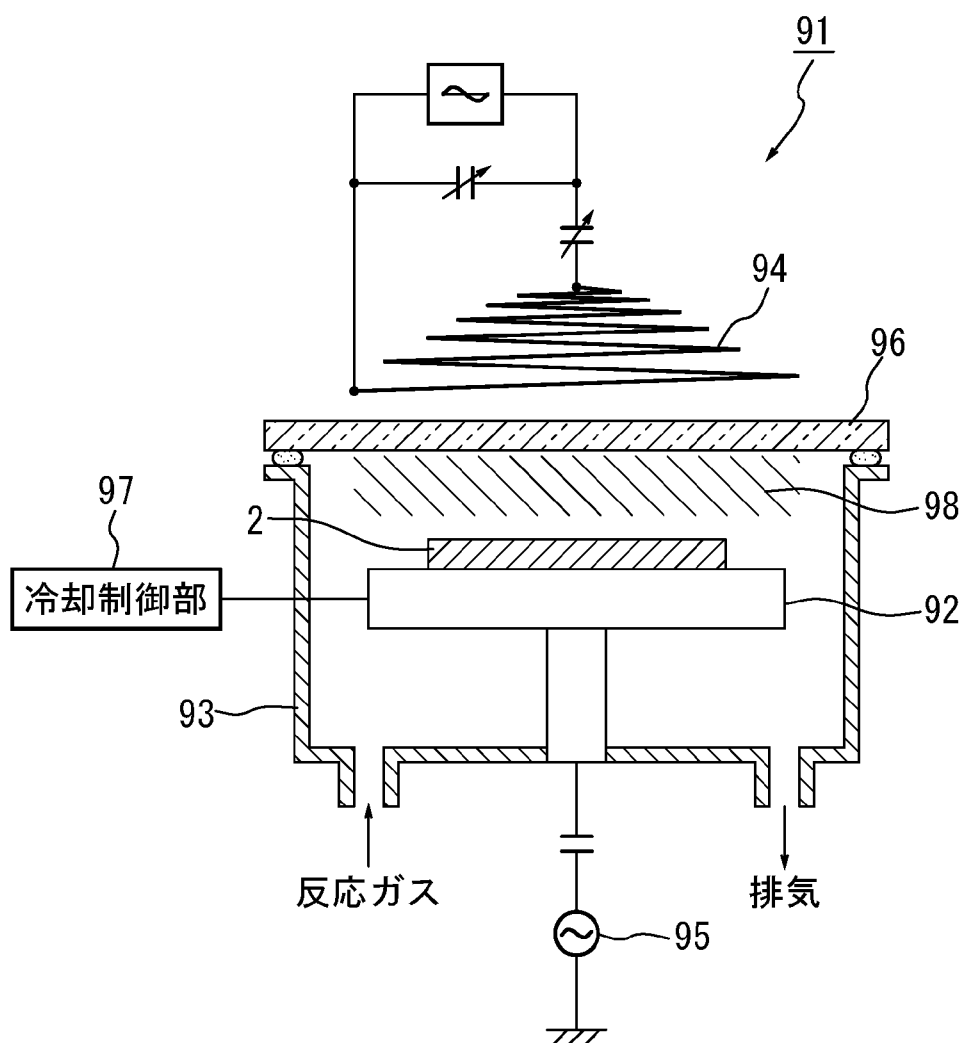
[図10]

図 10



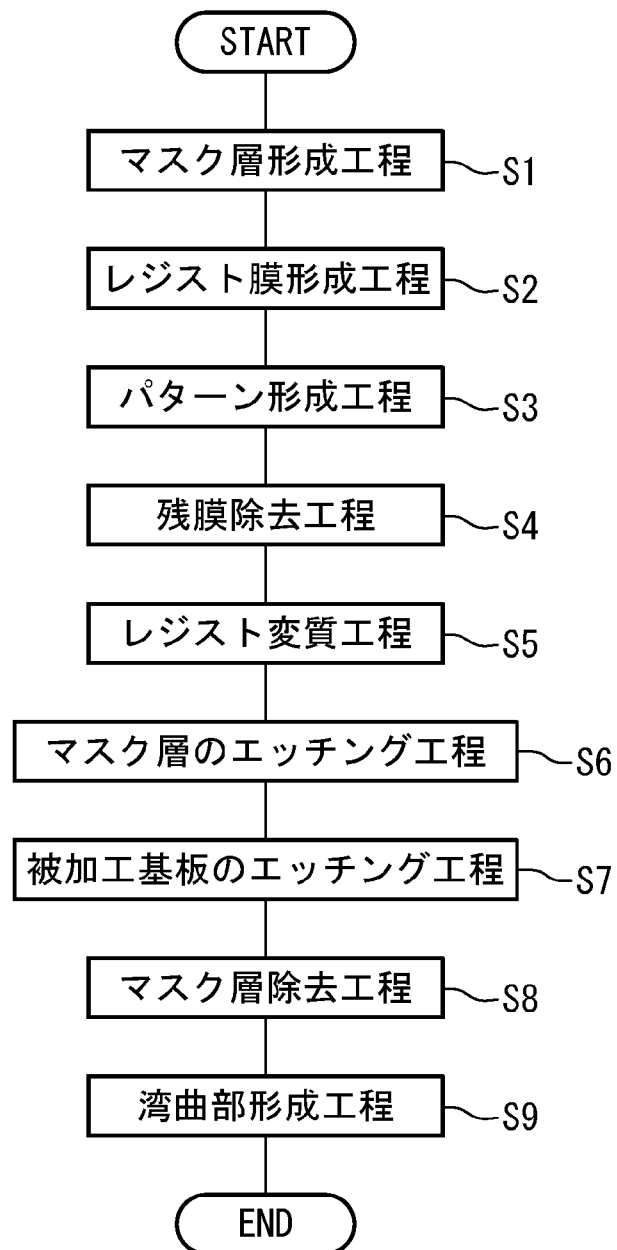
[図11]

図 1 1



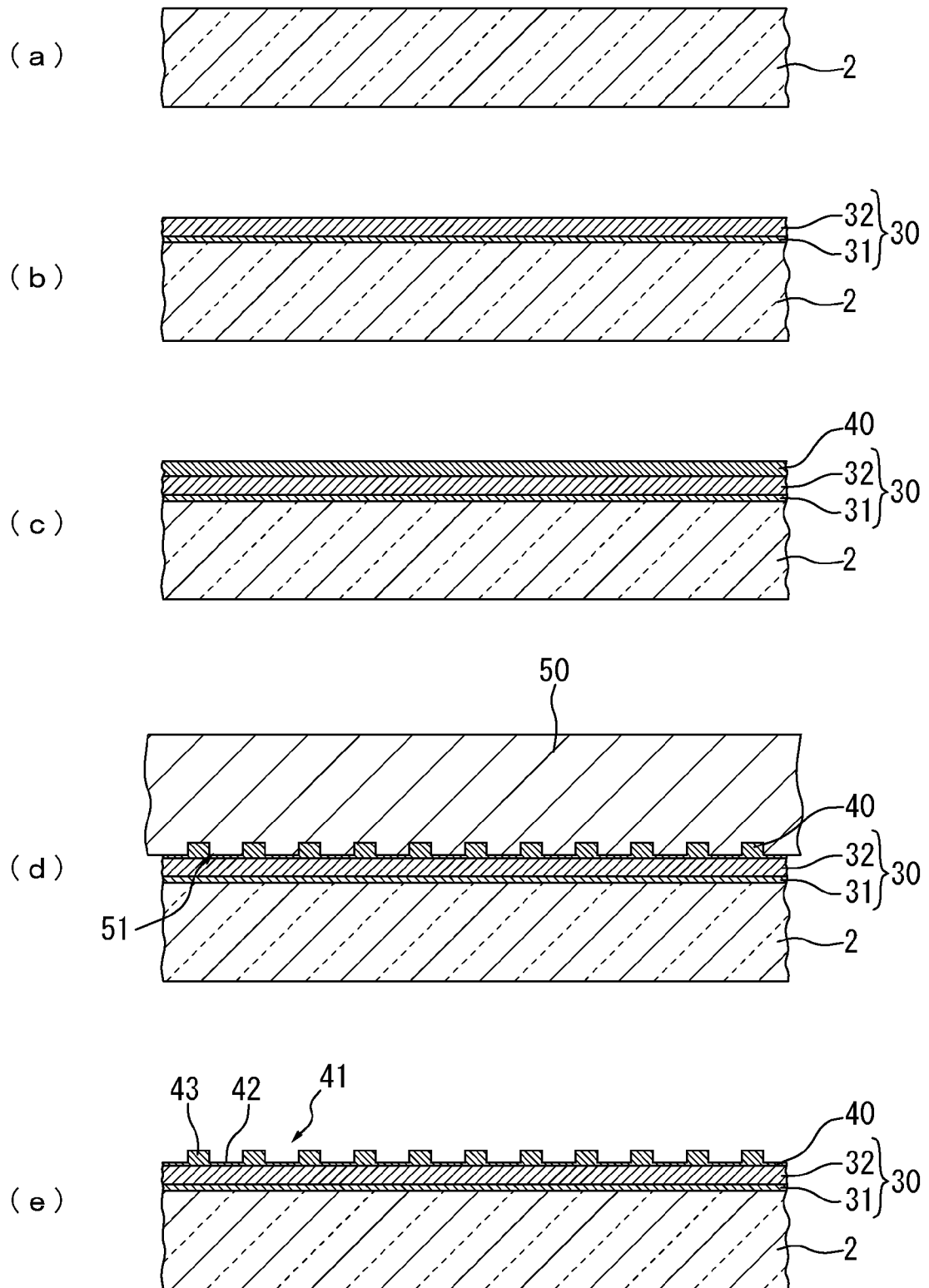
[図12]

図 1 2



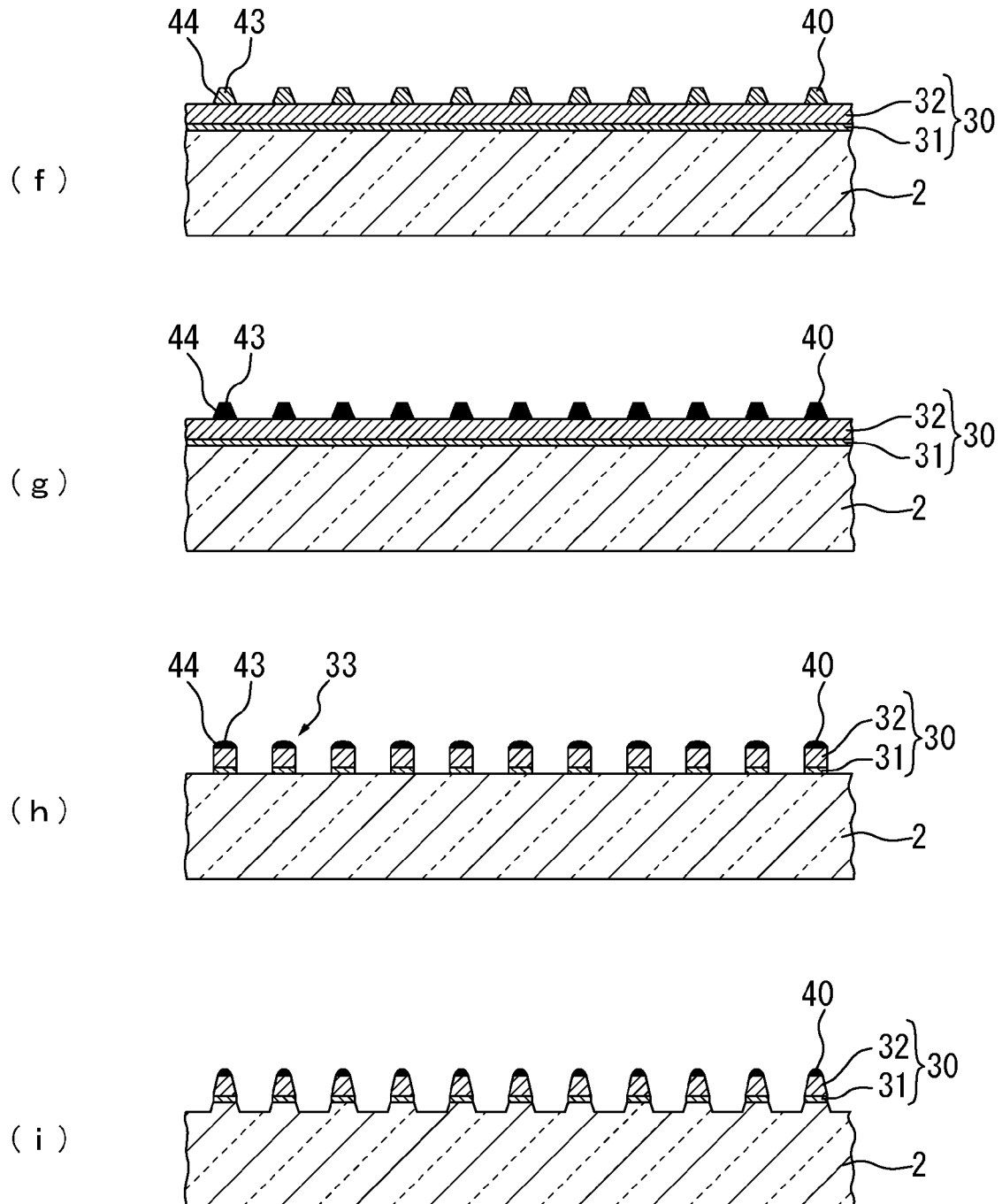
[図13A]

図 1 3 A



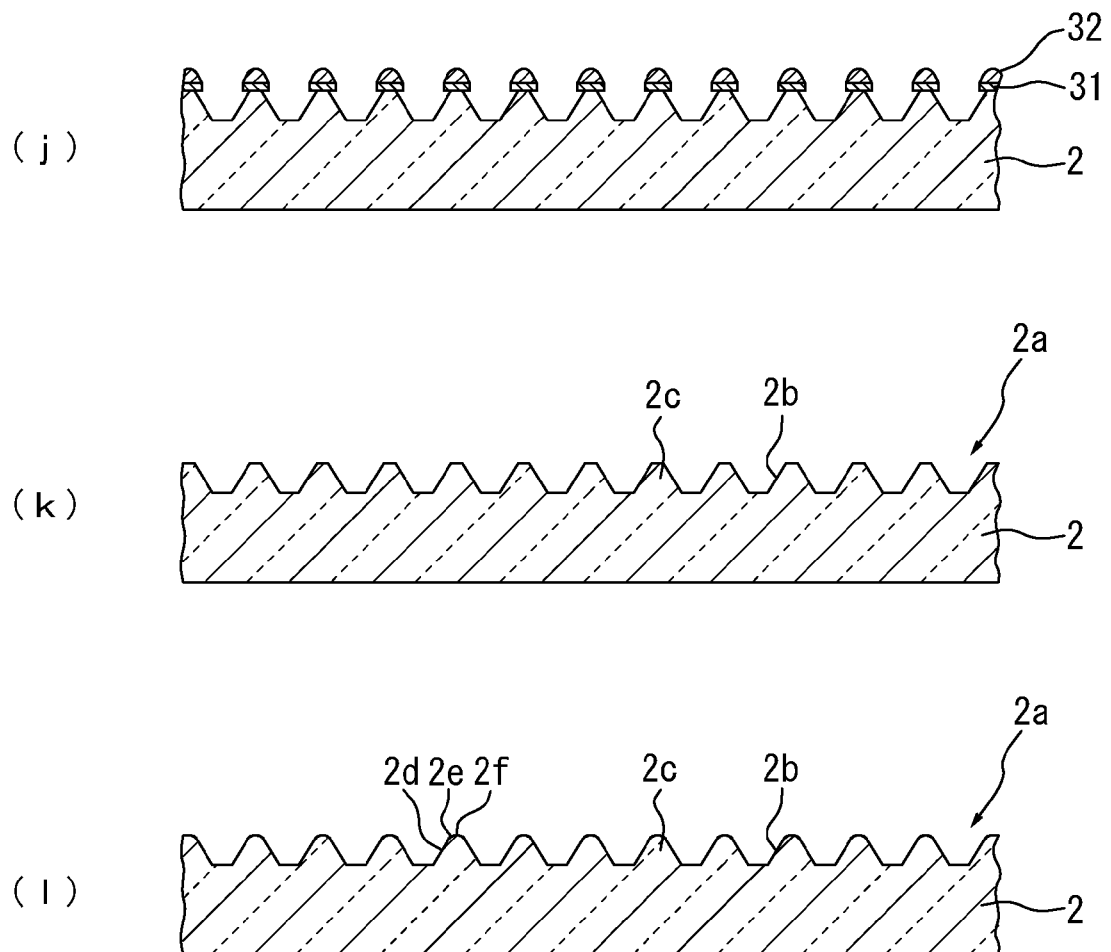
[図13B]

図 1 3 B



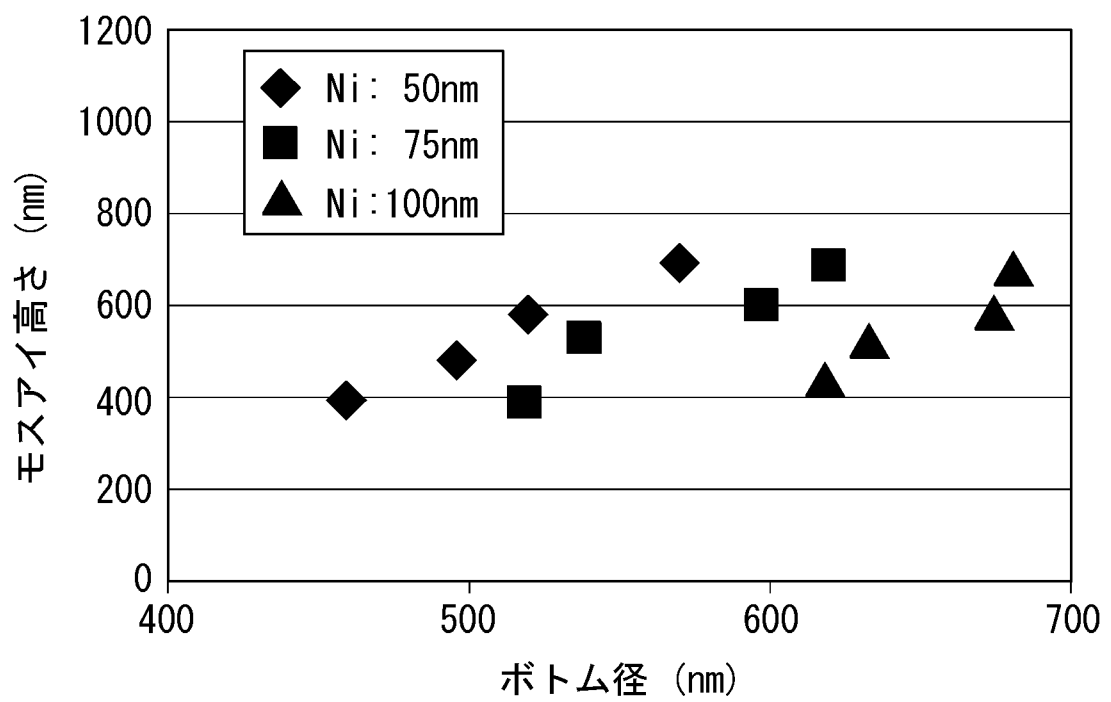
[図13C]

図 1 3 C



[図14]

図 1 4



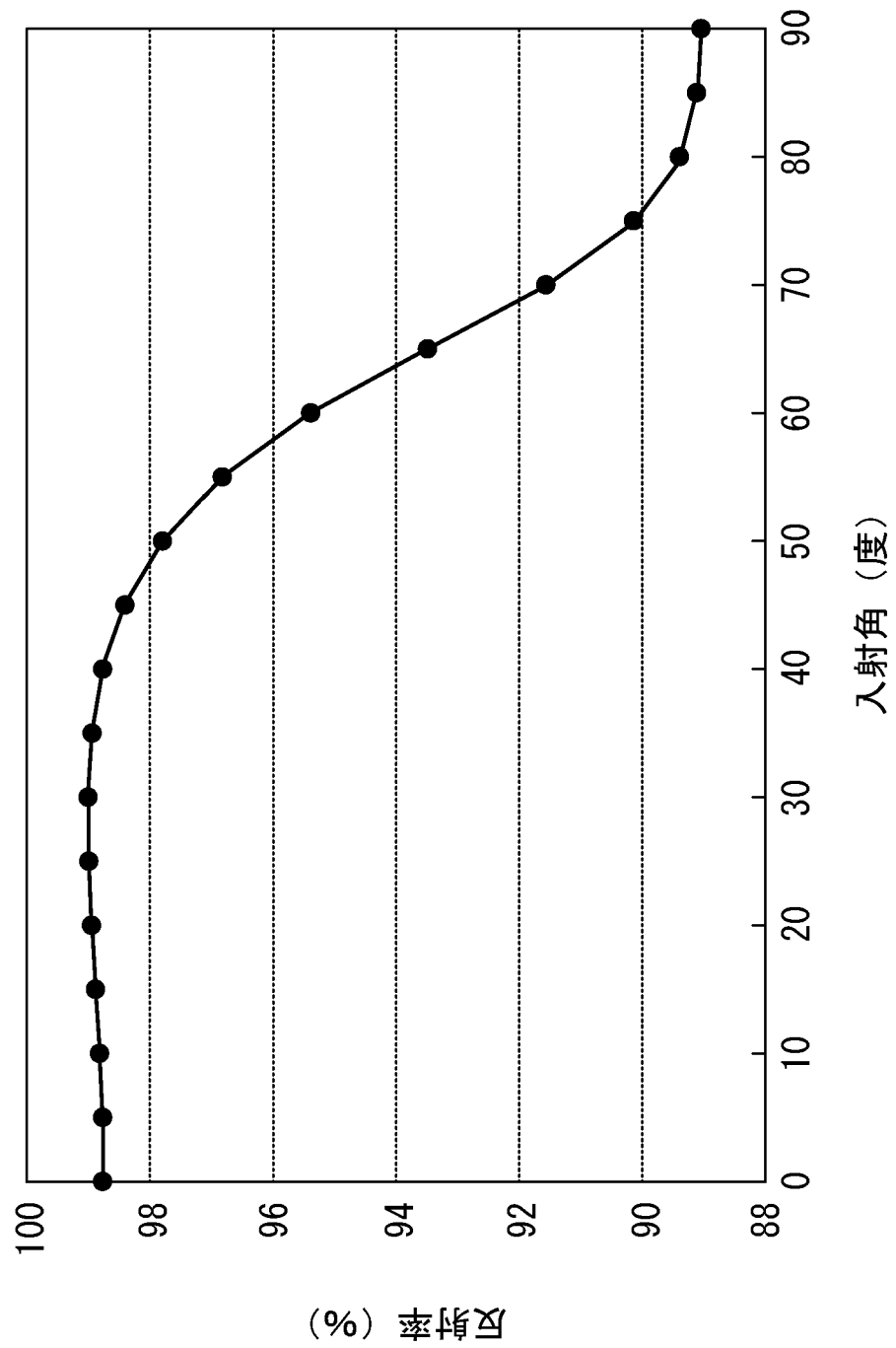
[図15]

図 15

| C面領域<br>周期 | 34% | 35% | 41% | 45% | 47% | 63% | 65% | 69% | 72% | 76% |
|------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 460nm      |     | ×   | ○   |     | ○   |     |     |     |     |     |
| 600nm      | ○   |     |     | ○   |     |     | ○   |     |     |     |
| 800nm      |     |     |     |     |     | ○   |     | ○   | ○   | ○   |

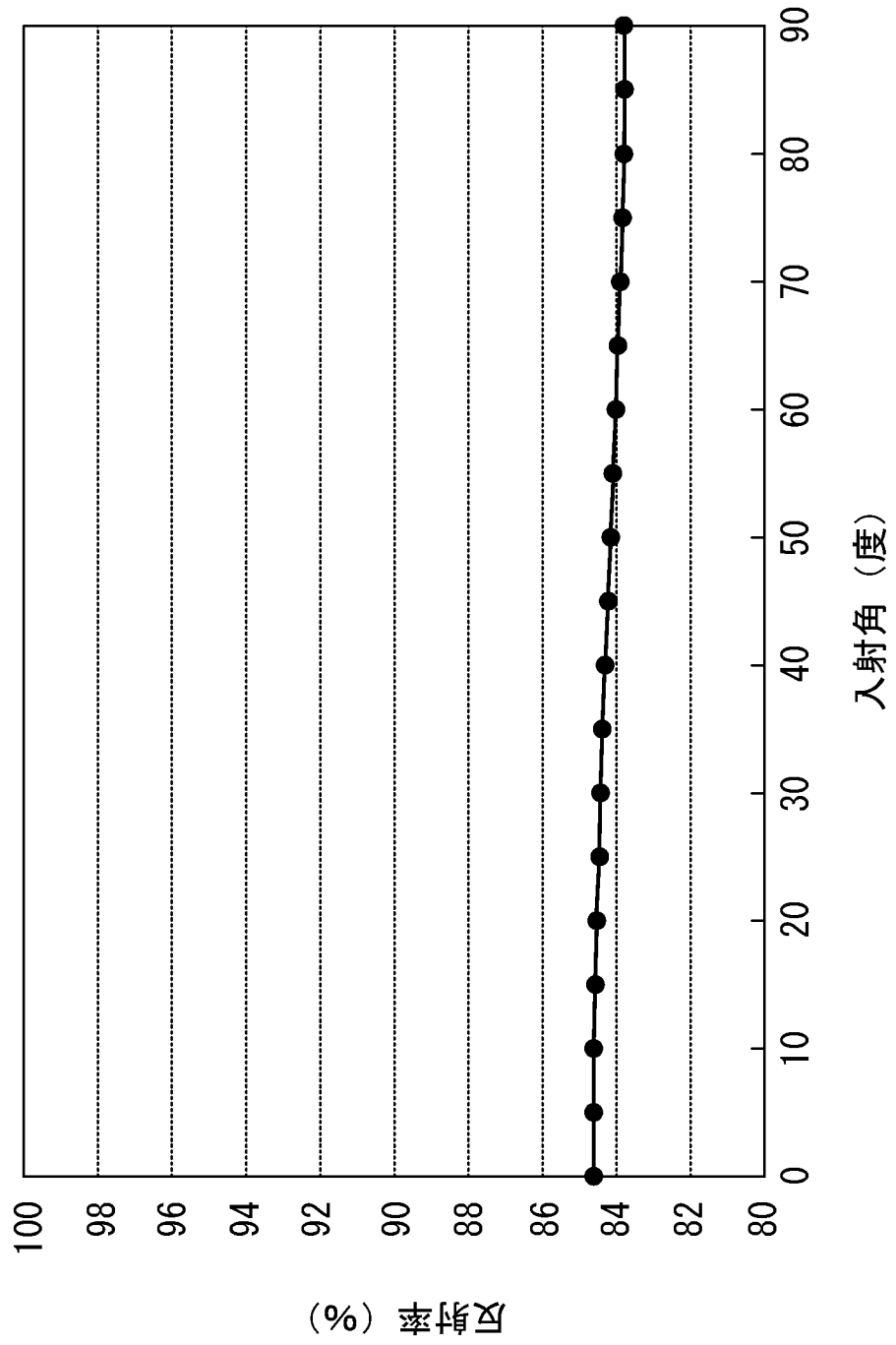
[図16]

図 16



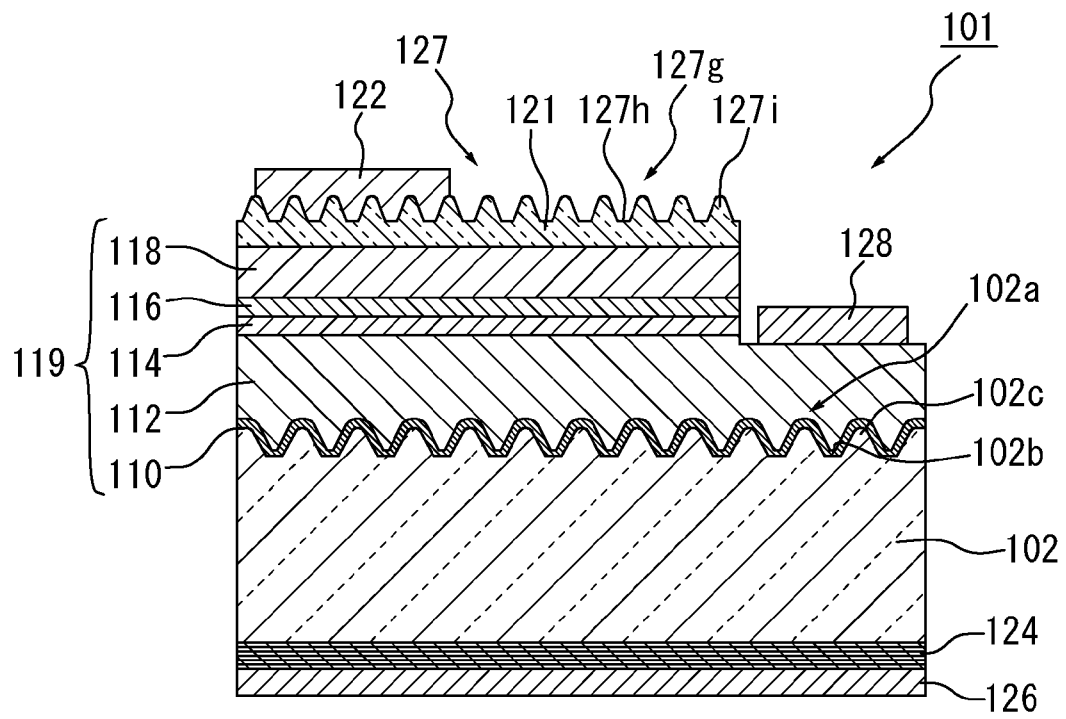
[図17]

図 17



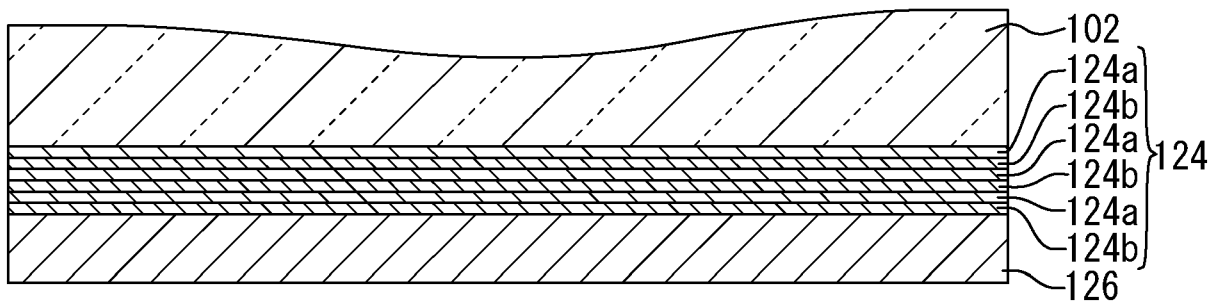
[図18]

図 18



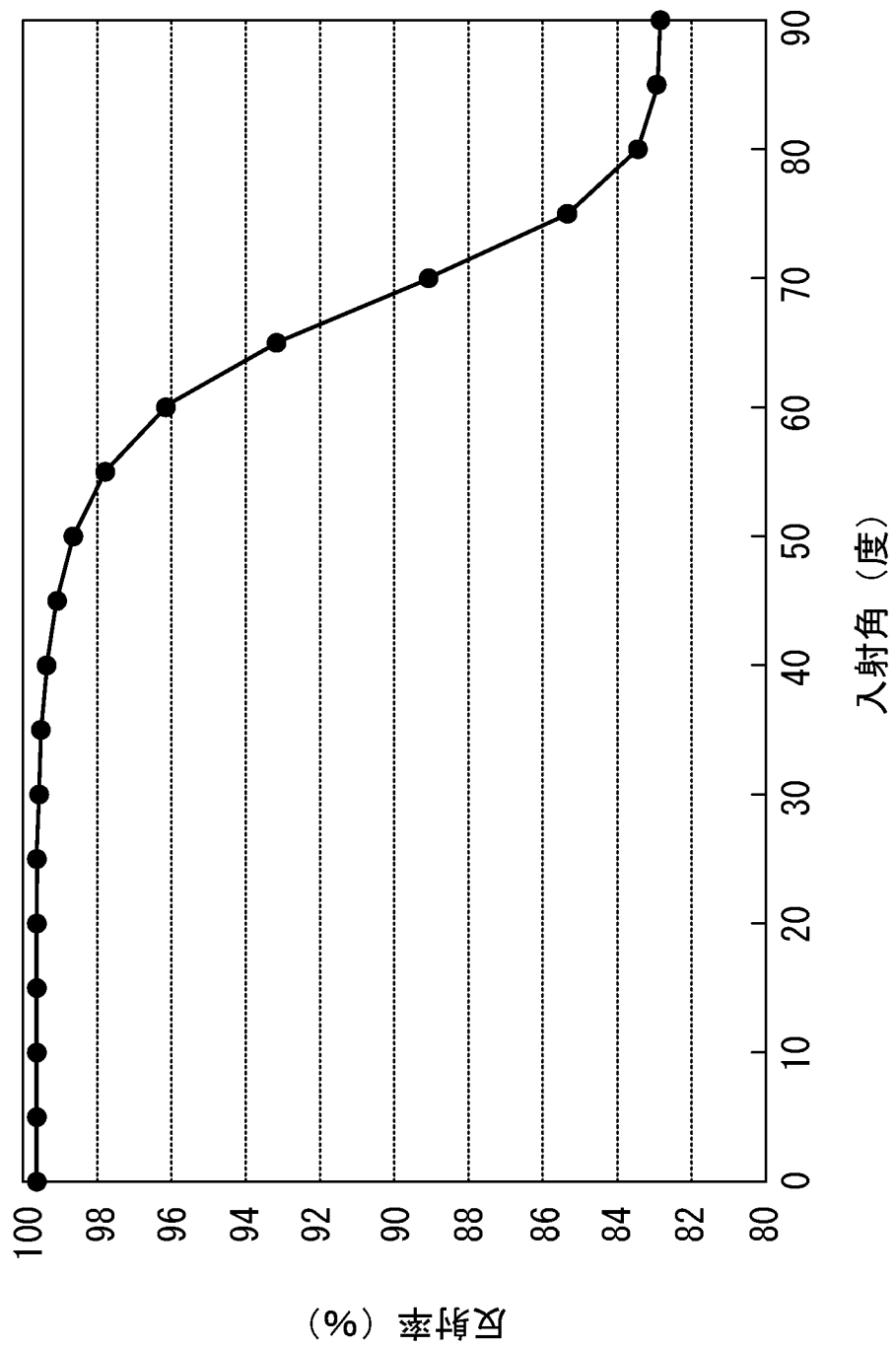
[図19]

図 19



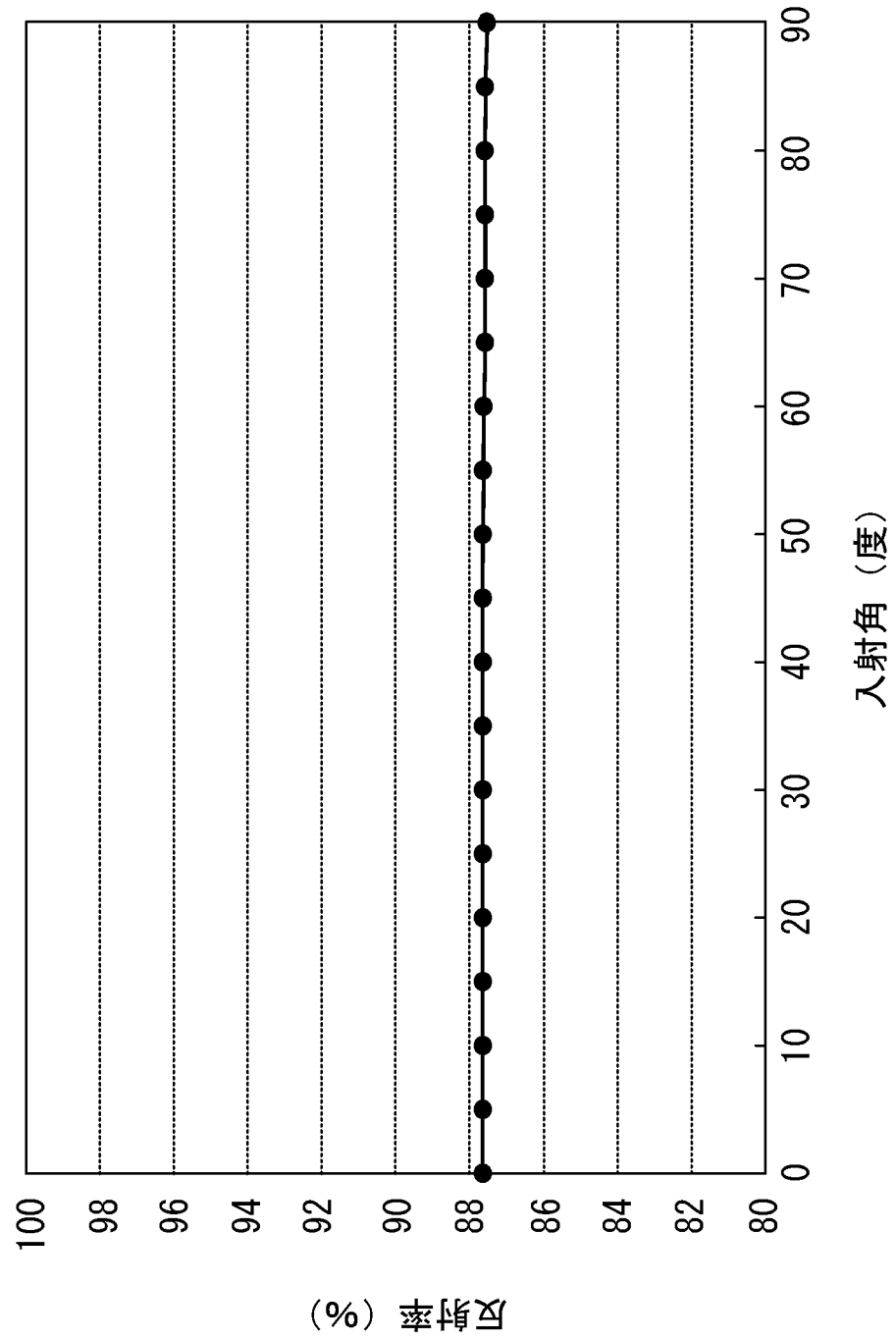
[図20]

図 20



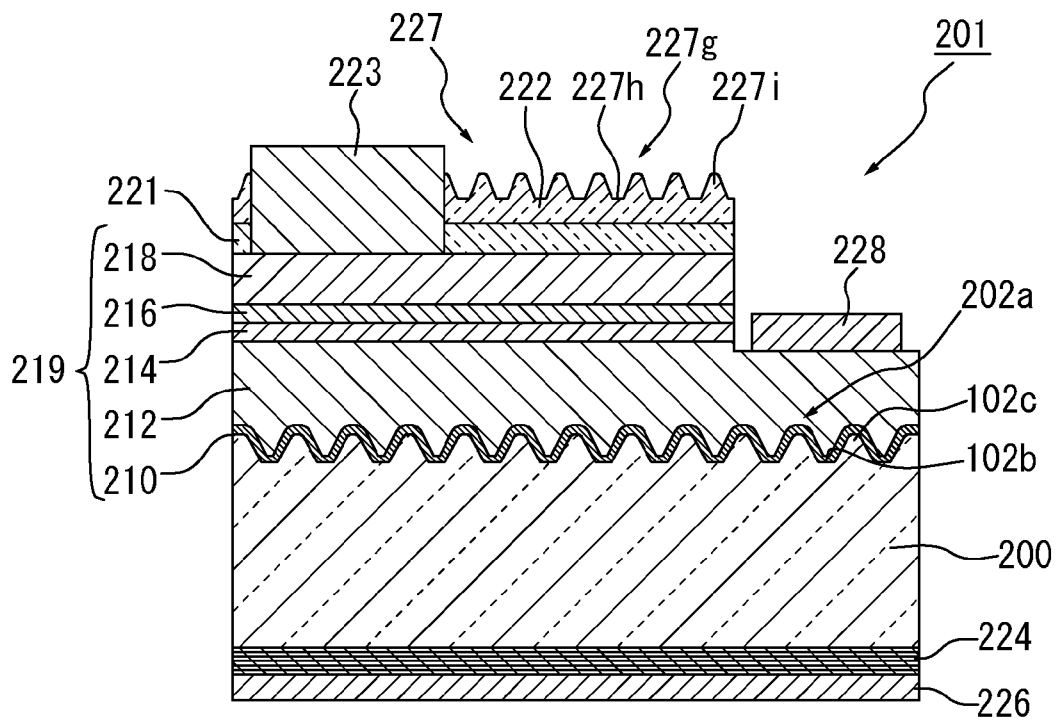
[図21]

図 2 1



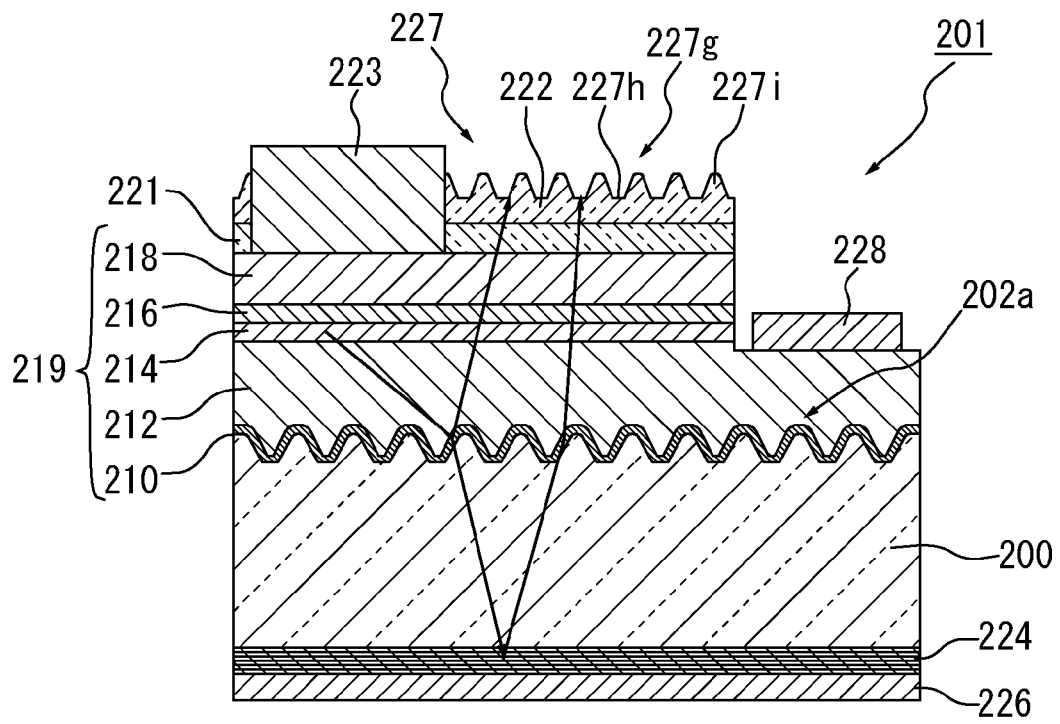
[図22]

図 2 2



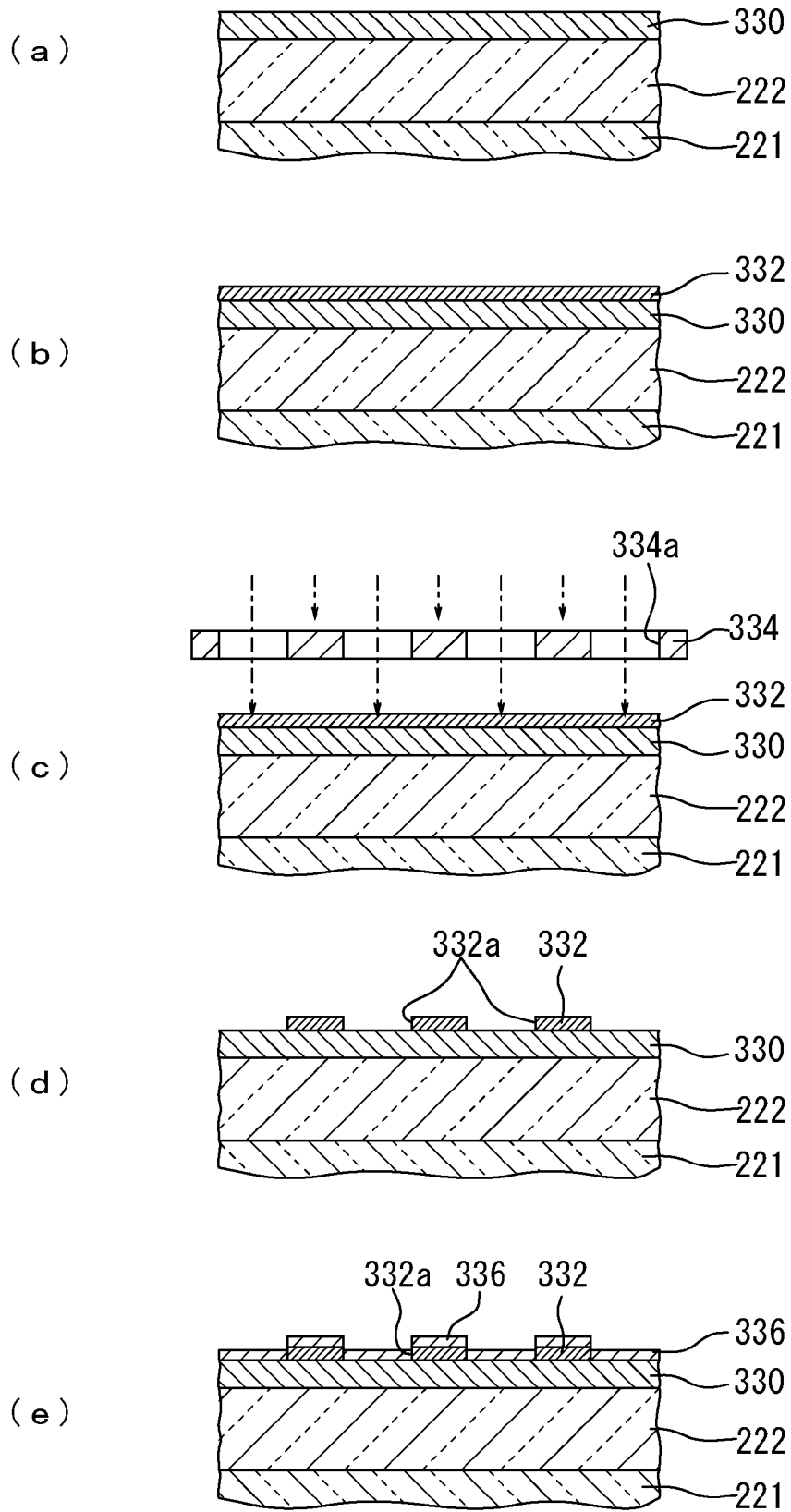
[図23]

図 2 3



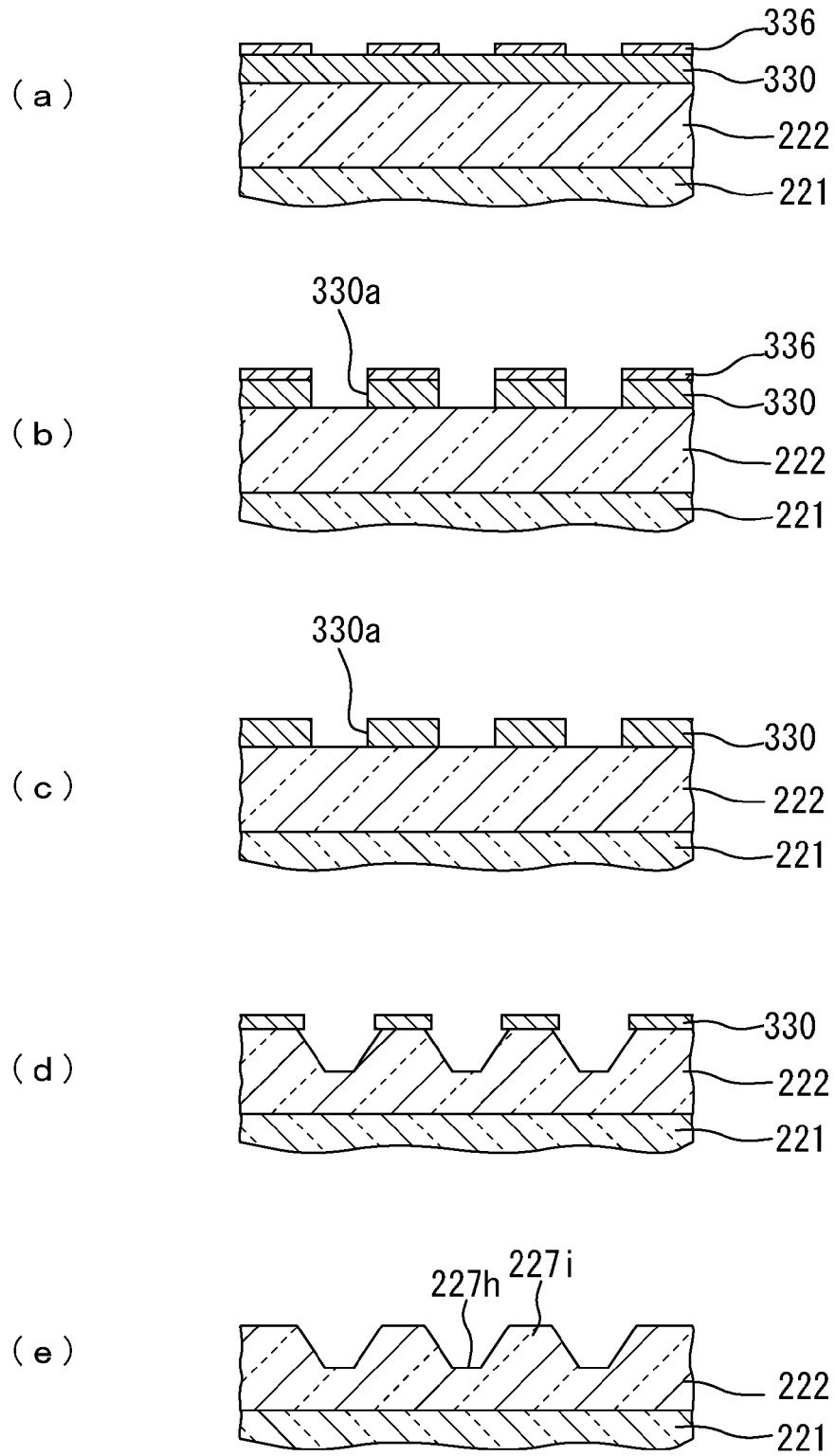
[図24]

図 2 4



[図25]

図 25



# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2014/060763

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H01L33/22(2010.01)i, H01L33/10(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)

H01L33/22, H01L33/10

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 | 1996-2014 |
| Kokai Jitsuyo Shinan Koho | 1971-2014 | Toroku Jitsuyo Shinan Koho | 1994-2014 |

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<br>A    | WO 2011/027679 A1 (EL-SEED Corp.),<br>10 March 2011 (10.03.2011),<br>paragraphs [0026] to [0041]; fig. 1 to 4<br>& JP 4768894 B & JP 2011-176379 A<br>& JP 2013-42162 A & US 2012/0228656 A1<br>& EP 2477238 A1 & CN 102484183 A<br>& KR 10-2012-0068857 A | 1, 12, 13<br>2-11, 14-23 |
| A         | JP 2008-177528 A (Nichia Chemical Industries,<br>Ltd.),<br>31 July 2008 (31.07.2008),<br>entire text; all drawings<br>& JP 2012-238895 A & US 2008/0303042 A1<br>& US 2010/0255621 A1 & US 2013/0146892 A1                                                 | 1-23                     |

☒ 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  
02 June, 2014 (02.06.14)

Date of mailing of the international search report  
24 June, 2014 (24.06.14)

Name and mailing address of the ISA/  
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

International application No.

PCT/JP2014/060763

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 2010-74090 A (Meijo University),<br>02 April 2010 (02.04.2010),<br>entire text; all drawings<br>(Family: none) | 1-23                  |

## A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. H01L33/22(2010.01)i, H01L33/10(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（I P C））

Int.Cl. H01L33/22, H01L33/10

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   | 1 9 2 2 - 1 9 9 6 年 |
| 日本国公開実用新案公報 | 1 9 7 1 - 2 0 1 4 年 |
| 日本国実用新案登録公報 | 1 9 9 6 - 2 0 1 4 年 |
| 日本国登録実用新案公報 | 1 9 9 4 - 2 0 1 4 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               | WO 2011/027679 A1（エルシード株式会社）2011.03.10,<br>[0026] - [0041]、図1-4                                                                        | 1, 12, 13      |
| A               | & JP 4768894 B & JP 2011-176379 A & JP 2013-42162 A<br>& US 2012/0228656 A1 & EP 2477238 A1 & CN 102484183 A<br>& KR 10-2012-0068857 A | 2-11, 14-23    |

☒ 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

「&amp;」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

0 2 . 0 6 . 2 0 1 4

国際調査報告の発送日

2 4 . 0 6 . 2 0 1 4

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁（I S A / 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）

小濱 健太

2 K

4 0 0 9

電話番号 0 3 - 3 5 8 1 - 1 1 0 1 内線 3 2 5 5

| 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                     | JP 2008-177528 A (日亜化学工業株式会社) 2008. 07. 31,<br>全文全図<br>& JP 2012-238895 A & US 2008/0303042 A1 & US 2010/0255621 A1<br>& US 2013/0146892 A1 | 1-23           |
| A                     | JP 2010-74090 A (学校法人 名城大学) 2010. 04. 02,<br>全文全図<br>(ファミリーなし)                                                                              | 1-23           |

## 摘要

本发明提供一种可以进一步提高光取出效率的 LED 元件及其制造方法。该 LED 元件具备：包含发光层的半导体层叠部；衍射面，其被从发光层发出的光入射，并以比该光的光学波长大且比该光的相干长度小的周期形成凸部，按照布拉格衍射条件以多种模式反射入射光，并且按照布拉格衍射条件以多种模式透射入射光；反射面，其将由衍射面衍射的光反射并再次入射到所述衍射面，其中，半导体层叠部在凸部的周围无间隙地形成在衍射面上，并且在衍射面俯视时平坦部的比例为 40% 以上。

