

(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
2014年9月12日(12.09.2014)



(10) 国際公開番号
WO 2014/136393 A1

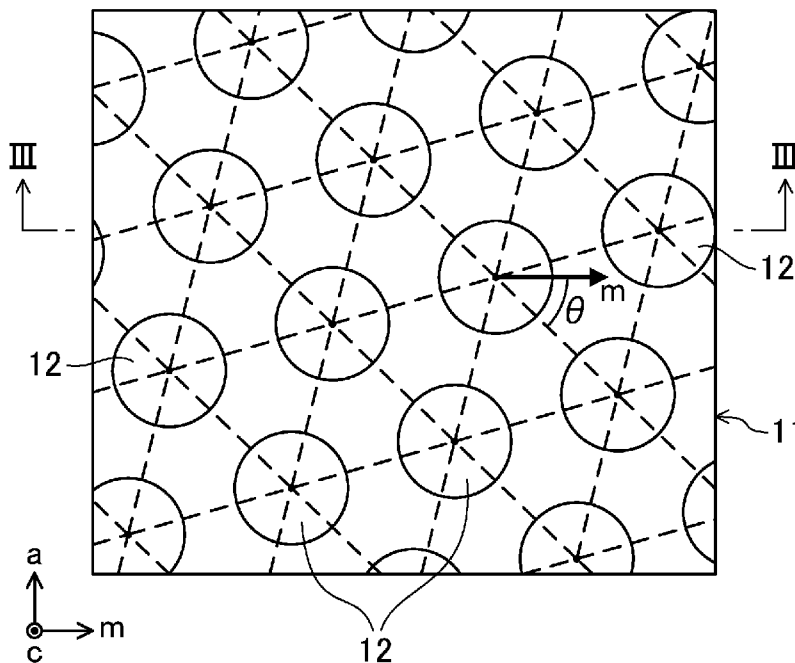
- (51) 国際特許分類:
H01L 21/205 (2006.01) H01L 21/3065 (2006.01)
C30B 25/18 (2006.01) H01L 33/22 (2010.01)
C30B 29/38 (2006.01) H01L 33/32 (2010.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2014/000897
- (22) 国際出願日: 2014年2月21日(21.02.2014)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2013-047176 2013年3月8日(08.03.2013) JP
- (71) 出願人: 国立大学法人山口大学(YAMAGUCHI UNIVERSITY) [JP/JP]; 〒7538511 山口県山口市吉田1677-1 Yamaguchi (JP).
- (72) 発明者: 岡田 成仁(OKADA, Narihito); 〒7558611 山口県宇部市常盤台2-16-1 国立大学法人山口大学工学部内 Yamaguchi (JP). 只友 一行 (TADATOMO, Kazuyuki); 〒7558611 山口県宇部市常盤台2-16-1 国立大学法人山口大学工学部内 Yamaguchi (JP).
- (74) 代理人: 特許業務法人前田特許事務所(MAEDA & PARTNERS); 〒5410053 大阪府大阪市中央区本町2丁目5番7号 大阪丸紅ビル5階 Osaka (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, LT, 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, 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))

(54) Title: PROCESSED SUBSTRATE AND SEMICONDUCTOR DEVICE USING SAME

(54) 発明の名称: 加工基板及びそれを用いた半導体装置



(57) Abstract: A processed substrate (11), wherein the principal surface thereof is a c-plane, and a plurality of protrusions (12) disposed so as to constitute a regular triangular grid in plan view are formed on the surface of the substrate. The plurality of protrusions (12) are disposed such that the smallest angle among angles which three sides of a regular triangle in the regular triangular grid constituted by the plurality of protrusions form counterclockwise with the a-axis of GaN when GaN the principal surface of which is a c-plane has been crystal grown on the substrate becomes 10-50°.

(57) 要約: 加工基板(11)は、主面がc面であり、基板表面に、平面視において正三角形格子を構成するように配設された複数の突起(12)が形成されている。複数の突起(12)は、それらによって構成される正三角形格子における正三角形の3本の辺が、基板上に主面がc面のGaNが結晶成長したときにおけるGaNのa軸に対して反時計回りになす角度のうち、最も小さい角度が10~50°となるよ

うに配設されている。

WO 2014/136393 A1

明 細 書

発明の名称：加工基板及びそれを用いた半導体装置

技術分野

[0001] 本発明は、加工基板及びそれを用いた半導体装置に関する。

背景技術

[0002] 基板表面に微細凹凸を形成した加工基板を用いることにより、基板上に非極性面の半導体層を結晶成長させることができること、また、基板上に結晶成長させる半導体層の転位を低減することができることが知られている。

[0003] 特許文献1には、サファイア基板の結晶成長面をエッチング等して不規則構造にした加工基板が開示されている。

[0004] 非特許文献1には、基板表面に、ランダムに配設された複数のコーン形状の突起が形成された加工基板が開示されている。

先行技術文献

特許文献

[0005] 特許文献1：特開2008-072126号公報

非特許文献

[0006] 非特許文献1：Jpn. J. Appl. Phys. 48(2009)122103” Growth of GaN Layer and Characterization of Light-Emitting Diode Using Random-Cone Patterned Sapphire Substrate”

発明の概要

[0007] 本発明は、基板表面に、平面視において正三角形格子を構成するように配設された複数の突起が形成され、基板上に主面がc面のGaNが結晶成長し得る加工基板であって、前記複数の突起は、前記複数の突起によって構成される正三角形格子における正三角形の3本の辺が、基板上に主面がc面のGaNが結晶成長したときにおけるGaNのa軸に対して反時計回りになす角度のうち、最も小さい角度が10～50°となるように配設されている。

[0008] 本発明は、基板表面に、平面視において正三角形格子を構成するように配

設された複数の突起が形成された加工基板と、前記加工基板上に主面がc面のGaNが結晶成長して形成されたGaN層とを備えた半導体装置であって、前記加工基板の前記複数の突起は、前記複数の突起によって構成される正三角形格子における正三角形の3本の辺が、前記GaN層を構成するGaNのa軸に対して反時計回りになす角度のうち、最も小さい角度が $10 \sim 50^\circ$ となるように配設されている。

図面の簡単な説明

- [0009] [図1]実施形態に係る半導体発光素子の縦断面図である。
- [図2]加工基板の一部分の平面図である。
- [図3]図2におけるIII-III断面図である。
- [図4] (a)はウエハ加工基板の作製方法を示す第1の縦断面図であり、(b)は図4(a)におけるIVB-IVB断面図である。
- [図5] (a)はウエハ加工基板の作製方法を示す第2の縦断面図であり、(b)は図5(a)におけるVB-VB断面図である。
- [図6] (a)～(d)は、実施形態に係る半導体発光素子の製造方法を示す説明図である。
- [図7]実施例で作製したサファイア加工基板の表面を鳥瞰した電子顕微鏡写真である。
- [図8]実施例で作製したサファイア加工基板の表面に形成した突起の側面視の電子顕微鏡写真である。
- [図9]実施例で作製したサファイア加工基板の表面に形成した突起の平面視の電子顕微鏡写真である。
- [図10]角度 θ とサファイア加工基板上に形成したGaN層の表面の暗点密度との関係を示すグラフである。

発明を実施するための形態

[0010] 以下、実施形態について、半導体装置である半導体発光素子10を事例として図面に基づいて詳細に説明する。

[0011] (半導体発光素子)

図1は、実施形態に係る半導体発光素子10を示す。

[0012] 実施形態に係る半導体発光素子10は、加工基板11の上に、u-GaN層13、n型GaN層14、多重量子井戸層15、及びp型GaN層16の各層が順に積層され、そして、エッチングされて露出したn型GaN層14上にn型電極17が、また、p型GaN層16上にp型電極18がそれぞれ設けられた構成を有し、例えば発光ダイオード等として使用されるものである。

[0013] 図2及び3は加工基板11を示す。なお、図2及び3では、主面がa面のサファイア加工基板を例とした結晶面方位を示す（以下の図4及び5でも同様）。

[0014] 加工基板11は、基板上に主面がc面のGaNが結晶成長し得る。加工基板11としては、例えば、サファイア加工基板（PSS: Patterned Sapphire Substrate）、Si加工基板、及びSiC加工基板が挙げられ、より具体的には、主面がc面のサファイア加工基板、主面がa面のサファイア加工基板、主面がn面のサファイア加工基板、主面が(111)面のSi加工基板、主面が(110)面のSi加工基板、3C-SiC加工基板、4C-SiC加工基板、6H-SiC加工基板、主面がc面のSiC加工基板等が挙げられる。これらのうち主面がc面のサファイア加工基板が好ましい。加工基板11は、例えば、半導体発光素子10の状態では矩形板状に形成され、その場合、縦及び横のそれぞれが200~1000 μ m、並びに厚さが50~300 μ mである。

[0015] 加工基板11の基板表面には複数の突起12が形成されている。

[0016] 突起12の形状としては、図2及び3に示す円錐の他、例えば、角錐、円錐台、角錐台、円柱、角柱、半球等が挙げられる。突起12の形状は、加工基板11の主面に対して傾斜した側面を有するものであることが好ましく、かかる観点から円錐、角錐、円錐台、角錐台、半球が好ましい。突起12の形状は、周方向に曲面に形成されて結晶面が連続して変化した側面を有するものであることが好ましく、かかる観点から円錐、円錐台、半球が好ましい

。これらのことから、突起12の形状は、円錐、円錐台、半球が好ましく、円錐が特に好ましい。ここで、本出願における「円錐」及び「円錐台」には、側面視における側面の外郭が外方に膨出した曲線であるものも含まれる。なお、複数の突起12の形状は同一であることが好ましいが、形状の異なるものが混在していてもよい。

[0017] 突起12の最大外径（円錐形状の突起12の場合は底面の直径）は、好ましくは $1\ \mu\text{m}$ 以上、より好ましくは $2\ \mu\text{m}$ 以上である。突起12の高さは、好ましくは $0.5\ \mu\text{m}$ 以上、より好ましくは $1.5\ \mu\text{m}$ 以上である。突起12の最大外径は突起12の高さよりも大きいことが好ましい。なお、複数の突起12の寸法構成は同一であることが好ましいが、寸法構成の異なるものが混在していてもよい。

[0018] 複数の突起12は、図2に示すように、平面視において正三角形格子を構成するように配設されている。つまり、各突起12の平面視形状における重心位置を結合すると正三角形格子が形成される。

[0019] この正三角形格子における正三角形の一辺の長さは、好ましくは $2\ \mu\text{m}$ 以上、より好ましくは $3\ \mu\text{m}$ 以上である。この正三角形の一辺の長さは突起12の最大外径よりも大きく、従って、同じ正三角形に含まれる2個の頂点の一对の突起12は、相互に間隔を有して配設されている。その間隔は例えば $0.1\sim 2.0\ \mu\text{m}$ である。

[0020] 複数の突起12は、図2に示すように、複数の突起12によって構成される正三角形格子における正三角形の3本の辺が、加工基板10上に主面がc面のGaNが結晶成長したときにおけるGaNのa軸、つまり、a面の法線軸（主面がc面のサファイア加工基板11の場合には、サファイア加工基板の主面上のm軸、つまり、m面の法線軸）に対して反時計回りになす角度 θ のうち最も小さい角度 θ が $10\sim 50^\circ$ となるように配設されている。この最も小さい角度 θ は、後述の加工基板11上に形成する半導体層13の転位密度の低減効果の観点から、好ましくは 20° 以上であり、また、好ましくは 40° 以下である。最も好ましいのは、この最も小さい角度 θ が 30° で

ある。なお、正三角形の三辺は、GaNのa軸に対して反時計回りになす角度 θ が最も小さくなる辺が 60° 回転毎に変化する。加工基板11における上記条件は $10^\circ \leq \theta \leq 50^\circ$ である。

[0021] 複数の突起12の配設密度は、好ましくは 1×10^6 個/ cm^2 以上、より好ましくは 1×10^7 個/ cm^2 以上である。

[0022] 加工基板11の基板表面の平面視における突起12を排除した主面部分の専有面積率は、好ましくは70%以下、より好ましくは55%以下である。

[0023] u-GaN層13の構成材料は、ドーパントがドーピングされていないアンドープのGaNである。u-GaN層13は、加工基板11上の基板表面に含まれる結晶面を起点としてGaNが結晶成長して形成されており、主面がc面である。u-GaN層13の厚さは例えば2~20 μm である。

[0024] ここで、上記の通り、加工基板11が、基板上に主面がc面のGaNが結晶成長し得るものであり、また、その基板表面に平面視において正三角形格子を構成するように配設された複数の突起12が形成され、さらに、それらの複数の突起12が、それらによって構成される正三角形格子における正三角形の3本の辺が、加工基板10上に主面がc面のGaNが結晶成長したときにおけるGaNのa軸に対して反時計回りになす角度のうち、最も小さい角度が $10 \sim 50^\circ$ となるように配設されていることにより、加工基板11上に形成されたu-GaN層13の転位密度は低減されることとなる。具体的には、カソードルミネッセンス(CL)法によって測定されるu-GaN層13の表面の暗点密度、つまり、貫通転位の密度は、 1.15×10^8 個/ cm^2 以下であることが好ましく、 1.00×10^8 個/ cm^2 以下であることがより好ましく、 9.90×10^7 個/ cm^2 以下であることがさらに好ましい。

[0025] なお、加工基板11とu-GaN層13との間には厚さ20~30nm程度の低温バッファ層が設けられていてもよい。

[0026] n型GaN層14の構成材料は、n型ドーパントがドーピングされたGaNである。n型ドーパントとしては、例えば、Si、Ge等が挙げられる。n型ドーパントの濃度は例えば $1.0 \times 10^{17} \sim 2.0 \times 10^{17}$ 個/ cm^3 である。n

型GaN層14は、単一層で構成されていてもよく、また、n型ドーパントの種類や濃度の異なる複数の層で構成されていてもよい。n型GaN層14の厚さは例えば2~10 μ mである。

[0027] 多重量子井戸層15は、井戸層15aと障壁層15bとの交互積層構造を有する。井戸層15a及び障壁層15bの層数は例えば5~15層である。

[0028] 井戸層15aの構成材料としては、例えば、InGaN、InGaAlN等が挙げられる。井戸層15aの厚さは例えば1~20nmである。

[0029] 障壁層15bの構成材料としては、例えば、GaN、InGaN(ただし、井戸層15aのバンドギャップより大きい)等が挙げられる。障壁層15bの厚さは例えば5~20nmである。

[0030] p型GaN層16の構成材料は、p型ドーパントがドーパされたGaNである。p型ドーパントとしては、例えば、Mg、Cd等が挙げられる。ホール効果測定で測定される自由正孔濃度は、例えば $2.0 \times 10^{17} \sim 10 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ である。p型GaN層16は、単一層で構成されていてもよく、また、p型ドーパントの種類や濃度の異なる複数の層で構成されていてもよい。p型GaN層16の厚さは例えば50~200nmである。

[0031] n型電極17としては、例えば、Ti/Al、Ti/Al/Mo/Au、Hf/Au等の積層構造、或いは合金等が挙げられる。n型電極17の厚さは、例えばTi/Alの積層構造では10nm/500nmである。

[0032] p型電極18としては、例えば、Pd/Pt/Au、Ni/Au、Pd/Mo/Au等の積層構造、或いは合金等、又はITO(酸化インジウム錫)等の酸化物系透明導電材料が挙げられる。p型電極18の厚さは、例えばITOでは10~200nmである。

[0033] 以上の構成の実施形態に係る半導体発光素子10によれば、加工基板11が、基板上に主面がc面のGaNが結晶成長し得るものであり、また、その基板表面に平面視において正三角形格子を構成するように配設された複数の突起12が形成され、さらに、それらの複数の突起12が、それらによって構成される正三角形格子における正三角形の3本の辺が、加工基板10上に

主面がc面のGa₂N₃が結晶成長したときにおけるGa₂N₃のa軸に対して反時計回りになす角度のうち、最も小さい角度が10°～50°となるように配設されていることにより、加工基板11上に形成される半導体層であるu-GaN層13の転位密度が低減され、従って、その上に形成されるn型Ga₂N₃層14、多重量子井戸層15、及びp型Ga₂N₃層16の各半導体層の結晶性が優れることとなり、その結果、発光効率の向上を図ることができる。

[0034] (半導体発光素子の製造方法)

次に、実施形態に係る半導体発光素子10の製造方法について説明する。

[0035] 実施形態に係る半導体発光素子10の製造方法では、ウエハ加工基板11' (加工基板11) を作製し、その上にu-GaN層13、n型Ga₂N₃層14 (Siドープ)、発光層である多重量子井戸層15 (井戸層15a: InGa₂N₃、障壁層15b: Ga₂N₃)、及びp型Ga₂N₃層16 (Mgドープ) の各層を順に形成した後、n型Ga₂N₃層14及びp型Ga₂N₃層16の上にそれぞれn型電極17及びp型電極18を形成する。

[0036] <ウエハ加工基板の作製>

主面がc面のウエハWを準備する。ウエハWは、その直径によっても変わるが厚さが0.3～3.0mm、及び直径が50～300mmである。なお、直径50mmのウエハWの場合では、1枚のウエハW上に5000～12000個の半導体発光素子10を作り込むことができる。

[0037] このウエハWの表面に突起12を形成してウエハ加工基板11' を作製する。

[0038] まず、露光装置を用い、図4(a)及び(b)に示すように、ウエハWの表面に、フォトリソグラフィプロセスにより、フォトレジストRで、正三角形格子を構成すると共に、その正三角形格子における正三角形の3本の辺がウエハWの表面に、その上に主面がc面のGa₂N₃が結晶成長したときにおけるGa₂N₃のa軸 (主面がc面のサファイア加工基板11の場合には、サファイア加工基板の主面上のm軸) に対して反時計回りになす角度のうち、最も小さい角度が10°～50°となるように配設された複数のドットをパターンニ

ングする。なお、この角度は、固定されたフォトマスクに対してウエハWを面内回転させることにより任意に設定することができる。

[0039] ここで、フォトレジストRには、ポジ型のものを好適に用いることができる。フォトレジストRのドットの直径は、形成する突起12の大きさにもよるが、例えば0.5～4 μmであり、厚さは例えば0.5～4 μmである。フォトレジストRのドット間距離も、形成する突起12の大きさにもよるが、例えば0.5～4 μmである。フォトレジストRには、露光・現像前のプレベークング及び露光・現像後のポストベークングを施す。プレベークング及びポストベークングの温度は例えば80～130℃である。ポストベークングでは、温度を高め設定してフォトレジストRのドットをドーム型に熱変形させてもよい。

[0040] そして、誘導結合型プラズマ反応性イオンエッチング装置を用い、図5(a)及び(b)に示すように、ウエハWの表面を、誘導結合プラズマによる反応性イオンエッチング(Inductive Coupled Plasma Reactive Ion Etching)によってエッチングすることにより突起12を形成する。このとき、ウエハWの表面におけるフォトレジストRが設けられていない部分がエッチングされる一方、フォトレジストRが設けられた部分が残って突起12に形成されるが、エッチング条件を調節すれば、フォトレジストRが頂面に残存した円錐台形状の突起12を形成することも、また、フォトレジストRが除去される程度に十分にエッチングして円錐形状の突起12を形成することもできる。

[0041] ここで、エッチング時間は例えば1～30分である。アンテナパワーは例えば100～1000Wであり、バイアスパワーは例えば50～500Wである。圧力は例えば0.05～0.8 Paである。エッチングガスには、Cl₂やBCl₃等の各種ハロゲン系ガスやArガスを用いることができる。

[0042] <u-GaN層等の形成>

u-GaN層13等の形成方法としては、有機金属気相成長法(Metal Organic Vapor Phase Epitaxy: MOVPE)、分子線エピタキシ法(Molecular

Beam Epitaxy : MBE)、ハイドライド気相成長法 (Hydride Vapor Phase Epitaxy : HVPE) 等が挙げられ、これらのうち有機金属気相成長法が最も一般的である。以下では、有機金属気相成長法を利用した方法について説明する。

[0043] u-GaN層13等の形成に用いるMOVPE装置は、各々、電子制御されるウエハ搬送系、ウエハ加熱系、ガス供給系、及びガス排気系で構成されている。ウエハ加熱系は、熱電対及び抵抗加熱ヒータ、その上に設けられた炭素製或いはSiC製のサセプタで構成されている。そして、MOVPE装置は、ウエハ加熱系において、搬送される石英トレイのサセプタの上にセットされたウエハ加工基板11'上に反応ガスにより半導体を結晶成長させるように構成されている。

[0044] - u-GaN層の形成 -

上記MOVPE装置を用い、突起12を形成したウエハ加工基板11'を、突起12を形成した側の表面が上向きになるように石英トレイ上にセットした後、ウエハ加工基板11'を1050~1150℃に加熱すると共に反応容器内の圧力を10~100kPaとし、また、反応容器内に設置したフローチャンネル内にキャリアガスとしてH₂を流通させ、その状態を数分間保持することによりウエハ加工基板11'をサーマルクリーニングする。

[0045] 次いで、ウエハ加工基板11'の温度を1050~1150℃とすると共に反応容器内の圧力を10~100kPaとし、また、反応容器内にキャリアガスH₂を10slm (slmは25℃及び1気圧での1分間当たりのリットル数)程度の流量で流通させながら、そこに反応ガスとして、V族元素供給源(NH₃)及びIII族元素供給源(TMGe)を、それぞれの供給流量が0.1~5slm及び50~150μmol/minとなるように流す。このとき、ウエハ加工基板11'の基板表面上にアンドープのGaNが結晶成長し、図6(a)に示すように、ウエハ加工基板11'上に主面がc面のu-GaN層13が形成される。

[0046] なお、u-GaN層13を形成する前にウエハ加工基板11'上に低温バッ

ファ層を形成してもよく、その場合、ウエハ加工基板11'の温度を400～500℃としてGa₂Nを結晶成長させればよい。

[0047] - n型Ga₂N層の形成 -

反応容器内の圧力を10～100kPaとし、また、反応容器内にキャリアガスH₂を5～15slmの流量で流通させながら、そこに反応ガスとして、V族元素供給源(NH₃)、III族元素供給源1(TM₂G)、及びn型ドーピング元素供給源(SiH₄)を、それぞれの供給流量が0.1～5slm、50～150μmol/min、及び1～5×10⁻³μmol/minとなるように流す。

[0048] このとき、図6(b)に示すように、u-GaN層13に連続してn型Ga₂Nが結晶成長してn型Ga₂N層14が形成される。

[0049] - 多重量子井戸層の形成 -

ウエハ加工基板11'の温度を800℃程度とすると共に反応容器内の圧力を10～100kPaとし、また、反応容器内にキャリアガスN₂を5～15slmの流量で流しながら、そこに反応ガスとして、V族元素供給源(NH₃)、III族元素供給源1(TM₂G)、及びIII族元素供給源2(TM₂I)を、それぞれの供給流量が0.1～5slm、5～15μmol/min、及び2～30μmol/minとなるように流す。このとき、n型Ga₂N層14に連続してInGa₂Nが結晶成長して井戸層15aが形成される。

[0050] 次に、V族元素供給源(NH₃)及びIII族元素供給源(TM₂G)を、それぞれの供給流量が0.1～5slm及び5～15μmol/minとなるように流す。このとき、InGa₂Nの井戸層15aに連続してGa₂Nが結晶成長して障壁層15bが形成される。

[0051] そして、上記と同様の操作を交互に繰り返し、図6(c)に示すように、井戸層15aと障壁層15bとを交互に形成することにより多重量子井戸層15を構成する。なお、多重量子井戸層15の発光波長は井戸層15aの井戸幅(井戸層15aの厚み)とInN混晶比に依存し、InN混晶比が高いほど発光波長は長波長となる。InN混晶比はTM₂Iのモル流量/(TM₂G

のモル流量+TMlのモル流量)と成長温度によって決定される。

[0052] - p型GaN層の形成 -

ウエハ加工基板11'の温度を1000~1100℃とすると共に反応容器内の圧力を10~100kPaとし、また、反応容器内にキャリアガスのH₂を5~15slmの流量で流通させながら、そこに反応ガスとして、V族元素供給源(NH₃)、III族元素供給源1(TMg)、及びp型ドーピング元素供給源(Cp₂Mg)を、それぞれの供給流量が0.1~5slm、50~150μmol/min、及び0.03~30μmol/minとなるように流す。このとき、図6(d)に示すように、多重量子井戸層15に連続してp型GaNが結晶成長してp型GaN層16が形成される。

[0053] <電極の形成及び分断>

u-GaN層13等を積層形成したウエハ加工基板11'を部分的に反応性イオンエッチングすることによりn型GaN層14を露出させた後、真空蒸着、スパッタリング、CVD(Chemical Vapor Deposition)等の方法によりn型GaN層14上にn型電極17及びp型GaN層16上にp型電極18をそれぞれ形成する。

[0054] そして、ウエハ加工基板11'を劈開することにより個々の半導体発光素子10に分断する。

[0055] (その他の実施形態)

上記実施形態では、半導体発光素子10を事例としたが、特にこれに限定されるものではなく、電子デバイス等のその他の半導体装置であってもよい。

[0056] 上記実施形態では、加工基板11上に半導体層としてu-GaN層13が形成された構成としたが、特にこれに限定されるものではなく、半導体層としてAlGaN層やInGaN層等が形成された構成であってもよい。

実施例

[0057] (サファイア加工基板)

上記実施形態と同様の方法により、基板表面に、複数の円錐形状の突起を

、正三角形格子を構成し且つその正三角形格子における正三角形の3本の辺がm軸に対して反時計回りになす角度のうち、最も小さい角度 θ （以下「角度 θ 」と略す。）が 15° となるように配設したサファイア加工基板を作製した。

[0058] フォトレジストにはポジ型のものを用いた。フォトレジストのドットの直径は $2\mu\text{m}$ とし、厚さは $2\mu\text{m}$ とした。フォトレジストのドット間距離は $3\mu\text{m}$ とした。プレベーキング及びポストベーキングの温度は 130°C とした。露光量は例えば $90\text{mJ}/\text{cm}^2$ とした。

[0059] エッチング時間は20分とした。アンテナパワーは 500W とし、バイアスパワーは 350W とした。圧力は 0.6Pa とした。エッチングガスには、 Ar 、 Cl_2 、及び BCl_3 を用い、それぞれ流量を、 20sccm 、 30sccm 、及び 5sccm とした。

[0060] 図7～9は、サファイア加工基板上に形成した突起を示す。

[0061] 突起の最大外径は $2.1\mu\text{m}$ 、高さは $1.1\mu\text{m}$ 、及び側面のサファイア基板の主面に対する傾斜角度は 59° であった。正三角形格子における正三角形の一辺の長さは $3.0\mu\text{m}$ であった。従って、相互に隣接する一对の突起間の間隔は $0.9\mu\text{m}$ であった。加工基板の基板表面の平面視における突起を排除した主面部分の専有面積率は 54.7% であった。

[0062] また、角度 θ が 30° 及び 45° のサファイア加工基板を作製した。さらに、参考として、角度 θ が 0° （ 60° ）のサファイア加工基板も作製した。

[0063] （試験評価方法）

角度 θ が 0° 、 15° 、 30° 及び 45° のそれぞれのサファイア加工基板について、基板上に GaN を結晶成長させ、その表面における暗点密度を、カソードルミネッセンス（CL）法によって測定した。

[0064] （試験評価結果）

図10は、角度 θ とサファイア加工基板上に形成した GaN 層の表面の暗点密度との関係を示す。

[0065] 角度 θ が 0° (60°) のサファイア加工基板では、暗点密度が 1.19×10^8 個/cm²であった。角度 θ が 15° のサファイア加工基板では、暗点密度が 9.90×10^7 個/cm²であった。角度 θ が 30° のサファイア加工基板では、暗点密度が 9.69×10^7 個/cm²であった。角度 θ が 45° のサファイア加工基板では、暗点密度が 1.10×10^8 個/cm²であった。

[0066] 図10によれば、角度 θ が 0° よりも大きく且つ 60° よりも小さいと、Ga₂N層の表面の暗点密度が小さくなることが分かる。暗点密度を低減する観点からは、角度 θ が $10 \sim 40^\circ$ であることが好ましく、 $15 \sim 35^\circ$ であることがより好ましく、 $25 \sim 35^\circ$ がさらに好ましく、 30° であることが最も好ましい。

産業上の利用可能性

[0067] 本発明は、加工基板及びそれを用いた半導体装置について有用である。

符号の説明

- [0068] W ウエハ
R フォトレジスト
10 半導体発光素子
11 加工基板
11' ウエハ加工基板
12 突起
13 u-GaN層
14 n型GaN層
15 多重量子井戸層
15a 井戸層
15b 障壁層
16 p型GaN層
17 n型電極
18 p型電極

請求の範囲

- [請求項1] 基板表面に、平面視において正三角形格子を構成するように配設された複数の突起が形成され、基板上に主面がc面のGaNが結晶成長し得る加工基板であって、
- 前記複数の突起は、前記複数の突起によって構成される正三角形格子における正三角形の3本の辺が、基板上に主面がc面のGaNが結晶成長したときにおけるGaNのa軸に対して反時計回りになす角度のうち、最も小さい角度が $10 \sim 50^\circ$ となるように配設されている加工基板。
- [請求項2] 請求項1に記載された加工基板において、
- 前記複数の突起によって構成される正三角形格子における正三角形の3本の辺が、基板上に主面がc面のGaNが結晶成長したときにおけるGaNのa軸に対して反時計回りになす角度のうち、最も小さい角度が $10 \sim 40^\circ$ である加工基板。
- [請求項3] 請求項2に記載された加工基板において、
- 前記複数の突起によって構成される正三角形格子における正三角形の3本の辺が、基板上に主面がc面のGaNが結晶成長したときにおけるGaNのa軸に対して反時計回りになす角度のうち、最も小さい角度が $25 \sim 35^\circ$ である加工基板。
- [請求項4] 請求項1乃至3のいずれかに記載された加工基板において、
- 前記突起の形状が円錐又は円錐台である加工基板。
- [請求項5] 請求項1乃至4のいずれかに記載された加工基板において、
- 前記突起の最大外径が $1 \mu\text{m}$ 以上である加工基板。
- [請求項6] 請求項1乃至5のいずれかに記載された加工基板において、
- 前記突起の高さが $0.5 \mu\text{m}$ 以上である加工基板。
- [請求項7] 請求項1乃至6のいずれかに記載された加工基板において、
- 前記突起は、その最大外径が高さよりも大きい加工基板。
- [請求項8] 請求項1乃至7のいずれかに記載された加工基板において、

前記正三角形格子における正三角形の一辺の長さが $2\ \mu\text{m}$ 以上である加工基板。

[請求項9] 請求項1乃至8のいずれかに記載された加工基板において、
前記正三角形格子における正三角形の一辺の長さが前記突起の最大外径よりも大きい加工基板。

[請求項10] 請求項1乃至9のいずれかに記載された加工基板において、
前記正三角形格子における同じ正三角形に含まれる2個の頂点の一对の突起が相互に間隔を有して配設されている加工基板。

[請求項11] 請求項10に記載された加工基板において、
前記正三角形格子における同じ正三角形に含まれる2個の頂点の一对の突起の間隔が $0.1\sim 2.0\ \mu\text{m}$ である加工基板。

[請求項12] 請求項1乃至11のいずれかに記載された加工基板において、
前記加工基板が、サファイア加工基板、Si加工基板、又はSiC加工基板である加工基板。

[請求項13] 請求項12に記載された加工基板において、
前記加工基板が、主面がc面のサファイア加工基板であり、
前記複数の突起は、前記複数の突起によって構成される正三角形格子における正三角形の3本の辺がサファイアのm軸に対して反時計回りになす角度のうち、最も小さい角度が $10\sim 50^\circ$ となるように配設されている加工基板。

[請求項14] 基板表面に、平面視において正三角形格子を構成するように配設された複数の突起が形成された加工基板と、
前記加工基板上に主面がc面のGaNが結晶成長して形成されたGaN層と、
を備えた半導体装置であって、

前記加工基板の前記複数の突起は、前記複数の突起によって構成される正三角形格子における正三角形の3本の辺が、前記GaN層を構成するGaNのa軸に対して反時計回りになす角度のうち、最も小さ

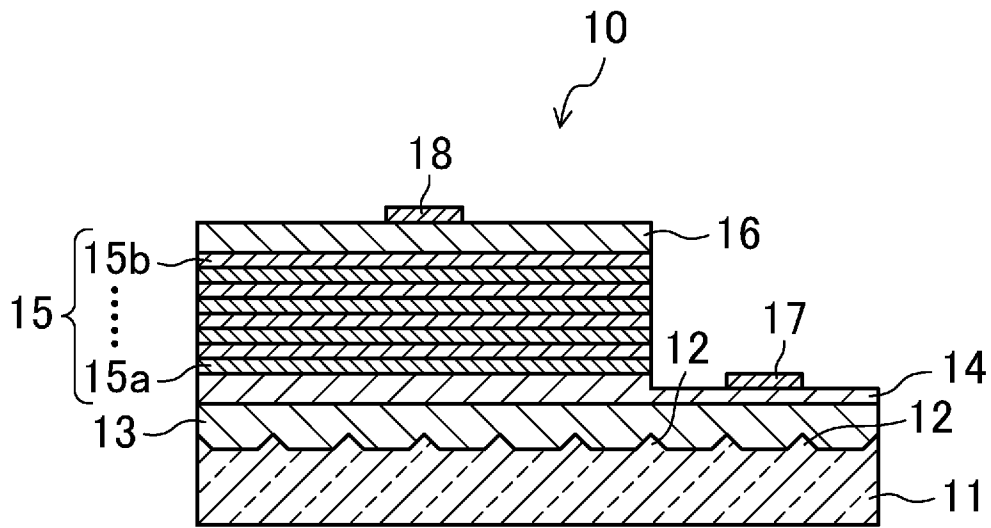
い角度が $10 \sim 50^\circ$ となるように配設されている半導体装置。

[請求項15]

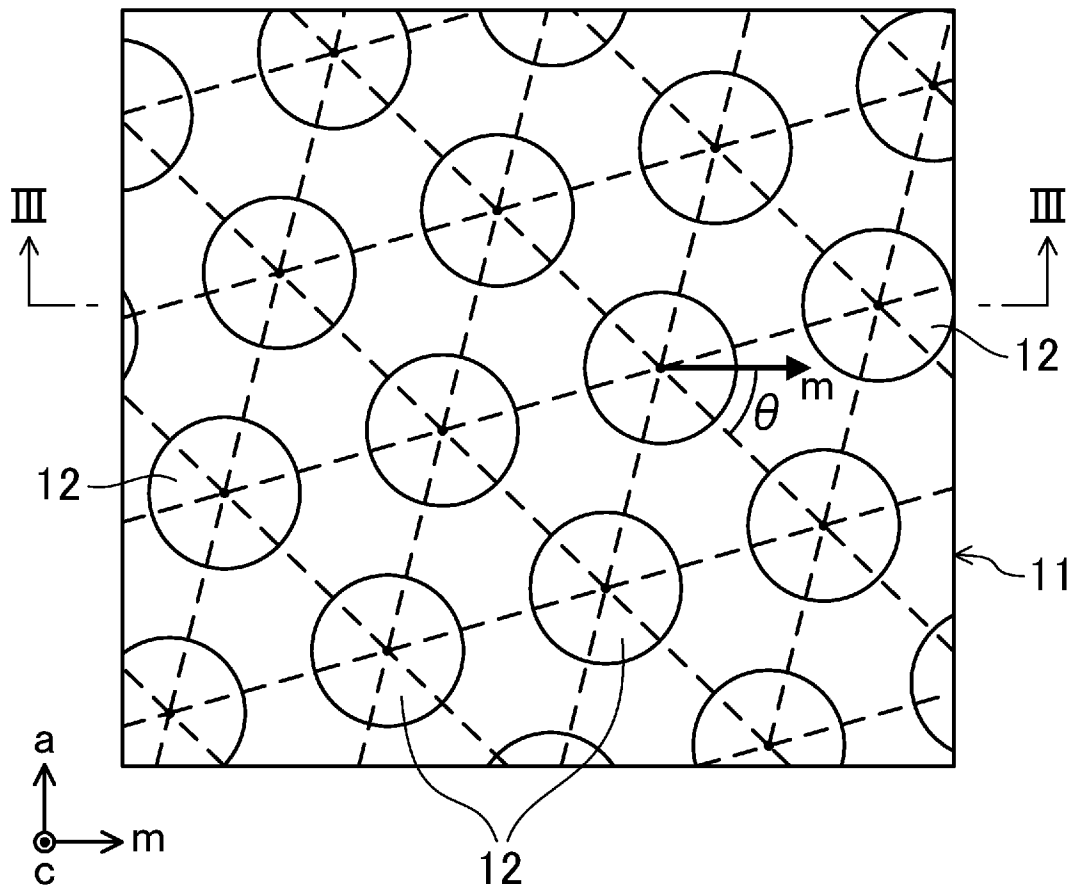
請求項14に記載された半導体装置において、

前記GaN層の表面におけるカソードルミネッセンス法によって測定される暗点密度が 1.15×10^8 個/cm²以下である半導体装置。

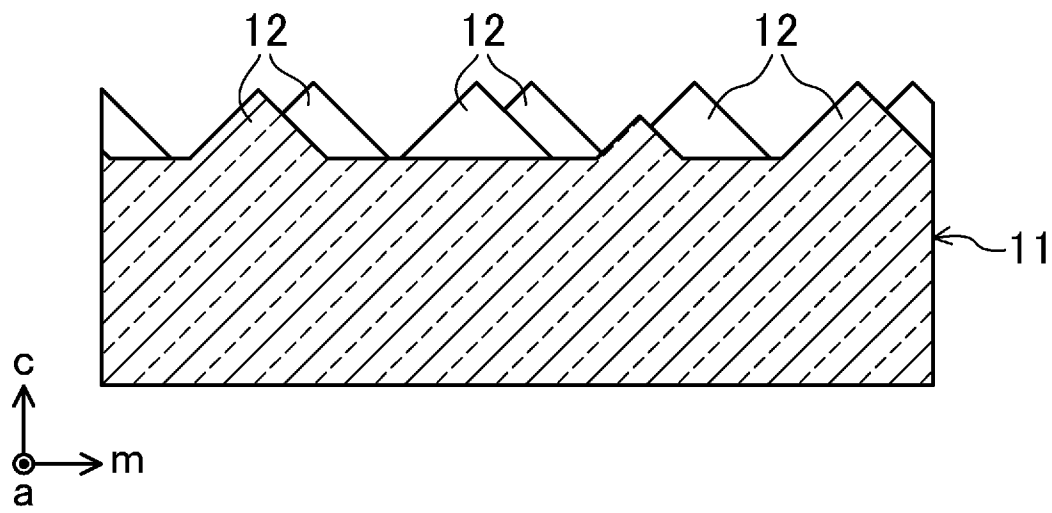
[図1]



[図2]

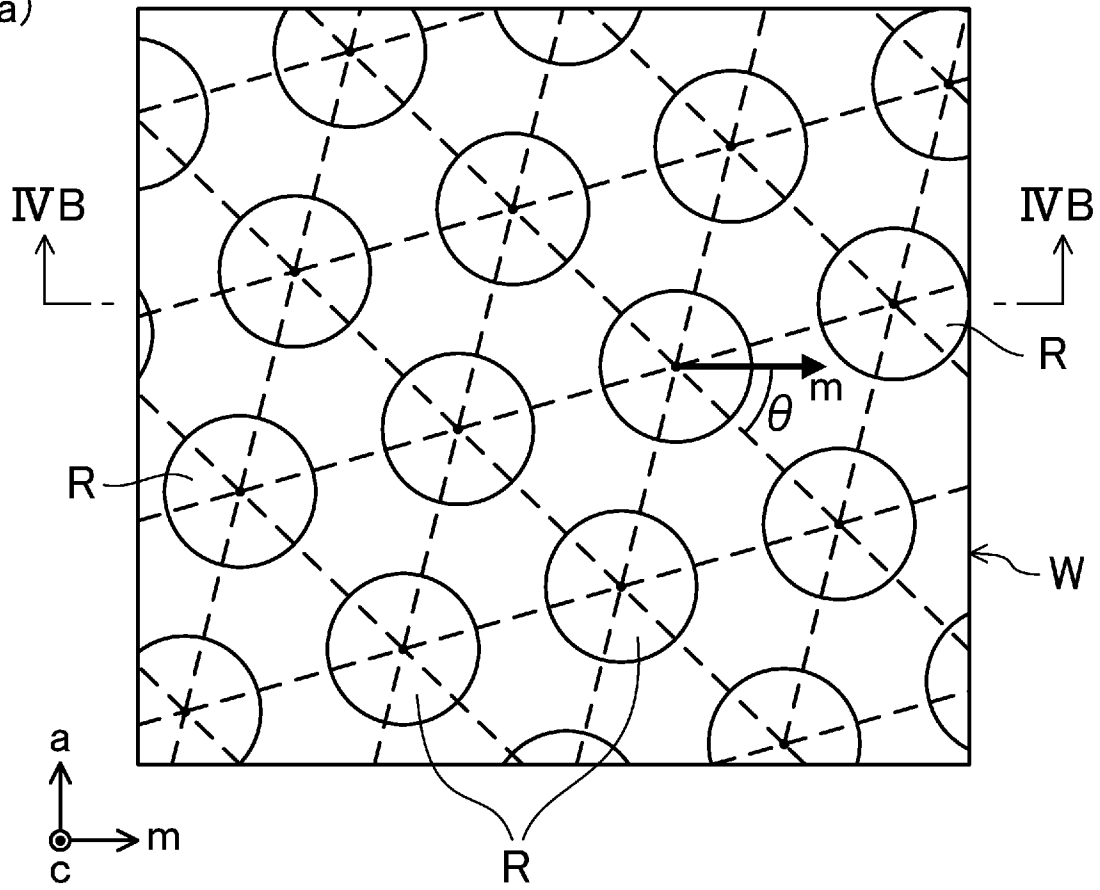


[図3]

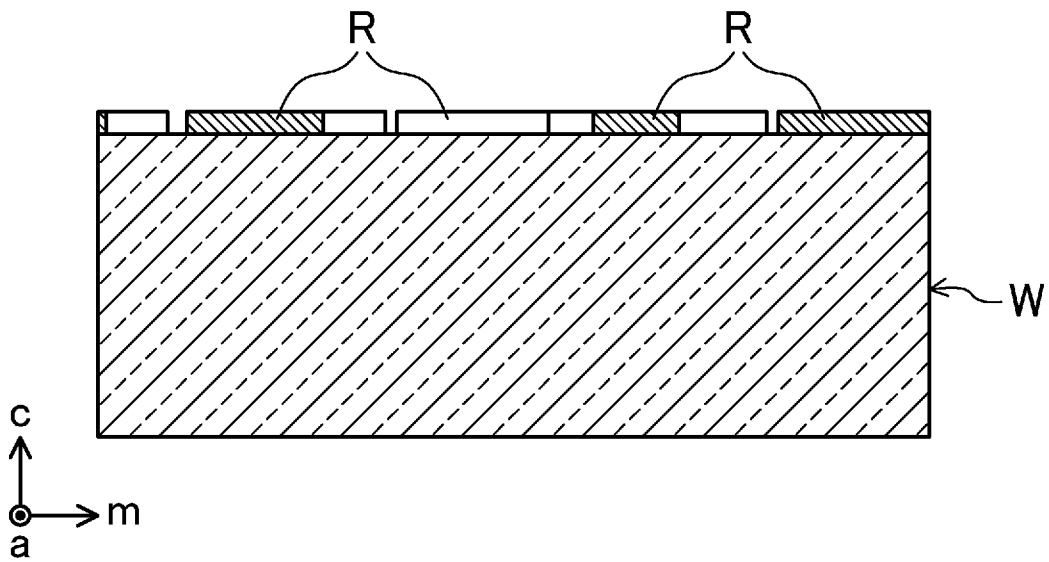


[図4]

(a)

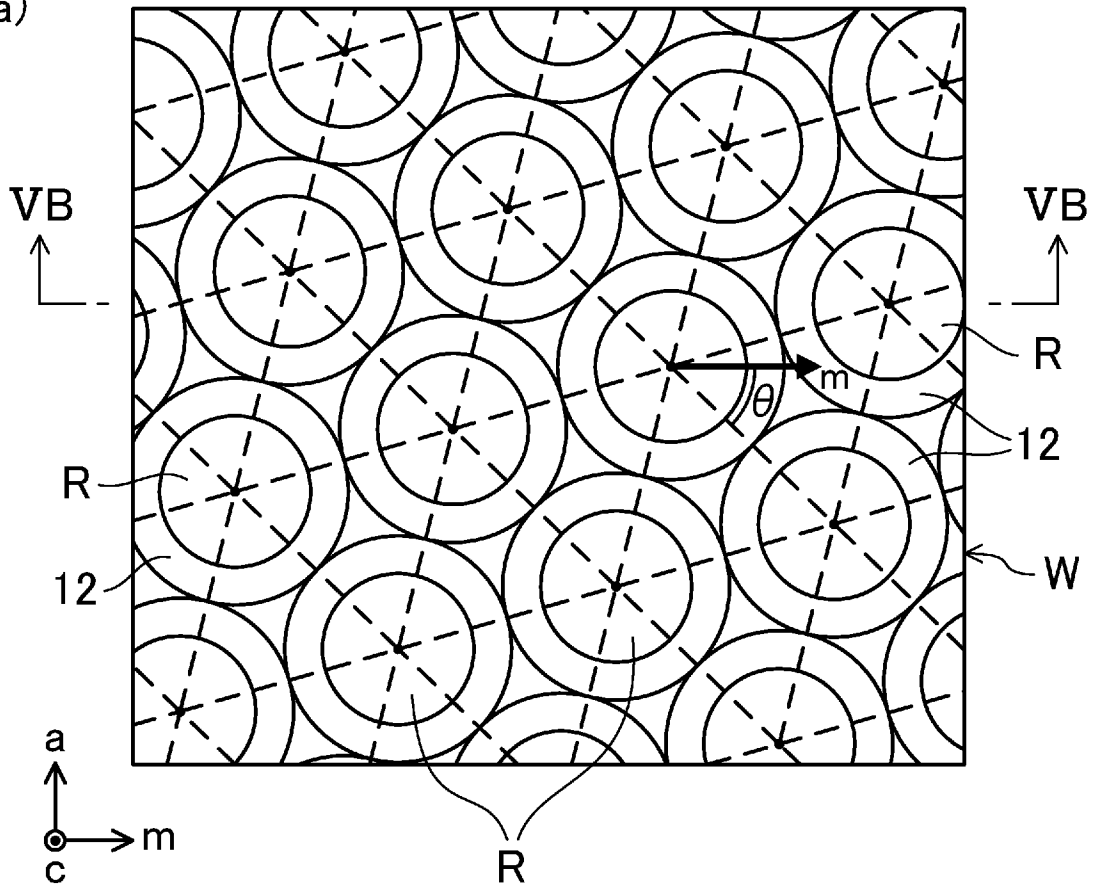


(b)

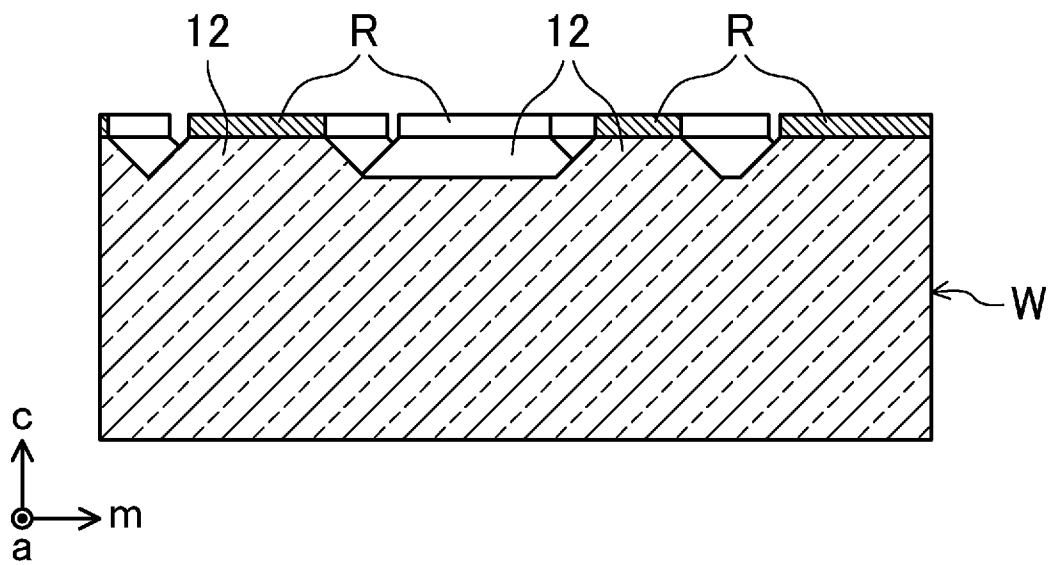


[図5]

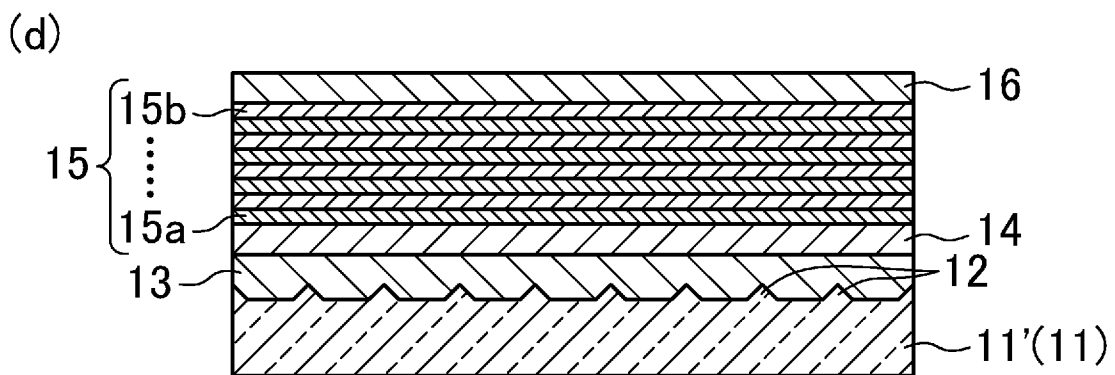
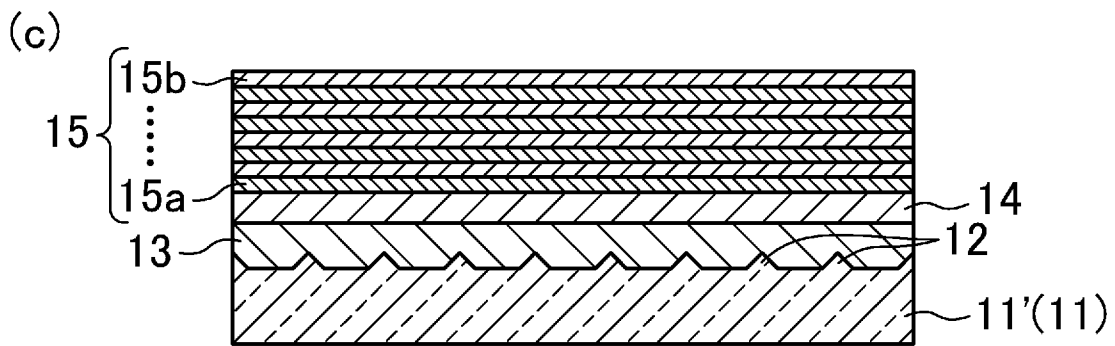
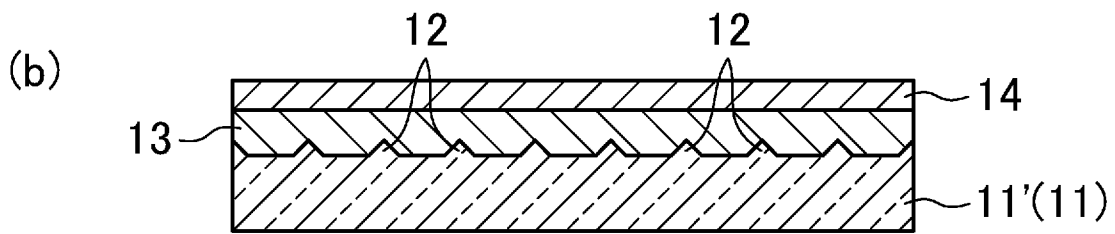
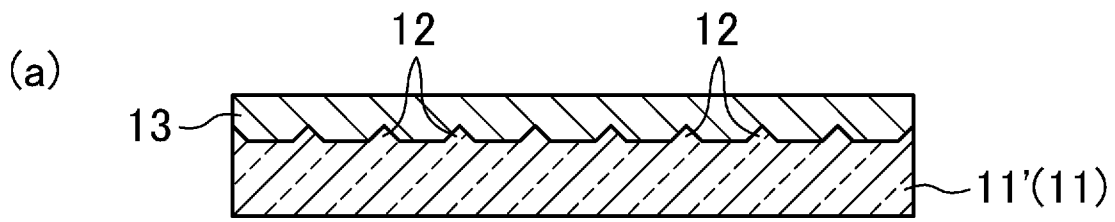
(a)



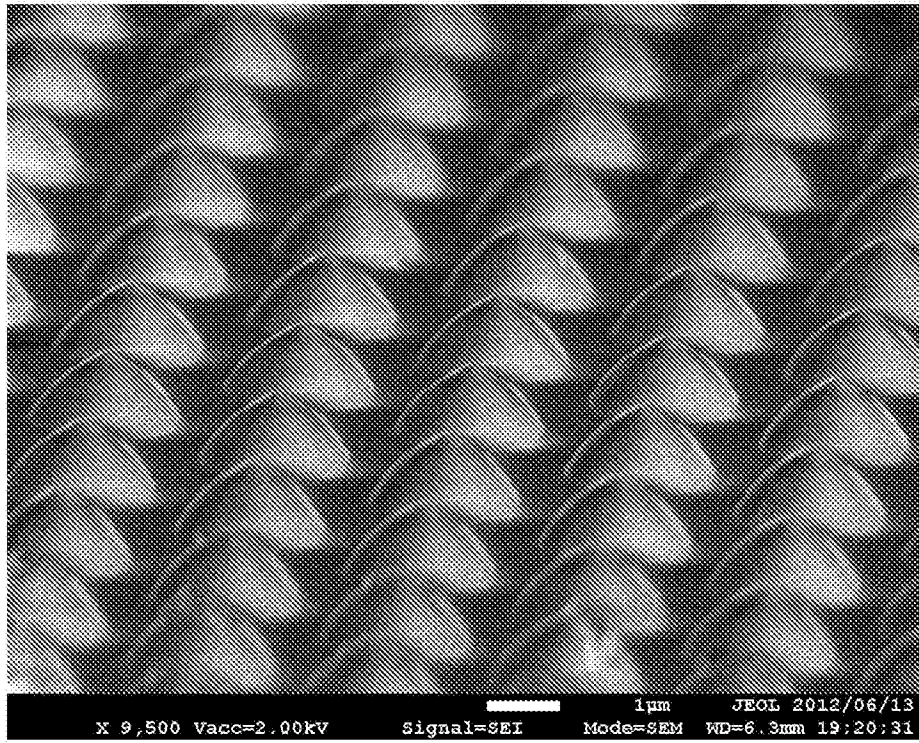
(b)



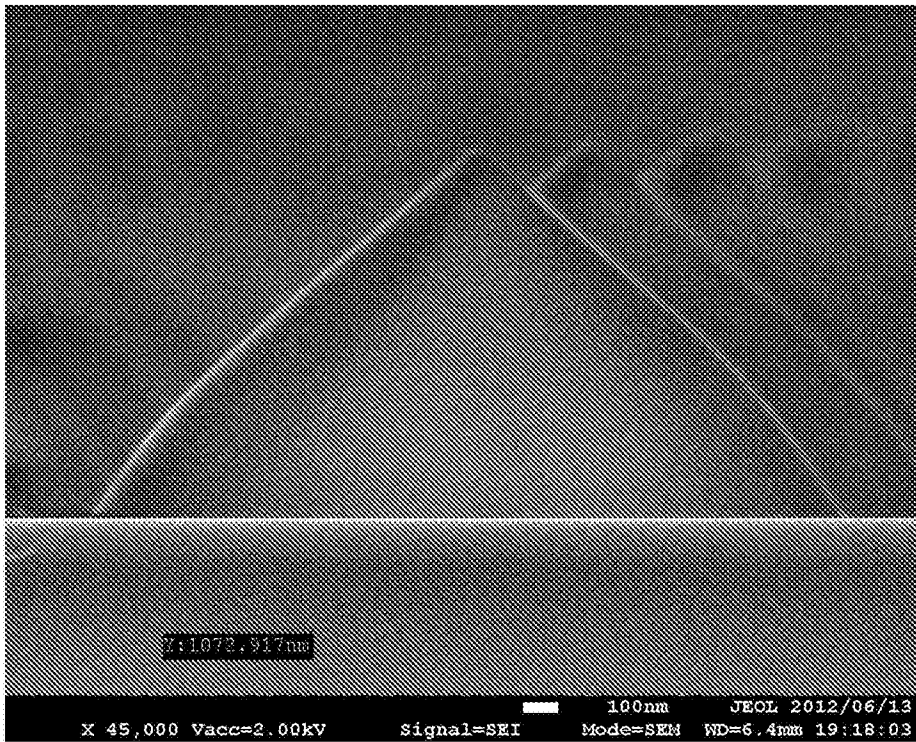
[図6]



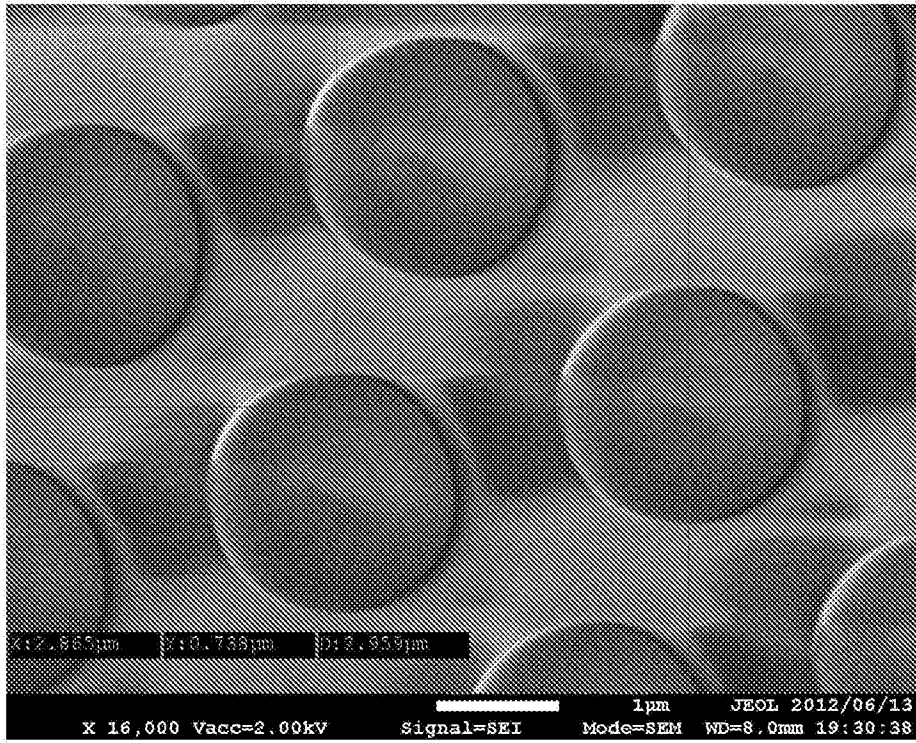
[圖7]



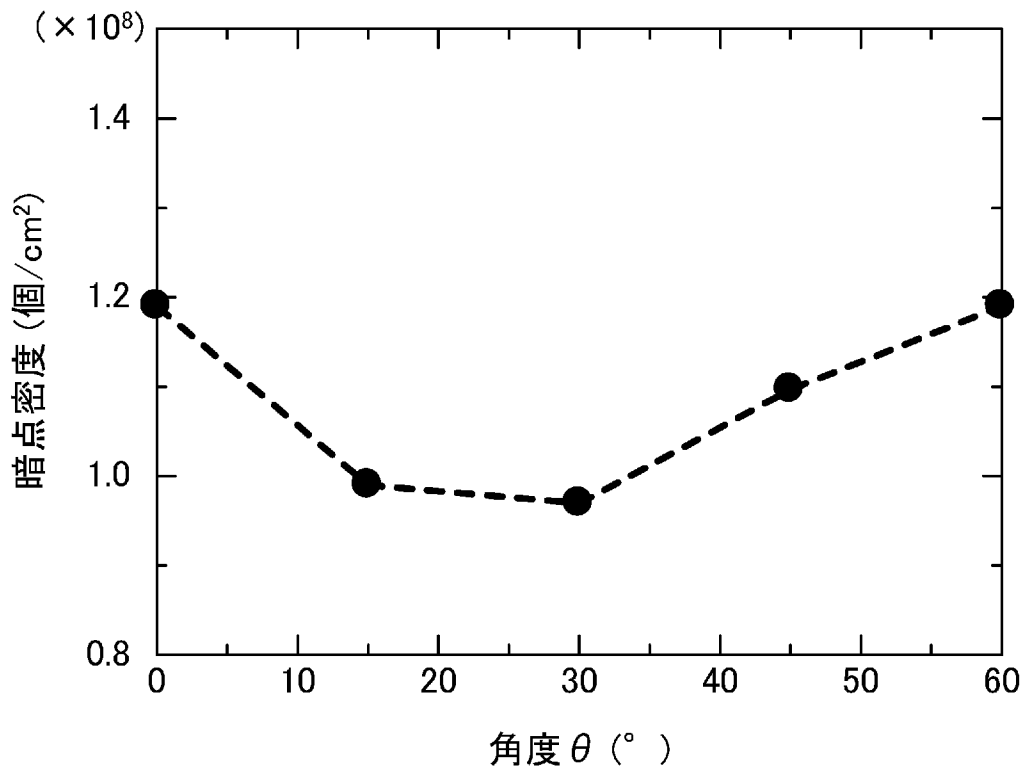
[圖8]



[図9]



[図10]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2014/000897

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H01L21/205(2006.01)i, C30B25/18(2006.01)i, C30B29/38(2006.01)i,
H01L21/3065(2006.01)i, H01L33/22(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)

H01L21/205, C30B25/18, C30B29/38, H01L21/3065, H01L33/22, H01L33/32

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 A	JP 2012-197194 A (Ricoh Co., Ltd.), 18 October 2012 (18.10.2012), claims 1 to 16; Mode for carrying out the Invention; drawings (particularly, mainly on fig. 3-1 to 3-4) (Family: none)	1-10, 12-15 11
A	JP 2012-160502 A (Nichia Chemical Industries, Ltd.), 23 August 2012 (23.08.2012), claims 1 to 10; Mode for carrying out the Invention; drawings (Family: none)	1-15

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
15 May, 2014 (15.05.14)

Date of mailing of the international search report
27 May, 2014 (27.05.14)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2014/000897

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	WO 2012/093601 A1 (Mitsubishi Chemical Corp.), 12 July 2012 (12.07.2012), claims 1 to 32; Mode for carrying out the Invention; drawings (Family: none)	1-15
A	JP 2012-184144 A (Tokuyama Corp.), 27 September 2012 (27.09.2012), claims 1 to 7; examples; drawings & WO 2012/121154 A1	1-15
P,A	JP 2013-173641 A (Tokuyama Corp.), 05 September 2013 (05.09.2013), claims 1 to 3; examples; drawings (Family: none)	1-15

<p>A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))</p> <p>Int.Cl. H01L21/205(2006.01)i, C30B25/18(2006.01)i, C30B29/38(2006.01)i, H01L21/3065(2006.01)i, H01L33/22(2010.01)i, H01L33/32(2010.01)i</p>														
<p>B. 調査を行った分野</p> <p>調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))</p> <p>Int.Cl. H01L21/205, C30B25/18, C30B29/38, H01L21/3065, H01L33/22, H01L33/32</p>														
<p>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</p> <table border="0"> <tr> <td>日本国実用新案公報</td> <td>1922-1996年</td> </tr> <tr> <td>日本国公開実用新案公報</td> <td>1971-2014年</td> </tr> <tr> <td>日本国実用新案登録公報</td> <td>1996-2014年</td> </tr> <tr> <td>日本国登録実用新案公報</td> <td>1994-2014年</td> </tr> </table>			日本国実用新案公報	1922-1996年	日本国公開実用新案公報	1971-2014年	日本国実用新案登録公報	1996-2014年	日本国登録実用新案公報	1994-2014年				
日本国実用新案公報	1922-1996年													
日本国公開実用新案公報	1971-2014年													
日本国実用新案登録公報	1996-2014年													
日本国登録実用新案公報	1994-2014年													
<p>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)</p>														
<p>C. 関連すると認められる文献</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>引用文献の カテゴリー*</th> <th>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</th> <th>関連する 請求項の番号</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>X A</td> <td>JP 2012-197194 A (株式会社リコー) 2012. 10. 18, 請求項 1-16、発明を実施するための形態の項及び図面 (特に図3-1~図3-4に関する部分を中心に参照のこと) (ファミリーなし)</td> <td>1-10, 12-15 11</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>JP 2012-160502 A (日亜化学工業株式会社) 2012. 08. 23, 請求項 1-10、発明を実施するための形態の項及び図面 (ファミリーなし)</td> <td>1-15</td> </tr> </tbody> </table>			引用文献の 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 請求項の番号	X A	JP 2012-197194 A (株式会社リコー) 2012. 10. 18, 請求項 1-16、発明を実施するための形態の項及び図面 (特に図3-1~図3-4に関する部分を中心に参照のこと) (ファミリーなし)	1-10, 12-15 11	A	JP 2012-160502 A (日亜化学工業株式会社) 2012. 08. 23, 請求項 1-10、発明を実施するための形態の項及び図面 (ファミリーなし)	1-15			
引用文献の 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 請求項の番号												
X A	JP 2012-197194 A (株式会社リコー) 2012. 10. 18, 請求項 1-16、発明を実施するための形態の項及び図面 (特に図3-1~図3-4に関する部分を中心に参照のこと) (ファミリーなし)	1-10, 12-15 11												
A	JP 2012-160502 A (日亜化学工業株式会社) 2012. 08. 23, 請求項 1-10、発明を実施するための形態の項及び図面 (ファミリーなし)	1-15												
<p><input checked="" type="checkbox"/> C欄の続きにも文献が列挙されている。 <input type="checkbox"/> パテントファミリーに関する別紙を参照。</p>														
<table border="0"> <tr> <td>* 引用文献のカテゴリー</td> <td>の日の後に公表された文献</td> </tr> <tr> <td>「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</td> <td>「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</td> </tr> <tr> <td>「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</td> <td>「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</td> </tr> <tr> <td>「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)</td> <td>「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</td> </tr> <tr> <td>「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献</td> <td>「&」同一パテントファミリー文献</td> </tr> <tr> <td>「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願</td> <td></td> </tr> </table>			* 引用文献のカテゴリー	の日の後に公表された文献	「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	「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	「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	「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	「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)	「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	「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献	「&」同一パテントファミリー文献	「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願	
* 引用文献のカテゴリー	の日の後に公表された文献													
「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	「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													
「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	「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													
「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)	「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													
「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献	「&」同一パテントファミリー文献													
「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願														
<p>国際調査を完了した日</p> <p>15. 05. 2014</p>	<p>国際調査報告の発送日</p> <p>27. 05. 2014</p>													
<p>国際調査機関の名称及びあて先</p> <p>日本国特許庁 (ISA/J P)</p> <p>郵便番号100-8915</p> <p>東京都千代田区霞が関三丁目4番3号</p>	<p>特許庁審査官 (権限のある職員)</p> <p>植前 充司</p> <p>電話番号 03-3581-1101 内線 3416</p>	<table border="1"> <tr> <td>4G</td> <td>9445</td> </tr> </table>	4G	9445										
4G	9445													

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の 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 請求項の番号
A	WO 2012/093601 A1 (三菱化学株式会社) 2012. 07. 12, 請求項 1-32、発明を実施するための形態の項及び図面 (ファミリーなし)	1-15
A	JP 2012-184144 A (株式会社トクヤマ) 2012. 09. 27, 請求項 1-7、実施例及び図面 & WO 2012/121154 A1	1-15
P, A	JP 2013-173641 A (株式会社トクヤマ) 2013. 09. 05, 請求項 1-3、実施例及び図面 (ファミリーなし)	1-15