(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 2 月 6 日(06.02.2014)

WIPO | PCT

(10) 国際公開番号
WO 2014/021259 A1

(51) 国際特許分類:
H01L 21/205 (2006.01) *H01L 29/778* (2006.01)
C23C 16/34 (2006.01) *H01L 29/812* (2006.01)
C30B 25/18 (2006.01) *H01L 31/10* (2006.01)
C30B 29/38 (2006.01) *H01L 33/22* (2010.01)
H01L 21/338 (2006.01) *H01L 33/32* (2010.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2013/070466

(22) 国際出願日: 2013 年 7 月 29 日(29.07.2013)

(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 2012-172862 2012 年 8 月 3 日(03.08.2012) JP

(71) 出願人: シャープ株式会社(SHARP KABUSHIKI KAISHA) [JP/JP]; 〒5458522 大阪府大阪市阿倍野区長池町２２番２２号 Osaka (JP).

(72) 発明者: 浦田 章紘(URATA, Akihiro). 村田 徹(MURATA, Tohru).

(74) 代理人: 特許業務法人深見特許事務所(FUKAMI PATENT OFFICE, P.C.); 〒5300005 大阪府大阪市北区中之島二丁目２番７号 中之島セントラルタワー 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, 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, 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).

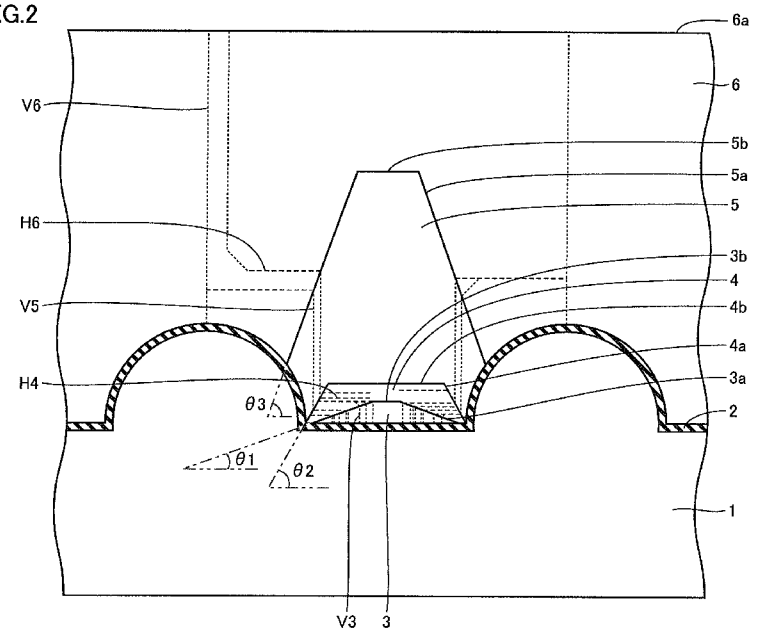
添付公開書類:
— 国際調査報告（条約第 21 条(3)）

WO 2014/021259 A1

(54) **Title**: NITRIDE SEMICONDUCTOR ELEMENT STRUCTURE AND METHOD FOR PRODUCING SAME

(54) 発明の名称 : 窒化物半導体素子構造体とその製造方法

FIG.2



(57) **Abstract**: Provided is a nitride semiconductor structure (10) that includes: a substrate (1) having a plurality of projected portions (1a) on a surface thereof, wherein the surface is covered with a nitride semiconductor intermediate layer (2); first nitride semiconductor base layers (3), second nitride semiconductor base layers (4), and third nitride semiconductor base layers (5) that are provided in this order between the projected portions (1a) on the substrate (1) so as to expose at least a part of surfaces of the projected portions (1a) including the centers thereof, wherein the second nitride semiconductor base layer (4) covers the entirety of the first nitride semiconductor base layer (3), and the third nitride semiconductor base layer (5) covers the entirety of the second nitride semiconductor base layer (4); and a fourth nitride semiconductor base layer (6) that covers the exposed surfaces of the projected portions (1a) and the entirety of the third nitride semiconductor base layers (5). The first nitride semiconductor base layer (3) has first oblique facet surfaces, the second nitride semiconductor base layer (4) has second oblique facet surfaces and a second substrate-parallel surface, and the third nitride semiconductor base layer (5) has third oblique facet surfaces and a third substrate-parallel surface.

(57) 要約:

[続葉有]

表面に複数の凸部（１ａ）を有するとともに表面が窒化物半導体中間層（２）で被覆された基板（１）と、基板（１）上の凸部（１ａ）と凸部（１ａ）の間に、凸部（１ａ）の中心を含む少なくとも一部の表面が露出するように順に設けられた、第１の窒化物半導体下地層（３）と、第１の窒化物半導体下地層（３）の全体を被覆する第２の窒化物半導体下地層（４）と、第２の窒化物半導体下地層（４）の全体を被覆する第３の窒化物半導体下地層（５）と、凸部（１ａ）の露出した表面および第３の窒化物半導体下地層（５）の全体を被覆する第４の窒化物半導体下地層（６）と、を備え、第１の窒化物半導体下地層（３）は、第１の斜めファセット面を有し、第２の窒化物半導体下地層（４）は、第２の斜めファセット面と第２の基板平行面を有し、第３の窒化物半導体下地層（５）は、第３の斜めファセット面と第３の基板平行面を有する、窒化物半導体構造体（１０）。

明　細　書

発明の名称 ： 窒化物半導体素子構造体とその製造方法

技術分野

[0001] 本発明は、窒化物半導体素子構造体とその製造方法に関する。

背景技術

[0002] 窒素を含むＩＩＩ－Ｖ族化合物半導体（ＩＩＩ族窒化物半導体）は、赤外から紫外領域の波長を有する光のエネルギに相当するバンドギャップを有しているため、赤外から紫外領域の波長を有する光を発光する発光素子やその領域の波長を有する光を受光する受光素子の材料として有用である。

[0003] また、ＩＩＩ族窒化物半導体は、ＩＩＩ族窒化物半導体を構成する原子間の結合が強く、絶縁破壊電圧が高く、飽和電子速度が大きいことから、耐高温・高出力・高周波トランジスタなどの電子デバイスの材料としても有用である。

[0004] さらに、ＩＩＩ族窒化物半導体は、環境を害することがほとんどなく、取り扱いやすい材料としても注目されている。

[0005] 上述したような優れた材料であるＩＩＩ族窒化物半導体を用いて実用的な窒化物半導体素子を作製するためには、所定の基板上にＩＩＩ族窒化物半導体の薄膜からなるＩＩＩ族窒化物半導体層を積層して、所定の素子構造を形成する必要がある。

[0006] ここで、基板としては、基板上にＩＩＩ族窒化物半導体を直接成長させることが可能な格子定数や熱膨張係数を有するＩＩＩ族窒化物半導体からなる基板を用いることが最も好適であり、ＩＩＩ族窒化物半導体からなる基板としては、たとえば窒化ガリウム（ＧａＮ）基板などを用いることが好ましい。

[0007] しかしながら、ＧａＮ基板は、現状ではその寸法が直径２インチ以下と小さく、また非常に高価であるため、実用的ではない。

[0008] そのため、現状では、窒化物半導体素子の作製用の基板としては、ＩＩＩ

族窒化物半導体とは格子定数差および熱膨張係数差が大きいサファイア基板や炭化珪素（ＳｉＣ）基板などが用いられている。

[0009] サファイア基板と代表的なＩＩＩ族窒化物半導体であるＧａＮとの間には約１６％程度の格子定数差が存在する。また、ＳｉＣ基板とＧａＮとの間には約６％程度の格子定数差が存在する。このような大きな格子定数差が基板とその上に成長するＩＩＩ族窒化物半導体との間に存在する場合には、基板上にＩＩＩ族窒化物半導体からなる結晶をエピタキシャル成長させることは一般的に困難である。たとえば、サファイア基板上に直接ＧａＮ結晶をエピタキシャル成長させた場合には、ＧａＮ結晶の３次元的な成長が避けられず、平坦な表面を有するＧａＮ結晶が得られないという問題がある。

[0010] そこで、基板とＩＩＩ族窒化物半導体との間に、基板とＩＩＩ族窒化物半導体との間の格子定数差を解消させるための所謂バッファ層と呼ばれる層を形成することが一般的に行なわれている。

[0011] たとえば、特許文献１には、サファイア基板上にＡｌＮのバッファ層を有機金属気相成長法（ＭＯＶＰＥ法）によって形成した後に、$Al_xGa_{1-x}N$からなるＩＩＩ族窒化物半導体を成長させる方法が記載されている。

[0012] しかしながら、特許第３０２６０８７号公報（特許文献１）に記載の方法においても、平坦な表面を有するＡｌＮのバッファ層を再現性良く得ることは困難であった。これは、ＭＯＶＰＥ法によってＡｌＮのバッファ層を形成する場合には、原料ガスとして用いられるトリメチルアルミニウム（ＴＭＡ）ガスとアンモニア（NH_3）ガスとが気相中で反応しやすいためと考えられる。

[0013] したがって、特許文献１に記載の方法においては、表面が平坦であって、かつ欠陥密度が小さい高品質の$Al_xGa_{1-x}N$からなるＩＩＩ族窒化物半導体をＡｌＮのバッファ層上に再現性良く成長させることは困難であった。

[0014] また、たとえば特公平５－８６６４６号公報（特許文献２）には、サファイア基板上に直流バイアスを印加した高周波スパッタ法で$Al_xGa_{1-x}N$（０＜ｘ＜１）バッファ層を形成する方法が開示されている。しかしながら、こ

の方法により形成されたバッファ層上であっても、十分に優れた結晶性を有するＩＩＩ族窒化物半導体層を形成することは困難であった。

[0015] そこで、特許第３４４０８７３号公報（特許文献３）には、ＤＣマグネトロンスパッタ法で形成したＩＩＩ族窒化物半導体からなるバッファ層を水素ガスとアンモニアガスとの混合ガスの雰囲気下で熱処理する方法が提案されており、また、特許第３７００４９２号公報（特許文献４）には、４００℃以上に昇温されたサファイア基板上にＤＣマグネトロンスパッタ法によって５０オングストローム以上３０００オングストローム以下の膜厚のＩＩＩ族窒化物半導体からなるバッファ層を形成する方法が提案されている。

[0016] また、特開２００８－３４４４４号公報（特許文献５）には、７５０℃に加熱されたサファイア基板上に高周波スパッタ法によってＡＩＮの柱状結晶からなるバッファ層を形成する方法が提案されている。

[0017] また、特許第３９５０４７１号公報（特許文献６）には、結晶欠陥の少ないＩＩＩ族窒化物半導体を成長するため、基板表面に凹凸構造を設け、その上にＩＩＩ族窒化物半導体をラテラル成長させることが記載されている。

[0018] また、特開２００６－３５２０８４号公報（特許文献７）には、凹凸構造を設けたサファイア基板上に、傾斜したファセットを斜面に有する二等辺三角形の断面形状となるようにＧａＮ層を成長させるステップの後、成長条件を横方向成長が支配的となる条件に設定して成長を続けその表面がサファイア基板の主面と平行な平坦面となるまでＧａＮ層を横方向成長させるステップからなる２段階の成長によって窒化物半導体を形成することが記載されている。

先行技術文献

特許文献

[0019] 特許文献1：特許第３０２６０８７号公報

特許文献2：特公平５－８６６４６号公報

特許文献3：特許第３４４０８７３号公報

特許文献4：特許第３７００４９２号公報

特許文献5：特開２００８－３４４４４号公報

特許文献6：特許第３９５０４７１号公報

特許文献7：特開２００６－３５２０８４号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0020] 高品質なＩＩＩ族窒化物半導体を歩留まり良く製造するために、結晶欠陥の少ない高品質のＩＩＩ族窒化物半導体を成長させる必要がある。そのため、下地となる窒化物半導体下地層についても結晶欠陥が少なく、高い結晶性を有するものが要求される。

[0021] また、ＩＩＩ族窒化物半導体の発光素子において基板の光取り出し効率を高めるために、凹凸構造を設けた基板が用いられることがあるが、結晶欠陥が少なく、高い結晶性を有する下地層を作製することは困難である。

[0022] たとえば、特許文献７に記載されている方法においては、凹部に窒化物半導体層を成長させた後に、横方向成長が支配的となる成長条件に設定して窒化物半導体層を成長させているが、サファイアなどの窒化物半導体と格子不整合率の高い基板の場合や、凹凸構造を設けた基板等では、凹部に最初に形成する窒化物半導体において、縦方向の欠陥が多数生じやすく、続けて横方向成長が支配的となる条件で成長させる窒化物半導体の横方向の欠陥の起点となる。かかる横方向の欠陥は凸部の上に形成される縦方向の欠陥と会合したり、結晶のすべり面で横方向成長から縦方向成長に変化することにより、縦方向の欠陥を多数生じさせたりすることになる。ここで縦方向の欠陥は基板の主面に対して垂直方向に出来る欠陥、横方向の欠陥は基板の主面に対して平行方向に出来る欠陥を意味する。

[0023] 上記の事情に鑑みて、本発明の目的は、結晶性の高い窒化物半導体下地層を有する窒化物半導体構造体と、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

[0024] 本発明は、三方晶コランダムまたは六方晶の結晶からなり、表面に複数の凸部を有するとともに表面が窒化物半導体中間層で被覆された基板と、基板

上の凸部と凸部の間に、凸部の中心を含む少なくとも一部の表面が露出するように順に設けられた、第１の窒化物半導体下地層と、第１の窒化物半導体下地層の全体を被覆する第２の窒化物半導体下地層と、第２の窒化物半導体下地層の全体を被覆する第３の窒化物半導体下地層と、凸部の前記露出した表面および前記第３の窒化物半導体下地層の全体を被覆する第４の窒化物半導体下地層と、を備え、第１の窒化物半導体下地層は、第１の斜めファセット面を有し、第２の窒化物半導体下地層は、第２の斜めファセット面と第２の基板平行面を有し、第３の窒化物半導体下地層は、第３の斜めファセット面と第３の基板平行面を有する、窒化物半導体構造体である。

[0025] 上記本発明の窒化物半導体構造体において、第１の窒化物半導体下地層は、さらに第１の基板平行面を有していてもよく、この場合、基板の主面に垂直な方向からの平面視において、第１の斜めファセット面の面積割合が、第１の基板平行面の面積割合よりも大きいことが好ましい。

[0026] 上記本発明の窒化物半導体構造体において、第２の窒化物半導体下地層は、基板の主面に垂直な方向からの平面視において、第２の斜めファセット面の面積割合が、第２の基板平行面の面積割合よりも小さいことが好ましい。

[0027] 上記本発明の窒化物半導体構造体において、第３の窒化物半導体下地層は、基板の主面に垂直な方向からの平面視において、第３の斜めファセット面の面積割合が、第３の基板平行面の面積割合よりも大きいことが好ましい。

[0028] 上記本発明の窒化物半導体構造体において、第１の斜めファセット面の基板の主面に対する角度をθ１、第２の斜めファセット面の基板の主面に対する角度をθ２とすると、θ１＜θ２の関係を満たすことが好ましい。また、第３の斜めファセット面の基板の主面に対する角度をθ３とすると、θ１＜θ３＜θ２の関係を満たすことがさらに好ましい。

[0029] また、本発明は、上記窒化物半導体構造体と、窒化物半導体構造体上に形成された積層構造とを有する、窒化物半導体発光素子である。

[0030] また、本発明は、上記窒化物半導体構造体と、窒化物半導体構造体上に形成された積層構造を有する、窒化物半導体トランジスタ素子である。

[0031] また、本発明は、三方晶コランダムまたは六方晶の結晶からなり、表面に複数の凸部を有する基板の表面上に、表面の形状を反映するように窒化物半導体中間層を形成する工程と、

第１の斜めファセット面を有する、第１の窒化物半導体下地層を、基板の表面上の凸部と前記凸部の間に、凸部の中心を含む少なくとも一部の表面が露出するように形成する工程と、

第２の斜めファセット面および第２の基板平行面を有する、第２の窒化物半導体下地層を、基板の表面上の凸部と凸部の間に、第１の窒化物半導体下地層の全体を被覆しかつ凸部の中心を含む少なくとも一部の表面が露出するように形成する工程と、

第３の斜めファセット面および第３の基板平行面を有する、第３の窒化物半導体下地層を、基板の表面上の凸部と凸部の間に、第２の窒化物半導体下地層の全体を被覆しかつ凸部の中心を含む少なくとも一部の表面が露出するように形成する工程と、

第４の窒化物半導体下地層を、凸部の第３の窒化物半導体下地層で被覆されていない表面と、第３の窒化物半導体下地層の全体を被覆するように形成する工程と、を備える、窒化物半導体構造体の製造方法である。

[0032] 上記本発明の製造方法において、第１の窒化物半導体下地層と、第２の窒化物半導体下地層と、第３の窒化物半導体下地層と、第４の窒化物半導体下地層とは、有機金属気相成長法により形成され、有機金属気相成長法は、有機金属気相成長装置内で、基板を加熱するとともに基板を回転させながら、Ｖ族元素用原料ガスとＩＩＩ族元素用原料ガスとを、水素ガスを含むキャリアガスとともに供給し、有機金属気相成長装置内の圧力を上げて行ない、第１の窒化物半導体下地層を形成する条件と、第２の窒化物半導体下地層を形成する条件とは、以下のＡＩ，ＢＩ，ＣＩ，ＤＩおよびＥＩの関係の内、少なくとも１つの関係を満たすことが好ましい。

[0033] ＡＩ．第１の窒化物半導体下地層の形成時の基板の加熱温度は、第２の窒化物半導体下地層の形成時の基板の加熱温度より低い、

ＢＩ．第１の窒化物半導体下地層の形成時の有機金属気相成長装置内の圧力は、第２の窒化物半導体下地層の形成時の有機金属気相成長装置内の圧力より高い、

ＣＩ．第１の窒化物半導体下地層の形成時に単位時間当たりに供給されるＩＩＩ族元素用原料ガスのモル量に対するＶ族元素用原料ガスのモル量の比率は、第２の窒化物半導体下地層の形成時の前記比率より高い、

ＤＩ．第１の窒化物半導体下地層の形成時の基板の単位時間当たりの回転数は、第２の窒化物半導体下地層の形成時の基板の単位時間当たりの回転数より小さい、

ＥＩ．第１の窒化物半導体下地層の形成時のキャリアガスの全体積に対する水素ガスの体積比は、第２の窒化物半導体下地層の形成時のキャリアガスの全体積に対する水素ガスの体積比より高い。

[0034] 上記本発明の製造方法において、第１の窒化物半導体下地層と、第２の窒化物半導体下地層と、第３の窒化物半導体下地層と、第４の窒化物半導体下地層とは、有機金属気相成長法により形成され、有機金属気相成長法は、有機金属気相成長装置内で、基板を加熱するとともに基板を回転させながら、Ｖ族元素用原料ガスとＩＩＩ族元素用原料ガスとを、水素ガスを含むキャリアガスとともに供給し、有機金属気相成長装置内の圧力を上げて行ない、第１の窒化物半導体下地層を形成する条件と、第３の窒化物半導体下地層を形成する条件とは、以下のＡＩＩ，ＢＩＩ，ＣＩＩ，ＤＩＩおよびＥＩＩの関係の内、少なくとも１つの関係を満たすことが好ましい。

[0035] ＡＩＩ．第１の窒化物半導体下地層の形成時の基板の加熱温度は、第３の窒化物半導体層の形成時の基板の加熱温度より高い、

ＢＩＩ．第１の窒化物半導体下地層の形成時の有機金属気相成長装置内の圧力は、第３の窒化物半導体下地層の形成時の有機金属気相成長装置内の圧力より低い、

ＣＩＩ．第１の窒化物半導体下地層の形成時に単位時間当たりに供給されるＩＩＩ族元素用原料ガスのモル量に対するＶ族元素用原料ガスのモル量の

比率は、第３の窒化物半導体下地層の形成時の前記比率より低い、

ＤＩＩ．第１の窒化物半導体下地層の形成時の基板の単位時間当たりの回転数は、第３の窒化物半導体下地層の形成時の基板の単位時間当たりの回転数より大きい、

ＥＩＩ．第１の窒化物半導体下地層の形成時のキャリアガスの全体積に対する水素ガスの体積比は、第３の窒化物半導体下地層の形成時のキャリアガスの全体積に対する水素ガスの体積比より低い。

[0036] 上記本発明の製造方法において、第１の窒化物半導体下地層と、第２の窒化物半導体下地層と、第３の窒化物半導体下地層と、第４の窒化物半導体下地層とは、有機金属気相成長法により形成され、有機金属気相成長法は、有機金属気相成長装置内で、基板を加熱するとともに基板を回転させながら、Ｖ族元素用原料ガスとＩＩＩ族元素用原料ガスとを、水素ガスを含むキャリアガスとともに供給し、有機金属気相成長装置内の圧力を上げて行ない、第２の窒化物半導体下地層を形成する条件と、第４の窒化物半導体下地層を形成する条件とは、以下のＡＩＩＩ，ＢＩＩＩ，ＣＩＩＩ，ＤＩＩＩおよびＥＩＩＩの関係の内、少なくとも１つの関係を満たすことが好ましい。

[0037] ＡＩＩＩ．第４の窒化物半導体下地層の形成時の基板の加熱温度は、第２の窒化物半導体下地層の形成時の基板の加熱温度より高い、

ＢＩＩＩ．第４の窒化物半導体下地層の形成時の有機金属気相成長装置内の圧力は、第２の窒化物半導体下地層の形成時の有機金属気相成長装置内の圧力より低い、

ＣＩＩＩ．第４の窒化物半導体下地層の形成時に単位時間当たりに供給されるＩＩＩ族元素用原料ガスのモル量に対するＶ族元素用原料ガスのモル量の比率は、第２の窒化物半導体下地層の形成時の前記比率より低い、

ＤＩＩＩ．第４の窒化物半導体下地層の形成時の基板の単位時間当たりの回転数は、第２の窒化物半導体下地層の形成時の基板の単位時間当たりの回転数より大きい、

ＥＩＩＩ．第４の窒化物半導体下地層の形成時のキャリアガスの全体積に

対する水素ガスの体積比は、第２の窒化物半導体下地層の形成時のキャリアガスの全体積に対する水素ガスの体積比より低い。

発明の効果

[0038] 本発明によれば、結晶性の高い窒化物半導体下地層を有する窒化物半導体構造体と、その製造方法を提供することができる。

図面の簡単な説明

[0039] [図1]実施形態１の窒化物半導体構造体を模式的に示す断面図である。

[図2]窒化物構造体の部分拡大断面図である。

[図3]窒化物半導体構造体の基板準備工程を模式的に示す断面図である。

[図4]窒化物半導体構造体の基板加工工程を模式的に示す断面図である。

[図5]基板の表面の模式的な平面図である。

[図6]図５のＢ－Ｂ線に沿った模式的な断面図を示す。

[図7]窒化物半導体構造体の窒化物半導体中間層の形成工程を模式的に示す断面図である。

[図8]第１の窒化物半導体下地層の形成工程を模式的に示す断面図である。

[図9]第２の窒化物半導体下地層の形成工程を模式的に示す断面図である。

[図10]第３の窒化物半導体下地層の形成工程を模式的に示す断面図である。

[図11]第４の窒化物半導体下地層の形成工程を模式的に示す断面図である。

[図12]窒化物半導体構造体の部分拡大断面図である。

[図13]実施形態２の窒化物半導体発光ダイオード素子を模式的に示す断面図である。

[図14]実施形態３の発光装置を模式的に示す断面図である。

[図15]実施形態４の窒化物半導体トランジスタ素子を模式的に示す断面図である。

発明を実施するための形態

[0040] 以下、図面を用いて本発明の実施形態について説明する。なお、各図面において、同一の参照符号は、同一部分または相当部分を表わすものとする。

[0041] ＜実施形態１＞

［窒化物半導体構造体の構造］

本実施形態は、窒化物半導体構造体に関する。図１は、本実施形態の窒化物半導体構造体を模式的に示す断面図である。本実施形態の窒化物半導体構造体１０は、表面に複数の凸部１ａを有するとともに表面が窒化物半導体中間層２で被覆された基板１と、基板１上の凸部１ａと凸部１ａの間に、凸部１ａの中心を含む少なくとも一部の表面が露出するように順に設けられた、第１の窒化物半導体下地層３と、第２の窒化物半導体下地層４と、第３の窒化物半導体下地層５とを有する。第３の窒化物半導体下地層５の上には、さらに第４の窒化物半導体下地層６を有する。

［0042］ 図２は、窒化物半導体構造体の部分拡大断面図である。第１の窒化物半導体下地層３は、第１の斜めファセット面３ａと第１の基板平行面３ｂを有する。第２の窒化物半導体下地層４は、第１の窒化物半導体下地層３の全体を被覆するように設けられ、第２の斜めファセット面４ａと第２の基板平行面４ｂを有する。第３の窒化物半導体下地層５は、第２の窒化物半導体下地層４の全体を被覆するように設けられ、第３の斜めファセット面５ａと第３の基板平行面５ｂを有する。第４の窒化物半導体下地層６は、凸部１ａの第３の窒化物半導体下地層５により被覆されていない露出した表面と、第３の窒化物半導体下地層５の全体とを被覆するように設けられ、第４の基板平行面６ａを有する。ここで、「斜めファセット面」とは基板の主面に対して傾斜を有する結晶面を意味し、「基板平行面」とは基板の主面に対して平行な結晶面を意味する。

［0043］ 本実施形態の窒化物半導体構造体１０は、上記のような第１～第３の窒化物半導体下地層３，４，５の上に第４の窒化物半導体下地層６を備える構成であることにより、結晶性が高く欠陥が少ない第４の基板平行面６ａを有する。具体的には、結晶性が高く欠陥が少ない第４の基板平行面６ａを得るためには、第３の窒化物半導体下地層５の縦方向（基板の主面に垂直な方向）の結晶欠陥Ｖ５を低減することが好ましい。結晶欠陥Ｖ５が低減すると、第４の窒化物半導体下地層６において、横方向の結晶欠陥Ｈ６が低減され、結

果的に縦方向の結晶欠陥Ｖ６も低減させることができる。そのためには、第２の窒化物半導体下地層４の第２の基板平行面４ｂに向かう縦方向の結晶欠陥が少ないことが好ましい。そのためには、第２の窒化物半導体下地層４において、横方向（基板の主面に平行な方向）の結晶欠陥Ｈ４ができやすいように、第１の窒化物半導体下地層３に縦方向の結晶欠陥Ｖ３を形成することが有効である。

[0044] 第１の窒化物半導体下地層３は、第１の斜めファセット面３ａを有することにより、縦方向の結晶欠陥３が生じやすい構成とすることができる。第１の窒化物半導体下地層３は、基板１の主面に垂直な方向からの平面視において、第１の斜めファセット面３ａの面積割合が、第１の基板平行面３ｂの面積割合よりも大きい構成であることが好ましい。なお、第１の窒化物半導体下地層３は、第１の基板平行面３ｂを有さない構成であってもよい。第１の窒化物半導体下地層３は、第２の窒化物半導体下地層４に縦方向の欠陥を発生させないため、凹領域１ｂのほぼ全面を覆うように作製することが好ましい。また、第１の窒化物半導体下地層３の縦方向の欠陥Ｖ３を起点として第２の窒化物半導体下地層４の横方向の欠陥Ｈ４が生じるため、第１の斜めファセット面３ａの角度θ１（第１の斜めファセット面３ａと基板の主面とのなす角度θ１）が鋭角であるほど１つの横方向の欠陥Ｈ４に縦方向の欠陥Ｖ３が集まりやすくなり、横方向の欠陥Ｈ４の数を減らす効果があるので好ましい。

[0045] 第２の窒化物半導体下地層４は、第２の斜めファセット面４ａと第２の基板平行面４ｂを有する構成であることにより、横方向（基板の主面に対して平行な方向）の欠陥Ｈ４が生じやすい構成とすることができる。第２の窒化物半導体下地層４は、第３の窒化物半導体下地層５の縦横方向の欠陥Ｖ５を低減させるために、第２の基板平行面４ｂが大きいほど好ましい。すなわち、第２の窒化物半導体下地層４は、基板１の主面に垂直な方向からの平面視において、第２の斜めファセット面４ａの面積割合が、第２の基板平行面４ｂの面積割合よりも小さい構成であることが好ましく、第２の斜めファセッ

ト面４ａの面積が、第２の基板平行面４ｂの面積の４０％以上１００％未満であることがさらに好ましい。また、第２の窒化物半導体下地層４の横方向の欠陥Ｈ４を起点として第３の窒化物半導体下地層５の縦方向の欠陥Ｖ５が生じるため、第２の斜めファセット面４ａの角度θ２（第２の斜めファセット面４ａと基板の主面とのなす角度θ２）が直角に近い値であるほど１つの縦方向の欠陥Ｖ５に横方向の欠陥Ｈ４が集まりやすくなり、縦方向の欠陥Ｖ５の数を減らすことができるので好ましい。

[0046] 第３の窒化物下地層５は、第３の斜めファセット面５ａと第３の基板平行面５ｂとを有する構成であることにより、縦方向の結晶欠陥を低減させることができる。第３の窒化物半導体下地層５は、第４の窒化物半導体下地層６を低転位で作製するために第３の基板平行面５ｂを小さくし、第２の窒化物半導体下地層４より第３の斜めファセット面５ａを大きくすることが望ましい。すなわち、第３の窒化物半導体下地層５は、基板１の主面に垂直な方向からの平面視において、第３の斜めファセット面５ａの面積割合が、第３の基板平行面５ｂの面積割合よりも大きい構成であることが好ましく、第３の斜めファセット面５ａの面積が、第３の基板平行面５ｂの面積の７５０～２０００％であることがさらに好ましい。また、第３の斜めファセット面５ａの角度θ３（第３の斜めファセット面５ａと基板の主面とのなす角度θ３）が鋭角であるほど、結晶欠陥が少なく平坦な第４の基板平行面６ａを有する第４の窒化物半導体下地層６を形成することができる。

[0047] 上記で説明した結晶欠陥が少ない少なく平坦な第４の基板平行面６ａを形成するためには、第１の斜めファセット面３ａの基板の主面に対する角度θ１と、第２の斜めファセット面４ａの基板の主面に対する角度θ２とは、θ１＜θ２の関係を満たすことが好ましい。さらに、第３の斜めファセット面５ａの基板の主面に対する角度θ３と、角度θ１および角度θ２とは、θ１＜θ３＜θ２の関係を満たすことが好ましい。

[0048] ［窒化物半導体構造体の製造方法］

次に、本実施形態の窒化物半導体構造体の製造方法を説明する。窒化物半

導体構造体１０は、表面に複数の凸部１ａを有する基板１の表面上に、表面の形状を反映するように窒化物半導体中間層２を形成する工程と、第１の窒化物半導体下地層３を形成する工程と、第２の窒化物半導体下地層４を形成する工程と、第３の窒化物半導体下地層５を形成する工程と、第４の窒化物半導体下地層６を形成する工程とを順に有する製造方法により製造される。なお、本発明の窒化物半導体構造の製造方法においては、これら各工程以外に他の工程が含まれていてもよいことは言うまでもない。

[0049] （基板の準備）

まず、図３の模式断面図に示すように、基板１を準備する。基板１は、三方晶コランダムまたは六方晶の結晶からなる。三方晶コランダムとして、たとえばサファイア（Al_2O_3）の単結晶を用いることができ、六方晶の結晶としては、たとえばＡＩＮ単結晶、ＧａＮ単結晶などの（ＡｌＧａＩｎ）Ｎ系の窒化物半導体結晶を用いることができる。サファイアの結晶は、三方晶コランダムであるが、六方晶の表記法で表わすことができる。そこで、サファイア基板および窒化物半導体結晶のいずれにおいても、ｃ軸方向を［０００１］とし、ａ１軸方向を［－２１１０］とし、ａ２軸方向を［１－２１０］とし、ａ３軸方向を［１１－２０］とし、ａ１軸方向、ａ２軸方向およびａ３軸方向の３方向を合わせてａ軸方向あるいは＜１１－２０＞方向と表記する。また、ｃ軸方向および＜１１－２０＞方向にそれぞれ垂直で等価な３方向をｍ軸方向（最も代表的には＜１－１００＞方向）と表記する。

[0050] なお、結晶面および方向を表わす場合に、本来であれば所要の数字の上にバーを付した表現をするべきであるが、本明細書においては、所要の数字の上にバーを付す表現の代わりに、所要の数字の前に「－」を付して表現している。たとえば、結晶学の記法によれば１の逆方向は１の上にバーを記載するところを、便宜上「－１」と表記する。

[0051] 基板１の表面４０は、ｃ面またはｃ面に対して５°以内の傾斜を有する表面であってもよく、傾斜の方向は、たとえば、ｍ（ｓｕｂ）軸（＜１－１００＞）方向のみであってもよく、ａ（ｓｕｂ）軸（＜１１－２０＞）方向の

みであってもよく、あるいは両方向を合成した方向であってもよい。たとえば、基板１としては、基板１の表面４０がｃ面（法線がｃ軸の面）から基板のｍ（ｓｕｂ）軸＜１－１００＞方向に０．１５°～０．３５°傾斜したものなどを準備することができる。

[0052] なお、窒化物半導体構造体１０において、基板１の結晶方向と、基板１上の窒化物半導体層の結晶方向とが異なるため、本明細書においては基板１の結晶方向に「ｓｕｂ」を付記し、窒化物半導体層の結晶方向に「ｌａｙｅｒ」を付記するものとする。ここで、基板１の結晶軸と窒化物半導体層の結晶軸との関係について、基板１がサファイア単結晶である場合には、基板１のａ（ｓｕｂ）軸方向は窒化物半導体層のｍ（ｌａｙｅｒ）軸方向と一致し、基板１のｍ（ｓｕｂ）軸方向は窒化物半導体層のａ（ｌａｙｅｒ）軸方向と一致する。一方、基板１がＡｌＮ単結晶またはＧａＮ単結晶である場合には、基板のａ（ｓｕｂ）軸方向は窒化物半導体層のａ（ｌａｙｅｒ）軸方向と一致し、基板１のｍ（ｓｕｂ）軸方向は窒化物半導体層のｍ（ｌａｙｅｒ）軸方向と一致する。

[0053] また、基板１の口径は特には限定されないが、たとえば１５０ｍｍ（約６インチ）とすることができる。基板１としては、従来は５０．８ｍｍ（２インチ）程度の口径の基板を用いることが一般的であったが、生産性を高めるためには大口径の基板を用いることが好ましい。なお、大口径の基板１を用いた場合には、基板１上に窒化物半導体層を形成した後に歪が蓄積するため、基板１の割れや窒化物半導体層の表面にクラックが生じやすくなる。しかしながら、本発明によると、１００ｍｍ（約４インチ）以上の大口径の基板１を用いた場合であっても、基板１の割れや窒化物半導体層の表面に発生するクラックを抑制することができる。

[0054] 次に、図４の模式的断面図に示すように、複数の凸部１ａを有するように基板１の表面４０を加工する。ここで、表面上の凸部１ａが形成されていない領域を凹領域１ｂとする。基板１の表面４０のこのような加工は、たとえば、基板１の表面４０上に凸部１ａの平面配置を規定するマスクを形成する

パターニング工程と、当該パターニング工程によって形成したマスクを用いて基板１の表面４０をエッチングして凹領域１ｂを形成する工程とを含む工程により形成することができる。パターニング工程は、一般的なフォトリソグラフィ工程で行なうことができる。エッチング工程は、たとえば、ドライエッチング法やウエットエッチング法で行なうことができる。凸部１ａの形状が後述する先端部を備える形状とするためには、凸部１ａの形状を制御しやすいドライエッチング法で行なうことが好ましい。また、基板１の表面４０の加工には、SiO_2等の誘電体を用いて加工することもできる。凹領域１ｂの表面形状は限定されないが、第１の窒化物半導体下地層３の成長が凹領域１ｂから開始しやすいように平面であることが好ましい。

[0055] 図５は、図４に示す基板１の表面の一例の模式的な平面図を示す。図５に示す基板１の表面の平面視においては、凸部１ａは円形の平面形状であり、凸部１ａは仮想の三角形１ｔの頂点にそれぞれ位置しており、仮想の三角形１ｔの３辺のそれぞれの辺の方向に配列されている。本実施形態において、凸部１ａは、基板１の表面のａ（ｓｕｂ）軸方向（＜１１－２０＞方向）に配列されるとともに、基板１の表面のａ（ｓｕｂ）軸方向に対して＋６０°の傾きを為す方向および基板１の表面のａ（ｓｕｂ）軸方向に対して－６０°の傾きを為す方向にそれぞれ配列されている。なお、本明細書において、基板１の表面の平面視において、ａ（ｓｕｂ）軸方向に対して＋６０°の傾きを為す方向およびａ（ｓｕｂ）軸方向に対して－６０°の傾きを為す方向をそれぞれｕ方向という。

[0056] なお、凸部１ａの平面形状である円形の円の中心は、三角形１ｔの頂点と必ずしも完全に一致している必要はなく、実質的に一致していればよい。具体的には、円の中心がその円の半径以下のズレである場合には、後述する第１の窒化物半導体下地層３の形成工程において、第１の窒化物半導体下地層３の成長が、基板１の表面の凸部１ａが形成されている領域よりも安定して凹領域１ｂで成長を開始する傾向にある。そして、成長がさらに進むと、後述するように、凸部１ａを中心として凸部１ａの外側において凸部１ａを取

り囲む少なくとも６つの斜めファセット面を有するような第１の窒化物半導体下地層３が形成されやすくなる。

[0057] 凸部１ａの底面における平面形状は、円形に限られるものではなく、たとえば六角形または三角形などの多角形であってもよい。

[0058] また、基板１の表面の平面視において、頂点に凸部１ａが配置される仮想の三角形１ｔの各内角の角度は５０°以上７０°以下であることが好ましい。この場合には、第１の窒化物半導体下地層３の形成が、凸部１ａが形成されている領域よりも安定して凹領域１ｂで成長を開始する傾向にある。そして、成長がさらに進むと、後述するように、凸部１ａを中心として凸部１ａの外側において凸部１ａを取り囲む少なくとも６つの斜めファセット面を有するような第１の窒化物半導体下地層３が形成されやすくなる。

[0059] また、基板１の表面の平面視において、隣り合う凸部１ａの間隔（凸部１ａの中心間距離）は、たとえば２μｍとすることができる。隣り合う凸部１ａの間隔は２μｍに限定されることはなく、０．２μｍ以上７μｍ以下とすることが好ましく、０．２μｍ以上２μｍ以下とすることがさらに好ましい。隣り合う凸部１ａの間隔が０．２μｍ以上７μｍ以下である場合には、プロセス上の問題が少なくなる傾向にある。プロセス上の問題としては、隣り合う凸部１ａの間隔が７μｍを超えると、凸部１ａの高さを高くするためのドライエッチング時間が長くなり、後述する第２の窒化物半導体下地層４の上面を基板の主面に平行な面とするまでに要する成長時間が長くなるなどの問題がある。また隣り合う凸部１ａの間隔が０．２μｍ未満であると、第２の窒化物半導体下地層４の第２の基板平行面４ｂの密度が高くなり、従来の結晶成長条件では欠陥が多くなる。

[0060] また、基板１の表面の平面視における、凸部１ａの円形の直径は、隣り合う凸部１ａの間隔の１／２以上３／４以下とすることが好ましい。たとえば、隣り合う凸部１ａの間隔が２μｍである場合には、凸部１ａの円形の円の直径は１．０～１．５μｍとすることが好ましく、たとえば１．２μｍとすることができる。凸部１ａの円形の円の直径が隣り合う凸部１ａの間隔の１

／２以上３／４以下である場合に、後述する第２の窒化物半導体下地層４は、凸部１ａが形成されている領域よりも安定して凹領域１ｂで成長を開始する傾向にある。そして、成長がさらに進むと、凸部１ａを中心として凸部１ａの外側において凸部１ａを取り囲む少なくとも６つの斜めファセット面を有する第２の窒化物半導体下地層４が形成されやすくなる。

[0061] また、凸部１ａの高さは、凸部１ａの円形の円の直径の１／４以上１以下とすることが好ましい。たとえば、凸部１ａの円形の円の直径が１．２μｍである場合には、凸部１ａの高さは０．３～１．２μｍとすることが好ましく、たとえば０．６μｍ程度とすることができる。この場合に、後述する第３の窒化物半導体下地層５は、凸部１ａが形成されている領域よりも安定して凹領域１ｂで成長を開始する傾向にある。そして、成長がさらに進むと、凸部１ａを中心として凸部１ａの中心より外側において凸部１ａの中心を取り囲む少なくとも６つの斜めファセット面を有する第３の窒化物半導体下地層５が形成されやすくなる。

[0062] 図６に、図５に示す凸部１ａの中心を通るＢ－Ｂ線に沿った模式的な断面図を示す。図６に示すように、凸部１ａは中心または中心近傍に先端部１ｃを備える形状であることが好ましい。本明細書において、凸部１ａが先端部１ｃを備える形状とは、凸部１ａの断面形状において、凸部の中心近傍の上面が平坦になっていない形状を意味する。凸部１ａの中心近傍の上面が平坦である場合には、ここに第１の窒化物半導体下地層３が成長しやすく、凹領域１ｂにおいて第１の窒化物半導体下地層３の成長を開始するのが難しくなる場合がある。一方、凸部１ａが先端部１ｃを備える形状である場合には、後述の第１の窒化物半導体下地層３、第２の窒化物半導体下地層４、第３の窒化物半導体下地層５はいずれも、凹領域１ｂから成長しやすく、これらの層を凸部１ａの先端部１ｃを含む少なくとも一部の表面を被覆しないように形成することが容易となる。

[0063] このように形成することにより、引き続き成長する後述の第４の窒化物半導体下地層６が凸部１ａの先端部１ｃの上方で会合するため、結晶欠陥が生

じる領域が限定され、全体としての欠陥の数を減らすことができると考えられる。また凸部１ａの中心近傍の上面が平坦の場合、第１の窒化物半導体下地層３から第３の窒化物半導体下地層５の成長において、凸部１ａの全体を覆うように結晶成長が行われやすく、第４の窒化物半導体下地層６を成長するときの欠陥の起因となる。

[0064] 基板１の表面は、後述する窒化物半導体中間層２の形成前に前処理を行なってもよい。基板１の表面の前処理の一例としては、たとえば、ＲＣＡ洗浄（希フッ酸水溶液（ＨＦ）処理、アンモニア（NH_4OH）と過酸化水素（H_2O_2）による処理、塩酸（ＨＣｌ）と過酸化水素（H_2O_2）による処理、超純水洗浄を順次行なう洗浄）を行なうことによって、基板１の表面を水素終端化する処理が挙げられる。これにより、基板１の表面上に良好な結晶性の窒化物半導体中間層２を再現性良く積層することができる傾向にある。

[0065] また、基板１の表面の前処理の他の一例としては、基板１の表面を窒素ガスのプラズマに曝す処理が挙げられる。これにより、基板１の表面に付着した有機物や酸化物などの異物を除去し、基板１の表面の状態を整えることができる傾向にある。特に、基板１がサファイア基板である場合には、基板１の表面を窒素ガスのプラズマに曝すことによって、基板１の表面が窒化されて、基板１の表面上に積層される窒化物半導体中間層２が面内で均一に形成されやすくなる傾向にある。

[0066] （窒化物半導体中間層の形成）

図７は、窒化物半導体中間層の形成工程を模式的に示す断面図である。図７の断面図に示すように、基板１の表面上に、基板１の表面の形状を反映するように窒化物半導体中間層２を形成する。ここで、窒化物半導体中間層２は、たとえば、N_2とＡｒとの混合雰囲気においてＡｌターゲットをスパッタする反応性スパッタ法によって形成することができる。

[0067] 窒化物半導体中間層２は、たとえば$Al_{x0}Ga_{y0}N$（０≦ｘ０≦１、０≦ｙ０≦１、ｘ０＋ｙ０≠０）の式で表わされる窒化物半導体からなる。なかでも、窒化物半導体中間層２を形成する窒化物半導体としては、ＡｌＮまたは

$Al_{x1}Ga_{1-x1}N$（０．５＜ｘ１≦１）の式で表わされる窒化物半導体（窒化アルミニウム）が好ましい。この場合には、基板１の表面の法線方向に伸長する結晶粒の揃った柱状結晶の集合体からなる良好な結晶性の窒化物半導体中間層２を得ることができる傾向にある。窒化物半導体中間層２は微量の酸素を含んでいてもよい。

[0068] 窒化物半導体中間層２の厚さは、５ｎｍ以上１００ｎｍ以下であることが好ましい。窒化物半導体中間層２の厚さが５ｎｍ未満である場合には、窒化物半導体中間層２がバッファ層としての機能を十分に発揮しないおそれがある。窒化物半導体中間層２の厚さが１００ｎｍを超える場合にはバッファ層としての機能が向上することなく、窒化物半導体中間層２の形成時間だけが長くなるおそれがある。窒化物半導体中間層２の厚さは、１０ｎｍ以上５０ｎｍ以下とすることがより好ましい。この場合には、窒化物半導体中間層２のバッファ層としての機能を面内において均一に発揮させることができる傾向にある。窒化物半導体中間層２の一例として、わずかに酸素を含むＡＩＮ膜を約３０ｎｍの厚さで形成することができる。

[0069] 窒化物半導体中間層２の形成時における基板１の温度は、３００℃以上１０００℃以下であることが好ましい。窒化物半導体中間層２の形成時における基板１の温度が３００℃未満である場合には、窒化物半導体中間層２が基板１の表面の全面を覆うことができず、基板１の表面の一部が窒化物半導体中間層２から露出するおそれがある。また、窒化物半導体中間層２の積層時における基板１の温度が１０００℃を超える場合には、基板１の表面での原料のマイグレーションが活発になりすぎて、柱状結晶の集合体というよりはむしろ単結晶の膜に近い窒化物半導体中間層２が形成されて、窒化物半導体中間層２のバッファ層としての機能が低下するおそれがある。

[0070] （窒化物半導体下地層の形成）

図８～図１１は、窒化物半導体下地層の形成工程を模式的に示す断面図である。まず、図８の断面図に示すように、基板１の凹領域１ｂの窒化物半導体中間層２の上に第１の窒化物半導体下地層３を形成する。第１の窒化物半

導体下地層３は、斜めファセット面（第１斜めファセット面）３ａと基板平行面（第１の基板平行面）３ｂを有する。第１の窒化物半導体下地層３は、凸部１ａの中心を含む少なくとも一部の表面が露出されていればその形成範囲は限定されないが、第２の窒化物半導体下地層４に縦方向の欠陥を発生させないため、凹領域１ｂのほぼ全面を覆うように作製することが好ましい。

[0071] 次に、図９の断面図に示すように、基板１の凹領域１ｂに、第１の窒化物半導体下地層３の全体を覆うように第２の窒化物半導体下地層４を形成する。第２の窒化物半導体下地層４は、斜めファセット面（第２の斜めファセット面）４ａと基板平行面（第２の基板平行面）４ｂとを有する。第２の窒化物半導体下地層４は、凸部１ａの中心を含む少なくとも一部の表面が露出されていればその形成範囲は限定されない。

[0072] 次に、図１０の断面図に示すように、基板１の凹領域１ｂに、第２の窒化物半導体下地層４の全体を覆うように第３の窒化物半導体下地層５を形成する。第３の窒化物半導体下地層５は、凸部１ａの表面に接するように形成されてもよいが、凸部１ａの中心を含む少なくとも一部の表面は露出するように形成される。すなわち、凸部１ａの全体を被覆しないように形成される。第３の窒化物半導体下地層５は、斜めファセット面（第３の斜めファセット面）５ａと基板平行面（第３の基板平行面）５ｂとを有する。

[0073] そして、図１１の断面図に示すように、第３の窒化物半導体下地層５の全体と、凸部１ａの露出している表面を被覆するように第４の窒化物半導体下地層６を形成する。第４の窒化物半導体下地層６は、その表面（第４の基板平行面）６ａが基板１の主面に平行になるように形成される。以上により、基板１上に、窒化物半導体中間層２、第１の窒化物半導体下地層３、第２の窒化物半導体下地層４、第３の窒化物半導体下地層５、および第４の窒化物半導体下地層６がこの順に積層された窒化物半導体構造体１０が製造される。

[0074] ここで、第１の窒化物半導体下地層３、第２の窒化物半導体下地層４、第３の窒化物半導体下地層５、および第４の窒化物半導体下地層６は、それぞ

れ、たとえばＭＯＣＶＤ（Metal Organic Chemical Vapor Deposition）法によって、窒化物半導体中間層２の表面上に順次形成することができる。

[0075] 各層の厚さは、例えば、図１１の断面図に示すように、凹領域１ｂにおける窒化物半導体中間層２の表面上に第１の窒化物半導体下地層３を厚さｔ３が２００ｎｍとなるように形成し、次に、第２の窒化物半導体下地層４を厚さｔ４が３００ｎｍとなるように形成し、第２の窒化物半導体下地層４の全体を被覆するように第３の窒化物半導体下地層５を厚さｔ５が１８００ｎｍとなるように形成し、その後、第３の窒化物半導体下地層５の全体を被覆するように第４の窒化物半導体下地層６を厚さｔ６が６０００ｎｍとなるように形成する。各下地層の厚さは、これらの値に限定されることはないが、第４の窒化物半導体下地層６の厚さが、３０００～９０００ｎｍの範囲となるように各下地層の厚さを調整することが好ましい。

[0076] 第１の窒化物半導体下地層３、第２の窒化物半導体下地層４、第３の窒化物半導体下地層５、および第４の窒化物半導体下地層６は、それぞれ、ＭＯＣＶＤ法における適切な成長モードで成長させる。本明細書においては、下記のように、成長モードを便宜的に定義する。

[0077] ２次元成長モード：基板平行面が得られやすい成長モード、

３次元成長モード：斜めファセット面が形成されやすい成長モード、

２．５次元成長モード：２次元成長モードと３次元成長モードとの中間的な成長モード。

[0078] ＭＯＣＶＤ法においては、表面が窒化物半導体中間層２で被覆された基板１をＭＯＣＶＤ装置内にセットし、基板１を所望の温度に加熱するとともに回転させる。そして、Ｖ族元素用原料ガスのNH_3（アンモニア）とＩＩＩ族元素用原料ガスのＴＭＧａ（トリメチルガリウム）、ＴＭＩｎ（トリメチルインジウム）およびＴＭＡＩ（トリメチルアルミニウム）を適宜組み合わせて水素を含むキャリアガスとともに供給し、ＭＯＣＶＤ装置内の圧力を上げて窒化物半導体下地層の各層を形成する。このとき、５つの成長パラメータ、すなわち（Ａ）基板の加熱温度、（Ｂ）ＭＯＣＶＤ装置内の圧力、（Ｃ）

単位時間当たりに供給されるＩＩＩ族元素用原料ガスのモル量に対するＶ族元素用原料ガスのモル量の比率（以下、「Ｖ／ＩＩＩ比」とも表わす）、（Ｄ）基板の回転数、および（Ｅ）キャリアガスの全体積に対する水素ガスの体積比を適切に選択して、各窒化物半導体下地層の成長モードを切り替える。

[0079] ここで、本発明者が鋭意研究に努めた結果、これらの成長パラメータと、各窒化物半導体下地層の成長モードとの間に以下の相関があることを知見した。

[0080] （Ａ）基板の加熱温度

基板の加熱温度が高いほど２次元成長モードになりやすく、基板の加熱温度が低いほど３次元成長モードになりやすい。

[0081] （Ｂ）ＭＯＣＶＤ装置内の圧力

ＭＯＣＶＤ装置内の圧力が低いほど２次元成長モードになりやすく、圧力が高いほど３次元成長モードになりやすい。

[0082] （Ｃ）Ｖ／ＩＩＩ比

Ｖ／ＩＩＩ比が小さいほど２次元成長モードになりやすく、Ｖ／ＩＩＩ比が大きいほど３次元成長モードになりやすい。

[0083] （Ｄ）基板の回転数

基板の単位時間当たりの回転数が大きいほど２次元成長モードになりやすく、基板の単位時間当たりの回転数が小さいほど３次元成長モードになりやすい。

[0084] （Ｅ）キャリアガスの全体積に対する水素ガスの体積比

キャリアガスの全体積に対する水素ガスの体積比が小さいほど２次元成長モードになりやすく、キャリアガスの全体積に対する水素ガスの体積比が大きいほど３次元成長モードになりやすい。

[0085] 上記の知見に基づき、所望の成長モードとなるように、各窒化物半導体下地層の成長時の各パラメータの値を決定する。各窒化物半導体下地層の成長時における基板１の温度は、８００℃以上１２５０℃以下であることが好ま

しく、９００℃以上１１５０℃以下であることがより好ましい。窒化物半導体下地層の成長時における基板１の温度が８００℃以上１２５０℃以下である場合、特に９００℃以上１１５０℃以下である場合には、結晶欠陥の少ない結晶性に優れた窒化物半導体下地層を成長させることができる傾向にある。各窒化物半導体下地層の形成時のＭＯＣＶＤ装置内の圧力は、たとえば１００～５００Ｔｏｒｒとすることができ、Ｖ／ＩＩＩ比は、たとえば５００～１４００とすることができ、基板の回転数は、たとえば６００～１２００ｒｐｍとすることができ、キャリアガスの全体積に対する水素ガスの体積割合は５０～９０％とすることができる。

[0086] 図１２は、窒化物半導体構造体の部分拡大断面図を示す。図１２の断面図を参照して、結晶欠陥が少なく結晶性の高い平坦な第４の基板平行面６ａを有する第４の窒化物半導体下地層６の製造に適した各窒化物半導体下地層の成長モードについて説明する。

[0087] 結晶欠陥が少なく結晶性の高い平坦な基板平行面６ａを有する第４の窒化物半導体下地層６を形成するためには、第３の窒化物半導体下地層５の縦方向の結晶欠陥Ｖ５を低減する必要がある。そのためには、第２の窒化物半導体下地層４の縦方向の結晶欠陥Ｖ４を少なくする必要がある。そのためには第２の窒化物半導体下地層４が横方向の結晶欠陥Ｈ４が出来やすいように、第１の窒化物半導体下地層３に縦方向の結晶欠陥Ｖ３を作成することが有効である。したがって、まず第１の窒化物半導体下地層３は斜めファセット面３ａを作りやすい「３次元成長モード」で成長させることが好ましい。これにより、第１の窒化物半導体下地層３の表面は、第１の斜めファセット面３ａを有する構成とすることができる。

[0088] 第２の窒化物半導体下地層４は、第２の基板平行面４ｂが形成されるように「２次元成長モード」もしくは「２．５次元成長モード」で成長させることが好ましい。これにより、第２の斜めファセット面４ａと、第２の基板平行面４ｂとを有するように第２の窒化物半導体下地層４を形成することができる。

[0089] 第３の窒化物半導体下地層５は、第３の斜めファセット面５ａが形成されるように「３次元成長モード」で成長させることが好ましい。これにより第３の斜めファセット面５ａと、第３の基板平行面５ｂとを有するように第３の窒化物半導体下地層５を形成することができる。

[0090] さらに、第４の窒化物半導体下地層６は、第３の斜めファセット面５ａと凸部１ａとの空間を埋め込んで平坦な第４の基板平行面６ａを形成するために「２次元成長モード」で成長させることが好ましい。これにより、結晶欠陥が少なく結晶性が良く、かつ平坦な上面６ａを有する第４の窒化物半導体下地層６を形成することができる。

[0091] すなわち、第１の窒化物半導体下地層３の表面に第１の斜めファセット面３ａを設け、第２の窒化物半導体下地層４を設けることによって窒化物半導体層のｃ（ｌａｙｅｒ）軸方向に伸長する転位を第２の斜めファセット面４ａの方向に曲げることにより、第２の窒化物半導体下地層４のｃ（ｌａｙｅｒ）軸方向に伸長する転位を低減する。

[0092] そして、第３の斜めファセット面５ａを設けることによって、窒化物半導体層のｃ（ｌａｙｅｒ）軸方向に伸長する転位を第３の斜めファセット面５ａの方向に曲げて、その数をさらに低減する。

[0093] このように窒化物半導体層のｃ（ｌａｙｅｒ）軸方向に伸長する転位の数が低減された第３の窒化物半導体下地層５の表面上に、平坦な表面を有する窒化物半導体層の成長を促進する２次元成長モードで第４の窒化物半導体下地層６を成長させることによって、結晶欠陥が少なく結晶性が良く、かつ平坦な基板平行面６ａを有する第４の窒化物半導体下地層６を形成することができる。

[0094] 第１の窒化物半導体下地層３は３次元成長モードであるものの、第３の窒化物半導体下地層５より２次元成長モード寄りの条件が良く、第２の窒化物半導体下地層３は２次元成長モードであるものの第４の窒化物半導体下地層６より３次元成長寄りの条件が良く、第３の窒化物半導体下地層５は最も３次元成長しやすい条件が良く、第４の窒化物半導体下地層６は最も２次元成

長しやすい条件にすることで結晶欠陥の少ない窒化物半導体下地層を作製することが出来る。

[0095] 上記した各下地層の好ましい成長条件を考慮して、上記した（Ａ）基板の温度、（Ｂ）ＭＯＣＶＤ装置内の圧力、（Ｃ）Ｖ／ＩＩＩ比、（Ｄ）基板の回転数、および（Ｅ）キャリアガスの全体積に対する水素ガスの体積比の５つのパラメータを調整して各下地層を形成することができる。

[0096] 第１の窒化物半導体下地層３と第２の窒化物半導体下地層４の成長条件は、以下の成長条件群（I）のＡＩ、ＢＩ、ＣＩ、ＤＩ、ＥＩの少なくとも一つの関係を満たすことが好ましい。

[0097] ＡＩ．第１の窒化物半導体下地層３の形成時の基板の加熱温度は、第２の窒化物半導体下地層４の形成時の基板の加熱温度より低い、

ＢＩ．第１の窒化物半導体下地層３の形成時のＭＯＣＶＤ装置内の圧力は、第２の窒化物半導体下地層４の形成時のＭＯＣＶＤ装置内の圧力より高い、

ＣＩ．第１の窒化物半導体下地層３の形成時に単位時間当たりに供給されるＩＩＩ族元素用原料ガスのモル量に対するＶ族元素用原料ガスのモル量の比率は、第２の窒化物半導体下地層４の形成時の前記比率より高い、

ＤＩ．第１の窒化物半導体下地層３の形成時の基板の単位時間当たりの回転数は、第２の窒化物半導体下地層４の形成時の基板の単位時間当たりの回転数より小さい、

ＥＩ．第１の窒化物半導体下地層３の成長時のキャリアガスの全体積に対する水素ガスの体積比は第２の窒化物半導体下地層４の成長時のキャリアガスの全体積に対する水素ガスの体積比より高い。

[0098] 第１の窒化物半導体下地層３と第３の窒化物半導体下地層５の成長条件は、以下の成長条件群（ＩＩ）のＡＩＩ、ＢＩＩ、ＣＩＩ、ＤＩＩ、ＥＩＩの少なくとも一つの関係を満たすことが好ましい。

[0099] ＡＩＩ：第１の窒化物半導体下地層３の形成時の基板の加熱温度は、第３の窒化物半導体下地層５の形成時の基板の加熱温度より高い、

ＢＩＩ：第１の窒化物半導体下地層３の形成時のＭＯＣＶＤ装置内の圧力は、第３の窒化物半導体下地層５の形成時のＭＯＣＶＤ装置内の圧力より低い、

ＣＩＩ：第１の窒化物半導体下地層３の形成時に供給されるガスのＶ／ＩＩＩ比は第３の窒化物半導体下地層５の形成時に供給されるガスのＶ／ＩＩＩ比より低い、

ＤＩＩ：第１の窒化物半導体下地層３の形成時の基板の単位時間当たりの回転数は、第３の窒化物半導体下地層５の形成時の基板の単位時間当たりの回転数より大きい、

ＥＩＩ：第１の窒化物半導体下地層３の成長時のキャリアガスの全体積に対する水素ガスの体積比は第３の窒化物半導体下地層５の成長時のキャリアガスの全体積に対する水素ガスの体積比より低い。

[0100] 第２の窒化物半導体下地層４と第４の窒化物半導体下地層６の成長条件は、以下の成長条件群（ＩＩＩ）のＡＩＩＩ、ＢＩＩＩ、ＣＩＩＩ、ＤＩＩＩ、ＥＩＩＩの少なくとも一つの関係を満たすことが好ましい。

[0101] ＡＩＩＩ：第４の窒化物半導体下地層６の形成時の基板の加熱温度は、第２の窒化物半導体下地層４の形成時の基板の加熱温度より高い、

ＢＩＩＩ：第４の窒化物半導体下地層６の形成時のＭＯＣＶＤ装置内の圧力は、第２の窒化物半導体下地層４の形成時のＭＯＣＶＤ装置内の圧力より低い、

ＣＩＩＩ：第４の窒化物半導体下地層６の形成時に供給されるガスのＶ／ＩＩＩ比は第２の窒化物半導体下地層４の形成時に供給されるガスのＶ／ＩＩＩ比より低い、

ＤＩＩＩ：第４の窒化物半導体下地層６の形成時の基板の単位時間当たりの回転数は第２の窒化物半導体下地層４の成長時の基板１の単位時間当たりの回転数より大きい。

[0102] ＥＩＩＩ：第４の窒化物半導体下地層６の形成時のキャリアガスの全体積に対する水素ガスの体積比は第２の窒化物半導体下地層４の形成時のキャリ

アガスの全体積に対する水素ガスの体積比より低い。

[0103] 第１の窒化物半導体下地層３、第２の窒化物半導体下地層４、第３の窒化物半導体下地層５、第４の窒化物半導体下地層６を形成する窒化物半導体としては、たとえば、$Al_{x2}Ga_{y2}In_{z2}N$（０≦ｘ２≦１、０≦ｙ２≦１、０≦ｚ２≦１、ｘ２＋ｙ２＋ｚ２≠０）の式で表わされるＩＩＩ族窒化物半導体を用いることができる。また、第１の窒化物半導体下地層３、第２の窒化物半導体下地層４、第３の窒化物半導体下地層５、および第４の窒化物半導体下地層６は材料としては同じ組成とし、成長条件のみを変えて形成することが好ましい。

[0104] 第１の窒化物半導体下地層３の成長時における成長モードから第２の窒化物半導体下地層４の成長時における成長モードへの切り替え、第２の窒化物半導体下地層４の成長時における成長モードから第３の窒化物半導体下地層５の成長時における成長モードへの切り替え、第３の窒化物半導体下地層５の成長時における成長モードから第４の窒化物半導体下地層６の成長時における成長モードへの切り替え時に、それぞれ、たとえば２秒～６０秒程度の成長中断時間を設け、その間に成長条件を変更することが好ましいが、連続的に条件を変化させてもよい。

[0105] 第１の窒化物半導体下地層３、第２の窒化物半導体下地層４、第３の窒化物半導体下地層５および第４の窒化物半導体下地層６としては、それぞれ、柱状結晶の集合体からなる窒化物半導体中間層２中の転位などの結晶欠陥を引き継がないようにするために、ＩＩＩ族元素としてＧａを含む窒化物半導体層を用いることが好ましい。

[0106] ここで、窒化物半導体中間層２中の転位を引き継がないようにするためには窒化物半導体中間層２との界面付近で転位をループさせる必要があるが、第１の窒化物半導体下地層３がＧａを含むＩＩＩ族窒化物半導体からなる場合には転位のループが生じやすい。

[0107] 上記したように、Ｇａを含むＩＩＩ族窒化物半導体からなる第１の窒化物半導体下地層３、第２の窒化物半導体下地層４、第３の窒化物半導体下地層

５、および第４の窒化物半導体下地層６をそれぞれ用いることによって、窒化物半導体中間層２との界面付近で転位をループ化して閉じ込めて、窒化物半導体中間層２から第２の窒化物半導体下地層４に転位が引き継がれるのを抑えることができる。

[0108] 第１の窒化物半導体下地層３、第２の窒化物半導体下地層４、第３の窒化物半導体下地層５、および第４の窒化物半導体下地層６をそれぞれアンドープとすることが好ましいが、第１の窒化物半導体下地層３、第２の窒化物半導体下地層４、第３の窒化物半導体下地層５、および第４の窒化物半導体下地層６をそれぞれｎ型ドープとしてもよい。ｎ型ドープとする場合には、ｎ型ドーパントが１×１０^{17}ｃｍ$^{-3}$以上１×１０^{19}ｃｍ$^{-3}$以下の範囲でドーピングされていてもよい。

[0109] ｎ型ドーパントとしては、たとえば、シリコン、ゲルマニウムおよび錫からなる群から選択された少なくとも１つなどを用いることができ、なかでもシリコンを用いることが好ましい。ｎ型ドーパントにシリコンを用いる場合には、ｎ型ドーピングガスとしてはシランガスまたはジシランガスを用いることが好ましい。

[0110] 本実施形態の窒化物半導体構造体１０は、窒化物半導体発光ダイオード素子などの窒化物半導体発光素子、窒化物半導体トランジスタ素子などの電子デバイスの構成要素として用いることができる。本実施形態の窒化物半導体構造体１０を用いると、結晶性の高い窒化物半導体発光素子を作成することが可能となり、内部量子効率の向上、リーク不良の低減等の効果がある。本実施形態の窒化物半導体構造体１０を用いると、結晶性の高い窒化物半導体トランジスタ素子を作成することが可能となり、リーク不良の低減等の効果がある。

[0111] ＜実施形態２＞

［窒化物半導体発光ダイオード素子の構造］

本実施形態は、実施形態１の窒化物半導体構造体と、窒化物構造体上に形成された積層構造を有する窒化物半導体発光ダイオード素子である。図１３

は、本実施形態の窒化物半導体発光ダイオード素子を模式的に示す断面図である。図１３に示す窒化物半導体発光ダイオード素子１００は、実施形態１の窒化物半導体構造体１０の平坦な第４の基板平行面６ａ上に、ｎ型窒化物半導体コンタクト層７、ｎ型窒化物半導体クラッド層９、窒化物半導体活性層１１、ｐ型窒化物半導体クラッド層１３、ｐ型窒化物半導体コンタクト層１５、透光性電極層１９が順に積層されている。透光性電極層１９の上には、ｐ側電極２１が設けられている。また、ｎ型窒化物半導体コンタクト層７の表面の一部にｎ側電極２０が設けられている。ｐ側電極２１およびｎ側電極２０以外の露出している表面は、絶縁保護膜２３で被覆されている。以下、本実施形態の窒化物半導体発光ダイオード素子１００の製造方法を説明する。以下において、後述する工程間に他の工程が含まれていてもよいことは言うまでもない。

[0112] ［窒化物半導体発光ダイオード素子の製造方法］

まず、たとえばＭＯＣＶＤ法によって、窒化物半導体構造体１０の第４下地層６の平坦な第４の基板平行面６ａ上にｎ型窒化物半導体コンタクト層７を形成する。次に、ｎ型窒化物半導体コンタクト層７の表面上にｎ型窒化物半導体クラッド層９を形成する。次に、ｎ型窒化物半導体クラッド層９の表面上に窒化物半導体活性層１１を形成する。次に、窒化物半導体活性層１１の表面上にｐ型窒化物半導体クラッド層１３を形成する。次に、ｐ型窒化物半導体クラッド層１３の表面上にｐ型窒化物半導体コンタクト層１５を形成する。

[0113] 次に、ｐ型窒化物半導体コンタクト層１５の表面上にたとえばＩＴＯ（Ｉｎｄｉｕｍ　Ｔｉｎ　Ｏｘｉｄｅ）からなる透光性電極層１９を形成した後に、透光性電極層１９の表面上にｐ側電極２１を形成する。ｐ側電極２１としては、たとえば、ニッケル層、アルミニウム層、チタン層および金層の積層膜を形成することができる。

[0114] 次に、ｐ側電極２１の形成後の積層体の一部をエッチングにより除去することによって、ｎ型窒化物半導体コンタクト層７の表面の一部を露出させる

。

[0115] 次に、ｎ型窒化物半導体コンタクト層７の露出した表面上にｎ側電極２０を形成する。ｎ側電極２０としては、たとえば、ニッケル層、アルミニウム層、チタン層および金層の積層膜を形成することができる。

[0116] その後、ｎ側電極２０の形成後の積層体の全面にSiO_2などの絶縁保護膜２３を形成し、ｐ側電極２１およびｎ側電極２０が露出するように絶縁保護膜２３に開口部を設け、複数の窒化物半導体発光ダイオード素子１００が形成されたウエハを個別の素子に分割することによって、実施形態１の窒化物半導体発光ダイオード素子１００を作製することができる。

[0117] ここで、ウエハの分割は、たとえば、基板１上に上記の構造を形成したウエハの裏面を研削および研磨してミラー状の面とした後に、ウエハを１辺が１００μｍ～１０００μｍの長方形状のチップに分割することによって行なうことができる。

[0118] 以上のようにして作製した実施形態１の窒化物半導体発光ダイオード素子１００は、結晶性が良好で平坦な第４の基板平行面６ａ上にｎ型窒化物半導体コンタクト層７、ｎ型窒化物半導体クラッド層９、窒化物半導体活性層１１、ｐ型窒化物半導体クラッド層１３およびｐ型窒化物半導体コンタクト層１５がこの順序で積層されている。

[0119] そのため、ｎ型窒化物半導体コンタクト層７、ｎ型窒化物半導体クラッド層９、窒化物半導体活性層１１、ｐ型窒化物半導体クラッド層１３およびｐ型窒化物半導体コンタクト層１５については転位密度が低くなり、優れた結晶性を有するように構成することができる。

[0120] したがって、このような優れた結晶性を有する窒化物半導体層を備える実施形態２の窒化物半導体発光ダイオード素子１００は、動作電圧が低く、発光出力の高い素子となり、さらに効率良く製造することができる。

[0121] ＜実施形態３＞

［発光装置］

本実施形態は、実施形態２の窒化物半導体発光ダイオード素子を構成要素

として有する発光装置である。図１４は、本実施形態の発光装置を模式的に示す断面図である。図１４に示す発光装置１１０は、実施形態２の窒化物半導体発光ダイオード素子１００を構成要素とする。発光装置１１０は、窒化物半導体発光ダイオード素子１００を第２のリードフレーム３１上に設置し、窒化物半導体発光ダイオード素子１００のｐ側電極２１と第１のリードフレーム３０とを第１のワイヤ３３で電気的に接続するとともに、窒化物半導体発光ダイオード素子１００のｎ側電極２０と第２のリードフレーム３１とを第２のワイヤ３４で電気的に接続する。そして、透明なモールド樹脂３５で窒化物半導体発光ダイオード素子１００をモールドすることによって、砲弾型の形状の発光装置１１０を製造することができる。

[0122] 図１４に示す構成の実施形態３の発光装置１１０は、実施形態２の窒化物半導体発光ダイオード素子１００を用いていることから、動作電圧が低く、発光出力が高く、効率良く製造することができる発光装置とすることができる。

[0123] ＜実施形態４＞

［窒化物半導体トランジスタ素子］

実施形態４は、実施形態１の窒化物半導体構造体１０と、窒化物半導体構造体１０上に形成された積層構造を有する窒化物半導体トランジスタ素子である。図１５は、本実施形態の窒化物半導体トランジスタ素子を模式的に示す断面図である。窒化物半導体トランジスタ素子３００の構成要素として用いられている窒化物半導体構造体１０は、凸部１ａが等価な３つのａ（ｓｕｂ）軸方向に配されたｃ面を主面とするサファイア基板からなる基板１と、基板１の表面上に、順次積層された、ＡｌＮなどからなる窒化物半導体中間層２と、アンドープＧａＮなどからなる第１の窒化物半導体下地層３と、アンドープＧａＮなどからなる第２の窒化物半導体下地層４と、アンドープＧａＮなどからなる第３の窒化物半導体下地層５と、アンドープＧａＮなどからなる第４の窒化物半導体下地層６からなる。

[0124] そして、結晶欠陥の少ない良好な結晶性を有する第４の窒化物半導体下地

層６の平坦な第４の基板平行面６ａ上にアンドープＧａＮなどからなる窒化物半導体電子走行層７１が積層され、窒化物半導体電子走行層７１の表面上にｎ型ＡｌＧａＮなどからなるｎ型窒化物半導体電子供給層７３が積層されている。

[0125] ｎ型窒化物半導体電子供給層７３の表面上にはゲート電極７７が備えられており、ゲート電極７７の両側にｎ型ＧａＮなどからなるソースコンタクト層７５Ｓとドレインコンタクト層７５Ｄとが備えられている。また、ソースコンタクト層７５Ｓ上にソース電極７８Ｓが備えられており、ドレインコンタクト層７５Ｄ上にドレイン電極７８Ｄが備えられている。

[0126] 実施形態４の窒化物半導体トランジスタ素子３００においても、結晶性が高い第４の窒化物半導体下地層６の平坦な第４の基板平行面６ａ上に、窒化物半導体電子走行層７１およびｎ型窒化物半導体電子供給層７３などの窒化物半導体層を積層している。これにより、特に、窒化物半導体電子走行層７１の最上面の２次元電子走行領域における結晶欠陥が低減するため、電子の移動度を向上させることができる。

符号の説明

[0127] １ 基板、１ａ 凸部、１ｂ 凹領域、２ 窒化物半導体中間層、３ 第１の窒化物半導体下地層、３ａ 第１の斜めファセット面、３ｂ 第１の基板平行面、４ 第２の窒化物半導体下地層、４ａ 第２の斜めファセット面、４ｂ 第２の基板平行面、５ 第３の窒化物半導体下地層、５ａ 第３の斜めファセット面、５ｂ 第３の基板平行面、６ 第４の窒化物半導体下地層、６ａ 第４の基板平行面、７ ｎ型窒化物半導体コンタクト層、９ ｎ型窒化物半導体クラッド層、１０ 窒化物半導体構造体、１１ 窒化物半導体活性層、１３ ｐ型窒化物半導体クラッド層、１５ ｐ型窒化物半導体コンタクト層、１９ 透光性電極層、２０ ｎ側電極、２１ ｐ側電極、２３ 絶縁保護膜、３０ 第１のリードフレーム、３１ 第２のリードフレーム、３３ 第１のワイヤ、３４ 第２のワイヤ、７１ 窒化物半導体電子走行層、７３ ｎ型窒化物半導体電子供給層、７７ ゲート電極、７５Ｓ ソー

スコンタクト層、７５Ｄ　ドレインコンタクト層、７８Ｓ　ソース電極、７８Ｄ　ドレイン電極、１００　半導体発光ダイオード素子、１１０　発光装置、３００　窒化物半導体トランジスタ。

請求の範囲

[請求項1] 三方晶コランダムまたは六方晶の結晶からなり、表面に複数の凸部を有するとともに表面が窒化物半導体中間層で被覆された基板と、

前記基板上の前記凸部と前記凸部の間に、前記凸部の中心を含む少なくとも一部の表面が露出するように順に設けられた、第１の窒化物半導体下地層と、前記第１の窒化物半導体下地層の全体を被覆する第２の窒化物半導体下地層と、前記第２の窒化物半導体下地層の全体を被覆する第３の窒化物半導体下地層と、

前記凸部の前記露出した表面および前記第３の窒化物半導体下地層の全体を被覆する第４の窒化物半導体下地層と、を備え、

前記第１の窒化物半導体下地層は、第１の斜めファセット面を有し、

前記第２の窒化物半導体下地層は、第２の斜めファセット面と第２の基板平行面を有し、

前記第３の窒化物半導体下地層は、第３の斜めファセット面と第３の基板平行面を有する、窒化物半導体構造体。

[請求項2] 前記第１の窒化物半導体下地層は、さらに第１の基板平行面を有する、請求項１に記載の窒化物半導体構造体。

[請求項3] 前記第１の窒化物半導体下地層は、前記基板の主面に垂直な方向からの平面視において、前記第１の斜めファセット面の面積割合が、前記第１の基板平行面の面積割合よりも大きい、請求項２に記載の窒化物半導体構造体。

[請求項4] 前記第２の窒化物半導体下地層は、前記基板の主面に垂直な方向からの平面視において、前記第２の斜めファセット面の面積割合が、前記第２の基板平行面の面積割合よりも小さい、請求項１～３のいずれかに記載の窒化物半導体構造体。

[請求項5] 前記第３の窒化物半導体下地層は、前記基板の主面に垂直な方向からの平面視において、前記第３の斜めファセット面の面積割合が、前

記第３の基板平行面の面積割合よりも大きい、請求項１～４のいずれかに記載の窒化物半導体構造体。

[請求項6] 前記第１の斜めファセット面の前記基板の主面に対する角度をθ１、前記第２の斜めファセット面の前記基板の主面に対する角度をθ２とすると、θ１＜θ２の関係を満たす、請求項１～５のいずれかに記載の窒化物半導体構造体。

[請求項7] 前記第３の斜めファセット面の前記基板の主面に対する角度をθ３とすると、θ１＜θ３＜θ２の関係を満たす、請求項６に記載の窒化物半導体構造体。

[請求項8] 請求項１に記載の窒化物半導体構造体と、前記窒化物半導体構造体上に形成された積層構造とを有する、窒化物半導体発光素子。

[請求項9] 請求項１に記載の窒化物半導体構造体と、前記窒化物半導体構造体上に形成された積層構造を有する、窒化物半導体トランジスタ素子。

[請求項10] 三方晶コランダムまたは六方晶の結晶からなり、表面に複数の凸部を有する基板の前記表面上に、前記表面の形状を反映するように窒化物半導体中間層を形成する工程と、

第１の斜めファセット面を有する、第１の窒化物半導体下地層を、前記基板の表面上の前記凸部と前記凸部の間に、前記凸部の中心を含む少なくとも一部の表面が露出するように形成する工程と、

第２の斜めファセット面および第２の基板平行面を有する、第２の窒化物半導体下地層を、前記基板の表面上の前記凸部と前記凸部の間に、前記第１の窒化物半導体下地層の全体を被覆しかつ前記凸部の中心を含む少なくとも一部の表面が露出するように形成する工程と、

第３の斜めファセット面および第３の基板平行面を有する、第３の窒化物半導体下地層を、前記基板の表面上の前記凸部と前記凸部の間に、前記第２の窒化物半導体下地層の全体を被覆しかつ前記凸部の中心を含む少なくとも一部の表面が露出するように形成する工程と、

第４の窒化物半導体下地層を、前記凸部の前記第３の窒化物半導体

下地層で被覆されていない表面と、前記第３の窒化物半導体下地層の全体を被覆するように形成する工程と、を備える、窒化物半導体構造体の製造方法。

［請求項11］ 前記第１の窒化物半導体下地層と、前記第２の窒化物半導体下地層と、前記第３の窒化物半導体下地層と、前記第４の窒化物半導体下地層とは、有機金属気相成長法により形成され、

前記有機金属気相成長法は、有機金属気相成長装置内で、前記基板を加熱するとともに前記基板を回転させながら、Ｖ族元素用原料ガスとＩＩＩ族元素用原料ガスとを、水素ガスを含むキャリアガスとともに供給し、有機金属気相成長装置内の圧力を上げて行ない、

第１の窒化物半導体下地層を形成する条件と、第２の窒化物半導体下地層を形成する条件とは、以下のＡＩ，ＢＩ，ＣＩ，ＤＩおよびＥＩの関係の内、少なくとも１つの関係を満たす、

ＡＩ．第１の窒化物半導体下地層の形成時の基板の加熱温度は、第２の窒化物半導体層の形成時の基板の加熱温度より低い、

ＢＩ．第１の窒化物半導体下地層の形成時の有機金属気相成長装置内の圧力は、第２の窒化物半導体下地層の形成時の有機金属気相成長装置内の圧力より高い、

ＣＩ．第１の窒化物半導体下地層の形成時に単位時間当たりに供給されるＩＩＩ族元素用原料ガスのモル量に対するＶ族元素用原料ガスのモル量の比率は、第２の窒化物半導体下地層の形成時の前記比率より高い、

ＤＩ．第１の窒化物半導体下地層の形成時の基板の単位時間当たりの回転数は、第２の窒化物半導体下地層の形成時の基板の単位時間当たりの回転数より小さい、

ＥＩ．第１の窒化物半導体下地層の形成時のキャリアガスの全体積に対する水素ガスの体積比は、第２の窒化物半導体下地層の形成時のキャリアガスの全体積に対する水素ガスの体積比より高い、

請求項１０に記載の窒化物半導体構造体の製造方法。

[請求項12] 前記第１の窒化物半導体下地層と、前記第２の窒化物半導体下地層と、前記第３の窒化物半導体下地層と、前記第４の窒化物半導体下地層とは、有機金属気相成長法により形成され、

前記有機金属気相成長法は、有機金属気相成長装置内で、前記基板を加熱するとともに前記基板を回転させながら、Ｖ族元素用原料ガスとＩＩＩ族元素用原料ガスとを、水素ガスを含むキャリアガスとともに供給し、有機金属気相成長装置内の圧力を上げて行ない、

第１の窒化物半導体下地層を形成する条件と、第３の窒化物半導体下地層を形成する条件とは、以下のＡＩＩ，ＢＩＩ，ＣＩＩ，ＤＩＩおよびＥＩＩの関係の内、少なくとも１つの関係を満たす、

ＡＩＩ．第１の窒化物半導体下地層の形成時の基板の加熱温度は、第３の窒化物半導体層の形成時の基板の加熱温度より高い、

ＢＩＩ．第１の窒化物半導体下地層の形成時の有機金属気相成長装置内の圧力は、第３の窒化物半導体下地層の形成時の有機金属気相成長装置内の圧力より低い、

ＣＩＩ．第１の窒化物半導体下地層の形成時に単位時間当たりに供給されるＩＩＩ族元素用原料ガスのモル量に対するＶ族元素用原料ガスのモル量の比率は、第３の窒化物半導体下地層の形成時の前記比率より低い、

ＤＩＩ．第１の窒化物半導体下地層の形成時の基板の単位時間当たりの回転数は、第３の窒化物半導体下地層の形成時の基板の単位時間当たりの回転数より大きい、

ＥＩＩ．第１の窒化物半導体下地層の形成時のキャリアガスの全体積に対する水素ガスの体積比は、第３の窒化物半導体下地層の形成時のキャリアガスの全体積に対する水素ガスの体積比より低い、

請求項１０または１１に記載の窒化物半導体構造体の製造方法。

[請求項13] 前記第１の窒化物半導体下地層と、前記第２の窒化物半導体下地層

と、前記第３の窒化物半導体下地層と、前記第４の窒化物半導体下地層とは、有機金属気相成長法により形成され、

前記有機金属気相成長法は、有機金属気相成長装置内で、前記基板を加熱するとともに前記基板を回転させながら、Ｖ族元素用原料ガスとＩＩＩ族元素用原料ガスとを、水素ガスを含むキャリアガスとともに供給し、有機金属気相成長装置内の圧力を上げて行ない、

第２の窒化物半導体下地層を形成する条件と、第４の窒化物半導体下地層を形成する条件とは、以下のＡＩＩＩ，ＢＩＩＩ，ＣＩＩＩ，ＤＩＩＩおよびＥＩＩＩの関係の内、少なくとも１つの関係を満たす、

ＡＩＩＩ．第４の窒化物半導体下地層の形成時の基板の加熱温度は、第２の窒化物半導体層の形成時の基板の加熱温度より高い、

ＢＩＩＩ．第４の窒化物半導体下地層の形成時の有機金属気相成長装置内の圧力は、第２の窒化物半導体下地層の形成時の有機金属気相成長装置内の圧力より低い、

ＣＩＩＩ．第４の窒化物半導体下地層の形成時に単位時間当たりに供給されるＩＩＩ族元素用原料ガスのモル量に対するＶ族元素用原料ガスのモル量の比率は、第２の窒化物半導体下地層の形成時の前記比率より低い、

ＤＩＩＩ．第４の窒化物半導体下地層の形成時の基板の単位時間当たりの回転数は、第２の窒化物半導体下地層の形成時の基板の単位時間当たりの回転数より大きい、

ＥＩＩＩ．第４の窒化物半導体下地層の形成時のキャリアガスの全体積に対する水素ガスの体積比は、第２の窒化物半導体下地層の形成時のキャリアガスの全体積に対する水素ガスの体積比より低い、

請求項１０～１２のいずれかに記載の窒化物半導体構造体の製造方法。

[図1]

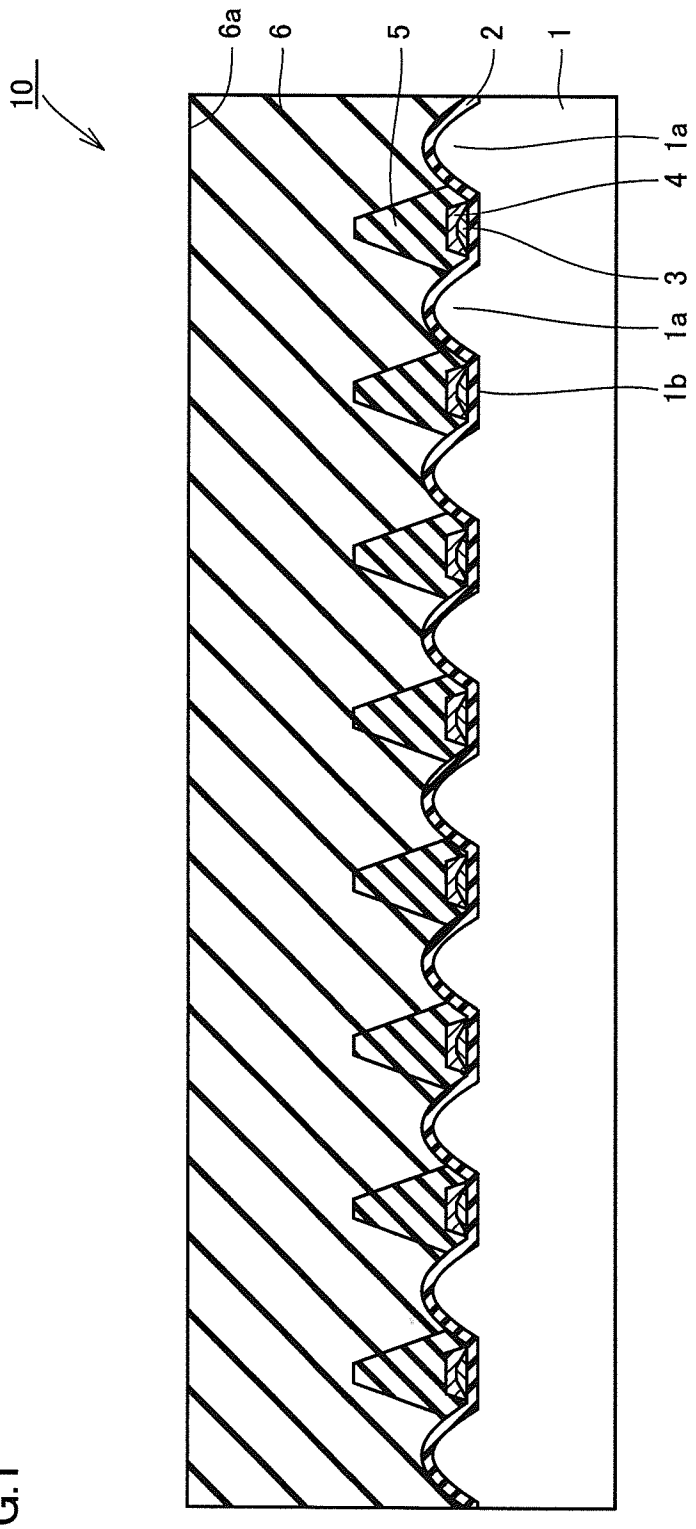


FIG.1

[図2]

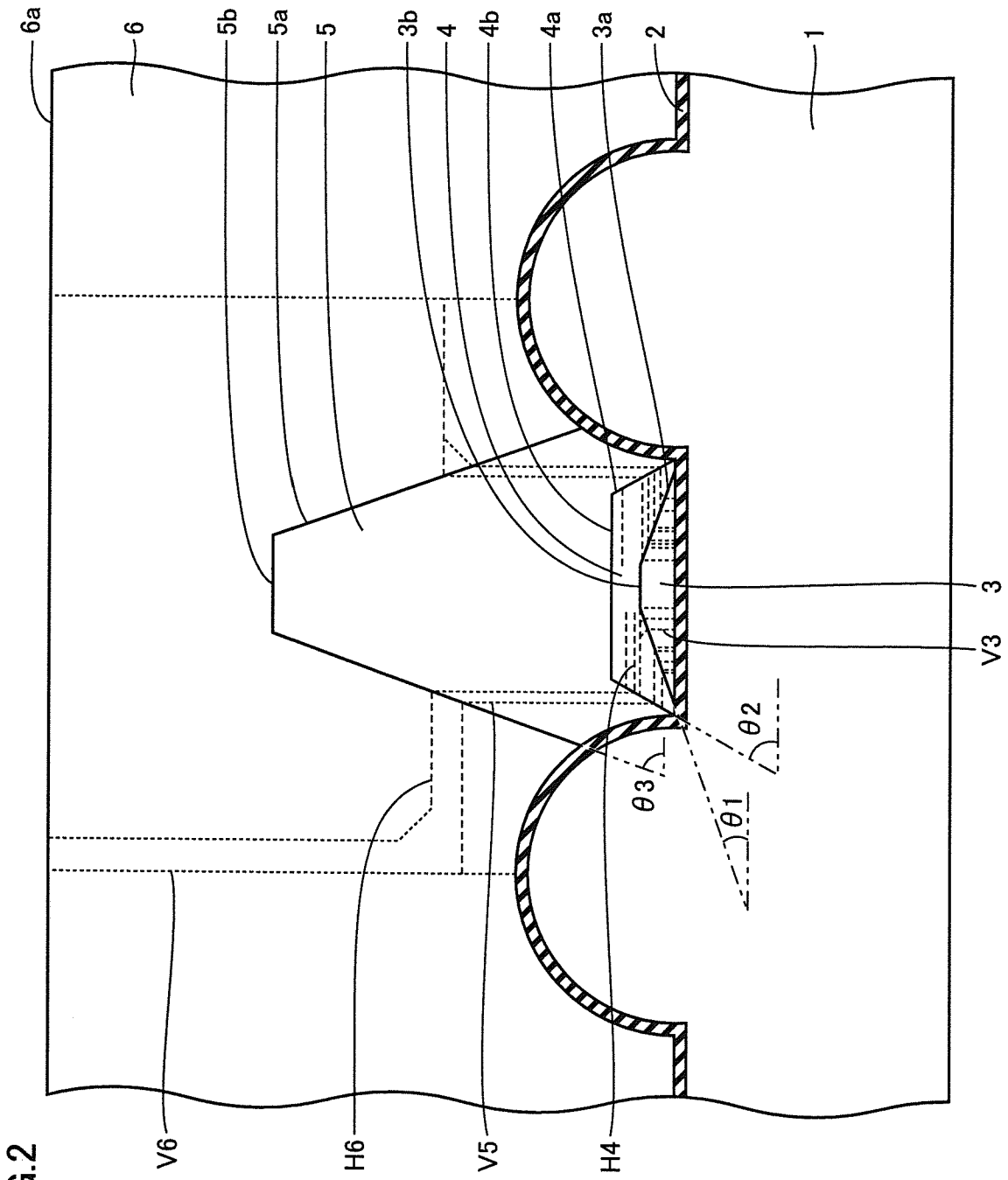
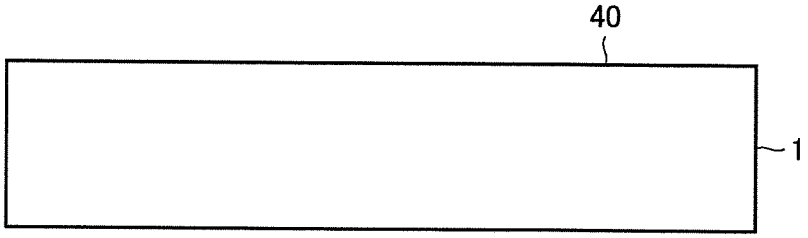


FIG.2

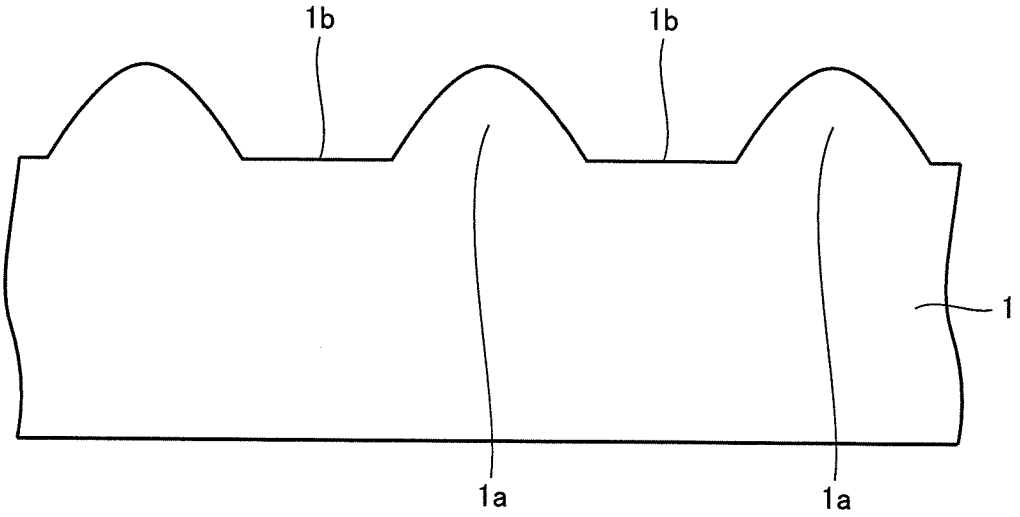
[図3]

FIG.3



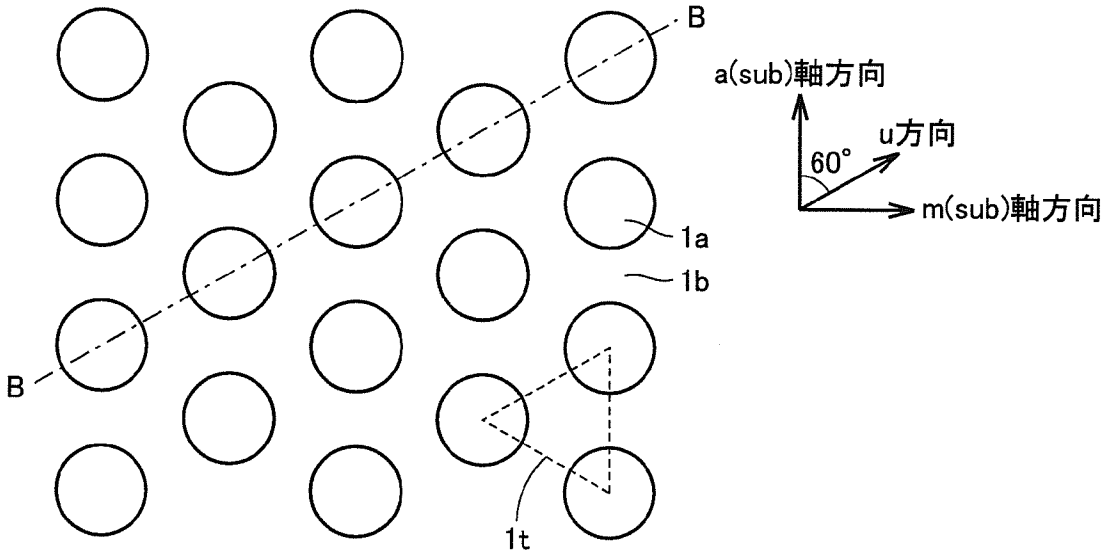
[図4]

FIG.4



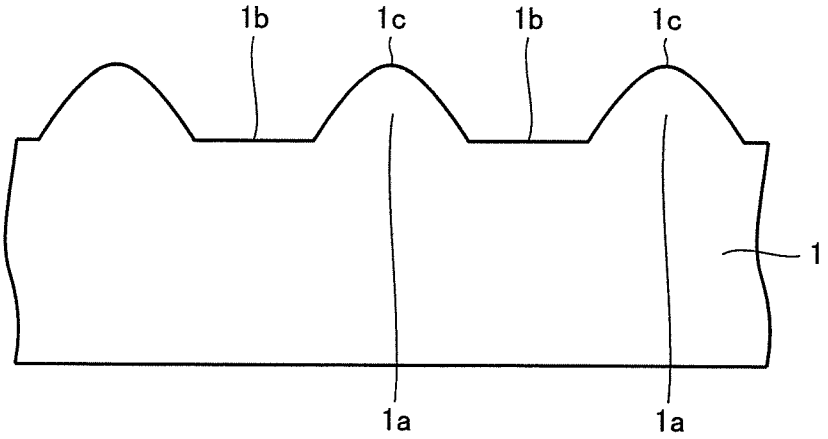
[図5]

FIG.5



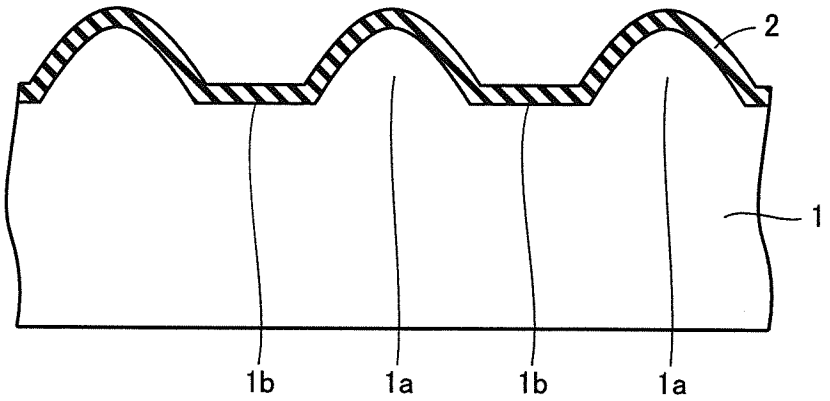
[図6]

FIG.6



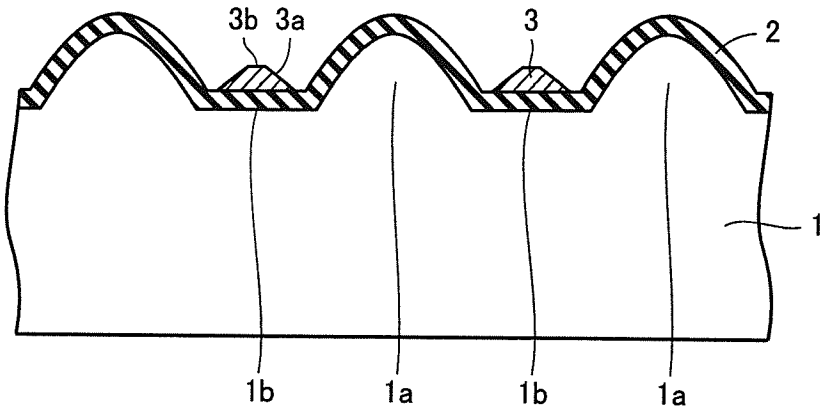
[図7]

FIG.7



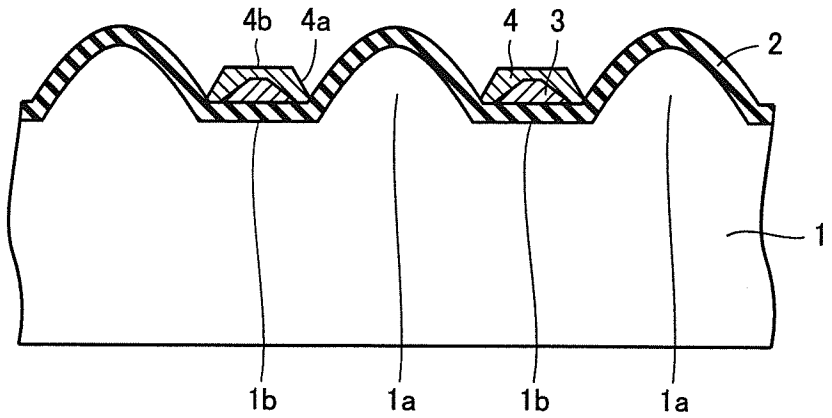
[図8]

FIG.8



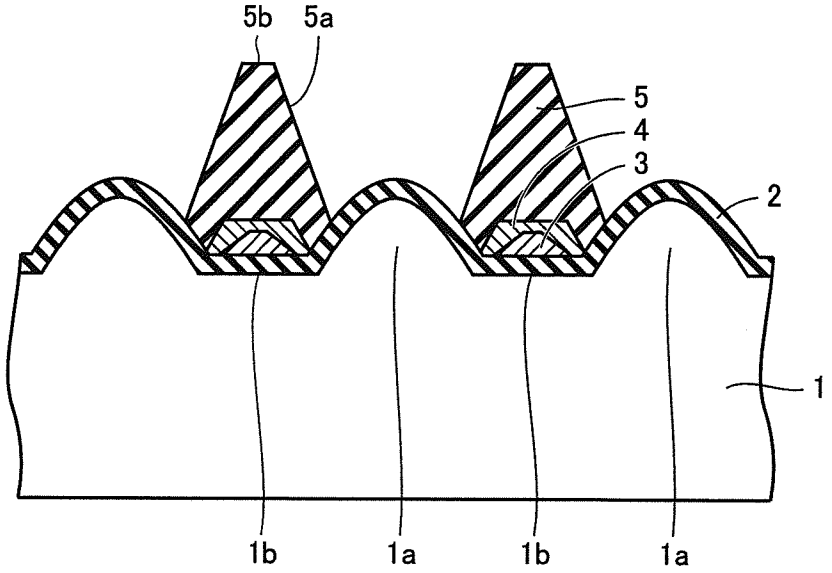
[図9]

FIG.9



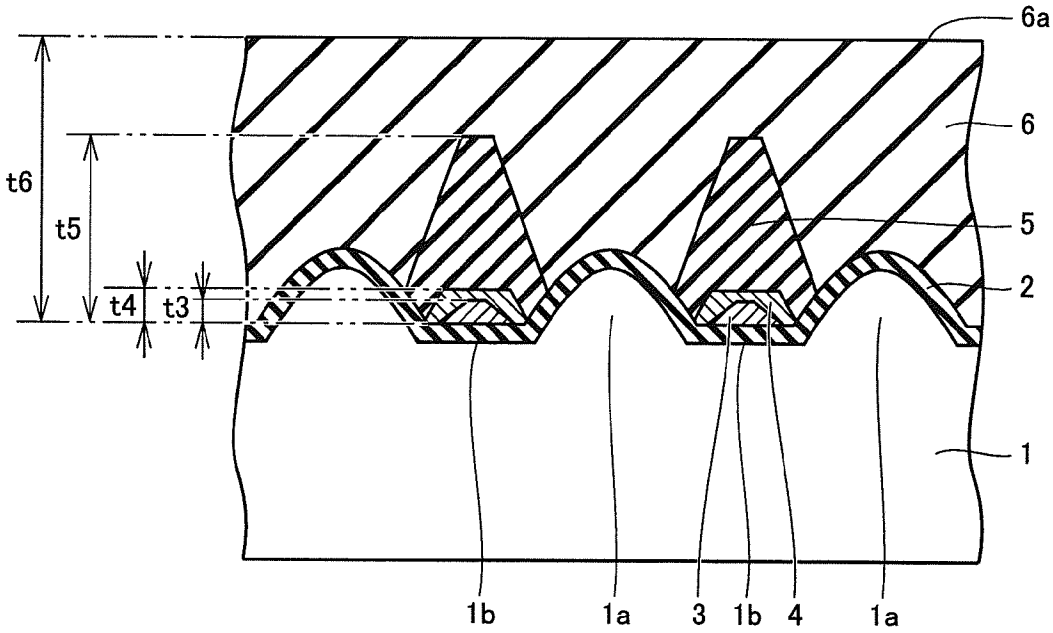
[図10]

FIG.10



[図11]

FIG.11



[図12]

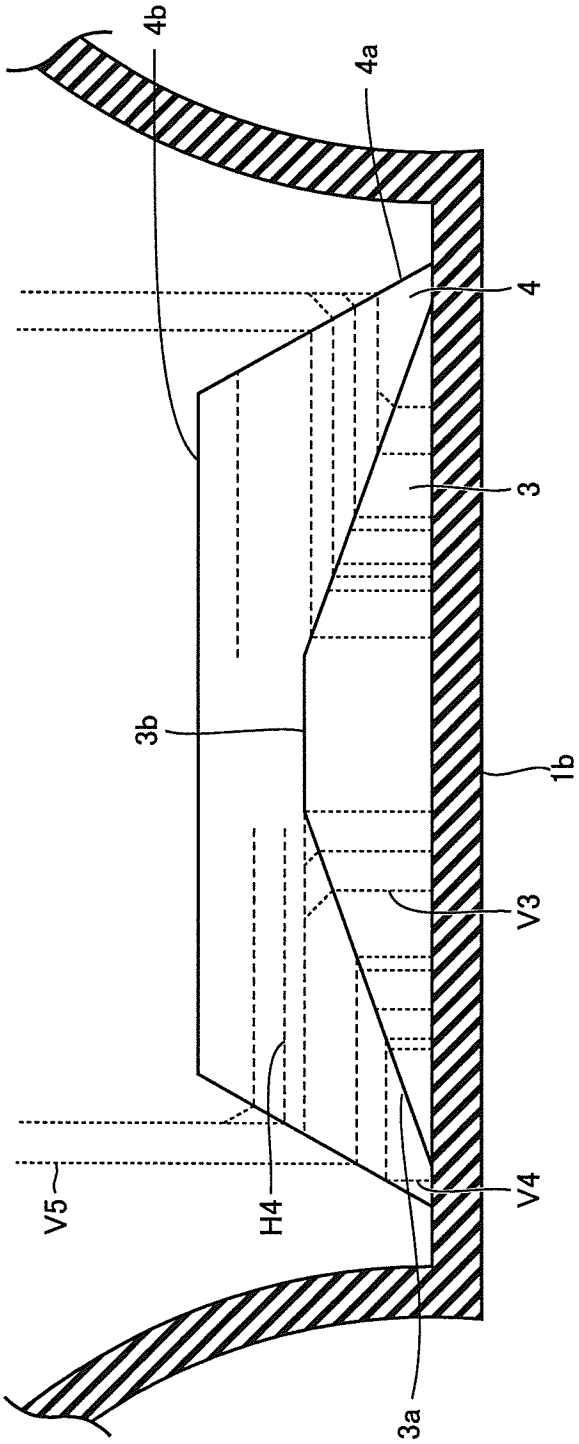


FIG.12

[図13]

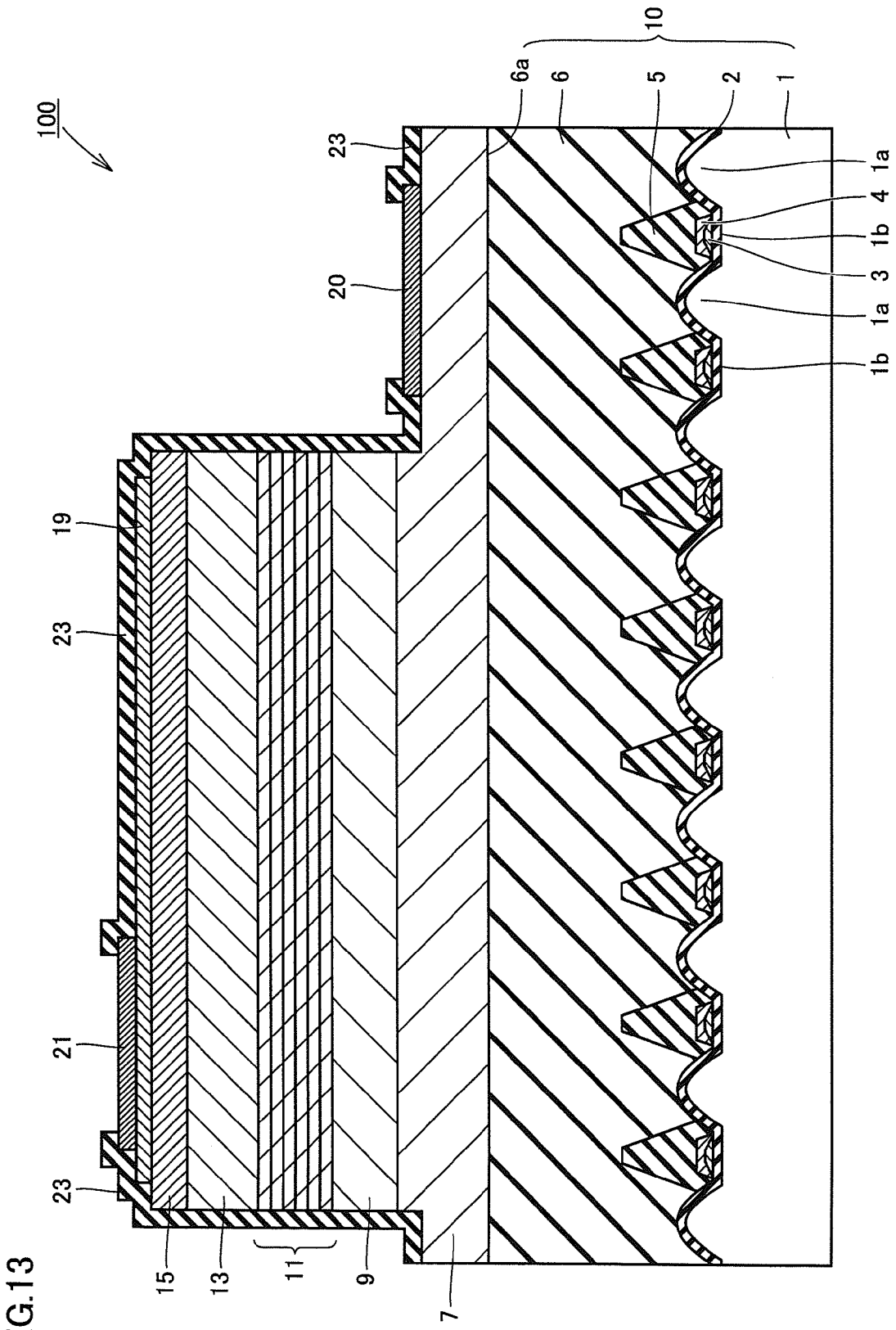


FIG.13

[図14]

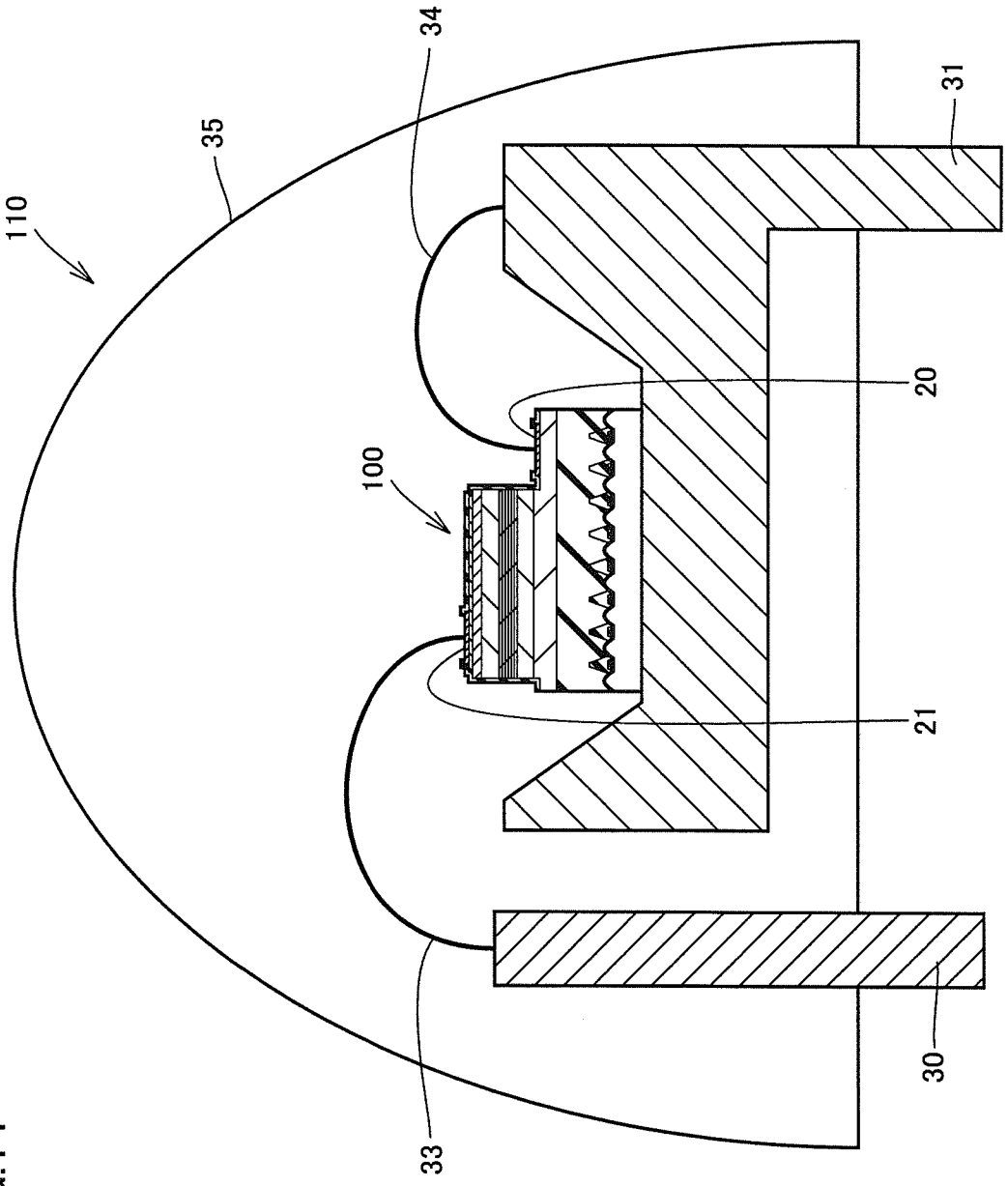


FIG.14

[図15]

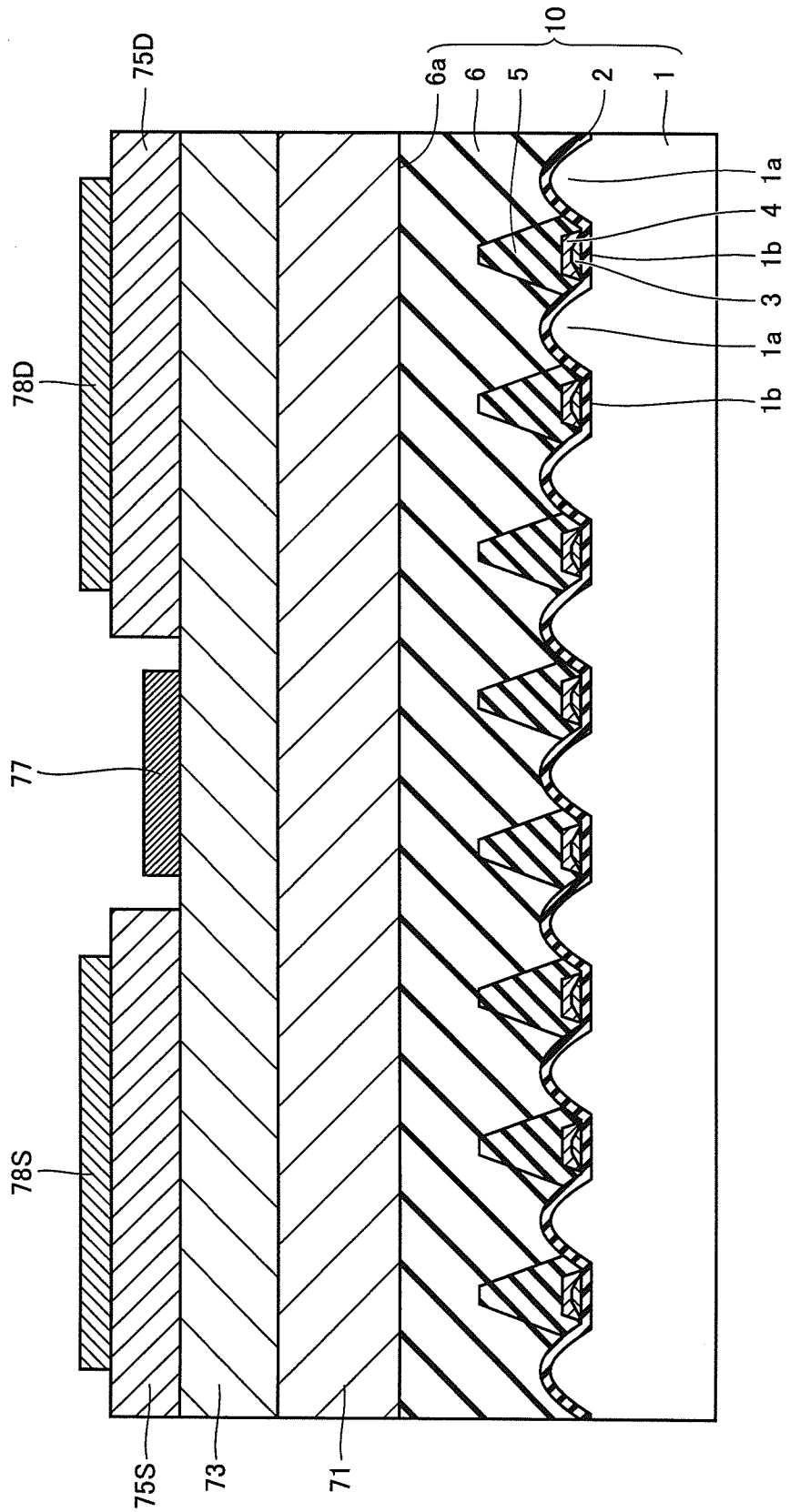


FIG.15

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2013/070466

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
H01L21/205(2006.01)i, *C23C16/34*(2006.01)i, *C30B25/18*(2006.01)i, *C30B29/38*(2006.01)i, *H01L21/338*(2006.01)i, *H01L29/778*(2006.01)i, *H01L29/812*(2006.01)i, *H01L31/10*(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, C23C16/34, C30B25/18, C30B29/38, H01L21/338, H01L29/778, H01L29/812, H01L31/10, 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 1996-2013
Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2013 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2013

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 2010-040867 A (Showa Denko Kabushiki Kaisha), 18 February 2010 (18.02.2010), paragraphs [0097] to [0111]; fig. 5, 6 & US 2011/0147763 A1 & US 2012/0248457 A1 & WO 2010/016532 A1	1-5,8-10 6,7,11-13
A	JP 2002-246698 A (Sharp Corp.), 30 August 2002 (30.08.2002), paragraphs [0030] to [0085]; fig. 1 to 7 & US 2004/0041156 A1 & WO 2002/065556 A1	1-13

☒ 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	Date of mailing of the international search report
08 October, 2013 (08.10.13)	22 October, 2013 (22.10.13)
Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office Facsimile No.	Authorized officer Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2013/070466

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 2006-352084 A (Sony Corp.), 28 December 2006 (28.12.2006), paragraphs [0042] to [0067]; fig. 1 to 22 & US 2006/0258027 A1 & US 2010/0308349 A1 & EP 1724846 A2 & KR 10-2006-0118349 A & CN 101232067 A & TWB 00I300245 & CN 1874022 A	1-13
A	JP 2005-101566 A (Nichia Chemical Industries, Ltd.), 14 April 2005 (14.04.2005), paragraphs [0052] to [0062]; fig. 1 to 3 & JP 2008-10894 A & JP 2011-77562 A & US 2005/0179130 A1 & US 2010/0197055 A1 & EP 1667241 A1 & WO 2005/018008 A1 & KR 10-2006-0079196 A & TWB 00I361534 & KR 10-1183776 B	1-13

国際調査報告

国際出願番号　ＰＣＴ／ＪＰ２０１３／０７０４６６

Ａ．　発明の属する分野の分類（国際特許分類（ＩＰＣ））

Int.Cl.　H01L21/205(2006.01)i, C23C16/34(2006.01)i, C30B25/18(2006.01)i, C30B29/38(2006.01)i, H01L21/338(2006.01)i, H01L29/778(2006.01)i, H01L29/812(2006.01)i, H01L31/10(2006.01)i, H01L33/22(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.　H01L21/205, C23C16/34, C30B25/18, C30B29/38, H01L21/338, H01L29/778, H01L29/812, H01L31/10, H01L33/22, H01L33/32

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	１９７１－２０１３年
日本国実用新案登録公報	１９９６－２０１３年
日本国登録実用新案公報	１９９４－２０１３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 2010-040867 A (昭和電工株式会社) 2010.02.18, 段落【００９７】－【０１１１】, 第５，６図 & US 2011/0147763 A1 & US 2012/0248457 A1 & WO 2010/016532 A1	1-5, 8-10 6, 7, 11-13
A	JP 2002-246698 A (シャープ株式会社) 2002.08.30, 段落【００３０】－【００８５】, 第１－７図 & US 2004/0041156 A1 & WO 2002/065556 A1	1-13

☑　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	国際調査報告の発送日
０８．１０．２０１３	２２．１０．２０１３

国際調査機関の名称及びあて先
日本国特許庁（ＩＳＡ／ＪＰ）
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）　４Ｒ　９８３５
萩原　周治
電話番号　０３－３５８１－１１０１　内線　３４７１

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	JP 2006-352084 A（ソニー株式会社）2006.12.28，段落【００４２】－【００６７】，第１－２２図 & US 2006/0258027 A1 & US 2010/0308349 A1 & EP 1724846 A2 & KR 10-2006-0118349 A & CN 101232067 A & TWB 00I300245 & CN 1874022 A	1-13
A	JP 2005-101566 A（日亜化学工業株式会社）2005.04.14，段落【００５２】－【００６２】，第１－３図 & JP 2008-10894 A & JP 2011-77562 A & US 2005/0179130 A1 & US 2010/0197055 A1 & EP 1667241 A1 & WO 2005/018008 A1 & KR 10-2006-0079196 A & TWB 00I361534 & KR 10-1183776 B	1-13