

(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 5 月 1 日(01.05.2014)



(10) 国際公開番号
WO 2014/065019 A1

- (51) 国際特許分類:
H01L 33/32 (2010.01) *H01L 33/22* (2010.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2013/073904
- (22) 国際出願日: 2013 年 9 月 5 日(05.09.2013)
- (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 2012-232681 2012 年 10 月 22 日(22.10.2012) 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 2 2 番 2 2 号 Osaka (JP).
- (72) 発明者: 駒田 聡(KOMADA, Satoshi).
- (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, 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).

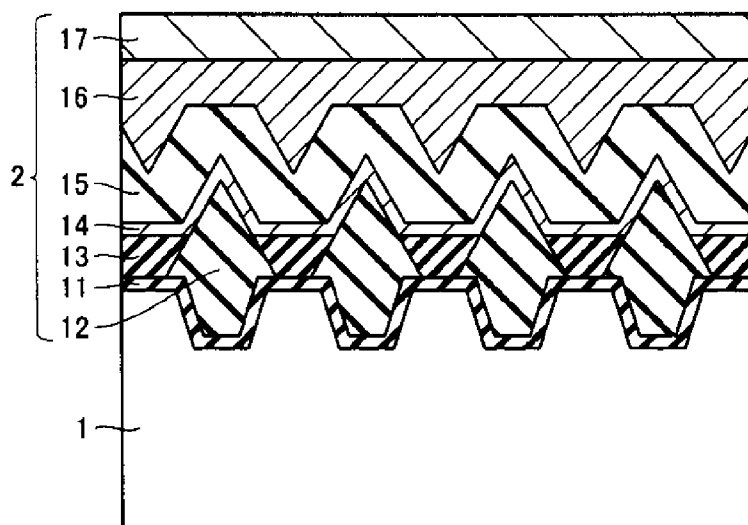
添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

(54) Title: NITRIDE SEMICONDUCTOR LIGHT-EMITTING ELEMENT

(54) 発明の名称: 窒化物半導体発光素子

図2



(57) Abstract: A nitride semiconductor light-emitting element including a layer doped with a high concentration of silicon, in which silicon is doped at a high concentration of at least 2×10^{19} parts/cm³, and a dislocation reduction layer for laterally bending a threading dislocation on the layer doped with a high concentration of silicon.

(57) 要約: シリコンが 2×10^{19} 個/cm³ 以上の高濃度にドーピングされた高濃度シリコンドーピング層と、高濃度シリコンドーピング層上に貫通転位を横方向に曲げるための転位低減層とを含む窒化物半導体発光素子である。



WO 2014/065019 A1

明 細 書

発明の名称：窒化物半導体発光素子

技術分野

[0001] 本発明は、窒化物半導体発光素子に関する。

背景技術

[0002] 従来において、窒化物半導体発光素子に用いられる基板としては、GaN基板、SiC基板およびサファイア基板などが挙げられるが、なかでも価格および量産性の点で優位性を持つサファイア基板が広く用いられている。

[0003] しかしながら、従来においては、サファイア基板と、GaNなどの窒化物半導体層との間の格子不整合率により、サファイア基板上にGaNなどの窒化物半導体層を成長するのが難しいという問題があった。

[0004] そこで、たとえば特許文献1（特開平6-196757号公報）においては、サファイア基板上に低温GaNバッファ層を形成することにより、低温GaNバッファ層上に高品質のGaN層を成長させる方法が提案されている。

先行技術文献

特許文献

[0005] 特許文献1：特開平6-196757号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0006] しかしながら、サファイア基板上に低温GaNバッファ層を形成した場合であっても、低温GaNバッファ層上に成長するGaN層の貫通転位は、依然として、 1×10^{18} 個/cm²以上の密度で存在する。

[0007] このような貫通転位は、窒化物半導体発光ダイオード素子におけるリーク電流の増加および発光効率の低下を招くとともに、窒化物半導体レーザ素子における短寿命化を招く。

[0008] 上記の事情に鑑みて、本発明の目的は、貫通転位を低減することにより特

性を向上することができる窒化物半導体発光素子を提供することにある。

課題を解決するための手段

[0009] 本発明は、基板と、基板上に設けられた第1の窒化物半導体層と、第1の窒化物半導体層上に設けられた発光層と、発光層上に設けられた第2の窒化物半導体層と、を備え、第1の窒化物半導体層は、シリコンが 2×10^{19} 個/ cm^3 以上の高濃度にドーパされた高濃度シリコンドーパ層と、高濃度シリコンドーパ層上に貫通転位を横方向に曲げるための転位低減層とを含む窒化物半導体発光素子である。このような構成とすることにより、貫通転位を低減することにより特性を向上させた窒化物半導体発光素子を提供することができる。

発明の効果

[0010] 本発明によれば、貫通転位を低減することにより特性を向上することができる窒化物半導体発光素子を提供することができる。

図面の簡単な説明

[0011] [図1]実施の形態の窒化物半導体発光ダイオード素子の模式的な断面図である。

[図2]図1に示す基板と第1の窒化物半導体層の模式的な拡大断面図である。

[図3]実施の形態の窒化物半導体発光ダイオード素子のマクロステップを図解する模式的な断面図である。

[図4]実施例1のテンプレート基板の製造工程を図解する模式的な断面図である。

[図5]実施例1のテンプレート基板の製造工程を図解する模式的な断面図である。

[図6]実施例1のテンプレート基板の製造工程を図解する模式的な断面図である。

[図7]実施例1のテンプレート基板の製造工程を図解する模式的な断面図である。

[図8]実施例1のテンプレート基板の製造工程を図解する模式的な断面図であ

る。

[図9]実施例1のテンプレート基板の製造工程を図解する模式的な断面図である。

[図10]実施例1のテンプレート基板の製造工程を図解する模式的な断面図である。

[図11]実施例1のテンプレート基板の製造工程を図解する模式的な断面図である。

[図12]実施例1のテンプレート基板のSIMSによる分析結果を示す図である。

[図13]実施例1のテンプレート基板のCL像を示す図である。

[図14]実施例1のテンプレート基板のSTEM像を示す図である。

[図15]実施例2の窒化物半導体発光ダイオード素子の製造工程を図解する模式的な断面図である。

[図16]実施例2の窒化物半導体発光ダイオード素子の製造工程を図解する模式的な断面図である。

[図17]実施例2の窒化物半導体発光ダイオード素子のコンタクト層の表面のPL発光パターンである。

発明を実施するための形態

[0012] 以下、本発明の実施の形態について説明する。なお、本発明の図面において、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。

[0013] 図1に、本発明の窒化物半導体発光素子の一例である実施の形態の窒化物半導体発光ダイオード素子の模式的な断面図を示す。図1に示すように、実施の形態の窒化物半導体発光ダイオード素子は、基板1と、基板1上に設けられた第1の窒化物半導体層2と、第1の窒化物半導体層2上に設けられた発光層3と、発光層3上に設けられた第2の窒化物半導体層4とを備えている。また、第1の窒化物半導体層2上には、第1の電極6が形成されており、第2の窒化物半導体層4上には、第2の電極5が形成されている。なお、第1の窒化物半導体層2、発光層3および第2の窒化物半導体層4は、たと

例えばMOCVD（有機金属気相成長）法などによって形成することができ、第1の電極6および第2の電極5は、たとえば蒸着法などによって形成することができる。

[0014] 図2に、図1に示す基板1と第1の窒化物半導体層2の模式的な拡大断面図を示す。図2に示すように、基板1の凹凸表面上にはバッファ層11が形成されており、基板1の凹部のバッファ層11上には斜めファセット層12が形成されている。また、斜めファセット層12の間の空間を埋めるようにして第1の埋め込み層13が形成されており、斜めファセット層12および第1の埋め込み層13の表面上には高濃度シリコンドープ層14が形成されている。また、高濃度シリコンドープ層14上には転位低減層15が形成されており、転位低減層15上には第2の埋め込み層16が形成されている。さらに、第2の埋め込み層16上には導電層17が形成されている。

[0015] 基板1としては、たとえば、シリコン（Si）基板、サファイア（ Al_2O_3 ）基板、炭化珪素（SiC）基板またはスピネル（ $MgAl_2O_4$ ）基板などを用いることができる。なかでも、基板1としては、安価であり、かつ透明であるサファイア基板を用いることが好ましい。また、たとえば図2に示すように、サファイア基板からなる基板1の表面に凹凸形状を設けた場合には、実施の形態のが窒化物半導体発光ダイオード素子の光取り出し効率を向上することができ、また、初期成長時に斜めファセット層12を形成しやすくなる。

[0016] バッファ層11としては、GaN（窒化ガリウム）層またはAlN（窒化アルミニウム）層を用いることが好ましい。バッファ層11にGaN層またはAlN層を用いた場合には、バッファ層11上に低転位の窒化物半導体層を形成することができる。特に、バッファ層11にAlN層を用いた場合には、バッファ層11上に成長させた窒化物半導体層の螺旋転位を効果的に低減することができ、バーガーズベクトルの異なる2種類の別の転位を両方とも低減することができる。そのため、窒化物半導体発光素子の発光効率を向上させることができる。

[0017] 斜めファセット層 12 としては、たとえば、 $A_{x1}Ga_{y1}In_{z1}N$ ($0 \leq x1 \leq 1$ 、 $0 \leq y1 \leq 1$ 、 $0 \leq z1 \leq 1$ 、 $x1 + y1 + z1 \neq 0$) の式で表わされる窒化物半導体を用いることができる。

[0018] 第 1 の埋め込み層 13 としては、たとえば、 $A_{x2}Ga_{y2}In_{z2}N$ ($0 \leq x2 \leq 1$ 、 $0 \leq y2 \leq 1$ 、 $0 \leq z2 \leq 1$ 、 $x2 + y2 + z2 \neq 0$) の式で表わされる窒化物半導体を用いることができる。

[0019] 高濃度シリコンドープ層 14 としては、たとえば、 $A_{x3}Ga_{y3}In_{z3}N$ ($0 \leq x3 \leq 1$ 、 $0 \leq y3 \leq 1$ 、 $0 \leq z3 \leq 1$ 、 $x3 + y3 + z3 \neq 0$) の式で表わされる窒化物半導体に Si を 2×10^{19} 個/cm³ 以上の高濃度にドープしたものをを用いることができる。また、転位低減層 15 としては、たとえば、 $A_{x4}Ga_{y4}In_{z4}N$ ($0 \leq x4 \leq 1$ 、 $0 \leq y4 \leq 1$ 、 $0 \leq z4 \leq 1$ 、 $x4 + y4 + z4 \neq 0$) の式で表わされる窒化物半導体を用いることができる。

[0020] Si を 2×10^{19} 個/cm³ 以上の高濃度にドープした高濃度シリコンドープ層 14 を形成することにより、高濃度シリコンドープ層 14 上に窒化物半導体層の 3 次元成長が促進され、斜めファセットを有する転位低減層 15 を形成することができる。斜めファセットを有する転位低減層 15 を 3 次元成長により形成することにより、基板 1 と基板 1 上に形成される窒化物半導体層との間の格子不整合によって形成された貫通転位を横に曲げることができるため、転位低減層 15 を転位低減層として機能させることができる。なお、転位低減層 15 は、高濃度シリコンドープ層 14 からの貫通転位を曲げることにより、転位低減層 15 上の第 2 の埋め込み層 16 に引き継がれる貫通転位の数を 1 つでも減らせればよい。

[0021] また、成長モードを 3 次元成長に変化させるためには、表面エネルギーを変化させる Si が転位低減層 15 の成長中に這い上がることが好ましい。そのため、Si 濃度が成長方向（発光層側）に向かって徐々に Si 濃度を落としてながら拡散し、高濃度シリコンドープ層 14 の発光層 3 側の表面から発光層 3 側に向かって $1.5 \mu m$ の箇所の Si 濃度が 1×10^{17} 個/cm³ 以上であることが好ましい。この場合には、転位低減層 15 における転位の低減を効

果的に行なうことができる。なお、高濃度シリコンドーピング層 14 上に転位低減層 15 を 3 次元成長させるときには、転位低減層 15 には意図的に Si をドーピングする必要はない。また、Si 濃度の低下は、たとえば、連続的および／または段階的であればよい。

[0022] また、高濃度シリコンドーピング層 14 の厚さは $0.5 \mu\text{m}$ 以下であることが好ましい。この場合には、高濃度シリコンドーピング層 14 に引張応力が過剰に加えられないため、高濃度シリコンドーピング層 14 の結晶性を良好なものとすることができる。

[0023] また、転位低減層 15 を MOCVD 法で成長させる場合には、トリメチルガリウム (TMG) に対するアンモニア (NH_3) のモル比を 250 以下とすることによって、転位低減層 15 を構成する窒化物半導体結晶のグレインサイズが大きくなり、グレインの会合頻度が少なくなるため、転位を効果的に低減することができる。

[0024] なお、高濃度シリコンドーピング層 14 中の Si 濃度は、たとえば SIMS (2 次イオン質量分析法) などによって求めることができる。また、転位低減層 15 における転位の方法は、たとえば TEM (透過型電子顕微鏡) または STEM (走査型透過電子顕微鏡) などによって転位低減層 15 を観察することにより求めることができる。

[0025] 第 2 の埋め込み層 16 としては、たとえば、 $\text{Al}_{x5}\text{Ga}_{y5}\text{In}_{z5}\text{N}$ ($0 \leq x5 \leq 1$ 、 $0 \leq y5 \leq 1$ 、 $0 \leq z5 \leq 1$ 、 $x5 + y5 + z5 \neq 0$) の式で表わされる窒化物半導体を用いることができるが、第 2 の埋め込み層 16 の表面を平坦にする観点からは、第 2 の埋め込み層 16 にマグネシウム (Mg) をドーピングすることが好ましい。また、第 2 の埋め込み層 16 にドーピングされる Mg 濃度は、 5×10^{18} 個/ cm^3 以上 5×10^{19} 個/ cm^3 以下であることが好ましい。第 2 の埋め込み層 16 中の Mg 濃度が、 5×10^{18} 個/ cm^3 以上 5×10^{19} 個/ cm^3 以下である場合には、第 2 の埋め込み層 16 の表面をより平坦にすることができるとともに、第 2 の埋め込み層 16 の白濁を効果的に防止し、良好な結晶性を有するものとすることができる。

[0026] 導電層 17 としては、たとえば、 $\text{Al}_{x6}\text{Ga}_{y6}\text{In}_{z6}\text{N}$ ($0 \leq x6 \leq 1$ 、 $0 \leq y6 \leq 1$ 、 $0 \leq z6 \leq 1$ 、 $x6 + y6 + z6 \neq 0$) の式で表わされる窒化物半導体に n 型不純物をドーピングしたものなどを用いることができる。n 型不純物としては、たとえば Si および／または Ge (ゲルマニウム) を用いることができる。

[0027] 導電層 17 上には発光層 3 を形成することができる。発光層 3 としては、たとえば、 $\text{Al}_{x7}\text{Ga}_{y7}\text{In}_{z7}\text{N}$ ($0 \leq x7 \leq 1$ 、 $0 \leq y7 \leq 1$ 、 $0 \leq z7 \leq 1$ 、 $x7 + y7 + z7 \neq 0$) の式で表わされる窒化物半導体を用いることができる。なお、発光層 3 を構成する窒化物半導体の組成を適宜変更し、バンドギャップを変更することによって、発光層 3 から放出される光の波長を適宜調整することができる。なお、発光層 3 の下には、バンドギャップを周期的に変更した多層膜を形成することもできる。また、発光層 3 は、単一量子井戸構造 (SQW) または多重量子井戸構造 (MQW) のいずれを採用してもよい。

[0028] 発光層 3 上には p 型窒化物半導体からなる第 2 の窒化物半導体層 4 を形成することができる。第 2 の窒化物半導体層 4 としては、たとえば、 $\text{Al}_{x8}\text{Ga}_{y8}\text{In}_{z8}\text{N}$ ($0 \leq x8 \leq 1$ 、 $0 \leq y8 \leq 1$ 、 $0 \leq z8 \leq 1$ 、 $x8 + y8 + z8 \neq 0$) の式で表わされる窒化物半導体に p 型不純物をドーピングしたものなどを用いることができる。p 型不純物としては、たとえば Mg および／または Zn (亜鉛) を用いることができる。また、第 2 の窒化物半導体層 4 には、バンドギャップの大きい p 型窒化物半導体からなるキャリアブロック層が含まれていてもよく、p 型不純物を高濃度にドーピングした p 型窒化物半導体からなるコンタクト層が含まれていてもよい。

[0029] 以上のようにして積層された第 2 の窒化物半導体層 4 の表面には、たとえば図 3 の模式的拡大断面図に示すようなマクロステップ 21 が形成されている。マクロステップ 21 は転位低減層 15 を第 2 の埋め込み層 16 で埋め込んだ時点で形成されており、マクロステップ 21 によって窒化物半導体発光素子の発光効率を落とすことなく、発光層 3 から発光される光の半値幅を大

きくすることができる。なお、マクロステップ21は、成長面に対して傾斜した面であり、高濃度シリコンドープ層14を配置することに起因して発生するものである。

[0030] たとえば、発光層3から発光される光の波長を青色領域に設定し、緑色および赤色の蛍光体を使って、白色LED (Light Emitting Diode) 装置を作製する場合には、蛍光体による発光波長は非常にブロードであるが、従来の青色光の発光波長は、半値幅が20nm程度と非常に狭いため、青色光の色再現性が悪い、演色性が悪い、および人間の目に対する安全性が低いなどの問題があった。

[0031] 一方、マクロステップ21によって、発光層3から発光される青色光の発光波長がブロードになった場合には、青色光の色再現性がよく、演色性がよく、および人間の目に対する安全性が高い白色LED装置を作製することができる。

[0032] 実施の形態の窒化物半導体発光ダイオード素子のドミナント発光波長（人間が目を見たときに感じる単波長）は、420nm以上500nm以下であることが好ましく、430nm以上470nm以下であることがより好ましい。この場合には、人間の目には、発光層3から発光される青色光の色再現性および演色性が良好であるように感じるとともに、人間の目に対する安全性も高めることができる。

[0033] 実施の形態の窒化物半導体発光ダイオード素子のエレクトロルミネッセンス発光（電流の注入により発光層3から発光される光）の半値幅は、25nm以上であることが好ましい。この場合には、人間の目には、発光層3から発光される青色光の色再現性および演色性が良好であるように感じるとともに、人間の目に対する安全性も高めることができる。

[0034] なお、マクロステップ21を設けることによって、発光層3から発光される青色光の発光波長がブロードになり、半値幅が広がる理由は不明であるが、マクロステップ21により非常に低角に表面が傾斜している部分があるため、その部分の発光波長が微妙にシフトし、発光波長がブロードになって

、半値幅が広くなるものと推察される。

[0035] また、マクロステップ21の高さHは、20nm以上300nm以下であることが好ましい。マクロステップ21の高さHが20nm以上である場合には、発光層3から発光される光の発光波長をよりブロードにすることができるとともに、半値幅もより広げることができる。また、マクロステップ21の高さHが300nm以下である場合には、実施の形態の窒化物半導体発光ダイオード素子の発光効率の低下を抑えることができる傾向にある。

[0036] また、マクロステップ21の横方向の幅Wは、40 μ m以上300 μ m以下であることが好ましい。マクロステップ21の横方向の幅Wが40 μ m以上である場合には、実施の形態の窒化物半導体発光ダイオード素子の発光効率の低下を抑えることができる傾向にある。また、マクロステップ21の横方向の幅Wが300 μ m以下である場合には、発光層3から発光される光の発光波長をよりブロードにすることができるとともに、半値幅もより広げることができる。

[0037] マクロステップ21の高さHおよび横方向の幅Wは、導電層17の表面を段差計などることによって測定することができる。

[0038] なお、第2の窒化物半導体層4の表面上にはITO (Indium Tin Oxide) などの導電性酸化膜を形成することもできる。導電性酸化膜を形成した場合には、導電性酸化膜上にp電極となる第2の電極5を形成し、メサエッチングによって導電層17の表面を露出させた後に導電層17の露出面上にn電極となる第1の電極6を形成することができる。また、第1の電極6および第2の電極5に金属ワイヤをボンディングすることもできる。

実施例 1

[0039] まず、図4の模式的断面図に示すように、サファイア基板101の表面に凹凸を形成した。ここで、サファイア基板101の表面の凹凸は、平坦なサファイア基板101の表面にステッパーなどを用いてレジストをパターンニングし、ICP (Inductively coupled plasma) によりエッチングすることによって形成された。

[0040] 次に、サファイア基板101をスパッタ製膜装置内にセットし、スパッタ製膜装置内に窒素ガスを流すことによって、サファイア基板101の表面を窒化した。その後、温度を500℃とし、スパッタ製膜装置内の圧力を0.5 Paに保持した状態で、スパッタ製膜装置内に窒素ガスを5 s c c m流しながら、高周波バイアスを金属Alターゲット側に印加した。これにより、図5の模式的断面図に示すように、サファイア基板101の表面上にAlN膜102をスパッタリング法により形成した。

[0041] サファイア基板101を冷却した後、MOCVD装置の反応炉内にAlN膜102の形成後のサファイア基板101をセットした。その後、温度990℃でV族源としてのNH₃およびIII族源としてのTMGをMOCVD装置の反応炉内に供給することによって、図6の模式的断面図に示すように、高さ1.7 μmの斜めファセットを有するGaNからなる斜めファセット層103をMOCVD法により成長させた。このとき、斜めファセット層103の斜めファセットの角度は、成長面に対しておおよそ60°であった。また、斜めファセット層103は、サファイア基板101の表面の凹凸の凹部の上面のみに成長した。

[0042] 次に、温度1200℃で、V族源としてのNH₃およびIII族源としてのTMGは上記と同様に供給して、図7の模式的断面図に示すように、MOCVD法により、斜めファセット層103の間の窪みをGaNからなる第1の埋め込み層104で埋め込んだ。第1の埋め込み層104の厚さは0.5 μmであり、第1の埋め込み層104は斜めファセット層103の途中まで埋め込まれた。

[0043] 次に、温度1255℃で、TMGの供給を止め、IV族源としてのSiH₄およびV族源としてのNH₃を19.5分間供給することによって、図8の模式的断面図に示すように、斜めファセット層103および第1の埋め込み層104の表面に高濃度シリコンドープ層105をMOCVD法により成長させた。

[0044] 次に、温度を維持した状態で、SiH₄の供給を止め、V族源としてのNH₃

およびⅠⅠⅠ族源としてのTMGを供給することによって、TMGに対するNH₃のモル比を120とし、図9の模式的断面図に示すように、高濃度シリコンドープ層105の表面上に、斜めファセットを有するGaNからなる転位低減層106をMOCVD法により3μmの厚さで3次元成長させた。

[0045] 次に、温度を維持した状態で、V族源としてのNH₃、ⅠⅠⅠ族源としてのTMG、およびⅠⅠ族源としてのC₂P₂Mg（シクロペンタジエニルマグネシウム）を供給することによって、図10の模式的断面図に示すように、転位低減層106の表面上に、Mgドープp型GaNからなる第2の埋め込み層107をMOCVD法により成長させた。ここで、TMGに対するNH₃のモル比は440に調整され、第2の埋め込み層107中のMg濃度は 2×10^{19} 個/cm³とされ、第2の埋め込み層107の厚さは2.2μmとされた。

[0046] 次に、温度を維持した状態で、C₂P₂Mgの供給を止め、V族源としてのNH₃、ⅠⅠⅠ族源としてのTMGおよびⅠV族源としてのSiH₄を供給することによって、図11の模式的断面図に示すように、第2の埋め込み層107の表面上に、Siドープn型GaNからなる導電層108をMOCVD法により成長させた。ここで、導電層108中のSi濃度は 5×10^{18} 個/cm³とされ、導電層108の厚さは0.5μmとされた。

[0047] 以上の工程を経ることにより、サファイア基板上に第1の窒化物半導体層が積層されてなる実施例1のテンプレート基板を作製した。なお、上記の温度はいずれも、カーボンサセプタに接触している熱電対温度を示している。

[0048] 図12に、実施例1のテンプレート基板のSIMSによる分析結果を示し、図13に、実施例1のテンプレート基板のCL（カソードルミネッセンス）像を示し、図14に、実施例1のテンプレート基板のSTEM像を示す。

[0049] 図12のSIMSによる分析結果に示されるように、高濃度シリコンドープ層105の形成時に、実施例1のテンプレート基板中にSiが取り込まれており、Siが成長方向に拡散することにより転位低減層106の3次元成長が促進されることが確認された。

[0050] また、図14のSTEM像に示されるように、転位低減層106において

転位が横方向に曲がっており、バーガーズベクトルが異なる転位同士が会合し、ハーフループを形成して消滅することによって、転位が低減することが確認された。その結果、図13の実施例1のテンプレート基板のCL像に示されるように、従来は、 1×10^8 個/cm²程度であった転位が 1×10^7 個/cm²程度に低減できることが確認された。

[0051] また、第2の埋め込み層107の形成時にMgを供給しなかった場合には、第2の埋め込み層107の表面が平坦とならずにピットが形成されることが確認された。したがって、第2の埋め込み層107の形成時にMgを供給することによって、第2の埋め込み層107の表面の平坦化が促進されることが確認された。

実施例 2

[0052] 実施例1のテンプレート基板上に、発光層および第2の窒化物半導体層を形成することによって、実施例2の窒化物半導体発光ダイオード素子を作製した。

[0053] まず、実施例1のテンプレート基板をMOCVD装置内にセットし、図15の模式的断面図に示すように、温度1255℃で、Siドープn型GaNをMOCVD法によりさらに成長させて、導電層108の厚さを3μmとした。次に、温度を938℃まで低下させ、厚さが1.5nmのGaN層と、厚さが1.5nmのInGaN層とを1層ずつ交互に20周期成長させて、導電層108上に、超格子層109をMOCVD法により成長させた。

[0054] 次に、温度を816℃まで低下させ、厚さが7.5nmのGaN障壁層と、厚さが3nmのInGaN井戸層とを交互に1層ずつ6周期成長させて、超格子層109上に、発光層110をMOCVD法により成長させた。

[0055] 次に、温度を1223℃まで上昇させ、アンドープAlGaN層、Mgドープp型AlGaN層およびアンドープAlGaN層の3層構造からなるキャリアブロック層111を発光層110上にMOCVD法により厚さ20nmに成長させた。

[0056] 次に、温度を維持した状態で、キャリアブロック層111上に、厚さ65

n mのアンダープG a N層 1 1 2をMOCVD法により成長させた。次に、温度を1 2 3 8℃まで上昇させ、厚さ2 0 n mのM g ドープp型G a Nからなるコンタクト層 1 1 3をアンダープG a N層 1 1 2上にMOCVD法により成長させた。

[0057] 次に、コンタクト層 1 1 3形成後の実施例 1 のテンプレート基板をMOCVD装置から取り出し、M g をp型不純物として活性化させるためのアニールをアニール炉内で8 0 0℃で熱処理することによって行なった後に、フッ酸でコンタクト層 1 1 3の表面クリーニングを行なった。

[0058] その後、図 1 6 の模式的断面図に示すように、p 電極としてp d 電極 1 1 4をコンタクト層 1 1 3上に蒸着し、ダイヤモンドペンでウエハ端を削ることによって、導電層 1 0 8の表面を露出させて、実施例 2 の窒化物半導体発光ダイオード素子を完成させた。

[0059] そして、実施例 2 の窒化物半導体発光ダイオード素子のp d 電極 1 1 4と、ウエハ端を削ることによって露出させた導電層 1 0 8の表面とを、プローバーによってプローブし、実施例 2 の窒化物半導体発光ダイオード素子の裏面から発光スペクトルを瞬間マルチ測光システムおよび強度をフォトディテクタにより測定した。

[0060] 比較のため、高濃度シリコンドープ層 1 0 5を形成しなかったこと以外は実施例 1 と同様にして作製したテンプレート基板を、実施例 1 のテンプレート基板と同時にMOCVD装置内にセットし、上記と同様の条件で、比較例の窒化物半導体発光ダイオード素子を作製した。

[0061] その結果、高濃度シリコンドープ層 1 0 5を含む実施例 1 のテンプレート基板を用いて作製された実施例 2 の窒化物半導体発光ダイオード素子は、高濃度シリコンドープ層 1 0 5を含まないテンプレート基板を用いて作製された比較例の窒化物半導体発光ダイオード素子と比べて光出力が1 2 %向上することが確認された。

[0062] また、実施例 2 の窒化物半導体発光ダイオード素子および比較例の窒化物半導体発光ダイオード素子の発光波長はともに電流密度によって変化するが

、電流密度が 10 A/cm^2 のときの発光波長はともに 445 nm であった。

[0063] また、実施例2の窒化物半導体発光ダイオード素子の電流密度 10 A/cm^2 におけるエレクトロルミネッセンス発光の半値幅は 29.8 nm であり、比較例の窒化物半導体発光ダイオード素子の電流密度 10 A/cm^2 におけるエレクトロルミネッセンス発光の半値幅は 21.5 nm であった。したがって、実施例2の窒化物半導体発光ダイオード素子のエレクトロルミネッセンス発光の半値幅は、比較例の窒化物半導体発光ダイオード素子と比べて、非常に広がっていることが確認された。

[0064] また、段差計にて、実施例2の窒化物半導体発光ダイオード素子のコンタクト113の表面のマクロステップの高さおよび横方向の幅を測定した結果、高さは 20 nm 以上 100 nm 以下であり、横方向の幅は $40 \mu\text{m}$ 以上 $150 \mu\text{m}$ 以下であることが確認された。

[0065] さらに、図17に、実施例2の窒化物半導体発光ダイオード素子のコンタクト113の表面のPL (Photo Luminescence) 発光パターンを示す。図17のPL発光パターンに示されるように、マクロステップのエッジが観測された。

[0066] このように、高濃度シリコンドープ層105が形成されている実施例2の窒化物半導体発光ダイオード素子においては、比較例の窒化物半導体発光ダイオード素子と比較して、高濃度シリコンドープ層105上に成長した転位低減層106によって、貫通転位を低減することができ、発光波長がブロードとなり、エレクトロルミネッセンス発光の半値幅も広がることが確認された。

[0067] これにより、実施例2の窒化物半導体発光ダイオード素子と、緑色および赤色の蛍光体とを用いることによって、青色領域の色再現性がよく、演色性もよく、かつ人間の目に対する安全性が高い白色LED装置を作製することができる。

[0068] さらに、実施例2の窒化物半導体発光ダイオード素子を用いた場合には、発光効率が低下せず、光束も減少しない白色LED装置を作製することがで

きる。

[0069] <まとめ>

本発明は、基板と、基板上に設けられた第1の窒化物半導体層と、第1の窒化物半導体層上に設けられた発光層と、発光層上に設けられた第2の窒化物半導体層と、を備え、第1の窒化物半導体層は、シリコンが 2×10^{19} 個/ cm^3 以上の高濃度にドーピングされた高濃度シリコンドーピング層と、高濃度シリコンドーピング層上に貫通転位を横方向に曲げるための転位低減層とを含む窒化物半導体発光素子である。このような構成とすることにより、貫通転位を低減することにより特性を向上させた窒化物半導体発光素子を提供することができる。

[0070] ここで、本発明の窒化物半導体発光素子において、高濃度シリコンドーピング層から発光層側に向かってシリコン濃度が低下していき、高濃度シリコンドーピング層の発光層側の表面から発光層側に向かって $1.5 \mu\text{m}$ の箇所のシリコン濃度が 1×10^{17} 個/ cm^3 以上であることが好ましい。このような構成とすることにより、転位低減層における転位の低減を効果的に行なうことができる。

[0071] また、本発明の窒化物半導体発光素子において、高濃度シリコンドーピング層の厚さは $0.5 \mu\text{m}$ 以下であることが好ましい。このような構成とすることにより、高濃度シリコンドーピング層に引張応力が過剰に加えられないため、高濃度シリコンドーピング層の結晶性を良好なものとすることができる。

[0072] また、本発明の窒化物半導体発光素子において、転位低減層と発光層との間にマグネシウムを含む層が配置されていることが好ましい。このような構成とすることにより、マグネシウムを含む層の表面を平坦にすることができる。

[0073] また、本発明の窒化物半導体発光素子において、マグネシウムを含む層中のマグネシウム濃度が 5×10^{18} 個/ cm^3 以上 5×10^{19} 個/ cm^3 以下であることが好ましい。このような構成とすることにより、マグネシウムを含む層の表面を平坦にすることができる。

- [0074] また、本発明の窒化物半導体発光素子は、高さが20 nm以上300 nm以下であって、横方向の幅が40 μ m以上300 μ m以下のマクロステップを含むことが好ましい。このような構成とすることにより、窒化物半導体発光ダイオード素子の発光効率の低下を抑えて、発光層から発光される光の発光波長をよりブロードにすることができるとともに半値幅もより広げることができる。
- [0075] また、本発明の窒化物半導体発光素子は、窒化物半導体発光ダイオード素子であって、420 nm以上500 nm以下のドミナント発光波長を有することが好ましい。このような構成とすることにより、人間の目には、発光層から発光される青色光の色再現性および演色性が良好であるように感じるとともに、人間の目に対する安全性も高めることができる。
- [0076] また、本発明の窒化物半導体発光素子は、窒化物半導体発光ダイオード素子であって、430 nm以上470 nm以下のドミナント発光波長を有することが好ましい。このような構成とすることにより、人間の目には、発光層から発光される青色光の色再現性および演色性が良好であるように感じるとともに、人間の目に対する安全性も高めることができる。
- [0077] また、本発明の窒化物半導体発光素子においては、エレクトロルミネッセンス発光の半値幅が25 nm以上であることが好ましい。このような構成とすることにより、人間の目には、発光層3から発光される青色光の色再現性および演色性が良好であるように感じるとともに、人間の目に対する安全性も高めることができる。
- [0078] また、本発明の窒化物半導体発光素子においては、第1の窒化物半導体層の基板に接する層が窒化アルミニウム層であることが好ましい。このような構成とすることにより、窒化アルミニウム層上に成長させた窒化物半導体層の螺旋転位を効果的に低減することができ、バーガーズベクトルの異なる2種類の別の転位を両方とも低減することができるため、窒化物半導体発光素子の発光効率を向上させることができる。
- [0079] さらに、本発明は、上記のいずれかに記載の窒化物半導体発光素子を製造

する方法であって、基板上に第1の窒化物半導体層を形成する工程と、第1の窒化物半導体層上に発光層を形成する工程と、発光層上に設けられた第2の窒化物半導体層を形成する工程と、を含み、第1の窒化物半導体層を形成する工程は、基板上に高濃度シリコンドープ層を形成する工程と、高濃度シリコンドープ層上に転位低減層を形成する工程とを有し、転位低減層は、ⅠⅠ族源に対するⅤ族源のモル濃度比が250以下とした有機金属気相成長法により形成される、窒化物半導体発光素子の製造方法である。

[0080] 以上のように本発明の実施の形態および実施例について説明を行なったが、上述の各実施の形態および各実施例の構成を適宜組み合わせることも当初から予定している。

[0081] 今回開示された実施の形態および実施例はすべての点で例示であって制限的なものではないと考えられるべきである。本発明の範囲は上記した説明ではなくて請求の範囲によって示され、請求の範囲と均等の意味および範囲内でのすべての変更が含まれることが意図される。

産業上の利用可能性

[0082] 本発明は、窒化物半導体発光素子に利用することができ、特に、窒化物半導体発光ダイオード素子に好適に利用することができる。

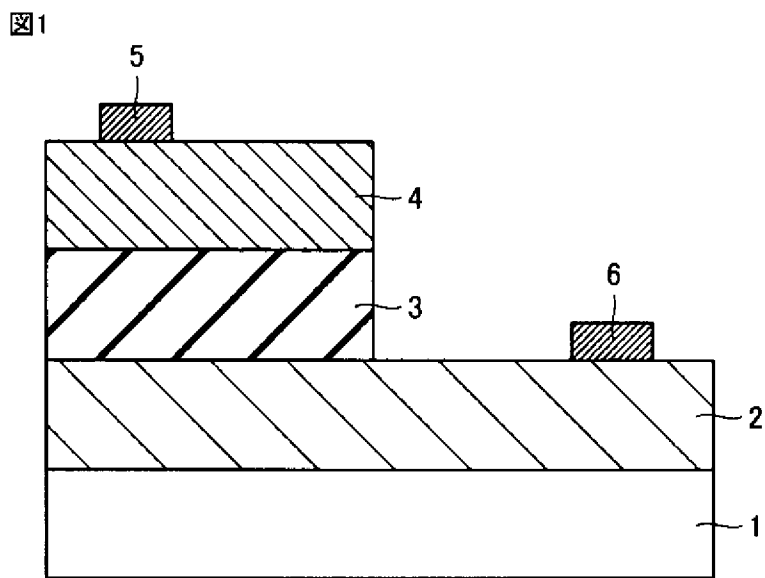
符号の説明

[0083] 1 基板、2 第1の窒化物半導体層、3 発光層、4 第2の窒化物半導体層、5 第2の電極、6 第1の電極、11 バッファ層、12 斜めファセット層、13 第1の埋め込み層、14 高濃度シリコンドープ層、15 転位低減層、16 第2の埋め込み層、17 導電層、21 マクロステップ、101 サファイア基板、102 AlN膜、103 斜めファセット層、104 第1の埋め込み層、105 高濃度シリコンドープ層、106 転位低減層、107 第2の埋め込み、108 導電層、109 超格子層、110 発光層、111 キャリアブロック層、112 アンダープGaN層、113 コンタクト層、114 pd電極。

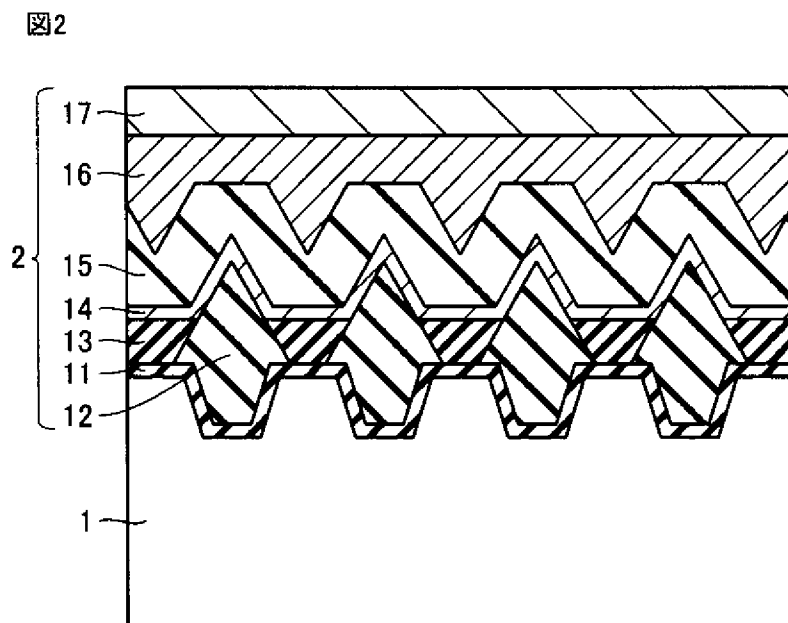
請求の範囲

- [請求項1] 基板と、
前記基板上に設けられた第1の窒化物半導体層と、
前記第1の窒化物半導体層上に設けられた発光層と、
前記発光層上に設けられた第2の窒化物半導体層と、を備え、
前記第1の窒化物半導体層は、シリコンが 2×10^{19} 個/cm³以上の高濃度にドーパされた高濃度シリコンドーパ層と、前記高濃度シリコンドーパ層上に貫通転位を横方向に曲げるための転位低減層とを含む、窒化物半導体発光素子。
- [請求項2] 前記高濃度シリコンドーパ層から前記発光層側に向かってシリコン濃度が低下していき、前記高濃度シリコンドーパ層の前記発光層側の表面から前記発光層側に向かって $1.5 \mu\text{m}$ の箇所のシリコン濃度が 1×10^{17} 個/cm³以上である、請求項1に記載の窒化物半導体発光素子。
- [請求項3] 前記高濃度シリコンドーパ層の厚さは $0.5 \mu\text{m}$ 以下である、請求項1または2に記載の窒化物半導体発光素子。
- [請求項4] 前記転位低減層と前記発光層との間にマグネシウムを含む層が配置されている、請求項1から3のいずれか1項に記載の窒化物半導体発光素子。
- [請求項5] 高さが 20 nm 以上 300 nm 以下であって、横方向の幅が $40 \mu\text{m}$ 以上 $300 \mu\text{m}$ 以下のマクロステップを含む、請求項1から4のいずれか1項に記載の窒化物半導体発光素子。

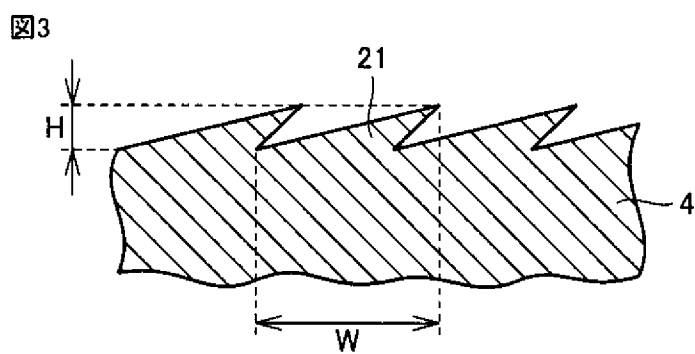
[図1]



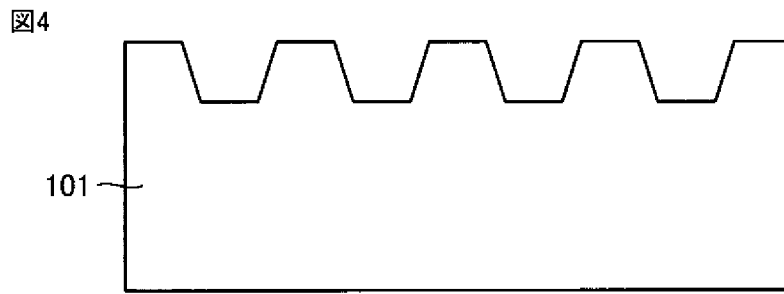
[図2]



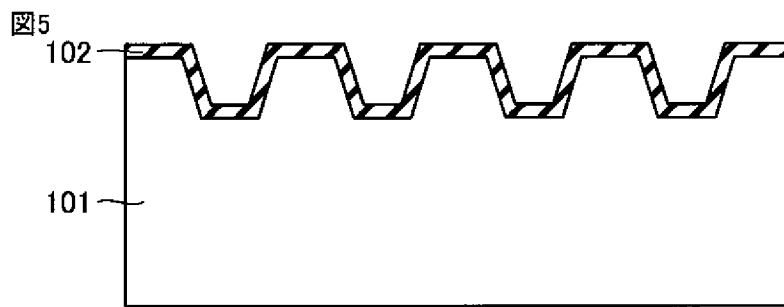
[図3]



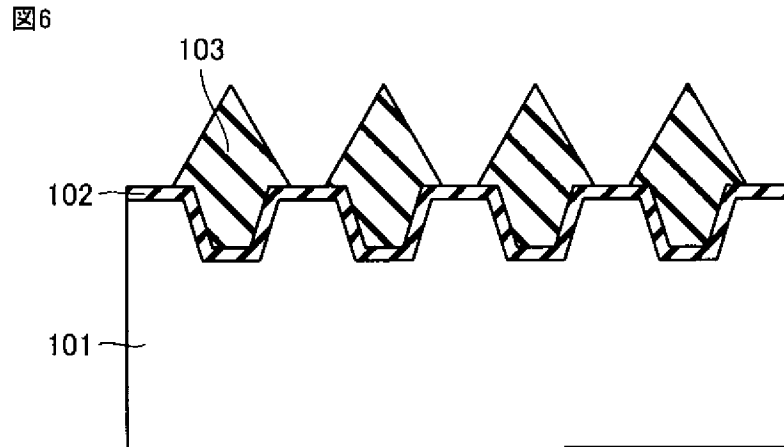
[図4]



[図5]

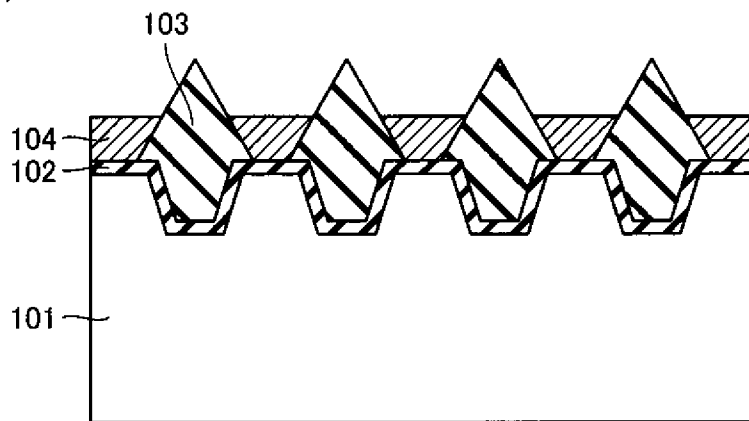


[図6]



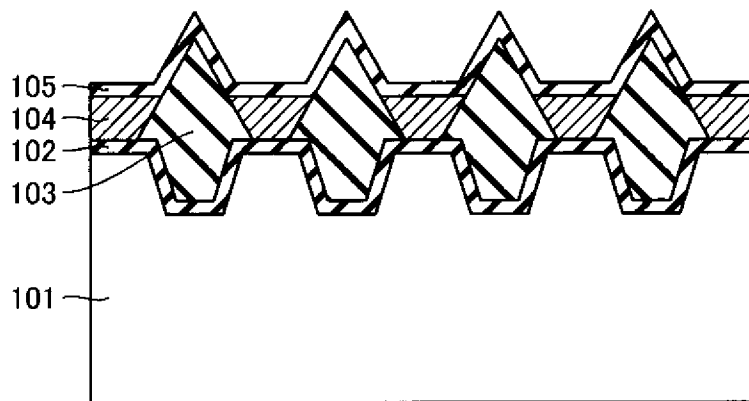
[図7]

図7



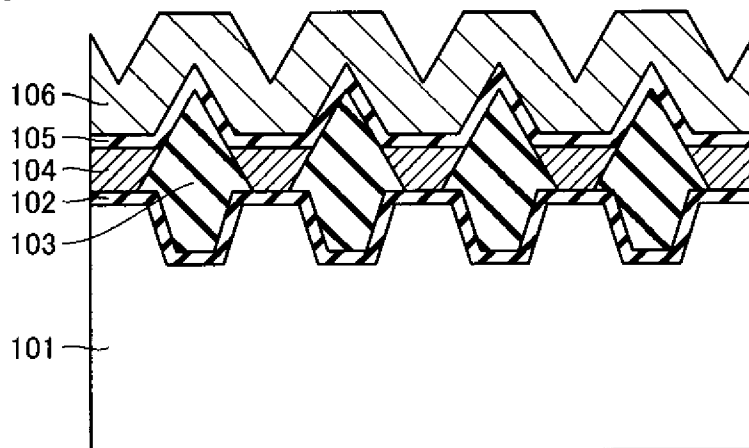
[図8]

図8



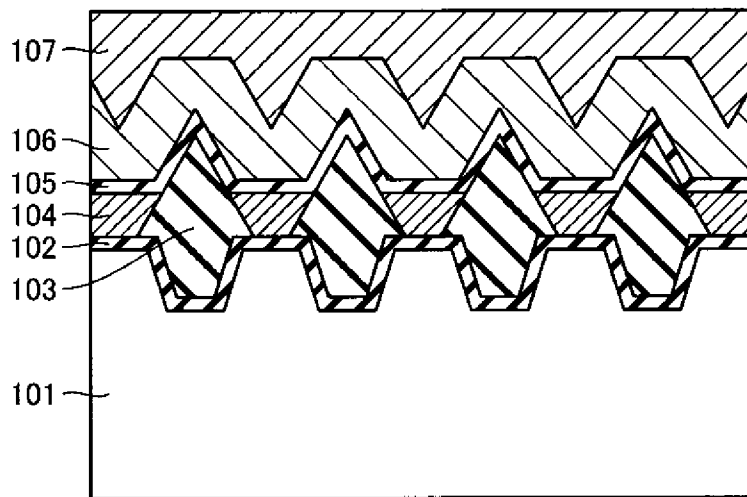
[図9]

図9



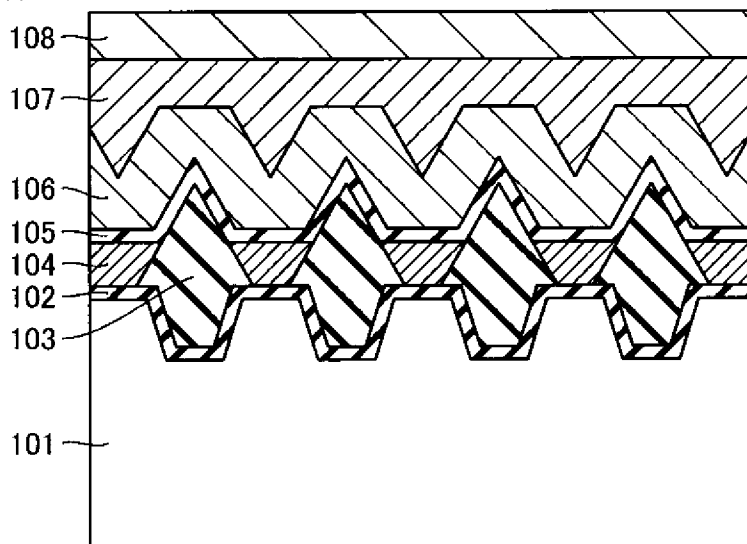
[図10]

図10



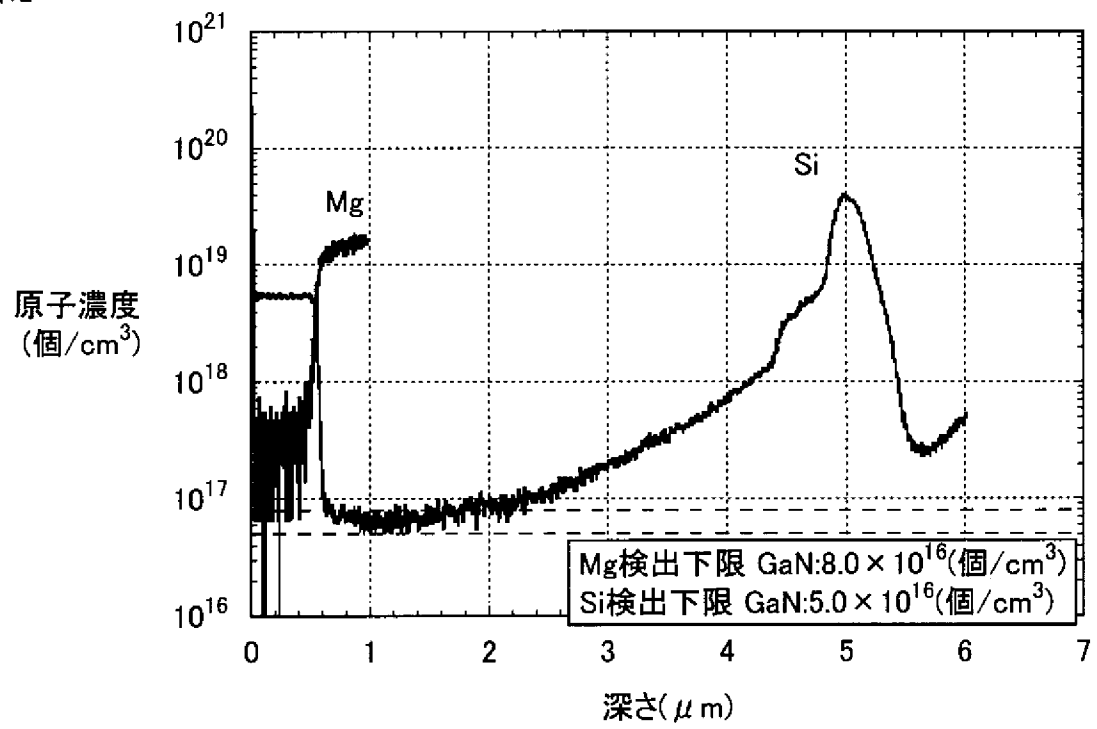
[図11]

図11



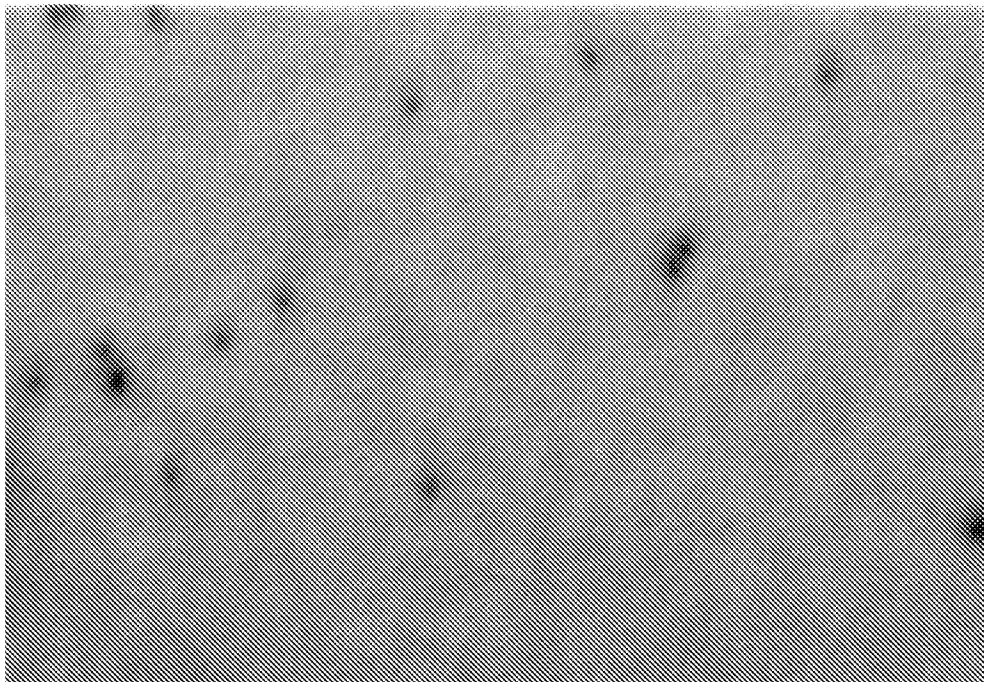
[図12]

図12



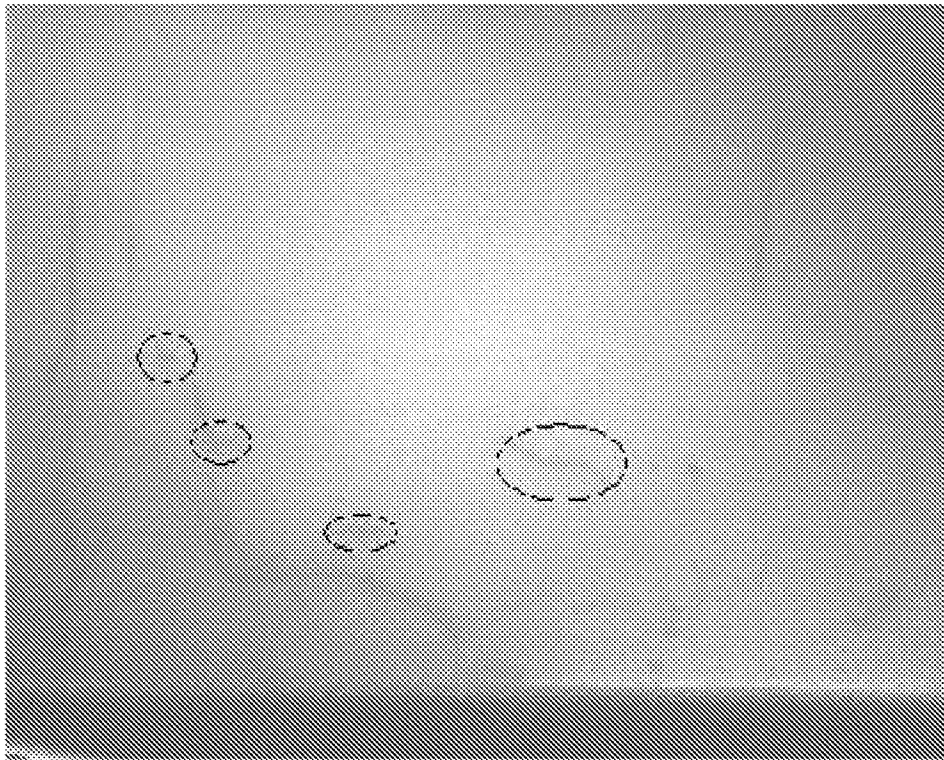
[図13]

図13



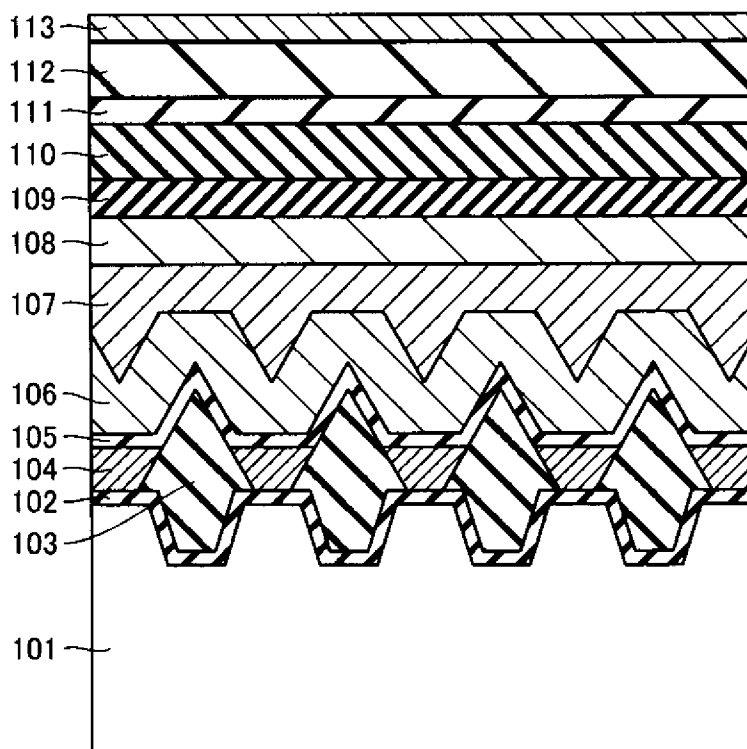
[図14]

図14

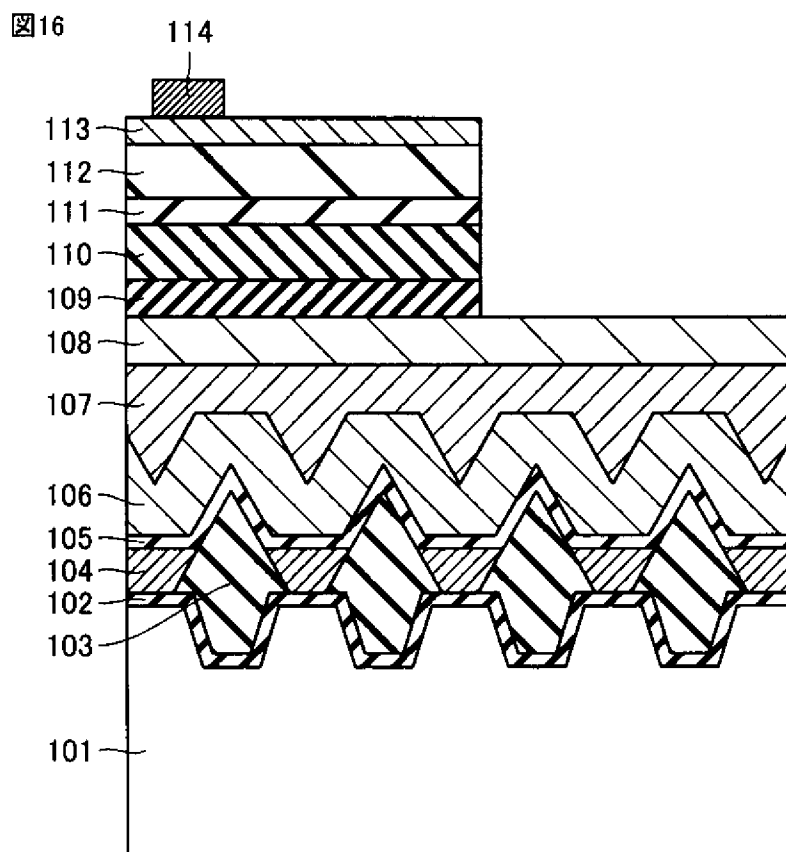


[図15]

図15

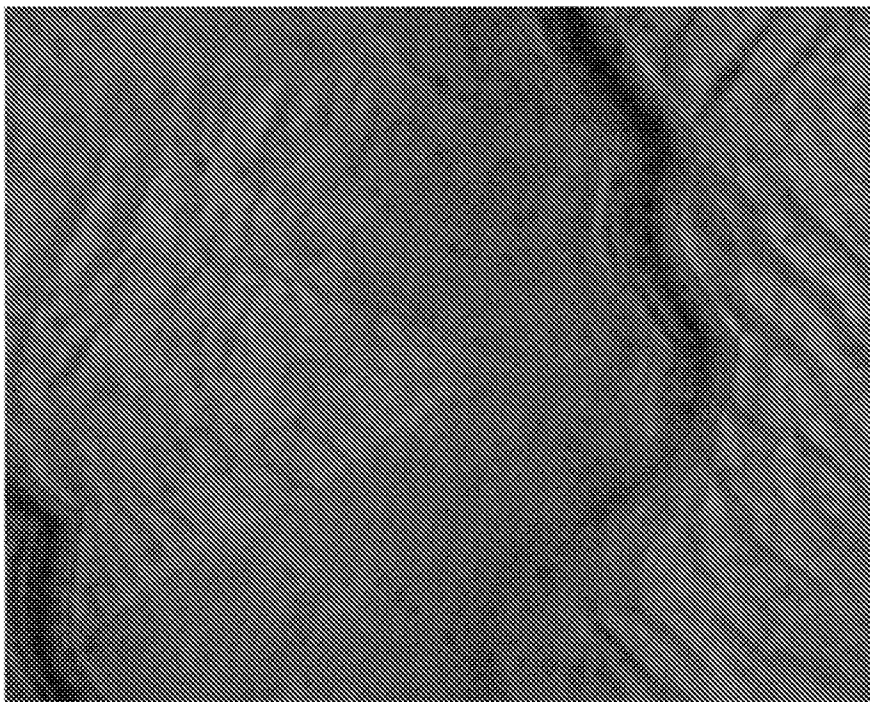


[図16]



[図17]

図17



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2013/073904

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H01L33/32(2010.01)i, H01L33/22(2010.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

H01L33/00-33/64

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

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2013
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 Y	JP 2008-141005 A (Eudyna Devices Inc.), 19 June 2008 (19.06.2008), entire text; all drawings (particularly, paragraphs [0005], [0024], [0025], [0034]) & US 2008/0128707 A1 & TW 200832515 A	1-4 5
X Y	JP 2004-047764 A (Hitachi Cable, Ltd.), 12 February 2004 (12.02.2004), entire text; all drawings (particularly, paragraphs [0024], [0025], [0029], [0030]) (Family: none)	1-4 5



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"I" 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 October, 2013 (02.10.13)

Date of mailing of the international search report
15 October, 2013 (15.10.13)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2013/073904

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2006-060164 A (National Institute of Advanced Industrial Science and Technology), 02 March 2006 (02.03.2006), entire text; all drawings (particularly, paragraph [0011]) (Family: none)	5
A	JP 2003-277196 A (Hitachi Cable, Ltd.), 02 October 2003 (02.10.2003), entire text; all drawings (particularly, paragraphs [0008], [0009], [0019], [0020], [0027], [0028], [0036]) & US 2003/0183160 A1	1-5
A	JP 2006-140357 A (Mitsubishi Cable Industries, Ltd.), 01 June 2006 (01.06.2006), entire text; all drawings (particularly, paragraphs [0013], [0024], [0031]) (Family: none)	1-5
A	JP 2006-313771 A (Showa Denko Kabushiki Kaisha), 16 November 2006 (16.11.2006), entire text; all drawings (particularly, claims 2, 5, 8; paragraphs [0007], [0008]) & US 2006/0261353 A1	1-5
A	JP 2009-224704 A (Sumitomo Electric Industries, Ltd.), 01 October 2009 (01.10.2009), entire text; all drawings (particularly, paragraphs [0054], [0058]) (Family: none)	1-5

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. H01L33/32(2010.01)i, H01L33/22(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. H01L33/00-33/64

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	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 3 年
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 - 2 0 1 3 年
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 - 2 0 1 3 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	JP 2008-141005 A（ユーディナデバイス株式会社）2008.06.19, 全文、全図（特に、[0005], [0024], [0025], [0034]）	1-4
Y	& US 2008/0128707 A1 & TW 200832515 A	5
X	JP 2004-047764 A（日立電線株式会社）2004.02.12, 全文、全図（特に、[0024], [0025], [0029], [0030]）	1-4
Y	（ファミリーなし）	5

☒ C 欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの

「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの

「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）

「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献

「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの

「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの

「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの

「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

0 2 . 1 0 . 2 0 1 3

国際調査報告の発送日

1 5 . 1 0 . 2 0 1 3

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 1 0 0 - 8 9 1 5

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）

佐藤 秀樹

2 K

3 1 5 4

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 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
Y	JP 2006-060164 A (独立行政法人産業技術総合研究所) 2006. 03. 02, 全文、全図 (特に、[0011]) (ファミリーなし)	5
A	JP 2003-277196 A (日立電線株式会社) 2003. 10. 02, 全文、全図 (特に、[0008], [0009], [0019], [0020], [0027], [0028], [0036]) & US 2003/0183160 A1	1-5
A	JP 2006-140357 A (三菱電線工業株式会社) 2006. 06. 01, 全文、全図 (特に、[0013], [0024], [0031]) (ファミリーなし)	1-5
A	JP 2006-313771 A (昭和電工株式会社) 2006. 11. 16, 全文、全図 (特に、請求項 2, 5, 8, [0007], [0008]) & US 2006/0261353 A1	1-5
A	JP 2009-224704 A (住友電気工業株式会社) 2009. 10. 01, 全文、全図 (特に、[0054], [0058]) (ファミリーなし)	1-5