

(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
2010 年 5 月 14 日(14.05.2010)

PCT

(10) 国際公開番号
WO 2010/052967 A1

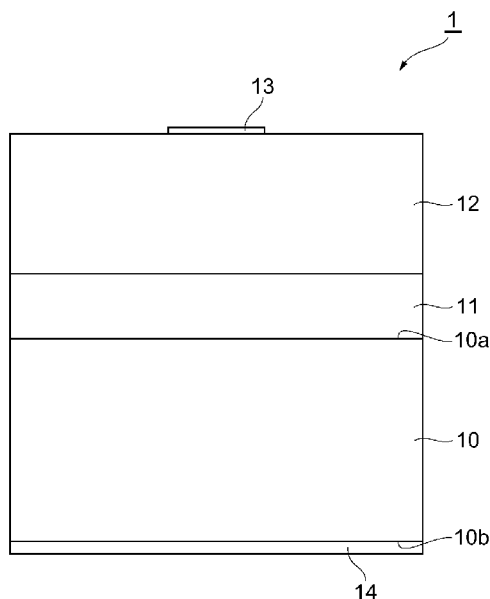
- (51) 国際特許分類:
H01L 33/00 (2010.01) H01S 5/32 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2009/065665
- (22) 国際出願日: 2009 年 9 月 8 日(08.09.2009)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2008-285545 2008 年 11 月 6 日(06.11.2008) JP
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 浜松ホトニクス株式会社(HAMAMATSU PHOTONICS K.K.) [JP/JP]; 〒4358558 静岡県浜松市東区市野町 1 1 2 6 番地の 1 Shizuoka (JP).
- (72) 発明者: および
- (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 楚 樹成 (CHU Shucheng) [CN/JP]; 〒4358558 静岡県浜松市東区市野町 1 1 2 6 番地の 1 浜松ホトニクス株式会社内 Shizuoka (JP). 菅 博文(KAN Hirofumi) [JP/JP]; 〒4358558 静岡県浜松市東区市野町
- 1 1 2 6 番地の 1 浜松ホトニクス株式会社内 Shizuoka (JP).
- (74) 代理人: 長谷川 芳樹, 外(HASEGAWA Yoshiaki et al.); 〒1040061 東京都中央区銀座一丁目 1 0 番 6 号銀座ファーストビル 創英国際特許法律事務所 Tokyo (JP).
- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, 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, KE, KG, KM, 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, PE, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, 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, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ

[続葉有]

(54) Title: SILICON LIGHT-EMITTING ELEMENT

(54) 発明の名称: シリコン発光素子

[図1]



(57) Abstract: Disclosed is a silicon light-emitting element comprising: a first electrically conductive silicon substrate (10) which has a first surface (10a) and a second surface (10b) opposed to the first surface (10a); an insulating film (11) which is arranged on the first surface (10a) of the silicon substrate (10); a second electrically conductive silicon layer (12) which is arranged on the insulating film (11) and is different from the first electrically conductive silicon substrate (10); a first electrode (13) which is arranged on the silicon layer (12); and a second electrode (14) which is arranged on the second surface of the silicon substrate (10). In the silicon light-emitting element, the carrier concentration of the silicon substrate (10) is $5 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ to $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$, the carrier concentration of the silicon layer (12) is $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ to $5 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ and is higher by one or more orders of magnitude than that of the silicon substrate (10), and the insulating film (11) has a film thickness of 0.3 to 5 nm. The silicon light-emitting element is applicable to a light source for silicon photonics.

(57) 要約:

[続葉有]



(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, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

第 1 の面 10 a と該第 1 の面 10 a の反対側にある第 2 の面 10 b とを有する第 1 導電型のシリコン基板 10 と、シリコン基板 10 の第 1 の面 10 a 上に設けられた絶縁膜 11 と、絶縁膜 11 上に設けられ第 1 導電型と異なる第 2 導電型のシリコン層 12 と、シリコン層 12 上に設けられた第 1 の電極 13 と、シリコン基板の第 2 の面上に設けられた第 2 の電極 14 と、を備え、シリコン基板 10 のキャリア濃度は、 $5 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3} \sim 5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ であり、シリコン層 12 のキャリア濃度は、 $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3} \sim 5 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ であり、且つ、シリコン基板 10 のキャリア濃度より一桁以上大きく、絶縁膜 11 の膜厚は、 $0.3 \text{ nm} \sim 5 \text{ nm}$ である。これにより、シリコンフォトニクス光源に適用可能なシリコン発光素子が実現される。

明 細 書

発明の名称： シリコン発光素子

技術分野

[0001] 本発明は、シリコン発光素子に関する。

背景技術

[0002] 近年、シリコンフォトニクスが注目を集めている。シリコンフォトニクスは、シリコンを用いた発光素子やシリコン導波路等を、LSI内のチップ間又はチップ内に集積することによって、消費電力の低減や、信号処理速度の向上を図るための技術である。このシリコンフォトニクスの光源に、安価で環境負荷の小さいシリコンを用いた発光素子が望まれている。また、シリコンのバンドギャップ（室温で約 1.125 eV ）より低いエネルギーの光（約 1100 nm 以上の波長の光）がシリコン導波路を透過し易いので、このような光を発する発光素子が要求されている。シリコンを用いた発光素子の一例が特許文献1及び特許文献2に記載されている。特許文献1及び特許文献2に記載のシリコン発光ダイオードは、何れもSOI基板上に厚さ 10 nm 以下のpn接合部を有している。これらの特許文献1及び特許文献2に記載のシリコン発光ダイオードは、シリコンのバンドギャップより高いエネルギーの光（波長約 $770\text{ nm}\sim 1000\text{ nm}$ ）を発する。これは、pn接合部を薄くすることによって発現する量子閉じ込め効果の影響だと考えられている。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献1：特開2007-294628号公報

特許文献2：特開平8-46237号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0004] しかしながら、波長 $770\text{ nm}\sim 1000\text{ nm}$ の光はシリコン導波路を透

過し難い。したがって、特許文献1及び特許文献2に記載のシリコン発光ダイオードを、シリコンフォトリソの光源に適用することは困難である。また、シリコンを用いた他の発光素子として、ポーラスSiやSi/SiO₂ナノ構造を有するシリコン発光素子が知られている。しかし、ポーラスSiやSi/SiO₂ナノ構造を有するシリコン発光素子の発する光は可視光であり、やはりシリコン導波路を透過し難い。したがって、ポーラスSiやSi/SiO₂ナノ構造を有するシリコン発光素子は、シリコンフォトリソの光源に適用することは困難である。そこで、本発明は、シリコンフォトリソの光源に適用可能なシリコン発光素子を提供することを課題とする。

課題を解決するための手段

- [0005] 本発明のシリコン発光素子は、第1の面と該第1の面の反対側にある第2の面とを有する第1導電型のシリコン基板と、シリコン基板の第1の面上に設けられた絶縁膜と、絶縁膜上に設けられ第1導電型と異なる第2導電型のシリコン層と、シリコン層上に設けられた第1の電極と、シリコン基板の第2の面上に設けられた第2の電極と、を備え、シリコン基板のキャリア濃度は、 $5 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3} \sim 5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ であり、シリコン層のキャリア濃度は、 $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3} \sim 5 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ であり、且つ、シリコン基板のキャリア濃度より一桁以上大きく、絶縁膜の膜厚は、 $0.3 \text{ nm} \sim 5 \text{ nm}$ である、ことを特徴とする。
- [0006] また、本発明のシリコン発光素子は、第1の面と該第1の面の反対側にある第2の面とを有する第1導電型のシリコン基板と、シリコン基板の第1の面上に設けられた絶縁膜と、絶縁膜上に設けられ第1導電型と異なる第2導電型のシリコン層と、シリコン層上に設けられた第1の電極と、シリコン基板の第2の面上に設けられた第2の電極と、を備え、シリコン層のキャリア濃度は、 $5 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3} \sim 5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ であり、シリコン基板のキャリア濃度は、 $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3} \sim 5 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ であり、且つ、シリコン層のキャリア濃度より一桁以上大きく、絶縁膜の膜厚は、 $0.3 \text{ nm} \sim 5 \text{ nm}$ である、ことを特徴とする。

- [0007] また、本発明のシリコン発光素子は、第1の面を有するシリコン基板と、シリコン基板の第1の面上に設けられ、該第1の面に沿って順に配置された第1領域、第2領域及び第3領域を有する第1導電型の第1のシリコン層と、第1のシリコン層の第1領域及び第3領域上にそれぞれ設けられた第1の電極と、第1のシリコン層の第2領域上に設けられた絶縁膜と、絶縁膜上に設けられ第1導電型と異なる第2導電型の第2のシリコン層と、第2のシリコン層上に設けられた第2の電極と、を備え、第1のシリコン層のキャリア濃度は、 $5 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3} \sim 5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ であり、第2のシリコン層のキャリア濃度は、 $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3} \sim 5 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ であり、且つ、第1のシリコン層のキャリア濃度より一桁以上大きく、絶縁膜の膜厚は、 $0.3 \text{ nm} \sim 5 \text{ nm}$ である、ことを特徴とする。
- [0008] また、本発明のシリコン発光素子は、第1の面を有するシリコン基板と、シリコン基板の第1の面上に設けられ、該第1の面に沿って順に配置された第1領域、第2領域及び第3領域を有する第1導電型の第1のシリコン層と、第1のシリコン層の第1領域及び第3領域上にそれぞれ設けられた第1の電極と、第1のシリコン層の第2領域上に設けられた絶縁膜と、絶縁膜上に設けられ第1導電型と異なる第2導電型の第2のシリコン層と、第2のシリコン層上に設けられた第2の電極と、を備え、第2のシリコン層のキャリア濃度は、 $5 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3} \sim 5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ であり、第1のシリコン層のキャリア濃度は、 $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3} \sim 5 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ であり、且つ、第2のシリコン層のキャリア濃度より一桁以上大きく、絶縁膜の膜厚は、 $0.3 \text{ nm} \sim 5 \text{ nm}$ である、ことを特徴とする。
- [0009] 本発明者は、シリコン導波路を透過しやすい波長の光を比較的高い強度で発することが要求されるシリコンフォトリソグラフィの光源に適用可能なシリコン発光素子を開発すべく研究を重ねた。この研究の結果、本発明者は、膜厚 $0.3 \text{ nm} \sim 5 \text{ nm}$ の絶縁膜を有する本発明のシリコン発光素子が、シリコン導波路を透過しやすい波長の光を高い強度で発することを見出した。

発明の効果

[0010] 本発明によれば、シリコンフォトリソグラフィの光源に適用可能なシリコン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] 第1実施形態に係るシリコン発光素子の構成を模式的に表す図である。

[図2] 第1実施形態に係るシリコン発光素子のV-I特性を表す図である。

[図3] 第1実施形態に係るシリコン発光素子の発光スペクトルを表す図である。

。

[図4] 第1実施形態に係るシリコン発光素子の絶縁膜の膜厚と発光強度との関係を表す図である。

[図5] 第2実施形態に係るシリコン発光素子の構成を模式的に表す図である。

[図6] 第3実施形態に係るシリコン発光素子の構成を模式的に表す図である。

発明を実施するための形態

[0012] (第1実施形態) 以下、図面を参照して、本発明に係るシリコン発光素子の第1実施形態について詳細に説明する。なお、図面の説明において、可能な場合には、同一要素には同一符号を付し、重複する説明を省略する。図1を参照して、第1実施形態に係るシリコン発光素子1の構成を説明する。図1は第1実施形態に係るシリコン発光素子1の構成を模式的に表す図である。シリコン発光素子1は、シリコン基板10と、絶縁膜11と、シリコン層12と、第1の電極13と、第2の電極14と、を備える。シリコン基板10は、第1の面10aと第2の面10bとを有している。また、シリコン基板10は、n型の導電型(第1導電型)を有している。絶縁膜11は、シリコン基板10の第1の面10a上に設けられている。絶縁膜11は、シリコン基板10に接合されている。絶縁膜11は、シリコン酸化膜又はシリコン窒化膜とすることができるがシリコンを含む他の材料であってもよい。シリコン層12は、絶縁膜11上に設けられている。シリコン層12は、絶縁膜11に接合されている。シリコン層12は、p型の導電型(第2導電型)を有している。第1の電極13は、シリコン層12上に設けられている。第1の電極13は、シリコン層12に接合されている。第2の電極14は、シリ

コン基板 10 の第 2 の面 10 b 上に設けられている。第 2 の電極 14 は、シリコン基板 10 に接合されている。絶縁膜 11 は、シリコン基板 10 とシリコン層 12 との間に挟まれている。

[0013] シリコン基板 10 のキャリア濃度は $5 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3} \sim 5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ であり、抵抗率は、約 $1 \Omega \cdot \text{cm} \sim 0.01 \Omega \cdot \text{cm}$ である。また、シリコン層 12 のキャリア濃度は、 $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3} \sim 5 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ であり、抵抗率は、約 $0.2 \Omega \cdot \text{cm} \sim 0.002 \Omega \cdot \text{cm}$ である。ただし、シリコン層 12 のキャリア濃度はシリコン基板 10 のキャリア濃度に比べて一桁以上大きい。シリコン層 12 の厚さは $0.1 \mu\text{m} \sim 2 \mu\text{m}$ である。絶縁膜 11 の膜厚は $0.3 \text{ nm} \sim 11 \text{ nm}$ である。

[0014] 次にシリコン発光素子 1 の製造方法について説明する。先ず、シリコン基板 10 の表面を熱酸化させ、シリコン基板 10 の表面に絶縁膜 11（シリコン酸化膜）を設ける。絶縁膜 11 を設ける方法は、化学酸化であってもよい。このとき、絶縁膜 11 の膜厚が約 $0.3 \text{ nm} \sim 11 \text{ nm}$ になるように、熱酸化の酸化温度や酸化時間等を調整する。次に、絶縁膜 11 上に厚さ $0.1 \mu\text{m} \sim 2 \mu\text{m}$ のシリコン層 12 を成長させる。そして、第 1 の電極 13 及び第 2 の電極 14 を、それぞれシリコン層 12 及びシリコン基板 10 上に蒸着して設ける。ここで、シリコン基板 10 には、キャリア濃度が $5 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3} \sim 5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ となるように n 型キャリアをドーピングし、シリコン層 12 には、キャリア濃度が $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3} \sim 5 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ となるように p 型キャリアをドーピングする。ただし、シリコン層 12 のキャリア濃度がシリコン基板 10 のキャリア濃度より一桁以上大きくなるように各ドーピング量を調整する。

[0015] 次に、図 2 を参照して、シリコン発光素子 1 の V-I 特性（電圧-電流特性）について説明する。図 2 は、膜厚 2 nm の絶縁膜 11 を有するシリコン発光素子 1 の V-I 特性を表している。図 2 の横軸は、シリコン発光素子 1 に印可するバイアス電圧（V）を表しており、縦軸はシリコン発光素子 1 に流れる電流（mA）を表している。図 2 に示すように、シリコン発光素子 1 は、良好な p-n 接合特性を発揮するので、ダイオードとして動作すること

がわかる。

[0016] 続いて、図3及び図4を用いて、シリコン発光素子1のEL (Electro Luminescence) 特性について説明する。図3は、膜厚2 nmの絶縁膜11を有するシリコン発光素子1に40 mAの測定電流を室温で注入した場合のシリコン発光素子1の発光スペクトルを表している。図3の横軸は、シリコン発光素子1から発せられる光の波長 (nm) を表している。図3の縦軸は、シリコン発光素子1の発光強度 (arb. unit) を表している。シリコン発光素子1に注入する電流を制御することにより発光強度を制御することができるが、スペクトルは変わらない。図3に示すように、シリコン発光素子1は、約1140 nmの発光ピークを有する。図4は、シリコン発光素子1の絶縁膜11の膜厚と、シリコン発光素子1の発光強度との関係を表す図である。図4の横軸は、絶縁膜11の膜厚 (nm) を表している。図4の縦軸は、シリコン発光素子1の発光強度 (arb. unit) を表しており、絶縁膜11を有さないシリコン発光素子の発光強度を1とするスケールによって表されている。図4に示すデータは、シリコン発光素子1に40 mAの測定電流を室温で注入した際に得られたデータである。図4に示すように、絶縁膜11を有する発光素子1の発光強度は、絶縁膜11を有さないシリコン発光素子の発光強度に比べて向上していることがわかる。特に、絶縁膜11の膜厚が約3 nmの場合、シリコン発光素子1の発光強度は、絶縁膜11を有さないシリコン発光素子の発光強度に比べて3桁以上も向上している。これは、第1の電極13及び第2の電極14から注入される電流により発生するキャリアが、薄い絶縁膜11をトンネル効果により移動し、再結合するためであると考えられる。なお、シリコン層12がシリコン基板10より高濃度でキャリアがドーピングされているため (キャリア濃度が一桁以上大きい)、シリコン層12からシリコン基板10へトンネル効果により移動するキャリアが、全体のキャリアの中で支配的であると考えられる。このため、キャリアの再結合は、シリコン基板10の第1の面10a近傍に限定されられると考えられる。これは、一種のキャリア閉じ込めであると考えられる。

[0017] 以上説明したように、本実施形態に係るシリコン発光素子 1 は、図 3 に示すように、シリコン導波路を透過し易い波長の光（波長約 1100 nm 以上の光）を発することができる。また、図 4 に示すように、絶縁膜 11 の膜厚が 0.3 nm～5 nm の場合、シリコン発光素子 1 の発光強度は、絶縁膜 11 を有さないシリコン発光素子の発光強度に比べて最大で 3 桁以上も向上している。また、図 2 に示すように、シリコン発光素子 1 は、動作電圧が約 1 V と低いので安定な電流注入が可能である。また、図 2～図 4 に示す結果は、シリコン発光素子 1 の室温動作を表している。また、シリコン基板 10、絶縁膜 11 及びシリコン層 12 は Si を含んでいる。このように、シリコン発光素子 1 は、シリコン系材料又はシリコンプロセス適合材料で構成されており、シリコン導波路を透過しやすい波長の光を高い強度で発し、安定した電流注入が可能であり、室温で用いることができるのでシリコンフォトリソの光源に適している。

[0018] なお、シリコン基板 10 及びシリコン層 12 のキャリア濃度は、上記の場合に限らない。例えば、シリコン層 12 のキャリア濃度は $5 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ ～ $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ であり、シリコン基板 10 のキャリア濃度は、 $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ ～ $5 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ であり、且つ、シリコン基板 10 のキャリア濃度は、シリコン層 12 のキャリア濃度に比べて一桁以上大きい、とすることができる。このように、シリコン基板 10 がシリコン層 12 より高濃度でキャリアがドーピングされている場合においては、キャリアの再結合は、シリコン層 12 の絶縁膜 11 との接合面近傍に限定されると考えられる。

[0019] なお、シリコン発光素子 1 以外にもシリコンを用いた複数の発光素子が知られている。このような発光素子としては、例えば、SiGe 超格子を有する Si 系半導体を用いた発光素子が知られている。この発光素子は、直接遷移により赤外光を発する。しかし、SiGe 超格子は精密な成長技術が要求されるので、この発光素子は製造が容易でない。これに対し、本実施形態に係るシリコン発光素子 1 は、図 1 に示すように、素子構造が複雑でないので比較的容易に製造できる。また、Si に Er をドーピングした発光素子も知られ

ている。この発光素子は約 $1.5 \mu\text{m}$ の波長の光を発する。しかし、この発光素子は室温における発光強度が極めて弱い。

[0020] (第2実施形態) 続いて、本発明に係るシリコン発光素子の第2実施形態について詳細に説明する。図5を参照して、第2実施形態に係るシリコン発光素子2の構成を説明する。図5は、第2実施形態に係るシリコン発光素子2の構成を模式的に表す図である。シリコン発光素子2は、シリコン基板20と、第1のシリコン層21と、第1の電極22と、絶縁膜23と、第2のシリコン層24と、第2の電極25と、を有している。シリコン基板20は、第1の面20aを有している。第1のシリコン層21は、n型の導電型(第1導電型)を有している。第1のシリコン層21は、シリコン基板20の第1の面20a上に設けられている。また、第1のシリコン層21は、シリコン基板20に接合されている。さらに、第1のシリコン層21は、シリコン基板20の第1の面20aに沿って順に配置された第1領域21a、第2領域21b及び第3領域21cを有する。第1領域21aの厚さと第3領域21cの厚さとは略同一であるが、第2領域21bは、第1領域21a及び第3領域21cよりも厚い。したがって、第2領域21bは、第1領域21a及び第3領域21cの表面より突出している。このように、第1のシリコン層21の表面には段差が設けられている。第1の電極22は、第1のシリコン層21の第1領域21a及び第3領域21c上にそれぞれ設けられている。第1の電極22は、第1のシリコン層21に接合されている。絶縁膜23は、第1のシリコン層21の第2領域21b上に設けられている。絶縁膜23は、第1のシリコン層21に接合されている。絶縁膜23は、シリコン酸化膜又はシリコン窒化膜とすることができるがシリコンを含む他の材料であってもよい。第2のシリコン層24はp型の導電型(第2導電型)を有している。第2のシリコン層24は、絶縁膜23上に設けられている。また、第2のシリコン層24は、絶縁膜23に接合されている。第2の電極25は、第2のシリコン層24上に設けられている。第2の電極25は、第2のシリコン層24に接合されている。絶縁膜23は、第1のシリコン層21と第

2のシリコン層24との間に挟まれている。

[0021] 第1のシリコン層21のキャリア濃度は $5 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3} \sim 5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ であり、抵抗率は、約 $1 \Omega \cdot \text{cm} \sim 0.01 \Omega \cdot \text{cm}$ である。また、第2のシリコン層24のキャリア濃度は、 $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3} \sim 5 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ であり、抵抗率は、約 $0.2 \Omega \cdot \text{cm} \sim 0.002 \Omega \cdot \text{cm}$ である。ただし、第2のシリコン層24のキャリア濃度は第1のシリコン層21のキャリア濃度比べて一桁以上大きい。第2のシリコン層24の厚さは $0.1 \mu\text{m} \sim 2 \mu\text{m}$ である。絶縁膜23の膜厚は $0.3 \text{ nm} \sim 11 \text{ nm}$ である。

[0022] 次にシリコン発光素子2の製造方法について説明する。まず、シリコン基板20を用意し、このシリコン基板20上に第1のシリコン層をエピタキシャル成長によって形成する。次に第1のシリコン層の表面を熱酸化させ、第1のシリコン層の表面に絶縁膜（シリコン酸化膜）を設ける。絶縁膜を設ける方法は、化学酸化であってもよい。このとき、絶縁膜の膜厚が約 $0.3 \text{ nm} \sim 11 \text{ nm}$ になるように、熱酸化の酸化温度や酸化時間等を調整する。次に、絶縁膜上に厚さ $0.1 \mu\text{m} \sim 2 \mu\text{m}$ の第2のシリコン層をエピタキシャル成長によって形成する。ここで、第1のシリコン層には、キャリア濃度が $5 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3} \sim 5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ となるようにn型キャリアをドーピングし、第2のシリコン層には、キャリア濃度が $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3} \sim 5 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ となるようにp型キャリアをドーピングする。ただし、第2のシリコン層のキャリア濃度が第1のシリコン層のキャリア濃度より一桁以上大きくなるように各ドーピング量を調整する。そして、このように設けられた絶縁膜及び第2のシリコン層を、中央部分を残してエッチングして除去し（絶縁膜及び第2のシリコン層の縁部をエッチングして除去し）、第1のシリコン層の一部（縁部）を露出させる。この露出した第1のシリコン層の一部をさらにエッチングし、第1のシリコン層の表面に段差を設ける。このエッチングによって、シリコン基板20上に、第1のシリコン層21、絶縁膜23及び第2のシリコン層24が形成される。この後、上記のエッチングによって露出した第1のシリコン層21の第1領域21a及び第3領域21c上に第1の電極22を蒸着

して設ける。さらに、第2のシリコン層24上に、第2の電極25を蒸着して設ける。以上説明した、第2実施形態に係るシリコン発光素子2は、第1のシリコン層21内におけるキャリア濃度を精度良く制御可能であり、高い応用性がある。

[0023] なお、第1のシリコン層21及び第2のシリコン層24のキャリア濃度は、上記の場合に限らない。例えば、第2のシリコン層24のキャリア濃度は、 $5 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3} \sim 5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ であり、第1のシリコン層21のキャリア濃度は、 $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3} \sim 5 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ であり、且つ、第1のシリコン層21のキャリア濃度は、第2のシリコン層24のキャリア濃度より一桁以上大きい、とすることができる。

[0024] (第3実施形態) 次に、図6を参照して、本発明のシリコン発光素子の第3実施形態について説明する。図6は、第3実施形態に係るシリコン発光素子3の構成を模式的に表す図である。シリコン発光素子3は、シリコン発光素子2の第1のシリコン層21に替えて第1のシリコン層26を有する。シリコン発光素子3の他の構成は、シリコン発光素子2と同様である。第1のシリコン層26は、シリコン基板20の第1の面20a上に設けられている。第1のシリコン層26は、シリコン基板20の第1の面20aに沿って順に配置された第1領域26a、第2領域26b及び第3領域26cを有する。第1領域26a、第2領域26b及び第3領域26cの厚さは、略同一である。したがって、第1のシリコン層26の表面には、段差が設けられていない。第2領域26b上に絶縁膜23、第2のシリコン層24及び第2の電極25が順に設けられている。第1のシリコン層26のキャリア濃度は、 $5 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3} \sim 5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ であり、抵抗率は、約 $1 \Omega \cdot \text{cm} \sim 0.01 \Omega \cdot \text{cm}$ である。また、第2のシリコン層24のキャリア濃度は、 $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3} \sim 5 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ であり、抵抗率は、約 $0.2 \Omega \cdot \text{cm} \sim 0.002 \Omega \cdot \text{cm}$ である。ただし、第2のシリコン層24のキャリア濃度は第1のシリコン層26のキャリア濃度に比べて一桁以上大きい。以上説明した、第3実施形態に係るシリコン発光素子3は、第1のシリコン層26内におけるキャリ

ア濃度を精度良く制御可能であり、高い応用性がある。

- [0025] なお、第1のシリコン層26及び第2のシリコン層24のキャリア濃度は、上記の場合に限定されない。例えば、第2のシリコン層24のキャリア濃度は、 $5 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3} \sim 5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ であり、第1のシリコン層26のキャリア濃度は、 $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3} \sim 5 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ であり、且つ、第1のシリコン層26のキャリア濃度は、第2のシリコン層24のキャリア濃度より一桁以上大きい、とすることができる。
- [0026] ここで、上記第1実施形態によるシリコン発光素子では、第1の面と該第1の面の反対側にある第2の面とを有する第1導電型のシリコン基板と、シリコン基板の第1の面上に設けられた絶縁膜と、絶縁膜上に設けられ第1導電型と異なる第2導電型のシリコン層と、シリコン層上に設けられた第1の電極と、シリコン基板の第2の面上に設けられた第2の電極と、を備え、シリコン基板のキャリア濃度は、 $5 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3} \sim 5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ であり、シリコン層のキャリア濃度は、 $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3} \sim 5 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ であり、且つ、シリコン基板のキャリア濃度より一桁以上大きく、絶縁膜の膜厚は、 $0.3 \text{ nm} \sim 5 \text{ nm}$ である構成を用いている。
- [0027] 或いは、上記第1実施形態によるシリコン発光素子では、第1の面と該第1の面の反対側にある第2の面とを有する第1導電型のシリコン基板と、シリコン基板の第1の面上に設けられた絶縁膜と、絶縁膜上に設けられ第1導電型と異なる第2導電型のシリコン層と、シリコン層上に設けられた第1の電極と、シリコン基板の第2の面上に設けられた第2の電極と、を備え、シリコン層のキャリア濃度は、 $5 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3} \sim 5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ であり、シリコン基板のキャリア濃度は、 $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3} \sim 5 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ であり、且つ、シリコン層のキャリア濃度より一桁以上大きく、絶縁膜の膜厚は、 $0.3 \text{ nm} \sim 5 \text{ nm}$ である構成を用いている。
- [0028] また、上記第2及び第3実施形態によるシリコン発光素子では、第1の面を有するシリコン基板と、シリコン基板の第1の面上に設けられ、該第1の面に沿って順に配置された第1領域、第2領域及び第3領域を有する第1導

電型の第1のシリコン層と、第1のシリコン層の第1領域及び第3領域上にそれぞれ設けられた第1の電極と、第1のシリコン層の第2領域上に設けられた絶縁膜と、絶縁膜上に設けられ第1導電型と異なる第2導電型の第2のシリコン層と、第2のシリコン層上に設けられた第2の電極と、を備え、第1のシリコン層のキャリア濃度は、 $5 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3} \sim 5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ であり、第2のシリコン層のキャリア濃度は、 $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3} \sim 5 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ であり、且つ、第1のシリコン層のキャリア濃度より一桁以上大きく、絶縁膜の膜厚は、 $0.3 \text{ nm} \sim 5 \text{ nm}$ である構成を用いている。

[0029] 或いは、上記第2及び第3実施形態によるシリコン発光素子では、第1の面を有するシリコン基板と、シリコン基板の第1の面上に設けられ、該第1の面に沿って順に配置された第1領域、第2領域及び第3領域を有する第1導電型の第1のシリコン層と、第1のシリコン層の第1領域及び第3領域上にそれぞれ設けられた第1の電極と、第1のシリコン層の第2領域上に設けられた絶縁膜と、絶縁膜上に設けられ第1導電型と異なる第2導電型の第2のシリコン層と、第2のシリコン層上に設けられた第2の電極と、を備え、第2のシリコン層のキャリア濃度は、 $5 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3} \sim 5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ であり、第1のシリコン層のキャリア濃度は、 $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3} \sim 5 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ であり、且つ、第2のシリコン層のキャリア濃度より一桁以上大きく、絶縁膜の膜厚は、 $0.3 \text{ nm} \sim 5 \text{ nm}$ である構成を用いている。

[0030] このような第1～第3実施形態によるシリコン発光素子においては、絶縁膜の材料はシリコンを含むことが好ましく、より具体的には、絶縁膜はシリコン酸化膜又はシリコン窒化膜であることが好ましい。

産業上の利用可能性

[0031] 本発明は、シリコン導波路を透過しやすい波長の光を高い強度で発することが可能であり、したがって、シリコンフォトリソグラフィの光源として利用可能である。

符号の説明

[0032] 1, 2, 3…シリコン発光素子、10, 20…シリコン基板、10a, 2

0 a…第1の面、1 0 b…第2の面、1 1, 2 3…絶縁膜、1 2…シリコン層、1 3, 2 2…第1の電極、1 4, 2 5…第2の電極、2 1, 2 6…第1のシリコン層、2 4…第2のシリコン層、2 1 a, 2 6 a…第1領域、2 1 b, 2 6 b…第2領域、2 1 c, 2 6 c…第3領域。

請求の範囲

- [請求項1] 第1の面と該第1の面の反対側にある第2の面とを有する第1導電型のシリコン基板と、
 前記シリコン基板の前記第1の面上に設けられた絶縁膜と、
 前記絶縁膜上に設けられ前記第1導電型と異なる第2導電型のシリコン層と、
 前記シリコン層上に設けられた第1の電極と、
 前記シリコン基板の前記第2の面上に設けられた第2の電極と、を
 備え、
 前記シリコン基板のキャリア濃度は、 $5 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3} \sim 5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ であり、
 前記シリコン層のキャリア濃度は、 $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3} \sim 5 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ であり、且つ、前記シリコン基板のキャリア濃度より一桁以上大きく、
 前記絶縁膜の膜厚は、 $0.3 \text{ nm} \sim 5 \text{ nm}$ である、
 ことを特徴とするシリコン発光素子。
- [請求項2] 第1の面と該第1の面の反対側にある第2の面とを有する第1導電型のシリコン基板と、
 前記シリコン基板の前記第1の面上に設けられた絶縁膜と、
 前記絶縁膜上に設けられ前記第1導電型と異なる第2導電型のシリコン層と、
 前記シリコン層上に設けられた第1の電極と、
 前記シリコン基板の前記第2の面上に設けられた第2の電極と、を
 備え、
 前記シリコン層のキャリア濃度は、 $5 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3} \sim 5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ であり、
 前記シリコン基板のキャリア濃度は、 $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3} \sim 5 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ であり、且つ、前記シリコン層のキャリア濃度より一桁以上大

きく、

前記絶縁膜の膜厚は、 $0.3\text{ nm} \sim 5\text{ nm}$ である、

ことを特徴とするシリコン発光素子。

[請求項3]

第1の面を有するシリコン基板と、

前記シリコン基板の第1の面上に設けられ、該第1の面に沿って順に配置された第1領域、第2領域及び第3領域を有する第1導電型の第1のシリコン層と、

前記第1のシリコン層の前記第1領域及び前記第3領域上にそれぞれ設けられた第1の電極と、

前記第1のシリコン層の前記第2領域上に設けられた絶縁膜と、

前記絶縁膜上に設けられ前記第1導電型と異なる第2導電型の第2のシリコン層と、

前記第2のシリコン層上に設けられた第2の電極と、

を備え、

前記第1のシリコン層のキャリア濃度は、 $5 \times 10^{15}\text{ cm}^{-3} \sim 5 \times 10^{18}\text{ cm}^{-3}$ であり、

前記第2のシリコン層のキャリア濃度は、 $1 \times 10^{17}\text{ cm}^{-3} \sim 5 \times 10^{19}\text{ cm}^{-3}$ であり、且つ、前記第1のシリコン層のキャリア濃度より一桁以上大きく、

前記絶縁膜の膜厚は、 $0.3\text{ nm} \sim 5\text{ nm}$ である、

ことを特徴とするシリコン発光素子。

[請求項4]

第1の面を有するシリコン基板と、

前記シリコン基板の第1の面上に設けられ、該第1の面に沿って順に配置された第1領域、第2領域及び第3領域を有する第1導電型の第1のシリコン層と、

前記第1のシリコン層の前記第1領域及び前記第3領域上にそれぞれ設けられた第1の電極と、

前記第1のシリコン層の前記第2領域上に設けられた絶縁膜と、

前記絶縁膜上に設けられ前記第 1 導電型と異なる第 2 導電型の第 2 のシリコン層と、

前記第 2 のシリコン層上に設けられた第 2 の電極と、

を備え、

前記第 2 のシリコン層のキャリア濃度は、 $5 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3} \sim 5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ であり、

前記第 1 のシリコン層のキャリア濃度は、 $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3} \sim 5 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ であり、且つ、前記第 2 のシリコン層のキャリア濃度より一桁以上大きく、

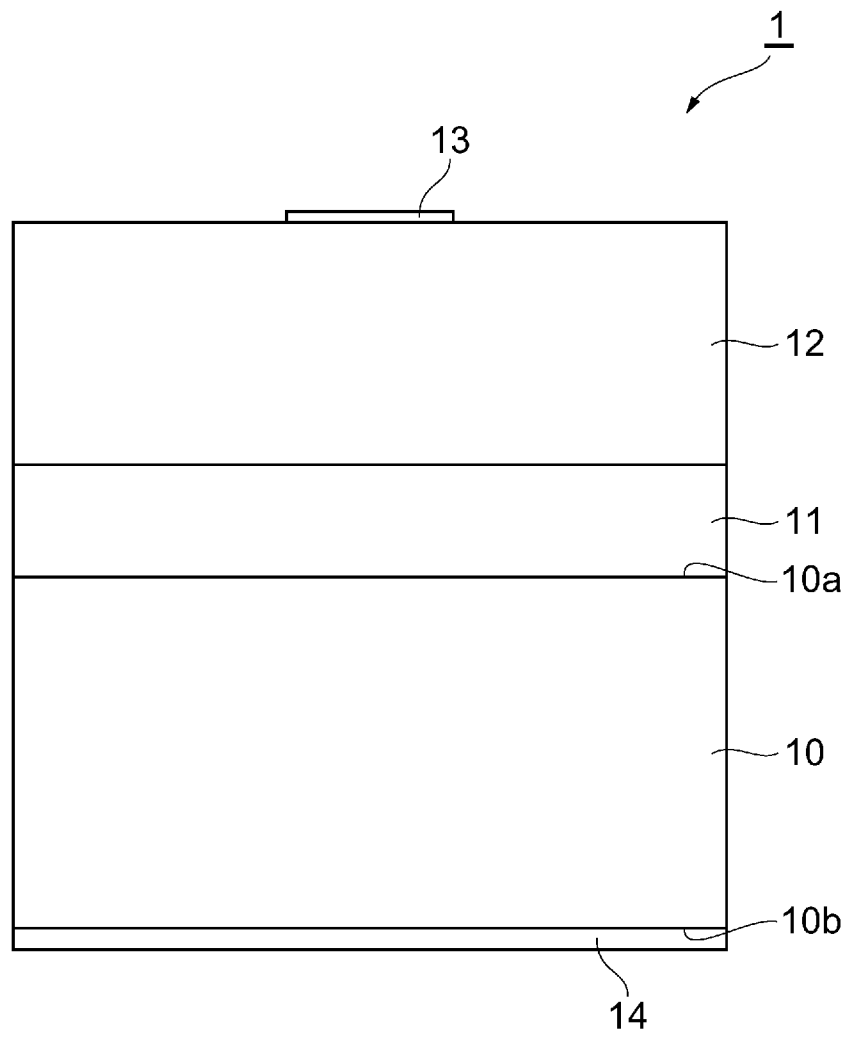
前記絶縁膜の膜厚は、 $0.3 \text{ nm} \sim 5 \text{ nm}$ である、

ことを特徴とするシリコン発光素子。

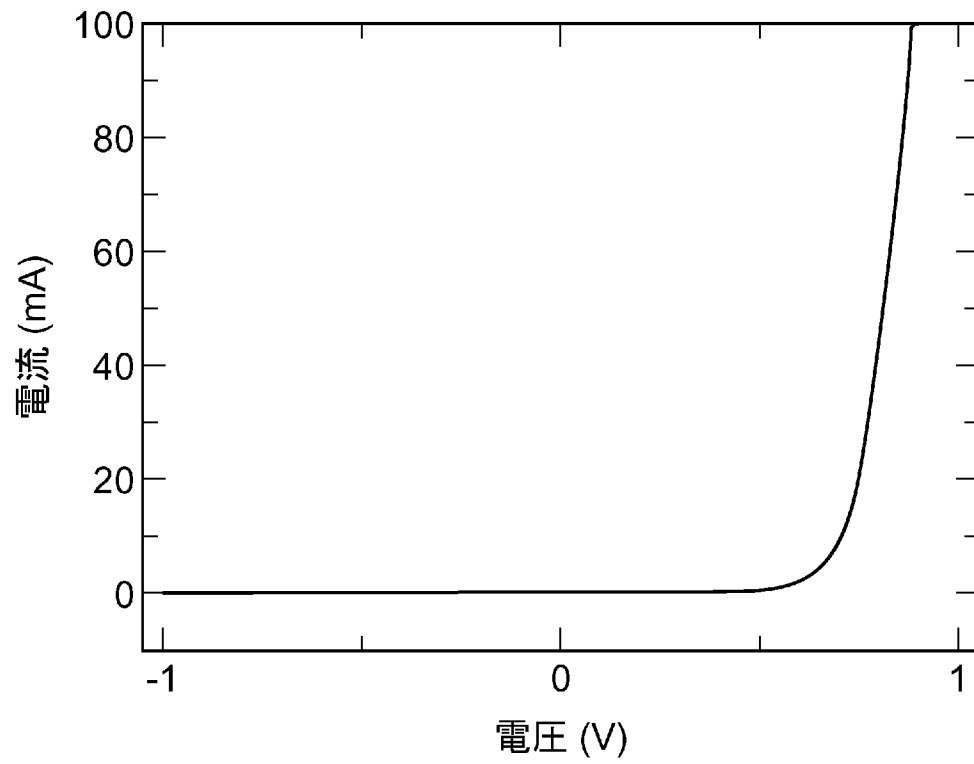
[請求項5] 前記絶縁膜の材料は、シリコンを含むことを特徴とする請求項 1 ～ 請求項 4 の何れか一項に記載のシリコン発光素子。

[請求項6] 前記絶縁膜は、シリコン酸化膜又はシリコン窒化膜であることを特徴とする請求項 1 ～ 請求項 4 の何れか一項に記載のシリコン発光素子。
。

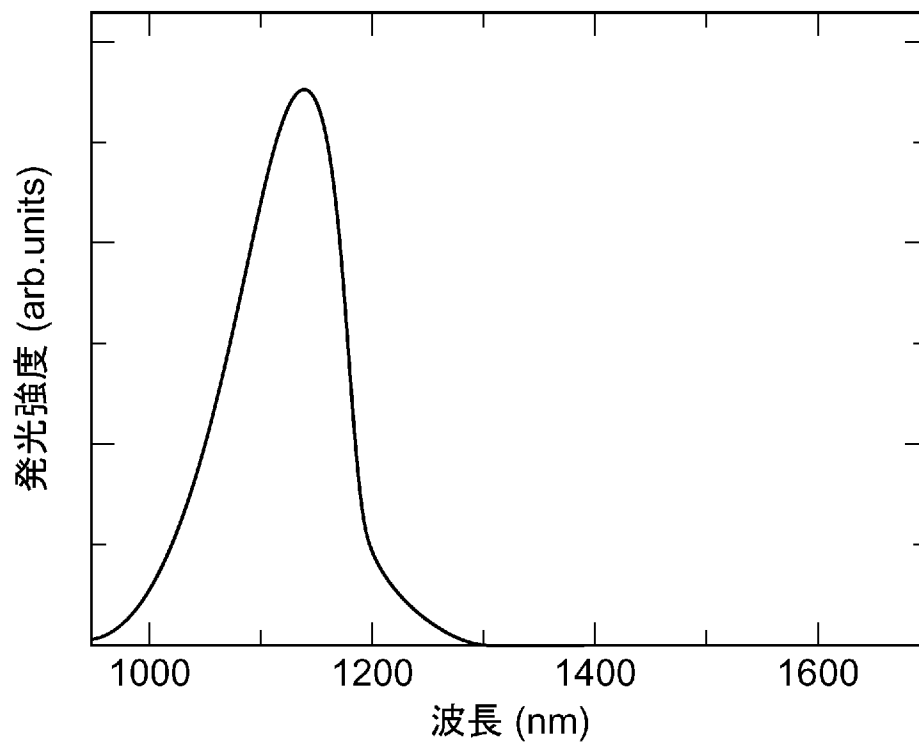
[図1]



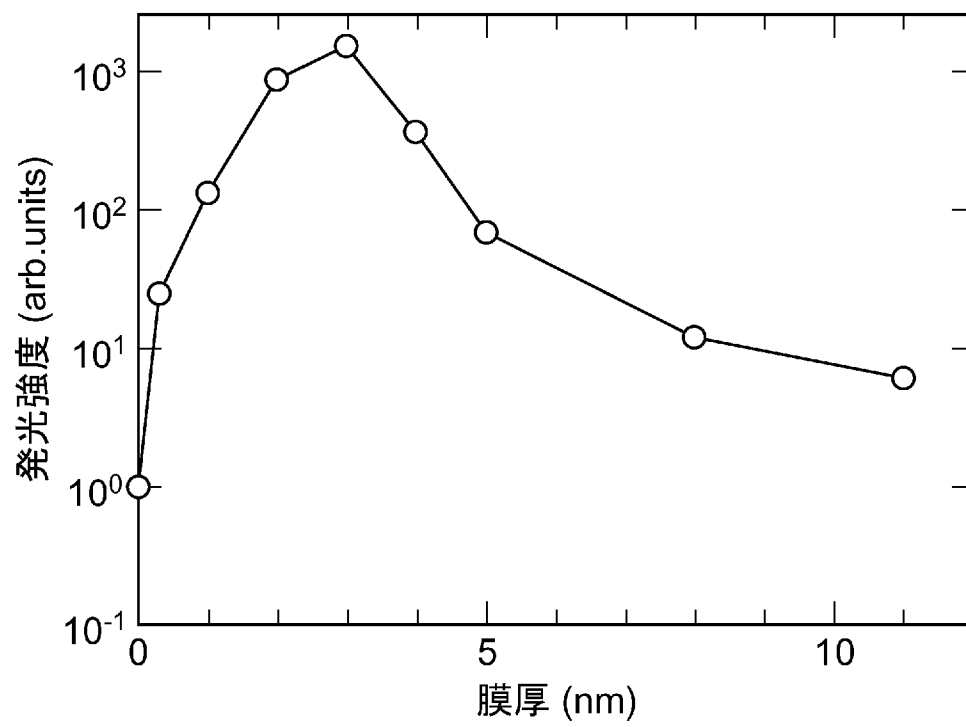
[図2]



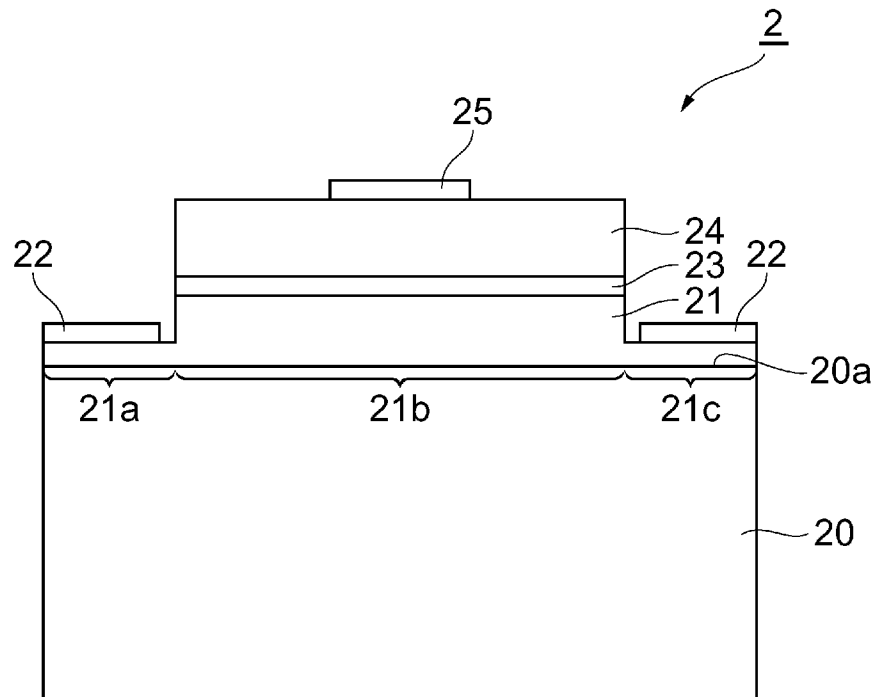
[図3]



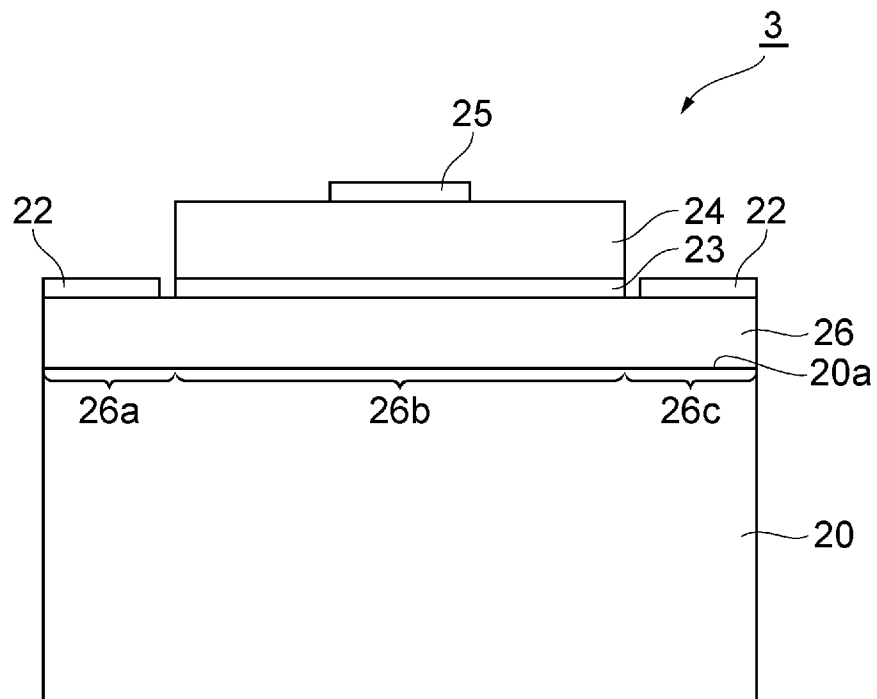
[図4]



[図5]



[図6]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2009/065665

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H01L33/00(2006.01) i, H01S5/32(2006.01) 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, H01S5/00-5/50

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 1996-2009

Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2009 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2009

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.
Y	JP 2000-273450 A (Mitsubishi Materials Corp.), 03 October 2000 (03.10.2000), paragraph [0024]; fig. 3 & US 6399225 B1 & DE 10011567 A	1-6
Y	JP 62-202573 A (Fujitsu Ltd.), 07 September 1987 (07.09.1987), page 3, upper right column, line 1 to page 4, upper right column, line 15 (Family: none)	3-6
Y	JP 2007-329468 A (Kumamoto University), 20 December 2007 (20.12.2007), paragraphs [0029] to [0030]; fig. 5 (Family: none)	3-6



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

27 November, 2009 (27.11.09)

Date of mailing of the international search report

08 December, 2009 (08.12.09)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2009/065665

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 2000-188260 A (Samsung Electro-Mechanics Co., Ltd.), 04 July 2000 (04.07.2000), paragraph [0078]; fig. 3 & KR 10-2000-0041281 A	3-6

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (I P C))

Int.Cl. H01L33/00(2006.01)i, H01S5/32(2006.01)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, H01S5/00-5/50

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 0 9 年
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 - 2 0 0 9 年
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 - 2 0 0 9 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
Y	JP 2000-273450 A (三菱マテリアル株式会社) 2000. 10. 03, 【0 0 2 4】欄、図3 & US 6399225 B1 & DE 10011567 A	1 - 6
Y	JP 62-202573 A (富士通株式会社) 1987. 09. 07, 第3頁右上欄第1行 - 第4頁右上欄第15行 (ファミリーなし)	3 - 6
Y	JP 2007-329468 A (国立大学法人熊本大学) 2007. 12. 20, 【0 0 2 9】 - 【0 0 3 0】欄、図5 (ファミリーなし)	3 - 6

☒ 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

2 7 . 1 1 . 2 0 0 9

国際調査報告の発送日

0 8 . 1 2 . 2 0 0 9

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)

土屋 知久

2 K

8 8 2 6

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 2000-188260 A (三星電機株式会社) 2000.07.04, 【0078】 欄、図3 & KR 10-2000-0041281 A	3 - 6