

(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
2013 年 11 月 28 日(28.11.2013)



(10) 国際公開番号
WO 2013/175697 A1

- (51) 国際特許分類:
H01S 5/022 (2006.01) H01L 33/32 (2010.01)
H01S 5/343 (2006.01) H01L 33/48 (2010.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2013/002346
- (22) 国際出願日: 2013 年 4 月 4 日(04.04.2013)
- (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 2012-116183 2012 年 5 月 22 日(22.05.2012) JP
- (71) 出願人: パナソニック株式会社 (PANASONIC CORPORATION) [JP/JP]; 〒5718501 大阪府門真市大字門真 1 0 0 6 番地 Osaka (JP).
- (72) 発明者: 左文字 克哉 (SAMONJI, Katsuya). 山中一彦 (YAMANAKA, Kazuhiko). 吉田 真治 (YOSHIDA, Shinji). 萩野 裕幸 (HAGINO, Hiroyuki).
- (74) 代理人: 特許業務法人前田特許事務所 (MAEDA & PARTNERS); 〒5410053 大阪府大阪市中央区本町 2 丁目 5 番 7 号 大阪丸紅ビル 5 階 Osaka (JP).

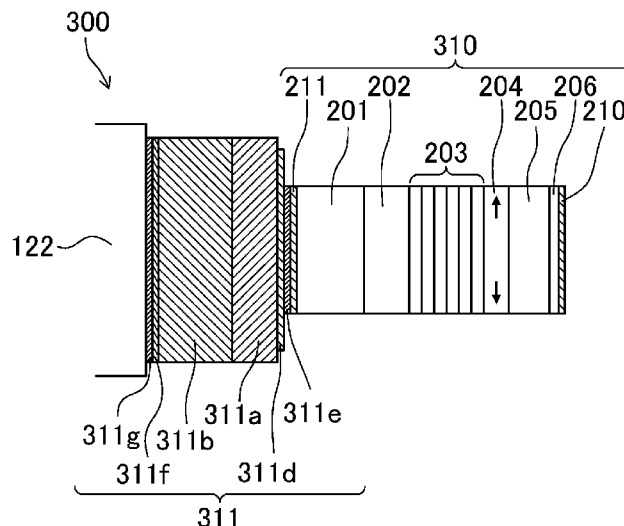
- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, 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, 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 DEVICE

(54) 発明の名称: 窒化物半導体発光装置



(57) Abstract: A semiconductor light emitting device (300) has: a nitride semiconductor light emitting element (310), which has a nitride semiconductor multilayer film laminated on a nitride semiconductor substrate (201) that has a polar surface or a semipolar surface as the surface; and a mounting section (311) having the element mounted thereon. The nitride semiconductor multilayer film includes an electron block layer (204). The electron block layer has a lattice constant smaller than that of the nitride semiconductor substrate. The mounting section has at least a first mounting section base material (311a). The first mounting section base material is positioned on the side where the nitride semiconductor light emitting element is to be mounted. The first mounting section base material has a thermal expansion coefficient smaller than that of the nitride semiconductor multilayer film. The first mounting section base material has thermal conductivity higher than that of the nitride semiconductor multilayer film.

(57) 要約:

[続葉有]

WO 2013/175697 A1



半導体発光装置(300)は、表面に極性面又は半極性面を有する窒化物半導体基板(201)上に窒化物半導体多層膜が積層された窒化物半導体発光素子(310)と、当該素子を搭載する搭載部(311)とを有する。窒化物半導体多層膜は電子ブロック層(204)を含む。電子ブロック層は、格子定数が窒化物半導体基板よりも小さい。搭載部は、少なくとも第1の搭載部基材(311a)を有する。第1の搭載部基材は、窒化物半導体発光素子が搭載される側に位置する。第1の搭載部基材は、熱膨張係数が窒化物半導体多層膜よりも小さい。第1の搭載部基材は、熱伝導率が窒化物半導体多層膜よりも大きい。

明 細 書

発明の名称：窒化物半導体発光装置

技術分野

[0001] 本開示は、発光装置、特に、プロジェクタ、液晶バックライト等の光源に用いられる光出力の大きな窒化物半導体発光装置の構造に関する。

背景技術

[0002] 近年、機器の省エネ化に伴い、窒化物半導体を用いた発光ダイオードや半導体レーザ等の窒化物半導体発光素子を実装した窒化物半導体発光装置が注目されている。例えば、窒化物半導体発光装置と蛍光体等を組み合わせた光源は、高光出力の白色光を出射させることができると共に、従来の白熱電球や蛍光灯、高圧水銀ランプに比べて、小型、高効率、長寿命といった特徴を有するので、プロジェクタ、液晶バックライト等のディスプレイ装置用途の光源として、急速に置き換えが進んでいる。

[0003] 一方、窒化物半導体レーザに代表される、導波路を有する窒化物半導体発光素子は、光を放射する方向を示す指向性に優れているという特徴がある。そこで、このような窒化物半導体発光素子を実装した窒化物半導体発光装置の産業用途への応用も進んでいる。例えば、窒化物半導体発光装置を光源としたレーザスクライブ装置やレーザアニール装置については、実用化の検討が進んでいる。これらの装置に用いる光源には、光出力が1ワット以上のワットクラスの高い光出力が必要とされるので、窒化物半導体発光装置にも高出力化が要望されている。

[0004] 窒化物半導体発光素子等の発光素子は、量子井戸等により構成される活性層に、電子と正孔（電子正孔対）を注入し、再結合させることによって光を放射する。このとき、光に変換されなかったエネルギーはジュール熱となり、素子の温度を上昇させる。窒化物半導体発光装置を高出力化するためには、注入する電流（電子、正孔）量を大きくする必要があるが、電流の増加は窒化物半導体発光素子の発熱を増大させる。そして、この発熱によって素子

温度が上昇すると、電子又は正孔の一部が活性層に注入されず、あふれ出る現象（キャリアのオーバーフローと呼ばれる現象）が発生する。この場合、電流量を増加させても光出力が増加しなくなり、最終的には光出力が飽和する現象（光飽和）が発生する。従って、高い光出力を得るためには、チップ温度の上昇を抑制する共に、キャリアのオーバーフローを抑制し、効率良く電子正孔対を光に変換させる必要がある。

[0005] そこで、このようなキャリアのオーバーフローを抑制する方法として、従来技術では、エネルギーバンドギャップの大きな層を活性層近傍に挿入する手法が用いられる。特許文献1には従来の窒化物半導体レーザの構造が示されている。図17（a）はその構造を示す図である。図17（b）はそのエネルギーバンドギャップの伝導帯側を示している。

[0006] 図17（a）に示したように、従来構造の窒化物半導体レーザでは、Ga N基板1001及びn-Ga N層1002上に、n-Al Ga Nクラッド層1003、In Ga N活性層1005、p-Al Ga N電子オーバーフロー抑制層1010（この層は本明細書中では電子ブロック層と呼ぶ）、p-Al Ga Nクラッド層1011、p-Ga Nコンタクト層1012を含む積層構造を有している。

[0007] 電子ブロック層1010は、n-Ga N層1002から注入された電子が活性層1005を通過してp-Al Ga Nクラッド層1011へあふれて出ていくことを防ぐために設けられた層である。図17（b）に示したように、電子ブロック層1010は周辺の層よりも大きなエネルギーバンドギャップを有している。電子ブロック層1010には、エネルギーバンドギャップを大きくするために、Al組成の大きなAl Ga N層が用いられている。

[0008] 一方、窒化物半導体において、格子不整合歪みによってピエゾ電界が発生する場合がある。上述したp-Al Ga N電子ブロック層1010の格子定数は、Ga N基板1001の格子定数よりも小さな値をもつ。この点から、p-Al Ga N電子ブロック層1010には引っ張り歪みが発生し、その歪みによってピエゾ電解が発生する。p-Al Ga N電子ブロック層による電

子閉じ込め効果は、このpiezo電界によって低下する。

[0009] 特許文献2には、piezo電界によって電子に対する実効的な障壁高さが減少することが示されている。そこで、特許文献2では、電子を閉じ込めるp-AIGaNブロック層を厚くする方法を提案している。AIGaN層の厚さが厚くなると、転位やクラックの発生によって、弾性的な格子不整合歪みは緩和される。これにより、格子不整合歪みに起因したpiezo電界は減少し、結果として伝導帯の電子に対する障壁高さが増大する。

[0010] しかし、転位やクラック等塑性変形は、素子の特性や信頼性に大きく影響する。特にGaN基板上のAIGaN層は引っ張り歪みを有していることからクラックが生じやすい。クラック周辺では、ウェハ表面は平坦でなくなるので、正常な素子を作製すること自体が極めて困難となる。

先行技術文献

特許文献

[0011] 特許文献1：国際公開第2005/034301号

特許文献2：特開2005-217421号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0012] 上述のように、窒化物半導体を用いた発光素子において、格子不整合歪みに起因したpiezo電界の影響によって、キャリアのオーバーフローを抑制する効果が低下する。この現象は、(0001)面を代表とする極性面を窒化物半導体発光素子構造の主面とした場合に共通して起こる現象である。伝導帯の電子に対する実効的な障壁高さを高くするためには、電子を閉じ込める作用をもつAIGaN層のAl組成を高くする必要がある。しかし、Al組成を高くすると格子不整合歪が増大し、転位やクラックが発生しやすくなるという特許文献2に示された手法と同じ問題を抱えている。

[0013] 本発明の目的は、塑性変形をとまわずにpiezo電界の影響を低減し、効果的に窒化物半導体発光素子におけるキャリアのオーバーフローを低減でき

る窒化物半導体発光装置を提供することにある。すなわち、より高出力での動作が可能な窒化物半導体発光装置の構成を提供することができる。

課題を解決するための手段

[0014] そこで、本願発明者らは、窒化物半導体発光素子中の電子ブロック層に形成されるピエゾ電界と、窒化物半導体発光素子を実装した窒化物半導体発光装置の構成との関係に着目した。具体的には、窒化物半導体発光素子を搭載するサブマウントの熱膨張率を制御することによって、素子の温度が上昇した場合においてもキャリアのオーバーフローを効果的に抑制できることを見出した。その結果、光出力を増加させる窒化物半導体発光装置の構成を見出した。

[0015] 具体的に、本開示の窒化物半導体発光装置は、表面に極性面又は半極性面を有する窒化物半導体基板上に、窒化物半導体多層膜が積層された構成を有する窒化物半導体発光素子と、窒化物半導体発光素子を搭載する搭載部とを有する半導体発光装置において、窒化物半導体多層膜は、電子ブロック層を含み、電子ブロック層の格子定数は、窒化物半導体基板の格子定数よりも小さく、搭載部は、少なくとも第1の搭載部基材を有し、第1の搭載部基材は、窒化物半導体発光素子が搭載される側に位置しており、第1の搭載部基材の熱膨張係数は、窒化物半導体多層膜の熱膨張係数よりも小さく、第1の搭載部基材の熱伝導率は、窒化物半導体多層膜の熱伝導率よりも大きい。

[0016] この構成により、通電により素子の温度が上昇した場合においてもキャリアのオーバーフローを効果的に抑制でき、光出力を増加させることができる窒化物半導体発光装置を、低コストで実現できる。ここで、搭載部は、第1の搭載部基材のみによって構成されていても良い。

[0017] 尚、第1の搭載部基材の熱膨張係数は、 $4 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ 以下であり、第1の搭載部基材の熱伝導率は、 300 W/m K 以上であっても良い。

[0018] このようにすると、より確実に素子の温度が上昇した場合においてもキャリアのオーバーフローを効果的に抑制でき、光出力を増加させることができる。

- [0019] また、搭載部は、第1の搭載部基材とは異なる材料からなり、且つ、第1の搭載部基材と接合される第2の搭載部基材を備え、第1の搭載部基材は、第2の搭載部基材よりも窒化物半導体発光素子に近い側に位置していても良い。
- [0020] このようにすると、第1の搭載部基材が高コストな材料からなる場合に、その使用量を削減しながら前記の効果を実現することができる。
- [0021] また、第1の搭載部基材は、高熱伝導SiCセラミック、CVDダイアモンド、又は、ダイアモンドと銅との複合材の何れかからなっても良い。
- [0022] この構成により、窒化物半導体発光素子からヒートシンクまでの熱抵抗を効果的に低減して、温度上昇にともなう光出力の低下を抑制することができる。
- [0023] また、第1の搭載部基材の熱膨張係数が $3 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ 以下であっても良い。
- [0024] この構成により、窒化物半導体発光素子に十分な圧縮歪みを生じさせ、効果的に光出力の増大を実現できる。
- [0025] また、窒化物半導体発光素子のジュール熱が3W以上であってもよい。
- [0026] 本開示の窒化物半導体発光装置は、このような光出力が高く発熱量が多い場合において特に効果大きい。
- [0027] また、窒化物半導体発光素子が半導体レーザ素子であってもよい。
- [0028] 半導体レーザ素子では、注入キャリアの活性層への閉じ込めが発光特性に大きく影響する。そのため、この構成により半導体レーザの高出力特性を大きく改善することができる。
- [0029] また、窒化物半導体発光素子が発光ダイオードであってもよい。
- [0030] この構成により温度上昇をとともなう大電流駆動時に効果的に高い光出力を得ることができる。
- [0031] また、第1の搭載部基材の熱膨張係数は、第2の搭載部基材の熱膨張係数よりも小さくても良い。

[0032] この構成により、窒化物半導体発光素子に十分な圧縮歪みを生じさせ、効果的に光出力の増大を実現できる。

[0033] また、第1の搭載部基材の体積は、前記窒化物半導体発光素子の体積より大きいことが好ましい。

[0034] この構成により、窒化物半導体発光素子に十分な圧縮歪みを生じさせ、効果的に光出力の増大を実現できる。また、製造コストを大幅に削減することができる。

[0035] また、搭載部は、更に他の素子搭載台又は基材に搭載されるサブマウントであってもよい。

[0036] このようにすると、例えば直方体等の形成が容易なサブマウントに窒化物半導体発光素子を搭載し、これを更に他の素子搭載台、基材、ステム等に対して搭載する構成とすることができる。従って、搭載部の材料の加工性が低い場合等にも対応できる。

発明の効果

[0037] 本発明の構成によれば、通電により素子の温度が上昇した場合においてもキャリアのオーバーフローを効果的に抑制でき、光出力を増加させることができる窒化物半導体発光装置を、低コストで実現できる。

図面の簡単な説明

[0038] [図1]図1は、第1の実施形態の窒化物半導体発光装置の構成を説明する断面図である。

[図2]図2は、第1の実施形態の窒化物半導体発光装置の構成を説明する上面図である。である。

[図3]図3は、第1の実施形態の窒化物半導体発光素子およびサブマウントの構成を説明する断面図である。

[図4]図4は、本発明の効果の検証に用いた窒化物半導体発光装置の構成を説明する上面図である。

[図5]図5（a）は窒化物半導体発光素子の構成を説明する断面図であり、図

5（b）は窒化物半導体発光素子の通電時のバンドラインアップを説明する断面図である。

[図6]図6（a）は窒化物半導体発光素子の構成を説明する断面図であり、図6（b）は窒化物半導体発光素子のバンドラインアップを説明する断面図である。

[図7]図7は、窒化物半導体発光装置のサブマウント材料に適用可能な材料の熱膨張係数と熱伝導率の関係を示す図である。

[図8]図8は、窒化物半導体発光装置に用いたサブマウントおよび窒化物半導体発光素子の温度上昇時の熱膨張を説明する図である。

[図9]図9は、窒化物半導体発光装置の電流－光出力特性を示す図である。

[図10]図10は、窒化物半導体発光装置の最高光出力の測定値と計算値を比較した図である。

[図11]図11は、第2の実施形態の窒化物半導体発光装置の構成を説明する上面図である。

[図12]図12は、第2の実施形態の窒化物半導体発光素子の構成を説明する断面図である。

[図13]図13は、第3の実施形態の窒化物半導体発光装置の構成を説明する断面図である。

[図14]図14は、第3の実施形態の窒化物半導体発光装置の構成を説明する上面図である。

[図15]図15は、第4の実施形態の窒化物半導体発光装置の構成を説明する断面図である。

[図16]図16は、第4の実施形態の変形例にかかる窒化物半導体発光装置の構成を説明する断面図である。

[図17]図7（a）及び（b）は、従来の窒化物半導体発光装置を示す図である。

発明を実施するための形態

[0039] 以下、図面を参照して本開示の実施の形態について説明する。

[0040] (第1の実施形態)

図1及び図2に、本実施形態の例示的窒化物半導体発光装置300の構成を図示する。図1は窒化物半導体発光装置の断面図、図2は窒化物半導体発光装置の光出射方向(図1における上側)から見た上面図をそれぞれ示している。

[0041] 本実施形態の窒化物半導体発光装置300は、例えば主波長が390nmから550nmのいずれかであるレーザ光を放射する窒化物半導体発光素子310、窒化物半導体発光素子310を搭載するサブマウント311、ステム120及びキャップ130から構成される。

[0042] ステム120は、基台121及び素子搭載台122と、アースリード123a、リード123b及び123cとからなる。窒化物半導体発光素子310及びサブマウント311は、素子搭載台122に接着される。窒化物半導体発光素子310は、ボンディングワイヤ140b及び140cによってリード123b及び123cに電氣的に接続される。本実施形態において、正電極は窒化物半導体発光素子310の上面のp電極からリード123bにボンディングワイヤ140bによって接続されている。負電極は、サブマウント311の表面に形成された第一の電極からリード123cにボンディングワイヤ140cによって接続されている。キャップ130は、開口部131aを有するカバー131と光取り出し窓132とによって構成される。キャップ130はステムの基台121に溶接される。この構成により、窒化物半導体発光素子310は気密封止される。

[0043] 続いて、図3を用いて窒化物半導体発光装置300の構成を詳細に説明する。図3は窒化物半導体発光素子310およびサブマウント311の詳細な積層構造である。以下、まず、窒化物半導体発光素子310の代表的な構造と製造方法について説明する。

[0044] 窒化物半導体発光素子310はn-GaN(0001)基板である窒化物半導体基板201上に、有機金属気相成長法(Metalorganic Chemical Vapor Deposition; MOCVD)によって形成された窒化物半導体多層膜によつ

て構成される。より具体的には、窒化物半導体基板201上に、 n -AlGaInであるクラッド層202、 n -GaInからなるガイド層／InGaIn多重量子井戸／ p -GaInからなるガイド層の3種類の層を含む活性層203、Al組成比が例えば15～30%と高いAlGaIn電子ブロック層204、 p -AlGaInからなるクラッド層205、及び p -GaInからなるコンタクト層206が順次積層されている。ここで、窒化物半導体基板201の表面の面方位は(0001)に限られず、極性もしくは半極性面を含んでいれば良い。また、AlGaIn電子ブロック層204の組成は上述した組成に限られず、窒化物半導体発光素子の基板よりも格子定数が小さければ良い。

[0045] この積層構造の表面には、一つ又は複数のリッジ型導波路(図示なし)がドライエッチングプロセスを用いて形成されている。更に、コンタクト層206表面には、例えばPd/Pt/Auからなる p -オーミック電極210が形成され、窒化物半導体基板201の裏面には、例えばTi/Pt/Auからなる n -オーミック電極211が形成されている。尚、リッジ型導波路が例えば長さ800 μ mに劈開されることにより、ファブリーペロー型共振器が形成され、レーザ構造として機能する。

[0046] 続いて、サブマウント311について説明する。サブマウント311は、第1のサブマウント基材311aと第2のサブマウント基材311bとを備える。第2のサブマウント基材311bには、例えば、比較的低コストにて作製可能なAlNセラミックを使用することができる。そして、第2のサブマウント基材311bの表面にCVD法によってダイヤモンドを堆積して第1のサブマウント基材311aを形成し、二層構造のサブマウント311を構成することができる。このような複合材をサブマウントに用いることにより、サブマウントの熱伝導率を高め、且つ、熱膨張係数を小さく設定することができる。

[0047] サブマウント311の表面及び裏面には、例えば、Tiを0.1 μ m、Ptを0.2 μ m、Auを0.2 μ mの層として積層した金属積層構造からなる第一の電極311d及び第二の電極311fが形成されている。

[0048] 更に、第一の電極 3 1 1 d 上には、例えば A u S n 共晶はんだである第一の接着部 3 1 1 e が形成されて、これによりサブマウント 3 1 1 と窒化物半導体発光素子 3 1 0 との接着が行われている。サブマウント 3 1 1 の第二の電極 3 1 1 f 上には、例えば A u S n 共晶はんだである第二の接着部 3 1 1 g が形成されて、これによりサブマウント 3 1 1 とステム 1 2 0 の素子搭載台 1 2 2 との接着が行われている。

[0049] 上記の構成において、第 1 のサブマウント基材 3 1 1 a 及び第 2 のサブマウント基材 3 1 1 b の厚みが、それぞれ、第一の電極 3 1 1 d 及び第二の電極 3 1 1 f の厚みに比べて例えば 1 0 倍以上になるように設定する。これにより、サブマウント 3 1 1 の熱膨張係数に関して、二つのサブマウント基材 3 1 1 a、3 1 1 b の熱膨張係数が支配的になるように設定される。以上が本実施形態の窒化物半導体発光装置の構成である。本実施形態の窒化物半導体発光装置を動作させたところ、通電により素子の温度が上昇した場合においてもキャリアのオーバーフローを効果的に抑制できた。その結果、光出力を増加させることに成功した。

[0050] 次に、図 4 ～図 1 0 を用いて、本願発明者らが本実施形態の窒化物半導体発光装置の効果を検証するために行った実験結果を示す。

[0051] 図 4 は、本願発明者らが、本実施形態の効果を検証するために作製した窒化物半導体発光装置 1 0 0 を示す図である。窒化物半導体発光装置 1 0 0 の形状及び構成部品は、図 1 及び図 2 に示した窒化物半導体発光装置 3 0 0 と同一であり、図 4 において、キャップ 1 3 0 を省略し、光出射方向からみた上面図として示されている。

[0052] 図 5 (a) 及び図 5 (b) は、窒化物半導体発光装置 1 0 0 の窒化物半導体発光素子 1 1 0 付近の詳細な構造と、そのエネルギーバンドギャップの構成（以下バンドラインアップと呼ぶ）を示す図である。窒化物半導体発光素子 1 1 0 の構造は、サブマウント 1 1 1 が、単一のサブマウント基材 1 1 1 a だけを有する点を除いて、図 3 の窒化物半導体発光素子 3 1 0 と同一である。

[0053] 図6(a)及び図6(b)は、窒化物半導体発光装置100aの機能を説明するための図である。窒化物半導体発光装置100aは、サブマウント基材111aの材料以外は、図5(a)及び(b)の窒化物半導体発光装置100と同様である。

[0054] 表1は、後述するサブマウント材料に適用可能な材料の特性一覧である。

[0055] 図7は、表1に示した材料の特性を示す図である。

[0056] 表2は本実施形態で検討したサブマウント材料の特性一覧である。

[0057] 図8は本実施形態の窒化物半導体発光装置の効果を説明するための計算結果である。

[0058] 表3は本実施形態の効果を示す計算結果の一覧である。

[0059] 図9及び図10は、本実施形態の窒化物半導体発光装置100の効果を説明するための実験結果を示す図である。

[0060] 表4は本実施形態の効果を説明する窒化物半導体装置の実験結果の一覧である。

[0061] ここで、窒化物半導体発光装置100に用いられるサブマウント111の構造について説明する。サブマウント111は、例えばSiCセラミック又はCVD (Chemical Vapor Deposition) を用いて成膜されたダイヤモンドにより構成されるサブマウント基材111aを用いて形成されている。サブマウント111の表面及び裏面には、例えば、Tiが0.1 μ m、Ptが0.2 μ m、Auが0.2 μ mの厚さに積層された金属積層構造からなる第一の電極111d及び第二の電極111fが形成されている。

[0062] 更に、第一の電極111d上には、例えばAuSn共晶はんだである第一の接着部111eが形成されて、これによりサブマウント基材111aと窒化物半導体発光素子110との接着が行われている。サブマウント111の第二の電極111f上には、例えばAuSn共晶はんだである第二の接着部111gが形成されて、これによりサブマウント基材111aとステム120の素子搭載台122との接着が行われている。

[0063] 上記の構成において、サブマウント基材111aの厚みが、第一の電極1

11d及び第二の電極111fの厚みよりも例えば20倍以上になるように設定する。これにより、サブマウント111の熱膨張係数に関して、サブマウント基材111aの熱膨張係数が支配的になるように設定される。

[0064] 続いて、図5(a)及び図5(b)と、図6(a)及び図6(b)とを用いて、本実施形態の窒化物半導体発光装置の機能を説明する。

[0065] 図5(b)は、図5(a)における窒化物半導体発光素子110のバンドラインアップを示す。また、図6(a)及び図6(b)は、比較用の窒化物半導体発光装置100aの詳細な積層構造とバンドラインアップであり、本実施形態の窒化物半導体発光装置の機能を説明するために用いる。

[0066] 尚、窒化物半導体発光装置100aは、窒化物半導体発光装置100とはサブマウント基材111aを構成する材料が異なり、サブマウント基材111aと窒化物半導体発光素子110の熱膨張係数が同じになるように設定されている。従って、窒化物半導体発光装置100aにおける窒化物半導体発光素子110に印加される応力は、窒化物半導体発光装置100における窒化物半導体発光素子110に印加される応力とは異なる。

[0067] まず、図6(a)に示した窒化物半導体発光装置100aにおいて、電子ブロック層204中に発生する歪221aの方向と大きさを、矢印を用いて図6(a)中に定性的に示す。ここで、矢印の方向は歪みの方向を、矢印の長さは歪みの大きさを示している。前述のように、AlGaInにより構成された電子ブロック層204の格子定数は、GaInにより構成された窒化物半導体基板201の格子定数よりも小さい。この結果、電子ブロック層204には引っ張り方向の格子不整合歪みが発生する。

[0068] 続いて図6(b)に、窒化物半導体発光装置100aの順バイアス印加時のバンドラインアップを模式的に示す。ここで、202～205の数字は、バンドラインアップと窒化物半導体発光素子110を構成する層（クラッド層202、活性層203、電子ブロック層204及びクラッド層205）との対応を示す。

[0069] 通電中の素子の内部では、窒化物半導体基板201から電子が活性層に向

かって注入されると共に、コンタクト層 206 から正孔が活性層に向かって注入される。このとき、窒化物半導体では、伝導帯の状態密度が価電子帯の状態密度にくらべて小さい。これにより、伝導帯を移動する電子は、価電子帯を移動する正孔にくらべて高いエネルギーレベルに存在しやすい。このため、図 6 (b) 中の矢印に示すように、活性層 203 を通過して p-オーミック電極 210 側に向かう電子が発生する。これに対応するために、エネルギーバンドギャップの大きな Al 組成が高い AlGaIn からなる電子ブロック層 204 を用いて伝導帯にエネルギー障壁を形成し、電子の通過をブロックさせる。

[0070] ところが、前述のように、電子ブロック層 204 には引っ張り歪みに起因したピエゾ電界が発生する。これに起因して、電子ブロック層 204 付近のバンドラインアップが変形するので、実効的な障壁高さが実際のバンドギャップ差よりも小さくなってしまう。結果として、電子の通過のブロックが不十分となる。

[0071] 上記の課題に対して、発明者らは、窒化物半導体発光素子の動作時の発熱と、窒化物半導体発光素子とサブマウントの熱膨張係数差に着目し、上述した本実施形態の構造を見出した。

[0072] 通電状態の窒化物半導体発光素子 110 は、発光に寄与しなかった無効電力によって自己発熱し、温度が上昇する。この結果、窒化物半導体発光素子 110 は自らの (GaIn 基板の) 熱膨張係数にしたがって膨張しようとする。一方、窒化物半導体発光素子 110 はサブマウント 111 に接着されており、更にサブマウント 111 の体積は窒化物半導体発光素子 110 の 10 倍程度大きい。このことから、温度上昇時の窒化物半導体発光素子 110 の熱膨張は、サブマウント 111 の材料の熱膨張係数に支配される。

[0073] 従って、サブマウント 111 の熱膨張係数を窒化物半導体発光素子 110 の熱膨張係数よりも小さくすることにより、図 5 (a) に示すように、窒化物半導体発光素子 110 に圧縮歪み 222 を生じさせることができる。この圧縮歪み 222 は、窒化物半導体基板 201 上に形成された各層に同様に発

生する。このとき窒化物半導体発光素子 110 中の電子ブロック層 204 に着目すると、基板との格子不整合によって生じた引っ張り歪 221 が、圧縮歪 222 により緩和される。つまり、電子ブロック層 204 内に発生する引っ張り歪 221 を抑制し、実効的な障壁高さの低下を抑制させることができる。

[0074] より具体的に、図 5 (b) に示す窒化物半導体発光装置 100 のバンドラインアップを用いて説明する。点線は、窒化物半導体発光装置の温度が上昇しない（従って、温度による各部の体積変化が起こらない）と仮定した場合のバンドラインアップを模式的に示し、実線は昇温によって歪みが緩和されピエゾ電界が低減された場合のバンドラインアップを模式的に示している。本実施形態に示す方法により、電子ブロック層 204 に生じる格子不整合歪み（引っ張り歪み）を緩和することができ、その結果として実効的な障壁高さを高くすることができる。

[0075] 続いて、窒化物半導体発光装置の構成について、より具体的に好ましい形態を説明する。

[0076] まず、サブマウント 111 を構成する材料としては、窒化物半導体発光素子 110 の放熱の観点から、高い熱伝導率を有するものが望ましい。窒化物半導体発光素子 110 にて発生した熱はサブマウント 111 を伝導し、ステムの素子搭載台 122 及び基台 121 を経由して外部のヒートシンクに放出される。従って、サブマウント 111 の熱伝導率が低い場合、窒化物半導体発光素子 110 の温度が上昇し、光出力の熱飽和が容易に発生する。この場合、本実施形態の窒化物半導体発光装置 100 の効果が得られない。

[0077] 表 1 及び図 7 に、本実施形態の窒化物半導体発光装置のサブマウント基材として最初に検討した材料の熱伝導率と熱膨張係数を示す。

[0078]

[表1]

材料	熱伝導率[W/mK]	熱膨張係数[$\times 10^{-6}/K$]
AlNセラミック	60-230	4.4-4.6
SiCセラミック	60-210	3.7-4.1
高熱伝導SiCセラミック	320	3.7
CVD-ダイヤモンド	1500	2.2
DC60	600	6
Si	150	2.6
Cu	390	17
Mo	159	5.1
W	167	4.5
Cu/Mo合金	160-290	7-13
Cu/W合金	180-230	6.5-8.3
インバー(Fe/Ni合金)	13.4	0.5-2
(参考)GaN	130	5.6

[0079] 窒化物半導体発光素子 1 1 0 におけるサブマウント 1 1 1 は、サブマウント基材 1 1 1 a を、熱膨張係数の大きい金属からなる第一の電極 1 1 1 d 及び第二の電極 1 1 1 f により挟んだ構成である。従って、最適なサブマウント基材を選択する必要がある。以下、検討した材料について説明する。

[0080] 窒化物半導体発光素子 1 1 0 の基板である GaN の熱伝導率は、130 W/mK である。よって、サブマウント材料としては少なくともそれ以上の熱伝導率を有する必要がある。

[0081] ここで、CVD-ダイヤモンドはChemical Vapor Depositionによって形成した人工ダイヤモンドである。熱伝導率が非常に高く、且つ、熱膨張係数が小さな材料である。また、DC60は、ダイヤモンドとCu（銅）との混合焼結体である。この材料も熱伝導率が高いが、熱膨張係数はGaNの熱膨張係数よりも大きい。一般的にサブマウント部材として広く用いられるSiCセラミック及びAlNセラミックは、GaNよりも小さな熱膨張係数を有す

るが、熱伝導率は高くても 200 W/mK 程度である（製法によって異なる）。ただし、SiCセラミックは製法の工夫によって熱伝導率を高くすることができ、 320 W/mK の高い熱伝導率を得ることができる。ここではその材料を高放熱SiCとして区別して扱う。

[0082] 続いて、上記の比較検討により選択した表2に示すサブマウント基材材料を用いて、窒化物半導体発光装置の特性に与える効果を検証した。

[0083] [表2]

材料	熱伝導率[W/mK]	熱膨張係数[$\times 10^{-6}/\text{K}$]
AlNセラミック	230	4.5
SiCセラミック	210	3.7
高熱伝導SiCセラミック	320	3.7
CVD-ダイヤモンド	1500	2.2
DC60	600	6

[0084] また、図8及び表3に、上記のサブマウント基材材料を用いて、電子ブロック層204に印加される歪の量を計算した結果を示す。

[0085] [表3]

Po=5W動作時の $\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ 電子ブロック層の残留歪み[%]

サブマウント材	格子不整合歪み	動作時熱歪み	動作時残留歪み
AlN	0.48	-0.0043	0.476
SiC	0.48	-0.0074	0.473
高熱伝導SiC	0.48	-0.0074	0.473
DC60	0.48	0.0016	0.482
CVD-ダイヤモンド	0.48	-0.0133	0.467

+ . . . 引っ張り歪み
- . . . 圧縮歪み

[0086] 更に、図9、図10及び表4に、実際に窒化物半導体発光装置を作製し、特性を比較した結果を示す。

[0087]

[表4]

サブマウント材	熱伝導率 [W/mK]	熱抵抗 [K/W]	最高光出力 [W]
AlN	230	13.9	4.3
SiC	210	14.1	4.5
高熱伝導SiC	320	13.0	5.0
DC60	600	12.8	4.7
CVD-ダイヤモンド	1500	12.7	6.3

[0088] 尚、本計算及び実験において、窒化物半導体発光装置の電子ブロック層 204 は、組成比が $\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ であり、厚み 10 nm のものを用いた。

[0089] まず図 8 に、表 3 に示したサブマウント基材材料と GaN の線膨張率の温度依存性を示す。線膨張率は、室温 (25℃) を基準とした。

[0090] ここで、実験で用いた窒化物半導体発光装置が光出力 5 W で動作した場合、チップ温度は 64℃ になると計算される。この温度における窒化物半導体発光素子 110 の熱膨張がサブマウント 111 の熱膨張係数によって規定されたとすると、窒化物半導体発光素子 110 中の AlGaIn 電子ブロック層 204 には熱歪みが新たに加わる。

[0091] 表 3 には、各種サブマウント基材を用いた場合の電子ブロック層に生じる歪み量をまとめている。GaN よりも小さな熱膨張係数を有する高熱伝導 SiC、CVD-ダイヤモンド、SiC 又は AlN を用いた場合、AlGaIn 電子ブロック層 204 の格子不整合歪みは、熱歪みによって緩和される。逆に、熱膨張係数の大きな DC60 をサブマウント 111 に用いた場合、AlGaIn 電子ブロック層 204 の歪みは増大する。この結果から、格子不整合歪みが緩和されている素子については、AlGaIn 電子ブロック層 204 の実効的な障壁高さが高くなり、キャリアのオーバーフローが抑制され、より高い光出力を得ることができると予測される。

[0092] 次に、図 9 は、サブマウント基材 111a として CVD-ダイヤモンド、高熱伝導 SiC、DC60、SiC、AlN の 5 種類を用いて構成した窒化物半導体発光装置 100 の電流-光出力特性を比較した結果である。ここで、本実験に用いた窒化物半導体発光装置 100 は、前述のように AlGaIn 電子ブロック層 204 が、組成比が $\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ で且つ厚み 10 nm の

ものであり、光導波路が5本の窒化物半導体レーザアレイとなっているものを用いた。

[0093] 図9の結果から、サブマウントの種類によって最高光出力が異なることがわかる。表4には、サブマウント基材材料ごとのレーザ特性（最高光出力）をまとめた。ここで、熱抵抗は、レーザアレイを構成する5個のエミッタのうち1個のエミッタについて、微小電流印加時の動作電圧の温度依存性を測定することにより求めた。サブマウント111の違いによる熱抵抗の差異は、サブマウント111の熱伝導率の違いを反映しているものと考えられる。しかし、最高光出力の違いをサブマウント111の熱伝導率の違いで説明することはできない。例えば、高熱伝導SiCとDC60を比較した場合、DC60の方が高い熱伝導率を有するが、高熱伝導SiCサブマウントを用いた場合の方が最高光出力は高い値が得られている。

[0094] 図10は、実験結果である図9に示した最高光出力とサブマウント熱膨張係数の関係を、シミュレーション結果と比較したものである。

[0095] 図10中において、黒丸によりプロットした点は実測値であり、白丸によりプロットした点はシミュレーション結果である。計算は、サブマウント基材111aがAlN（熱伝導率230W/mK）のときの実測データを基準にした。また、AlNサブマウント（熱膨張係数 $4.5 \times 10^{-6}/K$ ）を用いて実装した場合と同じ熱歪みが窒化物半導体発光素子に生じていると仮定する。この条件において、サブマウントがCVDーダイヤモンド（熱伝導率1500W/mK）、DC60（熱伝導率600W/mK）、高熱伝導SiC（熱伝導率320W/mK）及び通常のSiC（熱伝導率210W/mK）である場合について、それぞれの素子の温度を計算し、最高光出力を求めた。

[0096] 図10に示される通り、CVDーダイヤモンド、高熱伝導SiC及び通常のSiCを用いた場合、素子温度から推定される光出力よりも高い光出力が得られている。一方、DC60をサブマウントに用いた場合には、逆に、素子温度から推定される光出力よりも低い光出力しか得られない。

[0097] 従来のGaAs系の半導体レーザでは、熱歪みを回避するためにサブマウントの熱膨張係数が窒化物半導体発光素子の熱膨張係数と近くなるような材料を選択することが多い。しかし、本実施形態のようにピエゾ電界が発生する窒化物半導体発光素子の場合、熱膨張係数の違いを積極的に利用することができる。つまり、熱膨張係数の小さなCVDーダイヤモンド又はSiCを用いた場合には、昇温時に発生する圧縮性の熱歪みによって、AlGaN電子ブロック層204の残留歪み（引っ張り歪み）が緩和される。この結果、伝導帯の電子に対する障壁高さが大きくなっている。逆に、GaN基板よりも熱膨張係数の大きなDC60をサブマウントに用いた場合には、AlGaN電子ブロック層の引っ張り歪みは増大され、伝導帯の電子に対する障壁高さが低下する。最高光出力は、これら障壁高さの増減によって変化する。

[0098] 一方、熱膨張係数がほぼ等しい高熱伝導性SiCサブマウントと通常のSiCサブマウントとを比較した場合には、両者の熱伝導率の違いに起因した最高光出力の差異が見られる。つまり、熱伝導率の大きな高熱伝導SiCサブマウントを用いた方が、素子温度を低減できるので、高い光出力を得ることができる。

[0099] ここで、着目すべきはDC60と高熱伝導SiCの比較である。DC60は熱伝導率が600W/mKと非常に大きい、高熱伝導SiCサブマウントの場合よりも低い光出力しか得られなかった。これは、熱伝導率が300W/mKを超えるようなサブマウントを用いる場合には、熱伝導率の大小よりも熱膨張係数の大小の方が光出力には影響が大きいことを示している。

[0100] ここまでの実験結果から、熱伝導率300W/mK以上のサブマウントでは、熱膨張係数が $4 \times 10^{-6}/K$ 以下のものを選択することが望ましいこと示している（図7の網掛け部分に相当）。本実施形態で使用したCVDーダイヤモンド以外には、この領域に相当する単一の材料はあまりない。しかし、DC60のような異種材料を組み合わせた複合材を使うことにより、この領域に材料を創出できる。例えば、DC60はダイヤモンドとCu（銅）複合材であり、両者の構成比率を変えて（例えばダイヤモンドの比率を上げる

ことにより)熱膨張係数を更に小さくすることができる。

- [0101] 以上に述べた実験結果と考察の結果、次のような結論が得られた。つまり、ピエゾ効果による内部電界を有する材料系においては、活性層へのキャリア閉じ込めに寄与する障壁層(電子ブロック層)の格子不整合歪みを緩和することにより、障壁層の障壁高さを実効的に高くできる。
- [0102] 本発明では、GaN基板上に形成された発光素子構造に、AlGaN電子ブロックを導入した。この場合、電子ブロック層には引っ張り方向の格子不整合歪みが生じる。そこで、素子を熱膨張係数の小さな材料に実装することにより、通電時に生じる熱歪みによって格子不整合歪みを緩和できる。結果として電子ブロック層の障壁高さを実効的に高くし、光出力を高くできる。
- [0103] この効果を奏するためには、サブマウント材料の熱膨張係数が窒化物半導体発光素子の熱膨張係数よりも小さいことが望ましい。通電時の温度上昇による熱歪みによって電子ブロック層の格子不整合を緩和できるからである。
- [0104] GaN基板上に作製した窒化物半導体発光素子の場合には、サブマウントの熱膨張係数が $3 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ 以下であると、より明瞭な光出力増大効果が得られる。また、この効果は、通電時の発熱量が大きな発光素子に特に有効である。例えば、発光に寄与しない無効電力、つまり素子の発熱量(ジュール熱)が3Wを超える素子の高出力化に特に有効である。
- [0105] 一方で、上述したCVDーダイヤモンド及び高熱伝導性SiCのように熱伝導率が高く、熱膨張係数が小さな材料は、一般的に製造コストが高い。よって、半導体レーザのように安価で大量に生産することを期待される製品には、これらの材料を用いることが困難である。
- [0106] そこで、発明者らは、CVDーダイヤモンド又は高熱伝導性SiCをサブマウントの一部に限定して使用し、製造コストを抑えながら光出力を増加させることができることを見出した。つまり、図1から図3に示した本実施形態の窒化物半導体発光装置により、製造コストの低減と光出力の増加を高いレベルで両立できることを見出した。
- [0107] 図1から図3に示した本実施形態の窒化物半導体発光装置においては、サ

ブマウント 311 の窒化物半導体発光素子に近い側の面、すなわち第 1 のサブマウント基材 311a を熱膨張係数が小さな材料にする。これにより、通電昇温時に圧縮性の熱歪みを効果的に窒化物半導体発光素子 310 に与えることができる。

[0108] このとき、効果的に窒化物半導体発光素子 310 に圧縮歪みを与えるためには、第 1 のサブマウント基材 311a の体積が少なくとも窒化物半導体発光素子 310 の体積よりも大きいことが必要である。例えば、本実施形態では、長さ $800\mu\text{m}$ 、幅 $1000\mu\text{m}$ 、厚さ $80\mu\text{m}$ の窒化物半導体発光素子 310 を用いた。体積は 0.064mm^2 である。また、サブマウント 311 は長さ $1300\mu\text{m}$ 、幅 $1400\mu\text{m}$ 、厚さ $200\mu\text{m}$ である。このサブマウント 311 のうち CVD-ダイヤモンドで構成される第 1 のサブマウント基材 311a は、 $50\mu\text{m}$ の厚みをもつ。第 2 のサブマウント基材 311b、つまり残りの厚さ $150\mu\text{m}$ は、AlN により構成される。第 1 のサブマウント基材 311a の体積は 0.091mm^2 であり、窒化物半導体発光素子 310 の体積よりも十分大きく、通電中の昇温によって窒化物半導体発光素子 310 に効果的に圧縮歪みを与えることができる。この結果、CVD-ダイヤモンドにより構成した単一のサブマウントを用いた場合と同等の効果、つまり図 9 に示したような光出力の向上を実現することができる。

[0109] 尚、本実施形態では第 1 のサブマウント基材 311a に CVD-ダイヤモンドを用いたが、これには限られない。熱膨張係数が $4 \times 10^{-6}\text{K}^{-1}$ 以下であり、熱伝導率が 300W/mK 以上の材料であれば使用可能である。第 1 のサブマウント基材 311a には、上述した高熱伝導性 SiC を用いることもでき、また、DC60 のダイヤモンド比率を上げることにより、熱膨張係数を上記範囲に調節したものを用いることもできる。

[0110] また、本実施形態では第 2 のサブマウント基材 311b には AlN を用いたが、これには限られない。熱膨張係数が窒化物半導体発光素子の基板の熱膨張係数よりも小さく、かつ、熱伝導率がある程度高い材料であれば使用可能である。例えば、第 2 のサブマウント基材 311b には、SiC も使用で

きる。このとき、第1のサブマウント基材311aの熱膨張係数が、第2のサブマウント基材311bの熱膨張係数よりも小さい方が好ましい。第2のサブマウント基材311bの体積は、第1のサブマウント基材311aの体積よりも大きい方が、製造コストを削減する上でより好ましい。

[0111] (第2の実施形態)

次に、本開示の第2の実施形態について説明する。

[0112] 図11は、第2の実施形態の窒化物半導体発光装置500を光出射方向から見た上面図である。断面形状及び各構成要素は、図1、図2、図3及び図4にそれぞれ示した第1の実施形態の窒化物半導体発光装置100及び窒化物半導体発光装置300と同一である。図11では、図示の簡略化のために、キャップは示されていない。窒化物半導体発光素子510の構造は、第1の実施形態の場合と同一である。

[0113] 次に、図12は、窒化物半導体発光素子510周辺の構造を拡大した模式図である。サブマウント511の構成も、図10に示したサブマウント311と同一の構成となっている。

[0114] つまり、窒化物半導体発光素子510と接続する第1のサブマウント基材511aはCVDーダイヤモンドによって構成され、素子搭載台522と接続する第2のサブマウント基材511bは製造コストの安いAlNによって構成されている。サブマウント511の表面及び裏面には、例えば、Tiが0.1 μ m、Ptが0.2 μ m、Auが0.2 μ mの暑さに積層された金属積層構造からなる第一の電極511d及び第二の電極511fが形成されている。更に、第一の電極511d上には、例えばAuSn共晶はんだである第一の接着部511eが形成され、これにより窒化物半導体発光素子510とサブマウント511とが接着されている。更に、サブマウント511の第二の電極511f上には、例えばAuSn共晶はんだである第二の接着部511gが形成され、これによりサブマウント511と、ステム520の素子搭載台522とが接着されている。

[0115] 上記の構成において、第1のサブマウント基材511a及び第2のサブマ

ウント基材 5 1 1 b の厚みが、それぞれ、第一の電極 5 1 1 d 及び第二の電極 5 1 1 f の厚みに比べて例えば 1 0 倍以上になるように設定する。これにより、サブマウント 5 1 1 の熱膨張係数に関して、二つのサブマウント基材 5 1 1 a、5 1 1 b の熱膨張係数が支配的になるように設定される。

[0116] 本実施形態の窒化物半導体発光装置 5 0 0 において、第 1 の実施形態の場合との相違点は次の 2 点である。

[0117] まず、図 1 2 に示されているように、窒化物半導体発光素子 5 1 0 は、実施形態 1 とは異なり、p-GaN クラッド層 2 0 5 の側がサブマウント 5 1 1 に接着されている。更に、サブマウント 5 1 1 はステムの素子搭載台 5 2 2 に接着されている。

[0118] このような構成により、窒化物半導体発光素子 5 1 0 から発生した熱は、サブマウント 5 1 1 及び素子搭載台 5 2 2 を通じてヒートシンクに放出される。窒化物半導体発光素子 5 1 0 の内部では、MQW 活性層から p-GaN クラッド層までの部分における発熱が大きい。この原因は、この部分の結晶層の電気抵抗が大きく、通電によるオーミック損失が大きくなることである。従って、p-GaN クラッド層 2 0 5 側をサブマウント 5 1 1 に接着すると、ヒートシンクまでの放熱経路が短縮され、熱抵抗が低減される。

[0119] 本実施形態と第 1 の実施形態との二つ目の相違点は、素子搭載台 5 2 2 の形状にある。リード 5 2 3 b 及びリード 5 2 3 c が図 2 の構造に比べて右方向（素子搭載台 5 2 2 から離れる方向）に移動しており、且つ、素子搭載台 5 2 2 の上面から見た場合の断面積が大きくなっている。これにより、放熱経路の断面積が拡大されて、熱抵抗が小さくなる。

[0120] これら二つの効果によって、通電中の窒化物半導体発光素子 5 1 0 の温度上昇は抑制され、高い光出力を得ることができる。このとき、サブマウントの熱膨張係数と、最高光出力との関係は、第 1 の実施形態のときと同様のものが得られる。つまり、熱膨張係数の小さなサブマウントを用いることにより、最高光出力を増大させることができる。

[0121] （第 3 の実施形態）

次に、本開示の第３に実施形態について説明する。

[0122] 図１３は、第３の実施形態の例示的窒化物半導体発光装置７００の断面図であり、図１４は、その上面図である。本実施形態では、第２のサブマウント７１２が加わっている。

[0123] 窒化物半導体発光素子７１０は、サブマウント７１１と共にステム７２０の素子搭載台７２２に実装されている。このとき、窒化物半導体発光素子７１０の正極側がサブマウント７１１に接続されている。サブマウント７１１の表面には金属層が形成されており、この金属層とリード７２３ｂがボンディングワイヤ７４０によって電氣的に接続されている。

[0124] 一方、窒化物半導体発光素子７１０のサブマウント７１１と対向する側に、第２のサブマウント７１２が接着されている。第２のサブマウント７１２は、窒化物半導体発光素子７１０の負電極側表面とステム７２０の基台７２１とを接続する。第２のサブマウント７１２の表面にも金属層が形成されており、窒化物半導体発光素子７１０の負極とステム７２０の基台７２１とが電氣的に接続される。アースリード７２３ａを負極、リード７２３ｂを正極とすることにより、窒化物半導体発光素子７１０に通電することができる。尚、これとは逆に、窒化物半導体発光素子７１０の負極をサブマウント７１１に接続し、正極を第２のサブマウント７１２に接続しても良い。この場合には、アースリード７２３ａを正極、リード７２３ｂを負極とする。

[0125] 本実施形態では、第２のサブマウント７１２を窒化物半導体発光素子７１０に接続することにより、窒化物半導体発光素子７１０からの放熱経路を追加することができる。この結果、熱抵抗は大きく低減し、通電中の窒化物半導体発光素子７１０の温度上昇を効果的に抑制することができる。

[0126] また、この構造においても、熱膨張係数の小さなサブマウントを用いることにより、第１の実施形態と同様に、最高光出力を向上させることができる。第２のサブマウント７１２は、サブマウント７１１と同一の材料である必要はないが、熱膨張係数の小さな材料（特に、窒化物半導体発光素子に比べて熱膨張係数の小さな）を選ぶことが望ましい。また、このときサブマウン

ト 7 1 1 と第 2 のサブマウント 7 1 2 を単一の材料によって構成する必要はない。つまり、第 1 の実施形態と同様に、窒化物半導体発光素子 7 1 0 と接続する側に熱膨張係数の小さな C V D - ダイヤモンドや高熱伝導 S i C を用いればよい。

[0127] 通電中の窒化物半導体発光素子 7 1 0 の熱膨張は、第 2 のサブマウント 7 1 2 の熱膨張係数に大きく支配される。熱膨張係数の小さな材料を選ぶことにより、温度上昇時に電子ブロック層の格子不整合歪みを緩和し、最高光出力を高くすることができる。

[0128] (第 4 の実施形態)

次に、本開示の第 4 の実施形態について説明する。

[0129] 図 1 5 は、第 4 の実施形態となる例示的窒化物半導体発光装置 8 0 0 の断面図である。

[0130] 窒化物半導体発光装置 8 0 0 は、窒化物半導体発光素子 8 1 0 と、パッケージ 8 2 0 によって構成される。

[0131] 窒化物半導体発光素子 8 1 0 は、G a N 基板 8 0 1、 n -クラッド層 8 0 2、MQW 活性層 8 0 3、 p -A l G a N 電子ブロック層 8 0 4 及び p -クラッド層 8 0 5 を有する。窒化物半導体発光素子 8 1 0 において、ドライエッチングにより n -クラッド層 8 0 2 の一部が露出するように加工されている。

[0132] 一方、パッケージ 8 2 0 は、絶縁性の基材 8 2 2、窒化物半導体発光素子 8 1 0 からの光を上面方向に反射する反射膜 8 3 6、裏面電極 8 3 3 a 及び 8 3 3 b、表面電極 8 3 4 a 及び 8 3 4 b、裏面電極と表面電極とを接続するビア配線 8 3 2 a 及び 8 3 2 b から構成される。

[0133] 窒化物半導体発光素子 8 1 0 は、接着部 8 3 9 を介してパッケージ 8 2 0 に搭載されている。窒化物半導体発光素子 8 1 0 の p 電極（図示せず）は、ボンディングワイヤ 8 4 0 b を介して表面電極 8 3 4 b に電氣的に接続される。窒化物半導体発光素子 8 1 0 の n 電極（図示せず）はボンディングワイヤ 8 4 0 a を介して表面電極 8 3 4 a に電氣的に接続される。裏面電極 8 3

3 a 及び 8 3 3 b をそれぞれ負極、正極に接続して通電することにより、窒化物半導体発光素子 8 1 0 を発光させることができる。窒化物半導体発光装置 8 0 0 は、最後に窒化物半導体発光素子 8 1 0 を蛍光体含有樹脂 8 5 0 によって埋め込むことにより完成する。青色を発光する窒化物半導体発光素子 8 1 0 と、黄色の蛍光を発する蛍光体含有樹脂 8 5 0 を用いることにより、白色光を発生する窒化物半導体発光装置 8 0 0 が提供される。

[0134] この構造では、窒化物半導体発光素子 8 1 0 において発生した熱はパッケージ基材 8 2 2 を介して外部に伝達される。従って、基材 8 2 2 には熱伝導率の高い材料を用いることが望ましい。また、通電中の窒化物半導体発光素子 8 1 0 に発生する熱歪みは、基材 8 2 2 の熱膨張係数によって決定される。そこで、第 1 の実施形態のサブマウントと同様に、基材 8 2 2 の窒化物半導体発光素子 8 1 0 と接続する側に、熱膨張係数が小さく且つ熱伝導率が高い C V D - ダイヤモンドや高熱伝導性 S i C を用いる。これにより、電子ブロック層 8 0 4 のキャリアオーバーフロー抑制効果が大きくなる。その結果、高い光出力を得ることができる。

[0135] (第 4 の実施形態の変形例)

図 1 6 は、第 4 の実施形態の変形例を示す断面図である。

[0136] 本変形例の窒化物半導体発光装置 8 0 0 a は、窒化物半導体発光素子 8 1 0、パッケージ 8 2 0 及びサブマウント 8 1 1 から構成される。

[0137] 窒化物半導体発光素子 8 1 0 は、図 1 5 のものと同一である。パッケージ 8 2 0 は、樹脂基材 8 2 1、樹脂基材 8 2 1 によって電氣的に分離された金属リード 8 2 3 a 及び 8 2 3 b によって構成される。窒化物半導体発光素子 8 1 0 はサブマウント 8 1 1 に接続され、サブマウント 8 1 1 共にパッケージ 8 2 0 に搭載される。サブマウント 8 1 1 の表面には、表面電極 8 1 2 a 及び 8 1 2 b が形成されている。窒化物半導体発光素子 8 1 0 の p 電極は表面電極 8 1 2 b に接続され、n 電極はバンプ電極 8 1 5 を介して表面電極 8 1 2 a に接続される。表面電極 8 1 2 a 及び 8 1 2 b は、ボンディングワイヤ 8 4 0 a 及び 8 4 0 b によって金属リード 8 2 3 a 及び 8 2 3 b にそれぞれ

れ電氣的に接続される。金属リード823a及び823bをそれぞれ負極及び正極に接続して通電することにより、窒化物半導体発光素子810を発光させることができる。窒化物半導体発光装置800は、窒化物半導体発光素子810を蛍光体含有樹脂850によって埋め込むことにより完成する。青色を発光する窒化物半導体発光素子810と黄色の蛍光を発する蛍光体含有樹脂850を用いると、白色光を発生する窒化物半導体発光装置800が提供される。

[0138] この構造では、窒化物半導体発光素子810で発生した熱は、サブマウント811及び金属リード823bを介して外部に伝達される。したがって、サブマウント811には熱伝導率の高い材料を用いることが望ましい。また、通電中の窒化物半導体発光素子810に発生する熱歪みはサブマウント811の熱膨張係数で決定される。そこで、第1の実施形態のサブマウントと同様に、サブマウント811における窒化物半導体発光素子810と接続する側に、熱膨張係数が小さく且つ熱伝導率が高いCVDーダイヤモンドや高熱伝導性SiCを用いる。これにより、電子ブロック層804のキャリアオーバーフロー抑制効果が大きくなる。その結果、高い光出力を得ることができる。

[0139] 尚、図15で示した第4の実施形態ではパッケージ基材822の材料としてCVDーダイヤモンド又はSiCを用いる。これに対し、本変形例ではサブマウント811にそれらの材料を用いることができる。サブマウントは単純な直方体であることから、加工が容易にできる利点がある。

[0140] 以上説明したように、引っ張り方向の格子不整合歪みを有する電子ブロック層を用いた窒化物半導体発光素子を小さな熱膨張係数をもつサブマウントに実装することによって光出力を向上できる。サブマウントの形状は単純な直方体でよく、複雑な機械的加工を必要としない。従って、本実施形態で述べた人工ダイヤモンドのような加工性の低い材料を用いることができる。また、従来型のステムやキャップをそのまま使うことができるので、窒化物半導体発光装置を使用した従来型の光源に簡単に搭載することができる。

産業上の利用可能性

[0141] 本発明の窒化物半導体発光装置は、レーザディスプレイ、プロジェクタ等の画像表示装置、レーザ加工、レーザアニール等の産業用のレーザ機器等の比較的高い光出力が必要な装置に有効である。尚、この窒化物半導体発光装置に用いる窒化物半導体発光素子は、半導体レーザだけでなく発光ダイオードなどの素子にも広く適用可能である。

符号の説明

[0142]	1 0 0	窒化物半導体発光装置
	1 0 0 a	窒化物半導体発光装置
	1 1 0	窒化物半導体発光素子
	1 1 1	サブマウント
	1 1 1 a	サブマウント
	1 1 1 d	電極
	1 1 1 e	接着部
	1 1 1 f	電極
	1 1 1 g	接着部
	1 2 0	ステム
	1 2 1	基台
	1 2 2	素子搭載台
	1 2 3 a	アースリード
	1 2 3 b	リード
	1 2 3 c	リード
	1 3 0	キャップ
	1 3 1	カバー
	1 3 1 a	開口部
	1 3 2	窓
	1 4 0 b	ボンディングワイヤ
	1 4 0 c	ボンディングワイヤ

2 0 1	窒化物半導体基板
2 0 2	クラッド層
2 0 3	活性層
2 0 4	電子ブロック層
2 0 5	クラッド層
2 0 6	コンタクト層
2 1 0	p-オーミック電極
2 1 1	n-オーミック電極
2 2 1	歪
2 2 1 a	歪
2 2 2	圧縮歪
3 0 0	窒化物半導体発光装置
3 1 0	窒化物半導体発光素子
3 1 1	サブマウント
3 1 1 a	第1のサブマウント基材
3 1 1 b	第2のサブマウント基材
3 1 1 d	電極
3 1 1 e	接着部
3 1 1 f	電極
3 1 1 g	接着部
3 2 0 W	熱伝導率
5 0 0	窒化物半導体発光装置
5 1 0	窒化物半導体発光素子
5 1 1	サブマウント
5 1 1 a	第1のサブマウント基材
5 1 1 b	第2のサブマウント基材
5 1 1 d	電極
5 1 1 e	接着部

5 1 1 f	電極
5 1 1 g	接着部
5 2 0	ステム
5 2 2	素子搭載台
5 2 3 b	リード
5 2 3 c	リード
7 1 0	窒化物半導体発光素子
7 1 1	サブマウント
7 1 2	第2のサブマウント
7 2 0	ステム
7 2 1	基台
7 2 2	素子搭載台
7 2 3 a	アースリード
7 2 3 b	リード
7 4 0	ボンディングワイヤ
8 0 0	窒化物半導体発光装置
8 0 0 a	窒化物半導体発光装置
8 0 1	G a N基板
8 0 2	n-クラッド層
8 0 3	MQW活性層
8 0 4	電子ブロック層
8 0 5	p-クラッド層
8 1 0	窒化物半導体発光素子
8 1 1	サブマウント
8 1 2 a	表面電極
8 1 2 b	表面電極
8 1 5	バンプ電極
8 2 0	パッケージ

8 2 1	樹脂基材
8 2 2	パッケージ基材
8 2 2	基材
8 2 3 a	金属リード
8 2 3 b	金属リード
8 3 2 a	ビア配線
8 3 3 a	裏面電極
8 3 4 a	表面電極
8 3 4 b	表面電極
8 3 6	反射膜
8 3 9	接着部
8 4 0 a	ボンディングワイヤ
8 4 0 b	ボンディングワイヤ
8 5 0	蛍光体含有樹脂

請求の範囲

[請求項1] 表面に極性面又は半極性面を有する窒化物半導体基板上に、窒化物半導体多層膜が積層された構成を有する窒化物半導体発光素子と、前記窒化物半導体発光素子を搭載する搭載部とを有する半導体発光装置において、

前記窒化物半導体多層膜は、電子ブロック層を含み、

前記電子ブロック層の格子定数は、前記窒化物半導体基板の格子定数よりも小さく、

前記搭載部は、少なくとも第1の搭載部基材を有し、

前記第1の搭載部基材は、前記窒化物半導体発光素子が搭載される側に位置しており、

前記第1の搭載部基材の熱膨張係数は、前記窒化物半導体多層膜の熱膨張係数よりも小さく、

前記第1の搭載部基材の熱伝導率は、前記窒化物半導体多層膜の熱伝導率よりも大きいことを特徴とする半導体発光装置。

[請求項2] 請求項1において、

前記第1の搭載部基材の熱膨張係数は、 $4 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ 以下であり、

前記第1の搭載部基材の熱伝導率は、 300 W/m K 以上であることを特徴とする半導体発光装置。

[請求項3] 請求項1又は2において、

前記搭載部は、前記第1の搭載部基材とは異なる材料からなり、且つ、前記第1の搭載部基材と接合される第2の搭載部基材を備え、

前記第1の搭載部基材は、前記第2の搭載部基材よりも前記窒化物半導体発光素子に近い側に位置することを特徴とする半導体発光装置。

[請求項4] 請求項1～3のいずれか1つにおいて、

前記第1の搭載部基材は、高熱伝導SiCセラミック、CVDーダ

イヤモンド、又は、ダイヤモンドと銅との複合材の何れかからなることを特徴とする半導体発光装置。

[請求項5] 請求項1～4のいずれか1つにおいて、
前記第1の搭載部基材の熱膨張係数が $3 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ 以下であることを特徴とする半導体発光装置。

[請求項6] 請求項1～5のいずれか1つにおいて、
前記窒化物半導体発光素子における発熱量が3W以上であることを特徴とする半導体発光装置。

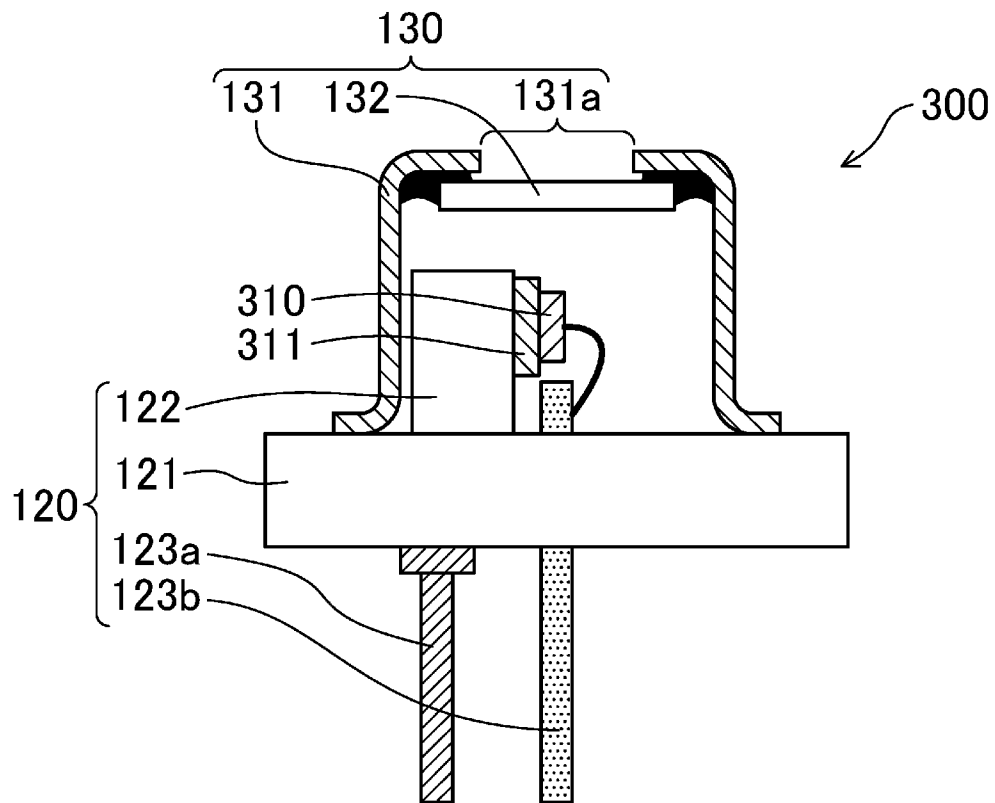
[請求項7] 請求項1～6のいずれか1つにおいて、
前記窒化物半導体発光素子は、発光ダイオードであることを特徴とする半導体発光装置。

[請求項8] 請求項3において、
前記第1の搭載部基材の熱膨張係数は、前記第2の搭載部基材の熱膨張係数よりも小さいことを特徴とする半導体発光装置。

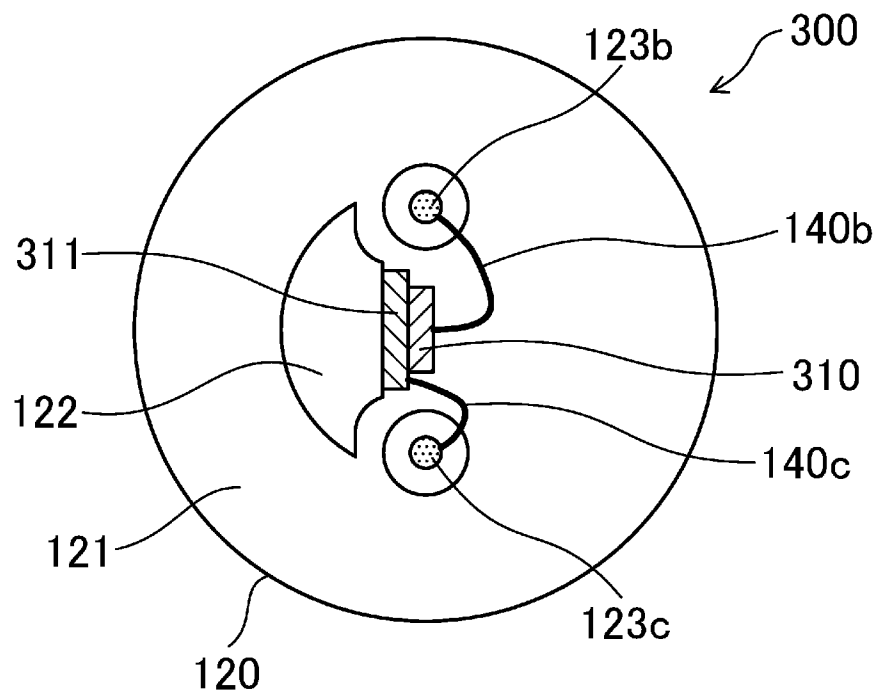
[請求項9] 請求項1～8のいずれか1つにおいて、
前記第1の搭載部基材の体積は、前記窒化物半導体発光素子の体積よりも大きいことを特徴とする半導体発光装置。

[請求項10] 請求項1～9のいずれか1つにおいて、
前記搭載部は、更に他の素子搭載台又は基材に搭載されるサブマウントであることを特徴とする半導体発光装置。

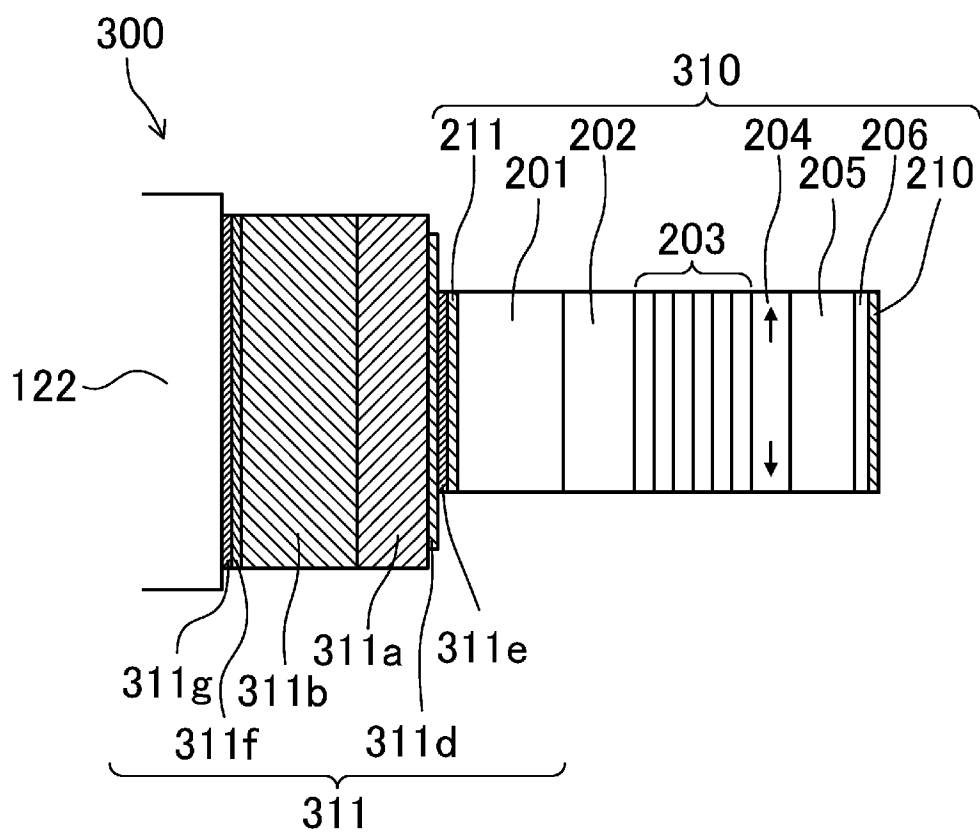
[図1]



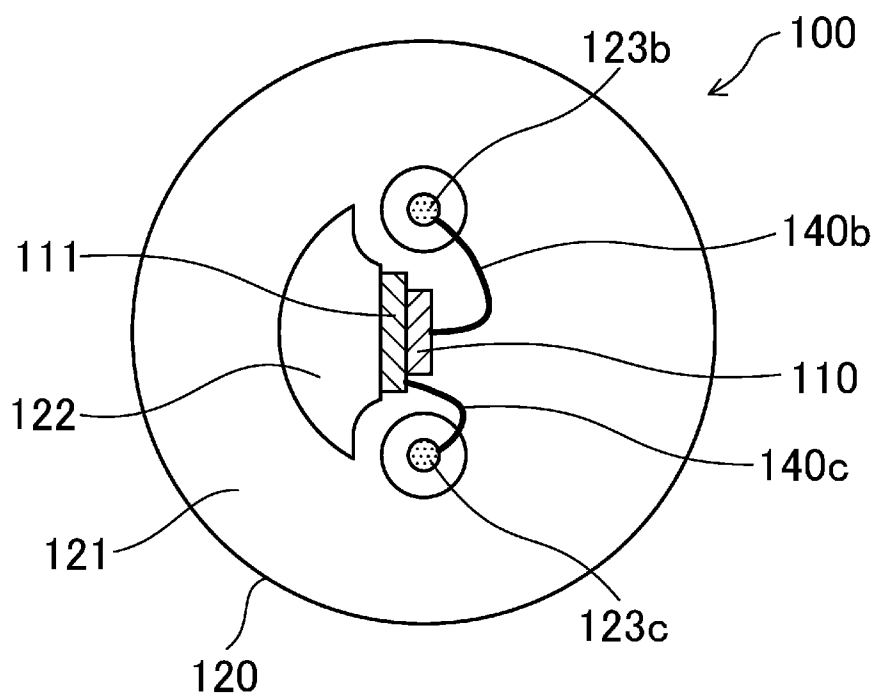
[図2]



[図3]

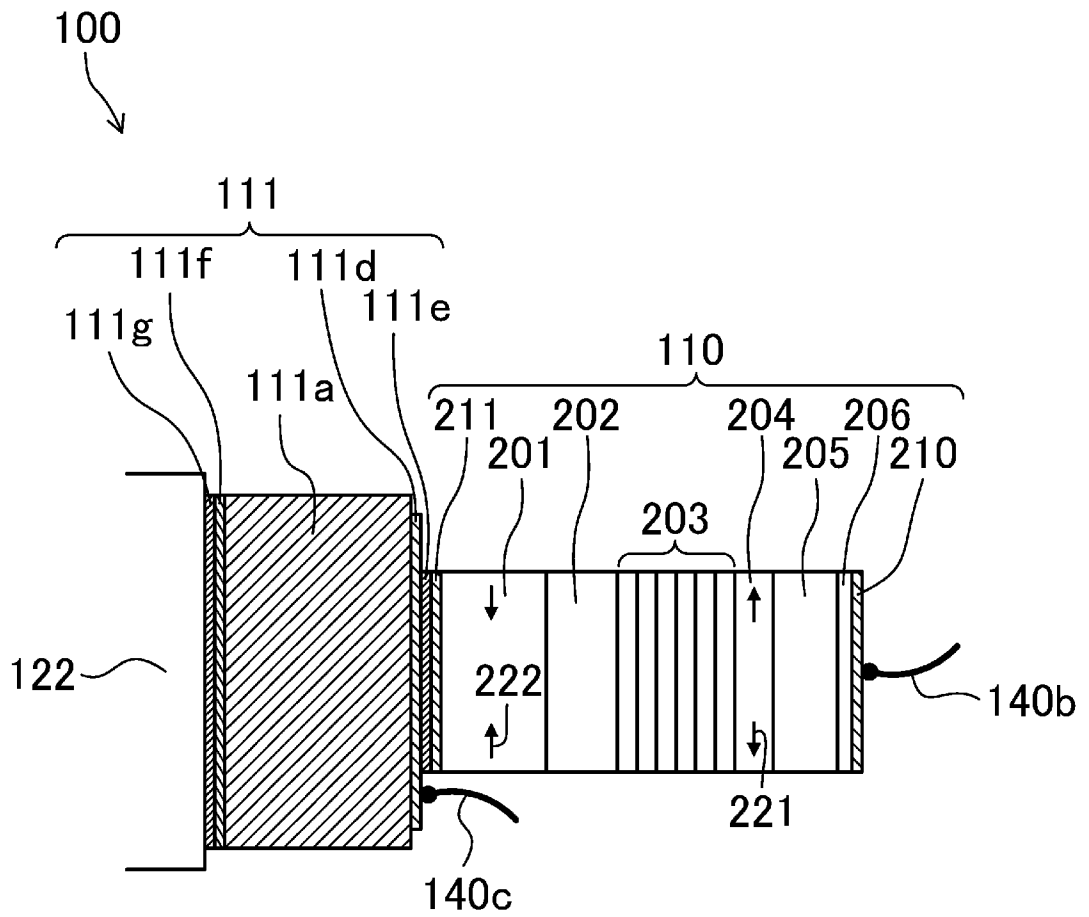


[図4]

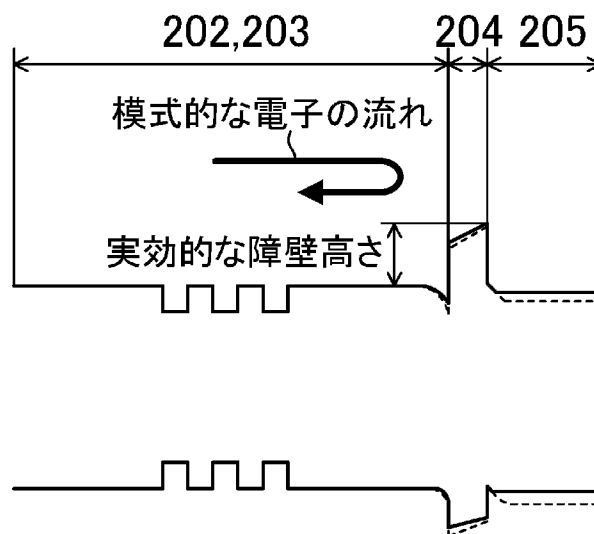


[図5]

(a)

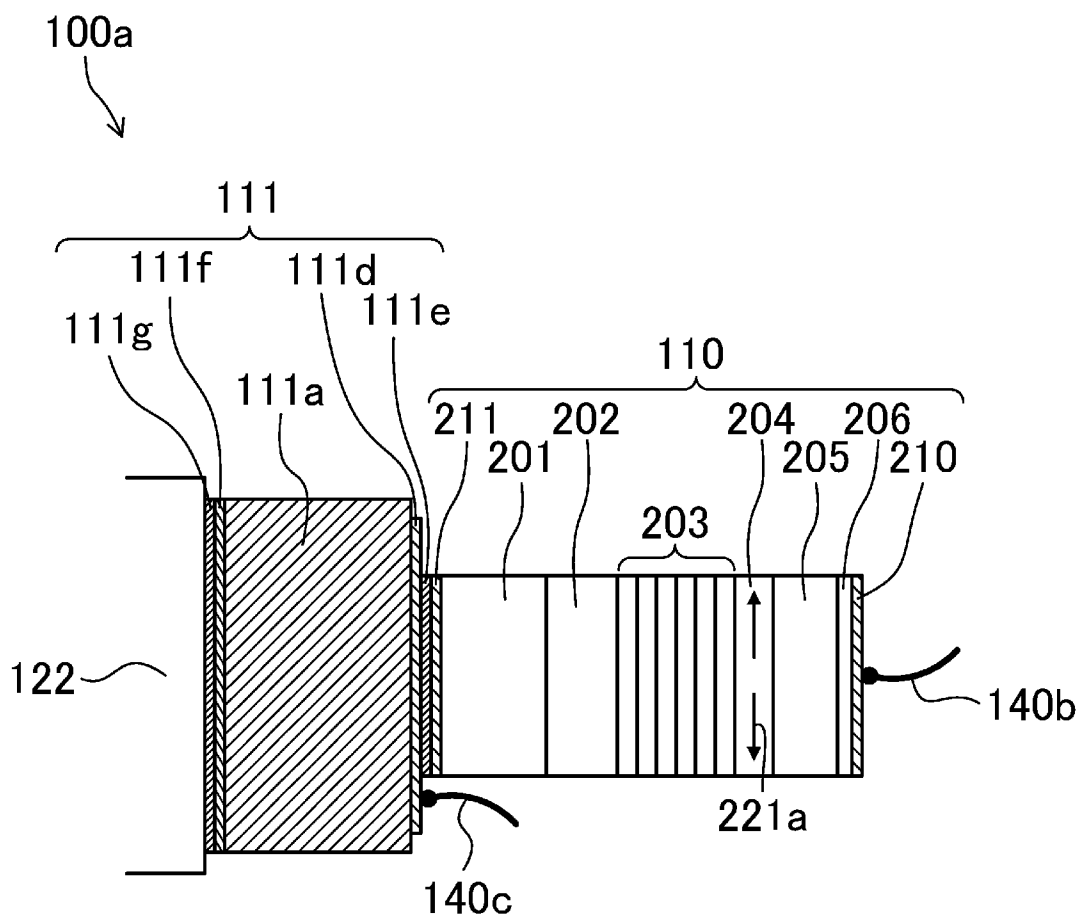


(b)

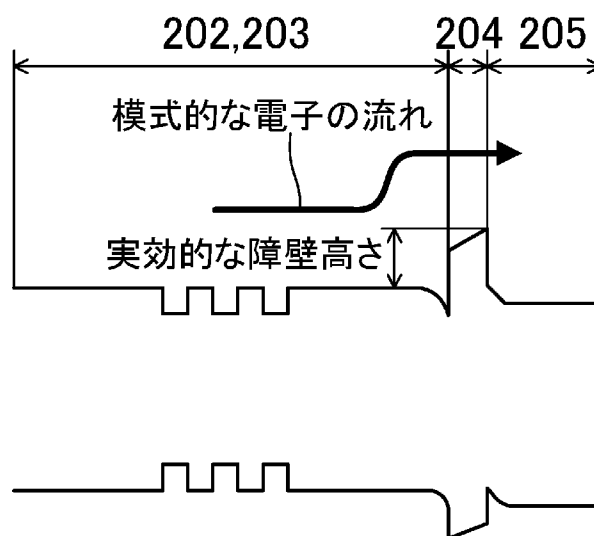


[図6]

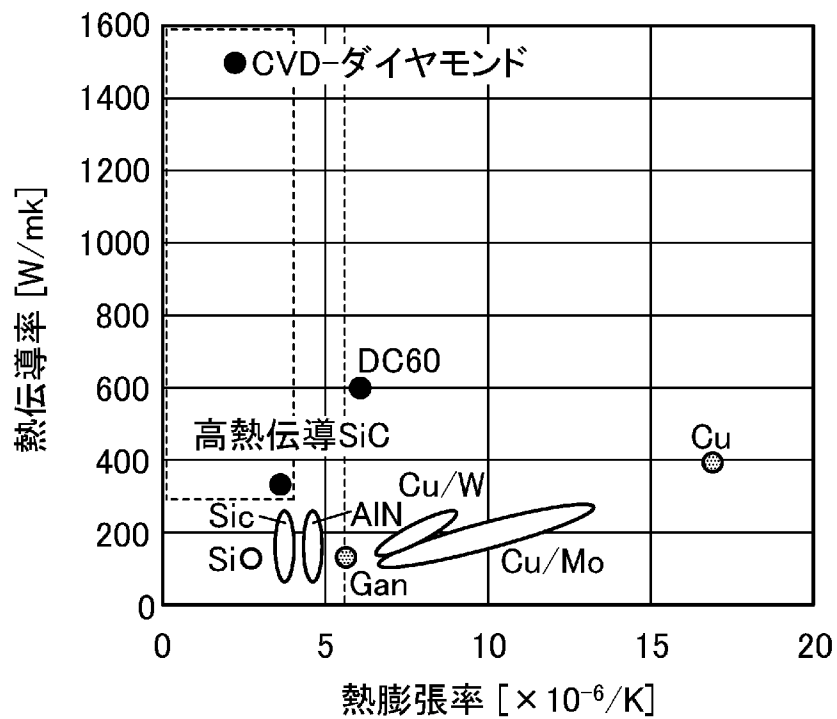
(a)



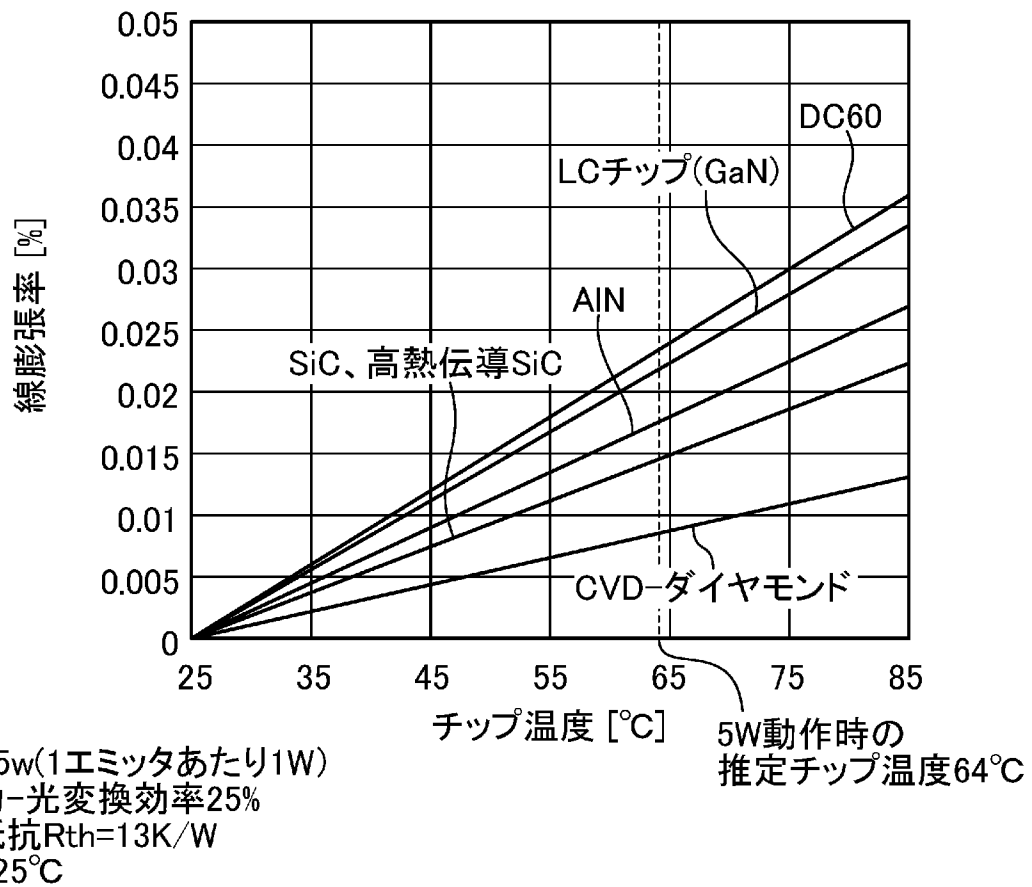
(b)



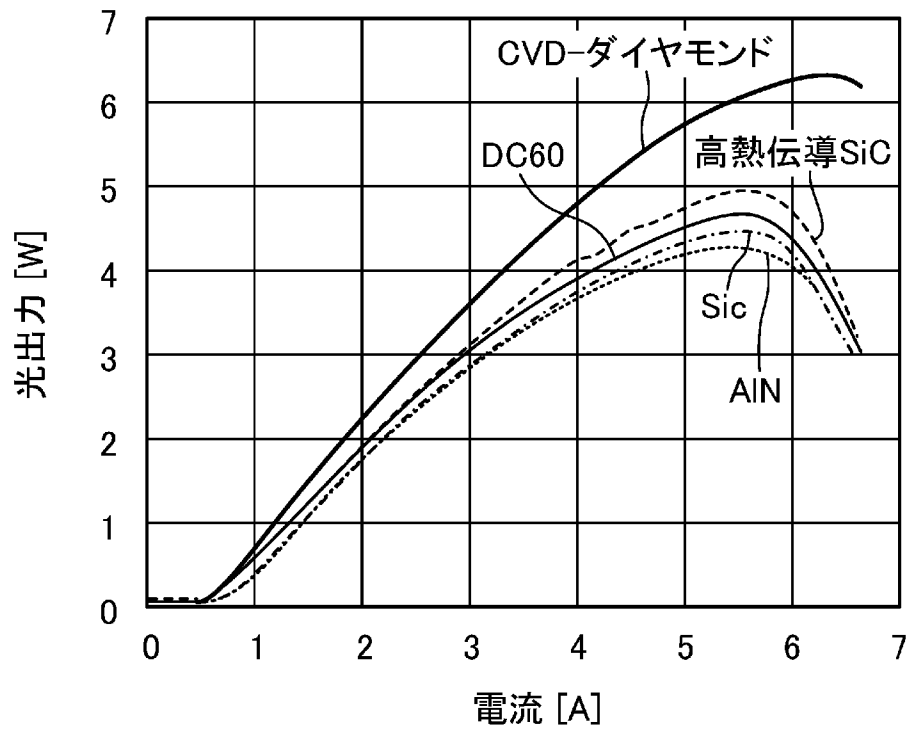
[図7]



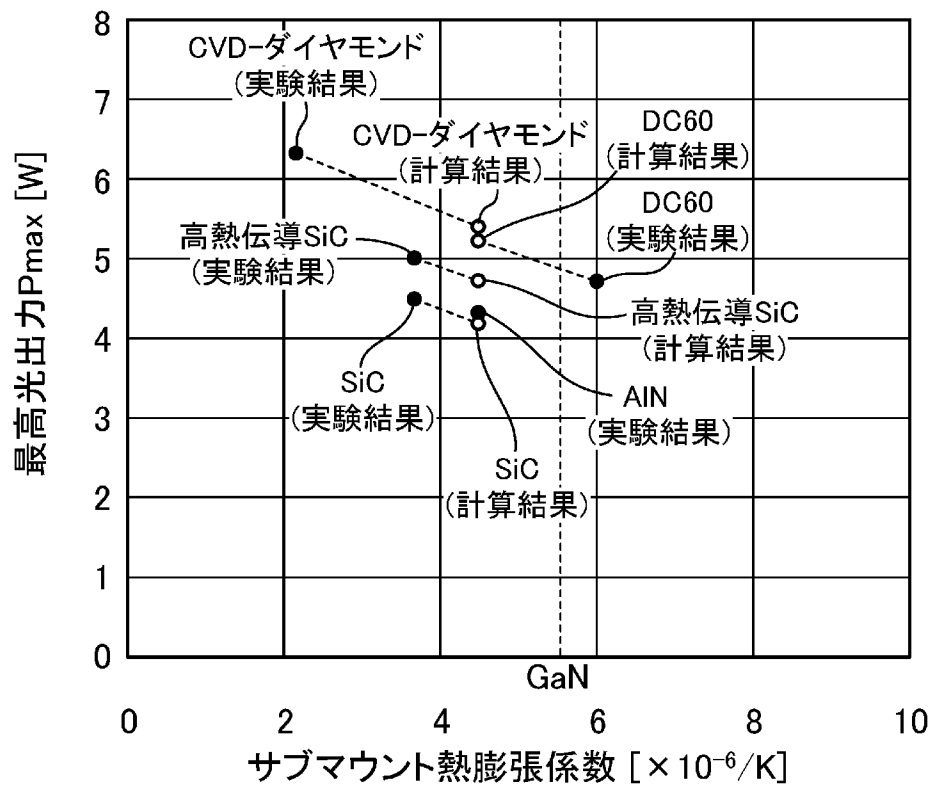
[図8]



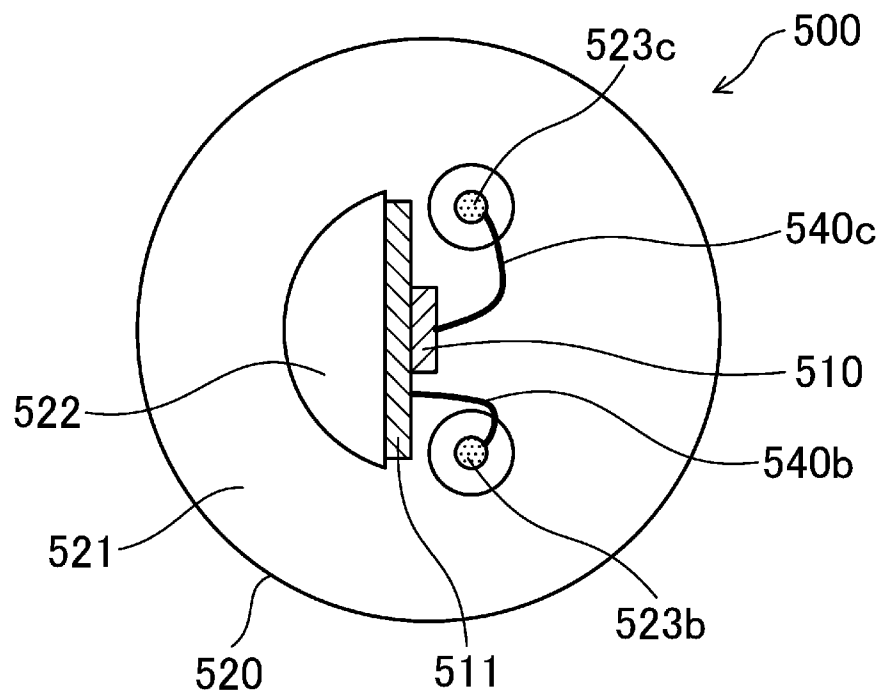
[図9]



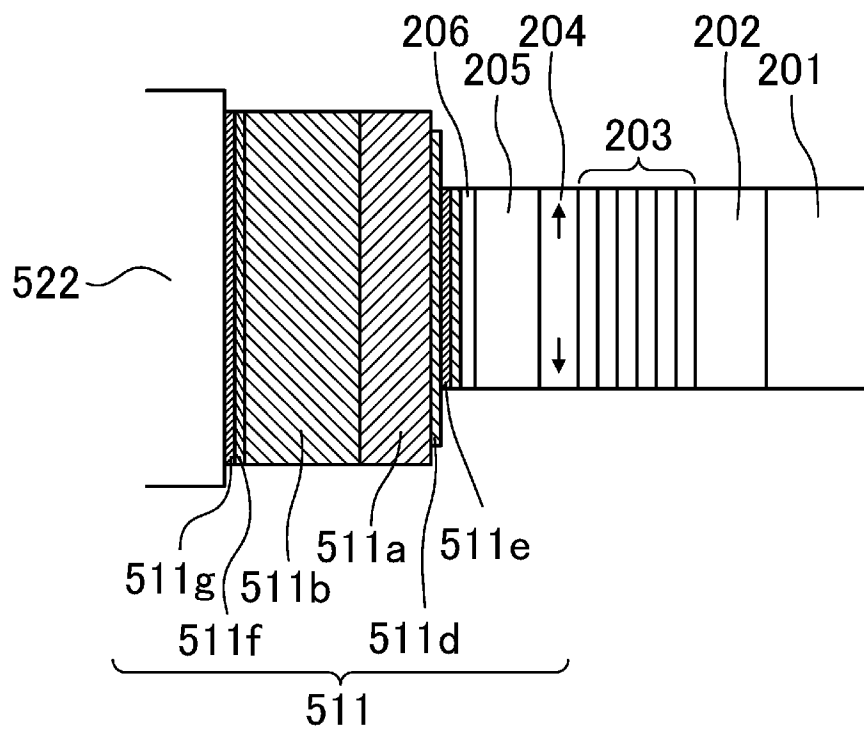
[図10]



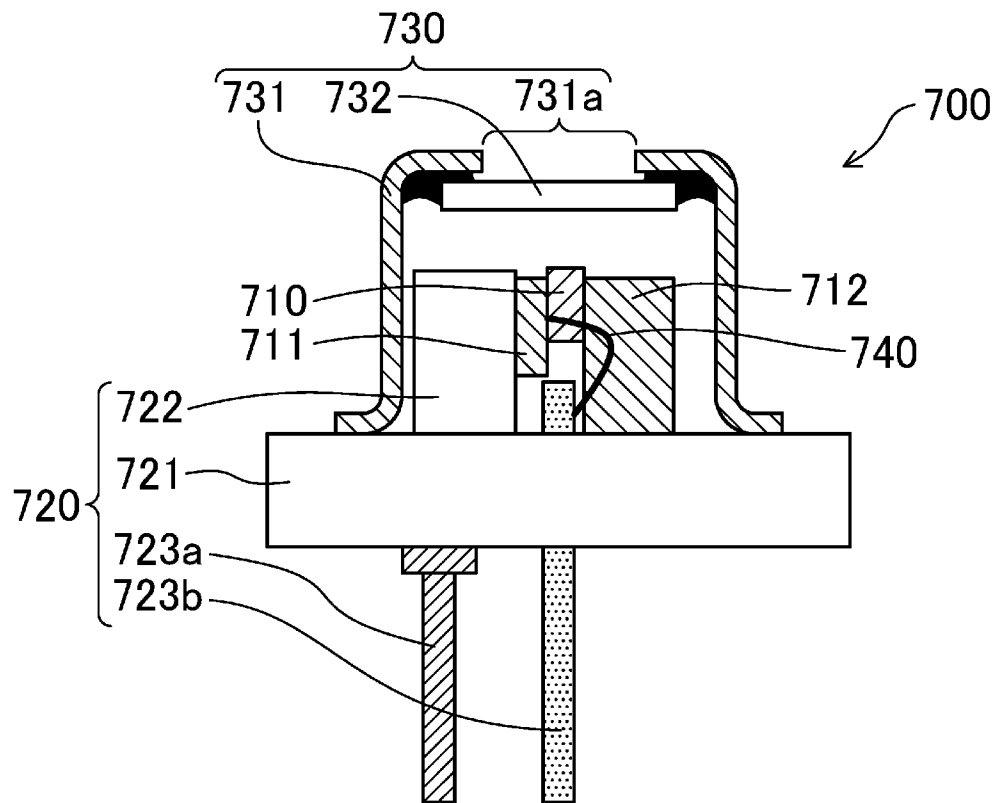
[図11]



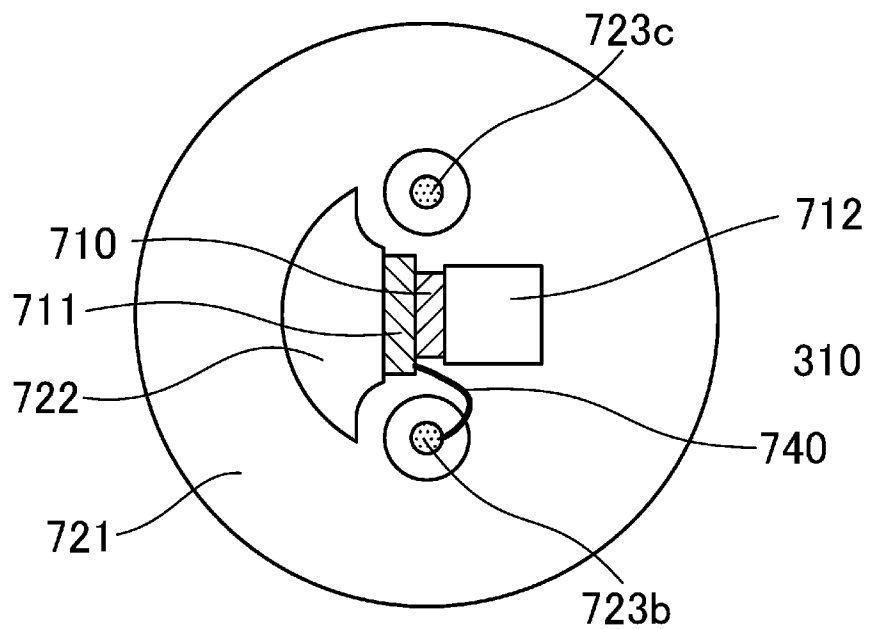
[図12]



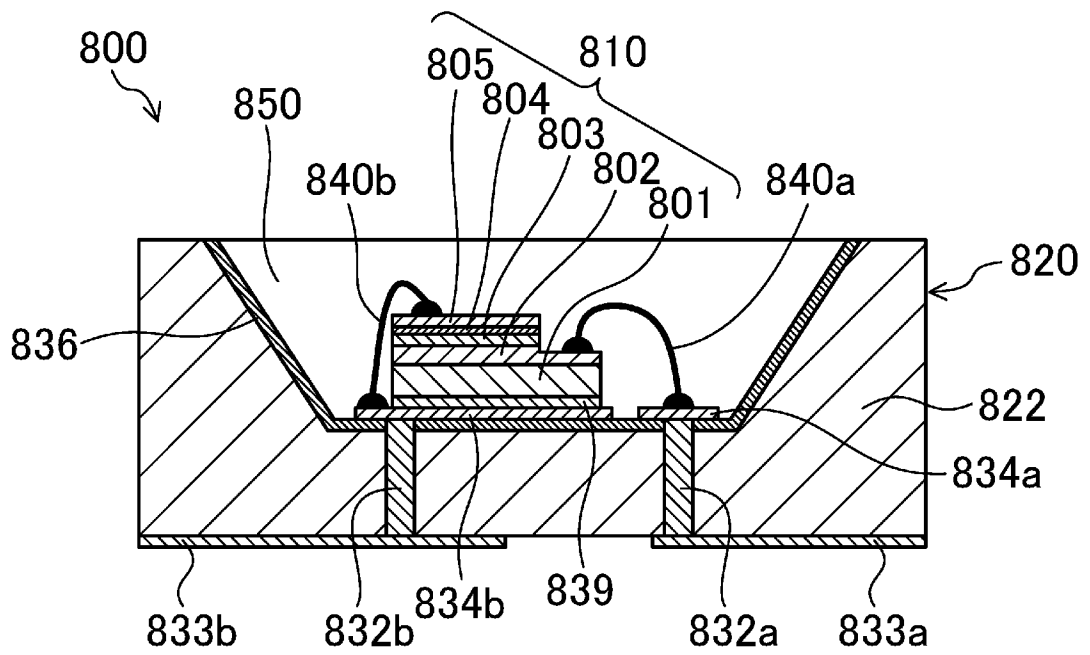
[図13]



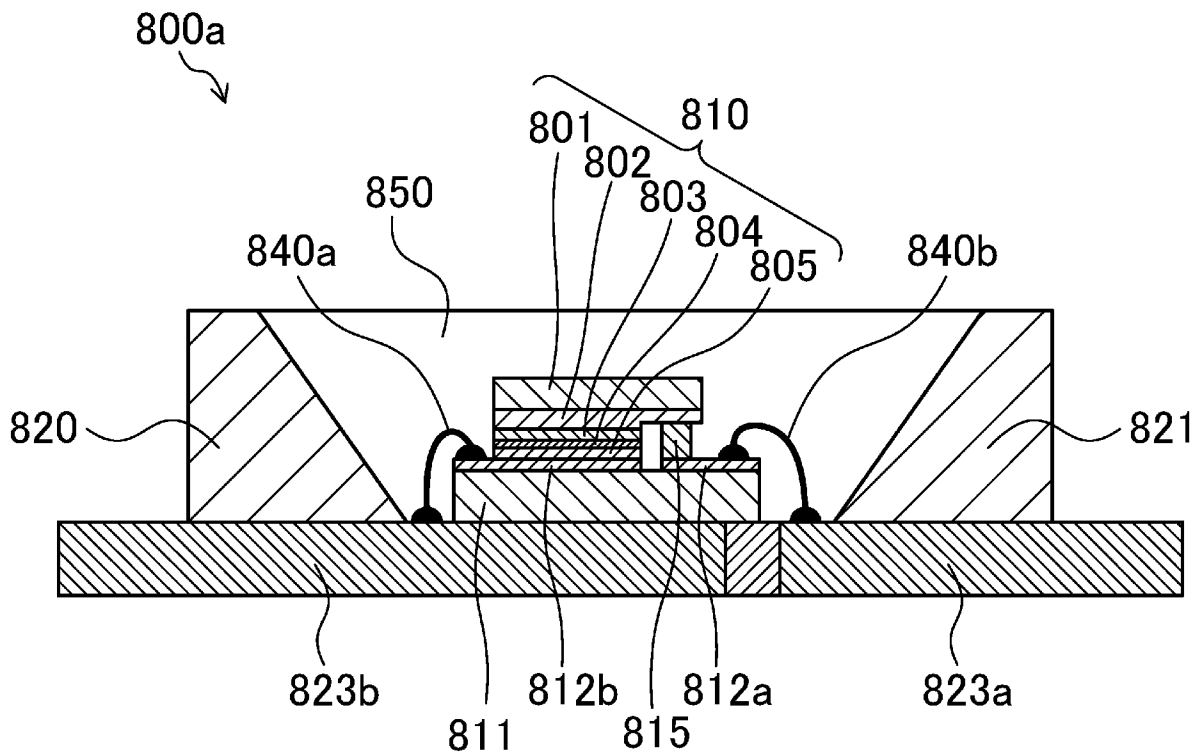
[図14]



[図15]

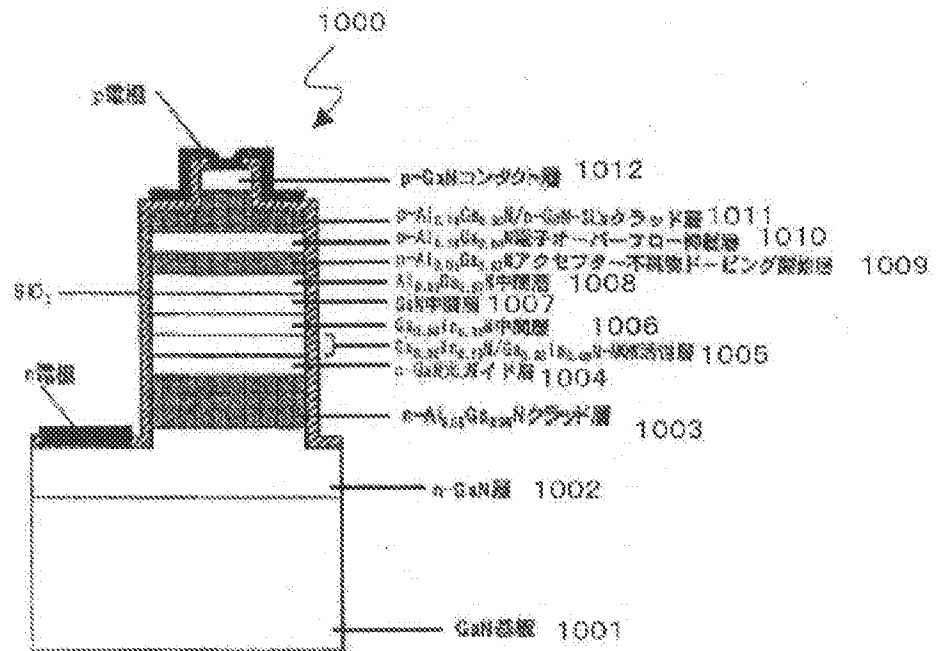


[図16]

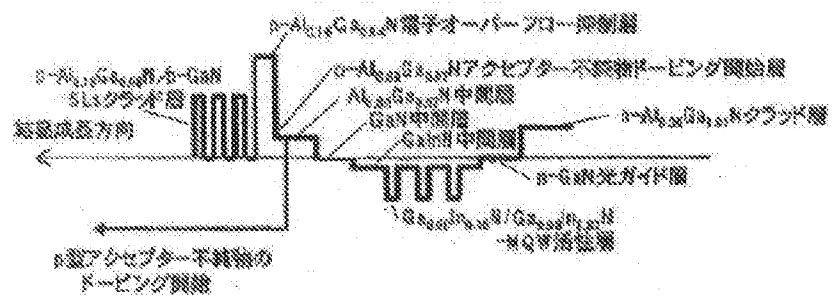


[図17]

(a)



(b)



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2013/002346

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H01S5/022(2006.01)i, H01S5/343(2006.01)i, H01L33/32(2010.01)i, H01L33/48(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)

H01S5/00-5/50, 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	WO 2007/083647 A1 (Matsushita Electric Industrial Co., Ltd.), 26 July 2007 (26.07.2007), abstract; paragraphs [0049] to [0053], [0072]; fig. 1 to 2 & JP 5108532 B & US 2010/0148145 A1 & CN 101371413 A	1, 6-7, 9-10 2-5, 8
Y	JP 5-13843 A (Sumitomo Electric Industries, Ltd.), 22 January 1993 (22.01.1993), claims; fig. 1 & US 5299214 A & EP 521405 A1 & DE 69231790 T & ZA 9204881 A & KR 10-1996-0006208 B	2-5, 8

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

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

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

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

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

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

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
02 July, 2013 (02.07.13)Date of mailing of the international search report
09 July, 2013 (09.07.13)Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2013/002346

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2010-272593 A (Hamamatsu Photonics Kabushiki Kaisha), 02 December 2010 (02.12.2010), abstract; fig. 1 (Family: none)	1-10
A	WO 2010/131527 A1 (Sumitomo Electric Industries, Ltd.), 18 November 2010 (18.11.2010), abstract; fig. 1 & JP 2010-263161 A & US 2012/0112204 A1 & EP 2432084 A1 & CN 102422496 A & TW 201101534 A & KR 10-2012-0008070 A	1-10
A	WO 2008/018482 A1 (Sanyo Electric Co., Ltd.), 14 February 2008 (14.02.2008), abstract; fig. 4 & JP 2008-66717 A & US 2010/0219419 A1 & CN 101501947 A	1-10
A	JP 2007-5473 A (Sony Corp.), 11 January 2007 (11.01.2007), abstract; fig. 3 (Family: none)	1-10
A	JP 2004-186527 A (Tecnisco Ltd.), 02 July 2004 (02.07.2004), paragraph [0051] (Family: none)	1-10
A	JP 2003-309316 A (Sumitomo Electric Industries, Ltd.), 31 October 2003 (31.10.2003), abstract; fig. 2 (Family: none)	1-10
A	JP 2002-329896 A (Kansai Technology Licensing Organization Co., Ltd.), 15 November 2002 (15.11.2002), abstract; paragraph [0003], [0022]; fig. 3 (Family: none)	1-10
A	JP 2002-299744 A (Sony Corp.), 11 October 2002 (11.10.2002), abstract; fig. 1 (Family: none)	1-10
A	JP 10-215022 A (Japan Science and Technology Corp.), 11 August 1998 (11.08.1998), abstract; fig. 1 (Family: none)	1-10

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. H01S5/022(2006.01)i, H01S5/343(2006.01)i, H01L33/32(2010.01)i, H01L33/48(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. H01S5/00-5/50, 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 Y	WO 2007/083647 A1（松下電器産業株式会社）2007.07.26, 要約, 段落 4 9 - 5 3, 段落 7 2, 図 1 - 2 & JP 5108532 B & US 2010/0148145 A1 & CN 101371413 A	1, 6-7, 9-10 2-5, 8
Y	JP 5-13843 A（住友電気工業株式会社）1993.01.22, 特許請求の範囲, 図 1 & US 5299214 A & EP 521405 A1 & DE 69231790 T & ZA 9204881 A & KR 10-1996-0006208 B	2-5, 8

☒ 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 . 0 7 . 2 0 1 3

国際調査報告の発送日

0 9 . 0 7 . 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）

古田 敦浩

2 X

3 0 1 3

電話番号 0 3 - 3 5 8 1 - 1 1 0 1 内線 3 2 9 4

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 2010-272593 A (浜松ホトニクス株式会社) 2010. 12. 02, 要約, 図 1 (ファミリーなし)	1-10
A	WO 2010/131527 A1 (住友電気工業株式会社) 2010. 11. 18, 要約, 図 1 & JP 2010-263161 A & US 2012/0112204 A1 & EP 2432084 A1 & CN 102422496 A & TW 201101534 A & KR 10-2012-0008070 A	1-10
A	WO 2008/018482 A1 (三洋電機株式会社) 2008. 02. 14, 要約, 図 4 & JP 2008-66717 A & US 2010/0219419 A1 & CN 101501947 A	1-10
A	JP 2007-5473 A (ソニー株式会社) 2007. 01. 11, 要約, 図 3 (ファミリーなし)	1-10
A	JP 2004-186527 A (株式会社テクニスコ) 2004. 07. 02, 段落 5 1 (ファミリーなし)	1-10
A	JP 2003-309316 A (住友電気工業株式会社) 2003. 10. 31, 要約, 図 2 (ファミリーなし)	1-10
A	JP 2002-329896 A (関西ティー・エル・オー株式会社) 2002. 11. 15, 要約, 段落 3, 段落 2 2, 図 3 (ファミリーなし)	1-10
A	JP 2002-299744 A (ソニー株式会社) 2002. 10. 11, 要約, 図 1 (ファミリーなし)	1-10
A	JP 10-215022 A (科学技術振興事業団) 1998. 08. 11, 要約, 図 1 (ファミリーなし)	1-10