

(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
2015年9月17日(17.09.2015)



(10) 国際公開番号
WO 2015/137373 A1

- (51) 国際特許分類:
H01S 5/343 (2006.01) H01L 29/778 (2006.01)
H01L 21/338 (2006.01) H01L 29/812 (2006.01)
H01L 29/207 (2006.01) H01L 31/10 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2015/057093
- (22) 国際出願日: 2015年3月11日(11.03.2015)
- (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 2014-047339 2014年3月11日(11.03.2014) JP
- (71) 出願人: 古河電気工業株式会社(FURUKAWA ELECTRIC CO., LTD.) [JP/JP]; 〒1008322 東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: 岩見 正之(IWAMI, Masayuki); 〒1008322 東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 古河電気工業株式会社内 Tokyo (JP). 石井 宏辰(ISHII, Hirotsu); 〒1008322 東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 古河電気工業株式会社内 Tokyo (JP). 岩井 則広(IWAI, Norihiro); 〒1008322 東京都

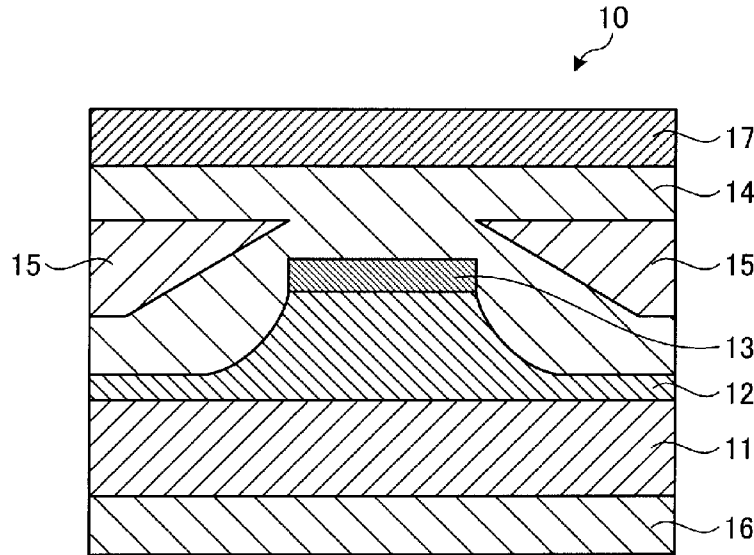
千代田区丸の内二丁目2番3号 古河電気工業株式会社内 Tokyo (JP). 松田 竹善(MATSUDA, Takeyoshi); 〒1008322 東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 古河電気工業株式会社内 Tokyo (JP). 粕川 秋彦(KASUKAWA, Akihiko); 〒1008322 東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 古河電気工業株式会社内 Tokyo (JP). 石川 卓哉(ISHIKAWA, Takuya); 〒1008322 東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 古河電気工業株式会社内 Tokyo (JP). 川北 泰雅(KAWAKITA, Yasumasa); 〒1008322 東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 古河電気工業株式会社内 Tokyo (JP). 鍛冶 栄作(KAJI, Eisaku); 〒1008322 東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 古河電気工業株式会社内 Tokyo (JP).

- (74) 代理人: 酒井 宏明, 外(SAKAI, Hiroaki et al.); 〒1000013 東京都千代田区霞が関3丁目8番1号 虎の門三井ビルディング 特許業務法人酒井国際特許事務所 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, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN,

[続葉有]

(54) Title: SEMICONDUCTOR DEVICE

(54) 発明の名称: 半導体装置



(57) Abstract: This semiconductor device is provided with a semiconductor layer comprising a group III-V crystalline semiconductor with As as the primary component, and a group V element other than As is introduced with a concentration of 0.02-5% at the group V site of the group III-V crystalline semiconductor in the semiconductor layer. Preferably, the group V element other than As is N, P or Sb, or a combination of these. Thereby, a semiconductor device is provided which keeps defects from occurring in the bulk crystalline semiconductor and which has less variation of characteristics.

(57) 要約: Asを主成分とするIII-V族半導体結晶からなる半導体層を備えた半導体装置であって、前記半導体層におけるIII-V族半導体結晶のV族サイトに、前記As以外のV族元素が濃度0.02~5%で導入されている半導体装置である。好ましくは、前記As以外のV族元素は、N、P、Sbの何れか一つまたはこれらの組み合わせである。これにより、半導体結晶のバルク内における欠陥発生を抑制し、特性の変動の少ない半導体装置を提供する。

WO 2015/137373 A1



CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, 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, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユー

ロシア (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))

明 細 書

発明の名称：半導体装置

技術分野

[0001] 本発明は、半導体装置に関する。

背景技術

[0002] 半導体レーザ素子などの半導体装置には通電に伴う特性の劣化がある。たとえば、端面発光型レーザ素子においては、端面の光学的破壊（Catastrophic Optical Damage：COD）が発生することが知られている。CODを防止するための技術として、端面におけるレーザ光の吸収を抑制するための窓構造が知られている（特許文献1参照）。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献1：特開2012-146996号公報

非特許文献

[0004] 非特許文献1：N. Chen, Y. Wang, H. He, and L. Lin, Japanese Journal of Applied Physics, 1996年 35巻, L1238-L1240.

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0005] 半導体装置の特性劣化は、その端面の劣化によるものに注目が集まっていた。したがって、半導体素子の特性劣化への対策は、半導体装置の端面を保護する技術を中心として進展してきた。

[0006] しかしながら、本発明者らの検討したところによれば、半導体装置の高出力化、あるいは高耐圧化に伴い、半導体装置の端面のみならず、半導体結晶のバルク内においても特性劣化の原因となる欠陥が発生してしまう場合がある。例えば、半導体レーザ素子の活性層やその周辺では、バルク内に端面が起因でない転位ループが発生し、この転位ループが成長している様子が本発

明者らにより確認されている。特に光出力が1チップでおよそ数10W以上となる高出力素子でこの傾向は顕著である。

[0007] 本発明は、上記に鑑みてなされたものであって、その目的は、半導体結晶のバルク内における欠陥発生を抑制し、特性の変動の少ない半導体装置を提供することにある。

課題を解決するための手段

[0008] 上述した課題を解決し、目的を達成するために、本発明の一態様に係る半導体装置は、AsをV族の主成分とするIII-V族半導体結晶からなる半導体層を備えた半導体装置であって、前記半導体層におけるIII-V族半導体結晶のV族サイトに、前記As以外のV族元素が濃度0.02~5%で導入されていることを特徴とする。

[0009] 本発明の一態様に係る半導体装置は、前記As以外のV族元素は、N、P、Sbの何れかまたはこれらの組み合わせであることを特徴とする。

[0010] 本発明の一態様に係る半導体装置は、前記AsをV族の主成分とするIII-V族半導体結晶は、InGaAs、AlGaInAs、GaInNAs、AlGaInNAsの何れかであることを特徴とする。

[0011] 本発明の一態様に係る半導体装置は、前記AsをV族の主成分とするIII-V族半導体結晶は、GaAs、AlAs、AlGaAsの何れかであることを特徴とする。

[0012] 本発明の一態様に係る半導体装置は、前記半導体層におけるIII-V族半導体結晶のIII族サイトに、濃度が0.1~1%でInが導入されていることを特徴とする。

[0013] 本発明の一態様に係る半導体装置は、前記半導体層は、n型ドーパントが添加されていることを特徴とする。

[0014] 本発明の一態様に係る半導体装置は、前記n型ドーパントの濃度は、 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以下 $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ 以上であることを特徴とする。

[0015] 本発明の一態様に係る半導体装置は、前記半導体層は、半導体レーザ素子における活性層であることを特徴とする。

[0016] 本発明の一態様に係る半導体装置は、前記As以外のV族元素は、多重量子井戸構造を有する前記活性層の井戸層に導入されていることを特徴とする。

[0017] 本発明の一態様に係る半導体装置は、前記As以外のV族元素は、多重量子井戸構造を有する前記活性層の障壁層に導入されていることを特徴とする。

[0018] 本発明の一態様に係る半導体装置は、前記活性層は、前記半導体レーザ素子における他のn型半導体層よりもn型ドーパントの濃度が低いことを特徴とする。

[0019] 本発明の一態様に係る半導体装置は、前記半導体層は、ヘテロ接合トランジスタにおける電子走行層であることを特徴とする。

[0020] 本発明の一態様に係る半導体装置は、前記半導体層は、PINダイオードにおけるアンドープ層であることを特徴とする。

発明の効果

[0021] 本発明に係る半導体装置は、半導体結晶のバルク内における欠陥発生を抑制するという効果を奏する。

図面の簡単な説明

[0022] [図1]図1は、GaAs結晶格子間に形成された<110>ダンベルを示す模式図である。

[図2]図2は、<110>ダンベルを安定化することが格子間Asのクラスタ化を抑制することを示す模式図である。

[図3]図3は、GaAs中およびAlAs中の<110>ダンベルの中性状態における形成エネルギーを示すグラフである。

[図4]図4は、GaAs中およびAlAs中の<110>ダンベルの中性状態における結合エネルギーを示すグラフである。

[図5]図5は、III族サイト、V族サイト、ダンベルの最近接位置、ダンベルの第2近接位置を示す図である。

[図6]図6は、中性状態におけるIn_{0.6}Ga_{0.4}As混晶中の<110>ダ

ンベルの形成エネルギーを示すグラフである。

[図7]図7は、GaAsにおける<110>ダンベルの形成エネルギーを示すグラフである。

[図8]図8は、格子間Asの拡散障壁の大きさを示すグラフである。

[図9]図9は、TEMによる観察像を示す図である。

[図10]図10は、第1実施形態に係る半導体装置を示す模式図である。

[図11]図11は、活性層中のPの濃度を変えた場合の半導体レーザ素子のスロープ効率を示すグラフである。

[図12]図12は、第2実施形態に係る半導体装置を示す模式図である。

[図13]図13は、第3実施形態に係る半導体装置を示す模式図である。

[図14]図14は、第4実施形態に係る半導体装置を示す模式図である。

[図15]図15は、第5実施形態に係る半導体装置を示す模式図である。

[図16]図16は、第6実施形態に係る半導体装置を示す模式図である。

[図17]図17は、第7実施形態に係る半導体装置を示す模式図である。

[図18]図18は、第8実施形態に係る半導体装置を示す模式図である。

[図19]図19は、P原子をデジタル的に導入する例を示す図である。

発明を実施するための形態

[0023] 以下、本発明の実施形態について図面を参照しつつ説明する。なお、以下の実施形態の全図においては、同一または対応する部分には同一の符号を付す。また、本発明は以下に説明する実施形態によって限定されるものではない。さらに、図面は模式的なものであり、各要素の寸法の関係などは、現実のものとは異なる場合があることに留意する必要がある。図面の相互間においても、互いの寸法の関係や比率が異なる部分が含まれている場合がある。

[0024] はじめに、本発明の実施形態について説明するにあたり、本発明の理解を容易にするために、上述した課題を解決すべく本発明者が行った鋭意検討について説明する。

[0025] なお、以下では、半導体結晶の例としてヒ化ガリウム (GaAs) またはヒ化アルミニウム (AlAs) を用いるが、本発明の実施はこれらの例に限

定されず、ヒ素（As）を主成分とするIII-V族半導体結晶を用いた半導体装置において、本発明を適切に実施することが可能である。例えば、Asを主成分とするIII-V族半導体結晶とは、AlGaAs、InGaAs、AlGalnAs、GalnNAs、AlGalnNAsなどが含まれる。ここで、AsがV族の主成分であるとは、III-V族半導体結晶の組成元素のうち、すべてのV族元素に対するAsの割合が95%以上であることを意味する。同様に、AlまたはGaがIII族の主成分であるとは、III-V族半導体結晶の組成元素のうち、すべてのIII族元素に対するAlまたはGaの割合が95%以上であることを意味する。

[0026] （転位ループ成長抑制のメカニズム）

まず、転位ループの形成メカニズムについて考える。その際、均一核生成を仮定した場合、GaAs中に転位ループを形成するためのエネルギーは、転位の自己エネルギー（線張力、転位芯、およびエントロピー項の和）と、積層欠陥エネルギーと点欠陥の過飽和度と系の温度で決まる化学ポテンシャルと、の釣り合いによって決まる。しかしながら、公知の物理量を用いて形成エネルギーを計算したところ、均一核生成は転位ループの形成メカニズムではないことが明らかとなった。

[0027] そこで、転位ループ形成の別メカニズムとして、As格子間（interstitial）原子からなる析出物（クラスタ）形成に伴う転位ループの形成を検討する。実際、As格子間原子の拡散に伴う、As析出物の形成が報告されている（非特許文献1参照）。非特許文献1では、低温分子線エピタキシー法で成長したGaAsについて成長後に熱処理を行い、系の歪量と点欠陥複合体の構造の関係が述べられている。すなわち、結晶成長時に導入されたAs格子間原子は、加熱温度の増大に伴い、As格子間原子対、格子間Asが4個の集合体、格子間Asが8個の集合体へと進展する。そしてAs格子間原子の集合体が大きくなるにつれ系の歪は減少する。この結果は、格子間Asクラスタが形成されることで系全体の歪は緩和することを意味している。

[0028] 歪の緩和は、母体中に存在するクラスタの周囲にナノメートル・スケール

の微小な転位ループが存在することに由来する。このような微小な転位ループは、透過電子顕微鏡（TEM）などを用いても観察することは不可能である。しかし、この転位ループが、周囲に存在する過飽和な点欠陥を吸収して成長すると、その存在が顕在化する。そして、転位ループの成長がさらに進行すると、最終的には半導体装置が劣化し、破壊されてしまうことがある。特に、高出力のレーザ駆動や高電界印加などの、半導体装置に高負荷が掛かる状況下では、半導体結晶において格子間原子が発生し易く、かつその格子間原子が移動し易くなるので、転位ループの成長が促進される。このような転位ループは、バルク内で成長し、半導体装置の特性の劣化の原因となる。したがって、転位ループの形成を抑制するためには、As格子間原子の移動を抑制し、クラスタの形成を妨げる必要がある。以下では、格子間Asのクラスタの前段階であるAs格子間原子対を安定化させる仕組みを結晶内に導入することを考える。つまり、格子間Asの分布をバルク内で分散させ、格子間Asが局所的に偏在することを抑制する。

[0029] GaAsの場合、弾性定数 C_{11} 、 C_{12} 、および C_{44} の関係は、下記式（1）のようになっているので、異方性を持つ。

$$C_{44} > (C_{11} - C_{12}) / 2 \quad (1)$$

このため、As格子間原子対は（001）面上に析出し易くなり、 $\langle 110 \rangle$ 方向に対を作った状態で安定化する。この状態のAs格子間原子対を $\langle 110 \rangle$ ダンベルという。図1は、GaAs結晶格子間に形成された $\langle 110 \rangle$ ダンベルを示す模式図である。

[0030] 図1に示されるように、GaAsは、ガリウム原子（Ga）とヒ素原子（As）からなる閃亜鉛鉱型の結晶構造を有する。図1に示されるように、 $\langle 110 \rangle$ ダンベルは、As格子間原子が $\langle 110 \rangle$ 方向に対を作った状態で安定したものである。

[0031] この $\langle 110 \rangle$ ダンベルの形成エネルギーを下げ、かつ、結合エネルギーを増加させる仕組みを結晶内に導入することが出来れば、As格子間原子の拡散とそれに伴うAsクラスタの形成を抑制することができる。

[0032] 図2は、(1-10)面において、 $\langle 110 \rangle$ ダンベルを安定化することが格子間Asのクラスタ化を抑制することを示す模式図である。図2は、後に検証するGaAs結晶格子のV族サイトにリン(P)を導入した場合の例に対応しているが、 $\langle 110 \rangle$ ダンベルの安定化と格子間Asのクラスタ化の抑制との関係は、V族サイトにPを導入した場合に限定されるものではない。

[0033] 図2に示されるように、GaAs結晶格子の格子間には、As格子間原子が存在している。図2に示される例では、 $\langle 110 \rangle$ ダンベルを形成しているAs格子間原子も存在すれば、 $\langle 110 \rangle$ ダンベルを形成していないAs格子間原子も存在する。これらAs格子間原子が一点鎖線や二点鎖線に示されるように移動して破線内の領域に集合した場合、As格子間原子がクラスタを形成してしまう。

[0034] しかしながら、図2に示されるように、V族サイトに導入されたPによって $\langle 110 \rangle$ ダンベルが安定化された場合、すでに形成されている $\langle 110 \rangle$ ダンベルが分解しにくくなり、かつ $\langle 110 \rangle$ ダンベルを形成していないAs格子間原子が新たに $\langle 110 \rangle$ ダンベルを形成しやすくなる。その結果、As格子間原子が一点鎖線に示されるように移動することが抑制されるので、図中破線円内でAs格子間原子がクラスタを形成されることも抑制される。

[0035] 先述のように、As格子間原子のクラスタの形成を抑制することができれば転位ループの発生を抑制することができるので、 $\langle 110 \rangle$ ダンベルの安定化が転位ループの発生の抑制に寄与することが解る。具体的には素子の電気特性や光学特性に悪影響を与えない特定の不純物を導入することで形成エネルギーと結合エネルギーを変化させることが好ましい。たとえば、電気特性に悪影響を与えないという観点から、導入する不純物はIII族元素またはV族元素であることが望ましい。

[0036] 以下では、Pのみならず、窒素(N)、インジウム(In)、アンチモン(Sb)等の原子も含めて、導入される原子の種類および位置により $\langle 110 \rangle$

0>ダンベルが安定化する程度を検証する。

[0037] (第一原理電子状態計算による特性評価)

ここでは、GaAs結晶およびAlAs結晶中におけるAs格子間原子対(<110>ダンベル)の形成エネルギーと結合エネルギーを検証する。この検証に関し、以下では、第一原理電子状態計算(シミュレーション)を行った結果を説明する。

[0038] なお、以下のシミュレーションには、アドバンスソフト株式会社製のAdvance/PHASEを用いた。また、計算には、ノルム保存型擬ポテンシャルおよびVanderbilt型のウルトラソフト擬ポテンシャルを用いた。交換相互作用は、一般化勾配近似の範囲で計算した。形成エネルギーの評価には荷電状態を考慮したシミュレーションを行った。すなわち、電気中性を保つために必要な電荷が背景に存在した状態で、電子数を調整(余分に付加、除去)し、系の全エネルギー E_{tot} を評価する。

[0039] <110>ダンベルのユニットセル当りの形成エネルギー E_{form} は、系の荷電状態 q とフェルミエネルギー E_f とに依存し、下記式(2)によってあらわされる。

$$E_{form}(q, E_f) = E_{tot}[\text{ダンベル}](q) - E_{tot}[\text{バルク}] - \sum \mu_n + q E_f \quad (2)$$

ここで μ_n は元素 n の化学ポテンシャルである。<110>ダンベルのみ導入する際は、As原子のみが考慮される。 μ_n は成長条件がIII族(Ga/Al)リッチ条件のときとV族(As)リッチ条件のときで値が異なる。

[0040] 不純物を導入する際は、 E_{tot} は不純物を含む系の全エネルギー E_{tot} [ダンベル+不純物](q)となり、化学ポテンシャルの項に不純物原子の付加とGa(Al)またはAs原子の除去が考慮される。ここでは、不純物とは、As格子間原子のクラスタの形成を抑制するために、GaAs結晶またはAlAs結晶に導入するP、N、Sb、またはIn等の元素を意味する。

[0041] <110>ダンベルの結合エネルギーは、<110>ダンベルを形成したときの系の全エネルギーと、互いに離れたAs格子間原子が2個存在すると

きの系の全エネルギーの差とを定義とした。

[0042] 主な計算条件は、以下の通りである。

- ・原子モデル：母体を構成する64原子（GaまたはAl：32個、As：32個）、ダンベルを構成するAs原子：2個、導入する不純物原子：1～3個
- ・カットオフエネルギー：波動関数および電荷密度分布で、それぞれ30 Ryおよび250 Ry
- ・k点サンプル：3×3×2
- ・計算したバンド数：200

なお、シミュレーションは独立行政法人海洋研究開発機構（JAMSTEC）の地球シミュレータ2を用いて行った。

[0043] （計算結果1：不純物導入効果）

図3は、GaAs中およびAlAs中の<110>ダンベルの中性状態における形成エネルギーを示すグラフである（III族リッチ条件）。なお、V族リッチ条件でも同様の結果が得られる。図3に示されるグラフにおいて、縦軸は、<110>ダンベルの形成エネルギー（eV）を示し、横軸は、導入される元素の種類を示している。また、GaAs中の場合の結果を黒丸で示し、AlAs中の場合の結果を中抜き四角で示している。

[0044] 図4は、GaAs中およびAlAs中の<110>ダンベルの中性状態における結合エネルギーを示すグラフである。図4に示されるグラフにおいて、縦軸は、<110>ダンベルの結合エネルギー（eV）を示し、横軸は、導入される元素の種類を示している。また、GaAs中の場合の結果を黒丸で示し、AlAs中の場合の結果を中抜き四角で示している。

[0045] なお、図3および図4のグラフにおいて横軸に示される省略記号の意味は、以下のとおりである。なお、III族サイト、V族サイト、ダンベルの最近接位置、ダンベルの第2近接位置とは、図5に示されるとおりである。なお、結晶構造の立体性のため、最近接位置および第2近接位置はそれぞれ、紙面の手前側と奥側に存在する。

[0046] ・ A l o r G a : 母体が G a A s の場合は A l を導入、母体が A l A s の場合は G a を導入

- ・ I n : I I I 族サイトに導入
- ・ d u m b b e l l : 不純物の導入なし
- ・ P / N / S b : V 族サイトに導入
- ・ P { A s } : ダンベル中の A s を P に置換
- ・ I n + P : ダンベルの最近接位置に P と I n を導入
- ・ N + P : ダンベルの最近接位置に P と N を導入
- ・ 2 P - 1 : ダンベルの最近接位置と第 2 近接位置に P を導入
- ・ 2 P - 2 : ダンベルの最近接位置に P を 2 個導入
- ・ 3 P : ダンベルの最近接位置に P を 2 個、第 2 近接位置に P を 1 個導入

[0047] 図 3 に示されるように、N、P、または S b といった V 族元素を導入することで、導入しない場合よりも $\langle 110 \rangle$ ダンベルの形成エネルギーは低下する。特に P を導入した場合の効果は顕著であり、形成エネルギーは 0.2 eV 程度減少する。I I I 族元素を導入した場合、A l、または、G a の導入では $\langle 110 \rangle$ ダンベルの形成エネルギーはほとんど変化しない、あるいは増加する。

[0048] 図 3 に示されるように、I n の導入では P よりも効果が小さいが形成エネルギーは低下する。一方、I n と P の同時導入の場合、形成エネルギーの低減効果は顕著となり、相乗効果が得られる。また、N と P の同時導入の場合、N と P の何れか一方の導入よりも形成エネルギーの低減効果が大きくなり、相乗効果が得られている。

[0049] 図 3 に示されるように、複数の P 導入でダンベルの形成エネルギーの低減効果は顕著となる。形成エネルギーは 0.3 eV 程度低下する。特にモデル 3 P (ダンベルの最近接位置に P を 2 個、第 2 近接位置に P を 1 個の導入) では効果が大きい。

[0050] 一方、図 4 に示されるように、G a A s では P、N を導入することで結合エネルギーは増加する。P を導入した場合、結合エネルギーは 0.1 eV 程

度増加する。複数個のPを導入すると効果は増大し、結合エネルギーは0.5 eV程度増加する。また、AlAsではPに加えて、Gaの導入で結合エネルギーは増加する。

[0051] これらの結果は、PやNは電気陰性度が高く（価電子の寄与）、Inは有効殻電荷が高い（内殻電子の寄与）ため、周囲の電子密度が高くなり、ストレステンソルの小さい安定した構造を持つことを反映している。

[0052] 以上のように、図3および図4によれば、P、N、In等を結晶構造に導入することで、格子間に存在するAsは、 $\langle 110 \rangle$ ダンベルを形成し易く、かつ、形成された $\langle 110 \rangle$ ダンベルは分解され難い。具体的には、 $\langle 110 \rangle$ ダンベルの形成および分解に際し0.3~0.5 eV余分なエネルギーが必要になる。このことは、半導体結晶内で格子間Asが単独で存在することが困難であることを示している。すなわち、As格子間原子の移動も抑制されている。

[0053] なお、ここでは、GaAsまたはAlAsについての計算結果を示したが、両者の混晶についても同様の結果が得られる。

[0054] さらに、母体のIII族元素をInに置換した場合であっても、Pの導入による $\langle 110 \rangle$ ダンベルの形成エネルギーを低下させる効果がある。図6は、中性状態における $\text{In}_{0.6}\text{Ga}_{0.4}\text{As}$ 混晶中の $\langle 110 \rangle$ ダンベルの形成エネルギーを示すグラフである。計算はIII族リッチ条件で行っている。なお、格子内のIII族サイトにおいてIn原子とGa原子は、ランダムな配置を仮定している。

[0055] 図6のグラフにおいて、縦軸は、 $\langle 110 \rangle$ ダンベルの形成エネルギー（eV）を示し、横軸は、導入される元素の種類を示している。横軸に示されるモデルdumbbell-1およびモデルdumbbell-2は、 $\langle 110 \rangle$ ダンベルの最近接位置にそれぞれ、In原子とGa原子とが配置されたケースを表している。モデルP-1およびモデルP-2は、それぞれ、モデルdumbbell-1およびモデルdumbbell-2にPを導入したものである。

[0056] 図6に示されるように、Pの導入により、 $\langle 110 \rangle$ ダンベルの形成エネルギーは20~30 meV程度低下する。実際のInGaAs混晶では、より形成エネルギーの低いモデルdumbbell-1とモデルP-1が形成される確率が高くなる（ダンベルはIn原子の近傍に形成される）。これは、In原子の有効殻電荷が高いためである。

[0057] Pの導入による形成エネルギーの低下量がGaAsやAlAsよりも小さいのは母体を構成するIn原子の有効殻電荷の効果が、P原子の電気陰性度の効果を遮蔽するためである。なお、Pと同様に他のV族元素を導入した場合も、同様の効果が得られる。また、InGaAs混晶であっても、V族元素の導入により、 $\langle 110 \rangle$ ダンベルの結合エネルギーは増加する。

[0058] InGaAs混晶では、GaAsやAlAsよりも、上に述べたように母体を構成するIn原子の有効殻電荷の寄与が大きく反映されるため、 $\langle 110 \rangle$ ダンベルの形成エネルギーはGaAsやAlAsよりも0.1~0.25 eV程度低下している。このことは、AlGaAs系混晶では、InGaAs混晶よりもAs格子間原子単独の濃度は高くなりやすく、Asクラスタの形成が起こりやすいことと、上記不純物を導入する効果がより高いことを意味する。

[0059] 以上、図3および図4に示されるように、GaAs、AlAs、またはGaAsとAlAsとの混晶に、PとInとの組み合わせやPとNとの組み合わせを導入した場合であっても、 $\langle 110 \rangle$ ダンベルの形成エネルギーの低下および結合エネルギーの増加の効果が得られる。また、図6に示されるように、InGaAs混晶でも、V族元素を導入した場合に $\langle 110 \rangle$ ダンベルの形成エネルギーの低下の効果が得られる。従って、上記計算結果は、GaAs、AlAs、AlGaAs、InGaAs、AlGalnAs、GalnNAsなどのAsを主成分とするIII-V族半導体結晶に対しても一般化可能である。

[0060] (計算結果2：母体導電性の効果)

先述の式(2)が示すように、 $\langle 110 \rangle$ ダンベルの形成エネルギーは系

のフェルミエネルギーに依存する。そこで、以下では、 $\langle 110 \rangle$ ダンベルの形成エネルギーに対する母体導電性の影響を検討する。

[0061] 図7は、GaAsにおける $\langle 110 \rangle$ ダンベルの形成エネルギーを示すグラフである（Gaリッチ条件）。図7に示されるグラフにおいて、傾きは荷電状態であり、正の場合はドナー、負の場合はアクセプタとなる。

[0062] 図7には、比較のため、他の格子欠陥である、As格子間原子（As {I}）、Ga空孔（V {Ga}）、As空孔（V {As}）、Asアンチサイト欠陥（As {Ga}）のグラフも合わせて示されている。

[0063] 図7に示されるように、フェルミエネルギーが高く、伝導帯に近い場合（n型導電性）、 $\langle 110 \rangle$ ダンベルの形成エネルギーはAs格子間原子の形成エネルギーよりも低い。一方、フェルミエネルギーが低く、価電子帯に近い場合（p型導電性）、 $\langle 110 \rangle$ ダンベルの形成エネルギーとAs格子間原子の形成エネルギーはほぼ同じである。

[0064] この結果は、n型導電性を持つGaAs中では、As格子間原子単独よりも $\langle 110 \rangle$ ダンベルの方が安定であることを示している。すなわち、n型導電性を持つGaAs中では、格子中を移動する単独のAs格子間原子は $\langle 110 \rangle$ ダンベルを容易に形成し、As格子間原子の拡散を抑制する効果がより顕著であることを示している。

[0065] 具体的には、フェルミエネルギーが略0.35 eVの位置で、 $\langle 110 \rangle$ ダンベルの形成エネルギーのグラフとAs格子間原子の形成エネルギーのグラフとが交わる。よって、フェルミエネルギーが0.35 eVより高い場合、 $\langle 110 \rangle$ ダンベルの形成エネルギーはAs格子間原子の形成エネルギーよりも低い。

[0066] シミュレーションによって得られたGaAsのバンドギャップは約1 eVであり、真性半導体におけるフェルミエネルギーは約0.5 eVとなる。0.35 eVでAs格子間原子の形成エネルギーと $\langle 110 \rangle$ ダンベルの形成エネルギーが交差することは、意図的にp型不純物を添加しない限りは、 $\langle 110 \rangle$ ダンベルが安定であることを示している。しかしながら、図7に示

す通り、フェルミエネルギーが約0.5 eVのときアクセプタとなるGa空孔やAs空孔の形成エネルギーが低いため、また、炭素等の残留不純物が存在すれば、フェルミエネルギーは低下するため、n型ドーパントを意図的に添加する方が、 $\langle 110 \rangle$ ダンベルの形成エネルギーがAs格子間原子の形成エネルギーよりも低い状態をより確実に実現できる。n型ドーパント濃度は、空孔や残留不純物による補償効果を打ち消すことが可能な量であれば良い。例えば、 $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ 以上であることが望ましい。なお、このようなn型導電性を帯びる混晶は、たとえば半導体装置の中でp型半導体として機能させるべき領域の内部に、n型導電性領域として形成しても、そのn型導電性領域中でAs格子間原子が $\langle 110 \rangle$ ダンベルを形成する方が安定であるという効果を発揮する。なお、n型ドーパントの例として、ケイ素(Si)、セレン(Se)などが挙げられる。

[0067] 図8は、格子間Asの拡散障壁の大きさを示すグラフである。図8に示されるように、単独のAs格子間原子の拡散に対する障壁 E_a は、荷電状態に依存し、荷電状態が-1 (n型導電性を持つGaAs中) のときは約0.8 eVであり、荷電状態が+1 (p型導電性を持つGaAs中) のときは約0.4 eVである。つまり、単独のAs格子間原子の拡散に対する障壁は、p型導電性を持つGaAs中よりも、n型導電性を持つGaAs中の方が2倍以上大きい。

[0068] 図7と図8の結果を合わせると、p型導電性を持つGaAs中では、格子間に存在するAsは単独で存在しやすい上に拡散障壁が低いのに対して、n型導電性を持つGaAs中では格子間に存在するAsは $\langle 110 \rangle$ ダンベルを形成しやすく、かつ、拡散障壁が高いと結論できる。結果、n型導電性を持つGaAs中ではAsの拡散を抑制する効果は大きい。

[0069] 上記母体導電性の影響については、不純物を導入していないGaAsの例について述べたが、不純物を導入した場合であっても、同様の効果を有する。例えばPをGaAsに導入した場合、As格子間原子の拡散障壁は10%程度増加する(中性状態では50 meV増加)。つまり、PをGaAs中に

導入し、かつ、母体の導電性をn型にすることでAs格子間原子の拡散抑制効果がより顕著となる。

[0070] また、ここでは、GaAsについての計算結果を示したが、AlAs、InAsやこれらの混晶についても同様の結果が得られる。

[0071] (シミュレーションのまとめ)

上記(計算結果1)および(計算結果2)の示唆するところは、GaAs、AlAs、AlGaAs、InGaAs、AlGalnAs、GalnNAsなどのAsを主成分とするIII-V族半導体結晶に対して、As格子間原子の拡散を抑制するためには、以下の対策が有効であるということである。

(1) P、N、Sb、In等の元素を結晶構造に導入し、 $\langle 110 \rangle$ ダンベルを安定化する。

(2) 母体の導電性をn型にし、As格子間原子単独よりも $\langle 110 \rangle$ ダンベルの方が安定する状態にする。

[0072] (検証実験)

ここで、上記シミュレーション結果の検証として、Asを主成分とするIII-V族半導体結晶の結合構造にPを導入した場合の効果の検証実験を示す。

[0073] 後に示す表1は、V族元素サイトに置換したPの濃度とダンベルの形成とAsの析出物の検出との関係を検証した実験結果をまとめた表である。表1に示された検証実験は、以下のように行われている。

[0074] Pの濃度測定には、二次イオン質量分析法(SIMS)が用いられる。SIMSとは、固体の表面にビーム状のイオン(一次イオンと呼ばれる)を照射し、そのイオンと固体表面の分子・原子レベルでの衝突によって発生するイオン(二次イオンと呼ばれる)を質量分析計で検出する表面計測法である。SIMSは、空間分解能が $10\mu\text{m}$ 程度であるが、濃度0.01%程度のPの定量が可能である。SIMSは、例えばGaAs系の長キャビティレーザ素子に用いることが好適である。なお、このSIMSを採用した測定装置

の例として、Cameca社のセクタ型SIMS（SIMSシリーズ）が挙げられる。

[0075] また、Pの濃度測定には、アトムプローブ法が用いられる。アトムプローブ法では、まず試料の準備として、収束イオンビーム（FIB）加工装置を用いて、測定対象を含む領域を針状（探針形状）に加工する。その後、超高真空化で電圧パルスを印加することで、探針形状に加工された試料の先端から構成原子を電界蒸発させ、電界蒸発した原子の飛行時間を測定することで原子の質量を分析する。なお、半導体にアトムプローブ法を利用する場合は、チャージアップを防ぐために、レーザ光によって原子の蒸発をアシストすることが好ましい。

[0076] この測定方法は、例えばInP系のBH型レーザ素子における活性層内のP濃度を測定することに好適である。通常のSIMSと比べて、解析範囲を狭く（例えば1 μ m以下）することができるからである。なお、このアトムプローブ法を採用した測定装置の例として、Cameca社のLEAPシリーズが挙げられる。

[0077] さらに、Pの濃度測定は、走査型トンネル顕微鏡（STM）を用いて測定される。STMを用いた測定方法は、InP系のBH型レーザ素子およびGaAs系のリッジレーザ素子の何れに対しても好適である。STMを用いた測定方法では、試料を超高真空中で劈開し活性層の断面を露出させ、STMで原子像を観察することによって行われる。

[0078] STMは、先端曲率がナノメートルオーダーの探針と試料表面との間に数Vのバイアス電圧を印加し、流れる微小なトンネル電流（約1nA以下）をフィードバックすることで、原子の凹凸像を得る顕微鏡である。このとき、母体のGaやAs等とPとでは電子状態が異なるため、STMで得られた像のコントラストに差が生じる。そこで、STMで得られた像から、Pの原子数を数えることで濃度の評価が可能である。この測定方法に用いることができるSTMの例として、Omicron社のSTM-1やLT-STMが挙げられる。

- [0079] さらに、Pの濃度はフォトルミネッセンス測定による光学バンドギャップの測定、または、X線回折による格子定数の測定から、Pの濃度を決定することもできる。
- [0080] $\langle 110 \rangle$ ダンベルの形成は、例えば、ラマン分光測定から確認することができる。 $\langle 110 \rangle$ ダンベルが形成された結晶では、 $\langle 110 \rangle$ ダンベルに起因するラマン活性な振動モードが生じるからである。例えば、波長488 nmのArイオンレーザまたは波長355 nmのYAGレーザの3倍高調波を用いて、活性層を構成する混晶のLOモードに対して50~150 cm^{-1} の位置に局在振動モードを測定することで、 $\langle 110 \rangle$ ダンベルの形成を確認することができる。ここで、このラマン散乱測定における偏光配置はZ (x, x+y) - zである (Z = [001], x = [100], y = [010])。そして、LOモードに対する強度比が1/1000以上の局在振動モードを測定した場合、 $\langle 110 \rangle$ ダンベルが形成されていると判定する。
- [0081] なお、表1におけるPの濃度が5%以上の場合では、 $\langle 110 \rangle$ ダンベルに起因した局在振動モードとV族サイトに置換したPに起因する振動モードと重畳するので、 $\langle 110 \rangle$ ダンベルの形成を確認することができない。したがって、表1では、評価不能と記載している。
- [0082] この他、 $\langle 110 \rangle$ ダンベルの形成を直接観測する方法としてX線回折による歪の異方性測定がある。この方法は、波長可変な放射光を用いることで精度の高い測定が可能となる。活性層上の導波路構造をエッチングで取り除いた後、複数の回折面を測定することで、格子定数の深さ方向依存性を測定するものである。
- [0083] 具体的には、結晶面に垂直な(006)面、結晶面に対して傾斜する(044)面および(113)面を回折面として選択すると、 $\langle 110 \rangle$ ダンベルが存在するPドープ試料では、面間歪と面内歪が存在するが(P濃度1%辺り0.1%の歪)、 $\langle 110 \rangle$ ダンベルを形成しない参照試料では、面間歪は存在するが、面内歪は存在しない。この違いにより、 $\langle 110 \rangle$ ダンベルの形成を検出することができる。

[0084] Asの析出物に関しては、透過型電子顕微鏡（TEM）による観察を行う。Asの析出物に関する定量化は、幅25 μ mの共振器における共振器長100 μ mを基準とした観察個数としている。例えば、図9に示されるように、TEMによる観察を行った場合、破線円中のように、Asの析出物の存在が認められる。このように検出されたAsの析出物を共振器長100 μ mあたりで集計することによって、Asの析出物に関する定量化を行う。なお、図9に示されるTEMによる観察像は、それぞれPの濃度が0.01%以下（実質的にPを添加しないことを意味する、以下同じ）とPの濃度が0.02%との場合の測定範囲の一部を切り出したものである。

[0085] [表1]

Pの濃度(%)	0.01	0.02	0.1	0.5	1	3	5	10
Asの分散性	×	△	○	○	○	○	○	○
ダンベルの形成	不検出	不検出	検出	検出	検出	検出	評価不能	評価不能
Asの析出物	7個 /100 μ m	1個 /100 μ m	不検出	不検出	不検出	不検出	不検出	不検出

[0086] 以上に説明した検証実験によると、ラマン分光測定において、結晶内のPの濃度が0.01%の場合と0.02%の場合とでは、 $\langle 110 \rangle$ ダンベルに起因する局在振動モードは観察されない。一方、結晶内のPの濃度が0.1%以上5%より低い範囲では、 $\langle 110 \rangle$ ダンベルに起因する局在振動モードが観察される。したがって、結晶内のPの濃度が0.1%以上である場合、 $\langle 110 \rangle$ ダンベルによる格子間Asの安定化が十分に機能していると考えられる。

[0087] また、TEM観察において、結晶内のPの濃度が0.01%の場合は、共振器長100 μ mあたり7個のAs析出物が観察された。一方、結晶内のPの濃度が0.02%の場合は、共振器長100 μ mあたり1個のAs析出物が観察された。なお、結晶内のPの濃度が0.1%以上の場合は、As析出物は観察されなかった。したがって、結晶内のPの濃度が0.01%の場合

と0.02%の場合とを比較すると、両者の間にAs析出物の量に著しい差異がある。つまり、結晶内のPの濃度が0.02%以上の場合、As析出物は性能に影響を与えない程度に十分に少なく抑制されている。

[0088] 以上の検証実験は、V族元素サイトに置換する不純物としてPのみを提示したが、NまたはSbなどのV族元素サイトに置換する不純物であっても、同一原理によって同様の作用をもたらす。

[0089] したがって、V族元素サイトに置換したP、N、またはSbの濃度はV族元素サイトにあるV族元素の全体量に対して0.02%以上の範囲であることが好ましく、0.1%以上の範囲であることがより好ましい。

[0090] また、AlまたはGaを主成分とするIII-V族半導体結晶にInを導入する場合であっても、III族元素サイトに置換したInの濃度は、III族元素サイトにあるIII族元素の全体量に対して0.1%以上の範囲であることが好ましい。この範囲では、導入した不純物原子は他のP不純物原子と近接する確率が増加し、図3および図4の横軸に記されたモデル2P-1 (<110>ダンベルの最近接位置と第2近接位置にPが配置する)の状態が実現し易いからである。結果、図3および図4のグラフから読み取れるように、不純物原子のV族元素における濃度は0.1~5%の範囲では、<110>ダンベルの形成エネルギーが低く、かつ結合エネルギーが高くなる。

[0091] なお、不純物原子の濃度が高くなる程、モデル3P (<110>ダンベルの最近接位置に2個のPと第2近接位置にPが配置する)の状態が実現する確率が上昇し、形成エネルギーと結合エネルギーの観点では望ましい。

[0092] 一方、Asを主成分とするIII-V族半導体結晶に添加された不純物原子の濃度は5%以下が好ましい。不純物原子の濃度が5%以下であれば、初期特性が優れているからである。ここで、初期特性は、温度を変化させたときのスロープ効率の最大値で評価している。スロープ効率とは、電流-光出力特性の傾きで定義され、単位は[mW/mA]である。

[0093] 以下に示す表2は、初期特性の検証結果をまとめたものである。表2に示

されるように、不純物原子の濃度が5%以下であれば、初期特性が優れているのが解る。特に、不純物原子の濃度が3%以下であれば、初期特性に悪化は測定されない。

[0094] [表2]

Pの濃度(%)	0.01	0.02	0.1	0.5	1	3	5	10
初期特性 (効率)	○	○	○	○	○	○	△	×

[0095] さらに、通電と電流-光出力特性測定とを繰り返し、閾値の増加率を測定する。120℃/150mAの加速条件で閾値の増加率を測定すると、Pの濃度が0.02%、3%、および5%の場合で、漸次劣化が抑制されていた。また、155℃/125mAの加速条件で閾値の増加率を測定した場合、Pの濃度が0.02%および3%の場合で、漸次劣化が抑制されていた。したがって、不純物原子の濃度が5%以下であれば、漸次劣化が抑制されているので好ましく、不純物原子の濃度が3%以下であればより好ましい。

[0096] また、不純物原子の濃度が5%以下であれば、当該混晶の基板との格子定数差やバンドギャップ差が大きくないので、ミスフィット転位形成や合金散乱による移動度の低下、あるいは2次元電子ガスを用いる素子の場合には2次元電子ガスの感じるポテンシャルが設計値と異なることによる電子濃度低下などにより、素子の初期特性が悪化することが抑制される。但し、ⅠⅠ族元素であるⅠnを不純物原子として使用する場合、濃度が1%以下であることが望ましい。1%より大きい濃度では、Ⅰnがクラスタ化するため<110>ダンベルの形成が妨げられるからである。

[0097] 以上の検証実験をまとめると、V族元素サイトに置換したP、N、またはSbの濃度はV族元素サイトにあるV族元素の全体量に対して0.02%以上5%以下の範囲であることが好ましく、0.1%以上3%以下の範囲であることがより好ましいことになる。

[0098] 以下では、上記対策を施した半導体装置の実施形態について説明する。

[0099] (第1実施形態)

図10は、第1実施形態に係る半導体装置を示す模式図である。図10に示される半導体装置は、埋め込みヘテロ(BH:Buried Heterostructure)構造を電流狭窄構造に用いた半導体レーザ素子である。図10は、この半導体レーザ素子についての出射面に平行な断面図である。

[0100] 図10に示されるように、第1実施形態に係る半導体レーザ素子10は、基板11の上にn型半導体層12、活性層13が順次積層されている。n型半導体層12の上部および活性層13は、出射方向に長手方向を有するメサ構造となっている。活性層13は、井戸層と障壁層とを備える多重量子井戸(MQW:Multi Quantum Well)構造を有している。

[0101] n型半導体層12の上部および活性層13からなるメサ構造の上には、p型半導体層14が積層されている。メサ構造の幅方向両側に隣接して、電流狭窄構造としてのn型半導体層15が、p型半導体層14の内部に形成されている。さらに、基板11の裏面にはn側電極16が形成され、p型半導体層14の表面にはp側電極17が形成されている。

[0102] 電流狭窄構造としてのn型半導体層15は、p側電極17から注入された電流を内部で狭窄するとともに、活性層13から発生する光を横(幅)方向に閉じ込め、高次の水平横モードを抑制した単一横モード動作を実現する機能を担う。

[0103] 活性層13の井戸層は、InGaAsにPを導入したInGaAsPからなる層である。一方、活性層13の障壁層は、AlGaAsからなり、井戸層にキャリアを閉じ込める障壁の機能を担う層である。なお、上記例に限らず、活性層13は、GaAs、AlAs、AlGaAs、InGaAs、AlGalnAs、GalnNAsなどのAsを主成分とするIII-V族半導体により形成してもよい。

[0104] また、本実施形態では、活性層13の井戸層のみにPを導入しているが、障壁層のAlGaAsに対しても、Pを導入し、活性層13全体にPを導入する構成としてもよい。活性層13の構成も多重井戸構造に限定されず、あらゆる活性層13の構造において、Pを導入することによる転位ループの発

生抑制の効果が得られる。また、導入する不純物はPに限らず、N、Sb、またはInであってもよい。

[0105] 活性層13は、半導体レーザ素子10を駆動させた場合に活性状態となるため、As格子間原子が形成され易く、かつそのAs格子間原子が移動し易いので、活性層13にP、N、Sb、またはInを導入することは効果が大きい。特に活性層13が多重量子井戸構造を有する場合、半導体レーザ素子10を駆動させた場合に活性状態となるのは井戸層であるので、井戸層のみに選択的にP、N、Sb、またはInを導入することでも効果は大きい。

[0106] さらに、活性層13はn型の導電性を有することが好ましい。したがって、活性層13にはn型ドーパントを添加することが好ましい。例えば、n型ドーパントとしては、セレン(Se)、硫黄(S)、または珪素(Si)がある。なお、活性層13のn型ドーパントの濃度は、他のn型半導体層におけるn型ドーパントの濃度よりも低いことが好ましい。例えば、活性層13のn型ドーパントの濃度は、 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以下であることが好ましい。 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ より大きい濃度では半導体中のGa空孔やAs空孔の濃度が高くなるため、隣接する<110>ダンベルの結合エネルギーが減少し、As格子間原子の拡散抑制効果が低下するからである。また、空孔や残留不純物の補償効果を打ち消すに十分な量、例えば、 $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ 以上であることが望ましい。

[0107] その他の半導体層は、活性層13の井戸層よりもバンドギャップエネルギーが高く屈折率が低い半導体で形成されている。当該その他の半導体層は、Asを主成分とするIII-V族半導体により形成されていることが好ましいが、たとえばInPにより形成されていてもよい。

[0108] 半導体レーザ素子10のすべての半導体層にP、N、Sb、またはInを導入することも可能であるが、活性層13のみならず、転位ループの発生しやすい個所に選択的にP、N、Sb、またはInを導入してもよい。例えば、p側電極17の下となるp型半導体層14の部分、または、エピタキシャル基板との界面近傍となるn型半導体層12の部分などに選択的にP、N、

Sb、またはInを導入することでも、転位ループの発生抑制に効果的である。また、転位ループの発生しやすい個所を選択的にn型伝導性にするだけでも、転位ループの発生抑制に効果的である。先述のように、真性半導体よりも少しでもn型導電性を持つ場合でも、転位ループの発生抑制の効果が得られるので、半導体レーザ素子10のp型半導体層であっても、半導体レーザ素子10の機能に影響が及ばない程度の弱いn型導電性の領域を作ることによって、転位ループの発生抑制の効果を得ることができる。

[0109] (実施例1)

実施例1は、第1実施形態を具体化した構成である。したがって、実施例1の説明では、第1実施形態と同じ図10を参照する。また、第1実施形態の説明と重複する部分は、説明を省略する。

[0110] 実施例1に係る半導体レーザ素子10は、いわゆるInP基板上のAlInGaAsP-BHレーザ素子である。したがって、InPからなる基板11の上に、例えばn型InPからなるn型半導体層12、活性層13、例えばp型InPからなるp型半導体層14が積層され、n型半導体層12の上部および活性層13がメサ構造となっている。

[0111] 活性層13は、井戸層と障壁層との対を6回繰り返して積層したMQW構造を有している。例えば、共振器幅（活性層13のストライプ幅）を $2\mu\text{m}$ 、共振器長（活性層13のストライプ長）を 0.3mm として半導体レーザ素子10を作成した場合、1チップで 500mW 超の光出力が可能となる。

[0112] 井戸層および障壁層の厚さは、それぞれ 6nm および 10nm とし、井戸層および障壁層のInP基板に対する歪は、それぞれ 1% および -0.3% とする。なお、基板の格子定数に対して当該層が大きい場合を正の歪、小さいときを負の歪とする。

[0113] 添加されたPの濃度に応じて、発振波長が $1.55\mu\text{m}$ となるように活性層13の活性層および障壁層の組成が調整される。ここで、異なるPの濃度の場合の活性層13の組成を例示する。Pを添加しない活性層の例では、井戸層が $\text{Al}_{0.058}\text{In}_{0.676}\text{Ga}_{0.267}\text{As}$ であり、障壁層が $\text{Al}_{0.206}\text{In}$

$0.488 \text{ Ga}_{0.306} \text{ As}$ である。また、濃度1%でPが添加された活性層の例では、井戸層が $\text{Al}_{0.054} \text{ In}_{0.68} \text{ Ga}_{0.265} \text{ As}_{0.99} \text{ P}_{0.01}$ であり、障壁層が $\text{Al}_{0.203} \text{ In}_{0.49} \text{ Ga}_{0.307} \text{ As}_{0.99} \text{ P}_{0.01}$ である。濃度3%でPが添加された活性層の例では、活性層13の構造は、井戸層が $\text{Al}_{0.048} \text{ In}_{0.69} \text{ Ga}_{0.262} \text{ As}_{0.97} \text{ P}_{0.03}$ であり、障壁層が $\text{Al}_{0.2} \text{ In}_{0.6} \text{ Ga}_{0.2} \text{ As}_{0.97} \text{ P}_{0.03}$ である。このように、その他の濃度でPが添加された活性層を形成するときも、発振波長と歪が同一になるように、III族（Al、Ga、およびIn）の組成を調整することができる。

[0114] ここで、活性層中のPの濃度を変えた場合の半導体レーザ素子の初期特性および漸次劣化を比較検討する。図11は、活性層中のPの濃度を変えた場合の半導体レーザ素子のスロープ効率を示すグラフである。図11には、同じ構造および組成の2つの半導体レーザ素子のデータが実線および破線にて記載されている。

[0115] 図11に示されるように、活性層中のPの濃度が3%までは、スロープ効率の最大値に変化はない。例えば、25℃でのスロープ効率の最大値の値は0.28~0.29 mW/mAである。一方、活性層中のPの濃度が5%を超えるとスロープ効率は低下し、例えば、活性層中のPの濃度が6.6%のとき、25℃のスロープ効率の最大値は0.22~0.23 mW/mAとなる。また、活性層中のPの濃度が10%を超えると、25℃のスロープ効率の低下は顕著となり、0.2 mW/mAとなる。したがって、実施例1に係る半導体レーザ素子10は、初期特性が優れたものとなっている。

[0116] さらに、長期通電によるレーザ特性の変動を調べる。すなわち、通電と電流-光出力特性測定とを繰り返し、閾値の増加率を測定する。ここでは、120℃で150 mAおよび155℃で125 mAの2条件の通電でレーザ特性の変動を調べる。

[0117] 120℃で150 mAの加速条件では、Pを添加しない活性層の半導体レーザ素子は、1000時間を越えると閾値は漸増し、2000時間を越えると10%以上増加する素子も存在する。また、急速に閾値が増大し、破壊さ

れる素子も存在する。

[0118] 一方、活性層中のPの濃度が0.02%、2.9%、および6.6%の場合では、半導体レーザ素子の漸次劣化が抑制されている。2000時間での閾値の増加率も8%以下である。

[0119] また、155℃で125mAの通電条件においても、閾値増加の傾向は変わらず、濃度が0.02%および2.9%の場合で閾値の増加は抑制される一方で、Pを添加しない例では1000時間の通電では、閾値の10%~20%の増大が測定される。

[0120] 一般に、Alを活性層の組成に加えると、半導体レーザ素子の漸次劣化が大きくなる傾向がある。しかしながら、0.02%以上5%以下の範囲でPが活性層に添加された場合、半導体レーザ素子の漸次劣化が抑制され、さらに0.1%以上3%以下の範囲であるときは、より漸次劣化が抑制される。このことは、Alを活性層の組成に加えると半導体レーザ素子の発振波長および歪みを調整するパラメータが増えることになるので、半導体レーザ素子の設計の自由度が向上することになる。

[0121] また、通電に用いた半導体レーザ素子の内部状態をTEMで観察したところ、Pを添加しない例では共振器に沿う方向で共振器長100μm当り7個のAsの析出物が観察されたのに対し、Pの濃度が0.02%の場合では、共振器長100μm当り1個のAsの析出物が観察された。なお、Pの濃度が0.1%以上の半導体レーザ素子ではAsの析出物は観察されなかった。この結果はPを活性層に添加することで、活性層内のAs格子間原子の分散性が向上したことを意味している。

[0122] (第2実施形態)

図12は、第2実施形態に係る半導体装置を示す模式図である。図12に示される半導体装置は、SI-BH (Semi-Insulating Buried Heterostructure) 構造を用いた半導体レーザ素子である。図12は、この半導体レーザ素子についての出射面に平行な断面図である。

[0123] 図12に示されるように、第2実施形態に係る半導体レーザ素子20は、

基板 21 の上に n 型半導体層 22、活性層 23、p 型半導体層 24 が順次積層されている。n 型半導体層 22 の上部、活性層 23、p 型半導体層 24 は、出射方向に長手方向を有するメサ構造となっている。活性層 23 は、井戸層と障壁層とを備える多重量子井戸構造を有している。

[0124] n 型半導体層 22 の上部、活性層 23、p 型半導体層 24 からなるメサ構造の両側には、Fe-InP などの高抵抗材料からなる埋め込み層 25 が形成されている。さらに、基板 21 の裏面には n 側電極 26 が形成され、p 型半導体層 24 の表面には p 側電極 27 が形成されている。埋め込み層 25 は、p 側電極 27 から n 側電極 26 へ流れる電流の広がりを抑え、かつ、活性層 23 から発生する光を横（幅）方向に閉じ込める機能を担う。埋め込み層 25 は、たとえば鉄（Fe）をドープした半絶縁性の III-V 族半導体からなる。埋め込み層 25 は、鉄（Fe）をドープした半絶縁性の III-V 族半導体に限られず、ルテニウム（Ru）をドープした半絶縁性の III-V 族半導体としてもよい。

[0125] 活性層 23 の井戸層は、InGaAs に P を導入した $\text{InGaAs}_{0.99}\text{P}_{0.01}$ からなる層である。一方、活性層 23 の障壁層は、AlGaAs からなり、井戸層にキャリアを閉じ込める障壁の機能を担う層である。なお、上記例に限らず、活性層 23 は、As を主成分とする他の III-V 族半導体により形成してもよい。また、第 1 実施形態と同様に、本実施形態でも、活性層 23 の構成は多重井戸構造に限定されず、活性層全体に P を導入することができ、導入する不純物も P に限らない。

[0126] さらに、活性層 23 は n 型の導電性を有することが好ましい。したがって、活性層 23 には n 型ドーパントを導入することが好ましい。なお、活性層 23 の n 型ドーパントの濃度は、他の n 型半導体層における n 型ドーパントの濃度よりも低いことが好ましい。例えば、活性層 23 の n 型ドーパントの濃度は、 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以下であることが好ましく、 $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ 以上であることが望ましい。 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ より大きい濃度では半導体中の Ga 空孔や As 空孔の濃度が高くなるため、隣接する $\langle 110 \rangle$ ダンベルの

結合エネルギーが減少し、As格子間原子の拡散抑制効果が低下するからである。また、 $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ 以上では空孔や残留不純物の補償効果を打ち消すに十分な量であるからである。

[0127] その他の半導体層は、活性層23の井戸層よりもバンドギャップエネルギーが高く屈折率が低い半導体で形成されている。当該その他の半導体層は、Asを主成分とするIII-V族半導体により形成されていることが好ましいが、たとえばInPにより形成されていてもよい。

[0128] 半導体レーザ素子20のすべての半導体層にP、N、Sb、またはInを導入することも可能であるが、転位ループの発生しやすい個所に選択的にP、N、Sb、またはInを導入してもよい。例えば、p側電極27の下となるp型半導体層24の部分、または、埋め込み層25との界面近傍となるp型半導体層24の部分などに選択的にP、N、Sb、またはInを導入することでも、転位ループの発生抑制に効果的である。また、転位ループの発生しやすい個所を選択的にn型伝導性にするということでも、転位ループの発生抑制に効果的である。先述のように、真性半導体よりも少しでもn型導電性を持つ場合でも、転位ループの発生抑制の効果が得られるので、半導体レーザ素子20のp型半導体層であっても、半導体レーザ素子20の機能に影響が及ばない程度の弱いn型導電性の領域を作ることによって、転位ループの発生抑制の効果を得ることができる。

[0129] (第3実施形態)

図13は、第3実施形態に係る半導体装置を示す模式図である。図13に示される半導体装置は、リッジ構造を用いた半導体レーザ素子である。図13は、この半導体レーザ素子についての出射面に平行な断面図である。

[0130] 図13に示されるように、第3実施形態に係る半導体レーザ素子30は、基板31の上にn型半導体層32、活性層33、p型半導体層34が順次積層されている。p型半導体層34の上部は、出射方向に長手方向を有するリッジ構造となっている。活性層33は、井戸層と障壁層とを備える多重量子井戸構造を有している。また、半導体レーザ素子30では、活性層33に対

して、例えば特許文献1に記載の端面保護構造である、IFVD (Impurity Free Vacancy Disordering) 法が適用されている。

[0131] リッジ構造は、クラッド層として機能するp型半導体層34の厚さに差がつけられていることにより活性層33から発生する光を横(幅)方向に閉じ込める機能を担う。また、基板31の裏面にはn側電極36が形成され、p型半導体層34の表面にはp側電極37が形成されている。

[0132] 活性層33の井戸層は、InGaAsにPを導入したInGaAsPからなる層である。一方、活性層33の障壁層は、AlGaAsからなり、井戸層にキャリアを閉じ込める障壁の機能を担う層である。なお、上記例に限らず、活性層33は、Asを主成分とする他のIII-V族半導体により形成してもよい。また、第1実施形態と同様に、本実施形態でも、活性層33の構成は多重井戸構造に限定されず、活性層全体にPを導入することができ、導入する不純物もPに限らない。

[0133] さらに、活性層33はn型の導電性を有することが好ましい。したがって、活性層33にはn型ドーパントを導入することが好ましい。なお、活性層33のn型ドーパントの濃度は、他のn型半導体層におけるn型ドーパントの濃度よりも低いことが好ましい。例えば、活性層33のn型ドーパントの濃度は、 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以下であることが好ましく、 $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ 以上であることが望ましい。 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ より大きい濃度では半導体中のGa空孔やAs空孔の濃度が高くなるため、隣接する<110>ダンベルの結合エネルギーが減少し、As格子間原子の拡散抑制効果が低下するからである。また、 $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ 以上では空孔や残留不純物の補償効果を打ち消すに十分な量であるからである。

[0134] その他の半導体層は、活性層33の井戸層よりもバンドギャップエネルギーが高く屈折率が低い半導体で形成されている。当該その他の半導体層は、Asを主成分とするIII-V族半導体により形成されていることが好ましいが、たとえばInPにより形成されていてもよい。

[0135] 半導体レーザ素子30のすべての半導体層にP、N、Sb、またはInを導入することも可能であるが、活性層33のみならず、転位ループの発生しやすい個所に選択的にP、N、Sb、またはInを導入する方法も考えられる。例えば、p側電極37の下となるp型半導体層34の部分、または、リッジ構造の立ち上がり部分となるp型半導体層34の部分などに選択的にP、N、Sb、またはInを導入することでも、転位ループの発生抑制に効果的である。また、転位ループの発生しやすい個所を選択的にn型伝導性にすることでも、転位ループの発生抑制に効果的である。先述のように、真性半導体よりも少しでもn型導電性を持つ場合でも、転位ループの発生抑制の効果が得られるので、半導体レーザ素子30のp型半導体層であっても、半導体レーザ素子30の機能に影響が及ばない程度の弱いn型導電性の領域を作ることによって、転位ループの発生抑制の効果を得ることができる。また、半導体レーザ素子において、IFVD法を適用した場合、レーザ出力が1W程度以下の場合、P、N、Sb等の添加がなくとも端面起因の劣化モードが抑制される。しかし、リッジ構造部分の幅（ストライプ幅）が100 μ m以上で光出力が1チップでおよそ数10W以上（CW駆動条件）となる高出力レーザ素子を作製した場合、端面以外の部位で転位ループが発生し、特性劣化が生じる。

[0136] これに対して、半導体レーザ素子30では、IFVD法が適用されているのに加え、活性層33等にP、またはN、Sb等が導入されているので、光出力が数十W以上のCW駆動条件においても、端面のみならずバルク内の転位ループ発生が抑制される。

[0137] なお、本実施形態は、リッジ構造を用いた半導体レーザ素子の例を用いて説明を行ったが、埋め込みリッジ構造を用いた半導体レーザ素子やハイメサリッジ構造を用いた半導体レーザ素子やSAS（Self Aligned Structure）構造を用いた半導体レーザ素子においても本実施形態の適切な変形例を構成することは容易である。

[0138] （実施例2）

実施例2は、第3実施形態を具体化した構成である。したがって、実施例2の説明では、第3実施形態と同じ図13を参照する。また、第1実施形態の説明と重複する部分は、説明を省略する。

[0139] 実施例2に係る半導体レーザ素子30は、いわゆるGaAs基板上のリッジレーザ素子である。したがって、GaAsからなる基板31の上に、例えばn型AlGaAsからなるn型半導体層32、活性層33、例えばp型AlGaAsからなるp型半導体層34が積層され、p型半導体層34の上部は、出射方向に長手方向を有するリッジ構造となっている。

[0140] 活性層33は、井戸層を障壁層で挟んで積層したSQW (Single Quantum Well) 構造を有している。例えば、共振器幅を100 μm 、共振器長を4mmとして半導体レーザ素子30を作成した場合、駆動(定格)電流を12Aとしたときに1チップで12W程度の光出力が可能となる。

[0141] 井戸層および障壁層の厚さは、それぞれ10nmおよび30nmとし、発振波長が910nmとなるように井戸層および障壁層の組成を調整しながら、Pを活性層に添加する。

[0142] ここで、異なるPの濃度の場合の活性層33の組成を例示する。Pを添加しない例では、井戸層を $\text{In}_{0.075}\text{Ga}_{0.925}\text{As}$ とし、障壁層を $\text{Al}_{0.32}\text{Ga}_{0.68}\text{As}$ とすることで910nmの発振波長が実現できる。また、濃度3%でPが添加された活性層の例では、井戸層を $\text{In}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{As}_{0.97}\text{P}_{0.03}$ とし、障壁層は $\text{Al}_{0.31}\text{Ga}_{0.69}\text{As}_{0.97}\text{P}_{0.03}$ とすることで910nmの発振波長が実現できる。このように、III族組成を調整し、波長が一定になるように添加されたPの濃度を0.02~10%の範囲で変化させる。

[0143] 以上のように添加されたPの濃度を0.02~10%の範囲で変化させた半導体レーザ素子にて、初期特性の評価を行う。ここで、初期特性は、室温(25 $^{\circ}\text{C}$)でのスロープ効率の最大値で評価している。

[0144] 添加されたPの濃度が3%以下の半導体レーザ素子の場合、Pを添加しない場合を含めて、いずれの半導体レーザ素子においても、スロープ効率が1

、 $0.1 \sim 1.02 W/A$ の範囲であり、良好な初期特性が得られる。一方、活性層中のPの濃度が5%の半導体レーザ素子の場合、スロープ効率は約 $1 W/A$ まで低下する。添加されたPの濃度が10%の半導体レーザ素子の場合、スロープ効率は $0.9 W/A$ 以下に低下する。

[0145] したがって、初期特性が劣化しないという観点からは、活性層に添加されたPの濃度が3%以下となるように半導体レーザ素子を構成することが望ましい。

[0146] さらに、半導体レーザ素子の定格電流以上である $20 A$ を通电した場合（環境温度 $25^{\circ}C$ ）、活性層にPを添加しない半導体レーザ素子の10%が破壊される。一方、活性層にPを濃度 0.02% で添加する半導体レーザ素子の8%程度が破壊される。活性層にPを濃度 0.1% で添加する半導体レーザ素子の5%程度が破壊される。なお、半導体レーザ素子の破壊はレーザ端面から生じている。

[0147] この結果は、Pを活性層に添加することでAs格子間原子の分散性が向上し、定格値以上の電流を流した際に端面近傍に発生した転位の進展が妨げられたことによる。

[0148] また、環境温度が $25^{\circ}C$ の状態、 $12 A$ の一定電流を通电しながら、半導体レーザ素子の光出力をモニタしたところ、Pを活性層に添加しない半導体レーザ素子では 1000 時間を越えたところで光出力の低下が見られる。一方、濃度 0.02% でPを活性層に添加した半導体レーザ素子では、 2000 時間を越えるまで光出力の低下が見られない。一方、濃度 0.1% 以上でPを活性層に添加した半導体レーザ素子では、 2000 時間を越えても光出力の低下は見られない。

[0149] この結果は、半導体レーザ素子の活性層にPを添加することで、As格子間原子の分散性が向上し、活性層内や端面近傍に転位ループが形成されないという効果が得られることを意味している。

[0150] （実施例3）

実施例3は、実施例2の構成において、活性層の組成を変更したものであ

る。したがって、ここでは活性層の組成のみ説明し、その他の構成要素に関しては説明を省略する。

[0151] 実施例3における活性層は、井戸層にAlを含み障壁層にInを含む。濃度3%でPを添加した活性層の例では、井戸層を $Al_{0.05}In_{0.15}Ga_{0.8}As_{0.97}P_{0.03}$ とし、障壁層を $Al_{0.35}In_{0.05}Ga_{0.6}As_{0.97}P_{0.03}$ とすることで、910nmの発振波長が実現される。同様に、III族組成を調整し、波長が一定になるように添加されたPの濃度を0.02~10%の範囲で変化させる。

[0152] 実施例3でも同様に、室温(25℃)での初期特性の評価を行う。添加されたPの濃度が3%以下の半導体レーザ素子の場合、Pを添加しない場合を含めて、いずれの半導体レーザ素子においても、スロープ効率が1.01~1.02W/Aの範囲であり、良好な初期特性が得られる。つまり、25℃における初期特性の値は、実施例2と実施例3との間に有意な差は見られない。

[0153] 一方、50℃における初期特性の値は、実施例2より実施例3の半導体レーザ素子の方が優れる。すなわち、実施例3の方が実施例2の半導体レーザ素子よりも、スロープ効率が5%程度改善される。これは、実施例2と実施例3とでは、井戸層と障壁層のバンドギャップは同一に設計されているが、両者のIII族組成の差によって、電子親和力に差が生じたからと考えられる。なお、その差は井戸層で15meV、障壁層で19meVである。結果、実施例3では、温度が高い状態での井戸層からのキャリアの漏れが抑制され、スロープ効率が改善されたものと考えられる。

[0154] なお、実施例2および実施例3では、発振波長が910nmの半導体レーザ素子の例を示したが、発振波長を変える場合は、III族元素の組成を適宜変更すれば良い。例えば、発振波長が975nmの半導体レーザ素子を構成する際は、活性層の井戸層を $Al_{0.05}In_{0.25}Ga_{0.7}As_{0.97}P_{0.03}$ とし、障壁層を $Al_{0.35}In_{0.05}Ga_{0.6}As_{0.97}P_{0.03}$ とすれば良い。

[0155] (第4実施形態)

図14は、第4実施形態に係る半導体装置を示す模式図である。図14に示される半導体装置は、垂直共振器型面発光レーザ（VCSEL：Vertical Cavity Surface Emitting Laser）型の半導体レーザ素子である（以下、面発光レーザ素子と称す）。図14は、この半導体レーザ素子についての出射方向に関する断面図である。

[0156] 図14に示されるように、面発光レーザ素子40では、基板41上に積層された下部DBRミラー49a、n型半導体層42、活性層43、電流狭窄層45、p型半導体層44、位相調整層48、上部DBRミラー49bが順次積層されている。また、図14に示されるように、n型半導体層42の上端部、活性層43、電流狭窄層45、およびp型半導体層44は、エッチング処理等によって柱状に成形されたメサポストとして形成されている。n側電極46は、メサポストとして形成によって露出されたn型半導体層42の表面に設置され、p側電極47は、メサポストの上端であるp型半導体層44の表面に、位相調整層48を囲むようにリング状に設置されている。

[0157] 下部DBRミラー49aは、例えばAlAs/GaAsからなる複合半導体層が複数積層された半導体多層膜ミラーとして形成されている。この複合半導体層を構成する各層の厚さは、 $\lambda/4n$ （ λ ：発振波長、 n ：屈折率）とされている。一方、上部DBRミラー49bは、例えばSiN/SiO₂からなる複合誘電体層が複数積層された誘電体多層膜ミラーとして形成されており、下部DBRミラー49aと同様に各層の厚さが $\lambda/4n$ とされている。

[0158] 電流狭窄層45は、開口部と酸化狭窄部とから構成されている。電流狭窄層45は、例えばAlAsからなるAl含有層によって形成され、Al含有層が外周部から所定範囲だけ酸化されることによって、酸化狭窄部が形成される。酸化狭窄部は、絶縁性を有し、p側電極47から注入される電流を狭窄して開口部内に集中させることで、活性層43内の電流密度を高めている。

[0159] 活性層43は、井戸層と障壁層とを備える多重量子井戸構造を有し、p側

電極47から注入されて電流狭窄層45によって狭窄された電流をもとに放出光を発する。この放出光は、共振器としての下部DBRミラー49aと上部DBRミラー49bとの間で活性層43を含む各層に対して垂直方向に共振されて増幅された後、上部DBRミラー49bの上面からレーザ光として射出される。なお、p型半導体層44と上部DBRミラー49bとの間に設けられた位相調整層48は、共振器に形成されるレーザ光の定在波の腹と節の位置を調整するためのものである。

[0160] 活性層43の井戸層は、InGaAsにPを導入したInGaAs_{0.99}P_{0.01}からなる層である。一方、活性層43の障壁層は、AlGaAsからなり、井戸層にキャリアを閉じ込める障壁の機能を担う層である。なお、上記例に限らず、活性層43は、Asを主成分とする他のIII-V族半導体により形成してもよい。また、第1実施形態と同様に、本実施形態でも、活性層43の構成は多重井戸構造に限定されず、活性層全体にPを導入することができ、導入する不純物もPに限らない。

[0161] さらに、活性層43はn型の導電性を有することが好ましい。したがって、活性層43にはn型ドーパントを導入することが好ましい。例えば、n型ドーパントとして、Se、S、またはSiである。なお、活性層43のn型ドーパントの濃度は、他のn型半導体層におけるn型ドーパントの濃度よりも低いことが好ましい。例えば、活性層43のn型ドーパントの濃度は、 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以下であることが好ましく、 $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ 以上のとき、転位ループの発生抑制の効果が顕著となる。 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ より大きい濃度では半導体中のGa空孔やAs空孔の濃度が高くなるため、隣接する<110>ダンベルの結合エネルギーが減少し、As格子間原子の拡散抑制効果が低下するからである。また、 $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ 以上では空孔や残留不純物の補償効果を打ち消すに十分な量であるからである。

[0162] (第5実施形態)

図15は、第5実施形態に係る半導体装置を示す模式図である。図15に示される半導体装置は、ヘテロ接合トランジスタ(HFET)である。図1

5は、このヘテロ接合トランジスタの各電極を横断する断面図である。

[0163] 図15に示されるように、ヘテロ接合トランジスタ50は、半絶縁性GaAsからなる基板51と、基板51上に形成された格子不整合を緩和するためのアンドープGaAsで構成された厚さ1 μ mのバッファ層52と、アンドープGaAs_{0.99}P_{0.01}からなる厚さ100nmの電子走行層53と、n型不純物であるSiがドーピングされたAl_{0.3}Ga_{0.7}Asで構成された電子供給層54と厚さ100nmのn⁺型GaAsで構成されたコンタクト層55とが順次積層されて構成される。なお、電子走行層53は、上記のようにPが導入されているが、Pの他、Sb、NやInの導入によっても同様の効果が得られる。また、InとPを同時にドーブしても良い。

[0164] コンタクト層55上には、ソース電極56及びドレイン電極57が形成されている。また、ソース電極56とドレイン電極57との間の領域において、コンタクト層55は電子供給層54表面が露出する深さまでエッチングされており、ゲート電極58が形成されている。上記構成により、AlGaAs/GaAs_{0.99}P_{0.01}界面には2次元電子ガスが存在するので、高い移動度を有するトランジスタが得られる。

[0165] なお、上記構成のヘテロ接合トランジスタ50の製造方法の概略は以下のとおりである。

[0166] まず、基板51上に、MOCVD法またはMBE法等を用いてバッファ層52、電子走行層53、電子供給層54、コンタクト層55を順次エピタキシャル成長させてエピタキシャル層を形成する。

[0167] 次に、フォトリソトによりパターンを形成して所定の位置を保護し、エピタキシャル層に対して例えばリン酸、過酸化水素水及び水の混合液を用いたウェットエッチングを行い、コンタクト層55を除去して電子供給層54表面を露出させ、ゲート電極形成部を形成する。

[0168] 次に、フォトリソトを除去した後、新たなフォトリソトによりパターンを形成し、Ni/AuGe合金からなるオーミック金属を蒸着し、リフトオフすることによりソース電極56及びドレイン電極57を形成する。また

、同様のフォトリソグラフィ工程により、電子供給層54表面にTi/Pt/Auからなるゲート電極58を形成する。以上で、上記構成のヘテロ接合トランジスタ50が製造される。

[0169] 上記構成のヘテロ接合トランジスタ50は、従来構造のヘテロ接合トランジスタに比べて、長期信頼性に優れている。具体的には、オン抵抗の経時的な増加が抑制され、素子寿命が延びる。これは、ヘテロ接合トランジスタ50では、電子走行層53にPが導入されているからである。ヘテロ接合トランジスタ50の通電時に発生する熱や、遮断時のゲート・ドレイン間の電界集中によってAs格子間原子の拡散しやすい状態となるが、電子走行層53にPが導入されているので、As格子間原子の拡散が抑制され、Asクラスターが形成されず、結果として転位ループの発生が抑制されている。

[0170] なお、電子走行層53のGaAsPのP組成は0.01~5%の範囲とするのが良い。素子に印加される電界ストレスが高く特性変動が生じ始めるときに発生しているAs格子間原子の濃度は $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 程度であるから、この濃度のAs格子間原子よりもP濃度が高い状態（例えば0.01%以上）であれば、 $\langle 110 \rangle$ ダンベル形成の確率が高くなる。

[0171] (第6実施形態)

図16は、第6実施形態に係る半導体装置を示す模式図である。図16に示される半導体装置は、ヘテロ接合トランジスタ(HFET)であり、第5実施形態の変形例となっている。図16は、このヘテロ接合トランジスタの各電極を横断する断面図である。なお、本実施形態は第5実施形態の変形例であるので、以下では、第5実施形態とは異なる点のみ説明する。

[0172] 図16に示されるように、ヘテロ接合トランジスタ60は、半絶縁性GaAsからなる基板61と、基板61上に形成された格子不整合を緩和するためのアンドープGaAsで構成された厚さ $1 \mu\text{m}$ のバッファ層62と、アンドープ $\text{GaAs}_{0.99}\text{P}_{0.01}$ からなる厚さ 100 nm の電子走行層63と、n型不純物イオンであるSiがドーピングされた $\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{As}$ で構成された電気供給層64と厚さ 100 nm のn⁺型GaAsで構成されたコンタク

ト層65とが順次積層されて構成される。

[0173] さらに、図16に示されるように、電子走行層63の一部にn型の導電性を持つGaAs_{0.99}P_{0.01}からなる部分n型層69が形成されている。部分n型層69は、例えば、エピタキシャル層の厚さ（縦）方向には、電子走行層63の中間部に、例えば、厚さ30nmで形成すればよい。また、横方向には、電界集中が生じ易くAs格子間原子の濃度が高くなるゲート・ドレイン間の下部に形成すれば良い。部分n型層69は選択成長やイオン注入法で形成すれば良い。

[0174] さらに、部分n型層69のn型ドーパントの濃度は、他のn型半導体層におけるn型ドーパントの濃度よりも低いことが好ましい。例えば、部分n型層69のn型ドーパントの濃度は、 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以下であることが好ましく、 $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ 以上のとき効果が顕著である。 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ より大きい濃度では半導体中のGa空孔やAs空孔の濃度が高くなるため、隣接する<110>ダンベルの結合エネルギーが減少し、As格子間原子の拡散抑制効果が低下するからである。また、 $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ 以上では空孔や残留不純物の補償効果を打ち消すに十分な量であるからである。

[0175] 上記のような位置に部分n型層69を設けたヘテロ接合トランジスタ60は、As格子間原子の発生位置近傍でのAs格子間原子の拡散障壁が高くなるため、拡散に起因した特性変動を抑制することができる。

[0176] （第7実施形態）

図17は、第7実施形態に係る半導体装置を示す模式図である。図17に示される半導体装置は、放射線検出用のPINダイオードである。図17は、このPINダイオードの各電極を横断する断面図である。

[0177] 図17に示されるように、PINダイオード70は、基板71と、基板71上に形成されたバッファ層72と、バッファ層72上に形成されたi型（Intrinsic）層73と、i型層73内に形成されたp型層74およびn型層75と、p型層74上に形成されたアノード電極76と、n型層75上に形成されたカソード電極77とを備える。

- [0178] 基板71は、半絶縁性GaAsからなる。バッファ層72は、厚さ1 μ mのアンダー層GaAsからなり、格子不整合を緩和するための層である。i型層73は、GaAsにPを導入した厚さ1 μ mのGaAs_{0.99}P_{0.01}からなるi型の半導体層である。
- [0179] p型層74およびn型層75は、GaAsに対して例えばイオン注入や、選択成長、あるいは熱拡散を施して形成した、それぞれp型およびn型の半導体層である。アノード電極76はTi/Pt/Auとし、カソード電極77はNi/Auとすることがきる。アノード電極とカソード電極の間隔は、例えば10 μ mである。
- [0180] PINダイオード70では、アノード電極76とカソード電極77に逆方向電圧を印加するとi型層73内に空乏層が広がる。この空乏層に放射線が入射されると放射線の経路に沿って、電子・正孔対が形成される。PINダイオード70を用いれば、このときに発生するパルス電流を検出することで放射線を検出することができる。
- [0181] 放射線の検出感度は原子番号の5乗および密度に比例するため、GaAsでPINダイオードを形成することでSiのPINダイオードよりも100倍以上の感度が実現し、感度はGe検出器に匹敵する。さらに、GaAsのバンドギャップはSiよりも大きいため、室温で安定的に動作し、液体窒素を使用しなければならないGe検出器に対するメリットとなる。また、GaAsの室温における移動度は約8000cm²/Vsであり、Siよりも5倍の応答速度を期待できる。
- [0182] 従来のGaAsをi型層に用いたPINダイオードでは、GaAsの絶縁破壊電界である0.4MV/cmの1/10以上の高電界を印加し空乏層を広げるため、As格子間原子が形成され易く、その結果、転位ループが発生し、素子を破壊する可能性があるという問題があった。しかしながら、本実施形態のPINダイオードでは、アンダー層となるi型層にPが導入されているため、<110>ダンベルが形成され易くなり、As格子間原子の拡散が抑制される。このため、従来のPINダイオードと同じ動作条件であって

も素子寿命が延びるという効果が得られる。また、より線量率の高い放射線を照射しても安定的に動作する。Pの他、Sb、NやInの導入によっても同様の効果が得られる。

[0183] なお、本実施形態のi型層73は、GaAsにPを導入しているものの、PがV族元素であるので電導性に影響がない。換言すると、本実施形態のi型層73は、意図的にp型ドーパントを添加したものではない。よって、i型層73は、図7におけるフェルミエネルギーが約0.5 eVの領域に相当し、As格子間原子は単独で存在するよりも<110>ダンベルを形成する状態が実現されている。

[0184] なお、i型層73における、V族元素におけるP元素の濃度は0.1~5%であることが望ましい。0.1%以上であれば<110>ダンベルの形成効果が高く、5%以下では放射線検出感度の低下や移動度の減少の影響が少ないからである。

[0185] (第8実施形態)

図18は、第8実施形態に係る半導体装置を示す模式図である。図18に示される半導体装置は、放射線検出用の縦型PINダイオードである。図18は、この縦型PINダイオードの各電極を横断する断面図である。

[0186] 図18に示されるように、縦型PINダイオード80は、基板81と、基板81上に形成されたバッファ層82と、バッファ層82上に形成されたi型層83と、i型層83内に形成されたp型層84と、p型層84上に形成されたアノード電極85と、基板81の裏面に形成されたカソード電極86とを備える。

[0187] 基板81は、n型の導電性を持つGaAsからなる。バッファ層82は、n型の導電性を持つ厚さ1 μmのGaAsからなり、格子不整合を緩和するための層である。i型層83は、GaAsにPを導入した厚さ100 μmのGaAs_{0.99}P_{0.005}からなるi型の半導体層である。i-GaAsP層83内に形成されたp-GaAs層84からなる。p-GaAs層84上にはアノード電極85、基板81の裏面にはカソード電極86が形成されている

- 。
- [0188] p型層84は、GaAsに対して例えばイオン注入や、選択成長、あるいは熱拡散を施して形成した、p型の半導体層である。アノード電極85はTi/Pt/Auとし、カソード電極86はNi/Auとすることができる。
- [0189] また、本実施形態では、アンドープ層であるi型層83に一樣にPを導入し、組成の割合を0.005としたが、図19に示すようにP原子をデジタル的に導入しても良い。図19は、i型層の成長方向（厚さ方向）とその位置でのP濃度を示している。P濃度が0%の箇所はGaAsに相当する。図19に示される例では、組成が0.05のGaAsP層とGaAs層を、それぞれ10nmと90nmの厚さで交互に繰返してアンドープ層を形成している。
- [0190] デジタル的にGaAsP層を形成することによって局所的にP濃度の高い領域を形成することが可能となる。P濃度の高い領域では、 $\langle 110 \rangle$ ダンベルは複数のP原子が存在する位置に形成されるようになり、形成エネルギーは低下し結合エネルギーは増大する。このため、As格子間原子の拡散を抑制する効果が増強される。また、デジタル的にGaAsP層を形成する場合は、一樣濃度のGaAsP層を積層するよりも、ミスフィット転位やクラックの発生を抑制することが可能であり、エピタキシャル膜の結晶品質が向上する。
- [0191] 本実施形態の縦型PINダイオード80は、第7実施形態のPINダイオード70と比較して空乏層の厚さを10倍にできるので、放射線の感度を約10倍に増加できる。また、カソード電極86が基板81の裏面にあるため、素子面積を小さくすることが可能であり、2次元検出器などの集積が容易となるメリットがある。同時に、本実施形態の縦型PINダイオード80は、i型層にPが導入されているため、 $\langle 110 \rangle$ ダンベルが形成されやすく、As格子間原子の拡散を抑制する。このため、本実施形態の縦型PINダイオード80は、従来のPINダイオードよりも長期信頼性に優れたものとなる。

[0192] 以上、本発明の実施形態について具体的に説明したが、本発明は、上述の実施形態に限定されるものではなく、本発明の技術的思想に基づく各種の変形が可能である。たとえば、上述の実施形態において挙げた数値はあくまでも例に過ぎず、必要に応じてこれと異なる数値を用いても良い。

産業上の利用可能性

[0193] 以上のように、本発明に係る半導体装置は、特性の変動の少ない半導体装置として有用である。

符号の説明

[0194] 1 1, 2 1, 3 1, 4 1, 5 1, 6 1, 7 1, 8 1 基板
1 2, 1 5, 2 2, 3 2, 4 2 n型半導体層
1 3, 2 3, 3 3, 4 3 活性層
1 4, 2 4, 3 4, 4 4 p型半導体層
1 6, 2 6, 3 6, 4 6 n側電極
1 7, 2 7, 3 7, 4 7 p側電極
2 5 埋め込み層
4 0 面発光レーザ素子
4 5 電流狭窄層
4 8 位相調整層
5 0, 6 0 ヘテロ接合トランジスタ
5 2, 6 2, 7 2, 8 2 バッファ層
5 3, 6 3 電子走行層
5 4 電子供給層
5 5, 6 5 コンタクト層
5 6 ソース電極
5 7 ドレイン電極
5 8 ゲート電極
6 4 電気供給層
6 9 部分n型層

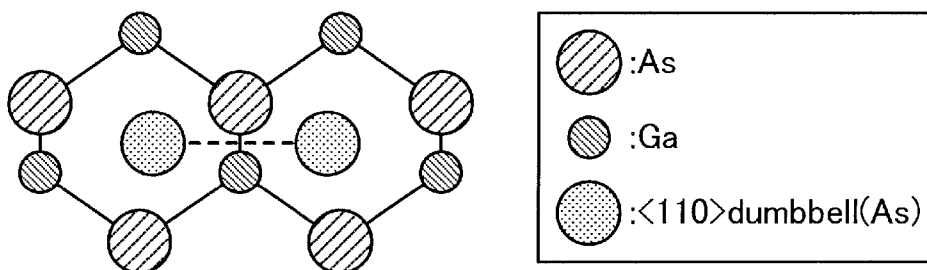
- 70 PINダイオード
- 73, 83 i型層
- 74, 84 p型層
- 75 n型層
- 76, 85 アノード電極
- 77, 86 カソード電極
- 80 縦型PINダイオード

請求の範囲

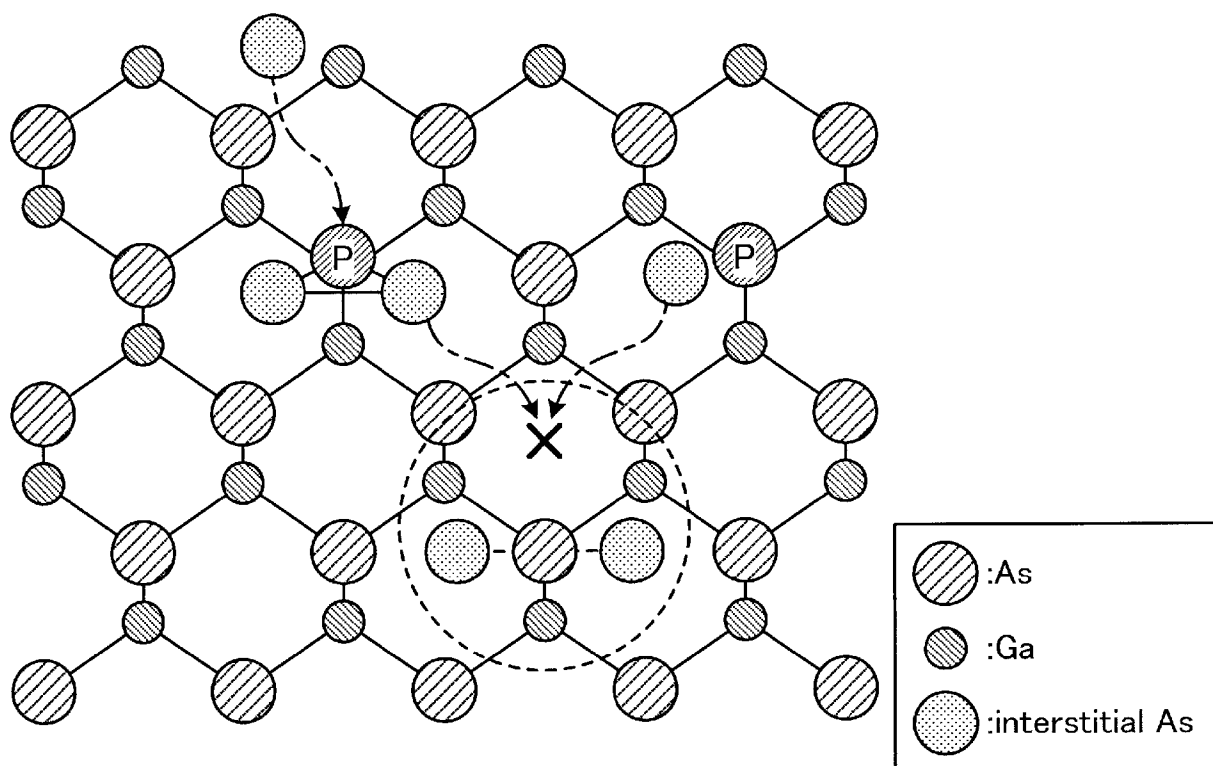
- [請求項1] As を V 族の主成分とする $III-V$ 族半導体結晶からなる半導体層を備えた半導体装置であって、
- 前記半導体層における $III-V$ 族半導体結晶の V 族サイトに、前記 As 以外の V 族元素が濃度 $0.02 \sim 5\%$ で導入されていることを特徴とする半導体装置。
- [請求項2] 前記 As 以外の V 族元素は、 N 、 P 、 Sb の何れか一つまたはこれらの組み合わせであることを特徴とする請求項 1 に記載の半導体装置。
- [請求項3] 前記 As を V 族の主成分とする $III-V$ 族半導体結晶は、 $InGaAs$ 、 $AlGalnAs$ 、 $GalnNAs$ 、 $AlGalnNAs$ の何れか一つであることを特徴とする請求項 1 または 2 に記載の半導体装置。
- [請求項4] 前記 As を V 族の主成分とする $III-V$ 族半導体結晶は、 $GaAs$ 、 $AlAs$ 、 $AlGaAs$ の何れか一つであることを特徴とする請求項 1 または 2 に記載の半導体装置。
- [請求項5] 前記半導体層における $III-V$ 族半導体結晶の III 族サイトに、濃度が $0.1 \sim 1\%$ で In が導入されていることを特徴とする請求項 4 に記載の半導体装置。
- [請求項6] 前記半導体層は、 n 型ドーパントが添加されていることを特徴とする請求項 1 \sim 5 の何れか一つに記載の半導体装置。
- [請求項7] 前記 n 型ドーパントの濃度は、 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以下 $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ 以上であることを特徴とする請求項 6 に記載の半導体装置。
- [請求項8] 前記半導体層は、半導体レーザ素子における活性層であることを特徴とする請求項 1 \sim 7 の何れか一つに記載の半導体装置。
- [請求項9] 前記 As 以外の V 族元素は、量子井戸構造を有する前記活性層の井戸層に導入されていることを特徴とする請求項 8 に記載の半導体装置。

- [請求項10] 前記As以外のV族元素は、量子井戸構造を有する前記活性層の障壁層に導入されていることを特徴とする請求項9に記載の半導体装置。
- [請求項11] 前記活性層は、前記半導体レーザ素子における他のn型半導体層よりもn型ドーパントの濃度が低いことを特徴とする請求項9に記載の半導体装置。
- [請求項12] 前記半導体層は、ヘテロ接合トランジスタにおける電子走行層であることを特徴とする請求項1～7の何れか一つに記載の半導体装置。
- [請求項13] 前記半導体層は、PINダイオードにおけるアンドープ層であることを特徴とする請求項1～7の何れか一つに記載の半導体装置。

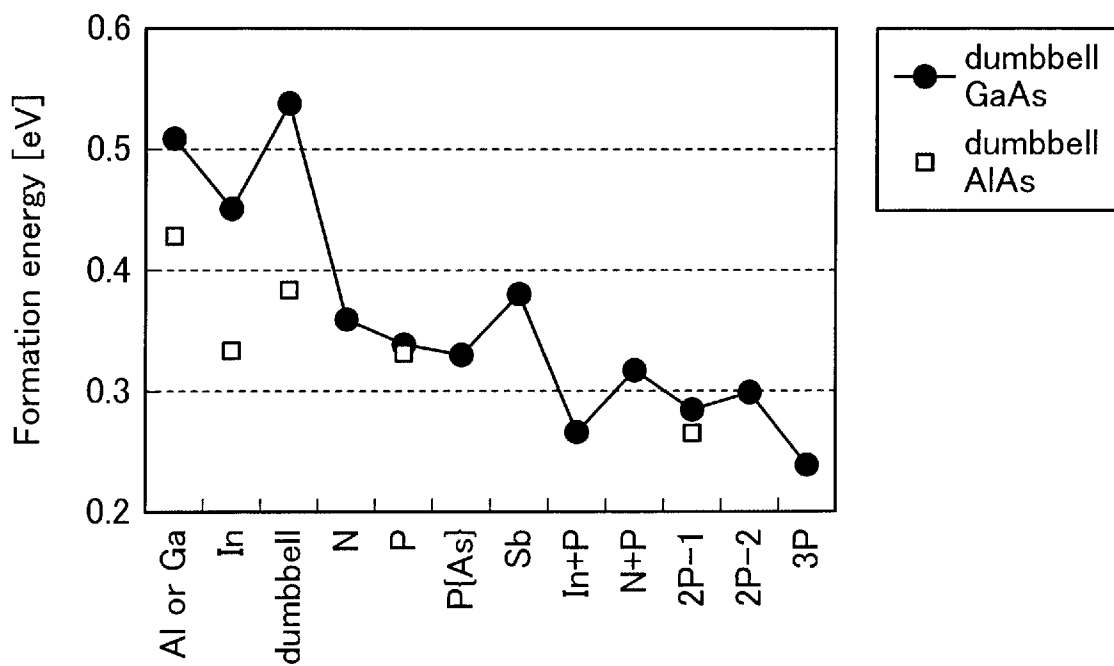
[図1]



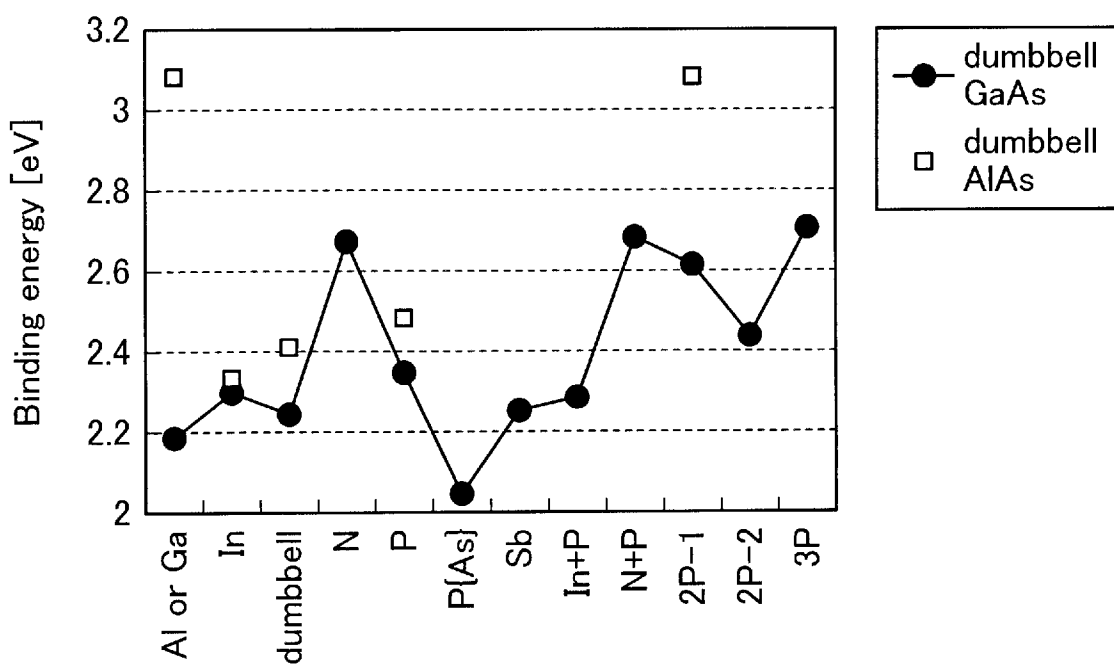
[図2]



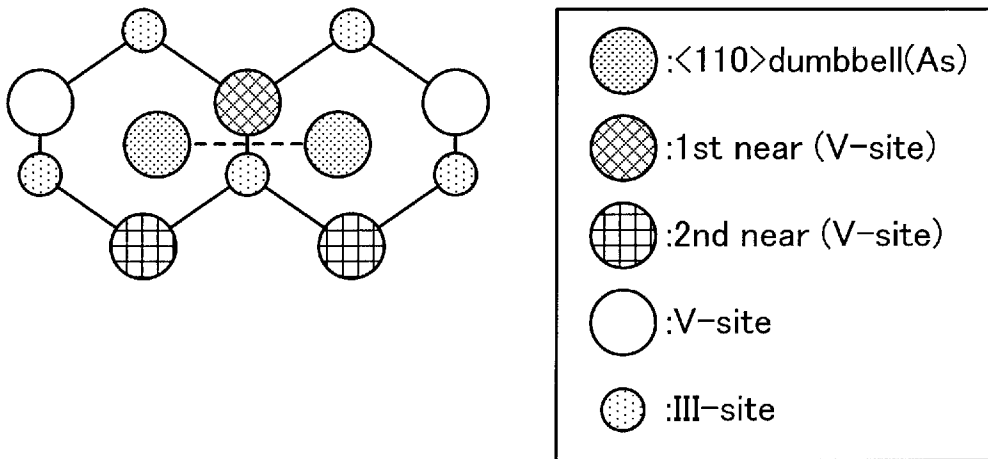
[図3]



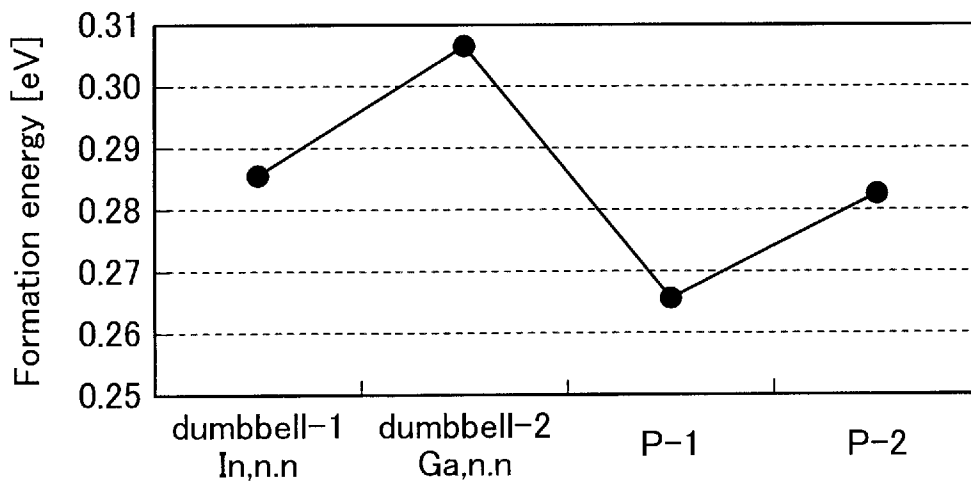
[図4]



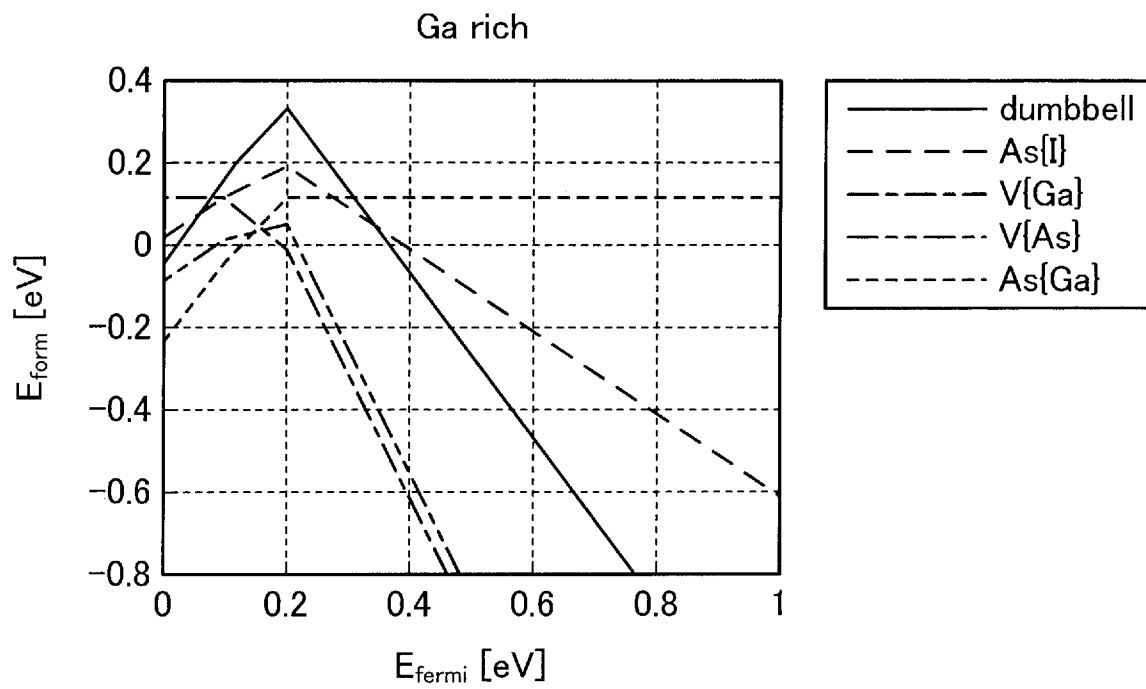
[図5]



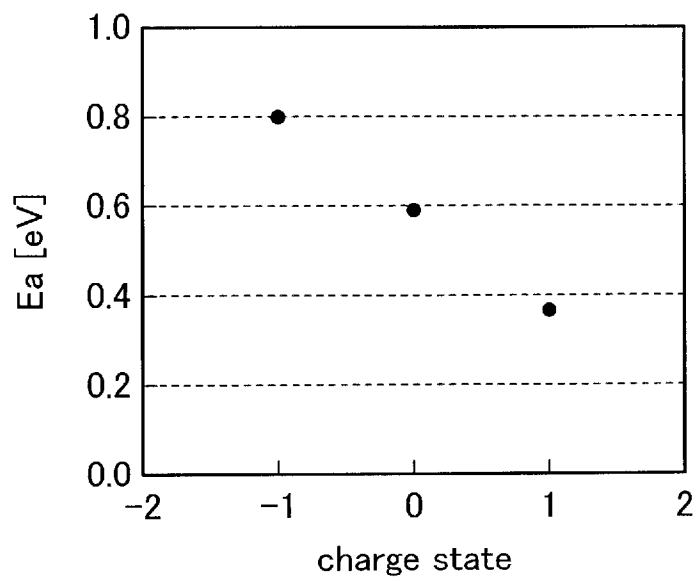
[図6]



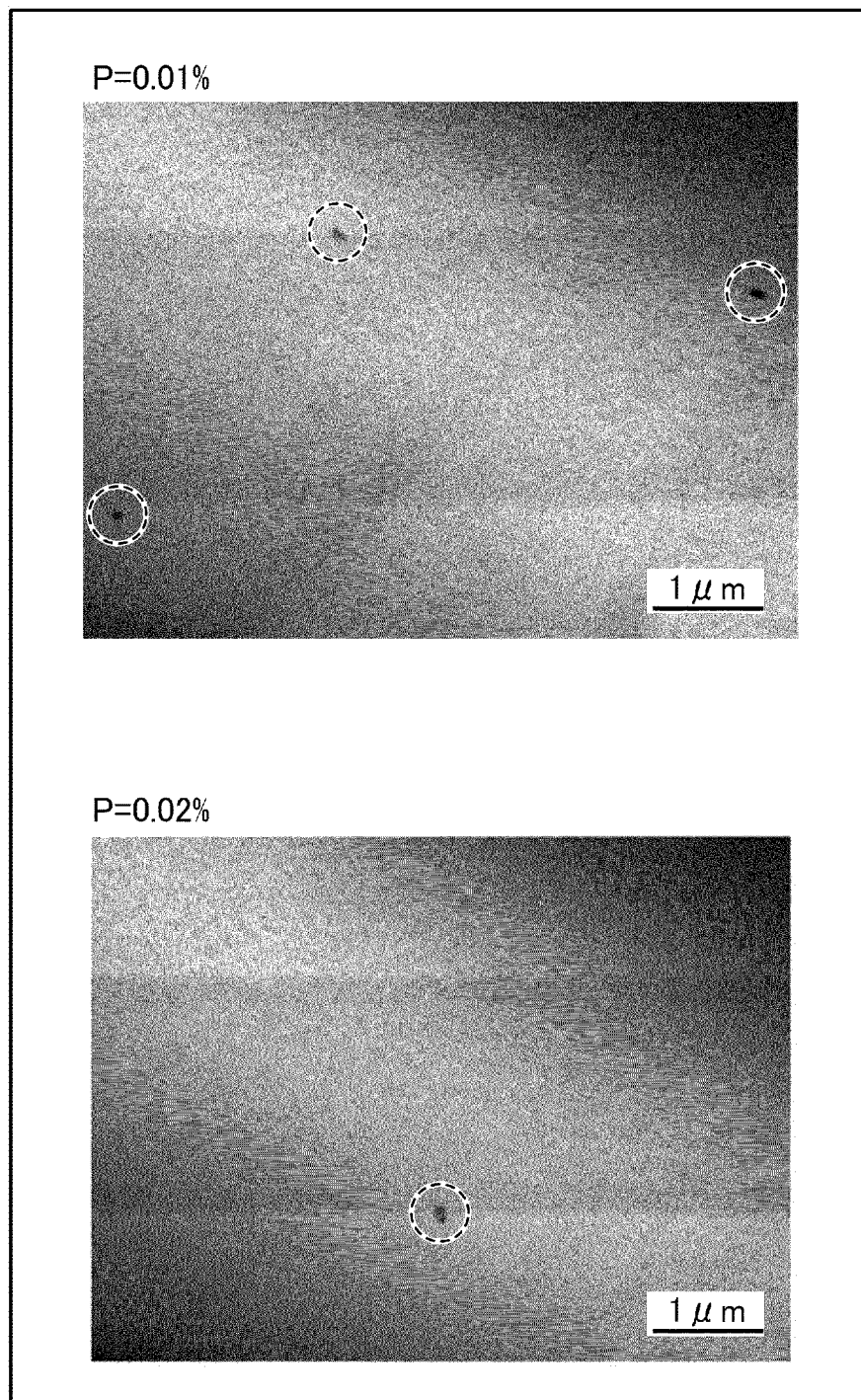
[図7]



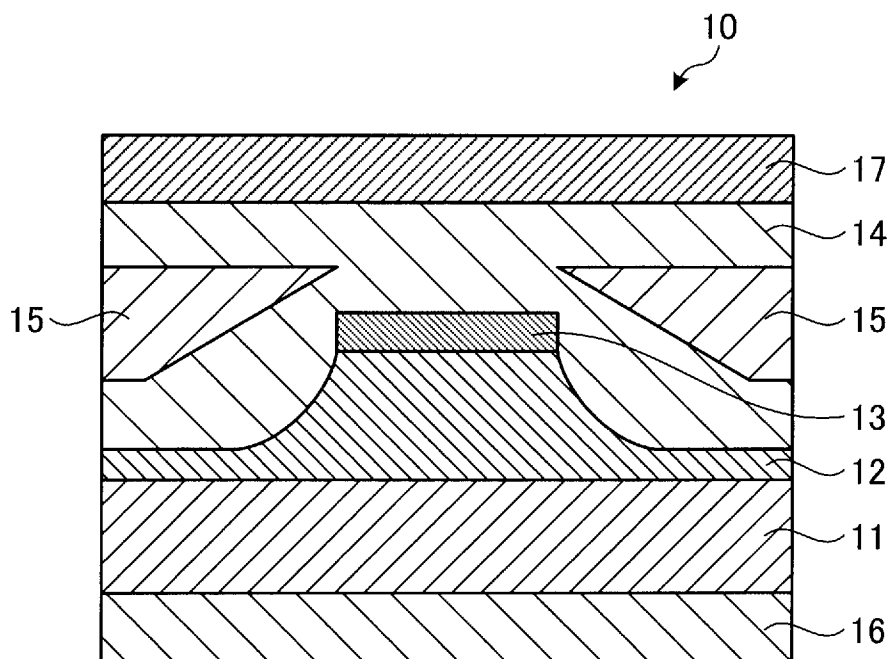
[図8]



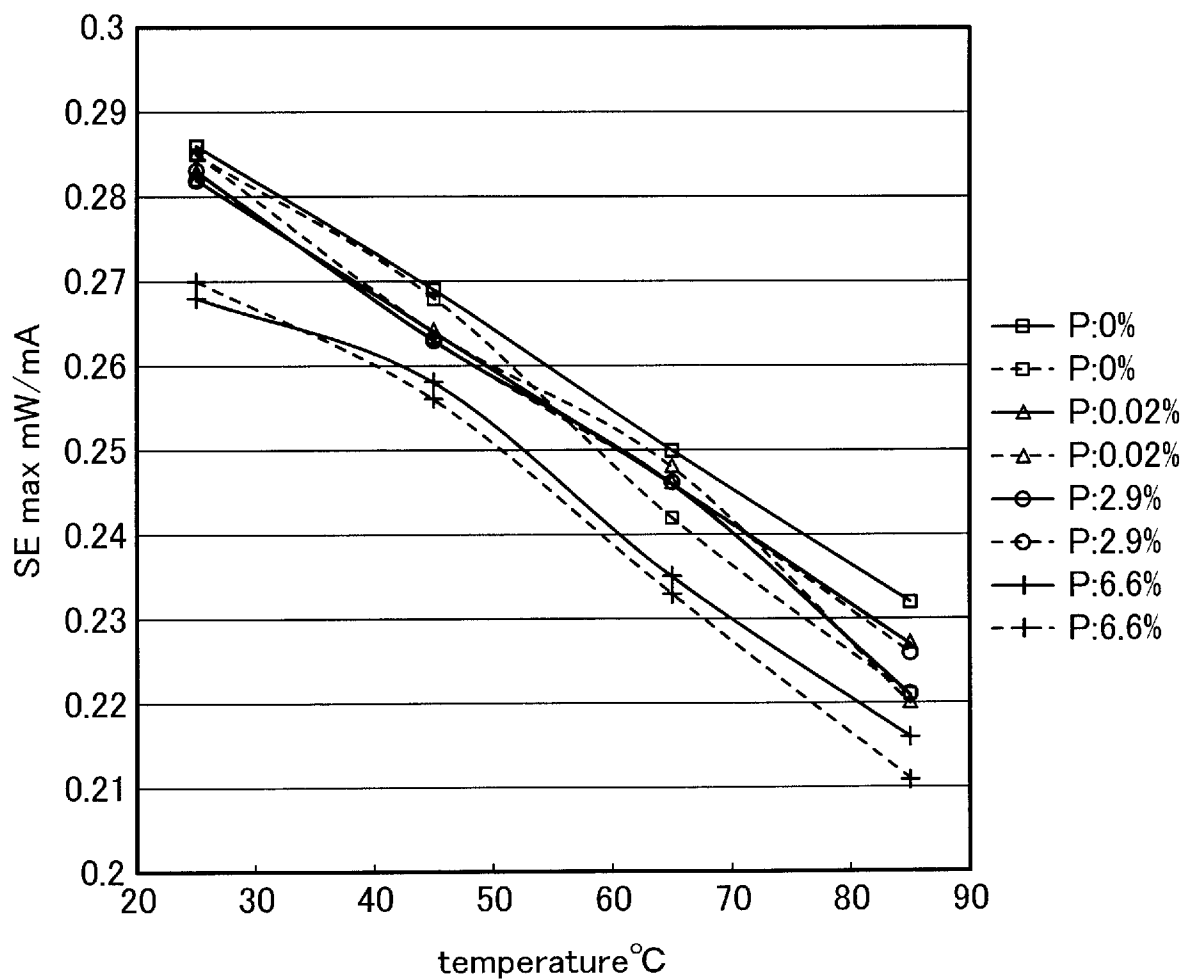
[図9]



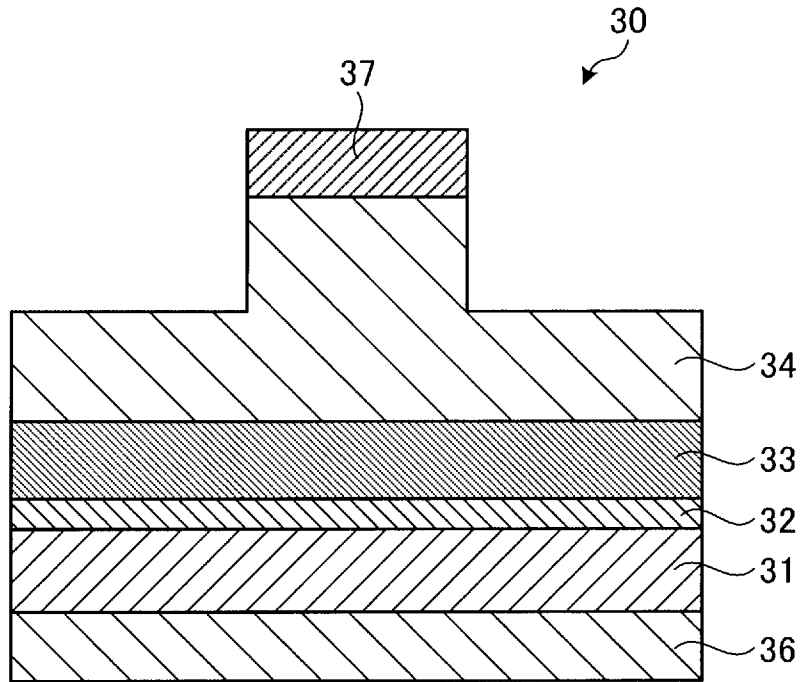
[図10]



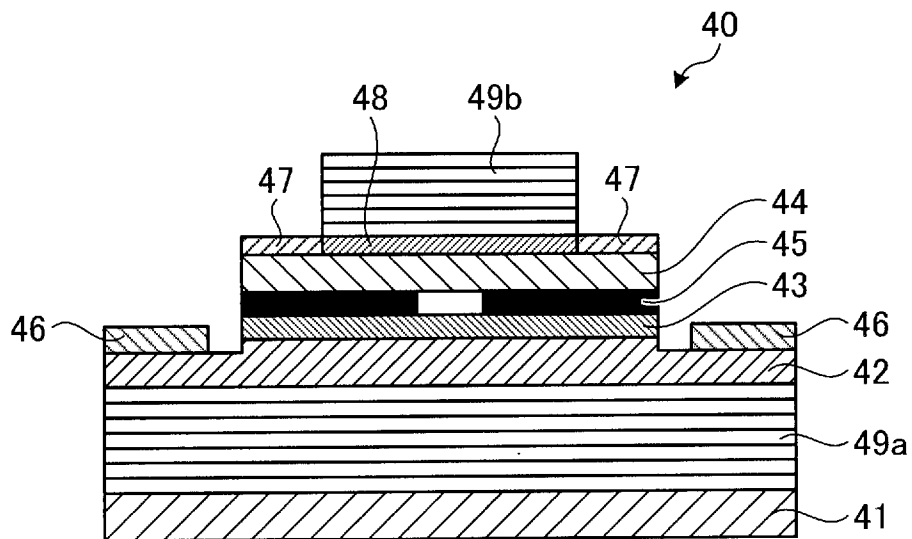
[図11]



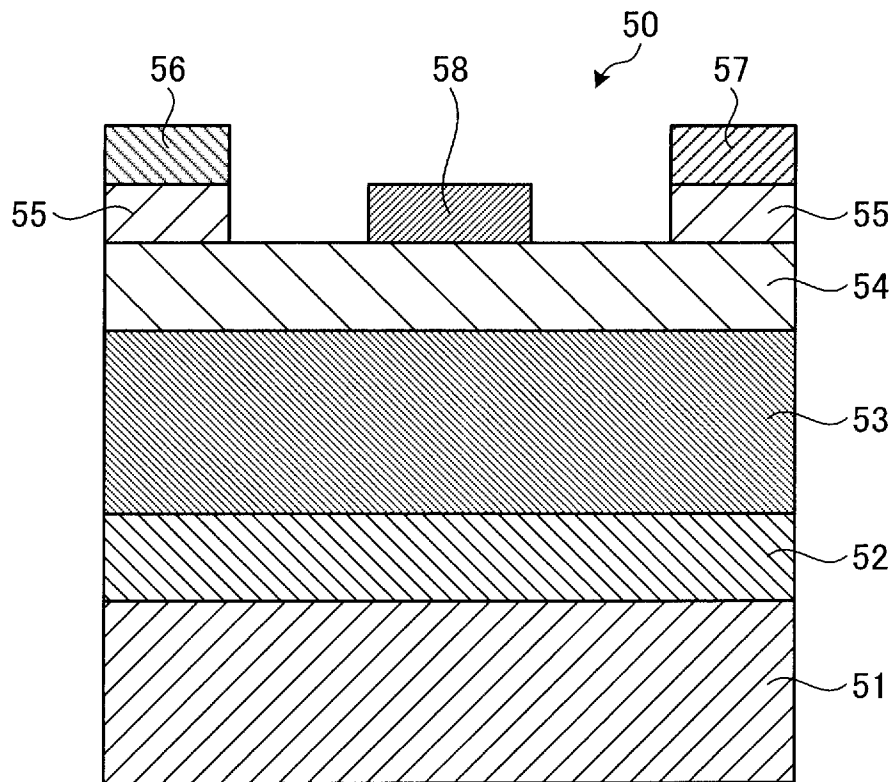
[図13]



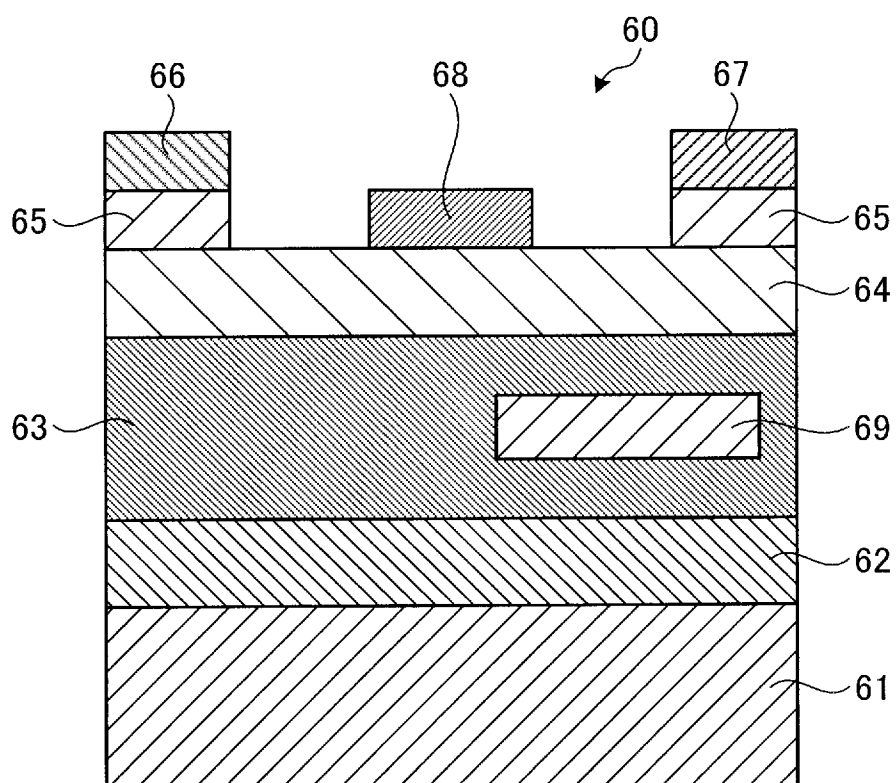
[図14]



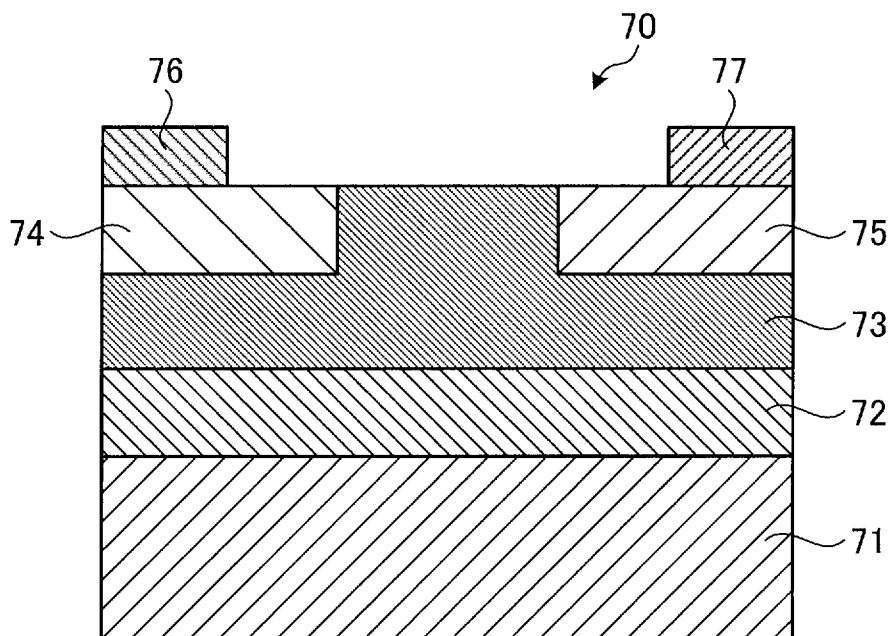
[図15]



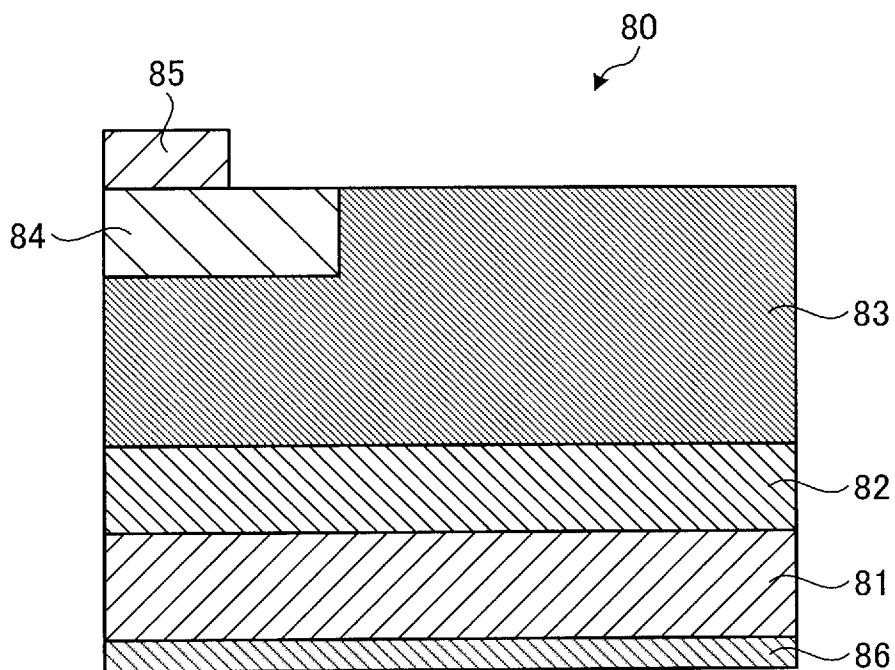
[図16]



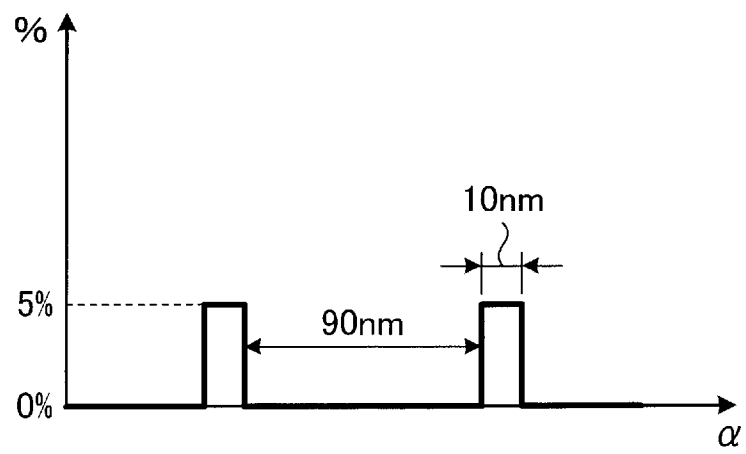
[図17]



[図18]



[図19]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2015/057093

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 60-200900 A (Sumitomo Electric Industries, Ltd.), 11 October 1985 (11.10.1985), specification, page 11, lower right column, lines 7 to 16 & US 4670176 A & EP 160373 A2	6, 7, 9-13
Y	JP 7-283482 A (Ricoh Co., Ltd.), 27 October 1995 (27.10.1995), specification, paragraphs [0012], [0013], [0022] to [0025]; fig. 1, 5 (Family: none)	9-13
Y	JP 4-88690 A (Sanyo Electric Co., Ltd.), 23 March 1992 (23.03.1992), specification, page 2, upper left column, line 17 to lower right column, line 5; fig. 1 (Family: none)	11-13
Y	JP 62-186524 A (Toshiba Corp.), 14 August 1987 (14.08.1987), specification, page 1, lower right column, lines 1 to 13 (Family: none)	12, 13
A	US 5661742 A (Kuo-Hsim HUANG et al.), 26 August 1997 (26.08.1997), specification, column 2, line 43 to column 4, line 40; fig. 1 to 7 & DE 19524655 A1	1-13

<p>A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC））</p> <p>Int.Cl. H01S5/343(2006.01)i, H01L21/338(2006.01)i, H01L29/207(2006.01)i, H01L29/778(2006.01)i, H01L29/812(2006.01)i, H01L31/10(2006.01)i</p>														
<p>B. 調査を行った分野</p> <p>調査を行った最小限資料（国際特許分類（IPC））</p> <p>Int.Cl. H01S5/00-5/50, H01L21/338, H01L29/207, H01L29/778, H01L29/812, H01L31/10</p>														
<p>最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの</p> <table border="0"> <tr> <td>日本国実用新案公報</td> <td>1922-1996年</td> </tr> <tr> <td>日本国公開実用新案公報</td> <td>1971-2015年</td> </tr> <tr> <td>日本国実用新案登録公報</td> <td>1996-2015年</td> </tr> <tr> <td>日本国登録実用新案公報</td> <td>1994-2015年</td> </tr> </table>			日本国実用新案公報	1922-1996年	日本国公開実用新案公報	1971-2015年	日本国実用新案登録公報	1996-2015年	日本国登録実用新案公報	1994-2015年				
日本国実用新案公報	1922-1996年													
日本国公開実用新案公報	1971-2015年													
日本国実用新案登録公報	1996-2015年													
日本国登録実用新案公報	1994-2015年													
<p>国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）</p>														
<p>C. 関連すると認められる文献</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>引用文献の カテゴリー*</th> <th>引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示</th> <th>関連する 請求項の番号</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>X</td> <td>JP 51-60487 A（インターナショナル・スタンダード・エレクトリック・コーポレーション）1976.05.26,</td> <td>1, 2, 4, 8</td> </tr> <tr> <td>Y</td> <td>明細書第2ページ右下欄第6行-第4ページ右上欄第9行, 図面 & US 4047123 A & GB 1508799 A & DE 2542603 A1 & FR 2286510 A1</td> <td>3, 5-7, 9-13</td> </tr> <tr> <td>Y</td> <td>JP 5-235470 A（イーストマン・コダックジャパン株式会社）1993.09.10, 明細書【0009】-【0020】欄, 図1, 5 & US 5260959 A</td> <td>3, 5-7, 9-13</td> </tr> </tbody> </table>			引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号	X	JP 51-60487 A（インターナショナル・スタンダード・エレクトリック・コーポレーション）1976.05.26,	1, 2, 4, 8	Y	明細書第2ページ右下欄第6行-第4ページ右上欄第9行, 図面 & US 4047123 A & GB 1508799 A & DE 2542603 A1 & FR 2286510 A1	3, 5-7, 9-13	Y	JP 5-235470 A（イーストマン・コダックジャパン株式会社）1993.09.10, 明細書【0009】-【0020】欄, 図1, 5 & US 5260959 A	3, 5-7, 9-13
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 51-60487 A（インターナショナル・スタンダード・エレクトリック・コーポレーション）1976.05.26,	1, 2, 4, 8												
Y	明細書第2ページ右下欄第6行-第4ページ右上欄第9行, 図面 & US 4047123 A & GB 1508799 A & DE 2542603 A1 & FR 2286510 A1	3, 5-7, 9-13												
Y	JP 5-235470 A（イーストマン・コダックジャパン株式会社）1993.09.10, 明細書【0009】-【0020】欄, 図1, 5 & US 5260959 A	3, 5-7, 9-13												
<p><input checked="" type="checkbox"/> C欄の続きにも文献が列挙されている。 <input type="checkbox"/> パテントファミリーに関する別紙を参照。</p>														
<p>* 引用文献のカテゴリー</p> <p>「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</p> <p>「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</p> <p>「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）</p> <p>「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献</p> <p>「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願日の後に公表された文献</p> <p>「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</p> <p>「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</p> <p>「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</p> <p>「&」同一パテントファミリー文献</p>														
<p>国際調査を完了した日</p> <p>14.05.2015</p>	<p>国際調査報告の発送日</p> <p>02.06.2015</p>													
<p>国際調査機関の名称及びあて先</p> <p>日本国特許庁（ISA/J P）</p> <p>郵便番号100-8915</p> <p>東京都千代田区霞が関三丁目4番3号</p>	<p>特許庁審査官（権限のある職員）</p> <p>百瀬 正之</p> <p>電話番号 03-3581-1101 内線 3294</p>	<table border="1"> <tr> <td>2X</td> <td>4084</td> </tr> </table>	2X	4084										
2X	4084													

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 60-200900 A (住友電気工業株式会社) 1985. 10. 11, 明細書第 1 1 ページ右下欄第 7 行ー第 1 6 行 & US 4670176 A & EP 160373 A2	6, 7, 9-13
Y	JP 7-283482 A (株式会社リコー) 1995. 10. 27, 明細書【0012】、【0013】、【0022】ー【0025】欄, 図 1, 5 (ファミリーなし)	9-13
Y	JP 4-88690 A (三洋電機株式会社) 1992. 03. 23, 明細書第 2 ページ左上欄第 1 7 行ー右下欄第 5 行, 第 1 図 (ファミリーなし)	11-13
Y	JP 62-186524 A (株式会社東芝) 1987. 08. 14, 明細書第 1 ページ右下欄第 1 行ー第 1 3 行 (ファミリーなし)	12, 13
A	US 5661742 A (Kuo-Hsim HUANG et al.) 1997. 08. 26, 明細書第 2 欄第 4 3 行ー第 4 欄第 4 0 行, F I G. 1 ー F I G. 7 & DE 19524655 A1	1-13