

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第3909884号
(P3909884)

(45) 発行日 平成19年4月25日(2007.4.25)

(24) 登録日 平成19年2月2日(2007.2.2)

(51) Int.C1.

F 1

HO1S 5/34 (2006.01)

HO1S 5/34

請求項の数 7 (全 23 頁)

(21) 出願番号 特願平8-52135
 (22) 出願日 平成8年3月8日(1996.3.8)
 (65) 公開番号 特開平8-250810
 (43) 公開日 平成8年9月27日(1996.9.27)
 審査請求日 平成15年3月5日(2003.3.5)
 審判番号 不服2004-11245(P2004-11245/J1)
 審判請求日 平成16年5月28日(2004.5.28)
 (31) 優先権主張番号 9504666.0
 (32) 優先日 平成7年3月8日(1995.3.8)
 (33) 優先権主張国 英国(GB)

早期審査対象出願

(73) 特許権者 000005049
 シャープ株式会社
 大阪府大阪市阿倍野区長池町22番22号
 (74) 代理人 100078282
 弁理士 山本 秀策
 (74) 代理人 100062409
 弁理士 安村 高明
 (74) 代理人 100107489
 弁理士 大塙 竹志
 (72) 発明者 ジェフリー ダガン
 イギリス国 オーエツクス15 Oエスジ
 エイ, オックスフォードシア, デッティン
 グトン, ハイ ストリート 6/7, キン
 グス コッテージ

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】半導体レーザ素子

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

活性領域と、ガイド領域と、クラッド領域とを有し、該クラッド領域内に該ガイド領域から離して超格子領域が形成され、該超格子領域は、少なくとも第1半導体および第2半導体の積層パターンからなり、該第1半導体および該第2半導体は、(AlGaIn)NからなるIII-V族半導体からなる、半導体レーザ素子であって、

該ガイド領域は、該活性領域に対してバリヤを形成するように構成され、

該クラッド領域は、該ガイド領域に対してバリヤを形成するように構成され、

該超格子領域は、該ガイド領域と該超格子領域との間の該クラッド領域に対してバリヤを形成するように構成され、

該半導体レーザ素子は480nmより短い波長で発振し、かつ、

該第1半導体および該第2半導体の両方のバンドギャップが該活性領域のバンドギャップより大きいことを特徴とする、半導体レーザ素子。

【請求項2】

前記超格子領域内にミニバンドが形成されることを特徴とする、請求項1に記載の半導体レーザ素子。

【請求項3】

PLスペクトルにおける前記超格子領域からの発光のエネルギーと、前記活性領域のバンドギャップエネルギーとの差は、0.3eVより大きいことを特徴とする、請求項1または2に記載の半導体素子。

10

20

【請求項 4】

前記活性領域は第1バリヤ層によって互いに分離される複数の量子井戸を有し、前記超格子領域の最小量子化エネルギー準位が、該第1バリヤ層のエネルギー準位よりも大きいことを特徴とする、請求項1ないし3のいずれかに記載の半導体レーザ素子。

【請求項 5】

前記超格子領域は、前記第1半導体および前記第2半導体の少なくとも一方がn型ドープされることを特徴とする、請求項1ないし4のいずれかに記載の半導体レーザ素子。

【請求項 6】

前記超格子領域は、前記第1半導体および前記第2半導体の少なくとも一方がp型ドープされることを特徴とする、請求項1から5のいずれかに記載の半導体レーザ素子。 10

【請求項 7】

前記半導体レーザ素子は、(AlGaIn)NからなるII-V族半導体から形成されることを特徴とする、請求項1ないし6のいずれかに記載の半導体レーザ素子。

【発明の詳細な説明】**【0001】****【発明の属する技術分野】**

本発明は、ミニバンドを有する半導体素子に関する。このようなミニバンドは素子内での電荷の移動を向上させる。特に、ミニバンドは、緑色または青色領域で機能する半導体光源、変調器、および検出器の特性を向上させる。

【0002】

20

【従来の技術】

半導体素子分野の研究者らは、青色・緑色光を発光する光源を提供する半導体発光素子の研究を続けている。II-VI族化合物半導体がこのような半導体発光素子におけるガイド領域およびクラッド領域の材料として優れた特性を有することが報告されている。

【0003】

青色・緑色発光素子の初期の研究では、ZnSeおよびZn_{0.07}Se_{0.93}を、各々、ガイド領域およびクラッド領域の材料として用いることが報告された(「Blue-green laser diodes」、M.A. Haaseら、Appl. Phys. Lett. 59、1272頁)。閾値電流を下げレーザ発振波長を短くするためには、Zn_{0.07}Se_{0.93}ガイド層および、GaAsに格子整合したZnMgSSeクラッド層が必要であるということが報告されている("Room temperature continuous operation of blue-green laser diode"、N. Nakayamaら、Electron. Lett. 29、1488頁)。

30

【0004】**【発明が解決しようとする課題】**

しかし、上記の半導体素子においては、以下に示すような問題点があった。閾値電流を下げレーザ発振波長を短くするのに良い材料であると考えられたZnMgSSeのバンドギャップエネルギーが増大すると共にアクセプタ濃度(Na-Nd)が急激に減少する。このため、閾値電流およびレーザ発振波長には限界が現れ始めている。室温での連続発振における、出願人が認識する最短レーザ発振波長は489nmであり、閾値電流密度は1.5KA/cm²である("Continuous-wave operation of 489.9nm blue laser diode at room temperature"、N. Nakayamaら、Electron. Lett. 29、2164頁)。

40

【0005】

アクセプタ濃度(Na-Nd)が急激に減少するのを避けるために、およびドーピング効率を向上させるために、変調ドーピング方法を用いることが提案されている("Doping in a superlattice structure: improved hole activation in wide-gap II-VI materials"、I. Suemune、J. Appl. Phys. 67、2364頁)。さらに、超格子構造を導入する別の方法もまた提案されている("One-hour-long room temperature CW operation of ZnMgSSe-based blue-green laser diodes"、A. Ishibashiら、7th annual meeting on the IEEE Lasers and Electro-Optics Society (1994))。

【0006】

50

GaAsに格子整合するZnMgSSeクラッド層を用いても、室温での連続発振の波長が480nmより短い青色レーザダイオードを得るのは困難であると考えられる。

【0007】

図1は、従来の分離閉じ込めヘテロ構造(SCH)レーザダイオード(LD)のエネルギー準位図を示す。活性領域2は単一量子井戸(SQW)または多量子井戸(MQW)構造であり得る。ガイド領域3およびドープされたクラッド領域4は、活性領域2に閉じ込められたキャリヤのための閉じ込めバリヤとして働く。ガイド領域3はクラッド領域より高い屈折率を有し、光波を誘導する働きをする。従来のLEDではガイド領域は省略される。

【0008】

レーザ発振波長を短くするためには、活性領域2のバンドギャップエネルギーを大きくすることが必要である。従って、領域3および4のバンドギャップエネルギーを大きくすることが必要であり、さもなくば、活性領域と領域3および4との間のバンド不連続性が低下し、この結果、キャリヤのオーバフローが増大し、これにより閾値電流が増大する。

【0009】

4元素からなるZnMgSSeは、閾値電流を下げまたレーザ発振波長を短くするための有望な材料であると考えられる。しかし、上述のように、ZnMgSSeのバンドギャップエネルギーが増大すると共にアクセプタの濃度(Na-Nd)が急激に減少することが報告されている。つまり、伝導性が良くバンドギャップエネルギーが比較的大きいZnMgSSe膜を得ることは困難である。バンドギャップエネルギーが比較的大きいZnMgSSeは、含有するSおよびMgの量が比較的多い。この結果、この化学組成物がMgSに近づくに従って、MgSの安定結晶構造は岩塩構造(rock salt)であるため、閃亜鉛鉱構造(zinc zinc blend)としての結晶品質が低下する結果となり得る。

【0010】

アクセプタの濃度の急激な低下を補償し、またドーピング効率を向上させるために変調ドーピング方法を用いることがSuemune(上述)によって提案されている。しかし、この提案では、キャリヤの移動は、図2に示すように、ホッピング伝導として知られるメカニズムによって行われる。

【0011】

変調ドーピングでは、ZnSe/ZnSSe多量子井戸系の量子井戸10の価電子帯内の自由(free)ホール濃度を増やすことが意図される。このようなII-VI族系では、アクセプタの活性化エネルギーEaは非常に大きく、110~150meVの範囲である。この結果、熱により活性化された自由ホールの濃度は非常に小さい。p型ZnSeにおける自由ホールの濃度は極めて重要である。何故なら、この材料の抵抗rは、qを電子荷、μをホール移動度(ほぼ30cm²/Vsに等しい)、pをホール濃度とすると、

【0012】

【数1】

$$r = \frac{1}{q\mu p}$$

【0013】

で与えられるからである。

【0014】

従って、低抵抗度を実現しこれにより素子内のパワー分散を減らすためには、ホール濃度を増大させることが望ましい。Suemuneは、60_の周期を有するドープされた超格子では、自由ホール濃度を約4~5倍高くすることが可能であると計算した。しかし、ホールは量子井戸10に平行な方向では自由に移動する一方で、量子井戸に垂直な方向の移動では、ホールはホッピング伝導により量子井戸を横切らなければならないため、それほど良好ではない。残念ながら、LED、レーザ、検出器、および変調器などの多くの光電素

10

20

30

40

50

子の機能において重要なのは、量子井戸に垂直な方向のホールの移動である。量子井戸は、図2に示すように、量子井戸内に緩和されたキャリヤ（ホール）に対してトラップとして作用し得るため、Suemuneの記載した変調ドーピングは、量子井戸に垂直な方向のホールの移動特性を劣化させ得るという可能性がある。図2において、量子井戸からのホールの熱による活性化は矢印12によって表され、量子井戸へのホールの緩和は矢印14によって表される。矢印の相対的な大きさは、各出来事の確率を概略的に示しており、矢印が大きいほど確率は高い。図2はまた、各井戸内の第1の閉じ込め量子状態のエネルギー準位6、ならびに井戸内のドーパント材料（アクセプタ）およびバリヤ材料の各々のエネルギー準位7および8を示す。

【0015】

10

欧洲特許出願第0334759号は、レーザ発光構造が半導体の伝導帯内のミニバンド間での内部サブバンド間移動を包含する、GaAs/A1GaAs系を有するユニポーラ半導体レーザを開示している。この素子では、電子は上サブバンドに注入され、バリヤ領域またはクラッド領域を通って上ミニバンドの一部である活性領域に横移動する。ミニバンドのバリヤ領域内のエネルギーが増大する結果として、活性領域内の電子密度が増大し、次に電子は下ミニバンドに放射移動し、これにより発光が行われる。キャリヤは、バリヤ領域および活性領域を通るコヒーレントなミニバンド移動を示す。この素子は、長波長の光を生成するためのものであり、短波長（緑色または青色）の光の生成用には適切ではない。

【0016】

20

欧洲特許出願第0614253号は、MQWレーザダイオード部と、レーザダイオード部に集積された多量子井戸構造を含む光変調部とを有する分布帰還型（DFB）InGaAsP型レーザ素子を開示している。光変調部の多量子井戸構造は、量子井戸の量子状態が互いに結合され複数のミニバンドを形成する結合多量子井戸構造である。しかし、このようなミニバンドは、レーザダイオード部の活性領域へのキャリヤの移動には関与しない。

【0017】

国際特許第92/08250号および第94/00884号は、光検出器の活性領域の量子井戸がミニバンドを有する超格子バリヤ層によって分離されるMQW光検出器を開示している。

【0018】

本発明は、上記課題を解決するためになされたものであり、その目的とするところは、室温で連続動作し得る青色光レーザダイオードを提供することにある。

30

【0019】

【課題を解決するための手段】

本発明の半導体レーザ素子は、活性領域と、ガイド領域と、クラッド領域とを有し、該クラッド領域内に該ガイド領域から離間して超格子領域が形成され、該超格子領域は、少なくとも第1半導体および第2半導体の積層パターンからなり、該第1半導体および該第2半導体は、（AlGaIn）NからなるIII-V族半導体からなる、半導体レーザ素子であって、該ガイド領域は、該活性領域に対してバリヤを形成するように構成され、該クラッド領域は、該ガイド領域に対してバリヤを形成するように構成され、該超格子領域は、該ガイド領域と該超格子領域との間の該クラッド領域に対してバリヤを形成するよう構成され、該半導体レーザ素子は480nmより短い波長で発振し、かつ、該第1半導体および該第2半導体の両方のバンドギャップが該活性領域のバンドギャップより大きいことを特徴とし、そのことにより上記目的が達成される。

40

【0026】

ある実施の形態では、前記超格子領域は、活性領域のためのキャリヤ閉じ込めバリヤを形成することを特徴とする。

【0027】

他の実施の形態では、前記超格子領域内にミニバンドが形成されることを特徴とする。

【0028】

更に、他の実施の形態では、PLスペクトルにおける前記超格子領域からの発光のエネルギーと、前記活性領域のバンドギャップエネルギーとの差は、0.3eVより大きいこ

50

とを特徴とする。

【0030】

更に、他の実施の形態では、前記活性領域は第1バリヤ層によって互いに分離される複数の量子井戸を有し、前記超格子領域の最小量子化エネルギー準位が、該第1バリヤ層のエネルギー準位よりも大きいかまたはこれに等しいことを特徴とする。

【0031】

更に、他の実施の形態では、前記超格子領域は、前記第1半導体および前記第2半導体の少なくとも一方がn型ドープされることを特徴とする。

【0032】

更に、他の実施の形態では、前記超格子領域は、前記第1半導体および前記第2半導体の少なくとも一方がp型ドープされることを特徴とする。

10

【0034】

更に、他の実施の形態では、前記半導体レーザ素子は、(AlGaIn)NからなるII-V族半導体から形成されることを特徴とする。

【0045】

本発明の第1の観点によれば、活性領域と、第1超格子領域と、該活性領域と該第1超格子領域との間に設けられるガイド領域とを有し、該第1超格子領域はバリヤ層によって互いに分離される複数の量子井戸を有する第1および第2半導体の積層パターンからなり、該パターンの積層膜厚は、該第1超格子領域内にミニバンドが形成されるように十分に薄くされる、半導体素子であって、該ミニバンドを通じてキャリヤが輸送される、半導体素子が提供される。

20

【0046】

本発明の第2の観点によれば、活性領域と、第1超格子領域と、該活性領域と該第1超格子領域との間に設けられるガイド領域とを有し、該第1超格子領域はバリヤ層によって互いに分離される複数の量子井戸を有する第1および第2半導体の積層パターンを備え、該パターンの積層膜厚は、該第1超格子領域内にミニバンドが形成されるように十分に薄くされる、半導体素子であって、該ミニバンドの最小エネルギー準位は、該ガイド領域のエネルギー準位または最小エネルギー準位より大きいかまたはこれに等しい、半導体素子が提供される。

【0047】

30

本発明の第3の観点によれば、(a)第1バリヤ層によって互いに分離される複数の第1量子井戸を有する活性領域と、(b)第1超格子領域とを備え、該第1超格子領域は第2バリヤ層によって互いに分離される複数の第2量子井戸を有する第1および第2半導体の積層パターンを備え、該パターン積層膜厚は、該第1超格子領域内にミニバンドが形成されるように十分に薄くされる、半導体素子であって、該ミニバンドの最小エネルギー準位は、該第1バリヤ層の準位より大きいかまたはこれに等しい、半導体素子が提供される。

【0048】

本明細書で使用される「ミニバンド」という用語は、電荷キャリヤ、好ましくはホールを容易に移動させ得る状態のバンドであるミニバンドを意味する。

【0049】

40

第1超格子領域内に一連の量子井戸を狭い間隔で形成することにより、各井戸より外側に延びる量子波動関数が隣接する井戸の波動関数と重複する。重複する波動関数はミニバンドを形成し、これにより、量子井戸に垂直な方向へのキャリヤの移動が向上する。第1および第2半導体を連続して交互に並べることにより超格子を形成する。

【0050】

キャリヤをミニバンドに注入することによってのみ、第1超格子領域内の価電子帯を通るキャリヤの移動を向上させ得る。キャリヤは次にミニバンドを通じて移動するが、ミニバンド内でエネルギーをいくらか失う。キャリヤがミニバンドを通じて移動し得るかどうかに主に影響を与えるのは、第1超格子領域の活性領域とは反対側に設けられた注入領域のエネルギーおよび第1超格子領域と活性領域との間のガイド領域またはバリヤのエネ

50

ルギーに対するミニバンドのエネルギーである。超格子内のミニバンドの最小エネルギーは、超格子と素子の活性領域との間に位置するガイド領域またはバリヤのポテンシャルエネルギー準位より大きいかまたはこれに等しくなければならない。同様に、注入領域のエネルギー準位は、ミニバンドのエネルギー準位に近いかこれに等しくなければならない。注入領域のエネルギーがミニバンドの最小エネルギー準位より実質的に低い（例えば、100 m eV以上低い）場合は、キャリヤの第1超格子領域への流れは妨害されることが多い。

【0051】

好ましくは、少なくとも第1超格子領域のバリヤ層を形成する半導体層がドープされる。これにより、キャリヤの数が増大し、第1超格子領域内の伝導性が向上する。第1超格子の量子井戸領域もまたドープされ得る。10

【0052】

好ましくは、ミニバンドの幅は、キャリヤの移動を実質的に最大にするように選択される。好ましくは、キャリヤはホールである。ミニバンドの幅は、半導体材料に、ならびにバリヤおよび井戸層の幅、すなわち第1および第2半導体の幅に依存する。さらに、ミニバンドの幅は、第1領域を横断して電界が形成されるときでもミニバンドを通るキャリヤの移動が可能であるように、すなわちミニバンドがシュタルク（Stark）準位に分離しないように選択される。

【0053】

好ましくは、半導体は、Zn、Mg、S、およびSeからなる4元混晶から選択される。第1および第2領域は、Zn_xSe_{1-x} - Mg_ySe_{1-y} (0 < x, y < 1) 構造を有する超格子を形成すると好都合である。20

【0054】

好都合には、第1および第2半導体の各々の幅またはパターンの積層膜厚を変更してバンドギャップを変動させ得る。バンドギャップは実質的に放物線の形状で変動させ得る。第2超格子領域は、活性領域の第1超格子領域とは反対側に配備され得る。この超格子領域は各々空間的に変動する積層膜厚を有し、共働して傾斜屈折率分離閉じ込めヘテロ構造素子を形成し得る。このような構造は光学的に効率的である。

【0055】

好ましくは、第1および第2半導体は、第1および第2半導体層に応力がほとんどまたは全く加えられないように、基板の格子と実質的に格子整合する。基板はGaAsであり得、第1および第2半導体層の格子定数は、層内のMgおよび/またはSの濃度を変更することによって変動させ得る。30

【0056】

好ましくは、素子はLED、レーザ、変調器、または検出器である。

【0057】

変形例としては、第1および第2半導体は、(AlGaIn)Pおよび(AlGaIn)N合金などのII-V族半導体系より形成され得る。

【0058】

周期積層は好ましくは6分子層以下である。閃亜鉛鉱構造を有する材料の場合には、1分子層厚は格子定数の半分である。40

【0059】

従って、素子の活性領域の方向へのキャリヤの移動を向上させることが可能である。さらに、超格子領域はまた、傾斜屈折率領域を形成し得、これにより活性領域内の閉じ込めを向上させ得る。

【0060】

【発明の実施の形態】

上述のように、半導体レーザのガイド領域あるいはバリヤとクラッド領域とによって形成される閉じ込めバリヤのバンドギャップエネルギーを増大させ、これにより閾値電流を下げレーザ発振波長を短くすることが必要である。ZnMgSSeにおけるSおよびMgの50

割合を変えることによりそのバンドギャップを増大させることは可能であるが、これには必要な S および Mg の量が非常に多くなるため、結晶構造が MgS に類似してくる。この結果、MgS の安定結晶構造は岩塩構造であるため、結晶品質が劣化する。従って、結晶品質の観点から、ZnMgSSe における S および Mg の組成には上限がある。しかし、この上限は、超格子構造を用いることで、岩塩構造ではなく閃亜鉛鉱構造を有する MgS 膜を成長させることにより無効とすることができます。MgS_ySe_{1-y} (0 < y < 1) の膜厚が十分に薄ければ、閃亜鉛鉱構造の MgS_ySe_{1-y} を ZnS_xSe_{1-x} (0 < x < 1) 上に成長させ得、また、MgS_ySe_{1-y} 層上に上部 ZnS_xSe_{1-x} 層を成長させれば、MgS_ySe_{1-y} 層の閃亜鉛鉱構造は安定する。これらの層は積層して形成され、層間のバンド不連続により、図 3 に示すように、理論上の最大バンド不連続値、E_c (伝導帯エネルギー変化) が 0 ~ 1115 meV、および E_v (価電子帯エネルギー変化) が 0 ~ 736 meV となる超格子が形成され得る。図 3 は、価電子帯での 2 つのエネルギー準位を示す。これらの準位はライトホール (1h) およびヘビーホール (hh) に関連する。

【0061】

交互に積層された第 1 および第 2 の半導体層を有する構造内で、層厚が薄くなるときミニバンドが形成される。ミニバンドの形成は、「矩形井戸」または「ボックス内の粒子」として知られる量子力学問題の多重解法の重ね合わせとして考えられ得る。要約すれば、「矩形井戸」の問題は、幅 L_z (0 から L_z まで延びる) の無限の深さの井戸に対して、シユレディンガー方程式、

【0062】

【数 2】

10

$$\frac{-\hbar^2}{2m} \frac{d^2\Psi}{dz^2} = E\Psi$$

【0063】

を解くことを意味する。この解法では、境界条件としては、波動関数が井戸の端部でゼロになる。従って、解は、

【0064】

【数 3】

30

$$E_n = \frac{\hbar^2}{2m} \left(\frac{n\pi}{L_z} \right)^2 \quad \text{但し } n=1,2,3$$

【0065】

で与えられる。ただし、m は粒子の有効質量、h はプランク定数 / 2 、 は量子波動関数であり、また z がボックス内の位置であるとき

【0066】

【数 4】

40

$$\Psi_n = A \sin \frac{n\pi z}{L_z}$$

【0067】

である。

【0068】

50

しかし、井戸の高さが有限になると、波動関数は井戸の閉じ込めより外側に非ゼロ値を取り得る。さらに、この解は、偶数（対称）解および奇数（非対称）解の両方を含む。

【0069】

- L / 2 から + L / 2 まで延びる井戸のための有限井戸方程式による解は、井戸内に

【0070】

【数5】

$$\cos \frac{n\pi Z}{L}$$

10

【0071】

に近似する偶数解、および井戸内に

【0072】

【数6】

$$\sin \frac{n\pi Z}{L}$$

【0073】

20

に近似する非対称解を与える。各解はまた、井戸の外側に延びる減衰波を有する。

【0074】

有限の矩形井戸のエネルギー準位は、無限に深い井戸の解の対応する準位に類似するが、これより僅かに低い。

【0075】

図4は、ZnSe層およびMgS層を交互に積層することによって形成される一連の井戸の1つである、有限井戸内のホールの最初の3つのエネルギー準位（この図のE₁、E₂、E₃の3つのエネルギー準位）に対する、シュレディンガー方程式への解を示す。厚さは、結晶の分子層厚によって測定される（1分子層の厚さは、ほぼ2.82 μmに等しい）。井戸およびバリアの厚さは実質的には同一である。

30

【0076】

井戸およびバリア層の幅が厚く、隣接する井戸からの減衰波動関数の値が実質的にゼロであるとき、各井戸は隣接する井戸から効果的に分離される。井戸およびバリアの幅の減少により、E_nは井戸の幅に反比例することから予期され得るように、解のエネルギー準位は上昇する。井戸およびバリアの幅がさらに減少すると、他の井戸の減衰波動関数（これらの対称および非対称解は異なる値を有する）が、井戸内に有意の非ゼロ値を有し始め、これにより、エネルギーレベル解が一連の値に分割される。一連の量子井戸の形成の結果、エネルギー準位は、図4の斜線領域によって示されるように、バンド内に連続体を形成する。

【0077】

40

図5は、ZnSe4分子層およびMgS2分子層を10周期繰り返したひずみ超格子内のヘビーホールの、透過率対エネルギーを示す。透過率は0.9まで高くなる。

【0078】

上述のように、青色光を生成させるためには、閉じ込めバリア領域のバンドギャップエネルギーを増大させることが必要である。ZnMgSSeのバンドギャップエネルギーが増大すると共に、アクセプタ濃度（Na - Nd）が急激に減少するため、伝導性が高くかつバンドギャップエネルギーが大きいZnMgSSe膜を得るのは困難である。変調ドーピングによりこれらの問題を解決し得る。しかも、本発明では、超格子の周期が十分小さいためミニバンドを形成することができ、キャリヤはミニバンドを通って移動するため（図6）、ホッピング（図2）伝導に比して良好なキャリヤ輸送（伝導）が可能となる。超格

50

子の周期は、ミニバンドを形成するのに十分な薄さ、例えば、 d を厚さとすると、 $d_{ZnSe} = d_{MgS}$ であるとき、6 分子層より少ない厚さとすべきである。

【0079】

図6は、本発明の第1の実施例を構成する半導体素子内のエネルギー準位の概略図である。この準位図は、バリヤ12によって形成される複数の量子井戸10が存在することにおいては、図2に示す図に類似する。しかし、これらには2つの顕著な相違がある。第1の相違は、ミニバンド18を有する超格子領域13が形成されるように、量子井戸10およびバリヤ12が薄くされていることである(この特徴は図示されていない)。第2の相違は、ミニバンド18へのホールの注入およびミニバンド18から素子の活性領域2へのホールの注入のための、関連するホールのエネルギー準位に関する条件が満たされているということである。ミニバンド18のエネルギーが、超格子領域13と共に本実施例のクラッド領域4からなる注入領域20のエネルギー準位と同じであるかまたはこれに十分に近い場合、ホール注入条件は満たされる。ミニバンド18の最小エネルギー準位21が、超格子領域13と素子の活性領域2との間に位置するガイド領域3の価電子帯のエネルギー準位より大きいかまたはこれと同じである場合、ホール注入条件は満たされる。これでホールは注入領域20からミニバンド18を経て活性領域2へと通過し得る。

【0080】

領域3より大きいかまたはこれに等しい、および領域20に等しいかまたはこれより小さい最小エネルギー準位を有するようなミニバンド18の形成は、超格子のバリヤ12が、素子の活性領域2より大きいバンドギャップを有する半導体材料よりなることを必要とする。ミニバンド18のエネルギーが、注入領域20のエネルギーより僅かに大きい場合でも、ホールは熱によりミニバンドの方へ注入され得る。

【0081】

図7の実施例では、ミニバンド18を有する超格子領域13は、ガイド領域3とクラッド領域4との間に組み込まれ得る。クラッド領域は、本実施例では、ホールをミニバンド18に注入する注入領域20によって形成される。LED素子では、このようなガイド領域3は省略され、超格子領域13自体が活性領域2のためのキャリヤ閉じ込めバリヤを形成する。このような場合には、ミニバンド18の最小エネルギー準位が閉じ込めバリヤのエネルギー準位に等しい。

【0082】

図8の実施例では、ミニバンド18を有する超格子領域13は、クラッド領域4内に形成される。LED素子では、ガイド領域3は省略され、クラッド領域4が活性領域2のためのキャリヤ閉じ込めバリヤを形成する。このような場合には、ミニバンド18の最小エネルギー準位は、閉じ込めバリヤのエネルギー準位に等しい。

【0083】

図9の実施例では、素子は、ミニバンド18を有する超格子領域13がガイド領域3とクラッド領域4との間に組み込まれている点において、図7の素子に類似する。しかし、本実施例では、活性領域2は、バリヤ2bによって分離される多数の量子井戸2aによって形成されるMQWからなる。ホール注入が有効に行われる条件は、ミニバンド18の最小エネルギー準位21がバリヤ2bのエネルギー準位より大きいかまたはこれに等しいことである。

【0084】

図10の実施例では、素子は、ミニバンド18を有する超格子領域13がガイド領域3とクラッド領域4との間に組み込まれている点において、図7の素子に類似する。しかし、本実施例では、超格子領域13の井戸10を形成するバルク材料のエネルギー準位は、活性領域2のエネルギー準位より小さい。

【0085】

図11は、複数のII-VI族化合物半導体のバンドギャップエネルギーおよび格子定数を示す。ZnSeおよびMgSの格子定数は、各々、5.6681_および5.62_であり、これらはGaAs基板(5.653_)にほぼ格子整合される。ZnSeの格子

10

20

30

40

50

定数は GaAs の格子定数より僅かに大きく、 MgS の格子定数は GaAs の格子定数より僅かに小さい。従って、 ZnSe - MgS 超格子の内部応力は、層厚を適切に選択することによってゼロに等しくされ得る。 $d_{ZnSe} = 2 d_{MgS}$ であるとき、応力はほぼ完全に相殺される。さらに、 $ZnSe_x - MgS_y$ ($0 < x, y < 1$) における x および y の適切な組成を選択することによって、超格子は GaAs に完全に格子整合し得る。また、ひずみの均衡した適当な組成物の混晶を用いると、 $ZnSe_x - MgS_y$ ($0 < x, y < 1$) 超格子の内部応力はほとんどゼロに等しくなり得る。

【0086】

基板に完全な格子整合、もしくは、内部応力を超格子内でバランスさせ、ゼロに等しくすることで、高品質の超格子構造ならびに超格子部分を含む素子構造を作製することができる。

10

【0087】

化合物 $ZnSe_x$ および MgS_y のなかで、 $ZnSe$ ($x = 0$) および MgS ($y = 1$) は 2 元化合物であり、従って、最も高い組成制御性を有する。また、 $ZnSe_{1-x}$ および MgS_{y-1} は、 $ZnMgSSe$ 4 元化合物と比較すれば大きい組成制御性を有する。

【0088】

超格子を組み込んだ素子の特性を調べるために、一連の実験を行った。

【0089】

先ず、 $ZnSe - MgS$ ひずみ超格子のホトルミネセンス (PL) スペクトルの MgS バリヤ層厚依存性を調べた。ひずみ超格子を、以下の成長条件、すなわち、 GaAs 基板、基板温度 275°C、Zn、Se、Mg、および S のビーム等価圧力が各々 6×10^{-7} 、 1.4×10^{-6} 、 1.0×10^{-7} 、および 2×10^{-7} Torr の条件下で、分子線エピタキシによって成長させた。

20

【0090】

図 12 は、15 秒の $ZnSe$ 成長時間を示し、ならびに各々、この図の 12a は 10 秒、この図の 12b は 20 秒、およびこの図の 12c は 30 秒の MgS 成長時間にて作製した $ZnSe - MgS$ ひずみ超格子の 77K での PL スペクトルを示す。量子化エネルギー準位による発光のピークエネルギーは、各々、(a) 3.19 eV、(b) 3.31 eV、および (c) 3.39 eV であった。ひずみ超格子のすべてと $ZnSe$ との間のバンドギャップエネルギー差は 0.3 eV より大きく、このことは、これらのひずみ超格子がクラッド領域または閉じ込めバリヤ領域として有望であることを意味する。

30

【0091】

第 2 の実験では、 $ZnSe - MgS$ ひずみ超格子の PL スペクトルの、 $ZnSe$ 井戸層厚依存性を調べた。ひずみ超格子を、以下の成長条件、すなわち、 GaAs 基板、基板温度 275°C、Zn、Se、Mg、および S のビーム等価圧力が各々 8×10^{-7} 、 1.8×10^{-6} 、 1.0×10^{-7} 、および 2×10^{-7} Torr の条件下で、分子線エピタキシによって成長させた。

30

【0092】

図 13 は、10 秒の MgS 成長時間を示し、この図の 13a では 10 秒およびこの図の 13b では 20 秒の $ZnSe$ 成長時間を有する $ZnSe - MgS$ ひずみ超格子の 77K での PL スペクトルを示す。量子化エネルギー準位による発光のピークエネルギーは、各々、(a) 3.20 eV および (b) 2.98 eV であった。より薄い $ZnSe$ 井戸層厚を有するひずみ超格子 (図 13a) と $ZnSe$ との間のバンドギャップエネルギー差は 0.3 eV より大であり、これは、より薄い $ZnSe$ 井戸層厚を有するひずみ超格子がクラッド領域または閉じ込めバリヤ領域としてより有望であることを意味する。

40

【0093】

次に、C1 をドープしたひずみ超格子を成長させた。2 つの異なる型の C1 ドープひずみ超格子を図 14 および図 15 に示す。

【0094】

50

図14に示す素子は、n型GaAs基板30上面にn型ZnSeバッファ層32を備えている。このバッファ層32の上にアンドープZnSe-MgSひずみ超格子34が形成され、ひずみ超格子34の上にn型ZnSeキャップ層36（およびバッファ層）が形成される。これはn-i-n（C1ドープZnSe、アンドープ超格子、C1ドープZnSe）構造を形成する。ひずみ超格子34は、基板温度275°C、Zn、Se、Mg、およびSのビーム等価圧力が各々 8×10^{-7} 、 1.8×10^{-6} 、 1.0×10^{-7} 、および 2×10^{-7} Torr、ならびにZnCl₂のKセル温度が147°Cの条件下で、分子線エピタキシによって成長させた。インジウム電極38を基板1の裏面に形成し、また半径200μmの別のインジウム電極40を真空蒸着によりキャップ層36の上に形成する。

【0095】

10

図15は、図14に示す素子に類似するが、アンドープZnSe-MgSひずみ超格子34がn型ZnSe-MgSひずみ超格子42に置き換わり、これにより、n-n-n（C1ドープZnSe、C1ドープ超格子、C1ドープZnSe）構造が形成される。

【0096】

図16の16aは図13に示す素子のPLスペクトルを示す。図16の16bは図14に示す素子のPLスペクトルを示す。両素子共に、量子化工エネルギー準位からの発光による3.21eVのピークエネルギーを示す。

【0097】

図17は、図14および図15に示す素子の電流-電圧特性を示す。ラインAは図14に示す素子に関し、ラインBは図15に示す素子に関する。図示するように、図15のn-n-n構造は、図14に示すn-i-n構造より良好な電流の流れを示す。これは、C1ドーピングがひずみ超格子内で効率的に働くことを示している。

20

【0098】

窒素をドープしたひずみ超格子を有する別の2つの素子も作製した。図18に示す素子は、上部にp型ZnSeバッファ層52を形成したp型GaAs基板50を有する。層52の上にアンドープZnSe-MgSひずみ超格子34が形成され、層34の上にp型ZnSeキャップ層54が形成される。ひずみ超格子34は以下の条件、すなわち、基板温度275°C、Zn、Se、Mg、およびSのビーム等価圧力が各々 8×10^{-7} 、 1.8×10^{-6} 、 1.0×10^{-7} 、および 2×10^{-7} Torrの条件下で、分子線エピタキシによって成長させた。これにより、p-i-p（NドープZnSe、アンドープ超格子、NドープZnSe）構造が形成される。窒素のドーピングは、入力パワー250Wおよびバックグラウンド圧力 4.2×10^{-7} Torrのラジカルなドーピング方法によって行われた。

30

【0099】

インジウム電極38を基板50裏面に形成し、半径200μmの金電極56をキャップ層54の上に形成する。

【0100】

図19に示す素子は、図18に示す素子に類似するが、アンドープひずみ超格子34がp型ZnSe-MgSひずみ超格子58に置き換わり、これにより、p-p-p（NドープZnSe、Nドープ超格子、NドープZnSe）構造が形成される。

40

【0101】

図20の20aは、図18に示す素子の77KでのPLスペクトルを示す。図20の20bは、図19に示す素子の77KでのPLスペクトルを示す。両素子共に、量子化工エネルギー準位からの発光により3.21eVのピークエネルギー準位を示した。

【0102】

図21は、図18および図19に示した素子の電流-電圧特性を示す。ラインAは図18に示す素子に関し、ラインBは図19に示す素子に関する。図のように、図19に示すpドープひずみ超格子58を有する素子は、図18に示す素子に比べて、電流の流れが向上している。これは、Nドーピングがひずみ超格子内で効率的に働くことを示している。

【0103】

上記の結果は、ZnSe-MgSひずみ超格子がクラッド層またはキャリヤバリヤ層とし

50

て有望であることを示す。

【0104】

次に、図22に示すレーザは、n型GaAs基板30上部にn型ZnSeクラッド層60を備えている。n型ZnSeクラッド層60の上にはZn_{0.8}Cd_{0.2}Se活性層62が配置され、活性層62の上にはp型ZnSeクラッド層64が形成される。最後に、p型クラッド層64の上にp型コンタクト層66が形成される。インジウム電極38が基板30と接触して形成され、5μm幅の金電極68がp型コンタクト層66と接触して形成される。ウェハを分割し、1mmのキャビティ長を有するレーザチップを作製する。レーザはジャンクションアップの配置で銅製ヒートシンク上に取り付けられる。

【0105】

次に図23に示す第2のレーザは、図22のレーザと実質的に同一であるが、活性層62とp型ZnSeクラッド層64との間にp型ZnSe-MgSひずみ超格子58が形成される点で異なる。超格子58はミニバンドを含み、活性層62に対するキャリヤ閉じ込めバリアを形成する。ミニバンドの最小エネルギー準位はこのバリアのエネルギー準位に等しい。

【0106】

図22および図23のレーザの電流対光出力特性を、パルス幅が2msで1/500デューティサイクルのパルスマードで77Kで測定した。レーザミラーはへき開端面により形成され、第2のレーザ(図23)のひずみ超格子58は、4分子層ZnSeと2分子層MgSとを20周期繰り返したものより構成された。

【0107】

これらレーザの電流対光強度特性を図24に示す。ひずみ超格子を有する第2のレーザ(図23)は10mAの閾値電流を示し、これは、ひずみ超格子のない同等のレーザの3分の1であった。これにより、ZnSe-MgSひずみ超格子は、電子のオーバフローを抑制した良好なホール移動を促進するのに効果的であることが分かる。レーザ発振波長は490nmであった。

【0108】

次に、図25に示す第3のレーザはn型GaAs基板30の上部にn型ZnSeバッファ層32を備えている。n型ZnSeバッファ層32の上にはn型ZnSe_{0.07}Se_{0.93}クラッド層70が配置され、クラッド層の上にはn型ZnSe-MgSひずみ超格子42が形成される。ひずみ超格子42の上にはZnSe活性層72が形成され、活性層の上にはp型ZnSe-MgSひずみ超格子58が形成される。超格子42および58の各々は活性層72に対するキャリヤ閉じ込めバリアを形成し、各々がミニバンドを有する。ミニバンドの最小エネルギーレベルは、バリアのエネルギー準位に等しい。ひずみ超格子58の上にはp型ZnSe_{0.07}Se_{0.93}クラッド層74が形成され、最後に、クラッド層74の上にp型コンタクト層66が形成される。インジウム電極38が基板30裏面に形成され、ストライプ状の電極68がコンタクト層66と接触して形成される。レーザは室温で480nmより短いレーザ発振波長を示し、これは77Kでは460nmより短い。これらレーザ発振波長はZnMgSSe4元化合物を用いることによって得ることは極めて困難である。

【0109】

次に、図26に示す第4のレーザは図25に示すレーザに類似するが、n型クラッド層70と活性層72との間に形成されたn型ZnSe-MgSひずみ超格子42が省略されている点で異なる。レーザ発振は波長445nmで77Kで観察された。

【0110】

図25および図26に示す素子では、ひずみ超格子構造は、4分子層のZnSeと2分子層のMgSとを20周期繰り返したものより構成された。

【0111】

傾斜屈折率(graded index)分離閉じ込めヘテロ構造(GRINSCH)レーザを作製した。素子は図27に示す構造を有し、図25に示す素子の構造と類似するが、活性領域7

10

20

30

40

50

2の両側のひずみ超格子42および58が、変調周期ひずみ超格子76および78に置き換えられている点で異なる。変調周期ひずみ超格子の井戸層およびバリヤ層の層厚比は、活性層の方向に変動し、これにより、図28に概略を示すように、グレーディッドなエネルギー・バンドプロファイルが得られる。各超格子42および58は、活性領域72のためのキャリヤ閉じ込めバリヤを示し、ミニバンドを含む（図28には図示せず）。ミニバンドの最小エネルギー準位はバリヤのエネルギー準位に等しい。1つの変形例では、超格子は、GRINSCH構造の平坦なクラッド領域にあり、この超格子のミニバンドは、GRINSCH構造のグレーディッド領域の最小エネルギー準位に等しいかまたはこれより大きい。

【0112】

図29は、基板（図示せず）上に形成されたMg_{0.1}ZnSeクラッド層90を有するレーザのエネルギー準位図である。層90の上に厚さ500のZnSeガイド層92が形成され、さらに、厚さ50～100のCd_{0.2}ZnSe活性層94が形成される。活性層94は、ガイド層92と同一の別のガイド層96によって覆われる。厚さ200のMg_{0.1}ZnSeクラッド層98が、ガイド層96と超格子100との間に光閉じ込め領域を提供する。クラッド層98と超格子100とがクラッド領域を形成する。このようなクラッド領域とガイド層96とは、活性層94に含まれるキャリヤのための閉じ込めバリヤとして作用する。超格子100は、厚さ5.65のMgS層と厚さ11.13のZnSe層とを10回繰り返したものとなる。図29は、このような素子の伝導帯の電子および価電子帯のホールの相対エネルギー準位を示す。図29はまた、電子およびホールによって見られる、超格子100に形成された量子井戸の深さを示す。点線104および106はミニバンド107の境界を概略的に示し、ライン108は、バリヤを形成する半導体層中のアクセプタエネルギー準位を示す。

【0113】

この素子を駆動させると、電子およびホールは活性層94によって形成される量子井戸内で再結合する。ガイド層92および96は活性領域94のためのバリヤ領域を形成し、層92～96は素子内の光ガイド層を形成する。光放射ならびに電子およびホールは、クラッド層90および98ならびに超格子100によって閉じ込められる。電子はクラッド層90に注入され、活性層94の方向に移動する。活性層94を超えて移動する電子は、点線101で示す172meVの効果的なバリヤを形成する超格子100によって反射される。ホールはヘビーホールミニバンド107に注入される。ホールは次に活性層94の方向に移動する。ホールのミニバンド107での移動は、超格子100内の少なくともバリヤ層をドープすることによって向上する。Eaは、ドーピングによってバリヤ層に注入されたアクセプタの活性エネルギーを表す。従って、超格子100は電子を閉じ込めると共に、ホールの移動を向上させるように作用する。

【0114】

図30は、図29を参照して述べた素子に類似するレーザのエネルギー準位の図である。図30のレーザでは、超格子100が、厚さ8.47のMg_{0.1}ZnSe層と厚さ14.31のMg_{0.4}ZnSe層とを10回繰り返したものとなるpドープ超格子102に置き換えられている。これにより、超格子のバンドギャップは図29に示す素子に較べて小さくなる。図30に示す素子の機能は図29に示す素子と同様である。

【0115】

図31は、図29および図30を参照して述べた素子に構造が類似するレーザのエネルギー準位の図である。図31のレーザでは、活性層94がIn_{0.2}Ga_{0.8}Nよりなる量子井戸110または多量子井戸構造に置き換えられ、ガイド領域112および114がIn_{0.05}Ga_{0.95}Nよりなり、またクラッド層116および118がAl_{0.2}Ga_{0.8}Nよりなる。超格子100は、厚さ11.4のAl_{0.2}Ga_{0.8}N層と厚さ6.68のAl_{0.5}Ga_{0.5}N層とを10回繰り返したpドープ超格子120に置き換えられている。図31に示す素子の機能は図29に示す素子と同様である。

【0116】

図32は、図31を参照して述べた素子に構造が類似するレーザのエネルギー準位の図である。図32のレーザでは、超格子120が、厚さ6.84のGaN層と厚さ4.565のAlN層とを10回繰り返したpドープ超格子122に置き換えられている。この超格子内のひずみは超格子の設計により均衡化され得る。図32に示す素子の機能は図29に示す素子と同様である。

【0117】

本発明の上記の実施例のいずれにおいても、活性層／領域は単一量子井戸構造でも多量子井戸構造でもよい。後者の場合は、ミニバンドの最小エネルギー準位は、多量子井戸構造のバリヤのエネルギー準位より大きいかまたはこれに等しい。

【0118】

ミニバンドの形成は、II-VI族半導体のみによって形成された素子に限定されない。本発明の実施例を構成する素子はまた、(AlGaN)Pおよび(AlGaN)N合金などのIII-V族半導体系からも形成され得る。

【0119】

従って、室温で連続動作し得る青色光レーザダイオードを提供することが可能である。

【0120】

【発明の効果】

本発明によれば、活性領域と、第1超格子領域と、該活性領域と該第1超格子領域との間に設けられるガイド領域とを有し、該第1超格子領域はバリヤ層によって互いに分離される複数の量子井戸を有する第1および第2半導体の積層パターンからなり、該パターンの積層膜厚は、該第1超格子領域内にミニバンドが形成されるように十分に薄くされる、半導体素子であって、該ミニバンドを通じてキャリヤが輸送される、半導体素子が提供される。

【0121】

この構成により、素子の活性領域の方向へのキャリアの移動を向上させることができるとなる。さらに、超格子領域はまた、傾斜屈折率領域を形成し得、これにより活性領域内の閉じ込めを向上させ得る。このようなことから、室温で連続動作し得る青色光レーザダイオードを提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】従来の分離閉じ込めヘテロ構造レーザダイオードのエネルギー準位の概略図。

【図2】Suemune(上述)によって開示された変調ドーピング方法におけるエネルギー準位の概略図。

【図3】隣接するMgS層およびZnSe層のバンドギャップの概略図。

【図4】量子井戸内のホールのエネルギー準位、およびミニバンドを形成するための準位の拡張を示す概略図。

【図5】本発明の実施例を構成する素子の、透過率対エネルギー準位を示す図。

【図6】本発明の第1の実施例を構成する半導体素子の、キャリヤホールエネルギー準位対変位を示す概略図。

【図7】本発明の第2の実施例を構成する半導体素子の、キャリヤホールエネルギー準位対変位を示す概略図。

【図8】本発明の第3の実施例を構成する半導体素子の、キャリヤホールエネルギー準位対変位を示す概略図。

【図9】本発明の第4の実施例を構成する半導体素子の、キャリヤホールエネルギー準位対変位を示す概略図。

【図10】本発明の第5の実施例を構成する半導体素子の、キャリヤホールエネルギー準位対変位を示す概略図。

【図11】様々な半導体のバンドギャップおよび格子定数を示す図。

【図12】12a～12cは、様々なひずみ超格子のホトルミネセンス(PL)スペクトルを示す。

【図13】13aおよび13bは、別のひずみ超格子のPLスペクトルを示す。

10

20

30

40

50

【図14】上記の超格子の効果を調べるための、超格子を組み込んだ素子を示す。
【図15】上記の超格子の効果を調べるための、超格子を組み込んだ素子を示す。
【図16】16aおよび16bは、図14および図15に示す素子のPLスペクトルを示す。

【図17】図14および図15に示す素子のI-V特性図。
【図18】上記の超格子の効果を調べるための、超格子を組み込んだ素子を示す。
【図19】上記の超格子の効果を調べるための、超格子を組み込んだ素子を示す。
【図20】20aおよび20bは、図18および図19に示す素子のPLスペクトルを示す。

【図21】図18および図19に示す素子のI-V特性図。
【図22】本発明の実施例を構成しないレーザを示す。
【図23】図22に示すレーザと類似するが本発明の実施例を構成するレーザを示す。
【図24】図22および図23に示す素子の、出力光強度対電流を比較する図。
【図25】本発明の別の実施例を示す。
【図26】本発明のさらに別の実施例を示す。
【図27】本発明のさらに別の実施例を示す。

【図28】図27に示す素子のエネルギー準位を示す図。
【図29】本発明のさらに別の実施例を構成するレーザのエネルギー準位を示す図。
【図30】本発明のさらに別の実施例を構成するレーザのエネルギー準位を示す図。
【図31】本発明のさらに別の実施例を構成するレーザのエネルギー準位を示す図。
【図32】本発明のさらに別の実施例を構成するレーザのエネルギー準位を示す図。

【符号の説明】

2、62、72、94 活性領域

2a、10 量子井戸

2b、12 バリヤ層

3、92、96 ガイド領域

4、64、70、74、90、98 クラッド領域

13、34、42、58、76、78、100、102 超格子領域

18、107 ミニバンド

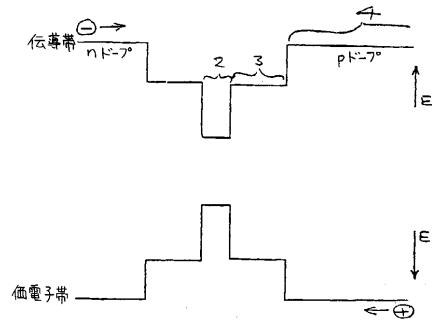
20 注入領域

10

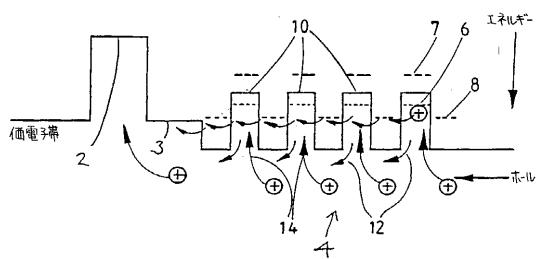
20

30

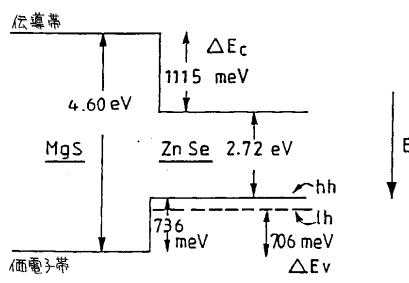
【図1】



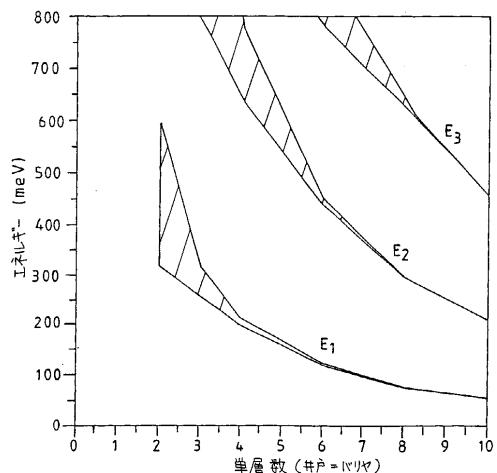
【図2】



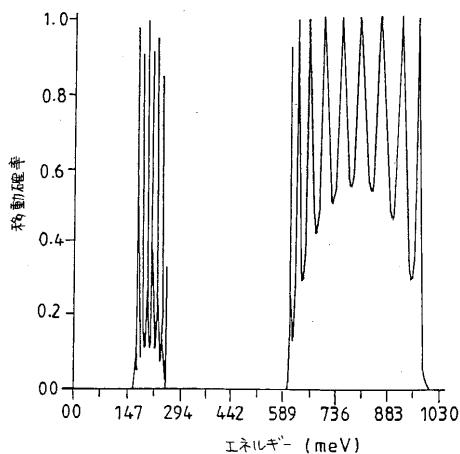
【図3】



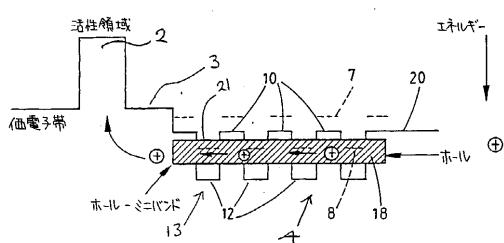
【図4】



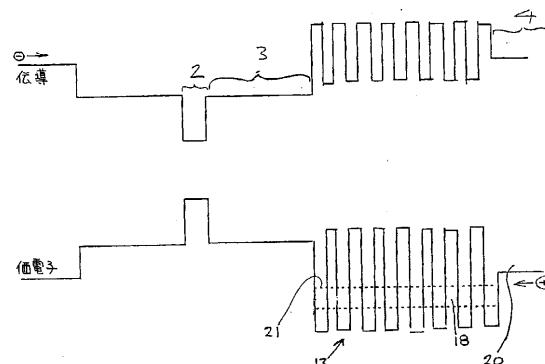
【図5】



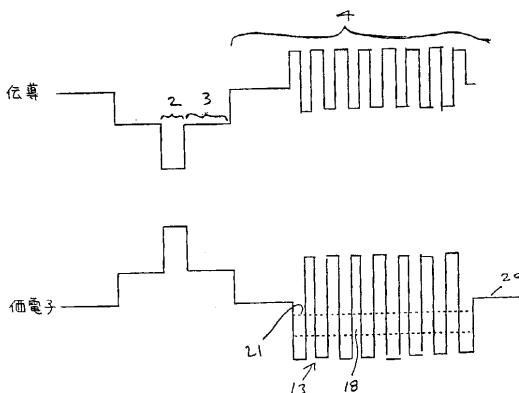
【図6】



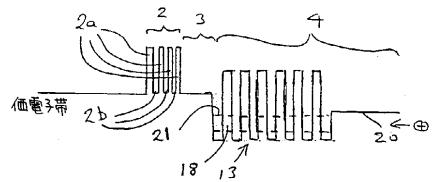
【図7】



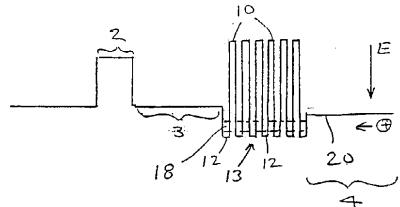
【図8】



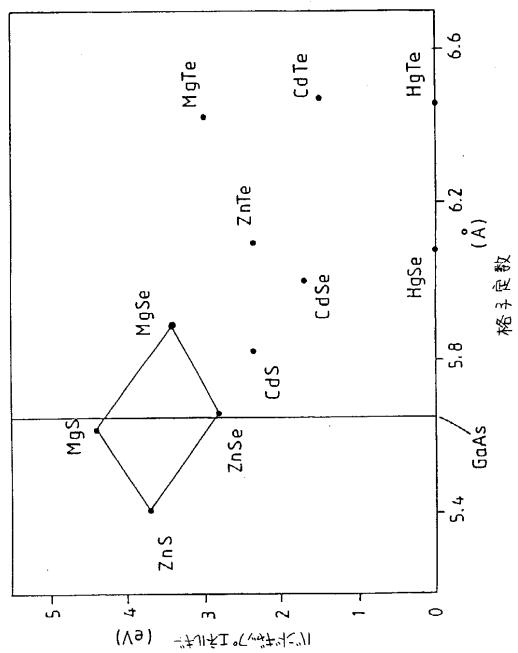
【図9】



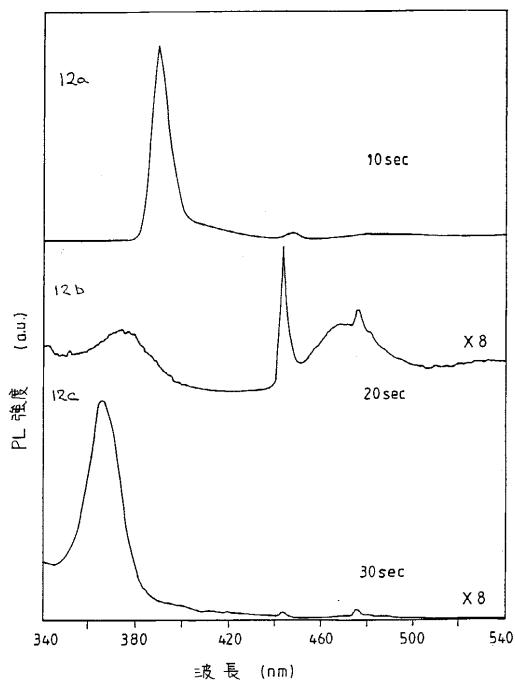
【図10】



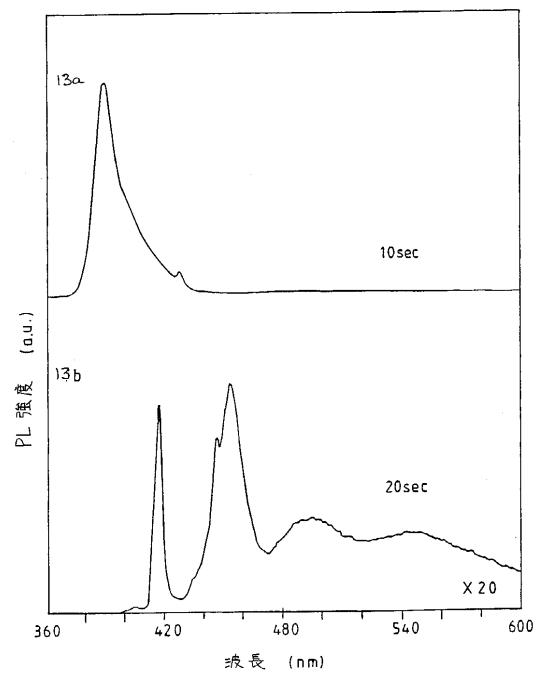
【図11】



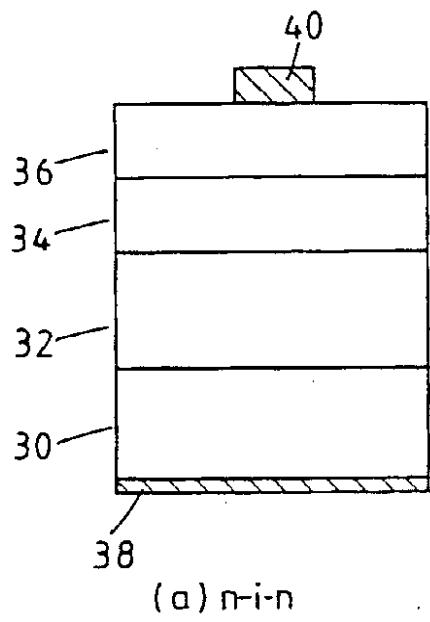
【図12】



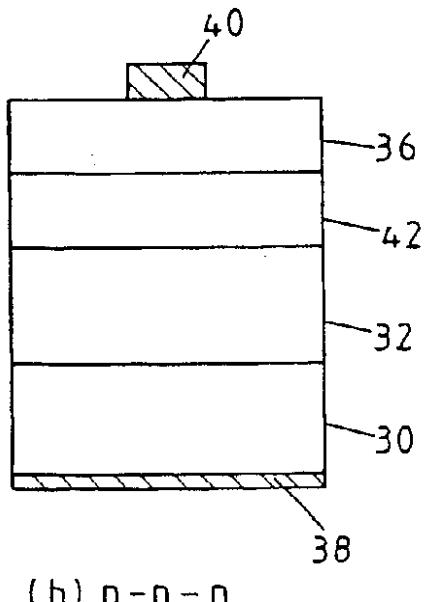
【図13】



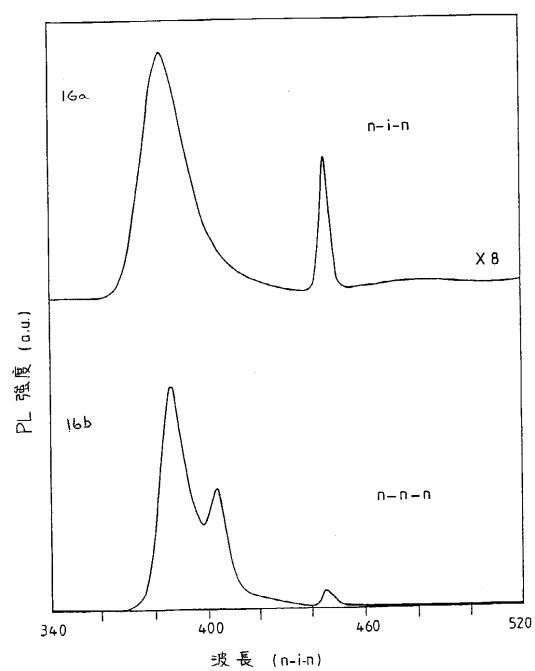
【図14】



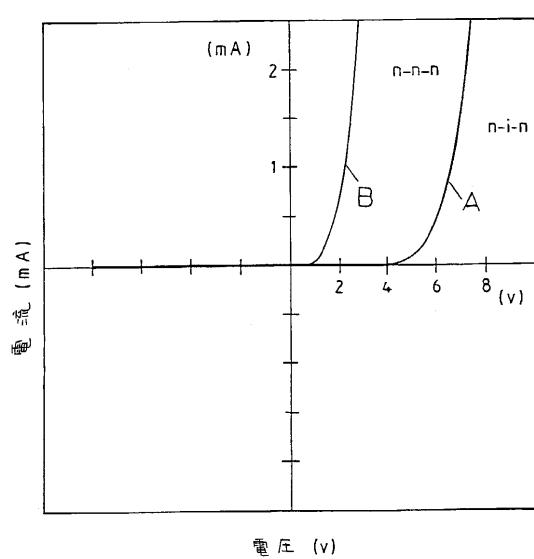
【図15】



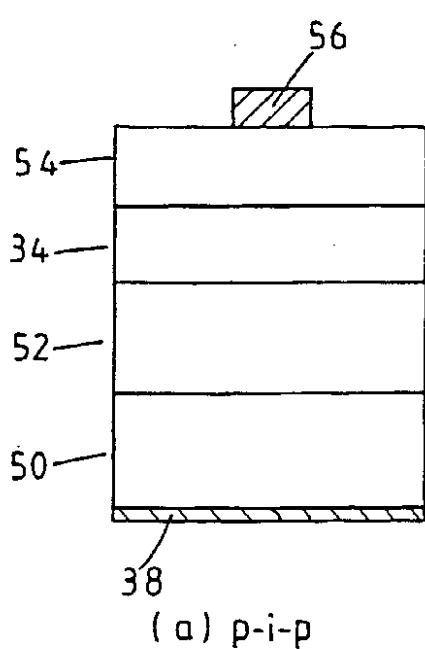
【図16】



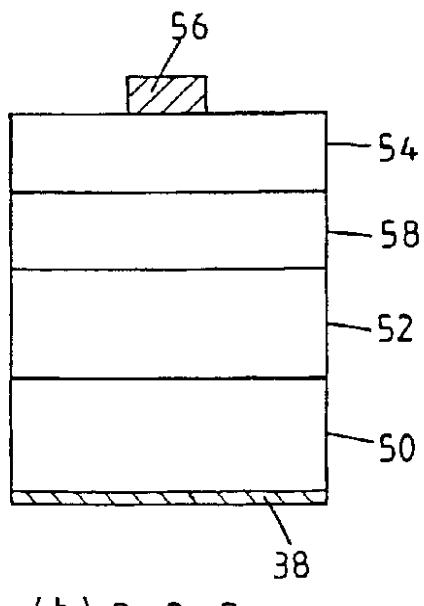
【図17】



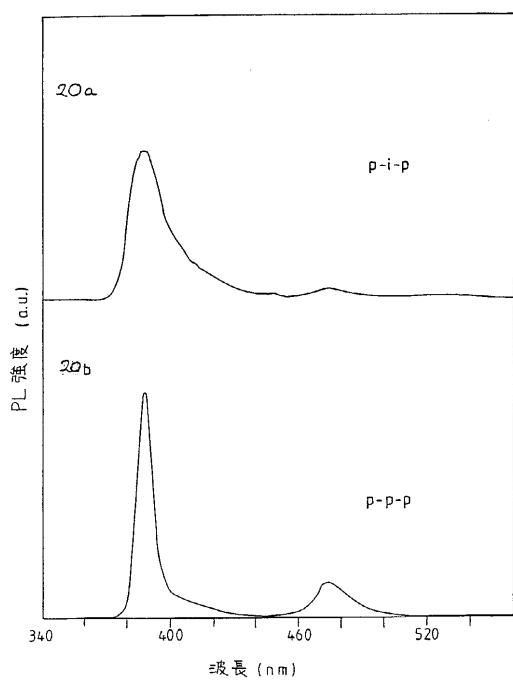
【図18】



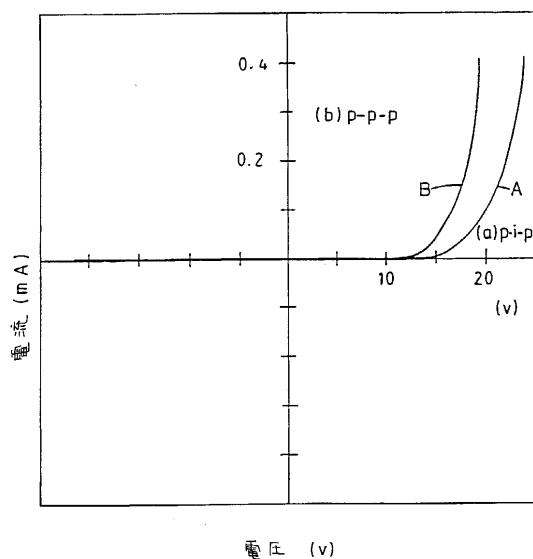
【図19】



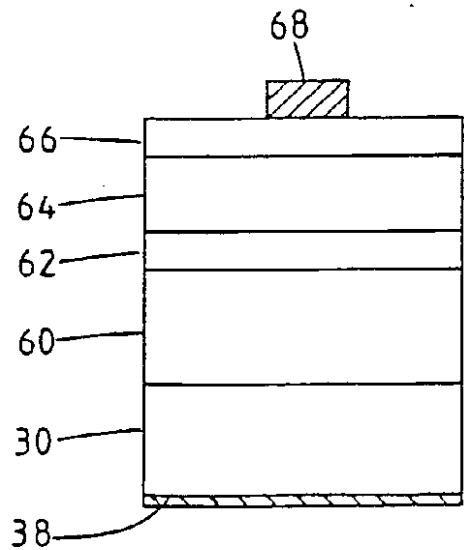
【図20】



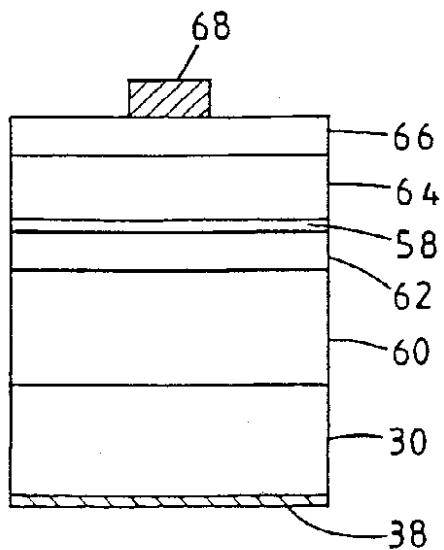
【図21】



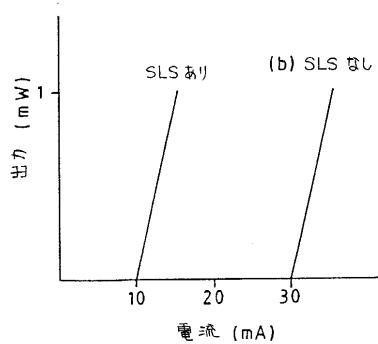
【図22】



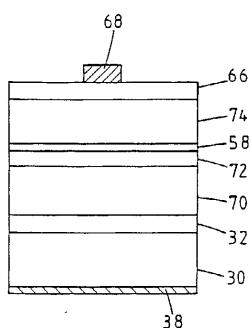
【図23】



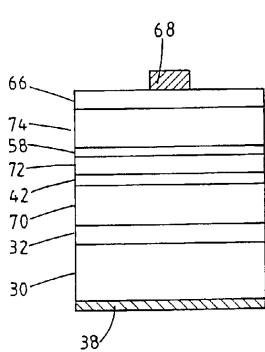
【図24】



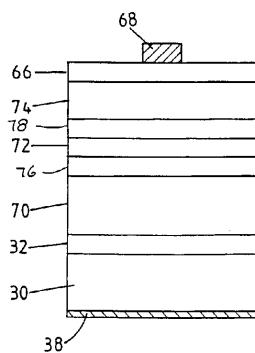
【図26】



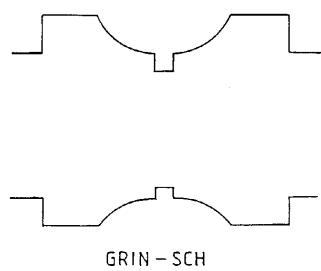
【図25】



【図27】

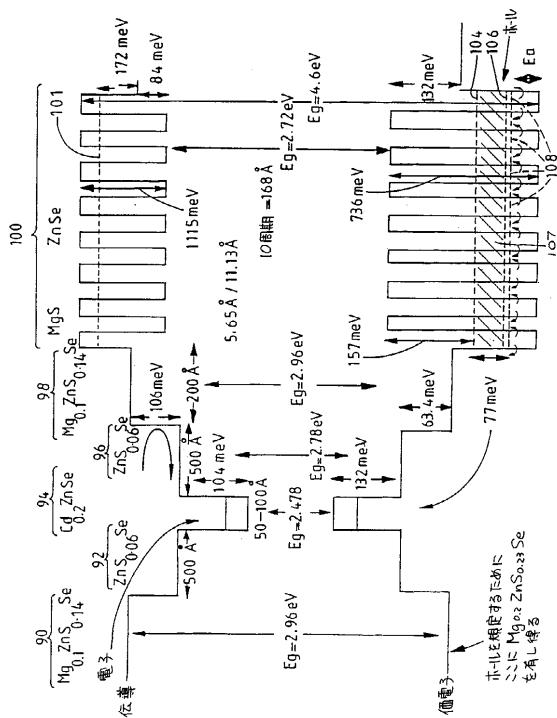


【図28】



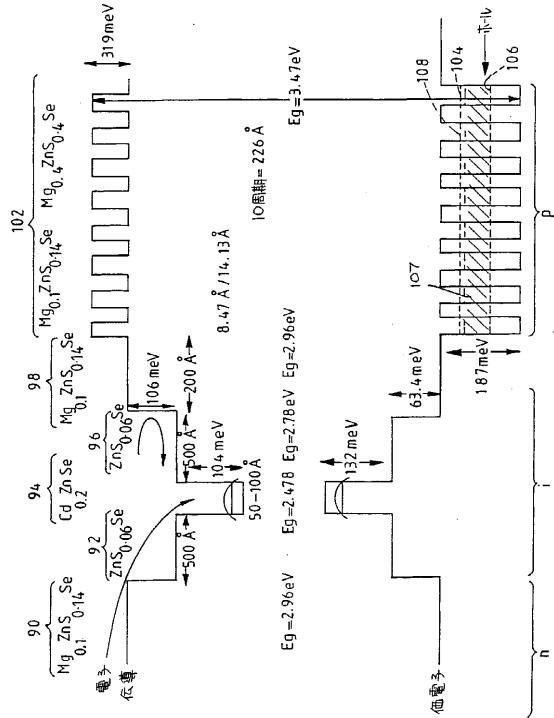
GRIN-SCH

【図29】

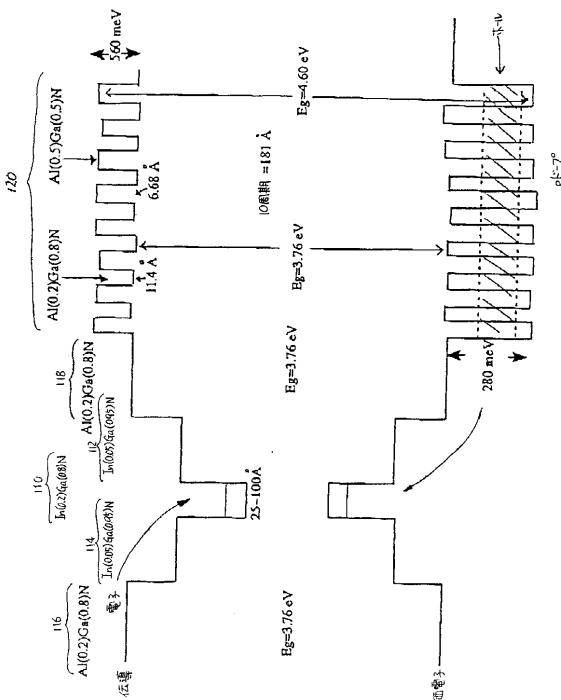


正孔準位
にMg_{0.2}Zn_{0.8}S_{0.33}Se
を有し得る

【図30】

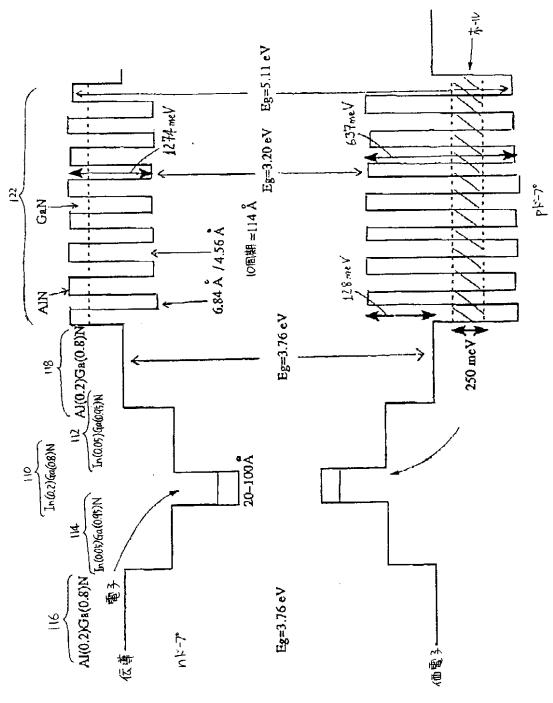


【図31】



$p = -7^\circ$

【図32】



フロントページの続き

(72)発明者 寺口 信明

奈良県北葛城郡広陵町三吉 277-1

(72)発明者 ジュディ メガン ロリソン

イギリス国 ジーエル54 5エスピー, チェルテンハム, ブロックハンプトン, ブロックハンプ
トン ミュース 2

(72)発明者 友村 好隆

奈良県奈良市六条西3-22-5-3

合議体

審判長 稲積 義登

審判官 鈴木 俊光

審判官 西村 直史

(56)参考文献 特開平1-296679(JP,A)

特開平1-298786(JP,A)

特開昭61-184895(JP,A)

特開昭61-264780(JP,A)

特開平3-257887(JP,A)

特開平7-15085(JP,A)

特開平8-125261(JP,A)

特開平5-275809(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01L33/00, H01S5/00 - 5/50