

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局(43) 国際公開日
2002 年 1 月 24 日 (24.01.2002)

PCT

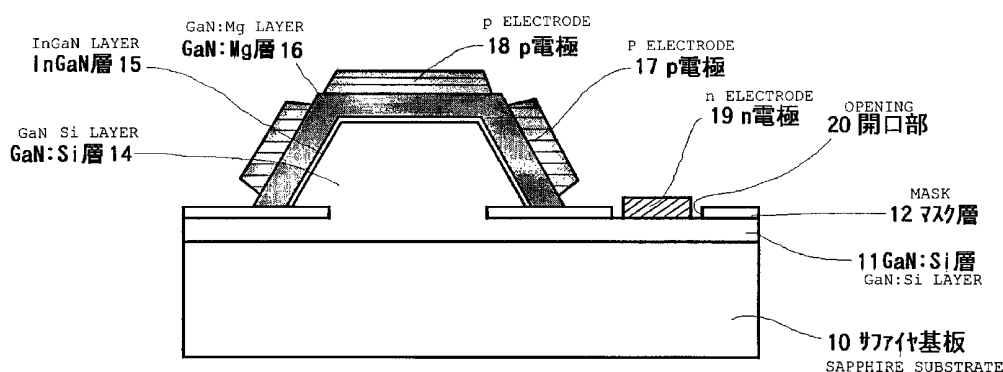
(10) 国際公開番号
WO 02/07232 A1

- (51) 国際特許分類: H01L 33/00 京都品川区北品川6丁目7番35号 ソニー株式会社内 Tokyo (JP).
- (21) 国際出願番号: PCT/JP01/06214
- (22) 国際出願日: 2001 年 7 月 18 日 (18.07.2001)
- (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2000-218116 2000 年 7 月 18 日 (18.07.2000) JP
特願2000-218109 2000 年 7 月 18 日 (18.07.2000) JP
特願2001-200148 2001 年 6 月 29 日 (29.06.2001) JP
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): ソニー株式会社 (SONY CORPORATION) [JP/JP]; 〒141-0001 東京都品川区北品川6丁目7番35号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者; および
- (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 奥山浩之 (OKUYAMA, Hiroyuki) [JP/JP]. 土居正人 (DOI, Masato) [JP/JP]. 琵琶剛志 (BIWA, Goshi) [JP/JP]. 大畑豊治 (OOHATA, Toyoharu) [JP/JP]; 〒141-0001 東
- (74) 代理人: 杉浦正知 (SUGIURA, Masatomo); 〒171-0022 東京都豊島区南池袋2丁目49番7号 池袋パークビル7 階 Tokyo (JP).
- (81) 指定国 (国内): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NO, NZ, PL, PT, RO, RU, SD, SE, SG, SI, SK, SL, TJ, TM, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VN, YU, ZA, ZW.
- (84) 指定国 (広域): ARIPO 特許 (GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZW), ユーラシア特許 (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ特許 (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, TR), OAPI 特許 (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).
- 添付公開書類:
— 国際調査報告書

[続葉有]

(54) Title: SEMICONDUCTOR LIGHT-EMITTING DEVICE AND SEMICONDUCTOR LIGHT-EMITTING APPARATUS

(54) 発明の名称: 半導体発光素子および半導体発光装置



(57) Abstract: A semiconductor light-emitting device that can be produced with fine tolerances without complexing the manufacturing process and without inviting degradation of crystallinity. A light-emitting device is fabricated by forming a selective crystal growth layer formed by selectively growing a Wurtzite compound semiconductor, a clad layer of first conductivity type formed on the selective crystal growth layer, an active layer, and a clad layer of second conductivity type. The active layer is the one extending parallel to different crystal faces, the one larger than the diffusion length of atoms forming a compound crystal, or the one comprising emission wavelength regions at least either the compositions or thicknesses of which are different from each other, and thereby the emission wavelengths of which are different from each other. Currents are injected into the emission wavelength regions, respectively. Thanks to the structure by selective growth, the bandgap energy varies in the same active layer, thereby producing a device and apparatus with fine tolerances without complexing the manufacturing process.

[続葉有]



2文字コード及び他の略語については、定期発行される各PCTガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

(57) 要約:

製造工程を複雑化させることなく、精度良く形成できかつ結晶性の劣化も招かない構造の半導体発光素子を提供する。ウルツ鉱型の化合物半導体を選択的に成長して形成された選択結晶成長層と、上記選択結晶成長層上に形成される第1導電型クラッド層、活性層、および第2導電型クラッド層とを有する発光素子を形成し、異なる結晶面に平行に延在する活性層や混晶構成原子の拡散長より大きな活性層、組成および厚さの少なくとも一方が異なる活性層を形成することで、発光波長が互いに異なる複数の発光波長領域を活性層に形成し、それら複数の発光波長領域にそれぞれ電流を注入可能とする。選択成長に基づく構造から、バンドギャップエネルギーの同一活性層内での変化が実現され、製造工程を複雑化させることなく、精度良く素子や装置が形成できる。

明 細 書

半導体発光素子および半導体発光装置

技術分野

- 5 この発明はウルツ（Wurtzite）鉱型の結晶構造を有する化合物半導体を用いた半導体発光素子および上記化合物半導体を用いた半導体発光素子を有する半導体発光装置、画像表示装置、および照明装置に関し、特に、ウルツ鉱型の結晶構造を有する化合物半導体を利用して多色や白色の発光を行う半導体発光素子および半導体発光装置、画像表示装置、および照明装置に関する。
- 10

背景技術

- 半導体発光素子として、これまでサファイア基板上に全面に低温バッファ層、Si（シリコン）をドーピングしたGaNからなるn側コンタクト層を形成し、その上にSiをドーピングしたGaNからなるn側クラッド層、SiをドーピングしたInGaNからなる活性層、MgをドーピングしたAlGaNからなるp側クラッド層と、Mg（マグネシウム）をドーピングしたGaNよりなるp側コンタクト層などを積層した素子が知られている。このような構造を有し市販されている製品として、450nmから530nmの波長を含む青色、緑色LED（Light Emitting Diode）が量産されている。
- 15
- 20

- ところで、青色、緑色、赤色の各色のダイオードやレーザを組み合わせることで各画素を構成し、各画素をマトリクス状に配列させて独立して駆動することで画像表示装置を構成することができ、また、青色、緑色、赤色の各色の発光素子を同時に発光させることで白色発光装置もしくは照明装置としても利用できる。特に窒化物半導体を用いた発光素子は、パ
- 25

ンドギャップエネルギーが約 1.9 eV から約 6.2 eV まであり、1 つの材料でフルカラーディスプレイが可能となるため、多色発光素子の研究が進められている。

同一の基板上に多色発光素子を形成する技術としては、発光波長の違いに応じてバンドギャップエネルギーの異なる複数の活性層を積層し、基板側の電極を共通としながら、他方の電極を色ごとに別個に形成した素子が知られており、電極取り出しのために階段状に形成された基板表面の各段が各色に対応する構造の素子が知られている。また、このように p n 接合を複数積層した素子は、同一素子内において発光素子がサイリスタのように動作する可能性があり、サイリスタ動作を防止するために階段状の部分ごとに溝を形成して各色ごとの分離をした素子も知られており、例えば特開平 9-162444 号公報に開示されている。また、特開平 9-92881 号公報に開示されている発光素子は、多色発光のために、アルミナ基板上に AlN バッファ層を介して InGa_N 層を形成し、その InGa_N 層の一部には Al をドーピングとして青を発光させ、他の一部には P をドーピングして赤を発色させ、InGa_N 層のノンドーピングの領域を緑の発光領域として多色化する。

しかしながら、上述の如き構造の半導体発光素子では、その製造工程が複雑化して、精度良く発光素子を形成することができず、さらに結晶性も劣化することから、良好な発光特性を得ることもできない。

すなわち、各色ごとの階段状の部分ごとに溝を形成して各色ごとに分離した素子においては、エッチングによってバンドギャップエネルギーの異なる各活性層の領域を隔離するため、複数回の異方性エッチングが必要となる。ところが、一般に、ドライエッチングによっては基板や半導体層の結晶性が劣化することがあり、特に複数回のエッチングを施した場合では、第 2 回目以降のエッチングではエッチングによって露出し

た基板表面からの結晶成長によって素子を形成することになり、結晶性を良質に保つことが困難である。また、複数回のエッチングを施す場合には、それだけマスク合わせやエッチングなどの工程数も増加することになり、その結果、素子の製造のコスト増を招くことになる。

- 5 また、基板上に形成された単一の活性層に選択的に不純物をドーピングする技術においては、例えば選択的なドーピングを行うためにマスク層の開口部を利用する場合、マスク層の開口部の形成マージンなどの位置上の誤差を見込んで各発光色のレイアウトを決めることになり、あらかじめ誤差を見込んだ場合では、異なる発光色の領域の間では距離を十分にとる
10 必要があり、従って、微小な素子を形成しようとした場合でも、その各色の発光のための領域が大きくなってしまう。また、選択的なドーピングによって工程数が増加することとも言えるまでもないことである。

- そこで、この発明は、上述の如き課題に鑑みてなされたものであり、製造工程を複雑化させることなく、精度良く形成できかつ結晶性の劣化
15 も招かない構造の半導体発光素子および半導体発光装置を提供することを目的とし、さらにこのように優れた上記半導体発光素子や半導体発光装置を用いた構造の画像表示装置および照明装置の提供を目的とする。

発明の開示

- 20 この発明の半導体発光素子は、ウルツ鉱型の化合物半導体を選択的に成長して形成された選択結晶成長層と、上記選択結晶成長層上に形成される第1導電型クラッド層、活性層、および第2導電型クラッド層とを有し、上記活性層の一部または全部は異なる結晶面にそれぞれ平行に延在されるように形成され、発光波長が互いに異なる第1発光波長領域お
25 よび第2発光波長領域をそれぞれ上記活性層に形成し、上記第1発光波長領域と上記第2発光波長領域にそれぞれ電流を注入可能としたことを

特徴とする。

ここで素子形成のために選択成長を行う手段として、前述の選択結晶成長層は、例えば下地結晶層上に形成された開口部を有するマスク層の上記開口部から選択的に成長させても良く、また、基板上に形成された
5 種結晶部から選択的に成長させても良く、下地結晶層の表面を凹凸形状に加工し、その凹凸形状部分から選択的に成長させても良い。この発明の半導体発光素子においては、それぞれ発光波長が互いに異なる第1発光波長領域および第2発光波長領域に加えて、さらに異なる発光波長を有する第3発光波長領域を有する構成であっても良い。

- 10 また、この発明の他の半導体発光素子は、ウルツ鉱型の化合物半導体を選択的に成長して形成された選択結晶成長層と、上記選択結晶成長層上に形成される第1導電型クラッド層、活性層、および第2導電型クラッド層とを有し、上記活性層は3元以上の混晶材料を用いて構成され、上記混晶材料の一部を構成する原子の拡散長を上記活性層が延在される
15 大きさよりも短くすることで発光波長が互いに異なる第1発光波長領域および第2発光波長領域をそれぞれ上記活性層に形成し、上記第1発光波長領域と上記第2発光波長領域にそれぞれ電流を注入可能としたことを特徴とする。

- また、上述の如き半導体発光素子の異なる発光波長の各発光領域を画
20 素として利用して画像表示装置を構成することも可能であり、また、上述の如き半導体発光素子を複数個配列して照明装置を構成することも可能である。

- この発明の半導体発光素子では選択成長によって選択結晶成長層が形成され、選択成長によって形成された選択結晶成長層は容易に異なる結
25 晶面を表面に有する所要の形状を呈することになる。そして、異なる結晶面を表面に有する選択結晶成長層上に第1導電型クラッド層、活性層

および第2導電型クラッド層をこれら結晶面に平行に延在されるように形成した場合には、結晶面ごとに結合ボンドの数が異なることがあり、このような結晶面に応じた結合ボンド数の差異はバンドギャップエネルギーを左右する原子の取り込み量を決定する。したがって結晶面が異なることで、バンドギャップエネルギーを左右する原子の取り込み量が異なることになり、その結果発光波長の異なる領域が得られる。このような発光波長の異なる領域に第1発光領域と第2発光領域をそれぞれ形成し、かつそれぞれ電流を注入可能とすることで、同一素子を多色に発光させることができる。

10 また、この発明の他の半導体発光素子においては、同一活性層内でバンドギャップエネルギーを変化させるために、活性層が延在される大きさがバンドギャップエネルギーを左右する混晶構成原子の拡散長よりも短くされる。このため、混晶構成原子が均一のマイグレーションしないことがあり、混晶構成原子の濃度にばらつきが生じて同一活性層内でも
15 発光波長が異なることになる。

また、この発明のさらに他の半導体発光素子は、ウルツ鉱型の化合物半導体を選択的に成長して形成された選択結晶成長層と、上記選択結晶成長層上に形成される第1導電型クラッド層、活性層、および第2導電型クラッド層とを有し、組成および厚さの少なくとも一方が異なること
20 によって発光波長が互いに異なる第1発光波長領域および第2発光波長領域をそれぞれ上記活性層に形成し、上記第1発光波長領域と上記第2発光波長領域にそれぞれ電流を注入可能としたことを特徴とする。

ここで素子形成のために選択成長を行う手段として、前述の選択結晶成長層は、例えば下地結晶層上に形成された開口部を有するマスク層の
25 上記開口部から選択的に成長させても良く、また、基板上に形成された種結晶部から選択的に成長させても良く、下地結晶層の表面を凹凸形状

に加工し、その凹凸形状部分から選択的に成長させても良い。

また、上記活性層に形成される上記第1発光波長領域および上記第2発光波長領域は、上記選択結晶成長層の面同士の交線となる辺の部分と、上記選択結晶成長層の面の部分とにそれぞれ形成される構造とすること
5 とができ、上記選択結晶成長層の面は少なくとも基板の主面と異なる面方位のS面を有していても良い。さらにこの発明の半導体発光素子においては、それぞれ発光波長が互いに異なる第1発光波長領域および第2発光波長領域に加えて、さらに異なる発光波長を有する第3発光波長領域を有する構成であっても良い。

- 10 さらに、この発明の他の発明にかかる半導体発光装置は、基板と、上記基板上にウルツ鉱型の化合物半導体を選択的に成長して形成された複数の選択結晶成長層と、上記複数の選択結晶成長層上にそれぞれ形成される第1導電型クラッド層、活性層、および第2導電型クラッド層とを有し、かつ形状要素が同一または近似した複数の上記選択結晶成長層か
15 らなる発光群を2つ以上同一基板上に有し、各上記発光群は上記形状要素の違いから互いに異なる発光波長を有することを特徴とする。

- これら複数の選択結晶成長層は下地結晶層上に形成されたマスク層に設けられた開口部を介して選択成長したものであっても良く、上記基板上に形成された種結晶部から選択成長されたものであっても良い。また
20 、上記形状要素は上記開口部や上記種結晶部の形状、寸法、配列密度から決定されるものとすることができる。

上述の如き半導体発光素子の異なる発光波長の各発光領域あるいは上述の半導体発光装置の異なる発光波長の各発光群を画素として利用して画像表示装置や複数個配列して照明装置を構成することも可能である。

- 25 この発明の半導体発光素子では選択成長によって選択結晶成長層が形成され、選択成長によって形成された選択結晶成長層は容易に例えば六

角錐状や六角台形の所要の形状を呈することになる。そして、選択結晶成長層上に第1導電型クラッド層、活性層および第2導電型クラッド層を形成した場合には、これらの層は選択成長による選択結晶成長層の形状的な要因の影響を受け、同じ材料層でありながら下地形状を反映して組成や厚みが異なることになる。その結果、同一の活性層であっても組成が異なることや活性層等の厚みが異なることで、バンドギャップエネルギーが異なることになり、その結果発光波長の異なる領域が得られる。このような発光波長の異なる領域に第1発光領域と第2発光領域をそれぞれ形成し、かつそれぞれ電流を注入可能とすることで、同一素子を多色に発光させることができる。

また、この発明の半導体発光装置ではそれぞれ形状要素が同一または近似した複数の上記選択結晶成長層からなる発光群が2つ以上基板に形成され、形状要素が同一または近似した複数の上記選択結晶成長層からなる発光群内では、発光波長が同様とされるが、他の形状要素にかかる発光群との間では、異なる発光波長が得られることになる。

図面の簡単な説明

第1図は、この発明の実施例1の半導体発光素子の製造工程におけるマスク形成工程を示す図であって、製造工程断面図(A)および製造工程斜視図(B)、第2図は、この発明の実施例1の半導体発光素子の製造工程におけるシリコンドープのGaN層の形成工程を示す図であって、製造工程断面図(A)および製造工程斜視図(B)、第3図は、この発明の実施例1の半導体発光素子の製造工程における活性層等の形成工程を示す図であって、製造工程断面図(A)および製造工程斜視図(B)、第4図は、この発明の実施例1の半導体発光素子の製造工程における電極形成工程を示す図であって、製造工程断面図(A)および製造工

程斜視図（B）、第5図は、この発明の実施例1の半導体発光素子の製造工程における素子の分離の工程を示す図であって、製造工程断面図（A）および製造工程斜視図（B）、第6図は、この発明の実施例1の半導体発光素子の構造を示す断面図、第7図は、この発明の実施例2の半導体発光素子の製造工程におけるマスク形成工程を示す図であって、製造工程断面図（A）および製造工程斜視図（B）、第8図は、この発明の実施例2の半導体発光素子の製造工程における結晶層の形成工程を示す図であって、製造工程断面図（A）および製造工程斜視図（B）、第9図は、この発明の実施例2の半導体発光素子の製造工程における活性層などの形成工程を示す図であって、製造工程断面図（A）および製造工程斜視図（B）、第10図は、この発明の実施例2の半導体発光素子の製造工程における電極の形成工程を示す図であって、製造工程断面図（A）および製造工程斜視図（B）、第11図は、この発明の実施例2の半導体発光素子の製造工程における素子の分離工程を示す図であって、製造工程断面図（A）および製造工程斜視図（B）、第12図は、この発明の実施例2の半導体発光素子の断面図、第13図は、この発明の実施例3の半導体発光素子の製造工程におけるマスク形成工程を示す図であって、製造工程断面図（A）および製造工程斜視図（B）、第14図は、この発明の実施例3の半導体発光素子の製造工程における結晶層の形成工程を示す図であって、製造工程断面図（A）および製造工程斜視図（B）、第15図は、この発明の実施例3の半導体発光素子の製造工程における活性層などの形成工程を示す図であって、製造工程断面図（A）および製造工程斜視図（B）、第16図は、この発明の実施例3の半導体発光素子の製造工程における電極形成工程を示す図であって、製造工程断面図（A）および製造工程斜視図（B）、第17図は、この発明の実施例3の半導体発光素子の製造工程における素子の分離の工程

を示す図であって、製造工程断面図（A）および製造工程斜視図（B）、第18図は、この発明の実施例3の半導体発光素子の断面図、第19図は、この発明の実施例4の半導体発光素子の製造工程における段差部の形成工程を示す図であって、製造工程断面図（A）および製造工程斜視図（B）、第20図は、この発明の実施例4の半導体発光素子の製造工程における結晶層の選択成長工程を示す図であって、製造工程断面図（A）および製造工程斜視図（B）、第21図は、この発明の実施例4の半導体発光素子の製造工程における活性層の形成工程を示す図であって、製造工程断面図（A）および製造工程斜視図（B）、第22図は、この発明の実施例4の半導体発光素子の製造工程における電極形成工程を示す図であって、製造工程断面図（A）および製造工程斜視図（B）、第23図は、この発明の実施例5の半導体発光素子の製造工程におけるマスク層の形成工程を示す製造工程斜視図、第24図は、この発明の実施例5の半導体発光素子の製造工程における結晶層の形成工程を示すと製造工程斜視図、第25図は、この発明の実施例5の半導体発光素子の製造工程における電極形成工程を示す製造工程斜視図、第26図は、この発明の実施例5の半導体発光素子の断面図、第27図は、この発明の実施例6の画像表示装置の断面図、第28図は、この発明の実施例7の半導体発光素子の製造工程におけるマスク形成工程を示す図であって、製造工程断面図（A）および製造工程斜視図（B）、第29図は、この発明の実施例7の半導体発光素子の製造工程におけるシリコンドープのGaN層の形成工程を示す図であって、製造工程断面図（A）および製造工程斜視図（B）、第30図は、この発明の実施例7の半導体発光素子の製造工程における活性層等の形成工程を示す図であって、製造工程断面図（A）および製造工程斜視図（B）、第31図は、この発明の実施例7の半導体発光素子の製造工程における電極形成工程を示す図で

あって、製造工程断面図（A）および製造工程斜視図（B）、第32図は、この発明の実施例7の半導体発光素子の製造工程における素子の分離の工程を示す図であって、製造工程断面図（A）および製造工程斜視図（B）、第33図は、この発明の実施例7の半導体発光素子の構造を示す断面図、第34図は、この発明の実施例8の半導体発光素子の製造工程におけるマスク形成工程を示す図であって、製造工程断面図（A）および製造工程斜視図（B）、第35図は、この発明の実施例8の半導体発光素子の製造工程における結晶層の形成工程を示す図であって、製造工程断面図（A）および製造工程斜視図（B）、第36図は、この発明の実施例8の半導体発光素子の製造工程における活性層などの形成工程を示す図であって、製造工程断面図（A）および製造工程斜視図（B）、第37図は、この発明の実施例8の半導体発光素子の製造工程における電極の形成工程を示す図であって、製造工程断面図（A）および製造工程斜視図（B）、第38図は、この発明の実施例8の半導体発光素子の製造工程における素子の分離工程を示す図であって、製造工程断面図（A）および製造工程斜視図（B）、第39図は、この発明の実施例8の半導体発光素子の断面図、第40図は、この発明の実施例9の半導体発光素子の製造工程におけるマスク形成工程を示す図であって、製造工程断面図（A）および製造工程斜視図（B）、第41図は、この発明の実施例9の半導体発光素子の製造工程における結晶層の形成工程を示す図であって、製造工程断面図（A）および製造工程斜視図（B）、第42図は、この発明の実施例9の半導体発光素子の製造工程における活性層などの形成工程を示す図であって、製造工程断面図（A）および製造工程斜視図（B）、第43図は、この発明の実施例9の半導体発光素子の製造工程における電極形成工程を示す図であって、製造工程断面図（A）および製造工程斜視図（B）、第44図は、この発明の実施例9

の半導体発光素子の製造工程における素子の分離の工程を示す図であって、製造工程断面図（A）および製造工程斜視図（B）、第45図は、この発明の実施例9の半導体発光素子の断面図、第46図は、この発明の実施例10の半導体発光素子の製造工程における段差部の形成工程を示す図であって、製造工程断面図（A）および製造工程斜視図（B）、第47図は、この発明の実施例10の半導体発光素子の製造工程における結晶層の選択成長工程を示す図であって、製造工程断面図（A）および製造工程斜視図（B）、第48図は、この発明の実施例10の半導体発光素子の製造工程における活性層の形成工程を示す図であって、製造工程断面図（A）および製造工程斜視図（B）、第49図は、この発明の実施例10の半導体発光素子の製造工程における電極形成工程を示す図であって、製造工程断面図（A）および製造工程斜視図（B）、第50図は、この発明の実施例11の半導体発光装置の製造工程におけるマスク層の形成工程を示す製造工程斜視図、第51図は、この発明の実施例11の半導体発光装置の製造工程における結晶層の形成工程を示す製造工程斜視図、第52図は、この発明の実施例11の半導体発光装置の製造工程における電極形成工程を示す製造工程斜視図、第53図は、この発明の実施例12の画像表示装置または照明装置の概略構造を示す部分斜視図である。

20

発明を実施するための最良の形態

以下において、この発明の半導体発光素子、半導体発光装置、画像表示装置および照明装置について詳細に説明する。

この発明の半導体発光素子（第1の半導体発光素子）は、ウルツ鉱型の化合物半導体を選択的に成長して形成された選択結晶成長層と、上記選択結晶成長層上に形成される第1導電型クラッド層、活性層、および

25

第2導電型クラッド層とを有し、上記活性層の一部または全部は異なる結晶面にそれぞれ平行に延在されるように形成され、発光波長が互いに異なる第1発光波長領域および第2発光波長領域をそれぞれ上記活性層に形成し、上記第1発光波長領域と上記第2発光波長領域にそれぞれ電
5 流を注入可能としたことを特徴とする。

また、この発明の他の半導体発光素子（第2の半導体発光素子）は、ウルツ鉱型の化合物半導体を選択的に成長して形成された選択結晶成長層と、上記選択結晶成長層上に形成される第1導電型クラッド層、活性層、および第2導電型クラッド層とを有し、上記活性層は3元以上の混
10 晶材料を用いて構成され、上記混晶材料の一部を構成する原子の拡散長を上記活性層が延在される大きさよりも短くすることで発光波長が互いに異なる第1発光波長領域および第2発光波長領域をそれぞれ上記活性層に形成し、上記第1発光波長領域と上記第2発光波長領域にそれぞれ電流を注入可能としたことを特徴とする。

15 この発明のさらに他の半導体発光素子（第3の半導体発光素子）は、ウルツ鉱型の化合物半導体を選択的に成長して形成された選択結晶成長層と、上記選択結晶成長層上に形成される第1導電型クラッド層、活性層、および第2導電型クラッド層とを有し、組成および厚さの少なくとも一方が異なることによって発光波長が互いに異なる第1発光波長領域
20 および第2発光波長領域をそれぞれ上記活性層に形成し、上記第1発光波長領域と上記第2発光波長領域にそれぞれ電流を注入可能としたことを特徴とする。

上記この発明の各半導体発光素子において、選択結晶成長層は基板上に形成することができ、このような基板としては、後述の選択結晶成長
25 層を形成し得るものであれば特に限定されず、種々のものを使用できる。例示すると、基板として用いることができるのは、サファイア（Al

- $_2\text{O}_3$ 、A面、R面、C面を含む。) SiC (6H、4H、3Cを含む。
。) GaN、Si、ZnS、ZnO、AlN、LiMgO、GaAs、
MgAl₂O₄、InAlGaNなどからなる基板であり、好ましくは
5 ましくは六方晶系基板である。例えば、サファイア基板を用いる場合で
は、窒化ガリウム (GaN) 系化合物半導体の材料を成長させる場合に
多く利用されているC面を主面としたサファイア基板を用いることがで
きる。この場合の基板主面としてのC面は、5乃至6度の範囲で傾いた
面方位を含むものである。
- 10 この基板上に選択成長によって形成される選択結晶成長層は、当上記
選択結晶成長層に形成される第1導電型クラッド層、活性層、および第
2導電型クラッド層のうち、特に活性層の組成および厚みの少なくとも
一方が同一活性層の範囲内で異なるように形成されるウルツ鉱型の化合
物半導体であれば良く、特に限定されるものではないが、その中でも、
15 基板の主面に対して傾斜した結晶面 (第3の半導体発光素子においては
S面または上記S面に実質的に等価な面) を有するウルツ鉱型の結晶構
造となる半導体層が好ましく、さらにはウルツ鉱型の結晶構造を有する
窒化物半導体、BeMgZnCdS系化合物半導体、およびBeMgZ
nCdO系化合物半導体などが好ましい。窒化物半導体からなる結晶層
20 としては、例えばIII族系化合物半導体を用いることができ、更には
窒化ガリウム (GaN) 系化合物半導体、窒化アルミニウム (AlN)
系化合物半導体、窒化インジウム (InN) 系化合物半導体、窒化イン
ジウムガリウム (InGaN) 系化合物半導体、窒化アルミニウムガリ
ウム (AlGaN) 系化合物半導体を好ましくは形成することができ、
25 特に窒化ガリウム系化合物半導体が好ましい。なお、この発明において
、InGaN、AlGaN、GaNなどは必ずしも、3元混晶のみ、2

元混晶のみの窒化物半導体を指すのではなく、例えば InGaN では、 InGaN の作用を変化させない範囲での微量の Al 、その他の不純物を含んでいてもこの発明の範囲であることはいうまでもない。

ここで、上記基板の主面に対して傾斜した結晶面とは、それぞれのウルツ鉱型の (0001) 面、 $(1-100)$ 面、 $(1-101)$ 面、 $(11-20)$ 面、 $(1-102)$ 面、 $(1-123)$ 面、 $(11-22)$ 面などの各結晶面、さらにはこれらと実質的に等価な面である上記各結晶面に対して 5 乃至 6 度の範囲で傾いた面方位を含むものである。同様に、S 面に実質的に等価な面とは、S 面に対して 5 乃至 6 度の範囲で傾いた面方位を含むものである。また、本明細書中、窒化物とは B 、 Al 、 Ga 、 In 、 Ta を III 族とし、V 族に N を含む化合物を指し、若干量の不純物の混入を含むこともあるものである。

選択結晶成長層の成長方法としては、種々の気相成長法を挙げることができ、例えば有機金属化合物気相成長法 (MOCVD (MOVPE) 法) や分子線エピタキシー法 (MBE 法) などの気相成長法や、ハイドライド気相成長法 (HVPE 法) などを用いることができる。その中でも MOVPE 法によると、迅速に結晶性の良いものが得られる。MOVPE 法では、 Ga ソースとして TMG (トリメチルガリウム)、TEG (トリエチルガリウム)、 Al ソースとしては TMA (トリメチルアルミニウム)、TEA (トリエチルアルミニウム)、 In ソースとしては、TMI (トリメチルインジウム)、TEI (トリエチルインジウム) などのアルキル金属化合物が多く使用され、窒素源としてはアンモニア、ヒドラジンなどのガスが使用される。また、不純物ソースとしては Si であればシランガス、 Ge であればゲルマンガス、 Mg であれば $\text{Cp}2\text{Mg}$ (シクロペンタジエニルマグネシウム)、 Zn であれば DEZ (ジエチルジンク) などのガスが使用される。MOVPE 法では、これら

のガスを例えば600℃以上に加熱された基板の表面に供給して、ガスを分解することにより、InAlGa_{1-x}N系化合物半導体をエピタキシャル成長させることができる。

- 特にこの発明においては、上記選択結晶成長層は、例えば下地結晶層上に形成された開口部を有するマスク層の上記開口部から選択的に成長させても良く、また、基板上に形成された種結晶部から選択的に成長させても良く、下地結晶層の表面を凹凸形状に加工し、その凹凸形状部分から選択的に成長させても良い。この下地結晶層は例えば窒化ガリウム層や窒化アルミニウム層からなり、下地結晶層は低温バッファ層と高温
- 5 バッファ層との組み合わせあるいはバッファ層と結晶種として機能する結晶種層との組み合わせからなる構造であっても良い。この下地結晶層も選択結晶成長層と同様に、種々の気相成長法で形成することができ、例えば有機金属化合物気相成長法（MOVPE法）や分子線エピタキシー法（MBE法）、ハイドライド気相成長法（HVPE法）などの気相
- 10 成長法を用いることができる。選択結晶成長層の成長を低温バッファ層から始めるとマスク上にポリ結晶が析出しやすくなって、それが問題となる。そこで、結晶種層を含んでからその上に基板と異なる面を成長することで、さらに結晶性のよい結晶が成長できる。また、選択成長を用いて結晶成長を行うには結晶種層がないとバッファ層から形成する必要
- 15 があるが、もしバッファ層から選択成長を行うと成長の阻害された成長しなくても良い部分に成長が起こりやすくなる。従って、結晶種層を用いることで、成長が必要な領域に選択性良く結晶を成長させることができることになる。バッファ層は基板と窒化物半導体の格子不整合を緩和するという目的もある。したがって、窒化物半導体と格子定数の近い基
- 20 板、格子定数が一致した基板を用いる場合にはバッファ層が形成されない場合もある。たとえば、SiC上にはAlNを低温にしないでバッフ
- 25

ァ層をつけることもあり、S i 基板上にはA l N、G a Nをやはり低温にしないでバッファ層として成長することもあり、それでも良質のG a Nを形成できる。また、バッファ層を特に設けない構造であっても良く、G a N基板を使用しても良い。

- 5 この発明の一例によれば、選択成長に用いられるマスク層は、例えば酸化シリコン層や窒化シリコン層などの絶縁層からなり、その厚みは例示的には100から500nmの範囲である。下地結晶層上のマスク層には、選択結晶成長層を成長させるための開口部が形成される。この開口部の形成には、フォトリソグラフィ技術と所要のエッチャントが使用される。この開口部の大きさは、作成する発光素子の特性に応じて設定されるものであるが、一例としては10 μ m程度のサイズとされ、その形状としては矩形状、正形状、円形状、六角形状、三角形状、菱形形状、楕円形状などの種々の形状とすることができる。マスク層を用いずに選択成長を行う方法もあり、例えば、バッファ層上や基板上の結晶種層を点在する10 μ m径程度の結晶種部に細分化し、それぞれの結晶種部からの結晶成長によって選択結晶成長層を形成しても良い。例えば、細分化された結晶種部は、発光素子として分離するためのマージンを見込んで離間するように配列することができ、個々の小領域としては、円形状、正形状、六角形状、三角形状、矩形状、菱形形状、楕円形状およびこれらの変形状などの形状にすることができる。結晶種部からの結晶成長は、選択マスクを作製してマスクのある部分を残し、他をエッチングすることで種結晶部を得て、種結晶部から選択成長させたもので、電極を変える事で多色素子を得る点についてはほぼ同じであり、この際マスクの汚染の影響が少ない。また、選択結晶成長層を成長させるためもう1つの方法は、下地結晶層の表面を凹凸形状に加工し、その凹凸形状部分から選択的に成長させる方法である。下地結晶層の表面を凹
- 10
- 15
- 20
- 25

凸形状に加工方法としては、例えばフォトリソグラフィ技術と所要のエッチングが使用されるが、他の凹凸形状の形成方法を用いることもできる。エッチングなどによる加工と、その加工面上に選択成長することで、波長が場所により異なることが可能であるため、プレーナ構造の波
5 長を変えたい部分にストライプ状のS面や、 $1\ 1 - 2\ 2$ 面などを形成し、その部分のみ長波長化させ、プレーナ部分に比べて長波長化した領域を一回のエピタキシャル成長で作製することができる。凹凸形状に加工する場合とは、本明細書においては、ストライプ状のS面や、 $1\ 1 - 2$
2面などを形成するための加工を含み、その加工部分はストライプ、矩
10 形などでも良い。ストライプの幅などを変えれば、2種類以上の波長部分を作ることができ、3原色の発光も可能となる。このようにして、プレーナ構造でも最初のエッチングにより簡単に3色の成長を行うことができるのである。

選択成長を用いマスク層の開口部である窓領域を $10\ \mu\text{m}$ 程度の円形
15 (あるいは辺が $1 - 1\ 0\ 0$ 方向の六角形、または辺が $1\ 1 - 2\ 0$ 方向の六角形など)にすることでその約2倍程度の選択成長領域まで簡単に作製できる。またS面が基板主面と異なる方向であれば転位を曲げる効果、および転位を遮蔽する効果があるために、転位密度の低減にも役立つ。また、略六角錐台形状や略六角錐形状が直線状に延在された形状であ
20 る場合、一方向を長手方向とするような角錐台や角錐形状はマクス層の窓領域を帯状にしたり、結晶種層を帯状にしたりすることで可能である。

この発明の半導体発光素子においては、選択成長により選択結晶成長層を形成することで、S面またはS面に実質的に等価な面を容易に形成
25 することが可能である。S面はC+面の上に選択成長した際に見られる安定面であり、比較的得やすい面であって六方晶系の面指数では $(1 -$

101)である。C面にC+面とC-面が存在するのと同様に、S面についてはS+面とS-面が存在するが、本明細書においては、特に断らない場合は、C+面GaN上にS+面を成長しており、これをS面として説明している。なお、S面についてはS+面が安定面である。またC
5 +面の面指数は(0001)である。このS面については、前述のように窒化ガリウム系化合物半導体で結晶層を構成した場合には、S面上、GaからNへのボンド数が2または3とC-面の次に多くなる。ここでC-面はC+面の上には事実上得ることができないので、S面でのボンド数は最も多いものとなる。例えば、C+面を主面に有するサファイア基
10 板に窒化物を成長した場合、一般にウルツ鉱型の窒化物の表面はC+面になるが、選択成長を利用することでS面を安定して形成することができ、C+面に平行な面では脱離しやすい傾向をもつNのボンドがGaから一本のボンドで結合しているのに対し、傾いたS面では少なくとも一本以上のボンドで結合することになる。従って、実効的にV/III比
15 が上昇することになり、積層構造の結晶性の向上に有利である。また、基板と異なる方位に成長すると基板から上に伸びた転位が曲がることもあり、欠陥の低減にも有利となる。

この発明の半導体発光素子においては、化合物半導体からなる選択結晶成長層はS面またはこのS面に実質的に等価な面が略六角錐形状の斜
20 面をそれぞれ構成する構造であっても良く、あるいは、S面または上記S面に実質的に等価な面が略六角錐台形状の斜面をそれぞれ構成するとともにC面または上記C面に実質的に等価な面が上記略六角錐台形状の上平面部を構成する構造、いわゆる略六角錐台形状であっても良い。これら略六角錐形状や略六角錐台形状は、正確に六角錐であることを必要
25 とせず、その中の幾つかの面が消失したようなものも含む。また、結晶層の結晶面間の稜線は必ずしも直線でなくても良い。また、略六角錐形

状や略六角錐台形状は直線状または帯状に延在された形状であっても良い。

本発明者らの行った実験において、カソードルミネッセンスを用いて成長した六角錐台形状を観測してみると、S面の結晶は良質でありC+面と比較して発光効率が高くなっていることが示されている。特にInGaN活性層の成長温度は700～800℃であるため、アンモニアの分解効率が低く、よりN種が必要とされる。またAFMで表面を見たところステップが揃ってInGaN取り込みに適した面が観測された。さらにその上、Mgドープ層の成長表面は一般にAFMレベルでの表面状態が悪いが、S面の成長によりこのMgドープ層も良い表面状態で成長し、しかもドーピング条件がかなり異なることがわかっている。また、顕微フォトルミネッセンスマッピングを行うと、0.5～1μm程度の分解能で測定することができるが、C+面の上に成長した通常の方法では、1μmピッチ程度のむらが存在し、選択成長でS面を得た試料については均一な結果が得られた。また、SEMで見た斜面の平坦性もC+面より滑らかに成っている。

また、選択成長マスクを用いて選択成長する場合であって、選択マスク開口部の上だけに成長する際には横方向成長が存在しないため、マイクロチャネルエピタキシーを用いて横方向成長させ窓領域より拡大した形状にすることが可能である。このようなマイクロチャネルエピタキシーを用いて横方向成長をした方が貫通転位を避けやすくなり、転位が減ることがわかっている。またこのような横方向成長により発光領域も増大し、さらに電流の均一化、電流集中の回避、および電流密度の低減を図ることができる。

この発明の各半導体発光素子は、前述の選択結晶成長層に第1導電型クラッド層、活性層、および第2導電型クラッド層が形成される。第1

導電型はp型またはn型のクラッド層であり、第2導電型はその反対の導電型である。例えば活性層の下地層を構成する結晶層（第3の半導体発光素子においてはS面を構成する結晶層）をシリコンドープの窒化ガリウム系化合物半導体層によって構成した場合では、n型クラッド層をシリコンドープの窒化ガリウム系化合物半導体層によって構成し、その上にInGa_N層を活性層として形成し、さらにその上にp型クラッド層としてマグネシウムドープの窒化ガリウム系化合物半導体層を形成してダブルヘテロ構造を形成することができる。活性層であるInGa_N層をAlGa_N層で挟む構造や片側だけにAlGa_N層を形成する構造とすることも可能である。また、活性層は単一のバルク活性層で構成することも可能であるが、単一量子井戸（SQW）構造、二重量子井戸（DQW）構造、多重量子井戸（MQW）構造などの量子井戸構造を形成したものであっても良い。量子井戸構造には必要に応じて量子井戸の分離のために障壁層が併用される。活性層をInGa_N層とした場合には、特に製造工程上も製造し易い構造となり、素子の発光特性を良くすることができる。さらにこのInGa_N層は、窒素原子の脱離しにくい構造であるS面の上での成長では特に結晶化しやすくしかも結晶性も良くなり、発光効率を上げることができる。なお、窒化物半導体はノンドープでも結晶中にできる窒素空孔のためにn型となる性質があるが、通常Si、Ge、Seなどのドナー不純物を結晶成長中にドープすることで、キャリア濃度の好ましいn型とすることができる。また、窒化物半導体をp型とするには、結晶中にMg、Zn、C、Be、Ca、Baなどのアクセプター不純物をドープすることによって得られるが、高キャリア濃度のp層を得るためには、アクセプター不純物のドープ後、窒素、アルゴンなどの不活性ガス雰囲気中で400℃以上の温度においてアニーリングを行うことが好ましく、電子線照射などにより活性化する方法

もあり、マイクロ波照射、光照射などで活性化する方法もある。このような活性層は一回の成長によって形成された半導体結晶層から構成されることが望ましい。一回の成長とは単一または連続した一連の膜形成処理を以って成長されることを指し、活性層自体を複数回形成する工程を
5 含まない。

この発明の異なる結晶面を利用する半導体発光素子（第1の半導体発光素子）では、これら第1導電型クラッド層、活性層、および第2導電型クラッド層は、選択成長によって形成された異なる結晶面に亘ってこれらの異なる結晶面のそれぞれ平行な面内に延在されるが、このような
10 面内への延在は結晶の選択成長した表面が形成されたところで続けて結晶成長させれば容易に行うことができる。結晶層が略六角錐台形状となり、各傾斜面がS面等とされる場合では、第1導電型クラッド層、活性層、および第2導電型クラッド層からなる発光領域を全部または一部のS面上に形成することができ、かつ基板主面に平行なC面上にも第1導
15 電型クラッド層、活性層、および第2導電型クラッド層が形成される。傾斜したS面を利用して発光させることで、平行平板では多重反射により光が減衰していくが、傾いた面があると光は多重反射の影響を免れて半導体の外にでることができるという利点がある。第1導電型クラッド層は選択成長にかかる結晶層と同じ材料で同じ導電型とすることができ
20 、S面などを構成する結晶層を形成した後、連続的に濃度を調整しながら形成することもでき、また他の例として、S面の構成する結晶層の一部が第1導電型クラッド層として機能する構造であっても良い。

この発明の異なる結晶面を利用する半導体発光素子では、選択成長によって傾斜したS面などのC面以外の面を形成する場合、そのS面など
25 の結晶性の良さを利用して、発光効率を高めることができる。特に、結晶性が良いS面にのみ電流を注入すると、S面は I_n の取り込みもよく

結晶性も良いので発光効率を高くすることができる。InGa_{0.5}N活性層を用いて多色化するためには、十分にInが結晶として取り込まれる必要があり、S面の良好な結晶性を利用することで発光効率を高めることができ、かつ多色発光に望ましい構造となる。すなわち、C⁺面上に成長する限りでは脱離し易いと思われるNのボンドがGaから一本しか出ておらず、分解効率が低いアンモニアを用いて成長する限りでは実効的なV/I_{III}比が大きくできないことになり、良質の結晶成長を行うためには多くの工夫を必要とする。しかし、S面での成長ではNのボンドはGaに対して2本または3本でつながっているため、Nは脱離しにくい傾向になることになり、実効的なV/I_{III}比が高くなると考えられる。これはS面成長のみに限らずC⁺面以外の成長ではすべてNへのGaからのボンドの数は増える傾向にあるためにC⁺面を用いないで成長することはすべて結晶へのIn取り込み量は事実上大きくなる。このようにInの取り込み量が多くなった場合には、Inの取り込み量でバンドギャップエネルギーが支配されるため、多色化に好適となる。

上記異なる結晶面は、ウルツ鉱型の(0001)面[C面]、(1-100)面[M面]、(1-101)面[S面]、(11-20)面[A面]、(1-102)面[R面]、(1-123)面[N面]、(11-22)面およびこれらに等価な結晶面のうちから選ばれた2以上の結晶面であることが好ましい。特にC面とC面以外の組み合わせから、Inなどの混晶構成原子の取り込み量は大きく変化することになり、したがって同一活性層内での波長のずれが大きくなって多色化に好適となる。

この発明の半導体発光素子においては、発光波長が互いに異なる第1発光波長領域および第2発光波長領域が形成される。また、同一の素子から3種類の発光波長を有するように互いに異なる第1発光波長領域および第2発光波長領域に加えて更に発光波長の異なる第3発光波長領域

を形成するようにすることもできる。

また、混晶構成原子の拡散長を利用するこの発明の半導体発光素子（第2の半導体発光素子）としては、例えば活性層を InGaN 活性層によって構成した場合では、活性層に含有される In の量を多くすることで、より長波長の半導体発光素子を構成することができる。すなわち、 InGaN 層の結晶成長において、 InGaN の特に In の拡散長（マイグレーション長）は、 In 組成の比較的大きい InGaN 層の結晶成長ではほぼ最適となる 700°C 程度で約 1 から $2\ \mu\text{m}$ 程度と見積もられる。これはマスク上に析出する InGaN が選択成長した部分から約 1 から $2\ \mu\text{m}$ 程度しか成長しないからである。このことから、 In の拡散長はその程度と考えられ、このようにマスク部分から成長部分にかけて InGaN での In などのマイグレーション長は比較的短いため、その面の中で In の組成や、 InGaN の厚さが異なることがある。

このように活性層の波長は、面内でまたは基板上で比較的場所により変わりやすい性質があるが、それは In の拡散距離が InGaN の成長に適した 700°C 程度では短くなることが原因と考えられる。この発明の半導体発光素子は、このように同一の活性層内で領域に応じて発光波長が変化することを積極的に活用し、ほぼ同じ発光波長の領域を一領域として、発光波長の異なる第1発光波長領域および第2発光波長領域にそれぞれ電流を注入可能とする。それぞれ独立して電流を注入するため、第1発光波長領域および第2発光波長領域には独立した電極が形成されるが、一方の側の電極は共通化することもできる。このような波長の異なる領域を同一活性層に2または3箇所以上形成し、独立して電流を注入することで多色半導体発光素子を構成することができ、さらには同時に多色の素子を発光させるように制御することで混色や白色発光の半導体発光素子を構成することができる。

一方、この発明の組成や膜厚の相違を利用する半導体発光素子（第3の半導体発光素子）では、これら第1導電型クラッド層、活性層、および第2導電型クラッド層は、その一例として、選択成長によって形成されたS面または上記S面に実質的に等価な面に平行な面内に延在されるが、このような面内への延在はS面等が形成されているところで続けて結晶成長させれば容易に行うことができる。結晶層が略六角錐形状や略六角錐台形状となり、各傾斜面がS面等とされる場合では、第1導電型クラッド層、活性層、および第2導電型クラッド層からなる発光領域を全部または一部のS面上に形成することができる。略六角錐台形状の場合には、基板主面に平行な上面上にも第1導電型クラッド層、活性層、および第2導電型クラッド層を形成できる。傾斜したS面を利用して発光させることで、平行平板では多重反射により光が減衰していくが、傾いた面があると光は多重反射の影響を免れて半導体の外にでることができるという利点がある。第1導電型クラッド層はS面を構成する結晶層と同じ材料で同じ導電型とすることができ、S面を構成する結晶層を形成した後、連続的に濃度を調整しながら形成することもでき、また他の例として、S面の構成する結晶層の一部が第1導電型クラッド層として機能する構造であっても良い。

この発明の半導体発光素子では、選択成長によって形成された傾斜したS面の結晶性の良さを利用して、発光効率を高めることができる。特に、結晶性が良いS面にのみ電流を注入すると、S面はInの取り込みもよく結晶性も良いので発光効率を高くすることができる。更にInGaAsN活性層を用いて多色化するためには、十分にInが結晶として取り込まれる必要があり、S面の良好な結晶性を利用することで発光効率を高めることができ、かつ多色発光に望ましい構造となる。すなわち、C+面上に成長する限りでは脱離し易いと思われるNのボンドがGaから

一本しか出ておらず、分解効率が低いアンモニアを用いて成長する限りでは実効的なV/I I I比が大きできないことになり、良質の結晶成長を行うためには多くの工夫を必要とする。しかし、S面での成長ではNのボンドはGaに対して2本または3本でつながっているため、Nは

5 脱離しにくい傾向になることになり、実効的なV/I I I比が高くなると考えられる。これはS面成長のみに限らずC+面以外の成長ではすべてNへのGaからのボンドの数は増える傾向にあるためにC+面を用いないで成長することはすべて高品質化につながると言える。そして結晶へのIn取り込み量は事実上大きくなる。このようにInの取り込み量

10 が多くなった場合には、Inの取り込み量でバンドギャップエネルギーが支配されるため、多色化に好適となる。

六角錐形状の選択結晶成長層を考えた場合、S面の特に頂点近く部分がステップの状態が悪くなり、頂点部は発光効率が低くなっている。これは六角錐形状の素子では、それぞれの面のほぼ中心部分を中心に頂点

15 側、側辺左側、側辺右側、底面側に4箇所に分けられ、特に頂点側部分は最もステップの状態が波打っていて、頂上付近になると異常成長が起こりやすくなっているためである。これに対して、側辺側の二箇所はどちらもステップがほぼ直線状でしかもステップが密集しており極めて良好な成長状態になっており、また、底面に近い部分はやや波打つステップ

20 であるが、頂点側ほどの異常成長は起こっていない。そこでこの発明の半導体発光素子では、活性層への電流注入は頂点近傍側で周囲側よりも低密度となるように制御することが可能である。このような頂点近傍側で低密度の電流を流すためには、電極を斜面の側部には形成するが、頂点部分では電極を形成しないような構造としたり、あるいは頂点部分

25 に電極形成前に電流ブロック領域を形成する構造としたりすることができる。

この発明の第3の半導体発光素子においても、発光波長が互いに異なる第1発光波長領域および第2発光波長領域が形成される。また、同一の素子から3種類の発光波長を有するように互いに異なる第1発光波長領域および第2発光波長領域に加えて更に発光波長の異なる第3発光波長領域を形成するようにすることもできる。各発光波長領域は、上記活性層の組成および厚さの少なくとも一方が異なることによって発光波長が異なる構造になっている。すなわち、活性層の組成だけが異なっているても良く、活性層の厚さだけが異なっているても良く、活性層の組成および厚さの両方が異なっているても良い。

組成の変化としては、活性層を構成する3元混晶や2元混晶の混晶比を同じ活性層内で変化させることでも可能であり、例えば活性層をInGa_xN_{1-x}活性層によって構成した場合には、活性層に含有されるInの量を多くすることで、より長波長の半導体発光素子を構成することができる。InGa_xN層の結晶成長において、InGa_xNの特にInのマイグレーション長は、In組成の比較的大きいInGa_xN層の結晶成長ではほぼ最適となる700℃程度で約1から2μm程度と見積もられる。これはマスク上に析出するInGa_xNが選択成長した部分から約1から2μm程度しか成長しないからである。このことから、Inのマイグレーション長はその程度と考えられ、このようにマスク部分から成長部分にかけてInGa_xNでのInなどのマイグレーション長は比較的短いため、その面の中でInの組成や、InGa_xNの厚さが異なることがある。

このように活性層の波長は、面内でまたは基板上で比較的場所により変わりやすい性質があるが、それはInのマイグレーション距離がInGa_xNの成長に適した700℃程度では短くなることが原因と考えられる。この発明の半導体発光素子は、このように同一の活性層内で領域に応じて発光波長が変化することを積極的に活用し、ほぼ同じ発光波長の

領域を一領域として、発光波長の異なる第1発光波長領域および第2発光波長領域にそれぞれ電流を注入可能とする。それぞれ独立して電流を注入するため、第1発光波長領域および第2発光波長領域には独立した電極が形成されるが、一方の側の電極は共通化することもできる。この

5 ような波長の異なる領域を同一活性層に2または3箇所以上形成し、独立して電流を注入することで多色半導体発光素子を構成することができ、さらには同時に多色の素子を発光させるように制御することで混色や白色発光の半導体発光素子を構成することができる。

上記各半導体発光素子において、特に選択成長から六角錐構造の選択

10 結晶成長層を形成する場合について説明すると、マスク層の開口部から選択成長する場合には、プレーナ型のエピタキシャル構造と異なり、その選択成長領域の表面は上下、または中心部から端部にかけて成長条件が変化する。例えば、六角錐構造においては下の部分はI I I族の多い状態であり、上部につれてGaが減少していく傾向と、上部に行くにつ

15 れて面積が小さくなっていくため上部に行くにつれI I I族が増えてくる傾向などの複雑な作用で実効的V/I I I比は決まってくるものと思われる。また成長速度についても、実際のGa Nの成長速度と、Inを加えた成長速度では異なっており、さらに成長温度が異なっても成長条件は変わっている。或る実験データによれば、六角台形、六角錐型の選

20 択成長されたDH（ダブルヘテロ）構造のカソードルミネッセンスを調べた結果、下部から上部にかけて100nmも長波長シフトしているサンプルが得られており、この実験データからそれぞれの波長領域でそのDH構造に異なる電極を設けることで、一回の成長で異なる波長発光色の第1発光波長領域、第2発光波長領域、更には第3発光波長領域の各

25 成長を行うことで多色や白色の半導体発光素子が形成されることがわかる。

InGa_Nからなる選択結晶成長層が六角錐構造や六角錐台構造を有する半導体発光素子においては、六角錐形状や六角錐台形状の中心側でInの濃度が高濃度になり、それだけ発光波長が長くなっている。また、選択結晶成長層が六角錐形状や六角錐台形状の結晶構造を有する半導体発光素子においては、選択結晶成長層の面同士の交線となる辺と選択結晶成長層の面部分ではその形状を反映して活性層の厚みや混晶比などが異なってくるために、発光波長が異なるものとされる。したがって、第1発光波長領域を選択結晶成長層の面同士の交線となる辺の部分に形成し、第2発光波長領域を上記選択結晶成長層の面部分に形成する構造とすることも可能である。第1および第2発光波長領域を選択成長の面方位の異なる面同士の交線となる辺の部分と、面方位の異なる面の部分とにすることで波長の異なる独立駆動させることができ、さらに面ごとにInの取り込みは大きく異なり、辺部分と面部分でも取り込みが異なっていることが実際フォトルミネッセンスの結果からも示されているため、波長を変えて独立駆動することがさらに容易にできる。

各半導体発光素子において、このような発光波長の異なる第1発光波長領域および第2発光波長領域、更には発光波長の異なる第3発光波長領域には、独立して電流を注入可能とするための電極が形成される。この電極形成は、それぞれの領域ごとに形成されるものであるが、p電極またはn電極の一方は共通化することもできる。接触抵抗を下げるために、コンタクト層を形成し、その後で電極をコンタクト層上に形成しても良い。一般的に各電極は多層の金属膜を蒸着などによって被着して形成されるが、領域ごとに区分するためにフォトリソグラフィーを用いてリフトオフなどにより微細加工することができる。各電極は選択結晶成長層や基板の一方の面に形成することもでき、両側に電極を形成してより高密度で電極を配線するようにすることもできる。また、独立して駆

動される電極はそれぞれ同じ材料を微細加工して形成したものであっても良いが、領域ごとに異なる材料の電極材料を使用することも可能である。

各波長領域に注入される電流は独立して与えられるものであっても良く、その場合にはこの発明の半導体発光素子が R G B（レッド、グリーン、ブルー）、C Y M（シアン、イエロー、マゼンタ）などの 3 原色を発光する構造とすることで、フルカラーディスプレイなどのカラー画像表示装置を製造できる。また、この発明の 3 原色や 2 色以上の発光色を有する半導体発光素子を複数個配列した上で、同じ電流を各第 1 発光波長領域および第 2 発光波長領域、更には第 3 発光波長領域に注入することで、白色や混色の照明装置としても利用できる。例えば、画像表示装置の場合には、各素子を 3 原色分揃え、独立した電流を注入可能に配列して走査することで、S 面を利用して電極面積を抑えることができることから、少ない面積でディスプレイとして利用できる。また、照明装置の場合には、発光波長が各素子で異なっても同時に発光することで、白色や混色の光を生成できる。発光する波長が 2 色の場合は、さらに第 3 の波長色を得るために蛍光材や色素材などを使用しても良い。

この発明においては、上述のように単独で多色に発光する半導体発光素子に限らず、複数の半導体発光素子を、各発光群を構成するように構成して半導体発光装置を構成することができる。本明細書において、発光群は形状要素が同一または近似した複数の選択結晶成長層に形成される領域であり、各選択結晶成長層上にそれぞれ第 1 導電型クラッド層、活性層、および第 2 導電型クラッド層とが形成される。このような発光群は形状要素が同一または近似していることから、1 つの発光群の範囲内ではほぼ同様な発光波長を有している。同一基板上にはこの発光群が 2 以上形成され、かつ各発光群では異なる発光波長の発光をする。した

がって、装置全体では2以上の波長の光が生成され、全体として半導体発光装置として使用される。

- 選択結晶成長層が下地結晶層上に形成されたマスク層に設けられた開口部を介して選択成長される場合には、上記形状要素は開口部の形状、
- 5 寸法、配列密度からなり、また、選択結晶成長層が基板上に形成された種結晶部から選択成長される場合には、形状要素は種結晶部の形状、寸法、配列密度からなる。開口部または種結晶部の形状は、例えば円形状、正形状、六角形状、三角形状、矩形状、菱形形状、楕円形状、帯形状、その他の多角形状およびこれらの変形状などの形状を指し、
- 10 発光群の発光波長に応じて選択される。開口部または種結晶部の寸法とは開口部または種結晶部の径、長さ、高さ、幅などのサイズを指し、発光群の発光波長に応じて選択される。配列密度は隣接する開口部または種結晶部の間の距離であり、複数の開口部または種結晶部を詰めて配列させるか間を空けて配列させるかが発光群の発光波長に応じて選択され
- 15 る。一般的な傾向として、配列密度を低くして隣接する成長層との間隔を大きくすることで、発光波長を長波長化することができる。同一の発光群内では、同じ形状要素によって発光素子を形成することが可能であるが、例えば複数の形状や寸法の異なる素子を組み合わせて発光群を構成しても良く、発光群自体が基板上で入り混じった領域に延在したり
- 20 、重なり合うようにしたりした構成であっても良い。このような発光波長の異なる複数の発光群には、それぞれ電極が形成され、各電極には同じ信号または独立した信号が与えられて装置は制御される。

【実施例】

- 以下、この発明を、各実施例を参照しながら更に詳細に説明する。各
- 25 実施例はそれぞれ製造方法に対応しており、その製造方法によって完成した素子がこの発明の構造を有する半導体発光素子である。従って、各

実施例では初めに製造工程について説明を行い、次いで製造された素子自体について説明する。なお、この発明の半導体発光素子は、その要旨を逸脱しない範囲で変形、変更などが可能であり、この発明は以下の実施例に限定されるものではない。

5 実施例 1

この実施例はサファイア基板上に直接選択成長で、異なる結晶面としてS面およびC面を有する選択結晶成長層を形成し、S面の領域とC面の領域とを分けて2色の発光波長に対応した独立のp電極を形成する例であり、第1図乃至第6図を参照しながら、その製造工程とともに素子
10 構造を説明する。

まず、C+面を基板主面とするサファイア基板10上に、500℃の低温でAlNまたはGaNのいずれかの低温バッファ層を形成する。その後、昇温し1000℃にしてシリコンドープのGaN層11を形成する。その後、SiO₂またはSiNを用いたマスク層12を全面に厚さ
15 100～500nmの範囲で形成し、10μm程度の開口部13をフォトリソグラフィとフッ酸系エッチャントを用いて形成する（第1図）。この開口部13はこの実施例においては略円形状であり、大きさは作成すべき発光素子の特性に応じて変えることができる。

その後もう一度結晶成長を行うが、このときは1000℃程度に上昇
20 し、シリコンドープのGaN層14を選択成長によって形成する。このシリコンドープのGaN層14はマスクの開口部13に成長するが、しばらく成長を続けると第2図に示す六角錐台形状を露呈してくる。その際六角錐の斜面はS面（1-101）面で被われ、上面はサファイア基板10の主面と同じC面で覆われるようにする。十分な時間が経過して
25 最上部のC面がほぼ平らになるところで、さらにシリコンドープのGaN層を形成した後、しばらく成長を行い、さらに第1導電型クラッド層

としてのシリコンドープのGaN層14を成長し、その後成長温度を低減しInGaN層15を成長する。続いて成長温度を上昇し、第3図に示すように、マグネシウムドープのGaN層16を成長する。

その際のInGaN層15の厚さは0.5nmから3nm程度である
5。活性層としては、さらに(A1)GaN/InGaN構造の量子井戸構造(QW)や多重量子井戸構造(MQW)などにもすることもあり、ガイド層GaNまたはInGaNを用いて多重構造とすることもある。その際、InGaNのすぐ上の層にはAlGaN層を成長することが望ましい。活性層であるInGaN層15の組成や厚みは、側面がS面で覆
10 われかつ上面が基板主面に平行なC面で覆われた六角錐台形のGaN層14の形状を反映して、その形状に整合する形でC面とS面では、発光波長は中央に近いC+面が長波長となり、発光波長は基板に近いS面部分が短波長となる。したがって、これらC+面上とS面上に分離した電極を形成することで、第1および第2の発光波長領域を形成することが
15 できる。

その後、その成長層をもつ基板のマスク層12を一部除去して開口部20を形成する。さらにその一部除去した開口部20の領域内にTi/Al/Pt/Au電極を蒸着する。これがn電極19となる。さらに六角錐台形のマグネシウムドープのGaN層16の最表層にNi/Pt/Au電極またはNi(Pd)/Pt/Au電極を蒸着する。p電極はNi/Pt/Au電極を用いて形成されるが、更に第4図に示すように、
20 フォトリソグラフィを用いてリフトオフでNi/Pt/Au電極またはNi(Pd)/Pt/Au電極を部分的に除去され、S面上に形成されるp電極17とC面上に形成されるp電極18とが形成される。p電極17は6つのS面にそれぞれ独立に分離されて形成され、C面に対し
25 てp電極18が他のp電極17と分離して形成される。p電極17は活

性層の短波長の発光波長領域に対応し、p電極18は活性層の長波長の発光波長領域に対応する。なお、この実施例では、p電極17はS面ごとに形成されているが、全部のS面について共通のp電極を形成しても良い。また、この六角錐台形のC面に長波長のp電極を形成し、かつS
5 面の面部分に短波長のp電極を形成し、さらにS面の面同士の交線である辺部分に中間波長のp電極を形成して、独立したp電極を有する第1乃至第3の発光波長領域を構成することも可能である。

これらの蒸着の際、p電極17、18、n電極19が六角錐層とマスクの下に形成されたシリコンドープのGa_{0.5}N層との双方についてしまう
10 と短絡してしまうので、それぞれ精度よく蒸着することが必要である。その後、第5図に示すように、この半導体発光素子をRIEまたはダイサーなどで分離する。

第6図はこの実施例の半導体発光素子の構造を示しており、その主な構成はC+面を基板主面とするサファイア基板10上に結晶種層となる
15 シリコンドープのGa_{0.5}N層11とマスク層12の開口部13を介して選択成長した選択結晶成長層としてのシリコンドープのGa_{0.5}N層14を有している。このシリコンドープのGa_{0.5}N層14は、基板主面とは傾斜してなるS面および基板主面と平行に延在されるC面を有しており、これらS面およびC面に平行に延在してなる形状で活性層であるInGa_{0.5}N
20 層15が形成され、さらにそのInGa_{0.5}N層15上にクラッド層としてマグネシウムドープのGa_{0.5}N層16が形成されている。

シリコンドープのGa_{0.5}N層14はS面およびC面でおおわれた六角錐台形状であり、活性層であるInGa_{0.5}N層15は異なる結晶面であるS面およびC面に平行して延在されている。このInGa_{0.5}N層15の組成
25 は、S面およびC面でおおわれた六角錐台形状のGa_{0.5}N層14の形状を反映して、その形状に整合する形で組成が異なるように形成されており

、長波長の第2発光波長領域は選択結晶成長層のC面部分に形成され、短波長の第1発光波長領域は選択結晶成長層のS面の部分に形成されている。第2発光波長領域は例えば緑色の発光を呈し、第1発光波長領域は例えば青色の発光を呈する。

- 5 これらの第1および第2の発光波長領域に対応してマグネシウムドープのGaN層16の上にはp電極17、p電極18が形成されており、それぞれ独立して各第1および第2の発光波長領域に電流の注入が可能となっている。n電極19は、六角錐部分の側部で開口された開口部20の領域に形成されており、シリコンドープのGaN層12を介してシリコンドープのGaN層14に接続している。

- このような構造を有するこの実施例の半導体発光素子は、活性層を多色化に対応させるために、異なる結晶面であるところのその下に形成されるGaN層14の基板主面から傾斜したS面および基板主面に平行に延在されるC面を利用し、それらC面およびS面に対して活性層をその
15 まま成長させることで、特にエッチングなどを必要とせずに、活性層に形成されるバンドギャップを変化させている。このため多色化が可能な発光素子が容易に作成されることになり、精度良く形成できかつ結晶性の劣化も招かないことになる。

- また、基板主面に対して傾斜したS面を利用することから、その窒素
20 原子からガリウム原子へのボンドの数が増大することになり、実効的なV/I^{1/2}比を高くすることが可能であり、形成される半導体発光素子の高性能化を図ることができる。また、基板主面はC⁺面であり、S面は基板主面と異なる面であるために、基板から上に延びた転位が曲がり、欠陥を低減することも可能となる。

25 実施例2

この実施例はサファイア基板上に直接選択成長で、S面を有する選択

結晶成長層を形成し、S面の面部分と辺部分に分けて2色の発光波長に対応した独立のp電極を形成する例であり、第7図乃至第12図を参照しながら、その製造工程とともに素子構造を説明する。

- まず、C+面を基板主面とするサファイア基板30上に、500℃の
5 低温でAlNまたはGaNのいずれかの低温バッファ層を形成する。その後、昇温し1000℃にしてシリコンドープのGaN層31を形成する。その後、SiO₂またはSiNを用いたマスク層32を全面に厚さ100～500nmの範囲で形成し、10μm程度の開口部33をフォトリソグラフィとフッ酸系エッチャントを用いて形成する（第7図）
10 。この開口部33はこの実施例においては略円形状であり、大きさは作成すべき発光素子の特性に応じて変えることができる。

- その後もう一度結晶成長を行うが、このときは1000℃程度に上昇し、選択結晶成長層であるSiドープのGaN層34を各開口部33に形成する。SiドープのGaN層34はマスク層32の開口部33に成長するが、しばらく成長を続けると六角錐の形状を呈してくる。その際六角錐の表面は第8図に示すようにS面（1-101）面で覆われる。成長時間が足りないと六角台形状になるが、S面（1-101）面で覆われる六角錐になるまでSiドープのGaN層34を成長する。そのために開口部33のピッチは十分に離しておく必要がある。六角錐をS
15 iドープのGaN層34で形成した後しばらく選択成長を続け六角錐の大きさが幅20μm程度（一辺が10μm程度）になった際、高さは六角錐としてその一辺の1.6倍程度になり、結果として16μm程度になる。このようなS（1-101）面で覆われる六角錐形状の結晶層は、望ましくは開口部33の大きさより基板の主面に沿った横方向の大き
20 さが大きくなるように成長する。
25

そこまで成長してS面でおおわれた六角錐のGaN層34を形成した

後、さらにSiドープのGaNを成長し、その後成長温度を低減しInGa
N層35を成長する。その後、成長温度を上昇し、MgドープのG
aN層36を六角錐の部分を覆うように成長する。第9図ではInGa
N層35は線として描かれている。その際のInGa₅N層35の厚さは
0.5nmから3nm程度である。さらに(Al)GaN/InGa₁₀N
構造の量子井戸構造や多重量子井戸構造などにすることもあり、ガイド
層GaNまたはInGa₁₅Nを用いて多重構造としても良い。その際、I
nGa₂₀Nのすぐ上の層にはAlGaN層を成長することが望ましい。こ
の時点で、活性層であるInGa₂₅N層35の組成は、S面でおおわれた
六角錐のGaN層34のサイズがInの拡散長よりも大きくされ、その
結果としてInの取り込み量に差異が生ずるために、第2発光波長領域
は選択結晶成長層のS面同士の交線となる辺の部分に形成され、第1発
光波長領域は選択結晶成長層のS面の部分に形成されている。発光波長
はS面同士の交線を含んだ第2発光波長領域が長波長となり、基板によ
り近いS面の部分に形成され第1発光波長領域が短波長となり、長波長
の第2発光波長領域は例えば緑色の発光を呈し、短波長の第1発光波長
領域は例えば青色の発光を呈する。

その後、その成長層をもつ基板のマスク層32を一部除去して開口部
38を形成し、さらにその一部除去した開口部38にTi/Al/Pt
20 /Au電極を蒸着する。これがn電極37となる。さらに六角錐上に成
長した最表層であるMgドープのGaN層36上にNi/Pt/Auま
たはNi(Pd)/Pt/Auを蒸着する。初めにNi/Pt/Au層
またはNi(Pd)/Pt/Au層を蒸着して、フォトリソグラフィー
を用いてリフトオフで表面電極を部分的に除去し六角錐の辺の部分と面
25 の部分に分割し、第10図のように、六角錐の面部分と辺部分で独立し
たp電極39、40を形成する。六角錐の辺の部分と面の部分では発光

波長の異なる発光波長領域が形成されているため、当上記半導体発光素子ではこのような独立した電極を形成することで、少なくとも470 nmと520 nmの青、緑についての発光波長をどちらも出力できる。六角錐の辺と面部とではカソードルミネッセンスによる発光波長測定の結果、50 nmの波長のシフトが観測されている。これは、青色光から、緑色光まで(470 nm-520 nm)の波長間隔に対応している。単一の素子内で波長の異なる発光を示すことができる。また、p電極39, 40に同じ信号を与えて即ちそれぞれ同じ発光強度となるような信号を与えて波長の異なる領域を常に同発光強度になるように通電しておけば、白色光源になる。なお、n電極37は3つ発光波長領域に共通の電極であり、第10図では基板の表面側に形成されているが、サファイア基板30を外した後に選択結晶成長層であるGaN層34の裏面側に設けることも可能である。

その後、この発光素子をRIEまたはダイサーなどで素子ごとに分離する(第11図)。これによりこの実施例による発光素子が完成する。さらに使用される素子は六角錐の形態をとるほうが作製しやすく、コスト低減につながる。その中でもAFMなどで特にステップが細かくて直線に近いAFM像を取り込んでおき、実際の際はそのステップがもっともきれいな部分を用いるとさらに発光効率を上げることができる。

第12図はこの実施例の半導体発光素子の構造を示しており、その主な構成はC+面を基板主面とするサファイア基板30上に結晶種層となるシリコンドープのGaN層31とマスク層32の開口部33を介して選択成長した選択結晶成長層としてのシリコンドープのGaN層34を有している。このシリコンドープのGaN層34は、基板主面とは傾斜してなるS面を有しており、このS面に平行に延在してなる形状で活性層であるInGaN層35が形成され、さらにそのInGaN層35上

にクラッド層としてマグネシウムドーパのGaN層36が形成されている。

シリコンドーパのGaN層34はS面でおおわれた六角錐形状であり、活性層であるInGaN層35はその各S面に平行して延在されている。このInGaN層35の組成や厚みは、S面でおおわれた六角錐形状のGaN層34のサイズがInの拡散長よりも大きいことから、その形状に整合する形で組成が異なるように形成されており、長波長の第2発光波長領域は選択結晶成長層のS面同士の交線となる辺の部分に形成され、短波長の第1発光波長領域は選択結晶成長層のS面の部分に形成されている。第2発光波長領域は例えば緑色の発光を呈し、第1発光波長領域は例えば青色の発光を呈する。

これらの第1および第2の発光波長領域に対応してマグネシウムドーパのGaN層36の上にはp電極39、p電極40が形成されており、それぞれ独立して各第1および第2の発光波長領域に電流の注入が可能となっている。n電極37は、六角錐部分の側部で開口された開口部38の領域に形成されており、シリコンドーパのGaN層32を介してシリコンドーパのGaN層34に接続している。

このような構造を有するこの実施例の半導体発光素子は、活性層を多色化に対応させるために、その下に形成される選択成長した選択結晶成長層としてのシリコンドーパのGaN層34の基板主面から傾斜したS面を利用し、そのS面に対して活性層をそのまま成長させることで、特にエッチングなどを必要とせずに、活性層に形成されるバンドギャップを変化させている。このため多色化が可能な発光素子が容易に作成されることになり、精度良く形成できかつ結晶性の劣化も招かないことになる。

また、基板主面に対して傾斜したS面を利用することから、その窒素

原子からガリウム原子へのボンドの数が増大することになり、実効的な V/I 比を高くすることが可能であり、形成される半導体発光素子の高性能化を図ることができる。また、基板主面は C+面であり、S面は基板主面と異なる面であるために、基板から上に延びた転位が曲がり

5 、欠陥を低減することも可能となる。

実施例 3

この実施例はサファイア基板上に直接選択成長で、S面を有する選択結晶成長層を形成し、3発光波長に対応した独立の p 電極を形成する例であり、第 13 図乃至第 18 図を参照しながら、その製造工程とともに

10 素子構造を説明する。

まず、C+面を基板主面とするサファイア基板 50 上に、500℃の低温で AlN または GaN のいずれかの低温バッファ層を形成する。その後、昇温し 1000℃にしてシリコンドープの GaN 層 51 を形成する。その後、SiO₂ または SiN を用いたマスク層 52 を全面に厚さ

15 100～500nm の範囲で形成し、10μm 程度の開口部 53 をフォトリソグラフィとフッ酸系エッチャントを用いて形成する（第 13 図）。この開口部 53 はこの実施例においては略円形状であり、大きさは作成すべき発光素子の特性に応じて変えることができる。

その後もう一度結晶成長を行うが、このときは 1000℃程度に上昇

20 し、選択結晶成長層である Si ドープの GaN 層 54 を各開口部 53 に形成する。Si ドープの GaN 層 54 はマスク層 52 の開口部 53 に成長するが、しばらく成長を続けると六角錐の形状を呈してくる。その際六角錐の表面は第 14 図に示すように S 面（1-101）面で覆われる。成長時間が足りないと六角台形状になるが、S 面（1-101）面

25 で覆われる六角錐になるまで Si ドープの GaN 層 54 を成長する。そのために開口部 53 のピッチは十分に離しておく必要がある。六角錐を

S i ドープの G a N 層 5 4 で形成した後しばらく選択成長を続け六角錐の大きさが幅 $20\ \mu\text{m}$ 程度（一辺が $10\ \mu\text{m}$ 程度）になった際、高さは六角錐としてその一辺の 1.6 倍程度になり、結果として $16\ \mu\text{m}$ 程度になる。このような S (1-101) 面で覆われる六角錐形状の結晶層
5 は、望ましくは開口部 5 3 の大きさより基板の主面に沿った横方向の大きさが大きくなるように成長する。

そこまで成長して S 面でおおわれた六角錐の G a N 層 5 4 を形成した後、さらに S i ドープの G a N を成長し、その後成長温度を低減し I n G a N 層 5 5 を成長する。その後、成長温度を上昇し、M g ドープの G
10 a N 層 5 6 を六角錐の部分を覆うように成長する。第 15 図では I n G a N 層 5 5 は線として描かれている。その際の I n G a N 層 5 5 の厚さは $0.5\ \text{nm}$ から $3\ \text{nm}$ 程度である。さらに (A l) G a N / I n G a N 構造の量子井戸構造や多重量子井戸構造などにすることもあり、ガイド層 G a N または I n G a N を用いて多重構造としても良い。その際、
15 I n G a N のすぐ上の層には A l G a N 層を成長することが望ましい。この時点で、活性層である I n G a N 層 5 5 の組成は、S 面でおおわれた六角錐の G a N 層 5 4 のサイズが I n の拡散長よりも大きいことから、基板に近い側と基板に遠い側では組成が徐々にずれ込んで、発光波長は中央に近い側が長波長となり、発光波長は基板に近い部分が短波長側
20 となる。したがって、この S 面上に独立した 3 つの電極を形成することで、第 1 乃至第 3 の発光波長領域を形成することができる。

その後、その成長層をもつ基板のマスク層 5 2 を一部除去して開口部 6 1 を形成する。さらにその一部除去した開口部 6 1 の領域内に T i / A l / P t / A u 電極を蒸着する。これが n 電極 6 0 となる。さらに六
25 角錐上に成長した最表層に N i / P t / A u 電極または N i (P d) / P t / A u 電極を蒸着する。これにより p 電極が形成されるが、更に第

16図に示すように、フォトリソグラフィを用いてリフトオフでNi/Pt/Au電極またはNi(Pd)/Pt/Au電極を部分的に除去し、またはその部分に対応したp型層も除去することもできるが、第16図のような六角錐の高さ方向に3分割された金属のp電極57、58、59を作製する。p電極57は最も短波長の発光波長領域に対応した電極であり、青色光を発光する領域に電流注入するように形成されている。p電極58は次に短い波長の発光波長領域に対応した電極であり、緑色光を発光する領域に電流注入するように形成されている。p電極59は最も長い波長の発光波長領域に対応した電極であり、赤色光を発光する領域に電流注入するように形成されている。

カソードルミネッセンスによる発光波長測定の結果からは、100乃至150nmの波長のシフトが観測され、これは、青色光から、赤色光まで(470nm-620nm)の波長間隔に対応する。このためこの実施例の半導体発光素子は、p電極57、58、59のように電極部位をS面に沿って変えることにより、単一の素子内で波長の異なる発光を示すことができる。また、p電極57、58、59に同じ信号を与えて波長の異なる領域を常に同発光強度にしておけば、白色光源になる。なお、n電極60は3つ発光波長領域に共通の電極であり、第16図では基板の表面側に形成されているが、サファイア基板50を外した後に選択結晶成長層であるGaN層54の裏面側に設けることも可能である。

その後、第17図に示すように、3分割されたp電極の形成された半導体発光素子をRIEまたはダイサーなどで分離する。これによりこの実施例による発光素子が完成する。さらに使用される素子は六角錐の形態をとるほうが作製しやすく、コスト低減につながる。その中でもAFMなどで特にステップが細かくて直線に近いAFM像を取り込んでおき、実際の際はそのステップがもっともきれいな部分を用いるとさらに発

光効率を上げることができる。

このような製造工程で製造されたこの実施例の発光素子は、第18図に示す素子構造を有している。その主な構成はC+面を基板主面とするサファイア基板50上に結晶種層となるシリコンドープのGaN層51とマスク層52の開口部53を介して選択成長した選択結晶成長層としてのシリコンドープのGaN層54を有している。このシリコンドープのGaN層54は、基板主面とは傾斜してなるS面を有しており、このS面に平行に延在してなる形状で活性層であるInGaN層55が形成され、さらにそのInGaN層55上にクラッド層としてマグネシウムドープのGaN層56が形成されている。

シリコンドープのGaN層54はS面でおおわれた六角錐形状であり、活性層であるInGaN層55はその各S面に平行して延在されている。このInGaN層55はInの拡散長は活性層の大きさに比べて短いことから、基板に近い側と基板に遠い側では組成や厚みが徐々にずれ込んでいて、発光波長は中央に近い側が長波長となりかつ発光波長は基板に近い部分が短波長側とされた第1乃至第3の発光波長領域63、64、65がInGaN層55に形成されている。

これらの第1乃至第3の発光波長領域63、64、65に対応してマグネシウムドープのGaN層56の上にはp電極57、p電極58、p電極59が形成されており、それぞれ独立して各第1乃至第3の発光波長領域63、64、65に電流の注入が可能となっている。n電極60は、六角錐部分の側部で開口された開口部61の領域に形成されており、シリコンドープのGaN層51を介してシリコンドープのGaN層54に接続している。

このような構造を有するこの実施例の半導体発光素子は、活性層を多色化に対応させるために、その下に形成される選択成長した選択結晶成

長層としてのシリコンドープのGaN層54の基板主面から傾斜したS面を利用し、そのS面に対してInの拡散長よりも大きなサイズの活性層をそのまま成長させることで、特にエッチングなどを必要とせずに、活性層に形成されるバンドギャップを変化させている。このため多色化
5 が可能な発光素子が容易に作成されることになり、精度良く形成できかつ結晶性の劣化も招かないことになる。

また、基板主面に対して傾斜したS面を利用することから、その窒素原子からガリウム原子へのボンドの数が増大することになり、実効的なV/I I I比を高くすることが可能であり、形成される半導体発光素子
10 の高性能化を図ることができる。また、基板主面はC+面であり、S面は基板主面と異なる面であるために、基板から上に延びた転位が曲がり、欠陥を低減することも可能となる。

実施例4

この実施例はサファイア基板上的の下地結晶層の表面を凹凸形状に加工
15 し、その凹凸形状部分から選択的に成長させ、発光波長領域を形成する例であり、第19図乃至第22図を参照しながら、その製造工程とともに素子構造を説明する。

サファイア基板70上に、まず500℃の低温でAlNまたはGaNのいずれかのバッファ層を形成する。その後1000℃に昇温して下地
20 結晶層としてシリコンドープのGaN層71を形成する。その後、SiO₂またはSiNを用いたマスク層を全面に厚さ100nm乃至500nmの範囲で形成し、10μm程度のストライプ状の段差部72を1-101方向にフォトリソグラフィーとフッ酸系エッチャントを用いて形成する。その後RIEで10μm程度エッチングする。

25 その後第19図に示すようにマスク層を除去する。続いてもう一度結晶成長を行うが、このときは1000℃程度に昇温し、シリコンドープ

のGaN層73を選択成長によって形成する。シリコンドープのGaN層73は段差部72に成長するが、しばらく成長を続けると第20図に示す断面鋸歯状の形状を露呈してくる。さらにシリコンドープのGaN層で形成した後しばらく成長を行い、さらにクラッド層として機能するシリコンドープのGaN層を成長し、その後成長温度を低減しInGaN層74を成長する。InGaN層74の厚さは0.5nmから3nm程度である。さらに(A1)GaN/InGaN構造の量子井戸構造(QW)や多重量子井戸構造(MQW)などにすることもあり、ガイド層GaNまたはInGaNを用いて多重構造とすることもある。その際、InGaNのすぐ上の層にはAlGaN層を成長することが望ましい。その後、成長温度を上昇し、第21図に示すようにマグネシウムドープのGaN層75を成長する。

さらにこの層に成長した最表層にNi/Pt/AuまたはNi(Pd)/Pt/Auを蒸着し、第22図に示すようにp電極76がマグネシウムドープのGaN層75の上に形成される。その後、その成長層をもつ基板上のマグネシウムドープのGaN層75などの部分を一部除去し、さらにその一部除去した開口部78にTi/Al/Pt/Au電極を蒸着する。このTi/Al/Pt/Au電極がn電極77となる。

この実施例の発光素子は、下地結晶層の表面を凹凸形状に加工し、その凹凸形状部分から選択的に成長させて発光波長領域を形成しており、この発光素子は一般に円形、六角形状のマスクの開口部や結晶種を用いるものよりもInの取り込み量が少なくなることから短波長となる。したがって、これらと組み合わせることで多色発光可能な画像表示装置を作製することができる。

25 実施例5

この実施例は、帯状の窓領域を形成して選択成長させる半導体発光素

子の例であり、第 23 図乃至第 26 図を参照しながらその構造を説明する。

第 23 図に示すように、基板主面を C+面とするサファイア基板 80 上に、まず 500℃の低温で AlN または GaN のいずれかのバッファ層を形成する。その後昇温し 1000℃にしてシリコンドープの GaN 層 81 を形成する。その後、SiO₂ または SiN を用いたマスク層 82 を全面に厚さ 100～500 nm の範囲で形成し、フォトリソグラフィとフッ酸系エッチャントを用いて 10 μm×50 μm 程度の矩形形状の開口部からなる窓領域 83 を形成する。このときの長辺の方向は 1-100 方向にとる。その後もう一度結晶成長を行うが、このときは 1000℃程度に上昇し、シリコンドープの GaN 層 84 を形成する。シリコンドープの GaN 層 84 はマスクの窓領域 83 に成長するが、しばらく成長を続けると第 24 図に示す船底の如き形状を露呈してくる。その際突条の六角錐の側面は S 面と 11-22 面のように異なる結晶面で覆われるようにする。

少なくとも十分な時間が経過して最上部の C 面がほぼ平らになったところで、さらにシリコンドープの GaN 層を形成する。その後成長温度を低減して、活性層となる InGa_xN 層 85 を成長する。次いで成長温度を再び上昇させ、p 型クラッド層としてのマグネシウムドープの GaN 層 86 を成長させる。その際の InGa_xN 層 85 の厚さは 0.5 nm から 3 nm 程度である。さらに前述の実施例 1、2 と同様に、活性層を (Al) GaN / InGa_xN の量子井戸層や多重量子井戸層などに行うこともあり、ガイド層として機能する GaN または InGa_xN を用いて多重構造とすることもある。その際、InGa_xN のすぐ上の層には AlGa_xN 層を成長することが望ましい点は、前述の実施例と同様である。

その後、マスク層の一部を開口して GaN 層 81 を露出させ、さらに

- その除去した部分にT i / A l / P t / A u 電極を蒸着する。これがn電極87となる。さらに六角錐上に成長した最表層にN i / P t / A u またはN i (P d) / P t / A u を蒸着する。この蒸着によりp電極88が完成する(第25図)。これらの蒸着の際、p電極88、n電極87はそれぞれ精度よく蒸着することが必要である。その後、p電極88はC面上のp電極88aと(11-22)面上のp電極88bおよびS面上の図示しないp電極に分割される。当上記発光素子をR I E (反応性イオンエッチング) またはダイサーなどで分離して、この実施例による発光素子が完成する。
- 10 このような製造工程で製造されたこの実施例の発光素子は、第26図に示す素子構造を有しており、S面だけではなく、11-22面も形成されたシリコンドープのG a N層84を有している。このような構造の異なる結晶面の部分を利用して活性層を形成することで、各結晶面に発光波長の異なる発光波長領域が形成され多色化に対応した構成することが可能となる。
- 15

実施例6

- この実施例は、上述の半導体発光素子を複数個並べて配置した画像表示装置の例である。第27図に示すように、C面を基板主面とするサファイア基板90上には、結晶種層となるシリコンドープのG a N層92とマスク層93の開口部を介して選択成長した選択結晶成長層としてのシリコンドープのG a N層95を有している。このシリコンドープのG a N層95は、基板主面とは傾斜してなるS面および基板主面と平行に延在されるC面を有しており、これらS面およびC面に平行に延在してなる形状で活性層であるI n G a N層96が形成され、さらにそのI n
- 20
- 25 G a N層96上にクラッド層としてマグネシウムドープのG a N層が形成されている。

シリコンドープのGa_{0.5}N_{0.5}層95はS面およびC面で覆われた六角錐台形状であり、活性層であるInGa_{0.5}N_{0.5}層96はその各S面およびC面に平行して延在されている。このInGa_{0.5}N_{0.5}層96の組成は、S面およびC面で覆われた六角錐台形状のGa_{0.5}N_{0.5}層95の形状を反映して、長波長の第2発光波長領域97は選択結晶成長層のC面側に形成され、短波長の第1発光波長領域98は選択結晶成長層のS面の部分に形成されている。第2発光波長領域97は例えば緑色の発光を呈し、第1発光波長領域98は例えば青色の発光を呈する。

そして、C面側の第2発光波長領域97に電流を供給するp電極99が形成され、S面側の第1発光波長領域98は電流を供給するp電極100が形成され、さらに共通のn電極94も上記各半導体発光素子に電流を供給する目的で形成されている。

この実施例の画像表示装置は、多色の発光を行う素子が基板90上に配列されついることから、画像信号に応じた素子の駆動信号を供給することで所要のカラー表示装置として利用できる。また、各発光素子を3波長の素子としたり、2色発光素子に隣接して更に異なる波長の光を発生させる発光素子を並べたりしてフルカラーの画像表示装置を構成できる。また、異なる発光波長の発光領域を有する発光素子の各電極にそれぞれ同じ発光強度となるような信号を供給することで照明装置としても用いることができる。

なお、各半導体発光素子は同じものを配列させて構成することができるが、他の方法で作成した各半導体発光素子を部分的に混ぜ合わせて画像表示装置または照明装置を構成しても良い。

実施例7

この実施例はサファイア基板上に直接選択成長で、S面を有する選択結晶成長層を形成し、3発光波長に対応した独立のp電極を形成する例

であり、第28図乃至第33図を参照しながら、その製造工程とともに素子構造を説明する。

まず、C+面を基板主面とするサファイア基板110上に、500℃の低温でAlNまたはGaNのいずれかの低温バッファ層を形成する。

- 5 その後、昇温し1000℃にしてシリコンドープのGaN層111を形成する。その後、SiO₂またはSiNを用いたマスク層112を全面に厚さ100～500nmの範囲で形成し、10μm程度の開口部113をフォトリソグラフィーとフッ酸系エッチャントを用いて形成する（第28図）。この開口部113はこの実施例においては略円形形状であり、
- 10 り、大きさは作成すべき発光素子の特性に応じて変えることができる。

- その後もう一度結晶成長を行うが、このときは1000℃程度に上昇し、選択結晶成長層であるSiドープのGaN層114を各開口部113に形成する。SiドープのGaN層114はマスク層112の開口部113に成長するが、しばらく成長を続けると六角錐の形状を呈してくる。その際六角錐の表面は第29図に示すようにS面（1-101）面で覆われる。成長条件が異なると六角台形状になることもある。開口部113のピッチは隣の成長部を壊さないように十分に離しておく必要がある。六角錐をSiドープのGaN層114で形成した後しばらく選択成長を続け六角錐の大きさが幅20μm程度（一辺が10μm程度）
- 15 になった際、高さは六角錐としてその一辺の1.6倍程度になり、結果として16μm程度になる。このようなS（1-101）面で覆われる六角錐形状の結晶層は、望ましくは開口部113の大きさより基板の主面に沿った横方向の大きさが大きくなるように成長する。なお、六角錐の大きさが幅20μm程度は例示であり、例えば六角錐の大きさを幅1
- 20 0μm程度とすることも可能である。

そこまで成長してS面でおおわれた六角錐のGaN層114を形成し

た後、さらにSiドープのGaNを成長し、その後成長温度を低減しInGaN層115を成長する。その後、成長温度を上昇し、MgドープのGaN層116を六角錐の部分を覆うように成長する。第30図ではInGaN層115は線として描かれている。その際のInGaN層115の厚さは0.5nmから3nm程度である。さらに(Al)GaN/InGaN構造の量子井戸構造や多重量子井戸構造などにもあり、ガイド層GaNまたはInGaNを用いて多重構造としても良い。その際、InGaNのすぐ上の層にはAlGaN層を成長することが望ましい。この時点で、活性層であるInGaN層115の組成や厚みは、S面でおおわれた六角錐のGaN層114の形状を反映して、その形状に整合する形で基板に近い側と基板に遠い側では組成や厚みが徐々にずれ込んで、発光波長は中央に近い側が長波長となり、発光波長は基板に近い部分が短波長側となる。したがって、このS面上に独立した3つの電極を形成することで、第1乃至第3の発光波長領域を形成することができる。

その後、その成長層をもつ基板のマスク層112を一部除去して開口部121を形成する。さらにその一部除去した開口部121の領域内にTi/Al/Pt/Au電極を蒸着する。これがn電極120となる。さらに六角錐上に成長した最表層にNi/Pt/Au電極またはNi(Pd)/Pt/Au電極を蒸着する。これによりp電極が形成されるが、更に第31図に示すように、フォトリソグラフィーを用いてリフトオフでNi/Pt/Au電極またはNi(Pd)/Pt/Au電極を部分的に除去され、第31図のような六角錐の高さ方向に3分割された金属のp電極117、118、119を作製する。p電極117は最も短波長の発光波長領域に対応した電極であり、青色光を発光する領域に電流注入するように形成されている。p電極118は次に短い波長の発光波

長領域に対応した電極であり、緑色光を発光する領域に電流注入するように形成されている。p電極119は最も長い波長の発光波長領域に対応した電極であり、赤色光を発光する領域に電流注入するように形成されている。

- 5 カソードルミネッセンスによる発光波長測定の結果からは、その六角錐の上部から下部にかけて100乃至150nmの波長のシフトが観測され、これは、青色光から、赤色光まで(470nm-620nm)の波長間隔に対応する。このためこの実施例の半導体発光素子は、p電極117、118、119のように電極部位をS面に沿って変えることにより、単一の素子内で波長の異なる発光を示すことができる。また、p電極117、118、119に同じ信号を与えて波長の異なる領域を常に同電位にしておけば、白色光源になる。なお、n電極120は3つ発光波長領域に共通の電極であり、第31図では基板の表面側に形成されているが、サファイア基板110を外した後に選択結晶成長層であるGa
- 10 N層114の裏面側に設けることも可能である。

- その後、第32図に示すように、3分割されたp電極の形成された半導体発光素子をRIEまたはダイサーなどで分離する。これによりこの実施例による発光素子が完成する。さらに使用される素子は六角錐の形態をとるほうが作製しやすく、コスト低減につながる。その中でもAF
- 20 Mなどで特にステップが細かくて直線に近いAFM像を取り込んでおき、実際の際はそのステップがもっともきれいな部分を用いるとさらに発光効率を上げることができる。

- このような製造工程で製造されたこの実施例の発光素子は、第33図に示す素子構造を有している。その主な構成はC+面を基板主面とするサファイア基板110上に結晶種層となるシリコンドープのGa
- 25 N層111とマスク層112の開口部113を介して選択成長した選択結晶成

長層としてのシリコンドープのGaN層114を有している。このシリコンドープのGaN層114は、基板主面とは傾斜してなるS面を有しており、このS面に平行に延在してなる形状で活性層であるInGaN層115が形成され、さらにそのInGaN層115上にクラッド層としてマグネシウムドープのGaN層116が形成されている。

シリコンドープのGaN層114はS面でおおわれた六角錐形状であり、活性層であるInGaN層115はその各S面に平行して延在されている。このInGaN層115は基板に近い側と基板に遠い側では組成や厚みが徐々にずれ込んでいて、発光波長は中央に近い側が長波長となりかつ発光波長は基板に近い部分が短波長側とされた第1乃至第3の発光波長領域123、124、125がInGaN層115に形成されている。

これらの第1乃至第3の発光波長領域123、124、125に対応してマグネシウムドープのGaN層116の上にはp電極117、p電極118、p電極119が形成されており、それぞれ独立して各第1乃至第3の発光波長領域123、124、125に電流の注入が可能となっている。n電極120は、六角錐部分の側部で開口された開口部121の領域に形成されており、シリコンドープのGaN層111を介してシリコンドープのGaN層114に接続している。

このような構造を有するこの実施例の半導体発光素子は、活性層を多色化に対応させるために、その下に形成される選択成長した選択結晶成長層としてのシリコンドープのGaN層114の基板主面から傾斜したS面を利用し、そのS面に対して活性層をそのまま成長させることで、特にエッチングなどを必要とせずに、活性層に形成されるバンドギャップを変化させている。このため多色化が可能な発光素子が容易に作成されることになり、精度良く形成できかつ結晶性の劣化も招かないことに

なる。

また、基板主面に対して傾斜したS面を利用することから、その窒素原子からガリウム原子へのボンドの数が増大することになり、実効的なV/I I I比を高くすることが可能であり、形成される半導体発光素子の高性能化を図ることができる。また、基板主面はC+面であり、S面は基板主面と異なる面であるために、基板から上に延びた転位が曲がり、欠陥を低減することも可能となる。

実際にこの素子を使用する際には、n電極を同一とし、3つの電極に独立して通電することで独立した発光を得ることができる。なお、3つの電極間をエッチングやイオン注入などにより絶縁することもできる。また、形成される半導体発光素子は、このような独立した信号制御から少なくとも同時に2つの異なる波長での発光が可能となる。

実施例 8

この実施例はサファイア基板上に直接選択成長で、S面を有する選択結晶成長層を形成し、S面の面部分と辺部分に分けて2色の発光波長に対応した独立のp電極を形成する例であり、第34図乃至第39図を参照しながら、その製造工程とともに素子構造を説明する。

まず、C+面を基板主面とするサファイア基板130上に、500℃の低温でAlNまたはGaNのいずれかの低温バッファ層を形成する。その後、昇温し1000℃にしてシリコンドープのGaN層131を形成する。その後、SiO₂またはSiNを用いたマスク層132を全面に厚さ100～500nmの範囲で形成し、10μm程度の開口部133をフォトリソグラフィーとフッ酸系エッチャントを用いて形成する（第34図）。この開口部133はこの実施例においては略円形形状であり、大きさは作成すべき発光素子の特性に応じて変えることができる。

その後もう一度結晶成長を行うが、このときは1000℃程度に上昇

し、選択結晶成長層であるS i ドープのG a N層1 3 4を各開口部1 3 3に形成する。S i ドープのG a N層1 3 4はマスク層1 3 2の開口部1 3 3に成長するが、しばらく成長を続けると六角錐の形状を呈してくる。その際六角錐の表面は第3 5図に示すようにS面(1-1 0 1)面で覆われる。成長時間が足りないと六角台形状になるが、S面(1-1 0 1)面で覆われる六角錐になるまでS i ドープのG a N層1 3 4を成長する。そのために開口部1 3 3のピッチは十分に離しておく必要がある。六角錐をS i ドープのG a N層1 3 4で形成した後しばらく選択成長を続け六角錐の大きさが幅2 0 μm程度(一辺が1 0 μm程度)になった際、高さは六角錐としてその一辺の1. 6倍程度になり、結果として1 6 μm程度になる。このようなS(1-1 0 1)面で覆われる六角錐形状の結晶層は、望ましくは開口部1 3 3の大きさより基板の主面に沿った横方向の大きさが大きくなるように成長する。

そこまで成長してS面でおおわれた六角錐のG a N層1 3 4を形成した後、さらにS i ドープのG a Nを成長し、その後成長温度を低減しI n G a N層1 3 5を成長する。その後、成長温度を上昇し、M g ドープのG a N層1 3 6を六角錐の部分を覆うように成長する。第3 6図ではI n G a N層1 3 5は線として描かれている。その際のI n G a N層1 3 5の厚さは0. 5 nmから3 nm程度である。さらに(A l) G a N / I n G a N構造の量子井戸構造や多重量子井戸構造などにすることもあり、ガイド層G a NまたはI n G a Nを用いて多重構造としても良い。その際、I n G a Nのすぐ上の層にはA l G a N層を成長することが望ましい。この時点で、活性層であるI n G a N層1 3 5の組成や厚みは、S面でおおわれた六角錐のG a N層1 3 4の形状を反映して、その形状に整合する形で組成や厚みが異なるように形成されており、第2発光波長領域は選択結晶成長層のS面同士の交線となる辺の部分に形成さ

れ、第1発光波長領域は選択結晶成長層のS面の部分に形成されている。発光波長はS面同士の交線を含んだ第2発光波長領域が長波長となり、基板により近いS面の部分に形成され第1発光波長領域が短波長となり、長波長の第2発光波長領域は例えば緑色の発光を呈し、短波長の第1発光波長領域は例えば青色の発光を呈する。

その後、その成長層をもつ基板のマスク層132を一部除去して開口部138を形成し、さらにその一部除去した開口部138にTi/Al/Pt/Au電極を蒸着する。これがn電極137となる。さらに六角錐上に成長した最表層であるMgドープのGaN層136上にNi/Pt/Au電極またはNi(Pd)/Pt/Au電極を蒸着する。初めにNi/Pt/Au層またはNi(Pd)/Pt/Au層を蒸着して、フォトリソグラフィーを用いてリフトオフで表面電極を部分的に除去し六角錐の辺の部分と面の部分に分割し、第37図のように、六角錐の面部分と辺部分で独立したp電極139、140を形成する。六角錐の辺の部分と面の部分では発光波長の異なる発光波長領域が形成されているため、当上記半導体発光素子ではこのような独立した電極を形成することで、少なくとも470nmと520nmの青、緑についての発光波長をどちらも出力できる。六角錐の辺と面部とではカソードルミネッセンスによる発光波長測定の結果、50nmの波長のシフトが観測されている。これは、青色光から、緑色光まで(470nm-520nm)の波長間隔に対応している。単一の素子内で波長の異なる発光を示すことができる。また、p電極139、140に同じ信号を与えて波長の異なる領域を常に同電位にしておけば、必要に応じて赤色成分を他の材料の発光ダイオードで加えれば白色光源になる。なお、n電極137は3つ発光波長領域に共通の電極であり、第37図では基板の表面側に形成されているが、サファイア基板130を外した後に選択結晶成長層であるGa

N層134の裏面側に設けることも可能である。

その後、この発光素子をRIEまたはダイサーなどで素子ごとに分離する（第38図）。これによりこの実施例による発光素子が完成する。

さらに使用される素子は六角錐の形態をとるほうが作製しやすく、コスト低減につながる。その中でもAFMなどで特にステップが細かくて直線に近いAFM像を取り込んでおき、実際の際はそのステップがもっとも細かくて平行な部分を用いるとさらに発光効率を上げることができる。

第39図はこの実施例の半導体発光素子の構造を示しており、その主な構成はC+面を基板主面とするサファイア基板130上に結晶種層となるシリコンドープのGaN層131とマスク層132の開口部133を介して選択成長した選択結晶成長層としてのシリコンドープのGaN層134を有している。このシリコンドープのGaN層134は、基板主面とは傾斜してなるS面を有しており、このS面に平行に延在してなる形状で活性層であるInGaN層135が形成され、さらにそのInGaN層135上にクラッド層としてマグネシウムドープのGaN層136が形成されている。

シリコンドープのGaN層134はS面でおおわれた六角錐形状であり、活性層であるInGaN層135はその各S面に平行して延在されている。このInGaN層135の組成や厚みは、S面でおおわれた六角錐形状のGaN層134の形状を反映して、その形状に整合する形で組成や厚みが異なるように形成されており、長波長の第2発光波長領域は選択結晶成長層のS面同士の交線となる辺の部分に形成され、短波長の第1発光波長領域は選択結晶成長層のS面の部分に形成されている。第2発光波長領域は例えば緑色の発光を呈し、第1発光波長領域は例えば青色の発光を呈する。

これらの第1および第2の発光波長領域に対応してマグネシウムドー
プのGaN層136の上にはp電極139、p電極140が形成されて
おり、それぞれ独立して各第1および第2の発光波長領域に電流の注入
が可能となっている。n電極137は、六角錐部分の側部で開口された
5 開口部138の領域に形成されており、シリコンドーパのGaN層13
2を介してシリコンドーパのGaN層134に接続している。

このような構造を有するこの実施例の半導体発光素子は、活性層を多
色化に対応させるために、その下に形成される選択成長した選択結晶成
長層としてのシリコンドーパのGaN層134の基板主面から傾斜した
10 S面を利用し、そのS面に対して活性層をそのまま成長させることで、
特にエッチングなどを必要とせずに、活性層に形成されるバンドギャッ
プを変化させている。このため多色化が可能な発光素子が容易に作成さ
れることになり、精度良く形成できかつ結晶性の劣化も招かないことにな
る。

15 また、基板主面に対して傾斜したS面を利用することから、その窒素
原子からガリウム原子へのボンドの数が増大することになり、実効的な
V/I_{III}比を高くすることが可能であり、形成される半導体発光素子
の高性能化を図ることができる。また、基板主面はC+面であり、S面
は基板主面と異なる面であるために、基板から上に延びた転位が曲がり
20 、欠陥を低減することも可能となる。

実施例 9

この実施例はサファイア基板上に直接選択成長で、S面およびC面を
有する選択結晶成長層を形成し、S面の領域とC面の領域分けて2色の
発光波長に対応した独立のp電極を形成する例であり、第40図乃至第
25 45図を参照しながら、その製造工程とともに素子構造を説明する。

まず、C+面を基板主面とするサファイア基板150上に、500℃

の低温でAlNまたはGaNのいずれかの低温バッファ層を形成する。
その後、昇温し1000℃にしてシリコンドープのGaN層151を形成する。その後、SiO₂またはSiNを用いたマスク層152を全面に厚さ100～500nmの範囲で形成し、10μm程度の開口部153をフォトリソグラフィーとフッ酸系エッチャントを用いて形成する（第40図）。この開口部153はこの実施例においては略円形形状であり、大きさは作成すべき発光素子の特性に応じて変えることができる。

その後もう一度結晶成長を行うが、このときは1000℃程度に上昇し、シリコンドープのGaN層154を選択成長によって形成する。このシリコンドープのGaN層154はマスクの開口部53に成長するが、しばらく成長を続けると第41図に示す六角錐台形状を露呈してくる。その際六角錐の斜面はS面（ $\bar{1}-101$ ）面で被われ、上面はサファイア基板150の主面と同じC面で覆われるようにする。十分な時間が経過して最上部のC面がほぼ平らになるところで、さらにシリコンドープのGaN層を形成した後、しばらく成長を行い、さらに第1導電型クラッド層としてのシリコンドープのGaN層154を成長し、その後成長温度を低減しInGaN層155を成長する。続いて成長温度を上昇し、第42図に示すように、マグネシウムドープのGaN層156を成長する。

その際のInGaN層155の厚さは0.5nmから3nm程度である。活性層としては、さらに（Al）GaN/InGaN構造の量子井戸構造（QW）や多重量子井戸構造（MQW）などにもすることもあり、ガイド層GaNまたはInGaNを用いて多重構造とすることもある。その際、InGaNのすぐ上の層にはAlGaN層を成長することが望ましい。活性層であるInGaN層155の組成や厚みは、側面がS面で覆われかつ上面が基板主面に平行なC面で覆われた六角錐台形のGa

N層154の形状を反映して、その形状に整合する形でC面とS面では、発光波長は中央に近いC面が長波長となり、発光波長は基板に近いS面部分が短波長となる。したがって、これらC面上とS面上に分離した電極を形成することで、第1および第2の発光波長領域を形成することが
5 できる。

その後、その成長層をもつ基板のマスク層152を一部除去して開口部160を形成する。さらにその一部除去した開口部160の領域内にTi/A1/Pt/Au電極を蒸着する。これがn電極159となる。さらに六角錐台形のマグネシウムドープのGaN層156の最表層にNi/Pt/Au電極またはNi(Pd)/Pt/Au電極を蒸着する。
10 p電極はNi/Pt/Au電極またはNi(Pd)/Pt/Au電極を用いて形成されるが、更に第43図に示すように、フォトリソグラフィを用いてリフトオフでNi/Pt/Au電極またはNi(Pd)/Pt/Au電極を部分的に除去して、S面上に形成されるp電極157と
15 C面上に形成されるp電極158とが形成される。p電極157は6つのS面にそれぞれ独立に分離されて形成され、C面に対してp電極158が他のp電極157と分離して形成される。p電極157は活性層の短波長の発光波長領域に対応し、p電極158は活性層の長波長の発光波長領域に対応する。なお、この実施例では、p電極157はS面ごと
20 に形成されているが、全部のS面について共通のp電極を形成しても良い。また、この六角錐台形のC面に長波長のp電極を形成し、かつS面の面部分に短波長のp電極を形成し、さらにS面の面同士の交線である辺部分に中間波長のp電極を形成して、独立したp電極を有する第1乃至第3の発光波長領域を構成することも可能である。

25 これらの蒸着の際、p電極157、158、n電極159が六角錐層とマスクの下に形成されたシリコンドープのGaN層との双方について

しまうと短絡してしまうので、それぞれ精度よく蒸着することが必要である。その後、第44図に示すように、この半導体発光素子をRIEまたはダイサーなどで分離する。

第45図はこの実施例の半導体発光素子の構造を示しており、その主な構成はC+面を基板主面とするサファイア基板150上に結晶種層となるシリコンドープのGaN層151とマスク層152の開口部153を介して選択成長した選択結晶成長層としてのシリコンドープのGaN層154を有している。このシリコンドープのGaN層154は、基板主面とは傾斜してなるS面および基板主面と平行に延在されるC+面を有しており、これらS面およびC+面に平行に延在してなる形状で活性層であるInGaN層155が形成され、さらにそのInGaN層155上にクラッド層としてマグネシウムドープのGaN層156が形成されている。

シリコンドープのGaN層154はS面およびC面でおおわれた六角錐台形状であり、活性層であるInGaN層155はその各S面およびC+面に平行して延在されている。このInGaN層155の組成や厚みは、S面およびC+面でおおわれた六角錐台形状のGaN層154の形状を反映して、その形状に整合する形で組成や厚みが異なるように形成されており、長波長の第2発光波長領域は選択結晶成長層のC面部分に形成され、短波長の第1発光波長領域は選択結晶成長層のS面の部分に形成されている。第2発光波長領域は例えば緑色の発光を呈し、第1発光波長領域は例えば青色の発光を呈する。

これらの第1および第2の発光波長領域に対応してマグネシウムドープのGaN層156の上にはp電極157、p電極158が形成されており、それぞれ独立して各第1および第2の発光波長領域に電流の注入が可能となっている。n電極159は、六角錐部分の側部で開口された

開口部 160 の領域に形成されており、シリコンドープの GaN 層 152 を介してシリコンドープの GaN 層 154 に接続している。

このような構造を有するこの実施例の半導体発光素子は、活性層を多色化に対応させるために、その下に形成される GaN 層 154 の基板主面から傾斜した S 面および基板主面に平行に延在される C+面を利用し、それら C+面および S 面に対して活性層をそのまま成長させることで、特にエッチングなどを必要とせずに、活性層に形成されるバンドギャップを変化させている。このため多色化が可能な発光素子が容易に作成されることになり、精度良く形成できかつ結晶性の劣化も招かないことになる。

実施例 10

この実施例はサファイア基板上の下地結晶層の表面を凹凸形状に加工し、その凹凸形状部分から選択的に成長させ、発光波長領域を形成する例であり、第 46 図乃至第 49 図を参照しながら、その製造工程とともに素子構造を説明する。

サファイア基板 170 上に、まず 500℃ の低温で AlN または GaN のいずれかのバッファ層を形成する。その後 1000℃ に昇温して下地結晶層としてシリコンドープの GaN 層 171 を形成する。その後、SiO₂ または SiN を用いたマスク層を全面に厚さ 100 nm 乃至 500 nm の範囲で形成し、10 μm 程度のストライプ状の段差部 172 を 1-101 方向にフォトリソグラフィとフッ酸系エッチャントを用いて形成し、その上から RIE でむき出しになっているシリコンドープの GaN 層 171 をエッチングする。

その後第 46 図に示すようにマスク層を除去する。続いてもう一度結晶成長を行うが、このときは 1000℃ 程度に昇温し、シリコンドープの GaN 層 173 を選択成長によって形成する。シリコンドープの Ga

N層173は段差部172に成長するが、しばらく成長を続けると第47図に示す断面鋸歯状の形状を露呈してくる。さらにシリコンドープのGa_{0.9}N層で形成した後しばらく成長を行い、さらにクラッド層として機能するシリコンドープのGa_{0.9}N層を成長し、その後成長温度を低減しInGa_{0.9}N層174を成長する。InGa_{0.9}N層174の厚さは0.5nmから3nm程度である。さらに(A_{0.9})Ga_{0.9}N/InGa_{0.9}N構造の量子井戸構造(QW)や多重量子井戸構造(MQW)などにすることもあり、ガイド層Ga_{0.9}NまたはInGa_{0.9}Nを用いて多重構造とすることもある。その際、InGa_{0.9}Nのすぐ上の層にはAlGa_{0.9}N層を成長することが望ましい。その後、成長温度を上昇し、第48図に示すようにマグネシウムドープのGa_{0.9}N層175を成長する。

さらにこの層に成長した最表層にNi/Pt/AuまたはNi(Pd)/Pt/Auを蒸着し、第49図に示すようにp電極176がマグネシウムドープのGa_{0.9}N層175の上に形成される。その後、その成長層をもつ基板上のマグネシウムドープのGa_{0.9}N層175などの部分を一部除去し、さらにその一部除去した開口部178にTi/Al/Pt/Au電極を蒸着する。このTi/Al/Pt/Au電極がn電極177となる。

この実施例の発光素子は、下地結晶層の表面を凹凸形状に加工し、その凹凸形状部分から選択的に成長させて発光波長領域を形成しており、この発光素子は一般に円形、六角形状のマスクの開口部や結晶種を用いるものよりも短波長となる。したがって、これらと組み合わせることで多色発光可能な半導体発光装置を作製することができる。

実施例11

この実施例は、実施例7のように選択成長した発光素子でその形状要素を変化させて異なる発光波長領域を形成し、かつ実施例10に説明し

た選択成長で短波長化した発光領域を形成して半導体発光装置を構成する例である。

第50図に示すように、サファイア基板180上にまず500℃の低温でAlNまたはGaNのいずれかのバッファ層を形成する。その後15 000℃に昇温して下地結晶層としてシリコンドープのGaN層181を形成する。その後、SiO₂またはSiNを用いたマスク層182を全面に厚さ100nm乃至500nmの範囲で形成し、このマスク層182に、3種類の形状要素の異なる発光群を構成するように、配列密度の高い開口部183と、配列密度の比較的低い開口部184と、10μm程度10のストライプ状のパターンとされた開口部185をそれぞれ形成する。第50図において、開口部183に対応して構成される発光群では配列密度が高く、開口部183同士の隣接した距離が短くされており、開口部184に対応して構成される発光群では配列密度が低く、開口部184同士の隣接した距離が長くされている。開口部183と開口部15 184はそれぞれ同じ径を有しているが、ここでは隣接した他の開口部までの距離が異なるように構成されている。ストライプ状のパターンとされた開口部185は前述の実施例10と同様に段差部を1-101方向にフォトリソグラフィとフッ酸系エッチャントを用いて形成する。

続いて、これら3種類の形状要素を用いたそれぞれの発光群の各開口20 部183、184、185から選択成長によってシリコンドープのGaN層が形成され、その上にInGaN層が活性層として形成され、第51図に示すように、その上にマグネシウムドープのGaN層186、187、188が形成される。この時点で、活性層であるInGaN層の組成や厚みには、各発光群ごとに差異が生じており、ストライプ状のパターンを反映して形成されたInGaN層は青色の発光をし、配列密度25 が低い開口部184を反映して形成されたInGaN層は赤色の発光を

し、さらに配列密度が高い開口部 183 を反映して形成された InGa
N 層は緑色の発光をすることになる。

各発光群のマグネシウムドープの GaN 層 186、187、188 上
には、第 52 図に示すように、それぞれ p 電極 189、190、191
5 が形成され、それぞれ各発光群ごとに独立して電流が注入される。これ
ら素子形成部分に隣接してマスク層 182 をエッチングして各開口部 1
95、196、197 を空けて n 電極 192、193、194 を形成す
る。n 電極をこの実施例の半導体発光素子では 3 個形成したが、電圧降
下が無視できる範囲で数を少なくして共通化しても良い。このように一
10 つの装置内で一回の結晶成長から、3 色の発光をする半導体発光素子を
構成することができる。前述のように、この 3 色は赤、青、緑とすること
ができ、一般にストライプ部が短波長になり、ピッチの大きい（フィ
ルファクターの小さい）素子ほど長波長になる。また、マスクの開口部
のサイズをこの実施例では変えていないがそれを変えても同じような効
15 果が得られる。

特に、このような半導体発光装置をディスプレイに応用することは容
易であり、この実施例の半導体発光装置を 100 万画素並べることで画
像表示装置にすることができる。単純マトリックス方式では X、Y の方
向に電極を作製するだけで画像表示装置ができることになる。

20 実施例 12

実施例 11 で得られた多色半導体発光装置を単純マトリックス方式で
配線することで、画像表示装置または照明装置を構成することができる
。第 53 図は、そのような画像表示装置または照明装置の実施例であり
、各半導体発光装置 200、201、202、203 は基板 205 上に
25 、赤色発光領域、青色発光領域および緑色発光領域の部分が直線状に並
ぶように配列されていて、赤色発光領域、青色発光領域および緑色発光

領域の p 電極に電流を供給するための配線 206 R、206 G、206 B が配されている。なお、n 電極は共通とされ、必要に応じて画素ごとの制御を行うための選択トランジスタなども形成される。

このような画像表示装置または照明装置には、組成および厚さの少なくとも一方が異なることによって発光波長が互いに異なり、赤色発光領域、青色発光領域および緑色発光領域として機能する第 1 乃至第 3 発光波長領域がそれぞれ活性層に形成された構造を有している。各配線 206 R、206 G、206 B に独立した信号を与えることで、画像表示装置として 2 次元の画像を表示することが可能であり、各配線 206 R、
10 206 G、206 B に同信号を与えることで、照明装置として利用することもできる。

なお、各色の発光領域は必ずしも、直線状に並ぶものでなくとも良く、千鳥状や 2 色の発光を基礎にするものでも良く、あるいは 3 原色のうちの 1 色が他の色よりも画素数が多いような構成であっても良い。各半
15 導体発光装置は同じものを配列させて構成することができるが、他の方法で作成した各半導体発光装置を部分的に混ぜ合わせて画像表示装置または照明装置を構成しても良い。

なお、上述の各実施例中、サファイア基板上に低温バッファ層を形成してから、Ga₂N 層を成長させ、その後に選択マスクを形成して選択成長を行う方法について説明したが、これに限定されず、サファイア基板上に積層するだけではなく、Si 上に直接約 900℃で Ga₂N 層を形成したり、SiC 上に 1000℃で AlN を 5 nm 成長させた後 Ga₂N を成長させたり、Ga₂N 基板を使用してその後選択マスクを形成することでも良い。また、上述の実施例の六角錐等のサイズは例示であり、例え
25 ば六角錐等の大きさを幅 10 μm 程度とすることも可能である。

この発明の半導体発光素子は、その選択成長に基づく構造から、結晶

- 面の違いや拡散長よりも大きなサイズの活性層を形成することでバンドギャップエネルギーの同一活性層内での変化を実現させている。このため特にエッチングなどの工程は波長の異なる発光領域の形成のためには不要であり、製造工程を複雑化させることなく、製造される素子は精度
- 5 良く形成できかつ結晶性の劣化も招かない構造となる。

- また、三原色の発光ダイオードが一度の成長でできることで、発光ダイオードがディスプレイに使われる易くなり、さらに3色を一度に出すため発光効率が上がれば蛍光灯に置き換わるような照明装置としても利用できる。さらに固体発光素子ということで携帯用に便利である。また
- 10 、結晶性を上げることで、レーザ化することも可能であり、レーザを三原色で出すことも高出力の発光を示す上で有効である。

請 求 の 範 囲

1. ウルツ鉱型の化合物半導体を選択的に成長して形成された選択結晶成長層と、上記選択結晶成長層上に形成される第1導電型クラッド層、活性層、および第2導電型クラッド層とを有し、上記活性層の一部または全部は異なる結晶面にそれぞれ平行に延在されるように形成され、発
5 光波長が互いに異なる第1発光波長領域および第2発光波長領域をそれぞれ上記活性層に形成し、上記第1発光波長領域と上記第2発光波長領域にそれぞれ電流を注入可能としたことを特徴とする半導体発光素子。
2. 上記異なる結晶面は、ウルツ鉱型の (0001) 面、 $(\bar{1}-10$
10 $0)$ 面、 $(1-101)$ 面、 $(11-20)$ 面、 $(1-102)$ 面、 $(1-123)$ 面、 $(11-22)$ 面およびこれらに等価な結晶面のうちから選ばれた2以上の結晶面であることを特徴とする請求の範囲第1項記載の半導体発光素子。
3. 上記選択結晶成長層は下地結晶層上に形成された開口部を有するマ
15 スク層の上記開口部から選択的に成長された層であることを特徴とする請求の範囲第1項記載の半導体発光素子。
4. 上記選択結晶成長層は基板上に形成された種結晶部から選択的に成長された層であることを特徴とする請求の範囲第1項記載の半導体発光素子。
- 20 5. 上記選択結晶成長層は下地結晶層の表面を凹凸形状に加工し、上記凹凸形状部分から選択的に成長させた層であることを特徴とする請求の範囲第1項記載の半導体発光素子。
6. 上記選択結晶成長層は窒化物半導体からなることを特徴とする請求の範囲第1項記載の半導体発光素子。
- 25 7. 上記活性層は一回の成長によって形成された半導体結晶層からなることを特徴とする請求の範囲第1項記載の半導体発光素子。

8. 上記第1発光波長領域と上記第2発光波長領域の少なくとも一方の電極は別個に形成され、上記別個に形成された電極には独立した信号が与えられることを特徴とする請求の範囲第1項記載の半導体発光素子。

9. 上記第1発光波長領域と上記第2発光波長領域の少なくとも一方の電極は別個に形成され、上記別個に形成された電極にはそれぞれ同じ発光強度となるような信号が与えられることを特徴とする請求の範囲第1項記載の半導体発光素子。

10. 上記第1発光波長領域および上記第2発光波長領域の各発光波長と異なる発光波長の光を発生させる第3発光波長領域を活性層に有することを特徴とする請求の範囲第1項記載の半導体発光素子。

11. ウルツ鉱型の化合物半導体を選択的に成長して形成された選択結晶成長層と、上記選択結晶成長層上に形成される第1導電型クラッド層、活性層、および第2導電型クラッド層とを有し、上記活性層は3元以上の混晶材料を用いて構成され、上記混晶材料の一部を構成する原子の拡散長を上記活性層が延在される大きさよりも短くすることで発光波長が互いに異なる第1発光波長領域および第2発光波長領域をそれぞれ上記活性層に形成し、上記第1発光波長領域と上記第2発光波長領域にそれぞれ電流を注入可能としたことを特徴とする半導体発光素子。

12. 上記ウルツ鉱型の化合物半導体は窒化物半導体であり、上記活性層はInGa_N層により構成され、上記原子はInであることを特徴とする請求の範囲第11項記載の半導体発光素子。

13. ウルツ鉱型の化合物半導体を選択的に成長して形成された選択結晶成長層と、上記選択結晶成長層上に形成される第1導電型クラッド層、活性層、および第2導電型クラッド層とを有し、組成および厚さの少なくとも一方が異なることによって発光波長が互いに異なる第1発光波長領域および第2発光波長領域をそれぞれ上記活性層に形成し、上記第

1 発光波長領域と上記第2発光波長領域にそれぞれ電流を注入可能としたことを特徴とする半導体発光素子。

1 4. 上記選択結晶成長層は下地結晶層上に形成された開口部を有するマスク層の上記開口部から選択的に成長された層であることを特徴とする請求の範囲第13項記載の半導体発光素子。

1 5. 上記選択結晶成長層は基板上に形成された種結晶部から選択的に成長された層であることを特徴とする請求の範囲第13項記載の半導体発光素子。

1 6. 上記選択結晶成長層は下地結晶層の表面を凹凸形状に加工し、上記凹凸形状部分から選択的に成長させた層であることを特徴とする請求の範囲第13項記載の半導体発光素子。

1 7. 上記活性層に形成される上記第1発光波長領域および上記第2発光波長領域は、上記選択結晶成長層の面同士の交線となる辺の部分と、上記選択結晶成長層の面の部分とに形成されていることを特徴とする請求の範囲第13項記載の半導体発光素子。

1 8. 上記選択結晶成長層の面は少なくとも基板の主面と異なる面方位のS面を有すること特徴とする請求項13項記載の半導体発光素子。

1 9. 上記活性層は3元またはそれ以上の混晶材料からなり、上記第1発光波長領域および上記第2発光波長領域の間では混晶比が異なることを特徴とする請求の範囲第13項記載の半導体発光素子。

2 0. 上記活性層はInGa_xN_{1-x}層からなり、上記第1発光波長領域および上記第2発光波長領域の間ではInGa_xN_{1-x}層の混晶比が異なることを特徴とする請求の範囲第19項記載の半導体発光素子。

2 1. 上記選択結晶成長層は窒化物半導体からなることを特徴とする請求の範囲第13項記載の半導体発光素子。

2 2. 上記活性層は一回の成長によって形成された半導体結晶層からな

ることを特徴とする請求の範囲第 1 3 項記載の半導体発光素子。

2 3. 上記第 1 導電型の電極が 2 つ以上設けられていることを特徴とする請求の範囲第 1 3 項記載の半導体発光素子。

2 4. 上記第 1 発光波長領域と上記第 2 発光波長領域の少なくとも一方
5 の電極は別個に形成され、上記別個に形成された電極には同じ信号が与えられることを特徴とする請求の範囲第 1 3 項記載の半導体発光素子。

2 5. 上記第 1 発光波長領域および上記第 2 発光波長領域の各発光波長と異なる発光波長の光を発生させる第 3 発光波長領域を活性層に有することを特徴とする請求の範囲第 1 3 項記載の半導体発光素子。

10 2 6. 上記第 1 発光波長領域、上記第 2 発光波長領域、および第 3 発光波長領域を備え、少なくとも同時に 2 つの異なる波長での発光が可能な請求項 1 3 項記載の半導体発光素子。

2 7. 基板と、上記基板上にウルツ鉱型の化合物半導体を選択的に成長して形成された複数の選択結晶成長層と、上記複数の選択結晶成長層上
15 にそれぞれ形成される第 1 導電型クラッド層、活性層、および第 2 導電型クラッド層とを有し、形状要素が同一または近似した複数の上記選択結晶成長層からなる発光群を 2 つ以上同一基板上に有し、各上記発光群は上記形状要素の違いから互いに異なる発光波長を有することを特徴とする半導体発光装置。

20 2 8. 上記選択結晶成長層は下地結晶層上に形成されたマスク層に設けられた開口部を介して選択成長され、上記形状要素は上記開口部の形状、寸法、配列密度からなることを特徴とする請求の範囲第 2 7 項記載の半導体発光装置。

2 9. 上記選択結晶成長層は上記基板上に形成された種結晶部から選択
25 成長され、上記形状要素は上記種結晶部の形状、寸法、配列密度からなることを特徴とする請求の範囲第 2 7 項記載の半導体発光装置。

30. 上記複数の発光群には独立した信号が与えられることを特徴とする請求の範囲第27項記載の半導体発光装置。

31. 上記複数の発光群には同じ信号が与えられることを特徴とする請求の範囲第27項記載の半導体発光装置。

5 32. ウルツ鉱型の化合物半導体を選択的に成長して形成された選択結晶成長層と、上記選択結晶成長層上に形成される第1導電型クラッド層、活性層、および第2導電型クラッド層とを有し、上記活性層の一部または全部は異なる結晶面にそれぞれ平行に延在されるように形成され、発光波長が互いに異なる第1発光波長領域および第2発光波長領域をそれぞれ上記活性層に形成し、上記第1発光波長領域と上記第2発光波長領域にそれぞれ電流を注入可能とするように構成される半導体発光素子が1画素を構成することを特徴とする画像表示装置。

15 33. ウルツ鉱型の化合物半導体を選択的に成長して形成された選択結晶成長層と、上記選択結晶成長層上に形成される第1導電型クラッド層、活性層、および第2導電型クラッド層とを有し、上記活性層の一部または全部は異なる結晶面にそれぞれ平行に延在されるように形成され、発光波長が互いに異なる第1発光波長領域および第2発光波長領域をそれぞれ上記活性層に形成し、上記第1発光波長領域と上記第2発光波長領域にそれぞれ電流を注入可能とするように構成される半導体発光素子を複数個配列させてなることを特徴とする照明装置。

25 34. ウルツ鉱型の化合物半導体を選択的に成長して形成された選択結晶成長層と、上記選択結晶成長層上に形成される第1導電型クラッド層、活性層、および第2導電型クラッド層とを有し、上記活性層は3元以上の混晶材料を用いて構成され、上記混晶材料の一部を構成する原子の拡散長を上記活性層が延在される大きさよりも短くすることで発光波長が互いに異なる第1発光波長領域および第2発光波長領域をそれぞれ上

記活性層に形成し、上記第1発光波長領域と上記第2発光波長領域にそれぞれ電流を注入可能とするように構成される半導体発光素子が1画素を構成することを特徴とする画像表示装置。

35. ウルツ鉱型の化合物半導体を選択的に成長して形成された選択結晶成長層と、上記選択結晶成長層上に形成される第1導電型クラッド層、活性層、および第2導電型クラッド層とを有し、上記活性層は3元以上の混晶材料を用いて構成され、上記混晶材料の一部を構成する原子の拡散長を上記活性層が延在される大きさよりも短くすることで発光波長が互いに異なる第1発光波長領域および第2発光波長領域をそれぞれ上記活性層に形成し、上記第1発光波長領域と上記第2発光波長領域にそれぞれ電流を注入可能とするように構成される半導体発光素子を複数個配列させてなることを特徴とする照明装置。

36. ウルツ鉱型の化合物半導体を選択的に成長して形成された選択結晶成長層と、上記選択結晶成長層上に形成される第1導電型クラッド層、活性層、および第2導電型クラッド層とを有し、組成および厚さの少なくとも一方が異なることによって発光波長が互いに異なる第1発光波長領域および第2発光波長領域をそれぞれ上記活性層に形成し、上記第1発光波長領域と上記第2発光波長領域にそれぞれ電流を注入可能とした構造を有する半導体発光素子が1画素を構成することを特徴とする画像表示装置。

37. ウルツ鉱型の化合物半導体を選択的に成長して形成された選択結晶成長層と、上記選択結晶成長層上に形成される第1導電型クラッド層、活性層、および第2導電型クラッド層とを有し、組成および厚さの少なくとも一方が異なることによって発光波長が互いに異なる第1発光波長領域および第2発光波長領域をそれぞれ上記活性層に形成し、上記第1発光波長領域と上記第2発光波長領域にそれぞれ電流を注入可能とし

た構造を有する半導体発光素子を複数個配列させてなることを特徴とする照明装置。

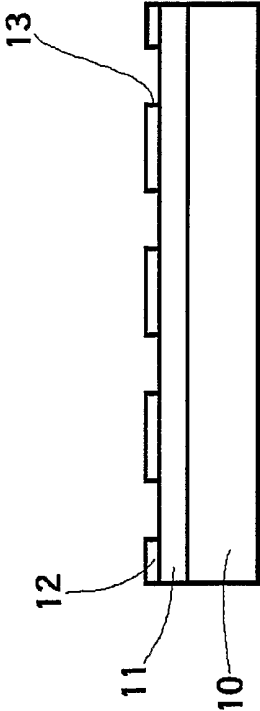
38. 基板と、上記基板上にウルツ鉱型の化合物半導体を選択的に成長して形成された複数の選択結晶成長層と、上記複数の選択結晶成長層上にそれぞれ形成される第1導電型クラッド層、活性層、および第2導電型クラッド層とを有し、形状要素が同一または近似した複数の上記選択結晶成長層からなる発光群を2つ以上同一基板上に有し、各上記発光群は上記形状要素の違いから互いに異なる発光波長を有するように構成される半導体発光装置が1画素を構成することを特徴とする画像表示装置

10。

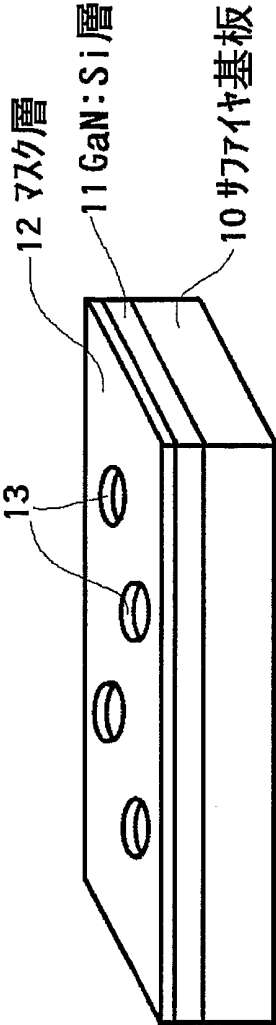
39. 基板と、上記基板上にウルツ鉱型の化合物半導体を選択的に成長して形成された複数の選択結晶成長層と、上記複数の選択結晶成長層上にそれぞれ形成される第1導電型クラッド層、活性層、および第2導電型クラッド層とを有し、形状要素が同一または近似した複数の上記選択結晶成長層からなる発光群を2つ以上同一基板上に有し、各上記発光群は上記形状要素の違いから互いに異なる発光波長を有するように構成される半導体発光装置を複数個配列させてなることを特徴とする照明装置。

15

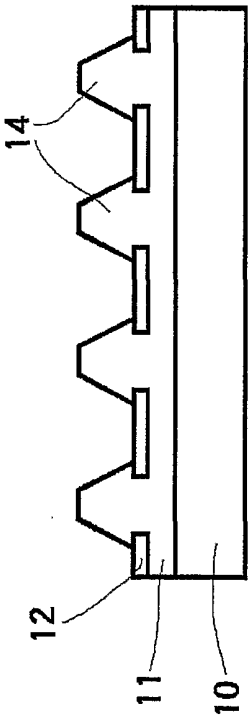
第1図A



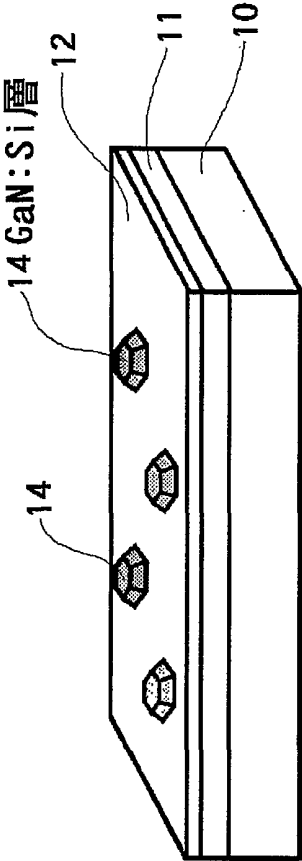
第1図B



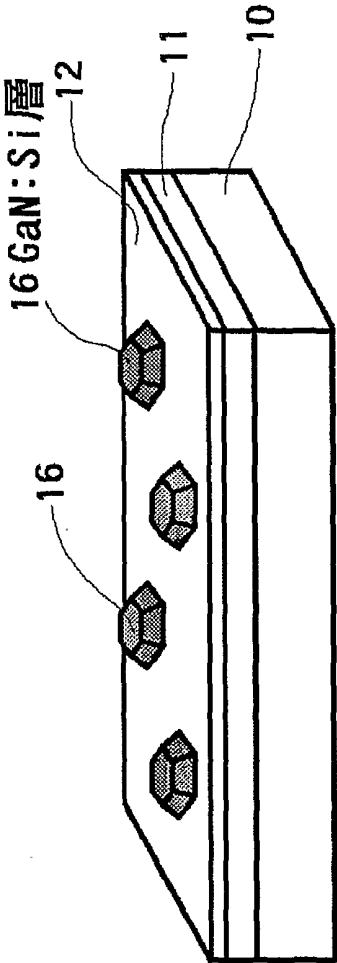
第2図A



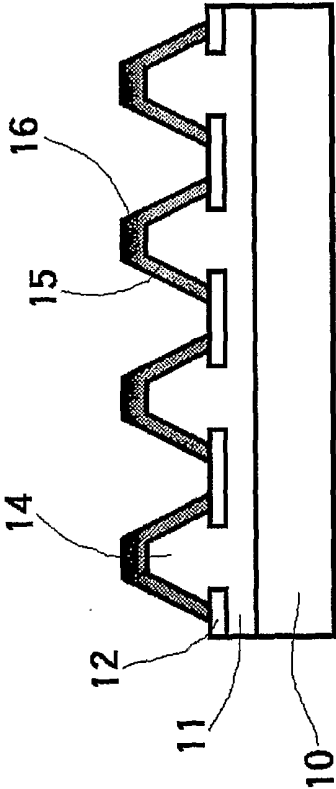
第2図B



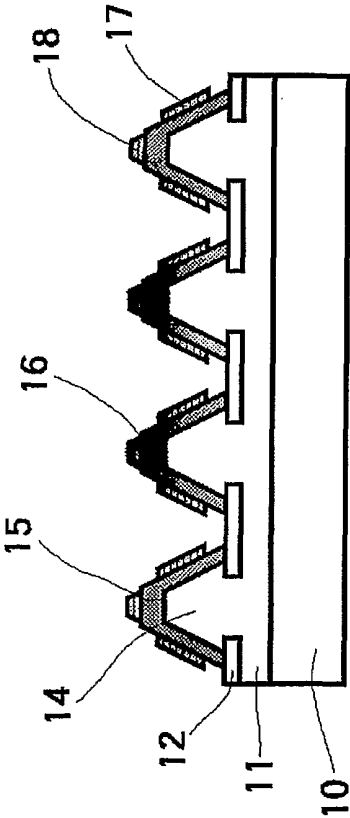
第3図B



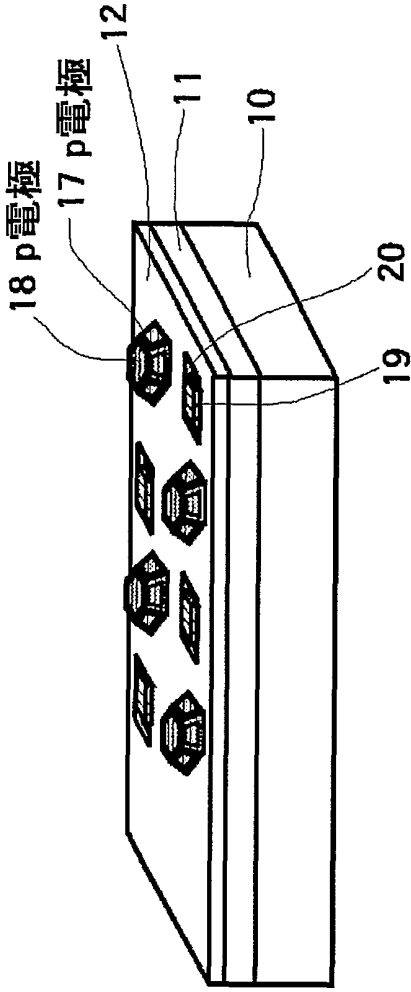
第3図A



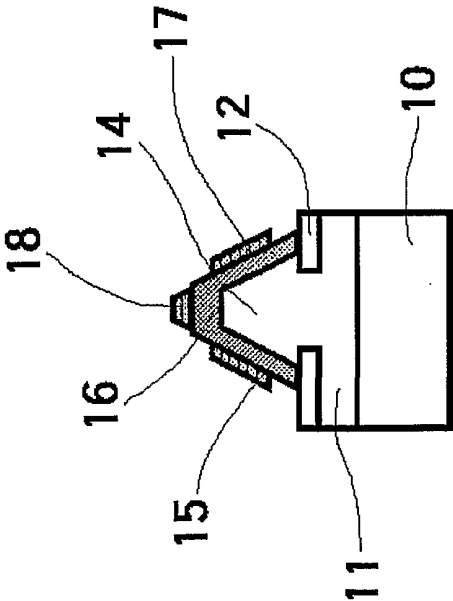
第4図A



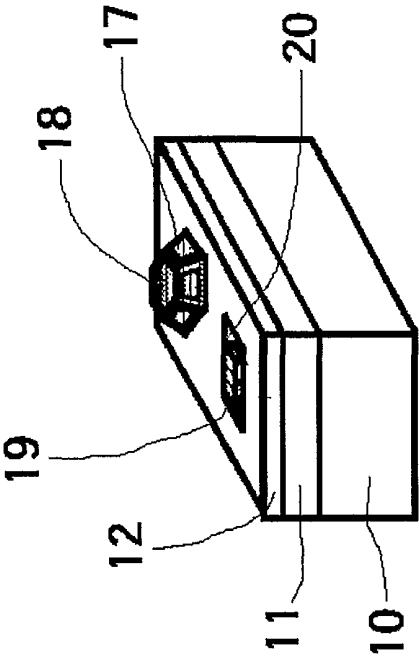
第4図B



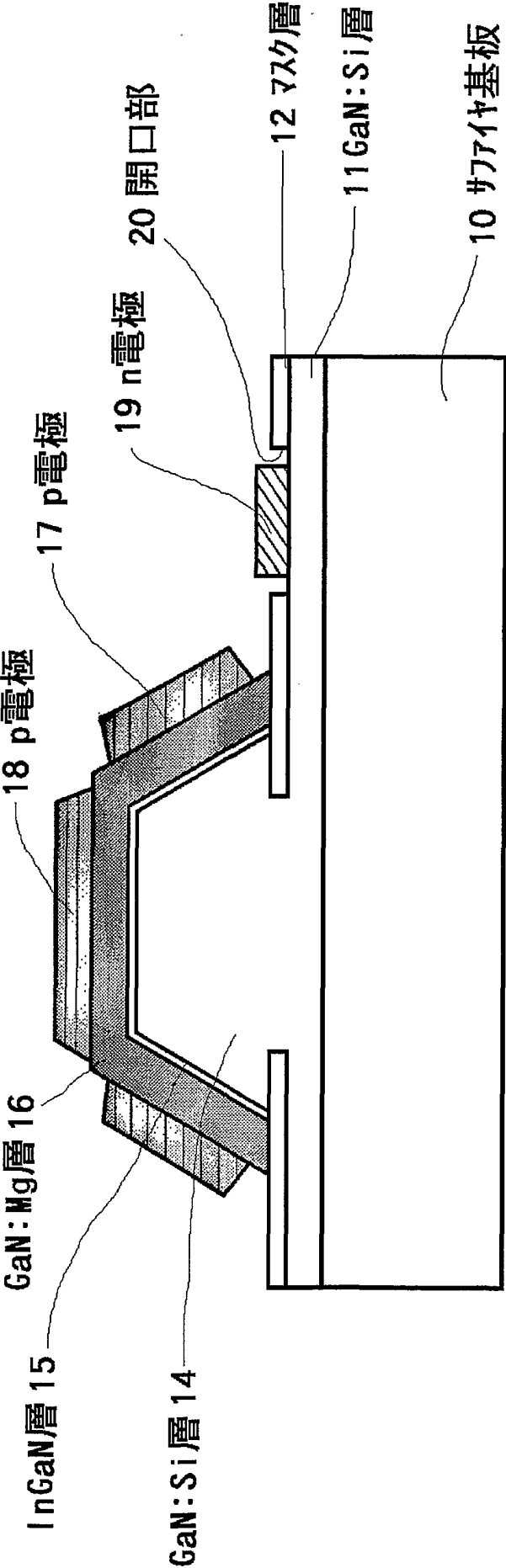
第5図A



第5図B

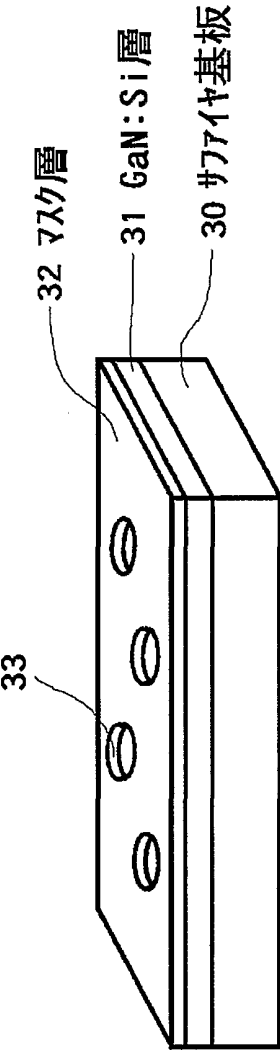
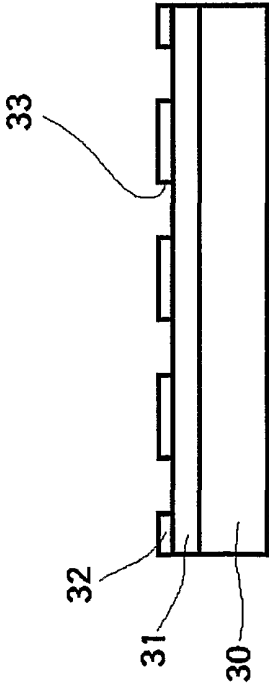


第6図



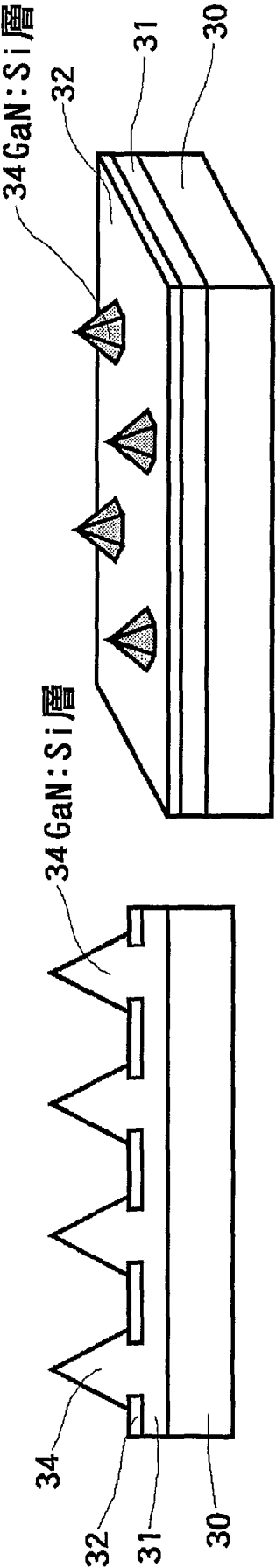
第7図A

第7図B



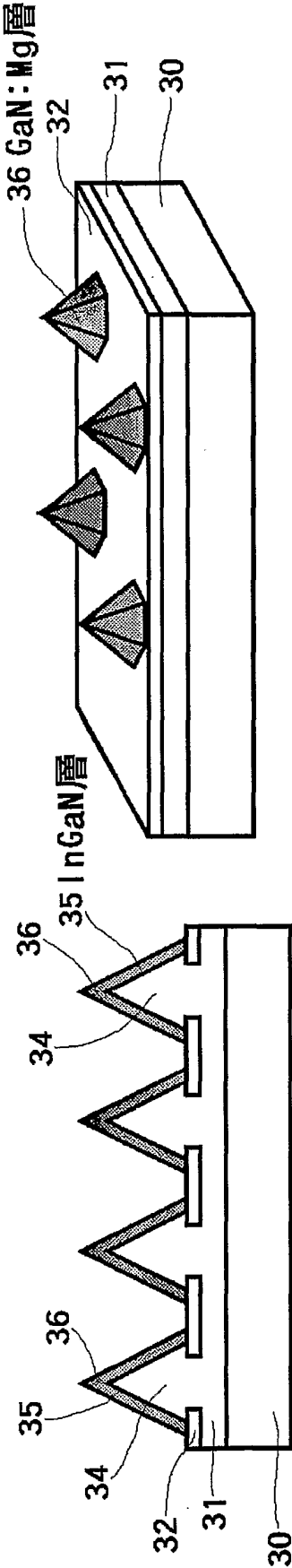
第8図A

第8図B

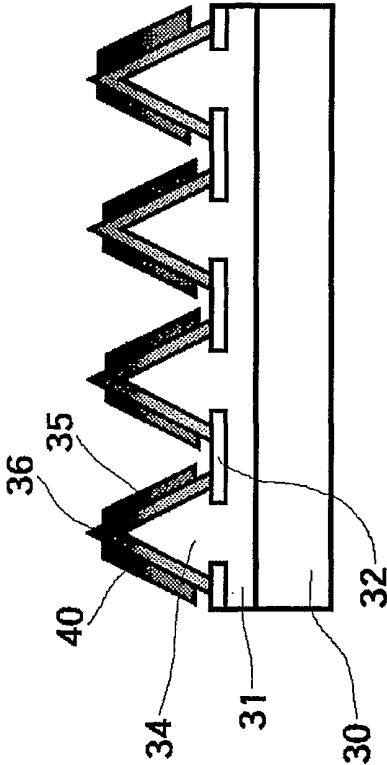


第9図A

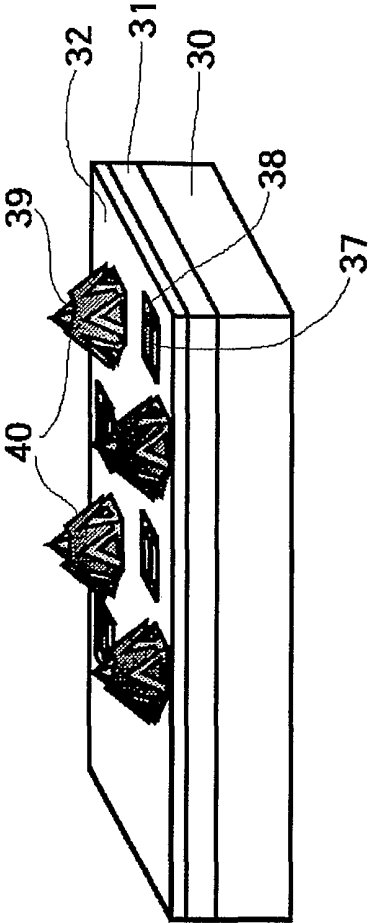
第9図B



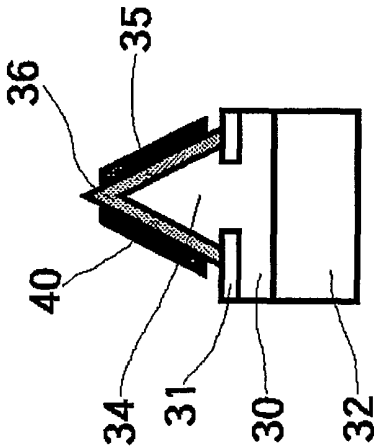
第10図A



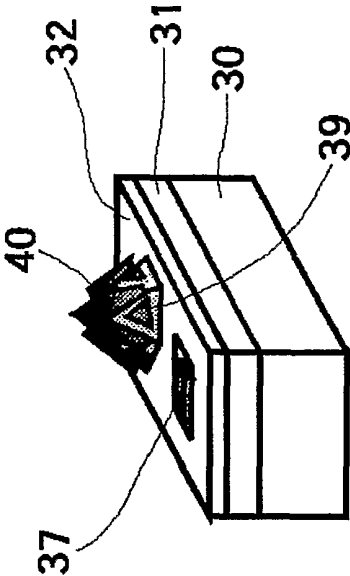
第10図B



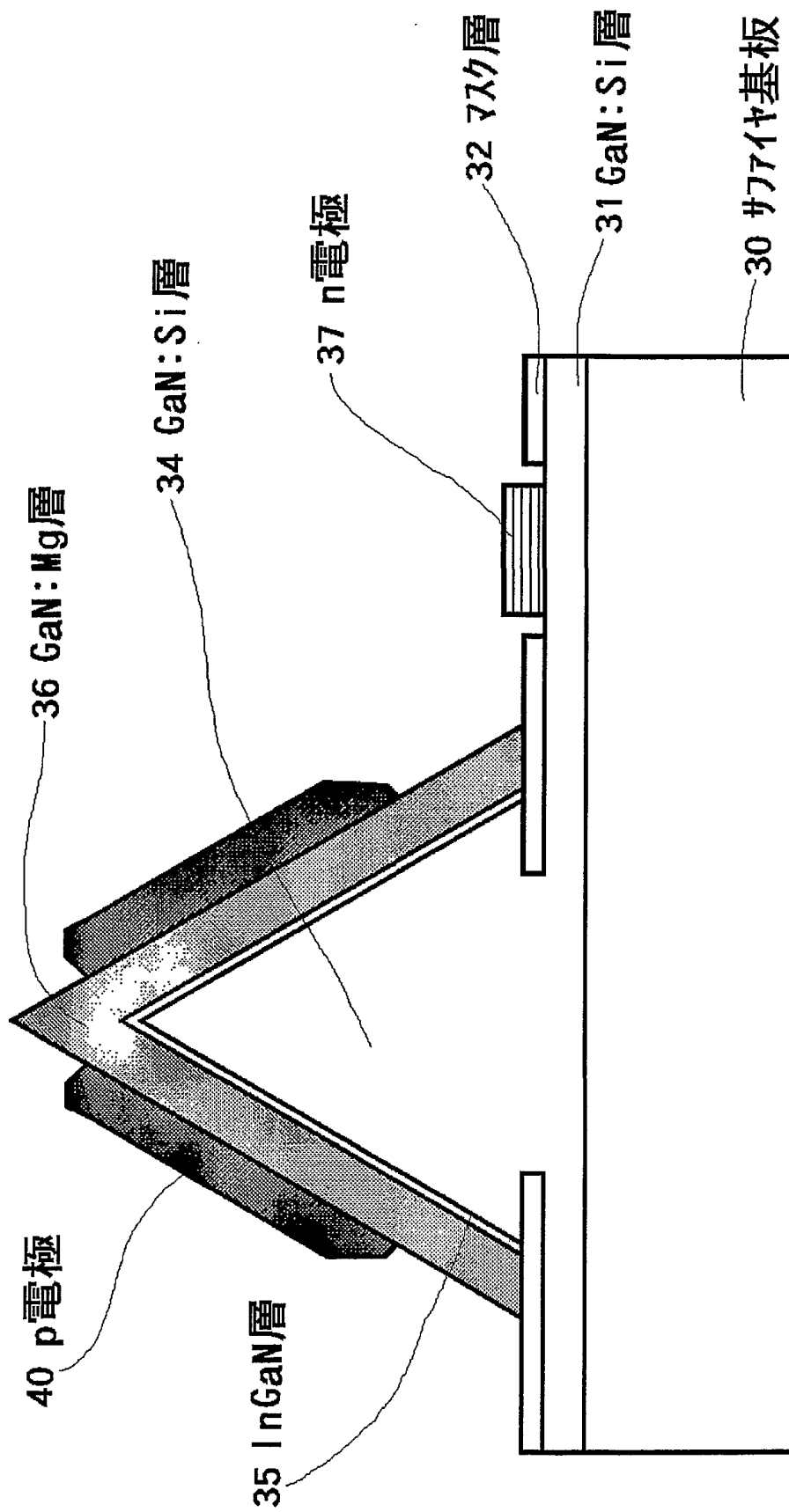
第11図A



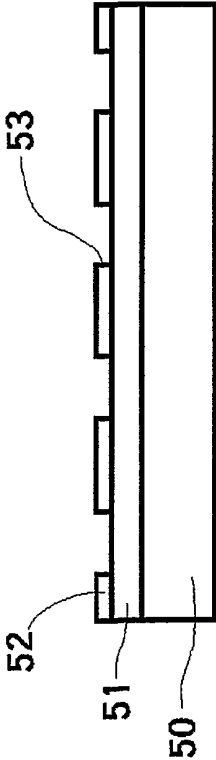
第11図B



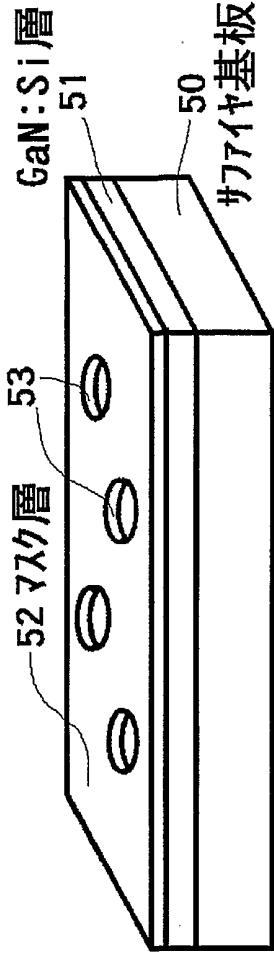
第12図



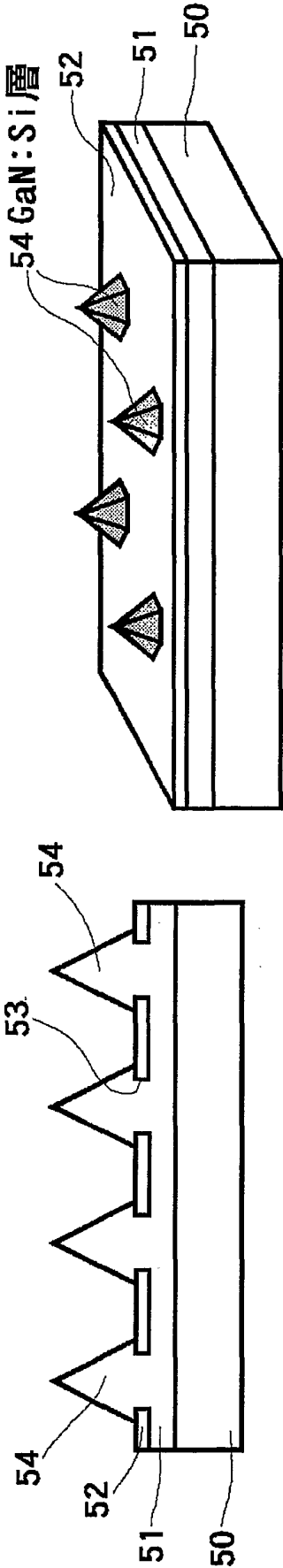
第13図A



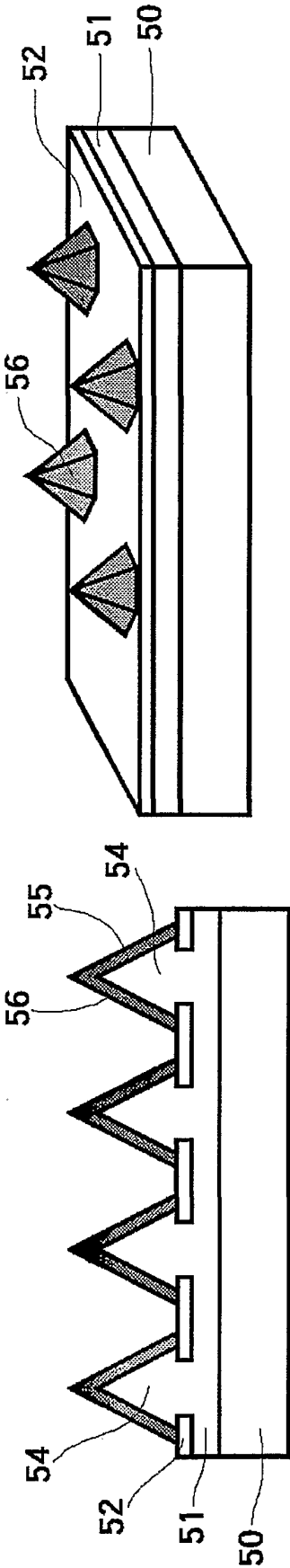
第13図B



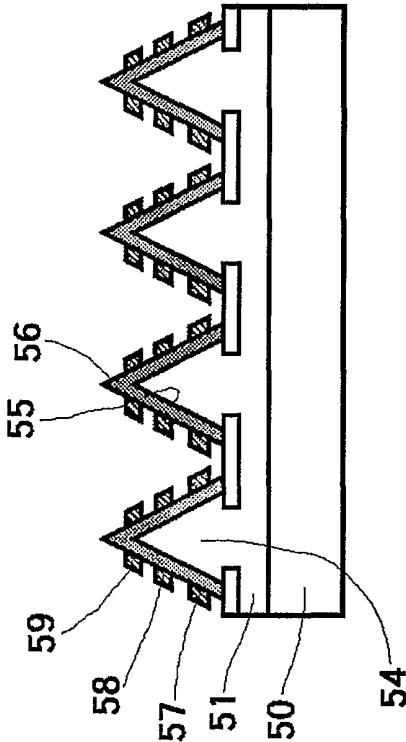
第14図A 第14図B



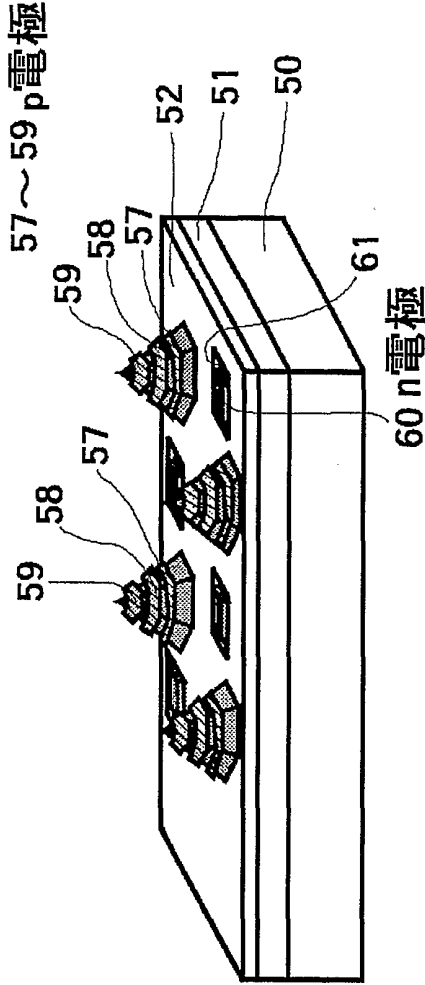
第15図A 第15図B



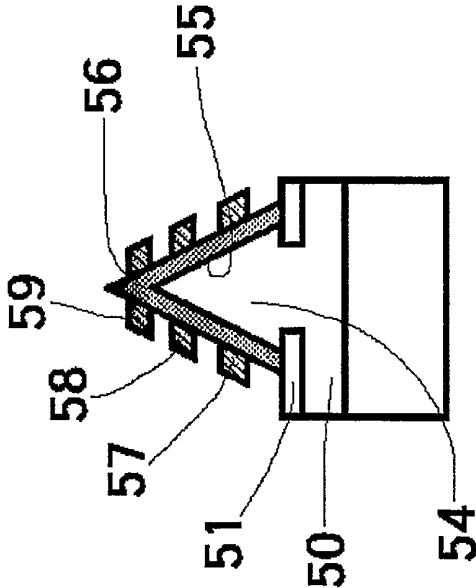
第16図A



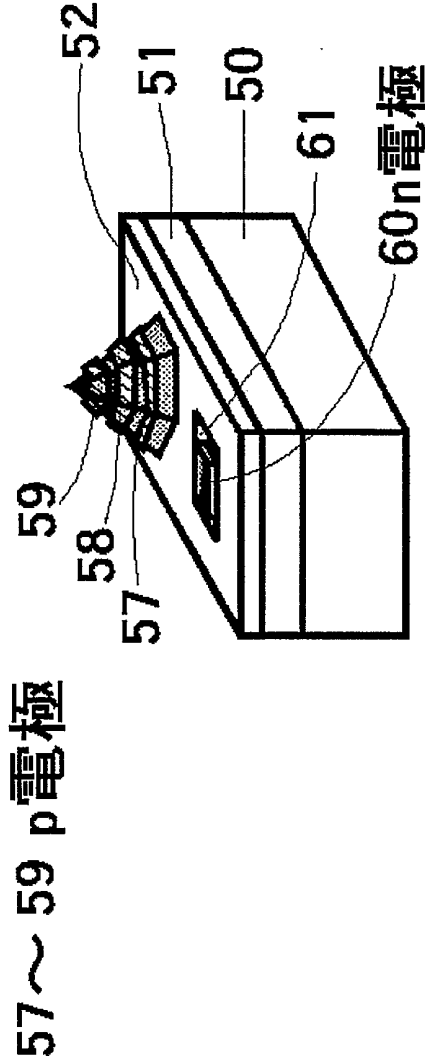
第16図B



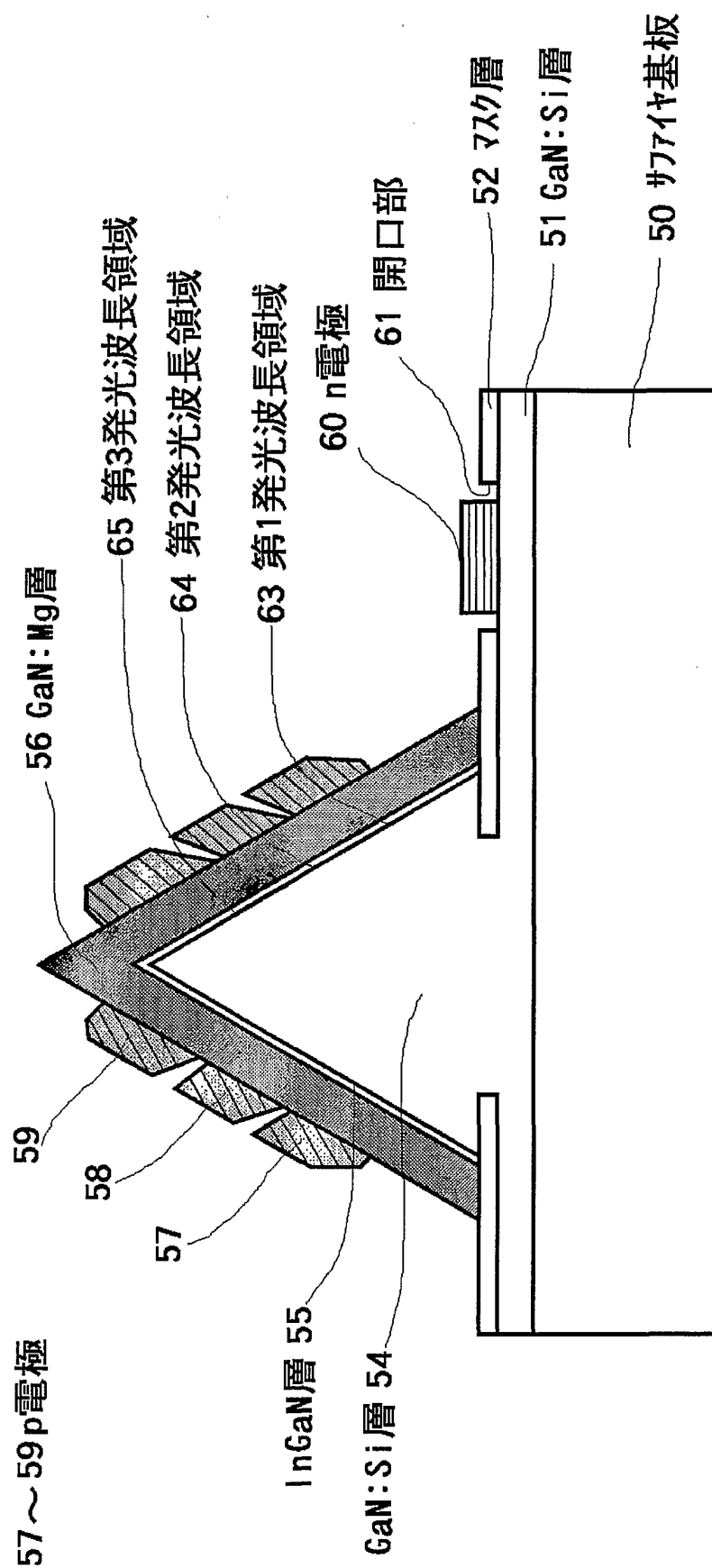
第17図A



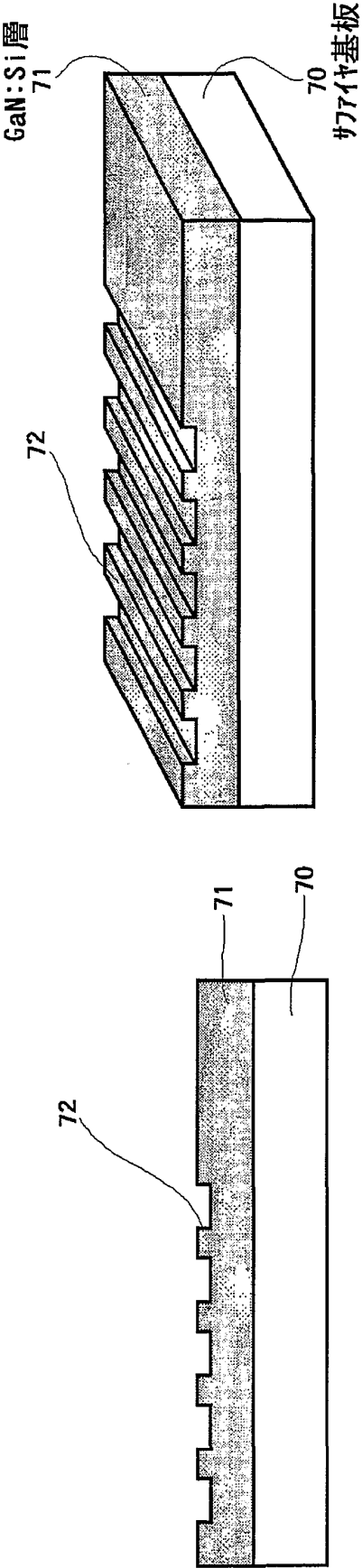
第17図B



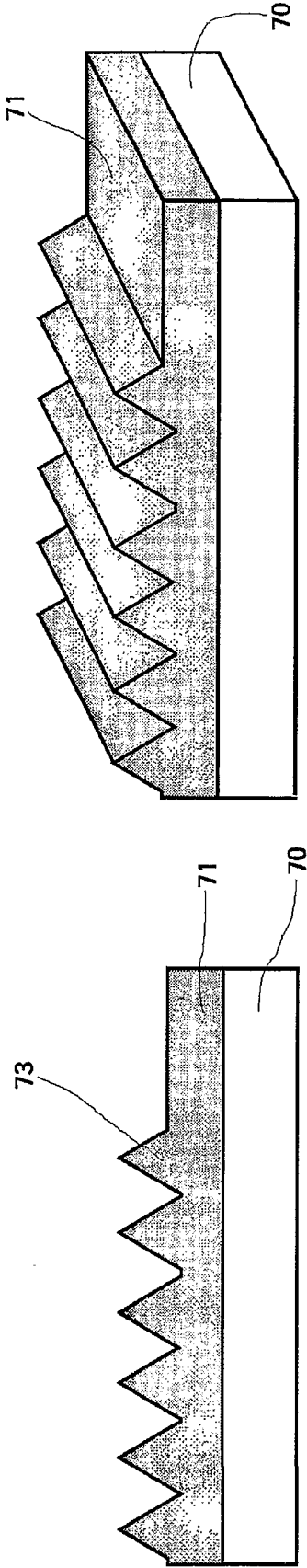
第18図



第19図A 第19図B

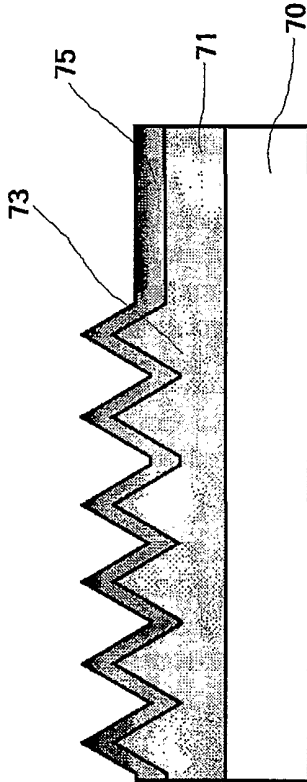
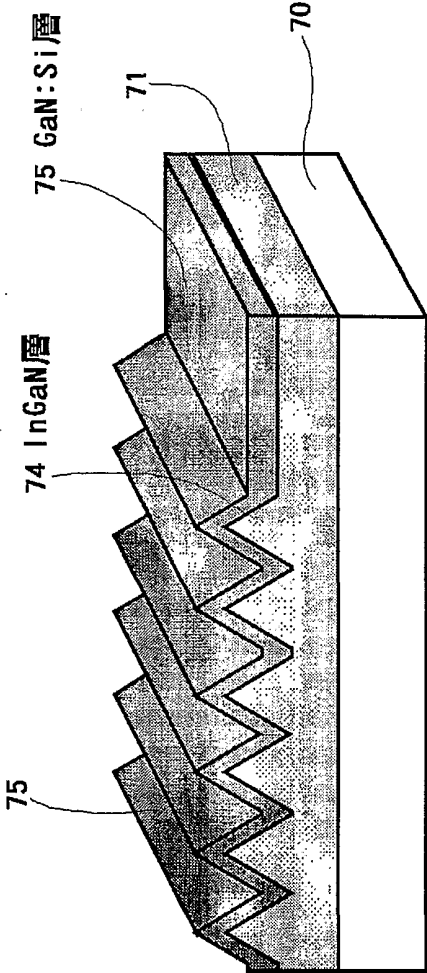


第20図A 第20図B



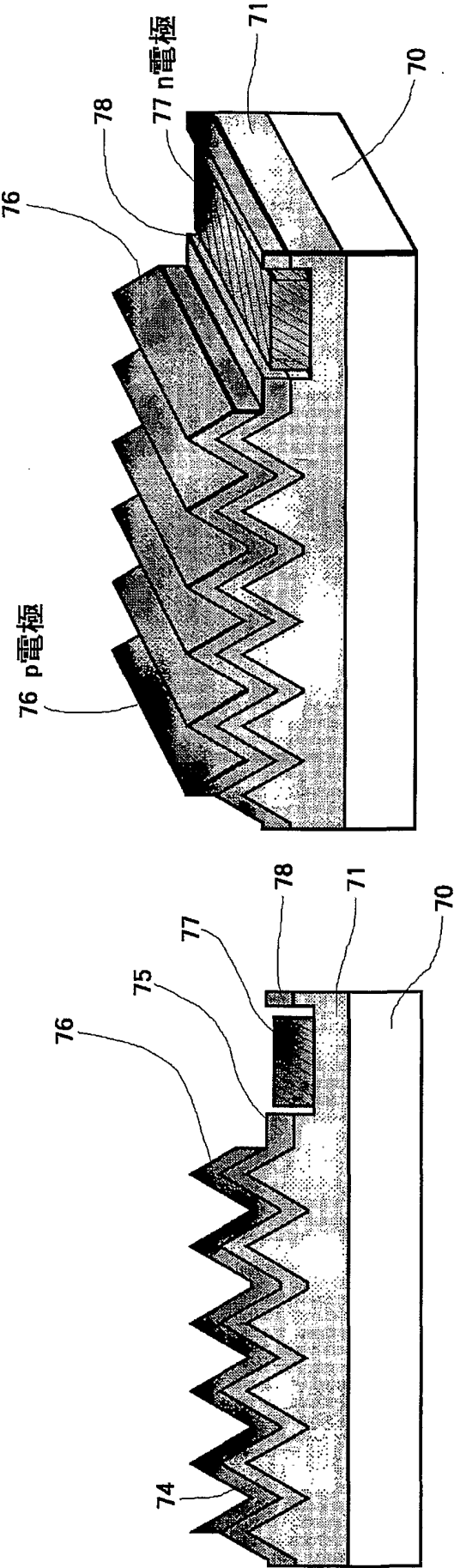
第21図A

第21図B

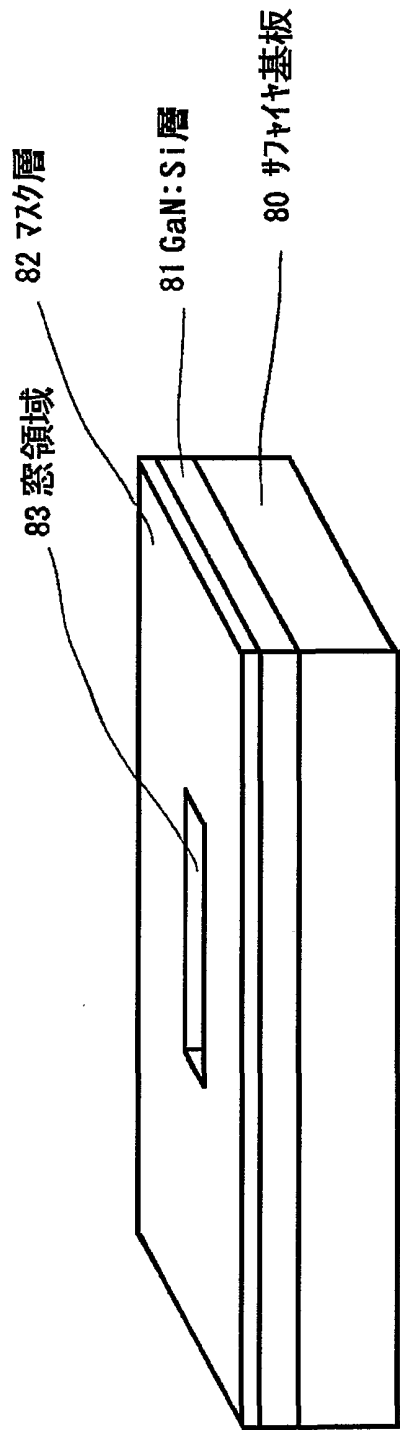


第 2 2 図 A

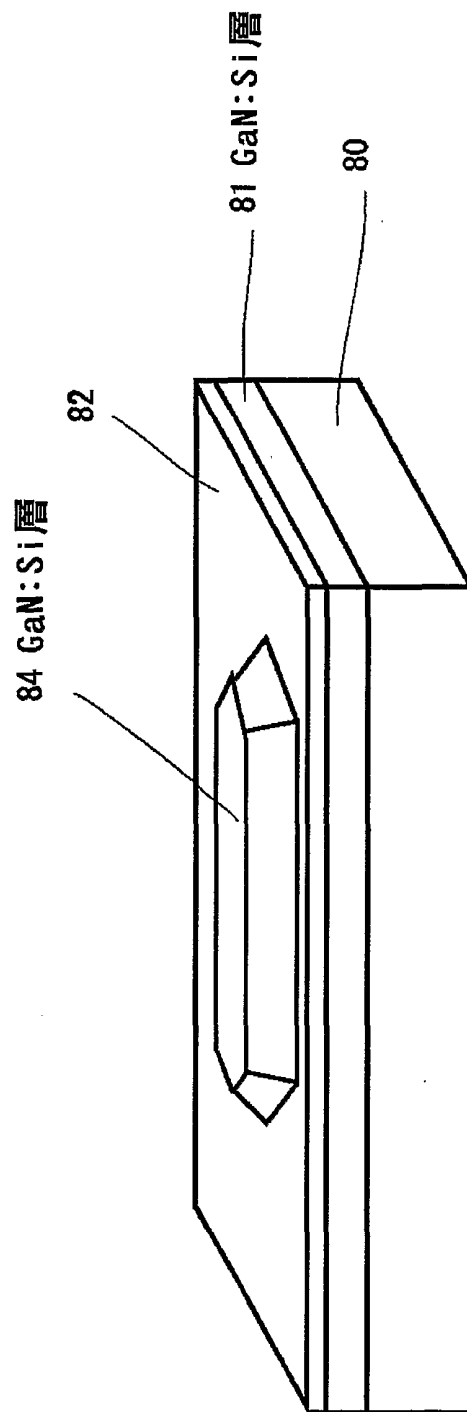
第 2 2 図 B



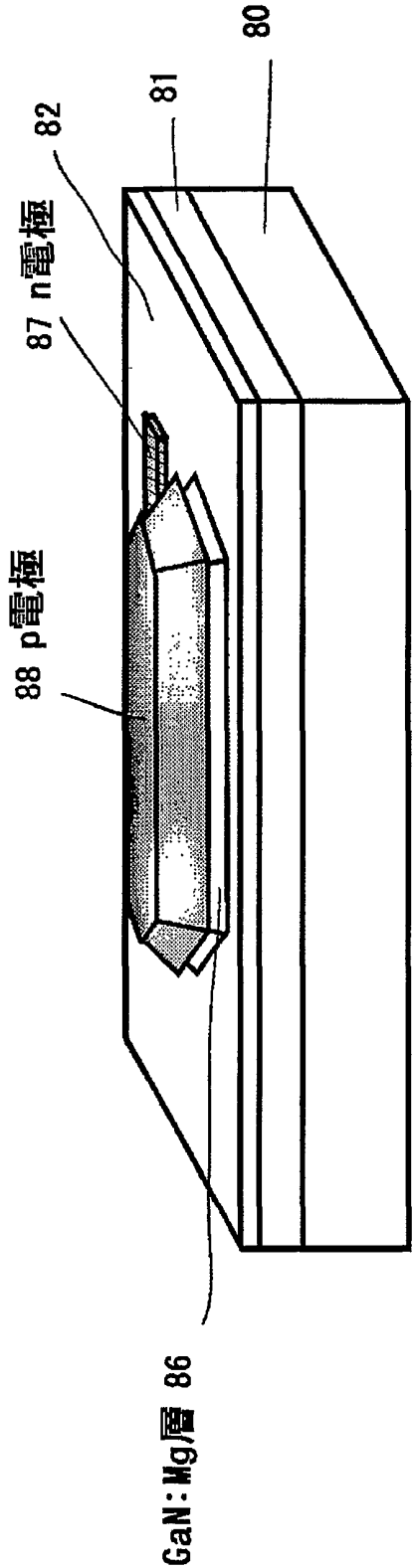
第23図



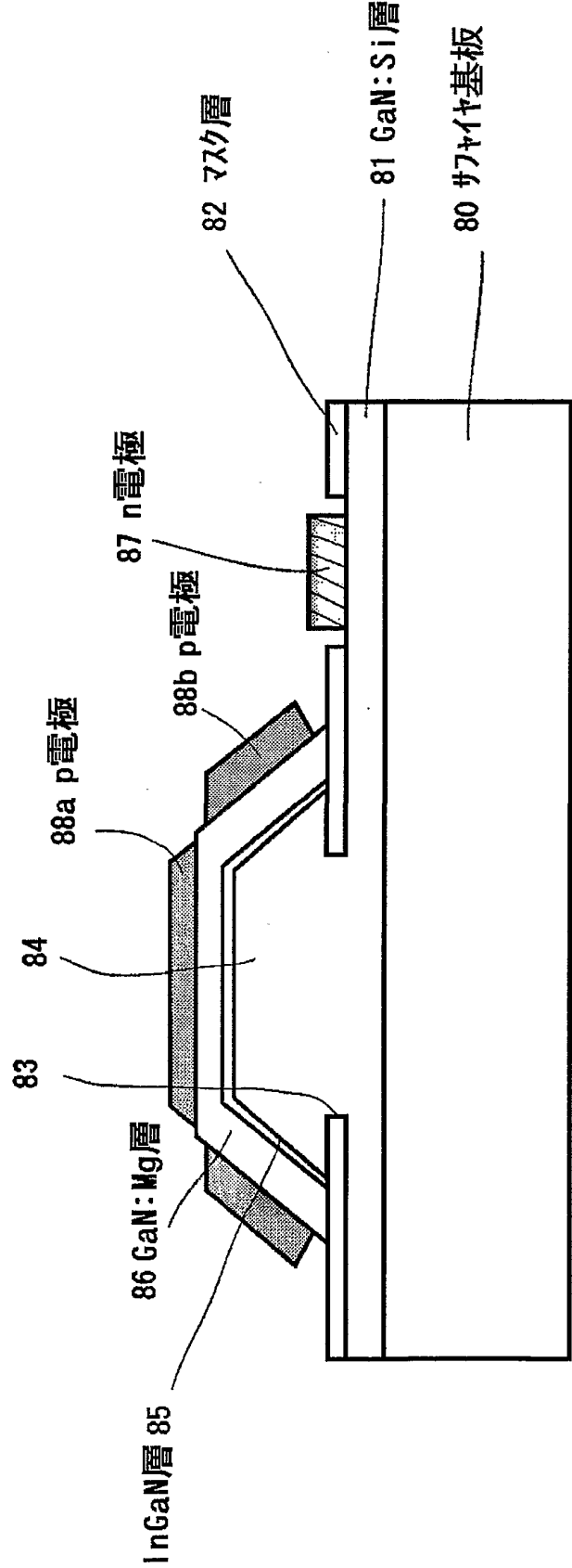
第 24 回



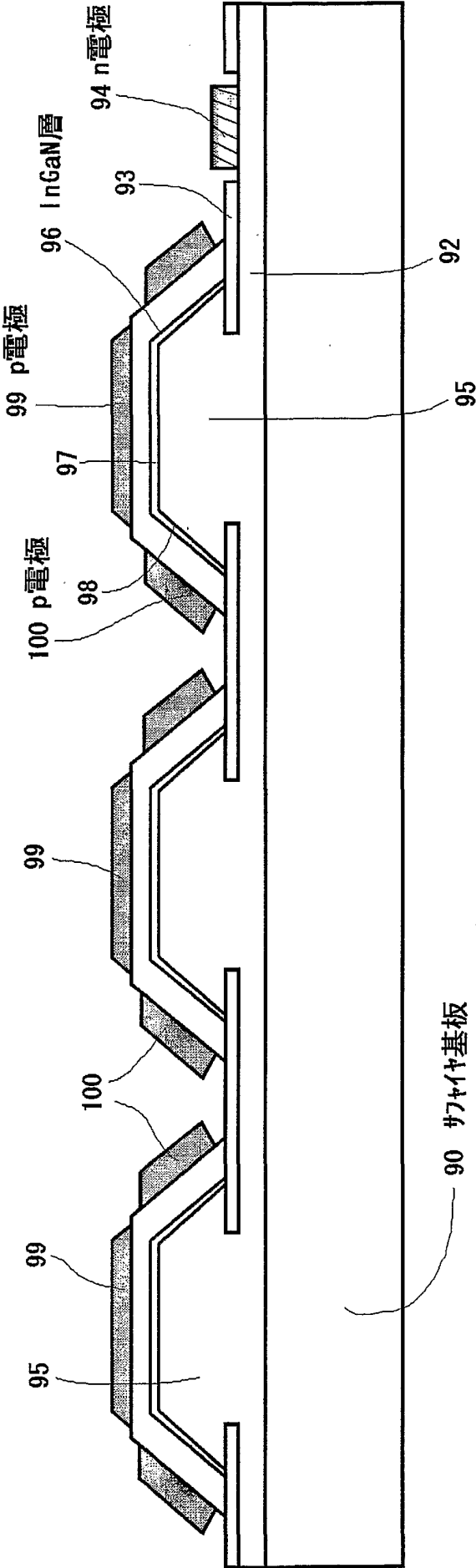
第25図



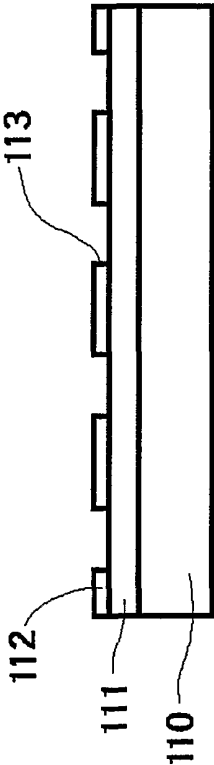
第26図



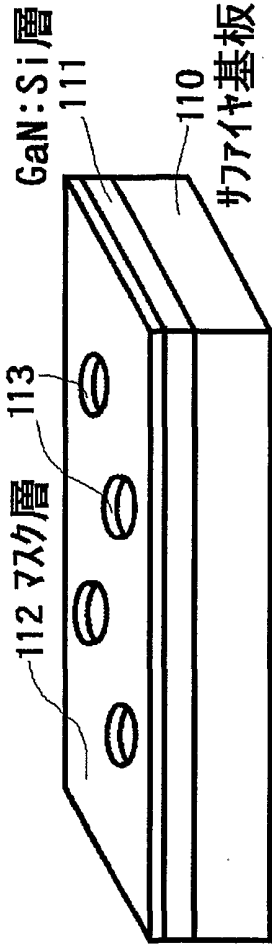
第27図



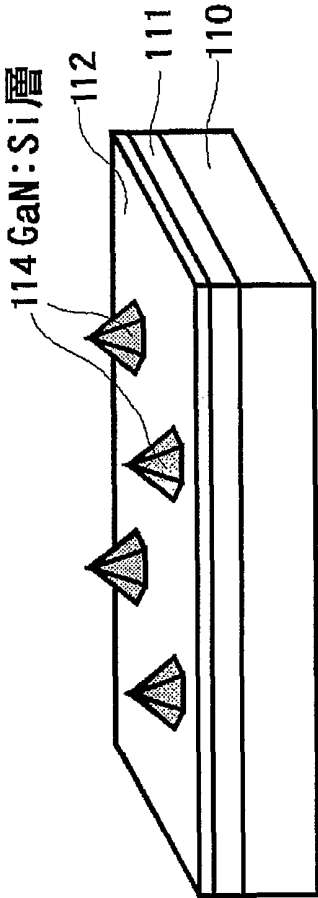
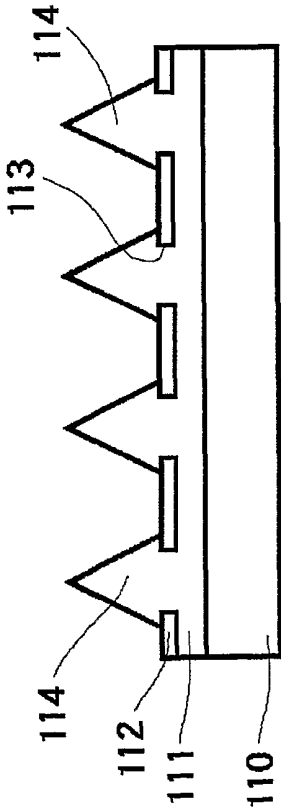
第28図A



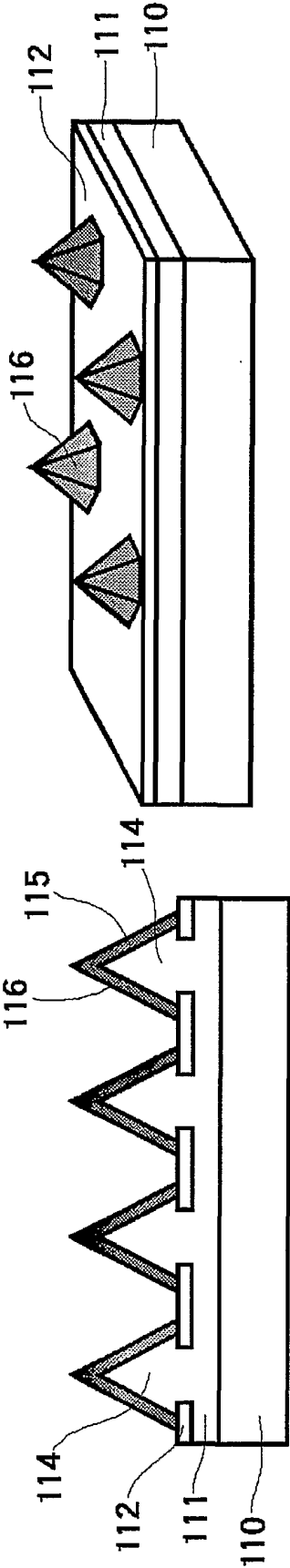
第28図B



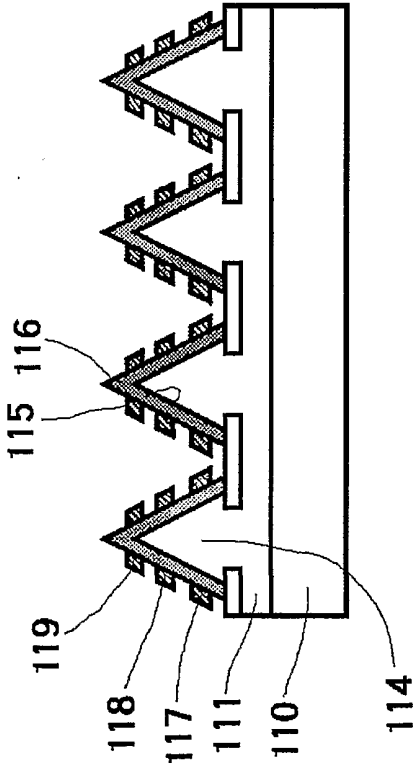
第29図A 第29図B



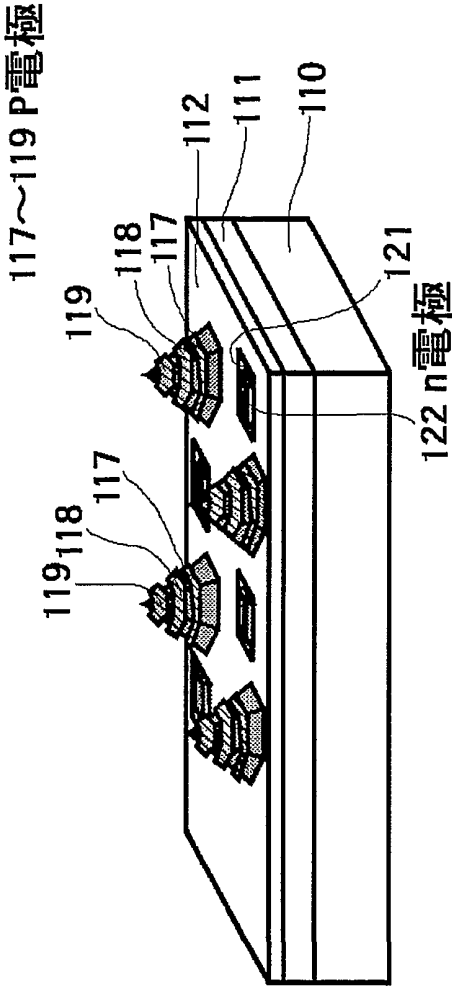
第30図A
第30図B



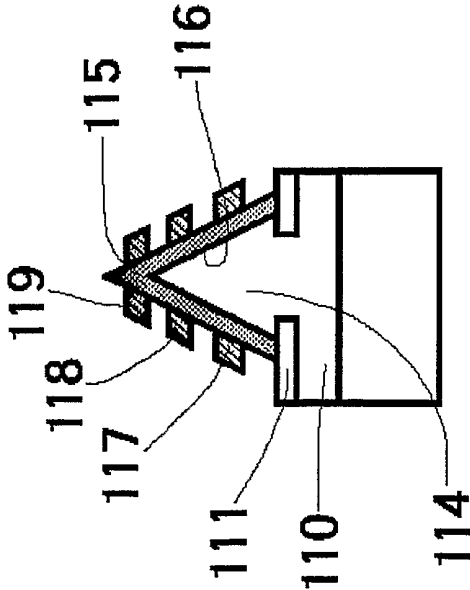
第3 1 図A



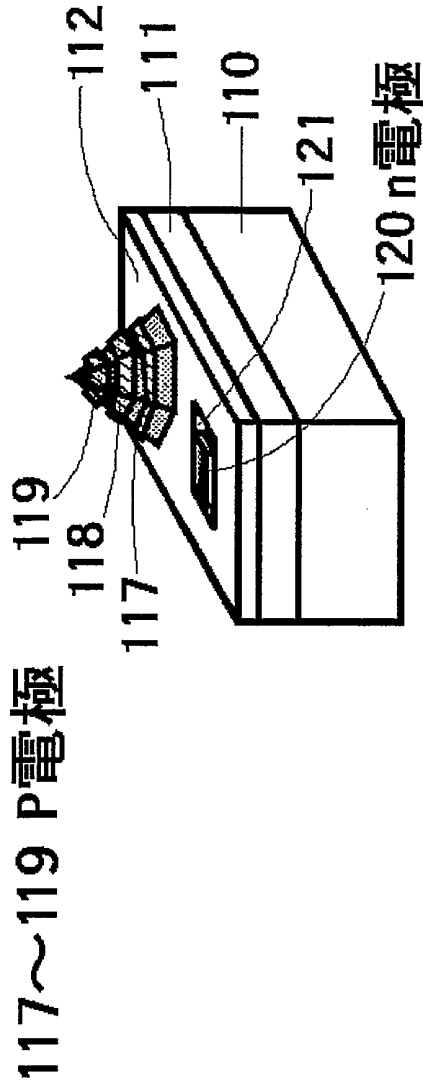
第3 1 図B



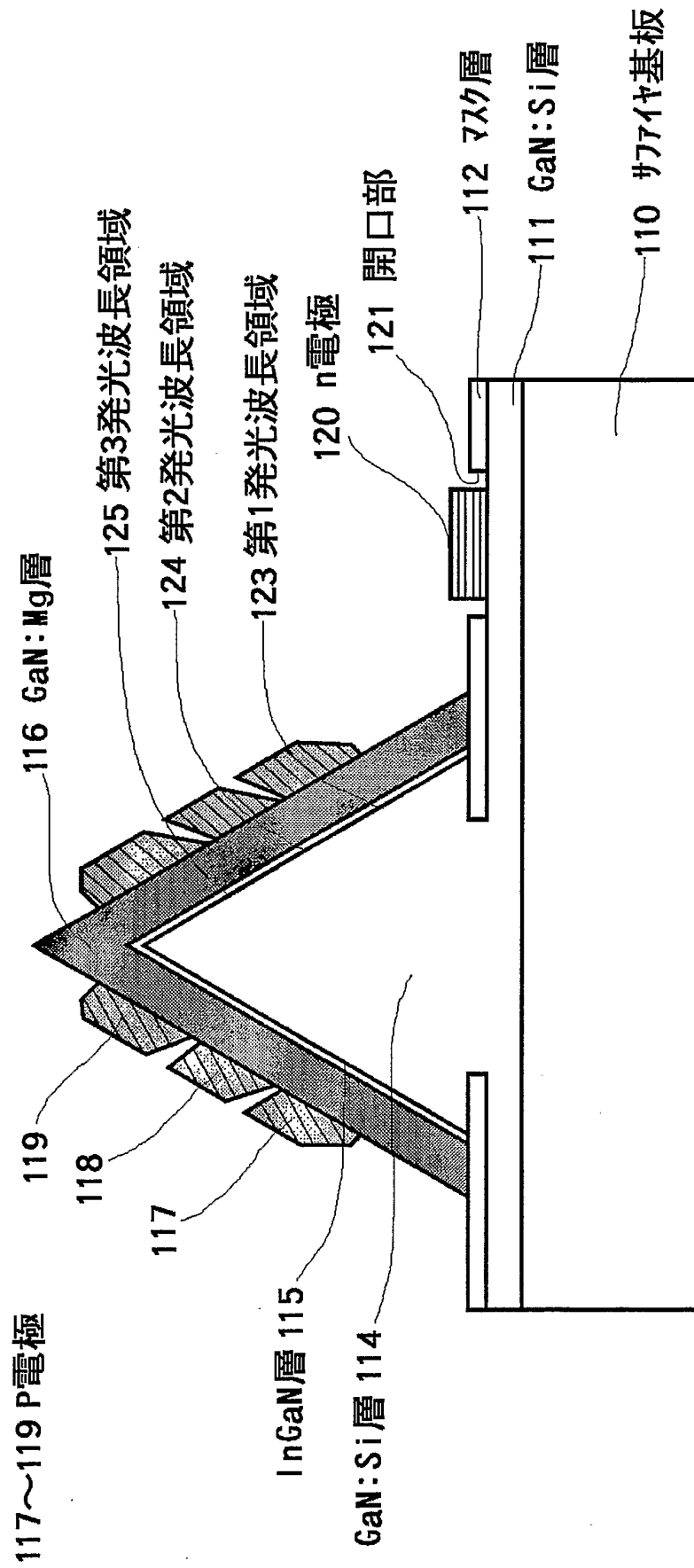
第32図A



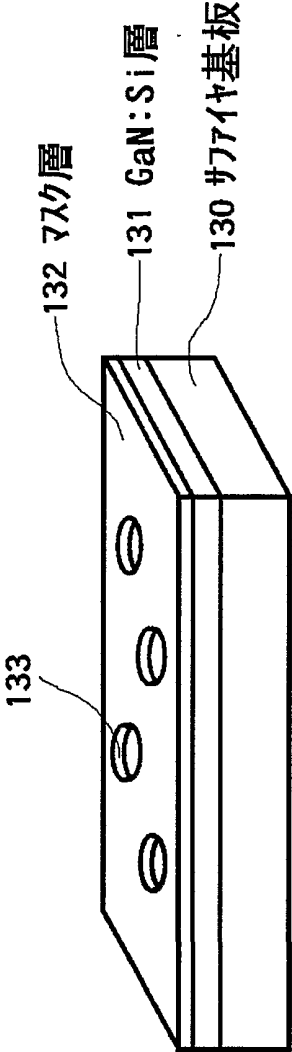
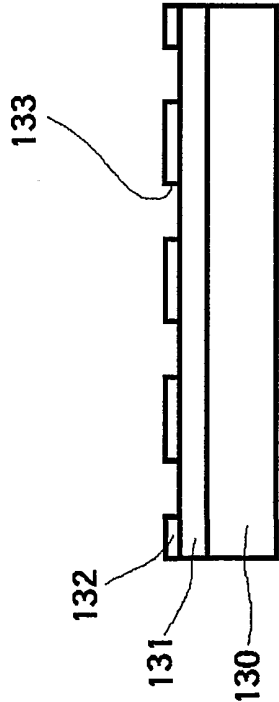
第32図B



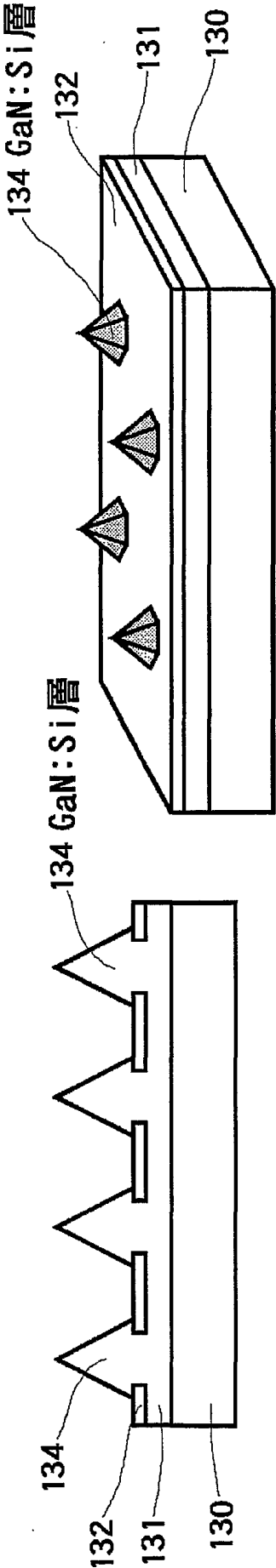
第33図



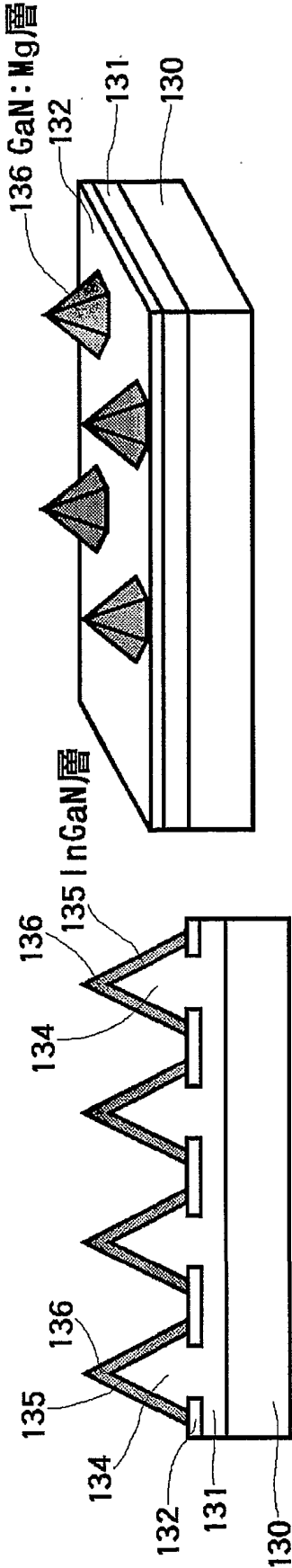
第34図A 第34図B



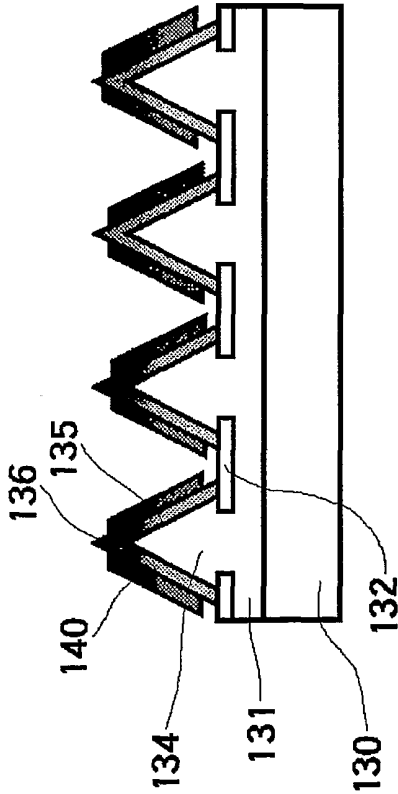
第35図A 第35図B



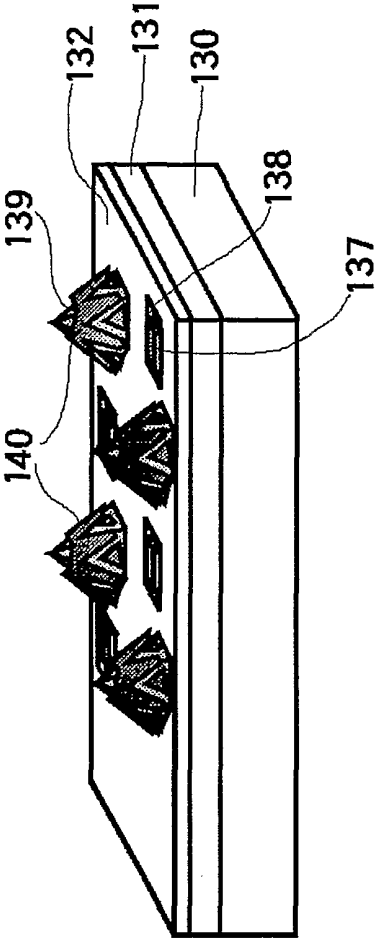
第 3 6 図 A
第 3 6 図 B



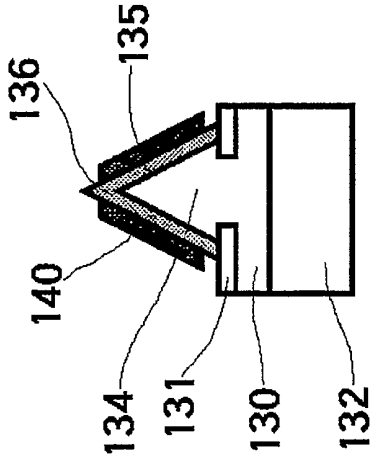
第37図A



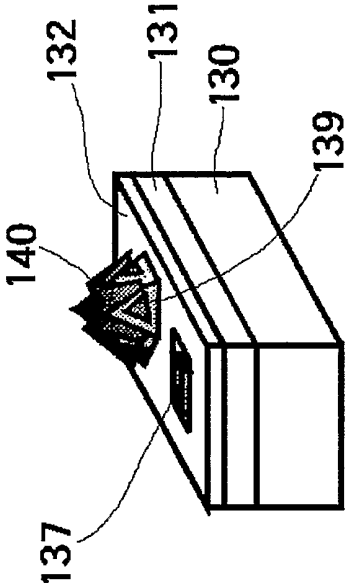
第37図B



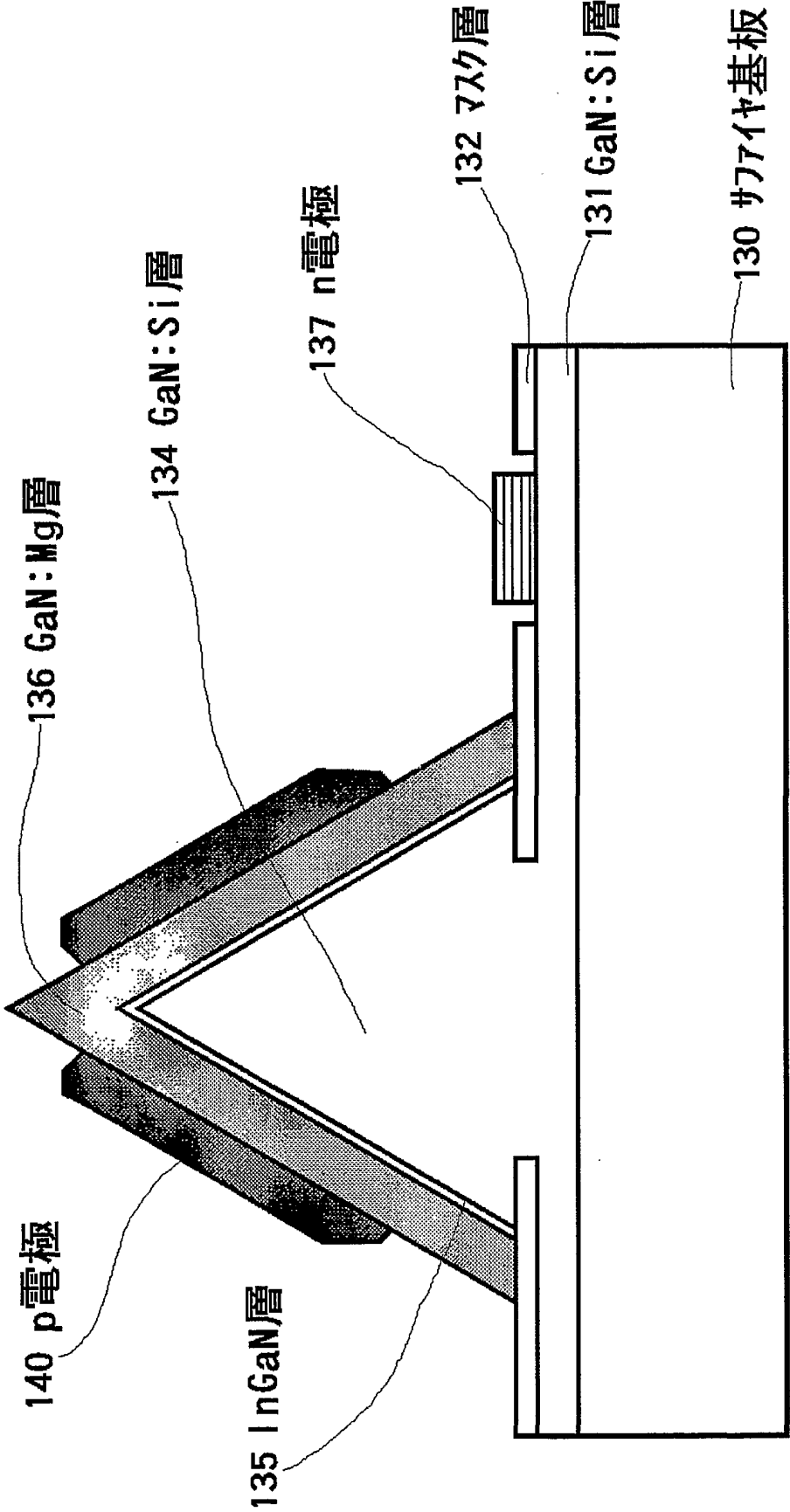
第38図A



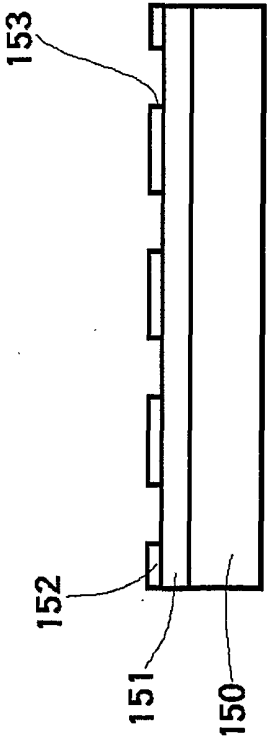
第38図B



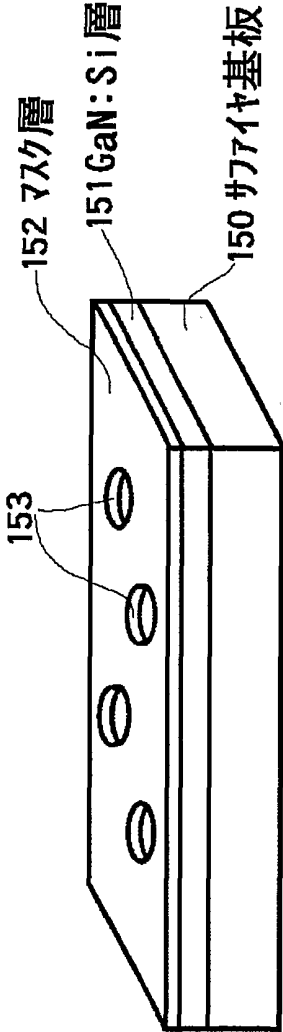
第 3 9 図



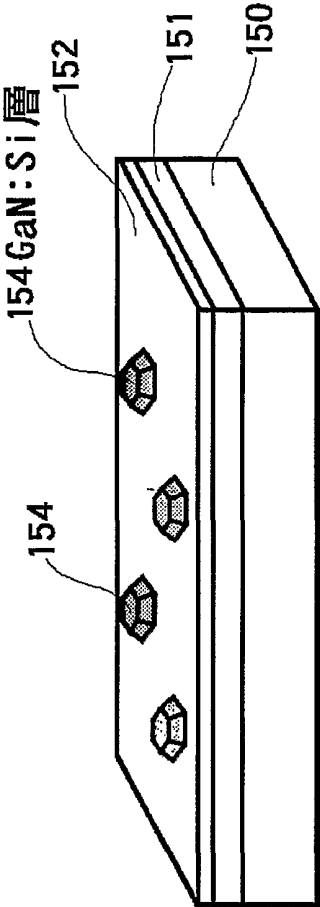
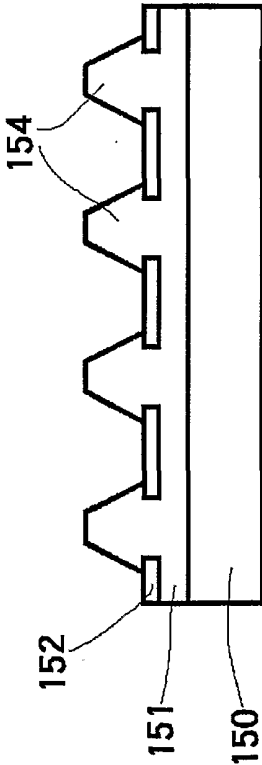
第40図A



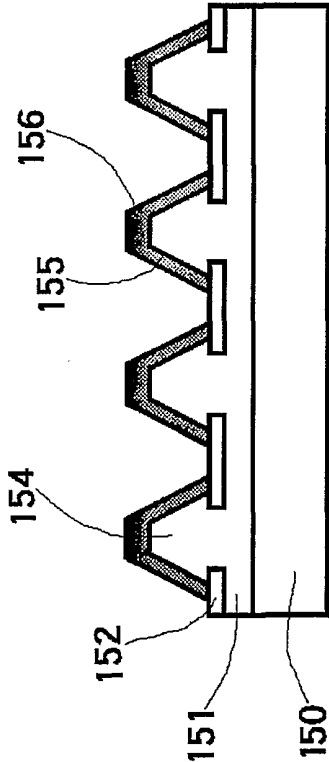
第40図B



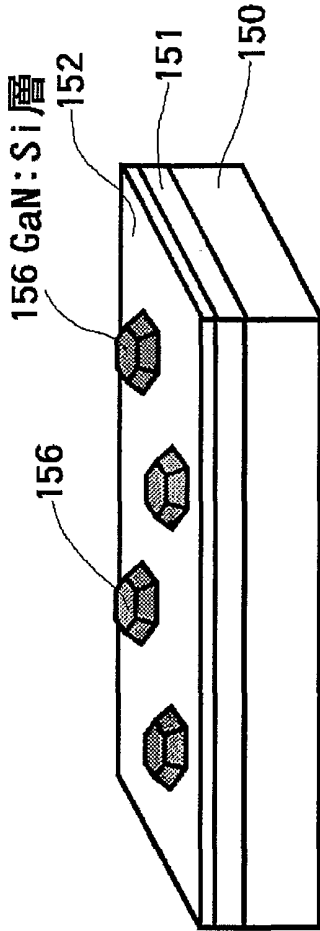
第41図A 第41図B



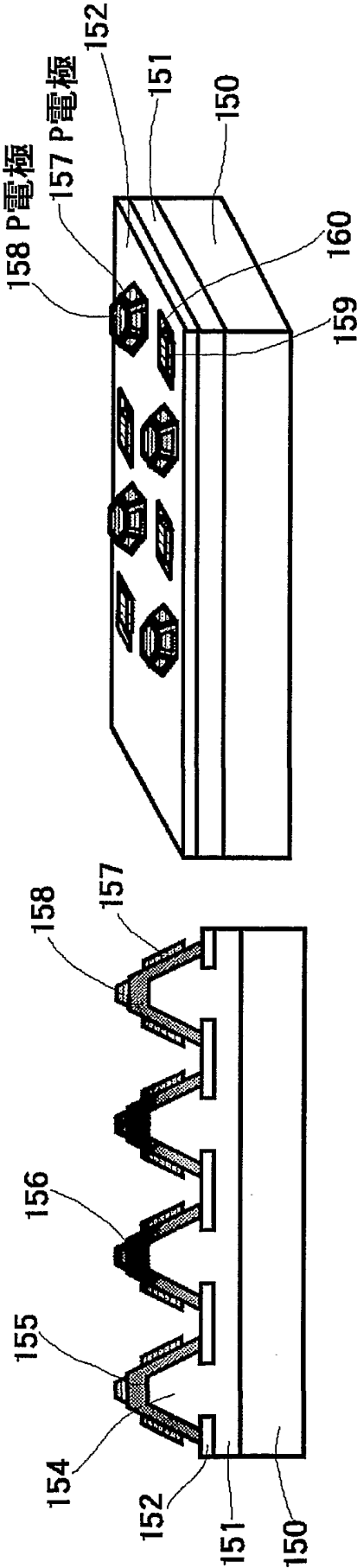
第42図A



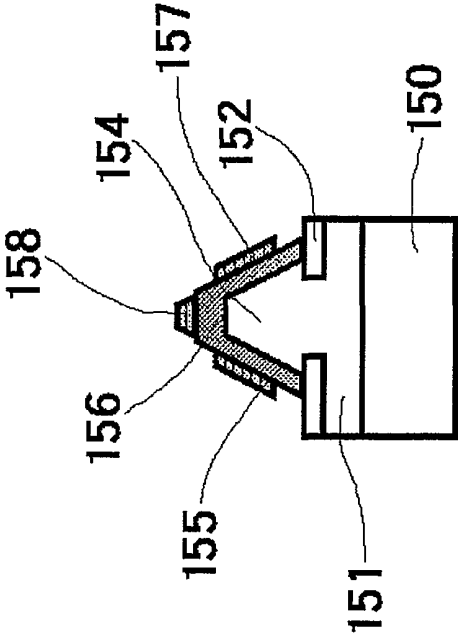
第42図B



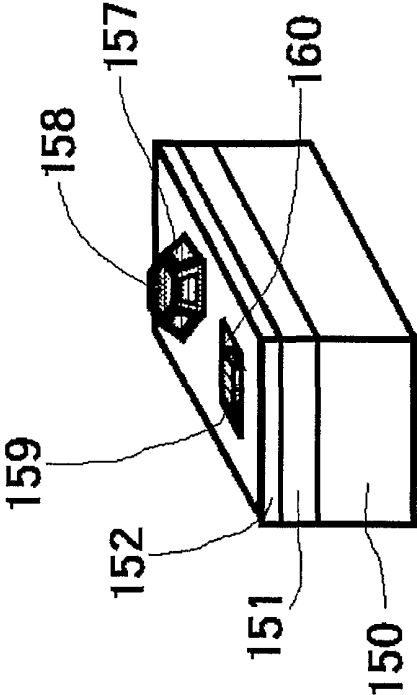
第43図A 第43図B



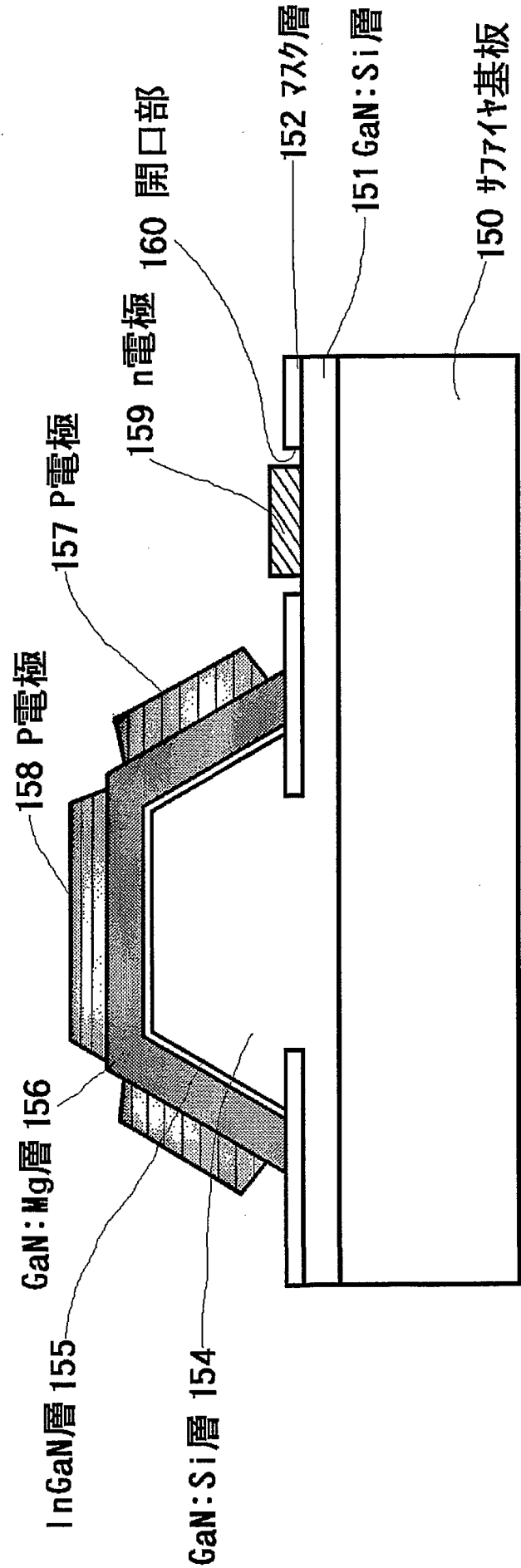
第 4 4 図 A



第 4 4 図 B

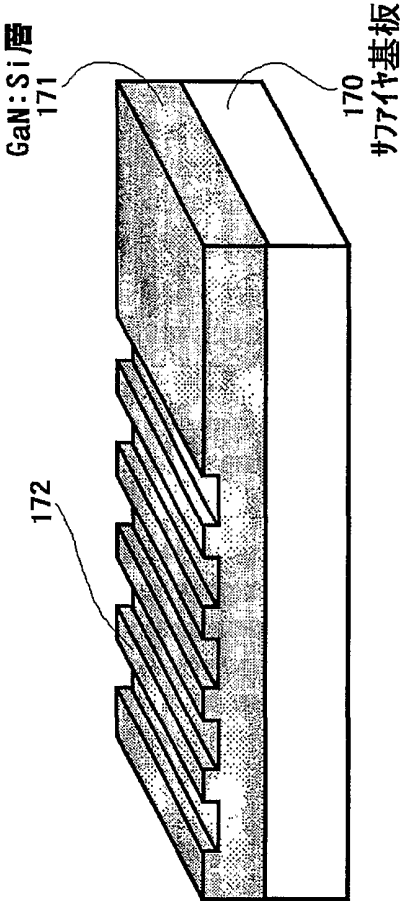
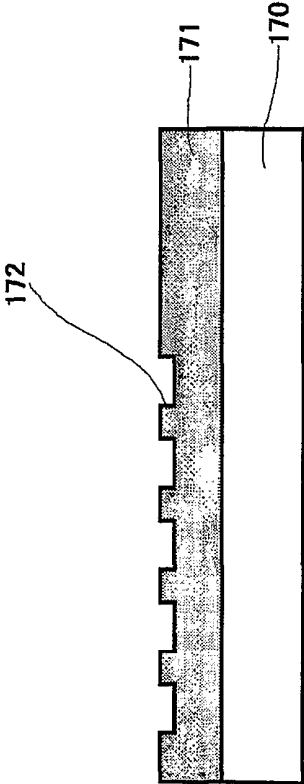


第45図

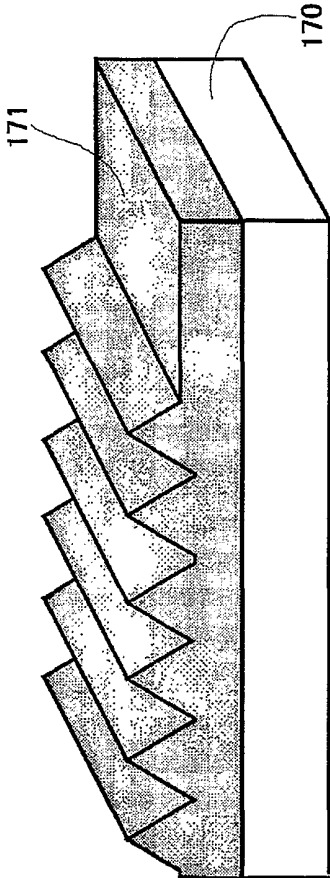
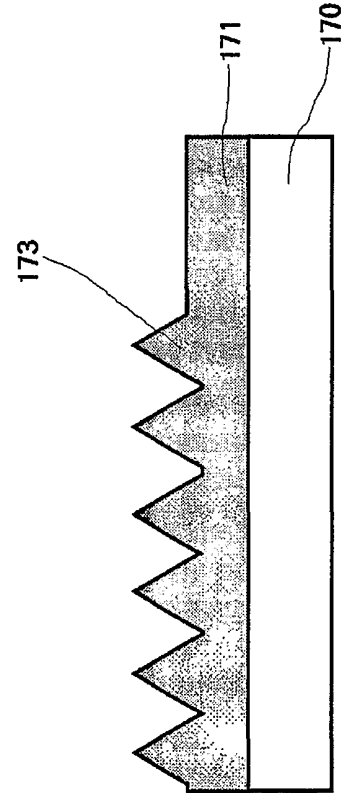


第46図A

第46図B

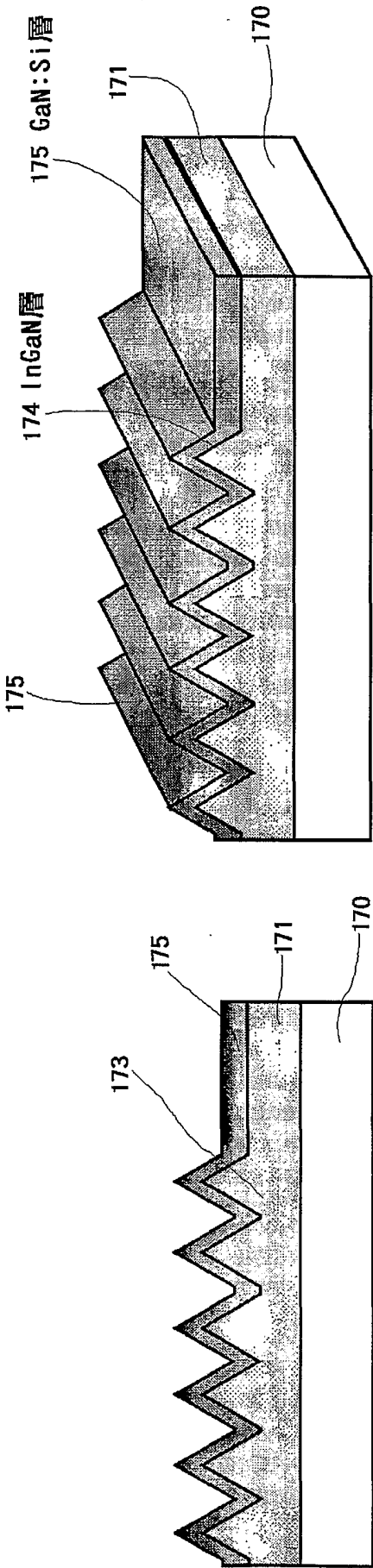


第47図A 第47図B

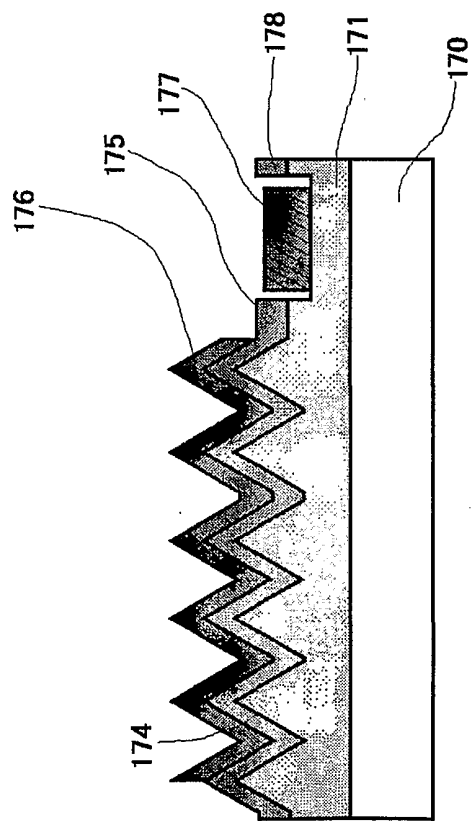


第48図A

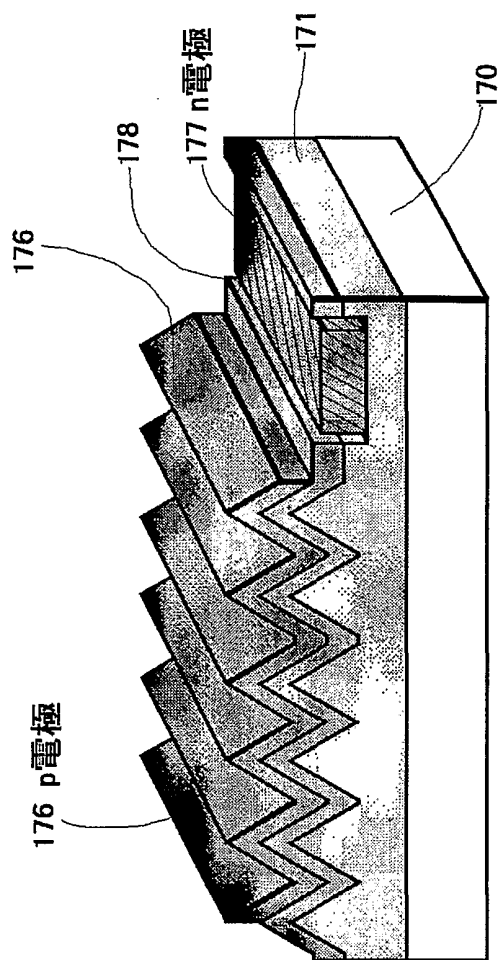
第48図B



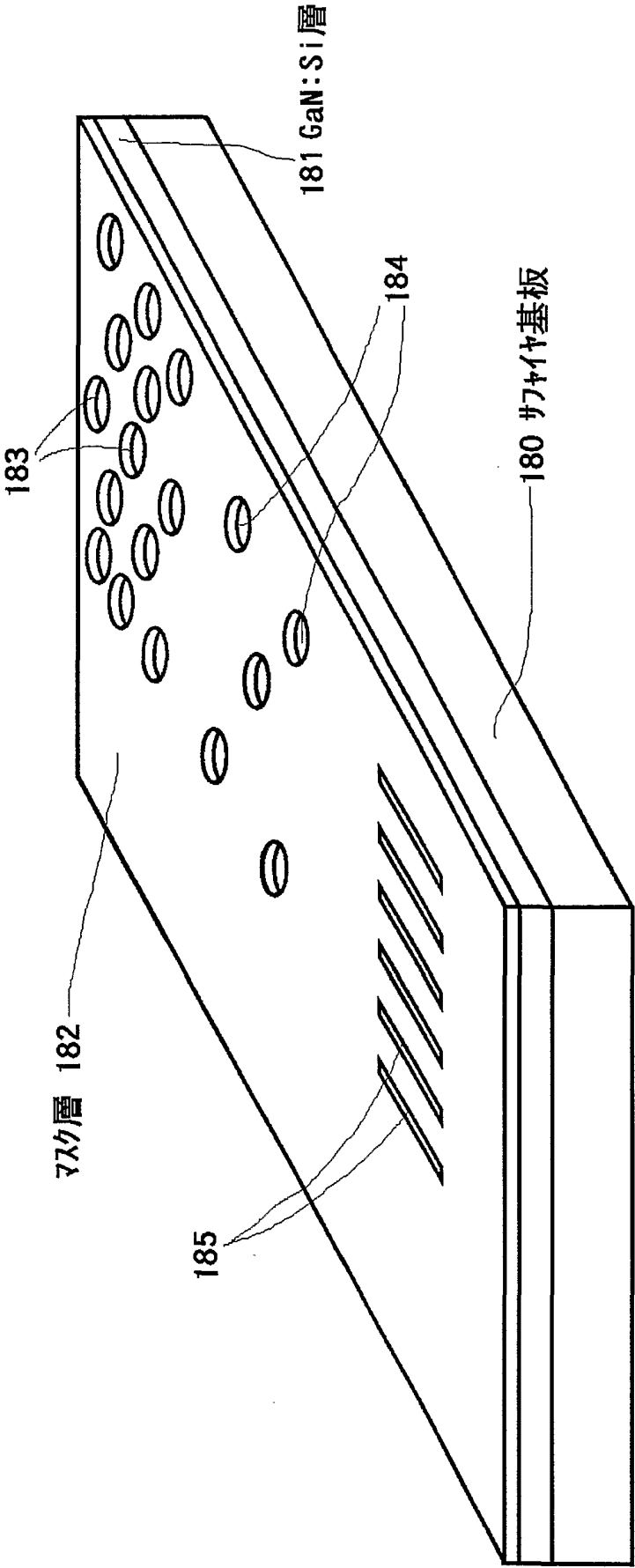
第49図A



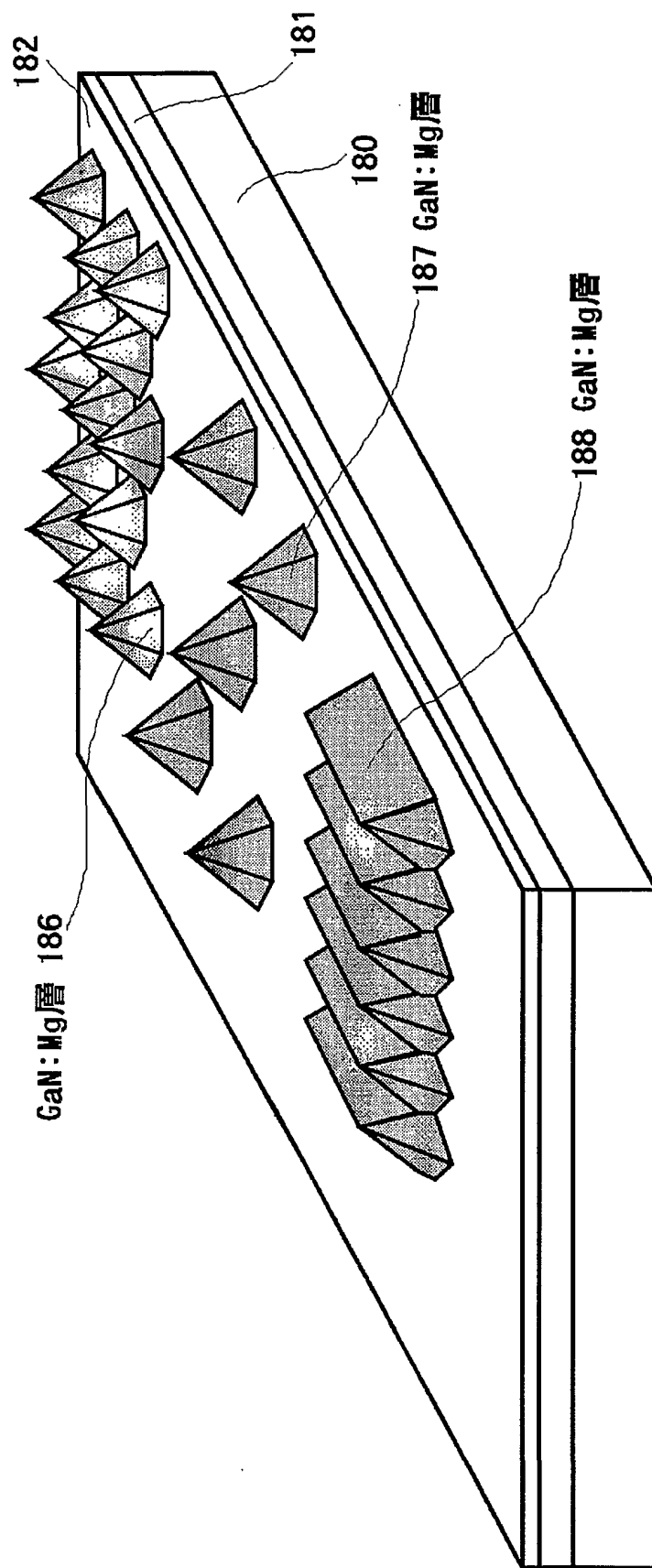
第49B



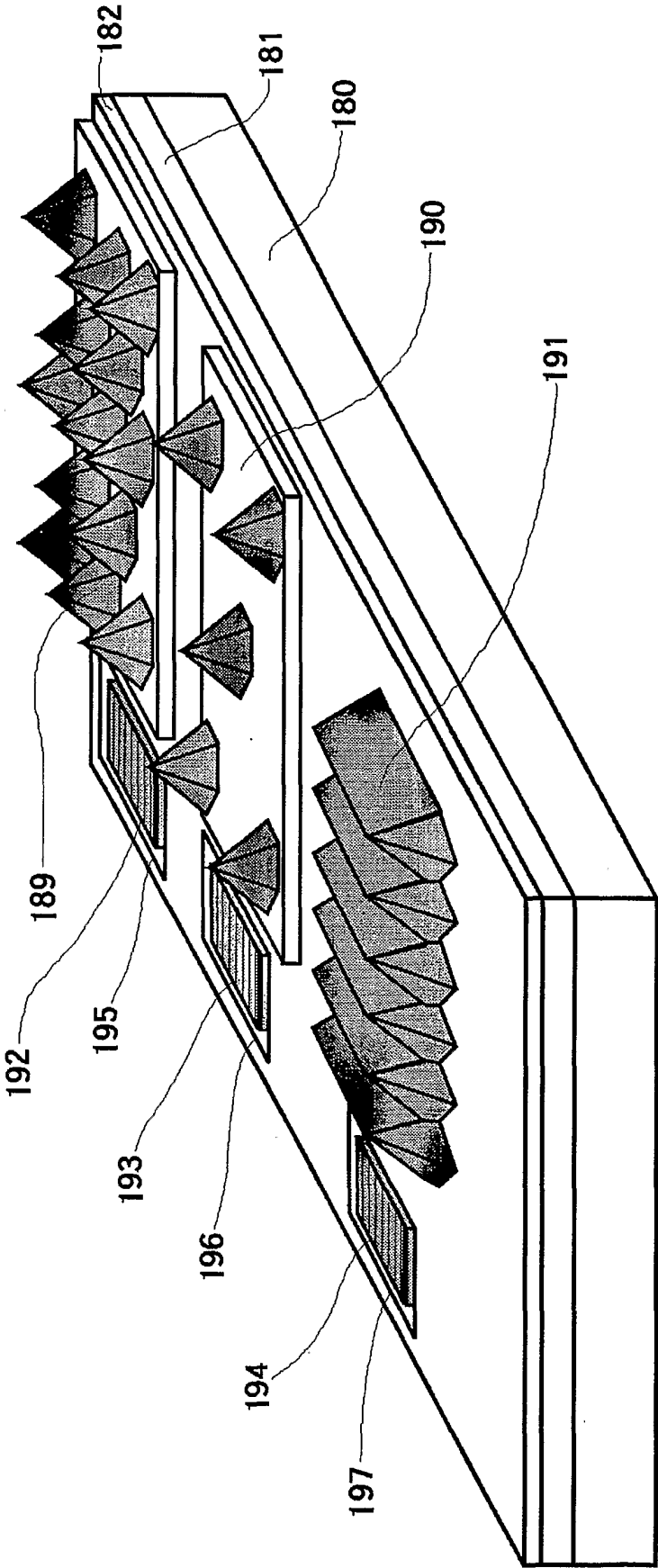
第50図



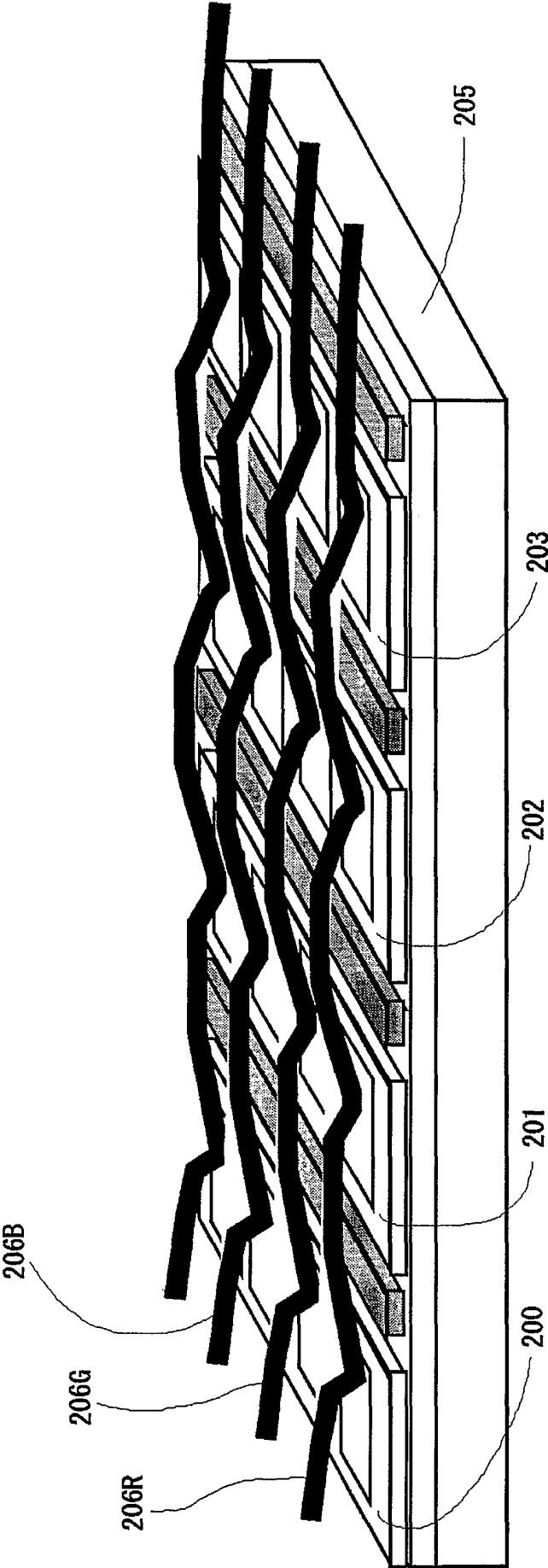
第51図



第52図



第 5 3 図



符号の説明

- 1 0 サファイア基板
- 1 1 Si ドープのGa N 層
- 1 5 In Ga N 層（活性層）
- 1 6 Mg ドープGa N 層
- 1 7 p 電極
- 1 9 n 電極
- 1 1 1 Si ドープGa N 層
- 2 0 0 半導体発光装置

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP01/06214

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl.⁷ H01L33/00

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)

Int.Cl.⁷ H01L33/00

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

Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2001
 Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2001 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2001

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

JICST FILE (JOIS)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 5-251738 A (Fujitsu Limited), 28 September, 1993 (28.09.93), Full text; Figs. 1 to 4 (Family: none)	27-29, 38, 39
A	K. TACHIBANA et al., "Selective growth of InGaN quantum dot structures and their microphotoluminescence at room temperature" Applied Physics Letters, 29 May, 2000, Vol.76, No.22, pages 3212 to 3214	1-39
A	D. KAPOLNEK et al., "Spatial control of InGaN luminescence by MOCVD selective epitaxy", Journal of Crystal Growth, (1998), Vol.189/190, pages 83 to 86	1-39

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

* Special categories of cited documents:	"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
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"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
"E" earlier document but published on or after the international filing date	"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
"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)	"&" document member of the same patent family
"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	

Date of the actual completion of the international search
21 September, 2001 (21.09.01)Date of mailing of the international search report
02 October, 2001 (02.10.01)Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl7 H01L33/00

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 (IPC))

Int. Cl7 H01L33/00

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 1922-1996年
 日本国公開実用新案公報 1971-2001年
 日本国登録実用新案公報 1994-2001年
 日本国実用新案登録公報 1996-2001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)

JICSTファイル (JOIS)

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 請求の範囲の番号
A	JP 5-251738 A (富士通株式会社) 28. 9月. 1993 (28. 09. 93) 全文, 第1-4図 (ファミリーなし)	27-29, 38, 39
A	TACHIBANA, K. et al. Selective growth of InGaN quantum dot structures and their microphotoluminescence at room temperature. Applied Physics Letters 29 May 2000, Vol. 76, No. 22, pages 3212 to 3214	1-39
A	KAPOLNEK, D. et al. Spatial control of InGaN luminescence by MOCVD selective epitaxy. Journal of Crystal Growth 1998, Vol. 189/190, p	1-39

☒ 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

21. 09. 01

国際調査報告の発送日

02.10.01

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/JP)
 郵便番号 100-8915
 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)

杉山 輝和



2K 9608

電話番号 03-3581-1101 内線 3253

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 請求の範囲の番号
	ages 83 to 86	