

WO 2005/106977 A1



ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

IE, IS, IT, LT, LU, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

— 国際調査報告書

(84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU,

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。

工程 (C) と、第 1 の濃度よりも低い第 2 の濃度で n 型不純物を含有する $Al_{x'}Ga_{y'}In_{z'}N$ 結晶 ($0 \leq x', y', z' \leq 1 : x' + y' + z' = 1$) 106 を $Al_xGa_yIn_zN$ 結晶 104 上に成長させ、隣接する 2 つの $Al_xGa_yIn_zN$ 結晶 104 を $Al_{x'}Ga_{y'}In_{z'}N$ 結晶 106 で連結して 1 つの窒化物半導体層 120 を形成する工程 (D) とを含む。

明 細 書

窒化物半導体素子およびその製造方法

技術分野

[0001] 本発明は、半導体レーザ素子や発光ダイオードの窒化物半導体素子およびその製造方法に関する。

背景技術

[0002] 窒化ガリウムに代表されるIII-V族窒化物系半導体材料を用いて作製される青紫色半導体レーザ素子は、光ディスク装置による超高密度記録を実現するためのキーデバイスであり、現在、実用レベルに達しつつある。この青紫色半導体レーザ素子の高出力化は、光ディスクの高速書き込みを可能にするのみならず、レーザディスプレイへの応用など、新たな技術分野を開拓する。

[0003] 従来、サファイア基板を用いるGaN系半導体レーザ素子が開発されてきたが、近年、GaN基板などの窒化物半導体基板を用いてGaN系半導体レーザ素子を作製することが検討されている。例えば非特許文献1は、実用レベルにあるGaN系半導体レーザ素子を開示している。以下、図20を参照しながら、従来のGaN系半導体レーザ素子の製造方法を説明する。

[0004] 図20に示すように、この半導体レーザ素子は、主面が SiO_2 マスク層1602で覆われたGaN基板1601を用いて作製される。 SiO_2 マスク層1602には複数のストライプ状開口部1603が形成されている。GaN基板1601上には、有機金属気相成長法(MOVPE法)を用いた選択横方向成長(ELO)により、GaN層1604が成長させられる。このGaN層1604は、 SiO_2 マスク層1602の個々のストライプ状開口部1603を介して露出するGaN基板1601の主面上にエピタキシャル成長するが、GaN層1604は基板主面に垂直な方向だけではなく水平横方向にも成長し、相互に接触して1つの層を形成する。

[0005] GaN層1604上には、MOVPE法により、n-GaN結晶1605、n-AlGaNクラッド層1606、n-GaN光ガイド層1607、 $\text{Ga}_{1-x}\text{In}_x\text{N}/\text{Ga}_{1-y}\text{In}_y\text{N}$ ($0 < y < x < 1$)から成る多重量子井戸(MQW)活性層1608、p-GaN光ガイド層1609、p-AlGaNクラ

ッド層1610、および、pGa_{1-x}N_xコンタクト層1611が積層されている。ELO工程により形成されたGa_{1-y}N_y層1604には、横方向に成長した個々のストライプ状Ga_{1-y}N_yが合体する部分において刃状転位が存在しており、その上に成長した半導体層中にもGa_{1-y}N_y層1604から刃状転位が延びている。

[0006] p-Ga_{1-x}N_xコンタクト層1611上には、刃状転位が存在していない領域に1.5~10 μm程度の幅を有するリッジストライプが形成される。その後、リッジストライプの両側がSiO₂層1613によって埋め込まれる。

[0007] その後、リッジストライプおよびSiO₂層1613上に、例えばNi/Auからなるp電極1612が形成される。なお、上記の積層体の一部はn-GaN結晶1605が露出するまでエッチングされ、このエッチングにより露出したn-GaN結晶1605の表面には、例えばTi/Alからなるn電極1614が形成される。

[0008] 図20に示す半導体レーザ素子では、n電極1614を接地し、p電極1612に電圧を印加すると、MQW活性層1608に向かってp電極1612側からホールが、またn電極1614側から電子が注入される。その結果、MQW活性層1608内でキャリアの反転分布が発生するため、光学利得が生じ、波長400nm帯のレーザ発振を引き起こすことができる。発振波長は、MQW活性層1608の材料であるGa_{1-x}In_xN/Ga_{1-y}In_yN薄膜の組成や膜厚によって変化する。

[0009] 非特許文献1に開示されている半導体レーザ素子では、水平方向の基本横モードでレーザ発振が生じるようにリッジストライプの幅および高さが調節されている。すなわち、基本横モードと高次モード(1次以上のモード)との間で光閉じ込め係数に差を設けることにより、基本横モードでの発振を可能としている。

[0010] Ga_{1-x}N_x基板は、例えば以下のようにして作製される。

[0011] まず、MOCVD法により、サファイア基板上にGa_{1-y}N_yの単層膜を成長させる。その後、ハイドライドVPE(H-VPE)などの方法により、Ga_{1-y}N_y単層膜上にGa_{1-y}N_yの厚膜を堆積する。十分な厚さにGa_{1-y}N_y膜を成長させた後、サファイア基板を剥離することにより、Ga_{1-y}N_y基板を得ることができる。

[0012] 上記の方法で作製したGa_{1-y}N_y基板には、刃状転位、らせん転位、混合転位などの転位が $5 \times 10^7 \text{ cm}^{-2}$ 程度の密度で存在するという問題がある。このような大きさの密度で

転位が存在すると、信頼性の高い半導体レーザ素子を得ることは困難である。

[0013] 図20に示すGa_N層1604の成長は、転位の少ないGa_N層を得るために行なわれている。Ga_N層1604のELO工程を付加することにより、Ga_N結晶中の転位密度を $7 \times 10^5 \text{ cm}^{-2}$ 程度に低減できる。このようにして形成した転位の少ない領域の上部に、活性領域(電流注入領域)を形成することにより、半導体レーザ素子の信頼性を向上させることが可能となる。

[0014] なお、図20に示す従来の窒化物半導体レーザ素子では、p電極1612およびn電極1614は、いずれもGa_N基板1601の同一面側に形成されている。このようなレーザ素子では、レーザ発振に必要な注入電流は、Ga_N基板1601を流れる必要が無い。このため、Ga_N層1604は導電性を有する必要はなく、また、Ga_N1604に対する不純物のドーピングも意図的には行なわれていない。

[0015] 特許文献2は、SiCなどの基板主面にストライプ状リッジを形成した後、各リッジの上面にGa_N結晶を選択成長させることを開示している。

特許文献1:特開2002-9004号公報

特許文献2:特表2002-518826号公報

非特許文献1:ジャパン・ジャーナル・オブ・アプライド・フィジクス(Jpn. J. Appl. Phys.), 第39巻、p. L648(2000年)

発明の開示

発明が解決しようとする課題

[0016] 前述したように、ストライプ状の開口部を有するマスク層が形成された基板上においてGa_N層の選択的な横方向成長を行なう従来の技術では、Ga_N層に含まれる欠陥に起因して窒化物半導体レーザ素子の製造歩留まりおよび信頼性が低いという問題があった。

[0017] 本発明は上記の事情を鑑みてなされたものであり、信頼性の高い窒化物半導体素子を歩留まり良く提供することにある。

課題を解決するための手段

[0018] 本発明による窒化物半導体の製造方法は、窒化物半導体基板を用意する工程(A)と、前記窒化物半導体基板の主面に平行な上面を有する複数のストライプ状リッジ

ジを前記窒化物半導体基板上に形成する工程(B)と、第1の濃度でn型不純物を含有する $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{In}_z\text{N}$ 結晶($0 \leq x, y, z \leq 1: x+y+z=1$)を前記複数のストライプ状リッジの上面に選択的に成長させる工程(C)と、前記第1の濃度よりも低い第2の濃度でn型不純物を含有する $\text{Al}_{x'}\text{Ga}_{y'}\text{In}_{z'}\text{N}$ 結晶($0 \leq x', y', z' \leq 1: x'+y'+z'=1$)を前記 $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{In}_z\text{N}$ 結晶上に成長させ、隣接する2つの $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{In}_z\text{N}$ 結晶を前記 $\text{Al}_{x'}\text{Ga}_{y'}\text{In}_{z'}\text{N}$ 結晶で連結して1つの窒化物半導体層を形成する工程(D)とを含む。

- [0019] 好ましい実施形態において、前記工程(C)は、前記第1の濃度でn型不純物を含有する $\text{Al}_{x'}\text{Ga}_{y'}\text{In}_{z'}\text{N}$ 結晶を前記窒化物半導体基板の主面に垂直な方向に成長させるとともに、前記主面に平行な方向にも成長させ、それによって $\text{Al}_{x'}\text{Ga}_{y'}\text{In}_{z'}\text{N}$ 結晶のストライプ幅を前記ストライプ状リッジのストライプ幅よりも大きくする工程を含む。
- [0020] 好ましい実施形態において、前記工程(C)は、前記 $\text{Al}_{x'}\text{Ga}_{y'}\text{In}_{z'}\text{N}$ 結晶が前記窒化物半導体基板の主面に垂直な方向に成長するレートよりも高いレートで前記 $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{In}_z\text{N}$ 結晶を前記窒化物半導体基板の主面に垂直な方向に成長させる工程を含む。
- [0021] 好ましい実施形態において、前記工程(B)を行なう前において、前記窒化物半導体基板の主面上にバッファ層を成長させる工程を含む。
- [0022] 好ましい実施形態において、前記窒化物半導体基板の主面のうち、前記複数のストライプ状リッジが形成されていない領域は選択成長用マスクで覆われている。
- [0023] 好ましい実施形態において、前記バッファ層の上面のうち、前記複数のストライプ状リッジが形成されていない領域は選択成長用マスクで覆われている。
- [0024] 好ましい実施形態において、前記選択成長用マスクは、各ストライプ状リッジの側面を覆い、各ストライプ状リッジの上面を露出させている。
- [0025] 好ましい実施形態において、前記工程(B)は、前記ストライプ状リッジの上面の幅を $1 \mu\text{m}$ 以上 $400 \mu\text{m}$ 以下の範囲に設定し、かつ、前記ストライプ状リッジの配列ピッチを $2 \mu\text{m}$ 以上 $500 \mu\text{m}$ 以下の範囲に設定する工程を含む。
- [0026] 好ましい実施形態において、前記工程(C)は、前記第1の濃度が $3 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 以上になるように前記n型不純物を前記 $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{In}_z\text{N}$ 結晶にドーピングしながら、前記 $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{In}_z\text{N}$ 結晶を成長させる工程を含む。
- [0027] 好ましい実施形態において、前記工程(D)は、前記第2の濃度が $3 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ を下

回るように前記n型不純物を前記 $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{In}_z\text{N}$ 結晶にドーピングしながら、前記 $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{In}_z\text{N}$ 結晶を成長させる工程を含む。

[0028] 好ましい実施形態において、前記 $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{In}_z\text{N}$ 結晶にドーピングされたn型不純物はSiである。

[0029] 好ましい実施形態において、前記 $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{In}_z\text{N}$ 結晶にドーピングされたn型不純物は、Siおよび／またはMgである。

[0030] 好ましい実施形態において、前記窒化物半導体基板はn型不純物を含有している。

[0031] 好ましい実施形態において、前記窒化物半導体基板に含まれるn型不純物はSiおよび／または酸素である。

[0032] 好ましい実施形態において、前記窒化物半導体基板に含まれるn型不純物は酸素であり、前記 $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{In}_z\text{N}$ 結晶に含まれる前記n型不純物はSiであり、前記第1の濃度は $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 以下である。

[0033] 好ましい実施形態において、前記工程(C)は、前記 $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{In}_z\text{N}$ 結晶の前記ストライプ状リッジに垂直かつ基板主面に平行な方向における成長レートが前記ストライプ状リッジに関して非対称となるように前記 $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{In}_z\text{N}$ 結晶を成長させる工程を含む。

[0034] 本発明による他の窒化物半導体の製造方法は、窒化物半導体基板を用意する工程(A)と、窒化物半導体基板の主面に平行な上面を有する複数のストライプ状シート部を前記窒化物半導体基板上に形成する工程(B)と、Siを含有する $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{In}_z\text{N}$ 結晶($0 \leq x, y, z \leq 1 : x + y + z = 1$)を前記複数のストライプ状リッジの上面に選択的に成長させる工程(C)とを含み、前記ストライプ状シート部の上面と前記 $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{In}_z\text{N}$ 結晶との界面を含む領域に酸素およびSiの両方をドーピングする。

[0035] 本発明の窒化物半導体は、主面に平行な上面を有する複数のストライプ状リッジを備えた窒化物半導体基板と、前記複数のストライプ状リッジの上面に設けられ、第1の濃度でn型不純物を含有する $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{In}_z\text{N}$ 結晶と、隣接する2つの $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{In}_z\text{N}$ 結晶を連結して1つの窒化物半導体層を形成する $\text{Al}_{x'}\text{Ga}_{y'}\text{In}_{z'}\text{N}$ 結晶($0 \leq x', y', z' \leq 1 : x' + y' + z' = 1$)であって、前記第1の濃度よりも低い第2の濃度でn型不純物を含有する $\text{Al}_{x'}\text{Ga}_{y'}\text{In}_{z'}\text{N}$ 結晶とを備えている。

- [0036] 本発明による窒化物半導体素子の製造方法は、前記窒化物半導体を用意する工程と、前記窒化物半導体上に半導体積層構造を形成する工程とを含む。
- [0037] 本発明による窒化物半導体素子は、主面に平行な上面を有する複数のストライプ状リッジを備えた窒化物半導体基板と、前記複数のストライプ状リッジの上面に設けられ、第1の濃度でn型不純物を含有する $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{In}_z\text{N}$ 結晶と、隣接する2つの $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{In}_z\text{N}$ 結晶を連結して1つの窒化物半導体層を形成する $\text{Al}_{x'}\text{Ga}_{y'}\text{In}_{z'}\text{N}$ 結晶 ($0 \leq x', y', z' \leq 1; x' + y' + z' = 1$) であって、前記第1の濃度よりも低い第2の濃度でn型不純物を含有する $\text{Al}_{x'}\text{Ga}_{y'}\text{In}_{z'}\text{N}$ 結晶と、前記窒化物半導体層上に設けられた半導体積層構造とを備えている。
- [0038] 好ましい実施形態において、前記第1の濃度でn型不純物を含有する各 $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{In}_z\text{N}$ 結晶のストライプ幅は、各ストライプ状リッジのストライプ幅よりも大きい。
- [0039] 好ましい実施形態において、前記 $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{In}_z\text{N}$ 結晶は、各ストライプ状リッジの側面には接触していない。
- [0040] 好ましい実施形態において、前記窒化物半導体基板において前記ストライプ状リッジが存在しない凹部領域と前記 $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{In}_z\text{N}$ 結晶との間にはギャップが設けられている。
- [0041] 好ましい実施形態において、前記窒化物半導体基板の主面は、マスク層によって覆われており、前記マスク層は、前記ストライプ状リッジの上面を露出させる開口部を有し、かつ、前記ストライプ状リッジの側面を覆っている。
- [0042] 好ましい実施形態において、前記半導体積層構造は、前記窒化物半導体層のバンドギャップよりも小さなバンドギャップを有する活性層と、前記活性層上に形成され、前記活性層のバンドギャップよりも大きなバンドギャップを有する第2の窒化物半導体層と、前記活性層の一部に電流を狭窄する電流狭窄部と、前記電流狭窄部を介して前記活性層の一部に電流を供給する電極構造とを備える。
- [0043] 好ましい実施形態において、前記電流狭窄部は、前記窒化物半導体基板における複数のストライプ状リッジの間に存在する凹部の上に位置している。

発明の効果

- [0044] 本発明によれば、転位密度の少ない窒化物半導体を歩留まりよく作製することがで

き、基板裏面に電極を設けた窒化物半導体素子の動作電圧を低減し、かつ信頼性の向上や生産性の向上を図ることができる。

- [0045] また、本発明によれば、低抵抗化を図るために窒化物半導体層にn型不純物を高濃度にドーピングしてもクラックの発生を抑制することができ、窒化物半導体素子の動作電圧を低減し、かつ信頼性の向上や生産性の向上を図ることができる。その結果、信頼性の高い光ディスク用レーザ、レーザディスプレイ装置や医療用レーザを歩留まり良く作製することができる。

図面の簡単な説明

- [0046] [図1]本発明による窒化物半導体素子の第1の実施形態を示す断面図である。
- [図2]前記窒化物半導体素子の製造方法を示す工程断面図である。
- [図3]前記窒化物半導体素子の製造方法を示す工程断面図である。
- [図4]前記窒化物半導体素子の製造方法を示す工程断面図である。
- [図5]前記窒化物半導体素子の製造方法を示す工程断面図である。
- [図6]前記窒化物半導体素子の製造方法を示す工程断面図である。
- [図7]前記窒化物半導体素子の製造方法を示す工程断面図である。
- [図8]前記窒化物半導体素子の製造方法を示す工程断面図である。
- [図9]前記窒化物半導体素子の製造方法を示す工程断面図である。
- [図10]前記窒化物半導体素子の製造方法を示す工程断面図である。
- [図11]前記窒化物半導体素子の製造方法を示す工程断面図である。
- [図12](a)から(d)は、第1の実施形態における第1のn-GaN結晶104および第2のn-GaN結晶106の成長を示す工程断面図である。
- [図13]リッジ上面のシード部105から成長するGaN結晶の横方向成長レートに対する縦方向成長レートの比(以下、「縦／横比」と称する。)がGaN中のSi濃度によってどのように変化するかを示すグラフである。
- [図14]窒化物半導体層120の一部断面を拡大した電子顕微鏡写真(SEM)と、転位密度の分布を示すグラフである。
- [図15]第1のn-GaN結晶104の有無により、レーザ素子の抵抗がどのように変化するかを示すグラフである。

[図16]Siをドーピングしたn-GaN基板におけるクラック本数密度とSi濃度との関係を示すグラフである。

[図17](a)から(d)は、本発明による窒化物半導体の第2の実施形態の工程断面図である。

[図18]ストライプ状リッジの上面に位置するシード部上にGaN結晶を成長させる場合における縦／横比とSi濃度との関係を示すグラフである。

[図19]本発明による窒化物半導体素子の第3の実施形態を示す断面図である。

[図20]従来の窒化物半導体素子を示す断面図である。

符号の説明

- [0047] 101 n-GaN基板
102 マスク層
103 エアギャップ
104 第1のn-GaN結晶
105 シード部
106 第2のn-GaN結晶
107 $n\text{-Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}/\text{GaN}$ 超格子コンタクト層
108 $n\text{-Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}/\text{GaN}$ 超格子クラッド層
109 n-GaN光ガイド層
110 MQW活性層
111 p-GaN光ガイド層
112 $p\text{-Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}/\text{GaN}$ 超格子クラッド層
113 p-GaN層
114 p電極
115 SiO_2 マスク層
116 n電極
117 配線電極
118 配線電極
119 ボイド

120 窒化物半導体層
301 レジストマスク
501 平坦化レジスト
1201 多結晶GaN
1202 合体部分
1401 第1のn-GaN結晶
1402 第2のn-GaN結晶
1403 合体部分
1601 GaN
1602 SiO₂ マスク層
1603 開口部
1604 GaN層
1605 n-GaN結晶
1606 n-AlGaNクラッド層
1607 n-GaN光ガイド層
1608 MQW活性層
1609 p-GaN光ガイド層
1610 p-AlGaNクラッド層
1611 p-GaNコンタクト層
1612 p電極
1613 SiO₂ 層
1614 n電極

発明を実施するための最良の形態

[0048] 以下、図面を参照しながら、本発明の実施形態を詳細に説明する。

[0049] (実施形態1)

まず、図1を参照する。図1は、本実施形態に係る窒化物半導体レーザ素子の断面を示している。本実施形態の半導体レーザ素子は、主面に複数のストライプ状リッジが形成されたn-GaN基板101と、n-GaN基板101基板上に成長した半導体積層

構造とを有している。n-GaN基板101の主面のうち、ストライプ状リッジの上面以外の部分は SiN_x ($0 < x < 4/3$)から形成されたマスク層102で覆われている。各ストライプ状リッジの上面は、基板主面に平行な結晶面を有するシード部105として機能し、ストライプ状リッジの間には凹部が形成されている。この凹部は、半導体層などによっては埋め込まれず、n-GaN基板101の主面と半導体積層構造の底面との間にはエアギャップ103が存在している。

[0050] 本実施形態では、第1の濃度でn型不純物を含有する $\text{Al}_{x'}\text{Ga}_{y'}\text{In}_{z'}\text{N}$ 結晶 ($x=0, y=1, z=0$) が複数のストライプ状リッジの上面に選択的に成長している。以下、簡単のため、 $\text{Al}_{x'}\text{Ga}_{y'}\text{In}_{z'}\text{N}$ 結晶 ($x=0, y=1, z=0$) を第1のn-GaN結晶104と記載する。

[0051] 第1の濃度よりも低い第2の濃度でn型不純物を含有する $\text{Al}_{x'}\text{Ga}_{y'}\text{In}_{z'}\text{N}$ 結晶 ($x'=0, y'=1, z'=0$) が第1のn-GaN結晶104上に成長しており、隣接する2つの第1のn-GaN結晶104は $\text{Al}_{x'}\text{Ga}_{y'}\text{In}_{z'}\text{N}$ 結晶によって連結されている。以下、簡単のため、 $\text{Al}_{x'}\text{Ga}_{y'}\text{In}_{z'}\text{N}$ 結晶 ($x'=0, y'=1, z'=0$) を第2のn-GaN結晶106と記載する。

[0052] このように、本実施形態では、不純物濃度の異なる第1のn-GaN結晶104と第2のn-GaN結晶106から、1つの連続した窒化物半導体層120を形成している点に特徴を有している。

[0053] 本実施形態の半導体積層構造は、n-GaN基板101に近い側から、窒化物半導体層120、n- $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ /GaN超格子クラッド層108、n-GaN光ガイド層109、多重量子井戸(MQW)活性層110、p-GaN光ガイド層111、p- $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ /GaNクラッド層112、p-GaN層113を有している。MQW活性層110は、厚さ3nmのGa $_{0.8}$ In $_{0.2}$ N井戸層と厚さ6nmのGaNバリア層とを交互に積層することによって作製されている。

[0054] p-GaN層113には、電流および光閉じ込めのためリッジストライプが形成されており、リッジストライプの上面に位置する開口部を備えた SiO_2 マスク層115が半導体積層構造の上面を覆っている。p-GaN層113のリッジストライプ上にはp電極114が形成され、配線電極117と接続されている。n-GaN基板101の裏面にはn電極11

6が形成されている。

- [0055] 本実施形態の半導体レーザ素子では、p電極114とn電極116との間に電圧を印加すると、MQW活性層110に向かってp電極114から正孔が注入され、n電極116からは電子が注入される。この結果、活性層110において利得が生じ、408nmの波長でレーザ発振が生じる。
- [0056] 次に、図2から図16を参照して、図1の半導体レーザ素子を製造する方法の好ましい実施形態を説明する。
- [0057] まず、図2に示すn-GaN基板101を用意する。図2の紙面に平行な面は{1-100}面である。n-GaN基板101の上面(主面)は(0001)面であり、主面の法線方向は<0001>である。n-GaN基板101における転位密度は $5 \times 10^5 \text{ cm}^{-2}$ 程度である。
- [0058] 次に、フォトリソグラフィ技術によってストライプ状にパターニングされたレジストマスク301を図3に示すようにn-GaN基板101の主面に形成する。レジストマスク301は、リッジストライプのレイアウトを規定するパターンを有している。具体的には、レジスト膜301は、<1-100>方向に延びるストライプパターンを規定している。
- [0059] 次に、 Cl_2 を用いたドライエッチングにより、n-GaN基板101の主面のうち、レジストマスク301によって覆われていない部分をエッチングし、図3に示すようにn-GaN基板101の主面に凹凸を形成する。凸部は、<1-100>方向に延びるストライプ状リッジであり、その幅(ストライプ幅)は例えば約 $3 \mu\text{m}$ である。ストライプ状リッジに挟まれた領域における凹部の幅は例えば約 $15 \mu\text{m}$ である。リッジ高さ(凹部の深さ)は、エッチング時間などによって調整され、例えば $0.2 \sim 5 \mu\text{m}$ 程度に設定される。ストライプ状リッジの幅(ストライプ幅)は $1 \sim 10 \mu\text{m}$ の範囲に設定されることが好ましく、ストライプ状リッジに挟まれた領域における凹部の幅は $1 \sim 50 \mu\text{m}$ の範囲に設定されることが好ましい。
- [0060] 図4に示すように、レジストマスク301を除去した後、プラズマCVD法により、 SiN_x からなる選択成長用マスク層(厚さ: $5 \sim 1000 \text{ nm}$)102をn-GaN基板101に堆積する。本実施形態では、マスク層102を窒化シリコン(SiN_x)から形成しているが、マスク層102は、GaNの成長が生じにくい材料であれば、他の材料から形成してもよい。例え

ば、酸化シリコン(SiO_2)、酸化窒化シリコン(SiON)、酸化アルミニウム(Al_2O_3)、窒化酸化アルミニウム(AlNO)、酸化チタン(TiO_2)、酸化ガリウム(GaO_x)、酸化ジルコニウム(ZrO_2)、酸化ニオブ(Nb_2O_5)、窒化チタン(TiN)などの材料からマスク層102を好適に形成することができる。

[0061] 次に、図5に示すようにマスク層102上に平坦化レジスト501を堆積した後、図6に示すようにリッジの上面(頂上部)が露出するまでレジスト501のエッチバックを行なう。このエッチバックは、例えば O_2 プラズマを用いたドライエッチングによって行なうことができる。本実施形態では、平坦化レジスト501によってストライプ状リッジを覆った後、エッチバックを行なっているが、平坦化レジスト以外の材料でストライプ状リッジを覆ってもよい。

[0062] 次に、リッジの上面が露出した状態で SF_6 を用いたドライエッチングを行なうことにより、図7に示すように、マスク層102のうちリッジ上面に位置する部分を除去し、リッジ頂上部におけるGaN面(シード部105として機能する結晶面)を露出させる。その後、図8に示すように、有機溶剤等を用いてレジスト501を除去する。この結果、マスク層102は、ストライプ状リッジの側面の略全体を覆い、リッジの上面を露出させるストライプ状の開口部を有することになる。

[0063] この後、500～1100℃程度で熱処理(サーマルクリーニング)を行なう。この熱処理は、例えば750℃で1分以上、望ましくは5分以上行なう。この熱処理を行なっている間、窒素原子(N)を含むガス(N_2 、 NH_3 、ヒドラジンなど)をチャンバー内に流すことが好ましい。熱処理後、MOVPE法により、例えば1050℃でn-GaNをシード部105上に選択的に成長させ、図9に示す第1のn-GaN結晶104を形成する。その後、図10に示すように、第1のn-GaN結晶104上に第2のn-GaN結晶106を成長させる。この成長を続けることにより、図11に示すように、第1のn-GaN結晶104上に第2のn-GaN結晶106から構成される1層の窒化物半導体層120を形成することができる。本実施形態では、第2のn-GaN結晶106の成長温度は、第1のn-GaN結晶104の成長温度に等しく設定している。ただし、第2のn-GaN結晶106の成長温度は、第1のn-GaN結晶104の成長温度より高くても良い。

[0064] 以下、図12(a)から(d)を参照して、上記の窒化物半導体層120の成長について

詳細を説明する。

- [0065] まず、図12(a)を参照する。図12(a)は、図8に相当する断面図である。図12(a)に示すリッジまたは凹部が形成されたn-GaN基板101上に、MOVPE法によって第1のn-GaN結晶104を成長させると、SiN_xからなるマスク層102で覆われた領域にはGaNのエピタキシャル成長は生じず、マスク層102の開口部を介して露出したn-GaN基板101のシード部105に選択的なエピタキシャル成長が進行する。シード部105は、基板主面と同一の(0001)面であり、各々が約3 μ m程度の幅を有するストライプ形状を有している。なお、第1のn-GaN結晶104は、基板主面に垂直な方向に成長するとともに、基板主面に平行な方向にも成長するため、第1のn-GaN結晶104のストライプ幅は、ストライプ状リッジのストライプ幅に比べて、例えば0.2～7 μ m程度は大きくなる。
- [0066] このようにして第1のn-GaN結晶104を成長させるとき、図12(b)に示すように多結晶GaN1201が凹部のマスク層102上に析出する場合がある。特に、第1のn-GaN結晶104を形成する前に行なう熱処理(サーマルクリーニング)により、凹部のマスク層102上にGaやGaNのドロップレットが付着すると、それを起点としてGaNがマスク層102上にも成長しやすくなる。しかし、析出する多結晶GaN1201はリッジの高さに比べて小さいため、リッジ頂上のシード部105から成長するGaN結晶104の結晶性に悪影響を与えることはない。
- [0067] 本実施形態では、ストライプ状リッジの上面がシード部105として機能し、リッジの側面はシード部としては機能しない。すなわち、第1のn-GaN結晶104は、ストライプ状リッジの側面上には成長しない。ストライプ状リッジの側面には、エッチングによる損傷(結晶欠陥)が存在しているため、仮にストライプ状リッジの側面上にも第1のn-GaN結晶104を成長させると、第1のn-GaN結晶104の結晶品質が低下する。これに対して、本実施形態では、ストライプ状リッジの上面に選択的に第1のn-GaN結晶104を成長させるが、その側面には成長させないため、欠陥の少ない第1のn-GaN結晶104を得ることができる。
- [0068] 図12(c)に示すように、第1のn-GaN結晶104上に第2のn-GaN結晶106を成長させることにより、図12(d)に示すように、隣接する第1のn-GaN結晶104上に成

長した第2のn-GaN結晶106が合体して1層の窒化物半導体層120が形成される。第2のn-GaN結晶106が合体した位置には合体部分1202が形成される。

[0069] こうして形成された窒化物半導体層120は、マスク層102上に析出した多結晶GaN1201とは衝突しないため、多結晶GaN1201によって結晶性が低下することはない。その結果、最終的に得られる素子特性のばらつきも低減でき、素子の製造歩留まりを向上させることができる。

[0070] 図1に示す半導体レーザ素子の発光部は、図12(d)に示すリッジ形成位置の上方に配置されることが好ましい。合体部分1202には、転位などの欠陥が多く、その上に成長した半導体層の下層の欠陥が悪影響を与えるからである。

[0071] なお、図20に示す従来の半導体レーザ素子では、GaN層1604を成長させるとき、横方向に成長したGaN層1604とSiO₂マスク層1602とが接触するため、GaN層1604とSiO₂マスク層1602との界面には熱膨張係数差に起因する応力が生じる。このような応力により、GaN結晶の結晶軸が傾き、チルトが生じるため、最終的に得られる結晶の平坦性が低下するという問題があった。しかし、本実施形態では、リッジ頂上のシート部105からGaN結晶を横方向に成長させるため、マスク層102とGaNとの界面は形成されず、熱膨張係数差に起因する応力の問題が解決される。

[0072] 本実施形態では、第1のn-GaN結晶104の厚さを約3 μmに設定し、n型不純物であるSiの濃度が $7 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ となるようにSiをドーピングしている。また、第2のn-GaN結晶106にもn型不純物としてSiをドーピングし、Si濃度が約 $3 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ となるようにしている。

[0073] 本発明では、第1のn-GaN結晶104におけるSi濃度が第2のn-GaN結晶106のSiの濃度よりも高くなるようにドーピングを行なう。第1のn-GaN結晶104におけるSi濃度は $3 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以上であることが好ましく、第2のn-GaN結晶106におけるSi濃度は $3 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以下であることが好ましい。第1のn-GaN結晶104と第1のn-GaN結晶104との間で不純物濃度を変化させることによる効果を得るには、第2のn-GaN結晶106におけるSi濃度を、第1のn-GaN結晶104におけるSi濃度の90%以下の値に調節することが好ましく、80%以下の値に調節することが更に好ましい。

- [0074] このように、不純物濃度の異なる2種類のGaN層を成長させる理由を以下において詳しく説明する。
- [0075] まず、図13を参照する。図13は、リッジ上面のシード部105から成長するGaN結晶の横方向成長レートに対する縦方向成長レートの比(以下、「縦／横比」と称する。)がGaN中のSi濃度によってどのように変化するかを示すグラフを示している。グラフの縦軸は縦／横比であり、横軸は成長させるGaNにドーピングされるSiの濃度である。
- [0076] 図13からわかるように、縦／横比はSi濃度が増加に従って増大する。Si濃度が約 $3 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ よりも小さい場合、縦／横比は1よりも小さいが、Si濃度が約 $3 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以上になると、縦／横比は1以上に増加する。このように縦／横比が1に等しくなる臨界的なSi濃度は、例えばMOVPE結晶成長時の成長温度や圧力などによっても変動し得るが、Si濃度の変化に対する縦／横比の変化の挙動(傾向)は、実質的に等しい。すなわち、Si濃度が高くなる程、シード部105上に成長するGaNは縦方向に大きくなりやすい(厚くなりやすい)。
- [0077] このように、GaN結晶を縦および横方向に成長させる工程において、GaN結晶にドーピングする不純物濃度を調節することにより、成長レートの縦／横比を制御することができる。本発明の好ましい実施形態では、この現象を利用し、n-GaN結晶の成長の初期段階においては、縦／横比を相対的に大きくして第1のn-GaN結晶104を縦方向に厚く形成する。その後、第2のn-GaN結晶106を成長させるときは、縦／横比を相対的に小さくして横方向成長への成長を促進させる。このようにすることにより、従来のELO工程による場合に比べて、より厚い窒化物半導体層120を形成することができる。この窒化物半導体層120が薄いと、結晶成長時における熱応力などの影響により、窒化物半導体層120に含まれる個々の横方向成長部が傾斜(チルト)するため、合体部1202に新たな転位が発生しやすい。これに対し、窒化物半導体層120を厚く形成すると、個々の横方向成長部のチルトが小さくなるため、品質に優れた合体部を得ることができる。
- [0078] 図14は、窒化物半導体層120の一部断面を拡大した電子顕微鏡写真(SEM)と、転位密度の分布とを示している。SEMからわかるように、合体部1202には、エアギャップ103につながった小さなボイド119が形成されている。また、グラフからわかるよ

うに、シード部105から横方向に成長した部分(ウイング部)の転位密度は、n-GaN基板101における転位密度($5 \times 10^5 \text{ cm}^{-2}$ 程度)よりも低減され、また、合体部1202における刃状転位の生成も抑制されている。

[0079] なお、基板主面にはマスク層102が存在するため、レーザ発振に必要な電流の経路は、シード部105の狭いストライプ領域に制限されるが、本実施形態では、第1のn-GaN結晶104におけるSi濃度を高めることにより、電気抵抗を大きく低減できる。図15は、第1のn-GaN結晶104の有無により、レーザ素子の抵抗がどのように変化するかを示すグラフである。グラフの縦軸が電圧、横軸が電流である。図15からわかるように、第1のn-GaN結晶104を設けることにより、相対的に低い電圧で同じ大きさの電流を流すことができ、半導体レーザ素子の動作電圧を格段に低減できる。

[0080] 第1のn-GaN結晶104上に不純物濃度が比較的低い第2のn-GaN結晶106を成長させる代わりに、不純物濃度の比較的高いn-GaN結晶104のみを成長させ、それによって窒化物半導体層120のすべてを構成しようとする、n-GaN結晶中104の格子歪みが大きくなるため、その上に半導体多層構造を形成した場合、クラックが形成されやすくなるという問題がある。

[0081] 図16は、Siをドーブしたn-GaN基板におけるクラック本数密度とSi濃度との関係を示している。このグラフからわかるように、n-GaN基板の場合、Si濃度の増大に伴ってクラック本数が増加している。この現象は、GaN基板に限られず、GaN結晶に広く生じるものであるため、窒化物半導体層120の全体におけるSi濃度を高くすると、窒化物半導体層120にクラックが発生しやすくなる。しかし、本実施形態のように、第1のn-GaN結晶104のSi濃度は高く設定する場合、その厚さが $3 \mu\text{m}$ 程度に大きくなっても、第2のn-GaN結晶106のSi濃度を低く設定することにより、クラックの発生を回避できることがわかった。

[0082] なお、本発明者の実験によれば、Siよりも原子半径の小さい酸素がドーブされたn-GaN基板を用いると、選択横方向成長によって形成する窒化物半導体層120のSi濃度をより高い値に設定しても、クラックの発生を抑制できることがわかった。したがって、酸素をドーブしたn-GaN基板を用いることにより、第1のn-GaN結晶104におけるSi濃度を更に高めることができる。その結果、電気抵抗をより低くすることがで

き、半導体レーザ素子の動作電圧がさらに低下させることが可能になる。

[0083] 図12(d)に示す領域A(シード部105と第1のn-GaN結晶104と界面およびその近傍の領域)の抵抗を更に低減するには、この領域Aに対して酸素およびSiを積極的にドーピングすることが好ましい。このような不純物のドーピングは、熱処理などによって行なうことができる。

[0084] 特に領域Aの酸素およびSiの濃度を局所的に高めることができれば、GaN層全体の歪みを抑制できるため、クラックが発生しにくくなる。酸素およびSiの両方がドーピングされる領域は、領域Aのうち、シード部105および第1のn-GaN結晶104のいずれかに一方に含まれる部分であってもよい。このような不純物ドーピングの効果は、GaN基板の主面にリッジを形成しない場合でも、基板の裏面に電極を形成するときには有効である。

[0085] 以上の方法で窒化物半導体層120を形成し、図11に示す構造を得た後、図1に示すように、 $n\text{-Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}/\text{GaN}$ 超格子クラッド層108、n-GaN光ガイド層109、多重量子井戸(MQW)活性層110、p-GaN光ガイド層111、 $p\text{-Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}/\text{GaN}$ クラッド層112、p-GaN層113を順次堆積する。その後、p-GaN層113と $p\text{-Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}/\text{GaN}$ クラッド層112をリッジストライプ状に加工し、リッジの両脇を絶縁膜113で覆う。その後、p-GaN層113のリッジストライプ上にはp電極114を形成し、配線電極117を形成する。n-GaN基板101の裏面にはn電極116を形成する。

[0086] 本実施形態によれば、GaN基板よりも転位密度が低減された窒化物半導体層120をGaN基板上に形成できるため、特性に優れた半導体レーザ素子を製造することが可能になる。

[0087] (実施形態2)

次に、図17(a)から(d)を参照しながら、本発明の第2の実施形態を説明する。

[0088] 本実施形態と前述の実施形態1との主たる相違点は、n-GaN基板101の面方位および窒化物半導体層120の形成工程にある。このため、以下においては、この相違点のみを詳細に説明する。

[0089] まず、前述の実施形態について説明した工程と同様の工程により、図17(a)に示すn-GaN基板101を用意する。ただし、本実施形態で用いるGaN基板101の主面

法線方向は $\langle 0001 \rangle$ ではなく、 $\langle 11-20 \rangle$ である。このGaN基板101の主面には、 $\langle 0-100 \rangle$ に平行なストライプ状リッジが形成されている。

[0090] 次に、図17(b)に示すように、MOVPE法により、第1のn-GaN結晶1401をGaN基板101のシード部105上に成長させる。このとき、MOVPEによる結晶成長時の温度やV/III比などの成長条件を調整することにより、図17(b)に示すように、シード部105に対して第1のn-GaN結晶1401を左右非対称に成長させることができる。この後、実施形態1について説明した方法と同様の方法により、図17(c)に示すように第2のn-GaN結晶1402を第1のn-GaN結晶1401上に成長させる。

[0091] このようにして第1のn-GaN結晶1401の中心をシード部105の中心からシフトさせると、図17(d)に示すように第2のn-GaN結晶1402の合体部1403の位置が、隣接する2つのリッジ間に存在する凹部の中心からシフトすることになる。

[0092] シード部105の近傍および合体部1403の近傍には転位が比較的多いため、シード部105と合体部1403とが等しい間隔で交互に配列する場合、転位が比較的小さい領域は面内で略均等に分布することになる。

[0093] しかし、本実施形態のように合体部1403を一定方向にシフトさせ、合体部1403の左側に位置するシード部105へ近づけると、合体部1403の右側に位置するシード部105と合体部1403との間隔は拡大する。この間隔が拡大した領域では、転位が比較的小さい。言い換えると、転位の多い領域を狭い領域内に偏らせることにより、転位の少ない領域の幅を広げることができる。このようにして転位の少ない領域の幅を広げることができると、この転位の少ない領域上方にレーザ素子の電流注入領域を配置すること(位置合わせ)が容易になる。

[0094] 上記の実施形態1および実施形態2では、いずれも、第2のn-GaN結晶106を形成するとき、n型不純物であるSiのみをドーピングしているが、本発明はこれに限定されない。すなわち、第2のn-GaN結晶106を形成するとき、n型不純物であるSiとともに、例えばMgなどのp型不純物を同時にドーピングしてもよい。

[0095] 以下、図18を参照しながら、このようなドーピングの効果を説明する。図18は、ストライプ状リッジの上面に位置するシード部上にGaN結晶を成長させる場合における成長レートの縦／横比とSi濃度との関係を示すグラフである。このグラフは、n型不純

物(Si)に加えて、p型不純物であるMgを同時にドーブした場合におけるデータを示している。図18のグラフと図13のグラフと比較して明らかなように、Mg濃度が $5 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ の場合の縦／横比は、Mgを添加しない場合の縦／横比に比べて小さい。実験によれば、MgおよびSiの同時添加により、GaN結晶の横方向成長レートが約3倍以上に促進されることがわかった。このような性質を利用するため、本実施形態では、第2のn-GaN結晶106を成長させるとき、MgおよびSiを同時にドーブする。こうすることにより、より短い時間で第2のn-GaN結晶106を相互に合体させることが可能になる。

[0096] なお、GaNの成長時に、SiまたはMgをGaN中にドーブすれば、GaN基板の主面に垂直な方向(縦方向)の成長レートと、主面に平行な方向(横方向)の成長レートに差異が生じることは、MRS Internet J. Nitride Semicond. Res. 3、8(1998年)に記載されている。この文献は、アイランド状に配列された多数の開口部を有する窒化シリコンマスクをサファイア基板上に形成した後、選択成長法により、アイランド状のGaN結晶を形成することを開示している。

[0097] このようなドーピングを行なうことにより、第2のn-GaN結晶106のうち第1のn-GaN結晶104の上面に縦方向に成長する部分を薄くすることができる。第1のn-GaN結晶104の上部における第2のn-GaN結晶106の厚さは、図1に示すように、 $\text{n-Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ /GaN超格子クラッド層108の底面と第1のn-GaN結晶104の上面との距離に相当する。このため、第2のn-GaN結晶106のp型不純物濃度は第1のn-GaN結晶104におけるp型不純物濃度よりも低く、第2のn-GaN結晶106の電気抵抗は第1のn-GaN結晶104の電気抵抗よりも高い。このため、第1のn-GaN結晶104の上面に縦方向に成長する第2のn-GaN結晶106の厚さは、できる限り薄い方が好ましい。

[0098] 本実施形態によれば、第2のn-GaN結晶106の縦方向における成長レートよりも横方向における成長レートを格段に高めることができるため、相対的に抵抗の高い第2のn-GaN結晶106を薄くでき、レーザ素子の抵抗を低減することができる。このため、半導体レーザ素子の動作電圧を低下させ、ひいては素子の信頼性を向上させることができる。

[0099] なお、第2のn-GaN結晶106にp型不純物およびn型不純物に両方をドーピングすると、第2のn-GaN結晶106の抵抗が増大する可能性がある。このため、第2のn-GaN結晶106を成長する際、Siのみをドーピングする層と、Mgのみをドーピングする層とを数nm程度の周期で交互に積層し、超格子構造を形成してもよい。このような超格子構造を形成すれば、異なる導電型の不純物をドーピングしても抵抗を下げることができる。

[0100] (実施形態3)

以下、図19を参照しながら、本発明の第3の実施形態を説明する。

[0101] 本実施形態が実施形態1と大きく異なる点は、第2のn-GaN結晶106を成長させた後、 $\text{n-Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}/\text{GaN}$ 超格子クラッド層108を形成する前に、第2のn-GaN結晶106上に $\text{n-Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}/\text{GaN}$ 超格子コンタクト層107を形成している点と、p電極およびn電極をGaN基板の同一面側に配置している点にある。他の点では、実施形態1の構成と同様の構成を有しているため、各実施形態に共通する構成要素については、詳細な説明を繰り返さないこととする。

[0102] 本実施形態では、 $\text{n-Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}/\text{GaN}$ 超格子コンタクト層107上に、 $\text{n-Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}/\text{GaN}$ 超格子クラッド層108、n-GaN光ガイド層109、多重量子井戸(MQW)活性層110、p-GaN光ガイド層111、 $\text{p-Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}/\text{GaN}$ クラッド層112、p-GaN層113を積層した後、この積層体の一部を $\text{n-Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}/\text{GaN}$ 超格子クラッド層108が露出するまでエッチングする。そして、このエッチングにより露出した $\text{n-Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}/\text{GaN}$ 超格子クラッド層108の表面に、例えばTi/Alからなるn電極116および配線電極118形成する。

[0103] 本実施形態によれば、前述の実施形態と同様に転位密度の低減された結晶が得られるため、半導体レーザ素子の信頼性が向上する。また本実施形態では電流がn-GaN基板101を縦方向に流れないため、n-GaN基板101や第2のn-GaN結晶106の電気導電性を考慮する必要がなくなる。このため、不純物が意図的にドーピングされていないアンドープのGaN基板を用いてもよく、また、優れた結晶性を得るという観点から、第2のn-GaN結晶106にドーピングする不純物の種類や濃度、第2のn-GaN結晶106の厚さなどを決定すればよいので、設計の自由度が向上する。

[0104] 上記各実施形態では、MOVPE法を用いて窒化物半導体を成長させているが、本

発明における結晶成長方法は、これに限定されず、ハイドライド気相成長法(H-VP E法)や分子線エピタキシー法(MBE法)等の他の半導体層成長方法を用いてもよい。

[0105] また、ストライプ状リッジを基板の主面に直接的に形成する代わりに、基板の主面に比較的低い温度で窒化物半導体からなるバッファ層を堆積し、そのバッファ層にストライプ状リッジを形成しても良い。

[0106] 上記各実施形態では、ELO工程によって窒化物半導体層120を形成するとき、不純物濃度を2段階で切り替えることにより、第1のn-GaN結晶104と第2のp-GaN結晶106を形成しているが、そのとき、窒化物半導体層120を組成比の異なる結晶の組み合わせによって形成しても良い。また、不純物濃度を2段階で切り替える代わりに、3段階以上の多段階で変化させても良いし、また連続的に変化させても良い。

産業上の利用可能性

[0107] 本発明によれば、信頼性の高い短波長光源を必要とする光記録装置、光ディスプレイ(レーザディスプレイ)装置などに好適に用いられる半導体レーザ素子が提供される。このような半導体レーザ素子は、レーザ加工や医用装置に応用することも可能である。

[0108] また、本発明は、短波長光を発する半導体素子の製造に限定されず、低欠陥の結晶にチャネル領域を形成することが求められるトランジスタなどの半導体素子にも広く適用される。

請求の範囲

- [1] 窒化物半導体基板を用意する工程(A)と、
前記窒化物半導体基板の主面に平行な上面を有する複数のストライプ状リッジを
前記窒化物半導体基板上に形成する工程(B)と、
第1の濃度でn型不純物を含有する $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{In}_z\text{N}$ 結晶($0 \leq x, y, z \leq 1: x+y+z=1$)
)を前記複数のストライプ状リッジの上面に選択的に成長させる工程(C)と、
前記第1の濃度よりも低い第2の濃度でn型不純物を含有する $\text{Al}_{x'}\text{Ga}_{y'}\text{In}_{z'}\text{N}$ 結晶($0 \leq x', y', z' \leq 1: x'+y'+z'=1$)を前記 $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{In}_z\text{N}$ 結晶上に成長させ、隣接する
2つの $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{In}_z\text{N}$ 結晶を前記 $\text{Al}_{x'}\text{Ga}_{y'}\text{In}_{z'}\text{N}$ 結晶で連結して1つの窒化物半導体層
を形成する工程(D)と、
を含む窒化物半導体の製造方法。
- [2] 前記工程(C)は、前記第1の濃度でn型不純物を含有する $\text{Al}_{x'}\text{Ga}_{y'}\text{In}_{z'}\text{N}$ 結晶を前
記窒化物半導体基板の主面に垂直な方向に成長させるとともに、前記主面に平行な
方向にも成長させ、それによって前記 $\text{Al}_{x'}\text{Ga}_{y'}\text{In}_{z'}\text{N}$ 結晶のストライプ幅を前記ストライ
プ状リッジのストライプ幅よりも大きくする工程を含む請求項1に記載の製造方法。
- [3] 前記工程(C)は、前記 $\text{Al}_{x'}\text{Ga}_{y'}\text{In}_{z'}\text{N}$ 結晶が前記窒化物半導体基板の主面に垂直
な方向に成長するレートよりも高いレートで前記 $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{In}_z\text{N}$ 結晶を前記窒化物半導
体基板の主面に垂直な方向に成長させる工程を含む、請求項1に記載の製造方法
。
- [4] 前記工程(B)を行なう前において、前記窒化物半導体基板の主面上にバッファ層
を成長させる工程を含む、請求項1に記載の製造方法。
- [5] 前記窒化物半導体基板の主面のうち、前記複数のストライプ状リッジが形成されて
いない領域は選択成長用マスクで覆われている、請求項1に記載の製造方法。
- [6] 前記バッファ層の上面のうち、前記複数のストライプ状リッジが形成されていない領
域は選択成長用マスクで覆われている、請求項3に記載の製造方法。
- [7] 前記選択成長用マスクは、各ストライプ状リッジの側面を覆い、各ストライプ状リッジ
の上面を露出させている、請求項5または6に記載の製造方法。
- [8] 前記工程(B)は、前記ストライプ状リッジの上面の幅を $1 \mu\text{m}$ 以上 $400 \mu\text{m}$ 以下の

範囲に設定し、かつ、前記ストライプ状リッジの配列ピッチを $2\mu\text{m}$ 以上 $500\mu\text{m}$ 以下の範囲に設定する工程を含む、請求項1に記載の製造方法。

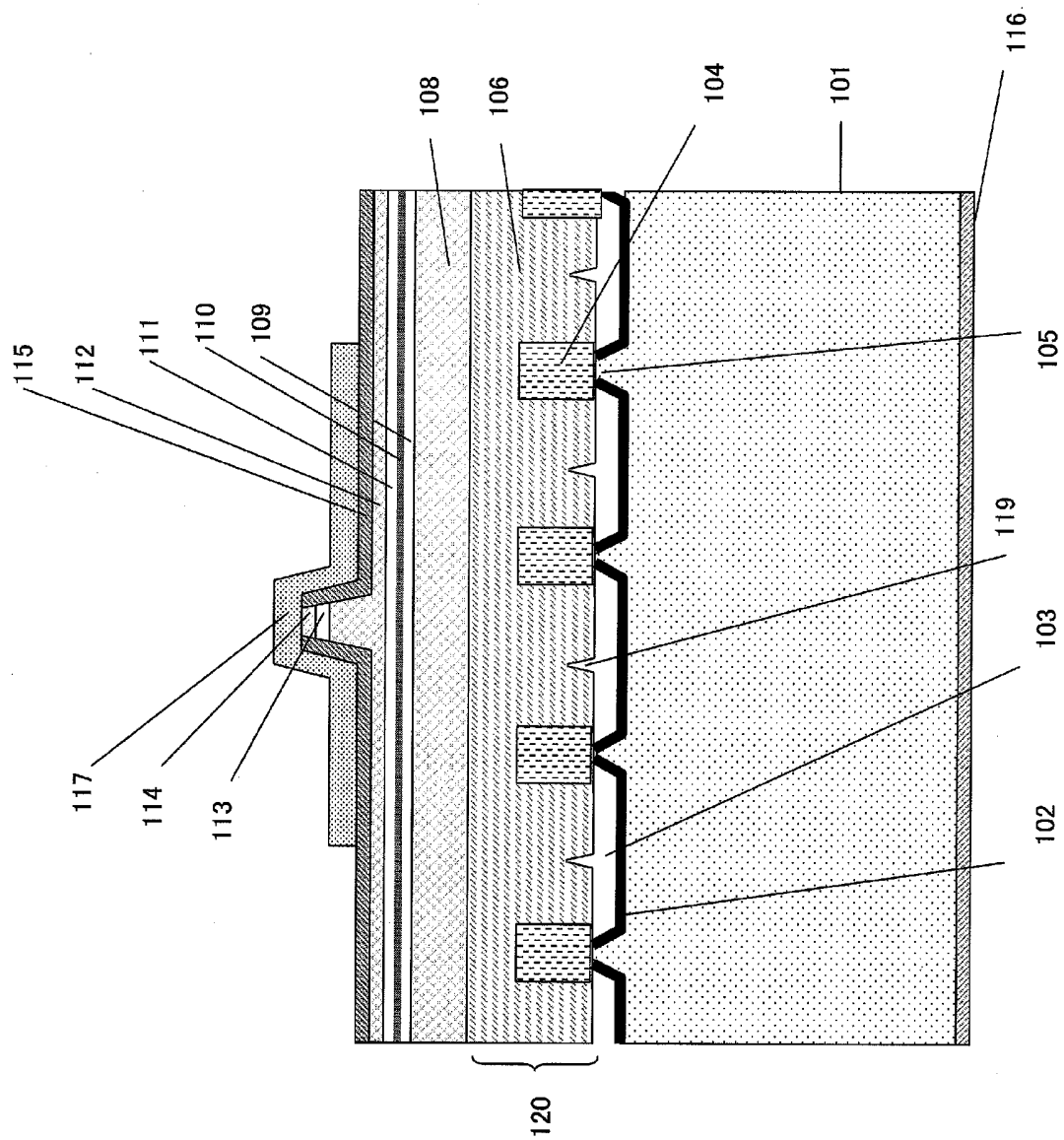
- [9] 前記工程(C)は、前記第1の濃度が $3\times 10^{18}\text{cm}^{-3}$ 以上になるように前記n型不純物を前記 $\text{Al}_{\text{x}}\text{Ga}_{\text{y}}\text{In}_{\text{z}}\text{N}$ 結晶にドーピングしながら、前記 $\text{Al}_{\text{x}}\text{Ga}_{\text{y}}\text{In}_{\text{z}}\text{N}$ 結晶を成長させる工程を含む、請求項1に記載の製造方法。
- [10] 前記工程(D)は、前記第2の濃度が $3\times 10^{18}\text{cm}^{-3}$ を下回るように前記n型不純物を前記 $\text{Al}_{\text{x}}\text{Ga}_{\text{y}}\text{In}_{\text{z}}\text{N}$ 結晶にドーピングしながら、前記 $\text{Al}_{\text{x}}\text{Ga}_{\text{y}}\text{In}_{\text{z}}\text{N}$ 結晶を成長させる工程を含む、請求項9に記載の製造方法。
- [11] 前記 $\text{Al}_{\text{x}}\text{Ga}_{\text{y}}\text{In}_{\text{z}}\text{N}$ 結晶にドーピングされたn型不純物はSiである請求項1に記載の製造方法。
- [12] 前記 $\text{Al}_{\text{x}}\text{Ga}_{\text{y}}\text{In}_{\text{z}}\text{N}$ 結晶にドーピングされたn型不純物は、Siおよび／またはMgである請求項1に記載の製造方法。
- [13] 前記窒化物半導体基板はn型不純物を含有している請求項1に記載の製造方法。
- [14] 前記窒化物半導体基板に含まれるn型不純物はSiおよび／または酸素である請求項13に記載の製造方法。
- [15] 前記窒化物半導体基板に含まれるn型不純物は酸素であり、
前記 $\text{Al}_{\text{x}}\text{Ga}_{\text{y}}\text{In}_{\text{z}}\text{N}$ 結晶に含まれる前記n型不純物はSiであり、前記第1の濃度は $1\times 10^{19}\text{cm}^{-3}$ 以下である、請求項12に記載の製造方法。
- [16] 前記工程(C)は、前記ストライプ状リッジに垂直かつ基板主面に平行な方向における前記 $\text{Al}_{\text{x}}\text{Ga}_{\text{y}}\text{In}_{\text{z}}\text{N}$ 結晶の成長レートが前記ストライプ状リッジに関して非対称となるように前記 $\text{Al}_{\text{x}}\text{Ga}_{\text{y}}\text{In}_{\text{z}}\text{N}$ 結晶を成長させる工程を含む、請求項1に記載の製造方法。
- [17] 窒化物半導体基板を用意する工程(A)と、
窒化物半導体基板の主面に平行な上面を有する複数のストライプ状シード部を前記窒化物半導体基板上に形成する工程(B)と、
Siを含有する $\text{Al}_{\text{x}}\text{Ga}_{\text{y}}\text{In}_{\text{z}}\text{N}$ 結晶($0\leq x, y, z\leq 1: x+y+z=1$)を前記複数のストライプ状シード部の上面に選択的に成長させる工程(C)と、
を含み、
前記ストライプ状リッジの上面と前記 $\text{Al}_{\text{x}}\text{Ga}_{\text{y}}\text{In}_{\text{z}}\text{N}$ 結晶との界面を含む領域に酸素

およびSiの両方をドーピングする、窒化物半導体の製造方法。

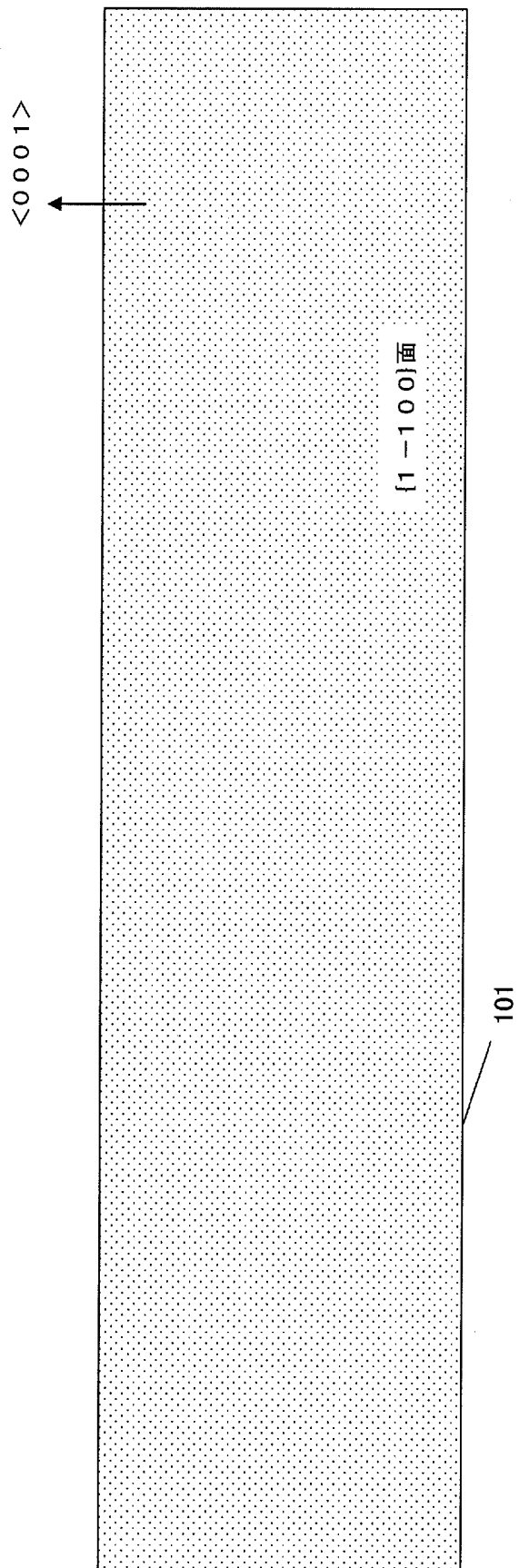
- [18] 主面に平行な上面を有する複数のストライプ状リッジを備えた窒化物半導体基板と、
- 前記複数のストライプ状リッジの上面に設けられ、第1の濃度でn型不純物を含有する $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{In}_z\text{N}$ 結晶と、
- 隣接する2つの $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{In}_z\text{N}$ 結晶を連結して1つの窒化物半導体層を形成する $\text{Al}_{x'}\text{Ga}_{y'}\text{In}_{z'}\text{N}$ 結晶 ($0 \leq x', y', z' \leq 1 : x' + y' + z' = 1$) であって、前記第1の濃度よりも低い第2の濃度でn型不純物を含有する $\text{Al}_{x'}\text{Ga}_{y'}\text{In}_{z'}\text{N}$ 結晶と、
- を備えた窒化物半導体。
- [19] 請求項17に記載の窒化物半導体を用意する工程と、
- 前記窒化物半導体上に半導体積層構造を形成する工程と、
- を含む窒化物半導体素子の製造方法。
- [20] 主面に平行な上面を有する複数のストライプ状リッジを備えた窒化物半導体基板と、
- 前記複数のストライプ状リッジの上面に設けられ、第1の濃度でn型不純物を含有する $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{In}_z\text{N}$ 結晶と、
- 隣接する2つの $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{In}_z\text{N}$ 結晶を連結して1つの窒化物半導体層を形成する $\text{Al}_{x'}\text{Ga}_{y'}\text{In}_{z'}\text{N}$ 結晶 ($0 \leq x', y', z' \leq 1 : x' + y' + z' = 1$) であって、前記第1の濃度よりも低い第2の濃度でn型不純物を含有する $\text{Al}_{x'}\text{Ga}_{y'}\text{In}_{z'}\text{N}$ 結晶と、
- 前記窒化物半導体層上に設けられた半導体積層構造と、
- を備えた窒化物半導体素子。
- [21] 前記第1の濃度でn型不純物を含有する各 $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{In}_z\text{N}$ 結晶のストライプ幅は、各ストライプ状リッジのストライプ幅よりも大きい請求項20に記載の窒化物半導体素子。
- [22] 前記 $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{In}_z\text{N}$ 結晶は、各ストライプ状リッジの側面には接触していない請求項20に記載の窒化物半導体素子。
- [23] 前記窒化物半導体基板において前記ストライプ状リッジが存在しない凹部領域と前記 $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{In}_z\text{N}$ 結晶との間にはギャップが設けられている、請求項20に記載の窒化物半導体素子。

- [24] 前記窒化物半導体基板の主面は、マスク層によって覆われており、
前記マスク層は、前記ストライプ状リッジの上面を露出させる開口部を有し、かつ、
前記ストライプ状リッジの側面を覆っている請求項20に記載の窒化物半導体素子。
- [25] 前記半導体積層構造は、
前記窒化物半導体層のバンドギャップよりも小さなバンドギャップを有する活性層と、
、
前記活性層上に形成され、前記活性層のバンドギャップよりも大きなバンドギャップ
を有する第2の窒化物半導体層と、
前記活性層の一部に電流を狭窄する電流狭窄部と、
前記電流狭窄部を介して前記活性層の一部に電流を供給する電極構造と、
を備える請求項20に記載の窒化物半導体素子。
- [26] 前記電流狭窄部は、前記窒化物半導体基板における複数のストライプ状リッジの
間に存在する凹部の上に位置している、請求項20に記載の窒化物半導体素子。

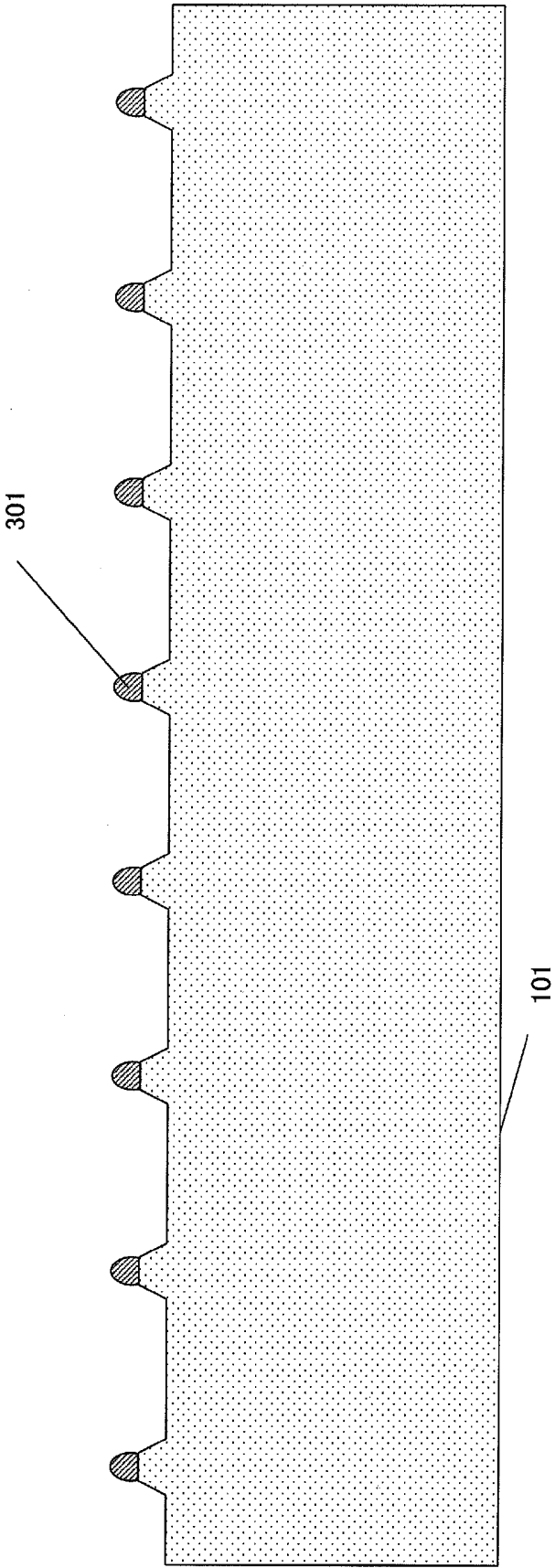
[図1]



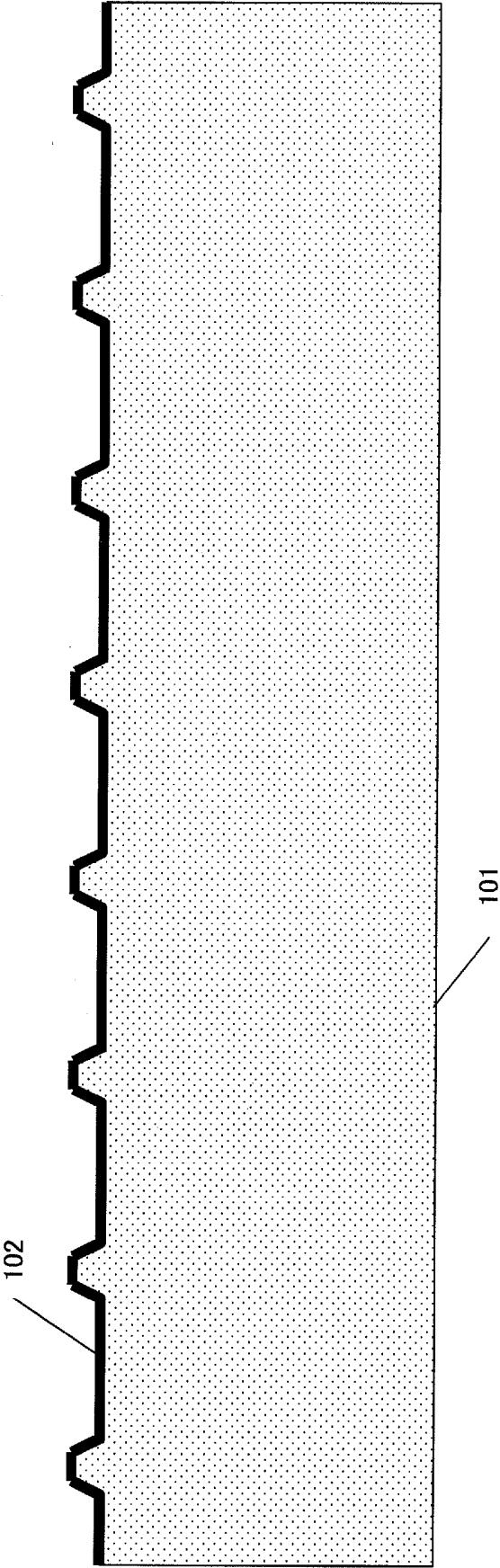
[図2]



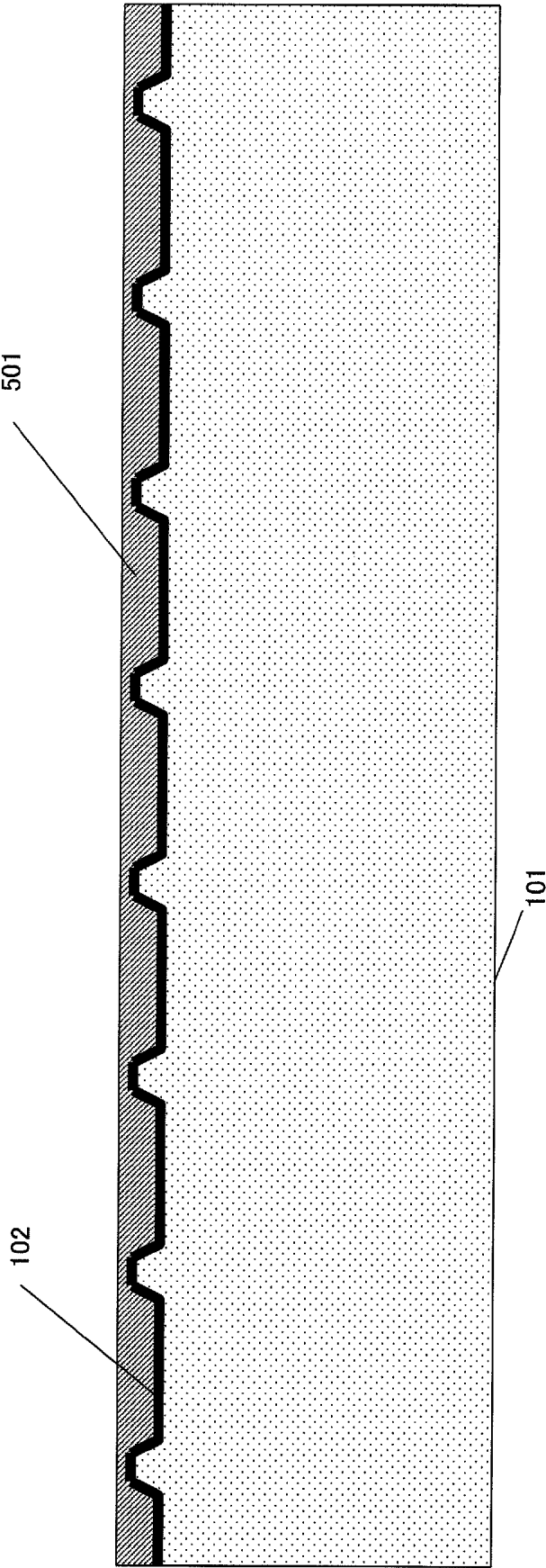
[図3]



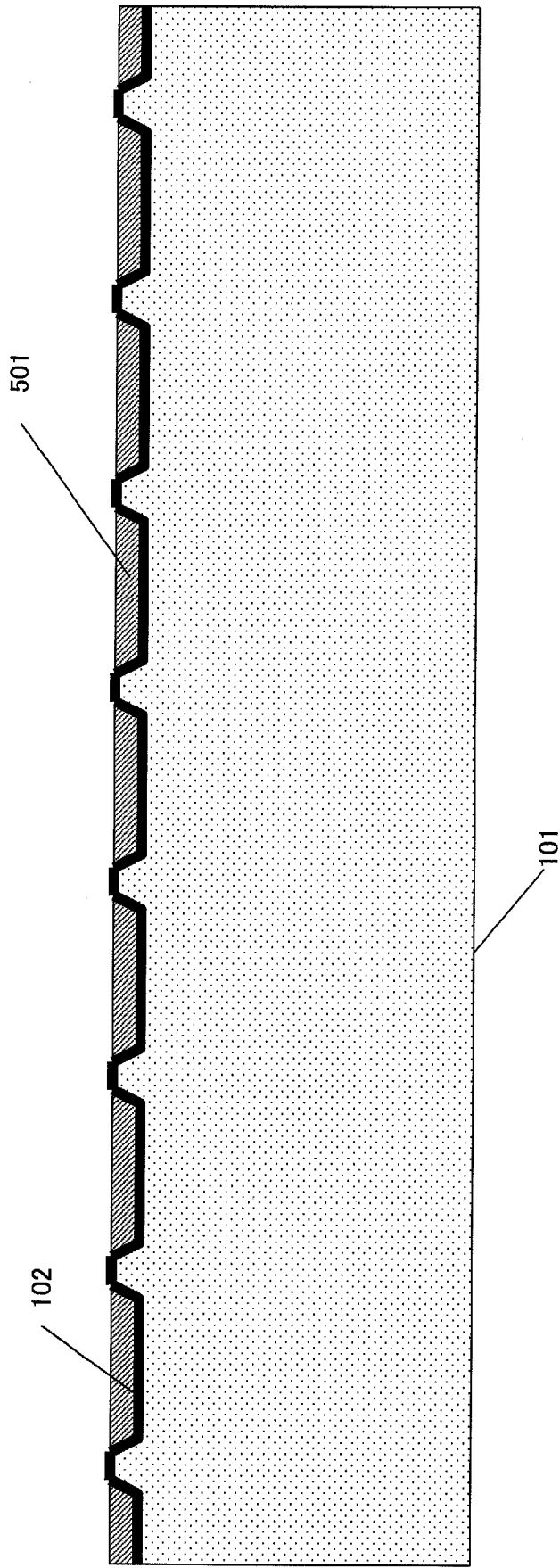
[図4]



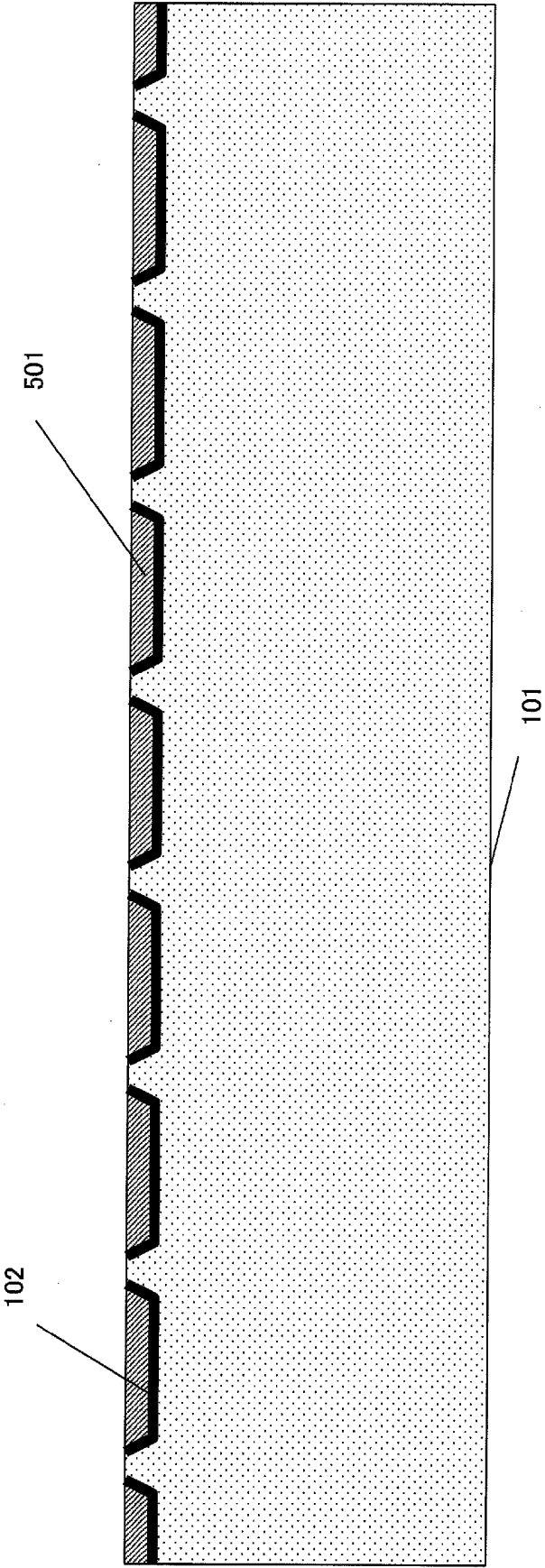
[図5]



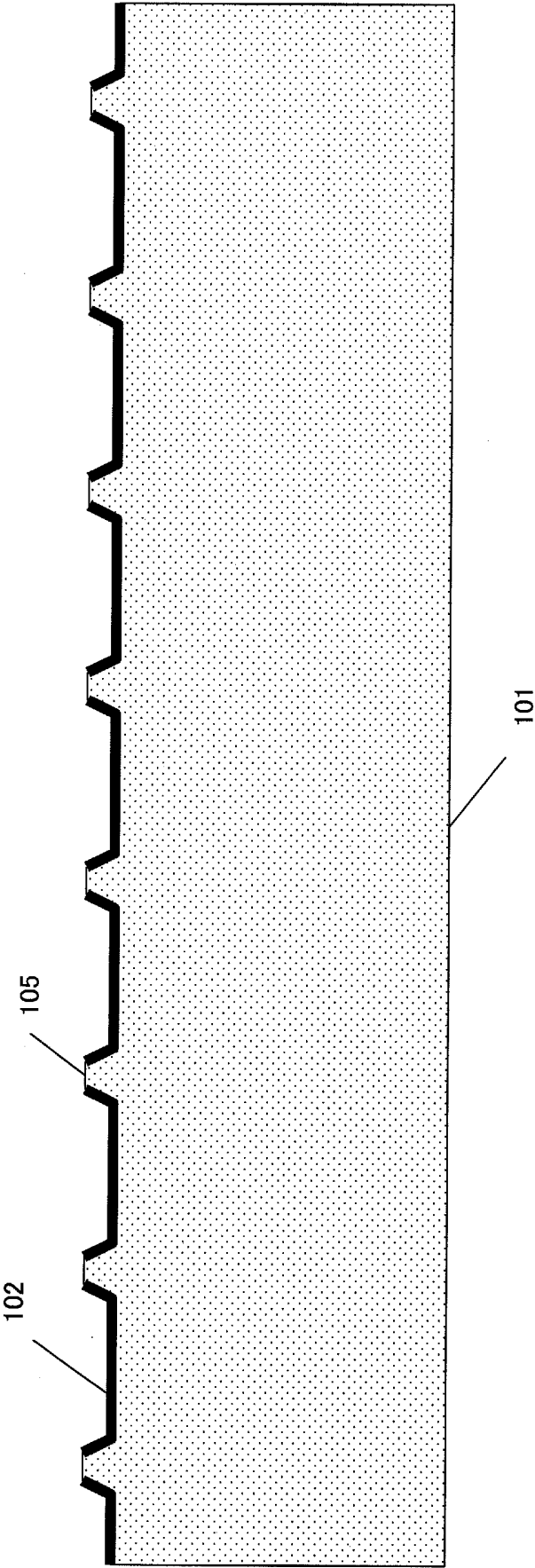
[図6]



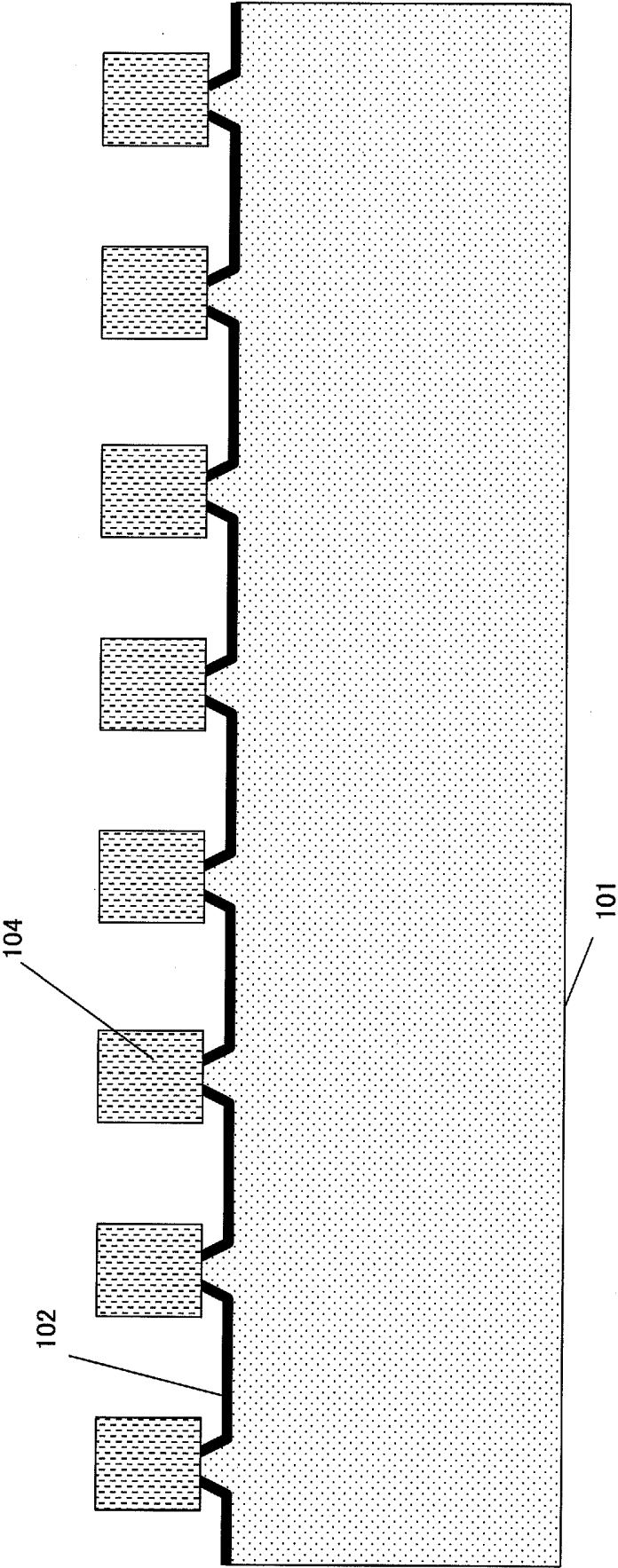
[図7]



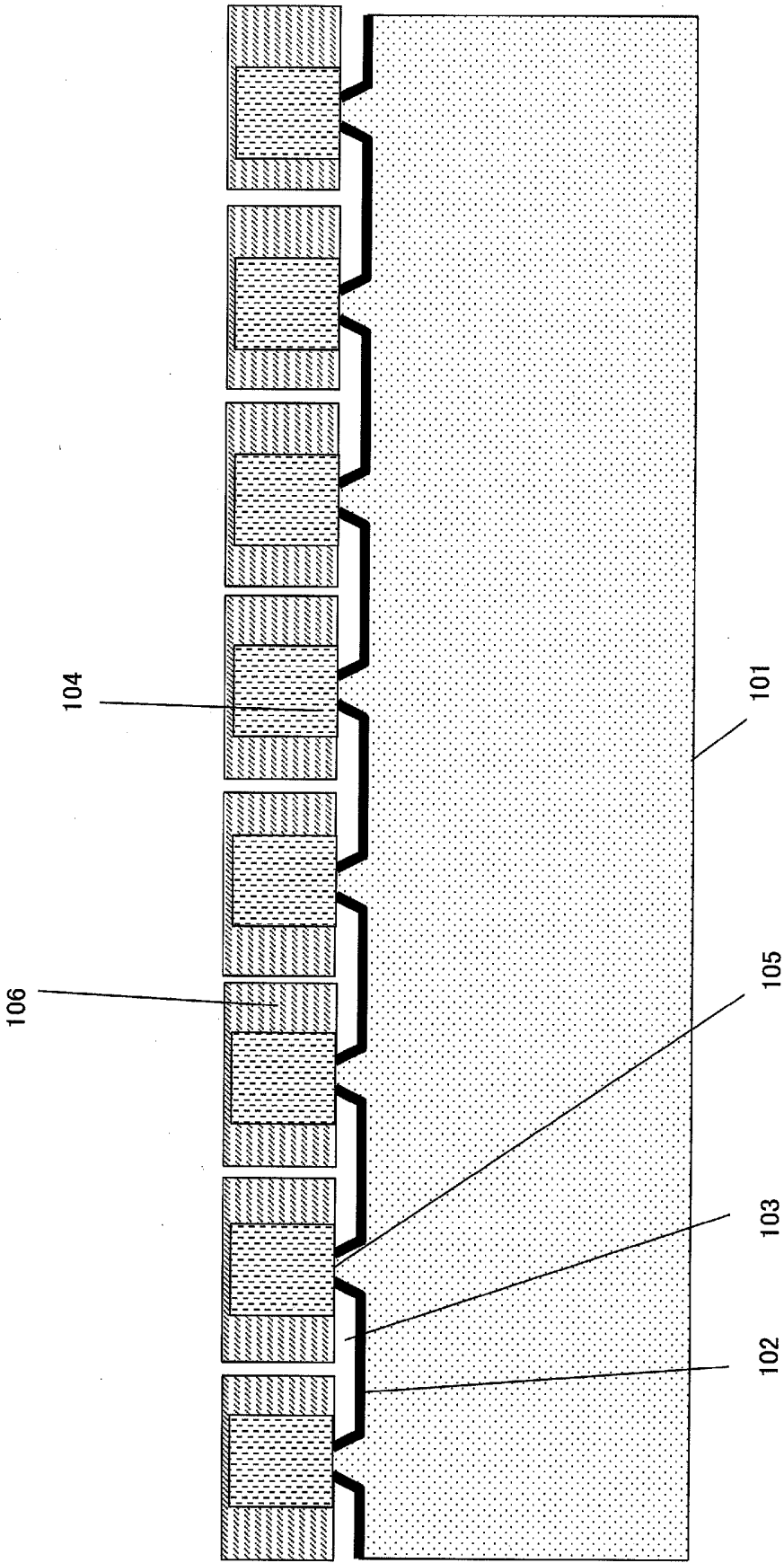
[図8]



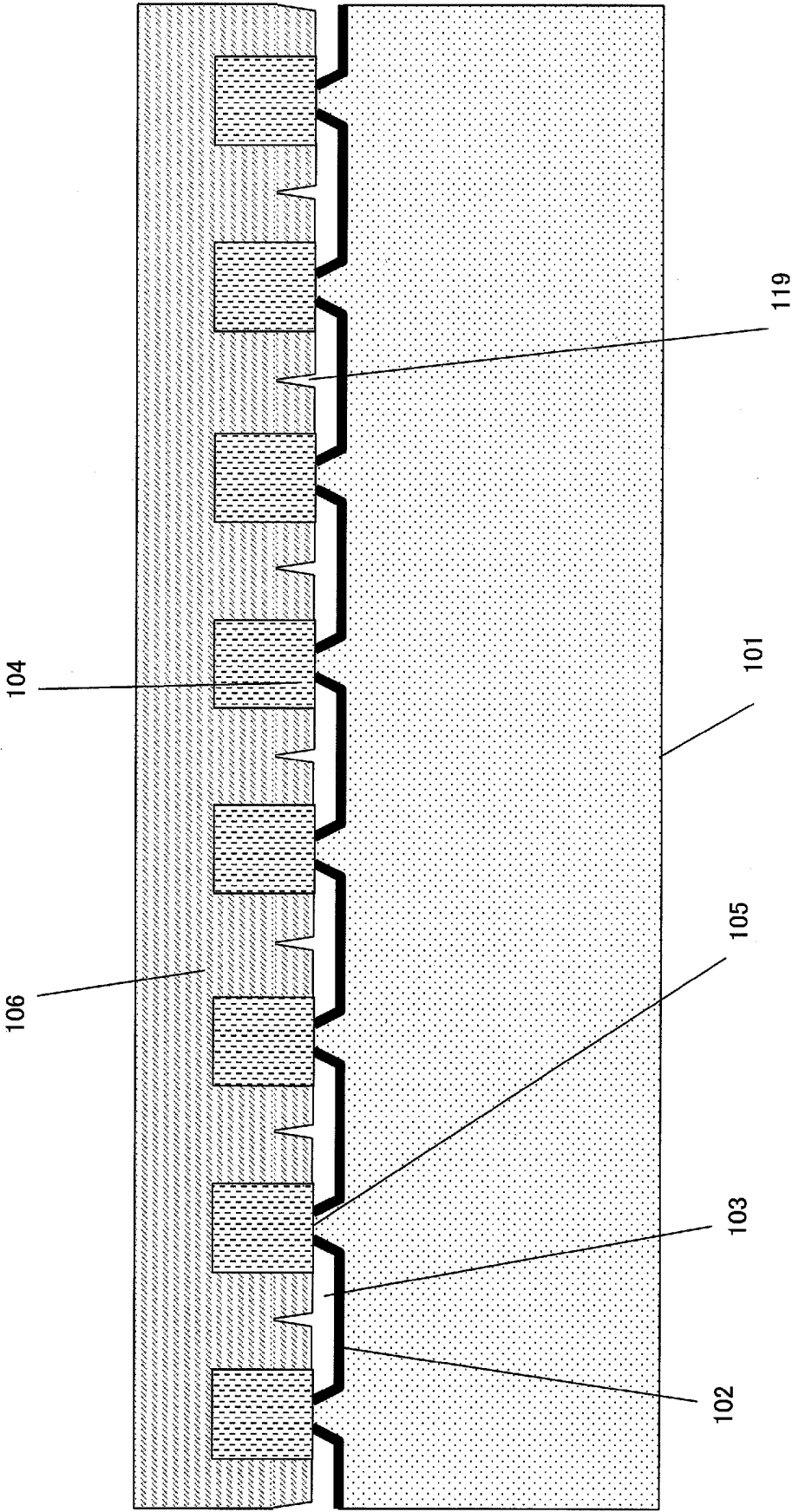
[図9]



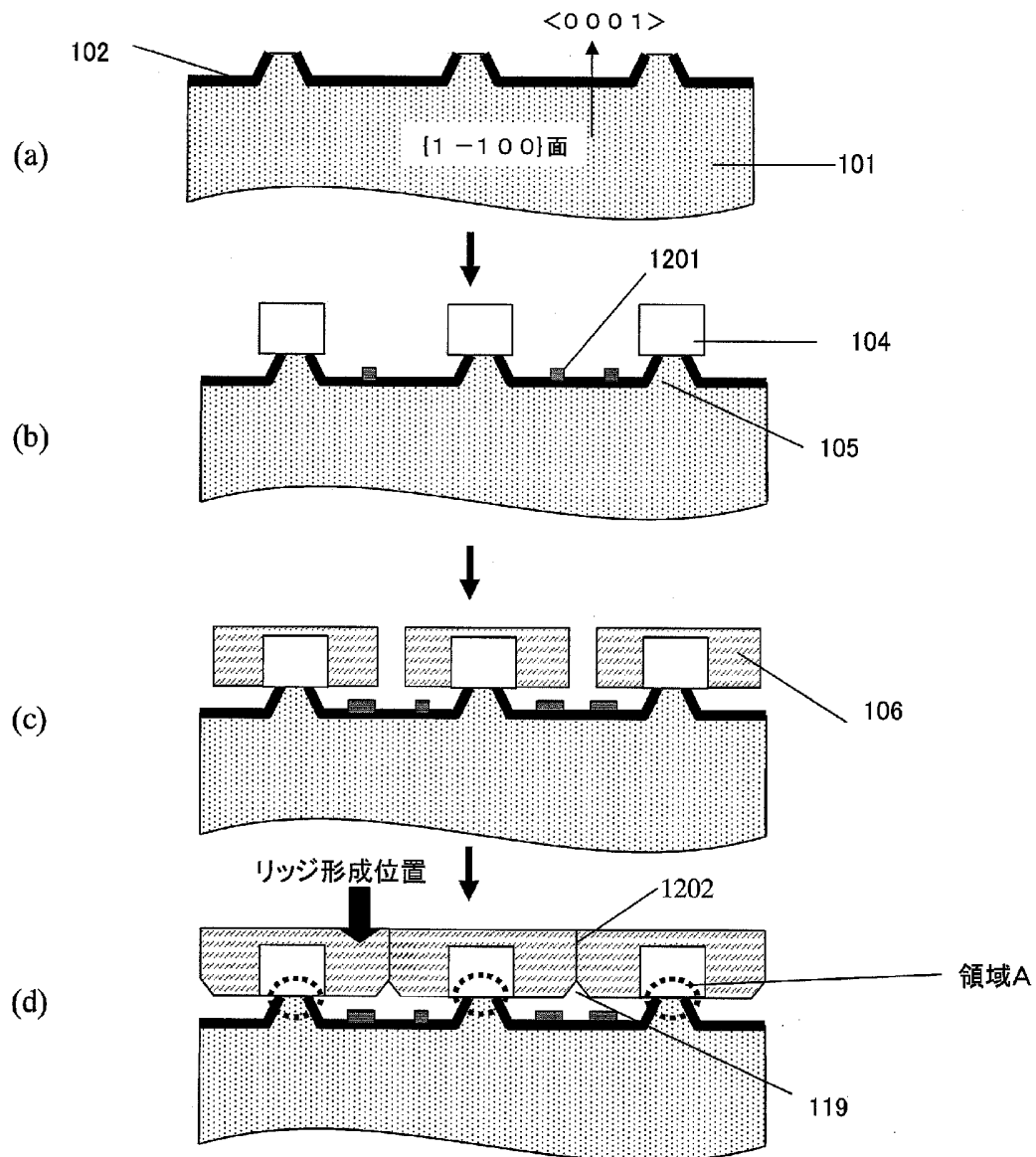
[図10]



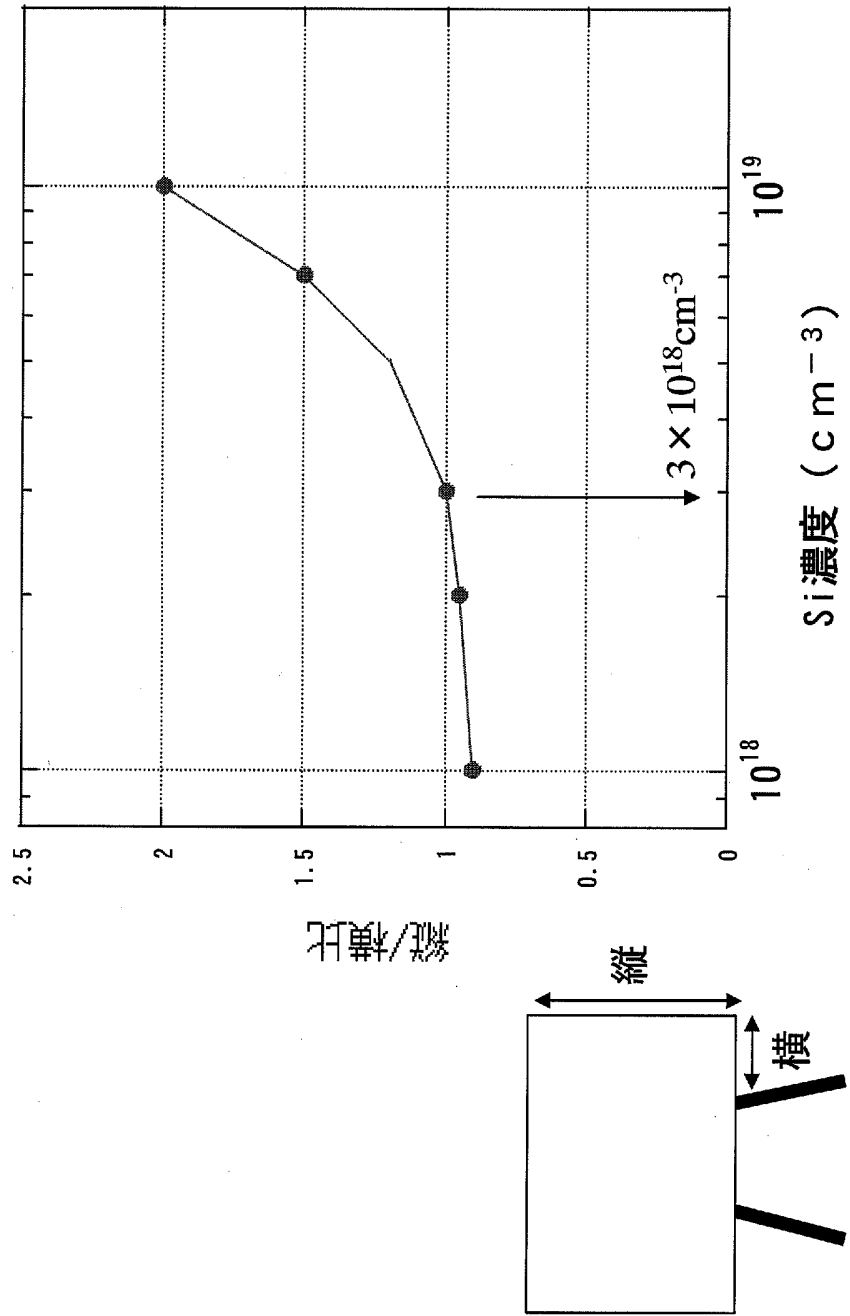
[図11]



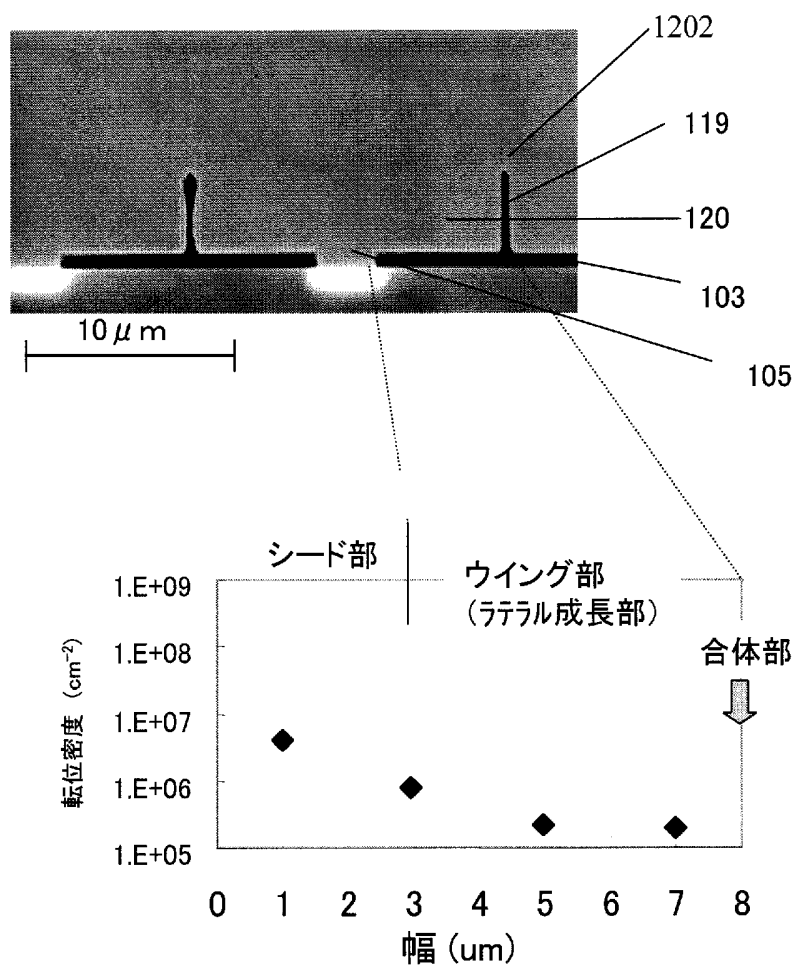
[図12]



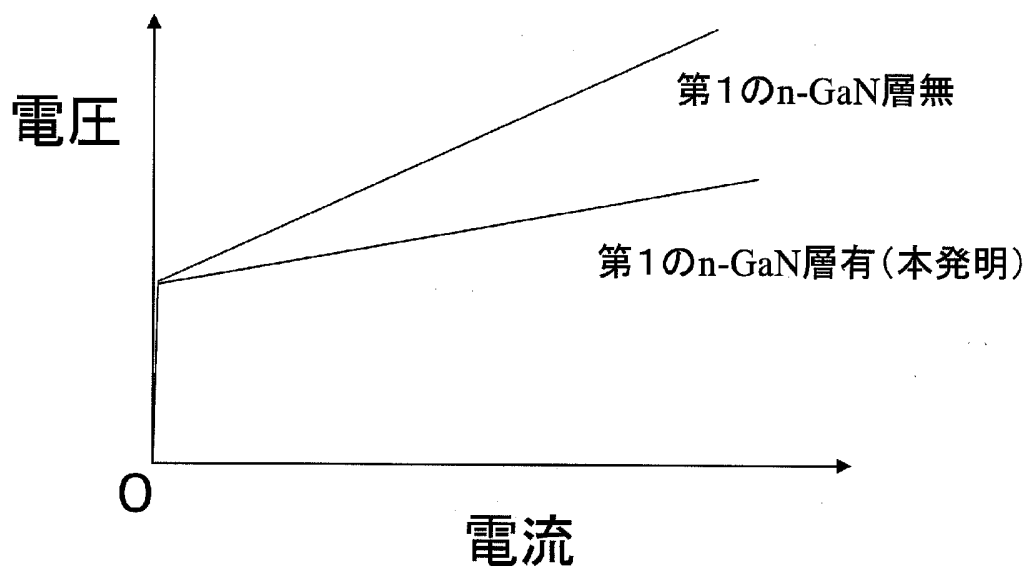
[図13]



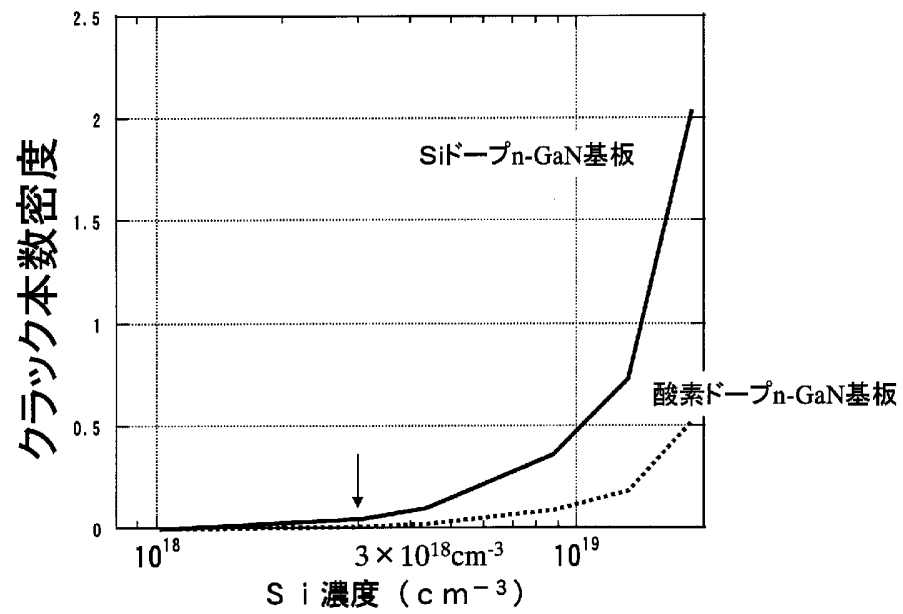
[図14]



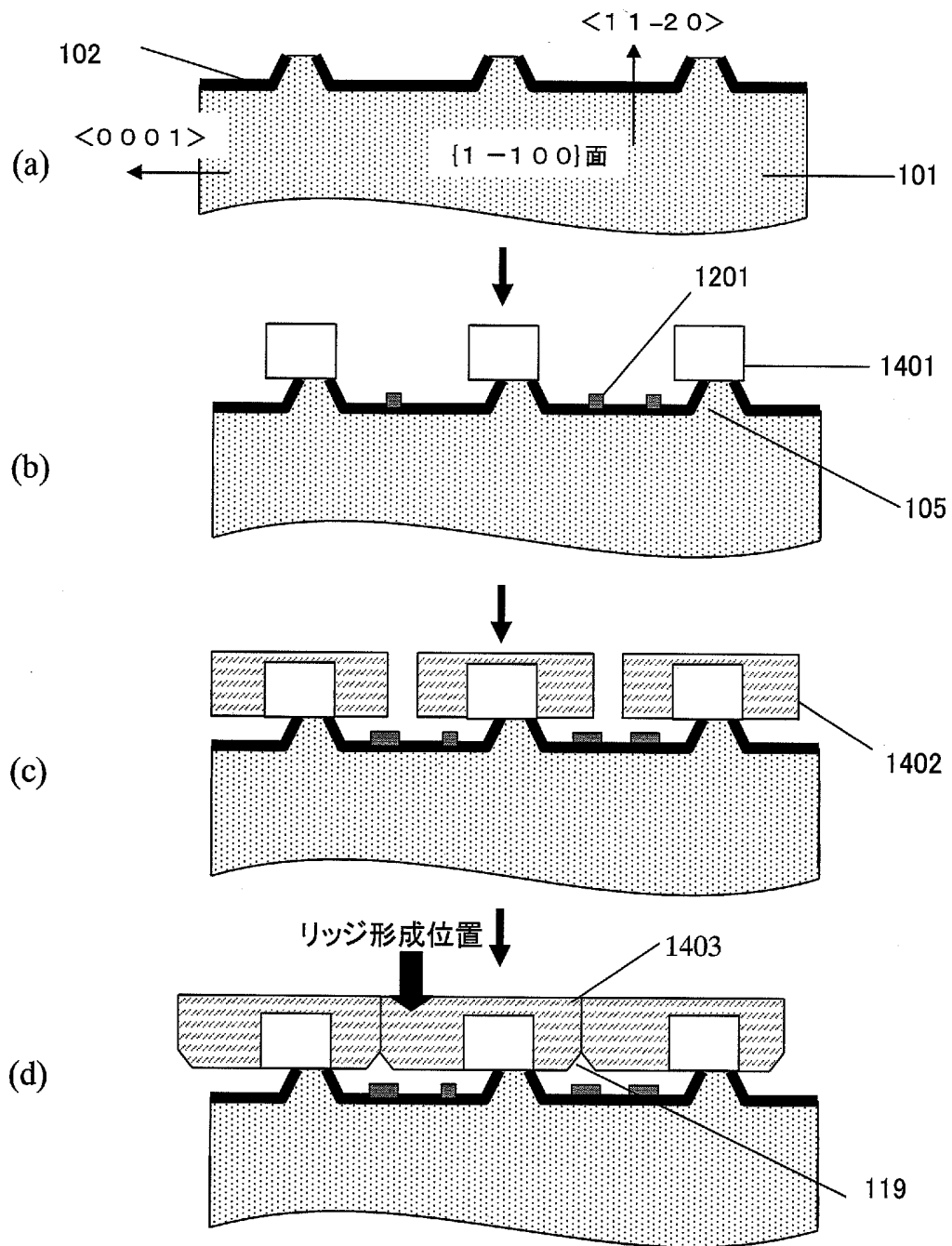
[図15]



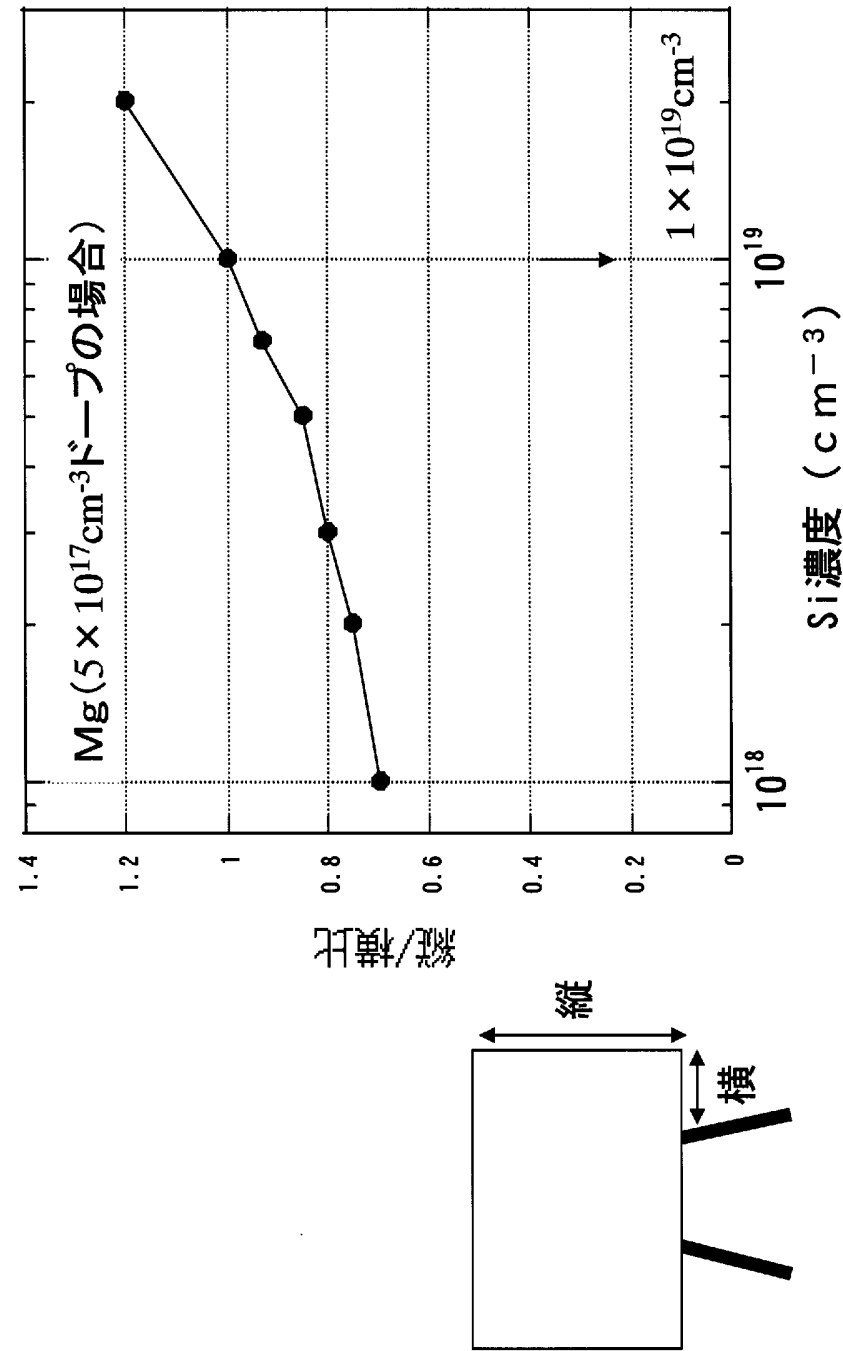
[図16]



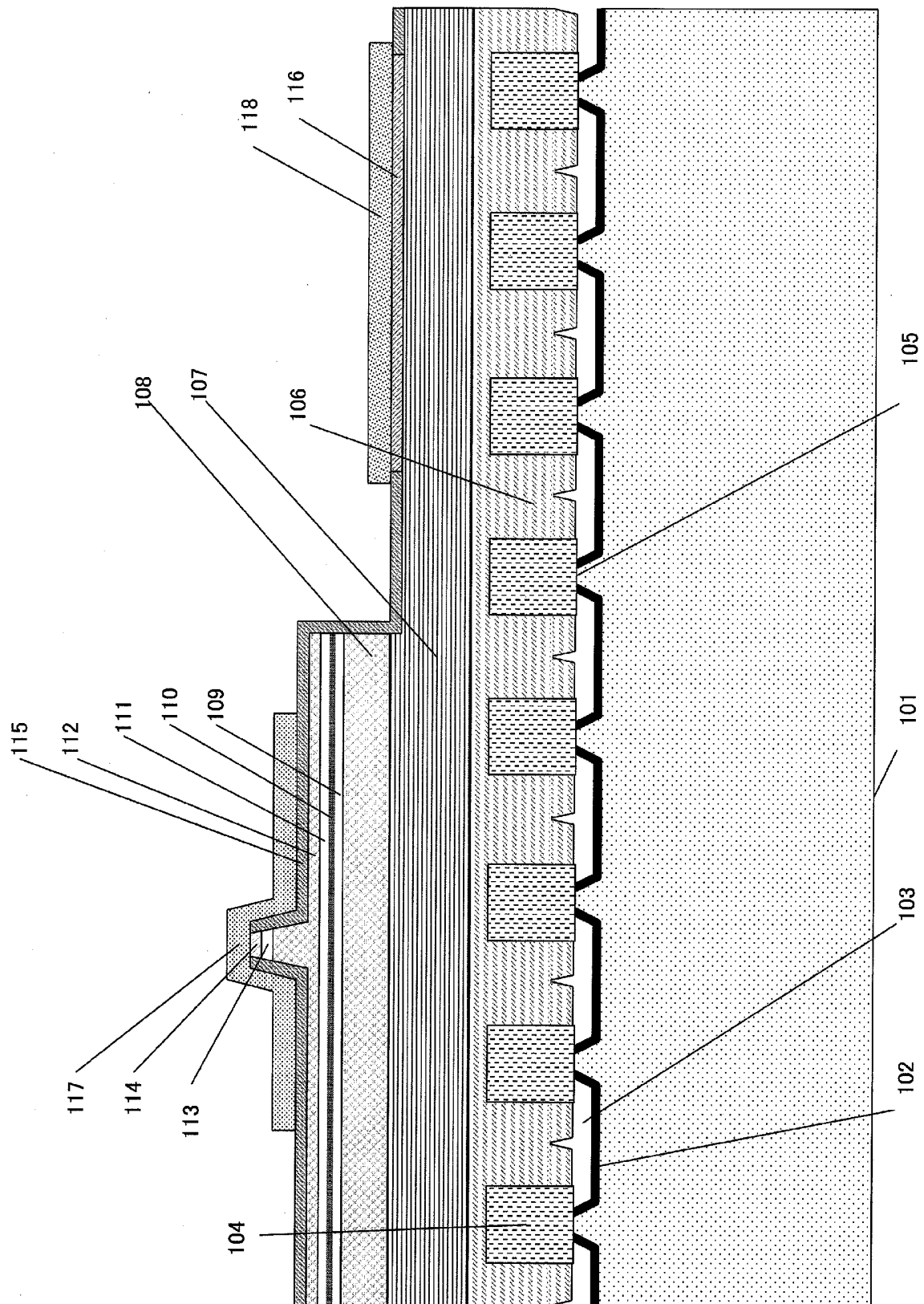
[図17]



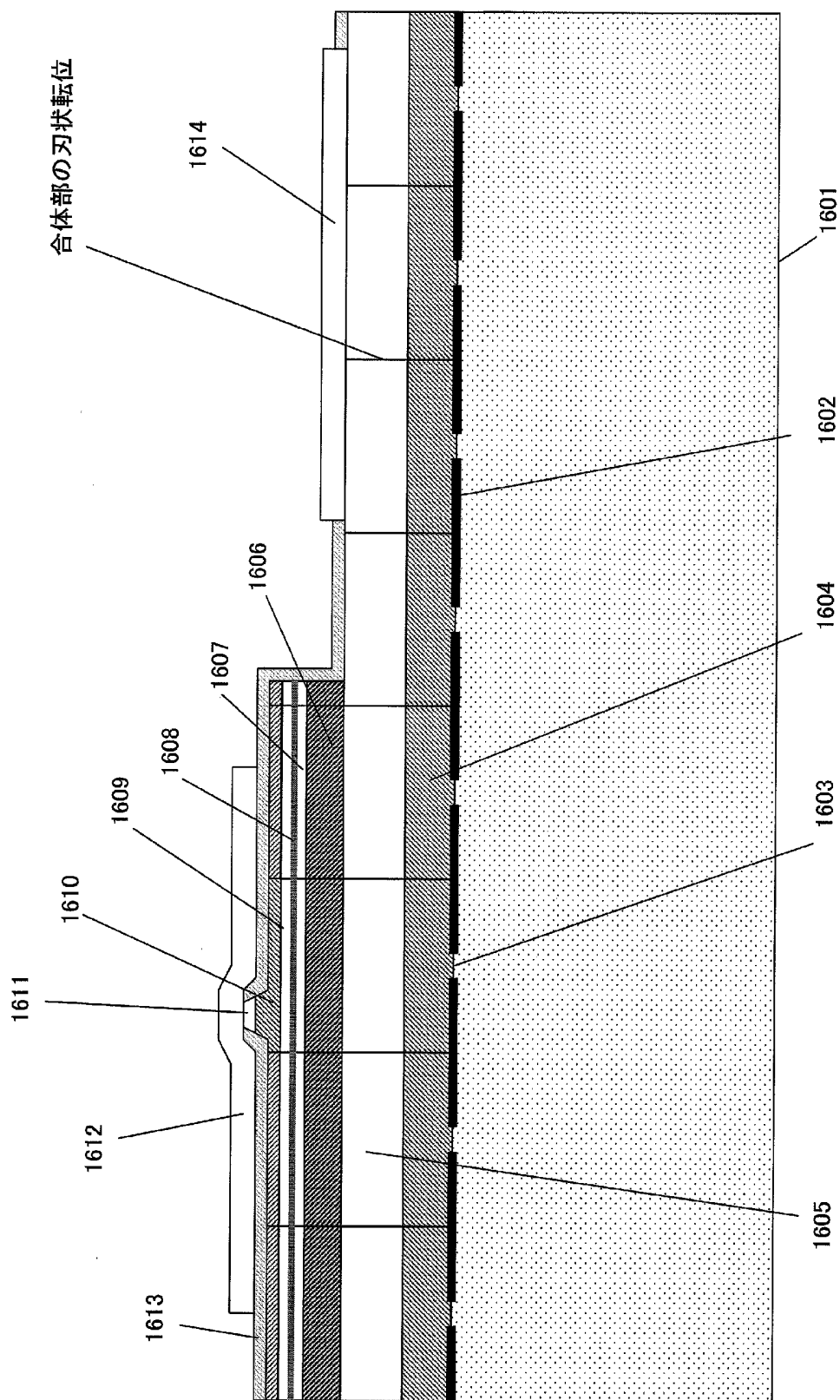
[図18]



[図19]



[図20]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2005/007525

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER Int.Cl. ⁷ H01L33/00, C23C16/34, H01L21/205, H01S5/323		
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, H01S5/00-5/50		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2005 Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2005 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2005		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) JST7580 (JOIS), JSTPlus (JOIS)		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2002-100579 A (Nichia Chemical Industries, Ltd.), 05 April, 2002 (05.04.02), Fig. 2; Par. Nos. [0044] to [0049] (Family: none)	1-26
Y	S. HAFFOUZ, B. BEAUMONT and Pierre GIBART, Effect of Magnesium and Silicon on the lateral overgrowth of GaN patterned substrates by Metal Organic Vapor Phase Epitaxy, MRS Internet Journal Nitride Semiconductor Research 3, 8(1998) [online], [Retrieved on 23 June, 2005 (23.06.05)]. Retrieved from the Internet: <URL:http://nsr.mij.mrs.org/3/8/>	1-26
☒ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☐ See patent family annex.		
* Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "&" document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search 24 June, 2005 (24.06.05)		Date of mailing of the international search report 12 July, 2005 (12.07.05)
Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office		Authorized officer
Facsimile No.		Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2005/007525

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2002-009004 A (Matsushita Electric Industrial Co., Ltd.), 11 January, 2002 (11.01.02), Figs. 1 to 36; full text & JP 2004-007009 A & US 2003/0143771 A1 & US 6720586 B1 & EP 1104031 A2	4-8, 19-26
Y	JP 2002-246694 A (Sharp Corp.), 30 August, 2002 (30.08.02), Par. No. [0019] & US 2004/0041156 A1 & WO 2002/065556 A1	13-15, 17, 19
Y	JP 2002-231997 A (Sharp Corp.), 16 August, 2002 (16.08.02), Figs. 3, 6; Par. Nos. [0017], [0029] & US 2002/0109146 A1	13-15, 17, 19
Y	JP 2002-289539 A (Sony Corp.), 04 October, 2002 (04.10.02), Figs. 1 to 17; Par. Nos. [0035] to [0050] & US 2003/0139037 A1 & WO 2002/078069 A1	16

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))
Int.Cl.⁷ H01L33/00, C23C16/34, H01L21/205, H01S5/323

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.Cl.⁷ H01L33/00, H01S5/00-5/50

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2005年
日本国実用新案登録公報	1996-2005年
日本国登録実用新案公報	1994-2005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)

JST7580 (JOIS), JSTPlus (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
Y	JP 2002-100579 A (日亜化学工業株式会社) 2002.04.05, 図2, 段落【0044】 - 【0049】 (ファミリーなし)	1-26
Y	S. HAFFOUZ, B. BEAUMONT and Pierre GIBART, Effect of Magnesium and Silicon on the lateral overgrowth of GaN patterned substrates by Metal Organic Vapor Phase Epitaxy, MRS Internet Journal Nitride Semiconductor Research 3,8(1998) [online], [Retrieved on 2005-06-23]. Retrieved from the Internet: <URL:http://nsr.mij.mrs.org/3/8/>	1-26

☒ 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
24.06.2005

国際調査報告の発送日
12.7.2005

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)

2K

342

門田 かづよ

電話番号 03-3581-1101 内線 3255

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
Y	JP 2002-009004 A (松下電器産業株式会社) 2002. 01. 11, 図 1-36, 全文 & JP 2004-007009 A & US 2003/0143771 A1 & US 6720586 B1 & EP 1104031 A2	4-8, 19-26
Y	JP 2002-246694 A (シャープ株式会社) 2002. 08. 30, 段落【0019】 & US 2004/0041156 A1 & WO 2002/065556 A1	13-15, 17, 19
Y	JP 2002-231997 A (シャープ株式会社) 2002. 08. 16, 図 3, 6, 段落【0017】 , 【0029】 & US 2002/0109146 A1	13-15, 17, 19
Y	JP 2002-289539 A (ソニー株式会社) 2002. 10. 04, 図 1-17, 段落【0035】 - 【0050】 & US 2003/0139037 A1 & WO 2002/078069 A1	16