

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2025年1月9日(09.01.2025)



(10) 国際公開番号

WO 2025/009524 A1

(51) 国際特許分類:

H01L 27/06 (2006.01) H01L 29/778 (2006.01)
H01L 21/338 (2006.01) H01L 29/812 (2006.01)
H01L 21/8232 (2006.01)

CORPORATION JAPAN) [JP/JP]; 〒6178520 京都府長岡京市神足焼町1番地 Kyoto (JP).

(72) 発明者: 神田 裕介(KANDA, Yusuke).

(21) 国際出願番号: PCT/JP2024/023920

(22) 国際出願日: 2024年7月2日(02.07.2024)

(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:
63/525,283 2023年7月6日(06.07.2023) US

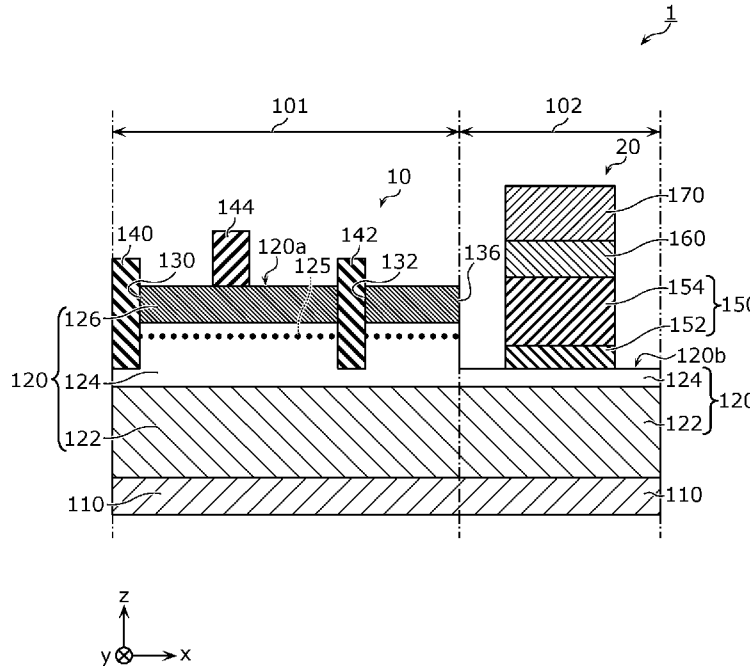
(71) 出願人: ヌ ヴ オ ト ン テ ク ノ ロ ジ ー ジ ャ
パン株式会社 (NUVOTON TECHNOLOGY

(74) 代理人: 新居 広守, 外 (NII, Hiromori et al.);
〒5320011 大阪府大阪市淀川区西中島5丁目3番10号イトーピア新大阪ビル6階新居国際特許事務所内 Osaka (JP).

(81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU,

(54) Title: NITRIDE SEMICONDUCTOR DEVICE AND METHOD FOR MANUFACTURING SAME

(54) 発明の名称: 窒化物半導体装置およびその製造方法



(57) Abstract: A nitride semiconductor device (1) comprises an active element (10) and a passive element (20), wherein the nitride semiconductor device comprises: a nitride semiconductor layer (120) that is divided into an active region (101) and an inactive region (102) in plan view; and a metal layer (150) that is in contact with the nitride semiconductor layer (120) in the inactive region (102). The active element (10) is provided in the active region (101), and the passive element (20) is provided in the inactive region (102). The metal layer (150) may be in a coherent state or a metamorphic state with

LY, MA, MD, MG, MK, MN, MU, MW, MX, MY,
MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL,
PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK,
SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA,
UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.

(84) 指定国(表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, CV, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SC, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, ME, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

一 国際調査報告 (条約第21条(3))

respect to the nitride semiconductor layer (120).

(57) 要約: 窒化物半導体装置 (1) は、能動素子 (10) と受動素子 (20) とを備える窒化物半導体装置であって、平面視で活性領域 (101) と不活性領域 (102) とに区分される窒化物半導体層 (120) と、不活性領域 (102) で窒化物半導体層 (120) に接する金属層 (150) と、を備える。能動素子 (10) は、活性領域 (101) に設けられ、受動素子 (20) は、不活性領域 (102) に設けられる。金属層 (150) は、窒化物半導体層 (120) に対してコヒーレント状態またはメタモルフィック状態を含む。

明 細 書

発明の名称：窒化物半導体装置およびその製造方法

技術分野

[0001] 本開示は、窒化物半導体装置およびその製造方法に関する。

背景技術

[0002] 特許文献1には、Ga N層と、Ga N層上に設けられたAl Ga N層と、Al Ga N層上に設けられたp型Ga N層と、p型Ga N層上に設けられた金属層からなるインダクタと、を備える電子デバイスが開示されている。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献1：米国特許出願公開第2011/038048号明細書

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0004] 金属層と接する半導体層がキャリアを含む場合、半導体層内には、金属層との界面から延びる空乏層が形成される。形成された空乏層は、寄生容量の増大の要因になる。寄生容量は、デバイスを高周波動作させた場合に配線遅延を引き起こすおそれがある。また、デバイスに対する電圧の印加状態に起因して、キャリア密度が変わると寄生容量の大きさも変化する。その結果、高周波動作の動作ばらつきが生じうる。このように、従来技術では、高周波特性が低下するおそれがある。

[0005] そこで、本開示は、高周波特性に優れた窒化物半導体装置およびその製造方法を提供する。

課題を解決するための手段

[0006] 本開示の一態様に係る窒化物半導体装置は、能動素子と受動素子とを備える窒化物半導体装置であって、平面視で活性領域と不活性領域とに区分される窒化物半導体層と、前記不活性領域で前記窒化物半導体層に接する金属層と、を備え、前記能動素子は、前記活性領域に設けられ、前記受動素子は、

前記不活性領域に設けられ、前記金属層は、前記窒化物半導体層に対してコヒーレント状態またはメタモルフィック状態を含む。

[0007] 本開示の一態様に係る窒化物半導体装置の製造方法は、能動素子と受動素子とを備える窒化物半導体装置の製造方法であって、平面視で活性領域と不活性領域とに区分される窒化物半導体層を形成する工程と、前記不活性領域で前記窒化物半導体層に接する金属層を形成する工程と、を含み、前記能動素子は、前記活性領域に設けられ、前記受動素子は、前記不活性領域に設けられ、前記金属層は、前記窒化物半導体層に対してコヒーレント状態またはメタモルフィック状態を含む。

発明の効果

[0008] 本開示によれば、高周波特性に優れた窒化物半導体装置およびその製造方法を提供することができる。

図面の簡単な説明

[0009] [図1A]図1 Aは、受動素子としてキャパシタを備える実施の形態1に係る窒化物半導体装置の断面図である。

[図1B]図1 Bは、受動素子として抵抗素子を備える実施の形態1に係る窒化物半導体装置を示す断面図である。

[図1C]図1 Cは、能動素子としてインダクタを備える実施の形態1に係る窒化物半導体装置を示す断面図である。

[図2A]図2 Aは、六方最密構造の結晶構造を示す図である。

[図2B]図2 Bは、面心立方格子構造の結晶構造を示す図である。

[図3A]図3 Aは、受動素子としてキャパシタを備える実施の形態1の変形例1に係る窒化物半導体装置の断面図である。

[図3B]図3 Bは、受動素子として抵抗素子を備える実施の形態1の変形例1に係る窒化物半導体装置を示す断面図である。

[図3C]図3 Cは、能動素子としてインダクタを備える実施の形態1の変形例1に係る窒化物半導体装置を示す断面図である。

[図4A]図4 Aは、受動素子としてキャパシタを備える実施の形態1の変形例

2に係る窒化物半導体装置の断面図である。

[図4B]図4 Bは、受動素子として抵抗素子を備える実施の形態1の変形例2に係る窒化物半導体装置を示す断面図である。

[図4C]図4 Cは、能動素子としてインダクタを備える実施の形態1の変形例2に係る窒化物半導体装置を示す断面図である。

[図5A]図5 Aは、受動素子としてキャパシタを備える実施の形態1の変形例3に係る窒化物半導体装置の断面図である。

[図5B]図5 Bは、受動素子として抵抗素子を備える実施の形態1の変形例3に係る窒化物半導体装置を示す断面図である。

[図5C]図5 Cは、能動素子としてインダクタを備える実施の形態1の変形例3に係る窒化物半導体装置を示す断面図である。

[図6]図6は、実施の形態1に係る窒化物半導体装置の製造方法の第1例を示すフローチャートである。

[図7A]図7 Aは、実施の形態1に係る窒化物半導体装置の製造方法の第1例に含まれる一工程を説明するための断面図である。

[図7B]図7 Bは、実施の形態1に係る窒化物半導体装置の製造方法の第1例に含まれる一工程を説明するための断面図である。

[図7C]図7 Cは、実施の形態1に係る窒化物半導体装置の製造方法の第1例に含まれる一工程を説明するための断面図である。

[図7D]図7 Dは、実施の形態1に係る窒化物半導体装置の製造方法の第1例に含まれる一工程を説明するための断面図である。

[図7E]図7 Eは、実施の形態1に係る窒化物半導体装置の製造方法の第1例に含まれる一工程を説明するための断面図である。

[図7F]図7 Fは、実施の形態1に係る窒化物半導体装置の製造方法の第1例に含まれる一工程を説明するための断面図である。

[図8]図8は、実施の形態1に係る窒化物半導体装置の製造方法の第2例を示すフローチャートである。

[図9A]図9 Aは、実施の形態1に係る窒化物半導体装置の製造方法の第2例

に含まれる一工程を説明するための断面図である。

[図9B]図9Bは、実施の形態1に係る窒化物半導体装置の製造方法の第2例に含まれる一工程を説明するための断面図である。

[図10]図10は、実施の形態1に係る窒化物半導体装置の製造方法の第3例を示すフローチャートである。

[図11]図11は、実施の形態2に係る窒化物半導体装置の断面図である。

[図12]図12は、実施の形態2の変形例に係る窒化物半導体装置の断面図である。

発明を実施するための形態

[0010] (本開示の概要)

本開示の第1態様に係る窒化物半導体装置は、能動素子と受動素子とを備える窒化物半導体装置であって、平面視で活性領域と不活性領域とに区分される窒化物半導体層と、前記不活性領域で前記窒化物半導体層に接する金属層と、を備え、前記能動素子は、前記活性領域に設けられ、前記受動素子は、前記不活性領域に設けられ、前記金属層は、前記窒化物半導体層に対してコヒーレント状態またはメタモルフィック状態を含む。

[0011] これにより、金属層の結晶性が良くなるので、金属層の電気特性が良化（例えば、低抵抗化）して高周波特性を向上させることができる。また、金属層が不活性領域に設けられるので、金属層を含む受動素子は、高周波動作時のキャリアの変動の影響を受けにくくなる。よって、高周波特性に優れた窒化物半導体装置を実現することができる。

[0012] 本開示の第2態様に係る窒化物半導体装置は、第1態様に係る窒化物半導体装置であって、前記窒化物半導体層は、チャネル層と、前記チャネル層の上方に設けられたバリア層と、を含み、前記能動素子は、前記チャネル層と前記バリア層との界面近傍に生じる二次元電子ガスを含む。

[0013] これにより、二次元電子ガス（2DEG）の高い電子移動度を利用することで、能動素子的高速動作が可能になる。例えば、スイッチング動作の高速化などが可能になり、窒化物半導体装置の高周波特性を向上させることがで

きる。

[0014] 本開示の第3態様に係る窒化物半導体装置は、第2態様に係る窒化物半導体装置であって、前記活性領域において、前記チャネル層のキャリア密度は、 $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ 以上である。

[0015] これにより、2DEGの高い電子移動度を利用することで、能動素子の高速動作が可能になる。例えば、スイッチング動作の高速化などが可能になり、窒化物半導体装置の高周波特性を向上させることができる。

[0016] 本開示の第4態様に係る窒化物半導体装置は、第1態様～第3態様のいずれか1つに係る窒化物半導体装置であって、前記窒化物半導体層は、複数の層からなる積層構造を有し、前記不活性領域において、前記窒化物半導体層の最上層のキャリア密度は、 $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ より小さい。

[0017] これにより、金属層と窒化物半導体層との寄生容量を低減することができるので、受動素子の高周波特性が向上する。

[0018] 本開示の第5態様に係る窒化物半導体装置は、第1態様～第4態様のいずれか1つに係る窒化物半導体装置であって、前記不活性領域における前記窒化物半導体層と前記金属層との接触面は、前記活性領域における前記窒化物半導体層の最上面よりも下方に位置している。

[0019] これにより、不活性領域では、例えばバリア層の大部分または全部を除去することにより、2DEGを発生させないようにすることができる。このため、窒化物半導体層のキャリア濃度が低減されるので、金属層と窒化物半導体層との寄生容量を低減することができる。よって、受動素子の高周波特性を向上させることができる。

[0020] 本開示の第6態様に係る窒化物半導体装置は、第2態様または第3態様のいずれか1つに係る窒化物半導体装置であって、前記窒化物半導体層は、前記チャネル層の下方に設けられたバッファ層をさらに含み、前記金属層は、前記不活性領域で前記バッファ層に接する。

[0021] これにより、バッファ層は一般的に高抵抗な層であり、キャリア濃度が十分に低い。このため、動作ばらつきが抑制されるので、受動素子の高周波特

性を向上させることができる。

[0022] 本開示の第7態様に係る窒化物半導体装置は、第1態様～第6態様のいずれか1つに係る窒化物半導体装置であって、前記窒化物半導体層は、CまたはF eがドーピングされた不純物領域を含み、前記金属層は、前記不活性領域で前記不純物領域に接する。

[0023] これにより、CまたはF eがドーピングされた不純物領域は高抵抗化する。このため、動作ばらつきが抑制されるので、受動素子の高周波特性を向上させることができる。

[0024] 本開示の第8態様に係る窒化物半導体装置は、第1態様～第7態様のいずれか1つに係る窒化物半導体装置であって、前記金属層は、バリアメタル層と、前記バリアメタル層の上方に設けられ、前記バリアメタル層よりも抵抗が低い低抵抗金属層と、を含む。

[0025] これにより、低抵抗金属層と窒化物半導体層との混晶が抑制される。窒化物半導体層内でのキャリアの生成が抑制されるので、キャリアの変動の影響を受動素子が受けにくくなる。よって、受動素子の高周波特性を向上させることができる。

[0026] 本開示の第9態様に係る窒化物半導体装置は、第1態様～第8態様のいずれか1つに係る窒化物半導体装置であって、前記受動素子は、前記金属層を含む抵抗素子である。

[0027] これにより、金属層の結晶性が良くなるので、エレクトロマイグレーションに対する耐性が高まる。抵抗素子の断線または短絡が抑制されるので、抵抗素子の高周波特性を向上させることができる。

[0028] 本開示の第10態様に係る窒化物半導体装置は、第1態様～第8態様のいずれか1つに係る窒化物半導体装置であって、前記受動素子は、前記金属層を下部電極として含むキャパシタである。

[0029] これにより、下部電極である金属層の結晶性が良くなるので、下部電極の低抵抗化が実現され、寄生抵抗成分に起因するロスを低減することができる。また、ヒロックなどの異常成長が抑制されるため、絶縁層のカバレッジの

低下および電界集中を抑制することができる。よって、キャパシタの耐圧の低下を抑制することができる。

[0030] 本開示の第1 1 態様に係る窒化物半導体装置は、第1 態様～第8 態様のいずれか1 つに係る窒化物半導体装置であって、前記受動素子は、前記金属層を含むインダクタである。

[0031] これにより、金属層の結晶性が良くなるので、インダクタの寄生抵抗成分を低減することができる。よって、寄生抵抗成分に起因するロスを低減することができる。

[0032] 本開示の第1 2 態様に係る窒化物半導体装置は、第8 態様に係る窒化物半導体装置であって、前記バリアメタル層の格子定数は、前記低抵抗金属層の格子定数より大きく、前記窒化物半導体層の、前記金属層との接触面におけるa 軸の格子定数の $\sqrt{2}$ 倍以下である。

[0033] これにより、低抵抗金属層に生じうる転位を低減することができるので、低抵抗金属層のさらなる低抵抗化が可能になる。

[0034] 本開示の第1 3 態様に係る窒化物半導体装置は、第1 2 態様に係る窒化物半導体装置であって、前記低抵抗金属層およびバリアメタル層の各々の格子定数は、前記窒化物半導体層の、前記金属層との接触面におけるa 軸の格子定数の $\sqrt{2}$ 倍の9 0 % 以上である。

[0035] これにより、低抵抗金属層に生じうる転位を低減することができるので、低抵抗金属層のさらなる低抵抗化が可能になる。

[0036] 本開示の第1 4 態様に係る窒化物半導体装置は、第8 態様、第1 2 態様または第1 3 態様に係る窒化物半導体装置であって、前記低抵抗金属層は、A l、C u、A u、A g およびP t からなる群から選択される少なくとも1 種の元素によって構成される面心立方格子構造を有する。

[0037] これにより、金属層の結晶性を維持しながら低抵抗化が可能になる。

[0038] 本開示の第1 5 態様に係る窒化物半導体装置は、第8 態様、第1 2 態様～第1 4 態様のいずれか1 つに係る窒化物半導体装置であって、前記バリアメタル層は、T i、T a、W およびH f からなる群から選択される少なくとも

1種の元素と、NおよびCの少なくとも一方の元素とによって構成されるN a C l型構造を有する。

[0039] これにより、金属層の結晶性を維持しながら、金属層と窒化物半導体層との混晶を抑制することができる。

[0040] 本開示の第16態様に係る窒化物半導体装置は、第8態様、第12態様～第15態様のいずれか1つに係る窒化物半導体装置であって、前記金属層は、前記バリアメタル層と前記窒化物半導体層との間に設けられ、Ti、Ta、WおよびHfからなる群から選択される少なくとも1種の元素によって構成される六方最密構造を有する層をさらに含む。

[0041] これにより、金属層の結晶性を維持しながら、金属層と窒化物半導体層との密着性を高めることができる。

[0042] 本開示の第17態様に係る窒化物半導体装置は、第1態様～第16態様のいずれか1つに係る窒化物半導体装置であって、前記能動素子は、ゲート電極、ソース電極およびドレイン電極を含み、前記ゲート電極、前記ソース電極および前記ドレイン電極の少なくとも1つは、前記金属層の少なくとも一部と同じ材料を含む。

[0043] これにより、金属層と同じ材料を含む電極を、金属層と同一工程で形成することができる。

[0044] 本開示の第18態様に係る窒化物半導体装置の製造方法は、能動素子と受動素子とを備える窒化物半導体装置の製造方法であって、平面視で活性領域と不活性領域とに区分される窒化物半導体層を形成する工程と、前記不活性領域で前記窒化物半導体層に接する金属層を形成する工程と、を含み、前記能動素子は、前記活性領域に設けられ、前記受動素子は、前記不活性領域に設けられ、前記金属層は、前記窒化物半導体層に対してコヒーレント状態またはメタモルフィック状態を含む。

[0045] これにより、結晶性の良好な金属層を形成することができ、金属層の電気特性が良化（例えば、低抵抗化）して高周波特性を向上させることができる。また、金属層が不活性領域に設けられるので、金属層を含む受動素子は、

高周波動作時のキャリアの変動の影響を受けにくくなる。よって、高周波特性に優れた窒化物半導体装置を製造することができる。

[0046] 本開示の第１９態様に係る窒化物半導体装置の製造方法は、第１８態様に係る窒化物半導体装置の製造方法であって、前記窒化物半導体層に第１リセス部を形成する工程と、前記第１リセス部内に前記能動素子のソース電極およびドレイン電極を形成する工程と、前記窒化物半導体層上に前記能動素子のゲート電極を形成する工程と、前記金属層を形成する前に前記窒化物半導体層に第２リセス部を形成する工程と、を含み、前記金属層を形成する工程では、前記第２リセス部の底面に前記金属層を形成する。

[0047] これにより、第２リセス部によって窒化物半導体層の不活化を容易に行うことができる。

[0048] 本開示の第２０態様に係る窒化物半導体装置の製造方法は、第１９態様に係る窒化物半導体装置の製造方法であって、前記第１リセス部を形成する工程および前記第２リセス部を形成する工程は、同時に行われる。

[0049] これにより、第１リセス部および第２リセス部を同一工程で形成することができる。製造工程を簡略化することにより、製造誤差などが生じる可能性を低くすることができ、歩留まりを高めることができる。

[0050] 本開示の第２１態様に係る窒化物半導体装置の製造方法は、第１９態様または第２０態様に係る窒化物半導体装置の製造方法であって、前記金属層を形成する工程および前記ゲート電極を形成する工程は、同時に行われる。

[0051] これにより、金属層およびゲート電極を同一工程で形成することができる。製造工程を簡略化することにより、製造誤差などが生じる可能性を低くすることができ、歩留まりを高めることができる。

[0052] 本開示の第２２態様に係る窒化物半導体装置の製造方法は、第２１態様に係る窒化物半導体装置の製造方法であって、前記受動素子は、前記金属層を下部電極として含むキャパシタであり、前記窒化物半導体装置の製造方法は、さらに、前記金属層上に絶縁層を形成する工程と、前記絶縁層上に上部電極を形成する工程と、を含む。

[0053] これにより、下部電極である金属層の結晶性が良くなるので、下部電極の低抵抗化が実現され、寄生抵抗成分に起因するロスを低減することができる。また、ヒロックなどの異常成長が抑制されるため、絶縁層のカバレッジの低下および電界集中を抑制することができる。よって、キャパシタの耐圧の低下を抑制することができる。

[0054] 以下では、実施の形態について、図面を参照しながら具体的に説明する。

[0055] なお、以下で説明する実施の形態は、いずれも包括的または具体的な例を示すものである。以下の実施の形態で示される数値、形状、材料、構成要素、構成要素の配置位置および接続形態、製造工程、ならびに、製造工程の順序などは、一例であり、本開示を限定する主旨ではない。また、以下の実施の形態における構成要素のうち、独立請求項に記載されていない構成要素については、任意の構成要素として説明される。

[0056] また、各図は、模式図であり、必ずしも厳密に図示されたものではない。したがって、例えば、各図において縮尺などは必ずしも一致しない。また、各図において、実質的に同一の構成については同一の符号を付しており、重複する説明は省略または簡略化する。

[0057] また、本明細書において、平行または垂直などの要素間の関係性を示す用語、要素の形状を示す用語、および、数値範囲は、厳格な意味のみを表す表現ではなく、実質的に同等な範囲、例えば数%程度の差異をも含むことを意味する表現である。

[0058] また、本明細書および図面において、 x 軸、 y 軸および z 軸は、三次元直交座標系の三軸を示している。各実施の形態では、 z 軸方向を基板の主面に対して垂直な方向とし、基板の主面に平行な方向を x 軸方向および y 軸方向としている。

[0059] なお、本明細書において、基板の「主面」とは、基板の主要な面であり、例えば、面積が最大となる面、または、当該面積が最大になる面の反対側に位置し、最大面積の面と同等の面積を有する面を意味する。主面は通常、平面であるが、微小な凹凸または湾曲が含まれていてもよい。半導体層、金属

層または絶縁層などの各層の「主面」についても同様である。

[0060] また、本明細書において、「上方」および「下方」という用語は、絶対的な空間認識における上方向（鉛直上方）および下方向（鉛直下方）を指すものではなく、積層構成における積層順を基に相対的な位置関係により規定される用語として用いる。具体的には、 z 軸の正方向を「上方」とみなし、 z 軸の負方向を「下方」とみなしている。また、「上方」および「下方」という用語は、2つの構成要素が互いに間隔を空けて配置されて2つの構成要素の間に別の構成要素が存在する場合のみならず、2つの構成要素が互いに密着して配置されて2つの構成要素が接する場合にも適用される。

[0061] また、本明細書において、「平面視」とは、特に断りの無い限り、基板の主面に対して垂直な方向から見た場合を意味する。具体的には、「平面視」とは、 z 軸の正側または負側から見た場合を意味する。

[0062] また、1または複数の元素または組成物からなる層、および、1または複数の元素または組成物によって構成される層とは、当該層が実質的に1または複数の元素または組成物のみを含んでいることを意味する。ただし、当該層には、例えば製造上混入を避けられない元素など他の元素が不純物として、1%以下の割合で含まれていてもよい。

[0063] また、本明細書において、「第1」、「第2」などの序数詞は、特に断りの無い限り、構成要素の数または順序を意味するものではなく、同種の構成要素の混同を避け、区別する目的で用いられている。

[0064] （実施の形態1）

まず、実施の形態1に係る窒化物半導体装置について説明する。

[0065] 本実施の形態に係る窒化物半導体装置は、能動素子と、受動素子と、を備える。能動素子は、例えばトランジスタ、トンネルダイオードなどである。受動素子は、例えばキャパシタ、抵抗素子、インダクタなどである。以下ではまず、受動素子としてキャパシタを備える窒化物半導体装置について、図1Aを用いて説明する。抵抗素子またはインダクタを備える構成については、図1Bまたは図1Cを用いて後で説明する。

[0066] [キャパシタを備える窒化物半導体装置]

図1Aは、受動素子としてキャパシタ20を備える本実施の形態に係る窒化物半導体装置1の断面図である。図1Aに示すように、窒化物半導体装置1は、トランジスタ10と、キャパシタ20と、を備える。また、窒化物半導体装置1は、基板110と、窒化物半導体層120と、を備える。

[0067] トランジスタ10は、能動素子の一例であり、活性領域101に設けられている。キャパシタ20は、受動素子の一例であり、不活性領域102に設けられている。

[0068] 活性領域101および不活性領域102は、平面視で互いに重ならない領域である。本実施の形態では、第2リセス部136の有無によって活性領域101および不活性領域102が区分される。具体的には、第2リセス部136が設けられた領域が不活性領域102であり、第2リセス部136が設けられていない領域が活性領域101である。活性領域101では、チャンネル層124のキャリア濃度が $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ 以上である。不活性領域102では、チャンネル層124のキャリア濃度が $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ より小さい。

[0069] トランジスタ10は、図1Aに示すように、基板110および窒化物半導体層120の各々のうちの活性領域101に位置する部分と、ソース電極140と、ドレイン電極142と、ゲート電極144と、を備える。窒化物半導体層120の活性領域101に位置する部分では、チャンネル層124とバリア層126との界面近傍に2DEG125が生じる。トランジスタ10は、2DEG125をチャンネルとして含む高電子移動度トランジスタ(High Electron Mobility Transistor: HEMT)である。

[0070] 基板110は、窒化物半導体層120を形成するための下地基板である。基板110は、例えば、主面(上面)が(111)面であるSiの単結晶基板である。例えば、基板110の抵抗率は、 $1 \text{ k} \Omega \text{ cm}$ 以上であるが、これに限定されない。基板110の抵抗率は、 $20 \Omega \text{ cm}$ 以下であってもよい。また、基板110は、Siの単結晶基板に限らず、SiC、サファイア(S

- ap phire)、Ga NまたはAl Nなどからなる基板であってもよい。
- [0071] 窒化物半導体層120は、III族窒化物半導体からなる層である。窒化物半導体層120は、複数の層からなる積層構造を有する。具体的には、図1Aに示すように、窒化物半導体層120は、バッファ層122と、チャンネル層124と、バリア層126と、を含む。
- [0072] 窒化物半導体層120は、平面視で活性領域101と不活性領域102とに区分される。本実施の形態では、バッファ層122は、活性領域101と不活性領域102とで同じ構成を有する。チャンネル層124は、活性領域101に位置する部分の厚さが、不活性領域102に位置する部分の厚さよりも厚い。バリア層126は、活性領域101に設けられ、不活性領域102には設けられていない。
- [0073] バッファ層122は、基板110の上方で、かつ、チャンネル層124の下方に設けられている。具体的には、バッファ層122は、基板110の上面とチャンネル層124の下面とにそれぞれ接触して設けられている。バッファ層122は、III族窒化物半導体からなる層である。例えば、バッファ層122は、各々がアンドープの $Al_xGa_{1-x}N$ からなる複数の層の積層構造を有する。ここで、 x は、0以上1以下である。すなわち、バッファ層122には、Al N層またはGa N層が含まれてもよい。バッファ層122は、CまたはFeがドーピングされることにより高抵抗化された層を含んでもよい。また、バッファ層122は、超格子構造を含んでもよい。なお、バッファ層122は、Ga N層、Al Ga N層またはAl N層の単層構造であってもよい。あるいは、バッファ層122は、設けられていなくてもよい。
- [0074] チャンネル層124は、基板110の上方に設けられている。具体的には、チャンネル層124は、バッファ層122の上面に接触して設けられている。チャンネル層124は、III族窒化物半導体からなる層である。例えば、チャンネル層124は、Ga Nからなる層であるが、Inを含んでもよい。
- [0075] 本実施の形態では、チャンネル層124は、活性領域101と不活性領域102とで厚さが異なっている。具体的には、活性領域101におけるチャネ

ル層124の厚さは、不活性領域102におけるチャネル層124の厚さより厚い。活性領域101におけるチャネル層124の厚さは、例えば150 nmである。不活性領域102におけるチャネル層124の厚さは、例えば、活性領域101におけるチャネル層124の厚さの半分以下であるが、10%以下であってもよく、これに限定されない。不活性領域102におけるチャネル層124は、その上面（すなわち、第2リセス部136の底面であり、図1Aに示す接触面120b）が、活性領域101に生じる2DEG125よりも下方になるような厚さで形成されている。なお、チャネル層124の厚さは、活性領域101と不活性領域102とで均一であってもよい。

[0076] バリア層126は、チャネル層124の上方に設けられている。例えば、バリア層126は、チャネル層124の上面に接触して設けられている。バリア層126は、III族窒化物半導体からなる層である。例えば、バリア層126は、厚さが13 nmの $\text{Al}_{0.25}\text{Ga}_{0.75}\text{N}$ からなる層であるが、これに限らない。バリア層126を構成する AlGaIn のAl組成比は、15%以上100%以下の範囲から選択された値であってもよい。また、バリア層126は、Inを含んでもよい。

[0077] バリア層126のバンドギャップは、チャネル層124のバンドギャップよりも大きい。バリア層126とチャネル層124との界面近傍には、2DEG125が生じる。本実施の形態では、バリア層126は、不活性領域102には設けられずに活性領域101のみに設けられているので、2DEG125も不活性領域102には生じずに、活性領域101のみに生じる。活性領域101に生じた2DEG125がトランジスタ10のチャネルとして機能する。活性領域101において、チャネル層124のキャリア密度は、常温で $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ 以上である。なお、常温は、例えば25℃である。

[0078] 窒化物半導体層120には、第1リセス部130および132、ならびに、第2リセス部136が設けられている。第1リセス部130および132、ならびに、第2リセス部136はそれぞれ、バリア層126を貫通し、かつ、チャネル層124の少なくとも一部が除去された凹部である。

- [0079] 第1リセス部130は、ソース電極140と2DEG125とのコンタクト抵抗を低減するために設けられている。第1リセス部130の内面には、2DEG125が露出しており、露出した2DEG125にソース電極140が直接接触することにより、コンタクト抵抗を低減することができる。
- [0080] 第1リセス部132は、ドレイン電極142と2DEG125とのコンタクト抵抗を低減するために設けられている。第1リセス部132の内面には、2DEG125が露出しており、露出した2DEG125にドレイン電極142が直接接触することにより、コンタクト抵抗を低減することができる。
- [0081] 第1リセス部130および132の各々の底面の位置は、チャンネル層124とバリア層126との界面よりも下方に位置している。第1リセス部130および132の各々の底面と、チャンネル層124とバリア層126との界面とのz軸方向における差は、10nm以下である。
- [0082] 第2リセス部136は、窒化物半導体層120を不活化するために設けられている。第2リセス部136の底面（接触面120b）は、活性領域101における窒化物半導体層120の最上面120aよりも下方に位置している。具体的には、第2リセス部136が設けられることにより、不活性領域102ではバリア層126が除去される。不活性領域102では、チャンネル層124が窒化物半導体層120の最上層である。その結果、チャンネル層124内に2DEG125が発生しないようにでき、不活性領域102におけるチャンネル層124のキャリア密度が常温で $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ よりも小さくなる。なお、常温は、例えば25℃である。
- [0083] ソース電極140およびドレイン電極142は、平面視において、間にゲート電極144を挟むように互いに離れた位置に設けられている。ソース電極140およびドレイン電極142はそれぞれ、2DEG125と電氣的に接続されている。具体的には、ソース電極140は、第1リセス部130内に設けられて2DEG125に接触している。ドレイン電極142は、第1リセス部132内に設けられて2DEG125に接触している。

- [0084] ソース電極 140 およびドレイン電極 142 はいずれも、*n* 型の窒化物半導体に対してオーミック接続される金属材料を用いて形成されている。例えば、ソース電極 140 およびドレイン電極 142 は、厚さが 30 nm の Ti 膜と、当該 Ti 膜上に設けられた厚さが 200 nm の Al 膜との積層構造を有する多層電極膜である。
- [0085] なお、Ti 膜の厚さは、2 nm 以上 40 nm 以下であってもよく、Al 膜の厚さは、100 nm 以上 200 nm 以下であってもよい。また、ソース電極 140 およびドレイン電極 142 は、Ti、Ta、Hf、Zr、Ru、Al、Au および W からなる群から選択される 1 つの元素の金属単体、または、選択される複数の元素の合金であってもよい。また、ソース電極 140 およびドレイン電極 142 は、TiN、WN、Ta₂N₃ などの導電性金属窒化膜を含んでもよい。ソース電極 140 およびドレイン電極 142 は、同一工程で形成されるが、異なる工程で異なる材料を用いて形成されてもよい。
- [0086] ゲート電極 144 は、平面視において、ソース電極 140 およびドレイン電極 142 の間に設けられている。本実施の形態では、ゲート電極 144 は、窒化物半導体層 120 の最上面 120a に接触して設けられている。
- [0087] ゲート電極 144 は、窒化物半導体層 120 に対してショットキー接続される金属材料を用いて形成される。例えば、ゲート電極 144 は、TiN 膜と、当該 TiN 膜上に設けられた Al 膜との積層構造を有する多層電極膜である。TiN 膜および Al 膜はそれぞれ、キャパシタ 20 のバリアメタル層 152 および低抵抗金属層 154 と同じである。ゲート電極 144 は、WN、Ta₂N₃、HfN、Ni、Ti、Ta、W、Au、Pd、Pt、Hf、Ru および Cu からなる群から選択される 1 つを用いて形成されていてもよい。
- [0088] なお、ゲート電極 144 と窒化物半導体層 120 の最上面 120a との間には、絶縁層または *p* 型の窒化物半導体層が設けられていてもよい。絶縁層は、例えば、SiN、SiO₂、SiON、Al₂O₃ などの単層または積層構造を有する。*p* 型の窒化物半導体層は、例えば、*p* 型の GaN または AlGa_{0.5}N などである。*p* 型の窒化物半導体層が設けられている場合、ゲート電極

144は、p型の窒化物半導体層に対してオーミック接触されていてもよい。

[0089] 続いて、キャパシタ20について説明する。図1Aに示すように、キャパシタ20は、下部電極150と、絶縁層160と、上部電極170と、を備える。

[0090] 下部電極150は、不活性領域102で窒化物半導体層120に接する金属層の一例である。下部電極150は、窒化物半導体層120に対してコヒーレント状態またはメタモルフィック状態を含む。コヒーレント状態およびメタモルフィック状態については、後で説明する。本実施の形態では、下部電極150は、バリアメタル層152と、低抵抗金属層154と、を含む。

[0091] バリアメタル層152は、低抵抗金属層154に含まれる金属元素（例えば、Cu）が窒化物半導体層120に拡散するのを抑制するために設けられている。バリアメタル層152は、不活性領域102において、窒化物半導体層120に接触している。具体的には、バリアメタル層152は、第2リセス部136の底面であり、かつ、チャネル層124の表面の一部である接触面120bに接触している。

[0092] バリアメタル層152は、Ti、Ta、WおよびHfからなる群から選択される少なくとも1種の元素と、NおよびCの少なくとも一方の元素とによって構成されるNaCl型構造を有する。例えば、バリアメタル層152は、TiN、TaN、WN、HfN、TiCおよびTaCからなる群から選択される1つの化合物からなる単層膜であるが、積層膜であってもよい。バリアメタル層152の厚さは、例えば5nm以上200nm以下であり、一例として20nmであるが、これに限らない。

[0093] 低抵抗金属層154は、バリアメタル層152の上方に設けられている。具体的には、低抵抗金属層154は、バリアメタル層152の上面に接触して設けられている。低抵抗金属層154は、バリアメタル層152よりも抵抗が低い金属層である。低抵抗金属層154を下部電極150が含むことにより、下部電極150の寄生抵抗を低減することができる。

[0094] 低抵抗金属層154は、Al、Cu、Au、AgおよびPtからなる群から選択される少なくとも1種の元素によって構成される面心立方格子（face-centered cubic: fcc）構造を有する。低抵抗金属層154は、例えば、Al、Cu、Au、AgおよびPtからなる群から選択される1つの元素からなる単層膜であるが、積層膜であってもよい。低抵抗金属層154の厚さは、バリアメタル層152の厚さよりも大きく、例えば100nm以上1000nm以下であり、一例として500nmであるが、これに限らない。

[0095] 絶縁層160は、下部電極150と上部電極170との間に設けられている。絶縁層160は、高い誘電率および高い絶縁破壊電界を有する膜を用いて形成されている。例えば、絶縁層160は、SiN、AlN、HfN、HfOおよびTa₂O₅からなる群から選択される1つの化合物からなる単層膜であるが、積層膜であってもよい。絶縁層160の厚さは、特に限定されず、キャパシタ20に要求される容量値や耐圧などに基づいて決定された厚さである。

[0096] 上部電極170は、絶縁層160の上方に設けられている。上部電極170は、Al、Cu、Au、AgおよびPtからなる群から選択される少なくとも1種の元素からなる単層膜であるが、積層膜であってもよい。

[0097] 以上のように、本実施の形態に係る窒化物半導体装置1では、下部電極150が不活性領域102に設けられるので、高周波動作時のキャリアの変動の影響を受けにくい。よって、高周波特性に優れたキャパシタ20を実現することができる。

[0098] また、キャパシタ20が備える下部電極150は、窒化物半導体層120に対してコヒーレント状態またはメタモルフィック状態を含む。この結果、下部電極150の結晶性が高まり、キャパシタ20の高周波特性が向上する。以下では、コヒーレント状態およびメタモルフィック状態について説明する。

[0099] コヒーレント状態とは、層の格子が歪むことにより、層が下地の層の結晶

情報を保持している状態である。メタモルフィック状態とは、層の内部に欠陥を導入することにより、層が全体として下地の層の結晶情報を保持している状態である。すなわち、コヒーレント状態およびメタモルフィック状態のいずれにおいても、層（下部電極 150（バリアメタル層 152））が下地の層（窒化物半導体層 120（チャネル層 124））の結晶情報を保持している状態になる。

[0100] バリアメタル層 152 および低抵抗金属層 154 がそれぞれ、チャネル層 124 に対して、コヒーレント状態またはメタモルフィック状態である。コヒーレント状態またはメタモルフィック状態にするためには、結晶構造と格子定数とが所定の条件を満たすことが求められる。

[0101] 下地の層であるチャネル層 124 の結晶構造は、図 2 A に示す六方最密（hexagonal close-packed: hcp）構造である。なお、図 2 A は、六方最密（hcp）構造の結晶構造を示す図である。図 2 B は、面心立方格子（fcc）構造の結晶構造を示す図である。

[0102] hcp 構造に対してコヒーレント状態またはメタモルフィック状態になる結晶構造は、fcc 構造または NaCl 構造である。本実施の形態では、バリアメタル層 152 が NaCl 構造を有し、低抵抗金属層 154 が図 2 B に示す fcc 構造を有する。NaCl 構造は、図 2 B に示す fcc 構造と実質的に同じとみなすことができる。

[0103] バリアメタル層 152 の結晶面の 1 つである（111）面は、チャネル層 124 の結晶面の 1 つである（0002）面に対して、平行かつ同一方位である。また、低抵抗金属層 154 の結晶面の 1 つである（111）面は、チャネル層 124 の結晶面の 1 つである（0002）面に対して、平行かつ同一方位である。バリアメタル層 152 および低抵抗金属層 154 はいずれも、（111）面のみに配向している。

[0104] 具体的には、図 2 B に示す（111）面の三角形（ドットの網掛けが付された領域）の頂点および各辺の中点に位置する 6 つの元素が、図 2 A に示す 6 つの元素に対応するように、バリアメタル層 152 および低抵抗金属層 1

5 4 が形成される。なお、図 2 A では、(0 0 0 2) 面の代わりに (0 0 0 1) 面で 6 つの元素を表している。この場合において、格子定数が以下の関係を満たしている。

[0105] バリアメタル層 1 5 2 の格子定数は、低抵抗金属層 1 5 4 の格子定数より大きく、窒化物半導体層 1 2 0 の、下部電極 1 5 0 との接触面 1 2 0 b における a 軸の格子定数の $\sqrt{2}$ 倍以下である。すなわち、チャンネル層 1 2 4 の a 軸の格子定数を “a 1” とし、バリアメタル層 1 5 2 の格子定数を “a 2” とし、低抵抗金属層 1 5 4 の格子定数を “a 3” とすると、以下の不等式 (1) を満たす。

[0106] (1) $a_1 \times \sqrt{2} \geq a_2 > a_3$

[0107] なお、“ $\sqrt{2}$ ” は、2 の平方根 (1. 4 1 4 2 . . .) を表している。

[0108] このように、窒化物半導体層 1 2 0 (チャンネル層 1 2 4) の a 軸の格子定数の $\sqrt{2}$ 倍を基準として、バリアメタル層 1 5 2、低抵抗金属層 1 5 4 の順に格子定数を小さくすることにより、低抵抗金属層 1 5 4 での転位の発生を抑制することができる。よって、下部電極 1 5 0 の低抵抗化が可能になる。

[0109] また、低抵抗金属層 1 5 4 の格子定数 a_3 およびバリアメタル層 1 5 2 の格子定数 a_2 は、チャンネル層 1 2 4 の、接触面 1 2 0 b における a 軸の格子定数 a_1 の $\sqrt{2}$ 倍の 9 0 % 以上であってもよい。すなわち、各層の格子定数は、以下の不等式 (2) および (3) をさらに満たしていてもよい。

[0110] (2) $a_3 \geq a_1 \times \sqrt{2} \times 0.9$

(3) $a_2 \geq a_1 \times \sqrt{2} \times 0.9$

[0111] つまり、チャンネル層 1 2 4 の格子定数の $\sqrt{2}$ 倍と、バリアメタル層 1 5 2 または低抵抗金属層 1 5 4 の格子定数との差分は、 $\pm 10\%$ 以内である。このような関係を満たすことにより、バリアメタル層 1 5 2 および低抵抗金属層 1 5 4 の各々の結晶性がさらに高くなる。低抵抗金属層 1 5 4 に含まれる転位が低減することで、低抵抗金属層 1 5 4 のさらなる低抵抗化が実現される。また、下部電極 1 5 0 の低抵抗化によって、寄生抵抗成分に起因するロスを低減することができる。また、ヒロックなどの異常成長が抑制されるた

め、絶縁層 160 のカバレッジの低下および電界集中を抑制することができる。よって、キャパシタ 20 の耐圧の低下を抑制することができる。

[0112] また、本実施の形態では、バリアメタル層 152 が設けられているので、低抵抗金属層 154 とチャネル層 124 との混晶が抑制される。これにより、チャネル層 124 内でのキャリアの生成が抑制されるので、動作時のキャリアの変動の影響をキャパシタ 20 が受けにくくなる。よって、キャパシタ 20 の高周波特性を向上させることができる。

[0113] [抵抗素子を備える窒化物半導体装置]

次に、受動素子として抵抗素子を備える窒化物半導体装置について、図 1 B を用いて説明する。図 1 B は、受動素子として抵抗素子 21 を備える窒化物半導体装置 2 の断面図である。図 1 B に示すように、窒化物半導体装置 2 は、トランジスタ 10 と、抵抗素子 21 と、を備える。トランジスタ 10 は、図 1 A に示した窒化物半導体装置 1 が備えるトランジスタ 10 と同じである。以下では、窒化物半導体装置 1 との相違点を中心に説明を行い、共通点の説明を省略または簡略化する。

[0114] 図 1 B に示す抵抗素子 21 は、金属層 155 を含む。金属層 155 は、不活性領域 102 で窒化物半導体層 120 に接している。金属層 155 は、窒化物半導体層 120 に対してコヒーレント状態またはメタモルフィック状態を含む。金属層 155 は、例えば、バリアメタル層 152 と同じ材料を用いて形成することができる。あるいは、金属層 155 は、低抵抗金属層 154 と同じ材料を用いて形成されてもよい。金属層 155 の厚さ、材料および線幅などを調整することにより、所望の抵抗値を有する抵抗素子 21 を形成することができる。

[0115] 窒化物半導体装置 2 によれば、窒化物半導体装置 1 の下部電極 150 と同様に、金属層 155 の結晶性が良くなる。このため、金属層 155 のエレクトロマイグレーションに対する耐性が高まる。よって、抵抗素子 21 の断線または短絡が抑制されるので、抵抗素子 21 の高周波特性を向上させることができる。

[0116] [インダクタを備える窒化物半導体装置]

次に、受動素子としてインダクタを備える窒化物半導体装置について、図 1 C を用いて説明する。図 1 C は、受動素子としてインダクタ 2 2 を備える窒化物半導体装置 3 の断面図である。図 1 C に示すように、窒化物半導体装置 3 は、トランジスタ 1 0 と、インダクタ 2 2 と、を備える。トランジスタ 1 0 は、図 1 A に示した窒化物半導体装置 1 が備えるトランジスタ 1 0 と同じである。以下では、窒化物半導体装置 1 との相違点を中心に説明を行い、共通点の説明を省略または簡略化する。

[0117] 図 1 C に示すインダクタ 2 2 は、金属層 1 5 6 を含む。金属層 1 5 6 は、不活性領域 1 0 2 で窒化物半導体層 1 2 0 に接している。金属層 1 5 6 は、窒化物半導体層 1 2 0 に対してコヒーレント状態またはメタモルフィック状態を含む。本実施の形態では、金属層 1 5 6 は、バリアメタル層 1 5 2 と、低抵抗金属層 1 5 8 と、を含む。

[0118] バリアメタル層 1 5 2 は、図 1 A に示した窒化物半導体装置 1 が備えるバリアメタル層 1 5 2 と同じである。低抵抗金属層 1 5 8 は、図 1 A に示した窒化物半導体装置 1 が備える低抵抗金属層 1 5 4 とほぼ同じであり、厚さが異なっている。具体的には、低抵抗金属層 1 5 8 は、低抵抗金属層 1 5 4 に比べて厚さが厚い。例えば、低抵抗金属層 1 5 8 の厚さおよび幅はいずれも $3\mu\text{m}$ 以上である。これにより、金属層 1 5 6 をより低抵抗化することができる。

[0119] インダクタ 2 2 は、不活性領域 1 0 2 の接触面 1 2 0 b 上に一定の長さで延設されている。例えば、インダクタ 2 2 は、平面視で直線状に形成されていてもよく、コイル状に形成されていてもよい。

[0120] 窒化物半導体装置 3 によれば、窒化物半導体装置 1 の下部電極 1 5 0 と同様に、金属層 1 5 6 の結晶性が良くなる。このため、金属層 1 5 6 の結晶性が良くなるので、インダクタ 2 2 の寄生抵抗成分を低減することができる。よって、寄生抵抗成分に起因するロスを低減することができる。

[0121] [変形例]

続いて、実施の形態１の複数の変形例について説明する。以下に示す変形例では、実施の形態１に係る窒化物半導体装置１、２および３との相違点を中心に説明を行い、共通点の説明を省略または簡略化する。

[0122] <変形例１>

図３Ａは、受動素子としてキャパシタ２０を備える本変形例に係る窒化物半導体装置１Ａの断面図である。図３Ａに示すように、窒化物半導体装置１Ａでは、窒化物半導体装置１と比較して、第２リセス部１３６の代わりに第２リセス部１３６Ａが設けられている点が相違する。

[0123] 第２リセス部１３６Ａは、窒化物半導体層１２０を不活化するために設けられている。第２リセス部１３６Ａの底面（接触面１２０ｂ）は、活性領域１０１における窒化物半導体層１２０の最上面１２０ａよりも下方に位置している。本変形例では、第２リセス部１３６Ａは、バリア層１２６を貫通していない。すなわち、不活性領域１０２においても、バリア層１２６が残存しており、窒化物半導体層１２０の最上層である。第２リセス部１３６Ａの底面である接触面１２０ｂは、バリア層１２６の表面である。キャパシタ２０の下部電極１５０は、活性領域１０１の最上面１２０ａよりも低い位置（基板１１０に近い位置）で、不活性領域１０２内においてバリア層１２６と接触している。

[0124] 本変形例では、第２リセス部１３６Ａが設けられることにより、バリア層１２６の不活性領域１０２における厚さは、バリア層１２６の活性領域１０１における厚さよりも小さい。不活性領域１０２におけるバリア層１２６の厚さが小さくなることで、ピエゾ分極が抑制されるので、２ＤＥＧ１２５が発生しない。これにより、実施の形態１と同様に、不活性領域１０２におけるチャネル層１２４のキャリア密度が常温で $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ よりも小さくなる。よって、実施の形態１と同様に、窒化物半導体装置１Ａの高周波特性を高めることができる。

[0125] キャパシタ２０の代わりに、抵抗素子２１またはインダクタ２２を備える場合も同様である。図３Ｂは、受動素子として抵抗素子２１を備える本変形

例に係る窒化物半導体装置 2 A の断面図である。図 3 C は、受動素子としてインダクタ 2 2 を備える本変形例に係る窒化物半導体装置 3 A の断面図である。図 3 B および図 3 C に示すように、窒化物半導体装置 2 A および 3 A ではそれぞれ、窒化物半導体装置 2 および 3 と比較して、第 2 リセス部 1 3 6 の代わりに第 2 リセス部 1 3 6 A が設けられている点が相違する。金属層 1 5 5 および 1 5 6 はいずれも、活性領域 1 0 1 の最上面 1 2 0 a よりも低い位置（基板 1 1 0 に近い位置）で、不活性領域 1 0 2 内においてバリア層 1 2 6 に接触している。これらの抵抗素子 2 1 またはインダクタ 2 2 を備える窒化物半導体装置 2 A および 3 A についても、実施の形態 1 と同様に、高周波特性を高めることができる。

[0126] <変形例 2>

図 4 A は、受動素子としてキャパシタ 2 0 を備える本変形例に係る窒化物半導体装置 1 B の断面図である。図 4 A に示すように、窒化物半導体装置 1 B では、窒化物半導体装置 1 と比較して、第 2 リセス部 1 3 6 の代わりに第 2 リセス部 1 3 6 B が設けられている点が相違する。

[0127] 第 2 リセス部 1 3 6 B は、窒化物半導体層 1 2 0 を不活化するために設けられている。第 2 リセス部 1 3 6 B の底面（接触面 1 2 0 b）は、活性領域 1 0 1 における窒化物半導体層 1 2 0 の最上面 1 2 0 a よりも下方に位置している。本変形例では、第 2 リセス部 1 3 6 B は、バリア層 1 2 6 およびチャネル層 1 2 4 を貫通し、バッファ層 1 2 2 に達している。第 2 リセス部 1 3 6 B の底面である接触面 1 2 0 b は、バッファ層 1 2 2 の表面である。不活性領域 1 0 2 には、バリア層 1 2 6 およびチャネル層 1 2 4 が設けられていない。不活性領域 1 0 2 では、バッファ層 1 2 2 が窒化物半導体層 1 2 0 の最上層である。下部電極 1 5 0 は、活性領域 1 0 1 の最上面 1 2 0 a よりも低い位置（基板 1 1 0 に近い位置）で、不活性領域 1 0 2 内においてバッファ層 1 2 2 と接触している。

[0128] バッファ層 1 2 2 は、アンドープの窒化物半導体層であり、キャリア密度は、常温で $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ よりも小さくなる。よって、実施の形態 1 と同

様に、窒化物半導体装置 1 B の高周波特性を高めることができる。

[0129] キャパシタ 20 の代わりに、抵抗素子 21 またはインダクタ 22 を備える場合も同様である。図 4 B は、受動素子として抵抗素子 21 を備える本変形例に係る窒化物半導体装置 2 B の断面図である。図 4 C は、受動素子としてインダクタ 22 を備える本変形例に係る窒化物半導体装置 3 B の断面図である。図 4 B および図 4 C に示すように、窒化物半導体装置 2 B および 3 B ではそれぞれ、窒化物半導体装置 2 および 3 と比較して、第 2 リセス部 136 の代わりに第 2 リセス部 136 B が設けられている点が相違する。金属層 155 および 156 はいずれも、活性領域 101 の最上面 120 a よりも低い位置（基板 110 に近い位置）で、不活性領域 102 内においてバッファ層 122 に接触している。これらの抵抗素子 21 またはインダクタ 22 を備える窒化物半導体装置 2 B および 3 B についても、実施の形態 1 と同様に、高周波特性を高めることができる。

[0130] なお、バッファ層 122 には、C または F e がドーピングされた不純物領域が含まれてもよい。下部電極 150 は、当該不純物領域に接していてもよい。C または F e がドーピングされた不純物領域は高抵抗化する。このため、動作ばらつきが抑制されるので、キャパシタ 20 の高周波特性を向上させることができる。C または F e のドーピングは、結晶成長時に行われる。このため、イオン注入の場合とは異なり、結晶構造を維持することができる。

[0131] また、本変形例では、不活性領域 102 内において、バッファ層 122 の一部も除去されているが、バッファ層 122 は除去されていなくてもよい。すなわち、不活性領域 102 内の接触面 120 b は、活性領域 101 内におけるチャンネル層 124 とバッファ層 122 との界面と同じ高さであってもよい。

[0132] <変形例 3>

図 5 A は、受動素子としてキャパシタ 20 C を備える本変形例に係る窒化物半導体装置 1 C の断面図である。図 5 A に示すように、窒化物半導体装置 1 C では、窒化物半導体装置 1 と比較して、キャパシタ 20 の代わりにキャ

パシタ 20C を備える点が相違する。キャパシタ 20C は、キャパシタ 20 と比較して、下部電極 150 の代わりに下部電極 150C を含む。

[0133] 下部電極 150C は、バリアメタル層 152 と窒化物半導体層 120 との間に設けられた金属下地層 159 を含む。金属下地層 159 は、Ti、Ta、W および Hf からなる群から選択される少なくとも 1 種の元素によって構成される六方最密 (hcp) 構造を有する。金属下地層 159 の厚さは、例えば 2 nm 以上 50 nm 以下であり、一例として 10 nm であるが、特に限定されない。

[0134] 金属下地層 159 の a 軸の格子定数の $\sqrt{2}$ 倍は、バリアメタル層 152 の格子定数以上であり、窒化物半導体層 120 の、下部電極 150C との接触面 120b における a 軸の格子定数の $\sqrt{2}$ 倍以下である。例えば、金属下地層 159 の a 軸の格子定数を “a” とした場合、以下の不等式 (4) を満たす。

[0135] (4) $a_1 \times \sqrt{2} \geq a_4 \times \sqrt{2} \geq a_2$

[0136] 金属下地層 159 が設けられることにより、下部電極 150C の結晶性を維持しながら、バリアメタル層 152 と窒化物半導体層 120 (チャネル層 124) との密着性を高めることができる。

[0137] キャパシタ 20 の代わりに、抵抗素子またはインダクタを備える場合も同様である。図 5B は、受動素子として抵抗素子 21C を備える本変形例に係る窒化物半導体装置 2C の断面図である。図 5C は、受動素子としてインダクタ 22C を備える本変形例に係る窒化物半導体装置 3C の断面図である。

[0138] 図 5B に示す窒化物半導体装置 2C では、抵抗素子 21C が金属層 155C を含む。金属層 155C は、バリアメタル層 152 とチャネル層 124 との間に設けられた金属下地層 159 を含む。なお、バリアメタル層 152 は、実施の形態 1 に係る窒化物半導体装置 2 が備える金属層 155 と同じである。

[0139] 図 5C に示す窒化物半導体装置 3C では、インダクタ 22C が金属層 156C を含む。金属層 156C では、バリアメタル層 152 とチャネル層 12

4 との間に設けられた金属下地層 1 5 9 を含む。

[0140] これらの抵抗素子 2 1 C またはインダクタ 2 2 C を備える窒化物半導体装置 2 C および 3 C についても、窒化物半導体装置 1 C と同様に、金属層 1 5 5 C および 1 5 6 C の結晶性を維持しながら、金属層 1 5 5 C および 1 5 6 C の密着性を高めることができる。

[0141] [製造方法]

続いて、実施の形態 1 に係る窒化物半導体装置 1 の製造方法について説明する。

[0142] 図 6 は、本実施の形態に係る窒化物半導体装置 1 の製造方法の第 1 例を示すフローチャートである。図 7 A ～図 7 F は、本実施の形態に係る窒化物半導体装置 1 の製造方法の第 1 例に含まれる各工程を説明するための断面図である。

[0143] 図 6 および図 7 A に示すように、まず基板 1 1 0 上に窒化物半導体層 1 2 0 を形成する (S 1 0)。具体的には、バッファ層 1 2 2、チャネル層 1 2 4 およびバリア層 1 2 6 をこの順で形成する。各層の形成は、MOCVD (Metal-Organic Chemical Vapor Deposition) 法などによるエピタキシャル成長によって、窒化物半導体を結晶成長させることによって行われる。バッファ層 1 2 2 の形成の際には、C または Fe などの高抵抗化するための不純物がドーピングされてもよい。

[0144] 次に、図 7 B に示すように、ソース電極 1 4 0 用の第 1 リセス部 1 3 0 およびドレイン電極 1 4 2 用の第 1 リセス部 1 3 2 を形成する (S 1 1)。例えば、フォトリソグラフィによって所定形状のレジストパターンを形成し、当該レジストパターンを利用したドライエッチングなどによって、所定の範囲内のバリア層 1 2 6 とチャネル層 1 2 4 の一部とを除去することによって、第 1 リセス部 1 3 0 および 1 3 2 を形成する。

[0145] 次に、図 7 C に示すように、第 1 リセス部 1 3 0 および 1 3 2 内にそれぞれ、ソース電極 1 4 0 およびドレイン電極 1 4 2 を形成する (S 1 2)。例えば、EB (Electron Beam) 蒸着またはスパッタリングなど

によって、少なくとも第１リセス部１３０および１３２を覆うように金属膜を形成し、形成した金属膜をエッチングでパターニングすることにより、ソース電極１４０およびドレイン電極１４２を形成する。

[0146] 次に、図７Ｄに示すように、窒化物半導体層１２０上にゲート電極１４４を形成する（Ｓ１３）。例えば、ＥＢ蒸着またはスパッタリングなどによって、少なくともソース電極１４０とドレイン電極１４２との間の領域を覆うように金属膜を形成し、形成した金属膜をエッチングでパターニングすることにより、ゲート電極１４４を形成する。なお、ゲート電極１４４の形成工程は、ソース電極１４０およびドレイン電極１４２の形成工程の前に行われてもよい。

[0147] 次に、図７Ｅに示すように、不活化用の第２リセス部１３６を形成する（Ｓ１４）。例えば、フォトリソグラフィによって所定形状のレジストパターンを形成し、当該レジストパターンを利用したドライエッチングなどによって、不活性領域１０２内のバリア層１２６とチャネル層１２４の一部とを除去することによって、第２リセス部１３６を形成する。不活性領域１０２では、バリア層１２６が除去されることによって、チャネル層１２４内の２ＤＥＧ１２５が発生しなくなり、常温でのキャリア密度を $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ より小さくすることができる。

[0148] 次に、図７Ｆに示すように、不活性領域１０２で窒化物半導体層１２０に接する金属層（具体的には下部電極１５０）を形成する（Ｓ１５）。具体的には、バリアメタル層１５２および低抵抗金属層１５４をこの順で接触面１２０ｂ上に形成する。例えば、ＥＢ蒸着またはスパッタリングなどによって、少なくとも不活性領域１０２内の接触面１２０ｂを覆うように金属膜を形成し、形成した金属膜をエッチングでパターニングすることにより、下部電極１５０を形成する。このとき、窒化物半導体層１２０（チャネル層１２４）に対してコヒーレント状態またはメタモルフィック状態になるように下部電極１５０を形成する。具体的には、電極材料の成長速度を遅くする。例えば、スパッタリングの場合には供給するパワーを減らし、ＥＢ蒸着の場合、

温度を低くし、あるいは、ターゲットと材料との距離を離す。これにより、電極材料の成長速度を遅くすることができ、窒化物半導体層 120（チャンネル層 124）に対してコヒーレント状態またはメタモルフィック状態になる下部電極 150 を形成することができる。

[0149] 次に、不活性領域 102 内において、金属層（下部電極 150）上に絶縁層 160 を形成し、形成した絶縁層 160 上に上部電極 170 を形成する（S16）。絶縁層 160 は、例えば、プラズマ CVD（Chemical Vapor Deposition）法などによって少なくとも下部電極 150 を覆うように絶縁膜を成膜した後、成膜した絶縁膜の一部をエッチングで除去することにより形成される。上部電極 170 は、EB 蒸着またはスパッタリングなどによって、少なくとも絶縁層 160 を覆うように金属膜を形成し、形成した金属膜をエッチングでパターニングすることにより形成される。

[0150] 以上の工程を経て、図 1A に示すキャパシタ 20 を備える窒化物半導体装置 1 を製造することができる。

[0151] なお、絶縁層 160 および上部電極 170 の形成工程（S16）を省略することで、インダクタ 22 を備える窒化物半導体装置 3 を製造することができる。また、絶縁層 160 および上部電極 170 の形成工程（S16）を省略し、さらに、金属層の形成工程（S15）では、低抵抗金属層 154 の形成を省略することにより、抵抗素子 21 を備える窒化物半導体装置 2 を製造することができる。

[0152] 上述した窒化物半導体装置 1、2 および 3 の製造方法は、一例にすぎず、工程の順序の変更、工程の内容の変更などが行われてもよい。

[0153] 例えば、第 2 リセス部 136 の形成工程（S14）では、不活性領域 102 内のバリア層 126 の一部のみを除去し、所定の厚さのバリア層 126 を残存させてもよい。これにより、変形例 1 に係る窒化物半導体装置 1A、2A または 3A を形成することができる。あるいは、第 2 リセス部 136 の形成工程では、不活性領域 102 内のチャンネル層 124 を完全に除去してもよ

い。また、不活性領域 102 内のバッファ層 122 の一部を除去してもよい。これにより、変形例 2 に係る窒化物半導体装置 1B、2B または 3B を形成することができる。

[0154] また、第 2 リセス部 136 の形成は、位置合わせ用のアライメントマークの形成と同時にに行われてもよい。アライメントマークの形成は、通常、窒化物半導体層 120 の形成工程 (S10) と第 1 リセス部 130 および 132 の形成工程 (S11) との間に行われる。

[0155] また、金属層 (下部電極 150) の形成工程 (S15) では、バリアメタル層 152 を形成する前に、金属下地層 159 を形成してもよい。金属下地層 159 は、例えば、EB 蒸着またはスパッタリングなどによって、少なくとも不活性領域 102 内の接触面 120b を覆うように金属膜を形成し、形成した金属膜をエッチングでパターニングすることにより形成される。これにより、変形例 3 に係る窒化物半導体装置 1C、2C または 3C を形成することができる。

[0156] また、第 1 リセス部 130 および 132 を形成する工程 (S11) と第 2 リセス部 136 を形成する工程 (S14) とは、同時に行われてもよい。図 8 は、本実施の形態に係る窒化物半導体装置 1 の製造方法の第 2 例を示すフローチャートである。図 9A および図 9B はそれぞれ、本実施の形態に係る窒化物半導体装置 1 の製造方法の第 2 例に含まれる各工程を説明するための断面図である。

[0157] 図 8 および図 9A に示すように、窒化物半導体層 120 を形成した後、ソース電極 140 用の第 1 リセス部 130 およびドレイン電極 142 用の第 1 リセス部 132 と、不活化用の第 2 リセス部 136 とを同時に形成する (S21)。例えば、フォトリソグラフィによって所定形状のレジストパターンを形成し、当該レジストパターンを利用したドライエッチングなどによって、活性領域 101 における所定の範囲内と不活性領域 102 内との各々のバリア層 126 とチャネル層 124 の一部とを除去することによって、第 1 リセス部 130 および 132 ならびに第 2 リセス部 136 を同時に形成する。

同時に形成するので、第１リセス部１３０および１３２の各々の底面と、第２リセス部１３６の底面（接触面１２０ｂ）とは、同じ高さに位置している。

[0158] その後、図９Ｂに示すように、第１リセス部１３０および１３２内にそれぞれ、ソース電極１４０およびドレイン電極１４２を形成する（Ｓ１２）。以降の処理は、図８に示すように、第２リセス部１３６の形成工程（Ｓ１４）が省略されている点を除いて、図６に示した第１例と同じである。

[0159] 第１リセス部１３０および１３２、ならびに、第２リセス部１３６を同時に形成することで、製造工程を簡略化することにより、製造誤差などが生じる可能性を低くすることができ、歩留まりを高めることができる。

[0160] また、金属層（下部電極１５０）を形成する工程（Ｓ１５）とゲート電極１４４を形成する工程（Ｓ１３）とは、同時に行われてもよい。図１０は、本実施の形態に係る窒化物半導体装置１の製造方法の第３例を示すフローチャートである。

[0161] 図１０に示すように、窒化物半導体層１２０の形成（Ｓ１０）からソース電極１４０およびドレイン電極１４２の形成（Ｓ１２）までの処理は、図８に示す製造方法の第２例と同じである。ソース電極１４０およびドレイン電極１４２を形成した後、ゲート電極１４４と金属層（下部電極１５０）とを同時に形成する（Ｓ３３）。下部電極１５０は、窒化物半導体層１２０（チャネル層１２４）に対してコヒーレント状態またはメタモルフィック状態にするため、遅い成長速度で形成される。ゲート電極１４４の形成速度も同じになる。ゲート電極１４４と下部電極１５０とを同時に形成することで、図７Ｆに示す構成が得られる。以降、絶縁層１６０および上部電極１７０を順に形成することで、図１Ａに示す窒化物半導体装置１を製造することができる。

[0162] ゲート電極１４４と金属層（下部電極１５０）とを同時に形成することで、製造工程を簡略化することにより、製造誤差などが生じる可能性を低くすることができ、歩留まりを高めることができる。

[0163] (実施の形態2)

続いて、実施の形態2に係る窒化物半導体装置について説明する。実施の形態2では、実施の形態1と比較して、窒化物半導体層の表面を保護するパッシベーション膜が設けられている点が主な相違点である。以下では、実施の形態1との相違点を中心に説明を行い、共通点の説明を省略または簡略化する。

[0164] 図11は、本実施の形態に係る窒化物半導体装置201の断面図である。図11に示すように、窒化物半導体装置201は、実施の形態1に係る窒化物半導体装置1と比較して、キャパシタ20の代わりにキャパシタ220を備える点と、パッシベーション膜180および182を備える点とが相違する。

[0165] パッシベーション膜180は、窒化物半導体層120の表面を保護するために設けられている。具体的には、パッシベーション膜180は、活性領域101における窒化物半導体層120の最上面120aを覆っている。パッシベーション膜180には、活性領域101において、ソース電極140、ドレイン電極142およびゲート電極144の各々を設けるための開口が形成されている。ソース電極140およびドレイン電極142用の開口は、第1リセス部130および132と平面視で重なる位置に設けられている。また、ゲート電極144用の開口には、窒化物半導体層120の最上面120aが露出しており、ゲート電極144を最上面120a上に接触して設けることができる。なお、ゲート電極144用の開口は設けられていなくてもよく、パッシベーション膜180上にゲート電極144が設けられていてもよい。この場合、パッシベーション膜180をゲート絶縁膜として利用することができる。

[0166] パッシベーション膜182は、トランジスタ10の表面を保護するために設けられている。具体的には、パッシベーション膜182は、活性領域101内では、ソース電極140、ドレイン電極142およびゲート電極144、ならびに、パッシベーション膜180を覆っている。さらに、パッシベー

ション膜 182 は、不活性領域 102 内において第 2 リセス部 136 の内面を覆っている。パッシベーション膜 182 には、不活性領域 102 内において、窒化物半導体層 120（チャネル層 124）の上面（接触面 120b）を露出させるための開口 183 が設けられている。

[0167] パッシベーション膜 180 および 182 はそれぞれ、絶縁性の材料を用いて形成されている。例えば、パッシベーション膜 180 および 182 はそれぞれ、SiN、SiO₂、SiC などの単層膜または積層膜であるが、これに限定されない。パッシベーション膜 180 および 182 が設けられていることで、電極間の絶縁性、および、電極と金属層（下部電極 150）との間の絶縁性を高めることができ、リーク電流を抑制することができる。

[0168] 本実施の形態では、キャパシタ 220 は、下部電極 250 と、絶縁層 260 と、上部電極 270 と、を含む。下部電極 250 は、バリアメタル層 252 と、低抵抗金属層 254 と、を含む。バリアメタル層 252、低抵抗金属層 254、絶縁層 260 および上部電極 270 はそれぞれ、実施の形態 1 に係るバリアメタル層 152、低抵抗金属層 154、絶縁層 160 および上部電極 170 に対応しており、各々の形状および配置位置が異なっている。

[0169] 下部電極 250 は、パッシベーション膜 182 に設けられた開口 183 に露出したチャネル層 124 に接する。下部電極 250（バリアメタル層 252）の一部は、パッシベーション膜 182 の上面に設けられている。下部電極 250 の x 軸方向の長さは、開口 183 の x 軸方向の長さよりも長い。下部電極 250 のうち、平面視においてパッシベーション膜 182 に重なる部分は、コヒーレント状態およびメタモルフィック状態のいずれでもない。本実施の形態に係る下部電極 250 は、平面視において、パッシベーション膜 182 の開口 183 に重なる範囲において、コヒーレント状態またはメタモルフィック状態を含んでいる。

[0170] 上部電極 270 は、平面視において、開口 183 よりも小さい。平面視において、上部電極 270 は全体が開口 183 内に設けられている。すなわち、上部電極 270 は、下部電極 250 のうち、コヒーレント状態またはメタ

モルフィック状態になっている部分と平面視で重なる位置に設けられている。つまり、下部電極 250 のうち結晶性が高く、低抵抗な部分と対向する位置に上部電極 270 が設けられており、キャパシタ 220 として機能する。下部電極 250 のうち、平面視で開口 183 に重なる位置ではヒロックなどの異常成長が抑制されるので、絶縁層 260 のカバレッジの低下および電界集中を抑制することができる。これにより、キャパシタ 220 の耐圧の低下を抑制することができる。

[0171] このように、本実施の形態に係る窒化物半導体装置 201 では、キャパシタ 220 の高周波特性の低下を抑制しながらトランジスタ 10 を保護することにより、信頼性を高めることができる。すなわち、本実施の形態によれば、高周波特性に優れた信頼性の高い窒化物半導体装置 201 を実現することができる。

[0172] なお、パッシベーション膜 182 をキャパシタ 220 の絶縁層 260 として利用することもできる。図 12 は、本実施の形態の変形例に係る窒化物半導体装置 201A の断面図である。

[0173] 図 12 に示すように、窒化物半導体装置 201A は、実施の形態 2 に係る窒化物半導体装置 201 と比較して、パッシベーション膜 182 およびキャパシタ 220 の代わりにパッシベーション膜 282 およびキャパシタ 220A を備える点と、素子分離領域 190 が設けられている点とが相違する。また、不活性領域 102 には、第 2 リセス部 136 の代わりに、第 2 リセス部 236 が設けられている。

[0174] キャパシタ 220A は、下部電極 251 と、パッシベーション膜 282 と、上部電極 270 と、を含む。パッシベーション膜 282 の一部が下部電極 251 と上部電極 270 との間に設けられている。

[0175] 下部電極 251 は、下部電極 250 に対応しており、第 2 リセス部 236 を埋めるように設けられている点が相違する。なお、図示していないが、下部電極 251 は、バリアメタル層と、低抵抗金属層との積層構造を含んでいる。下部電極 251 は、第 2 リセス部 236 の底面である接触面 120b で

チャンネル層 124 と接している。これにより、下部電極 251 は、平面視において、第 2 リセス部 236 の底面（接触面 120b）に重なる範囲において、コヒーレント状態またはメタモルフィック状態を含んでいる。

[0176] 図 12 に示す例では、下部電極 251 は、第 2 リセス部 236 の内壁面にも接している。具体的には、下部電極 251 は、バリア層 126 にも接しており、バリア層 126 とチャンネル層 124 との界面近傍に生じる 2DEG 125 に接している。このため、下部電極 251 とトランジスタ 10 のチャンネルとの電氣的な接続を遮断するために、素子分離領域 190 が設けられている。

[0177] 素子分離領域 190 は、例えば C または Fe などの窒化物半導体を高抵抗化するための不純物が添加された領域である。素子分離領域 190 は、2DEG 125 を遮断するように、少なくともチャンネル層 124 に設けられている。例えば、イオン注入により、バリア層 126 の最表面から、チャンネル層 124 およびバッファ層 122 にかけて連続するように素子分離領域 190 が設けられている。本変形例では、不活性領域 102 には、素子分離領域 190 も含まれる。言い換えると、トランジスタ 10 が設けられる活性領域 101 の 2DEG 125 とは、素子分離領域 190 によって分離された範囲を不活性領域 102 とみなしている。

[0178] 素子分離領域 190 は、イオン注入によって形成されるので、結晶構造が崩れている。このため仮に、素子分離領域 190 上に下部電極 251 を形成したとしても、下部電極 251 が窒化物半導体層 120 に対してコヒーレント状態またはメタモルフィック状態にはならない。本変形例では、第 2 リセス部 236 を設けることにより、チャンネル層 124 の一部を露出させ、チャンネル層 124 の露出した面である接触面 120b 上に下部電極 251 が設けられている。これにより、下部電極 251 の結晶性を高めることができ、低抵抗化を実現し、かつ、ヒロックなどの異常成長を抑制することができる。

[0179] また、本変形例では、パッシベーション膜 282 がキャパシタ 220A の絶縁層として機能している。キャパシタ 220A の専用の絶縁層を形成する

場合に比べて、製造工程を簡略化することができる。よって、製造誤差などが生じる可能性を低くすることができ、歩留まりを高めることができる。

[0180] なお、実施の形態2および変形例では、窒化物半導体装置201および201Aが、受動素子としてキャパシタを備える例を示したが、実施の形態1と同様に、抵抗素子またはインダクタを備えてもよい。また、実施の形態1に適用される各変形例についても、窒化物半導体装置201および201Aにも適用することができる。

[0181] (他の実施の形態)

以上、1つまたは複数の態様に係る窒化物半導体装置について、実施の形態に基づいて説明したが、本開示は、これらの実施の形態に限定されるものではない。本開示の主旨を逸脱しない限り、当業者が思いつく各種変形を本実施の形態に施したもの、および、異なる実施の形態における構成要素を組み合わせて構築される形態も、本開示の範囲内に含まれる。

[0182] また、例えば、不活性領域102には、複数の受動素子が設けられてもよい。例えば、不活性領域102には、キャパシタ20、抵抗素子21およびインダクタ22からなる群から選択される少なくとも1つの素子が複数設けられていてもよい。複数の受動素子同士は、電氣的に接続されていてもよく、電氣的には分離していてもよい。同様に、活性領域101には、複数の能動素子が設けられていてもよい。

[0183] また、例えば、第1リセス部130および132は設けられていなくてもよく、ソース電極140およびドレイン電極142はそれぞれ、バリア層126の上面に設けられていなくてもよい。すなわち、ソース電極140およびドレイン電極142は、チャネル層124および2DEG125に接触していなくてもよい。

[0184] また、例えば、窒化物半導体層120は、チャネル層124およびバリア層126を含んでいなくてもよい。窒化物半導体層120は、Siなどのn型の不純物が添加されたGa₂N、InGa₂Nなどからなる窒化物半導体層であってもよい。つまり、トランジスタ10は、HEMTでなくともよく、M

OSFET (Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor) などの他のFETであってもよい。

[0185] また、例えば、窒化物半導体層120に対してコヒーレント状態またはメタモルフィック状態になる金属層は、ソース電極140またはドレイン電極142と同じ工程で形成されてもよい。

[0186] また、上記の各実施の形態は、請求の範囲またはその均等の範囲において種々の変更、置き換え、付加、省略などを行うことができる。

産業上の利用可能性

[0187] 本開示に係る窒化物半導体装置は、例えば、高出力もしくは高周波用途の電力増幅器、当該電力増幅器が用いられる無線通信基地局もしくは端末機器、または、マイクロ波を利用した電力伝送を行うワイヤレス給電装置などに利用することができる。

符号の説明

[0188] 1、1A、1B、1C、2、2A、2B、2C、3、3A、3B、3C、201、201A 窒化物半導体装置
10 トランジスタ
20、20C、220、220A キャパシタ
21、21C 抵抗素子
22、22C インダクタ
101 活性領域
102 不活性領域
110 基板
120 窒化物半導体層
120a 最上面
120b 接触面
122 バッファ層
124 チャネル層

1 2 5 2 D E G

1 2 6 バリア層

1 3 0、1 3 2 第 1 リセス部

1 3 6、1 3 6 A、1 3 6 B、2 3 6 第 2 リセス部

1 4 0 ソース電極

1 4 2 ドレイン電極

1 4 4 ゲート電極

1 5 0、1 5 0 C、2 5 0、2 5 1 下部電極

1 5 2、2 5 2 バリアメタル層

1 5 4、1 5 8、2 5 4 低抵抗金属層

1 5 5、1 5 5 C、1 5 6、1 5 6 C 金属層

1 5 9 金属下地層

1 6 0、2 6 0 絶縁層

1 7 0、2 7 0 上部電極

1 8 0、1 8 2、2 8 2 パッシベーション膜

1 8 3 開口

1 9 0 素子分離領域

請求の範囲

- [請求項1] 能動素子と受動素子とを備える窒化物半導体装置であって、
平面視で活性領域と不活性領域とに区分される窒化物半導体層と、
前記不活性領域で前記窒化物半導体層に接する金属層と、を備え、
前記能動素子は、前記活性領域に設けられ、
前記受動素子は、前記不活性領域に設けられ、
前記金属層は、前記窒化物半導体層に対してコヒーレント状態またはメタモルフィック状態を含む、
窒化物半導体装置。
- [請求項2] 前記窒化物半導体層は、チャネル層と、前記チャネル層の上方に設けられたバリア層と、を含み、
前記能動素子は、前記チャネル層と前記バリア層との界面近傍に生じる二次元電子ガスを含む、
請求項1に記載の窒化物半導体装置。
- [請求項3] 前記活性領域において、前記チャネル層のキャリア密度は、 $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ 以上である、
請求項2に記載の窒化物半導体装置。
- [請求項4] 前記窒化物半導体層は、複数の層からなる積層構造を有し、
前記不活性領域において、前記窒化物半導体層の最上層のキャリア密度は、 $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ より小さい、
請求項1～3のいずれか1項に記載の窒化物半導体装置。
- [請求項5] 前記不活性領域における前記窒化物半導体層と前記金属層との接触面は、前記活性領域における前記窒化物半導体層の最上面よりも下方に位置している、
請求項1～4のいずれか1項に記載の窒化物半導体装置。
- [請求項6] 前記窒化物半導体層は、前記チャネル層の下方に設けられたバッファ層をさらに含み、
前記金属層は、前記不活性領域で前記バッファ層に接する、

請求項 2 または 3 に記載の窒化物半導体装置。

[請求項7] 前記窒化物半導体層は、C または Fe がドーピングされた不純物領域を含み、

前記金属層は、前記不活性領域で前記不純物領域に接する、
請求項 1 ～ 6 のいずれか 1 項に記載の窒化物半導体装置。

[請求項8] 前記金属層は、
バリアメタル層と、
前記バリアメタル層の上方に設けられ、前記バリアメタル層よりも抵抗が低い低抵抗金属層と、を含む、

請求項 1 ～ 7 のいずれか 1 項に記載の窒化物半導体装置。

[請求項9] 前記受動素子は、前記金属層を含む抵抗素子である、
請求項 1 ～ 8 のいずれか 1 項に記載の窒化物半導体装置。

[請求項10] 前記受動素子は、前記金属層を下部電極として含むキャパシタである、

請求項 1 ～ 8 のいずれか 1 項に記載の窒化物半導体装置。

[請求項11] 前記受動素子は、前記金属層を含むインダクタである、
請求項 1 ～ 8 のいずれか 1 項に記載の窒化物半導体装置。

[請求項12] 前記バリアメタル層の格子定数は、前記低抵抗金属層の格子定数より大きく、前記窒化物半導体層の、前記金属層との接触面における a 軸の格子定数の $\sqrt{2}$ 倍以下である、

請求項 8 に記載の窒化物半導体装置。

[請求項13] 前記低抵抗金属層およびバリアメタル層の各々の格子定数は、前記窒化物半導体層の、前記金属層との接触面における a 軸の格子定数の $\sqrt{2}$ 倍の 90% 以上である、

請求項 12 に記載の窒化物半導体装置。

[請求項14] 前記低抵抗金属層は、Al、Cu、Au、Ag および Pt からなる群から選択される少なくとも 1 種の元素によって構成される面心立方格子構造を有する、

請求項 8、12 または 13 に記載の窒化物半導体装置。

[請求項15] 前記バリアメタル層は、Ti、Ta、W および Hf からなる群から選択される少なくとも 1 種の元素と、N および C の少なくとも一方の元素とによって構成される N a C l 型構造を有する、

請求項 8、12 ～ 14 のいずれか 1 項に記載の窒化物半導体装置。

[請求項16] 前記金属層は、前記バリアメタル層と前記窒化物半導体層との間に設けられ、Ti、Ta、W および Hf からなる群から選択される少なくとも 1 種の元素によって構成される六方最密構造を有する層をさらに含む、

請求項 8、12 ～ 15 のいずれか 1 項に記載の窒化物半導体装置。

[請求項17] 前記能動素子は、ゲート電極、ソース電極およびドレイン電極を含み、

前記ゲート電極、前記ソース電極および前記ドレイン電極の少なくとも 1 つは、前記金属層の少なくとも一部と同じ材料を含む、

請求項 1 ～ 16 のいずれか 1 項に記載の窒化物半導体装置。

[請求項18] 能動素子と受動素子とを備える窒化物半導体装置の製造方法であって、

平面視で活性領域と不活性領域とに区分される窒化物半導体層を形成する工程と、

前記不活性領域で前記窒化物半導体層に接する金属層を形成する工程と、を含み、

前記能動素子は、前記活性領域に設けられ、

前記受動素子は、前記不活性領域に設けられ、

前記金属層は、前記窒化物半導体層に対してコヒーレント状態またはメタモルフィック状態を含む、

窒化物半導体装置の製造方法。

[請求項19] 前記窒化物半導体層に第 1 リセス部を形成する工程と、
前記第 1 リセス部内に前記能動素子のソース電極およびドレイン電

極を形成する工程と、

前記窒化物半導体層上に前記能動素子のゲート電極を形成する工程と、

前記金属層を形成する前に前記窒化物半導体層に第２リセス部を形成する工程と、を含み、

前記金属層を形成する工程では、前記第２リセス部の底面に前記金属層を形成する、

請求項１８に記載の窒化物半導体装置の製造方法。

[請求項20] 前記第１リセス部を形成する工程および前記第２リセス部を形成する工程は、同時に行われる、

請求項１９に記載の窒化物半導体装置の製造方法。

[請求項21] 前記金属層を形成する工程および前記ゲート電極を形成する工程は、同時に行われる、

請求項１９または２０に記載の窒化物半導体装置の製造方法。

[請求項22] 前記受動素子は、前記金属層を下部電極として含むキャパシタであり、

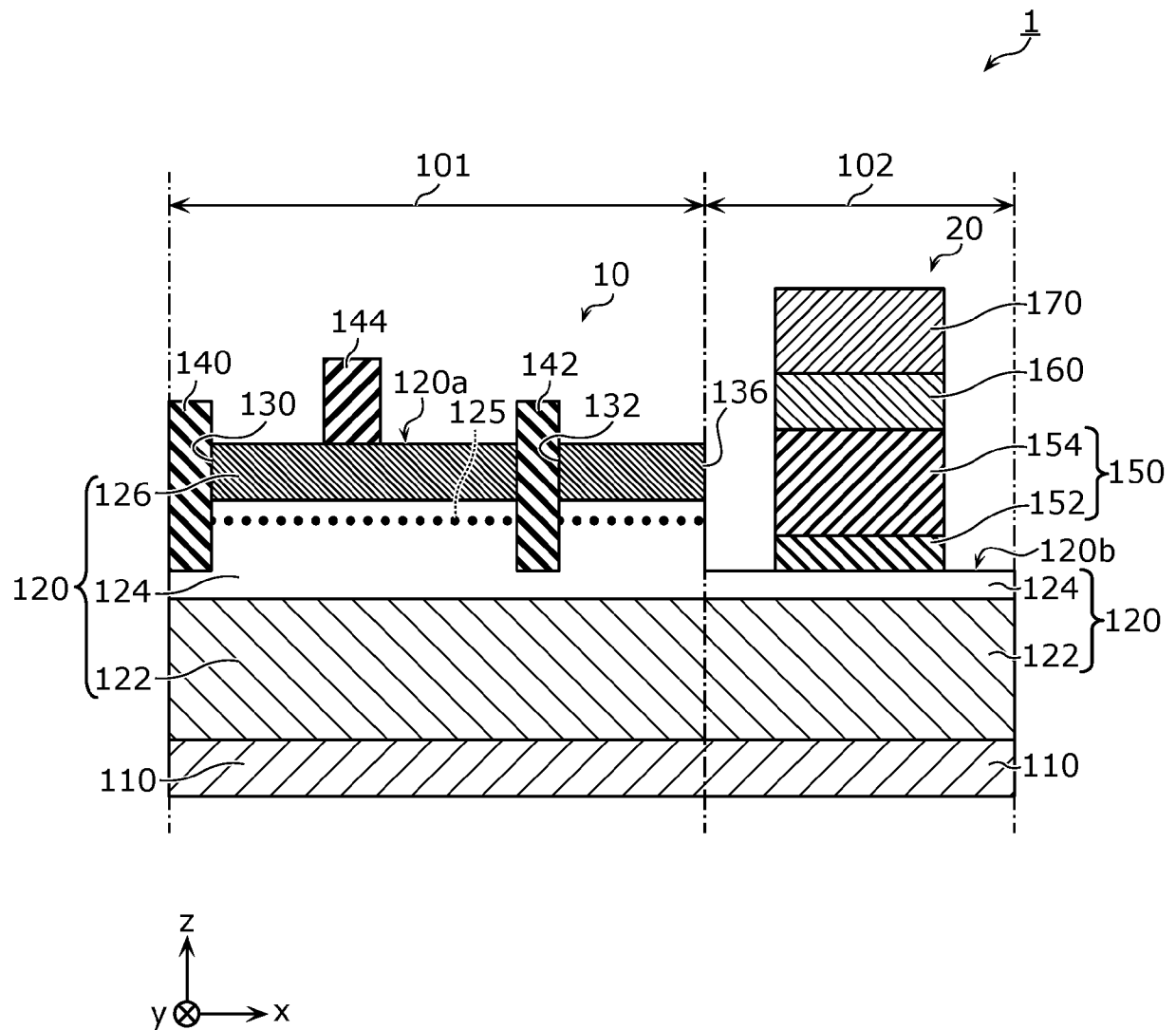
前記窒化物半導体装置の製造方法は、さらに、

前記金属層上に絶縁層を形成する工程と、

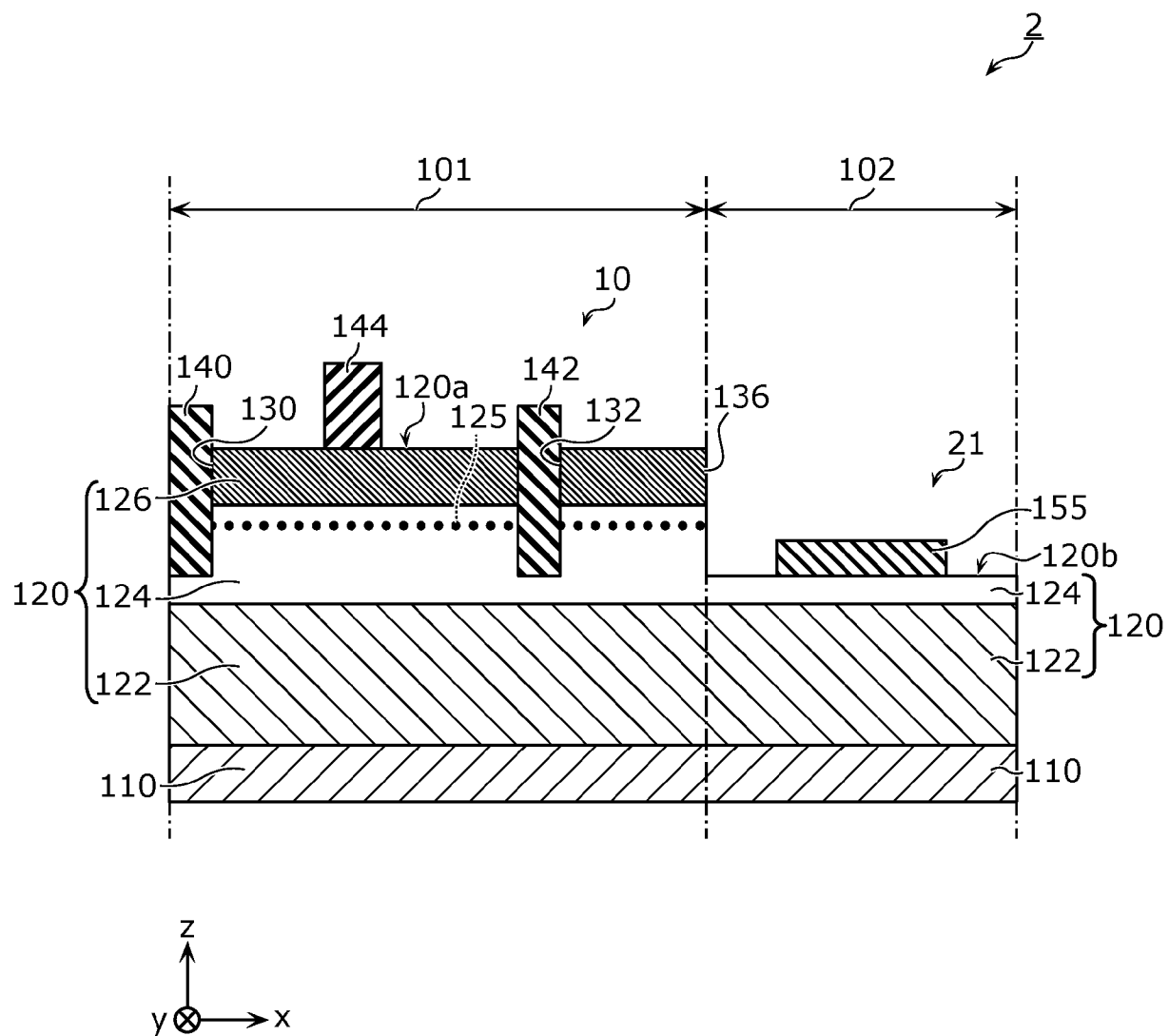
前記絶縁層上に上部電極を形成する工程と、を含む、

請求項２１に記載の窒化物半導体装置の製造方法。

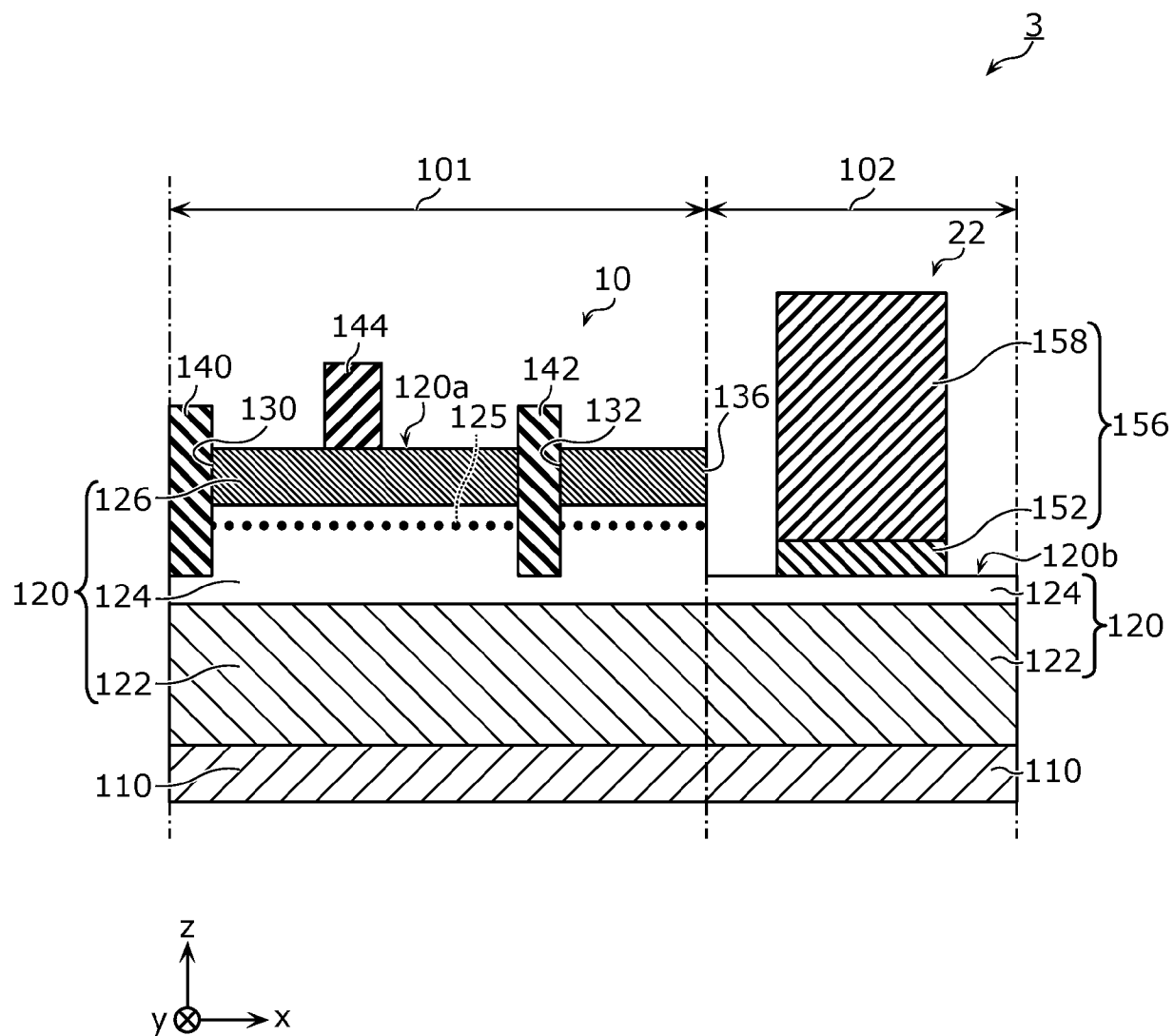
[図1A]



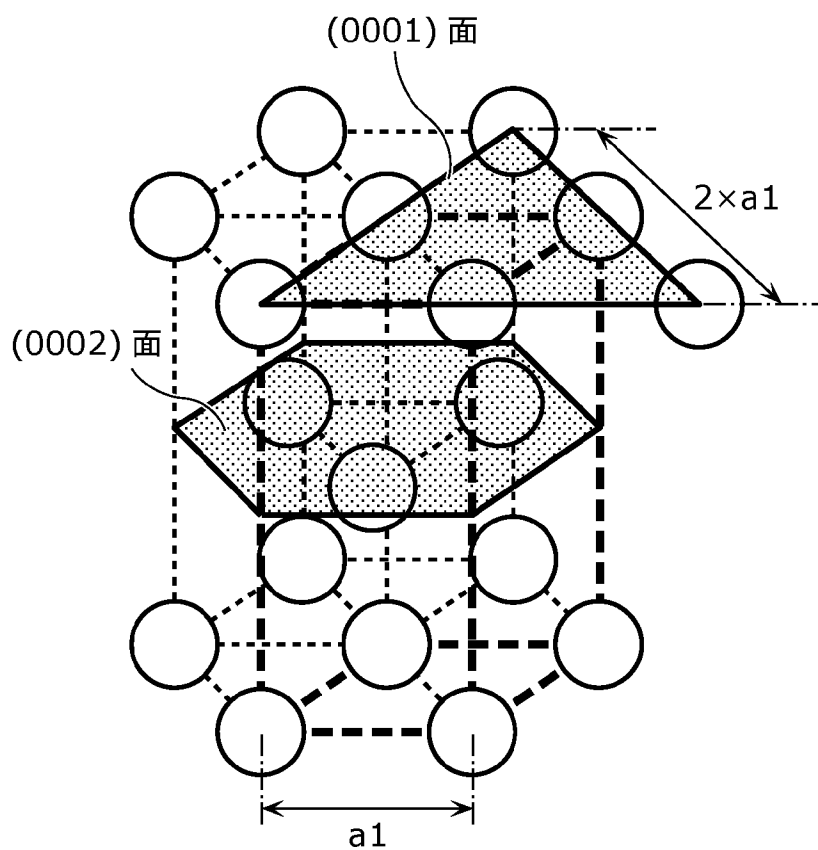
[図1B]



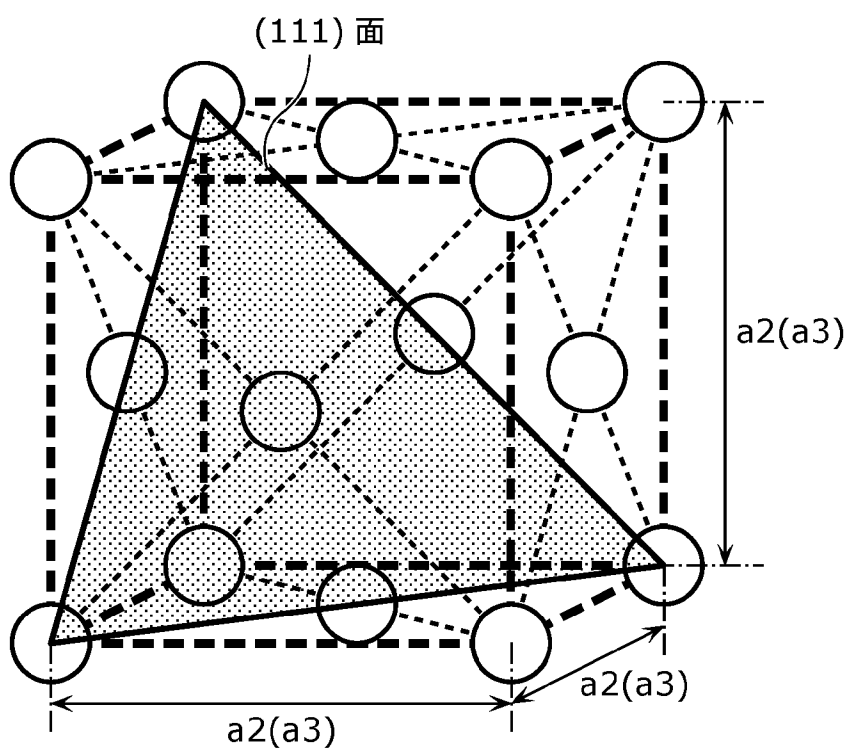
[図1C]



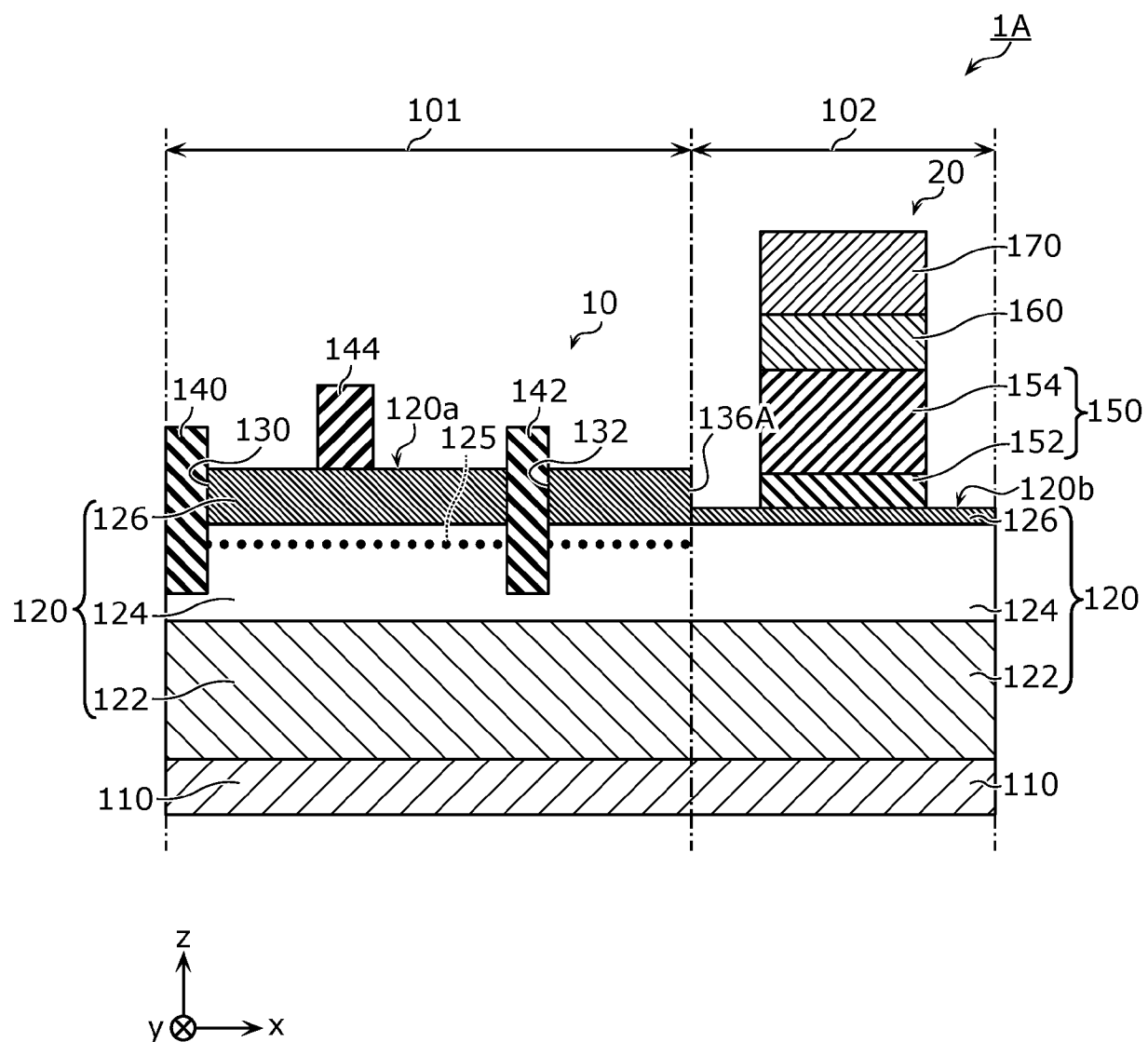
[図2A]



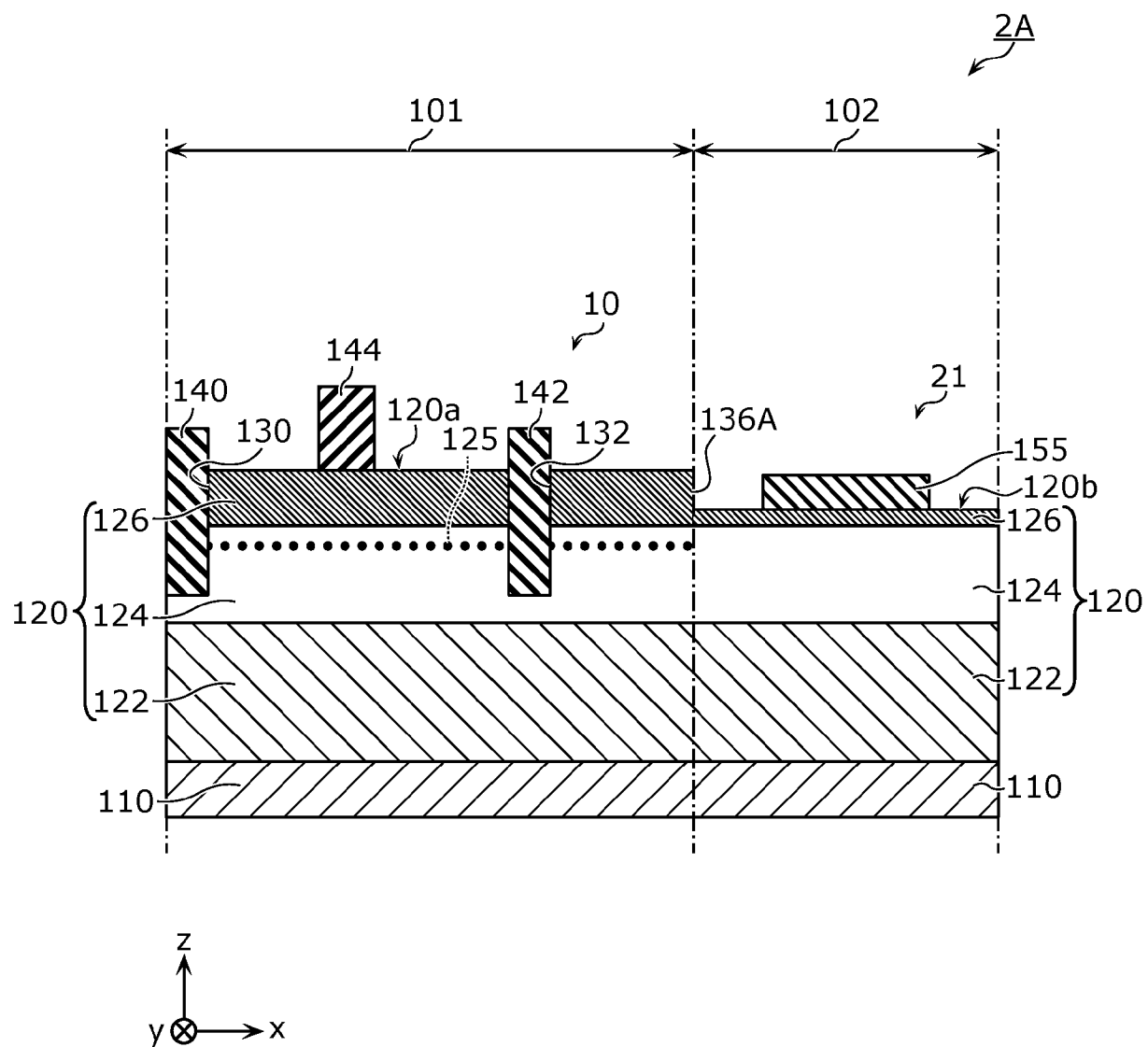
[図2B]



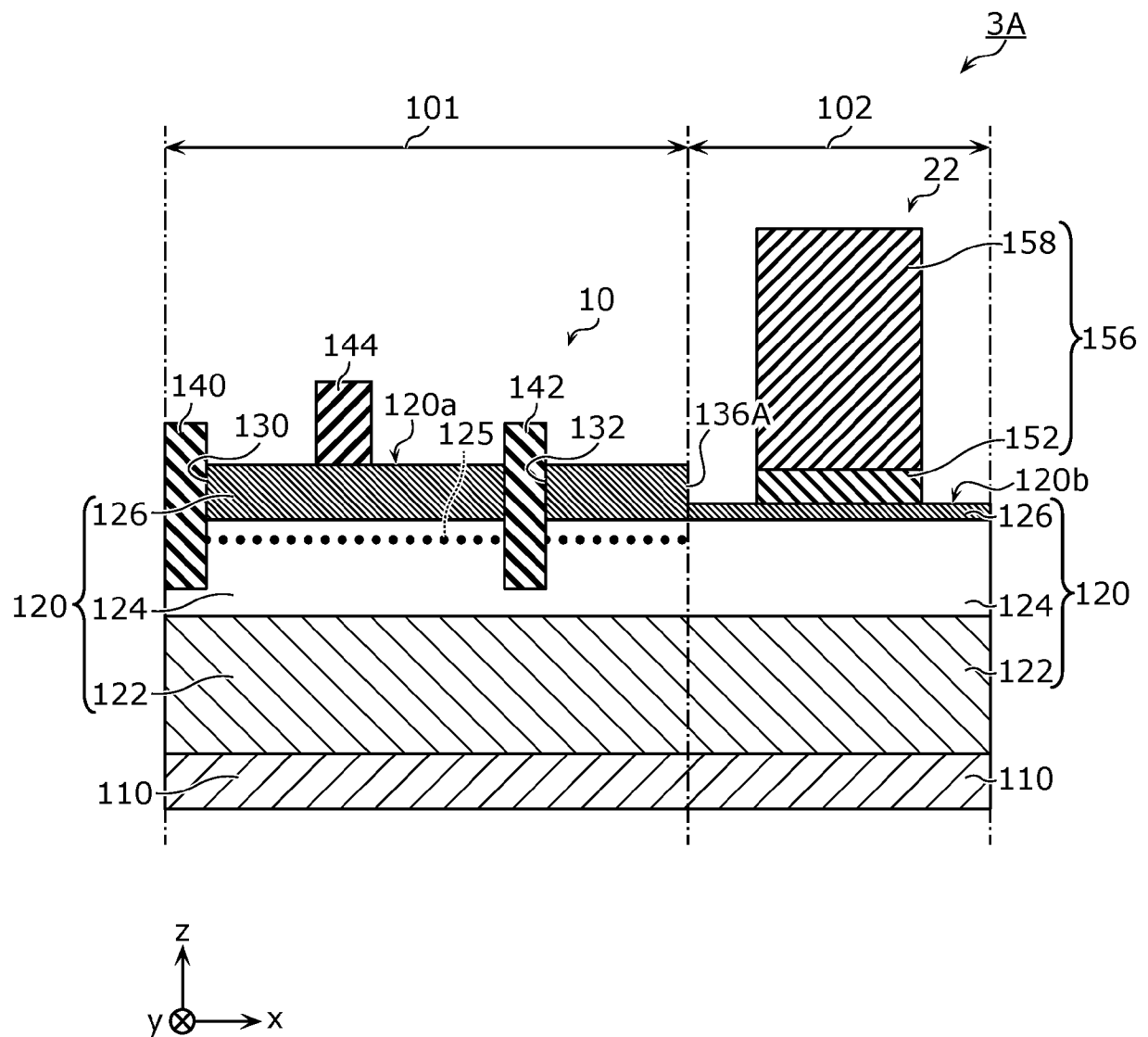
[図3A]



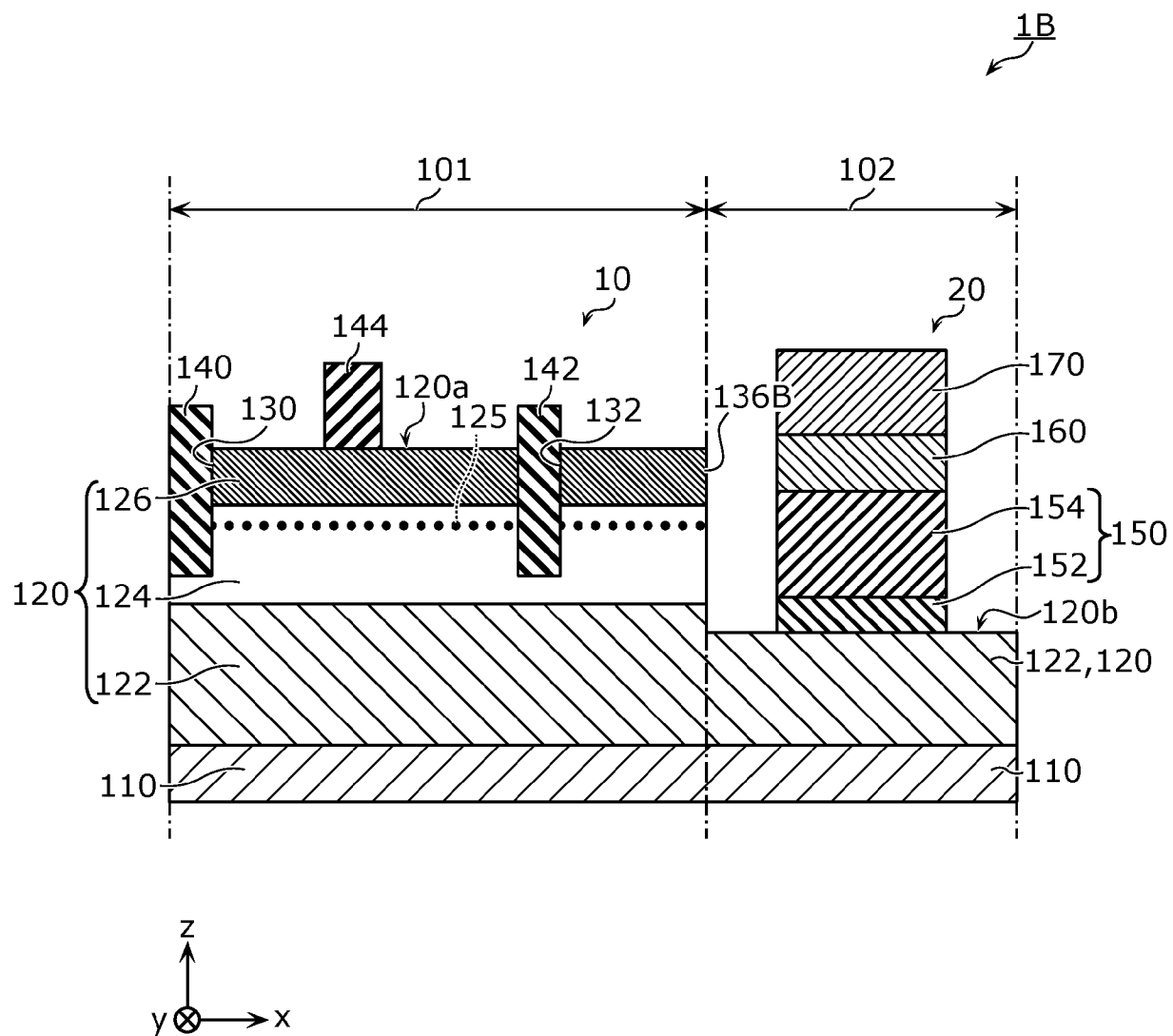
[図3B]



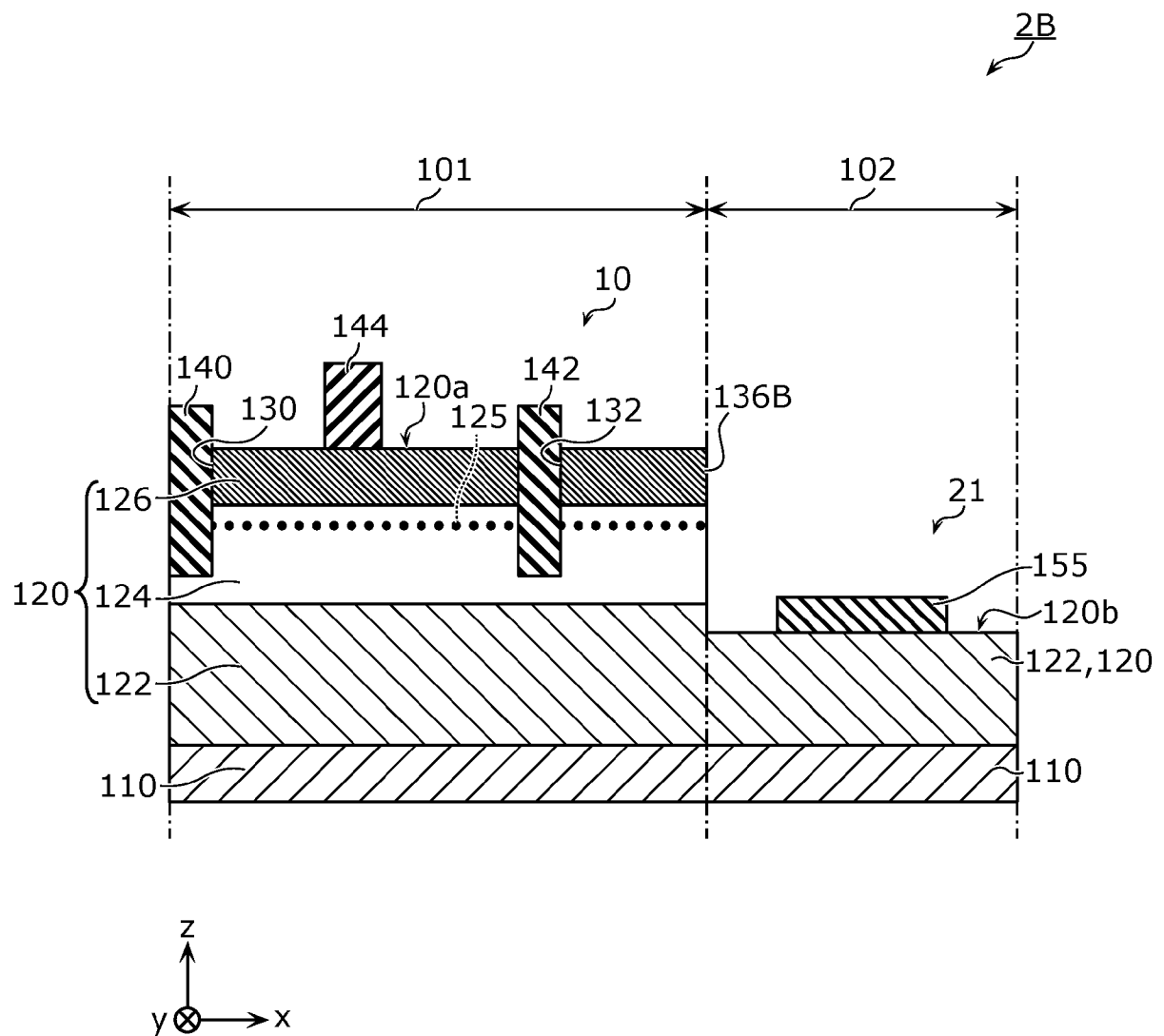
[図3C]



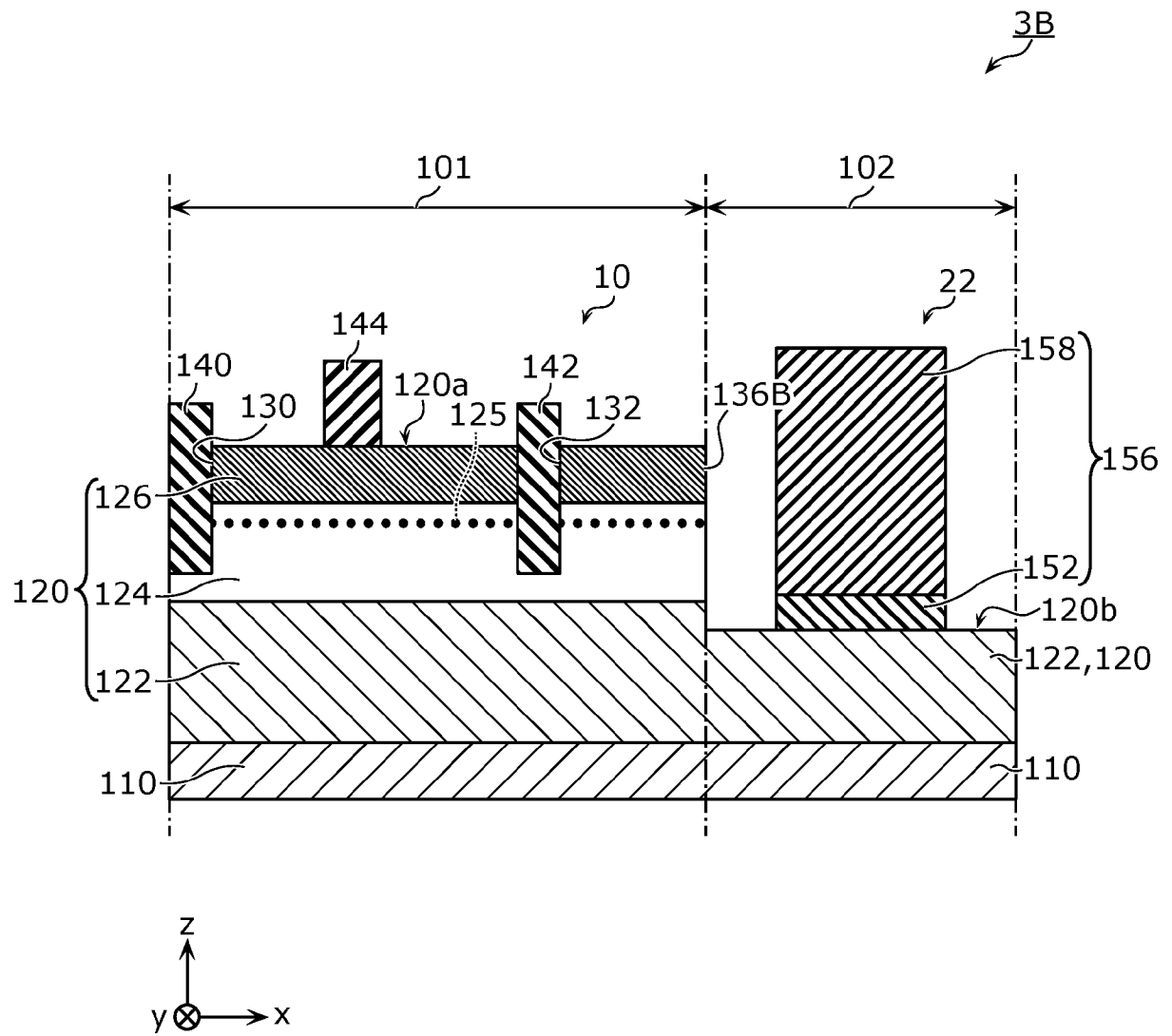
[図4A]



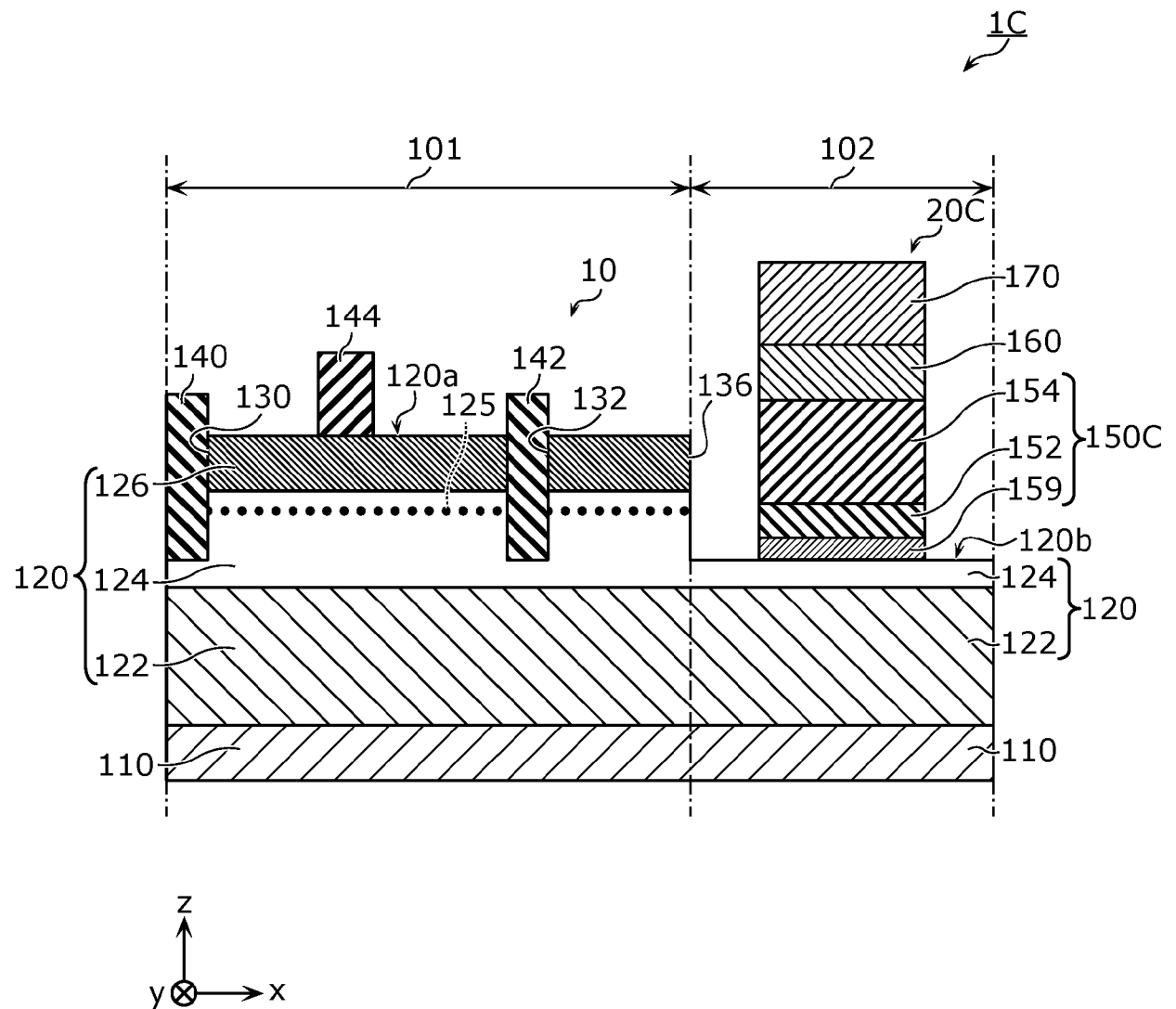
[図4B]



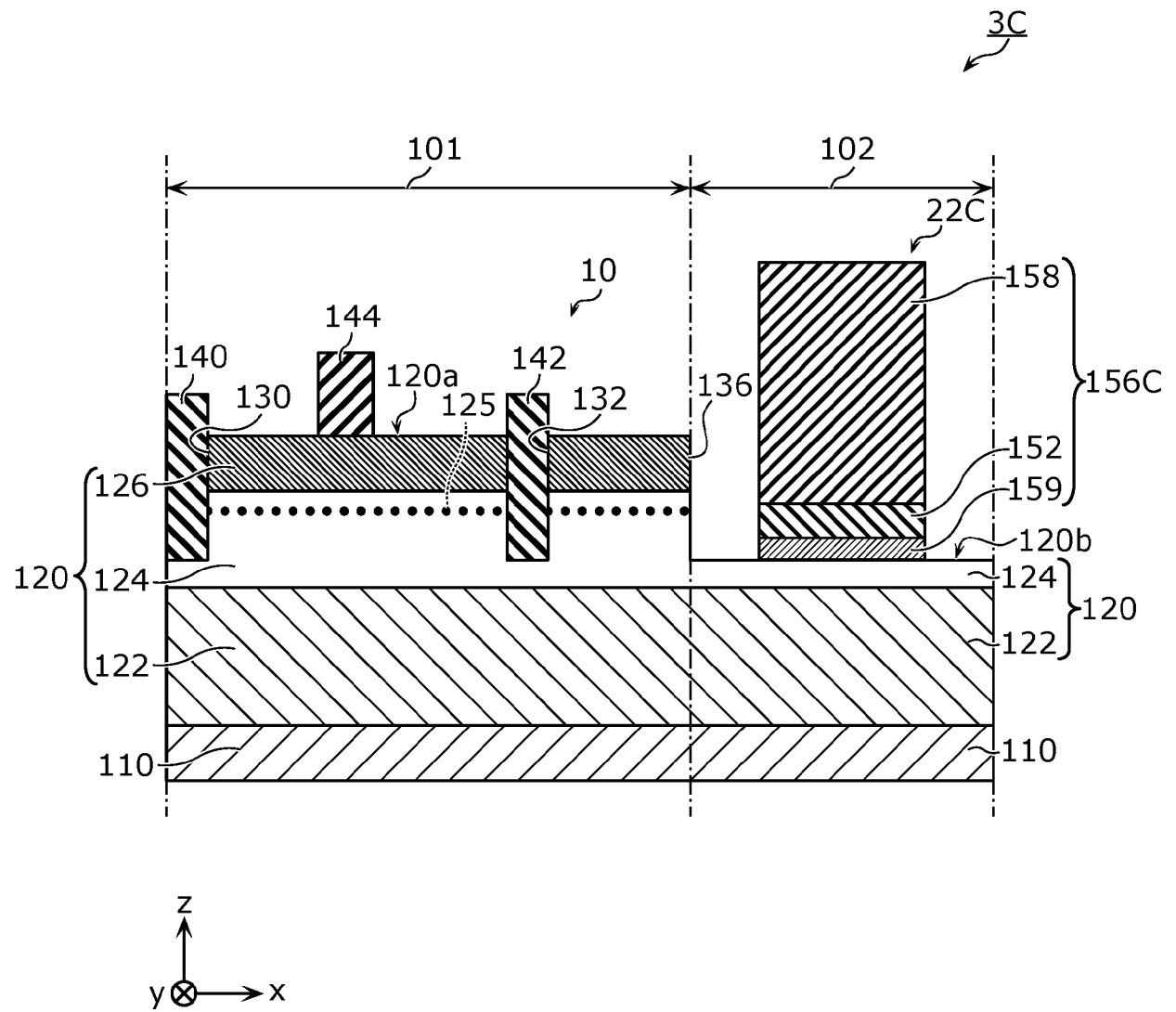
[図4C]



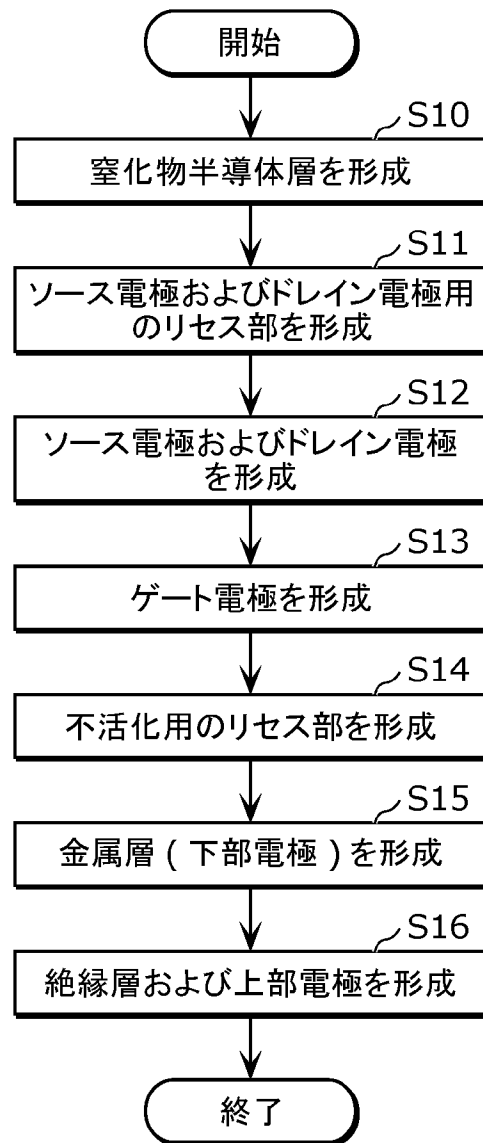
[図5A]



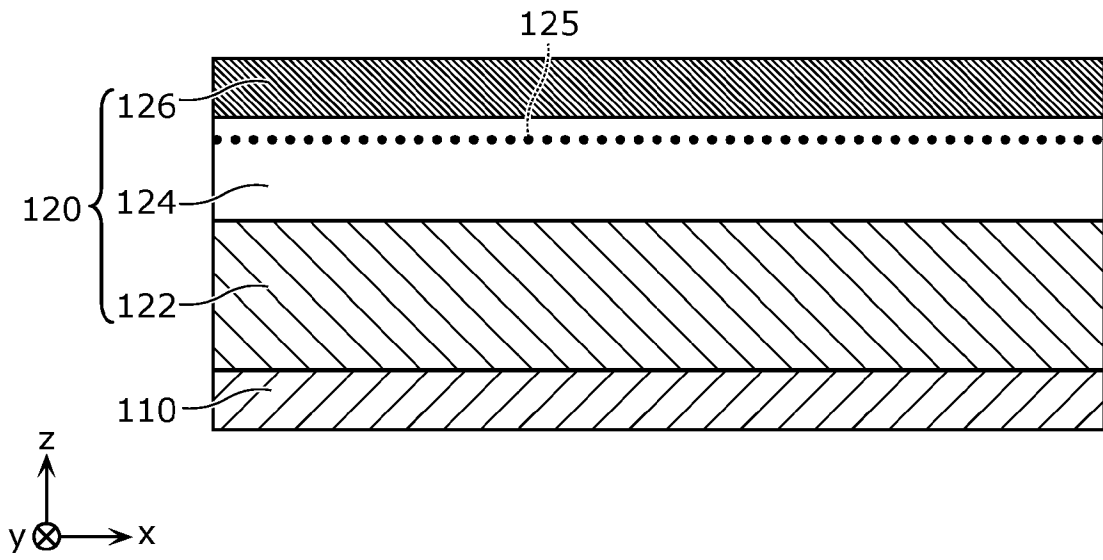
[図5C]



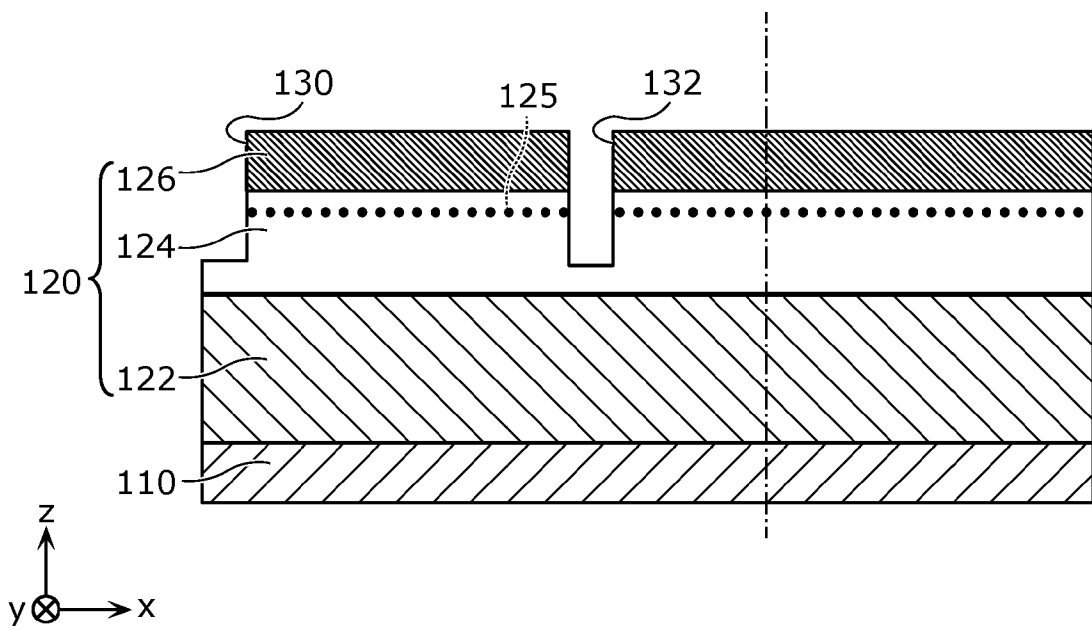
[図6]



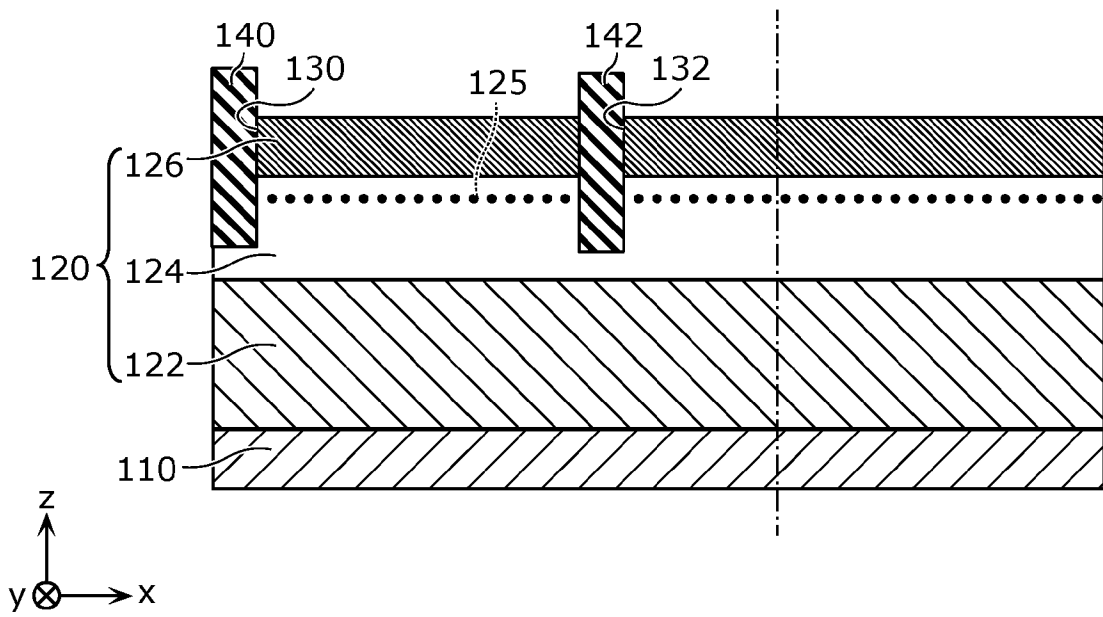
[図7A]



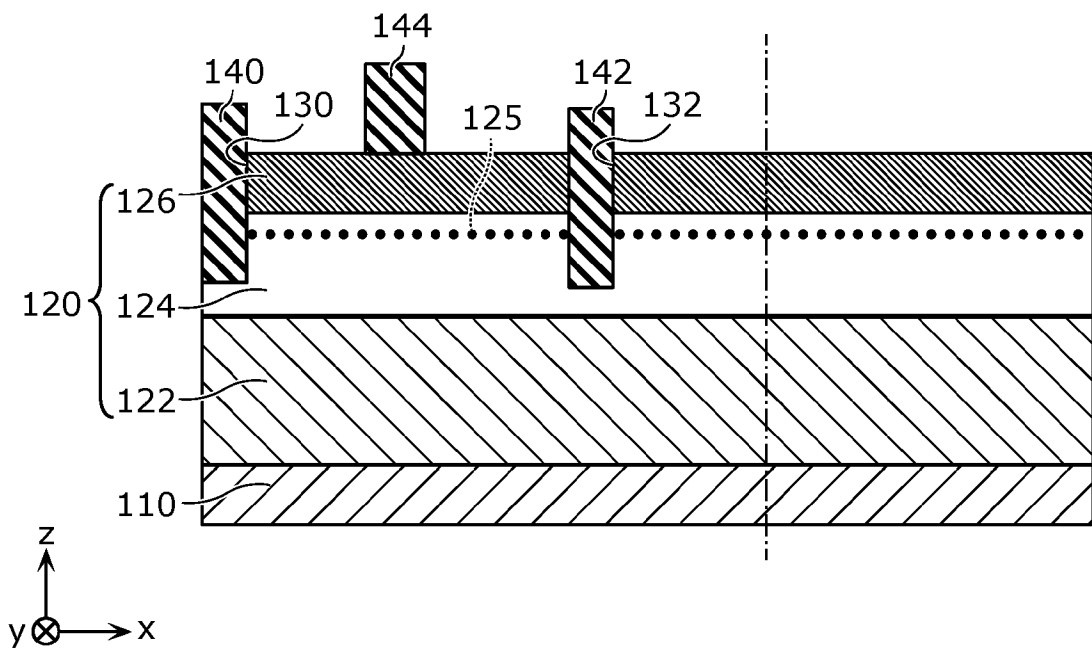
[図7B]



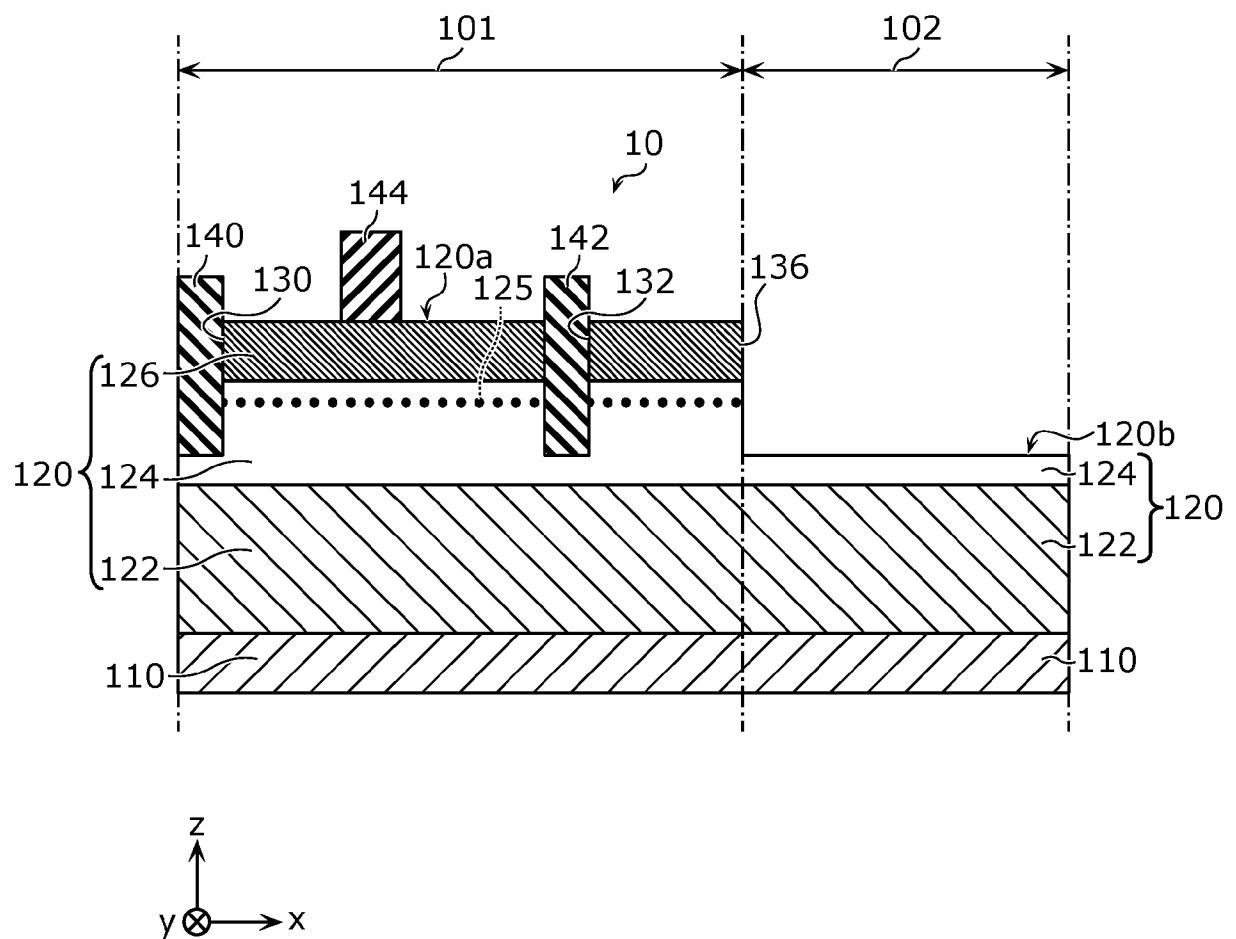
[図7C]



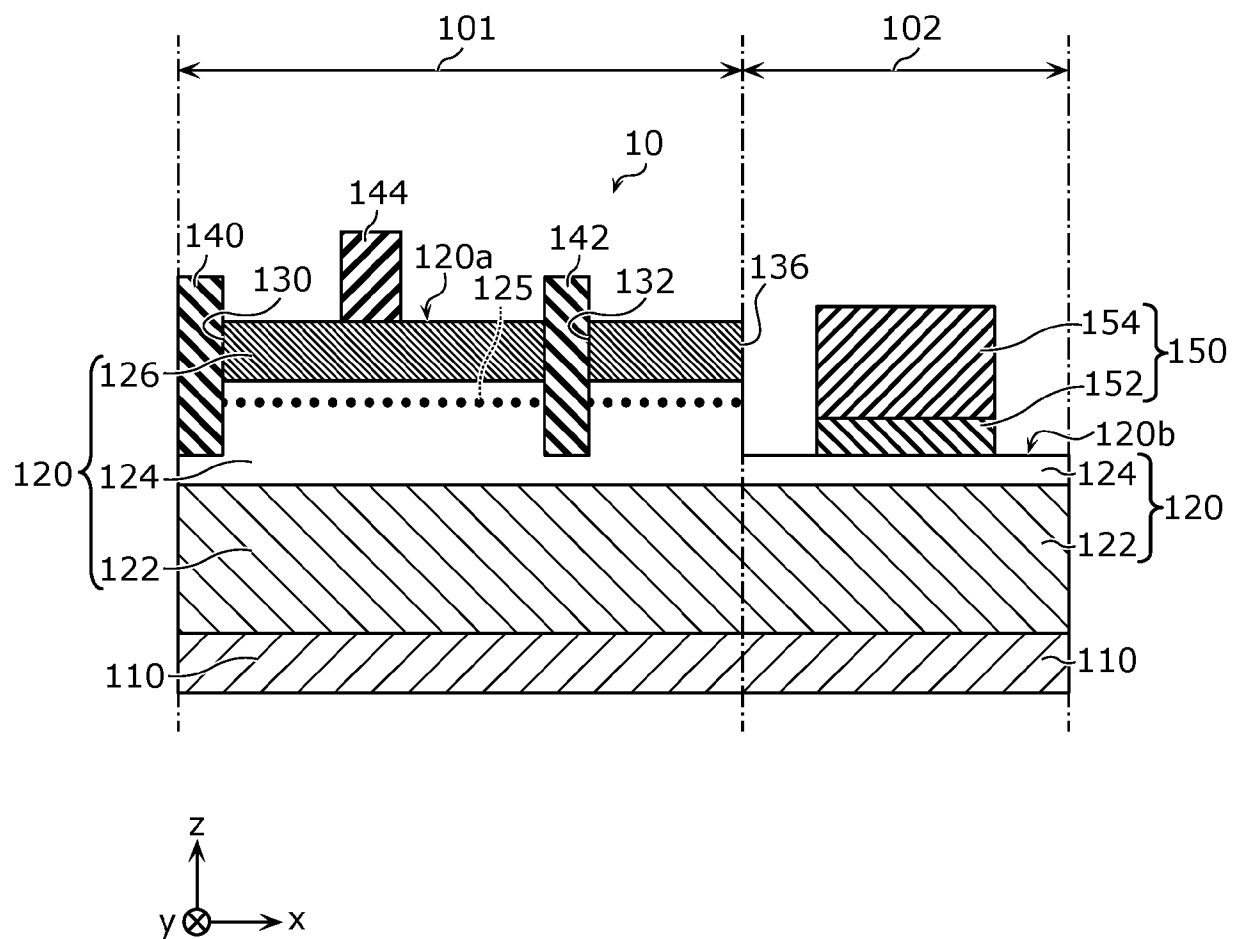
[図7D]



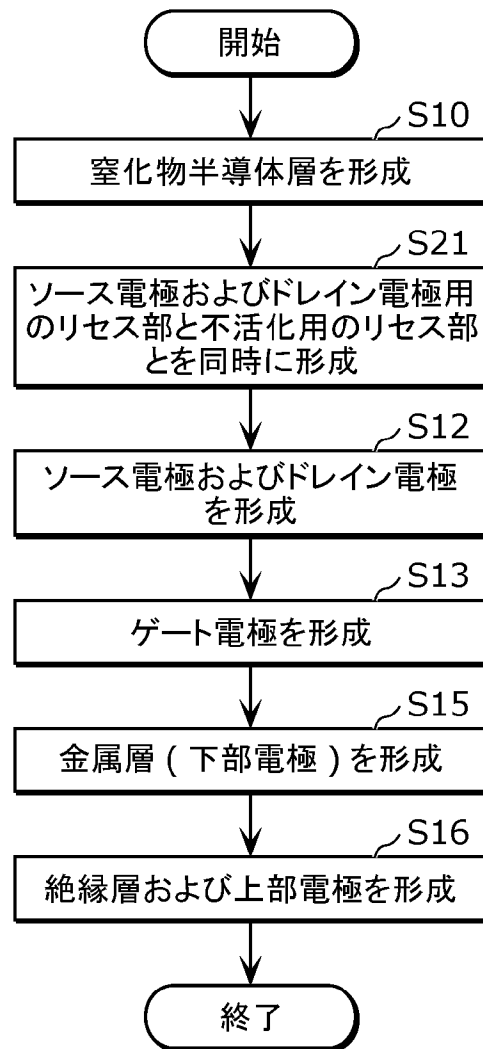
[図7E]



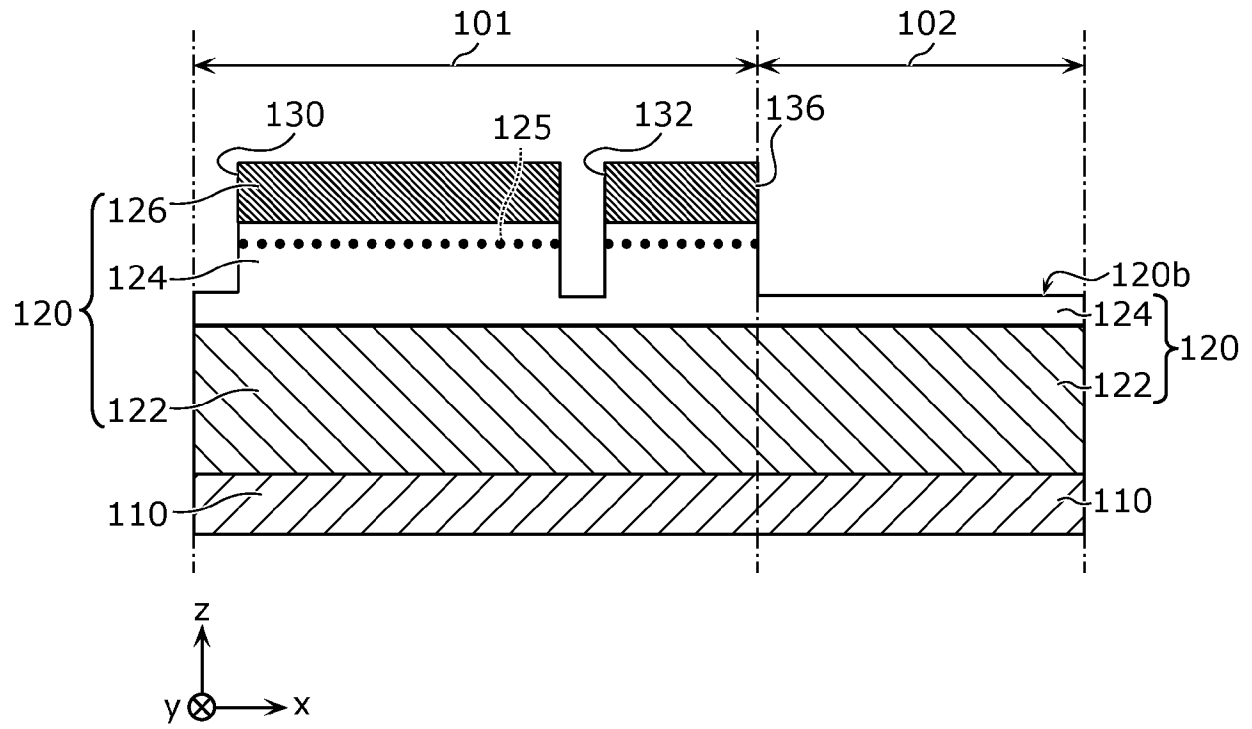
[図7F]



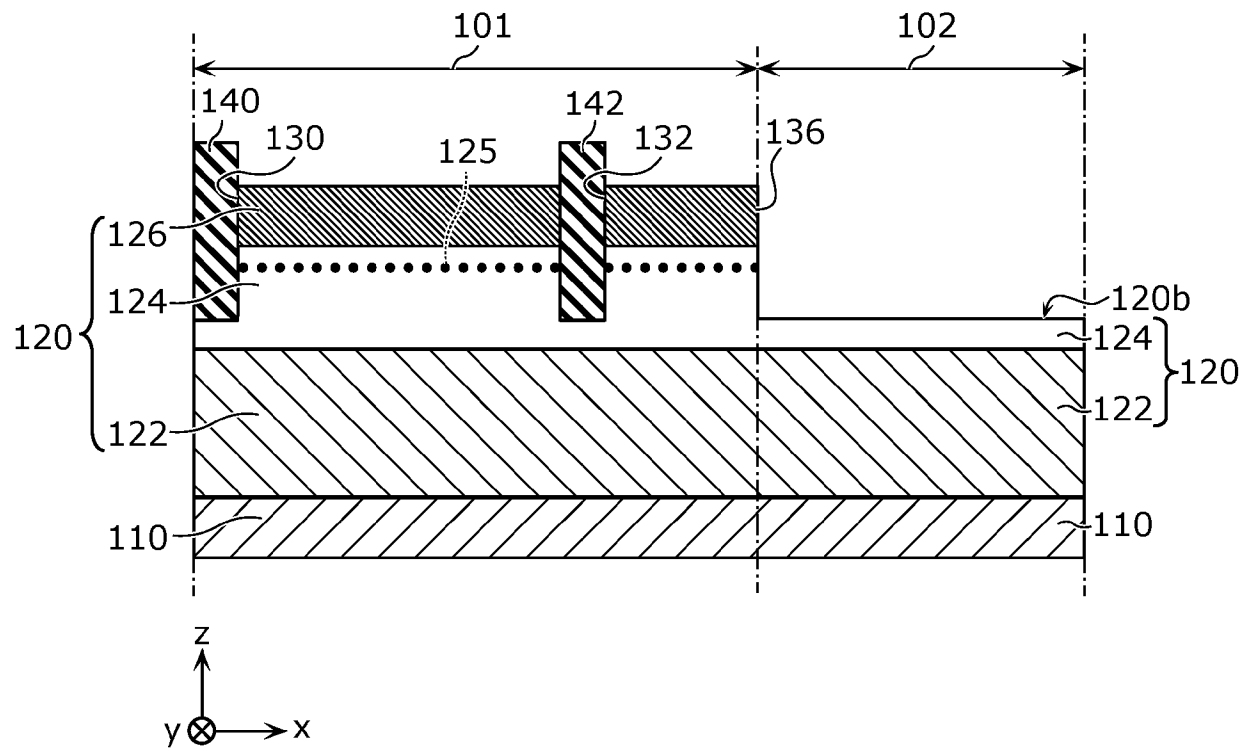
[図8]



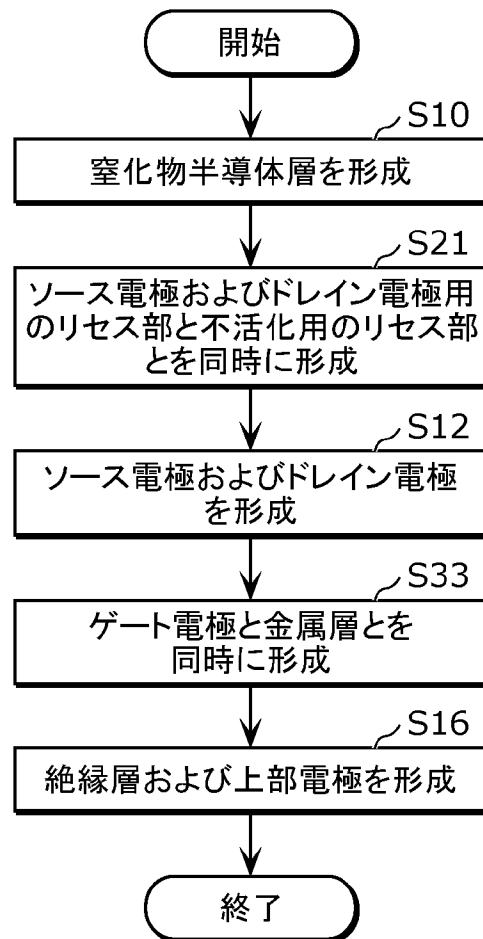
[図9A]



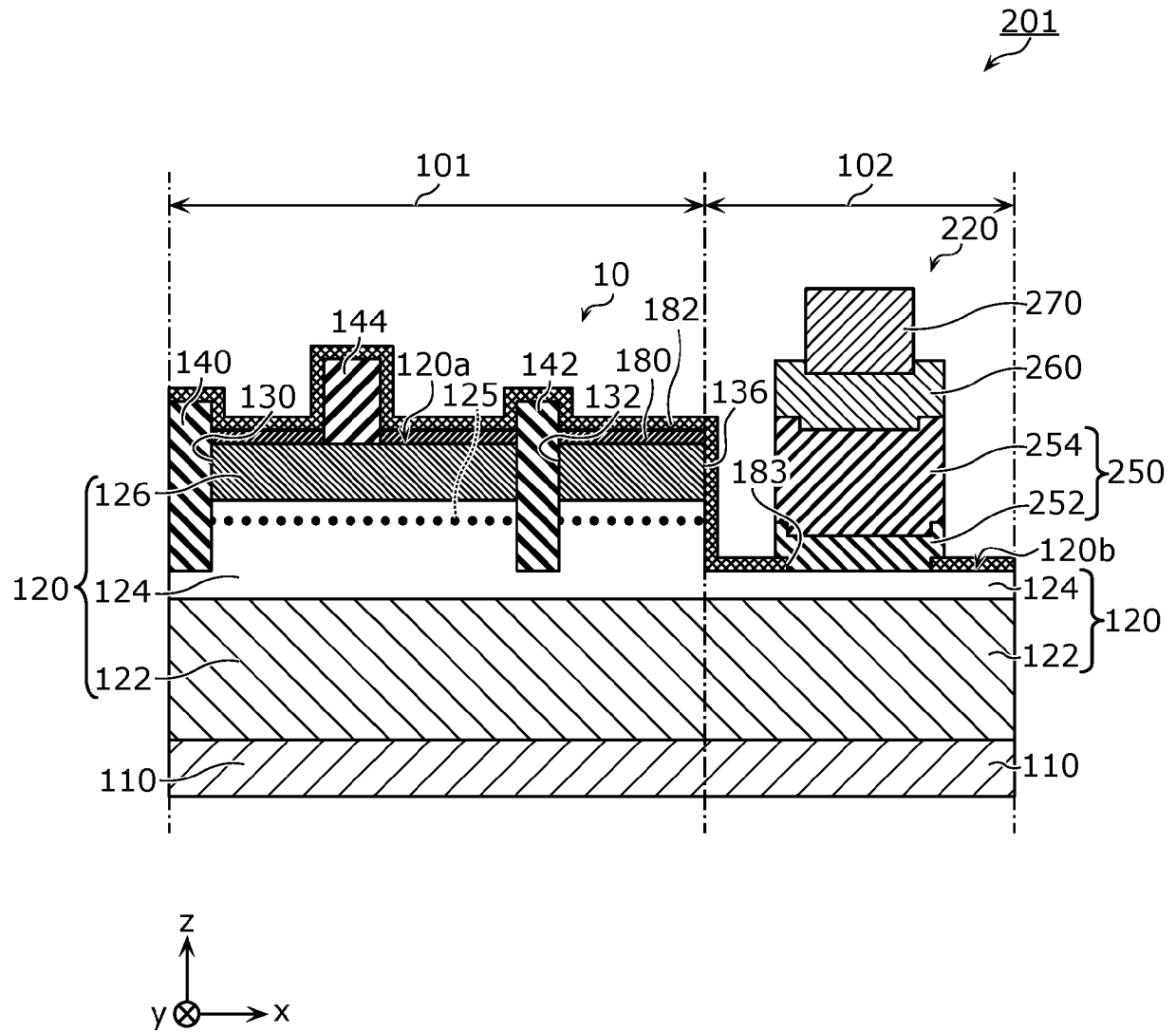
[図9B]



[図10]



[図11]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2024/023920

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H01L 27/06(2006.01)i; **H01L 21/338**(2006.01)i; **H01L 21/8232**(2006.01)i; **H01L 29/778**(2006.01)i; **H01L 29/812**(2006.01)i
FI: H01L27/06 F; H01L29/80 H

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)

H01L27/06; H01L21/338; H01L21/8232; H01L29/778; H01L29/812

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

Published examined utility model applications of Japan 1922-1996
Published unexamined utility model applications of Japan 1971-2024
Registered utility model specifications of Japan 1996-2024
Published registered utility model applications of Japan 1994-2024

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

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	WO 2016/017127 A1 (PANASONIC INTELLECTUAL PROPERTY MANAGEMENT CO., LTD.) 04 February 2016 (2016-02-04) paragraphs [0033]-[0093], fig. 1-13	1-22
A	US 2014/0091311 A1 (SAMSUNG ELECTRONICS CO., LTD.) 03 April 2014 (2014-04-03) paragraphs [0030]-[0077], fig. 1-8	1-22
A	WO 2022/168800 A1 (THE UNIVERSITY OF TOKYO) 11 August 2022 (2022-08-11) paragraphs [0016]-[0063], fig. 1-23, 25B	1-22
A	JP 10-303218 A (FUJITSU LIMITED) 13 November 1998 (1998-11-13) paragraphs [0014]-[0057], fig. 5, 6	1-22



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
“D” document cited by the applicant in the international application
“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

03 September 2024

Date of mailing of the international search report

10 September 2024

Name and mailing address of the ISA/JP

Japan Patent Office (ISA/JP)
3-4-3 Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915
Japan

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/JP2024/023920

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
WO	2016/017127	A1	04 February 2016	US 2017/0133500 A1 paragraphs [0105]-[0163], fig. 1-13	
US	2014/0091311	A1	03 April 2014	KR 10-2014-0042472 A paragraphs [0034]-[0080], fig. 1-8	
WO	2022/168800	A1	11 August 2022	TW 202235704 A paragraphs [0017]-[0067], fig. 1-23, 25B	
JP	10-303218	A	13 November 1998	(Family: none)	

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC））

H01L 27/06(2006.01)i; H01L 21/338(2006.01)i; H01L 21/8232(2006.01)i; H01L 29/778(2006.01)i;
H01L 29/812(2006.01)i
FI: H01L27/06 F; H01L29/80 H

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））
H01L27/06; H01L21/338; H01L21/8232; H01L29/778; H01L29/812

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

1971-2024年

日本国実用新案登録公報

1996-2024年

日本国登録実用新案公報

1994-2024年

国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
A	WO 2016/017127 A1（パナソニックIPマネジメント株式会社）04.02.2016（2016-02-04） 段落[0033]-[0093], 図1-13	1-22
A	US 2014/0091311 A1（SAMSUNG ELECTRONICS CO., LTD.）03.04.2014（2014-04-03） 段落[0030]-[0077], 図1-8	1-22
A	WO 2022/168800 A1（国立大学法人 東京大学）11.08.2022（2022-08-11） 段落[0016]-[0063], 図1-23, 25B	1-22
A	JP 10-303218 A（富士通株式会社）13.11.1998（1998-11-13） 段落[0014]-[0057], 図5, 6	1-22

☐ 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、一般的技术水準を示すもの

“D” 国際出願で出願人が先行技術文献として記載した文献

“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抵触するものではなく、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

03.09.2024

国際調査報告の発送日

10.09.2024

名称及びあて先

日本国特許庁(ISA/JP)
〒100-8915
日本国
東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

権限のある職員（特許庁審査官）

杉山 芳弘 5F 6311

電話番号 03-3581-1101 内線 3514

様式 PCT/ISA/210（第2ページ）（2022年7月）

国際調査報告
パテントファミリーに関する情報

国際出願番号

PCT/JP2024/023920

引用文献			公表日	パテントファミリー文献	公表日
WO	2016/017127	A1	04.02.2016	US 2017/0133500 A1 段落[0105]-[0163], 図1-13	
US	2014/0091311	A1	03.04.2014	KR 10-2014-0042472 A 段落[0034]-[0080], 図1-8	
WO	2022/168800	A1	11.08.2022	TW 202235704 A 段落[0017]-[0067], 図1-23, 25B	
JP	10-303218	A	13.11.1998	(ファミリーなし)	