

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局



(43) 国際公開日
2014 年 11 月 13 日 (13.11.2014)

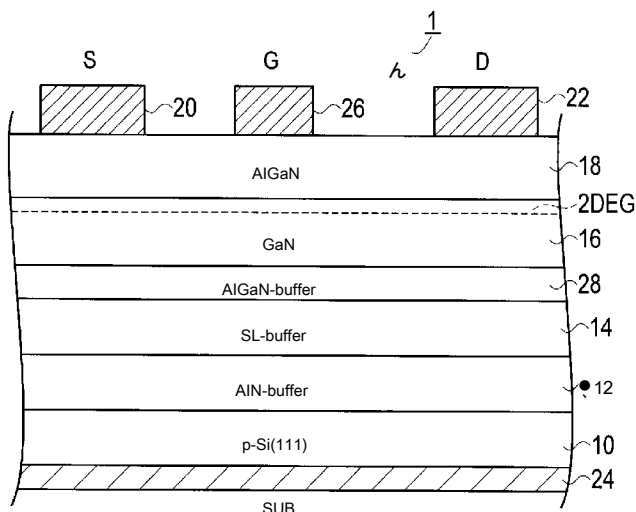
W O P O I P C T

(10) 国際公開番号
W O 2014/181856 A 1

- (51) 国際特許分類 : H01L 21/338 (2006.01) H01L 29/812 (2006.01)
H01L 29/778 (2006.01)
- (21) 国際出願番号 : PCT/JP2014/062437
- (22) 国際出願日 : 2014 年 5 月 9 日 (09.05.2014)
- (25) 国際出願の言語 : 日本語
- (26) 国際公開の言語 : 日本語
- (30) 優先権一タ : 特願 2013-099233 2013 年 5 月 9 日 (09.05.2013) JP
- (71) 出願人 : ローム株式会社 (ROHM CO., LTD.) [JP/JP]; 〒6158585 京都府京都市右京区西院溝崎町 2 1 番地 Kyoto (JP).
- (72) 発明者 : ▲高▼堂 真也 (TAKADO, Shinya); 〒6158585 京都府京都市右京区西院溝崎町 2 1 番地 ローム株式会社内 Kyoto (JP). 伊藤 範和 (ITO, Norikazu); 〒《5858 5 京都府京都市右京区西院溝崎町 2 1 番地 ローム株式会社内 Kyoto (JP). 柏木 享一 (KASHIWAGI, Junichi); 〒6158585 京都府京都市右京区西院溝崎町 2 1 番地 ローム株式会社内 Kyoto (JP). 浅水 啓州 (ASAMIZU, Hirokuni); 〒6158585 京都府京都市右京区西院溝崎町 2 1 番地 ローム株式会社内 Kyoto (JP).
- (74) 代理人 : 三好 秀和 , 外 (MIYOSHI, Hidekazu et al); 〒1050001 東京都港区虎ノ門一丁目 2 番 8 号 虎ノ門琴平タワー Tokyo (JP).
- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, 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, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).
- 添付公開書類 :
— 国際調査報告 (条約第 21 条 (3))

(54) Title: NITRIDE SEMICONDUCTOR ELEMENT

(54) 発明の名称 : 窒化物半導体素子



(57) Abstract: A nitride semiconductor element (1) is provided with: a substrate (10); a first buffer layer (12) disposed on the substrate; a second buffer layer (14) disposed on the first buffer layer; a third buffer layer (28) composed of an AlGaN-based nitride semiconductor and disposed on the second buffer layer; a fourth buffer layer (16) composed of a GaN-based nitride semiconductor and disposed on the third buffer layer; a barrier layer (18) composed of an AlGaN-based nitride semiconductor and disposed on the fourth buffer layer; and a source electrode (20), drain electrode (22), and gate electrode (26) disposed between the source electrode and drain electrode that are disposed on the barrier layer. The third buffer layer has been lattice-relaxed. Provided is a nitride semiconductor element that curbs any leakage current and improves breakdown strength.

(57) 要約 :

[続葉有]



W 2014/181856 1



窒化物半導体素子 (1) は、基板 (10) と、基板上に配置された第 1 バッファ層 (12) と、第 1 バッファ層上に配置された第 2 バッファ層 (14) と、第 2 バッファ層上に配置された A l G a N 系窒化物半導体からなる第 3 バッファ層 (28) と、第 3 バッファ層上に配置された G a N 系窒化物半導体からなる第 4 バッファ層 (16) と、第 4 バッファ層上に配置された A l G a N 系窒化物半導体からなるバリア層 (18) と、バリア層上に配置されたソース電極 (20)、ドレイン電極 (22) およびソース電極およびドレイン電極の間に配置されたゲート電極 (26) とを備え、第 3 バッファ層は格子緩和されている。リーク電流を抑制し、破壊耐量を向上した窒化物半導体素子を提供する。

明 細 書

発 明 の 名 称 : 窒化物半導体素子

技 術 分 野

[0001] 本発明は、窒化物半導体素子に関し、特にリーク電流を抑制し、破壊耐量を向上した窒化物半導体素子に関する。

背景技術

[0002] 高電子移動度トランジスタ (H E M T :High Electron Mobility Transistor) 構造を有する窒化物半導体素子において、炭素 (C) などの不純物ドーピングを実施してリーク電流を抑制する技術は、各種提案されている (例えば、特許文献 1 および特許文献 2 参照。)。

[0003] GaN 電子走行層の厚さを広い範囲で選択することができ、デバイス設計の自由度を高めることができる窒化物半導体素子、および耐圧および信頼性に優れる窒化物半導体素子パッケージについても開示されている (例えば、特許文献 3 参照。)。

先行技術文献

特許文献

[0004] 特許文献 1 :特開 2 0 1 1 _ 2 1 6 5 7 8 号公報

特許文献 2 : 特開 2 0 1 1 — 0 8 2 4 9 4 号公報

特許文献 3 :特開 2 0 1 2 _ 1 0 9 3 4 5 号公報

発 明 の 概 要

発 明 が 解 決 し ょ う と す る 課 題

[0005] 本発明の目的は、リーク電流を抑制し、破壊耐量を向上した窒化物半導体素子を提供することにある。

課題を解決するための手段

[0006] 上記目的を達成するための本発明の一態様によれば、基板と、前記基板上に配置された第 1 バッファ層と、記第 1 バッファ層上に配置された第 2 バッファ層と、前記第 2 バッファ層上に配置された A l G a N 系窒化物半導体か

らなる第3バッファ層と、前記第3バッファ層上に配置されたGa_{0.9}N系窒化物半導体からなる第4バッファ層と、前記第4バッファ層上に配置されたAlGa_{0.9}N系窒化物半導体からなるバリア層と、前記バリア層上に配置されたソース電極、ドレイン電極および前記ソース電極および前記ドレイン電極の間に配置されたゲート電極とを備え、前記第3バッファ層は格子緩和されている窒化物半導体素子が提供される。

発明の効果

[0007] 本発明によれば、リーク電流を抑制し、破壊耐量を向上した窒化物半導体素子を提供することができる。

図面の簡単な説明

[0008] [図1] 実施の形態に係る窒化物半導体素子の模式的断面構造図。

[図2] 実施の形態に係る窒化物半導体素子において、全リーク電流 $I_{r,T}$ に対する縦方向リーク電流 $I_{r,V}$ ・横方向リーク電流 $I_{r,H}$ の説明図。

[図3] (a) 実施の形態に係る窒化物半導体素子において、矢印E方向にエッチングを実施して、擬似的にトランジスタのオフ状態を形成した場合の全リーク電流 $I_{r,T}$ に対する縦方向リーク電流 $I_{r,V}$ ・横方向リーク電流 $I_{r,H}$ の説明図、(b) AlGa_{0.9}N層単膜若しくは超格子バッファ層の厚さをパラメータとする全リーク電流 $I_{r,T}$ とソース・ドレイン間の印加電圧 V_r の関係を示す図。

[図4] (a) 実施の形態に係る窒化物半導体素子において、AlGa_{0.9}N層単膜若しくは超格子バッファ層の厚さをパラメータとする縦方向リーク電流 $I_{r,V}$ とソース・ドレイン間の印加電圧 V_r の関係を示す図、(b) AlGa_{0.9}N層単膜、超格子のペア数20および超格子のペア数40の場合のソース・ドレイン間の印加電圧 $V_r = 40\text{OV}$ における垂直成分の割合を示す図。

[図5] (a) 実施の形態に係る窒化物半導体素子において、総膜厚を一定にして、Ga_{0.9}Nバッファ層16とAlGa_{0.9}Nバッファ層28の膜厚比を変え、矢印E方向にエッチングを実施して、擬似的にトランジスタのオフ状態を形成した場合の全リーク電流 $I_{r,T}$ に対する縦方向リーク電流 $I_{r,V}$ ・横方向リーク

電流 I_rH の説明図、 (b) 全リーク電流 I_rT とソース・ドレイン間の印加電圧 V_r の関係を示す図。

[図6] (a) 実施の形態に係る窒化物半導体素子において、矢印 E 方向にエッチングを実施して、擬似的にトランジスタのオフ状態を形成した場合の全リーク電流 I_rT に対する縦方向リーク電流 I_rV ・横方向リーク電流 I_rH の説明図、 (b) 印加電圧 400V における縦方向リーク電流 I_rV ・横方向リーク電流 I_rH と AlGaIn 層表面からのエッチング深さ t との関係を示す図。

[図7] 実施の形態に係る窒化物半導体素子において、エネルギーバンド構造のシミュレーションに適用した窒化物半導体素子の模式的断面構造図。

[図8] 実施の形態に係る窒化物半導体素子において、標準状態における AlGaIn パリ層 18・GaIn バッファ層 16・AlGaIn バッファ層 28 の Al 組成 (%)・膜厚 (nm)・ a 軸格子定数 a (Å)・歪み (%) の数値例。

[図9] 実施の形態に係る窒化物半導体素子において、GaIn バッファ層 16 における歪みをゼロとした状態における AlGaIn パリ層 18・GaIn バッファ層 16・AlGaIn バッファ層 28 の Al 組成 (%)・膜厚 (nm)・ a 軸格子定数 a (Å)・歪み (%) の数値例。

[図10] 実施の形態に係る窒化物半導体素子において、AlGaIn バッファ層 28 における歪みをゼロとした状態における AlGaIn パリ層 18・GaIn バッファ層 16・AlGaIn バッファ層 28 の Al 組成 (%)・膜厚 (nm)・ a 軸格子定数 a (Å)・歪み (%) の数値例。

[図11] 実施の形態に係る窒化物半導体素子において、標準状態における GaIn バッファ層 16・AlGaIn バッファ層 28 近傍におけるエネルギーバンド構造図。

[図12] 実施の形態に係る窒化物半導体素子において、GaIn バッファ層 16 における歪みをゼロとした状態における GaIn バッファ層 16・AlGaIn バッファ層 28 近傍におけるエネルギーバンド構造図。

[図13] 実施の形態に係る窒化物半導体素子において、AlGaIn バッファ層

28における歪みをゼロとした状態におけるGaNバッファ層16・AlGaNバッファ層28近傍におけるエネルギーバンド構造図。

[図14] (a) 比較例に係る窒化物半導体素子の模式的断面構造図、(b) 実施の形態に係る窒化物半導体素子の模式的断面構造図。

[図15] 実施の形態に係る窒化物半導体素子において、標準状態におけるGaNバッファ層・AlGaNバッファ層近傍におけるエネルギーバンド構造 (STD) と、AlGaNバッファ層における歪みをゼロとした状態におけるGaNバッファ層・AlGaNバッファ層近傍におけるエネルギーバンド構造 (A) の比較図。

[図16] (a) GaNバッファ層に引っ張り応力を導入してAlGaNバッファ層の歪みを緩和した実施の形態に係る窒化物半導体素子の模式的断面構造図、(b) 図16(a)の各層に対応する膜厚 (nm) ・ Al組成 (%) ・ 歪みを説明する図。

[図17] AlGaNバッファ層の歪みを緩和して、さらにGaNバッファ層に圧縮応力を導入した実施の形態に係る窒化物半導体素子のエネルギーバンド構造図。

[図18] 実施の形態に係る窒化物半導体素子の $Al_xGa_{1-x}N$ のAl組成 x と a 軸格子定数 a の関係を示す図。

発明を実施するための形態

[0009] 次に、図面を参照して、実施の形態を説明する。以下の図面の記載において、同一又は類似の部分には同一又は類似の符号を付している。ただし、図面は模式的なものであり、厚みと平面寸法との関係、各層の厚みの比率等は現実のものとは異なることに留意すべきである。したがって、具体的な厚みや寸法は以下の説明を参酌して判断すべきものである。又、図面相互間においても互いの寸法の関係や比率が異なる部分が含まれていることはもちろんである。

[0010] 又、以下に示す実施の形態は、この発明の技術的思想を具体化するための装置や方法を例示するものであって、この発明の実施の形態は、構成部品の

材質、形状、構造、配置等下記のものに特定するものでない。この発明の実施の形態は、特許請求の範囲において、種々の変更を加えることができる。

- [001 1] 実施の形態に係る窒化物半導体素子 1 は、図 1 に示すように、基板 10 と、基板 10 上に配置された第 1 バッファ層 12 と、第 1 バッファ層 12 上に配置された第 2 バッファ層 14 と、第 2 バッファ層 14 上に配置された A l G a N 系窒化物半導体からなる第 3 バッファ層 28 と、第 3 バッファ層 28 上に配置された G a N 系窒化物半導体からなる第 4 バッファ層 16 と、第 4 バッファ層 16 上に配置された A l G a N 系窒化物半導体からなるバリア層 18 と、バリア層 18 上に配置されたソース電極 20、ドレイン電極 22 およびソース電極 20 およびドレイン電極 22 の間に配置されたゲート電極 26 とを備える。ここで、第 3 バッファ層 28 は格子緩和されている。
- [001 2] また、基板 10 の第 1 バッファ層 12 が配置される表面側とは反対側の裏面側には、裏面電極 24 が配置される。
- [001 3] 基板 10 は、例えば、面方位 (1 1 1) の p 型シリコン (S i) から構成される。
- [0014] また、実施の形態に係る窒化物半導体素子 1 において、第 3 バッファ層 28 に加わる歪みはゼロもしくは引張り歪みであっても良い。
- [001 5] また、実施の形態に係る窒化物半導体素子 1 において、第 4 バッファ層 16 に加わる歪みはゼロもしくは圧縮歪みであっても良い。
- [001 6] また、実施の形態に係る窒化物半導体素子 1 において、第 3 バッファ層 28 と第 4 バッファ層 16 に炭素がドーピングされていても良い。
- [001 7] また、特に、第 3 バッファ層 28 と第 4 バッファ層 16 との界面に炭素がドーピングされていても良い。
- [001 8] また、炭素のドーピングレベルは、例えば、約 1×10^{17} 以上約 1×10^{21} (cm^{-3}) 以下であっても良い。
- [001 9] 第 1 バッファ層 12 は、A l N から構成されていても良い。
- [0020] 第 2 バッファ層 14 は、超格子から構成されていても良い。ここで、超格

子は、A l G a N層を量子井戸層、A l N層をバリア層とするペアから構成される。A l G a N層 / A l N層の厚さは、例えば、約20 nm / 約3 nmである。

[0021] また、第3バッファ層28は、A l組成を x とするA l $_x$ G a $_{1-x}$ Nからなり、第2バッファ層14の超格子の平均A l組成を y とすると、 x は、 y よりも10%以上小さいことが望ましい。

[0022] また、第2バッファ層14は、A l G a N層単膜からなり、第3バッファ層28は、A l組成を x とするA l $_x$ G a $_{1-x}$ Nからなり、互いにA l組成が異なるように構成されていても良い。

[0023] また、第4バッファ層16は、G a Nから構成されていても良い。

[0024] また、バリア層18は、A l G a Nから構成されていても良い。

[0025] また、第3バッファ層の膜厚は、100 nm以上であることが望ましい。

[0026] 第4バッファ層16のバリア層18との界面には、2次元電子ガス (2 D E G : Two Dimensional Electron Gas) が形成される。A l G a Nからなるバリア層18は、この2 D E Gに対する電子供給層としての役割を有し、G a Nからなる第4バッファ層16は、電子走行層としての役割を有する。結果として、実施の形態に係る窒化物半導体素子1は、H E M T構造のトランジスタ構成を有する。

[0027] 以下の説明においては、第1バッファ層12をA l Nバッファ層12、第2バッファ層14をA l G a N層単膜14若しくは超格子バッファ層14、第3バッファ層28をA l G a Nバッファ層28、第4バッファ層16をG a Nバッファ層16、バリア層18をA l G a ーバリア層18と記載し、各部の対応関係を明瞭化する。

[0028] 実施の形態に係る窒化物半導体素子1において、全リーク電流 I_{rT} に対する縦方向リーク電流 I_{rV} ・横方向リーク電流 I_{rH} は、図2に示すように模式的に表される。図2において、A l G a Nバッファ層28は説明の都合上、図示を省略している。実施の形態に係る窒化物半導体素子1において、ドレイン電極22・ソース電極20間にバイアス電圧を印加し、ソース電極20

と接地電位間・ドレイン電極 22 と接地電位間・裏面電極 24 と接地電位間に導通する電流をそれぞれ、全リーク電流 I_T ・横方向リーク電流 I_H ・縦方向リーク電流 I_V として検出する。

[0029] 実施の形態に係る窒化物半導体素子 1 において、矢印 E 方向にエッチングを実施して、擬似的にトランジスタのオフ状態を形成した場合の全リーク電流 I_T に対する縦方向リーク電流 I_V ・横方向リーク電流 I_H は、図 3 (a) に示すように表され、AlGa 層単膜 14 若しくは超格子バッファ層 14 の厚さをパラメータとする全リーク電流 I_T とソース・ドレイン間の印加電圧 V_r の関係は、図 3 (b) に示すように表される。

[0030] ここで、AlGa N 層単膜 14 若しくは超格子バッファ層 14 の厚さをパラメータとすると、図 3 (b) に示すように、全リーク電流 I_T は、第 2 バッファ層 14 の厚さを厚くすると、破壊耐量が増大する傾向が見られる。

[0031] 実施の形態に係る窒化物半導体素子 1 において、トランジスタがオフのときに流れるリーク電流は、少ない方が望ましい。

[0032] 超格子バッファ層 14 の超格子のペア数を増やす (総膜厚を増やす) と全リーク電流 I_T (縦方向リーク電流 I_V) は減少し、破壊電圧も改善する。

[0033] ここで、AlN バッファ層 12 の厚さは約 200 nm である。AlGa N 層単膜 14 の厚さは、約 200 nm であり、AlGa N / AlN = 20 nm / 3 nm からなる超格子バッファ層 14 の厚さは、ペア数 20 の場合、460 nm、ペア数 40 の場合、920 nm である。GaN バッファ層 16 の厚さは約 1000 nm である。AlGa N バリア層 18 の厚さは約 25 nm である。また、ソース電極 20 とドレイン電極 22 の間隔は、約 10 μ m である。

[0034] 実施の形態に係る窒化物半導体素子 1 において、AlGa N 層単膜 14 若しくは超格子バッファ層 14 の厚さをパラメータとする縦方向リーク電流 I_V とソース・ドレイン間の印加電圧 V_r の関係は、図 4 (a) に示すように表される。

[0035] また、実施の形態に係る窒化物半導体素子 1 において、ソース・ドレイン

間の印加電圧 $V_r = 400 \text{ V}$ における垂直成分の割合は、図4 (b) に示すように表される。すなわち、AlGaIn層単膜14では、全リーク電流 $I_T = 9.2 \text{ (A/cm}^2\text{)}$ 、縦方向リーク電流 $I_V = 7.9 \text{ (A/cm}^2\text{)}$ であり、垂直成分の割合は、86.1%である。超格子バッファ層14でペア数20の場合では、全リーク電流 $I_T = 5.6 \times 10^{-1} \text{ (A/cm}^2\text{)}$ 、縦方向リーク電流 $I_V = 3.9 \times 10^{-1} \text{ (A/cm}^2\text{)}$ であり、垂直成分の割合は、69.4%である。さらに、超格子バッファ層14でペア数40の場合では、全リーク電流 $I_T = 2.2 \times 10^{-1} \text{ (A/cm}^2\text{)}$ 、縦方向リーク電流 $I_V = 6.1 \times 10^{-2} \text{ (A/cm}^2\text{)}$ であり、垂直成分の割合は、28.24%である。

[0036] 図4 (a) および図4 (b) から明らかなように、AlGaIn層単膜14-超格子バッファ層14の厚さを増やすと、縦方向リーク電流 I_V は減少し、破壊電圧も改善している。

[0037] 一方、横方向リーク電流 $I_H (= I_T - I_V)$ の割合は、AlGaIn層単膜では、13.9%、超格子のペア数20の場合では、30.6%、さらに、超格子のペア数40の場合では、71.8%である。図4 (a) および図4 (b) から明らかなように、超格子バッファ層14のペア数を増やすと、縦方向リーク電流 I_V は減少し、横方向リーク電流 I_H の割合が増加している。

[0038] すなわち、AlGaIn層単膜14若しくは超格子バッファ層14の膜厚を増やすことで縦方向の電気抵抗が大きくなり、全リーク電流 I_T の内、GaNバッファ層16を横方向に經由する横方向リーク電流 I_H の割合が増加している。

[0039] 実施の形態に係る窒化物半導体素子1において、総膜厚を一定にして、GaNバッファ層16とAlGaInバッファ層28の膜厚比を変え、矢印E方向にエッチングを実施して、擬似的にトランジスタのオフ状態を形成した場合の全リーク電流 I_T に対する縦方向リーク電流 I_V ・横方向リーク電流 I_H の説明図は、図5 (a) に示すように表される。図5 (a) においては、GaNバッファ層16の厚さを、厚さ $D1 = 1000 \text{ nm}$ と厚さ $D2 = 20$

0 nm の 2 通りに変化させており、第 3 バッファ層 28 の厚さを、厚さ $D_3 = 200 \text{ nm}$ と厚さ $D_4 = 1000 \text{ nm}$ の 2 通りに変化させている。

[0040] 実施の形態に係る窒化物半導体素子 1 において、総膜厚を一定にして、AlGaIn バッファ層 28 の厚さを、厚さ $D_3 = 200 \text{ nm}$ と厚さ $D_4 = 1000 \text{ nm}$ の 2 通りに変化させた場合の全リーク電流 I_{rT} とソース・ドレイン間の印加電圧 V_r の関係は、図 5 (b) に示すように表される。AlGaIn 層単膜 : 200 nm の曲線は、AlGaIn バッファ層 28 の厚さ $D_3 = 200 \text{ nm}$ 、GaIn バッファ層 16 の厚さ $D_1 = 1000 \text{ nm}$ に対応し、AlGaIn 層単膜 : 1000 nm の曲線は、AlGaIn バッファ層 28 の厚さ $D_3 = 1000 \text{ nm}$ 、GaIn バッファ層 16 の厚さ $D_2 = 200 \text{ nm}$ に対応する。

[0041] 図 5 (a) および図 5 (b) から明らかなように、総膜厚を一定にして、GaIn バッファ層 16 と AlGaIn バッファ層 28 の膜厚比を変えたとき、AlGaIn バッファ層 28 の膜厚の厚い方が、リーク電流が少なくなる。すなわち、全リーク電流 I_{rT} は、GaIn バッファ層 16 を経由している可能性が高い。全リーク電流 I_{rT} の内、GaIn バッファ層 16 を横方向に経由する横方向リーク電流 I_{rH} の割合が増加している。

[0042] 実施の形態に係る窒化物半導体素子において、矢印 E 方向にエッチングを実施して、擬似的にトランジスタのオフ状態を形成した場合の全リーク電流 I_{rT} に対する縦方向リーク電流 I_V ・横方向リーク電流 I_{rH} の説明図は、図 6 (a) に示すように表される。図 6 (a) において、AlIn バッファ層 12 の厚さは、例えば、約 200 nm である。超格子 (AlGaIn / AlIn = $20 \text{ nm} / 3 \text{ nm}$) で形成される超格子バッファ層 14 の厚さは、例えば、約 1700 nm である。AlGaIn バッファ層 28 の厚さは、例えば、約 400 nm である。GaIn バッファ層 16 の厚さは、例えば、約 1000 nm である。AlGaIn バリア層 18 の厚さは、例えば、約 25 nm である。

[0043] 図 6 (a) の構成において、印加電圧 400 V における縦方向リーク電流 I_V (A / cm^2) ・横方向リーク電流 I_{rH} (A / cm^2) と AlGaIn バリア層 18 の表面からのエッチング深さ t (nm) との関係は、図 6 (b) に

示すように表される。

[0044] 図6 (b) に示すように、Ga Nバッファ層16を全てエッチングすると急激に、横方向リーク電流 I_H (A/cm^2) の値が低下する。このため、Ga Nバッファ層16とAlGa Nバッファ層28の界面にリーク経路が存在していることがわかる。

[0045] 実施の形態に係る窒化物半導体素子1において、主なリーク電流経路はGa Nバッファ層16とAlGa Nバッファ層28の界面である。

[0046] ここで、AlGa Nバッファ層28には、圧縮応力が加わっている。このため、AlGa Nバッファ層28にピエゾ電界が発生し、Ga Nバッファ層16との界面においてエネルギー準位が下がるため、リーク電流経路が形成される。

[0047] 実施の形態に係る窒化物半導体素子1においては、AlGa Nバッファ層28およびGa Nバッファ層16の歪み状態を制御、若しくはCドーピングを実施して、かつGa Nバッファ層16とAlGa Nバッファ層28の界面のC濃度が最大になるように制御することによって、全リーク電流 I_T (A/cm^2) を低減化可能である。

[0048] (エネルギーバント構造のシミュレーション)

実施の形態に係る窒化物半導体素子1において、エネルギーバント構造のシミュレーションに適用する模式的断面構造は、図7に示すように表される。

[0049] 図7において、AlNバッファ層12の厚さは、例えば、約200 nmである。超格子 (AlGa N/ AlN = 20 nm/ 3 nm) で形成される超格子バッファ層14の厚さは、例えば、約1700 nmである。Al_{0.12}Ga_{0.88}N層で形成されるAlGa Nバッファ層28の厚さは、例えば、約400 nmである。Ga Nバッファ層16の厚さは、例えば、約1000 nmである。Al_{0.25}Ga_{0.75}N層で形成されるAlGa Nバリア層18の厚さは、例えば、約25 nmである。Ga Nバッファ層16とAlGa Nバリア層18との界面には、2DEGが形成される。

[0050] 実施の形態に係る窒化物半導体素子 1 において、C ドープによるリーク電流の低減効果をエネルギーバンド構造のシミュレーション結果を用いて説明する。

[0051] A に $\text{Ga}_{0.25}\text{N}$ 層で形成される AlGa ーバリア層 18 の最表面から A に $\text{Ga}_{0.88}\text{N}$ 層で形成される AlGa N バッファ層 28 までのバンド構造において、特に Ga N バッファ層 (16) / AlGa N バッファ層 (28) 界面に注目する。また、Ga N バッファ層 16 の歪み状態、および AlGa N バッファ層 28 の歪み状態をパラメータとする。

超格子 (AlGa N / AlN = 20 nm / 3 nm) で形成される超格子バッファ層 14 ・ AlN バッファ層 12 は、ここでは絶縁体として取り扱う。

[0052] (標準状態)

実施の形態に係る窒化物半導体素子 1 において、標準状態における AlGa N バリア層 18 ・ Ga N バッファ層 16 ・ AlGa N バッファ層 28 の Al 組成 (%) ・ 膜厚 (nm) ・ a 軸格子定数 a (Å) ・ 歪み (%) の数値例は、図 8 に示すように表される。ここで、標準状態とは、AlGa N バッファ層 28 や Ga N バッファ層 16 に歪み制御を実施していない状態に対応する。

[0053] 図 8 に示すように、標準状態において、A に $\text{Ga}_{0.25}\text{N}$ 層で形成される AlGa ーバリア層 18 は、Ga N バッファ層 16 に対して完全に歪んでいる。また、A に $\text{Ga}_{0.88}\text{N}$ 層で形成される AlGa N バッファ層 28 は、AlN バッファ層 12 に対して完全に歪んでいる。下地の AlN バッファ層 12 は格子緩和しており、A に $\text{Ga}_{0.88}\text{N}$ 層で形成される AlGa N バッファ層 28 の a 軸格子定数 a (Å) は、AlN の理論値 3.1120 (Å) に等しい。また、Ga N バッファ層 16 はクラックが発生する限界の引っ張り歪み状態にある。

[0054] (Ga N バッファ層における歪みゼロ)

また、実施の形態に係る窒化物半導体素子 1 において、Ga N バッファ層 16 における歪みをゼロとした状態における AlGa ーバリア層 18 ・ Ga

Nバッファ層 16・AIGaNバッファ層 28 の A 組成 (%)・膜厚 (nm)・ a 軸格子定数 a (Å)・歪み (%) の数値例は、図 9 に示すように表される。

[0055] 図 9 に示すように、GaNバッファ層 16 における歪みをゼロとした状態において、A に $_{0.25}Ga_{0.75}N$ 層で形成される AIGaN バリア層 18 は、GaN バッファ層 16 に対して完全に歪んでいる。また、A に $_{0.12}Ga_{0.88}N$ 層で形成される AIGaN バッファ層 28 は、AIN バッファ層 12 に対して完全に歪んでいる。下地の AIN バッファ層 12 は格子緩和しており、AIGaN バッファ層 28 の a 軸格子定数 a (Å) は、AIN の理論値 3.1120 (Å) に等しい。一方、GaN バッファ層 16 は歪んでおらず、AIGaN バッファ層 28 の a 軸格子定数 a (Å) は、GaN の理論値 3.1891 (Å) に等しい。

[0056] (AIGaN バッファ層における歪みゼロ)

また、実施の形態に係る窒化物半導体素子 1 において、AIGaN バッファ層 28 における歪みをゼロとした状態における AIGaN バリア層 18・GaN バッファ層 16・AIGaN バッファ層 28 の A 組成 (%)・膜厚 (nm)・ a 軸格子定数 a (Å)・歪み (%) の数値例は、図 10 に示すように表される。

[0057] 図 10 に示すように、AIGaN バッファ層 28 における歪みをゼロとした状態において、A に $_{0.25}Ga_{0.75}N$ 層で形成される AIGaN バリア層 18 は、GaN バッファ層 16 に対して完全に歪んでいる。また、A に $_{0.12}Ga_{0.88}N$ 層で形成される AIGaN バッファ層 28 は、歪んでおらず、AIGaN バッファ層 28 の a 軸格子定数 a (Å) は、A に $_{0.12}Ga_{0.88}N$ 層の理論値 3.1798 (Å) に等しい。一方、GaN バッファ層 16 はクラックが発生する限界の引っ張り歪み状態にある。

[0058] 実施の形態に係る窒化物半導体素子 1 において、標準状態 (図 8) に対応する GaN バッファ層 16・AIGaN バッファ層 28 近傍におけるエネルギーバンド構造は、図 11 に示すように表される。

[0059] 標準状態においては、GaNバッファ層16とAlGaNバッファ層28の界面で、電子が走行しやすい領域が発生している。

[0060] また、GaNバッファ層16に引張り歪み、AlGaNバッファ層28に圧縮歪みが発生しているため、ピエゾ電界が発生してGaNバッファ層16とAlGaNバッファ層28の界面のエネルギー準位が下がっている。

[0061] GaNバッファ層16のAlGa-バリア層18との界面の2DEGを導通する電流がオフされているとき、AlGa-バリア層18からGaNバッファ層16に供給される電子は、本来、GaNバッファ層16の障壁を乗り越え難いが、GaNバッファ層16中にはリークパスとなり得る、例えば螺旋転位のような転位が分布しているため、この螺旋転位を経由してGaNバッファ層16/AlGaNバッファ層28界面に到達した電子は、リーク電流に寄与する。

[0062] 実施の形態に係る窒化物半導体素子1において、GaNバッファ層16の歪みをゼロとした状態(図9)におけるGaNバッファ層16・AlGaNバッファ層28近傍におけるエネルギーバンド構造は、図12に示すように表される。

[0063] GaNバッファ層16における歪みをゼロとした状態においても、標準状態と同様に、GaNバッファ層16とAlGaNバッファ層28の界面で、電子が走行しやすい領域が発生している。

[0064] また、GaNバッファ層16の歪みをゼロとした状態においても、AlGaNバッファ層28に圧縮歪みが発生しているため、ピエゾ電界が発生してGaNバッファ層16とAlGaNバッファ層28の界面のエネルギー準位が下がっている。GaNバッファ層16の歪みをゼロとした状態におけるエネルギーバンド構造(図12)と、標準状態におけるエネルギーバンド構造(図11)とを比較すると、標準状態におけるGaNバッファ層16の歪みが0.11%と小さいため(ただしクラックは発生する)、分極の大きさに変化は見られない。

[0065] 実施の形態に係る窒化物半導体素子1において、AlGaNバッファ層2

8 の歪みをゼロとした状態における GaN バッファ層 16 ・ AlGaIn バッファ層 28 近傍におけるエネルギーバンド構造は、図 13 に示すように表される。

[0066] AlGaIn バッファ層 28 の歪みをゼロとした状態においては、GaN バッファ層 16 に引張り歪みが発生しているが、GaN バッファ層 16 と AlGaIn バッファ層 28 の界面のエネルギー準位が下がる現象は緩和されている。AlGaIn バッファ層 28 の歪みをゼロにすることで、ピエゾ電界が小さくなり、界面のエネルギー準位が上昇している。

[0067] GaN バッファ層 16 の中央部と比べて、AlGaIn バッファ層 28 との界面近傍の GaN バッファ層 16 のエネルギー準位が低いのは、GaN バッファ層 16 中の引張り歪み約 +0.11(%) と自発分極が原因である。

[0068] AlGaIn バッファ層 28 の自発分極は表面側がマイナスなので、エネルギー準位は上がる方向であるが、GaN バッファ層 16 中の引張り歪みに起因する電界強度の方が大きい。

[0069] 実施の形態に係る窒化物半導体素子 1 においては、GaN バッファ層 16 と AlGaIn バッファ層 28 の界面のキャリア濃度を下げるために、GaN バッファ層 16 および AlGaIn バッファ層 28 に炭素 (C) がドーピングされる。特に、ピエゾ電界によってエネルギー準位が GaN バッファ層 16 よりも下がっている領域 (AlGaIn バッファ層 28 との界面付近) に炭素 (C) がドーピングされることが効果的である。尚、炭素 (C) のドーピングレベルは、例えば、約 $1 \times 10^{17} \text{ (cm}^{-3}\text{)}$ ～ 約 $1 \times 10^{21} \text{ (cm}^{-3}\text{)}$ である。

[0070] 比較例に係る窒化物半導体素子の模式的断面構造は、図 14 (a) に示すように表され、実施の形態に係る窒化物半導体素子の模式的断面構造は、図 14 (b) に示すように表される。

[0071] 比較例に係る窒化物半導体素子において、超格子バッファ層 14 若しくは AlGaIn 層単膜 14 は、AlIn バッファ層 12 に対して格子が歪んでいる。図 14 (a) に示すように、超格子バッファ層 14 若しくは AlGaIn 層

単膜 14 は、 a 軸格子定数 a が A l N バッファ層 12 より大きいため、面内に圧縮応力を受ける。この圧縮応力は G a N バッファ層 16 と超格子バッファ層 14 若しくは A l G a N 層単膜 14 界面のエネルギー準位を下げるため（ピエゾ効果）、リーク電流の経路となる。

[0072] 実施の形態に係る窒化物半導体素子 1 においては、H E M T 構造において、G a N バッファ層 16 を経由するリーク電流を低減するために、G a N バッファ層 16 と超格子バッファ層 14 若しくは A l G a N 層単膜 14 との間に、格子緩和した A l G a N バッファ層 28 を配置している。

[0073] 実施の形態に係る窒化物半導体素子 1 において、標準状態における G a N バッファ層 16 ・ A l G a N バッファ層 28 近傍におけるエネルギーバンド構造（S T D）と、A l G a N バッファ層 28 における歪みをゼロとした状態におけるエネルギーバンド構造（曲線 A）の比較図は、図 15 に示すように表される。図 15 は、図 11 と図 13 を重ね合わせて表示したグラフに対応する。

[0074] 標準状態においては、G a N バッファ層 16 と A l G a N バッファ層 28 の界面で、電子が走行しやすい領域が発生している。また、G a N バッファ層 16 に引張り歪み、A l G a N バッファ層 28 に圧縮歪みが発生しているため、ピエゾ電界が発生して G a N バッファ層 16 と A l G a N バッファ層 28 の界面のエネルギー準位が下がる。

[0075] A l G a N バッファ層 28 における歪みをゼロとした状態においては、曲線 A に示すように、G a N バッファ層 16 に引張り歪みが発生しているが、G a N バッファ層 16 と A l G a N バッファ層 28 の界面のエネルギー準位が下がる現象は緩和される。A l G a N バッファ層 28 の歪みをゼロにすることで、ピエゾ電界が小さくなり、界面のエネルギー準位が上昇する。G a N バッファ層 16 中の引張り歪み約 + 0.11(%) が原因で G a N バッファ層 16 の中央部と比べて、A l G a N バッファ層 28 との界面近傍の G a N バッファ層 16 のエネルギー準位が低い。

[0076] G a N バッファ層 16 に引っ張り応力を導入して A l G a N バッファ層 2

8の歪みを緩和した実施の形態に係る窒化物半導体素子の模式的断面構造は、図16(a)に示すように表され、図16(a)の各層に対応する膜厚(nm)・Al組成(%)・歪みの状態は、図16(b)に示すように表される。

[0077] AlGa_Nバリア層18の膜厚は、例えば、約25nmであり、Al組成xは25%である。したがって、AlGa_Nバリア層18は、Aに_{0.25}Ga_{0.75}Nで表される。AlGa_Nバリア層18には、引っ張り応力が加わる。

[0078] Ga_Nバッファ層16の膜厚は、例えば、約1000nmである。Ga_Nバッファ層16には、引っ張り応力が加わる。

[0079] AlGa_Nバッファ層28の膜厚は、例えば、約400nmであり、Al組成xは12%である。したがって、AlGa_Nバッファ層28は、Aに_{0.12}Ga_{0.88}Nで表される。AlGa_Nバッファ層28には、引っ張り応力・圧縮応力のいずれも加わっていないため、歪みゼロである。

[0080] 超格子バッファ層14は、AlN障壁層とAlGa_Nウエル層の68ペアで形成され、膜厚は、例えば、約1700nmであり、平均Al組成yは、約24%である。超格子バッファ層14は、Aに_{0.05}Ga_{0.95}N／AlNで表される超格子ペア(膜厚20nm／5nm)を有する。

[0081] Al_xGa_{1-x}Nで表されるAlGa_Nバッファ層28のAl組成xと超格子バッファ層14の平均Al組成yの大小関係は、x < yである。ここで、xは、yよりも0.1(10%)以上小さいことが望ましい。また、Al_xGa_{1-x}Nで表されるAlGa_Nバッファ層28の膜厚は、例えば、約100nm以上であることが望ましい。超格子バッファ層14の平均Al組成yとAlGa_Nバッファ層28のAl組成xに差があるほど、AlGa_Nバッファ層28は格子緩和しやすく、また、AlGa_Nバッファ層28の膜厚が厚いほど、AlGa_Nバッファ層28は格子緩和しやすいからである。

[0082] AlGa_Nバッファ層28の歪みを緩和して、さらにGa_Nバッファ層16に圧縮歪みを導入した(ピエゾ電界が発生してAlGa_Nバッファ層28との界面エネルギー準位が上がる)、実施の形態に係る窒化物半導体素子1

のエネルギーバンド構造は、図 17 の太線に示すように表される。尚、図 17 において、実線は、図 13 のエネルギーバンド構造（図 15 の曲線 A のエネルギーバンド構造）に対応している。

[0083] AlGaInバッファ層 28 は歪みが緩和している。ここで、シリコン基板 10 の熱膨張係数 (CTE :Coefficient of Thermal Expansion) を CTE_{Si} 、AlGaInバッファ層 28 の熱膨張係数を CTE_{ALGaIn} で表すと、 $CTE_{Si} < CTE_{ALGaIn}$ の関係が成立しており、AlGaInバッファ層 28 は引張り応力を受けやすくなっている。

[0084] AlGaInバッファ層 28 の歪みを緩和し、さらに引張り応力を導入することで、GaInバッファ層 16) / AlGaInバッファ層 28 界面でのポテンシャルの落ち込みを無くしたポテンシャル構造を実現可能である。

[0085] 実施の形態に係る窒化物半導体素子 1 の $Al_xGa_{1-x}N$ 層の Al 組成 x と a 軸格子定数 a の関係を示すは、図 18 に示すように表される。例えば、AlN の a 軸格子定数 a は 3. 1120、GaIn の a 軸格子定数 a は 3. 1891、 $Al_{0.12}Ga_{0.88}N$ の a 軸格子定数 a は 3. 1798 である。

[0086] 以上説明したように、本実施の形態によれば、リーク電流を抑制し、破壊耐量を向上した窒化物半導体素子を提供することができる。

[0087] [その他の実施の形態]

上記のように、実施の形態によって記載したが、この開示の一部をなす論述および図面は例示的なものであり、この発明を限定するものであると理解すべきではない。この開示から当業者には様々な代替実施の形態、実施例および運用技術が明らかとなろう。

[0088] このように、本発明はここでは記載していない様々な実施の形態などを含む。

産業上の利用可能性

[0089] 本発明の窒化物半導体素子は、高周波パワー半導体モジュール、高周波インテリジェントパワーモジュールなどパワーデバイス全般に利用可能であり、特に、高周波・小型・軽量化が求められている分野として、ワイヤレス受

給電装置、携帯電話、デジタルカメラ、ビデオカメラ、タブレット端末、電気自動車、デスクトップコンピュータ、プリンタ、テレビ受像機、ノートブックコンピュータ、ドッキングステーション、ホームサーバなど、また太陽電池・産業機器向けのインバータ、コンバータなどに適用可能である。

符号の説明

[0090] 1…窒化物半導体素子

10…基板

12…第1バッファ層 (AlNバッファ層)

14…第2バッファ層 (AlGaN層単膜若しくは超格子バッファ層)

16…第4バッファ層 (GaNバッファ層)

18…パリア層 (AlGaNパリア層)

20…ソース電極

22…ドレイン電極

24…裏面電極

26…ゲート電極

28…第3バッファ層 (AlGaNバッファ層)

2DEG…2次元電子ガス

I_r …リーク電流

V_r …印加電圧

I_{rT} …全リーク電流

I_{rv} …縦方向リーク電流

I_{rH} …横方向リーク電流

D1、D2、D3、D4…厚さ

t…表面からの深さ

請求の範囲

- [請求項1] 基板と、
 前記基板上に配置された第1バッファ層と、
 前記第1バッファ層上に配置された第2バッファ層と、
 前記第2バッファ層上に配置されたAlGaIn系窒化物半導体からなる第3バッファ層と、
 前記第3バッファ層上に配置されたGaN系窒化物半導体からなる第4バッファ層と、
 前記第4バッファ層上に配置されたAlGaIn系窒化物半導体からなるバリア層と、
 前記バリア層上に配置されたソース電極、ドレイン電極および前記ソース電極および前記ドレイン電極の間に配置されたゲート電極と
 を備え、前記第3バッファ層は格子緩和されていることを特徴とする窒化物半導体素子。
- [請求項2] 前記第3バッファ層に加わる歪みはゼロもしくは引張り歪みであることを特徴とする請求項1に記載の窒化物半導体素子。
- [請求項3] 前記第4バッファ層に加わる歪みはゼロもしくは圧縮歪みであることを特徴とする請求項1または2に記載の窒化物半導体素子。
- [請求項4] 前記第3バッファ層と前記第4バッファ層に炭素がドーピングされていることを特徴とする請求項1〜3のいずれか1項に記載の窒化物半導体素子。
- [請求項5] 前記第3バッファ層と前記第4バッファ層との界面に炭素がドーピングされていることを特徴とする請求項1〜3のいずれか1項に記載の窒化物半導体素子。
- [請求項6] 前記炭素のドーピングレベルは、 1×10^{17} 以上 1×10^{21} (cm^{-3})以下であることを特徴とする請求項4または5に記載の窒化物半導体素子。
- [請求項7] 前記第1バッファ層は、AlInからなることを特徴とする請求項1

～ 6 のいずれか 1 項に記載の窒化物半導体素子。

[請求項 8] 前記第 2 バッファ層は、超格子からなることを特徴とする請求項 1

～ 7 のいずれか 1 項に記載の窒化物半導体素子。

[請求項 9] 前記超格子は、A I G a N 層と A I N 層のペアからなることを特徴とする請求項 8 に記載の窒化物半導体素子。

[請求項 10] 前記第 3 バッファ層は、A I 組成を x とする $A I_x G_{a-i-x} N$ からなり、前記超格子の平均 A I 組成を y とすると、 x は、 y よりも 10 % 以上小さいことを特徴とする請求項 9 に記載の窒化物半導体素子。

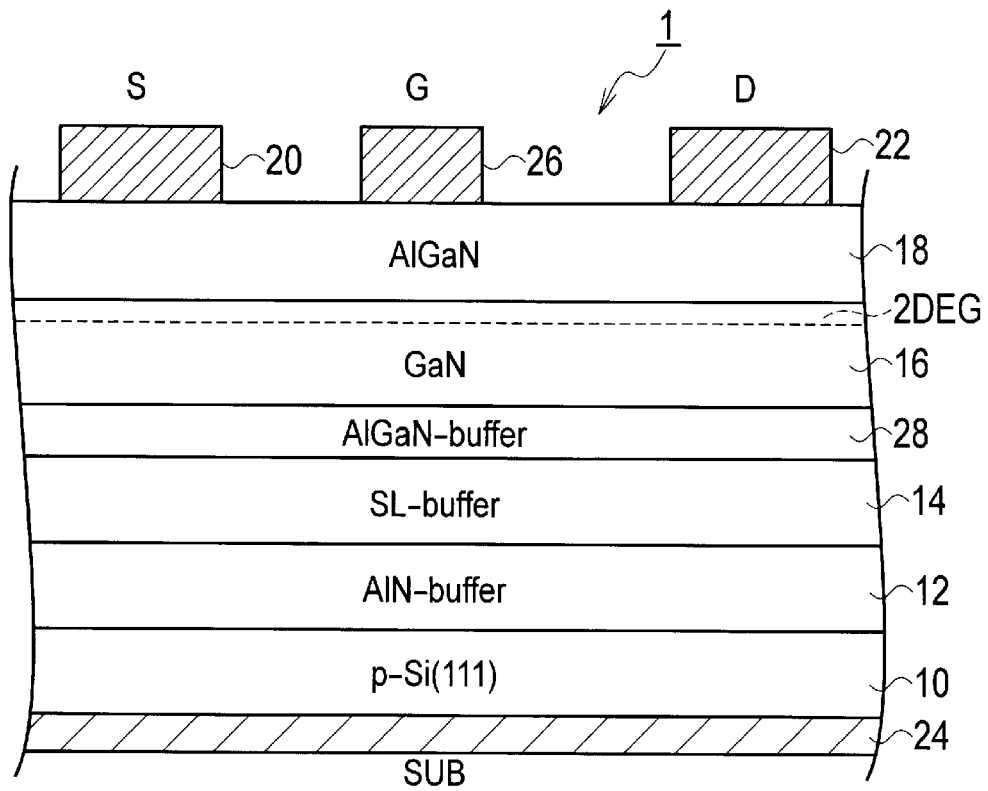
[請求項 11] 前記第 2 バッファ層は、A I G a N 層単膜からなり、前記第 3 バッファ層は、A I 組成を x とする $A I_x G_{a-i-x} N$ からなり、互いに A I 組成が異なることを特徴とする請求項 1～7 のいずれか 1 項に記載の窒化物半導体素子。

[請求項 12] 前記第 4 バッファ層は、G a N からなることを特徴とする請求項 1～11 のいずれか 1 項に記載の窒化物半導体素子。

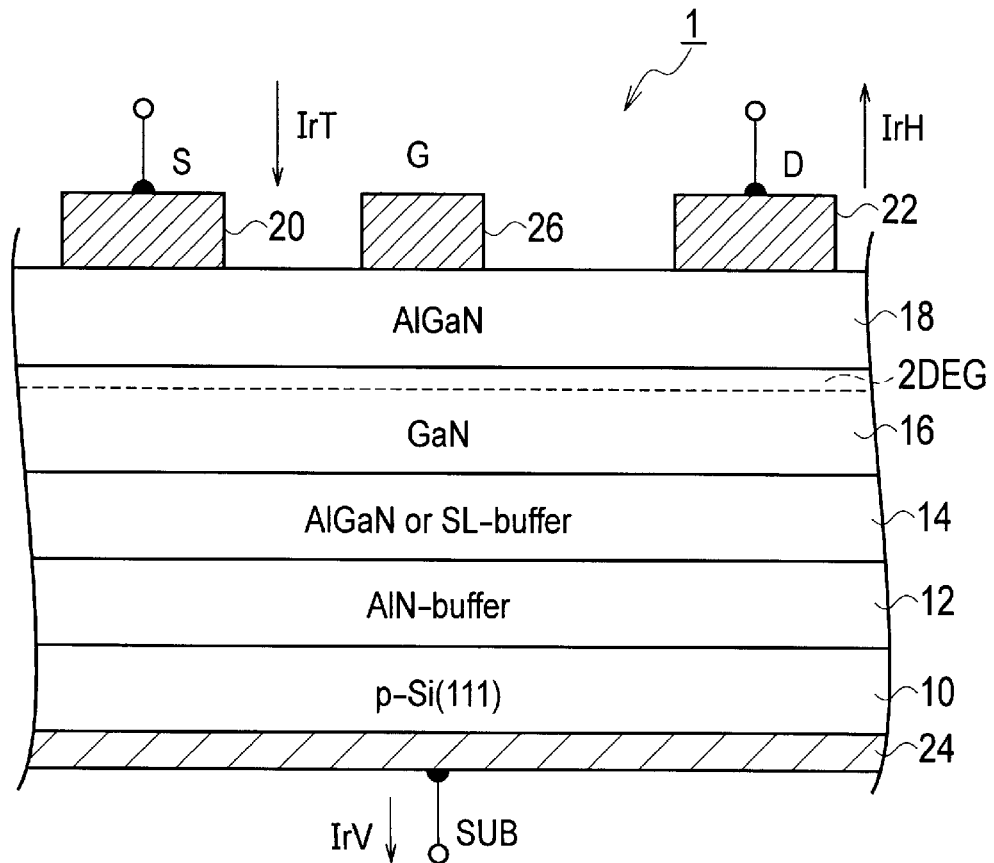
[請求項 13] 前記第 3 バッファ層の膜厚は、100 nm 以上であることを特徴とする請求項 1～12 のいずれか 1 項に記載の窒化物半導体素子。

[請求項 14] 前記基板は、(1 1 1) 面の面方位を有する p 型 S i からなることを特徴とする請求項 1～13 のいずれか 1 項に記載の窒化物半導体素子。

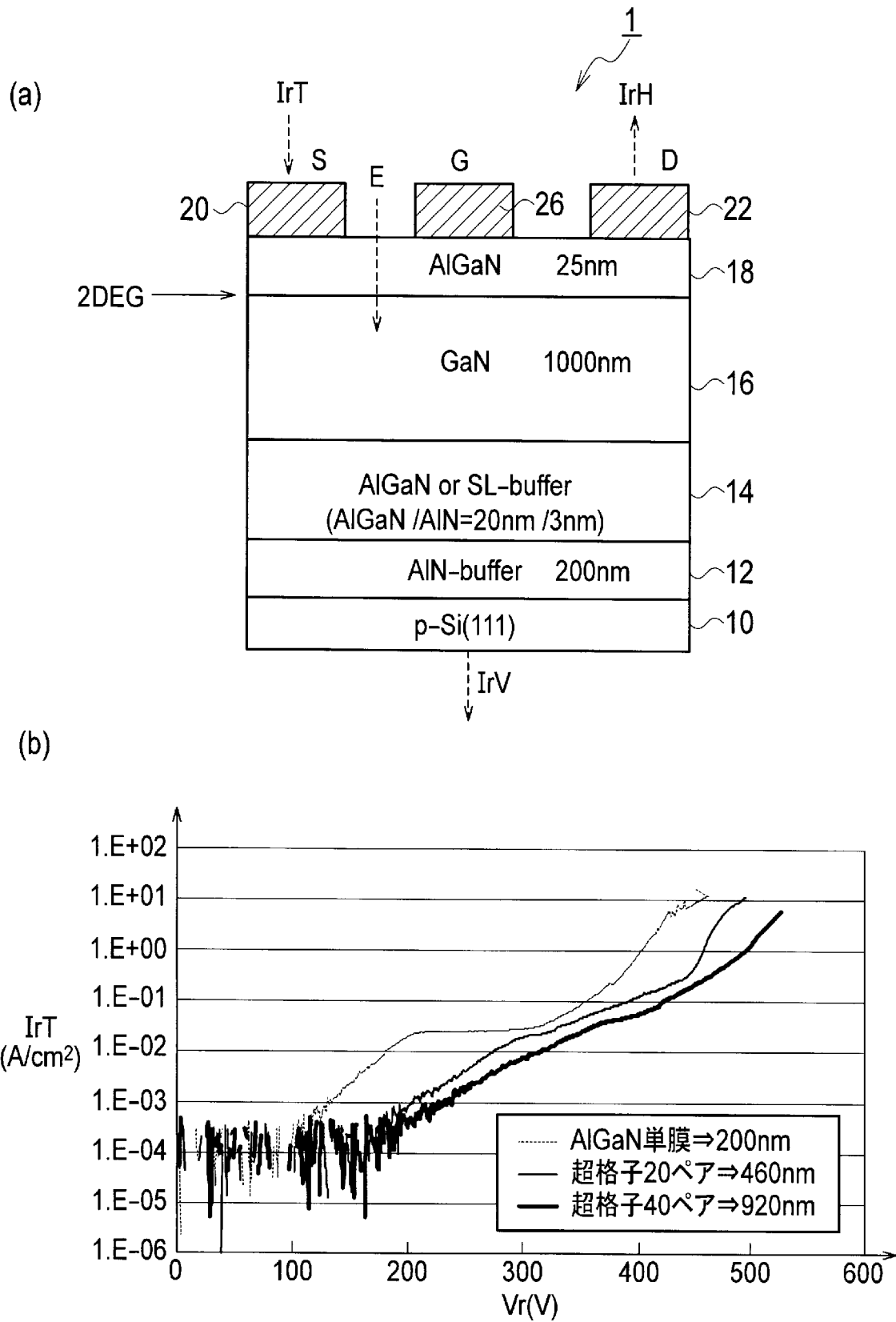
[図1]



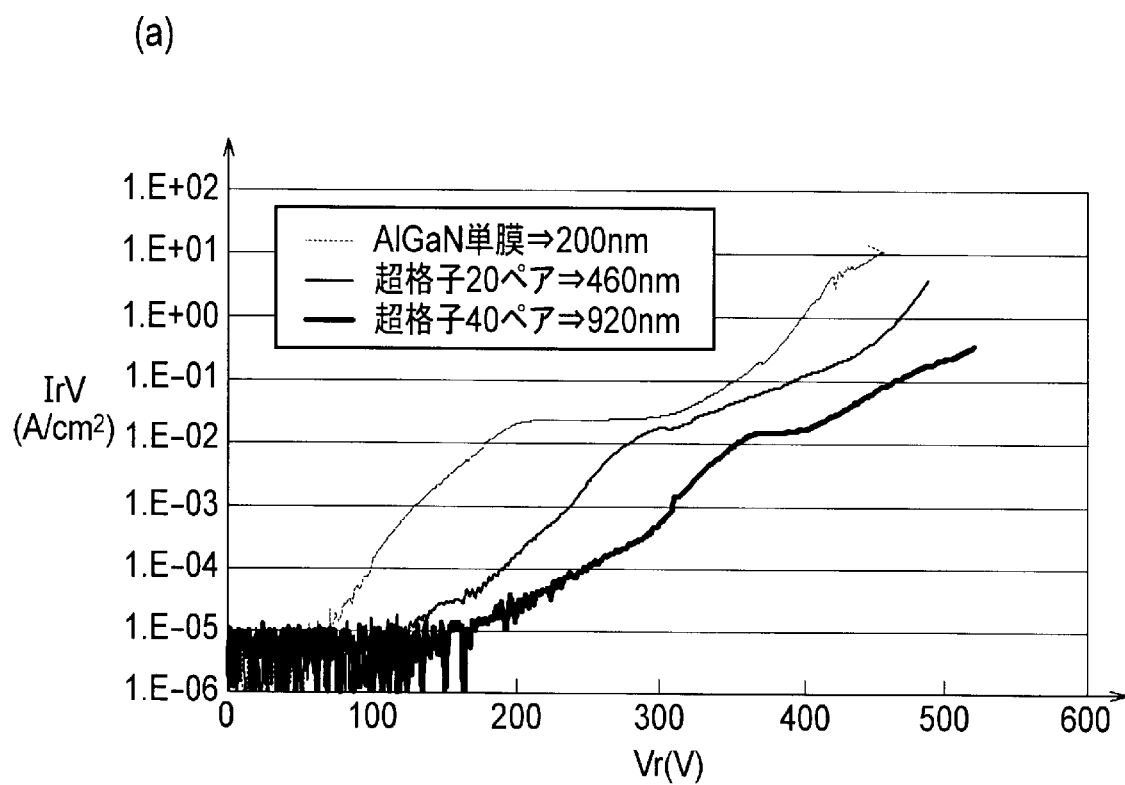
[図2]



[図3]



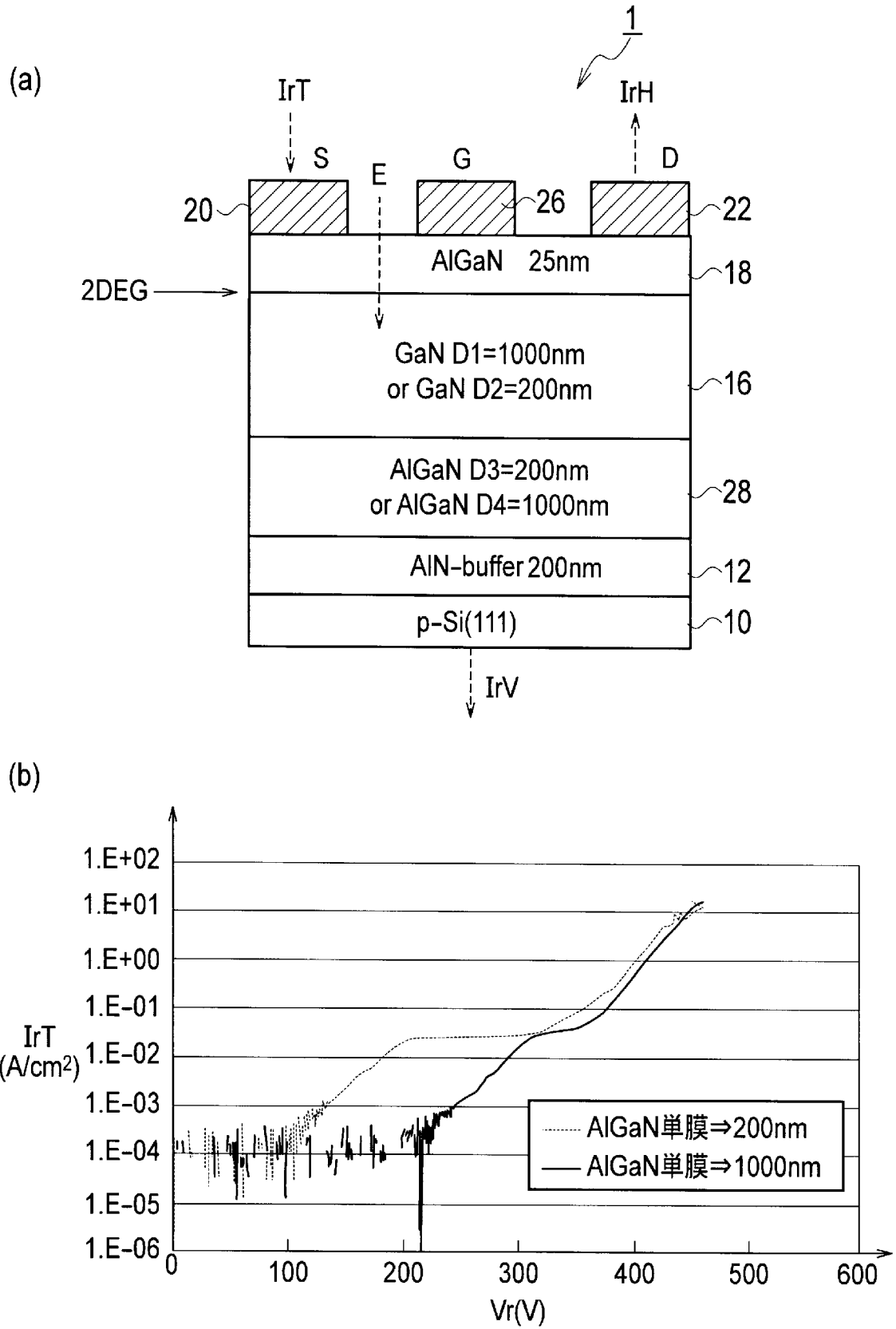
[図4]



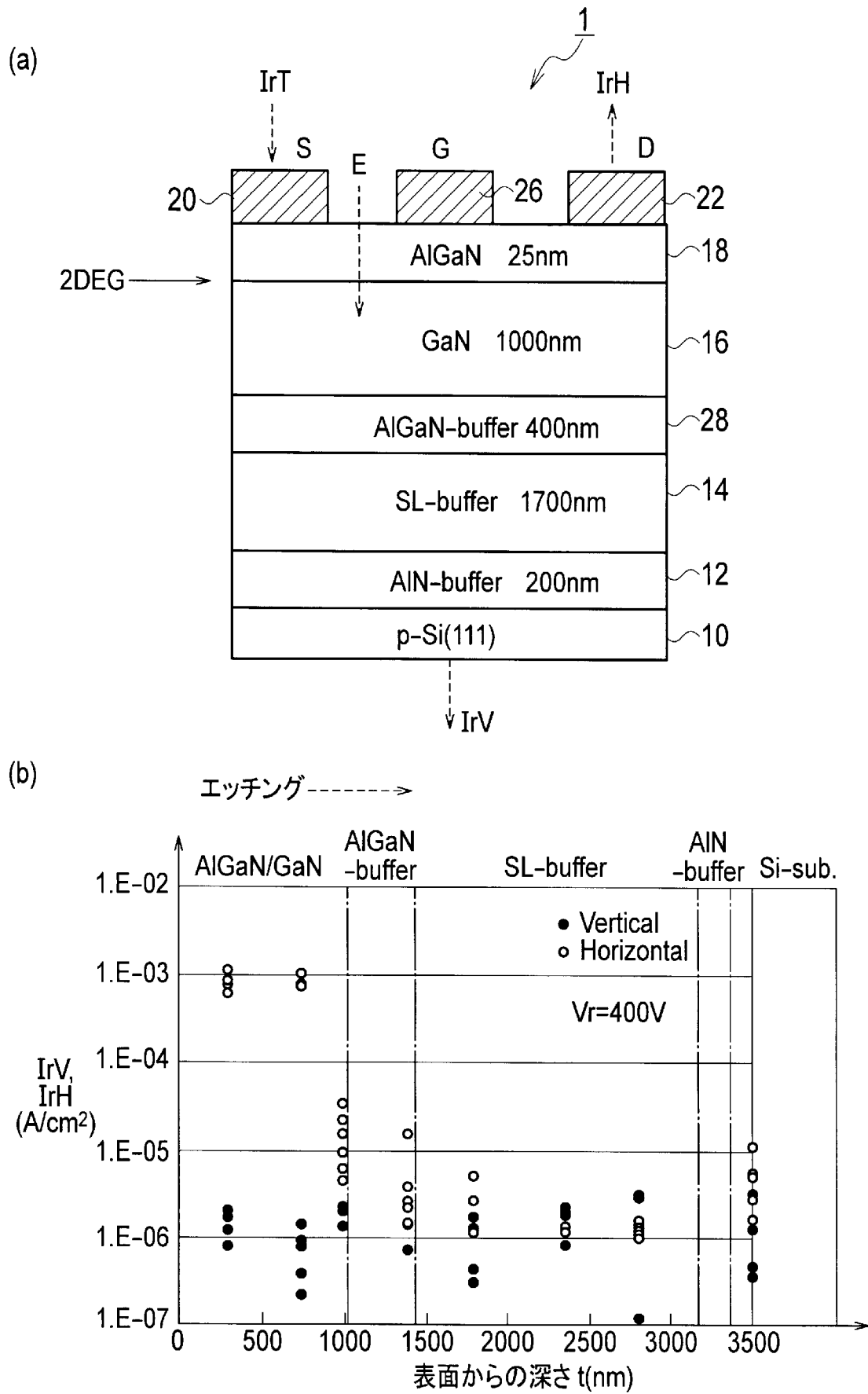
(b)

構造	I_{rT} (A/cm ²)	I_{rV} (A/cm ²)	I_{rV} (%)
AlGaIn単膜	9.2E+00	7.9E+00	86.1
超格子20ペア	5.6E-01	3.9E-01	69.4
超格子40ペア	2.2E-01	6.1E-02	28.2

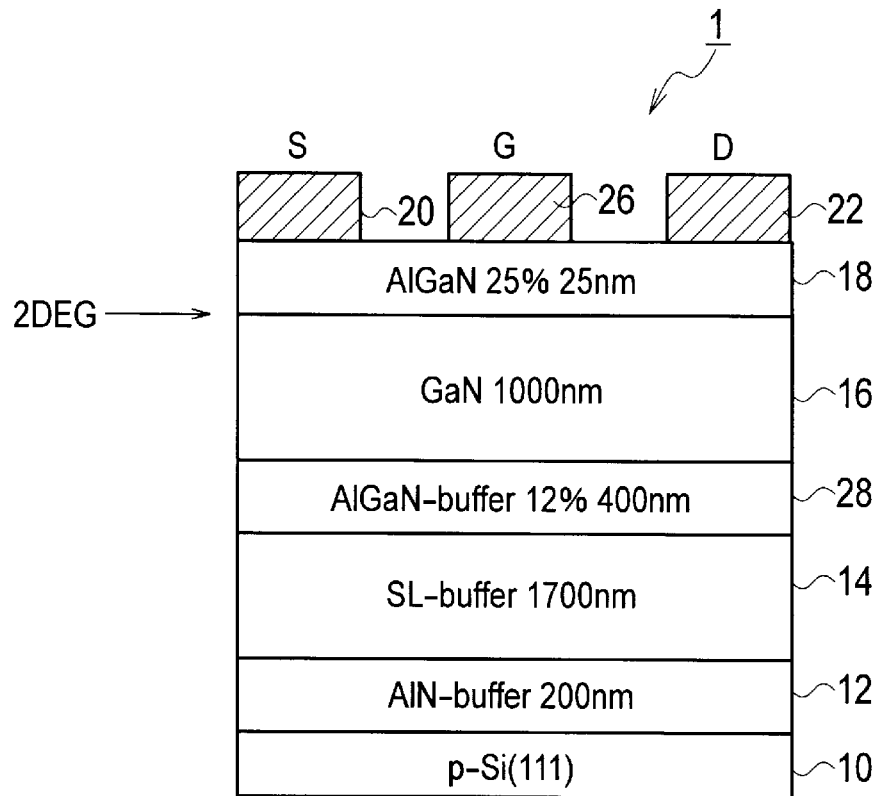
[図5]



[図6]



[図7]



[図8]

	Al組成 (%)	膜厚 (nm)	a格子定数 (Å)	歪み (%)
AlGaN バリア	25	25	3.1926 (GaNバッファ)	+0.72
GaN バッファ	—	1000	3.1926 (クラック限界)	+0.11
AlGaN バッファ	12	400	3.1120 (AlN)	-2.13

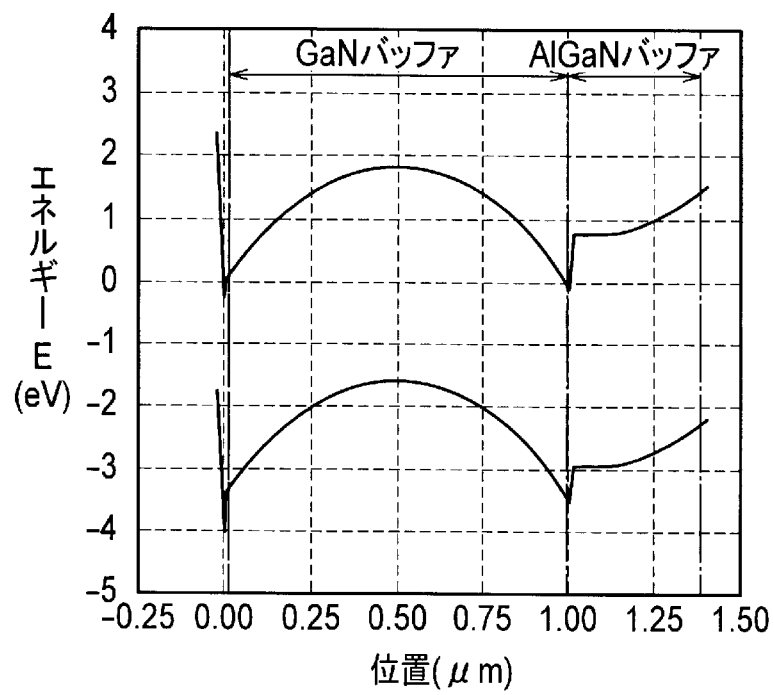
[図9]

	Al組成 (%)	膜厚 (nm)	a格子定数 (Å)	歪み (%)
AlGaIn バリア	25	25	3.1891 (GaIn)	+0.61
GaIn バッファ	—	1000	3.1891 (GaIn)	±0
AlGaIn バッファ	12	400	3.1120 (AlIn)	-2.13

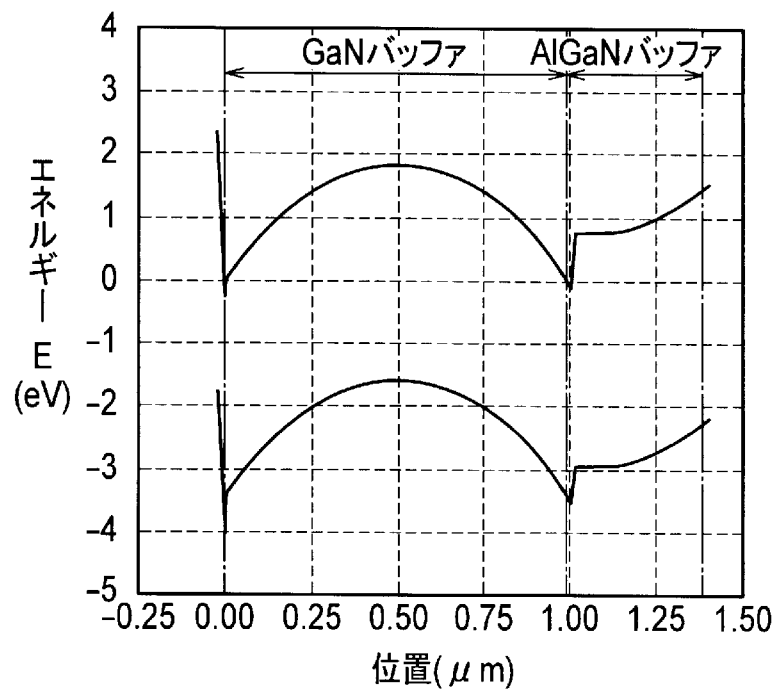
[図10]

	Al組成 (%)	膜厚 (nm)	a格子定数 (Å)	歪み (%)
AlGaIn バリア	25	25	3.1926 (GaInバッファ)	+0.72
GaIn バッファ	—	1000	3.1926 (クラック限界)	+0.11
AlGaIn バッファ	12	400	3.1798 (AlGaIn12%)	±0

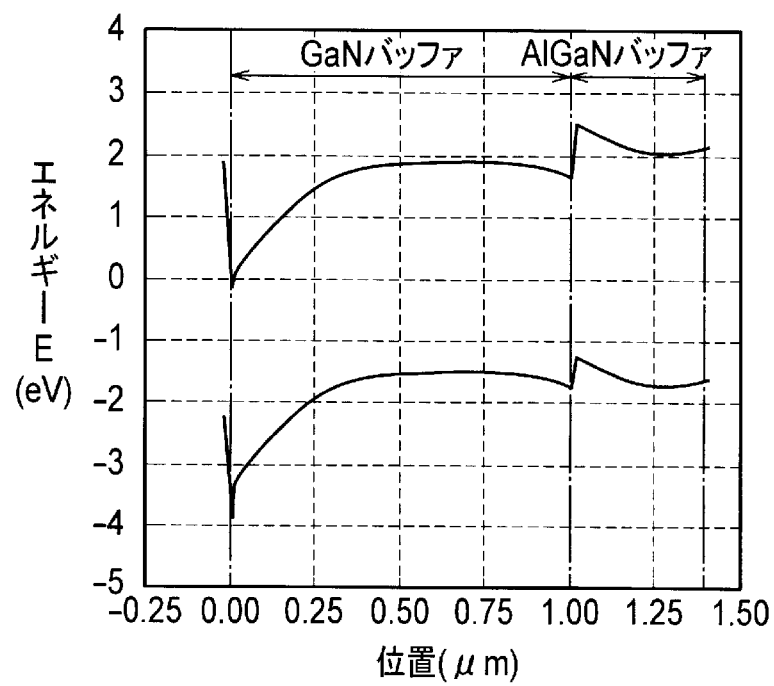
[図11]



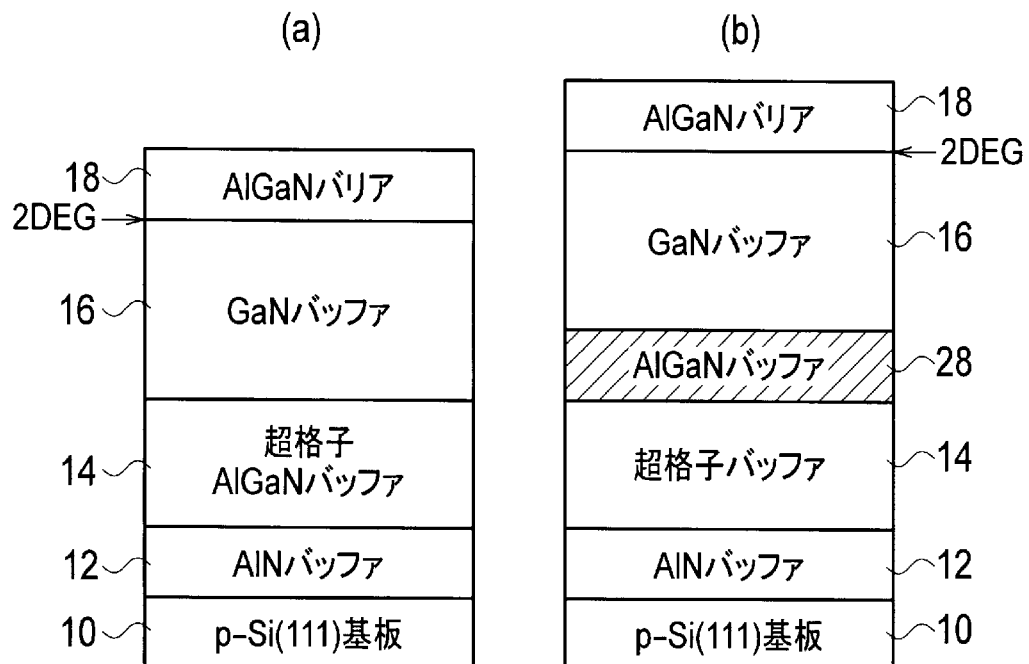
[図12]



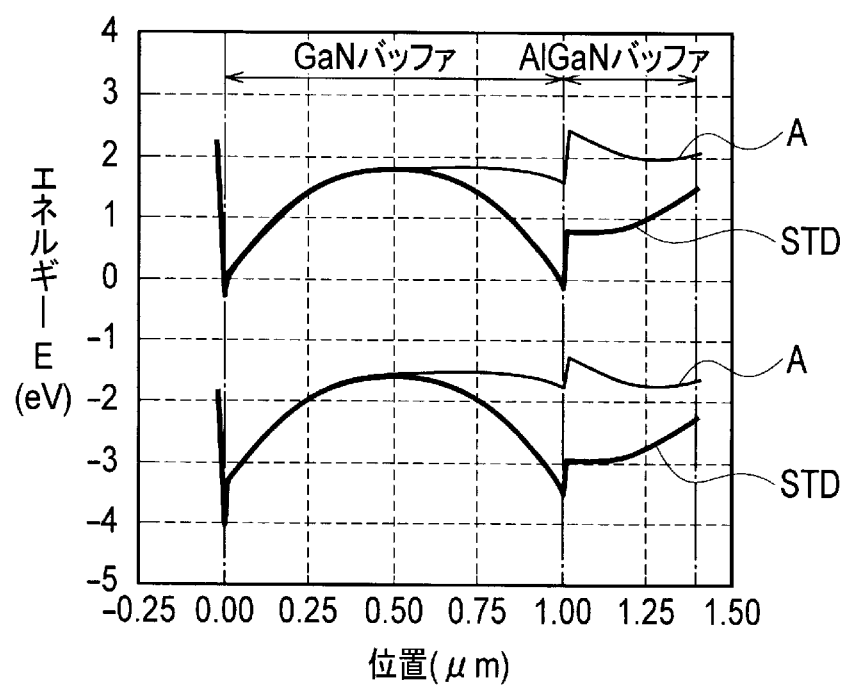
[図13]



[図14]



[図15]



[図16]

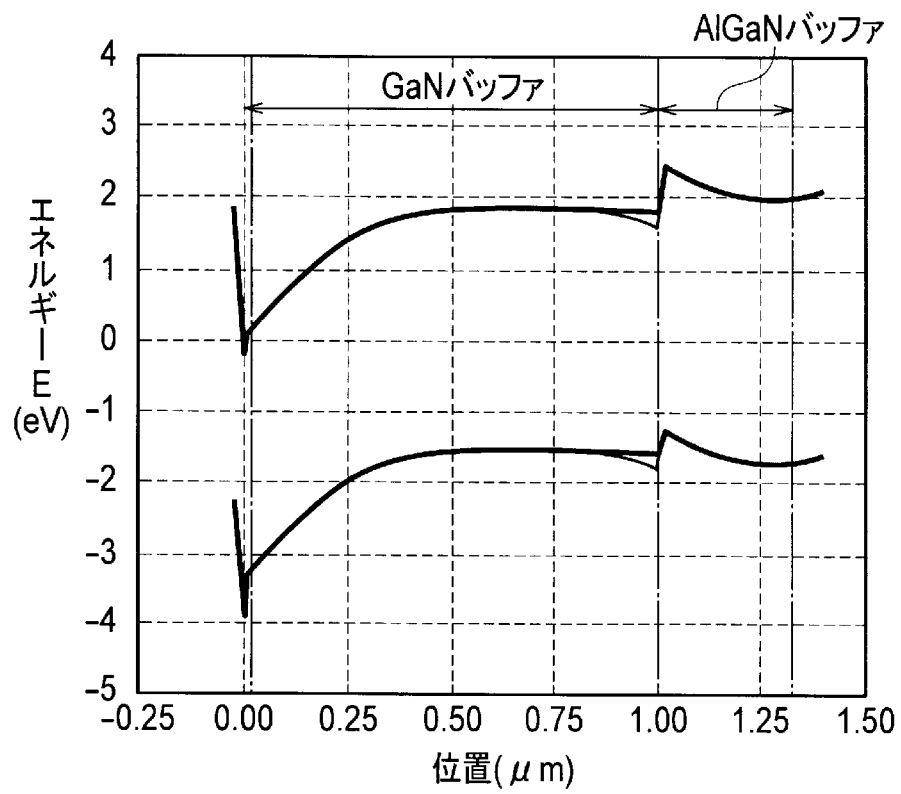
(a)

AlGa _N バリア	18
GaNバッファ	16
AlGa _N バッファ	28
超格子バッファ	14
AlNバッファ	12
p-Si(111)基板	10

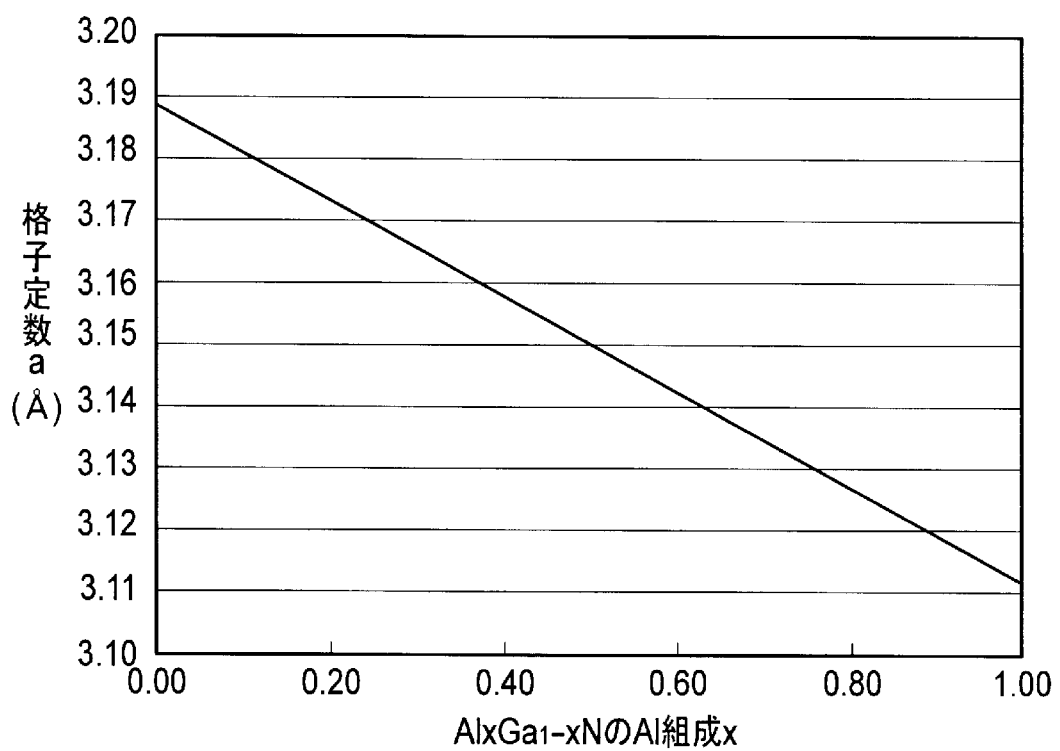
(b)

	膜厚 (nm)	Al組成 (%)	歪み	備考
AlGa _N バリア	25	25	引張	
GaNバッファ	1000	0	引張	
AlGa _N バッファ	400	12	0	
超格子バッファ 68ペア	1700	24(平均)	圧縮	AlN=5nm AlGa _N =20nm Al組成は5%
AlNバッファ	200	100	引張	

[図17]



[図18]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT / JP2014 / 062437

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H 0 1 L 2 1 / 3 3 8 { 2 0 0 6 . 0 1 } i , H 0 1 L 2 9 / 7 7 8 { 2 0 0 6 . 0 1 } i , H 0 1 L 2 9 / 8 1 2 { 2 0 0 6 . 0 1 } i

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)

H 0 1 L 2 1 / 3 3 8 , H 0 1 L 2 9 / 7 7 8 , H 0 1 L 2 9 / 8 1 2

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	1996-2014
Kokai	Jitsuyo	Shinan	1971-2014	Toroku	Jitsuyo	Shinan	Koho	1994-2014

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.
X Y	J P 2 0 1 2 - 1 5 3 0 6 A (Sumitomo Electric Industries , Ltd .) , 1 9 January 2 0 1 2 (1 9 . 0 1 . 2 0 1 2) , fig . 6 ; paragraphs [0 0 3 5] to [0 0 3 8] (Family : none)	1 - 3 , 7 , 1 1 - 1 4 4 - 6 , 8 - 1 0
Y	J P 2 0 1 1 - 8 2 4 9 4 A (Covalent Materials Corp .) , 2 1 April 2 0 1 1 (2 1 . 0 4 . 2 0 1 1) , fig . 2 ; paragraph [0 0 1 0] & US 2 0 1 1 / 0 0 6 2 5 5 6 A I & DE 1 0 2 0 1 0 0 4 5 1 9 6 A	4 - 6 , 8 - 1 0
A	WO 2 0 1 1 / 1 1 8 0 9 8 A I (NEC Corp .) , 2 9 September 2 0 1 1 (2 9 . 0 9 . 2 0 1 1) , paragraphs [0 0 3 6] to [0 0 4 0] & US 2 0 1 3 / 0 1 0 5 8 1 1 A I	1 - 1 4

☐ 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
0 7 July, 2 0 1 4 (0 7 . 0 7 . 1 4)Date of mailing of the international search report
2 2 July, 2 0 1 4 (2 2 . 0 7 . 1 4)Name and mailing address of the ISA/
Japan 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 (I P C))

IntCl. H01L2 1/338 (2006. 01) i, H01L29/778 (2006. 01) i, H01L29/812 (2006. 01) i

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 (I P C))

IntCl. H01L21/338, 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	1 9 2 2 -
日本国公開実用新案公報	1 9 7 1 - 2 1
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 - 2 1
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 - 9 1

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)
年

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
X Y	JP 2012-15306 A (住友電気工業株式会社) 2012. 01. 19, 図 6、段落 0 0 3 5 - 0 0 3 8 (ファミリーなし)	1-3, 7, 11—14 4-6, 8-10
Y	JP 2011-82494 A (コバレントマテリアル株式会社) 2011. 04. 21, 図 2、段落 0 0 1 0 & US 2011/0062556 AI & DE 102010045196 A	4-6, 8-10
A	wo 2011/118098 AI (日本電気株式会社) 2011. 09. 29, 段落 0 0 3 6 - 0 0 4 0 & US 2013/0105811 AI	1—14

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

- 「F」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
- 「Z」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

0 7 . 0 7 . 2 0 1 4

国際調査報告の発送日

2 2 . 0 7 . 2 0 1 4

国際調査機関の名称及びあて先

ヨ本 国特許庁 (I S A / J P)

郵便番号 1 0 0 - 8 9 1 5

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)

儀 同 孝 信

電話番号 0 3 - 3 5 8 1 - 1 1 0 1 内線 3 5 5 9

5 0

3 5 6 6