

(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
2018年7月26日(26.07.2018)



(10) 国際公開番号
WO 2018/135448 A1

(51) 国際特許分類:

H01L 29/739 (2006.01) *H01L 29/861* (2006.01)
H01L 21/336 (2006.01) *H01L 29/868* (2006.01)
H01L 29/78 (2006.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2018/000886

(22) 国際出願日: 2018年1月15日(15.01.2018)

(25) 国際出願の言語: 日本語

(26) 国際公開の言語: 日本語

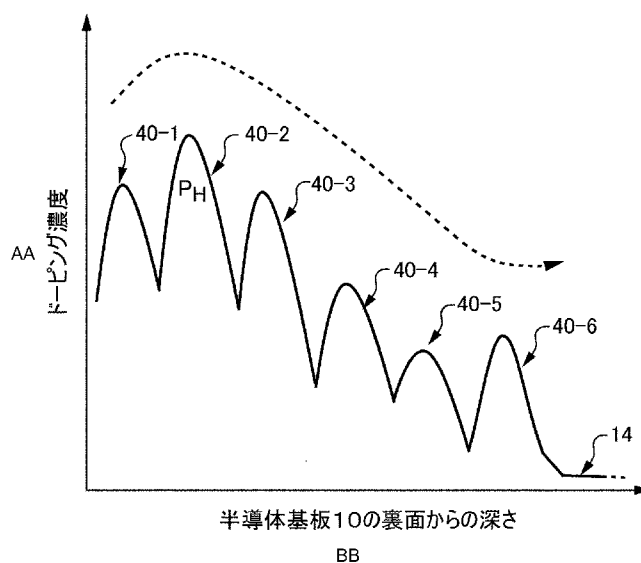
(30) 優先権データ:
特願 2017-006187 2017年1月17日(17.01.2017) JP

(71) 出願人: 富士電機株式会社 (FUJI ELECTRIC CO., LTD.) [JP/JP]; 〒2109530 神奈川県川崎市川崎区田辺新田1番1号 Kanagawa (JP).

(72) 発明者: 阿形 泰典 (AGATA Yasunori); 〒2109530 神奈川県川崎市川崎区田辺新田1番1号 富士電機株式会社内 Kanagawa (JP). 吉村 尚 (YOSHIMURA Takashi); 〒2109530 神奈川県川崎市川崎区田辺新田1番1号 富士電機株式会社内 Kanagawa (JP). 瀧下 博 (TAKISHITA Hiroshi); 〒2109530 神奈川県川崎市川崎区田辺新田1番1号 富士電機株式会社内 Kanagawa (JP).

(54) Title: SEMICONDUCTOR DEVICE

(54) 発明の名称: 半導体装置



AA Doping concentration
BB Depth from back surface of semiconductor substrate 10

(57) **Abstract:** Provided is a semiconductor device including a buffer region. Provided is a semiconductor device comprising: a semiconductor substrate of a first conductivity type; a drift layer provided on the semiconductor substrate and of the first conductivity type; and a buffer region provided on the drift layer and having a plurality of doping concentration peaks of the first conductivity type. The buffer region includes: a first peak, among the plurality of peaks, that has a preset doping concentration and is provided furthest toward the back-surface side of the semiconductor substrate; and a



(74) 代理人: 龍華国際特許業務法人(RYUKA IP LAW FIRM); 〒1631522 東京都新宿区西新宿 1 - 6 - 1 新宿エルタワー 2 2階 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, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, 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, 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, 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))
- 補正された請求の範囲 (条約第19条(1))

high-concentration peak that has a higher doping concentration than that of the first peak and is provided further toward the upper-surface side of the semiconductor substrate than the first peak.

(57) 要約: バッファ領域を有する半導体装置を提供する。第1導電型の半導体基板と、半導体基板に設けられた第1導電型のドリフト層と、ドリフト層に設けられ、第1導電型であるドーピング濃度の複数のピークを有するバッファ領域と、を備え、バッファ領域は、予め定められたドーピング濃度を有し、複数のピークのうち半導体基板の最も裏面側に設けられた第1ピークと、第1ピークのドーピング濃度よりも高濃度のドーピング濃度を有し、第1ピークよりも半導体基板の上面側に設けられた高濃度ピークとを有する半導体装置を提供する。

明 細 書

発明の名称：半導体装置

技術分野

[0001] 本発明は、半導体装置に関する。

背景技術

[0002] 従来、複数の不純物濃度ピークを有するフィールドストップ領域が形成された半導体装置が知られている（例えば、特許文献 1、2 参照）。

特許文献 1 米国特許出願公開第 2 0 1 6 / 0 1 7 2 4 3 8 号明細書

特許文献 2 米国特許出願公開第 2 0 0 8 / 0 0 0 1 2 5 7 号明細書

解決しようとする課題

[0003] しかしながら、従来のフィールドストップ領域は、半導体基板の裏面側から順々にピークの不純物濃度が低下する構成を有するので、デバイス特性を最適化した場合に空乏層を止めるフィールドストップ領域としての機能を満たさない場合がある。

一般的開示

[0004] 本発明の第 1 の態様においては、第 1 導電型の半導体基板と、半導体基板に設けられた第 1 導電型のドリフト層と、ドリフト層に設けられ、第 1 導電型であるドーピング濃度の複数のピークを有するバッファ領域とを備える半導体装置を提供してよい。バッファ領域は、予め定められたドーピング濃度を有し、複数のピークのうち半導体基板の最も裏面側に設けられた第 1 ピークと、第 1 ピークのドーピング濃度よりも高濃度のドーピング濃度を有し、第 1 ピークよりも半導体基板の上面側に設けられた高濃度ピークとを有してよい。

[0005] バッファ領域は、高濃度ピークのドーピング濃度よりも低濃度のドーピング濃度を有し、高濃度ピークよりも半導体基板の上面側に設けられた低濃度ピークを更に有してよい。

[0006] 高濃度ピークは、複数のピークのうち半導体基板の裏面側から第 1 ピーク

の次に設けられた第2ピークであってよい。

[0007] 第2ピークは、複数のピークのうち最も高濃度のピークであってよい。

[0008] 第2ピークは、半導体基板の裏面から $1\ \mu\text{m}$ 以上、 $12\ \mu\text{m}$ 以下の位置に設けられてよい。

[0009] 第1ピークと第2ピークの間ドーピング濃度の谷のドーピング濃度が、半導体基板の基板濃度の10倍以上であってよい。

[0010] 第1ピークのドーピング濃度 N_1 と第2ピークのドーピング濃度 N_2 のドーピング濃度比率 N_2/N_1 が、1より大きく、且つ、100以下であってよい。

[0011] 第1ピークは、複数のピークのうち第2ピークの次に高濃度のピークであってよい。

[0012] 半導体基板は、複数のピークのピーク同士の間複数の谷を有し、複数の谷のドーピング濃度が裏面側から上面側に向けて順次下がるドーピング濃度分布を有してよい。

[0013] 第1ピークと第2ピークの間ドーピング濃度の谷のドーピング濃度 N_{V12} と、第1ピークのドーピング濃度 N_1 との比 (N_1/N_{V12}) が、第2ピークのドーピング濃度 N_2 と第1ピークのドーピング濃度 N_1 との比 (N_2/N_1) よりも高くてよい。

[0014] トランジスタ部およびダイオード部を有してよい。ダイオード部は、第1ピークよりも半導体基板の裏面側に第1導電型と異なる第2導電型のフローティング層を有してよい。

[0015] 半導体装置は、トランジスタ部の裏面に第2導電型のコレクタ領域を有してよい。また、コレクタ領域から第2ピークまでの積分濃度が、半導体基板の臨界積分濃度の半分より高くてよい。

[0016] 半導体装置は、複数のピークのうち半導体基板の裏面側から第2ピークの次に設けられた第3ピークを更に備えてよい。第3ピークのドーピング濃度 N_3 は、第1ピークと第2ピークの間ドーピング濃度の谷のドーピング濃度 N_{V12} よりも小さくてよい。

- [0017] 第2ピークと第1ピークとの深さ方向の距離 $X_2 - X_1$ は、第1ピークの半導体基板の裏面からの深さ X_1 よりも小さくてよい。
- [0018] 第1ピークおよびコレクタ領域の境界位置の、半導体基板の裏面からの深さ X_0 は、第1ピークと、第1ピークおよびコレクタ領域の境界位置との深さ方向の距離 $X_1[0] - X_0$ よりも小さくてよい。
- [0019] 第1ピークおよびコレクタ領域の境界位置の、半導体基板の裏面からの深さ X_0 は、第1ピークと、第1ピークおよびコレクタ領域の境界位置との深さ方向の距離 $X_1[0] - X_0$ よりも大きくてよい。
- [0020] 第1ピークとフローティング層の境界位置の半導体基板の裏面からの距離 X_b が、第1ピークと、第1ピークおよびフローティング層の境界位置との距離 $X_1 - X_b$ よりも小さくてよい。
- [0021] 本発明の第1の態様においては、第1導電型の半導体基板と、半導体基板に設けられた第1導電型のドリフト層と、ドリフト層に設けられ、第1導電型であるドーピング濃度の複数のピークを有するバッファ領域とを備え半導体装置を提供する。複数のピークは、 n 個のドーピング濃度分布のピーク P_n （ n は2以上の整数）を有してよい。ピーク P_n のうち、半導体基板の裏面側から i 番目のピーク P_i のドーピング濃度をドーピング濃度 NP_i とし、 i 番目のピーク P_i よりも半導体基板の裏面側の谷 B_i のドーピング濃度をそれぞれドーピング濃度 NB_i とした場合、 $NP_i / NB_{i+1} \leq 10$ となるピークと谷のペアを有してよい。
- [0022] 複数のピークは、 $NP_i / NB_{i+1} \leq 10$ となるピークと谷の複数のペアを有してよい。
- [0023] 谷のドーピング濃度 NB_i の全てを結ぶ包絡線は、谷 B_1 から谷 B_{n+1} に向かって、指数関数的、若しくは、指数関数よりも緩やかに減衰してよい。
- [0024] 谷のドーピング濃度 NB_i の全てを結ぶ包絡線は、ドーピング濃度が小さい側に凸状に減衰してよい。
- [0025] なお、上記の発明の概要は、本発明の特徴の全てを列挙したものではない。また、これらの特徴群のサブコンビネーションもまた、発明となりうる。

図面の簡単な説明

- [0026] [図1A]実施例に係る半導体装置 100 の概要を示す断面図である。
- [図1B]実施例に係る半導体装置 100 の概要を示す断面図である。
- [図2]実施例に係る半導体基板 10 のドーピング濃度分布の一例を示す。
- [図3]比較例 1 に係る半導体基板のドーピング濃度分布の一例を示す。
- [図4A]実施例に係る半導体基板 10 のより詳細なドーピング濃度分布の一例を示す。
- [図4B]実施例に係る半導体基板 10 のより詳細なドーピング濃度分布の一例を示す。
- [図4C]実施例に係る半導体基板 10 のより詳細なドーピング濃度分布の一例を示す。
- [図5]フローティング層 66 を有する半導体装置 100 の構成の一例を示す。
- [図6A]フローティング層 66 を有する半導体基板 10 のドーピング濃度分布の一例を示す。
- [図6B]フローティング層 66 を有する半導体基板 10 のドーピング濃度分布の一例を示す。
- [図6C]フローティング層 66 を有する半導体基板 10 のドーピング濃度分布の一例を示す。
- [図6D]フローティング層 66 を有する半導体基板 10 のドーピング濃度分布の一例を示す。
- [図7]実施例に係る半導体基板 10 のより詳細なドーピング濃度分布の一例を示す。

発明を実施するための形態

- [0027] 以下、発明の実施の形態を通じて本発明を説明するが、以下の実施形態は請求の範囲にかかる発明を限定するものではない。また、実施形態の中で説明されている特徴の組み合わせの全てが発明の解決手段に必須であるとは限らない。
- [0028] 本明細書においては、半導体基板の深さ方向と平行な方向における一方の

側を「上」、他方の側を「下」と称する。基板、層またはその他の部材の2つの主面のうち、一方の面を上面、他方の面を下面と称する。「上」、「下」、「おもて」、「裏」の方向は重力方向、または、半導体装置の実装時における基板等への取り付け方向に限定されない。

[0029] 各実施例においては、第1導電型をN型、第2導電型をP型とした例を示しているが、第1導電型をP型、第2導電型をN型としてもよい。この場合、各実施例における基板、層、領域等の導電型は、それぞれ逆の極性となる。

[0030] 本明細書では、NまたはPを冠記した層や領域では、それぞれ電子または正孔が多数キャリアであることを意味する。また、NやPに付す+および-は、それぞれ、それが付されていない層や領域よりも高ドーピング濃度および低ドーピング濃度であることを意味する。

[0031] 図1Aは、実施例に係る半導体装置100の概要を示す断面図である。半導体装置100は、半導体基板10の上面および裏面に電極が形成され、半導体基板10の厚み方向に電流が流れる縦型の半導体装置である。本例では、半導体装置100の一例として、フリーホイールダイオード(FWD)を示す。半導体装置100は、半導体基板10、上面側電極102および裏面側電極104を備える。

[0032] 上面側電極102は、半導体基板10の上面側に設けられる。本例の上面側電極102はプレーナ形状を有するが、他の例における上面側電極102はトレンチ形状を有してもよい。半導体装置100がFWDの場合、上面側電極102はアノード電極である。

[0033] 裏面側電極104は、半導体基板10の裏面側に設けられる。半導体装置がFWDの場合、裏面側電極104はカソード電極である。

[0034] 半導体基板10は、シリコンまたは化合物半導体等の半導体材料で形成される。半導体基板10には所定の濃度の不純物がドーパされる。半導体基板10は、第1導電型を有する。例えば、半導体基板10は、N型である。本例においては、第1導電型をN型として、第2導電型をP型として説明す

る。ただし、第1導電型をP型として、第2導電型をN型としてもよい。半導体基板10は、上面側領域12、ドリフト領域14、バッファ領域20およびカソード領域21を有する。バッファ領域20は、空乏層の伸長を抑制するフィールドストップ層として機能して良い。

[0035] ドリフト領域14は、第1導電型を有する。即ち、本例のドリフト領域14は、半導体基板10と同一の導電型を有する。本例のドリフト領域14はN型である。

[0036] 上面側領域12は、半導体基板10の上面側に配置され、ドリフト領域14とは異なる導電型の不純物がドーピングされる。本例において上面側領域12はP型である。半導体装置100がFWDの場合、上面側領域12はアノード領域として機能する。

[0037] カソード領域21は、半導体基板10の裏面側に設けられる。カソード領域21は、第1導電型を有する。本例のカソード領域21はN+型である。カソード領域21は、バッファ領域20と裏面側電極104との間に配置される裏面側領域の一例である。

[0038] バッファ領域20は、半導体基板10の裏面側に配置される。バッファ領域20は、ドリフト領域14と同一の導電型を有し、且つ、ドリフト領域14よりも高濃度に不純物がドーピングされる。本例においてバッファ領域20はN+型である。バッファ領域20は、複数のピーク40を有する。本例のバッファ領域20は、ドーピング濃度の6つのピーク40-1、40-2、40-3、40-4、40-5、40-6を有する。但し、バッファ領域20が有するピーク40の個数はこれに限られない。複数のピーク40は、異なる加速エネルギーで半導体基板10の裏面側から不純物を注入することにより形成されてよい。また、単位面積当たりの注入量を変えてプロトンを注入することによりプロトンの位置に応じてドーピング濃度を調整できる。ここでドーピング濃度とは、N型またはP型ドーパントとして、電氣的に活性化されたドーピング濃度を意味する。

[0039] また、バッファ領域20は、上面側領域12およびドリフト領域14の界

面から延びる空乏層が、半導体基板 10 の裏面側領域まで到達することを抑制する。バッファ領域 20 は、半導体基板 10 の裏面側からプロトンを注入し、熱処理することにより形成される。ピーク 40 は、半導体基板 10 の裏面側から、プロトン等の水素イオンといった質量の小さい不純物をドーピングすることで形成する。プロトン等の軽い不純物を用いることで、ピーク 40 の位置を精度よく制御できる。当該不純物は、リンおよびセレンよりも質量の軽い物質であることが好ましい。例えば、プロトンが注入された領域では、注入された水素と、半導体基板 10 の空孔等による複合欠陥がドナーとなる水素誘起ドナーにより、高濃度の N+層が形成される。

[0040] 図 1 B は、実施例に係る半導体装置 100 の概要を示す断面図である。本例の半導体装置 100 は、トランジスタ部 50 およびダイオード部 70 を有する。

[0041] トランジスタ部 50 およびダイオード部 70 は隣接して設けられている。本例のトランジスタ部 50 は、絶縁ゲートバイポーラトランジスタ (IGBT: Insulated Gate Bipolar Transistor) を有する。図 1 A で示した構成と同一の構成は、特段明示しない限り同一の符号で示す。なお、半導体装置 100 が IGBT の場合、上面側電極 102 はエミッタ電極であり、裏面側電極 104 はコレクタ電極である。

[0042] なお、本例では、ダイオード部 70 も備えた逆導通 IGBT (Reverse conducting IGBT) の例を記載しているが、ダイオード部 70 を備えない IGBT であっても構わない。以下に述べる実施の例は、ダイオード部 70 を備えない IGBT であっても同様の効果を奏する。

[0043] 本例の半導体基板 10 は、ベース領域として機能する P 型の上面側領域 12、N-型のドリフト領域 14、バッファ領域 20、コレクタ領域 52 およびカソード領域 64 を有する。本例の半導体基板 10 は、上面側に、ゲートトレンチ 54、エミッタトレンチ 56 および N+型のエミッタ領域 58 を有する。ゲートトレンチ 54 またはエミッタトレンチ 56 の長手方向では、エミッタ領域 58 と、図示しない P+型のコンタクト領域が交互に設けられて

いる。コンタクト領域は上面側領域 12 よりも高いドーピング濃度を有する。

[0044] トランジスタ部 50 には、半導体基板 10 の上面からドリフト領域 14 まで達する複数のゲートトレンチ 54 と、複数のエミッタトレンチ 56 とが設けられる。ゲートトレンチ 54 の内部には、ゲート電圧が印加されるゲート電極 G が配置されている。エミッタトレンチ 56 の内部には、エミッタ電極として機能する上面側電極 102 と電氣的に接続されるエミッタ電極 E が配置されている。トランジスタ部 50 に対応する裏面側には、P+型のコレクタ領域 52 が設けられている。

[0045] コレクタ領域 52 は、バッファ領域 20 と裏面側電極 104 との間の裏面側領域である。コレクタ領域 52 は、半導体基板 10 と異なる導電型を有する。本例のコレクタ領域 52 は、P+型の導電型を有する。

[0046] 絶縁膜 68 は、半導体基板 10 上に配置される。本例の絶縁膜 68 は、ゲート電極 G およびエミッタ電極 E と、上面側電極 102 との間に配置されている。また、絶縁膜 68 の一部の領域には、エミッタ電極 E と上面側電極 102 とを接続する貫通孔が形成される。

[0047] ダイオード部 70 には、半導体基板 10 の上面側から、ベース領域として機能する P 型の上面側領域 12、N-型のドリフト領域 14、バッファ領域 20、および、N+型のカソード領域 64 が設けられる。ダイオード部 70 には、半導体基板 10 の上面からドリフト領域 14 まで達する複数のエミッタトレンチ 56 が設けられる。なお、裏面側電極 104 は、半導体基板 10 の裏面において、コレクタ領域 52 およびカソード領域 64 と接触している。

[0048] 図 2 は、実施例の図 1 A 又は図 1 B に係る半導体基板 10 のドーピング濃度分布のうち、バッファ領域 20 のドーピング濃度分布の一例を示す。横軸は半導体基板 10 の裏面からの深さを示し、縦軸はドーピング濃度を示す。ここで、裏面最表層のカソード領域 64 については図示を省略している。

[0049] 本例のドーピング濃度分布は、ドーピング濃度が局所的に増加から減少へ

転ずる極大となるピークを6つ含む（ピーク40-1～40-6）。6つのピーク40-1～40-6は、半導体基板10の裏面側からこの順に設けられている。ピーク40-1は、第1のピークの一例である。ピーク40-2は、第2のピークの一例である。

[0050] ピーク40-1は、予め定められたドーピング濃度を有し、複数のピーク40のうち半導体基板10の最も裏面側に設けられている。本例のピーク40-1は、ピーク40-2よりも低濃度である。

[0051] ピーク40-2は、ピーク40-1のドーピング濃度よりも高濃度のドーピング濃度を有する。ピーク40-2は、ピーク40-1よりも半導体基板10の上面側に設けられている。ピーク40-2は、高濃度ピーク P_H の一例である。ピーク40-2は、複数のピーク40のうち最も高濃度であってよい。

[0052] 高濃度ピーク P_H は、複数のピーク40のうち最も高濃度のピークを指す。高濃度ピーク P_H は、複数のピーク40のうちピーク40-1よりも半導体基板10の上面側に設けられている。本例の高濃度ピーク P_H は、複数のピーク40のうち半導体基板10の裏面側から、ピーク40-1の次に設けられている。即ち、本例では、第2のピークが高濃度ピーク P_H となる。

[0053] ピーク40-3～ピーク40-6は、ピーク40-2よりも上面側に設けられる。ピーク40-3～ピーク40-6は、高濃度ピーク P_H のドーピング濃度よりも低濃度のドーピング濃度を有する。ピーク40-3およびピーク40-4は、高濃度ピーク P_H よりも半導体基板10の上面側に設けられている。ピーク40-3～ピーク40-6は、低濃度ピークの一例である。

[0054] つまり、本例の半導体基板10では、ピーク40-2のドーピング濃度が、ピーク40-1およびピーク40-3～ピーク40-6のドーピング濃度よりも高濃度である。よって、半導体基板10は、上に凸のドーピング濃度分布を有する。本例では、ピーク40-2のドーピング濃度が高濃度ピーク P_H である場合について説明したが、上に凸のドーピング濃度分布を有するものであれば、ピーク40-2よりも上面側のピーク40が高濃度ピーク P_H で

あってもよい。なお、本例では、ピーク40-6がピーク40-5よりも大きい。

[0055] 本例では、ピーク40-1は、高濃度ピーク P_H であるピーク40-2の次に高濃度である。即ち、ピーク40-1は、ピーク40-3～ピーク40-6よりもドーピング濃度が大きい。これにより、ピーク40-1において、半導体基板10の上面側から延びる空乏層を確実に止めることができる。これにより、半導体装置100の耐圧が向上する。

[0056] ここで、製造上の観点から、複数のピーク40が上に凸のドーピング濃度分布を有することが好ましい場合がある。例えば、ピーク40を形成する工程では、半導体基板10の裏面側の浅い領域にイオンを注入する場合、深い領域にイオンを注入する場合と比較して注入時の加速エネルギーを低くする。注入時の加速エネルギーが低い場合、一定時間に注入できるイオン量が少なくなる。そのため、半導体基板10の裏面の浅い領域に高濃度のピーク40を形成する工程の処理時間が長くなり、半導体装置100の製造効率が低下する場合がある。本例の半導体装置100は、一番浅いピーク40-1をピーク40-2よりも低濃度としているので、ピーク40を形成するための処理時間を短縮できる。よって、半導体装置100の生産効率が向上する。

[0057] また、デバイス特性を最適化する観点からも、複数のピーク40が上に凸のドーピング濃度分布を有することが好ましい場合がある。例えば、半導体基板10の裏面に近い領域に高濃度のピーク40を形成すると、半導体基板10の裏面からのホール注入量に影響を与える場合がある。本例の半導体装置100は、半導体基板10の裏面に近いピーク40-1のドーピング濃度を抑制しているので、プロセス工程でばらつきが生じた場合であっても、デバイス特性に与える影響が小さい。一方、半導体基板10の裏面から深い領域のドーピング濃度を高めることにより、半導体基板10の上面側から延びる空乏層を抑えるフィールドストップ層としての機能を保持できる。これにより、半導体装置100は、漏れ電流を抑制できる。

[0058] 水素イオンを照射する加速エネルギーは、照射する水素イオンが半導体基

板を透過しない（又は突き抜けない）値であってよい。従来は、水素イオンを加速する加速器と半導体基板との間にエネルギー吸収体を設置し、照射する水素イオンが半導体基板を突き抜けるほどの高い加速エネルギー（例えば、10 MeV以上）で照射していた。この場合、半導体基板内で水素イオンが停止する位置（即ち、水素イオンの深さ）は、エネルギー吸収体の厚さ等で水素イオンのエネルギーを吸収させることで調整する。このような高い加速エネルギーによる水素イオン照射では、半導体基板へ与えるダメージが大きすぎる他、水素イオンの半値全幅も数10 μm かそれ以上となり、半導体基板厚に対する格子欠陥の分布幅も広くなる。これに対して、エネルギー吸収体を用いなくとも半導体基板の内部で水素イオンが停止する程度の加速エネルギーで水素イオンを照射すれば、過剰なダメージ（即ち、ディスオーダー）を与えずに水素誘起ドナーが形成できる。

[0059] エネルギー吸収体を用いずに半導体基板に水素イオンを照射する加速エネルギーは、次のようにしてよい。半導体基板がシリコンの場合、水素イオンの半導体基板における飛程 R_p （即ち、水素イオンの濃度がピークとなる位置）と、水素イオンの加速エネルギー E について、水素イオンの飛程 R_p の対数 $\log(R_p)$ を x 、水素イオンの加速エネルギー E の対数 $\log(E)$ を y とすると、下記（1）式の関係を満たしてよい。

$$y = -0.0047x^4 + 0.0528x^3 - 0.2211x^2 + 0.9923x + 5.0474 \quad \dots (1)$$

[0060] なお、上記のフィッティング式を用いて所望の水素イオンの平均飛程 R_p から水素イオン照射の加速エネルギー E を算出（算出値 E とする）してよい。加速エネルギーの算出値 E で水素イオンをシリコン基板に注入した場合における、実際の加速エネルギー E' と実際に二次イオン質量分析法（SIMS）等によって得られた平均飛程 R_p' （水素イオンピーク位置）との関係は、以下のように考えればよい。加速エネルギーの算出値 E に対して、実際の加速エネルギー E' が $E \pm 10\%$ 程度の範囲にあれば、実際の平均飛程 R_p' も所望の平均飛程 R_p に対して $\pm 10\%$ 程度の範囲に収まり、測定誤差の範囲

内となる。そのため、実際の平均飛程 R_p' の所望の平均飛程 R_p からのバラつきが、I G B T やダイオード等の電気的特性へ与える影響は、無視できる程度に十分小さい。したがって、実際の加速エネルギー E' が算出値 $E \pm 5\%$ の範囲にあれば、実際の平均飛程 R_p' は実質的に設定どおりの平均飛程 R_p であると判断することができる。あるいは、実際の加速エネルギー E' に対して、値 E' を得るために式上記 (1) 式に当てはめて算出した平均飛程 R_p の値に対して、実際の平均飛程 R_p' が $\pm 10\%$ 以内に収まれば、問題ない。

[0061] 実際の加速器では、加速エネルギー E と平均飛程 R_p はいずれも上記の範囲 ($\pm 10\%$) に収まり得るので、実際の加速エネルギー E' とおよび実際の平均飛程 R_p' は、所望の平均飛程 R_p と算出値 E で表される上述のフィッティング式に従っていると考えて、全く差支えない。さらに、ばらつきや誤差の範囲が、平均飛程 R_p に対して上述の $\pm 10\%$ 以下であればよく、好適には $\pm 5\%$ に収まれば、申し分なく式上記 (1) 式に従っていると考えられる。上記 (1) 式を用いることにより、所望の水素イオンの飛程 R_p を得るのに必要な水素イオンの加速エネルギー E を算出できる。

[0062] また、エネルギー吸収体を用いずに水素イオンが半導体基板に留まる程度の加速エネルギーで水素イオンを注入した場合、注入方向の水素の半値全幅 ΔR_p は、水素イオンの飛程 R_p の対数 $\log(R_p)$ を x 、半値全幅 ΔR_p の対数 $\log(\Delta R_p)$ を y とすると、下記 (2) 式を満たしてよい。

$$y = -0.00135x^6 + 0.01761x^5 - 0.07529x^4 + 0.08228x^3 + 0.21880x^2 + 0.41061x - 0.98152 \dots (2)$$

[0063] さらに、水素イオンを注入後に $300^\circ\text{C} \sim 450^\circ\text{C}$ 程度の熱処理をすると、注入された水素は半導体基板内を拡散する。そのため、バッファ領域 20 のそれぞれのピーク 40 は、式 (2) を満たす半値全幅 ΔR_p を、さらに $5 \sim 20$ 倍 (好ましくは $7 \sim 10$ 倍) 大きくした値 $\Delta R_p'$ との半値全幅を備えるドーピング濃度分布 (即ち、ドーピング濃度分布) を有してよい。すなわち、広がり抵抗測定法 (Spread Resistance Profi

ling) や容量－電圧法 (C－V法) など測定したバッファ領域 20 のドーピング濃度が $\Delta R_p'$ を満たせば、注入された水素イオンは、照射するイオンが半導体基板を透過しない (又は突き抜けない) 値の加速エネルギーで注入されたと見做すことができる。

[0064] あるいはまた、より簡単には、各ピーク 40 の裏面からの深さ D に対して、各ピーク 40 のドーピング濃度の前後の半値全幅 ΔD が、D の 20 % 以下、好ましくは 10 % 以下であれば、注入された水素イオンは、照射する水素イオンが半導体基板を透過しない (又は突き抜けない) 値の加速エネルギーで注入されたと見做してよい。

[0065] 以上の通り、本例の半導体装置 100 は、半導体基板 10 の最も裏面側のピーク 40-1 よりも高濃度である高濃度ピーク P_H を半導体基板 10 の上面側に有する。これにより、半導体装置 100 は、生産効率を向上し、且つ、デバイス特性を最適化できる。例えば、本例の半導体装置 100 は、オン抵抗 V_{on} やターンオフ時のテール電流等を最適化できる。

[0066] 図 3 は、比較例 1 に係る半導体基板のドーピング濃度分布の一例を示す。横軸は半導体基板の裏面からの深さを示し、縦軸はドーピング濃度を示す。

[0067] 本例のドーピング濃度分布は、6 つのピーク 540-1 ~ 540-6 を含む。6 つのピーク 540-1 ~ 540-6 は、半導体基板 10 の裏面側からこの順に設けられている。本例の半導体装置は、ピーク 540 が半導体基板の裏面側から順々に下がるドーピング濃度分布を有する。ピーク 540-1 は、ピーク 540-2 のドーピング濃度よりも高濃度のドーピング濃度を有する。そして、ピーク 540-1 が高濃度ピーク P_H となる。

[0068] ここで、半導体基板の裏面の浅い部分にプロトンをイオン注入する場合、加速エネルギーを低く抑える必要がある。この場合、一定時間にイオン注入できるイオンの量が少なくなるので、半導体基板の裏面側の浅い部分のドーピング濃度が多いドーピング濃度分布は、生産効率が悪化する場合がある。

[0069] また、半導体基板の裏面からのホール注入量は、半導体装置の特性を最適化するために設定される。さらに、半導体基板の最裏面にある裏面ボロンに

位置に近い浅い箇所のプロトンは、裏面からのホール注入量に大きく影響を与える。そのため、プロトンのドーズ量を適切に制御する必要がある。半導体装置の特性を最適化するために最裏面のプロトンドーズ量を減らした場合、ピーク濃度が順々に下がっていくドーピング濃度分布では、プロトン層全体のトータルドーズ量が小さくなるので、空乏層を止めるバッファ領域としての機能を満たさなく場合がある。また、プロトンのトータルドーズ量が少ない場合、イオン注入で発生した結晶欠陥部のシリコン原子の未結合手を水素で終端できず、漏れ電流が大きくなる場合がある。

[0070] 図4 Aは、実施例に係る半導体基板10のより詳細なドーピング濃度分布の一例を示す。本例のドーピング濃度分布は、トランジスタ部50における半導体基板10の深さ方向のドーピング濃度分布を示す。そのため、半導体基板10の裏面側にコレクタ領域52のドーピング濃度 C_N が示されている。

[0071] 本例のドーピング濃度分布は、7つのピーク40-1~40-7を含む。7つのピーク40-1~40-7は、半導体基板10の裏面側からこの順に設けられている。基板濃度 N_0 は、半導体基板10のドーピング濃度を指す。ピーク40-2のドーピング濃度 N_2 は、ピーク40-1のドーピング濃度 N_1 よりも高濃度である。また、ピーク40-3~ピーク40-6は、半導体基板10の裏面側から上面側に向けて順次下がるドーピング濃度分布を有する。但し、本例のピーク40-7のドーピング濃度 N_7 は、ピーク40-6のドーピング濃度 N_6 よりも高濃度である。

[0072] ピーク40-1は、半導体基板10の裏面から X_1 の深さに設けられる。ピーク40-2は、半導体基板10の裏面から X_2 の深さに設けられる。即ち、 $X_1 < X_2$ が成り立つ。複数のピーク40の深さは、半導体装置100の構造等に応じて適宜変更されてよい。一例において、ピーク40-2の深さ X_2 は、 $1\ \mu\text{m}$ 以上、 $12\ \mu\text{m}$ 以下である。また、ピーク40-2の深さ X_2 は、 $2\ \mu\text{m}$ 以上、 $5\ \mu\text{m}$ 以下であってもよい。

[0073] ピーク40-2とピーク40-1との深さ方向の距離 $X_2 - X_1$ は、ピーク40-1の半導体基板10の裏面からの深さ X_1 よりも小さくてよい。この場

合、 $X_2 - X_1 < X_1$ が成り立つ。これにより、空乏層の伸びるスピードを変化させずらくなり、振動を抑制することができる。

[0074] また、ピーク40-1およびコレクタ領域52の境界位置の、半導体基板10の裏面からの深さ X_0 は、ピーク40-1と、ピーク40-1およびコレクタ領域52の境界位置との深さ方向の距離 $X_1[0] - X_0$ よりも小さくてよい。この場合、 $X_0 < X_1 - X_0$ が成り立つ。これにより、オン電圧 V_{on} のばらつきを低減することができる。

[0075] 半導体基板10は、複数のピーク40のピーク同士の間にはドーピング濃度分布の谷のドーピング濃度 N_v を有する。本明細書において、ドーピング濃度分布の谷とは、ドーピング濃度分布が極小値を示す部分を指す。本例の半導体基板10は、複数の谷を有する。例えば、ドーピング濃度 N_{v12} は、ピーク40-1とピーク40-2との間のドーピング濃度の谷のドーピング濃度を指す。また、ドーピング濃度 N_{v23} は、ピーク40-2とピーク40-3との間のドーピング濃度の谷のドーピング濃度を指す。本例のドーピング濃度 N_{v12} は、半導体基板10の基板濃度 N_0 よりも大きい。一例において、ドーピング濃度 N_{v12} は、半導体基板10の基板濃度 N_0 の10倍以上である。これにより、空乏層の広がり抑制される。また、ドーピング濃度 N_{v12} は、ピーク40-3のドーピング濃度 N_3 よりも小さくてよい。

[0076] 濃度比率 N_2/N_1 は、ピーク40-1とピーク40-2のドーピング濃度の濃度比率を指す。一例において、濃度比率 N_2/N_1 が、1より大きく、且つ、100以下である。また、濃度比率 N_2/N_1 の上限は、10以下であっても、5以下であってもよい。例えば、濃度比率 N_2/N_1 の下限が低すぎると欠陥が残りすぎる場合がある。一方、濃度比率 N_2/N_1 が高すぎると、濃度がばらついたときにコレクタ領域52を形成する不純物との関係でオン電圧 V_{on} が変動する場合がある。

[0077] 複数の谷のドーピング濃度 N_v は、半導体基板10の裏面側から上面側に向けて順次下がっていく。即ち、7つのピーク40-1～40-7のそれぞれの間の6つの谷のドーピング濃度 $N_{v12} \sim N_{v67}$ について、 $N_{v12} > N_{v23}$ 、

$N_{V23} > N_{V34}$ 、 $N_{V34} > N_{V45}$ 、 $N_{V45} > N_{V56}$ 、および $N_{V56} > N_{V67}$ を満たす。なお、図4 Aでは、簡略化のため N_{V34} 、 N_{V45} 、 N_{V56} 、 N_{V67} を省略している。

[0078] ここで、 N_1/N_{V12} は、 N_2/N_1 より小さくてよい。これにより、空乏層が X_2 をこえる場合に、 X_1 と X_2 の間で空乏層を抑えることができる。また、 N_1/N_{V12} は、 N_2/N_1 以上であってよい。若しくは、 N_1/N_{V12} は、 N_2/N_1 よりも高くてもよい。これにより、コレクタ領域5 2からの正孔の注入を容易にし、オン電圧 V_{on} の変動を抑えることができる。

[0079] ここで、半導体基板1 0の裏面のコレクタ領域5 2の上面側の端の位置から、ピーク4 0-2までの積分濃度 n_p が、半導体基板1 0の臨界積分濃度 n_c の半分より高い。また、積分濃度 n_p は、 $[0]$ 臨界積分濃度 n_c より高くてもよい。例えば、臨界積分濃度 n_c は、ポアソンの式から次式で示される。

$$n_c = \epsilon_s \cdot E_c / q$$

ここで、 ϵ_s は半導体の誘電率であり、 q は電荷素量であり、 E_c は半導体の絶縁破壊電界強度である。例えばシリコンの場合、 E_c が $1.8 \times 10^5 \sim 2.5 \times 10^5$ (V/cm)であるので、 n_c は $1.2 \times 10^{12} \sim 1.6 \times 10^{12}$ (/cm²)である。

[0080] 以上の通り、本例の半導体装置1 0 0は、高濃度ピーク P_H よりも半導体基板1 0の裏面側にピーク4 0-1を設けることにより、半導体基板1 0の裏面側の欠陥を終端できる。一方、高濃度ピーク P_H の裏面側にピーク4 0-1を設けない場合、欠陥の多い領域が残る場合がある。例えば、ピーク4 0-1およびピーク4 0-2のドーピング濃度は、 1×10^{15} cm⁻³以上、 1×10^{16} cm⁻³以下であることが好ましい。なお、 E は1 0のべき乗を意味し、例えば 1×10^{15} cm⁻³は 1×10^{15} cm⁻³を意味する。

[0081] 図4 Bは、実施例に係る半導体基板1 0のより詳細なドーピング濃度分布の一例を示す。本例のドーピング濃度分布では、ピーク4 0-3のドーピング濃度 N_3 が、ピーク4 0-1とピーク4 0-2との間のドーピング濃度の谷のドーピング濃度 N_{V12} よりも小さい点で図4 Aに係るドーピング濃度分布と

異なる。即ち、 $N_3 < N_{v12}$ が成り立つ。これにより、ピーク 40-1 およびピーク 40-2 のベースのドーピング濃度が高くなり、ピーク 40-1 およびピーク 40-2 において、半導体基板 10 の上面側から延びる空乏層を止めやすくなる。

[0082] 図 4 C は、実施例に係る半導体基板 10 のより詳細なドーピング濃度分布の一例を示す。本例のドーピング濃度分布では、ピーク 40-1 およびコレクタ領域 52 の境界位置の半導体基板 10 の裏面からの距離 X_0 が、ピーク 40-1 と、ピーク 40-1 およびコレクタ領域 52 の境界位置との深さ方向の距離 $X_1 - X_0$ よりも大きい点で図 4 A に係るドーピング濃度分布と異なる。即ち、 $X_0 > X_1 - X_0$ が成り立つ。このように、コレクタ領域 52 が形成される領域を深くすることにより、ホールの注入を抑制することができる。

[0083] 図 5 は、フローティング層 66 を有する半導体装置 100 の構成の一例を示す。本例の半導体装置 100 は、ダイオード部 70 にフローティング層 66 を有する点で図 1 B の半導体装置 100 と異なる。

[0084] フローティング層 66 は、ダイオード部 70 のカソード領域 64 側に設けられている。本例のフローティング層 66 は、ピーク 40-1 よりも半導体基板 10 の裏面側に設けられる。ここで、フローティング層 66 の位置は、フローティング層 66 のドーピング濃度が最大となるピーク F_p を基準として判断されてよい。フローティング層 66 は、複数のピーク 40 と異なる導電型を有する。本例のフローティング層 66 の導電型は、P+型である。フローティング層 66 は、複数のピーク 40 と重ならないように設けられている。このように、フローティング層 66 とバッファ領域 20 のピークをずらすことにより、フローティング層 66 に対するバッファ領域 20 の影響が小さくなる。これにより、プロセスの影響でドーピング濃度分布にばらつきが生じた場合も、デバイス特性への影響が小さい。

[0085] 図 6 A は、フローティング層 66 を有する半導体基板 10 のドーピング濃度分布の一例を示す。本例のドーピング濃度分布は、ダイオード部 70 における半導体基板 10 の深さ方向のドーピング濃度分布を示す。そのため、半

導体基板 10 の裏面側にコレクタ領域 52 のドーピング濃度 C_N およびフローティング層 66 のドーピング濃度 F_P が示されている。

[0086] フローティング層 66 のドーピング濃度は、ピーク 40-1 のドーピング濃度よりも高濃度であることが好ましい。フローティング層 66 のドーピング濃度を高濃度とすることにより、複数のピーク 40 による半導体装置 100 のオン電圧 V_{on} への影響を低減できる。そして、フローティング層 66 のドーピング濃度は、高濃度ピーク P_H よりも高濃度であってよい。これにより、複数のピーク 40 による半導体装置 100 のデバイス特性への影響がさらに小さくなる。さらにまた、フローティング層 66 のドーピング濃度は、ピーク 40-2 のドーピング濃度よりも高濃度であってよい。

[0087] また、半導体基板 10 の裏面側には、ライフタイム制御用のヘリウムが注入されてよい。この場合、裏面側のヘリウムは、ドーピング濃度分布のピーク位置を避けて注入されることが好ましい。一例において、裏面ヘリウムは、フローティング層 66 とピーク 40-1 との間に注入される。また、裏面ヘリウムは、ピーク 40-1 とピーク 40-2 との間に注入されてもよい。さらに、裏面ヘリウムは、高濃度ピーク P_H よりも半導体基板 10 の上面側に注入されてよい。これにより、ヘリウムを注入することによる半導体装置 100 のデバイス特性への影響が小さくなる。

[0088] 図 6 B は、フローティング層 66 を有する半導体基板 10 のドーピング濃度分布の一例を示す。本例のドーピング濃度分布では、ピーク 40-3 のドーピング濃度 N_3 が、ピーク 40-1 とピーク 40-2 との間のドーピング濃度の谷のドーピング濃度 N_{V12} よりも小さい点で図 6 A に係るドーピング濃度分布と異なる。即ち、 $N_3 < N_{V12}$ が成り立つ。これにより、ピーク 40-1 およびピーク 40-2 のベースのドーピング濃度が高くなり、ピーク 40-1 およびピーク 40-2 において、半導体基板 10 の上面側から延びる空乏層を止めやすくなる。

[0089] 図 6 C は、フローティング層 66 を有する半導体基板 10 のドーピング濃度分布の一例を示す。本例のドーピング濃度分布では、ピーク 40-1 およ

びコレクタ領域52の境界位置の半導体基板10の裏面からの距離 X_0 が、ピーク40-1と、ピーク40-1およびコレクタ領域52の境界位置との距離 $X_1 - X_0$ よりも大きい点で図6Aに係るドーピング濃度分布と異なる。即ち、 $X_0 > X_1 - X_0$ が成り立つ。このように、コレクタ領域52が形成される領域を深くすることにより、ホールの注入を抑制することができる。

[0090] 図6Dは、フローティング層66を有する半導体基板10のドーピング濃度分布の一例を示す。本例のドーピング濃度分布では、ピーク40-1とフローティング層66との境界位置の半導体基板10の裏面からの距離 X_b が、ピーク40-1と、ピーク40-1およびフローティング層66との境界位置との距離 $X_1 - X_b$ よりも小さい点で図6Aに係るドーピング濃度分布と異なる。即ち、 $X_b < X_1 - X_b$ が成り立つ。これにより、ピーク40-1において、半導体基板10の上面側から延びる空乏層を止めやすくなる。

[0091] 図7は、実施例に係る半導体基板10のより詳細なドーピング濃度分布の一例を示す。本例のドーピング濃度分布は、トランジスタ部50における半導体基板10の深さ方向のドーピング濃度分布を示す。そのため、半導体基板10の裏面側にコレクタ領域52のドーピング濃度が示されている。

[0092] 本例のバッファ領域20は、ドーピング濃度分布において、 n 個のピーク $P_1 \sim P_n$ (n は2以上の整数)を有する。 n 個のピーク $P_1 \sim P_n$ のうち、半導体基板10の裏面側から i 番目のピーク P_i のドーピング濃度をドーピング濃度 $N P_i$ とする。本例では $n = 7$ の場合について示しているが、これに限られない。なお、 i は、1以上の整数である。

[0093] また、バッファ領域20は、ドーピング濃度分布において、 $n + 1$ 個の谷 $B_1 \sim B_{n+1}$ を有する。谷 $B_1 \sim B_n$ は、 n 個のピーク $P_1 \sim P_n$ よりも半導体基板10の裏面側に設けられている。また、 B_{n+1} は、 n 番目のピーク P_n よりも半導体基板10の上面側に設けられている。 $n + 1$ 個の谷 $B_1 \sim B_{n+1}$ のうち、半導体基板10の裏面側から i 番目のピーク P_i のドーピング濃度をドーピング濃度 $N B_i$ とする。 $n + 1$ 番目の谷 B_{n+1} のドーピング濃度 $N B_{n+1}$ は、ドリフト領域14のドーピング濃度と同一であってよい。

- [0094] ここで、本例のバッファ領域20は、 $NP_i / NB_{i+1} \leq 10$ となるピークと谷のペアを有する。即ち、 i 番目のピーク P_i のドーピング濃度 NP_i は、ピーク P_i よりも半導体基板10の上面側の最初の谷 B_{i+1} のドーピング濃度 NB_{i+1} の10倍以下であってよい。このように、ピーク P_i のドーピング濃度 NP_i と、ピーク P_i よりも半導体基板10の上面側の最初の谷 B_{i+1} のドーピング濃度 NB_{i+1} とのドーピング濃度比を10倍以下とすることにより、ターンオフや逆回復時の空間電荷領域の広がりを滑らかにすることができる。これにより、半導体装置100のソフトスイッチングが実現される。
- [0095] また、バッファ領域20は、 $NP_i / NB_{i+1} \leq 10$ となるピークと谷の複数のペアを有してもよい。例えば、 $NP_i / NB_{i+1} \leq 10$ となるピーク P_i と谷 B_{i+1} のペアは、4つ以上である。また、 $NP_i / NB_{i+1} \leq 10$ となるピーク P_i と谷 B_{i+1} のペアは、5つ以上であってもよい。なお、本例では、 $NP_i / NB_{i+1} \leq 10$ として説明したが、 $NP_i / NB_{i+1} < 10$ としてもよい。
- [0096] 谷 B_1 は、最も半導体基板10の裏面側の谷である。半導体装置100がIGBTの場合、他に B_1 とp型のコレクタ領域52との境界は、pn接合となる。そのため、最も浅い谷 B_1 のドーピング濃度は、理論的には0になる。そこで、このように異なる導電型の領域に挟まれた境界における谷 B_1 のドーピング濃度は、n型の領域（本例ではバッファ領域20の谷 B_1 ）のドナー濃度と、p型の領域（本例ではコレクタ領域52）のアクセプタ濃度が同じ濃度になる位置におけるドナー濃度（又はアクセプタ濃度）を、谷 B_1 のドーピング濃度 NB_1 としてよい。
- [0097] 空間電荷領域における電界強度分布においては、所定の深さ位置における電界強度の低下は、ピーク P_i のドーピング濃度 NP_i およびピーク P_i の配列の仕方に基づいて決定される。一方、半導体基板10の深さ方向全体における平均的な電界強度の低下は、ピーク P_i のドーピング濃度 NP_i に加えて、谷 B_i のドーピング濃度 NB_i および谷 B_i の配列の仕方に基づいて決定される。即ち、印加電圧が高いほど、また、コレクターエミッタ間電圧（またはカ

ソース・アノード間電圧)が高くなるほど、ピークのドーピング濃度だけでなく、谷のドーピング濃度とその分布や配列の仕方が、空間電荷領域の広がりやの抑制割合に寄与する。

[0098] そこで、谷 B_i のドーピング濃度 N_{B_i} の全てを結ぶ包絡線 E は、緩やかに減衰することが好ましい。例えば、包絡線 E は、谷 B_i から谷 B_{n+1} に向かって、指数関数的、若しくは、指数関数よりも緩やかに減衰することが好ましい。また、包絡線 E は、ガウス関数よりも指数関数に近い分布で減衰してもよい。包絡線 E は、縦軸が対数スケール、横軸がリニアスケールの場合に、ドーピング濃度が低い側（グラフの下側）に凸の分布を示してよい。これにより、ターンオフや逆回復時の空間電荷領域の広がりやの抑制を、半導体基板 10 の裏面（即ち、コレクタ領域 52 又はカソード領域 64）に近くなるほど徐々に強くすることができる。よって、半導体装置 100 のスイッチング波形が滑らかになり、半導体装置 100 のソフトスイッチングが実現される。

[0099] 以上、本発明を実施の形態を用いて説明したが、本発明の技術的範囲は上記実施の形態に記載の範囲には限定されない。上記実施の形態に、多様な変更または改良を加えることが可能であることが当業者に明らかである。その様な変更または改良を加えた形態も本発明の技術的範囲に含まれ得ることが、請求の範囲の記載から明らかである。

[0100] 請求の範囲、明細書、および図面中において示した装置、システム、プログラム、および方法における動作、手順、ステップ、および段階等の各処理の実行順序は、特段「より前に」、「先立って」等と明示しておらず、また、前の処理の出力を後の処理で用いるのでない限り、任意の順序で実現しうることに留意すべきである。請求の範囲、明細書、および図面中の動作フローに関して、便宜上「まず、」、「次に、」等を用いて説明したとしても、この順で実施することが必須であることを意味するものではない。

符号の説明

[0101] 10・・・半導体基板、12・・・上面側領域、14・・・ドリフト領域、

20・・・バッファ領域、21・・・カソード領域、40・・・ピーク、50・・・トランジスタ部、52・・・コレクタ領域、54・・・ゲートトレンチ、56・・・エミッタトレンチ、58・・・エミッタ領域、64・・・カソード領域、66・・・フローティング層、68・・・絶縁膜、70・・・ダイオード部、100・・・半導体装置、102・・・上面側電極、104・・・裏面側電極、540・・・ピーク

請求の範囲

- [請求項1] 第1導電型の半導体基板と、
前記半導体基板に設けられた前記第1導電型のドリフト層と、
前記ドリフト層に設けられ、前記第1導電型であるドーピング濃度の複数のピークを有するバッファ領域と、
を備え、
前記バッファ領域は、
予め定められたドーピング濃度を有し、前記複数のピークのうち前記半導体基板の最も裏面側に設けられた第1ピークと、
前記第1ピークのドーピング濃度よりも高濃度のドーピング濃度を有し、前記第1ピークよりも前記半導体基板の上面側に設けられた高濃度ピークと
を有する半導体装置。
- [請求項2] 前記バッファ領域は、前記高濃度ピークのドーピング濃度よりも低濃度のドーピング濃度を有し、前記高濃度ピークよりも前記半導体基板の上面側に設けられた低濃度ピークを更に有する
請求項1に記載の半導体装置。
- [請求項3] 前記高濃度ピークは、前記複数のピークのうち前記半導体基板の裏面側から前記第1ピークの次に設けられた第2ピークである
請求項1又は2に記載の半導体装置。
- [請求項4] 前記第2ピークは、前記複数のピークのうち最も高濃度のピークである
請求項3に記載の半導体装置。
- [請求項5] 前記第2ピークは、前記半導体基板の裏面から1 μm 以上、12 μm 以下の位置に設けられる
請求項3又は4に記載の半導体装置。
- [請求項6] 前記第1ピークと前記第2ピークの間のドーピング濃度の谷のドーピング濃度が、前記半導体基板の基板濃度の10倍以上である

請求項 3 から 5 のいずれか一項に記載の半導体装置。

[請求項7] 前記第 1 ピークのドーピング濃度 N_1 と前記第 2 ピークのドーピング濃度 N_2 のドーピング濃度比率 N_2/N_1 が、1 より大きく、且つ、100 以下である

請求項 3 から 6 のいずれか一項に記載の半導体装置。

[請求項8] 前記第 1 ピークは、前記複数のピークのうち前記第 2 ピークの次に高濃度のピークである

請求項 3 から 7 のいずれか一項に記載の半導体装置。

[請求項9] 前記半導体基板は、前記複数のピークのピーク同士の上に複数の谷を有し、前記複数の谷のドーピング濃度が前記裏面側から前記上面側に向けて順次下がるドーピング濃度分布を有する

請求項 3 から 8 のいずれか一項に記載の半導体装置。

[請求項10] 前記第 1 ピークと前記第 2 ピークの間のドーピング濃度の谷のドーピング濃度 N_{v12} と、前記第 1 ピークのドーピング濃度 N_1 との比 (N_1/N_{v12}) が、

前記第 2 ピークのドーピング濃度 N_2 と前記第 1 ピークのドーピング濃度 N_1 との比 (N_2/N_1) よりも高い

請求項 3 から 9 のいずれか一項に記載の半導体装置。

[請求項11] トランジスタ部およびダイオード部を有し、
前記ダイオード部は、前記第 1 ピークよりも前記半導体基板の裏面側に前記第 1 導電型と異なる第 2 導電型のフローティング層を有する

請求項 3 から 10 のいずれか一項に記載の半導体装置。

[請求項12] 前記トランジスタ部の裏面に第 2 導電型のコレクタ領域を有し、
該コレクタ領域から前記第 2 ピークまでの積分濃度が、前記半導体基板の臨界積分濃度の半分より高い

請求項 11 に記載の半導体装置。

[請求項13] 前記複数のピークのうち前記半導体基板の裏面側から前記第 2 ピークの次に設けられた第 3 ピークを更に備え、

前記第3ピークのドーピング濃度 N_3 は、前記第1ピークと前記第2ピークの間、前記第2ピークの間のドーピング濃度の谷のドーピング濃度 N_{v12} よりも小さい

請求項3から12のいずれか一項に記載の半導体装置。

[請求項14] 前記第2ピークと前記第1ピークとの深さ方向の距離 $X_2 - X_1$ は、前記第1ピークの前記半導体基板の裏面からの深さ X_1 よりも小さい

請求項3から13のいずれか一項に記載の半導体装置。

[請求項15] 前記第1ピークおよび前記コレクタ領域の境界位置の、前記半導体基板の裏面からの深さ X_0 は、前記第1ピークと、前記第1ピークおよび前記コレクタ領域の境界位置との深さ方向の距離 $X_1[0] - X_0$ よりも小さい

請求項12に記載の半導体装置。

[請求項16] 前記第1ピークおよび前記コレクタ領域の境界位置の、前記半導体基板の裏面からの深さ X_0 は、前記第1ピークと、前記第1ピークおよび前記コレクタ領域の境界位置との深さ方向の距離 $X_1[0] - X_0$ よりも大きい

請求項12に記載の半導体装置。

[請求項17] 前記第1ピークと前記フローティング層の境界位置の前記半導体基板の裏面からの距離 X_b が、前記第1ピークと、前記第1ピークおよび前記フローティング層の境界位置との距離 $X_1 - X_b$ よりも小さい

請求項11に記載の半導体装置。

[請求項18] 第1導電型の半導体基板と、
前記半導体基板に設けられた前記第1導電型のドリフト層と、
前記ドリフト層に設けられ、前記第1導電型であるドーピング濃度の複数のピークを有するバッファ領域と

を備え、

前記複数のピークは、 n 個のドーピング濃度分布のピーク P_n (n

は2以上の整数)を有し、前記ピーク P_n のうち、前記半導体基板の裏面側から i 番目のピーク P_i のドーピング濃度をドーピング濃度 N_{P_i} とし、前記 i 番目のピーク P_i よりも前記半導体基板の裏面側の谷 B_i のドーピング濃度をそれぞれドーピング濃度 N_{B_i} とした場合、 $N_{P_i}/N_{B_{i+1}} \leq 10$ となる前記ピークと前記谷のペアを有する半導体装置。

[請求項19] 前記複数のピークは、 $N_{P_i}/N_{B_{i+1}} \leq 10$ となる前記ピークと前記谷の複数のペアを有する
請求項18に記載の半導体装置。

[請求項20] 前記谷のドーピング濃度 N_{B_i} の全てを結ぶ包絡線は、谷 B_1 から谷 B_{n+1} に向かって、指数関数的、若しくは、指数関数よりも緩やかに減衰する
請求項18又は19に記載の半導体装置。

[請求項21] 前記谷のドーピング濃度 N_{B_i} の全てを結ぶ包絡線は、ドーピング濃度が小さい側に凸状に減衰する
請求項18又は19に記載の半導体装置。

補正された請求の範囲
[2018年5月25日(25.05.2018)国際事務局受理]

- [請求項1] (補正後)
- 第1導電型の半導体基板と、
前記半導体基板に設けられた前記第1導電型のドリフト層と、
前記ドリフト層に設けられ、前記第1導電型であるドーピング濃度の複数のピークを有するバッファ領域と、
を備え、
前記バッファ領域は、
予め定められたドーピング濃度を有し、前記複数のピークのうち前記半導体基板の最も裏面側に設けられた第1ピークと、
前記第1ピークのドーピング濃度よりも高濃度のドーピング濃度を有し、前記第1ピークよりも前記半導体基板の上面側に設けられた高濃度ピークと、
前記高濃度ピークのドーピング濃度よりも低濃度のドーピング濃度を有し、前記高濃度ピークよりも前記半導体基板の上面側に設けられた低濃度ピークと
を有し、
前記高濃度ピークは、前記複数のピークのうち前記半導体基板の裏面側から前記第1ピークの次に設けられた第2ピークであり、
前記第1ピークと前記第2ピークの間のドーピング濃度の谷のドーピング濃度 N_{v12} と、前記第1ピークのドーピング濃度 N_1 との比(N_1/N_{v12})が、
前記第2ピークのドーピング濃度 N_2 と前記第1ピークのドーピング濃度 N_1 との比(N_2/N_1)よりも高い
半導体装置。
- [請求項2] (削除)
- [請求項3] (削除)

- [請求項4] (補正後)
前記第2ピークは、前記複数のピークのうち最も高濃度のピークである
請求項1に記載の半導体装置。
- [請求項5] (補正後)
前記第2ピークは、前記半導体基板の裏面から1 μm 以上、12 μm 以下の位置に設けられる
請求項1又は4に記載の半導体装置。
- [請求項6] (補正後)
前記第1ピークと前記第2ピークの間のドーピング濃度の谷のドーピング濃度が、前記半導体基板の基板濃度の10倍以上である
請求項1から5のいずれか一項に記載の半導体装置。
- [請求項7] (補正後)
前記第1ピークのドーピング濃度 N_1 と前記第2ピークのドーピング濃度 N_2 のドーピング濃度比率 N_2/N_1 が、1より大きく、且つ、100以下である
請求項1から6のいずれか一項に記載の半導体装置。
- [請求項8] (補正後)
前記第1ピークは、前記複数のピークのうち前記第2ピークの次に高濃度のピークである
請求項1から7のいずれか一項に記載の半導体装置。
- [請求項9] (補正後)
前記半導体基板は、前記複数のピークのピーク同士の間に複数の谷を有し、前記複数の谷のドーピング濃度が前記裏面側から前記上面側に向けて順次下がるドーピング濃度分布を有する
請求項1から8のいずれか一項に記載の半導体装置。
- [請求項10] (削除)

- [請求項11] (補正後)
トランジスタ部およびダイオード部を有し、
前記ダイオード部は、前記第1ピークよりも前記半導体基板の裏面側に前記第1導電型と異なる第2導電型のフローティング層を有する請求項1から10のいずれか一項に記載の半導体装置。
- [請求項12] 前記トランジスタ部の裏面に第2導電型のコレクタ領域を有し、
該コレクタ領域から前記第2ピークまでの積分濃度が、前記半導体基板の臨界積分濃度の半分より高い
請求項11に記載の半導体装置。
- [請求項13] (補正後)
前記複数のピークのうち前記半導体基板の裏面側から前記第2ピークの次に設けられた第3ピークを更に備え、
前記第3ピークのドーピング濃度 N_3 は、前記第1ピークと前記第2ピークの間のドーピング濃度の谷のドーピング濃度 N_{V12} よりも小さい
請求項1から12のいずれか一項に記載の半導体装置。
- [請求項14] (補正後)
前記第2ピークと前記第1ピークとの深さ方向の距離 $X_2 - X_1$ は、前記第1ピークの前記半導体基板の裏面からの深さ X_1 よりも小さい
請求項1から13のいずれか一項に記載の半導体装置。
- [請求項15] (補正後)
前記第1ピークおよび前記コレクタ領域の境界位置の、前記半導体基板の裏面からの深さ X_0 は、前記第1ピークと、前記第1ピークおよび前記コレクタ領域の境界位置との深さ方向の距離 $X_1 - X_0$ よりも小さい
請求項12に記載の半導体装置。
- [請求項16] (補正後)
前記第1ピークおよび前記コレクタ領域の境界位置の、前記半導体

基板の裏面からの深さ X_0 は、前記第 1 ピークと、前記第 1 ピークおよび前記コレクタ領域の境界位置との深さ方向の距離 $X_1 - X_0$ よりも大きい

請求項 12 に記載の半導体装置。

[請求項17] 前記第 1 ピークと前記フローティング層の境界位置の前記半導体基板の裏面からの距離 X_b が、前記第 1 ピークと、前記第 1 ピークおよび前記フローティング層の境界位置との距離 $X_1 - X_b$ よりも小さい

請求項 11 に記載の半導体装置。

[請求項18] (補正後)

第 1 導電型の半導体基板と、

前記半導体基板に設けられた前記第 1 導電型のドリフト層と、

前記ドリフト層に設けられ、前記第 1 導電型であるドーピング濃度の複数のピークを有するバッファ領域と

を備え、

前記複数のピークは、 n 個のドーピング濃度分布のピーク P_n (n は 5 以上の整数) を有し、前記ピーク P_n のうち、前記半導体基板の裏面側から i 番目のピーク P_i のドーピング濃度をドーピング濃度 NP_i とし、前記 i 番目のピーク P_i よりも前記半導体基板の裏面側の谷 B_i のドーピング濃度をそれぞれドーピング濃度 NB_i とした場合、 $NP_i / NB_{i+1} \leq 1.0$ となる前記ピークと前記谷のペアを 5 つ以上有する

半導体装置。

[請求項19] (削除)

[請求項20] (補正後)

前記谷のドーピング濃度 NB_i の全てを結ぶ包絡線は、谷 B_i から谷 B_{n+1} に向かって、指数関数的、若しくは、指数関数よりも緩やかに減衰する

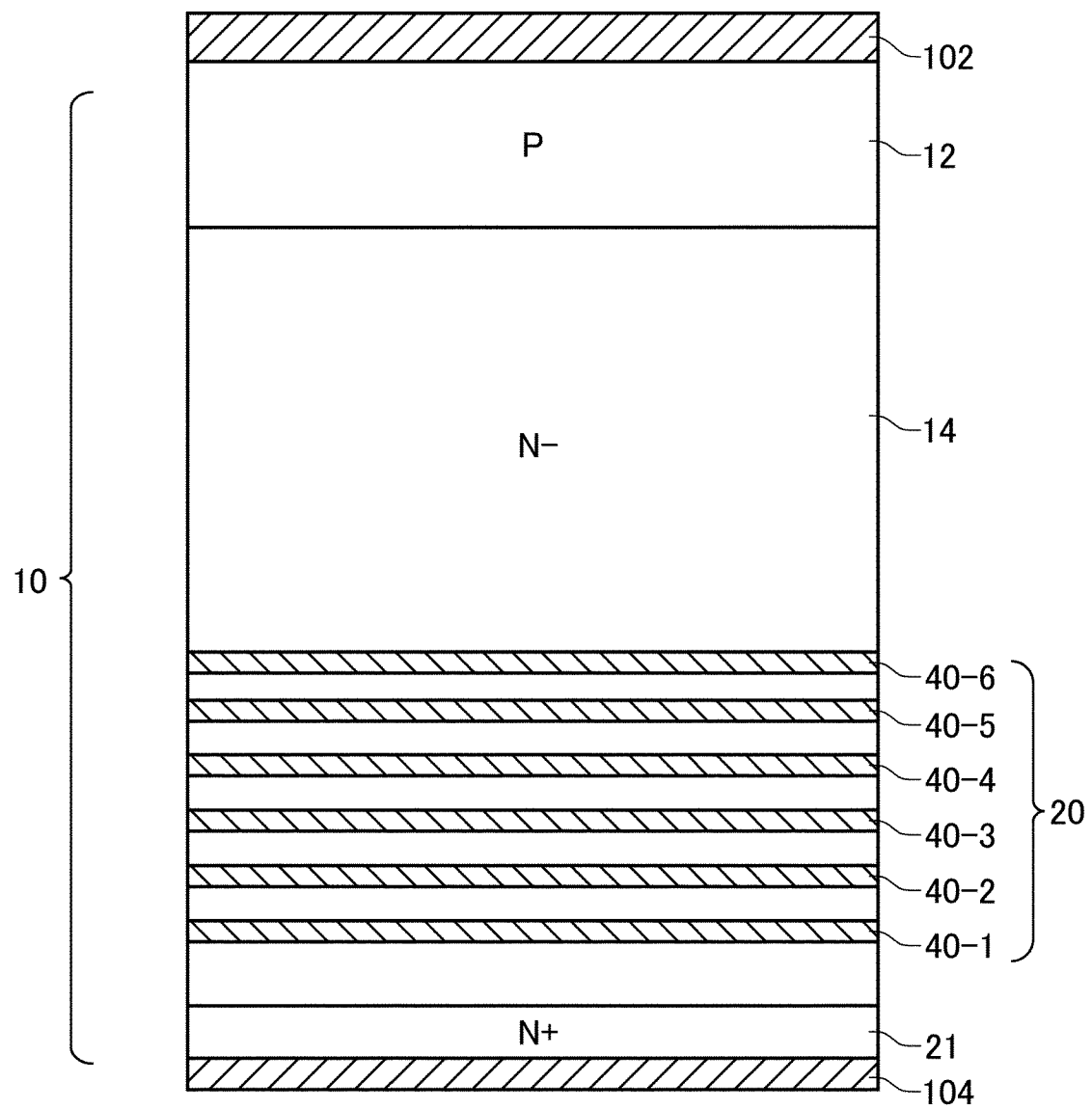
請求項 18 に記載の半導体装置。

[請求項21] (補正後)

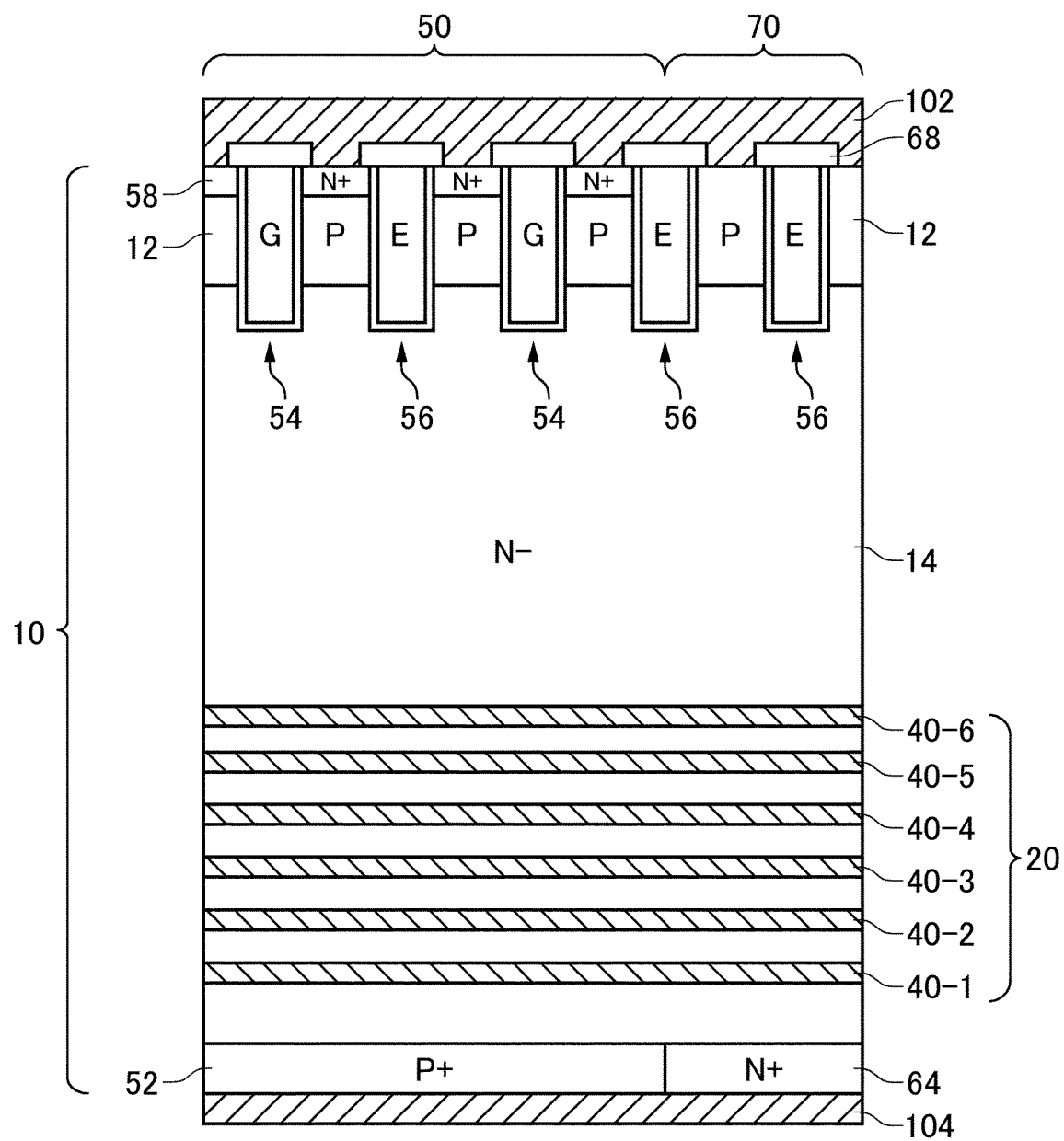
前記谷のドーピング濃度 N_{B_i} の全てを結ぶ包絡線は、ドーピング濃度が小さい側に凸状に減衰する

請求項18に記載の半導体装置。

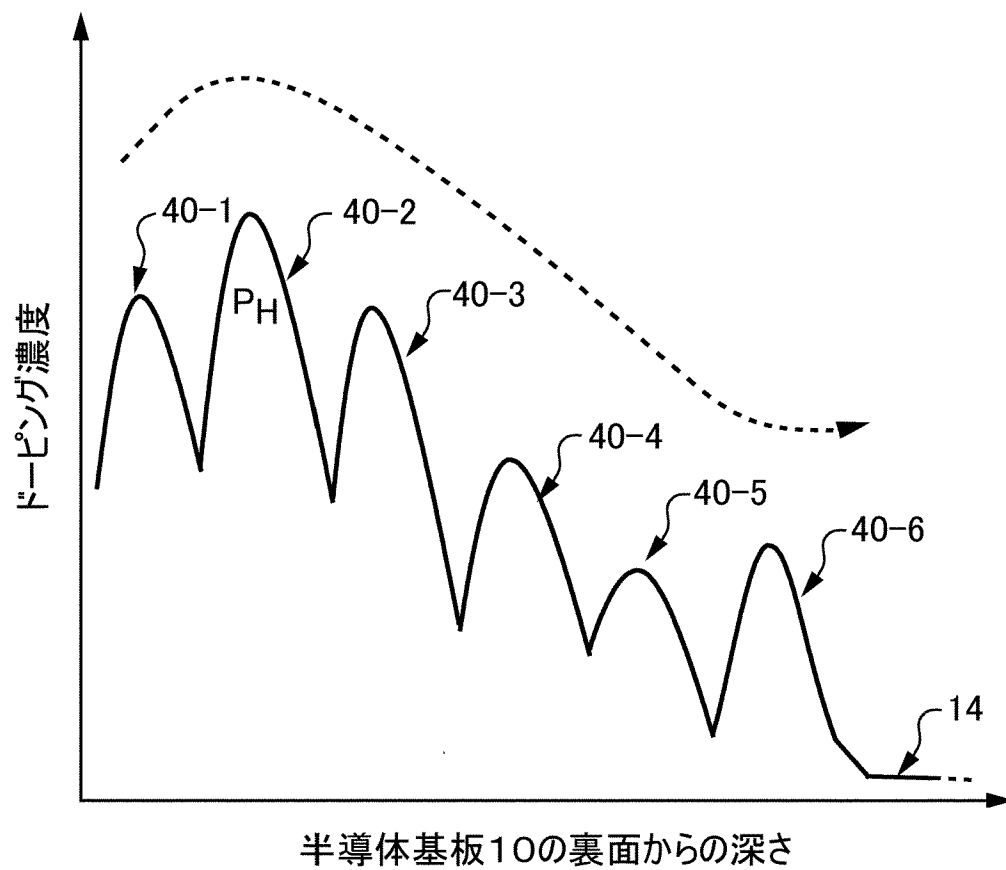
[図1A]

100

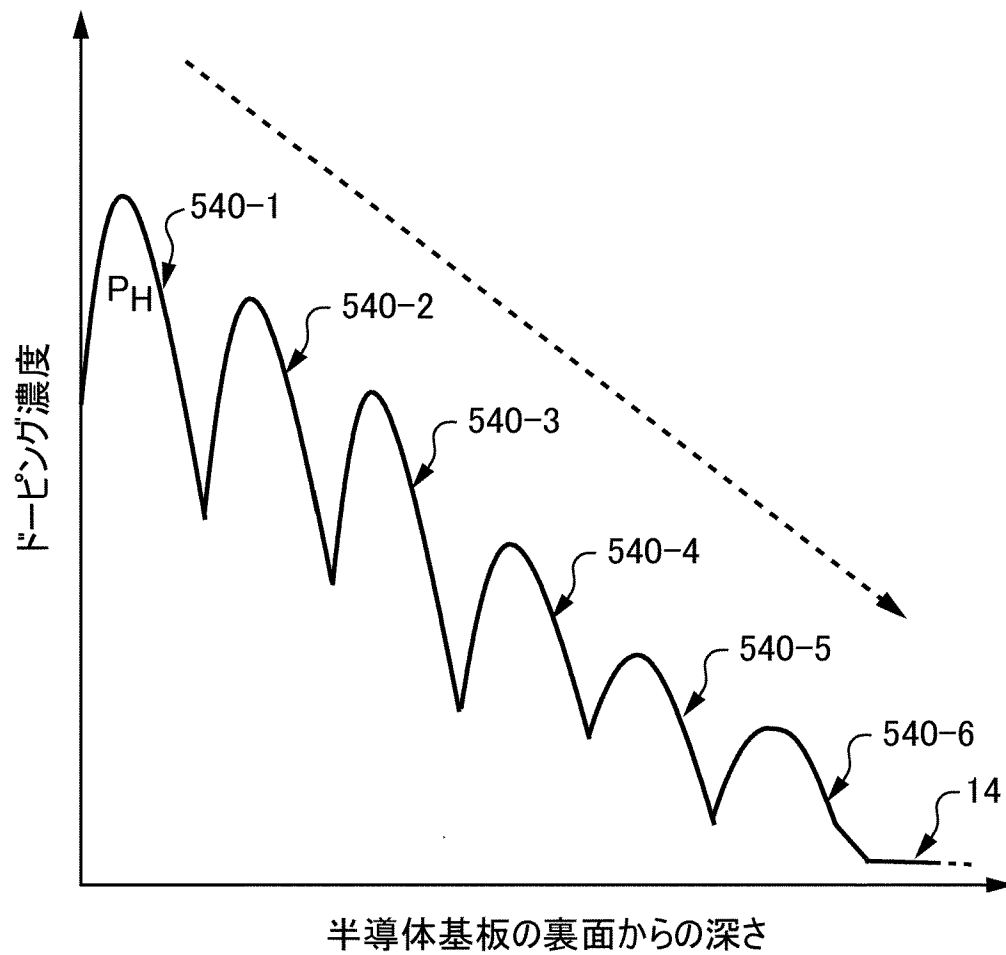
[図1B]

100

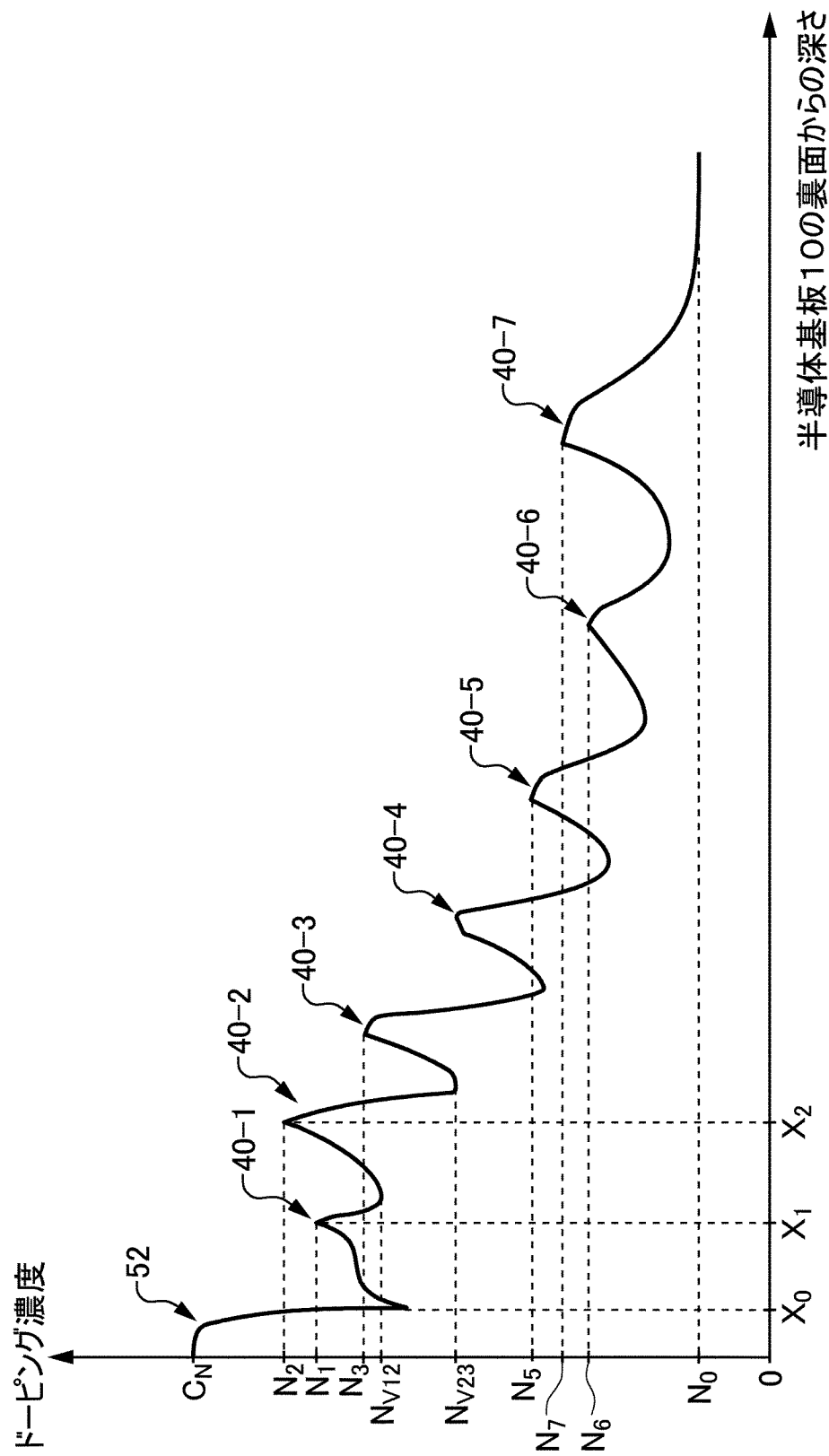
[図2]



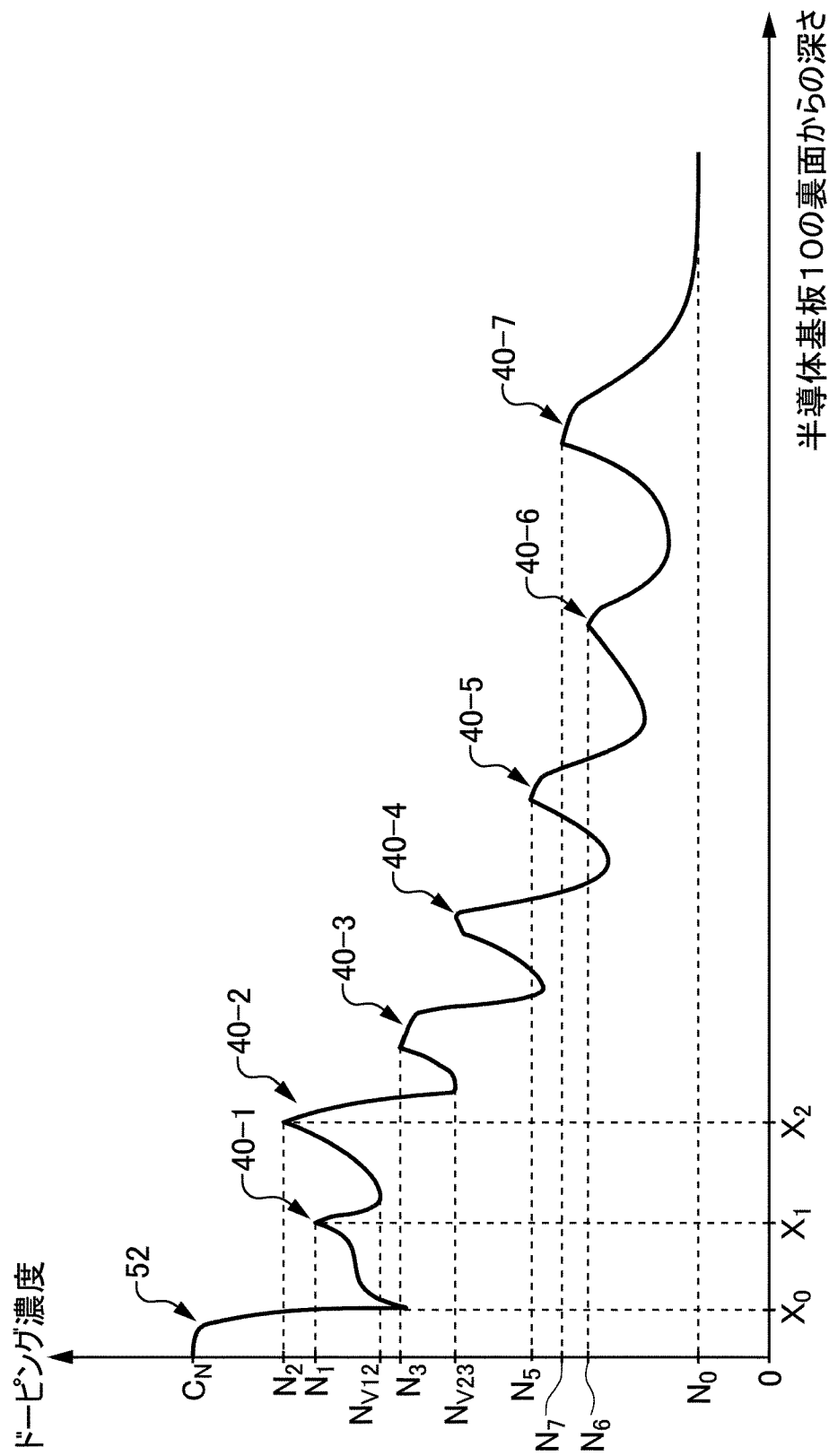
[図3]



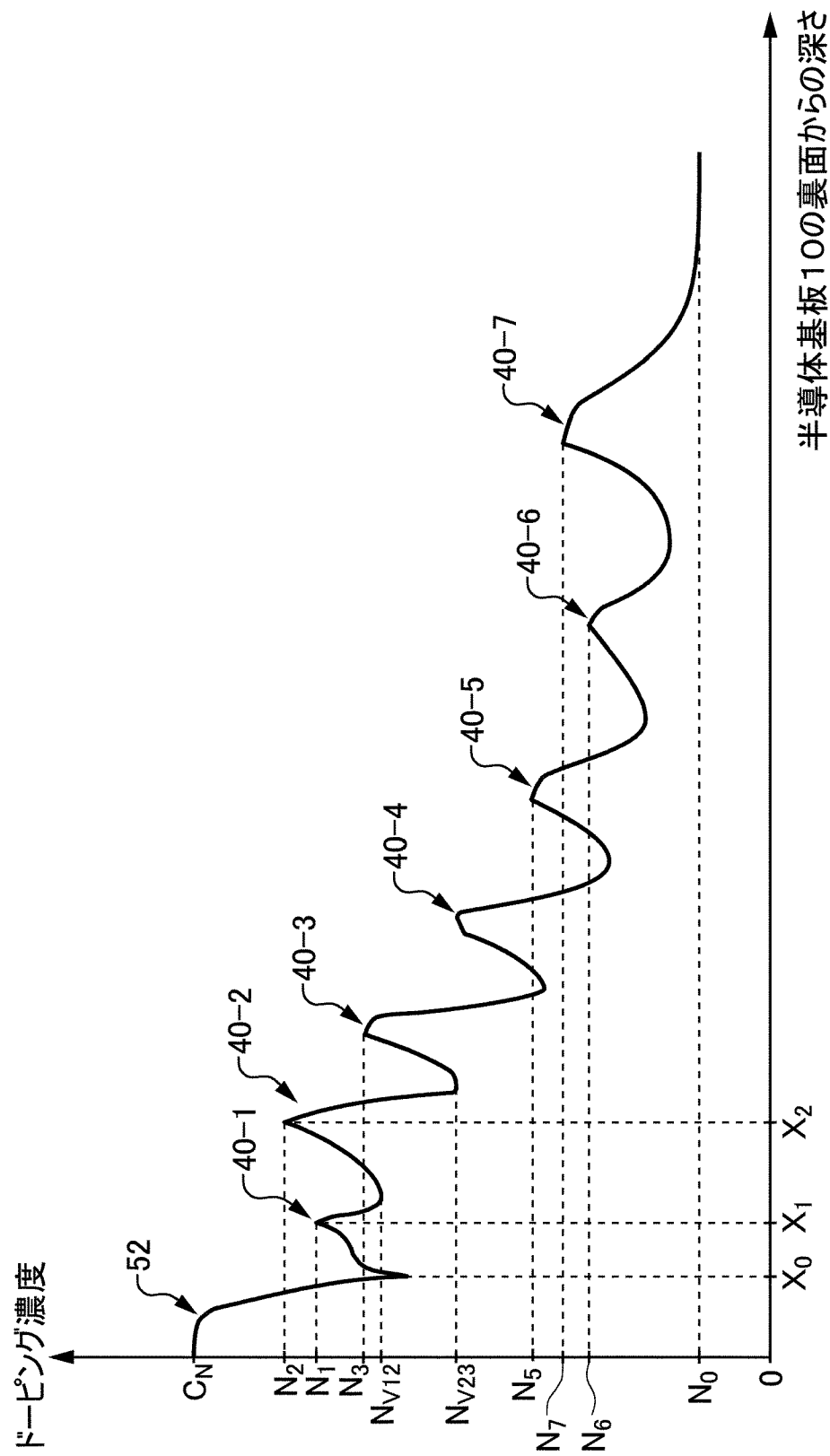
[図4A]



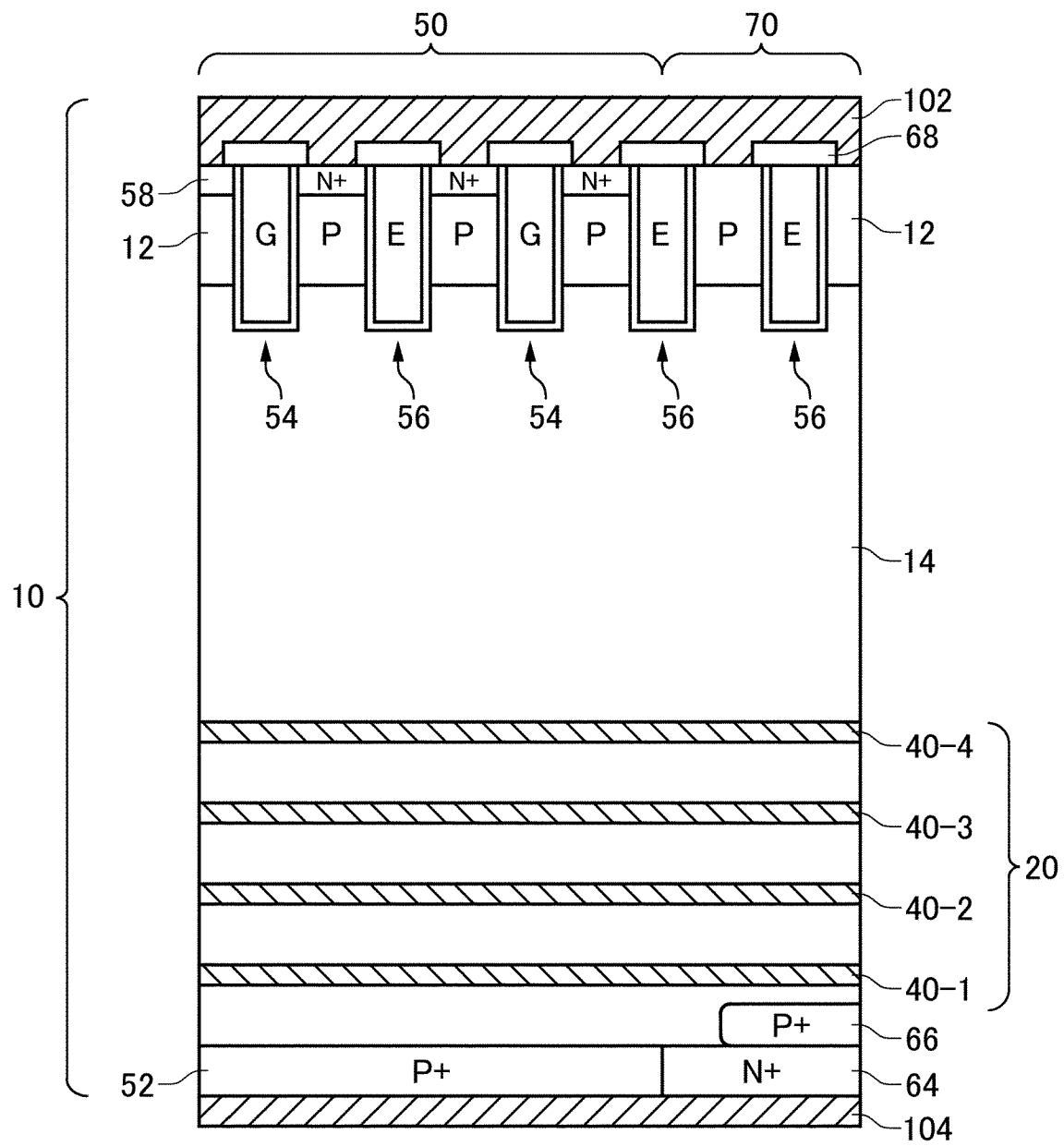
[図4B]



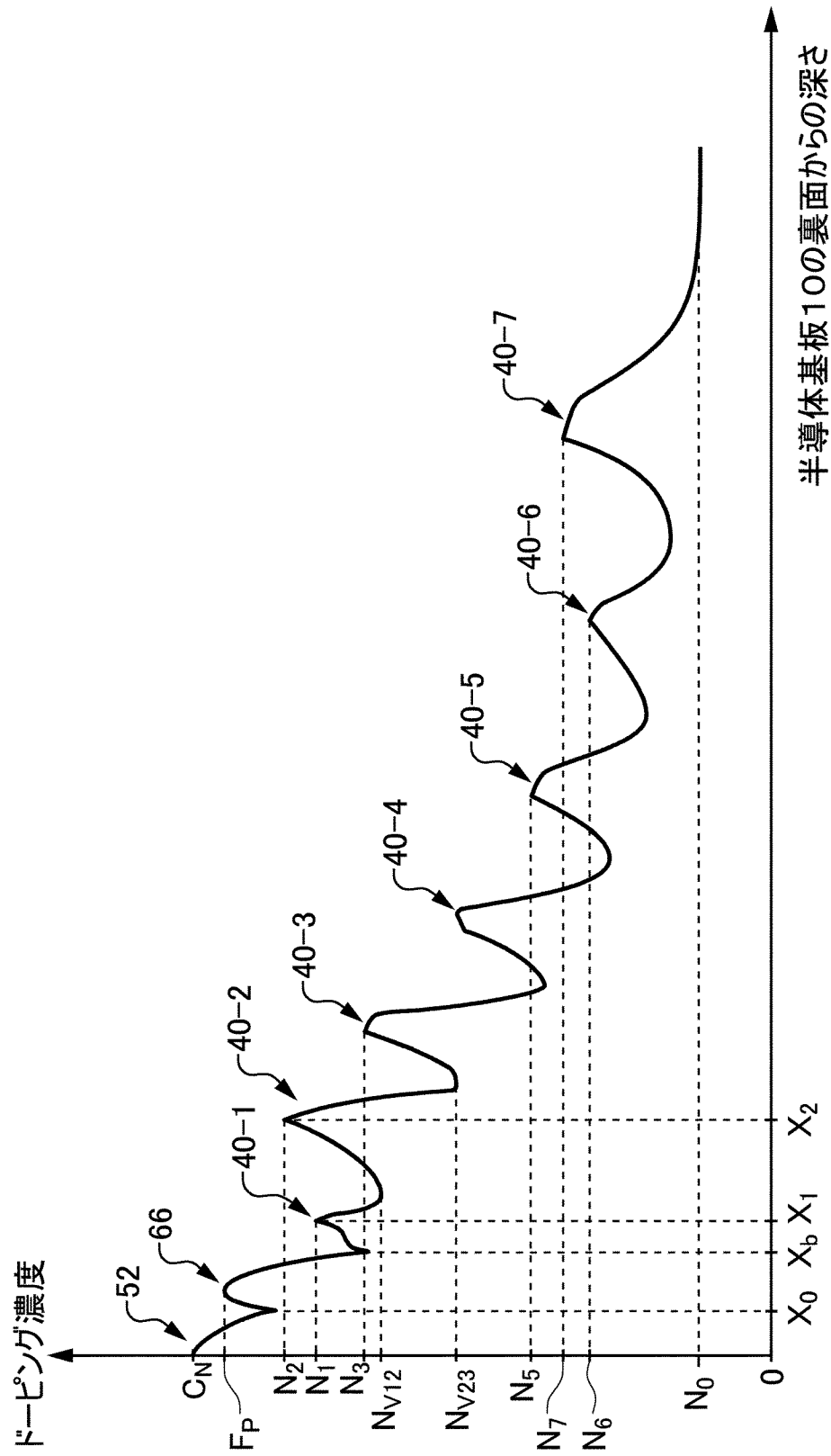
[図4C]



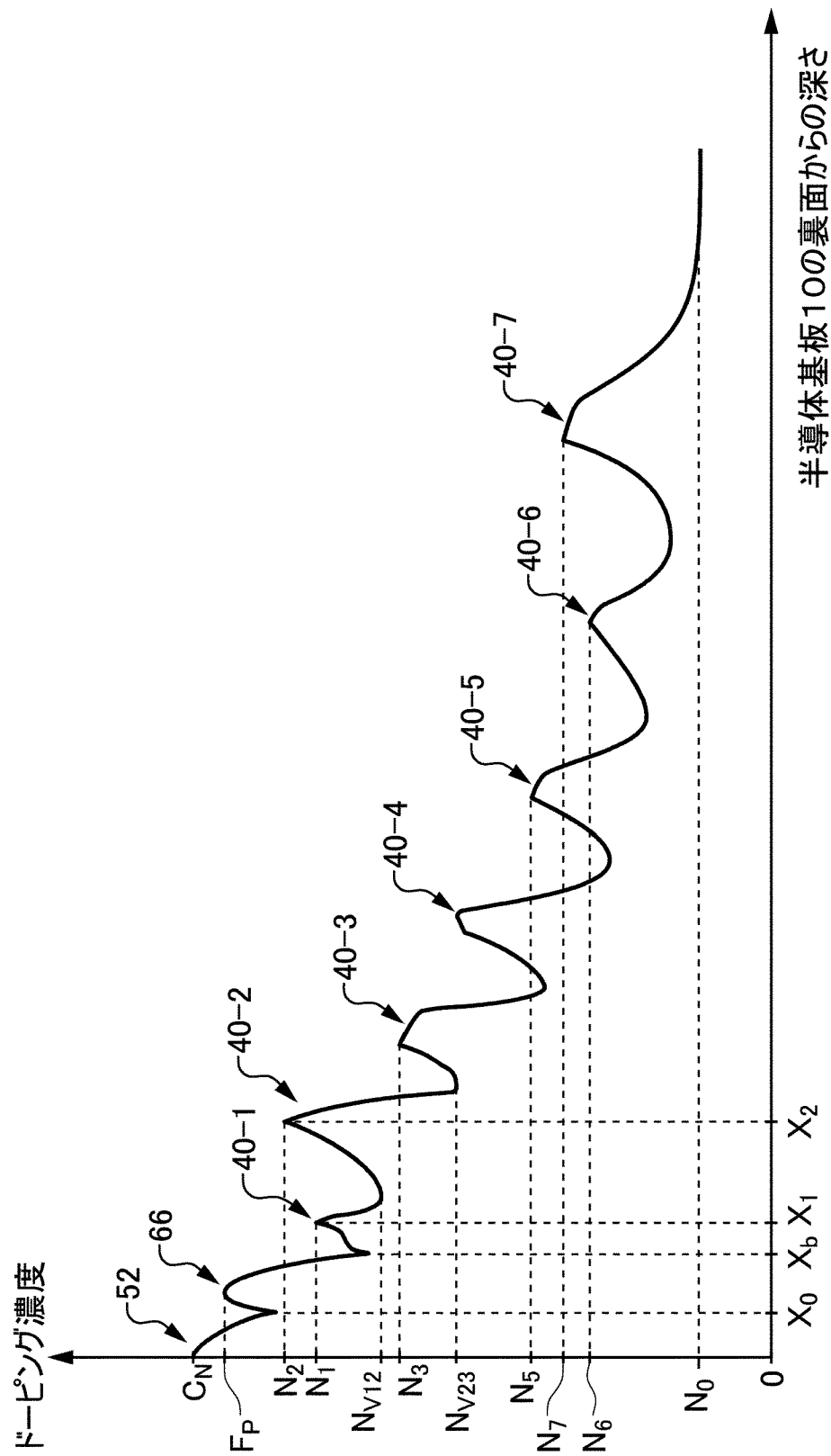
[図5]



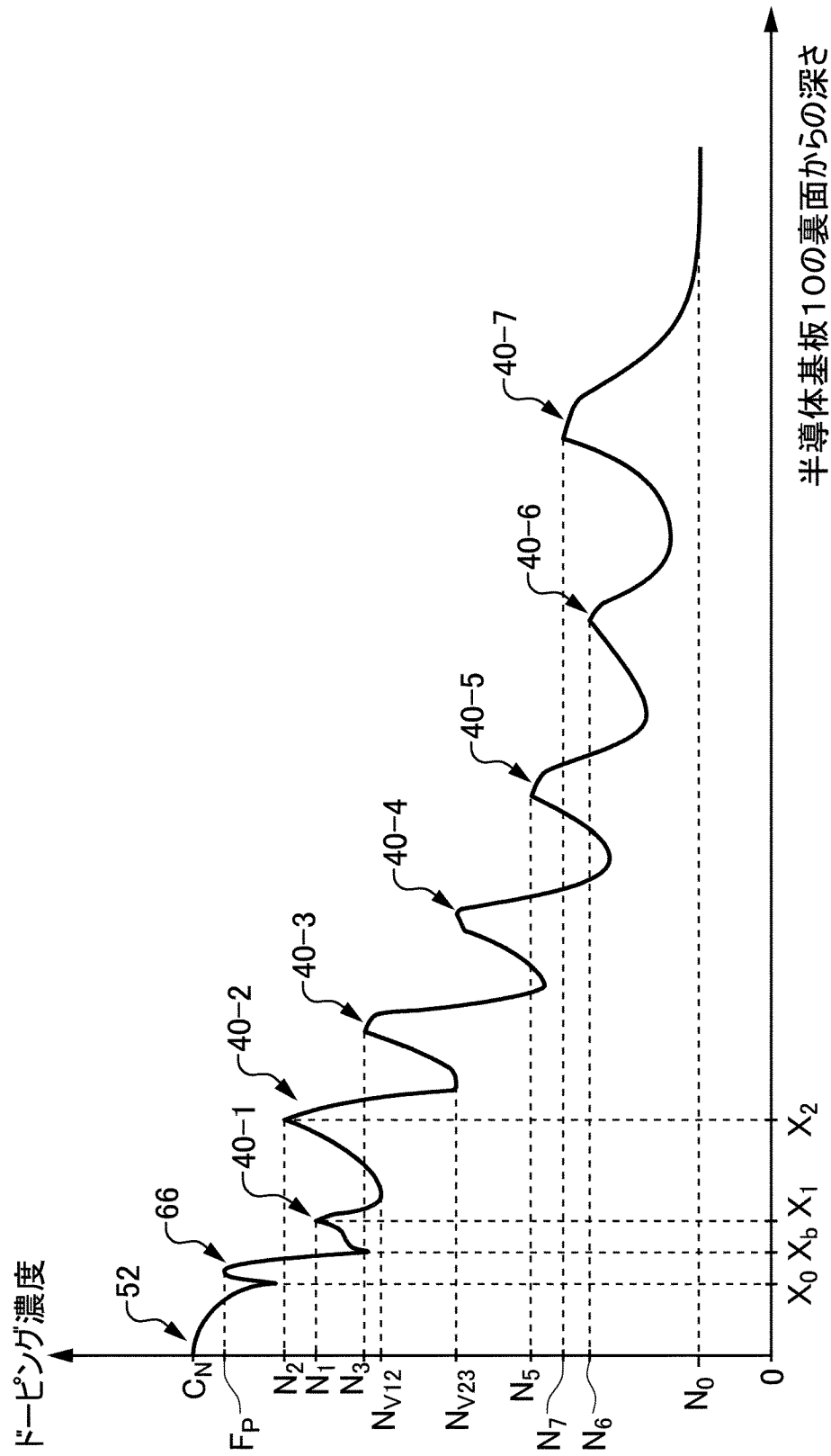
[図6A]



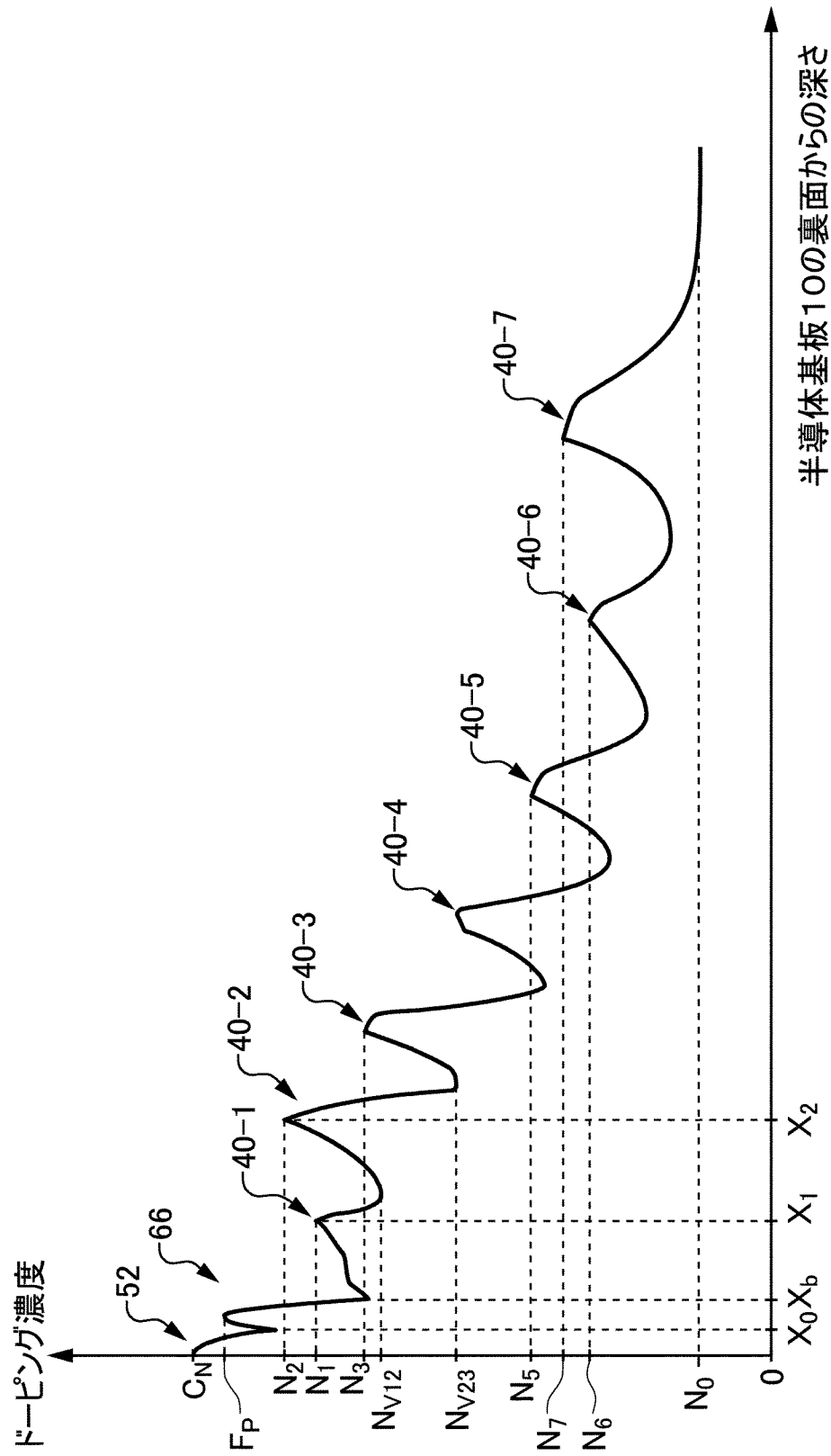
[図6B]



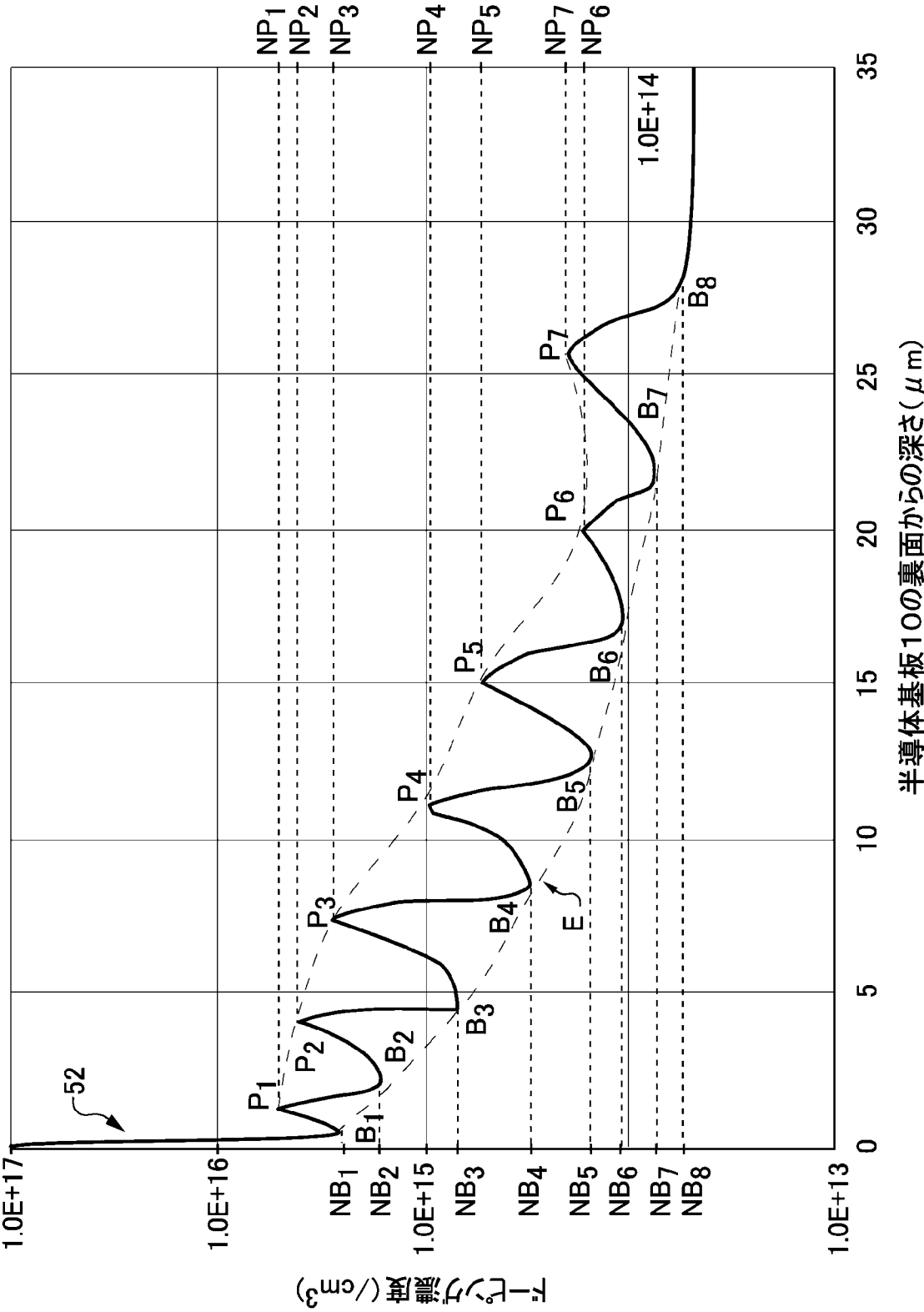
[図6C]



[図6D]



[図7]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2018/000886

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl. H01L29/739(2006.01)i, H01L21/336(2006.01)i, H01L29/78(2006.01)i, H01L29/861(2006.01)i, H01L29/868(2006.01)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)

Int.Cl. H01L29/739, H01L21/336, H01L29/78, H01L29/861, H01L29/868

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 1971-2018

Registered utility model specifications of Japan 1996-2018

Published registered utility model applications of Japan 1994-2018

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 A	US 2008/0001257 A1 (INFINEON TECHNOLOGIES AUSTRIA AG) 03 January 2008, paragraphs [0009]-[0031], fig. 1, 2 (Family: none)	1-10, 13-14 11-12, 15-17
X	WO 2016/204126 A1 (FUJI ELECTRIC CO., LTD.) 22 December 2016, fig. 4 & US 2017/0278929 A1, fig. 4 & DE 112016000168 T5 & CN 107004716 A	18-21

☐ 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
15.03.2018

Date of mailing of the international search report
27.03.2018

Name and mailing address of the ISA/
Japan Patent Office
3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku,
Tokyo 100-8915, Japan

Authorized officer

Telephone No.

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC））

Int.Cl. H01L29/739(2006.01)i, H01L21/336(2006.01)i, H01L29/78(2006.01)i, H01L29/861(2006.01)i, H01L29/868(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（IPC））

Int.Cl. H01L29/739, H01L21/336, H01L29/78, H01L29/861, H01L29/868

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	1971-2018年
日本国実用新案登録公報	1996-2018年
日本国登録実用新案公報	1994-2018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
X A	US 2008/0001257 A1 (INFINEON TECHNOLOGIES AUSTRIA AG) 2008.01.03, 段落 0009-0031, 図 1-2 (ファミリーなし)	1-10, 13-14 11-12, 15-17
X	WO 2016/204126 A1 (富士電機株式会社) 2016.12.22, 図 4 & US 2017/0278929 A1, 図 4 & DE 112016000168 T5 & CN 107004716 A	18-21

□ 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

15.03.2018

国際調査報告の発送日

27.03.2018

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/J P)

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）

綿引 隆

5 F

2934

電話番号 03-3581-1101 内線 3516