

(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
2017年3月23日(23.03.2017)



(10) 国際公開番号

WO 2017/047276 A1

- (51) 国際特許分類:
H01L 29/861 (2006.01) H01L 29/739 (2006.01)
H01L 21/322 (2006.01) H01L 29/78 (2006.01)
H01L 21/329 (2006.01) H01L 29/868 (2006.01)
H01L 21/336 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2016/073199
- (22) 国際出願日: 2016年8月5日(05.08.2016)
- (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 2015-183143 2015年9月16日(16.09.2015) 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: 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). 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). 田村 隆博(TAMURA Takahiro); 〒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). 小野澤 勇一(ONOZAWA Yuichi); 〒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). 山野 彰生(YAMANO Akio); 〒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).

(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22階 Tokyo (JP).

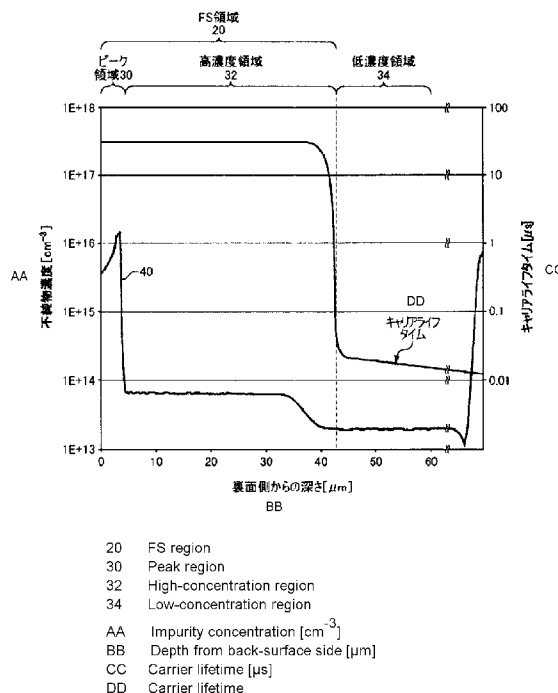
(81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG,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

[続葉有]

(54) Title: SEMICONDUCTOR DEVICE AND SEMICONDUCTOR DEVICE PRODUCTION METHOD

(54) 発明の名称: 半導体装置および半導体装置の製造方法

[図2A]



(57) Abstract: Provided is a semiconductor device provided with: a semiconductor substrate doped with impurities; a front-surface-side electrode provided to the front-surface side of the semiconductor substrate; and a back-surface-side electrode provided to the back-surface side of the semiconductor substrate. The semiconductor substrate has: a peak region that is disposed to the back-surface-side of the semiconductor substrate and that has an impurity concentration having at least one peak; a high-concentration region that is disposed closer to the front-surface-side than the peak region and that has an impurity concentration more gradual than the at least one peak; and a low-concentration region that is disposed closer to the front-surface-side than the high-concentration region and that has a lower impurity concentration than the impurity concentration of the high-concentration region and the substrate concentration of the semiconductor substrate.

(57) 要約: 不純物がドーピングされた半導体基板と、半導体基板の表面側に設けられた表面側電極と、半導体基板の裏面側に設けられた裏面側電極とを備え、半導体基板は、半導体基板の裏面側に配置され、不純物濃度が1以上のピークを有するピーク領域と、ピーク領域よりも表面側に配置され、不純物濃度が1以上のピークよりもなだらかな高濃度領域と、高濃度領域よりも表面側に配置され、高濃度領域の不純物濃度および半導体基板の基板濃度よりも不純物濃度が低い低濃度領域とを有する半導体装置を提供する。



SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA,
UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

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).

- (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,

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))

明 細 書

発明の名称：半導体装置および半導体装置の製造方法

技術分野

[0001] 本発明は、半導体装置および半導体装置の製造方法に関する。

背景技術

[0002] 従来、半導体基板の厚み方向に電流を流す縦型の半導体装置において、半導体基板の裏面側にフィールドストップ層を設ける構成が知られている（例えば、特許文献 1 および 2 参照）。

特許文献 1 特開 2 0 0 9 - 9 9 7 0 5 号公報

特許文献 2 国際公開第 2 0 1 3 / 1 0 0 1 5 5 号パンフレット

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0003] フィールドストップ層が浅い場合、I G B T 等のターンオフ振動および逆回復振動を十分に抑制することが難しい。

課題を解決するための手段

[0004] 本発明の第 1 の態様においては、不純物がドーピングされた半導体基板と、半導体基板の表面側に設けられた表面側電極と、半導体基板の裏面側に設けられた裏面側電極とを備え、半導体基板は、半導体基板の裏面側に配置され、不純物濃度が 1 以上のピークを有するピーク領域と、ピーク領域よりも表面側に配置され、不純物濃度が 1 以上のピークよりもなだらかな高濃度領域と、高濃度領域よりも表面側に配置され、高濃度領域の不純物濃度および半導体基板の基板濃度よりも不純物濃度が低い低濃度領域とを有する半導体装置を提供する。

[0005] 高濃度領域の不純物濃度は、半導体基板の基板濃度以上であってよい。高濃度領域の不純物濃度は、半導体基板の基板濃度と等しくてよい。

[0006] 半導体基板は、第 1 領域と、第 1 領域よりもキャリアライフタイムの短い第 2 領域と、第 1 領域と第 2 領域との間の遷移領域とを有してよい。遷移領

域は、半導体基板のP型半導体層とN型半導体層との境界を含んでよい。

[0007] 第1領域のキャリアライフタイムが $10\mu\text{s}$ 以上であり、第2領域のキャリアライフタイムが $0.1\mu\text{s}$ 以下であってよい。遷移領域の深さ方向における長さが $5\mu\text{m}$ 以上であってよい。遷移領域の深さ方向における長さが、最裏面のピークの半値幅より長くてよい。遷移領域の深さ方向における長さが、半導体基板のP型半導体層の深さ方向における長さより長くてよい。

[0008] 半導体基板がMCZ基板であってよい。半導体基板における平均酸素濃度が $1.0 \times 10^{16}/\text{cm}^3$ 以上、 $1.0 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ 以下であってよい。半導体基板は、半導体基板の表面から深さ方向に延伸して形成された欠陥領域を更に備えてよい。

[0009] 欠陥領域の一部と、高濃度領域の一部とが深さ方向において同一の位置に形成されてよい。欠陥領域の先端は、ピーク領域において最も半導体基板の表面側に設けられたピークよりも、半導体基板の裏面側まで延伸してよい。欠陥領域の先端が、ピーク領域におけるいずれかのピークと深さ方向において同一の位置に形成されてよい。

[0010] 半導体基板は、半導体基板の裏面から深さ方向に延伸して形成された欠陥領域を更に備えてよい。

[0011] 欠陥領域は、高濃度領域よりも半導体基板の表面側まで延伸してよい。

[0012] 半導体基板は、トランジスタが形成されるトランジスタ領域と、ダイオードが形成されるダイオード領域とを有してよい。ダイオード領域に、高濃度領域が形成されていてよい。トランジスタ領域にも、高濃度領域が形成されていてよい。トランジスタ領域には、高濃度領域が形成されていなくてよい。

[0013] 本発明の第2の態様においては、半導体装置の製造方法であって、半導体基板の裏面側からプロトンをドーピングする段階を備える半導体装置の製造方法を提供する。プロトンをドーピングする段階より後に、半導体基板をアニールする段階と、アニールする段階より後に、半導体基板の深さ方向に延伸する欠

陥領域を形成する段階を有してよい。欠陥領域を形成する段階より後に、半導体基板をアニールする段階とを備えてよい。欠陥領域を形成する段階より後に、半導体基板をアニールする段階を有してよい。

[0014] 欠陥領域を形成する段階において、半導体基板に、20 kGy以上、1500 kGy以下の電子線を照射してよい。欠陥領域を形成する段階において、半導体基板の表面または裏面から、半導体基板の予め定められた深さに欠陥生成物質を注入することで、半導体基板の表面または裏面から欠陥生成物質の注入位置まで延伸する欠陥領域を形成してよい。

[0015] 半導体基板は、トランジスタが形成されるトランジスタ領域と、ダイオードが形成されるダイオード領域とを有してよい。欠陥領域を形成する段階において、トランジスタ領域の少なくとも一部をマスクして欠陥生成物質を注入してよい。

[0016] 本発明の第3の態様においては、半導体装置の製造方法であって、半導体基板の裏面側からプロトンをドーピングする段階を備える半導体装置の製造方法を提供する。半導体基板の深さ方向に延伸する欠陥領域を形成する段階を有してよい。欠陥領域を形成する段階およびプロトンをドーピングする段階の後に、ライフタイムアニールとプロトンアニールとをまとめて行う段階を有してよい。

[0017] 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

[0018] [図1A]本発明の第1の実施形態に係る半導体装置100の概要を示す断面図である。

[図1B]本発明の第1の実施形態に係る半導体装置100の概要を示す断面図である。

[図2A]FS領域20およびドリフト領域14の一部における不純物濃度およびキャリアライフタイムの分布例を示す。

[図2B]半導体装置100におけるキャリアライフタイムの測定方法を説明す

る。

[図3]実施例1に係る半導体装置100の製造方法の一例を示す。

[図4]プロトンのドーピング量を変化させた場合の、不純物濃度の分布例を示す。

[図5]電子線照射を行う場合と、行わない場合の不純物濃度分布の比較例を示す。

[図6]電子線照射の条件を変化させた場合の、不純物濃度の分布例を示す。

[図7]実施例2に係る半導体装置100の製造方法の一例を示す。

[図8]実施例2においてアニールの条件を変化させた場合の不純物濃度の分布例を示す。

[図9]実施例3に係る半導体装置100の製造方法の一例を示す。

[図10]実施例4に係る半導体装置100の製造方法の一例を示す。

[図11]実施例1, 2, 4に係る不純物濃度の分布例を示す。

[図12]実施例5に係る半導体装置100の製造方法の一例を示す。

[図13]実施例6に係る半導体装置100の製造方法の一例を示す。

[図14]半導体基板10の表面側からヘリウムを注入して欠陥領域46を形成する例を示す図である。

[図15A]本発明の第2の実施形態に係る半導体装置200の概要を示す断面図である。

[図15B]半導体装置200の他の例を示す図である。

[図15C]半導体装置200の他の例を示す図である。

[図15D]半導体装置200の他の例を示す図である。

[図15E]半導体装置200の他の例を示す図である。

[図15F]半導体装置200の他の例を示す図である。

[図16]MCZ基板に電子線を照射した場合と、FZ基板に電子線を照射した場合の不純物濃度分布の一例を示す図である。

発明を実施するための形態

[0019] 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。

[0020] 図1Aは、本発明の第1の実施形態に係る半導体装置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の表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。

[0021] 半導体装置100は、半導体基板10、表面側電極102および裏面側電極104を備える。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ピングされる。本例の半導体基板10は、N型の導電性を有する。

[0022] 半導体基板10は、表面側領域12、ドリフト領域14、フィールドストップ領域(FS領域20)およびカソード領域21を有する。ドリフト領域14は、半導体基板10と同一の導電性を有する。本例においてドリフト領域14はN型である。表面側領域12は、半導体基板10の表面側に形成され、ドリフト領域14とは異なる導電性の不純物がドーピングされる。本例において表面側領域12はP型である。半導体装置100がFWDの場合、表面側領域12はアノード領域として機能する。

[0023] FS領域20は、半導体基板10の裏面側に形成される。FS領域20は、ドリフト領域14と同一の導電性を有し、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FS領域20はN+型である。FS領域20と裏面側電極104との間には、カソード領域21が形成される。カソード領域21は、FS領域20と裏面側電極104との間に形成される裏面側領域の一例である。高濃度のFS領域20を設けることで、表面側領域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防ぐことができる。

[0024] 表面側電極102は、半導体基板10の表面側に設けられる。本例の表面側電極102はプレーナ形状を有するが、他の例における表面側電極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、表面側電極 102 はアノード電極である。

[0025] 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。

[0026] 図 1 B は、本発明の第 1 の実施形態に係る半導体装置 100 の概要を示す断面図である。本例では、半導体装置 100 の一例として、絶縁ゲートバイポーラトランジスタ (IGBT: Insulated Gate Bipolar Transistor) を示す。本例において、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。

[0027] 本例の半導体基板 10 は、表面側領域 12、ドリフト領域 14、FS 領域 20 およびコレクタ領域 31 を有する。本例の半導体基板 10 は、表面側に形成されたゲート部 15 を有する。ゲート部 15 は、表面側電極 102 と裏面側電極 104 との間の電流のオンオフを制御する。半導体装置 100 が IGBT の場合、表面側領域 12 はエミッタ領域として機能する。

[0028] コレクタ領域 31 は、FS 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 31 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 31 は、P+型の導電型を有する。なお、半導体装置 100 が IGBT の場合、表面側電極 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。

[0029] 図 2 A は、FS 領域 20 およびドリフト領域 14 の一部における不純物濃度およびキャリアライフタイムの分布例を示す。図 2 A において横軸は、半導体基板 10 の裏面からの深さを示しており、縦軸は不純物濃度を示している。また、キャリアライフタイムは縦軸のスケールに依存しない相対的な値を示している。

[0030] FS 領域 20 は、裏面側から順番にピーク領域 30 および高濃度領域 32 を有する。また、ドリフト領域 14 は、高濃度領域 32 よりも不純物濃度の低い低濃度領域 34 を有する。ドリフト領域 14 の全体が低濃度領域 34 であってよい。ピーク領域 30 は、例えば半導体基板 10 の中央よりも裏面側

に配置される。ピーク領域 30 は、半導体基板 10 の裏面側からの距離が 30 μm 以下の所定の範囲に形成されてよく、20 μm 以下の所定の範囲に形成されてよく、10 μm 以下の所定の範囲に形成されてもよい。

[0031] ピーク領域 30 における不純物濃度の分布は、1 以上のピーク 40 を有する。ピーク 40 は、半導体基板 10 の裏面側から、プロトン等の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することができきる。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。

[0032] 高濃度領域 32 は、ピーク領域 30 よりも表面側に配置される。高濃度領域 32 の不純物濃度は、半導体基板 10 の不純物濃度（本例ではドリフト領域 14 の不純物濃度）よりも高く、且つ、半導体基板 10 の深さ方向においてピーク領域 30（本例ではピーク 40）よりもなだらかに変化する。高濃度領域 32 における不純物濃度の最大値は、低濃度領域 34 における不純物濃度の 1.2 倍以上であってよく、1.5 倍以上であってよく、2 倍以上であってよい。また、高濃度領域 32 における不純物濃度の平均値も、低濃度領域 34 における不純物濃度の 1.1 倍以上であってよく、1.2 倍以上であってよい。上述した低濃度領域 34 における不純物濃度は、低濃度領域 34 における平均不純物濃度であってよい。

[0033] また、高濃度領域 32 の不純物濃度分布の深さに対する傾きの最大値は、ピーク 40 における不純物濃度分布の傾きの平均値より小さくてよい。また、高濃度領域 32 の不純物濃度の最大値は、ピーク領域 30 に含まれるそれぞれのピーク 40 の最大値よりも小さい。また、高濃度領域 32 の不純物濃度の最大値は、ピーク領域 30 における不純物濃度の最小値より小さくてもよい。

[0034] また、高濃度領域 32 は、1 つのピーク 40 よりも深さ方向において長くてよい。また、高濃度領域 32 は、ピーク領域 30 全体よりも深さ方向において長くてよい。なお高濃度領域 32 とピーク領域 30 との境界は、ピーク 40 の後に不純物濃度が最初に極小値を示す点であってよい。また、高濃

度領域 32 とピーク領域 30 との境界は、ピーク 40 の後に、不純物濃度の深さ方向に対する変化量が所定値以下になる点であってよい。例えばピーク 40 よりも表面側において、深さ方向における距離 $1\ \mu\text{m}$ に対して、不純物濃度の変化が 20% 以下となる点を高濃度領域 32 の裏面側の境界としてもよい。また高濃度領域 32 と低濃度領域 34 との境界は、不純物濃度がドリフト領域 14 の平均不純物濃度になる点であってよい。

[0035] なお、ピーク領域 30 が複数のピーク 40 を有する場合、高濃度領域 32 は、いずれのピーク 40 の幅よりも長い。ピーク 40 の幅は、不純物濃度の 2 つの極小値間の幅を指す。また、ピーク領域 30 が複数のピーク 40 を有する場合も、高濃度領域 32 はピーク領域 30 全体よりも長くてよい。

[0036] 低濃度領域 34 は、高濃度領域 32 よりも表面側に配置される。低濃度領域 34 の不純物濃度は、高濃度領域 32 の不純物濃度よりも低い。また、低濃度領域 34 における不純物濃度は、半導体基板 10 の基板濃度よりも低い。これにより、低濃度領域 34 における移動度が局所的に下がり、半導体装置 100 の動作を高速化できる。ここで、半導体基板 10 の基板濃度とは、半導体基板 10 への電子線の照射およびプロトンの注入がなされていない初期状態での不純物濃度を指す。例えば、半導体基板 10 の基板濃度は、半導体基板 10 が P 型のシリコンの場合、ボロン、リン、またはヒ素等のドーパにより得られる不純物濃度である。

[0037] 高濃度領域 32 は、ピーク 40 を生成すべくプロトン等の不純物を所定の条件でドーパした後または前に、半導体基板 10 に深さ方向に延伸する欠陥領域を形成し、プロトンドーパおよび欠陥領域の形成の後に熱処理することで形成される。欠陥領域は、半導体基板 10 の他の領域よりも結晶欠陥の密度が高い。欠陥領域は、高濃度領域 32 を形成すべき領域の少なくとも一部に形成される。欠陥領域は、高濃度領域 32 を形成すべき領域と同一の領域に形成されてよく、高濃度領域 32 を形成すべき領域よりも広い領域に形成されてもよい。欠陥領域においては、結晶欠陥が比較的多く存在するので、プロトン等の不純物が深い位置まで拡散しやすくなる。

[0038] 一例として欠陥領域は、半導体基板 10 に所定の条件で電子線を照射することで形成できる。半導体基板 10 に所定の条件で電子線を照射することで、ピーク領域 30 よりも表面側の領域に結晶欠陥が形成される。電子線照射量は 1500 kGy 以下であることが好ましい。また、電子線照射量は、1200 kGy 以下であってよく、800 kGy 以下であってもよい。但し、キャリアライフタイムを制御するために、電子線照射量は 20 kGy 以上であることが好ましい。電子線照射量は、プロトンの加速電圧に応じて調整してもよい。

[0039] その後、半導体基板 10 を熱処理することで、ピーク領域 30 にドーパされたプロトン等の不純物が表面側に拡散する。このような処理により、ピーク領域 30 よりもなだらかな高濃度領域 32 を形成することができる。従って、逆回復時の dv/dt およびサージ電圧を抑えることができる。これにより、スイッチング時の電圧および電流波形を滑らかにすることができる。

[0040] 高濃度領域 32 の不純物濃度は、プロトンの拡散により、半導体基板 10 の基板濃度以上となってよい。また、高濃度領域 32 の不純物濃度は、半導体基板 10 の基板濃度と等しくなるように回復されてもよい。この場合、高濃度領域 32 の不純物濃度が高濃度領域 32 の全域において基板濃度と等しい必要はなく、高濃度領域 32 の不純物濃度の平均が基板濃度と等しくてよい。

[0041] 高濃度領域 32 の深さ方向における長さは、5 μm 以上であってよい。高濃度領域 32 の長さとは、ピーク領域 30 との境界から、低濃度領域 34 との境界までの長さを指す。また、高濃度領域 32 の長さは 10 μm 以上であってよく、20 μm 以上であってよく、30 μm 以上であってもよい。高濃度領域 32 の長さは、プロトン等の不純物のドーパ量、欠陥領域が形成される範囲、欠陥領域における結晶欠陥の密度等によって制御することができる。電子線を照射して欠陥領域を形成する場合、高濃度領域 32 の長さは、電子線の照射量、電子線照射後の熱処理の温度または時間等によって制御することができる。

[0042] また、電子線等により形成された欠陥領域における結晶欠陥がプロトン等の不純物の拡散により回復するので、半導体基板の表面側のキャリアライフタイムを短くして、裏面側のキャリアライフタイムを長くすることができる。具体的には、プロトンの注入により水素が半導体基板10の飛程領域に導入される。導入された水素は、さらに熱処理により飛程領域から半導体基板10の奥（この場合おもて面側）に拡散する。このように導入された水素は、電子線照射等により形成された点欠陥に起因するダングリングボンドを終端することができる。これにより、点欠陥濃度が減少し、キャリアのライフタイムが増加する。このため、逆回復時のピーク電流 I_{rp} および dV/dt を同時に低減することができる。

[0043] 半導体基板10は、キャリアライフタイムの長い第1領域と、第1領域におけるキャリアライフタイムよりも短い第2領域とを有する。本例において、第1領域のキャリアライフタイムが $10\ \mu s$ 以上であり、第2領域のキャリアライフタイムが $0.1\ \mu s$ 以下である。また、本明細書において、第1領域と第2領域との間において、キャリアライフタイムが裏面側から表面側に向けて低下する領域を遷移領域と称する。なお、遷移領域の深さ方向における長さは、 $1\ \mu m$ 以上であってよく、 $3\ \mu m$ 以上であってよく、 $5\ \mu m$ 以上であってよい。

[0044] 本例では、第1領域が高濃度領域32に対応し、第2領域が低濃度領域34に対応する。また、高濃度領域32におけるキャリアライフタイムはほぼ一定であり、低濃度領域34におけるキャリアライフタイムは、表面側に向かって徐々に減少している。但し、プロトンのドーピング量を大きくすることにより、第1領域が表面側にまで伸びる場合がある。例えば、遷移領域が半導体基板10のP型半導体層とN型半導体層との境界（即ち、表面側領域12とドリフト領域14との境界）を含むまで、第1領域が表面側まで伸びてよい。

[0045] なお、遷移領域が半導体基板10のP型半導体層とN型半導体層との境界を含むことは、半導体基板10の厚さを薄くすることによっても実現できる

。また、遷移領域の深さ方向における長さは、最裏面のピーク40の半値幅より長くてよい。ここで、ピーク40の半値幅とは、ピーク40の中央に対して裏面側の半値幅であってもよく、表面側であってもよい。例えば、ピーク40の半値幅は、プロトンの場合で2 μ m程度となる。さらに、遷移領域の深さ方向における長さは、表面側領域12の深さ方向における長さより長くてもよい。

[0046] ピーク領域30および高濃度領域32は、プロトンの注入または電子線照射等により導入された空孔(V)、半導体基板10の作製時に混入するかまたは素子形成プロセス中に導入した酸素(O)、および注入された水素(H)による空孔-酸素-水素欠陥(VOH欠陥)によるドナーが形成された領域と考えられる。VOH欠陥によるドナーは、導入した水素の注入量もしくは水素の濃度に対して、0.1%~10%の範囲の割合でドナー化したドナー化率を有している。

[0047] ピーク領域30は、水素濃度分布にドナー化率を掛けた濃度分布が、半導体基板10のリン濃度よりも十分高いために、注入した水素の濃度分布を反映したVOH欠陥のドナー濃度分布(ネットドーピング濃度分布)を示す。あるいは言い換えると、ピーク領域30のドナー濃度分布は、半導体基板10のドナー濃度(例えばリン濃度)に、注入された水素の濃度分布に所定のドナー化率を掛けた分だけ低い濃度であって、かつ水素の濃度分布の相似形であると言ってよい。

[0048] 一方、高濃度領域32は、注入したプロトンの飛程 R_p よりも深い領域であるので、水素が飛程 R_p から半導体基板10の奥側(この場合はおもて面側)に拡散した領域である。この場合、拡散した水素濃度分布にドナー化率を掛けた値は、半導体基板10のリン濃度よりも小さい。一方、電子線照射等により、プロトンの飛程 R_p よりも深い所定の領域において点欠陥濃度が概ね一様に分布している。そのため、拡散した水素濃度が、空孔および酸素と結合し、VOH欠陥を形成する。このVOH欠陥としてのドナー濃度が、半導体基板10のリン濃度を上回ると、高濃度領域32が形成できる。この

とき、おおむね一様な空孔濃度の分布に、酸素と、拡散された少量の水素とが結合するため、V O H 欠陥の濃度分布もおおむね一様になる。すなわち、高濃度領域 3 2 のドナー濃度分布は、電子線照射等により導入した状態の空孔の濃度分布が支配的となる。なお、空孔は、V O H 欠陥を形成したときに酸素、水素、半導体の原子（シリコン等）と結合し、V O H 欠陥に置き換えられるため、空孔自体は導入時よりも相当数消滅しているとも、考えられる。そのため、高濃度領域 3 2 のドナー濃度分布は、半導体基板のドナー（リンなど）よりも高い濃度で、かつおおむね一様である、と言ってもよい。

[0049] 図 2 B は、半導体装置 1 0 0 におけるキャリアライフタイムの測定方法を説明する図である。本例では、欠陥領域を電子線照射により形成している。図 2 B は、半導体装置 1 0 0 における逆バイアス電圧とリーク電流との関係を示す。低濃度領域 3 4 には電子線照射により結晶欠陥が形成され、また、プロトン等の不純物によっても欠陥が消滅していない。このため、逆バイアスを 0 V から上昇させていくと、徐々にリーク電流が増加する。

[0050] 一方、高濃度領域 3 2 は、プロトン等の不純物の拡散により、欠陥のダングリリングボンドが水素に終端されて、低濃度領域 3 4 よりも結晶欠陥が低減している。このため、低濃度領域 3 4 および高濃度領域 3 2 の境界位置に対応する所定の電圧 V_0 よりも逆バイアスを増加させても、リーク電流を増加しなくなる。ただし、非常に大きい逆バイアスを印加すると、アバランシェ降伏によりリーク電流は急激に増大する。

[0051] 上述したように、リーク電流が変化しなくなる逆バイアス電圧 V_0 を計測することで、高濃度領域 3 2 および低濃度領域 3 4 の境界位置を推定することができる。なお、電圧 V_0 と、境界位置 x_0 との関係は、下式で与えられる。

[数1]

$$x_0 = \sqrt{\frac{2\epsilon_r\epsilon_0V_0}{qN_D}}$$

[0052] [実施例 1]

図3は、実施例1に係る半導体装置100の製造方法の一例を示す。まずベース基板を準備して、ベース基板の表面側に、表面側領域12および表面側電極102等の表面構造を形成する(S100)。次に、耐圧に応じた基板厚となるように、ベース基板の裏面側を研削して半導体基板10を形成する(S102)。

[0053] 次に、半導体基板10の裏面側からリン等の不純物を浅くドーピングして、裏面側領域を形成する(S104)。不純物をドーピングした後、レーザー等により裏面側領域をアニールする(S106)。

[0054] 次に、半導体基板10の裏面側からプロトンを、裏面側領域よりも深い位置にドーピングする(S108)。S108においては、1以上の深さ位置に、プロトンをドーピングしてよい。プロトンをドーピングした後、所定の条件で半導体基板10をプロトンアニールする(S110)。これにより1以上のピーク40を有するピーク領域30が形成される。

[0055] 次に、半導体基板10に電子線を照射する(S112)。電子線は半導体基板10の裏面側から照射してよく、表面側から照射してもよい。電子線を照射した後、所定の条件で半導体基板10をアニールする(S114)。これにより、高濃度領域32が形成される。

[0056] そして、半導体基板10の裏面側に裏面側電極104を形成する(S116)。これにより半導体装置100を製造できる。なお、S104およびS106の間に、フローティング領域を形成するステップを更に備えてよい。当該ステップでは、半導体基板10の裏面側に所定のマスクパターンを形成して、マスクパターンで覆われない領域にボロン等の不純物をドーピングしてよい。

[0057] また、S110およびS112の間に、半導体基板10の裏面側からヘリウムをドーピングするステップを更に備えてもよい。当該ステップでは、ピーク領域30内の所定の深さ位置にヘリウムをドーピングして、キャリアライフタイムを調節する。

[0058] このような方法により、半導体基板10の深い位置まで高濃度領域32を

形成することができる。また、比較的濃度が均一な高濃度領域 32 を形成することができる。プロトン等の質量の小さい不純物を高電圧で加速することで半導体基板 10 の深い位置に高濃度の不純物領域を形成することも考えられるが、この場合、高価な装置が必要となる。これに対して本例の製造方法であれば、プロトンは比較的浅い位置にドーピングすればよいので、簡易な装置で実現することができる。

[0059] 以上の例においては半導体基板 10 に電子線を照射することで、欠陥領域を形成した。ただし、欠陥領域の形成は、電子線照射以外の方法で行ってもよい。例えば、半導体基板 10 に欠陥生成物質を注入することで、欠陥領域を形成できる。結晶生成物質は、当該物質が半導体基板 10 を通過した領域に結晶欠陥を生成できる物質である。一例として結晶生成物質は、ヘリウムである。

[0060] また、以上の例では半導体基板 10 の裏面側からドーピングするヘリウムは、半導体基板 10 の裏面から最も浅いピーク位置に注入したプロトンの飛程よりもさらに浅い飛程で、半導体基板 10 の裏面から注入した。一方で、ヘリウムイオンを、半導体基板 10 の裏面から最も深いピーク位置に注入したプロトンの飛程よりもさらに深く注入してもよい。半導体基板 10 の裏面から注入されたヘリウムイオンが通過した領域には結晶欠陥が形成される。このため、半導体基板 10 の裏面から延伸する欠陥領域を形成できる。

[0061] 図 4 は、プロトンのドーピング量を変化させた場合の、不純物濃度の他の分布例を示す。本例では、ピーク領域 30 にドーピングする不純物としてプロトンを用い、欠陥領域の形成に電子線照射を用いた。また本例では、プロトンの 3 種類のドーピング量毎の不純物濃度の分布 23-1、23-2 および 23-3 を示している。

[0062] それぞれの分布例においては、プロトンを加速する加速電圧を 550 keV、プロトンドーピング後のアニール温度を 370℃、アニール時間を 5 時間、電子線照射量を 800 kGy、電子線照射後のアニール温度を 360℃、アニール時間を 1 時間とした。また、プロトンのドーピング量は、分布 23-1 が

1. $0 \times 10^{15} / \text{cm}^2$ 、分布 23-2 が 1. $0 \times 10^{14} / \text{cm}^2$ 、分布 23-3 が 1. $0 \times 10^{13} / \text{cm}^2$ である。

[0063] 図 4 に示すように、プロトンのドーピング量を多くするほど、ピーク領域 30 よりも表面側の高濃度領域 32 が長くなることがわかる。なお、プロトンのドーピング量が 1. $0 \times 10^{13} / \text{cm}^2$ と比較的に少ない分布 23-3 では、高濃度領域 32 がほとんど現れない。このため、プロトンのドーピング量は、1. $0 \times 10^{14} / \text{cm}^2$ 以上とすることが好ましい。

[0064] また、分布 23-1 および分布 23-2 から理解されるように、プロトンのドーピング量を 1. $0 \times 10^{14} / \text{cm}^2$ から 1. $0 \times 10^{15} / \text{cm}^2$ に変化させた場合に、高濃度領域 32 が効率よく広がっている。このため、プロトンのドーピング量は、1. $0 \times 10^{14} / \text{cm}^2$ より大きくてよく、1. $0 \times 10^{15} / \text{cm}^2$ 以上であってもよい。例えば、プロトンのドーピング量を 1. $0 \times 10^{15} / \text{cm}^2$ 以上の場合に、プロトンの飛程 R_p よりも $30 \mu\text{m}$ 深い領域まで、移動度が回復する。なお、いずれの分布 23-1、23-2、23-3 においても、低濃度領域 34 の不純物濃度が半導体基板 10 の基板濃度よりも低くなっている。また、分布 23-1 における高濃度領域 32 は、基板濃度と等しくなっている。

[0065] 図 5 は、電子線照射を行う場合と、行わない場合の不純物濃度分布の比較例を示す。本例では、一様な不純物濃度を有する半導体基板 10 に対して電子線を照射しない場合の不純物濃度の分布 24-1 および半導体基板 10 に対して電子線を照射する場合の不純物濃度の分布 24-2 を示している。

[0066] 図 5 に示す通り、半導体基板 10 に電子線を照射することにより、半導体基板 10 の不純物濃度が低下する。即ち、図 5 は、電子線の照射により、半導体基板 10 の移動度が低下することを示している。本明細書の濃度分布は、周知の広がり抵抗測定法 (Spread resistance Profiling、以下 SR 法) により測定したものである。

[0067] SR 法では、広がり抵抗から比抵抗 (抵抗率) を求め、さらに電荷素量、キャリアの移動度を用いてキャリア濃度を算出する。このときのキャリア移

動度は、結晶状態の値を用いているため、電子線照射やヘリウム照射によって結晶欠陥（格子欠陥）が導入されると、キャリアの散乱等により移動度が減少する。よって算出したキャリア濃度は、実際のキャリア濃度（ドナー濃度）よりも移動度の減少分だけ低い濃度になる。なお、電子線の照射量が多いほど、移動度の低下に伴い、キャリア濃度も低下する。数100kGyの電子線照射量で半導体基板10の移動度が大きく低下する。特に、800kGyや1000kGy以上となると半導体基板10の移動度の低下が顕著である。このように、電子線照射量を変化させることにより、移動度を調整できる。

[0068] 図6は、電子線照射の条件を変化させた場合の、不純物濃度の分布例を示す。本例では、3種類の電子線照射の条件毎の不純物濃度の分布25-1、25-2および25-3を示している。

[0069] それぞれの分布例においては、プロトンを加速する加速電圧を550keV、プロトンのドーピング量を $1.0 \times 10^{14} / \text{cm}^2$ 、プロトンドーピング後のアニール温度を370℃、アニール時間を5時間、電子線照射後のアニール温度を360℃、アニール時間を1時間とした。また、電子線照射量は、分布25-1が800kGy、分布25-2が400kGy、分布25-3が160kGyである。

[0070] 図6に示すように、電子線照射量を多くするほど、不純物濃度の低下が大きくなる。言い換えると、電子線照射量を多くするほど、移動度（即ち、キャリア濃度）の低下が大きい。この電子線照射による移動度の低下は、図4に示す通り、プロトンのドーピングにより回復することができる。

[0071] [実施例2]

図7は、実施例2に係る半導体装置100の製造方法の一例を示す。本例では、プロトンアニールをライフタイムアニールで兼ねている。S208のプロトン注入工程までは、実施例1に係るS100～S108と同一の工程であってよい。

[0072] 本例では、S208のプロトン注入工程の次に、半導体基板10に電子線

を照射する（S 2 1 0）。電子線は半導体基板 1 0 の裏面側から照射してよく、表面側から照射してもよい。電子線を照射した後、所定の条件で半導体基板 1 0 をアニールする（S 2 1 2）。これにより、高濃度領域 3 2 が形成される。本例のアニールは、プロトンアニールとライフタイムアニールとをまとめて行うので、実施例 1 に係る製造工程よりもアニール工程が 1 回少なく済む。

[0073] 図 8 は、実施例 2 においてアニールの条件を変化させた場合の、不純物濃度の分布例を示す。本例では、プロトンを加速する加速電圧を 5 5 0 k e V、電子線照射量を 4 0 0 k G y とした。また、プロトンおよび電子線照射後のアニールの条件は、分布 2 6 - 1 のアニール温度を 3 7 0 °C、アニール時間を 5 時間とし、分布 2 6 - 2 のアニール温度を 3 6 0 °C、アニール時間を 1 時間とした。

[0074] 図 8 に示すように、アニールの条件を高温で長時間にすることにより、不純物濃度が増加する。つまり、アニールの条件を高温で長時間にすることにより、移動度（即ち、キャリア濃度）が増加する。例えば、分布 2 6 - 1 では、分布 2 6 - 2 の場合よりも半導体基板 1 0 の深い位置まで、高濃度領域 3 2 を形成できる。また、アニールの条件を高温で長時間にすることにより、比較的濃度が均一な高濃度領域 3 2 を形成できる。

[0075] [実施例 3]

図 9 は、実施例 3 に係る半導体装置 1 0 0 の製造方法の一例を示す。本例では、ライフタイムアニールをプロトンアニールで兼ねる。S 3 0 6 のレーザーアニール工程までは、実施例 1 に係る S 1 0 0 ~ S 1 0 6 と同一の工程であってよい。

[0076] 本例では、S 3 0 6 のレーザーアニール工程の次に、半導体基板 1 0 に深さ方向に延伸する欠陥領域を形成する（S 3 0 8）。S 3 0 8 においては、上述したように電子線を照射することで欠陥領域を形成してよい。この場合、半導体基板 1 0 の深さ方向における全体に欠陥領域が延伸して形成される。電子線は半導体基板 1 0 の裏面側から照射してよく、表面側から照射して

もよい。次に、半導体基板 10 の裏面側からプロトンを、裏面側領域よりも深い位置にドーピングする (S310)。S310 においては、1 以上の深さ位置に、プロトンをドーピングしてよい。プロトンをドーピングした後、所定の条件で半導体基板 10 をアニールする (S312)。これにより、高濃度領域 32 が形成される。本例のアニールは、プロトンアニールとライフタイムアニールとを兼ねるので、実施例 1 に係る製造工程よりもアニール工程が 1 回少なく済む。

[0077] 本例により形成した半導体装置 100 の不純物濃度の分布は、実施例 2 の不純物濃度の分布と同様、アニールの条件を変化させることにより、不純物濃度の分布を調整できる。例えば、アニールの条件を高温で長時間にすることにより、特に高濃度領域 32 の表面側の不純物濃度が増加する。また、アニールの条件を高温で長時間にすることにより移動度（即ち、キャリア濃度）が回復する。これにより、高濃度領域 32 を半導体基板 10 の深い位置まで形成できる。

[0078] [実施例 4]

図 10 は、実施例 4 に係る半導体装置 100 の製造方法の一例を示す。本例では、プロトン注入工程がライフタイムアニール工程の後に行われる点で、実施例 1 に係る製造工程と異なる。S406 のレーザーアニール工程までは、実施例 1 に係る S100～S106 と同一の工程であってよい。

[0079] 本例では、S406 のレーザーアニール工程の次に、半導体基板 10 に電子線を照射する (S408)。電子線は半導体基板 10 の裏面側から照射してよく、表面側から照射してもよい。電子線を照射した後、所定の条件で半導体基板 10 をアニールする (S410)。

[0080] 次に、半導体基板 10 の裏面側からプロトンを、裏面側領域よりも深い位置にドーピングする (S412)。S412 においては、1 以上の深さ位置に、プロトンをドーピングしてよい。プロトンをドーピングした後、所定の条件で半導体基板 10 をアニールする (S414)。これにより 1 以上のピーク 40 を有するピーク領域 30 および高濃度領域 32 が形成される。その後、半導体基

板 1 0 の裏面側に裏面側電極 1 0 4 を形成する (S 4 1 6) 。

[0081] 図 1 1 は、実施例 1, 2, 4 に係る不純物濃度の分布例を示す。本例では、3つの異なる製造工程を用いて形成された半導体装置 1 0 0 の不純物濃度の分布 2 7 - 1、2 7 - 2 および 2 7 - 3 を示す。分布 2 7 - 1 は実施例 4 に、分布 2 7 - 2 は実施例 2 に、分布 2 7 - 1 は実施例 1 の製造方法にそれぞれ対応する。

[0082] 分布 2 7 - 1 は、電子線照射量を 4 0 0 k G y、電子線照射後のアニール温度を 3 6 0 ° C、アニール時間を 1 時間、プロトンを加速する加速電圧を 5 5 0 k e V、プロトンのドーピング量を $1.0 \times 10^{14} / \text{cm}^2$ 、プロトンドーピング後のアニール温度を 3 6 0 ° C、アニール時間を 1 時間としている。

[0083] 分布 2 7 - 2 は、プロトンを加速する加速電圧を 5 5 0 k e V、プロトンのドーピング量を $1.0 \times 10^{14} / \text{cm}^2$ 、電子線照射量を 4 0 0 k G y とし、プロトンおよび電子線照射後のアニール温度を 3 7 0 ° C、アニール時間を 5 時間としている。

[0084] 分布 2 7 - 3 は、プロトンを加速する加速電圧を 5 5 0 k e V、プロトンのドーピング量を $1.0 \times 10^{14} / \text{cm}^2$ 、プロトンドーピング後のアニール温度を 3 6 0 ° C、アニール時間を 1 時間、電子線照射量を 4 0 0 k G y、電子線照射後のアニール温度を 3 6 0 ° C、アニール時間を 1 時間としている。

[0085] 分布 2 7 - 1 は、分布 2 7 - 2 よりもアニールが低温、且つ、短時間であるものの、電子線照射後のアニールと、プロトン注入後のアニールを分けて行うことにより、分布 2 7 - 2 よりも大きく移動度が回復した。また、分布 2 7 - 1 は、分布 2 7 - 3 よりも電子線照射後のアニールの回数が多いので、分布 2 7 - 3 よりも大きく移動度が回復した。このように、電子線照射後のアニールの回数およびそのアニールの強度を変化させることにより、移動度の回復を調整できる。いずれの不純物濃度分布を用いるかは、要求される半導体装置 1 0 0 の特性等に応じて適宜選択すればよい。

[0086] [実施例 5]

図 1 2 は、実施例 5 に係る半導体装置 1 0 0 の製造方法の一例を示す。本

例では、裏面側領域形成前に、電子線の照射を行う。S 5 0 2 の裏面研削工程までは、実施例 1 に係る S 1 0 0 ~ S 1 0 2 と同一の工程であってよい。

[0087] 本例では、S 5 0 2 の裏面研削工程の次に、半導体基板 1 0 に電子線を照射する (S 5 0 4)。電子線は半導体基板 1 0 の裏面側から照射してよく、表面側から照射してもよい。電子線を照射した後、所定の条件で半導体基板 1 0 をアニールする (S 5 0 6)。

[0088] 次に、半導体基板 1 0 の裏面側からリン等の不純物を浅くドーピングして、裏面側領域を形成する (S 5 0 8)。不純物をドーピングした後、レーザー等により裏面側領域をアニールする (S 5 1 0)。

[0089] 次に、半導体基板 1 0 の裏面側からプロトンを、裏面側領域よりも深い位置にドーピングする (S 5 1 2)。S 5 1 2 においては、1 以上の深さ位置に、プロトンをドーピングしてよい。プロトンをドーピングした後、所定の条件で半導体基板 1 0 をアニールする (S 5 1 4)。これにより 1 以上のピーク 4 0 を有するピーク領域 3 0 および高濃度領域 3 2 が形成される。その後、半導体基板 1 0 の裏面側に裏面側電極 1 0 4 を形成する (S 5 1 8)。

[0090] このように、本例の製造工程では、電子線照射後に 3 回のアニール工程を有するので、既存のアニール工程を用いて電子線照射後のアニールの強度を高めることができる。そのため、半導体装置 1 0 0 の移動度が大きく回復する。

[0091] [実施例 6]

図 1 3 は、実施例 6 に係る半導体装置 1 0 0 の製造方法の一例を示す。本例では、プロトン注入工程がレーザーアニール工程の前に実施される点で実施例 5 に係る製造方法と異なる。S 6 0 8 の裏面側領域形成工程までは、実施例 5 に係る S 5 0 0 ~ S 5 0 8 と同一の工程であってよい。

[0092] 本例では、S 6 0 8 の裏面側領域形成工程の次に、半導体基板 1 0 の裏面側からプロトンを、裏面側領域よりも深い位置にドーピングする (S 6 1 0)。S 6 1 0 においては、1 以上の深さ位置に、プロトンをドーピングしてよい。プロトンをドーピングした後、所定のレーザーにより裏面側領域をレーザーアニール

ルする（S 6 1 2）。次に、所定の条件で半導体基板 1 0 をアニールする（S 6 1 4）。これにより 1 以上のピーク 4 0 を有するピーク領域 3 0 および高濃度領域 3 2 が形成される。その後、半導体基板 1 0 の裏面側に裏面側電極 1 0 4 を形成する（S 6 1 8）。

[0093] このように、本例の製造工程では、プロトン注入後に、既存の工程で用いられる 2 回のアニール工程を有する。これにより、アニール工程を追加することなく、実施例 5 の場合よりも、プロトン注入後のアニール強度を高めることができる。これにより、高濃度領域 3 2 をより深くまで形成することが可能となる。

[0094] ヘリウムの注入位置は、高濃度領域 3 2 を形成すべき領域の端部位置と一致してよい。また、ヘリウムの注入位置は、高濃度領域 3 2 を形成すべき領域の端部よりも半導体基板 1 0 の表面側であってよい。この場合、アニール後の半導体基板において、欠陥領域 4 6 が、高濃度領域 3 2 よりも半導体基板 1 0 の表面側まで延伸する。これにより、高濃度領域 3 2 よりも半導体基板 1 0 の表面側の領域において結晶欠陥が多く残存する。これにより、当該領域におけるキャリアライフタイムを調節できる。

[0095] 欠陥領域 4 6 は、半導体基板 1 0 の深さ方向における中心よりも、半導体基板 1 0 の表面側まで延伸してよい。また、欠陥領域 4 6 は、半導体基板 1 0 の裏面からみて最も深い位置の不純物濃度のピーク 4 0 よりも $40\ \mu\text{m}$ 以上、半導体基板 1 0 の表面側に延伸してよい。

[0096] 図 1 4 は、半導体基板 1 0 の表面側からヘリウムを注入して欠陥領域 4 6 を形成する例を示す図である。この場合、半導体基板 1 0 には、半導体基板 1 0 の表面から深さ方向に延伸して形成された欠陥領域 4 6 が形成される。図 1 4 においては、ヘリウムの注入位置が異なる 3 種類の欠陥領域 4 6 を示している。

[0097] 欠陥領域 4 6 - 1 は、半導体基板 1 0 の裏面側における先端が、高濃度領域 3 2 内に形成されている。つまり、欠陥領域 4 6 - 1 の一部は、高濃度領域 3 2 の一部と、深さ方向において同一の位置に形成される。欠陥領域 4 6

－ 1 が形成された領域は、プロトンの拡散が促進される。このため、欠陥領域 46－1 を、高濃度領域 32 が形成されるべき領域の少なくとも一部に形成することで、高濃度領域 32 をより広い範囲に形成することができる。

[0098] なお図 14 においては、プロトンを拡散させる前の結晶欠陥の密度を点線で示している。プロトンを拡散させる前においては、ヘリウムの注入位置近傍で結晶欠陥密度のピークが存在する。しかし、熱処理によってプロトンを拡散させることで、結晶欠陥が終端される。これにより、結晶欠陥密度のピークをなだらかにして、漏れ電流を抑制することができる。

[0099] また、欠陥領域 46－3 のように、ピーク領域 30 において最も半導体基板 10 の表面側に設けられたピーク 40 よりも、欠陥領域 46 の先端が半導体基板 10 の裏面側まで延伸していてもよい。これにより、高濃度領域 32 を形成すべき領域の全体に渡って欠陥領域 46 を形成できるので、高濃度領域 32 を容易に形成できる。

[0100] また、欠陥領域 46－2 のように、欠陥領域 46 の先端が、ピーク領域 30 におけるいずれかのピーク 40 と深さ方向において同一の位置に形成されていてもよい。この場合、ヘリウムの注入位置近傍における結晶欠陥密度のピークを、よりなだらかにすることができる。このため、漏れ電流を更に抑制することができる。

[0101] 図 15 A は、本発明の第 2 の実施形態に係る半導体装置 200 の概要を示す断面図である。半導体装置 200 における半導体基板 10 は、IGBT 等のトランジスタが形成されるトランジスタ領域 50 と、FWD 等のダイオードが形成されるダイオード領域 70 とを有する。本例においてトランジスタ領域 50 およびダイオード領域 70 は隣接している。本実施形態のように、トランジスタ領域 50 は IGBT であってよい。

[0102] トランジスタ領域 50 には、半導体基板 10 の表面側から、N+ 型のエミッタ領域 58、ベース領域として機能する P 型の表面側領域 12、N- 型のドリフト領域 14、FS 領域 20、および、P+ 型のコレクタ領域 52 が設けられる。また、表面側領域 12 とドリフト領域 14 との間には、IE 効果

を向上させるためのN+型の蓄積領域62が設けられてもよい。また、図示しないが、N+型の蓄積領域62はトランジスタ領域50のみに形成されてよい。

[0103] トランジスタ領域50には、半導体基板10の表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が形成されている。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表面側電極102と電氣的に接続されるエミッタ電極Eが形成されている。

[0104] ゲート電極Gおよびエミッタ電極Eと、表面側電極102との間には絶縁膜68が形成される。ただし、絶縁膜68の一部の領域には、エミッタ電極Eと表面側電極102とを接続する貫通孔が形成される。

[0105] ダイオード領域70には、半導体基板10の表面側から、ベース領域として機能するP型の表面側領域12、N-型のドリフト領域14、FS領域20、および、N+型のカソード領域64が設けられる。ダイオード領域70には、蓄積領域62が形成されてもよいし、形成されなくてもよい。トランジスタ領域50およびダイオード領域70のFS領域20には、複数のピーク40を有するピーク領域が形成される。ダイオード領域70には、半導体基板10の表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。また、半導体基板10の裏面には、コレクタ領域52およびカソード領域64と接触する裏面側電極104が形成されている。

[0106] 本例の半導体装置200は、欠陥領域を形成するために、半導体基板10全体に電子線を照射している。これにより、トランジスタ領域50およびダイオード領域70に高濃度領域32が形成される。

[0107] 図15Bは、半導体装置200の他の例を示す図である。図15Bにおいては、半導体基板10のみを示している。本例の半導体装置200は、欠陥領域を形成するために、半導体基板10の裏面側からヘリウムイオンを注入している。他の構造は、図15Aに示した半導体装置200と同様である。

なお、本例ではトランジスタ領域 50 およびダイオード領域 70 の全体にヘリウムイオンを注入している。ヘリウムイオンの注入位置 72 は、高濃度領域 32 を形成すべき領域よりも、半導体基板 10 の表面側である。

[0108] ヘリウムイオンを半導体基板 10 の裏面側から注入することで、半導体基板 10 の裏面から注入位置 72 までの間に、欠陥領域 46 が形成される。欠陥領域 46 を形成し、且つ、ピーク領域 30 にプロトンを注入した後に、半導体基板 10 をアニールする。これにより、トランジスタ領域 50 およびダイオード領域 70 に高濃度領域 32 が形成される。

[0109] 図 15C は、半導体装置 200 の他の例を示す図である。図 15C においては、半導体基板 10 のみを示している。本例の半導体装置 200 は、欠陥領域を形成するために、半導体基板 10 の裏面側からヘリウムイオンを注入している。他の構造は、図 15A に示した半導体装置 200 と同様である。なお、本例ではダイオード領域 70 にヘリウムイオンを注入し、トランジスタ領域 50 にはヘリウムイオンを注入していない。一例として、ヘリウムイオンを注入する段階において、トランジスタ領域 50 をマスクするメタルマスク 74 を用いる。ヘリウムイオンの注入位置 72 は、高濃度領域 32 を形成すべき領域よりも、半導体基板 10 の表面側である。

[0110] ヘリウムイオンを半導体基板 10 の裏面側から注入することで、半導体基板 10 の裏面から注入位置 72 までの間に、欠陥領域 46 が形成される。欠陥領域 46 を形成し、且つ、ピーク領域 30 にプロトンを注入した後に、半導体基板 10 をアニールする。これにより、ダイオード領域 70 に高濃度領域 32 が形成され、トランジスタ領域 50 には高濃度領域 32 が形成されない。

[0111] 高濃度領域 32 とドリフト領域 14 との境界のうち、水平面方向（紙面の横方向）に隣り合う境界の位置は、コレクタ領域 52 とカソード領域 64 との境界の位置よりも、水平面上（平面視）でトランジスタ領域 50 側にあってもよいし、ダイオード領域 70 側にあってもよい。

[0112] また、ヘリウムイオンに限らず、電子線を照射してもよい。この場合、メ

タルマスクの厚さは、電子線を遮蔽できる程度の厚さとするればよい。

[0113] 図15Dは、半導体装置200の他の例を示す図である。図15Dにおいては、半導体基板10のみを示している。本例の半導体装置200は、欠陥領域を形成するために、半導体基板10の表面側からヘリウムイオンを注入している。他の構造は、図15Aに示した半導体装置200と同様である。なお、本例ではトランジスタ領域50およびダイオード領域70の全体にヘリウムイオンを注入している。ヘリウムイオンの注入位置72は、例えばピーク領域30のいずれかの位置である。

[0114] ヘリウムイオンを半導体基板10の表面側から注入することで、半導体基板10の表面から注入位置72までの間に、欠陥領域46が形成される。欠陥領域46を形成し、且つ、ピーク領域30にプロトンを注入した後に、半導体基板10をアニールする。これにより、トランジスタ領域50およびダイオード領域70に高濃度領域32が形成される。

[0115] 図15Eは、半導体装置200の他の例を示す図である。図15Eにおいては、半導体基板10のみを示している。本例の半導体装置200は、欠陥領域を形成するために、半導体基板10の表面側からヘリウムイオンを注入している。他の構造は、図15Aに示した半導体装置200と同様である。なお、本例ではダイオード領域70にヘリウムイオンを注入し、トランジスタ領域50にはヘリウムイオンを注入していない。一例として、ヘリウムイオンを注入する段階において、トランジスタ領域50をマスクするメタルマスク74を用いる。ヘリウムイオンの注入位置72は、例えばピーク領域30のいずれかの位置である。

[0116] ヘリウムイオンを半導体基板10の表面側から注入することで、半導体基板10の表面から注入位置72までの間に、欠陥領域46が形成される。欠陥領域46を形成し、且つ、ピーク領域30にプロトンを注入した後に、半導体基板10をアニールする。これにより、ダイオード領域70に高濃度領域32が形成され、トランジスタ領域50には高濃度領域32が形成されない。

[0117] 図15Fは、半導体装置200の他の例を示す図である。図15Fにおいては、半導体基板10のみを示している。本例の半導体装置200は、欠陥領域を形成するために、半導体基板10の裏面側からヘリウムイオンを注入している。他の構造は、図15Aに示した半導体装置200と同様である。なお、本例ではダイオード領域70と、ダイオード領域70に隣接するトランジスタ領域50の一部領域にヘリウムイオンを注入し、ダイオード領域70から離れたトランジスタ領域50の一部領域にはヘリウムイオンを注入していない。一例として、ヘリウムイオンを注入する段階において、トランジスタ領域50をマスクするメタルマスク74を用いる。ヘリウムイオンの注入位置72は、高濃度領域32を形成すべき領域よりも、半導体基板10の表面側である。

[0118] ヘリウムイオンを半導体基板10の裏面側から注入することで、半導体基板10の裏面から注入位置72までの間に、欠陥領域46が形成される。欠陥領域46を形成し、且つ、ピーク領域30にプロトンを注入した後に、半導体基板10をアニールする。これにより、ダイオード領域70と、トランジスタ領域50の一部領域に高濃度領域32が形成され、トランジスタ領域50の残りの領域には高濃度領域32が形成されない。なお、図15Eに示した半導体装置200においても、トランジスタ領域50の一部領域に高濃度領域32を形成してよい。

[0119] また、図1Aから図15Fにおいて説明した半導体基板10は、MCZ (Magnetic Field Applied Czochralski method) 基板であってよい。MCZ基板は、FZ基板よりも酸素濃度が高い。酸素濃度が高いと、電子線を照射した半導体基板10においてVO欠陥が相対的に多くなり、VV欠陥が相対的に少なくなる。VO欠陥は水素で終端されやすいので、プロトンを容易に拡散させることができ、深い位置まで高濃度領域32を形成することができる。

[0120] また、プロトンを拡散させると、VO欠陥はプロトンにより終端されて、VOH欠陥となる。このため、プロトンを拡散させたMCZ基板においては

、 V_V 欠陥に比べて V_OH 欠陥が多くなる。 V_OH 欠陥は、 V_V 欠陥に比べて準位が浅く、漏れ電流に寄与しにくい。このため、MCZ基板においてプロトンを拡散させると、漏れ電流を低減することができる。

[0121] 図16は、MCZ基板に電子線を照射した場合と、FZ基板に電子線を照射した場合の不純物濃度分布の一例を示す図である。本例では、プロトンを4段の深さに注入した。MCZ基板を用いた例と、FZ基板を用いた例では、基板の比抵抗は同一である。また、プロトンの注入条件、電子線の照射条件等、基板材料以外の条件は同一とした。

[0122] 図16に示すように、MCZ基板を用いることで、プロトンのピーク40よりも表面側における不純物濃度が高くなる。このため、高濃度領域を容易に形成できる。また、MCZ基板を用いた半導体装置100は、FZ基板を用いた装置と比較して、漏れ電流が低減していた。また、MCZ基板に電子線を照射し、プロトンを注入しない例と比較しても、MCZ基板を用いた半導体装置100は漏れ電流が低減していた。

[0123] なお、半導体基板10は、平均酸素濃度が、 $1.0 \times 10^{16} / \text{cm}^3$ 以上、 $1.0 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ 以下の基板であってもよい。これによっても、MCZ基板と同様の効果を奏する。半導体基板10の平均酸素濃度は、 $3.0 \times 10^{16} / \text{cm}^3$ 以上、 $5.0 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ 以下であってもよい。

[0124] また、半導体基板10は、平均炭素濃度が $1.0 \times 10^{14} / \text{cm}^3$ 以上、 $3.0 \times 10^{15} / \text{cm}^3$ 以下の基板であってもよい。また、平均酸素濃度および平均炭素濃度の双方が上述した範囲内の基板であってもよい。

[0125] 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。例えば、点欠陥の導入では電子線照射を例としたが、ヘリウムを照射して導入してもよい。この場合、ヘリウムは、水素の飛程よりも深く侵入するような加速エネルギーで照射すればよい。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。

。

[0126] 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

[0127] 10・・・半導体基板、12・・・表面側領域、14・・・ドリフト領域、15・・・ゲート部、20・・・FS領域、21・・・カソード領域、23、24、25、26、27・・・分布、30・・・ピーク領域、31・・・コレクタ領域、32・・・高濃度領域、34・・・低濃度領域、40・・・ピーク、46・・・欠陥領域、50・・・トランジスタ領域、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、62・・・蓄積領域、64・・・カソード領域、68・・・絶縁膜、70・・・ダイオード領域、72・・・注入位置、74・・・マスク、100・・・半導体装置、102・・・表面側電極、104・・・裏面側電極、200・・・半導体装置

請求の範囲

- [請求項1] 不純物がドーピングされた半導体基板と、
前記半導体基板の表面側に設けられた表面側電極と、
前記半導体基板の裏面側に設けられた裏面側電極と
を備え、
前記半導体基板は、
前記半導体基板の裏面側に配置され、不純物濃度が1以上のピーク
を有するピーク領域と、
前記ピーク領域よりも表面側に配置され、不純物濃度の分布が前記
1以上のピークよりもなだらかな高濃度領域と、
前記高濃度領域よりも表面側に配置され、前記高濃度領域の不純物
濃度および前記半導体基板の基板濃度よりも不純物濃度が低い低濃度
領域と
を有する半導体装置。
- [請求項2] 前記高濃度領域の不純物濃度は、前記半導体基板の基板濃度以上で
ある
請求項1に記載の半導体装置。
- [請求項3] 前記高濃度領域の不純物濃度は、前記半導体基板の基板濃度と等し
い
請求項1に記載の半導体装置。
- [請求項4] 前記半導体基板は、第1領域と、前記第1領域よりもキャリアライ
フタイムの短い第2領域と、前記第1領域と前記第2領域との間の遷
移領域とを有し、
前記遷移領域は、前記半導体基板のP型半導体層とN型半導体層と
の境界を含む
請求項1に記載の半導体装置。
- [請求項5] 前記第1領域のキャリアライフタイムが $10\mu\text{s}$ 以上であり、前記
第2領域のキャリアライフタイムが $0.1\mu\text{s}$ 以下である

請求項4に記載の半導体装置。

[請求項6] 前記遷移領域の深さ方向における長さが $5\ \mu\text{m}$ 以上である

請求項4に記載の半導体装置。

[請求項7] 前記遷移領域の深さ方向における長さが、最裏面の前記ピークの半値幅より長い

請求項4に記載の半導体装置。

[請求項8] 前記遷移領域の深さ方向における長さが、前記半導体基板のP型半導体層の深さ方向における長さより長い

請求項4に記載の半導体装置。

[請求項9] 前記半導体基板がMCZ基板である

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] 前記半導体基板における平均酸素濃度が $1.0 \times 10^{16} / \text{cm}^3$ 以上、 $1.0 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ 以下である

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11] 前記半導体基板は、前記半導体基板の表面から深さ方向に延伸して形成された欠陥領域を更に備える

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12] 前記欠陥領域の一部と、前記高濃度領域の一部とが深さ方向において同一の位置に形成されている

請求項11に記載の半導体装置。

[請求項13] 前記欠陥領域の先端は、前記ピーク領域において最も前記半導体基板の表面側に設けられた前記ピークよりも、前記半導体基板の裏面側まで延伸している

請求項12に記載の半導体装置。

[請求項14] 前記欠陥領域の先端が、前記ピーク領域におけるいずれかの前記ピークと深さ方向において同一の位置に形成されている

請求項12に記載の半導体装置。

[請求項15] 前記半導体基板は、前記半導体基板の裏面から深さ方向に延伸して

形成された欠陥領域を更に備える

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16] 前記欠陥領域は、前記高濃度領域よりも前記半導体基板の表面側まで延伸している

請求項 1 5 に記載の半導体装置。

[請求項17] 前記半導体基板は、トランジスタが形成されるトランジスタ領域と、ダイオードが形成されるダイオード領域とを有し、
前記ダイオード領域に、前記高濃度領域が形成されている
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18] 前記トランジスタ領域にも、前記高濃度領域が形成されている
請求項 1 7 に記載の半導体装置。

[請求項19] 前記トランジスタ領域には、前記高濃度領域が形成されていない
請求項 1 7 に記載の半導体装置。

[請求項20] 半導体装置の製造方法であって、
半導体基板の裏面側からプロトンをドーピングする段階と、
前記プロトンをドーピングする段階より後に、前記半導体基板をアニールする段階と、
前記アニールする段階より後に、前記半導体基板の深さ方向に延伸する欠陥領域を形成する段階と、
前記欠陥領域を形成する段階より後に、前記半導体基板をアニールする段階と
を備える半導体装置の製造方法。

[請求項21] 前記欠陥領域を形成する段階において、前記半導体基板に、20 k Gy 以上、1500 k Gy 以下の電子線を照射する
請求項 20 に記載の半導体装置の製造方法。

[請求項22] 前記欠陥領域を形成する段階において、前記半導体基板の表面または裏面から、前記半導体基板の予め定められた深さに欠陥生成物質を注入することで、前記半導体基板の表面または裏面から前記欠陥生成

物質の注入位置まで延伸する前記欠陥領域を形成する

請求項 20 に記載の半導体装置の製造方法。

[請求項23] 前記半導体基板は、トランジスタが形成されるトランジスタ領域と、ダイオードが形成されるダイオード領域とを有し、
前記欠陥領域を形成する段階において、前記トランジスタ領域の少なくとも一部をマスクして前記欠陥生成物質を注入する
請求項 22 に記載の半導体装置の製造方法。

[請求項24] 半導体装置の製造方法であって、
半導体基板の裏面側からプロトンをドープする段階と、
前記半導体基板の深さ方向に延伸する欠陥領域を形成する段階と、
前記欠陥領域を形成する段階および前記プロトン进行ドープする段階の後に、ライフタイムアニールとプロトンアニールとをまとめて行う段階と
を備える半導体装置の製造方法。

補正された請求の範囲
[2017年1月16日(16.01.2017) 国際事務局受理]

- [請求項1] 不純物がドーピングされた半導体基板と、
前記半導体基板の表面側に設けられた表面側電極と、
前記半導体基板の裏面側に設けられた裏面側電極と
を備え、
前記半導体基板は、
前記半導体基板の裏面側に配置され、不純物濃度が1以上のピーク
を有するピーク領域と、
前記ピーク領域よりも表面側に配置され、不純物濃度の分布が前記
1以上のピークよりもなだらかな高濃度領域と、
前記高濃度領域よりも表面側に配置され、前記高濃度領域の不純物
濃度および前記半導体基板の基板濃度よりも不純物濃度が低い低濃度
領域と
を有する半導体装置。
- [請求項2] 前記高濃度領域の不純物濃度は、前記半導体基板の基板濃度以上で
ある
請求項1に記載の半導体装置。
- [請求項3] 前記高濃度領域の不純物濃度は、前記半導体基板の基板濃度と等し
い
請求項1に記載の半導体装置。
- [請求項4] 前記半導体基板は、第1領域と、前記第1領域よりもキャリアライ
フタイムの短い第2領域と、前記第1領域と前記第2領域との間の遷
移領域とを有し、
前記遷移領域は、前記半導体基板のP型半導体層とN型半導体層と
の境界を含む
請求項1に記載の半導体装置。
- [請求項5] 前記第1領域のキャリアライフタイムが $10\mu\text{s}$ 以上であり、前記

第2領域のキャリアライフタイムが $0.1\mu\text{s}$ 以下である

請求項4に記載の半導体装置。

[請求項6] 前記遷移領域の深さ方向における長さが $5\mu\text{m}$ 以上である

請求項4に記載の半導体装置。

[請求項7] 前記遷移領域の深さ方向における長さが、最裏面の前記ピークの半値幅より長い

請求項4に記載の半導体装置。

[請求項8] 前記遷移領域の深さ方向における長さが、前記半導体基板のP型半導体層の深さ方向における長さより長い

請求項4に記載の半導体装置。

[請求項9] 前記半導体基板がMCZ基板である

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] 前記半導体基板における平均酸素濃度が $1.0 \times 10^{16} / \text{cm}^3$ 以上、 $1.0 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ 以下である

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11] 前記半導体基板は、前記半導体基板の表面から深さ方向に延伸して形成された欠陥領域を更に備える

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12] 前記欠陥領域の一部と、前記高濃度領域の一部とが深さ方向において同一の位置に形成されている

請求項11に記載の半導体装置。

[請求項13] 前記欠陥領域の先端は、前記ピーク領域において最も前記半導体基板の表面側に設けられた前記ピークよりも、前記半導体基板の裏面側まで延伸している

請求項12に記載の半導体装置。

[請求項14] 前記欠陥領域の先端が、前記ピーク領域におけるいずれかの前記ピークと深さ方向において同一の位置に形成されている

請求項12に記載の半導体装置。

- [請求項15] 前記半導体基板は、前記半導体基板の裏面から深さ方向に延伸して形成された欠陥領域を更に備える
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16] 前記欠陥領域は、前記高濃度領域よりも前記半導体基板の表面側まで延伸している
請求項 15 に記載の半導体装置。
- [請求項17] 前記半導体基板は、トランジスタが形成されるトランジスタ領域と、ダイオードが形成されるダイオード領域とを有し、
前記ダイオード領域に、前記高濃度領域が形成されている
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18] 前記トランジスタ領域にも、前記高濃度領域が形成されている
請求項 17 に記載の半導体装置。
- [請求項19] 前記トランジスタ領域には、前記高濃度領域が形成されていない
請求項 17 に記載の半導体装置。
- [請求項20] (補正後)
半導体基板を備え、前記半導体基板の裏面側に配置され、不純物濃度が 1 以上のピークを有するピーク領域と、前記ピーク領域よりも表面側に配置され、不純物濃度の分布が前記 1 以上のピークよりもなだらかな高濃度領域とを有する半導体装置の製造方法であって、
前記高濃度領域を形成するために、前記半導体基板の裏面側からプロトンをドーピングする段階と、
前記プロトンをドーピングする段階より後に、前記半導体基板をアニールする段階と、
前記アニールする段階より後に、前記半導体基板の深さ方向に延伸する欠陥領域を形成する段階と、
前記欠陥領域を形成する段階より後に、前記半導体基板をアニールして前記高濃度領域を形成する段階と
を備える半導体装置の製造方法。

- [請求項21] 前記欠陥領域を形成する段階において、前記半導体基板に、20 kGy 以上、1500 kGy 以下の電子線を照射する
請求項20に記載の半導体装置の製造方法。
- [請求項22] 前記欠陥領域を形成する段階において、前記半導体基板の表面または裏面から、前記半導体基板の予め定められた深さに欠陥生成物質を注入することで、前記半導体基板の表面または裏面から前記欠陥生成物質の注入位置まで延伸する前記欠陥領域を形成する
請求項20に記載の半導体装置の製造方法。
- [請求項23] 前記半導体基板は、トランジスタが形成されるトランジスタ領域と、ダイオードが形成されるダイオード領域とを有し、
前記欠陥領域を形成する段階において、前記トランジスタ領域の少なくとも一部をマスクして前記欠陥生成物質を注入する
請求項22に記載の半導体装置の製造方法。
- [請求項24] (補正後)
半導体基板を備え、前記半導体基板の裏面側に配置され、不純物濃度が1以上のピークを有するピーク領域と、前記ピーク領域よりも表面側に配置され、不純物濃度の分布が前記1以上のピークよりもなだらかな高濃度領域とを有する半導体装置の製造方法であって、
前記高濃度領域を形成するために、前記半導体基板の裏面側からプロトンをドーピングする段階と、
前記半導体基板の深さ方向に延伸する欠陥領域を形成する段階と、
前記欠陥領域を形成する段階および前記プロトンをドーピングする段階の後に、前記欠陥領域を形成する段階で低下したライフタイムを増加させるライフタイムアニールと、前記高濃度領域を形成するためのプロトンアニールと、をまとめて行う段階と
を備える半導体装置の製造方法。
- [請求項25] (追加)
前記欠陥生成物質がヘリウムイオンである

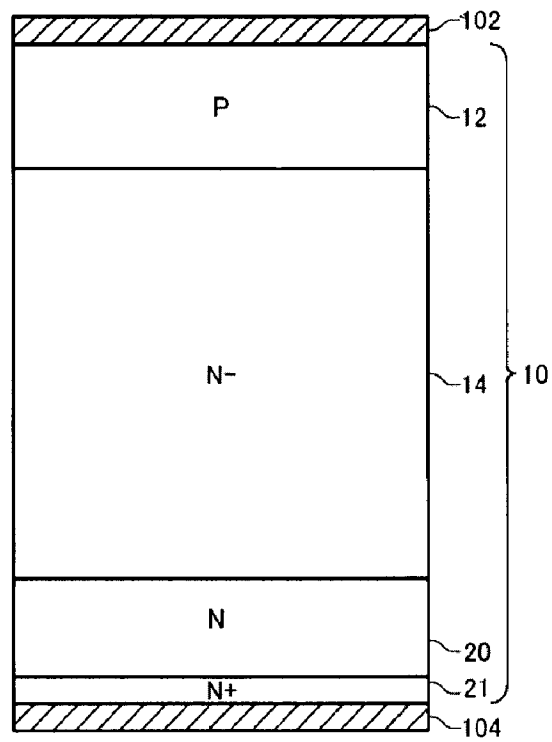
請求項 2 2 または 2 3 に記載の半導体装置の製造方法。

[請求項26] (追加)

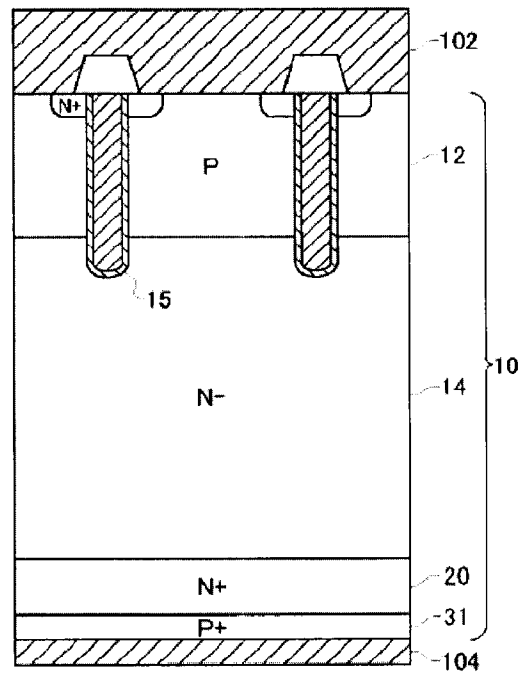
前記高濃度領域および前記ピーク領域は、空孔 - 酸素 - 水素欠陥
(V O H 欠陥) のドナーである

請求項 1 から 1 9 のいずれか一項に記載の半導体装置。

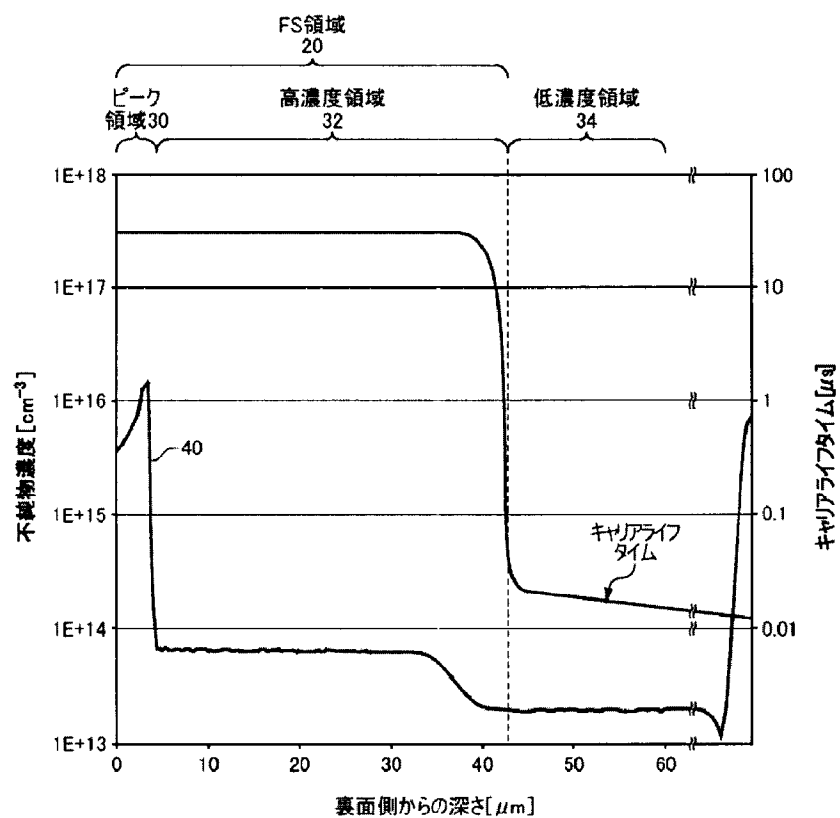
[図1A]

100

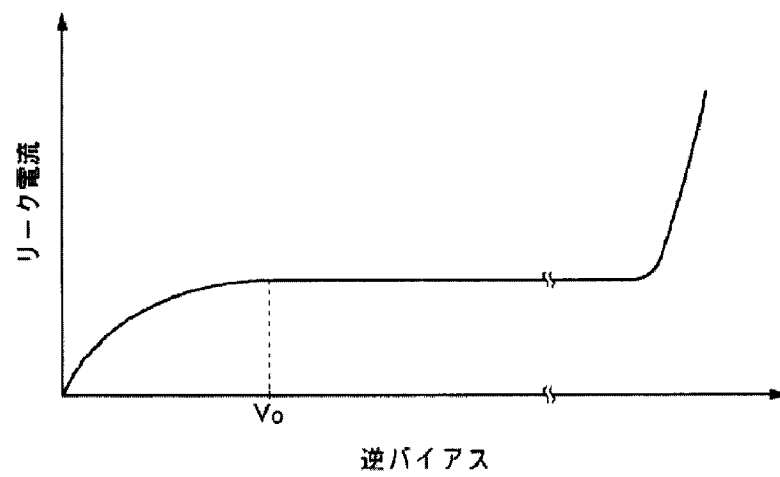
[図1B]

100

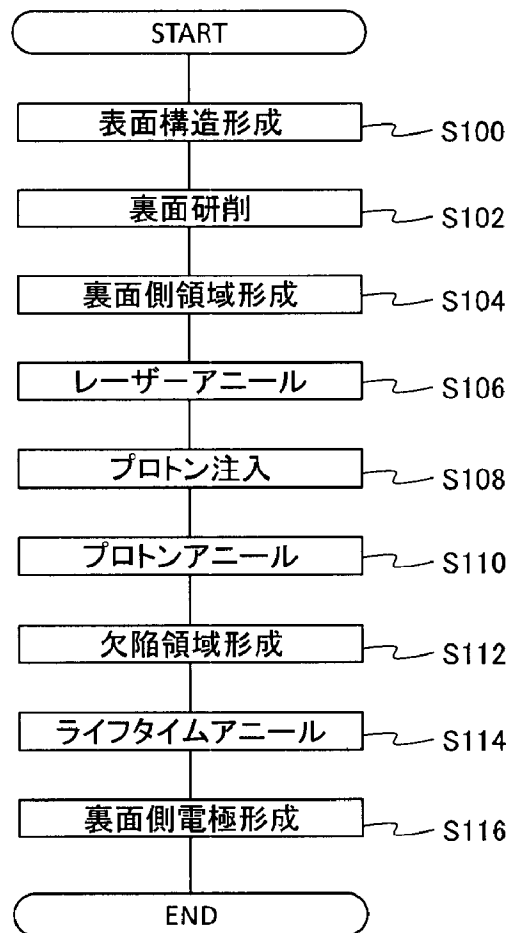
[図2A]



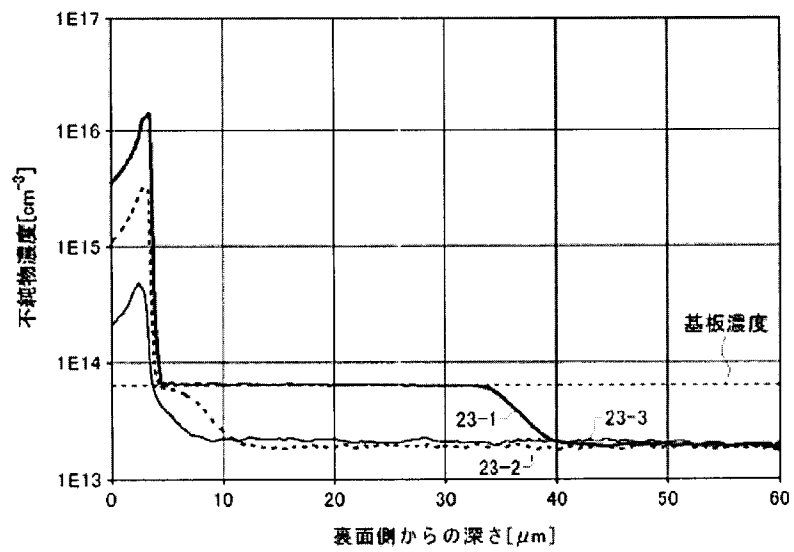
[図2B]



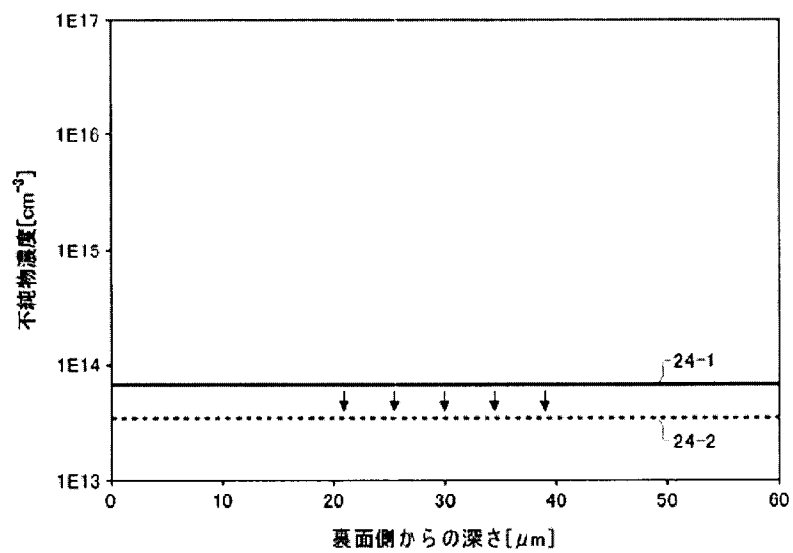
[図3]



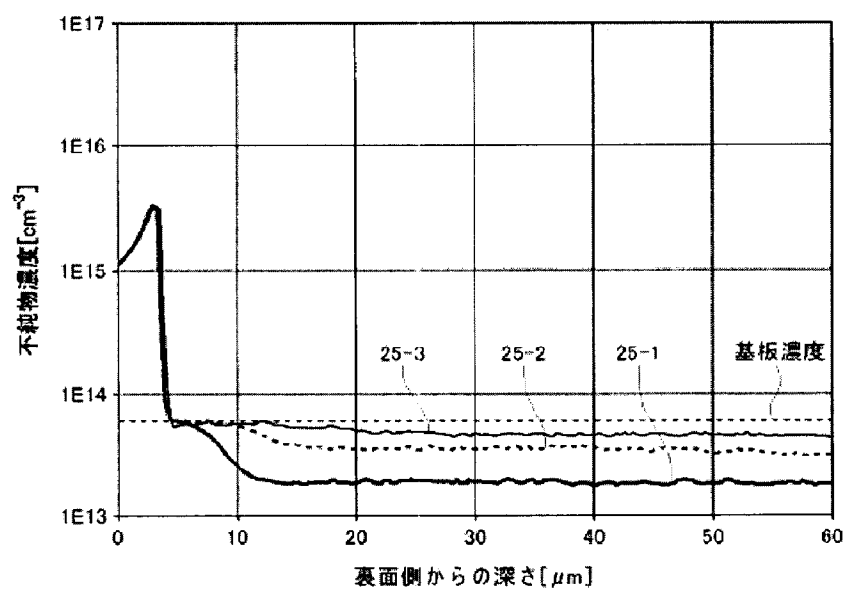
[図4]



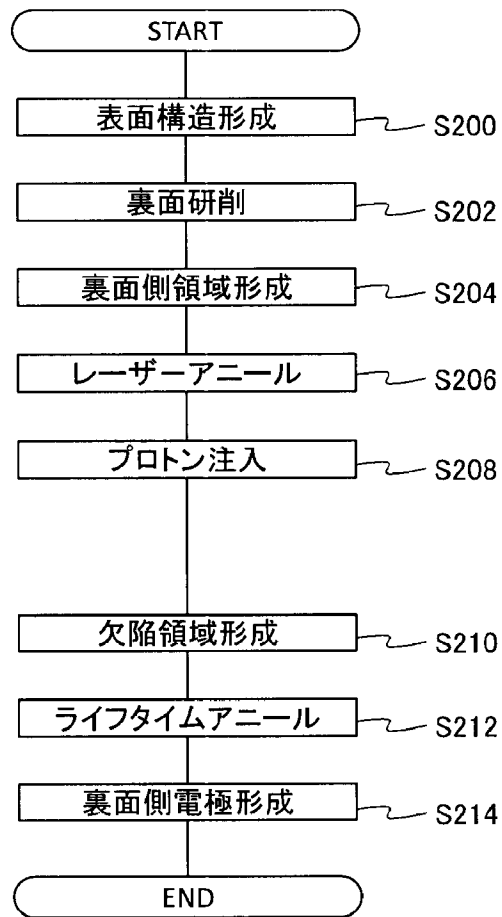
[図5]



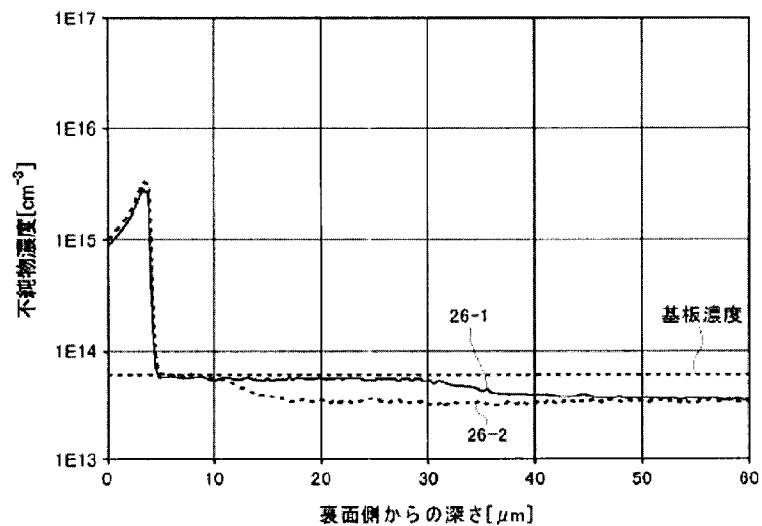
[図6]



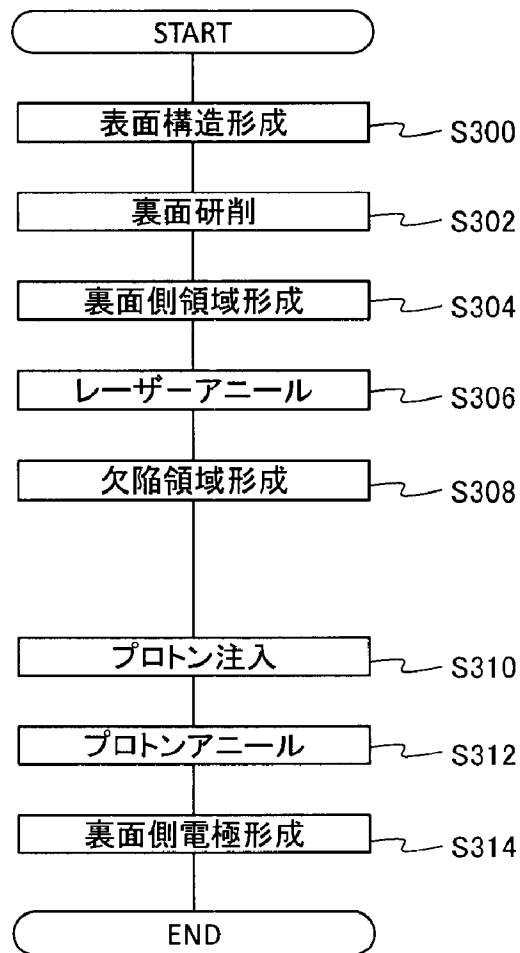
[図7]



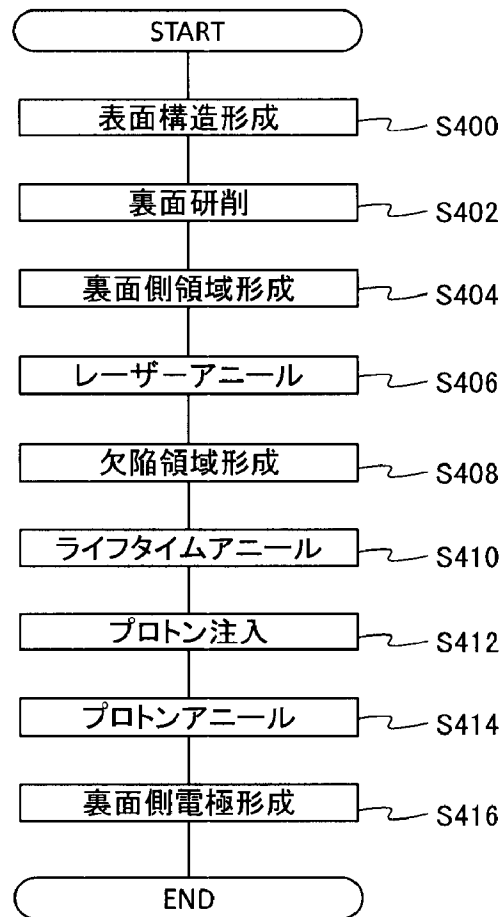
[図8]



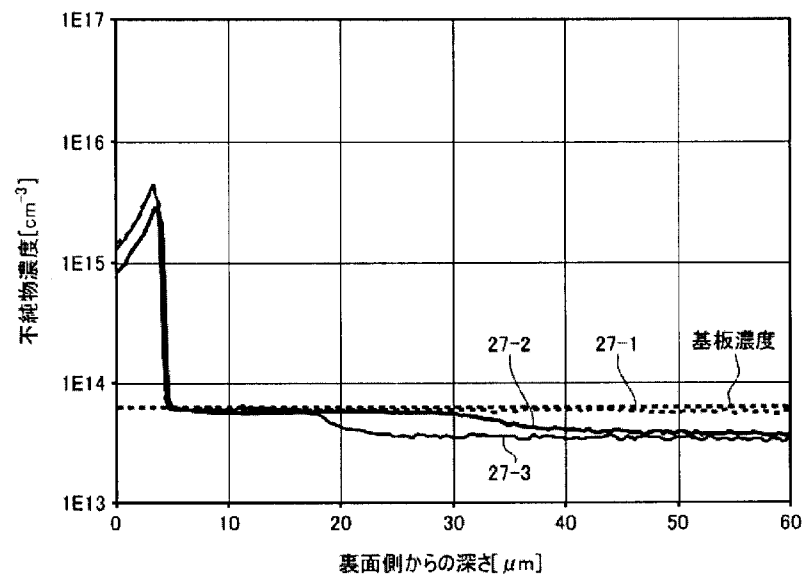
[図9]



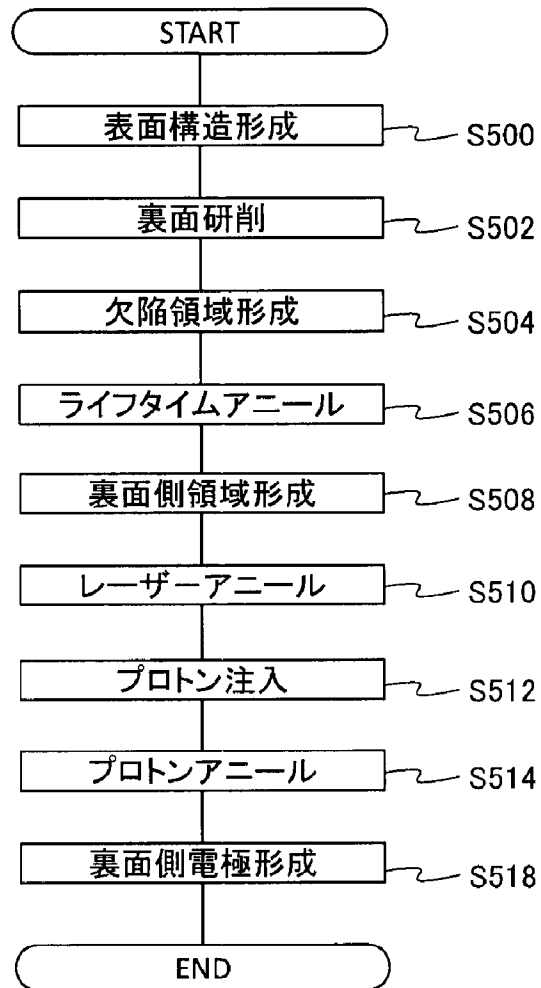
[図10]



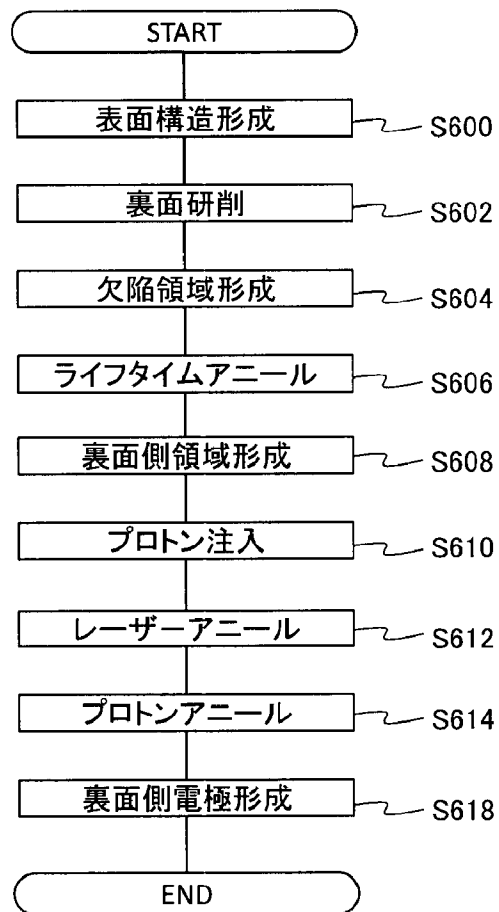
[図11]



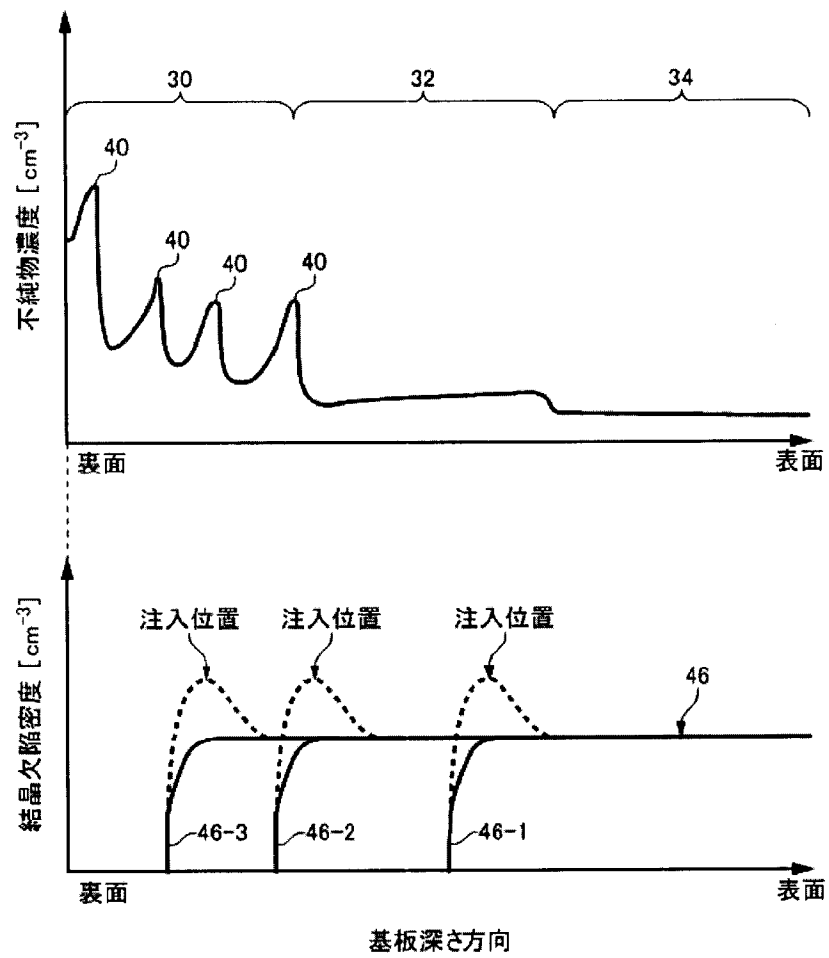
[図12]



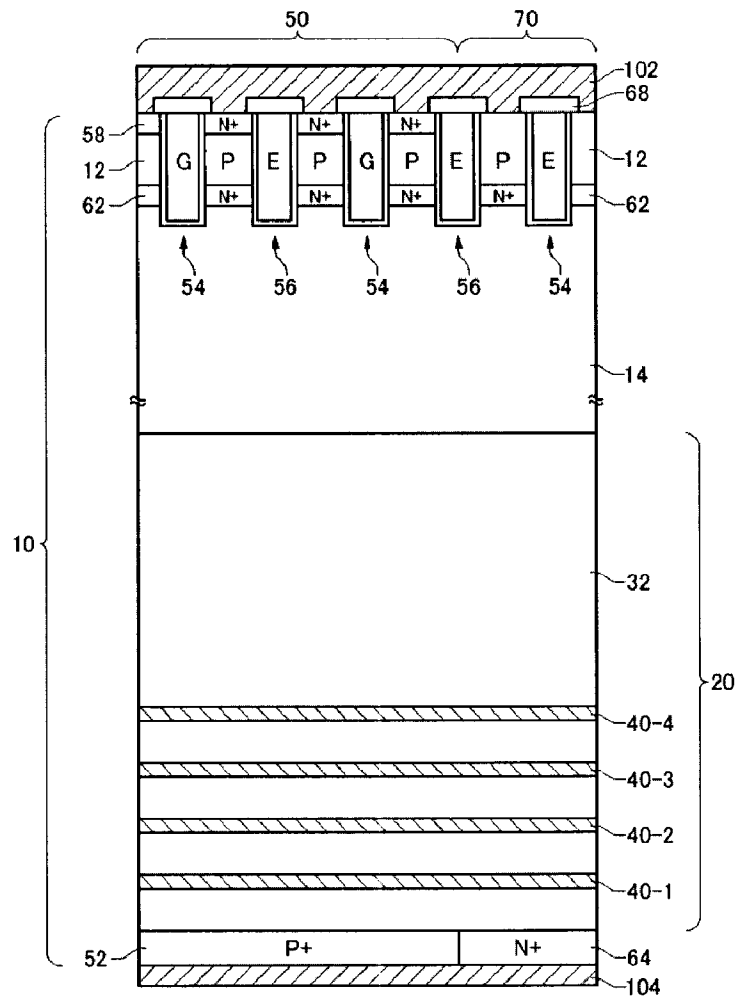
[図13]



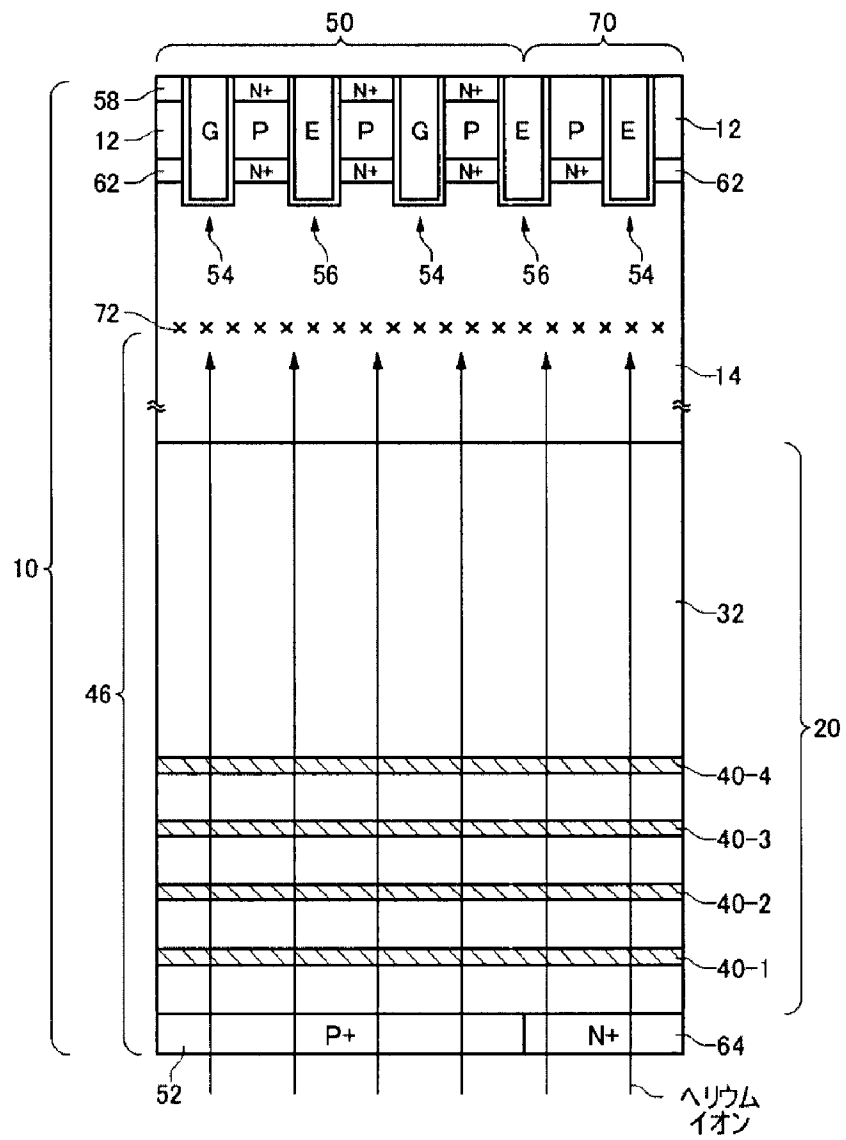
[図14]



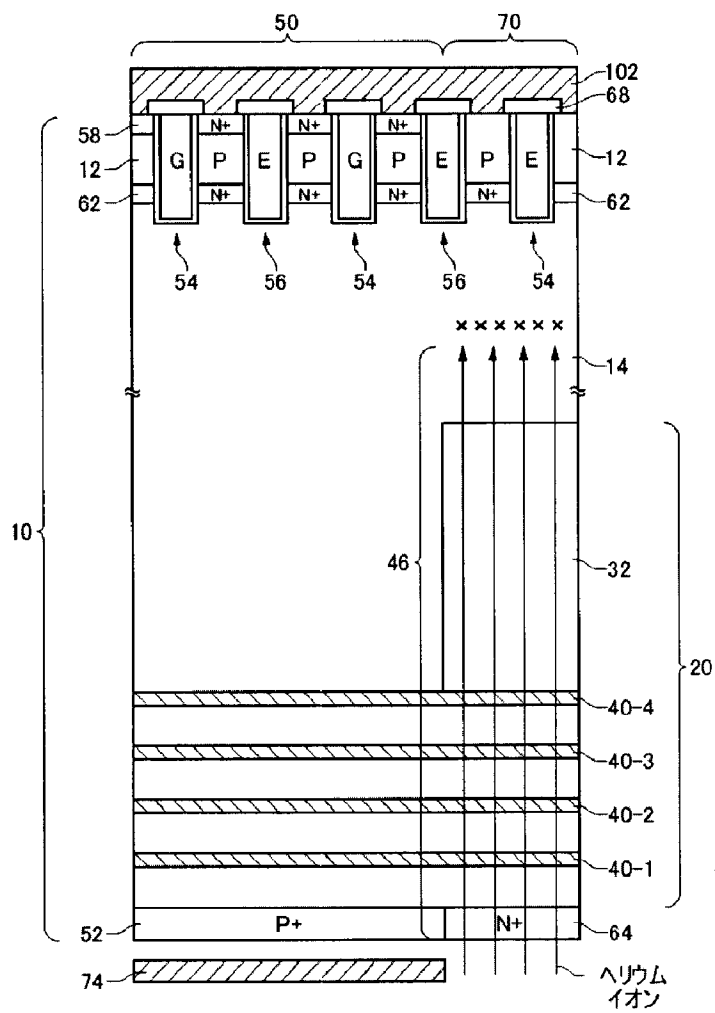
[図15A]

200

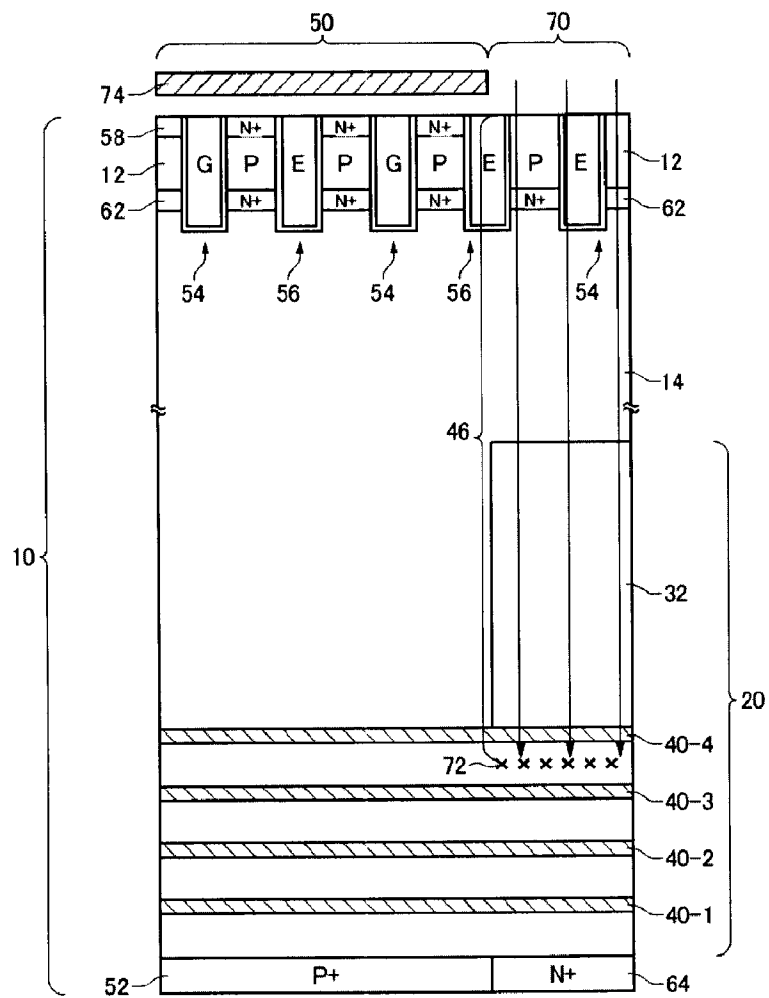
[図15B]



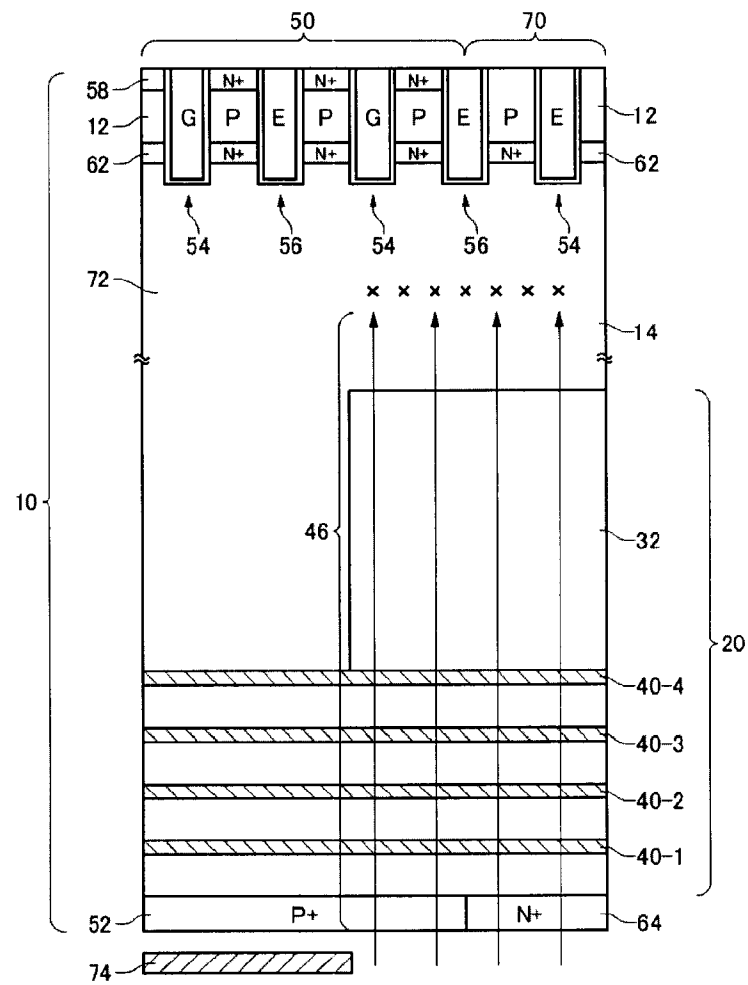
[図15C]



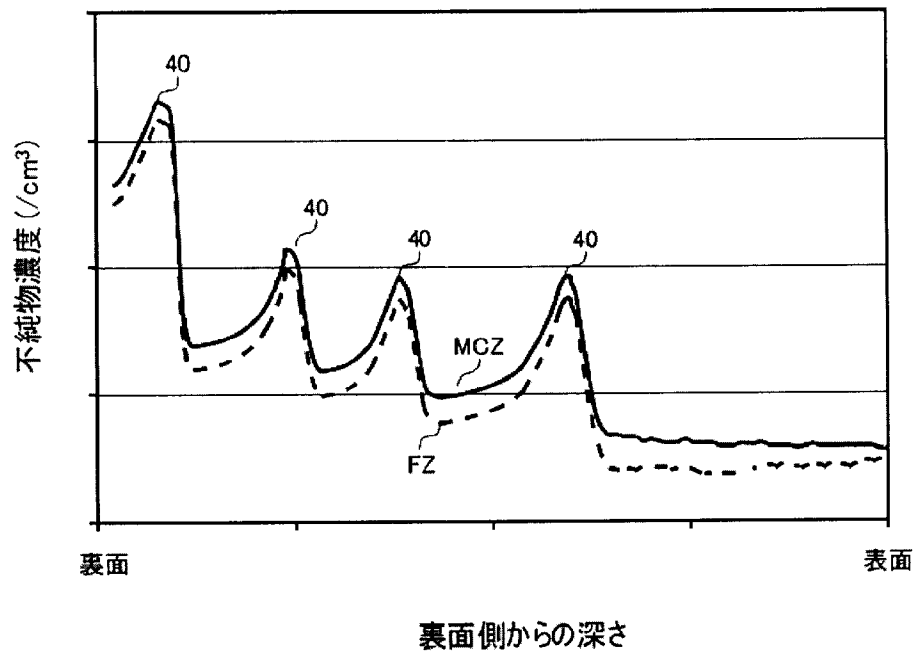
[図15E]

200

[図15F]

200

[図16]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2016/073199

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H01L29/861(2006.01)i, H01L21/322(2006.01)i, H01L21/329(2006.01)i,
H01L21/336(2006.01)i, H01L29/739(2006.01)i, H01L29/78(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)

H01L29/861, H01L21/322, H01L21/329, H01L21/336, H01L29/739, H01L29/78,
H01L29/868

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	1996-2016
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2016	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2016

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	WO 2013/141221 A1 (Fuji Electric Co., Ltd.), 26 September 2013 (26.09.2013), paragraphs [0037] to [0053], [0058] to [0061], [0077] to [0096], [0105] to [0111]; fig. 1 to 10, 19 to 20, 23 & US 2014/0357026 A1 paragraphs [0062] to [0078], [0083] to [0086], [0102] to [0120], [0128] to [0134]; fig. 1 to 10, 19 to 20, 23 & EP 2793251 A1 & CN 104054159 A	1-2, 10-14, 20-22 9, 15-18, 23 3-8, 19, 24
X	WO 2013/100155 A1 (Fuji Electric Co., Ltd.), 04 July 2013 (04.07.2013), paragraphs [0025] to [0050]; fig. 1 to 5 & US 2014/0246755 A1 paragraphs [0048] to [0073]; fig. 1 to 5 & EP 2800143 A1 & CN 103946985 A	1-2, 11-14, 24

☒ 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 September 2016 (15.09.16)

Date of mailing of the international search report
27 September 2016 (27.09.16)

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

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2016/073199

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	JP 2013-074181 A (Toyota Motor Corp.), 22 April 2013 (22.04.2013), paragraph [0034]; fig. 14 & US 2013/0075783 A1 paragraph [0058]; fig. 14 & DE 102012217562 A1 & CN 103035676 A	1-2
Y	JP 2006-344823 A (SUMCO Corp.), 21 December 2006 (21.12.2006), paragraphs [0024], [0026] & US 2007/0000427 A1 paragraphs [0072], [0075] & EP 1732114 A2 & KR 10-2006-0128662 A & CN 1881547 A	9
Y	JP 2012-069861 A (Renesas Electronics Corp.), 05 April 2012 (05.04.2012), paragraph [0059] (Family: none)	15-16
Y	JP 2013-138172 A (Denso Corp.), 11 July 2013 (11.07.2013), paragraphs [0060] to [0069]; fig. 11 to 12 & US 2014/0299915 A1 paragraphs [0085] to [0094]; fig. 11 to 12 & WO 2013/080417 A1 & DE 112012004985 T5 & CN 103959473 A	17-18, 23
Y	WO 2011/125156 A1 (Toyota Motor Corp.), 13 October 2011 (13.10.2011), paragraphs [0052] to [0066]; fig. 1 to 5 & US 2013/0001639 A1 paragraphs [0060] to [0076]; fig. 1 to 5 & KR 10-2012-0115529 A & CN 102822968 A	23

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC））

Int.Cl. H01L29/861(2006.01)i, H01L21/322(2006.01)i, H01L21/329(2006.01)i, H01L21/336(2006.01)i,
H01L29/739(2006.01)i, H01L29/78(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. H01L29/861, H01L21/322, H01L21/329, H01L21/336, H01L29/739, H01L29/78, 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	1971-2016年
日本国実用新案登録公報	1996-2016年
日本国登録実用新案公報	1994-2016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	WO 2013/141221 A1（富士電機株式会社）2013.09.26, 段落 0037-0053, 0058-0061, 0077-0096, 0105-0111,	1-2, 10-14, 20-22
Y	図 1-10, 19-20, 23	9, 15-18, 23
A	& US 2014/0357026 A1, 段落 0062-0078, 0083-0086, 0102-0120, 0128-0134, 図 1-10, 19-20, 23 & EP 2793251 A1 & CN 104054159 A	3-8, 19, 24

☒ 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

15.09.2016

国際調査報告の発送日

27.09.2016

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

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
X	WO 2013/100155 A1 (富士電機株式会社) 2013. 07. 04, 段落 0025-0050, 図 1-5 & US 2014/0246755 A1, 段落 0048-0073, 図 1-5 & EP 2800143 A1 & CN 103946985 A	1-2, 11-14, 24
X	JP 2013-074181 A (トヨタ自動車株式会社) 2013. 04. 22, 段落 0034, 図 14 & US 2013/0075783 A1, 段落 0058, 図 14 & DE 102012217562 A1 & CN 103035676 A	1-2
Y	JP 2006-344823 A (株式会社SUMCO) 2006. 12. 21, 段落 0024, 0026 & US 2007/0000427 A1, 段落 0072, 0075 & EP 1732114 A2 & KR 10-2006-0128662 A & CN 1881547 A	9
Y	JP 2012-069861 A (ルネサスエレクトロニクス株式会社) 2012. 04. 05, 段落 0059 (ファミリーなし)	15-16
Y	JP 2013-138172 A (株式会社デンソー) 2013. 07. 11, 段落 0060-0069, 図 11-12 & US 2014/0299915 A1, 段落 0085-0094, 図 11-12 & WO 2013/080417 A1 & DE 112012004985 T5 & CN 103959473 A	17-18, 23
Y	WO 2011/125156 A1 (トヨタ自動車株式会社) 2011. 10. 13, 段落 0052-0066, 図 1-5 & US 2013/0001639 A1, 段落 0060-0076, 図 1-5 & KR 10-2012-0115529 A & CN 102822968 A	23