

【公報種別】特許法第17条の2の規定による補正の掲載

【部門区分】第7部門第2区分

【発行日】令和4年2月22日(2022.2.22)

【国際公開番号】WO2021/125064

【出願番号】特願2021-565541(P2021-565541)

【国際特許分類】

H 0 1 L 2 1 / 3 3 6 (2 0 0 6 . 0 1)

H 0 1 L 2 9 / 7 8 (2 0 0 6 . 0 1)

H 0 1 L 2 9 / 0 6 (2 0 0 6 . 0 1)

H 0 1 L 2 9 / 7 3 9 (2 0 0 6 . 0 1)

H 0 1 L 2 9 / 8 6 1 (2 0 0 6 . 0 1)

H 0 1 L 2 1 / 2 6 5 (2 0 0 6 . 0 1)

H 0 1 L 2 1 / 8 2 3 4 (2 0 0 6 . 0 1)

H 0 1 L 2 9 / 4 1 (2 0 0 6 . 0 1)

10

【 F I 】

H 0 1 L 2 9 / 7 8 6 5 8 A

H 0 1 L 2 9 / 7 8 6 5 7 D

H 0 1 L 2 9 / 0 6 3 0 1 D

H 0 1 L 2 9 / 0 6 3 0 1 V

H 0 1 L 2 9 / 7 8 6 5 2 G

H 0 1 L 2 9 / 7 8 6 5 2 S

H 0 1 L 2 9 / 7 8 6 5 2 Q

H 0 1 L 2 9 / 7 8 6 5 5 G

H 0 1 L 2 9 / 7 8 6 5 3 A

H 0 1 L 2 9 / 7 8 6 5 2 J

H 0 1 L 2 9 / 7 8 6 5 5 B

H 0 1 L 2 9 / 9 1 C

H 0 1 L 2 9 / 7 8 6 5 2 K

H 0 1 L 2 9 / 7 8 6 5 2 P

H 0 1 L 2 9 / 0 6 3 0 1 F

H 0 1 L 2 9 / 0 6 3 0 1 G

H 0 1 L 2 9 / 7 8 6 5 5 F

H 0 1 L 2 1 / 2 6 5 F

H 0 1 L 2 1 / 2 6 5 6 0 2 A

H 0 1 L 2 1 / 2 6 5 Q

H 0 1 L 2 1 / 2 6 5 T

H 0 1 L 2 7 / 0 8 8 E

H 0 1 L 2 7 / 0 6 1 0 2 A

H 0 1 L 2 9 / 4 4 Y

20

30

40

【手続補正書】

【提出日】令和3年12月7日(2021.12.7)

【手続補正1】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0033

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0033】

【図1】半導体装置100の一例を示す断面図である。

50

【図 2】図 1 の A - A 線に示した位置における、水素化学濃度 C_H 、酸素化学濃度 C_{OX} 、空孔濃度 N_V 、寄与水素濃度 N_H 、および、寄与酸素濃度 N_{OX} の深さ方向の分布を示している。

【図 3】熱処理後の水素化学濃度 C_H 、酸素化学濃度 C_{OX} 、寄与酸素濃度 N_{OX} 、および、VOH 欠陥濃度 N_{VOH} の深さ方向の分布を示している。

【図 4】熱処理後のドナー濃度 D_D の分布の一例を示す図である。

【図 5 A】平坦部 150 を説明する図である。

【図 5 B】平坦部 150 におけるバルク・ドナー濃度 D_0 、水素ドナー濃度 D_b 、ドナー濃度 D_d の他の分布例である。

【図 5 C】平坦部 150 におけるバルク・ドナー濃度 D_0 、水素ドナー濃度 D_b 、ドナー濃度 D_d の他の分布例である。 10

【図 6】ドナー濃度増加量と、酸素化学濃度 C_{OX} との関係を示す図である。

【図 7】ドナー濃度増加量と、酸素化学濃度 C_{OX} との関係を示す図である。

【図 8】水素イオンのドーズ量と、酸素寄与率 および空孔濃度 N_V との関係を示す図である。

【図 9】水素イオンのドーズ量と、酸素寄与率 および空孔濃度 N_V との関係を示す図である。

【図 10】半導体装置 100 の一例を示す上面図である。

【図 11】図 10 における領域 D の拡大図である。

【図 12】図 11 における e - e 断面の一例を示す図である。 20

【図 13】図 12 の F - F 線の位置における、深さ方向のキャリア濃度分布の一例を示す図である。

【図 14】図 10 における g - g 断面の一例を示す図である。

【図 15】図 10 における g - g 断面の他の例を示す図である。

【図 16】半導体装置 100 の製造方法の一例を示す図である。

【図 17】荷電粒子線の注入量の算出方法の他の例を示す図である。

【図 18】半導体装置 100 の製造方法の他の例を示す図である。

【図 19】デバイス製造段階 S1606 の一例を示す図である。

【図 20】デバイス製造段階 S1606 の他の例を示す図である。

【図 21】酸素寄与率 と、第 2 のピーク 141 が配置される深さ位置 Z1 との関係を示す図である。 30

【図 22】空孔濃度 N_V と、第 2 のピーク 141 が配置される深さ位置 Z1 との関係を示す図である。

【図 23】図 1 の A - A 線に示した位置における、熱処理後の水素化学濃度 C_H 、酸素化学濃度 C_{OX} 、炭素化学濃度 C_C 、寄与酸素濃度 N_{OX} 、寄与炭素濃度 N_C 、および、VOH 欠陥濃度 N_{VOH} の深さ方向の分布を示している。

【図 24】ドナー濃度増加量と、炭素化学濃度 C_C との関係を示す図である。

【図 25】ドナー濃度増加量と、酸素化学濃度 C_{OX} との関係を示す図である。

【図 26】深さ位置 Z1 への水素イオンドーズ量と、炭素寄与率 との関係を示す図である。 40

【図 27】炭素化学濃度 C_C が小さいグループにおける、酸素寄与率 と、水素イオンドーズ量 D_H との関係を示す図である。

【図 28】炭素化学濃度 C_C が小さいグループにおける、空孔濃度 N_V と、水素イオンドーズ量 D_H との関係を示す図である。

【図 29】半導体装置 100 の製造方法の一例を示す図である。

【図 30】空孔濃度 N_V と深さ位置 Z1 との関係の他の例を示す図である。

【図 31】酸素寄与率 と深さ位置 Z1 との関係の他の例を示す図である。

【図 32】炭素寄与率 と深さ位置 Z1 との関係を示す図である。

【図 33 A】電気的な目標特性に対する空孔濃度のヘリウムイオンドーズ量依存性を示すグラフである。 50

【図 3 3 B】電気的な目標特性に対する酸素寄与率のヘリウムイオンドーズ量依存性を示すグラフである。

【図 3 3 C】電気的な目標特性に対する炭素寄与率のヘリウムイオンドーズ量依存性を示すグラフである。

【図 3 4 A】電気的な目標特性における換算空孔濃度 N_V のヘリウムイオン深さ依存性を示すグラフである。

【図 3 4 B】電気的な目標特性における換算酸素寄与率 のヘリウムイオン深さ依存性を示すグラフである。

【図 3 4 C】電気的な目標特性における換算炭素寄与率 のヘリウムイオン深さ依存性を示すグラフである。

【図 3 5】半導体装置 1 0 0 の製造方法の他の例を示す図である。

【図 3 6】半導体装置 1 0 0 の製造方法の他の例を示す図である。

【図 3 7】半導体装置 1 0 0 の製造方法の他の例を示す図である。

【図 3 8】バルク・ドナー濃度と、荷電粒子の注入深さ Z_1 との関係を示す図である。

【図 3 9】半導体装置 1 0 0 の製造方法の他の例を示す図である。

【図 4 0】エッジ終端構造部 9 0 における等電位面 3 0 8 の一例を示す図である。

【手続補正 2】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0 0 7 8

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0 0 7 8】

平坦部 1 5 0 において、寄与酸素濃度 N_{OX} は、水素化学濃度 C_H よりも小さい。この場合、水素化学濃度 C_H は、平坦部 1 5 0 における最小値を用いてよい。寄与酸素濃度 N_{OX} は、水素化学濃度 C_H の 1 0 % 以下であってもよい。

【手続補正 3】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0 0 8 0

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0 0 8 0】

本例のドナー濃度 D_D は、バルク・ドナー濃度 N_{B0} に、VOH 欠陥濃度 N_{VOH} を加算した濃度である。ドナー濃度 D_D は、深さ位置 Z_d に第 1 のドナーピーク 1 2 1 を有し、深さ位置 Z_2 に第 2 のドナーピーク 1 1 1 を有する。本例では、第 2 のドナーピーク 1 1 1 は、第 1 のドナーピーク 1 2 1 よりも高濃度である。また、平坦部 1 5 0 において、ドナー濃度 D_D は実質的に（ほぼ）平坦である。平坦部 1 5 0 のドナー濃度 D_D は、バルク・ドナー濃度 N_{B0} よりも高い。

【手続補正 4】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0 1 0 6

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0 1 0 6】

図 9 は、水素イオンのドーズ量と、酸素寄与率 および空孔濃度 N_V との関係を示す図である。図 9 は、図 7 の例（すなわち $Z_1 = 50 \mu m$ ）に対応する。図 9 では、酸素寄与率 と水素イオンドーズ量の関係を曲線 9 0 1 で近似し、空孔濃度 N_V と水素イオンドーズ量の関係を曲線 9 0 2 で近似している。曲線 9 0 1 を式 (1 1) であらわし、曲線 9 0 2 を式 (1 2) であらわす。このとき、最小二乗法のフィッティングにより、各係数 $c \sim f$ は下記の通りである。

$$= c \times (D_H)^d \dots \text{式 (1 1)}$$

10

20

30

40

50

ただし、 $c = 1.53343 \times 10^{-12}$ 、 $d = 6.25800 \times 10^{-1}$

$N_V = e \times (D_H)^f \dots$ 式(12)

ただし、 $e = 3.11098 \times 10^3$ 、 $f = 7.41056 \times 10^{-1}$

【手続補正5】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0171

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0171】

また半導体装置100は、半導体基板10として、半導体インゴット製造時にリン(P)等のドーパントがインゴット全体にドーピングされないノンドーピング基板を用いてもよい。この場合、領域180のベースドーピング濃度 D_n は、バルク・ドナー濃度 N_{B0} よりも低い。ベースドーピング濃度 D_n は、例えば $1 \times 10^{10} \text{ atoms/cm}^3$ 以上、 $5 \times 10^{12} \text{ atoms/cm}^3$ 以下である。ベースドーピング濃度 D_n は、 $1 \times 10^{11} \text{ atoms/cm}^3$ 以上であってよい。ベースドーピング濃度 D_n は、 $5 \times 10^{12} \text{ atoms/cm}^3$ 以下であってよい。

10

【手続補正6】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0197

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0197】

酸素導入段階S1802においては、濃度測定段階S1602において測定された酸素化学濃度に応じて、半導体基板10に酸素を導入してもよい。例えば酸素導入段階S1802で導入する酸素化学濃度と、濃度測定段階S1602において測定された酸素化学濃度との和が所定の目標値となるように、酸素を導入してよい。濃度測定段階S1602は、酸素導入段階S1802を行った後の半導体基板10の酸素化学濃度を測定してもよい。この場合、荷電粒子線の注入量を更に精度よく算出できる。

20

【手続補正7】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0209

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0209】

一方で、VOH欠陥濃度 N_{VOH} は、半導体装置100の特性から測定できる。例えば、VOH欠陥濃度 N_{VOH} は、最終ドーピング濃度 N_F と、バルク・ドナー濃度 N_{B0} との差分($N_F - N_{B0}$)から測定できる。最終ドーピング濃度 N_F と、バルク・ドナー濃度 N_{B0} は、半導体装置100から測定できる。測定したVOH欠陥濃度 N_{VOH} を N_{VOH2} (水素ドナー濃度の第2の値)とする。つまり、第2の値 N_{VOH2} は、平坦部150のドナー濃度から、バルク・ドナー濃度を減じた差分である。例えば、最終ドーピング濃度 N_F が $7 \times 10^{13} \text{ (atoms/cm}^3)$ 、バルク・ドナー濃度 N_{B0} が $2 \times 10^{12} \text{ (atoms/cm}^3)$ の場合、VOH欠陥濃度 N_{VOH2} は下記ようになる。 $N_{VOH2} = 7 \times 10^{13} - 2 \times 10^{12} = 6.8 \times 10^{13} \text{ (atoms/cm}^3)$ 算出した N_{VOH1} が、実測値の N_{VOH2} に十分一致していれば、算出した酸素寄与率1および空孔濃度 N_V1 が概ね正しいと判定できる。すなわち、水素ドナー濃度の第2の値 N_{VOH2} に対する、水素ドナー濃度の第1の値 N_{VOH1} の比 N_{VOH1} / N_{VOH2} が、 $0.1 \leq N_{VOH1} / N_{VOH2} \leq 10$ であれば、十分一致しているとしてよい。上記の例の場合、 $N_{VOH1} / N_{VOH2} = (3.1 \times 10^{13}) / (6.8 \times 10^{13}) = 0.46$ であり、算出した酸素寄与率1および空孔濃度 N_V1 は正しい。

30

40

【手続補正8】

50

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0268

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0268】

また、半導体基板10のバルク・ドナー濃度 N_{B0} が高いと、ドリフト領域18のドーピング濃度が高くなり、半導体装置100の耐圧は小さくなる。条件調整段階S3503は、バルク・ドナー濃度 N_{B0} に対しても、半導体基板10の水素ドナーと同様の処理を行ってよい。

【手続補正9】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0166

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0166】

図13は、図12のF-F線の位置における、深さ方向のキャリア濃度分布の一例を示す図である。図13においては、水素濃度分布 C_H の分布の一部を合わせて示している。図13の縦軸は、対数軸である。

【手続補正10】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0169

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0169】

第2のドナーピーク111は、バッファ領域20の複数のピーク25のうち、第2のドナーピーク111の次に下面23から離れたピーク25よりも、ドナー濃度が高くてよい。第2のドナーピーク111の濃度を高くすることで、平坦部150を形成しやすくなる。水素化学濃度 C_H の分布は、深さ位置Z2と、下面23との間に、1つ以上の水素濃度ピーク194を有してよい。水素濃度ピーク194は、バッファ領域20に配置されてよい。水素濃度ピーク194は、ピーク25と同一の深さ位置に配置されてよい。

【手続補正11】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0242

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0242】

生成すべき水素ドナーの濃度を N_{VOH1} は、式(2a)から式(16)となる。式(16)で示される N_{VOH1} は、第3の値の一例である。

$$N_{VOH1} = N_V + C_{OX} + C_C \quad \dots \text{式(16)}$$

上述したように、空孔濃度 N_V 、酸素化学濃度 C_{OX} 、炭素化学濃度 C_C 、酸素寄与率、炭素寄与率は、半導体基板10を測定することで取得できる。また、実際に生成された水素ドナーの濃度 N_{VOH2} は、上述した製造方法による処理前の半導体基板10のドナー濃度 N_{B0} と、処理後の半導体基板10のドーピング濃度 N_F の差分から取得できる。当該ドナー濃度の差分は、平坦部150で測定してよい。半導体基板10のドナー濃度 N_{B0} は、SIMSまたはSRの測定で得られる。SIMSならば、処理後の半導体基板10からも半導体基板10のドナー濃度 N_{B0} を得ることができる。

【手続補正12】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0266

【補正方法】変更

10

20

30

40

50

【補正の内容】

【0266】

例えば、パラメータ取得段階 S 3 5 0 2 において取得したパラメータが、半導体基板 1 0 に水素ドナーが生成されにくい状態を示している場合、条件調整段階 S 3 5 0 3 では、各段階の条件を、半導体基板 1 0 における水素ドナーの生成を促進する条件に調整する。例えば半導体基板 1 0 の酸素化学濃度が低いと、VOH欠陥が生成されにくくなる。一方で、粒子注入段階 S 1 6 0 8 における荷電粒子線のドーズ量を高くすること、水素注入段階 S 1 6 1 0 における水素イオンのドーズ量を高くすること、熱処理段階 S 1 6 1 2 における熱処理温度を高くすること、および、熱処理段階 S 1 6 1 2 における熱処理時間を長くすることは、いずれもVOH欠陥の生成を促進する。条件調整段階 S 3 5 0 3 は、これらの処理の少なくとも一つを行ってよい。同様に、半導体基板 1 0 の酸素化学濃度が高いと、VOH欠陥が生成されやすくなる。一方で、粒子注入段階 S 1 6 0 8 における荷電粒子線のドーズ量を低くすること、水素注入段階 S 1 6 1 0 における水素イオンのドーズ量を低くすること、熱処理段階 S 1 6 1 2 における熱処理温度を低くすること、および、熱処理段階 S 1 6 1 2 における熱処理時間を短くすることは、いずれもVOH欠陥の生成を抑制する。条件調整段階 S 3 5 0 3 は、これらの処理の一つを行ってよく、複数の処理を組み合わせて行ってもよい。また、半導体基板 1 0 の炭素化学濃度が高いと、VOH欠陥が生成されやすい傾向があり、炭素化学濃度が低いと、VOH欠陥が生成されにくい傾向がある。酸素寄与率 および炭素寄与率 については上述した通りである。条件調整段階 S 3 5 0 3 は、これらのパラメータに基づいて、酸素化学濃度と同様の処理を行ってよい。

10

20

30

40

50