

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5922014号
(P5922014)

(45) 発行日 平成28年5月24日 (2016.5.24)

(24) 登録日 平成28年4月22日 (2016.4.22)

(51) Int.Cl. F I
 H O 1 L 29/47 (2006.01) H O 1 L 29/48 F
 H O 1 L 29/872 (2006.01)

請求項の数 9 (全 21 頁)

(21) 出願番号	特願2012-286204 (P2012-286204)	(73) 特許権者	000002037 新電元工業株式会社 東京都千代田区大手町2丁目2番1号
(22) 出願日	平成24年12月27日 (2012.12.27)	(74) 代理人	100104709 弁理士 松尾 誠剛
(65) 公開番号	特開2014-127713 (P2014-127713A)	(72) 発明者	九里 伸治 埼玉県飯能市南町10番13号 新電元工業株式会社工場内
(43) 公開日	平成26年7月7日 (2014.7.7)	(72) 発明者	石塚 信隆 埼玉県飯能市南町10番13号 新電元工業株式会社工場内
審査請求日	平成27年6月4日 (2015.6.4)	(72) 発明者	木村 拓 埼玉県飯能市南町10番13号 新電元工業株式会社工場内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 トレンチショットキバリアダイオード及びその製造方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

第1導電型不純物を高濃度で含有する第1半導体層及び前記第1半導体層よりも第1導電型不純物を低濃度で含有する第2半導体層を有する半導体基板と、

前記半導体基板の第1主面側に形成されトレンチ内に誘電体層を介して導電体層が埋め込まれた構造を有する複数のトレンチ領域と、

前記複数のトレンチ領域が設けられていない部分に設けられたメサ領域と、

前記半導体基板の第1主面上に設けられ前記メサ領域との間でショットキ接合を形成するバリア金属層とを備えるトレンチショットキバリアダイオードであって、

前記メサ領域の幅 W_m が、 $0.5 \mu m < W_m < 1.5 \mu m$ の範囲内にあり、

前記誘電体層の層厚 T_{ox} が、 $25 nm < T_{ox} < 150 nm$ の範囲内にあり、かつ、

活性領域において $200 A/cm^2$ の電流密度で順方向電流を流したとき、「前記導電体層、前記誘電体層及び前記メサ領域により構成されるコンデンサ」に十分な量の電荷が充電される結果、前記メサ領域に存在する総キャリア量 Q_{acc} と、前記メサ領域の不純物に起因するキャリア量 Q_{dop} とが以下の関係式(1)~(3)のいずれかを満たすことを特徴とするトレンチショットキバリアダイオード。

(1) トレンチショットキバリアダイオードの耐圧が100V以上である場合

$$Q_{acc} / Q_{dop} > 2.0$$

(2) トレンチショットキバリアダイオードの耐圧が60V以上100V未満の場合

$$Q_{acc} / Q_{dop} > 1.5$$

(3) トレンチショットキバリアダイオードの耐圧が40V以上60V未満の場合

$$Q_{acc} / Q_{dop} = 1.25$$

【請求項2】

前記誘電体層の層厚 T_{ox} が100nm以下であることを特徴とする請求項1に記載のトレンチショットキバリアダイオード。

【請求項3】

活性領域において $200A/cm^2$ の電流密度で順方向電流を流したとき、前記メサ領域の20%以上の領域にキャリアが蓄積されるように構成されてなることを特徴とする請求項1又は2に記載のトレンチショットキバリアダイオード。

【請求項4】

活性領域において $200A/cm^2$ の電流密度で順方向電流を流したとき、前記メサ領域の全領域にキャリアが蓄積されるように構成されてなることを特徴とする請求項3に記載のトレンチショットキバリアダイオード。

【請求項5】

活性領域において $200A/cm^2$ の電流密度で順方向電流を流したとき、前記トレンチ領域と前記メサ領域との境界近傍におけるキャリア濃度が、前記メサ領域の不純物に起因するキャリア濃度の20倍以上となるように構成されてなることを特徴とする請求項1～4のいずれかに記載のトレンチショットキバリアダイオード。

【請求項6】

前記誘電体層が強誘電体材料からなることを特徴とする請求項1～5のいずれかに記載のトレンチショットキバリアダイオード。

【請求項7】

前記トレンチの側壁の形状が凹凸形状からなることを特徴とする請求項1～6のいずれかに記載のトレンチショットキバリアダイオード。

【請求項8】

請求項1～7のいずれかに記載のトレンチショットキバリアダイオードを製造するためのトレンチショットキバリアダイオードの製造方法であって、

前記メサ領域の幅 W_m 及び前記誘電体層の層厚 T_{ox} を決定するにあたり、

横軸に順方向降下電圧 V_F をとり、縦軸に逆方向もれ電流 I_R をとったトレードオフ特性表示用グラフに、前記誘電体層の層厚 T_{ox} を一定にした条件で前記メサ領域の幅 W_m を変化させながら順方向降下電圧 V_F 及び逆方向もれ電流 I_R についてのプロットを実施し、さらには当該プロットを前記誘電体層の層厚 T_{ox} を変化させながら実施したときに、順方向降下電圧 V_F と逆方向もれ電流 I_R とのトレードオフ曲線が左下がり曲線となる範囲又は上下に沿った直線となる範囲から前記メサ領域の幅 W_m 及び前記誘電体層の層厚 T_{ox} を決定するパラメータ決定工程を含むことを特徴とするトレンチショットキバリアダイオードの製造方法。

【請求項9】

請求項8に記載のトレンチショットキバリアダイオードの製造方法において、

前記パラメータ決定工程においては、順方向降下電圧 V_F と逆方向もれ電流 I_R とのトレードオフ曲線が左下がり曲線となる範囲から前記メサ領域の幅 W_m 及び前記誘電体層の層厚 T_{ox} を決定することを特徴とするトレンチショットキバリアダイオードの製造方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、トレンチショットキバリアダイオード及びその製造方法に関する。

【背景技術】

【0002】

図22は、従来のトレンチショットキバリアダイオード900を説明するために示す図である。図22(a)はトレンチショットキバリアダイオード900の断面図であり、図

10

20

30

40

50

22(b)はトレンチショットキバリアダイオード900の平面図である。図23は、従来のトレンチショットキバリアダイオード900に逆バイアス電圧を印加したときに空乏層が延びる様子を示す図である。なお、図22(b)においては、バリア電極層926及びアノード電極層928の図示を省略している。

【0003】

従来のトレンチショットキバリアダイオード900は、図22(a)に示すように、 n^+ 型半導体層912及び n^- 型ドリフト層914を有する半導体基板910と、半導体基板910の第1主面側に形成され、トレンチ916内に絶縁体層918を介して導電体層920が埋め込まれた構造を有する複数のトレンチ領域922と、複数のトレンチ領域922が設けられていない部分に設けられたメサ領域924と、半導体基板910の第1主面上に設けられメサ領域924との間でショットキ接合を形成するバリア金属層926とを備える(例えば、特許文献1参照。)。なお、図22(a)中、符号928はアノード電極層を示し、符号930はカソード電極を示す。

10

【0004】

従来のトレンチショットキバリアダイオード900によれば、図22(a)及び図22(b)に示すように、メサ領域924がトレンチ領域922に囲まれているため、図23に示すように、逆バイアス時にはメサ領域924の内部が空乏化してピンチオフされ、逆方向もれ電流 I_R を小さくしたり耐圧 V_{BR} を高くしたりすることが可能となる。

【先行技術文献】

【特許文献】

20

【0005】

【特許文献1】特開2008-140968(図13)

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

しかしながら、従来のトレンチショットキバリアダイオード900においては、メサ領域924を狭くしていくと、逆方向もれ電流 I_R を小さくしたり耐圧 V_{BR} を高くしたりすることは可能となるが、メサ領域924が狭くなって抵抗が高くなるため、順方向降下電圧 V_F が高くなってしまいう問題があった。

【0007】

30

そこで、本発明は、上記した問題を解決するためになされたもので、耐圧 V_{BR} を確保しながら順方向降下電圧 V_F と逆方向もれ電流 I_R のトレードオフを大幅に改善することが可能なトレンチショットキバリアダイオードを提供することを目的とする。また、そのようなトレンチショットキバリアダイオードを製造可能なトレンチショットキバリアダイオードの製造方法を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0008】

[1]本発明のトレンチショットキバリアダイオードは、第1導電型不純物を高濃度で含有する第1半導体層及び前記第1半導体層よりも第1導電型不純物を低濃度で含有する第2半導体層を有する半導体基板と、前記半導体基板の第1主面側に形成されトレンチ内に誘電体層を介して導電体層が埋め込まれた構造を有する複数のトレンチ領域と、前記複数のトレンチ領域が設けられていない部分に設けられたメサ領域と、前記半導体基板の第1主面上に設けられ前記メサ領域との間でショットキ接合を形成するバリア金属層とを備えるトレンチショットキバリアダイオードであって、前記メサ領域の幅 W_m が $1.5\mu m$ 以下であり、かつ、活性領域において $200A/cm^2$ の電流密度で順方向電流を流したとき、「前記導電体層、前記誘電体層及び前記メサ領域により構成されるコンデンサ」に十分な量の電荷が充電される結果、前記メサ領域に存在する総キャリア量 Q_{acc} と、前記メサ領域の不純物に起因するキャリア量 Q_{dop} とが以下の関係式(1)~(3)のいずれかを満たすことを特徴とする。

40

(1)トレンチショットキバリアダイオードの耐圧が $100V$ 以上である場合

50

$$Q_{acc} / Q_{dop} = 2.0$$

(2) トレンチショットキバリアダイオードの耐圧が60V以上100V未満の場合

$$Q_{acc} / Q_{dop} = 1.5$$

(3) トレンチショットキバリアダイオードの耐圧が40V以上60V未満の場合

$$Q_{acc} / Q_{dop} = 1.25$$

【0009】

[2] 本発明のトレンチショットキバリアダイオードにおいては、前記誘電体層の層厚 T_{ox} が100nm以下であることが好ましい。

【0010】

[3] 本発明のトレンチショットキバリアダイオードにおいては、活性領域において200A/cm²の電流密度で順方向電流を流したとき、前記メサ領域の20%以上の領域にキャリアが蓄積されるように構成されてなることが好ましい。

10

【0011】

[4] 本発明のトレンチショットキバリアダイオードにおいては、活性領域において200A/cm²の電流密度で順方向電流を流したとき、前記メサ領域の全領域にキャリアが蓄積されるように構成されてなることが好ましい。

【0012】

[5] 本発明のトレンチショットキバリアダイオードにおいては、活性領域において200A/cm²の電流密度で順方向電流を流したとき、前記トレンチ領域と前記メサ領域との境界近傍におけるキャリア濃度が、前記メサ領域の不純物に起因するキャリア濃度の20倍以上となるように構成されてなることが好ましい。

20

【0013】

[6] 本発明のトレンチショットキバリアダイオードにおいては、前記誘電体層が強誘電体材料からなることが好ましい。

【0014】

[7] 本発明のトレンチショットキバリアダイオードにおいては、前記トレンチの側壁の形状が凹凸形状からなることが好ましい。

【0015】

[8] 本発明のトレンチショットキバリアダイオードの製造方法は、本発明のトレンチショットキバリアダイオードを製造するためのトレンチショットキバリアダイオードの製造方法であって、前記メサ領域の幅 W_m 及び前記誘電体層の層厚 T_{ox} を決定するにあたり、横軸に順方向降下電圧 V_F をとり、縦軸に逆方向もれ電流 I_R をとったトレードオフ特性表示用グラフに、前記誘電体層の層厚 T_{ox} を一定にした条件で前記メサ領域の幅 W_m を変化させながら順方向降下電圧 V_F 及び逆方向もれ電流 I_R についてのプロットを実施し、さらには当該プロットを前記誘電体層の層厚 T_{ox} を変化させながら実施したときに、順方向降下電圧 V_F と逆方向もれ電流 I_R とのトレードオフ曲線が左下がり曲線となる範囲又は上下に沿った直線(略直線を含む)となる範囲から前記メサ領域の幅 W_m 及び前記誘電体層の層厚 T_{ox} を決定するパラメータ決定工程を含むことを特徴とする。

30

【0016】

[9] 本発明のトレンチショットキバリアダイオードの製造方法において、前記パラメータ決定工程においては、順方向降下電圧 V_F と逆方向もれ電流 I_R とのトレードオフ曲線が左下がり曲線となる範囲から前記メサ領域の幅 W_m 及び前記誘電体層の層厚 T_{ox} を決定することが好ましい。

40

【発明の効果】

【0017】

本発明のトレンチショットキバリアダイオードによれば、200A/cm²の電流密度で順方向電流を流したとき、「導電体層、誘電体層及びメサ領域により構成されるコンデンサ」に十分な量の電荷が充電されることから、メサ領域に存在する多数キャリアの濃度を高くすることが可能となる。その結果、メサ領域の幅を狭くしていても、メサ領域の抵抗がそれほど高くなることなく、耐圧 V_{BR} を確保しながら順方向降下電圧

50

V F と逆方向もれ電流 I R のトレードオフを大幅に改善することが可能となる。

【0018】

本発明のトレンチショットキバリアダイオードの製造方法によれば、本発明のトレンチショットキバリアダイオードを製造することが可能となる。

【図面の簡単な説明】

【0019】

【図1】実施形態1に係るトレンチショットキバリアダイオード100を説明するために示す図である。

【図2】実施形態1に係るトレンチショットキバリアダイオード100に順方向電圧を印加したときの様子を示す図である。

10

【図3】実施形態1に係るトレンチショットキバリアダイオード100に逆方向電圧を印加したときの様子を示す図である。

【図4】実施形態1に係るトレンチショットキバリアダイオードの製造方法を説明するために示す図である。

【図5】実施形態1に係るトレンチショットキバリアダイオードの製造方法を説明するために示す図である。

【図6】試料1～4におけるキャリア蓄積状態を示す図である（試験例1）。

【図7】試料5～8におけるキャリア蓄積状態を示す図である（試験例1）。

【図8】試料9～12におけるキャリア蓄積状態を示す図である（試験例1）。

【図9】試料13～16におけるキャリア蓄積状態を示す図である（試験例1）。

20

【図10】試料17～20におけるキャリア蓄積状態を示す図である（試験例1）。

【図11】試料21～24におけるキャリア蓄積状態を示す図である（試験例1）。

【図12】メサ領域の幅Wmと順方向降下電圧V F との関係を示す図である（試験例2）。

。

【図13】メサ領域の幅Wmと逆方向もれ電流I R との関係を示す図である（試験例3）。

。

【図14】メサ領域の幅Wmと耐圧V B R との関係を示す図である（試験例4）。

【図15】誘電体層の厚さT o x と耐圧V B R との関係を示す図である（試験例4）。

【図16】耐圧100Vのトレンチショットキバリアダイオードの場合の「Q a c c / Q d o p」と順方向降下電圧V F との関係を示す図である（試験例5）。

30

【図17】耐圧60Vのトレンチショットキバリアダイオードの場合の「Q a c c / Q d o p」と順方向降下電圧V F との関係を示す図である（試験例6）。

【図18】耐圧40Vのトレンチショットキバリアダイオードの場合の「Q a c c / Q d o p」と順方向降下電圧V F との関係を示す図である（試験例7）。

【図19】順方向降下電圧V F と逆方向もれ電流I R との関係を示す図である（試験例8）。

【図20】実施形態4に係るトレンチショットキバリアダイオード106の断面図である。

。

【図21】実施形態5に係るトレンチショットキバリアダイオード108の断面図である。

40

【図22】従来のトレンチショットキバリアダイオード900を説明するために示す図である。

【図23】従来のトレンチショットキバリアダイオード900に逆バイアス電圧を印加したときに空乏層が延びる様子を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0020】

以下、本発明のトレンチショットキバリアダイオードについて、図に示す実施の形態に基づいて説明する。

【0021】

1. トレンチショットキバリアダイオード

50

図1は、実施形態1に係るトレンチショットキバリアダイオード100を説明するために示す図である。図1(a)はトレンチショットキバリアダイオード100の断面図であり、図1(b)はトレンチショットキバリアダイオード100の平面図である。なお、図1(b)においては、バリア電極層126及びアノード電極層128の図示を省略している。

【0022】

実施形態1に係るトレンチショットキバリアダイオード100は、耐圧が100Vのトレンチショットキバリアダイオード(耐圧100V級のトレンチショットキバリアダイオード)であって、 n^+ 型半導体層(第1半導体層)112及び n^- 型ドリフト層(第2半導体層)114を有する半導体基板110と、半導体基板110の第1主面側に形成され 10
トレンチ116内に誘電体層118を介して導電体層120が埋め込まれた構造を有する複数のトレンチ領域122と、複数のトレンチ領域122が設けられていない部分に設けられたメサ領域124と、半導体基板110の第1主面上に設けられメサ領域124との間でショットキ接合を形成するバリア金属層126と、バリア金属層126上に設けられたアノード電極層128と、半導体基板110の第2主面上に設けられたカソード電極層130とを備える。誘電体層118は、絶縁体物質からなる。

【0023】

実施形態1に係るトレンチショットキバリアダイオード100においては、活性領域において 200 A/cm^2 の電流密度で順方向電流を流したとき、「導電体層120、誘電体層118及びメサ領域124により構成されるコンデンサC」に十分な量の電荷が充電 20
される結果、メサ領域124に存在する総キャリア量 Q_{acc} と、メサ領域124の不純物に起因するキャリア量 Q_{dop} とが「 $Q_{acc}/Q_{dop} \geq 2.0$ 」の関係式を満たす(後述する図16参照。)

【0024】

実施形態1に係るトレンチショットキバリアダイオード100においては、誘電体層118の層厚 T_{ox} が 100 nm 以下(例えば、 25 nm 、 50 nm 、 75 nm 、 100 nm)である。

【0025】

実施形態1に係るトレンチショットキバリアダイオード100においては、メサ領域124の幅 W_m が $1.5\text{ }\mu\text{m}$ 以下(例えば、 $0.5\text{ }\mu\text{m}$ 、 $1.0\text{ }\mu\text{m}$ 、 $1.5\text{ }\mu\text{m}$)である 30

【0026】

実施形態1に係るトレンチショットキバリアダイオード100においては、活性領域において 200 A/cm^2 の電流密度で順方向電流を流したとき、メサ領域124の20%以上の領域にキャリアが蓄積されることが好ましい。

【0027】

実施形態1に係るトレンチショットキバリアダイオード100においては、活性領域において 200 A/cm^2 の電流密度で順方向電流を流したとき、トレンチ領域122とメサ領域124との境界近傍におけるキャリア濃度が、メサ領域124の不純物に起因するキャリア濃度の20倍以上である。 40

【0028】

n^+ 型半導体層112の厚さは例えば $400\text{ }\mu\text{m}$ であり、 n^- 型ドリフト層114の厚さは例えば $8.0\text{ }\mu\text{m}$ であり、トレンチ116の深さは例えば $2.0\text{ }\mu\text{m}$ であり、トレンチ116の幅は例えば $0.35\text{ }\mu\text{m}$ である。 n^+ 型半導体層112及び n^- 型ドリフト層114はシリコンからなる。

【0029】

n^+ 型半導体層112の不純物濃度は例えば $1.0 \times 10^{19}\text{ cm}^{-3}$ であり、 n^- 型ドリフト層114の不純物濃度は例えば $2.5 \times 10^{15}\text{ cm}^{-3}$ である。

【0030】

導電体層120は例えばポリシリコンからなり、誘電体層118は例えば熱酸化により 50

形成された二酸化ケイ素膜からなり、バリア金属層 126 は例えばモリブデン膜（バリアハイト B : 0.68 eV）からなり、アノード電極層 128 は例えばアルミニウム膜及びニッケル膜等の積層膜からなり、カソード電極層 130 は例えばチタン膜、ニッケル膜及び銀膜の積層膜からなる。

【0031】

なお、実施形態 1 に係るトレンチショットキバリアダイオード 100 は、トレンチショットキバリアダイオード 100 を上から見たときに、図 1 (b) に示すように、メサ領域 124 がストライプ状に配列されたストライプ構造を有する。

【0032】

2. トレンチショットキバリアダイオードの効果

図 2 は、実施形態 1 に係るトレンチショットキバリアダイオード 100 に順方向電圧を印加したときの様子を示す図である。図 3 は、実施形態 1 に係るトレンチショットキバリアダイオード 100 に逆方向電圧を印加したときの様子を示す図である。

【0033】

実施形態 1 に係るトレンチショットキバリアダイオード 100 によれば、活性領域において 200 A/cm^2 の電流密度で順方向電流を流したとき、メサ領域 124 に存在する総キャリア量 Q_{acc} と、メサ領域 124 の不純物に起因するキャリア量 Q_{dop} とが「 $Q_{acc}/Q_{dop} \geq 2.0$ 」の関係式を満たすことから、図 2 に示すように、 200 A/cm^2 の電流密度で順方向電流を流したとき、「導電体層 120、誘電体層 118 及びメサ領域 124 により構成されるコンデンサ C」に十分な量の電荷が充電されることから、メサ領域 124 に存在する多数キャリアの濃度を高くすることが可能となる。その結果、メサ領域 124 の幅を狭くしていても、メサ領域 124 の抵抗がそれほど高くなることなく、耐圧 VBR を確保しながら順方向降下電圧 VF と逆方向もれ電流 IR のトレードオフを大幅に改善することが可能となる。

【0034】

実施形態 1 に係るトレンチショットキバリアダイオード 100 によれば、図 1 (a) 及び図 1 (b) に示すように、メサ領域 124 がトレンチ領域 122 に囲まれているため、図 3 に示すように、逆バイアス時にはメサ領域 124 の内部が空乏化してピンチオフされ、逆方向もれ電流 IR を小さくしたり耐圧 VBR を高くしたりすることが可能となる。

【0035】

3. トレンチショットキバリアダイオードの製造方法

図 4 及び図 5 は、実施形態 1 に係るショットキバリアダイオードの製造方法を説明するために示す図である。図 4 (a) ~ 図 4 (d) 及び図 5 (a) ~ 図 5 (d) は各工程図である。

実施形態 1 に係るトレンチショットキバリアダイオード 100 は、図 4 及び図 5 に示すように、以下の工程 (a) ~ 工程 (h) を行うことによって製造することができる。

【0036】

(a) 半導体基板準備工程

まず、 n^+ 型半導体層 112 (厚さ: $400 \mu\text{m}$ 、不純物濃度: $1.0 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$) の上面に n^- 型ドリフト層 114 (厚さ: $8.0 \mu\text{m}$ 、不純物濃度: $2.5 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$) が形成された半導体基板 110 を準備する (図 4 (a) 参照。)

【0037】

(b) トレンチ形成工程

その後、 n^- 型ドリフト領域 114 の所定領域にトレンチ 116 (深さ: $2.0 \mu\text{m}$ 、幅: $0.35 \mu\text{m}$) を形成する (図 4 (b) 参照。)

【0038】

(c) 誘電体層形成工程

その後、熱酸化により、トレンチ 116 の内面 (側面及び底面) に二酸化ケイ素からなる誘電体層 118 (厚さ: 50 nm) を形成し、 n^- 型ドリフト層 114 の表面に二酸化ケイ素からなる絶縁体層 (厚さ: 50 nm) を形成する (図 4 (c) 参照。)

10

20

30

40

50

【 0 0 3 9 】

(d) ポリシリコン層形成工程

その後、トレンチ 1 1 6 の内面に形成された誘電体層 1 1 8 の内面及び n^- 型ドリフト層 1 1 4 の表面に形成された絶縁体層の上に CVD によりポリシリコン膜 1 2 1 を形成する (図 4 (d) 参照。)。

【 0 0 4 0 】

(e) トレンチ領域形成工程

その後、CMP (Chemical Mechanical Polishing) により所定量のポリシリコン膜を除去するとともに、 n^- 型ドリフト層 1 1 4 の表面に形成された二酸化ケイ素膜を除去することにより、トレンチ 1 1 6 内に誘電体層 1 1 8 を介して導電体層 1 2 0 が埋め込まれた構造を有するトレンチ領域 1 2 2 を形成する (図 5 (a) 参照。)。このとき、シリコン基板 1 1 0 の第 1 主面側におけるトレンチ領域 1 2 2 が設けられていない部分にはメサ領域 1 2 4 が形成されることになる。

10

【 0 0 4 1 】

(f) バリア金属層形成工程

その後、半導体基板 1 1 0 の第 1 主面上に、モリブデン膜からなるバリア金属層 1 2 6 を形成する (図 5 (b) 参照。)。バリア金属層 1 2 6 は、メサ領域 1 2 4 との間でショットキ接合を形成する。

【 0 0 4 2 】

(g) アノード電極層形成工程

その後、バリア金属層 1 2 6 の上方に、蒸着法により、アルミニウム膜及びニッケル膜等の積層膜からなるアノード電極層 1 2 8 を形成する (図 5 (c) 参照。)。

20

【 0 0 4 3 】

(h) カソード電極層形成工程

その後、 n^+ 型半導体層 1 1 2 の下方に、チタン膜、ニッケル膜及び銀膜の積層膜からなるカソード電極層 1 3 0 を形成する (図 5 (d) 参照。)。

【 0 0 4 4 】

以上の工程を行うことによって、実施形態 1 に係るトレンチショットキバリアダイオード 1 0 0 を製造することができる。

【 0 0 4 5 】

[実施形態 2]

実施形態 2 に係るトレンチショットキバリアダイオード 1 0 2 (図示せず。) は、基本的には実施形態 1 に係るトレンチショットキバリアダイオード 1 0 0 と同様の構成を有するが、トレンチショットキバリアダイオードの耐圧が実施形態 1 に係るトレンチショットキバリアダイオード 1 0 0 の場合とは異なる。すなわち、実施形態 2 に係るトレンチショットキバリアダイオード 1 0 2 は、耐圧が 6 0 V のトレンチショットキバリアダイオード (耐圧 6 0 V 級のトレンチショットキバリアダイオード) である。具体的には、 n^- 型ドリフト層の厚さを例えば $6.5 \mu\text{m}$ とし、 n^- 型ドリフト層の不純物濃度を例えば $5.25 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ としたトレンチショットキバリアダイオードである。

30

【 0 0 4 6 】

そして、実施形態 2 に係るトレンチショットキバリアダイオード 1 0 2 においては、活性領域において 200 A/cm^2 の電流密度で順方向電流を流したとき、「導電体層 1 2 0、誘電体層 1 1 8 及びメサ領域 1 2 4 により構成されるコンデンサ C」に十分な量の電荷が充電される結果、メサ領域 1 2 4 に存在する総キャリア量 Q_{acc} と、メサ領域 1 2 4 の不純物に起因するキャリア量 Q_{dop} とが「 $Q_{acc} / Q_{dop} = 1.5$ 」の関係式を満たす (後述する図 1 7 参照。)。

40

【 0 0 4 7 】

実施形態 2 に係るトレンチショットキバリアダイオード 1 0 2 においては、活性領域において 200 A/cm^2 の電流密度で順方向電流を流したとき、メサ領域 1 2 4 の 2 0 % 以上の領域にキャリアが蓄積されることとなる。

50

【 0 0 4 8 】

実施形態 2 に係るトレンチショットキバリアダイオード 1 0 2 においては、活性領域において 200 A/cm^2 の電流密度で順方向電流を流したとき、トレンチ領域 1 2 2 とメサ領域 1 2 4 との境界近傍におけるキャリア濃度が、メサ領域 1 2 4 の不純物に起因するキャリア濃度の 2 0 倍以上となる。

【 0 0 4 9 】

このように、実施形態 2 に係るトレンチショットキバリアダイオード 1 0 2 は、トレンチショットキバリアダイオードの耐圧が実施形態 1 に係るトレンチショットキバリアダイオード 1 0 0 の場合とは異なるが、実施形態 1 に係るトレンチショットキバリアダイオード 1 0 0 の場合と同様に、 200 A/cm^2 の電流密度で順方向電流を流したとき、「導電体層 1 2 0、誘電体層 1 1 8 及びメサ領域 1 2 4 により構成されるコンデンサ C」に十分な量の電荷が充電されることから、メサ領域 1 2 4 に存在する多数キャリアの濃度を高くすることが可能となる。その結果、メサ領域 1 2 4 の幅を狭くしていても、メサ領域 1 2 4 の抵抗がそれほど高くなることがなくなるため、耐圧 V B R を確保しながら順方向降下電圧 V F と逆方向もれ電流 I R のトレードオフを大幅に改善することが可能となる。また、メサ領域 1 2 4 がトレンチ領域 1 2 2 に囲まれているため、逆バイアス時にはメサ領域 1 2 4 の内部が空乏化してピンチオフされ、逆方向もれ電流 I R を小さくしたり耐圧 V B R を高くしたりすることが可能となる。

【 0 0 5 0 】

なお、実施形態 2 に係るトレンチショットキバリアダイオード 1 0 2 は、トレンチショットキバリアダイオードの耐圧以外の点については、実施形態 1 に係るトレンチショットキバリアダイオード 1 0 0 の場合と同様の構成を有するため、実施形態 1 に係るトレンチショットキバリアダイオード 1 0 0 が有する効果のうち該当する効果を有する。

【 0 0 5 1 】

〔実施形態 3〕

実施形態 3 に係るトレンチショットキバリアダイオード 1 0 4 (図示せず。) は、基本的には実施形態 1 又は 2 に係るトレンチショットキバリアダイオード 1 0 0 , 1 0 2 と同様の構成を有するが、トレンチショットキバリアダイオードの耐圧が実施形態 1 又は 2 に係るトレンチショットキバリアダイオード 1 0 0 , 1 0 2 の場合とは異なる。すなわち、実施形態 3 に係るトレンチショットキバリアダイオード 1 0 4 は、耐圧が 4 0 V のトレンチショットキバリアダイオード (耐圧 4 0 V 級のトレンチショットキバリアダイオード) である。具体的には、 n^- 型ドリフト層の厚さを例えば $5.0 \mu\text{m}$ とし、 n^- 型ドリフト層の不純物濃度を例えば $9.0 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ としたトレンチショットキバリアダイオードである。

【 0 0 5 2 】

そして、実施形態 3 に係るトレンチショットキバリアダイオード 1 0 4 においては、活性領域において 200 A/cm^2 の電流密度で順方向電流を流したとき、「導電体層 1 2 0、誘電体層 1 1 8 及びメサ領域 1 2 4 により構成されるコンデンサ C」に十分な量の電荷が充電される結果、メサ領域 1 2 4 に存在する総キャリア量 Q_{acc} と、メサ領域 1 2 4 の不純物に起因するキャリア量 Q_{dop} とが「 $Q_{acc} / Q_{dop} = 1.25$ 」の関係式を満たす (後述する図 1 8 参照。) 。

【 0 0 5 3 】

実施形態 3 に係るトレンチショットキバリアダイオード 1 0 4 においては、活性領域において 200 A/cm^2 の電流密度で順方向電流を流したとき、メサ領域 1 2 4 の 2 0 % 以上の領域にキャリアが蓄積されることとなる。

【 0 0 5 4 】

実施形態 3 に係るトレンチショットキバリアダイオード 1 0 6 においては、活性領域において 200 A/cm^2 の電流密度で順方向電流を流したとき、トレンチ領域 1 2 2 とメサ領域 1 2 4 との境界近傍におけるキャリア濃度が、メサ領域 1 2 4 の不純物に起因するキャリア濃度の 2 0 倍以上となる。

10

20

30

40

50

【 0 0 5 5 】

このように、実施形態3に係るトレンチショットキバリアダイオード104は、トレンチショットキバリアダイオードの耐圧が実施形態1又は2に係るトレンチショットキバリアダイオード100、102の場合とは異なるが、実施形態1又は2に係るトレンチショットキバリアダイオード100、102の場合と同様に、200A/cm²の電流密度で順方向電流を流したとき、「導電体層120、誘電体層118及びメサ領域124により構成されるコンデンサC」に十分な量の電荷が充電されることから、メサ領域124に存在する多数キャリアの濃度を高くすることが可能となる。その結果、メサ領域124の幅を狭くしていても、メサ領域124の抵抗がそれほど高くなることなく、耐圧VBRを確保しながら順方向降下電圧VFと逆方向もれ電流IRのトレードオフを大幅に改善することが可能となる。また、メサ領域124がトレンチ領域122に囲まれているため、逆バイアス時にはメサ領域124の内部が空乏化してピンチオフされ、逆方向もれ電流IRを小さくしたり耐圧VBRを高くしたりすることが可能となる。

10

【 0 0 5 6 】

なお、実施形態3に係るトレンチショットキバリアダイオード104は、トレンチショットキバリアダイオードの耐圧以外の点については、実施形態1又は2に係るトレンチショットキバリアダイオード100、102の場合と同様の構成を有するため、実施形態1又は2に係るトレンチショットキバリアダイオード100、102が有する効果のうち該当する効果を有する。

20

【 0 0 5 7 】

なお、実施形態1～3に係るトレンチショットキバリアダイオード100、102、104を構成するにあたっては、以下の試験例1～8の結果を参考にした。

【 0 0 5 8 】

[試験例1]

試験例1は、メサ領域の幅Wm及び誘電体層の厚さToxを変化させることにより、メサ領域におけるキャリア蓄積領域がどのように変化するかを明らかにするための試験例である。試験は、基本的には実施形態1に係るトレンチショットキバリアダイオードと同様の構成のトレンチショットキバリアダイオードについて、メサ領域の幅Wm及び誘電体層の厚さToxをそれぞれ変化させながらメサ領域におけるキャリア濃度をシミュレーションすることによって行った。シミュレーションは、TMA社のデバイスシミュレータMEDICIを用いて行った。試験例1は、以下の試料(試料1～24)について行った。

30

【 0 0 5 9 】

試料名	メサ領域の幅Wm	誘電体層の厚さTox
試料1	0.5 μm	25 nm
試料2	1.0 μm	25 nm
試料3	1.5 μm	25 nm
試料4	2.0 μm	25 nm
試料5	0.5 μm	50 nm
試料6	1.0 μm	50 nm
試料7	1.5 μm	50 nm
試料8	2.0 μm	50 nm
試料9	0.5 μm	75 nm
試料10	1.0 μm	75 nm
試料11	1.5 μm	75 nm
試料12	2.0 μm	75 nm

40

50

試料 1 3	0 . 5 μ m	1 0 0 n m
試料 1 4	1 . 0 μ m	1 0 0 n m
試料 1 5	1 . 5 μ m	1 0 0 n m
試料 1 6	2 . 0 μ m	1 0 0 n m
- - - - -		
試料 1 7	0 . 5 μ m	1 5 0 n m
試料 1 8	1 . 0 μ m	1 5 0 n m
試料 1 9	1 . 5 μ m	1 5 0 n m
試料 2 0	2 . 0 μ m	1 5 0 n m
- - - - -		
試料 2 1	0 . 5 μ m	2 0 0 n m
試料 2 2	1 . 0 μ m	2 0 0 n m
試料 2 3	1 . 5 μ m	2 0 0 n m
試料 2 4	2 . 0 μ m	2 0 0 n m
- - - - -		

10

【 0 0 6 0 】

図 6 は、試料 1 ~ 4 におけるキャリア蓄積状態を示す図である（試験例 1）。図 7 は、試料 5 ~ 8 におけるキャリア蓄積状態を示す図である（試験例 1）。図 8 は、試料 9 ~ 12 におけるキャリア蓄積状態を示す図である（試験例 1）。図 9 は、試料 13 ~ 16 におけるキャリア蓄積状態を示す図である（試験例 1）。図 10 は、試料 17 ~ 20 における

20

【 0 0 6 1 】

その結果、図 6 ~ 図 11 から明らかなように、誘電体層の厚さ T_{ox} が薄くなるほど、トレンチ領域とメサ領域との境界近傍におけるキャリア濃度が高くなることが分かった。また、メサ領域の幅 W_m が狭くなるほど蓄積キャリアがメサ領域のより広い領域に広がっていくことが分かった。このことから、誘電体層の厚さ T_{ox} をできるだけ薄くするとともにメサ領域の幅 W_m をできるだけ狭くすることにより、メサ領域に存在する多数キャリアの濃度を高くすることが可能となることが分かった。

30

【 0 0 6 2 】

[試験例 2 ~ 4]

試験例 2 は、メサ領域の幅 W_m 及び誘電体層の厚さ T_{ox} を変化させることにより、順方向降下電圧 V_F がどのように変化するかを明らかにするための試験例である。試験例 3 は、メサ領域の幅 W_m 及び誘電体層の厚さ T_{ox} を変化させることにより、逆方向もれ電流 I_R がどのように変化するかを明らかにするための試験例である。試験例 4 は、メサ領域の幅 W_m 及び誘電体層の厚さ T_{ox} を変化させることにより、耐圧 V_{BR} がどのように変化するかを明らかにするための試験例である。試験は、試験例 1 で用いた試料（試料 1 ~ 24）について、順方向降下電圧 V_F 、逆方向もれ電流 I_R 及び耐圧 V_{BR} をシミュレーションすることによって行った。

40

【 0 0 6 3 】

図 12 は、メサ領域の幅 W_m と順方向降下電圧 V_F との関係を示す図である（試験例 2）。図 13 は、メサ領域の幅 W_m と逆方向もれ電流 I_R との関係を示す図である（試験例 3）。図 14 は、メサ領域の幅 W_m と耐圧 V_{BR} との関係を示す図である（試験例 4）。図 15 は、誘電体層の厚さ T_{ox} と耐圧 V_{BR} との関係を示す図である（試験例 4）。

50

【 0 0 6 4 】

その結果、試験例 2 からは、試料 1 ~ 1 2 (T_{ox} : 2 5 n m、5 0 n m、7 5 n m) においては、メサ領域の幅 W_m が狭くなるほど、順方向降下電圧 V_F が低くなることが分かった (図 1 2 参照。)。また、試料 1 3 ~ 1 6 (T_{ox} : 1 0 0 n m) においては、メサ領域の幅 W_m の広狭によらず、順方向降下電圧 V_F が変化しないことが分かった。また、試料 1 7 ~ 2 4 (T_{ox} : 1 5 0 n m、2 0 0 n m) においては、メサ領域の幅 W_m が狭くなるほど、順方向降下電圧 V_F が高くなることが分かった。また、すべての試料 (試料 1 ~ 2 4) において、誘電体層 1 1 8 の厚さが薄くなるほど、順方向降下電圧 V_F が低くなることが分かった。

【 0 0 6 5 】

また、試験例 3 からは、すべての試料 (試料 1 ~ 2 4) において、メサ領域の幅 W_m が狭くなるほど、逆方向もれ電流 I_R が低くなることが分かった (図 1 3 参照。)。

【 0 0 6 6 】

また、試験例 4 からは、すべての試料 (試料 1 ~ 2 4) において、1 0 0 V の耐圧が確保されていることが分かった (図 1 4 及び図 1 5 参照。)。なお、図 1 4 からは、メサ領域の幅 W_m が広くなるに従って耐圧 V_{BR} が低くなる傾向が見られた。また、図 1 5 からは、誘電体層の厚さ T_{ox} が薄くなるに従って耐圧 V_{BR} が低くなる傾向が見られた。

【 0 0 6 7 】

[試験例 5 ~ 7]

試験例 5 ~ 7 は、メサ領域の幅 W_m 及び誘電体層の厚さ T_{ox} を変化させることにより、「 Q_{acc} / Q_{dop} 」の値及び順方向降下電圧 V_F がどのように変化するかを明らかにするための試験例である。試験は、試験例 5 においては、試験例 1 で用いた試料 (試料 1 ~ 2 4) について、 $200 A / cm^2$ の電流密度で順方向電流を流したときの順方向降下電圧 V_F 及び「 Q_{acc} / Q_{dop} 」の値をシミュレーションすることによって行った。また、試験例 6 においては、耐圧が 6 0 V のトレンチショットキバリアダイオードからなる試料 (試料 1 a ~ 2 4 a) について、 $200 A / cm^2$ の電流密度で順方向電流を流したときの順方向降下電圧 V_F 及び「 Q_{acc} / Q_{dop} 」の値をシミュレーションすることによって行った。また、試験例 7 においては、耐圧が 4 0 V のトレンチショットキバリアダイオードからなる試料 (試料 1 b ~ 2 4 b) について、 $200 A / cm^2$ の電流密度で順方向電流を流したときの順方向降下電圧 V_F 及び「 Q_{acc} / Q_{dop} 」の値をシミュレーションすることによって行った。なお、試料 1 a ~ 2 4 a における誘電体層の厚さ T_{ox} 及びメサ領域の幅 W_m は、それぞれ試料 1 ~ 2 4 の場合と同様とした。また、試料 1 b ~ 2 4 b における誘電体層の厚さ T_{ox} 及びメサ領域の幅 W_m も、それぞれ試料 1 ~ 2 4 の場合と同様とした。

【 0 0 6 8 】

図 1 6 は、耐圧 1 0 0 V のトレンチショットキバリアダイオードの場合の「 Q_{acc} / Q_{dop} 」と順方向降下電圧 V_F との関係を示す図である (試験例 5)。なお、図 1 6 において、「 Q_{acc} / Q_{dop} 」と順方向降下電圧 V_F のプロットのうち破線の円形で囲んだプロットは、耐圧 V_{BR} が 1 0 0 V 以上 1 2 0 V 未満のものである。図 1 7 は、耐圧 6 0 V のトレンチショットキバリアダイオードの場合の「 Q_{acc} / Q_{dop} 」と順方向降下電圧 V_F との関係を示す図である (試験例 6)。なお、図 1 7 において、「 Q_{acc} / Q_{dop} 」と順方向降下電圧 V_F のプロットのうち破線の円形で囲んだプロットは、耐圧 V_{BR} が 6 0 V 以上 7 2 V 未満のものである。図 1 8 は、耐圧 4 0 V のトレンチショットキバリアダイオードの場合の「 Q_{acc} / Q_{dop} 」と順方向降下電圧 V_F との関係を示す図である (試験例 7)。なお、図 1 8 において、「 Q_{acc} / Q_{dop} 」と順方向降下電圧 V_F のプロットのうち破線の円形で囲んだプロットは、耐圧 V_{BR} が 4 0 V 以上 5 0 V 未満のものである。

【 0 0 6 9 】

その結果、試験例 5 からは、耐圧 1 0 0 V のトレンチショットキバリアダイオードにおいては、試料 1 ~ 4、試料 5 ~ 8、試料 9 ~ 1 2 及び試料 1 3 ~ 1 6 については、「 Q_a

10

20

30

40

50

「 cc/Q_{dop} 」の値が大きくなるほど（すなわちメサ領域に蓄積されるキャリアが多くなれば多くなるほど）順方向降下電圧 V_F が低くなることが分かった（図16参照。）。また、試料17～20については、「 Q_{acc}/Q_{dop} 」の値が大きくなるに従って順方向降下電圧 V_F がいったん低くなり、その後ほぼ一定の値になることが分かった。また、試料21～24については、「 Q_{acc}/Q_{dop} 」の値が大きくなるに従って順方向降下電圧 V_F がいったん低くなり、その後急激に高くなることが分かった。

【0070】

また、「 $Q_{acc}/Q_{dop} = 2.0$ 」を満たす場合に、耐圧 V_{BR} を確保しながら順方向降下電圧 V_F と逆方向もれ電流 I_R のトレードオフを大幅に改善することが可能なトレンチショットキバリアダイオードとなることも分かった。なお、この場合、「 Q_{acc}/Q_{dop} 」を大きくすることが順方向降下電圧を低減するのに役立つという観点から言えば、誘電体層の厚さ T_{ox} が150nm以下であることが好ましく、100nm以下であることがより好ましいことも分かった。

10

【0071】

また、試験例6からは、耐圧60Vのトレンチショットキバリアダイオードにおいては、試料1a～4a、試料5a～8a及び試料9a～12aについては、「 Q_{acc}/Q_{dop} 」の値が大きくなるほど（すなわちメサ領域に蓄積されるキャリアが多くなれば多くなるほど）順方向降下電圧 V_F が低くなることが分かった（図17参照。）。また、試料13a～16aについては、「 Q_{acc}/Q_{dop} 」の値が大きくなるに従って順方向降下電圧 V_F がいったん低くなり、その後若干高くなることが分かった。また、試料17a～試料20a及び試料21a～24aについては、「 Q_{acc}/Q_{dop} 」の値が大きくなるに従って順方向降下電圧 V_F がいったん低くなり、その後急激に高くなることが分かった。

20

【0072】

また、「 $Q_{acc}/Q_{dop} = 1.5$ 」を満たす場合に、耐圧 V_{BR} を確保しながら順方向降下電圧 V_F と逆方向もれ電流 I_R のトレードオフを大幅に改善することが可能なトレンチショットキバリアダイオードとなることが分かった。なお、この場合、「 Q_{acc}/Q_{dop} 」を大きくすることが順方向降下電圧を低減するのに役立つという観点から言えば、誘電体層の厚さ T_{ox} が100nm以下であることが好ましく、75nm以下であることがより好ましいことも分かった。

30

【0073】

また、試験例7からは、耐圧40Vのトレンチショットキバリアダイオードにおいては、試料1b～4b及び試料5b～8bについては、「 Q_{acc}/Q_{dop} 」の値が大きくなるほど（すなわちメサ領域に蓄積されるキャリアが多くなれば多くなるほど）順方向降下電圧 V_F が低くなることが分かった（図18参照。）。また、試料9b～12bについては、「 Q_{acc}/Q_{dop} 」の値が大きくなるに従って順方向降下電圧 V_F がいったん低くなり、その後ほぼ一定の値になることが分かった。また、試料13b～16bについては、「 Q_{acc}/Q_{dop} 」の値が大きくなるに従って順方向降下電圧 V_F がいったん低くなり、その後若干高くなることが分かった。また、試料17b～試料20b及び試料21b～24bについては、「 Q_{acc}/Q_{dop} 」の値が大きくなるに従って順方向降下電圧 V_F がいったん低くなり、その後急激に高くなることが分かった。

40

【0074】

また、「 $Q_{acc}/Q_{dop} = 1.25$ 」を満たす場合に、耐圧 V_{BR} を確保しながら順方向降下電圧 V_F と逆方向もれ電流 I_R のトレードオフを大幅に改善することが可能なトレンチショットキバリアダイオードとなることが分かった。なお、この場合、「 Q_{acc}/Q_{dop} 」を大きくすることが順方向降下電圧を低減するのに役立つという観点から言えば、誘電体層の厚さ T_{ox} が100nm以下であることが好ましく、75nm以下であることがより好ましいことも分かった。

【0075】

[試験例8]

50

試験例 8 は、耐圧が 100 V のトレンチショットキバリアダイオードにおいて、本発明のトレンチショットキバリアダイオードが、順方向降下電圧 V_F と逆方向もれ電流 I_R のトレードオフを大幅に改善することが可能なトレンチショットキバリアダイオードであることを明らかにするための試験例である。試験は、試験例 1 で用いた試料（試料 1 ~ 24）について、順方向降下電圧 V_F 及び逆方向もれ電流 I_R をシミュレーションすることによって行った。

【0076】

図 19 は、順方向降下電圧 V_F と逆方向もれ電流 I_R との関係を示す図である（試験例 8）。

試験例 8 からは、試料 1 ~ 24 のうち、試料 1 ~ 16 においては、順方向降下電圧 V_F と逆方向もれ電流 I_R とのトレードオフ曲線が左下がり曲線又は上下に沿った直線となることから、順方向降下電圧 V_F と逆方向もれ電流 I_R のトレードオフが大幅に改善されていることが分かった（図 19 参照。）。

【0077】

[実施形態 4]

図 20 は、実施形態 4 に係るトレンチショットキバリアダイオード 106 の断面図である。

実施形態 4 に係るトレンチショットキバリアダイオード 106 は、基本的には実施形態 1 ~ 3 に係るトレンチショットキバリアダイオード 100, 102, 104 と同様の構成を有するが、誘電体層を構成する材料が実施形態 1 ~ 3 に係るトレンチショットキバリアダイオード 100, 102, 104 の場合とは異なる。すなわち、実施形態 4 に係るトレンチショットキバリアダイオード 106 においては、図 20 に示すように、誘電体層 118a を構成する材料が強誘電体材料（例えば、 Ta_2O_5 、PZT など。）からなる。

【0078】

このように、実施形態 4 に係るトレンチショットキバリアダイオード 106 は、誘電体層を構成する材料が実施形態 1 ~ 3 に係るトレンチショットキバリアダイオード 100, 102, 104 の場合とは異なるが、実施形態 1 ~ 3 に係るトレンチショットキバリアダイオード 100, 102, 104 の場合と同様に、 $200 A/cm^2$ の電流密度で順方向電流を流したとき、「導電体層 120、誘電体層 118a 及びメサ領域 124 により構成されるコンデンサ C」に十分な量の電荷が充電されることから、メサ領域に存在する多数キャリアの濃度を高くすることが可能となる。その結果、メサ領域の幅を狭くしていても、メサ領域の抵抗がそれほど高くなることがなくなるため、耐圧 V_{BR} を確保しながら順方向降下電圧 V_F と逆方向もれ電流 I_R のトレードオフを大幅に改善することが可能となる。また、メサ領域 124 がトレンチ領域 122 に囲まれているため、逆バイアス時にはメサ領域 124 の内部が空乏化してピンチオフされ、逆方向もれ電流 I_R を小さくしたり耐圧 V_{BR} を高くしたりすることが可能となる。

【0079】

また、実施形態 4 に係るトレンチショットキバリアダイオード 106 によれば、誘電体層 118a を構成する材料が強誘電体材料からなることから、順方向電流を流したとき、「導電体層 120、誘電体層 118a 及びメサ領域 124 により構成されるコンデンサ C」により一層多くの量の電荷が充電されることから、メサ領域 124 に存在する多数キャリアの量をより一層増大させることが可能となり、順方向降下電圧 V_F と逆方向もれ電流 I_R のトレードオフをより一層改善することが可能となる。

【0080】

なお、実施形態 4 に係るトレンチショットキバリアダイオード 106 は、誘電体層を構成する材料以外の点については、実施形態 1 ~ 3 に係るトレンチショットキバリアダイオード 100, 102, 104 の場合と同様の構成を有するため、実施形態 1 ~ 3 に係るトレンチショットキバリアダイオード 100, 102, 104 が有する効果のうち該当する効果を有する。

【0081】

10

20

30

40

50

[実施形態 5]

図 2 1 は、実施形態 5 に係るトレンチショットキバリアダイオード 1 0 8 の断面図である。

実施形態 5 に係るトレンチショットキバリアダイオード 1 0 8 は、基本的には実施形態 1 ~ 3 に係るトレンチショットキバリアダイオード 1 0 0 , 1 0 2 , 1 0 4 と同様の構成を有するが、トレンチの側壁の形状が実施形態 1 ~ 3 に係るトレンチショットキバリアダイオード 1 0 0 , 1 0 2 , 1 0 4 の場合とは異なる。すなわち、実施形態 5 に係るトレンチショットキバリアダイオード 1 0 8 においては、図 2 1 に示すように、トレンチの側壁の形状が凹凸形状からなる。

【 0 0 8 2 】

このように、実施形態 5 に係るトレンチショットキバリアダイオード 1 0 8 は、トレンチの側壁の形状が実施形態 1 ~ 3 に係るトレンチショットキバリアダイオード 1 0 0 , 1 0 2 , 1 0 4 の場合とは異なるが、実施形態 1 ~ 3 に係るトレンチショットキバリアダイオード 1 0 0 , 1 0 2 , 1 0 4 の場合と同様に、 200 A/cm^2 の電流密度で順方向電流を流したとき、「導電体層 1 2 0、誘電体層 1 1 8 b 及びメサ領域 1 2 4 により構成されるコンデンサ」に十分な量の電荷が充電されることから、メサ領域 1 2 4 に存在する多数キャリアの濃度を高くすることが可能となる。その結果、メサ領域の幅を狭くしていても、メサ領域の抵抗がそれほど高くなることなく、耐圧 V B R を確保しながら順方向降下電圧 V F と逆方向もれ電流 I R のトレードオフを大幅に改善することが可能となる。また、メサ領域 1 2 4 がトレンチ領域 1 2 2 に囲まれているため、逆バイアス時にはメサ領域 1 2 4 の内部が空乏化してピンチオフされ、逆方向もれ電流 I R を小さくしたり耐圧 V B R を高くしたりすることが可能となる。

【 0 0 8 3 】

また、実施形態 5 に係るトレンチショットキバリアダイオード 1 0 8 によれば、順方向電流を流したとき、「導電体層 1 2 0、誘電体層 1 1 8 b 及びメサ領域 1 2 4 により構成されるコンデンサ」により一層多くの量の電荷が充電されることから、メサ領域 1 2 4 に存在する多数キャリアの量をより一層増大させることが可能となり、順方向降下電圧 V F と逆方向もれ電流 I R のトレードオフをより一層改善することが可能となる。

【 0 0 8 4 】

なお、実施形態 5 に係るトレンチショットキバリアダイオード 1 0 8 は、トレンチの側壁の形状以外の点については、実施形態 1 ~ 3 に係るトレンチショットキバリアダイオード 1 0 0 , 1 0 2 , 1 0 4 の場合と同様の構成を有するため、実施形態 1 ~ 3 に係るトレンチショットキバリアダイオード 1 0 0 , 1 0 2 , 1 0 4 が有する効果のうち該当する効果を有する。

【 0 0 8 5 】

[実施形態 6]

実施形態 6 は、トレンチショットキバリアダイオードの製造方法に関する実施形態である。

上記した試験例 8 においては、試料 1 ~ 1 6 の場合に、順方向降下電圧 V F と逆方向もれ電流 I R のトレードオフが大幅に改善されていることを述べたが、このうち試料 1 ~ 1 2 の場合には、図 1 9 に示すように、順方向降下電圧 V F と逆方向もれ電流 I R とのトレードオフ曲線が左下がり曲線となることから、順方向降下電圧 V F と逆方向もれ電流 I R とのトレードオフをより一層改善することができる。従って、メサ領域の幅 W m 及びトレンチ内の誘電体層の層厚 T o x を決定するにあたり、順方向降下電圧 V F と逆方向もれ電流 I R とのトレードオフ曲線が左下がり曲線となる範囲からメサ領域の幅 W m 及びトレンチ内の誘電体層の層厚 T o x を決定するパラメータ決定工程を実施することにより、順方向降下電圧 V F と逆方向もれ電流 I R とのトレードオフをより一層改善することが可能となる。

【 0 0 8 6 】

以上、本発明を上記の実施形態に基づいて説明したが、本発明は上記の実施形態に限定

10

20

30

40

50

されるものではない。その趣旨を逸脱しない範囲において種々の様態において実施することが可能であり、例えば、次のような変形も可能である。

【0087】

(1) 上記した各実施形態においては、メサ領域124がストライプ状に配列されたストライプ構造を有するトレンチショットキバリアダイオードを用いて本発明を説明したが、本発明はこれに限定されるものではない。本発明は、メサ領域がマトリクス状に配列されたマトリクス構造を有するトレンチショットキバリアダイオードにも適用可能である。

【0088】

(2) 上記した各実施形態においては、半導体基板としてシリコン基板を用いたトレンチショットキバリアダイオードを用いて本発明を説明したが、本発明はこれに限定されるものではない。本発明は、半導体基板として炭化珪素基板、GaN基板を用いたトレンチショットキバリアダイオードにも適用可能である。

10

【0089】

(3) 上記した各実施形態においては、第1導電型をn型として本発明を説明したが、本発明はこれに限定されるものではない。第1導電型をp型としてもよい。

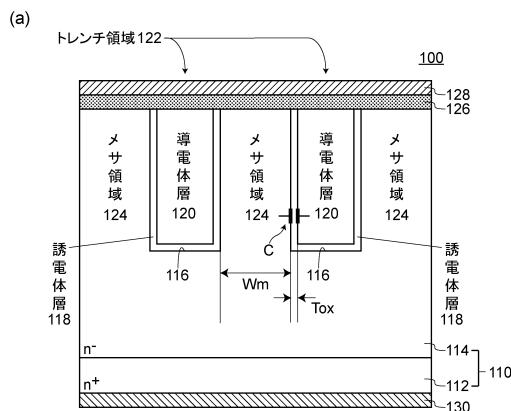
【符号の説明】

【0090】

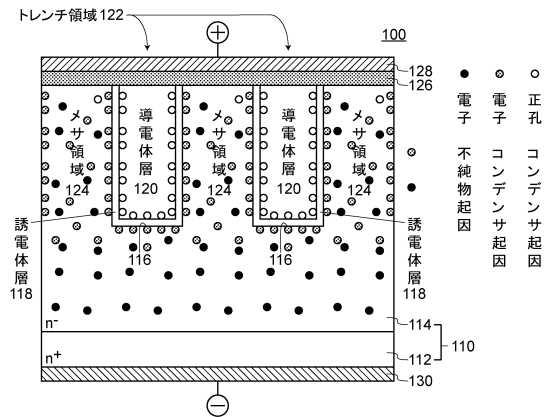
100, 900...トレンチショットキバリアダイオード、110, 910...半導体基板、112, 912...n⁺型半導体層、114, 914...n⁻型ドリフト層、116, 916...トレンチ、118, 118a, 118b...誘電体層、120, 920...導電体層、122, 922...トレンチ領域、124, 924...メサ領域、126, 926...バリア金属層、128, 928...アノード電極層、130, 930...カソード電極層、918...絶縁体層

20

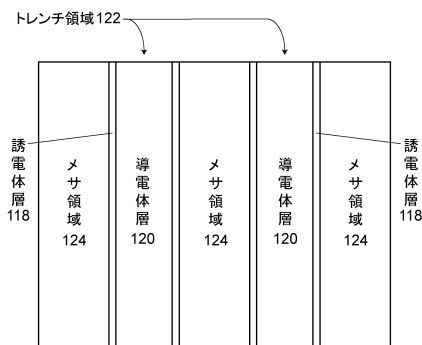
【図1】



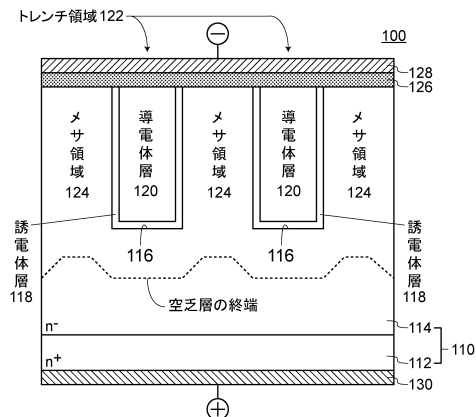
【図2】



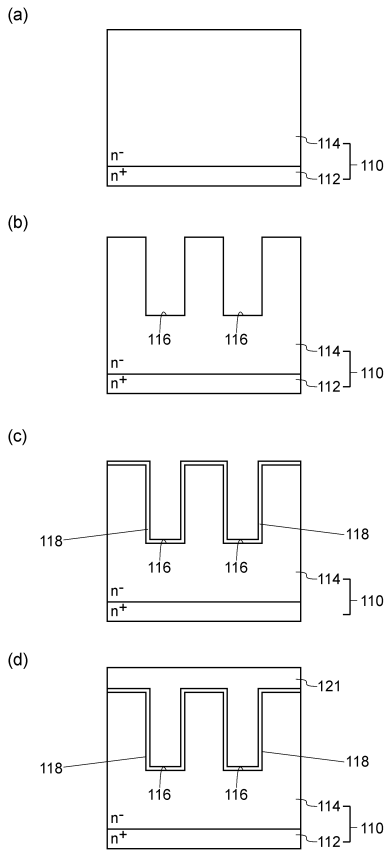
(b)



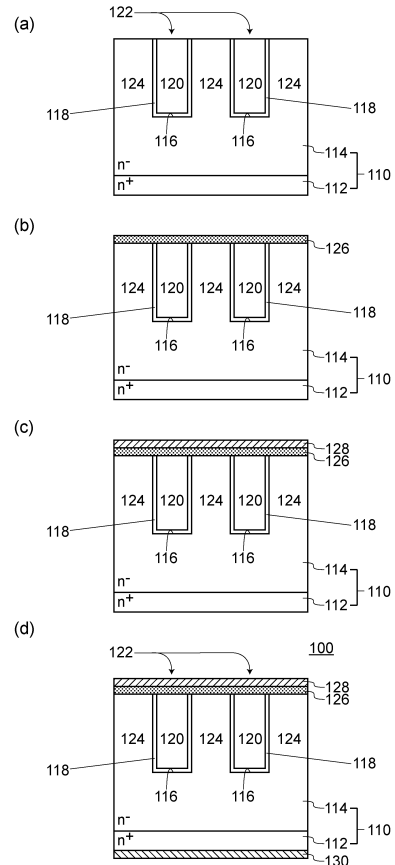
【図3】



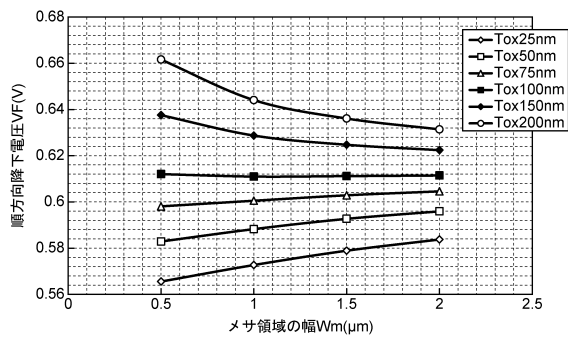
【図4】



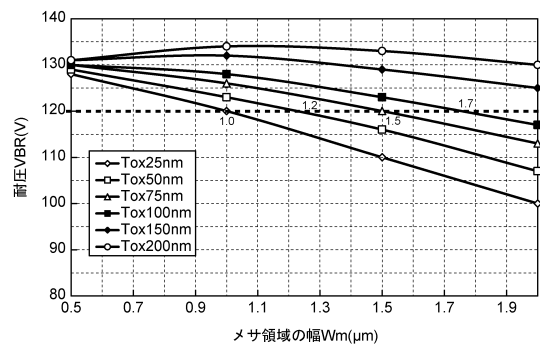
【図5】



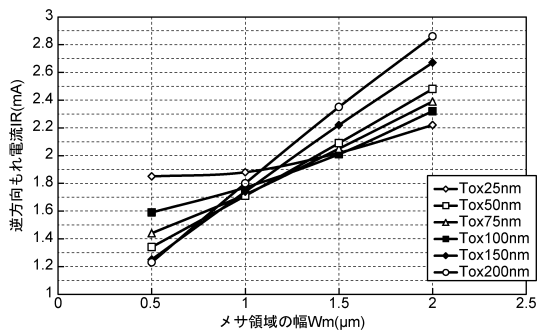
【図12】



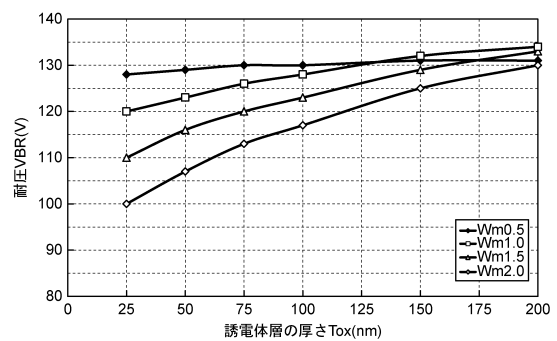
【図14】



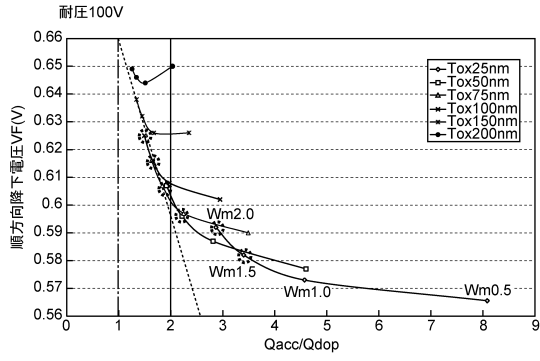
【図13】



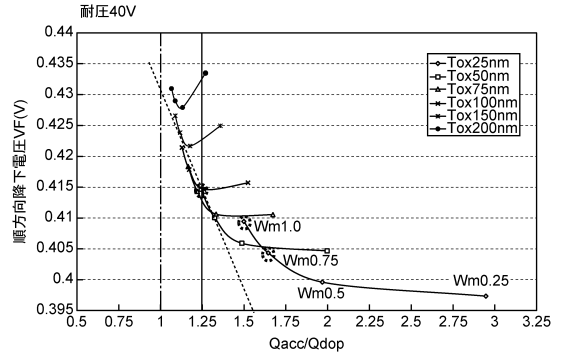
【図15】



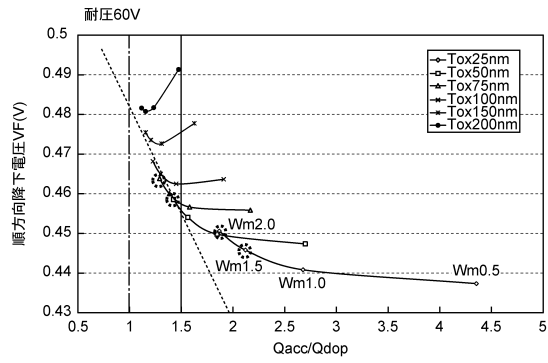
【図16】



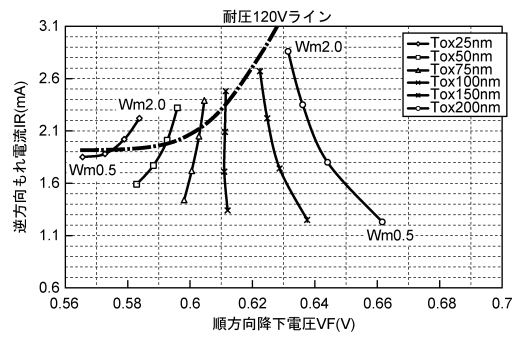
【図18】



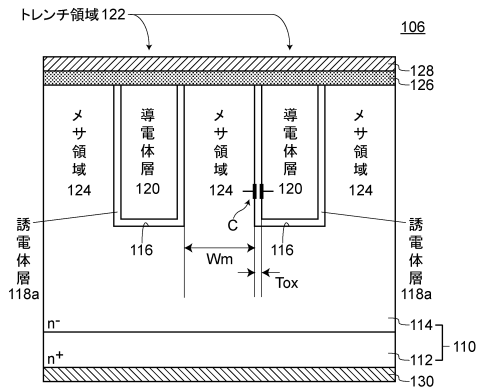
【図17】



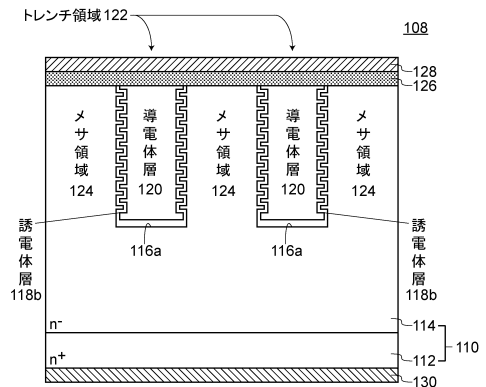
【図19】



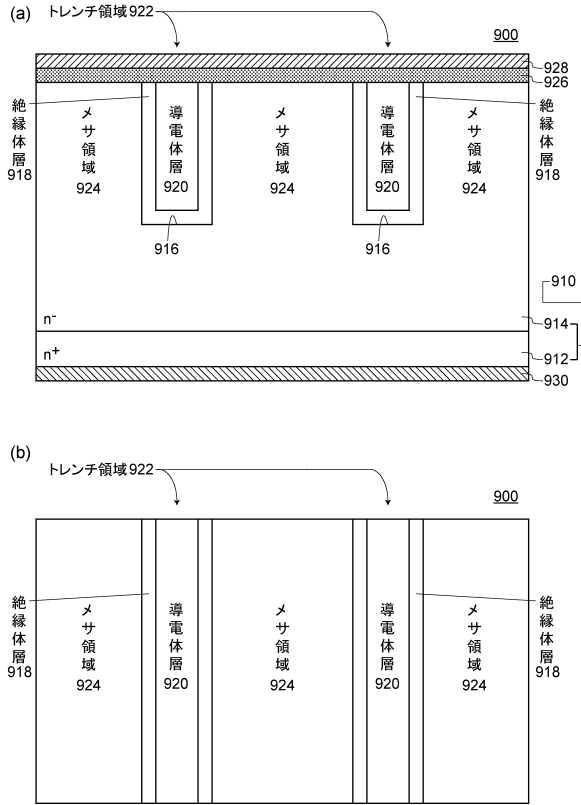
【図20】



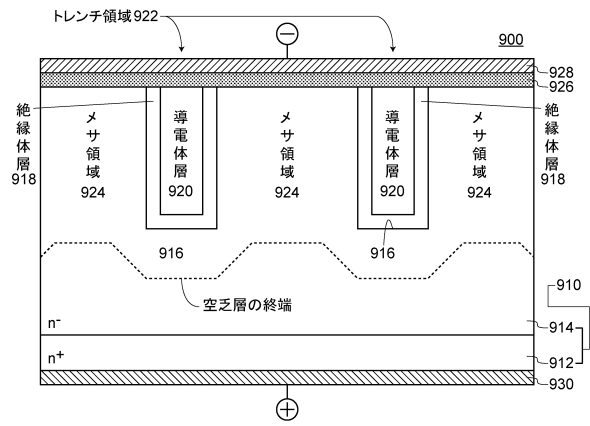
【図21】



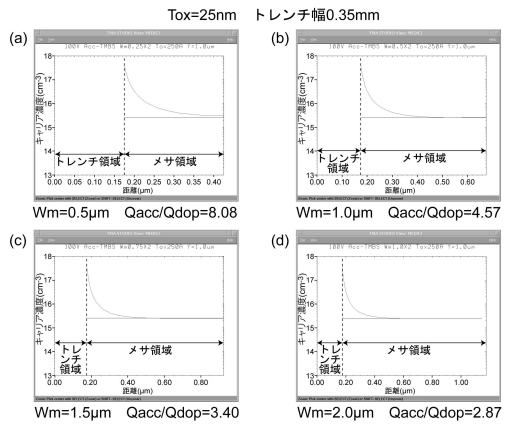
【図 2 2】



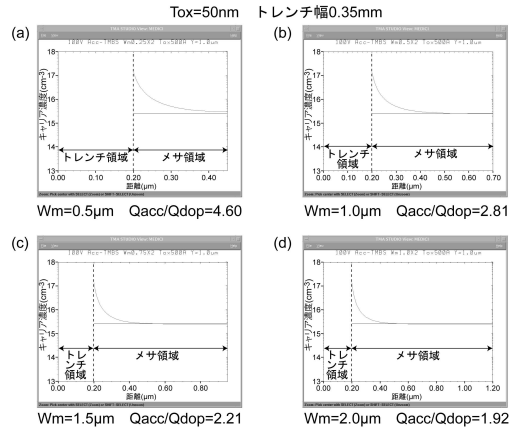
【図 2 3】



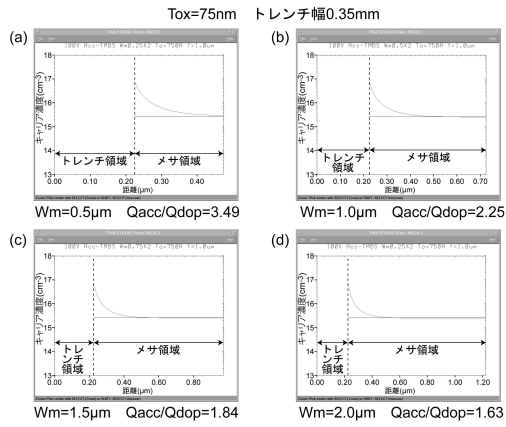
【図 6】



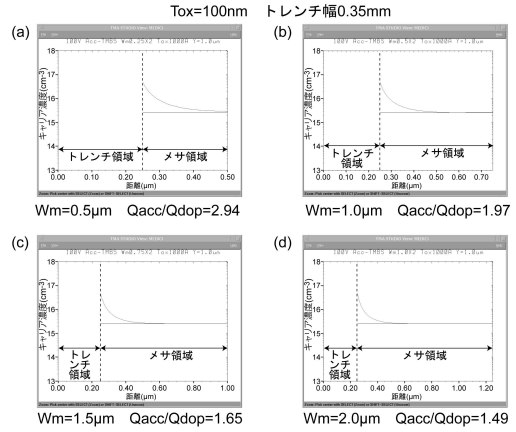
【図 7】



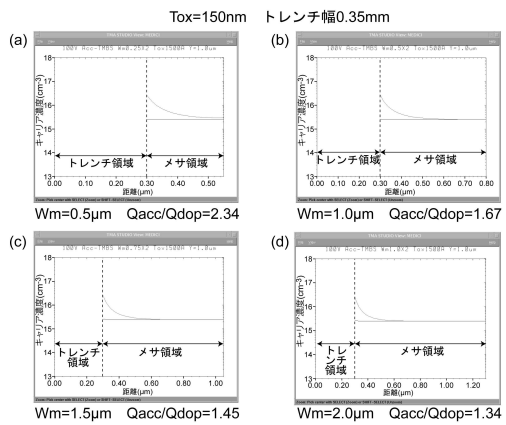
【 図 8 】



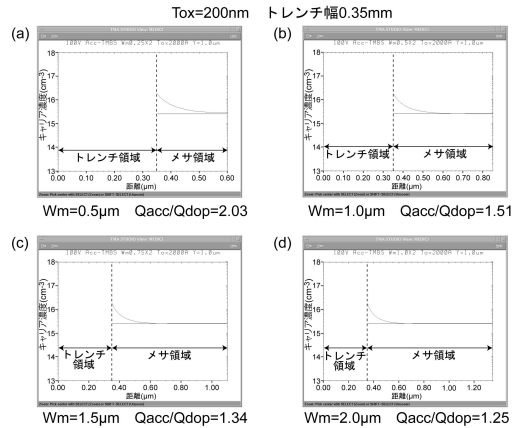
【 図 9 】



【 図 10 】



【 図 11 】



フロントページの続き

(72)発明者 末本 竜二

埼玉県飯能市南町10番13号 新電元工業株式会社工場内

審査官 小山 満

(56)参考文献 特開2012-204579(JP,A)

特表2004-529506(JP,A)

特表2000-512075(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01L 21/28 - 21/288、

21/44 - 21/445、

29/40 - 29/49、

29/872