

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第3952452号
(P3952452)

(45) 発行日 平成19年8月1日(2007.8.1)

(24) 登録日 平成19年5月11日(2007.5.11)

| | |
|-------------------------|-------------------|
| (51) Int. Cl. | F I |
| HO 1 L 21/322 (2006.01) | HO 1 L 21/322 K |
| HO 1 L 21/336 (2006.01) | HO 1 L 21/322 L |
| HO 1 L 29/78 (2006.01) | HO 1 L 29/78 658H |
| HO 1 L 29/861 (2006.01) | HO 1 L 29/91 J |

請求項の数 2 (全 15 頁)

| | | | |
|-----------|-------------------------------|-----------|---|
| (21) 出願番号 | 特願2002-82544 (P2002-82544) | (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14年3月25日(2002.3.25) | (72) 発明者 | 桑野 博 東京都世田谷区羽根木2-12-11 |
| (65) 公開番号 | 特開2003-282575 (P2003-282575A) | (72) 発明者 | 松山 一茂 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15年10月3日(2003.10.3) | (72) 発明者 | 清水 隆史 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16年4月26日(2004.4.26) | 審査官 | 和瀬田 芳正 |

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 半導体装置の製造方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

半導体基板の一方の表面から、該半導体基板内に重金属を拡散する重金属拡散工程と、
拡散後に前記半導体基板の前記表面に所望の領域を保護するマスク工程と、
領域保護した後に前記表面側から電子線を照射する電子線照射工程と、
電子線を照射後に650以上の熱処理を行う熱処理工程とを有することを特徴とする
半導体装置の製造方法。

【請求項2】

前記重金属は白金または金であることを特徴とする請求項1記載の半導体装置の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する分野】

本発明は、半導体基板内に重金属を拡散した後に、この半導体基板に荷電粒子を照射し、
さらに650以上の熱処理を加えることにより前記半導体基板内に低ライフタイムの所
定の領域を設けることを特徴とする半導体装置の製造方法であり、特にスイッチング用半
導体素子のスイッチング特性の改善と静特性とスイッチング特性のトレードオフを改善す
るものである。

【0002】

【従来の技術】

スイッチング電源などの高周波化が進められるにつれて、スイッチング用半導体素子であるスイッチング用ダイオードに対し、(1)スイッチング損失を少なくするために逆回復時間を小さくすること、(2)ノイズ発生を抑制するためにソフトリカバリーであること、(3)順電圧と逆回復時間のトレードオフをよくすることが要求されている。また、バイポーラトランジスタ、サイリスタ、MOSFET、IGBTその他のMOS系素子等でも同様にスイッチング損失、ノイズの改善が求められている。

【0003】

スイッチング用半導体素子では、印加電圧を順方向から逆方向に切替えたとき、順方向動作時に蓄積された過剰少数キャリアの消滅に一定の時間がかかり、高速化の障害になっている。以下、従来の技術について、スイッチング用ダイオードを例にとりて説明する。

10

【0004】

図13は一般的なスイッチング用ダイオードの逆回復特性を説明する図である。順方向にIFMの電流を流しておき時間 t_1 において逆方向に電圧を加える。順方向に流れている電流IFMは $-di/dt$ の傾きをもって減少する。時間 t_2 において逆方向に電流が流れ始める。これを逆回復電流という。逆回復電流は最初 $-di/dt$ のラインに沿って流れるが、ある時間 t_3 において、逆回復電流の最大値IRMから徐々に少なくなり、最終的には零になる。

【0005】

時間 t_2 から t_4 の差の時間を逆回復時間(t_{rr})という。また時間 t_2 から t_4 までに流れる電流を時間で積分した値を逆回復電荷(Q_{rr})という。逆回復電荷はスイッチング損失に比例する。一般に逆回復時間が小さいと逆回復電荷が少ないためスイッチング損失を小さくするために逆回復時間を小さくすればよい。

20

【0006】

逆回復電流が減少していく時間 t_3 から t_4 の電流の勾配が緩やかな波形をソフトリカバリという。時間 t_3 から t_4 の電流の勾配が大きく急激に回復する逆回復波形、即ち、図13に示した t_{rr2} が小さく振動波形になりやすいものをハードリカバリという。

図16に示した逆回復波形bはハードリカバリの逆回復波形の例である。

ソフトリカバリの評価はソフトネスファクター(SF)で行われる。ソフトネスファクターは逆回復電流の減少している時間と増加している時間との比 t_{rr2}/t_{rr1} で定義される。ソフトネスファクターが小さいほどハードリカバリといわれる。

30

【0007】

スイッチング損失を小さくするためには、逆回復電荷を少なくする必要がある。即ち逆回復時間を小さくすればよい。従来の技術では半導体素子中に金、白金や鉄あるいはこれらの混合物を拡散して、ライフタイムを小さくしたり、電子線、中性子線等を照射して格子欠陥を作り、再結合中心として作用させてライフタイムを短くしていた。

【0008】

図14は従来のスイッチング用ダイオードの第一の例に係る構造を説明するための図である(重金属の分布は図示せず)。

n型の低濃度の半導体基板の第1の主面からn型の高濃度の不純物を拡散しn型の高濃度の半導体層2を形成し、第1の主面と反対側の第2の主面からp型の高濃度の不純物を拡散しp型の高濃度の半導体層3を形成する。この結果、n型の低濃度の半導体基板とp型の高濃度の半導体層3との間でpn接合ができる。

40

【0009】

また、n型の高濃度の半導体層2とp型の高濃度の半導体層3の間にある第1導電型の低濃度の半導体基板の部分であるn型の低濃度の半導体層1は順方向動作時にはキャリアが注入される層であり、逆方向動作時には、逆電圧を保持する層である。半導体基板の材質は珪素である。

【0010】

低濃度の半導体基板にn型を用いているのはn型のほうがソフトリカバリーになりやすいためである。このため、第一の例の構造は、通常、p型の高濃度の半導体層3とn型の低

50

濃度の半導体層 1 と n 型の高濃度の半導体層 2 で構成される $p^+ n n^+$ 型の構造である。p 型の低濃度の半導体基板を用いると注入されたホールが注入された電子の移動度より小さいため、逆回復の時に p n 接合付近の空間電荷層の形成が遅れハードリカバリになりやすい。このため、p 型半導体基板を利用することは少ない。

【0011】

$p^+ n n^+$ の拡散構造のダイオードに深い不純物準位を作る白金を拡散して逆回復時間を短くしている。

図 15 は従来のスイッチング用ダイオードの第一の例に係る不純物濃度分布を説明するための図である。図のライン a は白金の分布を示す。

半導体基板内の白金等の分布はほぼ一様に分布し、半導体基板全体のライフタイムをほぼ一様に下げる。白金や金の場合、拡散係数が大きいいため、半導体基板の表面付近で、半導体基板内よりも若干濃度が高くなる。

白金拡散後、アノード電極 4、カソード電極 5 を形成しスイッチング用ダイオードの工程が完成する。

電子線照射の場合は照射領域の深さ方向において電子線照射によるライフタイムの値は一定となる。電子線照射の工程は、p 型の高濃度の半導体層 3 と n 型の低濃度の半導体層 1 と p 型の高濃度の半導体層 3 で構成される $p^+ n n^+$ 型の拡散構造にアノード電極 4、カソード電極 4 を形成したのち、電子線照射を行い、その後安定化のための 300 から 400 の熱処理を行う。

【0012】

図 16 は従来のスイッチングダイオードの第一の例に係る逆回復特性を説明する図である。

ライン b の逆回復波形を示すダイオードはライン a の逆回復波形を示すダイオードより白金の拡散温度を高くしライフタイムを短くしてある。

図 16 に示される逆回復波形のライン a と逆回復波形のライン b の比較から解るように、白金の拡散を用いると逆回復時間は小さくなるものの、逆回復電流が逆回復電流のピーク I_{RM} から急激に回復してしまい、ハードリカバリになってしまう。

これは金や電子線を用いて半導体基板全体のライフタイムを一様に小さくした場合も同様である。

【0013】

ハードリカバリの場合、逆回復電流の変化 di/dt が大きいいため、 di/dt とスイッチング用ダイオードや回路のインダクタンス L との積による電圧が発生し、また振動が起こるためノイズが発生しやすくなると共にスイッチング用ダイオードが破壊するなどの望ましくない現象が出る。スイッチング用ダイオードの特性改善のためには逆回復時間を小さくすると共にソフトリカバリ波形にしなければならない。

【0014】

図 17 は従来のスイッチング用ダイオードの第二の例に係る構造を説明するための図である。

従来の第一の例と同様 p 型の高濃度の半導体層 3 と n 型の低濃度の半導体層 1 と n 型の高濃度の半導体層 2 で構成される $p^+ n n^+$ 型の構造である。

【0015】

図 18 は従来のスイッチング用ダイオードの第二の例に係る欠陥・不純物濃度分布を説明するための図である。図のライン b はヘリウムイオン照射によりできた欠陥の分布を示す。

$p^+ n n^+$ の構造のダイオードに半導体基板全体に深い不純物準位を作る白金等の重金属の拡散や電子線照射を行うのではなく、 $p^+ n n^+$ の拡散構造を形成した後、アノード電極 4、カソード電極 5 を形成したのち、n 型の低濃度の半導体層 1 の p n 接合近辺に半幅約 10 μm のヘリウムイオンによる欠陥層を作る。

この局在した低ライフタイムの層を作ることにより、逆回復特性を改善できる。

ヘリウムイオンあるいはプロトンによる照射においては、照射後、欠陥の安定化に加え、

10

20

30

40

50

耐圧の回復と漏れ電流の低減のために300から400の熱処理を行う。

【0016】

半導体基板中にヘリウムイオンを打ち込み、これらのイオンが半導体基板中に停止する時に停止位置付近に高密度の欠陥を生じる。この現象を利用して低ライフタイム領域を局在化できる。欠陥層の厚さ(半値幅)はイオンの質量に依存してプロトン、デュートロン、ヘリウムイオンの順に小さくなり、ヘリウムイオンの場合、約10 μ mである。局在した低ライフタイムの層の制御にはプロトン等よりヘリウムイオンのほうが適している。

【0017】

図19は従来のスイッチングダイオードの第二の例(第三の例を含む)に係る逆回復特性を説明する図である。

ラインbの逆回復波形を示すダイオードはラインaの逆回復波形を示すダイオードより白金の拡散温度を高くしライフタイムを短くしたものである。

逆回復波形のラインcはn型の低濃度の半導体層1のpn接合近辺に半値幅約10 μ mのヘリウムイオンによる欠陥層を作り、局在した低ライフタイムの層を作った図17に示した構造と図18に示した欠陥・不純物濃度分布を持つスイッチング用ダイオードの逆回復特性特性である。

【0018】

欠陥によるライフタイムの小さい局在した領域により、逆回復時間が小さくなる。

pn接合近傍にライフタイムの小さい局在した層があるため、pn接合近傍では蓄積過剰キャリアが少なく、nn⁺界面では蓄積キャリアが相対的に多くなる。このため、逆回復時ににおいて、注入キャリアの少ないpn接合付近が早く回復するので逆回復電流のピーク値IRMが小さくなる。

またpn付近が早く回復するとこの部分が高抵抗層として働き、nn⁺層付近に残っている過剰注入キャリアは流れにくくなり、逆回復波形はソフトになる。低ライフタイム領域を局在させることにより、さらに、順電圧と逆回復時間の相関も改善できる。

【0019】

さらに逆回復時間を小さくするために半導体基板全体に電子線を照射することもできる。電子線、ヘリウムイオン照射においては、照射後、欠陥の安定化に加え耐圧の回復と漏れ電流の低減のため300から400の熱処理を行う。但し、400以上の熱処理で欠陥が消えてしまうため、熱的安定性に乏しい。照射後、欠陥の安定化に加え耐圧の回復と漏れ電流の低減のため300から400の熱処理後、さらに300以上の工程を通すことは望ましくない。

【0020】

荷電粒子線を利用した工程は、pn拡散工程、アノード電極並びにカソード電極形成工程の後に重金属を使わないライフタイム制御ができるのが利点である。また、逆回復時間の微調整が可能である。

半導体製造プロセスにおいて、重金属を使わないことは重金属汚染対策が必要なくなる利点がある。もちろん従来工程である白金拡散あるいは金拡散工程を行った後に電極形成し、ヘリウム照射を行うこともできる。

【0021】

図20は従来のスイッチング用ダイオードの第三の例に係る製造工程を説明するための図である。以下、この製造工程を説明する。

図21は従来のスイッチング用ダイオードの第三の例に係る構造を説明するための図である。

第1の工程において半導体基板に拡散層を形成し、図21に示すpn⁺の拡散構造を製作する。

【0022】

第1の工程の最初の拡散工程で、n型の低濃度の半導体基板の第1の主面からn型の高濃度の不純物として燐を拡散し、n型の高濃度の半導体層2を形成する。

次に第1の工程の二回目の拡散工程で、第1の主面と反対側の第2の主面に、ボロニイオ

10

20

30

40

50

ンをイオン注入し、熱処理することにより表面濃度 10^{17} 個/cm³、接合深さ $3\ \mu\text{m}$ の p 型の低濃度の半導体層 9 を形成する。p 型の低濃度の半導体層 9 の表面濃度が低濃度でしかも拡散接合深さが浅いのが特色である。

p 型の低濃度の半導体層 9 と n 型の高濃度の半導体層 2 とに挟まれた n 型の低濃度の半導体基板が n 型の低濃度の半導体層 1 である。この 3 層により、 pnn^+ の拡散構造が形成される。

【0023】

第 2 の工程では p 型の低濃度の半導体層 9 の表面に白金をスパッタして、白金の層を作り $800 \sim 1000$ で熱処理し、半導体基板全体に拡散する。図 22 は従来のスイッチング用ダイオードの第三の例に係る欠陥・不純物濃度分布を説明するための図である。白金拡散による白金の分布は図のライン a に示される。

10

【0024】

第 3 の工程は p 型の低濃度の半導体層 9 の表面に残った白金を除去した後 p 型の低濃度の半導体層 9 の表面にアノード電極 4 を形成する。n 型の高濃度の半導体層 2 の表面にカソード電極 5 を形成する (図 21)。

【0025】

第 4 の工程ではアノード電極の方からカソード電極に向けてヘリウムイオンを注入する。まずアノード側に、アノード電極 4 に対置するように、所定のイオン源、ヘリウムイオンビーム照射源を配置する。次にヘリウムイオン照射の深さを照射エネルギー量を変えことなく調節するための金属バッファ層 (例えばアルミフォイル) をアノード電極 4 の前方に配置し、この金属バッファ層を介して、ヘリウムイオンを pn 接合付近、即ち n 層表面付近に、基板表面から見て所定の深さに照射する。これにより、所定の位置に欠陥層ができる。

20

図 22 は従来のスイッチング用ダイオードの第三の例に係る欠陥・不純物濃度分布を説明するための図である。図 22 のライン b はヘリウムイオン照射による欠陥の濃度分布を示す。この欠陥層が局在した低ライフタイムの層となる。

【0026】

第 5 の工程は、 300 から 400 の熱処理を加えてヘリウムイオンによる欠陥層を熱的に安定化させ、ヘリウムイオンの照射による耐圧低下とリーク電流の増加を回復させるものである。

30

【0027】

本実施例も pn 接合近傍にライフタイムの小さい局在した層があるため、pn 接合近傍では蓄積過剰キャリアが少なく、 nn^+ 界面では蓄積キャリアが相対的に多くなる。このため、逆回復時において、注入キャリアの少ない pn 接合付近が早く回復するので逆回復電流のピーク値が小さくなる。

【0028】

また pn 接合付近が早く回復すると高抵抗層として働き、 nn^+ 層付近に残っている過剰注入キャリアは流れにくくなり、逆回復波形はソフトになる。 pnn^+ 構造を利用したライフタイム領域を局在させることにより、さらに、順電圧と逆回復時間の相関も改善できる。

40

従来のスイッチング用ダイオードの第二の例に比較し、p 型の半導体層の表面濃度が 10^{17} 個/cm³、接合深さが $3\ \mu\text{m}$ と表面濃度が低濃度で、しかも拡散接合深さが浅いため、さらに、ノイズが少なく、順電圧と逆回復時間の相関がよくなる。

【0029】

前記第二の実施例または第三の実施例により低損失、ソフトリカバリ特性を有するスイッチング用ダイオードを、耐圧を劣化させることなく汎用系イオン源たるヘリウムイオンビームにて容易に形成することができる。従来のスイッチング用ダイオードの第二の実施例、第三の実施例によりほぼ良好な特性が得られる。白金などの重金属拡散に比べ、ヘリウムイオンなどの軽イオン照射によるライフタイムコントロール技術は、低ライフタイム領域をデバイス内の特定の層あるいは領域にのみ設けることができ、順電圧と逆回復時間と

50

の相関関係を大きく改善できるという利点がある。

【0030】

しかし、荷電粒子照射によって形成される欠陥準位は400以上の温度領域で完全に消滅してしまうため、照射後の高温半田による工程の温度や半導体装置の使用温度が制限されてしまう。

【0031】

【発明が解決しようとする課題】

所望の領域に高温でも安定な低ライフタイム領域を形成する工程を含む半導体装置の製造法方法を提供するものである。

【0032】

【課題を解決しようとする手段】

上記課題を解決するために、本発明の半導体装置の製造方法は、半導体基板の一方の表面から、該半導体基板内に重金属を拡散する重金属拡散工程と、拡散後に前記半導体基板の前記表面に所望の領域を保護するマスク工程と、領域保護した後に前記表面側から電子線を照射する電子線照射工程と、電子線を照射後に650以上の熱処理を行う熱処理工程とを有することを特徴とする。

また、上記重金属は、白金または金であることを特徴とする。

【0033】

【発明の実施の形態】

本発明の実施の形態を図面で説明する。

図1は本発明のスイッチング用ダイオードの第一の例に係る製造工程を説明するための図である。

【0034】

図2は本発明のスイッチング用ダイオードの第一の例に係るp、n拡散工程を説明するための図である。

用いるn型の低濃度の半導体基板は厚さ253 μm 、比抵抗34-cmの珪素である。第1の工程の最初の拡散工程で、n型の低濃度の半導体基板の第1の主面からn型の高濃度の不純物として、燐を拡散し、拡散深さ150 μm のn型の高濃度の半導体層2を形成する。

【0035】

次に第1の工程の二回目の拡散工程で、第1の主面と反対側の第2の主面に、ボロンイオンをイオン注入し、熱処理することにより表面濃度 10^{17} 個/cm³、接合深さ3 μm のp型の低濃度の半導体層9を形成する。p型の低濃度の半導体層9の表面濃度が低濃度で、しかも拡散接合深さが浅いのが特色である。

p型の低濃度の半導体層9とn型の高濃度の半導体層2とに挟まれたn型の低濃度の半導体基板がn型の低濃度の半導体層1である。このp型の低濃度の半導体層9、n型の低濃度の半導体層1とn型の高濃度の半導体層2の3個の層により、pnn⁺の拡散構造が形成される。

【0036】

図3は本発明のスイッチング用ダイオードの第一の例に係る重金属拡散工程を説明するための図である。ここでは、重金属として白金を用いた。

第2の工程ではp型の低濃度の半導体層9の表面に白金をスパッタして、白金の層6を作り700~1000、好ましくは800で1時間熱処理し、p型の低濃度の半導体層9、n型の低濃度の半導体層1とn型の高濃度の半導体層2で形成されるpnn⁺の半導体基板全体に拡散する。

【0037】

図4は本発明のスイッチング用ダイオードの第一の例に係る不純物濃度分布を説明するための図である。

白金拡散による白金の分布は図のラインaに示される。白金はpnn⁺の半導体基板全体にほぼ一様に拡散する。白金は、拡散係数が大きいため、半導体基板表面である第1の主

10

20

30

40

50

面と第2の主面付近で、若干、濃度が高くなる。

【0038】

図5は本発明のスイッチング用ダイオードの第一の例に係るヘリウムイオン照射工程を説明するための図である。

第3の工程ではまず最初に、p型の低濃度の半導体層9の表面に残った白金を王水で除去する。

【0039】

次に、アノード側からカソード側に向けてヘリウムイオンを注入する。まずアノード側に、アノードに対置するように、所定のイオン源であるヘリウムイオン照射源を配置する。次にヘリウムイオン照射の深さを照射量を変えずに調節するための金属のバッファ層7(今回の実施例ではAl)をp型の低濃度の半導体層9の前方に配置し、この金属のバッファ層7を介して、ヘリウムイオンをpn接合付近、即ちn型の低濃度の半導体層1の表面付近に照射し、所定の深さに欠陥層を作る。

10

【0040】

図6は本発明のスイッチング用ダイオードの第一の例に係る欠陥・不純物濃度分布を説明するための図である。図6のラインbは欠陥の濃度分布を示す。

ヘリウムイオンの加速電圧は24 MeVであり、ヘリウムイオンのドーズ量は $1 \times 10^{13} / \text{cm}^2$ である。また、金属のバッファ層7のAlの厚さは275 μm である。ヘリウムイオンの照射により、所定の、p型の半導体層3の表面から所定の約10 μm の深さに、半値幅約10 μm の欠陥層を作ることができる。

20

【0041】

第4の工程において、半導体基板に650から1000、望ましくは700で1時間の熱処理を加える。

図7は本発明のスイッチング用ダイオードの第一の例に係る欠陥・不純物濃度分布を説明するための図である。図7のラインaは白金の濃度分布を示す。

第4の工程の熱処理により、ヘリウムイオンによる欠陥層が高濃度の白金層にかわり、低ライフタイムの所定の領域を設けることができる。

650より低い温度の熱処理では、欠陥が消滅してしまうか、白金が移動しないため、局在した低ライフタイムの所定の領域を設けることはできない。

1000より高い温度の熱処理では、最初局在した低ライフタイムの所定の領域ができて再分布してしまい、最終的には局在した低ライフタイムの所定の領域はできない。

30

【0042】

第5の工程は、アノード電極4とカソード電極5を形成する工程である。

図8は本発明のスイッチング用ダイオードの第一の例に係る構造を説明するための図である。

p型の低濃度の半導体層9の表面にアノード電極4を形成し、n型の高濃度の半導体層2の表面にカソード電極5を形成する。アノード電極4とカソード電極5として、Ti(チタニウム)-Ni(ニッケル)-Ag(銀)の電極システムを用いる。

作製には電子ビーム蒸着法を用いる。チタニウムは珪素の半導体基板と電極とのオーミック性をとるために用いられ、ニッケルは半田耐蝕性のために用いられ、また銀はニッケルの酸化防止用に用いられる。

40

【0043】

図1に示される本発明の工程では、低ライフタイムの所定の層は白金などの重金属による局在した層である。これに対して図20に示される従来工程では、低ライフタイムの所定の層はヘリウムイオンの照射により形成された欠陥層を利用している。

【0044】

白金などの重金属による局在した低ライフタイムの所定の層ができる現象は次のように考えられる。

あらかじめ白金などの重金属を拡散した半導体基板に、ヘリウムイオンなどの荷電粒子線を照射し、所望の領域に欠陥を形成した後、650以上の熱処理を加えることにより、

50

低温で容易に移動することができ電氣的に不活性な格子間型白金原子が、高温でも安定で電氣的に活性な置換型白金原子に変化する。このため、ヘリウムイオンなどによる荷電粒子線などの照射による場合と比較し、熱的に安定な低ライフタイムの所定の層が形成できる。

【0045】

荷電粒子照射によって形成される欠陥準位は400以上の温度領域で完全に消滅してしまうため、この欠陥準位をライフタイムキラーとして利用する従来の方法では、照射後の高温半田による工程温度や半導体装置の使用温度等が制限されてしまう。これに対して、本発明の場合、ヘリウムイオンなどによる荷電粒子線などの照射による欠陥準位をライフタイムキラーとして利用する従来の方法と比較し、熱的に安定な低ライフタイムの所定の層が形成できる。650までの温度処理に安定である。

10

【0046】

本発明の実施例によれば、順電圧は白金拡散だけのものと比べて同じ逆回復時間でも低い。また逆回復波形は逆回復時間を非常に小さくしてもソフトとである。

図9は本発明のスイッチング用ダイオードの第一の例に係る順電流が流れている時の蓄積キャリアの分布を説明するための図である。図9のラインaは注入キャリアの分布である。

p-n接合近辺のライフタイムが小さいためアノード側であるp-n接合付近の蓄積キャリアが小さく、カソード側にいくにしたがって大きくなっている。このため、ダイオードにかかる印加電圧を順方向から逆方向に切替えた時、p-n接合付近のキャリアの消滅が早く、カソード側のキャリアが消滅しきれないうちにp-n送付近は空間電荷層ができ、抵抗が大きくなる。この傾向は、電流が少なくなるほど進み、逆回復波形の電流の傾斜は緩くなり、前述の図19に示されるラインcの逆回復波形のように逆回復時間を短くしてもソフト波形になる。

20

【0047】

本実施例の場合は、p型層の濃度を下げ、拡散深さも浅くしてあるため、p層からの注入は少なく（注入効率が悪い）、p-n接合付近のキャリアは低ライフタイム層を局在させたものより更に少なく、ソフト波形になりやすいようになっている。

【0048】

これにより低損失、ソフトリカバリ特性を有し、しかも耐圧劣化のない半導体装置を汎用系イオン源たるヘリウムイオンビームを用いた照射にて容易に形成することができる。

30

650以上の熱処理で熱に対して安定な低ライフタイム層を作っているため、この後の保護膜作製時における熱処理や組立工程における半田付け工程の350~450における熱処理その他650までの熱処理では逆回復特性の変化はおきない。

【0049】

図10は本発明のスイッチング用ダイオードの第二の例に係る不純物濃度分布を説明するための図である。図10のラインaは白金の分布である。p、n拡散構造や電極は図8に示した第一の例の構造と同じである。

本実施例では、n型の低濃度の半導体層1の表面、即ちp-n接合付近だけでなく、カソード側、即ちn型の低濃度の半導体層1とn型の高濃度層の半導体層2のn-n⁺界面付近にも低ライフタイム層を作ることにより、設計の自由度をあげ、更に順電圧と逆回復時間のトレードオフを改善するものである。

40

【0050】

図11は本発明のIGBTの例に係る構造を説明するための図である。

n型の高濃度のバッファ層12付近に低ライフタイムの領域を作ると、オン電圧とターンオフ時間のトレードオフが改善できる。

低ライフタイムの所定の領域として深さ方向での局在化に加え、部分照射により照射領域の横方向の局在化を行うことによりトレードオフの改善ができる。部分照射の実現はステンレスのマスクを用いることによって達成された。チャンネル直下は低オン電圧のためなるべくライフタイムを下げないように低ライフタイム領域21をつくる。p型半導体層13

50

の直下はターンオフタイムを小さくするために低ライフタイム領域 20 とし各々役割分担する。

【0051】

図12は本発明のスイッチング用ダイオードの第三の例に係る構造を説明するための図である。図12の構造はプレーナ型のダイオードの転流破壊の改善策である。高耐圧のプレーナダイオードの逆回復過程において、サージ電圧が静耐圧以下であるにもかかわらず、順電流を高速に切ると、即ち、 $-di/dt$ の絶対値が大きいと破壊することがある。この原因は逆回復時外周部41に蓄積されているキャリアが回復時p型の低濃度の半導体領域34の周辺に集中するためである。

プレーナ型ダイオードの主電流の流れる外側の領域である外周部41を低ライフタイム領域とし、周辺に蓄積するキャリアを少なくすることでこの破壊の問題を解決できる。 10

図12の構造はp、n拡散構造作製後、電極形成前に、本発明のスイッチング用ダイオードの第一の例の製造工程と同様に白金拡散を行い、次に、ステンレスをマスクとし、素子外周部41に電子線を照射し周辺部41全域に欠陥を作り、700で熱処理することにより、中央部40に比較し、周辺部41のライフタイムを小さくできる。電子線の場合深さ方向に選択性がなく、半導体基板深さ方向全体に欠陥層を作ってしまう性質があることを利用した。

【0052】

スイッチング用のダイオードの第一の実施例において、重金属として白金、荷電粒子の照射にヘリウムイオンを用いた例を示した。重金属は白金の他金または鉄あるいはこれらの混合物であってもよい。 20

また深さ方向の所定の位置に1または2の低ライフタイムの層を設けたが、さらに3層またはそれ以上であってもよい。またこれらの層は横方向に複数に存在してもよい。

本発明は低ライフタイムの領域を深さ方向、平面方向に複数、自由に3次元に作ることができる。

【0053】

実施例においてスイッチング用ダイオード、IGBTについて一例を述べたが、pn接合とショットキダイオードとの複合素子(MPS; Merged p-i-n/Schottky)、バイポーラトランジスタ、MOSFETやMOSゲートサイリスタなどにも適用できる。また実施例では、ソフトリカバリ波形を説明するために、n型の低濃度の半導体基板を利用した例を述べたが、本発明はp型の低濃度の半導体基板を利用した所謂p型素子であってもよい。 30

【0054】

荷電粒子の照射方向全領域を制御する場合は電子線がよく、深さ方向の所定の位置に制御するにはヘリウムイオンが好ましいが、必要とする低ライフタイムの所定の領域の条件により、ヘリウムイオン、デュートロン、プロトン、電子線などを使い分けることができる。

【0055】

【発明の効果】

本発明によれば、半導体基板内の低ライフタイムの所定の領域を作るために、650以上の温度で安定化するため、650まで、その後のウェーハプロセス、組立工程の熱処理、使用温度が制限されることはない。 40

低ライフタイムを一定の深さ方向だけでなく、複数とし、さらに平面方向に局在化し、低ライフタイムの領域を三次元で局在化することにより、スイッチング素子のスイッチング時間を短くでき、逆回復波形をソフトにでき、順損失と逆損失のトレードオフを改善できる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明のスイッチング用ダイオードの第一の例に係る製造工程を説明するための図である。

【図2】 本発明のスイッチング用ダイオードの第一の例に係るp、n拡散工程を説明す 50

るための図である。

【図3】 本発明のスイッチング用ダイオードの第一の例に係る重金属拡散工程を説明するための図である。

【図4】 本発明のスイッチング用ダイオードの第一の例に係る不純物濃度分布を説明するための図である。

【図5】 本発明のスイッチング用ダイオードの第一の例に係るヘリウムイオン照射工程を説明するための図である。

【図6】 本発明のスイッチング用ダイオードの第一の例に係る欠陥・不純物濃度分布を説明するための図である。

【図7】 本発明のスイッチング用ダイオードの第一の例に係る不純物濃度分布を説明するための図である。 10

【図8】 本発明のスイッチング用ダイオードの第一の例に係る構造を説明するための図である。

【図9】 本発明のスイッチング用ダイオードの第一の例に係る順電流が流れている時の蓄積キャリアの分布を説明するための図である。

【図10】 本発明のスイッチング用ダイオードの第二の例に係る不純物濃度分布を説明するための図である。

【図11】 本発明のIGBTの例に係る構造を説明するための図である。

【図12】 本発明ののスイッチング用ダイオードの第三の例に係る構造を説明するための図である。 20

【図13】 一般的なスイッチング用ダイオードの逆回復特性を説明する図である。

【図14】 従来のスイッチング用ダイオードの第一の例に係る構造を説明するための図である。

【図15】 従来のスイッチング用ダイオードの第一の例に係る不純物濃度分布を説明するための図である。

【図16】 従来のスイッチングダイオードの第一の例に係る逆回復特性を説明する図である。

【図17】 従来のスイッチング用ダイオードの第二の例に係る構造を説明するための図である。

【図18】 従来のスイッチング用ダイオードの第二の例に係る欠陥・不純物濃度分布を説明するための図である。 30

【図19】 従来のスイッチングダイオードの第二の例と第三の例に係る逆回復特性を説明する図である。

【図20】 従来のスイッチング用ダイオードの第三の例に係る製造工程を説明するための図である。

【図21】 従来のスイッチング用ダイオードの第三の例に係る構造を説明するための図である。

【図22】 従来のスイッチング用ダイオードの第三の例に係る欠陥・不純物濃度分布を説明するための図である。

【符号の説明】 40

1 n型の低濃度の半導体層

2 n型の高濃度の半導体層

3 p型の高濃度の半導体層

4 アノード電極

5 カソード電極

6 白金の層

7 金属のバッファ層

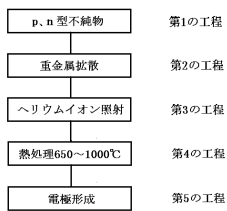
8 オーミック電極層

9 p型の低濃度の半導体層

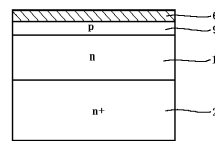
11 n型の低濃度の半導体層 50

- 1 2 n型の高濃度のバッファ層
- 1 3 p型の低濃度の半導体層
- 1 4 p型の高濃度の半導体層
- 1 5 n型の高濃度の半導体層
- 1 6 絶縁膜
- 1 7 エミッタ電極
- 1 8 コレクタ電極
- 1 9 ゲート電極
- 2 0、2 1 低ライフタイム領域
- 3 1 n型の低濃度の半導体層
- 3 4 p型の低濃度の半導体領域
- 3 5 n型の高濃度の半導体層
- 3 6 絶縁膜
- 3 7 カソード電極
- 3 8 アノード電極
- 4 1 外周部

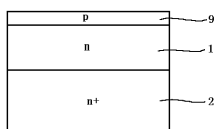
【図1】



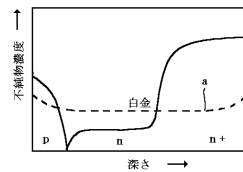
【図3】



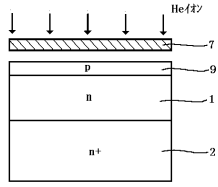
【図2】



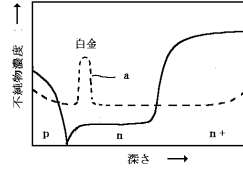
【図4】



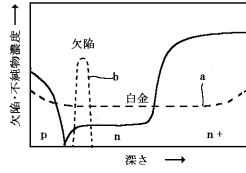
【 図 5 】



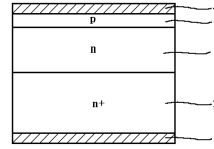
【 図 7 】



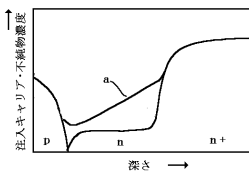
【 図 6 】



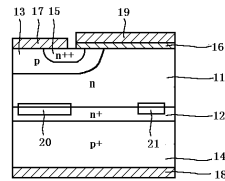
【 図 8 】



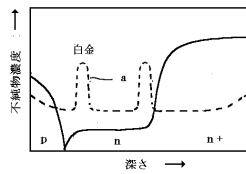
【 図 9 】



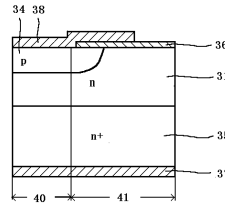
【 図 11 】



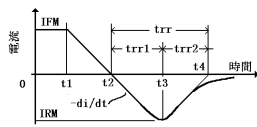
【 図 10 】



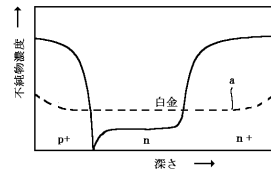
【 図 12 】



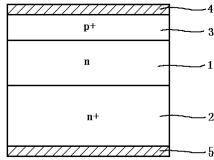
【図13】



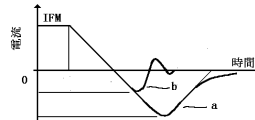
【図15】



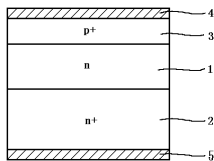
【図14】



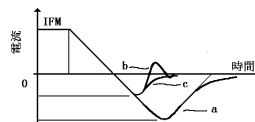
【図16】



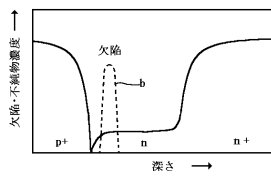
【図17】



【図19】



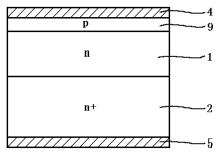
【図18】



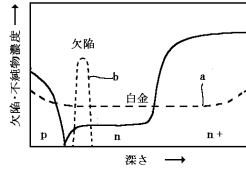
【図20】

- | | |
|-------------|-------|
| D、n型不純物拡散 | 第1の工程 |
| 重金屬拡散 | 第2の工程 |
| 電極形成 | 第3の工程 |
| ヘリウムイオン照射 | 第4の工程 |
| 熱処理300~400℃ | 第5の工程 |

【 2 1 】



【 2 2 】



フロントページの続き

- (56)参考文献 特開平4 - 1 2 5 9 3 3 (J P , A)
特開平8 - 1 0 2 5 4 5 (J P , A)
特開平7 - 2 9 7 4 1 4 (J P , A)
特開平3 - 2 0 9 7 2 6 (J P , A)
特開平8 - 4 5 8 6 9 (J P , A)
特開昭5 1 - 4 6 8 8 2 (J P , A)
特開昭5 3 - 1 4 5 5 8 3 (J P , A)

(58)調査した分野(Int.Cl. , D B名)

H01L 21/322
H01L 21/336
H01L 29/744
H01L 29/78
H01L 29/861