

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2004-289154
(P2004-289154A)

(43) 公開日 平成16年10月14日(2004.10.14)

(51) Int.Cl.⁷

H01L 21/265

H01L 29/78

F 1

H01L 21/265

H01L 21/265

H01L 29/78

F

テーマコード(参考)

5F14O

602B

301F

審査請求 未請求 請求項の数 2 O L (全 13 頁)

(21) 出願番号 特願2004-79351 (P2004-79351)
 (22) 出願日 平成16年3月19日 (2004.3.19)
 (31) 優先権主張番号 393749
 (32) 優先日 平成15年3月21日 (2003.3.21)
 (33) 優先権主張国 米国(US)

(71) 出願人 501229528
 テキサス インスツルメンツ インコーポ
 レイテッド
 アメリカ合衆国、テキサス、ダラス、チャ
 チル ウエイ 7839
 (74) 代理人 100066692
 弁理士 浅村 皓
 (74) 代理人 100072040
 弁理士 浅村 肇
 (74) 代理人 100107504
 弁理士 安藤 克則
 (74) 代理人 100102897
 弁理士 池田 幸弘

最終頁に続く

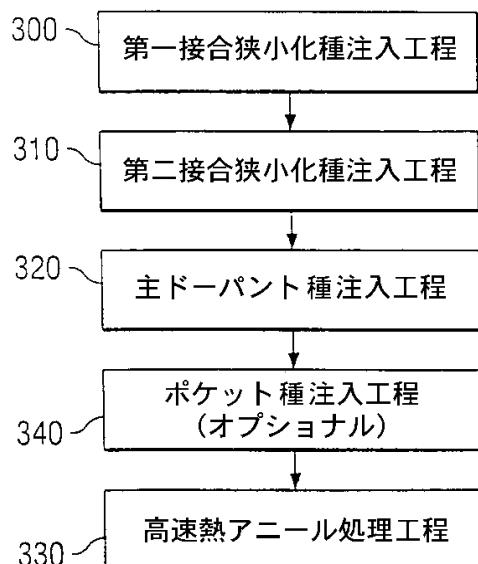
(54) 【発明の名称】超浅型接合のための接合狭小化用相補インプラント

(57) 【要約】

【課題】イオン注入工程でのドーパントのチャンネリングを最小限に抑制し、また引き続く熱アニール処理工程でのドーパントの拡散を抑制することにより接合深さを制御してドーパント濃度分布を狭小化した超浅型接合を半導体基板内に形成する方法を提供する。

【解決手段】半導体基板をドーピングする以下の工程により同基板内に超浅型接合を形成する方法を提供する：上記半導体基板の表面領域に第一の注入エネルギーによりアンチモンイオンを注入する；上記表面領域に第二の注入エネルギーによりフッ素イオンを注入する；上記表面領域に第一の注入エネルギーおよび第二の注入エネルギーより低い第三の注入エネルギーによりニフッ化ホウ素イオンを注入する；およびd. ホウ素ドーパントを高速熱アニール処理により活性化する。

【選択図】図3



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

以下の工程により半導体基板をドーピングすることを包含する、同基板内に超薄型接合を形成する方法：

- a . 上記半導体基板の表面領域に第一の注入エネルギーによりアンチモンイオンを注入する；
- b . 上記表面領域に第二の注入エネルギーによりフッ素イオンを注入する；
- c . 上記表面領域に第一の注入エネルギーおよび第二の注入エネルギーより低い第三の注入エネルギーによりニフッ化ホウ素イオンを注入する；および
- d . ホウ素ドーパントを高速熱アニール処理により活性化する。

10

【請求項 2】

最上表面を有する半導体基板内に以下の構成を含む超薄型接合：

- a . 上記最上表面近傍の、実質的に上記最上表面に平行で実質的に平坦な部分を有する接合；
- b . ホウ素原子、アンチモン原子およびフッ素原子を含有する、上記平坦な部分と最上表面との間の領域；および
- c . 上記領域内にフッ素原子はホウ素原子の2倍を超える数で存在する。

【発明の詳細な説明】**【技術分野】****【0001】**関連出願の相互参照

該当しない

20

【0002】連邦政府により資金が提供された研究開発

該当しない

【0003】

本発明は一般的にドーパントのイオン注入により半導体ウエハー内に超浅型接合を形成する方法に関し、より詳細にはイオン注入工程でのドーパントのチャンネリングを最小限に抑制し、また引き続く熱アニール処理工程でのドーパントの拡散を抑制することにより接合深さを制御し、ドーパント濃度分布を狭小化する方法に関する。

30

【背景技術】**【0004】**

近代的な集積回路のための半導体技術の中心部は過去1世紀にわたって進展し続いている。半導体としてのセレンの特殊な性質は19世紀の後半に観察され認識された。最初のトランジスター設計が提案されたのは1930年代であった。しかしながら、機能的な点接触型トランジスターの開発は1940年代後半まで待たなければならなかった。1950年代では、電子工学分野は回路設計における個別的回路部品（例えばトランジスター、レジスターおよびキャパシター）の使用を中心として展開した。集積回路、すなわち個別的部品を使用するのではなく複数の回路部品を单一の半導体基板内に一体化した回路、が開発されたのは1950年代の後半のことであり、開発者はTexas Instruments, Inc.のJack Kilbyであった。

40

【0005】

1950年代の後半以降、集積回路技術は急速に進展し、電子装置が使用されている事実上全ての産業および生産力に革命的な変革をもたらした。全般的な電子装置、特に集積回路、の浸透は主として回路の機能性を向上すると同時に装置のコストとサイズを減少させる能力によるものであった。これらの発展に対して触媒的な役割を果たしたのは、半導体の生産技術における数多くの進歩であり、多くの種類の技術が半導体基板上に集積回路を組み立てるために使用された。材料、装置およびプロセスの改良により、ますます複雑になる回路の速度が上昇し、電力消費量が減少しつつ小型化した。

【0006】

50

集積回路は典型的には結晶性ケイ素ウエハーの表面上に組み立てられる（ヒ化ガリウムやゲルマニウムといった他の種類の半導体材料のウエハー上に組み立てられることがある）。個々の回路部品はウエハーの内部あるいは表面上に形成される。次いで、半導体基板上での個々の回路部品間の電気的な相互連結性は適切にパターン化された導体および絶縁体を交互に重ね合わせることにより確保する。回路部品およびこれらの間の相互連結は一連のよく知られた工程（例えば、フォトリソグラフィ、薄膜析出、選択的エッチング、イオン注入、熱処理等）により形成される。

【0007】

過去の20年間、金属酸化膜半導体（MOS）技術は集積回路設計における中心的な存在であった。MOS集積回路の心臓部は金属酸化膜半導体電解効果トランジスター（MOSFET）であり、これは高速スイッチの役割を果たしている。MOSFETにおいては、ソース電極とドレイン電極の間に位置する薄いチャンネルでの導電度は同チャンネル近傍に位置するゲート電極に電圧を加えることにより制御する。理想的には、MOSFETは「オン」の状態では高い駆動電流と低い内部インピーダンスを示し、「オフ」の状態では高い内部インピーダンスと低い漏れ電流を示す。MOSFETは非常に高い雑音排除性、広い電圧範囲での操作性その他の多くの望ましい性能を示すので理想的な論理回路用のデバイスとなっている。

【0008】

MOSFETは、ソース電極、ドレイン電極およびチャンネルのドーピング方法次第でn型かp型のいずれかに分類できる。n型MOSFETでは、トランジスターのソース電極およびドレイン電極はn型ドーパントで、チャンネルはp型ドーパントでドーピングされる。n型ドーパントはケイ素に比べて電子量が多く（例えば、ヒ素およびリン）、p型ドーパントはケイ素に比べて電子量が少ない（例えば、ホウ素およびインジウム）。半導体格子内にn型ドーパントを挿入することにより、同半導体の伝導帯には追加的な量の電子が注入される。n型MOSFETでは伝導帯電子は多数荷電キャリアーであるので、電流の伝導は主として伝導帯電子による。その結果、n型MOSFETのp型ドーパントでドーピングされたチャンネル内の伝導は、ゲート電極に加えられたポテンシャルがチャンネル内の伝導帯電子濃度を相当高めた場合のみに起こる。

【0009】

逆に、p型MOSFETでは、ソース電極およびドレイン電極はp型ドーパントで、チャンネルはn型ドーパントでドーピングされる。半導体格子内にp型ドーパントを挿入することにより価電子帯「正孔」が生じる。価電子帯「正孔」とは半導体内の価電子帯内の正に荷電した電子欠損であり、外部電界が加えられると移動できる。p型MOSFETでは伝導帯電子は少数荷電キャリアーであり価電子帯「正孔」は多数荷電キャリアーであるので、電流の伝導は主として価電子帯「正孔」による。その結果、p型MOSFETのn型ドーパントでドーピングされたチャンネル内の伝導は、ゲート電極に加えられたポテンシャルがチャンネル内の価電子帯「正孔」濃度を相当高めた場合のみに起こる。

【0010】

現在の超大規模集積回路（ULSI）を使用した集積回路設計では、しばしば数億もの数の回路エレメントを使用している。これら回路での充填密度の増加は半導体製造プロセスに對して数多くの困難な課題をつきつけている：例えば、集積回路の特性と操作性を損なうことなく個々の製造段階で個々の回路エレメントのサイズを減少させなければならない。回路設計においてMOSFETが多用されている理由のひとつはそのスケーラビリティ（拡大縮小能力）にある。これらデバイスのスケーラビリティによりいくつかの利点がもたらされている。第一に、MOSFETはデバイスの充填密度を高めることができ、それにより集積回路のサイズを減少できる。第二に、より小さなサイズに対するスケーリングによりトランジスターの周波数応答性が向上する。その信号伝播時間はチャンネル長さに逆比例するからである。第三に、チャンネル長さとゲート酸化物厚さの減少によりトランジスターの相互コンダクタンスが向上し、これによりトランジスターのカレント・ドライブが増加する。

【0011】

10

20

30

40

50

MOSFETのサイズは引き続いて減少しており、それに従ってスケーリングはますます困難になっている。その理由のひとつがいわゆる「短チャンネル効果」によるものである。長いチャンネルを有するデバイスでは、チャンネル内の多数荷電キャリアーを減少させ少数荷電キャリアーを引き付けるのは主としてゲート電圧の役割である（このプロセスは反転として知られている）。それに対して、極めて短いチャンネルを有するデバイスでは、ソース電極およびドレイン電極により発生した電界がチャンネル内反転に寄与する。これらの短チャンネル効果により、反転およびチャンネル内伝導に必要なしきいゲート電圧（ V_t ）は低下する。このような場合には、 V_t 値は一定ではなく、それどころかドレイン電界およびソース電界が増加するに従って減少する。この現象は V_t ロールオフとして知られている。この効果は高いドレイン電圧を採用した場合に特に顕著に見られ、DIBL（drain-induced barrier lowering）を引き起す。DIBLは、出力コンダクタンスおよび V_t 測定値に対してドレイン電圧が有する効果である。この効果は、しきい電圧測定値のゲート長さの減少による変化として観察される。チャンネルが非常に短くドレイン電圧が高い場合には、ゲート電圧にかかわらず、反転領域はチャンネル長さにわたって広がる可能性がある。このような場合（パンチスルーレとして知られている）には、トランジスターは「オン」状態にロックされる。従って、MOSFETサイズが減少するに従って、「短チャンネル効果」（例えば、接合パンチスルーレ、漏洩および接触抵抗）によりトランジスターの性能と信頼性は損なわれる。10

【0012】

MOSFET内での「短チャンネル効果」の抑制は、そのサイズを0.1ミクロン以下にまで減少させる場合の最も困難な課題のひとつである。MOSFET内で「短チャンネル効果」が起るのは他のMOSFETエレメントのサイズを適切に減少させることなくゲート長さだけを減少させた場合のみである。ソース電極およびドレイン電極のサイズも減少させることによりこのような望ましくない効果を抑えることが可能である。このことは、ゲート電極の下側に部分的に位置するソース電極およびドレイン電極への超薄型エクステンションの使用により達成できる。簡単に言えば、MOSFETチャンネルを横方向に100nm以下にまで縮小する場合には、「短チャンネル効果」を抑制するためにはソース／ドレイン（S/D）エクステンション接合の深さを比例して30nm未満にまで縮小する必要がある。更に、（S/D）エクステンション領域のシート抵抗は、チャンネル抵抗を相当程度増加させることのないように縮小させる必要がある。このことは、超薄型S/Dエクステンション内の活性ドーパント濃度を更に高める必要があることを意味している。20

【0013】

Semiconductor Industry Association (SIA)はNational Technology Roadmap for Semiconductors (NTRS)を策定した。これは、今後数世代の集積回路デバイスを開発するためのロードマップである。1997年でのSIAのNTRSによれば、デバイスのサイズが0.25ミクロン（ μm ）から0.1 μm にまで減少させるためには接合深さを750ナノメートル（nm）から30nmにまで減少させる必要がある。それと同時に、許容できるシート抵抗を維持するためには、接合内のドーパント濃度を5倍程度増加させる必要がある。従って、高ドーパント濃度の超薄型S/Dエクステンション（超薄型接合としても知られている）に対して多くの研究がなされている。30

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0014】

不幸にして、種々の因子により、半導体基板内に超薄型接合を形成するのが困難となっている。特に、イオン注入工程でのドーパントのチャンネリングおよび熱活性化工程でのドーパントの拡散は接合を拡げる傾向にある。半導体基板内に超薄型接合の形成に関連するこれらの困難さにもかかわらず、これらの接合は将来のMOSFETにとって必要な部品である。必要とされるのは、イオン注入工程でのドーパントのチャンネリングおよび熱活性化工程でのドーパントの拡散の効果を克服し、それによって次世代MOSFETおよびその他の集積回路部品での短チャンネル効果への抵抗を提供するためのMOSFET内に超薄型接合を形成40

10

20

30

40

50

するための方法である。

【課題を解決するための手段】

【0015】

好適な実施例の簡単な要約

本発明の好適な実施例のいくつかは、半導体基板内に超薄型接合を形成する方法に関するおり、ここではドーパントのチャンネリングおよび拡散の効果を抑制するために多段イオン注入工程を用いている。好適な一実施例によれば、主ドーパントを注入するプロセスに加えて接合狭小化種を注入するひとつのプロセスからなるイオン注入工程を採用しており、これにより境界が明瞭な超薄型接合を形成する。他の好適な実施例によれば、主ドーパントを注入するプロセスに加えて接合狭小化種を注入する複数のプロセスからなるイオン注入工程を採用しており、これにより境界が明瞭な超薄型接合を形成する。これらの注入プロセスに続いて、主ドーパントは急速熱アニール処理プロセスにより活性化される。

10

【0016】

本発明の更に他の好適な実施例によれば、上記方法のひとつにより半導体基板内に形成された超薄型接合に関する。

【0017】

本発明を添付図面を参照して更に詳細に説明する。

【0018】

好適な実施例の詳細な説明

図1は本発明の好適な一実施例により半導体基板20内に製造されたMOSFET10の断面図である。同図において、ゲート電極30はゲート誘電体40の上側に設置され、またゲート誘電体40はチャンネル50の上側に設置されている。チャンネル50はドレイン電極60とソース電極70を分離している。ドレイン・エクステンション80とソース・エクステンション90は部分的にゲート誘電体40の下側に位置しており、それにより部分的にチャンネル50内に侵入している。ゲート電極30に適切な電圧を印加することにより、少数荷電キャリアーがチャンネル50内に蓄積し、ドレイン電極60とソース電極70の間に伝導通路を形成する。ポケット100は適切なポケット種でドーピングされる。同ポケット種は、ドレイン電極60およびソース電極70からチャンネル50内に侵入する電界を制限することにより短チャンネル効果を抑える役割を果たす。

20

【0019】

本発明の好適な実施例のいくつかは、主ドーパント注入工程に接合狭小化のためのひとつの注入工程を追加することによる相乗効果は半導体基板内に境界が明瞭な超薄型接合の形成を容易化するとの発見から導かれた。更に、本発明の好適な実施例のいくつかは、主ドーパント注入工程に接合狭小化のための複数の相補的な注入工程を追加することによる相乗効果は半導体基板内に境界が明瞭な超薄型接合の形成を特に容易化するとの発見から導かれた。このように、本発明の好適な実施例は、超薄型接合の形成のために複数の互いに明確に相違する注入工程により構成されている。本明細書内で使用される「超薄型接合」とは薄型のソース・エクステンションあるいはドレイン・エクステンションのことであり、これは半導体基板内に約1000オングストローム(A)以下の深さまで侵入し、半導体基板内でのピーク濃度で約 5×10^{18} 原子cm⁻³以上の主ドーパントを含有している。また本明細書内で使用される「接合深さ」とは、半導体基板内での主ドーパント濃度が約10¹⁷原子cm⁻³以下にまで低下する深さのことである。

30

【0020】

本明細書内で使用される「主ドーパント」とは、p型あるいはn型のドーパントあるいはその前駆体であって、それの深さ分布が超浅型接合の境界を決め、またその濃度が同接合のシート抵抗を主に決めるものである。適切な主ドーパントの例として、半導体の電子性質の変更に適したp型およびn型のドーパントが挙げられる。従って、p型ドーピングに適した主ドーパントの例として周期律表III族元素(例えば、ホウ素、ガリウムおよびインジウム)、またn型材料に対して適した主ドーパントの例として周期律表V族元素(例えば、リン、ヒ素およびアンチモン)が挙げられる。好適な主ドーパントはホウ素およ

40

50

びその前駆体である。

【0021】

多くのMOSFETにとってホウ素は望ましいp型ドーパントである。しかしながら、ホウ素は後述するように浅型接合に使用する際に問題となるいくつかの性状を有している。第一に、ホウ素は質量およびサイズが小さいのでケイ素格子をチャンネリングで通過する可能性がある。更に、ホウ素は過渡増速拡散 (transient enhanced diffusion, TED) から大きな影響を受け、そのためにイオン注入後に採用可能な後続熱処理プロセスに大きな制約を加える。更に、既存のイオン注入装置能力およびホウ素の低原子量の観点からみてその使用はほぼ限界に達している。今日の技術により使用エネルギーは約5keVにまで低下しているとしても、それでも軽量のホウ素原子は必要以上に（例えば予測された正規分布を越えて）移動する可能性があり、接合が必要以上の深さに達する可能性がある。更に、注入エネルギーの値が低下するに従って、注入ビームの適切な制御はますます困難になる。

【0022】

本発明の好適な実施例は半導体基板内に適切な化学種（例えば望ましいドーパントおよび接合狭小化種）の深さと濃度分布を確保するための手段としてイオン注入技術を採用している。イオン注入工程期間中に望ましい化学種のイオン化された前駆体はイオン源内に生成し、所定の運動エネルギーまで加速され、半導体基板表面に向けられる。これらのエネルギーを有するイオンは半導体基板内部に侵入する。最終的には、これらのイオンは基板に衝突した結果運動エネルギーを失い、基板内に静止する。一般的には、イオンの運動エネルギーが高い程、それらは基板内に深く侵入する。それとは対照的に、一般的には低エネルギーの注入により浅型接合が形成される。

【0023】

しかしながら、超浅型接合はドーパント種の前駆体の運動エネルギーを低下させるだけでは形成できない。これにはいくつかの理由がある。第一に、インプラントのエネルギーが低下するに従いイオンビームの焦点が縮小し、その結果インプラントの制御が困難になる。従って、イオン注入が達成可能な接合最低深さはイオンビーム焦点によって制約されることになる。第二に、半導体基板は結晶性であるので、ドーパントの深さ分布はいくつかのチャンネリングを反映し、その度合いは結晶格子に対するイオンビームの配向によって決まる。本発明の好適な実施例は結晶性の半導体基板を採用している。基板内原子は規則的な格子内に存在しているので、同基板は結晶面とチャンネルを有している。イオン注入工程期間中に、エネルギーを有するイオンの一部は半導体基板の開放チャンネル内を移動する可能性がある。これらのイオンの単位長さ当たりの衝突回数はチャンネリングしていないイオンに比べて少ないので、チャンネリングしていないイオンはチャンネリングしているイオンに比べて基板内により深く侵入することになる。従って、チャンネリングによりドーパントのイオンは基板の結晶軸あるいは結晶面に沿って優先的に侵入することになり、その結果、非晶質（つまり結晶質ではない）基板材料に関して予測される深さ分布よりは深くテーリングすることになる。このような現象はホウ素の場合に特に顕著に見られる。なぜならば、同元素は質量およびサイズが小さいので他のドーパントよりはチャンネリングを多く引き起こすからである。

【0024】

本発明の好適な実施例は、イオン注入工程に続いて、半導体基板内の格子にドーパントを注入するためのアニール処理工程を実施する。アニール処理は半導体基板を所定の温度で所定の時間熱処理して、ドーパントを活性化すると同時に半導体基板の導電率とバルクの特性を変更する。それと同時に、半導体基板の温度上昇によりドーパントの拡散は加速される。酸素と半導体基板内の隙間を提供する欠陥が存在することにより、ドーパントの拡散は更に加速する。これらの効果は、酸素による増速拡散 (oxygen enhanced diffusion, OED) および過渡増速拡散 (transient enhanced diffusion, TED) と呼ばれている。OEDおよびTEDにより、ドーパントの格子内拡散速度は10,000倍も上昇する可能性がある。

【0025】

本発明の好適な実施例は、より好ましくは、薄型接合を維持しつつドーパントのインプ

10

20

30

40

50

ラントの活性化のために高速熱アニール処理 (rapid thermal annealing, RTA) を採用する。典型的なアニール処理の温度プログラムでは、目標温度まで一定の速度で温度上昇を正確に制御し、一定の期間目標温度でアニール処理し、ついで一定の速度で冷却する。一般的には、高速昇温、高速冷却が望ましい。なぜならば、これにより高温期間を短縮でき、OEDおよびTEDに起因する拡散を最小化できるからである。ただし、RTAはアニール処理中の拡散を最小化するために使用できるけれども、アニール処理プロセスに対する相当な変更（例えば、アニール処理温度の低下）により、ドーパント種の活性化量は減少する可能性があり、また半導体装置の運転特性に悪影響を及ぼす可能性がある。従って、アニール処理の温度プログラムの変更だけではOEDおよびTEDに関連する深さ分布上の問題を解決できない。

10

【0026】

アニール処理と同様、拡散効果もホウ素を使用した場合に特に顕著に現れる。これにはいくつかの理由がある。第一に、ホウ素自身の拡散率は他のドーパントに比べて高い。更に、ホウ素は過渡増速拡散 (TED) および酸素による増速拡散 (OED) から特に影響を受けやすい。これらの両現象により、ホウ素の有効拡散速度はそれ自身の拡散率から予測されるよりは遙かに高くなる。TEDおよびOEDは、ホウ素原子がケイ素内の隙間のような欠陥（例えば、ケイ素原子がケイ素格子から放出された結果の隙間、このような欠陥はホウ素と共にホウ素自身よりは高速で拡散する）と結合した際に起こる。ホウ素／隙間の結合はホウ素自身よりは高速で拡散するので、接合深さは増加し制御程度は低下する。

20

【0027】

本明細書内で使用される「接合の拡がり」とは主ドーパントの接合深さの増加のことである。半導体基板内での接合の拡がりを増加させる因子の中には、イオン注入工程中の主ドーパントのチャンネリングおよびその後に実施される熱処理（例えば熱アニール処理）工程中の主ドーパントの熱拡散の両方が含まれる。OEDおよびTEDは、アニール処理の結果発生する接合の拡がりを更に助長する。本明細書内で使用される「接合狭小化イオン注入工程」とは、接合の拡がりを抑制する化学種の注入のことであり、これが達成される機構は問わない。従って、ある化学種を注入して半導体基板内に無秩序さを導入し、それによってチャンネリングを抑制することは一種の接合狭小化イオン注入工程である。同様に、例えばOEDおよびTEDに起因する主ドーパントの熱拡散を抑制する化学種の注入は他の種類の接合狭小化イオン注入工程である。熱拡散を抑制することによって機能する接合狭小化イオン注入工程は主ドーパントの注入の前あるいは後のいずれかで実施してよい。しかし、主ドーパントのチャンネリングを抑制する接合狭小化イオン注入工程は主ドーパントの注入前に実施する必要がある。接合狭小化イオン注入工程は複数の機構により機能するものであってよい。

30

【0028】

本明細書内で使用される「接合狭小化種」とは接合狭小化イオン注入工程に有益な化学種のことである。広範囲にわたる化学種および原子種が接合狭小化イオン注入工程のための接合狭小化種として使用可能である。接合狭小化種はアンチモン、ゲルマニウム、ケイ素、炭素、フッ素、塩素、臭素、ヨウ素およびこれらの混合物などから選ばれるイオン化された化学種が好ましい。従って、代表的な化学種の例として F^+ 、 Sb^+ 、 $SiCl_3^+$ 、および Br^+ が挙げられる（ただし、これによって本発明の範囲は制限されない）。

40

【0029】

本明細書内で使用される「ポケット注入工程」とは、超薄型のドレイン・エクステンションあるいはソース・エクステンションのすぐ外側の空間領域内にポケット種を堆積させる注入工程のことである。一般的には、超薄型のドレイン・エクステンションあるいはソース・エクステンション内に使用されたドーパントがp型の場合には、ポケット種はn型である。逆に、超薄型のドレイン・エクステンションあるいはソース・エクステンション内に使用されたドーパントがn型の場合には、ポケット種はp型である。好ましくはホウ素が超薄型のドレイン・エクステンションあるいはソース・エクステンション内で働くドーパントとして使用される。従って、ポケット種は好ましくはn型ドーパントである。よ

50

り好ましくは、ポケット種はリンである。

【0030】

本明細書内で使用される「シート抵抗」とは、シート材料の電子流に対する抵抗のことである。一般的には、シート材料が厚くなるに従ってシート抵抗は低下する。同様にして、一般的には、ドーパント濃度が増加するに従ってシート抵抗は低下する。好ましくは、本発明の好適な実施例による超薄型接合のシート抵抗は1000 / 平方未満である。より好ましくは、本発明の好適な実施例による超薄型接合のシート抵抗は700 / 平方未満である。

【0031】

主ドーパントの注入は、望ましい深さ分布の点から適切である限り、どのような運動エネルギー、(全体的な)投入量、傾斜角およびより角の条件下で実施してよい。好ましくは、平均的な注入深さとして1000Å未満、より好ましくは300Å、を確保する点から主ドーパントの運動エネルギーを決める。主ドーパントがBあるいはBF₂により構成される場合には、インプラントの運動エネルギーは好ましくは約5keV以下である。与えられた深さ分布に対する注入ドーパントの濃度はインプラント投入量の関数である。好ましくは同投入量は約 $1 \times 10^{14} \text{ cm}^{-2}$ と約 $1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-2}$ の間であり、より好ましくは約 $2 \times 10^{14} \text{ cm}^{-2}$ と約 $6 \times 10^{15} \text{ cm}^{-2}$ の間である。

【0032】

接合狭小化種の注入は、望ましい深さ分布および効果の点から適切である限り、どのような運動エネルギー、現投入量、傾斜角およびより角の条件下で実施してよい。好ましくは、接合狭小化インプラントに使用される接合狭小化種の運動エネルギーは望ましいインプラント深さを確保する点から決める。好ましくは、接合狭小化種の運動エネルギーは約1keVと約30keVの間である。与えられた深さ分布に対する接合狭小化種の濃度は接合狭小化インプラント投入量の関数である。好ましくは同投入量は約 $5 \times 10^{12} \text{ cm}^{-2}$ と約 $5 \times 10^{15} \text{ cm}^{-2}$ の間であり、より好ましくは約 $1 \times 10^{13} \text{ cm}^{-2}$ と約 $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-2}$ の間である。

【0033】

本発明の好適な実施例は、イオン注入工程に続いて、注入されたドーパントの活性化のためにドーパント拡散に起因する接合の拡がりを最小限に抑えつつ熱処理工程を実施する。好ましくは、同熱処理工程は、熱供給量の関数であるドーパント活性を最適化する高速熱アニール処理(rapid thermal annealing, RTA)で実施する。好ましくは、RTA工程での最高温度は約850と約1150の間であり、より好ましくはRTA工程での目標温度は約950と約1050の間である。好ましくは、RTA工程中の目標温度での熱処理時間は約20秒と約60秒の間である。それ以外の方法として、RTA工程は目標温度での熱処理時間はほとんどないかゼロであるスパイク・アニール処理で実施してよい。

【0034】

本発明の好適な一実施例によれば、1種類の接合狭小化種を注入し次いで1種類の主ドーパントを注入し次いでRTA工程を実施することにより超浅型接合を形成する。この好適な実施例でのフロー図を図2に示している。接合狭小化種注入工程200は適切なエネルギーおよび投入量の条件下で実施される。次いで、主ドーパント注入工程210は望ましい深さ分布を得る点からの適切なエネルギーおよび投入量の条件下で実施される。最後に、RTA工程220で主ドーパントを活性化する。追加的な工程、例えばポケット注入工程230、を実施してよい。

【0035】

本発明の好適な他の実施例によれば、2種類の接合狭小化種を注入し次いで1種類の主ドーパントを注入し次いでRTA工程を実施することにより超浅型接合を形成する。この好適な実施例でのフロー図を図3に示している。接合狭小化種注入工程300は適切なエネルギーおよび投入量の条件下で実施される。次いで、もうひとつの接合狭小化種注入工程310が適切なエネルギーおよび投入量の条件下で実施される。次いで、主ドーパント注入工程320は望ましい深さ分布を得る点からの適切なエネルギーおよび投入量の条件下で実施される。最後に、RTA工程330で主ドーパントを活性化する。追加的な工程、例えば

10

20

30

40

50

ポケット注入工程 340、を実施してよい。

【0036】

図4は半導体基板内の深さの関数としてのホウ素濃度に関して2種類の注入例を比較している。第一の例では、アンチモン、次いで二フッ化ホウ素次いでリンを使用した異なる3注入工程により実施した。アンチモン(Sb^+)インプラントの運動エネルギーは30keV、投入量は $2 \times 10^{13} \text{ cm}^{-2}$ および傾斜角は0°である。二フッ化ホウ素(BF_2^+)インプラントの運動エネルギーは6keV、投入量は $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-2}$ および傾斜角は0°である。リン(P^+)インプラントの運動エネルギーは40keV、投入量は $9 \times 10^{13} \text{ cm}^{-2}$ および傾斜角は15°である。第二の例では、アンチモンの注入後で二フッ化ホウ素の注入前にフッ素インプラントを追加的に注入したのを除けば第一の例と同様にして実施した。フッ素(F^+)インプラントの運動エネルギーは30keV、投入量は $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-2}$ および傾斜角は0°である。

10

【0037】

ソース・エクステンションおよび/あるいはドレイン・エクステンション内のドーパント濃度を半導体基板内の深さの関数として急峻に低下させることにより境界が明瞭な超薄型接合が形成される。図4に示されるように、アンチモンとフッ素のインプラントを両方とも二フッ化ホウ素インプラント前に注入した第二例の方が半導体基板内の深さの関数としてのドーパント濃度をより急峻に低下させた。このことは、第二例で形成された超薄型のドレイン・エクステンションあるいはソース・エクステンションとチャンネルの間の接合内での方がドーパント濃度はより急峻に低下することを意味する。更に図4に示されるように、第二例での方がホウ素濃度は基板内より浅い点で 10^{-17} cm^{-3} 未満のレベルにまで低下しており、接合はより薄いことを意味している。従って、接合狭小化のための2種類の工程(すなわちアンチモンとフッ素の注入)は単一の接合狭小化工程を超えたメリットを提供する。

20

【0038】

更に、第二例での2種類の接合狭小化工程はポケット分布に対してもメリットを提供する。図5は半導体基板内の深さの関数としてのリン濃度に関して図4で示されるのと同じ2種類の注入例を比較している。理想的には、ポケット分布は超薄型のドレイン・エクステンションおよび/あるいはドーパントのすぐ外側に存在し、チャンネル内には非常に遠くまでは侵入しない。図5に示されるように、2種類の接合狭小化工程を採用した第二例はこのような結果をもたらしている。第二例では、リン最大濃度は接合深さに対応する基板内の深さの点で達成されている。更に、第二例での方が基板内の深さの関数としてのリン濃度はより急峻に低下しており、このことは第一例でのポケット分布は第二例に比べてチャンネル内により深く浸透していることを意味している。

30

【0039】

第二例において2種類の接合狭小化工程は主ドーパント注入工程の前に実施したが、改善された結果が得られた正確な機構は不明である。接合狭小化工程のひとつあるいは両方共主ドーパント注入工程の後で実施したならば同じあるいはよりよい結果が得られた可能性がある。従って、本発明の好適な実施例は、主ドーパント注入工程に対する接合狭小化工程の前後関係を制限すると考えるべきではない。本発明の他の好適な実施例は、第一接合狭小化工程、主ドーパント注入工程および第二接合狭小化工程をこの順序で実施し次いでRTA工程を実施することにより超浅型接合を形成する。好ましくは、第一接合狭小化工程での接合狭小化種はアンチモン、ゲルマニウムおよび/あるいはケイ素により構成され、第二接合狭小化工程での接合狭小化種は炭素、フッ素、塩素、臭素および/あるいはヨウ素により構成される。本発明の更に他の好適な実施例は、主ドーパント注入工程、第一接合狭小化工程および第二接合狭小化工程をこの順序で実施し次いでRTA工程を実施することにより超浅型接合を形成する。追加的な注入工程(例えばポケット注入工程)あるいは追加的な接合狭小化工程も実施してよい。

40

【0040】

以上、本発明の好適な実施態様を説明したが、当業界での熟練者は本発明の精神および説明事項を逸脱しない範囲内でこれらを変更することは可能である。特に、多くの接合狭

50

小化工程が主ドーパント注入工程あるいは異なる接合狭小化工程の前あるいは後で実施可能であるので、多段の注入工程から構成される方法の言及はこれら工程の実施順序を制限するものではない。本明細書で記載された実施態様は本発明を説明するためのものであり制限しようとするものではない。ここに記載された本発明に対して多くの変更や修正が可能であり、これらは本発明の範囲内である。

【0041】

従って、保護範囲は上記の記載事項により制限されることはなく、下記の特許請求の範囲によってのみ制限され、その範囲は特許請求の主題と同等の全てのものを包含する。個々の特許請求項は全て本発明の実施態様として本明細書内に記載されている。従って、これらの特許請求項は本発明の好適な実施態様を更に説明し、かつこれら実施態様への追加物である。個々の特許請求項のどのような構成物に関してもそれに対して使用される「オプショナル」との言葉は、その構成物が必須であるか、あるいは必須ではないとの意味を意図している。いずれの場合であっても、特許請求の範囲内であることを意図している。「発明の背景」で引用された文献内での事項に言及したことは、これらが本発明の先行技術であることを認めたものではない。本発明の出願優先日以降に出版されたかもしれないどのような参照文献に関しては特にこのことが言える。本明細書内で引用された特許、特許出願および出版物は、本明細書内での記載事項を補足するための説明、方法あるいはその他の詳細を提供するために言及された。

【0042】

以上の説明に関して更に以下の項を開示する。

10

20

30

40

50

(1) 以下の工程により半導体基板をドーピングすることを包含する、同基板内に超薄型(shallow: 浅型)接合を形成する方法：

- a . 上記半導体基板の表面領域に第一の注入エネルギーによりアンチモンイオンを注入する；
- b . 上記表面領域に第二の注入エネルギーによりフッ素イオンを注入する；
- c . 上記表面領域に第一の注入エネルギーおよび第二の注入エネルギーより低い第三の注入エネルギーによりニフッ化ホウ素イオンを注入する；および
- d . ホウ素ドーパントを高速熱アニール処理により活性化する。

(2) 上記のアンチモン注入工程をフッ素注入工程およびニフッ化ホウ素注入工程より前の段階で実施する(1)の方法。

(3) 上記のフッ素注入工程をニフッ化ホウ素注入工程よりは前の段階で実施する(2)の方法。

(4) 上記のニフッ化ホウ素注入工程をフッ素注入工程よりは前の段階で実施する(2)の方法。

(5) 以下の条件下でイオン注入を実施する(1)の方法：

a . アンチモンイオンは運動(注入)エネルギー 30 ~ 35keV、投入量 $2 \times 10^{13} \sim 6 \times 10^{13}$ イオン / cm^2 で注入；

b . フッ素イオンは運動エネルギー 12 ~ 30keV、投入量 $5 \times 10^{14} \sim 2 \times 10^{15}$ イオン / cm^2 で注入；および

c . ニフッ化ホウ素は運動エネルギー 5 ~ 6keV、投入量 $4 \times 10^{14} \sim 2 \times 10^{15}$ イオン / cm^2 で注入。

(6) 以下の条件下でイオン注入を実施する(1)の方法：

a . アンチモンイオンは運動エネルギー 5 ~ 15keV、投入量 $1 \times 10^{13} \sim 5 \times 10^{13}$ イオン / cm^2 で注入；

b . フッ素イオンは運動エネルギー 10 ~ 20keV、投入量 $2 \times 10^{15} \sim 5 \times 10^{15}$ イオン / cm^2 で注入；および

c . ニフッ化ホウ素は運動エネルギー 1 ~ 5keV、投入量 $4 \times 10^{14} \sim 2 \times 10^{15}$ イオン / cm^2 で注入。

(7) 最上表面を有する半導体基板内に以下の構成を含む超薄型接合；

a . 上記最上表面近傍の、実質的に上記最上表面に平行で実質的に平坦な部分を有す

る接合；

b. ホウ素原子、アンチモン原子およびフッ素原子を含有する、上記平坦な部分と最上表面との間の領域；および

c. 上記領域内にフッ素原子はホウ素原子の2倍を超える数で存在する。

(8) 上記接合近傍に存在するホウ素原子の密度が約 1×10^{18} 原子/cm³である(7)の超薄型接合。

(9) 上記実質的に平坦な部分が上記最上表面から約35~50nmの距離にある(8)の超薄型接合。

(10) 上記実質的に平坦な部分が上記最上表面から約28~38nmの距離にある(8)の超薄型接合。

(11) 複数のイオン注入工程を用いる半導体基板中に超薄型接合を形成する方法を示す。イオン注入工程は、ホウ素のような少なくとも1つの電子活性ドーパントの注入を含み、フッ素(310)及びアンチモン(300)のような、ドーパント注入及び/又は熱拡散の間にチャンネリングにより接合が広がるのを制限する効果がある少なくとも2つの種の注入をも含む。ドーパント注入後に、電子的に活性なドーパントは、熱処理(330)により活性化される。

【図面の簡単な説明】

【0043】

【図1】半導体基板内のMOSFETの断面図である。

【図2】本発明の好適な一実施例による半導体基板内に超薄型接合を形成するためのプロセスのフロー図である。

【図3】本発明の好適な一実施例による半導体基板内に超薄型接合を形成するためのプロセスのフロー図である。

【図4】半導体基板内の深さの関数としてのホウ素濃度に関して(a)Sb⁺/BF₂⁺/P⁺インプラントと(b)Sb⁺/F⁺/BF₂⁺/P⁺インプラントを比較した図である。アンチモン(Sb)インプラントの運動エネルギーは30keV、投入量は 2×10^{13} cm⁻²および傾斜角は0°である。フッ素(F)インプラントの運動エネルギーは30keV、投入量は 1×10^{15} cm⁻²および傾斜角は0°である。BF₂⁺インプラントの運動エネルギーは6keV、投入量は 1×10^{15} cm⁻²および傾斜角は0°である。リン(P⁺)インプラントの運動エネルギーは40keV、投入量は 9×10^{13} cm⁻²および傾斜角は15°である。

【図5】半導体基板内の深さの関数としてのリン濃度に関して(a)Sb⁺/BF₂⁺/P⁺インプラントと(b)Sb⁺/F⁺/BF₂⁺/P⁺インプラントを比較した図である。注入条件は図4の場合と同じである。

【符号の説明】

【0044】

200 第一接合狭小化種注入工程

210 主ドーパント注入工程

230 ポケット注入工程(オプショナル)

220 高速熱アニール処理工程

300 第一接合狭小化種注入工程

310 第二接合狭小化種注入工程

320 主ドーパント注入工程

340 ポケット注入工程(オプショナル)

330 高速熱アニール処理工程

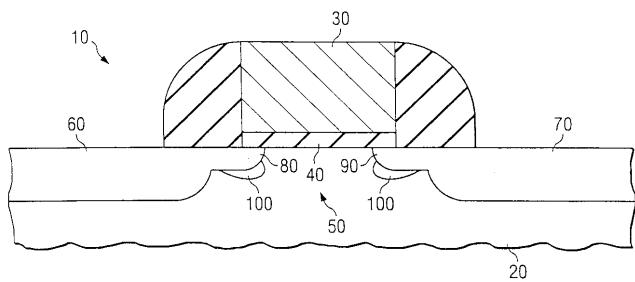
10

20

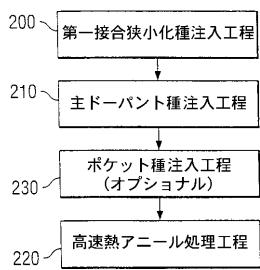
30

40

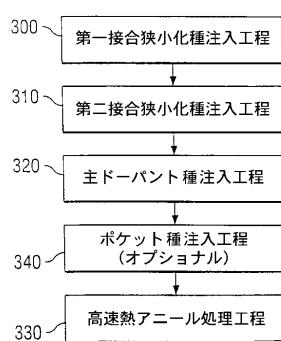
【図1】



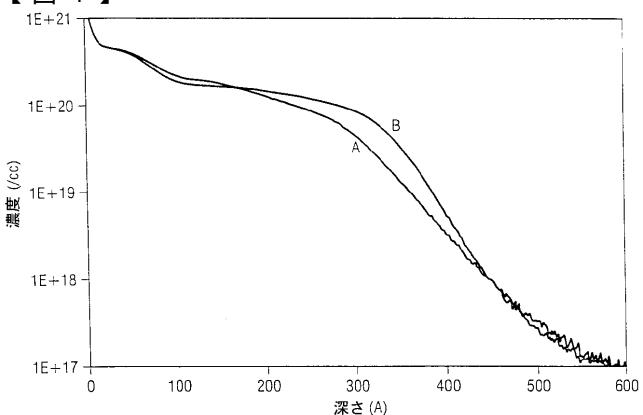
【図2】



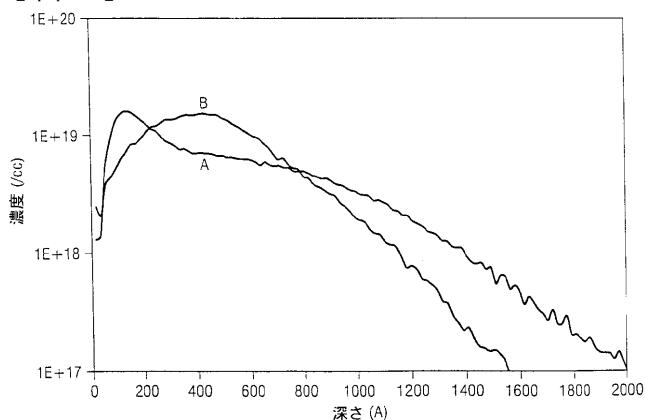
【図3】



【図4】



【図5】



フロントページの続き

(72)発明者 アミタバ ジャイン

アメリカ合衆国 テキサス、アレン、ベルヘイブン ドライブ 628

(72)発明者 ステファニー ダブリュー、バトラー

アメリカ合衆国 テキサス、リチャードソン、ウインター パーク ドライブ 4700

F ターム(参考) 5F140 AA12 AA21 BG08 BH14 BH21 BH22 BH36 BH49 BK10 BK13

BK21 BK22