

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公表特許公報(A)

(11) 特許出願公表番号

特表2012-503886
(P2012-503886A)

(43) 公表日 平成24年2月9日(2012.2.9)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
HO 1 L 21/265 (2006.01)	HO 1 L 21/265 Z	
	HO 1 L 21/265 6 O 2 A	
	HO 1 L 21/265 6 O 2 B	
	HO 1 L 21/265 6 O 2 C	
	HO 1 L 21/265 F	
	審査請求 未請求 予備審査請求 未請求 (全 20 頁)	

(21) 出願番号 特願2011-529150 (P2011-529150)
 (86) (22) 出願日 平成21年9月21日 (2009. 9. 21)
 (85) 翻訳文提出日 平成23年5月11日 (2011. 5. 11)
 (86) 国際出願番号 PCT/US2009/057708
 (87) 国際公開番号 W02010/036621
 (87) 国際公開日 平成22年4月1日 (2010. 4. 1)
 (31) 優先権主張番号 61/100, 134
 (32) 優先日 平成20年9月25日 (2008. 9. 25)
 (33) 優先権主張国 米国 (US)

(71) 出願人 390040660
 アプライド マテリアルズ インコーポレイテッド
 APPLIED MATERIALS, INCORPORATED
 アメリカ合衆国 カリフォルニア州 95054 サンタ クララ パウアーズ アベニュー 3050
 (74) 代理人 100109726
 弁理士 園田 吉隆
 (74) 代理人 100101199
 弁理士 小林 義教

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 オクタデカボラン自己アモルファス化注入種を使用する無欠陥接合形成

(57) 【要約】

ボロンクラスタを半導体基板に注入するための方法および装置。プラズマイメージョンまたはイオンビーム注入によって、基板にオクタデカボランを注入する。次に、ボロンクラスタを完全に分解し、活性化させるために、基板表面をアニールする。アニールを、注入した領域を溶融することによって、またはサブメルトアニールプロセスによって実行することができる。

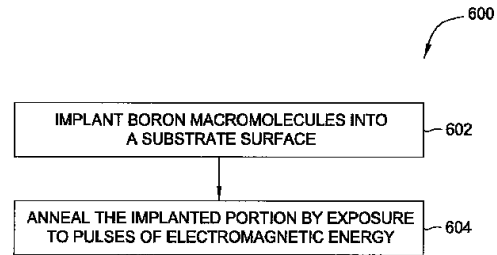


FIG. 6

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

基板を処理する方法であって、
 前記基板の表面中へとボロン巨大分子を注入するステップと、
 前記ボロン巨大分子を注入した前記基板の前記表面を溶融するステップと、
 前記ボロン巨大分子を注入した前記基板の前記表面を再固化させるステップと、
 前記基板の前記表面をアニールするステップと
 を含む方法。

【請求項 2】

前記ボロン巨大分子が、少なくとも 16 個のボロン原子を含有するクラスタを包含する、請求項 1 に記載の方法。 10

【請求項 3】

ボロン巨大分子を注入した前記基板の前記表面を溶融するステップが、前記基板表面の溶融点の点までまたは前記溶融点よりも高い点まで前記基板表面の温度を高くするために前記基板表面の一部分に加熱エネルギーを向けるステップを含む、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 4】

前記加熱エネルギーがレーザー光を包含する、請求項 3 に記載の方法。

【請求項 5】

前記レーザー光が連続波放射である、請求項 4 に記載の方法。 20

【請求項 6】

前記レーザー光がパルスである、請求項 4 に記載の方法。

【請求項 7】

前記基板の前記表面を再固化させるステップが、200 / 秒よりも小さな速度で前記表面を冷却するステップを含む、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 8】

前記基板の前記表面をアニールするステップが、少なくとも 1 分間少なくとも 400 の温度で前記基板表面を維持するステップを含む、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 9】

前記ボロン巨大分子がオクタデカボランを包含する、請求項 1 に記載の方法。 30

【請求項 10】

基板を処理する方法であって、
 前記基板の表面中へとオクタデカボランを注入するステップと、
 前記基板の注入した領域を繰り返して加熱し冷却することによって前記注入した領域をアニールするステップと
 を含む方法。

【請求項 11】

前記オクタデカボランが約 1 keV よりも低いエネルギーレベルで注入される、請求項 10 に記載の方法。

【請求項 12】

前記注入した領域を繰り返して加熱し冷却するステップが、前記注入した領域に向けてレーザーエネルギーを導くステップを含む、請求項 10 に記載の方法。 40

【請求項 13】

前記注入した領域を繰り返して加熱し冷却するステップが、前記注入した領域の溶融温度よりも低い温度で前記注入した領域の温度を維持するステップを含む、請求項 12 に記載の方法。

【請求項 14】

前記注入した領域を繰り返して加熱し冷却するステップが、電磁放射のパルスに前記注入した領域を曝露させるステップを含む、請求項 10 に記載の方法。

【請求項 15】

各注入した領域が電磁放射の少なくとも30パルスに曝露され、電磁放射の各パルスが約1nsから約10 μ sまでの持続時間を有する、請求項14に記載の方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本明細書中で説明する実施形態は、半導体製造方法に関する。より具体的には、本発明の実施形態は、半導体基板にドーピングする方法を包含する。

【背景技術】

【0002】

半導体技術が発展するにつれて、半導体基板上に形成するデバイスは、より小さくなっていく。デバイスが小さくなるにつれて、製造業者は、デバイスを作るために良い生産性のプロセスを開発することに継続的に挑戦している。現在、製造プロセスは、45nmのクリティカルディメンションを有するデバイスを作るために展開されようとしている。研究者は、20nm以下のクリティカルディメンションを有するデバイス用の次世代プロセスを開発することにかかりきりである。これらの極限の寸法では、基板中へドーパントを注入することが禁止されるようになる。旧来型のボロンドーピングプロセスでは、例えば、ボロン原子を、所望の深さへと結晶格子に侵入させるために十分なエネルギーで基板に向けて導き、基板を次にアニールして、ボロンを分布させ活性化させる（結晶ネットワークにボロンを結合させる）。デバイス寸法が小さくなるにつれて、注入深さの制御が、より重要になってくる。次世代デバイスは、約50原子層の深さよりも深くない接合を有

10

20

【0003】

接合深さが浅くなるにつれて、注入の問題が生じる。余り深くまで注入することを避けるため、イオンをもっとゆっくりと進ませなければならないために、同じ様に電荷を帯びたイオンの中で反発する電荷は、それらのイオンを意図された経路から外れさせる。この効果を補償するために、高速イオンを、基板の表面近くで磁氣的に減速させる。ビーム減速は、しかしながら、減速中にまたは減速に先立って、高速イオンと逃走中性粒子との間の電荷の交換から生じる「エネルギーコンタミネーション」を結果としてもたらず。高速の中性化した粒子は、ビーム減速機によって影響されずに、基板中へと深く注入される。

30

【0004】

小さなイオンは、やはり、結晶格子を通してチャネリングする。多くのイオンが妨害されずに通るために十分に大きなオープンスペースを結晶格子が有するために、多くのイオンが、これらの「チャネル」を下って進み、大きく変化する注入深さを結果として生ずる。チャネリングする傾向を低減させるために、多くの製造業者は、基板表面を「プレアモルファス化すること」を頼りにしてきており、チャネリングのいかなる機会をも除去する。プレアモルファス化は、イオンが侵入するためのより多くのスペースを固体基質内部に空けることによって、注入ドーズもまた改善することができる。プレアモルファス化した基板は、しかしながら、結晶構造がかなりの深さまで完全に破壊されており、修復させなければならないために、ドーパントを活性化させるためにより多くのアニールを必要とする。これが、望まれないドーパントの拡散および残存EORダメージにつながる。

40

【0005】

従って、高ドーパントドーズおよび高ドーパント活性化や、低シート抵抗や、ドーパントの様な分布で浅接合の中にドーパントを注入するより良い方法に対する継続した必要性がある。

【発明の概要】

【0006】

本明細書において説明する実施形態は、基板の表面中へとボロン巨大分子を注入するステップと、ボロン巨大分子を注入した基板の表面を溶融するステップと、ボロン巨大分子を注入した基板の表面を再固化させるステップと、基板の表面をアニールするステップと

50

を含む、基板を処理する方法を提供する。ある実施形態では、ボロン巨大分子が、少なくとも16個のボロン原子を有するボロンクラスタを包含する。

【0007】

別の実施形態は、基板の表面中へとオクタデカボランを注入するステップと、注入した領域を繰り返して加熱し冷却することによって基板の注入した領域をアニールするステップとを含む、基板を処理する方法を提供する。

【0008】

従って、本発明の上に記述したフィーチャを詳細に理解することが可能な方式で、上に簡潔に要約されている本発明のより明細な説明を、その一部が添付した図面に図示されている実施形態を参照することによって知ることができる。しかしながら、添付した図面が典型的な実施形態だけを図示し、それゆえ、他の同様に有効な実施形態を考案することができるため、範囲に限定するようには見なされないことに、留意すべきである。

【図面の簡単な説明】

【0009】

【図1A】一実施形態による装置の概略的断面図である。

【図1B】図1Aの装置の透視図である。

【図2】一実施形態による方法を要約した流れ図である。

【図3】別の一実施形態による方法を要約した流れ図である。

【図4】本明細書中で説明する実施形態を実行するために使用することができるアニールシステムの概略図である。

【図5】アレイに配列された40個の正方形をしたダイを含有する基板の上面図の概略図である。

【図6】別の一実施形態による方法を要約した流れ図である。

【発明を実施するための形態】

【0010】

理解を容易にするために、可能である場合には、複数の図に共通な同一の要素を示すために、同一の参照番号を使用している。一実施形態において開示した要素を、具体的な記述がなくとも別の実施形態において利益をもたらすように利用することができるが予想される。

【0011】

本明細書において説明する実施形態は、一般にボロンを半導体基板にドーピングする方法を提供する。基板は注入チャンバに用意される。ボロン巨大分子を含有するガス混合物を、チャンバに与える。ボロン巨大分子を、イオン化させ、基板の表面中へのボロン巨大分子の浅い注入を実現させるために選択したエネルギーで基板に向けて加速する。ボロン巨大分子は、基板表面に侵入し、アモルファス化させ、原子または小さなクラスタへと分裂する。ボロンドーパントを、次にアニールプロセスを使用して活性化させる。

【0012】

図1Aは、本発明の一実施形態によるイオン注入や、酸化膜層形成や、キャッピング層形成を実行するために利用することができるプラズマ反応装置100を描いている。本発明を実行するように適合することができる1つの適した反応装置は、Santa Clara, CaliforniaのApplied Materials, Inc. から入手可能なP31(商標)反応装置である。本発明を実行するように適合することができるもう1つの反応装置は、米国特許出願第11/608,357号に記載されている。本明細書において説明する方法を、他の製造業者からのプラズマ反応装置を含む他の適切に適合するプラズマ反応装置において実行することができることが、考えられる。

【0013】

プラズマ反応装置100は、プロセス領域104を取り囲む底部124や、上部126や、側壁122を有するチャンバ本体102を含む。基板支持アセンブリ128は、チャンバ本体102の底部124から支持され、加工処理のために基板106を受け取るように適合する。ガス分配プレート130を、基板支持アセンブリ128に向い合うチャンバ

10

20

30

40

50

本体 102 の上部 126 に接続する。ポンプ用ポート 132 を、チャンバ本体 102 内に画定し、真空ポンプ 134 に接続する。真空ポンプ 134 を、ポンプ用ポート 132 にスロット弁 136 を介して接続する。基板 106 上に実施されるプロセス用のガス状の前駆体化合物を供給するために、ガス源 152 をガス分配プレート 130 に接続する。

【0014】

図 1 A に描かれた反応装置 100 は、図 1 B の透視図に最もよく示されているプラズマ源 190 をさらに含む。プラズマ源 190 は、チャンバ本体 102 の上部 126 の外側上にマウントされ、互いに横切って配置された（すなわち、図 1 B に描かれた例示的な実施形態に示したように、互いに直交する）1 対の別々の外部リエントラント導管 140、140' を含む。第 1 の外部導管 140 は、チャンバ本体 102 内のプロセス領域 104 の第 1 の側へと上部 126 中に形成された開口部 198 を介して接続された第 1 の端部 140 a を有する。第 2 の端部 140 b は、プロセス領域 104 の第 2 の側へと接続された開口部 196 を有する。第 2 の外部リエントラント導管 140 b は、プロセス領域 104 の第 3 の側へと接続された開口部 194 を有する第 1 の端部 140 a' およびプロセス領域 104 の第 4 の側への開口部 192 を有する第 2 の端部 140 b' を有する。一実施形態では、第 1 の外部リエントラント導管および第 2 の外部リエントラント導管 140、140' は、互いに直交するように構成され、それによってチャンバ本体 102 の上部 126 の周辺部の周りに約 90 度の間隔で配置された各外部リエントラント導管 140、140' の 2 つの端部 140 a、140 a'、140 b、140 b' を備える。外部リエントラント導管 140、140' の直交構成は、プロセス領域 104 全体にわたり均一に分布するプラズマ源を可能にする。第 1 の外部リエントラント導管および第 2 の外部リエントラント導管 140、140' を、プロセス領域 104 内へと均一なプラズマ分布を与えるために利用する別の分配装置として構成することができるが、考えられる。

10

20

【0015】

磁氣的透過性のあるトロイダル磁心 142、142' は、外部リエントラント導管 140、140' のうちの対応する 1 つの一部を取り囲む。導電性コイル 144、144' を、それぞれのインピーダンス整合回路または素子 148、148' を介してそれぞれの RF プラズマ源発電機 146、146' に接続する。各外部リエントラント導管 140、140' は、それぞれ絶縁性環状リング 150、150' によって分断された中空の導電性の管であり、その絶縁性環状リング 150、150' は、それぞれの外部リエントラント導管 140、140' の 2 つの端部 140 a、140 b（および 140 a'、140 b'）間の、そのリングがなければ連続する電氣的経路を分断する。基板表面のところのイオンエネルギーを、インピーダンス整合回路または素子 156 を介して基板支持アセンブリ 128 に接続された RF プラズマバイアス発電機 154 によって制御する。

30

【0016】

図 1 A に戻って参照すると、プロセスガス源 152 から供給されるガス状の化合物を含むプロセスガスを、プロセス領域 104 中へとオーバーヘッドガス分配プレート 130 を介して導入する。RF プラズマ源発電機 146 を、電力アプリケーションから導管 140 内に供給したガスへと接続する。その RF プラズマ源発電機 146 は、外部リエントラント導管 140 およびプロセス領域 104 を含む第 1 の閉トロイダル経路内に循環するプラズマ電流を生じさせる。また、RF プラズマ源発電機 146' を、別の電力アプリケーションから第 2 の導管 140' 内のガスへと接続することができる。その RF プラズマ源発電機 146' は、第 1 のトロイダル経路と交差する（例えば、直交する）第 2 の閉トロイダル経路内に循環するプラズマ電流を生じさせる。第 2 のトロイダル経路は、第 2 の外部リエントラント導管 140' およびプロセス領域 104 を含む。経路の各々の中のプラズマ電流は、それぞれの RF プラズマ源発電機 146、146' の周波数で（例えば、逆方向に）振動し、それらの周波数は、同じであるまたは互いにわずかにずれることがある。

40

【0017】

一実施形態では、プロセスガス源 152 は、基板 106 に注入するイオンを与えるために利用することができる種々のプロセスガスを与える。各プラズマ源発電機 146、14

50

6'の出力の組み合わせた効果が、プロセスガス源152から供給されるプロセスガスを効率的に解離させ、基板106の表面のところで所望のイオンフラックスを生成するように、各プラズマ源発電機146、146'の出力を管理する。RFプラズマバイアス発電機154の出力を、ある選択したレベルで制御し、そのレベルで、プロセスガスから解離したイオンエネルギーを、基板表面に向けて加速することができ、所望のイオン濃度で基板106の上表面の下方の所望の深さのところに注入することができる。例えば、約50 eV以下などの比較的低いRF出力を用いると、比較的低いプラズマイオンエネルギーを得ることができる。

【0018】

ボロン巨大分子を包含するガス混合物を、その中に配置した基板を有するチャンバに与える。本発明の実施形態は、やはり、Santa Clara, CaliforniaのApplied Materials, Inc.から入手可能なQUANTUM(登録商標)X Plus注入装置、または別の製造業者からの同等な機器を使用して実行することができる。ボロン巨大分子は、 x が約6と約20の間であり、 y が約12と約24の間であるボロン水素化物 B_xH_y を含むがこれに限定されない安定なボロン巨大分子の任意の混合物を包含することができる。多くの実施形態では、注入用に使用するボロンクラスタまたはボロン巨大分子は、各々が少なくとも16個のボロン原子を有する。いくつかの例示的な水素化ボロン巨大分子は、オクタデカボラン($B_{18}H_{22}$)や、デカボラン($B_{10}H_{14}$)や、ヘキサボラン(B_6H_{10})や、オクタボラン(B_8H_{12})や、ヘキサデカボラン($B_{16}H_{20}$)を含む。加工処理条件下でオクタデカボランを分解せずにイオン化させることができるために、オクタデカボランが好まれる。オクタデカボランは、また、上に列挙した困難を伴わずに非常に低いエネルギーで基板へ大量のボロンを搬送する。オクタデカボランイオンが大きな質量対電荷比を有するために、イオンがそれる傾向をはっきりと減少させ、上に記載した難題を何一つ伴わずに低エネルギー注入を可能にする。

【0019】

一実施形態では、オクタデカボラン(B_{18})を、昇華温度まで加熱することによって気化させる。 B_{18} を、North Billerica, MassachusettsのSemEquip, Inc.から入手可能なClusterlon(登録商標)気化器、または別の製造業者から入手可能な同等の供給源システムを使用して気化させることができる。 B_{18} 蒸気を、次に、チャンバへ、または基板の表面へと注入するための機器へ与える。

【0020】

プラズマイオン型機器では、 B_{18} 蒸気を、ガス分配装置の内部に形成されたイオン化用ゾーンへ与える。RF出力を、 B_{18} をイオン化させるためのイオン化用ゾーンに接続する。典型的には、キャリアガスの流れを、約2,000 sccmと約4,000 sccmとの間、例えば、約3,000 sccmなどの、約1,000 sccmと約5,000 sccmとの間で設定する。キャリアガスを、ヘリウムまたはアルゴンなどの、加工処理条件下で非反応性の任意のガスとすることができる。RF出力をガス流へと接続し、次に、ガス分配装置内でガス混合物を形成するために、 B_{18} 蒸気のパルスをチャンバに与える。 B_{18} 蒸気のパルスを、約700 sccmと約1,200 sccmとの間、例えば、約1,000 sccmなどの、約500 sccmと約2,000 sccmとの間の流量で約1秒間与えることができる。イオン化用RF出力を、約200Wと約400Wとの間、例えば、約300Wなどの、約100Wと約500Wとの間でイオン化用ゾーンへと接続することができる。RF出力を、例えば、平行平板電極を使用する容量カップリングの使用によって、または誘導カップリングによってイオン化用ゾーン中へと接続することができる。ある実施形態では、95%以上、例えば、99%以上などの、 B_{18} 分子の90%以上がイオン化する。

【0021】

B_{18} イオンは、ガス分配装置を介してチャンバ中へとイオン化用ゾーンを流れて

10

20

30

40

50

る。ある実施形態では、ガス分配器か、基板支持部か、または両方に電氣的バイアスを印加することによって、 B_{18} イオンを基板表面に向けて加速することができる。バイアスを、DC バイアスまたは RF バイアスとすることができる。ある実施形態は、電氣的バイアスを使用せずに、 B_{18} イオンがガス流とともに基板に向けてドリフトすることを可能にする。電氣的バイアスを使用する実施形態では、100V から 300V までの DC のバイアスまたは 10W から 500W までの出力レベルの二乗平均平方 RF を使用することができる。ある実施形態では、200V DC を 100W の出力で与える。

【0022】

イオン注入機器では、電場が B_{18} 分子をイオン化させるイオン化用ゾーンを、 B_{18} 蒸気が通過する。磁気質量選別器は、基板に向けて収束され導かれる B_{18} イオンのビームを生成する。各ボロンクラスタは、一般に約 2keV と約 20keV との間の運動エネルギーを有し、その運動エネルギーは、各ボロン原子が約 0.1keV と約 1.1keV との間の運動エネルギーを有することと等価である。個別のボロンイオンについての約 2mA と約 100mA との間の等価イオン電流を送達するために、ビーム電流を約 0.1mA と約 5.0mA との間とすることができる。

10

【0023】

オクタデカボランイオンを注入するにつれて、オクタデカボランイオンは、基板表面の結晶構造を破壊し、従って自己アモルファス化する。大きなイオンは基板表面に衝突し、その衝突のごく近傍の表面を実質的に溶融させる。イオンが表面内に入るので、イオンは小さな衝突クレータを形成し、結晶格子を実質的に破壊する。水素原子は、イオンから剥ぎ取られ、基板の外へと拡散し、ボロンクラスタが結晶表面の次の層に突き進むように残す。大きなクラスタが結晶を通して動くので、ボロンの小部分が主クラスタから離脱する。これらの小部分は、1個のボロン原子または数個のボロン原子のクラスタである場合がある。小さなクラスタは、隙間を通るチャネリングによって低エネルギーで結晶格子にうまく入り込むことができるが、大きなクラスタがそのごく周囲環境をアモルファス化させるために、大部分の小さなクラスタの動きは横方向にそれ、ボロン原子の横方向分散を生じさせる。

20

【0024】

基板の表面を溶融することを伴うアニーリングプロセスならびに急速の繰り返し加熱および冷却を伴うサブメルトアニーリングプロセスが、旧来のサブメルトアニールプロセスよりもボロン巨大分子注入種を活性化させるためにより効果的であることを、本発明者らは見出している。理論によって束縛されることを望まないが、 B_{18} クラスタの注入は、小さな粒子の注入よりもはるかに大きな程度に基板の表面をアモルファス化し、そのため、標準のサブメルトアニールプロセスでは基板を十分に再結晶化しないと、考えている。それに加えて、溶融させることがその場で細分化を終わらせるのを助けるので、 B_{18} クラスタを、注入時に個々のボロン原子へと完全にばらばらにする必要が必ずしもない。ある実施形態では、EOR 欠陥を作り出さずに基板の表面をアモルファス化させる B_{18} クラスタの能力のために、EOR 欠陥に起因するほとんどリークのないまたはまったくリークのない極浅接合を、 B_{18} 注入に引き続く溶融アニーリングを使用して作り出すことができる。

30

40

【0025】

図2は、本発明の一実施形態によるボロンを用いて基板にドーピングする方法200を要約する。ボロン巨大分子を、202において、基板の表面中へと注入する。オクタデカボランまたはイコサボラン ($B_{20}H_{26}$) や、トリアンタボラン ($B_{30}H_x$) や、サランタボラン ($B_{40}H_x$) などであるがこれらに限定されない大量のボロンを含有する他の安定な巨大分子が、ある実施形態にとって有用である場合がある。上記の組み合わせまたは混合物を、やはり使用することができる。ボロンクラスタをイオン化させ、それらを基板に向けて導くために、プラズマイメージョン装置またはビーム注入装置を使用して、注入を実現することができる。注入エネルギーを調整するために、DC バイアスまたは RF バイアスを基板に印加することができる。

50

【0026】

基板表面の注入した部分を204において溶融する。オクタデカボランを注入した基板の処理のために適した溶融加熱プロセスを、任意の好都合なエネルギー源を使用して行うことができる。基板を、熱伝導によってまたは電磁放射による放射加熱によって加熱することができる。加熱した支持部上に基板を配置することができる、または可視放射光か、赤外放射光か、またはマイクロ波放射による照射を基板に行うことができる。加熱支持部を、その支持部内に埋め込んだ抵抗加熱を使用して、または熱流体を流すためにその支持部内に導管を設けることによって加熱することができる。放射光は、コヒーレントであってもインコヒーレントであってもよく、収束であっても非収束であってもよく、単色であっても多色であってもよく、または偏光であっても非偏光であってもよく、どのようにでもすることができる。放射光を、レーザや、フラッシュランプや、アークランプや、フィラメントランプの1つまたは複数の任意の組み合わせによって放出することができる。ある実施形態では、基板全体を同時に処理することができるが、別の実施形態では、基板の一部を連続して処理することができる。ある実施形態では、基板表面へのエネルギーの付与を改善し、基板を加熱するにつれて昇華によるボロンの損失を減少させるために、カーボン膜などのエネルギー吸収膜を、基板を覆って付けることができる。ある実施形態では、基板のバルクを冷たい支持部を使用して冷却しながら、基板表面を放射エネルギーにより加熱することができる。

10

【0027】

オクタデカボランで注入した基板の部分を、注入した部分の溶融点の温度またはそれよりも高い温度に加熱する。ある実施形態では、基板のバルクが結晶質のままに注入した表面だけを溶融する。ある実施形態では、オクタデカボラン注入に付随するアモルファス化の程度のために、表面をアモルファス物質の溶融温度にまたはそれよりも高い温度に加熱すれば、十分である場合があり、そのアモルファス物質の溶融温度は、結晶質物質の溶融温度よりも一般に低い。シリコン基板を処理する実施形態に関して、1,200以上の温度が、表面のアモルファス化した部分を溶融するには十分である場合がある。アモルファスシリコンが結晶質シリコンよりも低い温度で溶融するために、アモルファス化した部分は、この温度で溶融するが、下にある結晶質相は溶融しない。熱応力による何らかの基板損傷を最小にするために、基板のバルクを中間の温度まで加熱することが、有利な場合がある。例示的な実施形態では、基板支持部は、500以上の温度に基板を加熱することができ、溶融温度まで基板の一部を加熱するために、放射エネルギー源を使用することができる。溶融ゾーンの超高速加熱は、アモルファス相が結晶化する前にアモルファス相の溶融を実現するために一般に好まれている。ある実施形態では、10n秒と100n秒との間、例えば、20n秒などの、数ナノ秒から約200ナノ秒までのパルス持続時間を有するナノ秒パルスレーザを、アモルファス相を溶融させるために使用することができる。

20

30

【0028】

溶融した後で、基板の溶融した部分は、206において再結晶化する。多くの実施形態では、注入したボロン原子を含む結晶格子の形成を促進させるやり方で、再結晶化を実行する。このやり方では、再結晶化は、アニーリングプロセスと類似している。結晶形成を促進させるために、通常の伝導冷却または放射冷却を介して実現されるはずの速度よりもゆっくりとした速度で溶融した部分を冷却することが、一般に好まれる。ある実施形態では、溶融に続いて、約1分と約10分との間、例えば、約3分などの、最大10分までの間、500以上で基板の温度を維持することが、有利な場合がある。別の実施形態では、基板表面の注入した部分を、約1 / 秒と約50 / 秒との間、例えば、約10 / 秒などの、約100 / 秒よりも早くない速度で冷却することが、有用である場合がある。さらに別の実施形態では、再結晶化を実現するために、ゆっくりとした冷却速度を、一定温度の期間と組み合わせることができる。

40

【0029】

本明細書中で説明したような注入しようとする基板に、プレクリーニングプロセスを行

50

うことができる。溶液は、約0.1重量パーセントHFから約10.0重量パーセントHFの濃度を有することができ、約20 から約30 までの温度で使用することができる。例示的な実施形態では、溶液は、約0.5重量パーセントのHFおよび約25 の温度を有する。別の例示的な一実施形態では、溶液は、約1.0重量パーセントのHFおよび約25 の温度を有する。基板を、約10秒から約60秒までの持続期間、HF溶液形式に曝すことができる。HF溶液のエッチング作用によって、すべての望ましくない酸化物を基板から除去する。基板を溶液に短時間曝した後に、脱イオン水中でのリンスステップおよびベークステップが続く場合がある。ベークステップを、基板の表面からすべての残っている逃げやすい種を蒸発させるために選択した温度で、窒素ガスか、ヘリウムか、アルゴンなどの不活性雰囲気下で実行することができる。一実施形態では、基板を、約200 と約600 との間の温度に約60秒間曝露させることができる。

10

【0030】

本明細書中で説明したようなボロンを注入した基板に、アニールプロセスの後でストリッピングプロセスを行うことができ、すべての残存する高表面濃度のボロンを除去することができる。ある実施形態では、揮発性の水素化物を生成させるために、基板を水素含有ガスに曝露させる。ある実施形態では、水素含有ガスをプラズマとすることができる。例えば、基板の表面のところのドーパントを揮発性の水素化物へと変換するために、プラズマありまたはなしで、水素ガスまたはアンモニアを使用することができる。ボロンは反応して、ボランや、ジボランや、または別の揮発性ボランオリゴマーなどの、様々な揮発性ボロン水素化物を形成する場合がある。例示的な一実施形態では、ドーパントの表面濃度を低下させるために、約200 などの、約100 と約300 との間の温度で、約15秒などの、約10秒と約30秒との間にわたって、基板を水素プラズマに曝露させることができる。水素プラズマを、その場でまたは遠く離れて発生させることができ、アルゴンまたはヘリウムなどの非反応性キャリアガスを伴う場合がある。キャリアガス流を、約1,500 s c c mなどの、約1,000 s c c mと約2,000 s c c mとの間の量で設定することができ、水素ガスのパルスを追加する。水素ガスのパルスを、約15秒などの、約10秒から約30秒の間隔にわたり、約300 s c c mなどの、約100 s c c mと約500 s c c mとの間の流量で供給することができる。曝露の後で、水素ガスを停止し、キャリアガスが、すべての残っている揮発性水素化物をチャンバからパージする。すべての残っている逃げやすい水素化物を除去するために、チャンバを、また、低い圧力に真空引きすることができる。

20

30

【0031】

図3は、本発明の別の一実施形態による方法300を要約する。基板を、302においてプロセッシングチャンバ内に配置する。キャリアガスの流れを、304において設定する。キャリアガスを、ヘリウムか、アルゴンか、または窒素ガスなどの任意の非反応性ガスとすることができる。ある実施形態では、キャリアガス流量を、約2,000 s c c mと約4,000 s c c mとの間、例えば、3,000 s c c mなどの、約1,000 s c c mと約5,000 s c c mとの間とすることができる。ボロン巨大分子を包含する前駆体を、306において添加する。ボロン前駆体を、プロセッシングチャンバの外でキャリアガスストリームに添加することができる、またはプロセッシングチャンバに直接添加することができる。ボロン前駆体を、約200 s c c mと約400 s c c mとの間、例えば、約300 s c c mなどの、約100 s c c mと約500 s c c mとの間の流量で与えることができる。ボロン前駆体を蒸気状態に維持するために蒸発温度でまたはそれよりも高い温度で、ボロン前駆体を一般に与える。B₁₈に関して、ボロン前駆体を、約250 などの、約100 と約400 との間の温度で与えることができる。

40

【0032】

キャリアガスおよびボロン前駆体は、プロセッシングチャンバの近くでまたはその中で、1つまたは複数のイオン化用ゾーン中へと流れ込む。308において、ボロン巨大分子を分解せずにボロン前駆体をイオン化させるために、イオン化用エネルギーを印加し、そのボロン前駆体はその後プロセッシングチャンバ中へとガス分配器を介して出てくる。ある実

50

施形態では、イオン化用エネルギーを、イオン化用ゾーンに電場をカップリングすることによって与えることができる。電場を、DCバイアスなどの静的なもの、またはRF出力の印加によって発生させるものなどの変化するものとすることができ、容量的手段または誘導的手段によってイオン化用ゾーンへとカップリングすることができる。一実施形態では、プロセッシングチャンバからイオン化用ゾーンへとガスを運ぶための1つまたは複数の導管を用いて、誘導イオン化用ゾーンをプロセッシングチャンバの外部に設ける。イオン化用ゾーンの周りに配置された1つまたは複数のトロイダル磁心を設けることによって、電場を各イオン化用ゾーンへとカップリングする。イオン化用ゾーン内部に電場を発生させるために、1つまたは複数のトロイダル磁心をRF出力により作動させる。大部分の実施形態に関して、イオン化用エネルギーを、約300Wなどの、約100Wと約500Wとの間の出力レベルで与えることができる。

10

【0033】

310において、基板表面に向けてイオン化したボロン巨大分子を加速させるために、電場を印加することができる。これを、基板支持部か、ガス分配器か、もしくは両方に印加するDCバイアスなどの静電場とすることができる、またはRF励振場などの変化する電場とすることができる。イオン化したボロン巨大分子が基板表面に向けて進むので、電場の印加は、イオン化したボロン巨大分子のエネルギーを調節するために使用する任意選択のステップである。ある実施形態は、イオンが表面に向けてドリフトすることを可能にすることができる。電場を使用する場合には、好ましくは、約100Wなどの、約50Wと約500Wとの間の出力レベルで印加する弱い電場である。ある実施形態では、イオン化したボロン巨大分子は、約100eVと約2,000eVとの間の運動エネルギーで基板表面に向けて進む。個々の実施形態は、これら2つの値の間の運動エネルギーの任意の特定の値または範囲でイオンにエネルギーを与えることができる。1つの実施形態は、やはり、この範囲内のエネルギーの分布があるイオンを取り上げることができる。例えば、イオン化したボロン巨大分子の第1の部分は、熱勾配か、圧力勾配か、もしくは電気的勾配、またはこれらの変動のために、イオン化したボロン巨大分子の第2の部分よりも大きな運動エネルギーを有する場合がある。

20

【0034】

イオン化したボロン巨大分子は、312において基板支持部上に配置された基板に衝突し、基板表面中へと注入される。巨大分子は、一般に、その巨大分子が衝突するときに基板表面の結晶基質を破壊するために十分な運動エネルギーを運び、表面をアモルファス化する。それに加えて、ボロン巨大分子が基板表面中へと押し入るときに、ボロン巨大分子がばらばらになる。その小部分は、一般に、アモルファス化プロセスのために主巨大分子から横方向にそれ、比較的急峻な注入したままの状態の濃度プロファイルの結果としてもたらず。ある実施形態では、注入したままの状態のボロンの最大濃度を、表面の下方約10nmなどの、表面の下方約5nmと約15nmとの間とすることができる、その深さのところで約 10^{19} cm^{-3} と約 10^{21} cm^{-3} との間とすることができる。注入したままの状態の濃度は、一般に、注入エネルギーに応じて2~20nm/decのレートで下がる。注入層は、一般に、約50nm厚などの、約30nm厚と約150nm厚との間である。結果として生ずる注入層は、その層全体に分散されたボロン原子または各々が2個から4個のボロン原子の小さなボロンクラスタがある状態で、ボロン巨大分子の作用によって完全にアモルファス化される。

30

40

【0035】

314において、加熱エネルギーを、1つまたは複数の注入した部分に与える。注入した区域の温度を溶融点またはそれよりも高くまで上昇させるように、加熱エネルギーを選択する。加熱エネルギーを、任意の好都合な方法によって与えることができる。例えば、電磁エネルギーまたは放射エネルギーを、注入した区域の一部を溶融させるために注入した区域に向けて投射することができる。それに加えて、注入した区域か、溶融させるべき注入した区域を含有する基板の区域か、または基板全体をプレヒートするために、バックグラウンド加熱を与えることができる。例えば、加熱した基板支持部は、基板の温度を約

50

400 と約700 との間まで上昇させるために基板に伝導加熱エネルギーを与えることができ、その温度に維持すると同時に追加の加熱エネルギーを与えることによって個々の注入した区域を溶融させる。注入した区域を溶融させるための放射エネルギーを、レーザーか、加熱ランプか、フラッシュランプか、またはその他によって放出することができ、パルスであっても連続であってもよく、コヒーレントであってもインコヒーレントであってもよく、単色であっても多色であってもよく、偏光であっても非偏光であってもよく、どのようにでもすることができる。基板の一部を連続して照射することができる、または基板全体を同時に照射することができる。注入した部分を、実施形態に応じて、約1,100 と約1,400 との間の温度まで加熱することができる。アモルファス化したシリコンの溶融は、一般に結晶質シリコンの溶融よりも低い温度で生じ、そのため基板材料が主にシリコンである実施形態では、約1,200 に注入した部分を加熱することを考慮することができる。溶融温度を、下にある結晶質層を溶融させずにアモルファス層を溶融させるように選択する。早い速度で溶融させるべき部分を加熱することが、一般に望ましく、その結果、熱が基板材料によって伝導で逃げるよりも早く、アモルファス部分を加熱し、アモルファス部分が再結晶化できる前に溶融させる。アモルファスシリコンがそれ自体の溶融点近くまでゆっくりと加熱されるときには、アモルファスシリコンは、固相エピタキシを受け、より高い溶融点の結晶質シリコンへと変換する。超急速加熱は、アモルファス部分が再結晶化できる前にアモルファス部分を溶融させることができる。

10

20

【0036】

316において、注入表面の溶融した部分の温度を、一定時間にわたり溶融温度よりも高く維持して、残っているボロンの小部分の完全な分解および最大濃度層の外へのボロンのある程度の拡散を可能にする。ナノ秒パルスレーザーを使用する大部分の実施形態は、数10ナノ秒から数100ナノ秒の溶融持続時間を考慮する。ある実施形態では、しかしながら、溶融持続時間を、約10m秒などの、数ミリ秒と約0.5秒との間とすることができる。

【0037】

318において、基板表面を再結晶化させるまたは再固化させるために、基板表面の加熱した部分を制御した速度で冷却する。一般には、この冷却速度は、制御した再結晶化を可能にするために、単純に加熱装置の電源を切ることを介して起きるはずのものよりもゆっくりとしている。この制御した再結晶化プロセスは、ボロンドーバント原子を結晶格子位置に動かし、所定の位置に凍結させることによって、注入したボロン巨大分子に由来するボロンドーバント原子を効率的に活性化させる。ある実施形態では、加熱源のエネルギー-時間プロファイルを調節することによって溶融させた注入物の冷却速度を制御するために、加熱エネルギーを溶融させた注入区域に与えることができる。例えば、ナノ秒レーザーのパルスのプロファイル、パルス修正光学系を使用して調節することができる、または1つもしくは複数のフラッシュランプに印加する放電電圧パルスの形を調節することができる。上に説明した方法のいずれかによれば、加熱エネルギーを電磁エネルギーまたは放射エネルギーとすることができる。別の実施形態では、再結晶化プロセスを成し終えるための一定時間にわたって中間の温度で基板の温度を維持するために、加熱エネルギーを基板全体に与えることができる。例えば、約1分と約10分との間にわたり、約400 と約700 との間で基板温度を維持することによって、基板を再結晶化させることができる。例えば、一実施形態では、基板を、約60秒間、約500 で基板温度を維持することによって再結晶化させることができる。制御した冷却プロセスは、基板表面から結晶欠陥を消去し、ドーバントを分布させ、ドーバントを活性化させるように、基板表面をアニールする。

30

40

【0038】

図4は、本発明の実施形態を実行するために使用することができるアニールシステム400を概略的に図示する。アニールシステム400は、アニール領域412内のある所望の領域を優先的に溶融させるために、基板410の所定の領域、すなわちアニール領域4

50

1 2 上にある量のエネルギーを投射することに適合するエネルギー源 4 2 0 を備える。

【0039】

一例では、図 4 に示したように、アニール領域 4 1 2 などの基板 4 1 0 の 1 つだけの所定の領域を、任意の所与の時刻においてエネルギー源 4 2 0 からの放射に曝露させる。基板 4 1 0 上の別の領域をエネルギー源 4 2 0 に逐次的に曝露させることができるように、基板 4 1 0 が、エネルギー源 4 2 0 に対して相対的に動く。

【0040】

本発明の一態様では、基板 4 1 0 の所望の領域の優先的な溶融を生じさせるために、基板 4 1 0 の複数の区域を、エネルギー源 4 2 0 から放出される所望の量のエネルギーに逐次的に曝露させる。

【0041】

一般的に、(例えば、従来型の X / Y ステージ、精密ステージを使用して) エネルギー源 4 2 0 の出力域に対して相対的に基板 4 1 0 を移動させることによって、および / または基板 4 1 0 に対して相対的にエネルギー源 4 2 0 の出力域を移動させることによって、基板 4 1 0 の表面上の区域を逐次的に曝露させることができる。

【0042】

基板 4 1 0 の全体の温度を制御するように構成された熱交換機器 4 1 5 上に、基板 4 1 0 を設置することができる。基板 4 1 0 の動きおよび位置を制御するように構成され、別の精密ステージ (図示せず) の一部である場合がある、1 つまたは複数の従来型の電気式アクチュエータ 4 1 7 (例えば、リニアモータや、送りネジや、サーボモータ) 上に、熱交換機器 4 1 5 を設置することができる。基板 4 1 0 を支持し設置するために使用することができる従来型の精密ステージおよび熱交換機器 4 1 5 を、Rohnert Park、California の Parker Hannifin Corporation から購入することができる。

【0043】

一態様では、アニール領域 4 1 2 を、基板 4 1 0 の表面上に形成されるダイ 4 1 3 (例えば、4 0 個のダイが図 4 に示されている) または半導体デバイス (例えば、メモリチップ) のサイズと一致するような大きさにする。一態様では、アニール領域 4 1 2 の境界を、各ダイ 4 1 3 の境界を画定する「カーフ」ラインまたは「スクライブ」ライン 4 1 0 A 内にぴったりと合うように位置合わせし、大きさを合わせる。

【0044】

スクライブラインまたはカーフライン 4 1 0 A などのダイ 4 1 3 間に自然に生じる使用されない空間 / 境界内だけでアニール領域 4 1 2 が重なるようにアニール領域 4 1 2 を逐次的に並べることは、デバイスを基板 4 1 0 上に形成する区域内でエネルギーが重複する困った状態を低減し、従って、重なりのあるアニール領域 4 1 2 間でのプロセス結果における変動を低減する。

【0045】

一実施形態では、アニールプロセスを実行することに先立って、アニール領域 4 1 2 をダイ 4 1 3 に適切に位置合わせすることができるように、基板 4 1 0 の表面上に典型的に見出されるアライメントマークおよび他の従来技術を使用して、基板 4 1 0 をエネルギー源 4 2 0 の出力域に位置合わせする。

【0046】

基板表面のある所望の領域を優先的に溶融させるために、エネルギー源 4 2 0 は、電磁エネルギーを放出することに一般に適合する。典型的な電磁エネルギー源は、光放射源 (例えば、レーザ) や、電磁ビーム源や、イオンビーム源、および / またはマイクロ波エネルギー源を含むが、これらに限定されない。

【0047】

一般的に、熱交換機器 4 1 5 を含有するプロセッシングチャンバ (図示せず) の囲まれたプロセッシング環境 (図示せず) 内に、基板 4 1 0 を置く。加工処理中に基板 4 1 0 がその中に存在するプロセッシング環境を、真空にすることができる、または酸素などの加工処理

10

20

30

40

50

中には望まれないガスの低い分圧を有する不活性ガスを含有させることができる。

【0048】

一実施形態では、図4に図示した、熱交換機器415の基板支持表面416と熱接触させて基板410の表面を置くことによって、熱加工処理中に基板410の温度を制御することが望ましいことがある。熱交換機器415は、アニーリングプロセスに先立ってまたはその間に基板410を加熱するおよび/または冷却することに一般に適合している。この構成では、Santa Clara、CaliforniaのApplied Materials, Inc.から入手可能な従来型の基板ヒータなどの、熱交換機器415を、基板410のアニール領域のポストプロセッシング特性を向上させるために使用することができる。

10

【0049】

一実施形態では、熔融温度に達するまでの必要なエネルギーが最小になるように、アニーリングプロセスを実行することに先立って、基板をプレヒートすることができ、そのプレヒートは、基板410の急速加熱および冷却に起因して誘起される何らかの応力を低減させることができ、また、基板410の再固化される区域内の欠陥密度をおそらく低減させることができる。一態様では、熱交換機器415は、基板支持表面416上に配置された基板410を加熱することに適合した抵抗加熱素子415Aおよび温度コントローラ415Cを含有する。温度コントローラ415Cは、コントローラ421と通信する。

【0050】

一態様では、基板を約200と約750との間の温度にプレヒートすることが望ましい場合がある。基板がシリコン含有材料から形成される一実施形態では、基板を約200と約500との間の温度にプレヒートすることが望ましい場合がある。基板がシリコン含有材料から形成される別の一実施形態では、基板を約200と約480との間の温度にプレヒートすることが望ましい場合がある。基板がシリコン含有材料から形成される別の一実施形態では、基板を約250と約300との間の温度にプレヒートすることが望ましい場合がある。

20

【0051】

別の一実施形態では、アニーリングプロセス中に基板に与えられるエネルギーに起因する何らかの拡散を低減させるため、および/または加工処理中に様々な領域のアモルファス化を増大させるために熔融の後の再成長速度を増大させるために、加工処理中に基板を冷却することが望ましい場合がある。1つの構成では、熱交換機器415は、基板支持表面416上に配置された基板を冷却することに適合した1つまたは複数の流体チャネル415Bおよび低温冷却装置415Dを含有する。一実施形態では、コントローラ421と通信する従来型の低温冷却装置415Dは、1つまたは複数の流体チャネル415Bを介して冷却流体を配送することに適合している。一態様では、基板を約-240と約20との間の温度に冷却することが望ましい場合がある。

30

【0052】

パルスレーザアニールプロセス中に、基板の複数の部分がエネルギー源に逐次的に向けられるように、加工処理されるべき基板は、エネルギー源に対して相対的に動く。相対的な動きを、ステップング動作とすることができる。例えば、基板上の第1の区域がエネルギー源と位置合わせされるように、基板を、第1の位置に動かし、維持することができる。エネルギー源は、次に、基板上の第1の区域に向けて所望の量のエネルギーを投射する。基板を、次に、エネルギー源による第2の区域へ第2の位置に動かす。エネルギーが所望の区域に正確にかつ均一に投射されるように、エネルギー源が基板にエネルギーを投射するときに、基板とエネルギー源との間の相対的な動きを、一時的に停止する。しかしながら、このステップング動作は、ステップ毎に加速することおよび減速することを伴い、その動作はプロセスを著しく遅くする。

40

【0053】

図5は、アレイに配列された40個の正方形をしたダイ413を含有する基板410の上面図を概略的に図示する。ダイ413は、スクライプライン410Aによって指し示さ

50

れる区域によって互いに分離される。エネルギー投射領域 520A は、その区域全体にわたり（図 4 に示した）エネルギー源 420 がエネルギーパルスを放出するように適合する区域を指す。一般的に、エネルギー投射領域 520A は、各ダイ 413 の区域に等しい区域またはそれよりも大きな区域をカバーすることができるが、各ダイ 413 の区域プラス周囲のスクライライン 410A の区域よりも小さく、その結果、エネルギー投射領域 520A 内に放出されるエネルギーパルスがダイ 413 を完全にカバーするが隣のダイ 413 とは重ならない。

【0054】

基板表面全体にわたり広がる複数のダイ 413 上にアニーリングプロセスを実行するために、基板および/またはエネルギー源 420 の出力域は、各ダイに関連して設置され、位置合わせされる必要がある。一実施形態では、曲線 520B は、アニーリングプロセスが基板の表面上の各ダイ 413 に実行されるので一連のアニーリングプロセス中の、基板 410 のダイ 413 とエネルギー源 420 のエネルギー投射領域 520A との間の相対的な動きを図示する。一実施形態では、動きが曲線 520B に従うように、x 方向および y 方向に基板を移動することによって、相対的な動きを実現することができる。別の実施形態では、静止している基板 410 に対して相対的にエネルギー投射領域 520A を動かすことによって、相対的な動きを実現することができる。

10

【0055】

それに加えて、ダイの固有の配列に応じて、スルーットおよびプロセス品質を最適化するために、520B とは異なる経路を使用することができる。

20

【0056】

一実施形態では、アニーリングプロセス中に、基板 410 は、図 5 の曲線 520B によって示されるように、エネルギー投射領域 520A に対して相対的に動く。特定のダイ 413 がエネルギー投射領域 520A 内に設置され位置合わせされると、ダイ 413 が、特定のアニールプロセスレシビに従って所定の持続時間にわたりある量のエネルギーに曝露されるように、エネルギー源 420 は、基板 410 に向けてエネルギーのパルスを投射する。基板 410 とエネルギー投射領域 520A との間の相対的な動きが、各ダイ 413 全体にわたって何らかの「ブラー (blur)」、すなわち、不均一なエネルギー分布、を引き起こさず、基板に損傷を引き起こすことのないようにエネルギー源 420 からのパルスエネルギーの持続時間は、典型的には十分に短い。

30

【0057】

注入した領域の急速繰り返し加熱および冷却を伴うサブメルトアニールプロセスを使用して、 B_{18} イオンを注入した基板をアニールすることができる。図 6 は、別の実施形態による方法 600 を要約した流れ図である。602 において、いずれかの所望の実施形態に従って、基板表面にボロン巨大分子を注入する。604 において、注入した部分を、電磁エネルギーのパルスに曝露させることによってアニールする。電磁エネルギーのパルスは、繰り返し注入した部分を急速に加熱し冷却して、基板をアニールする。

【0058】

一実施形態では、電磁エネルギーのパルスは、実質的に同じエネルギーフラックスで同じ持続時間の電磁エネルギーの少なくとも約 30 パルスを含む。一実施形態では、パルスの数を、約 30 パルスと約 100,000 パルスとの間、または約 50 パルスと約 10,000 パルスとの間、または約 100 パルスと約 1,000 パルスとの間、または約 200 パルスと約 500 パルスとの間などの、少なくとも約 30 パルス、または少なくとも約 50 パルス、または少なくとも約 100 パルスとすることができる。一実施形態では、各パルスのエネルギーフラックスは、約 0.2 J/cm^2 と約 1.0 J/cm^2 との間、例えば、約 0.25 J/cm^2 などの、約 0.1 J/cm^2 と約 2.0 J/cm^2 との間である。一実施形態では、パルスはレーザー光を含む。各パルスは、約 10 ns と約 100 ns との間、例えば、20 ns などの、約 1 ns と約 10 μ 秒との間の持続時間を有することができる。必要とされるパルスの数は、一般に、各パルスのフルエンスおよび持続時間に逆比例する。

40

50

【 0 0 5 9 】

電磁エネルギーの各パルスは、基板のエネルギーを与えた区域内にマイクロアニールサイクルを実現する。細分化されていないボロンクラスタは、壊され、個々のボロン原子およびシリコン原子を、各パルスによって単位格子寸法の数分の1動かす。結晶格子位置を占有するボロン原子およびシリコン原子は、それらをその場所から動かすために十分なエネルギーを各パルスから受け取らないが、結晶格子配置間の空間を占めるこれらの原子は、占有されていない格子位置に向けて徐々に動く。パルス間には入射エネルギーフラックスは低下して、次のパルスが放出される前に各パルスからのエネルギーが結晶格子を通過して消散することを可能にする。一実施形態では、入射エネルギーフラックスがパルス間にはゼロ近くにまで低下することがある。別の実施形態では、入射エネルギーフラックスは低下して、正味のエネルギーフラックスをアニール帯の外にさせる。従って、標準的なサブメルト技術が20μ秒以上継続する放射光のスパイクにボロンドープした基板を曝露させることを必要とするが、繰り返しの短パルスは、はるかに短い合計持続時間および低い出力必要量でアニールプロセスを実現することができる。各パルスの持続時間に対して相対的に各パルス間の時間を、約100%と約150%との間、例えば、約125%などの、約50%と約200%との間とすることができる。パルス持続時間の約100%より短い残りの期間は、次のパルスが始まる前に、注入した領域の正味のエネルギーバランスがパルス中に受けるピークエネルギー密度よりも低いゼロでないレベルにまで低下することを可能にする。パルス持続時間の約125%よりも長い残りの期間は、正味のエネルギーバランスが次のパルスに先立って休止状態にまで戻ることを可能にする。

10

20

【 0 0 6 0 】

一例では、500 eVの等価ボロンイオンエネルギーで $2 \times 10^{15} \text{ cm}^{-2}$ のドーズにまで B_{18} イオンを、基板に注入した。約1.4μ秒の合計持続時間にわたり532 nmの波長で 0.234 J/cm^2 を放出する20 nsレーザによる30パルスの後で、 R_s は、約500であった。約45μ秒の持続時間にわたる1000パルスの後では、 R_s は、約400であった。

【 0 0 6 1 】

別の一例では、同様のドーズおよびイオンエネルギーで B_{18} イオンを基板に注入した。約13.5μ秒の合計持続時間にわたり532 nmの波長で 0.234 J/cm^2 を放出する20 nsレーザによる300パルスの後で、約147の深さで、約5 / decのその深さにおける濃度プロファイルで、 10^{19} cm^{-3} のボロンイオン濃度が認められた。

30

【 0 0 6 2 】

上記は本発明の実施形態に向けられているが、本発明の別の実施形態およびさらなる実施形態を、本発明の基本的な範囲から乖離せずに考案することができ、本発明の範囲は、下記の特許請求の範囲によって決められる。

【 図 1 A 】

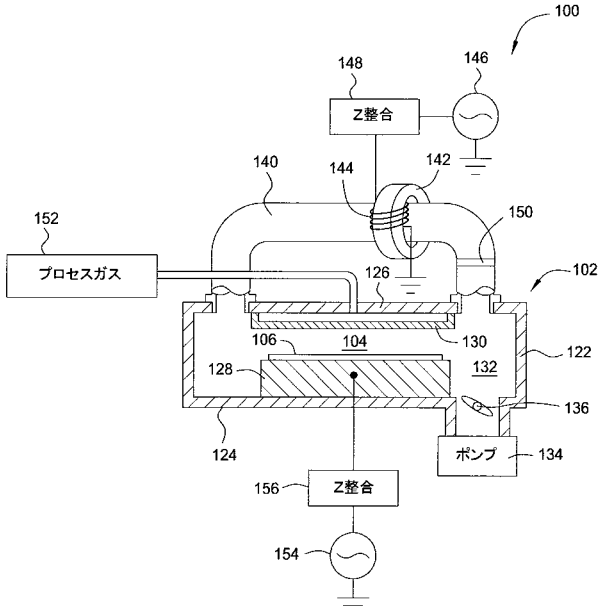


FIG. 1A

【 図 1 B 】

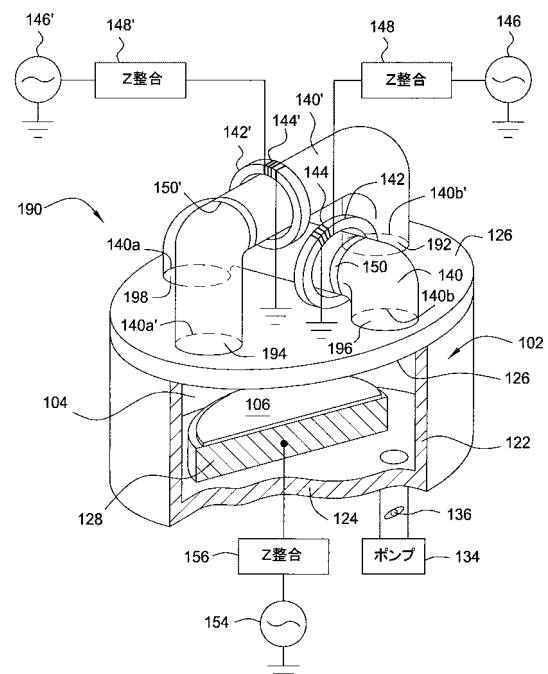


FIG. 1B

【 図 2 】

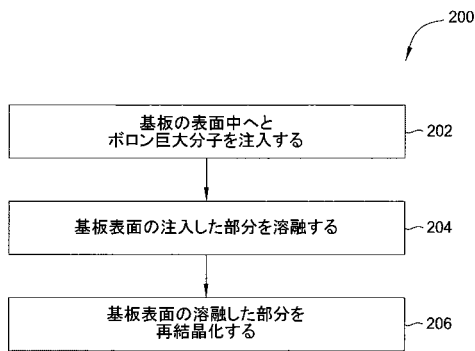


FIG. 2

【 図 3 】

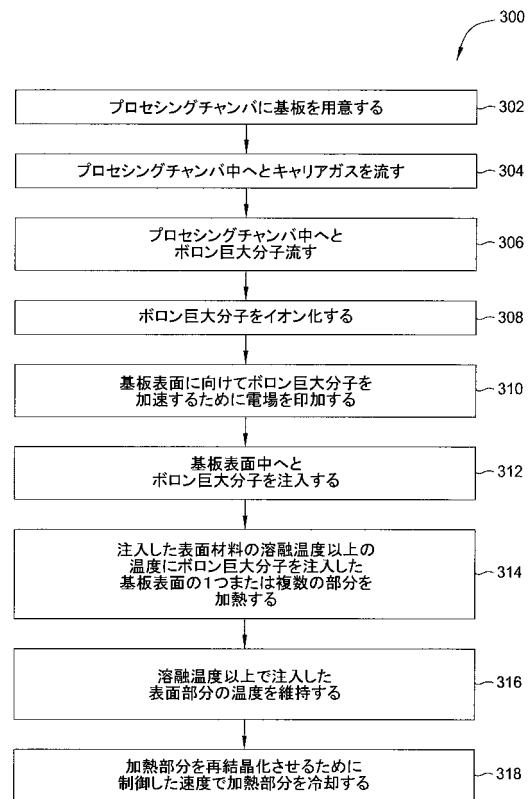


FIG. 3

【 図 4 】

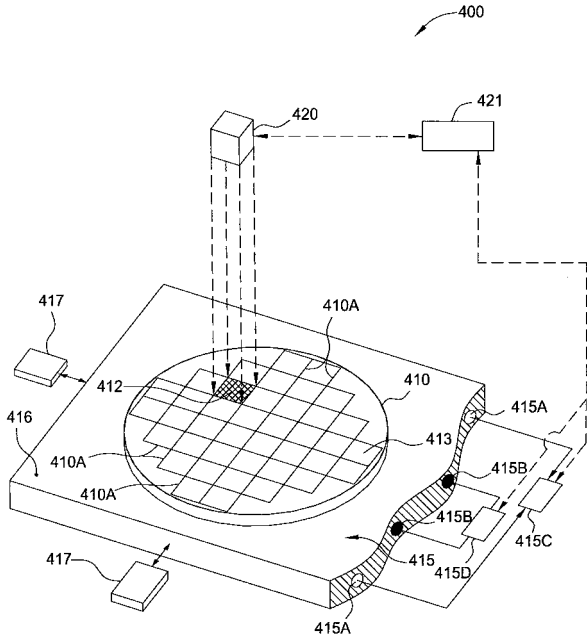


FIG. 4

【 図 5 】

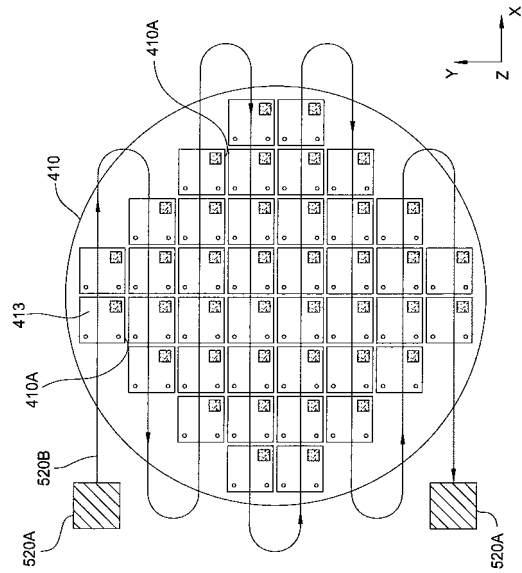


FIG. 5

【 図 6 】

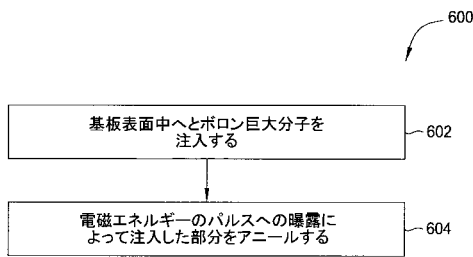




FIG. 6

【 国際調査報告 】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT		International application No. PCT/US2009/057708
A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER		
<i>H01L 21/265(2006.01)i</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) H01L 21/265; A61N 5/00; C23C 16/00; H01L 21/425		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched Korean utility models and applications for utility models Japanese utility models and applications for utility models (Chinese Patents and application for patent)		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) eKOMPASS(KIPO internal) & Keywords: implant, boron, and molecule		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	US 2008-0122005 A1 (HORSKY, THOMAS N. et al.) 29 May 2008 See abstract; paragraphs [0079] - [0086]; claims 24-30 and figures 15-16.	1-15
Y	US 7148131 B1 (SUVKHANOV, AGAJAN et al.) 12 December 2006 See abstract; column 2, line 23 - column 4, line 39; claims 1-16 and figures 1-4.	1-15
A	US 6531367 B2 (CHEN, WEI-WEN) 11 March 2003 See abstract; column 2, line 39 - column 3, line 28; claims 1-5 and figures 1-2.	1-15
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input checked="" type="checkbox"/> 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 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 27 APRIL 2010 (27.04.2010)		Date of mailing of the international search report 29 APRIL 2010 (29.04.2010)
Name and mailing address of the ISA/KR  Korean Intellectual Property Office Government Complex-Daejeon, 139 Seonsa-ro, Seo-gu, Daejeon 302-701, Republic of Korea Facsimile No. 82-42-472-7140		Authorized officer Choi Sang Won  Telephone No. 82-42-481-5695

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No.

PCT/US2009/057708

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 2008-0122005 A1	29.05.2008	None	
US 7148131 B1	12.12.2006	None	
US 6531367 B2	11.03.2003	US 2002-137314 A1	26.09.2002

フロントページの続き

(81)指定国 AP(BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), EA(AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), EP(AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, SE, SI, SK, SM, TR), OA(BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG), AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, 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, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW

(72)発明者 リー, ジーピン

アメリカ合衆国 カリフォルニア 94306, パロ アルト, ミドルフィールド ロード
3510

(72)発明者 ハンター, アーロン ミュア

アメリカ合衆国 カリフォルニア 95060, サンタ クルーズ, エメライン アヴェニュー
- 430

(72)発明者 アダムス, ブルース イー.

アメリカ合衆国 オレゴン 97239, ポートランド, サウスウエスト 13番 3411

(72)発明者 モフィット, セオドア

アメリカ合衆国 オレゴン 97123, ヒルズボロ, エスイー パイン セント 5558

(72)発明者 モファット, スティーヴン

イギリス国 ジェイイー3 1エルエル, ストリート ローレンス, ジャージー, ミルブル
ック, シーフィールド コーチ ハウス