

【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

プラズマを用いて被処理体の表面に不純物元素を導入するようにしたプラズマドーピング装置において、

真空引き可能になされた処理容器と、

前記被処理体を載置するために前記処理容器内に設けた載置台と、

前記載置台にバイアス用の高周波電力を印加する高周波電源と、

前記処理容器内へ前記不純物元素を有するドーブガスを含む必要なガスを供給するガス供給手段と、

前記処理容器内でプラズマを立てるためのプラズマ形成手段と、

を備えたことを特徴とするプラズマドーピング装置。

10

【請求項 2】

前記プラズマ形成手段は、

前記処理容器の天井の外側に設けた平面アンテナ部材と、

マイクロ波を発生するマイクロ波発生器と、

該マイクロ波発生源で発生したマイクロ波を前記平面アンテナ部材へ伝搬させる導波管と、

を有することを特徴とする請求項 1 記載のプラズマドーピング装置。

【請求項 3】

前記ガス供給手段は、

前記ドーブガスを供給するドーブガス供給部と、

前記プラズマを安定化させるプラズマ安定化ガスを供給するプラズマ安定化ガス供給部と、

を有することを特徴とする請求項 1 又は 2 記載のプラズマドーピング装置。

20

【請求項 4】

前記ドーブガス供給部は、格子状に形成したガス流路に複数のガス噴出孔を設けてなるシャワーヘッド構造になされていることを特徴とする請求項 3 記載のプラズマドーピング装置。

【請求項 5】

前記プラズマ安定化ガス供給部は、前記ドーブガス供給部の上方に設けられることを特徴とする請求項 3 又は 4 記載のプラズマドーピング装置。

30

【請求項 6】

前記プラズマ安定化ガス供給部は、前記処理容器の側壁に沿って設けられたガス流路に複数のガス噴出孔を設けることにより構成されていることを特徴とする請求項 3 乃至 5 のいずれかに記載のプラズマドーピング装置。

【請求項 7】

前記バイアス用の高周波電力の周波数は $400\text{ kHz} \sim 13.56\text{ MHz}$ の範囲内であることを特徴とする請求項 1 乃至 6 のいずれかに記載のプラズマドーピング装置。

【請求項 8】

前記バイアス用の高周波電力によって引き込まれるイオンのエネルギーは $100 \sim 1000\text{ eV}$ の範囲内になるように設定されることを特徴とする請求項 1 乃至 7 のいずれかに記載のプラズマドーピング装置。

40

【請求項 9】

真空引き可能になされた処理容器内で載置台上に載置された被処理体の表面に対してプラズマを用いてドーブガス中に含まれる不純物元素をドーブするようにしたプラズマドーピング方法において、

前記載置台にバイアス用の高周波電力を印加すると共に、前記処理容器内に前記ドーブガスを供給してプラズマを発生させ、前記ドーブガス中の前記不純物元素を前記バイアス用の高周波電力により引き込むことにより前記被処理体の表面に前記不純物元素をドーブさせるようにしたことを特徴とするプラズマドーピング方法。

50

【請求項 10】

前記バイアス用の高周波電力の周波数は 400 kHz ~ 13.56 MHz の範囲内であることを特徴とする請求項 9 記載のプラズマドーピング方法。

【請求項 11】

前記バイアス用の高周波電力によって引き込まれるイオンのエネルギーは 100 ~ 1000 eV の範囲内になるように設定されることを特徴とする請求項 9 又は 10 記載のプラズマドーピング方法。

【請求項 12】

前記不純物元素がドーブされることにより形成される部位は MOSFET のイクステンション部であることを特徴とする請求項 9 乃至 11 のいずれかに記載のプラズマドーピング方法。

10

【請求項 13】

請求項 1 乃至 8 のいずれかに記載するプラズマドーピング装置を用いて被処理体の表面に不純物元素をドーブするに際して、

請求項 9 乃至 12 のいずれかに記載するプラズマドーピング方法を実行するように前記プラズマドーピング装置の動作を制御するコンピュータ読み取り可能なプログラムを記憶することを特徴とする記憶媒体。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

20

本発明は、半導体ウエハ等の被処理体の表面にプラズマを用いて不純物元素をドーブ（注入）するプラズマドーピング方法及びその装置に関する。

【背景技術】

【0002】

一般に、半導体デバイスの製造工程における不純物元素のドーピング（注入）を行なう装置として、不純物元素の精密な制御が可能であり、しかもイオンの数を把握しながら処理できるという理由からイオン注入装置が用いられている（例えば特許文献 1、2 等）。このイオン注入装置は、ハロゲン化物などのガスをプラズマ状態にし、これを途中に設けた電極により電界をかけることにより引き出し、そして、引き出されたビームに所定の磁場をかけることにより不純物イオンを排除して所定のイオンのみを取り出す質量分析を行

30

【0003】

ここで不純物元素のドーブによって形成される半導体装置の一例について説明する。図 8 は半導体装置の一例である MOSFET (Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor) を示す拡大模式図である。この MOSFET はシリコン基板よりなる半導体ウエハ W の表面に形成された p 型、或いは n 型のウエル 2 の表面部分にゲート絶縁膜 4 を介して例えば不純物導入ポリシリコン膜よりなるゲート電極 6 を有しており、このゲート電極 6 上に例えばアルミニウム合金よりなるゲート配線 8 が形成されている。このゲート電極 6 の両側には、例えばシリコン窒化膜等よりなるサイドウォール 10 が形成される。

40

【0004】

また、上記ゲート電極 6 の下方であって、この両側には例えば不純物導入ポリシリコンよりなるソース 12 とドレイン 14 とが形成されると共に、その上部には例えばアルミニウム合金よりなるソース配線 16 及びドレイン配線 18 がそれぞれ設けられる。更に、上記ソース 12 及びドレイン 14 間であって上記サイドウォール 10 の下方には、ショートチャネル効果の発生を防止するために例えば不純物導入ポリシリコンよりなるイクステンション部 20 がそれぞれ設けられている。

【0005】

ここで、このイクステンション部 20 は、上記ソース 12 やドレイン 14 よりもその厚

50

さが薄く（浅く）且つ不純物元素の濃度は上記ソース１２やドレイン１４よりも薄くなされている。このようなイクステンション部２０を有するトランジスタ構造は、ＬＤＤ（Ｌｉｇｈｔｌｙ－Ｄｏｐｐｅｄ Ｄｒａｉｎ）構造と称されている。

【０００６】

そして、上記ソース１２、ドレイン１４やイクステンション部２０を形成するには、まず、ゲート絶縁膜４上にゲート電極６を形成した状態で上記イオン注入装置を用いてソース１２、ドレイン１４及びイクステンション部２０に対応する部分に不純物元素を浅く且つ濃度が薄い状態でドーピングし、その後に、サイドウォール１０を形成した状態で更に不純物元素を深く且つ濃度が濃くなるようにドーピングしてソース１２とドレイン１４をそれぞれ形成するようになっている。尚、２回目のドーピングの際には上記サイドウォール１０がイクステンション部２０に対するマスクとして作用することになる。

10

【０００７】

【特許文献１】特開平４－３１９２４３号公報

【特許文献２】特開平５－２５１０３３号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【０００８】

ところで、最近にあっては、半導体デバイスの高集積化及び高微細化の更なる要求に伴って線幅や膜厚をより小さくすることが求められており、これにより設計ルールがより厳しくなっている。このような状況下において、例えば上記したようなイクステンション部２０の構造としては、その厚さをより薄くし（浅くし）且つ不純物元素の濃度をより大きくする必要がある。

20

【０００９】

このように、不純物元素をより浅く且つ高濃度にドーピングするためには、上記イオン注入装置において、イオンを低エネルギーでドーピングしなければならない。しかしながら、上記したイオン注入装置が本来有している性能では低エネルギー状態の動作ではビーム電流が極端に低下してしまうので、必要とされる高濃度まで不純物元素をドーピングするにはドーピング時間が過度に大きくなり過ぎてしまい、スループットが大幅に低下する、といった問題があった。

【００１０】

30

例えば図９は上記状態を説明するための図であり、インプラントエネルギー（ドーピングエネルギー）とビーム電流及びインプラント時間（ドーピング時間）との関係を示すグラフである。ここでは直径２００mmのウエハ上に不純物元素としてＢ（ボロン）を $1.0 \times 10^{15} \text{ ions/cm}^2$ のドーズ量でドーピングした場合を示している。上述のように、不純物元素を浅く打ち込んでドーピングするためには、インプラントエネルギーを小さくしなければならないが、そうするとビーム電流も小さくなる。ここでビーム電流をより小さくすると、図９に示すように所定のドーズ量まで不純物元素をドーピングするためにはインプラント時間が急激に上昇してしまう。

【００１１】

40

このことは、上記イクステンション部２０のように厚さが薄い、或いは浅い部分に対して不純物元素を高濃度になるまで打ち込んでドーピングするためには非常に長時間を要してしまい、スループットを低下させてしまうことを意味する。

【００１２】

またイオンを低エネルギーで放射すると、イオンビーム径が大きくなって拡散し、そのため、この種のイオン注入装置ではイオン源からウエハまでの距離がかなり長いので、上記拡散した一部のイオンが途中で装置を構成する種々の材料に衝突して金属汚染やパーティクルの発生原因となる、といった問題もあった。

【００１３】

本発明の目的は、被処理体の表面に不純物元素をドーピングするに際して、このドーピング部分を非常に薄く、或いは浅く形成することができ且つ高濃度な状態で迅速にドーピングして

50

スループットを向上させることが可能なプラズマドーピング方法及びその装置を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0014】

請求項1に係る発明は、プラズマを用いて被処理体の表面に不純物元素を導入するようにしたプラズマドーピング装置において、真空引き可能になされた処理容器と、前記被処理体を載置するために前記処理容器内に設けた載置台と、前記載置台にバイアス用の高周波電力を印加する高周波電源と、前記処理容器内へ前記不純物元素を有するドーブガスを含む必要なガスを供給するガス供給手段と、前記処理容器内でプラズマを立てるためのプラズマ形成手段と、を備えたことを特徴とするプラズマドーピング装置である。

10

【0015】

このように、真空引き可能になされた処理容器内でプラズマを発生し、バイアス用の高周波電力により不純物元素のイオンを引き込むことにより載置台上の被処理体の表面に対して不純物元素をドーブさせるようにしたので、被処理体の表面に不純物元素をドーブするに際して、このドーブする部分を非常に薄く、或いは浅く形成することができ且つ高濃度な状態で迅速にドーブしてスループットを向上させることができる。

【0016】

この場合、例えば請求項2に記載したように、前記プラズマ形成手段は、前記処理容器の天井の外側に設けた平面アンテナ部材と、マイクロ波を発生するマイクロ波発生器と、該マイクロ波発生源で発生したマイクロ波を前記平面アンテナ部材へ伝搬させる導波管と、を有する。

20

【0017】

また例えば請求項3に記載したように、前記ガス供給手段は、前記ドーブガスを供給するドーブガス供給部と、前記プラズマを安定化させるプラズマ安定化ガスを供給するプラズマ安定化ガス供給部と、を有する。

また例えば請求項4に記載したように、前記ドーブガス供給部は、格子状に形成したガス流路に複数のガス噴出孔を設けてなるシャワーヘッド構造になされている。

また例えば請求項5に記載したように、前記プラズマ安定化ガス供給部は、前記ドーブガス供給部の上方に設けられる。

【0018】

30

また例えば請求項6に記載したように、前記プラズマ安定化ガス供給部は、前記処理容器の側壁に沿って設けられたガス流路に複数のガス噴出孔を設けることにより構成されている。

また例えば請求項7に記載したように、前記バイアス用の高周波電力の周波数は400kHz～13.56MHzの範囲内である。

また例えば請求項8に記載したように、前記バイアス用の高周波電力によって引き込まれるイオンのエネルギーは100～1000eVの範囲内になるように設定される。

【0019】

請求項9に係る発明は、真空引き可能になされた処理容器内で載置台上に載置された被処理体の表面に対してプラズマを用いてドーブガス中に含まれる不純物元素をドーブするようにしたプラズマドーピング方法において、前記載置台にバイアス用の高周波電力を印加すると共に、前記処理容器内に前記ドーブガスを供給してプラズマを発生させ、前記ドーブガス中の前記不純物元素を前記バイアス用の高周波電力により引き込むことにより前記被処理体の表面に前記不純物元素をドーブさせるようにしたことを特徴とするプラズマドーピング方法である。

40

【0020】

この場合、例えば請求項10に記載したように、前記バイアス用の高周波電力の周波数は400kHz～13.56MHzの範囲内である。

また例えば請求項11に記載したように、前記バイアス用の高周波電力によって引き込まれるイオンのエネルギーは100～1000eVの範囲内になるように設定される。

50

また例えば請求項 1 2 に記載したように、前記不純物元素がドーブされることにより形成される部位は M O S F E T のイクステンション部である。

【発明の効果】

【0021】

本発明に係るプラズマドーピング方法及びその装置によれば、次のように優れた作用効果を発揮することができる。

真空引き可能になされた処理容器内でプラズマを発生し、バイアス用の高周波電力により不純物元素のイオンを引き込むことにより載置台上の被処理体の表面に対して不純物元素をドーブさせるようにしたので、被処理体の表面に不純物元素をドーブするに際して、このドーブする部分を非常に薄く、或いは浅く形成することができ且つ高濃度な状態で迅速にドーブしてスルーットを向上させることができる。

10

【発明を実施するための最良の形態】

【0022】

以下に、本発明に係るプラズマドーピング方法及びその装置の好適な一実施例の形態について添付図面を参照して説明する。

図 1 は本発明に係るプラズマドーピング装置の一例を示す構成図、図 2 はガス供給手段の一部であるシャワーヘッド構造のドーブガス供給部を示す平面図である。ここではプラズマドーピング装置としてラジアルラインスロットアンテナ (R L S A : R a d i a l L i n e S l o t A n t e n n a) 方式の平面アンテナ部材を用いた場合を例にとって説明する。

20

【0023】

図示するように、プラズマドーピング装置 3 0 は、例えば側壁や底部がアルミニウム合金等の導体により構成されて、全体が筒体状に成形された処理容器 3 2 を有しており、内部は密閉された処理空間 S として構成されて、この処理空間にプラズマが形成される。この処理容器 3 2 自体は接地されている。

【0024】

この処理容器 3 2 内には、上面に被処理体としての例えば半導体ウエハ W を載置する載置台 3 4 が收容される。この載置台 3 4 は、例えばアルミナ等のセラミック材により平坦な略円板状に形成されており、例えばアルミニウム等よりなる支柱 3 6 を介して容器底部より起立されている。

30

【0025】

この処理容器 3 2 の側壁には、開口 3 8 が形成されると共に、この開口 3 8 には、処理容器 3 2 の内部に対してウエハを搬入・搬出する時に開閉するゲートバルブ 4 0 が設けられている。また、容器底部には、排気口 4 4 が設けられると共に、この排気口 4 4 には、圧力制御弁 4 6 及び真空ポンプ 4 8 が順次介接された排気路 5 0 が接続されており、必要に応じて処理容器 3 2 内を真空引きして所定の圧力を維持できるようになっている。

【0026】

また、上記載置台 3 4 の下方には、ウエハ W の搬出入時にこれを昇降させる複数、例えば 3 本の昇降ピン 5 2 (図 1 においては 2 本のみ記す) が設けられており、この昇降ピン 5 2 は、容器底部を貫通して設けた昇降ロッド 5 4 により昇降される。この昇降ロッド 5 4 の容器底部の貫通箇所には伸縮可能になされたベローズ 5 6 が設けられており、気密性を保持しつつ上記昇降ロッド 5 4 の昇降移動を許容している。また上記載置台 3 4 には、上記昇降ピン 5 2 を挿通させるためのピン挿通孔 5 8 が形成されている。

40

【0027】

上記載置台 3 4 の全体は耐熱材料、例えばアルミナ等のセラミックにより構成されており、このセラミック中に加熱手段 6 0 が設けられる。この加熱手段 6 0 は、載置台 3 4 の略全域に亘って埋め込まれた薄板状の抵抗加熱ヒータ 6 0 a を有しており、この抵抗加熱ヒータ 6 0 a は、支柱 3 6 内を通る配線 6 2 を介してヒータ電源 6 4 に接続されている。尚、ウエハ W の加熱が不要な場合には、上記加熱手段 6 0 は設けなくてもよい。

【0028】

50

また、この載置台 3 4 の上面側には、内部に例えば網目状に配設されたチャック電極 6 6 a を有する薄い静電チャック 6 6 が設けられており、この載置台 3 4 上、詳しくはこの静電チャック 6 6 上に載置されるウエハ W を静電吸着力により吸着できるようになっている。そして、この静電チャック 6 6 の上記チャック電極 6 6 a は、上記静電吸着力を発揮するために配線 6 8 を介して直流電源 7 0 に接続されている。またこの配線 6 8 には、プラズマ処理時に例えば 4 0 0 k H z のバイアス用の高周波電力を上記静電チャック 6 6 のチャック電極 6 6 a へ印加するためにバイアス用高周波電源 7 2 が接続されている。これにより、後述するように処理空間 S 中のイオンを載置台 3 4 側へ引き込むことができるようになっている。

【 0 0 2 9 】

そして、処理容器 3 2 の天井部は開口されて、ここに例えば A l₂ O₃ 等のセラミック材よりなるマイクロ波に対しては透過性を有する天板 7 4 がオリング等のシール部材 7 6 を介して気密に設けられる。この天板 7 4 の厚さは耐圧性を考慮して例えば 2 0 m m 程度に設定される。

【 0 0 3 0 】

そして、この天板 7 4 の上面に上記処理容器 3 2 内でプラズマを立てるためのプラズマ形成手段 7 8 が設けられている。具体的には、このプラズマ形成手段 7 8 は、上記天板 7 4 の上面に設けられた円板状の平面アンテナ部材 8 0 を有しており、この平面アンテナ部材 8 0 上に遅波材 8 2 が設けられる。この遅波材 8 2 は、例えば窒化アルミ等よりなり、マイクロ波の波長を短縮するために高誘電率特性を有している。上記平面アンテナ部材 8 0 は、上記遅波材 8 2 の上方全面を覆う導電性の中空円筒状容器よりなる導波箱 8 4 の底板として構成される。この導波箱 8 4 の上部には、これを冷却するために冷媒を流す冷却ジャケット 8 6 が設けられる。

【 0 0 3 1 】

この導波箱 8 4 の中心には、同軸導波管 8 8 の外管 8 8 a が接続され、内側の内部導体 8 8 b は、上記遅波材 8 2 の中心の貫通孔を通して上記平面アンテナ部材 8 0 の中心部に接続される。そして、この同軸導波管 8 8 は、モード変換器 9 0 及びマッチャー（図示せず）を有する矩形導波管 9 2 を介して例えば 2 . 4 5 G H z のマイクロ波発生器 9 4 に接続されており、上記平面アンテナ部材 8 0 へマイクロ波を伝搬するようになっている。この周波数は 2 . 4 5 G H z に限定されず、他の周波数、例えば 8 . 3 5 G H z を用いてもよい。

【 0 0 3 2 】

上記平面アンテナ部材 8 0 は、大きさが 3 0 0 m m サイズのウエハ対応の場合には、例えば直径が 4 0 0 ~ 5 0 0 m m 、厚みが 1 ~ 数 m m の導電性材料よりなる、例えば表面が銀メッキされた銅板或いはアルミ板よりなり、この円板には、例えば長溝状の貫通孔よりなる多数のスロット 8 0 a が形成されている。このスロット 8 0 a の配置形態は、特に限定されず、例えば同心円状、渦巻状、或いは放射状に配置させてもよいし、アンテナ部材全面に均一になるように分布させてもよい。この平面アンテナ部材 8 0 は、いわゆる R L S A (R a d i a l L i n e S l o t A n t e n n a) 方式のアンテナ構造となっており、これにより、高密度で低電子温度のプラズマが得られる。

【 0 0 3 3 】

また上記載置台 3 4 の上方には、この処理容器 3 2 内へ不純物元素を有するドーブガスを含む必要なガスを流量制御しつつ供給するためのガス供給手段 9 6 が設けられている。具体的には、このガス供給手段 9 6 は、上記載置台 3 4 の直上に、設けられてドーブガスを供給するためのドーブガス供給部 9 8 と、処理空間 S にて発生させるプラズマを安定化させるプラズマ安定化ガスを供給するプラズマ安定化ガス供給部 1 0 0 とにより主に構成されている。上記ドーブガス供給部 9 8 は、図 2 にも示すように、例えばパイプ部材よりなるガス流路 1 0 2 を格子状に形成し、このガス流路 1 0 2 の下面に複数（多数）のガス噴出孔 1 0 2 a を設け、いわゆるシャワーヘッド構造になされている。

【 0 0 3 4 】

これにより、処理空間 S の略全面に向けてドーブガスを均等に供給するようになっている。このドーブガス供給部 98 の全体は、例えば石英やアルミニウム合金等に形成することができる。またドーブガスとしては、ドーブすべき不純物元素に依存し、例えば BF_3 、 B_2H_4 、 PH_3 、 AsH_3 等を用いることができる。これらのドーブガスは単独で、或いは例えば Ar ガス等の希ガスと共に供給されることになる。

【0035】

また上記プラズマ安定化ガス供給部 100 は、上記ドーブガス供給部 98 の上方、すなわち天板 74 の下方には、処理容器 32 の側壁に沿って設けられたリング状のガス流路 104 を有しており、このガス流路 104 の内側壁には複数（多数）のガス噴出孔 104a がその周方向に沿って所定の間隔で設けられ、処理空間 S の中心に向けてプラズマ安定化ガスを供給できるようになっている。上記ガス流路 104 の全体は、例えば石英やアルミニウム合金等により形成することができる。またプラズマ安定化ガスとしては、Ar、He、Xe 等の希ガスを用いることができる。

10

【0036】

そして、このプラズマドーピング装置 30 の全体の動作は、例えばコンピュータ等よりなる制御手段 110 により制御されるようになっており、この動作を行うコンピュータのプログラムはフレキシブルディスクや CD (Compact Disc) やハードディスクやフラッシュメモリ等の記憶媒体 112 に記憶されている。具体的には、この制御手段 110 からの指令により、各ガスの供給や流量制御、マイクロ波や高周波の供給や電力制御、プロセス温度やプロセス圧力の制御等が行われる。

20

【0037】

次に、以上のように構成されたプラズマドーピング装置 30 を用いて行なわれるプラズマドーピング方法について説明する。

まず、ゲートバルブ 40 を介して半導体ウエハ W を搬送アーム（図示せず）により処理容器 32 内に収容し、昇降ピン 52 を上下動させることによりウエハ W を載置台 34 の上面の載置面に載置し、そして、このウエハ W を静電チャック 66 により静電吸着する。

【0038】

このウエハ W は載置台 34 の加熱手段 60 により所定のプロセス温度に維持される。そして、ガス供給手段 96 のドーブガス供給部 98 からは不純物元素を含んだドーブガスが流量制御されつつ供給され、このドーブガスは格子状のガス流路 102 に形成した各ガス噴出孔 102a より処理空間 S の全域に亘って略均等に噴出される。また他方のプラズマ安定化ガス供給部 100 からはプラズマ安定化ガスが流量制御されつつ供給され、このプラズマ安定化ガスは容器側壁に沿って配置したリング状のガス流路 104 に形成した各ガス噴出孔 104a より処理空間 S の中央部に向けて噴出される。

30

【0039】

また、真空排気系では、圧力制御弁 46 を制御して処理容器 32 内を所定のプロセス圧力に維持する。これと同時に、プラズマ形成手段 78 のマイクロ波発生器 94 を駆動することにより、このマイクロ波発生器 94 にて発生したマイクロ波を、矩形導波管 92 及び同軸導波管 88 を介して平面アンテナ部材 80 に供給して処理空間 S に、遅波材 82 によって波長が短くされたマイクロ波を導入し、これにより処理空間 S にプラズマを発生させて所定のプラズマを用いたドーピング（注入）処理を行う。この際、上記載置台 34 に設けた静電チャック 66 の静電チャック電極 66a には、バイアス用の高周波電源 72 からバイアス用の高周波電力が印加されており、イオン状の不純物元素を引き込むようになっている。

40

【0040】

上述のように載置台 34 側に例えば 400 kHz のバイアス用の高周波電力を印加することにより不純物元素、例えば As 等のイオンがウエハ W の表面に引き込まれてドーピングが行われる。この際、処理容器 32 内で形成されるプラズマは上述のように RLSA 構造の平面アンテナ部材 80 より導入されるマイクロ波により形成されるので、電子温度は低く、しかも高密度で均一であるため、不純物元素をウエハ W の面内において均一に、しかも

50

迅速にドーピングすることができる。ここでプラズマ安定化ガスとしては前述したように Ar や Xe 等の希ガスが用いられ、ドーピングガスとしてはドーピング（注入）する不純物元素に依存して、例えば BF_3 、 B_2H_4 、 PH_3 、 AsH_3 等が用いられ、これにより不純物元素として B（ボロン）や P（リン）や As（ヒ素）等がドーピングされることになる。

【0041】

また、上記バイアス用の高周波電力の周波数は $400\text{kHz} \sim 13,56\text{MHz}$ の範囲内に設定するのがよい。この周波数が 400kHz よりも小さい場合には、ドーピングされるイオンのエネルギー分布が幅広いものとなるので好ましくなく、また周波数が 13.56MHz よりも大きい場合には、周波数が高過ぎるので不純物元素のイオンがその振動速度に追従できずにイオンのドーピングが行われ難くなってしまう。

10

【0042】

また上記バイアス用の高周波電力によって引き込まれる不純物元素のイオンのエネルギーは、 $100 \sim 1000\text{eV}$ の範囲内が望ましい。このイオンのエネルギーが 100eV よりも小さい場合には、イオンのドーピング自体が生じ難くなり、また、イオンのエネルギーが 1000eV よりも大きい場合には、イオンがウエハ W の表面より深過ぎる部分まで打ち込まれることになり、所望する浅さで、且つ高濃度の不純物元素のイオン注入が行い難くなってしまう。

【0043】

ここで、プラズマによる不純物元素イオンのドーピングの原理についてバイアス用の高周波電力の波形を用いて説明する。図 3 はバイアス用の高周波電力の波形とイオンのドーピングとの関係を示すグラフである。図 3 において、 V_p はプラズマの電位を示し、 V_f はフローティング電位を示し、 V_h は高周波電極（載置台）の直流電位を示し、 V_{dc} はフローティング電位と高周波電極の直流電位との電位差を示し、 V_{pp} はバイアス用の高周波電力の peak-to-peak の電圧を示す。尚、フローティング電位とは、高周波電極に流入する電子とイオンの総量が等しくなるようにプラズマ空間において発生する電位であり、プラズマ電位よりも僅かに低い。

20

【0044】

前述したように、ここではバイアス用の高周波電力は例えば 400kHz の周波数で変動しており、高周波電力がフローティング電位以上の部分（梨地部分）ではウエハ W に対して電子を注入する期間となり、また、フローティング電位以下の部分（斜線の部分）ではイオンを注入する期間となる。このように、ウエハ W に対しては、電子とイオンの注入（ドーピング）が交互に生ずることになり、イオンの注入時に前述した B や P や As 等の不純物元素がドーピングされることになり、従って、可能な限りイオンを注入する期間が長くなるように設定するのがよい。

30

【0045】

このように、本発明によれば、真空引き可能になされた処理容器 32 内でプラズマを発生し、バイアス用の高周波電力により不純物元素のイオンを引き込むことにより載置台 34 上の被処理体である半導体ウエハ W の表面に対して不純物元素をドーピングさせるようにしたので、被処理体の表面に不純物元素をドーピングするに際して、このドーピングする部分を非常に薄く、或いは浅く形成することができ且つ高濃度な状態で迅速にドーピングしてスループロットを向上させることができる。

40

【0046】

また、従来のイオン注入装置では、イオンビームの拡散に伴って、一部のビームが装置構成部材と衝突してパーティクルや金属汚染等を発生する場合があったが、本発明装置では、イオンがそのままウエハ W に引き込まれるので上記したパーティクルや金属汚染等が生ずることを防止することができる。

【0047】

次に、上述した本発明のプラズマドーピング装置を用いて実際に不純物元素をドーピングする実験を行って評価したので、その評価結果について説明する。

<イオン濃度の注入深さ方向のプロファイルのバイアス電力（イオンエネルギー）に対す

50

る依存性>

まず、ウエハ表面にドーブされるイオン濃度の注入深さ方向のプロファイル対バイアス電力（イオンエネルギー）の関係について評価した。図4はこの時の評価結果を示すグラフである。

【0048】

ここでは、バイアス用の高周波電力（RF）として50W（ワット）、100W、200Wの3種類について行った。各ワット数に対応するイオンエネルギーはそれぞれ220eV、260eV、400eVである。またドーブする不純物元素としては”N（窒素）”を用いて5秒間のドーブを行った。尚、濃度プロファイルを調べるためにB、As、P等に替えて窒素を用いることは一般的に行われており、B、As、P等は図4に見られるガウス分布のプロファイルのピークが図中右側方向へ僅かにシフトすることが知られている。また、MOSFETのイクステンション部の厚さ（深さ）はウエハ表面より10nm程度までである。

10

【0049】

このグラフから明らかなように、バイアス用の高周波電力を50Wから100W、200Wへ順に増加するに従って、N濃度のピークは順次右方向へシフトすると共に、ピーク値が順次少しずつ高くなっている。しかも、各ピークはイクステンション部の厚さ（深さ）である10nmよりも浅い部分に位置しており、この浅い部分に高濃度の不純物元素をドーブできることを理解することができる。この場合、不純物元素の各ドーズ量は、高周波電力50W（220eV）の 때가 $8.4 \times 10^{14} \text{ atoms/cm}^2$ 、100W（260eV）の 때가 $1.9 \times 10^{15} \text{ atoms/cm}^2$ 、200W（400eV）の 때가 $3.2 \times 10^{15} \text{ atoms/cm}^2$ であった。

20

【0050】

従って、200eV程度以上のイオンエネルギーを用いれば5秒程度の短いドーピング時間で、 $1 \times 10^{15} \text{ atoms/cm}^2$ 程度のドーズ量を得られることが判る。また、このグラフより判断すれば、イオンエネルギーが1000eVよりも大きくなると、N濃度のピークが深さ10nmの近傍、或いはこれよりも深くなることが予測されるので、上記したようなイクステンション部を形成するのには好ましくないことが判る。

【0051】

< 金属汚染に対する評価 >

30

次に、本発明に係るプラズマドーピング装置の金属汚染に対する実験を行って評価をしたので、その評価結果について説明する。

図5は本発明装置の処理空間Sにおけるプラズマ電位の状態を示すグラフである。グラフ中において横軸は天板74を基準として載置台34までの距離をとっており、縦軸はプラズマ電位をとっている。ここでの処理容器の半径は150mmに設定している。また、ここではマイクロ波発生器94のマイクロ波の周波数は2.45GHzと8.3GHzの2種類について行っている。マイクロ波の周波数が2.45GHzの場合は、天板74の部分でプラズマ電位は11V程度であり、天板74から僅かに離れると一旦は急激にプラズマ電位は10V程度まで低下するが、その後は、載置台32までは緩やかに略直線的に低下しており、最終的に載置台32の僅かに上方で略8V程度まで低下している。

40

【0052】

またマイクロ波の周波数が8.3GHzの場合は、天板74の部分でプラズマ電位は9V程度であり、天板74から離れるに従って載置台32まででは緩やかに略直線的に低下しており、最終的に載置台32の僅かに上方で略7V程度まで低下している。

【0053】

ここで全金属の中で最もスパッタされ易いコバルト（Co）のスパッタの起こるイオンエネルギーのしきい値は略12.5eVなので、上記処理空間におけるプラズマ電位は全ての領域で12.5eVよりも小さく、特に、スパッタ対象となり易いシャワーヘッド構造のドーブガス供給部98の設置位置のプラズマ電位は、9.5eV以下になっている。従って、これによりスパッタによる金属汚染やパーティクルの発生を略確実に抑制できる

50

ことを確認することができた。

【0054】

<チャージアップダメージに対する評価>

次に、本発明に係るプラズマドーピング装置のチャージアップダメージに対する実験を行って評価を行ったので、その評価結果について説明する。図6はチャージアップダメージの評価に用いたTEG (Test Element Group) の平面アンテナ構造の一部を示す平面図であり、ウエハ表面に種々のアンテナ比の平面アンテナを形成し、その平面アンテナ部分がチャージアップにより絶縁破壊を生ずるか否かで評価を行った。ここでアンテナ比とは図6において示されるアンテナ面積 S_1 、 S_2 における S_2/S_1 を意味する。

10

【0055】

プラズマドーピング時のバイアス用の高周波電力は300W (イオンエネルギー: 620eV) であり、アンテナ比としては1M (1×10^6)、100k (100×10^3)、10k (10×10^3)、1k (1×10^3)、100、10を用いた。この実験の結果、上述した全てのアンテナ比においてチャージアップによる絶縁破壊は生ずることがなく、製品の歩留まりは100%となり、良好な結果を得ることができた。

【0056】

<プラズマドーピングの面内均一性の評価>

次に、本発明に係るプラズマドーピング装置におけるイオン電流の面内均一性に対する実験を行って評価をしたので、その評価結果について説明する。

20

図7は上述したような実験をした結果を示すグラフである。ここでは載置台34と天板74間の距離を20~160mmの範囲で種々変更して、荷電粒子を直接電流として計測するためのファラデーカップによりウエハ上の各部分のイオン電流を求めた。尚、このイオン電流は不純物元素のドーズ量に対応するものである。

【0057】

図7から明らかなように、上記距離を20~160mmの範囲で変化させた場合、上記距離が短くなるに従ってイオン電流が次第に増加しているが、各距離毎にウエハの中央とエッジとの間におけるイオン電流は略一定になっており、これにより、イオン電流、すなわち不純物元素のドーズ量の面内均一性を高く維持できることを確認することができた。

30

【0058】

尚、上記実施例においては、ガス供給手段96としてシャワーヘッド構造のドーブガス供給部98やリング状のプラズマ安定化ガス供給部100を有する場合を例にとって説明したが、これらの形状等は特に限定されるものではない。

また、ここでは被処理体として半導体ウエハを例にとって説明したが、これに限定されず、ガラス基板、LCD基板、セラミック基板等にも本発明を適用することができる。

【図面の簡単な説明】

【0059】

【図1】本発明に係るプラズマドーピング装置の一例を示す構成図である。

【図2】ガス供給手段の一部であるシャワーヘッド構造のドーブガス供給部を示す平面図である。

40

【図3】バイアス用の高周波電力の波形とイオンのドーピングとの関係を示すグラフである。

【図4】ウエハ表面にドーブされるイオン濃度の注入深さ方向のプロファイル対バイアス電力 (イオンエネルギー) の関係を示すグラフである。

【図5】本発明装置の処理空間におけるプラズマ電位の状態を示すグラフである。

【図6】チャージアップダメージの評価に用いた平面アンテナ構造の一部を示す平面図である。

【図7】本発明に係るプラズマドーピング装置におけるウエハ面内方向のイオン電流を示すグラフである。

【図8】半導体装置の一例であるMOSFETを示す拡大模式図である。

50

【図 9】インプラントエネルギーとビーム電流及びインプラント時間との関係を示すグラフである。

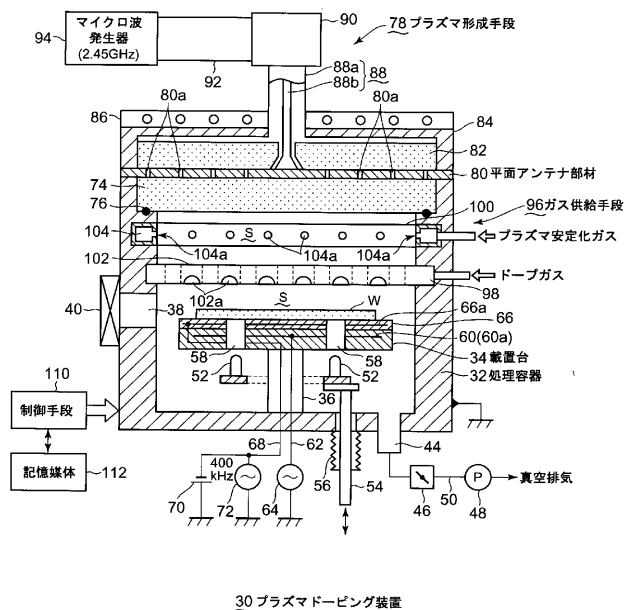
【符号の説明】

【0060】

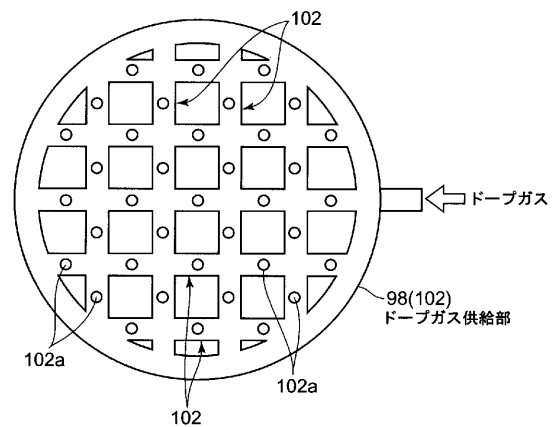
- 30 プラズマドーピング装置
- 32 処理容器
- 34 載置台
- 60 加熱手段
- 72 バイアス用高周波電源
- 78 プラズマ形成手段
- 80 平面アンテナ部材
- 80a スロット
- 88 同軸導波管
- 92 矩形導波管
- 94 マイクロ波発生器
- 96 ガス供給手段
- 98 ドープガス供給部
- 100 プラズマ安定化ガス供給部
- 102 ガス流路
- 102a ガス噴出孔
- 104 ガス流路
- 104a ガス噴出孔
- 110 制御手段
- 112 記憶媒体

W 半導体ウエハ（被処理体）

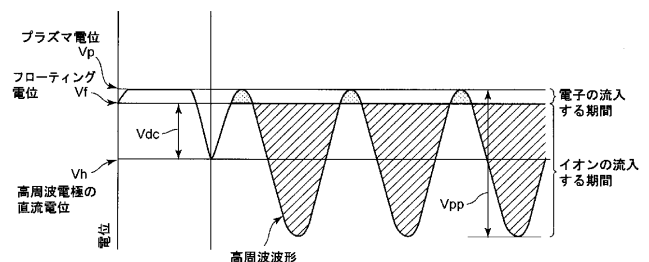
【図 1】



【図 2】



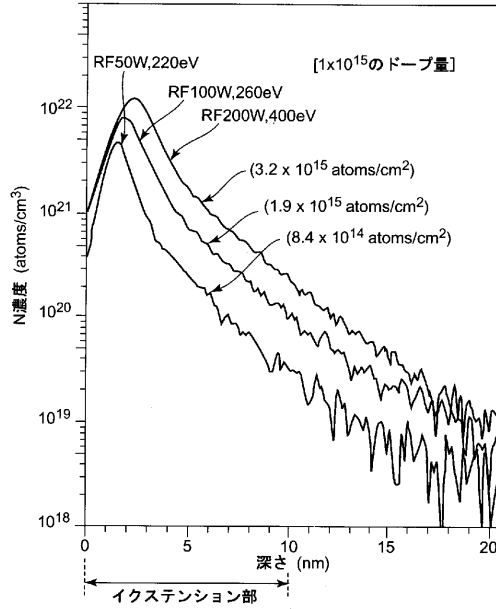
【図 3】



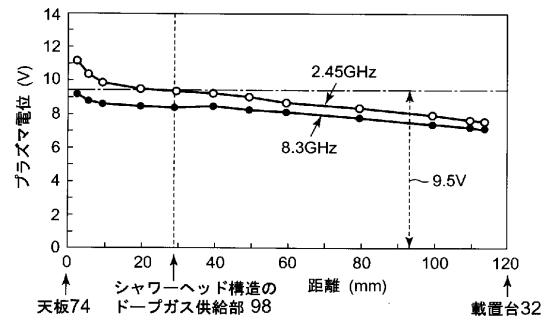
10

20

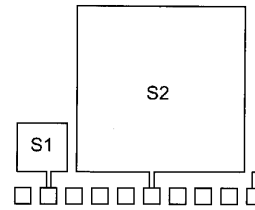
【図 4】



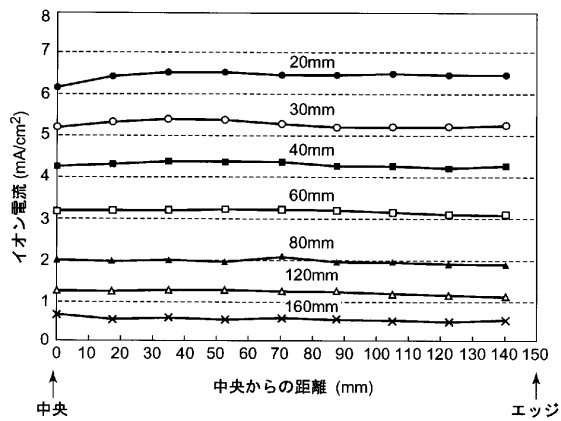
【図 5】



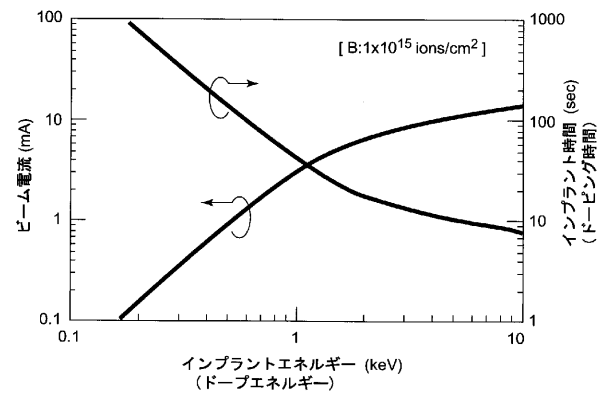
【図 6】



【図 7】



【図 9】



【図 8】

