(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2004-128209
(P2004-128209A)
(43)公開日　平成16年4月22日(2004.4.22)

(51)Int.Cl.[7]	F I		テーマコード（参考）
H01L 21/22	H01L 21/22	E	
H01L 21/265	H01L 21/265	F	

審査請求 未請求　請求項の数 25　ＯＬ　（全 17 頁）

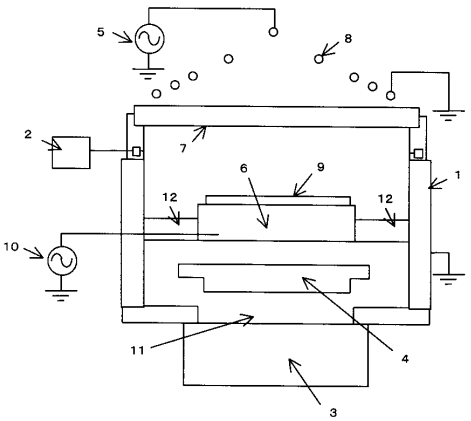
(21)出願番号　特願2002-290075(P2002-290075)
(22)出願日　平成14年10月2日(2002.10.2)

(71)出願人　000005821
松下電器産業株式会社
大阪府門真市大字門真１００６番地
(74)代理人　100097445
弁理士　岩橋　文雄
(74)代理人　100103355
弁理士　坂口　智康
(74)代理人　100109667
弁理士　内藤　浩樹
(72)発明者　奥村　智洋
大阪府門真市大字門真１００６番地　松下電器産業株式会社内
(72)発明者　中山　一郎
大阪府門真市大字門真１００６番地　松下電器産業株式会社内

最終頁に続く

(54)【発明の名称】プラズマドーピング方法

(57)【要約】
【課題】安定して低濃度ドーピングが可能なプラズマドーピング方法を提供する。
【解決手段】真空容器１内にガス供給装置２より所定のガスを導入しつつポンプ３で排気を行い、真空容器１内を所定の圧力に保ちながら、高周波電源５により高周波電力を、コイル８に印加すると、真空容器１内にプラズマが発生する。その後、真空容器１内の圧力を下げ、試料電極６上に載置された基板９に対して低濃度のプラズマドーピングを行う。
【選択図】　図１



【特許請求の範囲】
【請求項１】
試料または試料表面の膜中に不純物を導入するプラズマドーピング方法であって、真空容器内の試料電極に試料を載置する第一のステップと、真空容器内にガスを供給しつつ真空容器内を排気し、真空容器内を第一の圧力に制御しながら、プラズマ源に高周波電力を供給することにより、真空容器内にプラズマを発生させる第二のステップと、プラズマを発生させたままの状態で、真空容器内を第一の圧力よりも低い第二の圧力に制御する第三のステップとを含むこと
を特徴とするプラズマドーピング方法。
【請求項２】
第二のステップにおいて、真空容器内にヘリウム以外の不活性ガスを含むガスを供給し、第三のステップにおいて、真空容器内にヘリウムを含むガスを供給すること
を特徴とする請求項１記載のプラズマドーピング方法。
【請求項３】
第二のステップにおいてプラズマ源に供給する高周波電力よりも、第三のステップにおいてプラズマ源に供給する高周波電力の方が大きいことを特徴とする請求項１記載のプラズマドーピング方法。
【請求項４】
第二のステップにおいて真空容器内にドーピング原料ガスを供給せず、第三のステップにおいて真空容器内にドーピング原料ガスを供給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方法。
【請求項５】
試料または試料表面の膜中に不純物を導入するプラズマドーピング方法であって、真空容器内の試料電極に試料を載置する第一のステップと、真空容器内にヘリウム以外の不活性ガスを含むガスを供給しつつ真空容器内を排気し、真空容器内を第一の圧力に制御しながら、プラズマ源に高周波電力を供給することにより、真空容器内にプラズマを発生させる第二のステップと、プラズマを発生させたままの状態で、真空容器内にヘリウムを含むガスを供給しつつ真空容器内を排気し、真空容器内を第二の圧力に制御する第三のステップとを含むこと
を特徴とするプラズマドーピング方法。
【請求項６】
第一の圧力よりも第二の圧力の方が低いことを特徴とする請求項５記載のプラズマドーピング方法。
【請求項７】
第二のステップにおいてプラズマ源に供給する高周波電力よりも、第三のステップにおいてプラズマ源に供給する高周波電力の方が大きいことを特徴とする請求項５記載のプラズマドーピング方法。
【請求項８】
第二のステップにおいて真空容器内にドーピング原料ガスを供給せず、第三のステップにおいて真空容器内にドーピング原料ガスを供給することを特徴とする請求項５記載のプラズマドーピング方法。
【請求項９】
試料または試料表面の膜中に不純物を導入するプラズマドーピング方法であって、真空容器内の試料電極に試料を載置する第一のステップと、真空容器内にガスを供給しつつ真空容器内を排気し、真空容器内を第一の圧力に制御しながら、プラズマ源に高周波電力を供給することにより、真空容器内にプラズマを発生させる第二のステップと、プラズマを発生させたままの状態で、真空容器内を第二の圧力に制御しながら、第二のステップにおける高周波電力よりも大きな高周波電力をプラズマ源に供給する第三のステップとを含むこと
を特徴とするプラズマドーピング方法。

【請求項１０】
第一の圧力よりも第二の圧力の方が低い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】
第二のステップにおいて、真空容器内にヘリウム以外の不活性ガスを含むガスを供給し、第三のステップにおいて、真空容器内にヘリウムを含むガスを供給す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１２】
第二のステップにおいて真空容器内にドーピング原料ガスを供給せず、第三のステップにおいて真空容器内にドーピング原料ガスを供給す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１３】
試料または試料表面の膜中に不純物を導入するプラズマドーピング方法であって、真空容器内の試料電極に試料を載置する第一のステップと、真空容器内にドーピング原料ガスを含まないガスを供給しつつ真空容器内を排気し、真空容器内を第一の圧力に制御しながら、プラズマ源に高周波電力を供給することにより、真空容器内にプラズマを発生させる第二のステップと、プラズマを発生させたままの状態で、真空容器内にドーピング原料ガスを含むガスを供給しつつ真空容器内を排気し、真空容器内を第二の圧力に制御する第三のステップとを含むこと
を特徴とするプラズマドーピング方法。
【請求項１４】
第一の圧力よりも第二の圧力の方が低いことを特徴とする請求項１３記載のプラズマドーピング方法。
【請求項１５】
第二のステップにおいて、真空容器内にヘリウム以外の不活性ガスを含むガスを供給し、第三のステップにおいて、真空容器内にヘリウムを含むガスを供給することを特徴とする請求項１３記載のプラズマドーピング方法。
【請求項１６】
第二のステップにおいてプラズマ源に供給する高周波電力よりも、第三のステップにおいてプラズマ源に供給する高周波電力の方が大きいことを特徴とする請求項１３記載のプラズマドーピング方法。
【請求項１７】
第一の圧力が１乃至１０Ｐａであり、第二の圧力が０．０１乃至１Ｐａであることを特徴とする請求項１、６、１０または１４の何れか一項に記載のプラズマドーピング方法。
【請求項１８】
第一の圧力が２乃至５Ｐａであり、第二の圧力が０．０１乃至０．５Ｐａであることを特徴とする請求項１、６、１０または１４の何れか一項に記載のプラズマドーピング方法。
【請求項１９】
ヘリウム以外の不活性ガスとして、ネオン、アルゴン、クリプトンまたはキセノン（ゼノン）のうち少なくともひとつのガスを用いることを特徴とする請求項２、５、１１または１５の何れか一項に記載のプラズマドーピング方法。
【請求項２０】
第二のステップにおいてプラズマ源に供給する高周波電力が、第三のステップにおいてプラズマ源に供給する高周波電力の１／１００乃至１／２であることを特徴とする請求項３、７、９または１６の何れか一項に記載のプラズマドーピング方法。
【請求項２１】
第二のステップにおいてプラズマ源に供給する高周波電力が、第三のステップにおいてプラズマ源に供給する高周波電力の１／２０乃至１／５であることを特徴とする請求項３、７、９または１６の何れか一項に記載のプラズマドーピング方法。
【請求項２２】

真空容器内にドーピング原料ガスを供給するプラズマドーピング方法であって、ドーピング原料ガスの分圧が、第二の圧力の１／１０００乃至１／５であることを特徴とする請求項１、５、９または１３の何れか一項に記載のプラズマドーピング方法。
【請求項２３】
真空容器内にドーピング原料ガスを供給するプラズマドーピング方法であって、ドーピング原料ガスの分圧が、第二の圧力の１／１００乃至１／１０であることを特徴とする請求項１、５、９または１３の何れか一項に記載のプラズマドーピング方法。
【請求項２４】
真空容器内にドーピング原料ガスを供給せず、固体状の不純物から発生させたドーピング原料により試料または試料表面の膜中に不純物を導入することを特徴とする請求項１、５、９または１３の何れか一項に記載のプラズマドーピング方法。
【請求項２５】
試料がシリコンよりなる半導体基板であり、不純物が砒素、燐、ボロン、アルミニウムまたはアンチモンであることを特徴とする請求項１、５、９または１３の何れか一項に記載のプラズマドーピング方法。
【発明の詳細な説明】
【０００１】
【発明の属する技術分野】
本発明は、不純物を半導体基板等の固体試料の表面に導入するプラズマドーピング方法に関するものである。
【０００２】
【従来の技術】
不純物を固体試料の表面に導入する技術としては、例えば、特許文献１に示されているように、不純物をイオン化して低エネルギーで固体中に導入するプラズマドーピング法が知られている。
【０００３】
以下、図６を参照しながら従来の不純物導入方法としてのプラズマドーピング法について説明する。
【０００４】
図６は、従来のプラズマドーピング法に用いられるプラズマドーピング装置の概略構成を示している。図６において、真空容器１内に、シリコン基板よりなる試料９を載置するための試料電極６が設けられている。真空容器１内に所望の元素を含むドーピング原料ガス、例えばB_2H_6を供給するためのガス供給装置２、真空容器１内の内部を減圧するポンプ３が設けられ、真空容器１内を所定の圧力に保つことができる。マイクロ波導波管１９より、誘電体窓としての石英板７を介して、真空容器１内にマイクロ波が放射される。このマイクロ波と、電磁石１４から形成される直流磁場の相互作用により、真空容器１内に有磁場マイクロ波プラズマ（電子サイクロトロン共鳴プラズマ）２０が形成される。試料電極６には、コンデンサ２１を介して高周波電源１０が接続され、試料電極６の電位が制御できるようになっている。
【０００５】
このような構成のプラズマドーピング装置において、ガス供給装置２から導入されたドーピング原料ガス、例えばB_2H_6は、マイクロ波導波管１９及び電磁石１４から成るプラズマ発生手段によってプラズマ化され、プラズマ２０中のボロンイオンが高周波電源１０によって試料９の表面に導入される。
【０００６】
このようにして不純物が導入された試料９の上に金属配線層を形成した後、所定の酸化雰囲気の中において金属配線層の上に薄い酸化膜を形成し、その後、ＣＶＤ装置等により試料９上にゲート電極を形成すると、例えばＭＯＳトランジスタが得られる。
【０００７】
ところで、B_2H_6よりなるドーピング原料ガスのように、シリコン基板等の試料に導入

されると電気的に活性となる不純物を含むガスは、一般に危険性が高いという問題がある。

【０００８】

また、プラズマドーピング法は、ドーピング原料ガスに含まれている物質の全てが試料に導入される。B_2H_6よりなるドーピング原料ガスを例にとって説明すると、試料に導入されたときに有効な不純物はボロンのみであるが、水素も同時に試料中に導入される。水素が試料中に導入されると、エピタキシャル成長等、引き続き行なわれる熱処理時に試料において格子欠陥が生じるという問題がある。

【０００９】

そこで、試料に導入されると電気的に活性となる不純物を含む不純物固体を真空容器内に配置すると共に、真空容器内において希ガスのプラズマを発生させ、不活性ガスのイオンにより不純物固体をスパッタリングすることにより、不純物固体から不純物を分離させる方法が考えられた。こうした方法でドーピングを行うためのプラズマドーピング装置の構成を図７に示す。図７において、真空容器１内に、シリコン基板よりなる試料９を載置するための試料電極６が設けられている。真空容器１内に不活性ガスを供給するためのガス供給装置２、真空容器１内の内部を減圧するポンプ３が設けられ、真空容器１内を所定の圧力に保つことができる。マイクロ波導波管１９より、誘電体窓としての石英板７を介して、真空容器１内にマイクロ波が放射される。このマイクロ波と、電磁石１４から形成される直流磁場の相互作用により、真空容器１内に有磁場マイクロ波プラズマ（電子サイクロトロン共鳴プラズマ）２０が形成される。試料電極６には、コンデンサ２１を介して高周波電源１０が接続され、試料電極６の電位が制御できるようになっている。また、不純物元素例えばボロンを含む不純物固体２２が、固体保持台２３上に設けられ、固体保持台２３の電位が、コンデンサ２４を介して接続された高周波電源２５によって制御される。

【００１０】

このような構成のプラズマドーピング装置において、ガス供給装置２から導入された不活性ガス、例えばアルゴン（Ａｒ）は、マイクロ波導波管１９及び電磁石１４から成るプラズマ発生手段によってプラズマ化され、不純物固体２２からスパッタリングによりプラズマ中に飛び出した不純物元素の一部がイオン化され、試料９の表面に導入される。このような構成については、特許文献２に詳しく述べられている。

【００１１】

【特許文献１】

米国特許４９１２０６５号公報

【特許文献２】

特開平０９－１１５８５１号公報

【特許文献３】

特開２０００－３０９８６８号公報

【特許文献４】

特願２００２－２０２４８３号明細書

【００１２】

【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、従来の方式では、低濃度ドーピングが安定的に行えないという問題点があった。ドーピング原料ガスを用いて低濃度ドーピングを行うには、真空容器内の圧力を下げるとともに、ドーピング原料ガスの分圧を小さくする必要がある。この場合、一般にはドーピング原料ガスを不活性ガスであるヘリウムで希釈する。ヘリウムイオンはスパッタリングイールドが小さいため、試料へのイオン照射ダメージが小さいという利点があるためである。ところが、ヘリウムガスは低圧力では放電が開始しにくいという難点があり、所望の低濃度ドーピング条件で処理することが難しかった。

【００１３】

また、ドーピング原料ガスを用いずに不純物固体を用いて低濃度ドーピングを行うに際しても、真空容器内の圧力を下げる必要がある。不活性ガスとしてアルゴンを用いる場合に

は、ヘリウムに比べると低圧力でも放電が開始しやすいものの、所望の低濃度ドーピング条件で処理することが難しいことについては、ドーピング原料ガスを用いる場合と同様である。

【００１４】

一方、特許文献３には、アルゴンガスを用いたスパッタリング装置において、着火ステップにおける真空容器内の圧力を高くして着火を確実に行う方法が記されているが、これを、プラズマドーピングのような、不純物に極めて敏感なプロセスにそのまま適用することはできない。

【００１５】

本発明は、上記従来の問題点に鑑み、安定して低濃度ドーピングが可能なプラズマドーピング方法を提供することを目的としている。

【００１６】

【課題を解決するための手段】

本願の第１発明のプラズマドーピング方法は、試料または試料表面の膜中に不純物を導入するプラズマドーピング方法であって、真空容器内の試料電極に試料を載置する第一のステップと、真空容器内にガスを供給しつつ真空容器内を排気し、真空容器内を第一の圧力に制御しながら、プラズマ源に高周波電力を供給することにより、真空容器内にプラズマを発生させる第二のステップと、プラズマを発生させたままの状態で、真空容器内を第一の圧力よりも低い第二の圧力に制御する第三のステップとを含むことを特徴とする。

【００１７】

本願の第１発明のプラズマドーピング方法において、好適には、第二のステップにおいて、真空容器内にヘリウム以外の不活性ガスを含むガスを供給し、第三のステップにおいて、真空容器内にヘリウムを含むガスを供給することが望ましい。この場合、さらに好適には、ヘリウム以外の不活性ガスとして、ネオン、アルゴン、クリプトンまたはキセノン（ゼノン）のうち少なくともひとつのガスを用いることが望ましい。

【００１８】

また、好適には、第二のステップにおいてプラズマ源に供給する高周波電力よりも、第三のステップにおいてプラズマ源に供給する高周波電力の方が大きいことが望ましい。この場合、さらに好適には、第二のステップにおいてプラズマ源に供給する高周波電力が、第三のステップにおいてプラズマ源に供給する高周波電力の１／１００乃至１／２であることが望ましい。さらに好適には、第二のステップにおいてプラズマ源に供給する高周波電力が、第三のステップにおいてプラズマ源に供給する高周波電力の１／２０乃至１／５であることが望ましい。

【００１９】

また、好適には、第二のステップにおいて真空容器内にドーピング原料ガスを供給せず、第三のステップにおいて真空容器内にドーピング原料ガスを供給することが望ましい。

【００２０】

また、好適には、第一の圧力が１乃至１０Ｐａであり、第二の圧力が０．０１乃至１Ｐａであることが望ましい。さらに好適には、第一の圧力が２乃至５Ｐａであり、第二の圧力が０．０１乃至０．５Ｐａであることが望ましい。

【００２１】

本願の第２発明のプラズマドーピング方法は、試料または試料表面の膜中に不純物を導入するプラズマドーピング方法であって、真空容器内の試料電極に試料を載置する第一のステップと、真空容器内にヘリウム以外の不活性ガスを含むガスを供給しつつ真空容器内を排気し、真空容器内を第一の圧力に制御しながら、プラズマ源に高周波電力を供給することにより、真空容器内にプラズマを発生させる第二のステップと、プラズマを発生させたままの状態で、真空容器内にヘリウムを含むガスを供給しつつ真空容器内を排気し、真空容器内を第二の圧力に制御する第三のステップとを含むことを特徴とする。

【００２２】

本願の第２発明のプラズマドーピング方法において、好適には、第一の圧力よりも第二の

圧力の方が低いことが望ましい。この場合、さらに好適には、第一の圧力が１乃至１０Ｐａであり、第二の圧力が０．０１乃至１Ｐａであることが望ましい。さらに好適には、第一の圧力が２乃至５Ｐａであり、第二の圧力が０．０１乃至０．５Ｐａであることが望ましい。

【００２３】

また、好適には、第二のステップにおいてプラズマ源に供給する高周波電力よりも、第三のステップにおいてプラズマ源に供給する高周波電力の方が大きいことが望ましい。この場合、さらに好適には、第二のステップにおいてプラズマ源に供給する高周波電力が、第三のステップにおいてプラズマ源に供給する高周波電力の１／１００乃至１／２であることが望ましい。さらに好適には、第二のステップにおいてプラズマ源に供給する高周波電力が、第三のステップにおいてプラズマ源に供給する高周波電力の１／２０乃至１／５であることが望ましい。

【００２４】

また、好適には、第二のステップにおいて真空容器内にドーピング原料ガスを供給せず、第三のステップにおいて真空容器内にドーピング原料ガスを供給することが望ましい。

【００２５】

また、好適には、ヘリウム以外の不活性ガスとして、ネオン、アルゴン、クリプトンまたはキセノン（ゼノン）のうち少なくともひとつのガスを用いることが望ましい。

【００２６】

本願の第３発明のプラズマドーピング方法は、試料または試料表面の膜中に不純物を導入するプラズマドーピング方法であって、真空容器内の試料電極に試料を載置する第一のステップと、真空容器内にガスを供給しつつ真空容器内を排気し、真空容器内を第一の圧力に制御しながら、プラズマ源に高周波電力を供給することにより、真空容器内にプラズマを発生させる第二のステップと、プラズマを発生させたままの状態で、真空容器内を第二の圧力に制御しながら、第二のステップにおける高周波電力よりも大きな高周波電力をプラズマ源に供給する第三のステップとを含むことを特徴とする。

【００２７】

本願の第３発明のプラズマドーピング方法において、好適には、第一の圧力よりも第二の圧力の方が低いことが望ましい。この場合、さらに好適には、第一の圧力が１乃至１０Ｐａであり、第二の圧力が０．０１乃至１Ｐａであることが望ましい。さらに好適には、第一の圧力が２乃至５Ｐａであり、第二の圧力が０．０１乃至０．５Ｐａであることが望ましい。

【００２８】

また、好適には、第二のステップにおいて、真空容器内にヘリウム以外の不活性ガスを含むガスを供給し、第三のステップにおいて、真空容器内にヘリウムを含むガスを供給することが望ましい。この場合、さらに好適には、ヘリウム以外の不活性ガスとして、ネオン、アルゴン、クリプトンまたはキセノン（ゼノン）のうち少なくともひとつのガスを用いることが望ましい。

【００２９】

また、好適には、第二のステップにおいて真空容器内にドーピング原料ガスを供給せず、第三のステップにおいて真空容器内にドーピング原料ガスを供給することが望ましい。

【００３０】

また、好適には、第二のステップにおいてプラズマ源に供給する高周波電力が、第三のステップにおいてプラズマ源に供給する高周波電力の１／１００乃至１／２であることが望ましい。さらに好適には、第二のステップにおいてプラズマ源に供給する高周波電力が、第三のステップにおいてプラズマ源に供給する高周波電力の１／２０乃至１／５であることが望ましい。

【００３１】

本願の第４発明のプラズマドーピング方法は、試料または試料表面の膜中に不純物を導入するプラズマドーピング方法であって、真空容器内の試料電極に試料を載置する第一のス

テップと、真空容器内にドーピング原料ガスを含まないガスを供給しつつ真空容器内を排気し、真空容器内を第一の圧力に制御しながら、プラズマ源に高周波電力を供給することにより、真空容器内にプラズマを発生させる第二のステップと、プラズマを発生させたままの状態で、真空容器内にドーピング原料ガスを含むガスを供給しつつ真空容器内を排気し、真空容器内を第二の圧力に制御する第三のステップとを含むことを特徴とする。

【００３２】

本願の第４発明のプラズマドーピング方法において、好適には、第一の圧力よりも第二の圧力の方が低いことが望ましい。この場合、さらに好適には、第一の圧力が１乃至１０Ｐａであり、第二の圧力が０．０１乃至１Ｐａであることが望ましい。さらに好適には、第一の圧力が２乃至５Ｐａであり、第二の圧力が０．０１乃至０．５Ｐａであることが望ましい。

【００３３】

また、好適には、第二のステップにおいて、真空容器内にヘリウム以外の不活性ガスを含むガスを供給し、第三のステップにおいて、真空容器内にヘリウムを含むガスを供給することが望ましい。この場合、さらに好適には、ヘリウム以外の不活性ガスとして、ネオン、アルゴン、クリプトンまたはキセノン（ゼノン）のうち少なくともひとつのガスを用いることが望ましい。

【００３４】

また、好適には、第二のステップにおいてプラズマ源に供給する高周波電力よりも、第三のステップにおいてプラズマ源に供給する高周波電力の方が大きいことが望ましい。この場合、さらに好適には、第二のステップにおいてプラズマ源に供給する高周波電力が、第三のステップにおいてプラズマ源に供給する高周波電力の１／１００乃至１／２であることが望ましい。さらに好適には、第二のステップにおいてプラズマ源に供給する高周波電力が、第三のステップにおいてプラズマ源に供給する高周波電力の１／２０乃至１／５であることが望ましい。

【００３５】

本願の第１、第２、第３または第４発明のプラズマドーピング方法において、真空容器内にドーピング原料ガスを供給する場合、好適には、ドーピング原料ガスの分圧が、第二の圧力の１／１０００乃至１／５であることが望ましい。さらに好適には、ドーピング原料ガスの分圧が、第二の圧力の１／１００乃至１／１０であることが望ましい。

【００３６】

本願の第１、第２、第３または第４発明のプラズマドーピング方法において、真空容器内にドーピング原料ガスを供給せず、固体状の不純物から発生させたドーピング原料により試料または試料表面の膜中に不純物を導入してもよい。

【００３７】

本願の第１、第２、第３または第４発明のプラズマドーピング方法は、試料がシリコンよりなる半導体基板であり、不純物が砒素、燐、ボロン、アルミニウムまたはアンチモンであること場合にとくに有効なプラズマドーピング方法である。

【００３８】

【発明の実施の形態】

以下、本発明の第１実施形態について、図１を参照して説明する。

【００３９】

図１に、本発明の第１実施形態において用いたプラズマドーピング装置の断面図を示す。図１において、真空容器１内に、ガス供給装置２から所定のガスを導入しつつ、排気装置としてのターボ分子ポンプ３により排気を行い、調圧弁４により真空容器１内を所定の圧力に保ちながら、高周波電源５により１３．５６ＭＨｚの高周波電力を試料電極６に対向した誘電体窓７の近傍に設けられたコイル８に供給することにより、真空容器１内に誘導結合型プラズマが発生し、試料電極６上に載置された試料としてのシリコン基板９に対してプラズマドーピング処理を行うことができる。また、試料電極６に高周波電力を供給するための高周波電源１０が設けられており、試料としての基板がプラズマに対して負の電

位をもつように、試料電極６の電位を制御することができるようになっている。ターボ分子ポンプ３及び排気口１１は、試料電極６の直下に配置されており、また、調圧弁４は、試料電極６の直下で、かつ、ターボ分子ポンプ３の直上に位置する昇降弁である。試料電極６は、４本の支柱１２により、真空容器１に固定されている。なお、誘電体窓７の主成分は石英ガラスである。

【００４０】

基板９を試料電極６に載置した後、試料電極６の温度を１０℃に保ちつつ、真空容器１内にヘリウムガスを５０ｓｃｃｍ、ドーピング原料ガスとしてのジボラン（B_2H_6）ガスを３ｓｃｃｍ供給し、真空容器１内の圧力を第一の圧力＝３Ｐａに制御しながら、プラズマ源としてのコイル８に高周波電力を８００Ｗ供給することにより、真空容器１内にプラズマを発生させた。プラズマが着火した１秒後に、プラズマを発生させたままの状態で、真空容器１内を第一の圧力（３Ｐａ）よりも低い第二の圧力＝０．３Ｐａに制御し、プラズマが安定した後に７秒間に渡って試料電極に２００Ｗの高周波電力を供給することにより、ボロンを基板９の表面近傍に導入することができた。ドーピング濃度は２．５×10^{13} ａｔｍ／ｃｍ^{2}であった。

【００４１】

このように、プラズマの着火を、ドーピングプロセスにおける圧力よりも高い圧力で行うことにより、安定した着火を実現することが可能となり、試料へのイオン照射ダメージが小さいヘリウム主体のプラズマを用いて、安定して低濃度ドーピングを行えるようになった。

【００４２】

以上述べた本発明の第１実施形態において、プラズマを着火させるステップにおいてヘリウム以外の不活性ガスを供給してもよい。この場合、ヘリウム以外の不活性ガスは、一般にヘリウムよりも着火下限圧力が低いので、より低圧力にてプラズマの着火が行えるという利点がある。

【００４３】

また、プラズマを着火させるステップにおいて、プラズマ源に供給する高周波電力を小さくしてもよい。この場合、着火ステップにおける試料への悪影響を少なくすることができるという利点がある。

【００４４】

また、プラズマを着火させるステップにおいて、真空容器内にドーピング原料ガスを供給しないようにしてもよい。この場合も、着火ステップにおける試料への悪影響を少なくすることができるという利点がある。

【００４５】

次に、本発明の第２実施形態について、図１を参照して説明する。

【００４６】

図１に示したプラズマドーピング装置の基本的な動作については、本発明の第１実施形態において詳しく説明したので、ここでは説明を省略する。

【００４７】

基板９を試料電極６に載置した後、試料電極６の温度を１０℃に保ちつつ、真空容器１内にアルゴンガスを５０ｓｃｃｍ、ドーピング原料ガスとしてのジボラン（B_2H_6）ガスを３ｓｃｃｍ供給し、真空容器１内の圧力を第一の圧力＝０．８Ｐａに制御しながら、プラズマ源としてのコイル８に高周波電力を８００Ｗ供給することにより、真空容器１内にプラズマを発生させた。プラズマが着火した１秒後に、プラズマを発生させたままの状態で、真空容器１内にヘリウムガスを５０ｓｃｃｍ供給するとともに、アルゴンガスの供給を停止し、プラズマが安定した後に７秒間に渡って試料電極に２００Ｗの高周波電力を供給することにより、ボロンを基板９の表面近傍に導入することができた。ドーピング濃度は４．２×10^{13} ａｔｍ／ｃｍ^{2}であった。

【００４８】

このように、プラズマの着火を、ヘリウム以外の不活性ガス（アルゴン）を含むガスで行

うことにより、安定した着火を実現することが可能となり、試料へのイオン照射ダメージが小さいヘリウム主体のプラズマを用いて、安定して低濃度ドーピングを行えるようになった。

【００４９】

以上述べた本発明の第２実施形態において、プラズマを着火させるステップにおいて真空容器内の圧力を大きくしてもよい。この場合、プラズマの着火がより安定的に行えるという利点がある。

【００５０】

また、プラズマを着火させるステップにおいて、プラズマ源に供給する高周波電力を小さくしてもよい。この場合、着火ステップにおける試料への悪影響を少なくすることができるという利点がある。

【００５１】

また、プラズマを着火させるステップにおいて、真空容器内にドーピング原料ガスを供給しないようにしてもよい。この場合も、着火ステップにおける試料への悪影響を少なくすることができるという利点がある。

【００５２】

次に、本発明の第３実施形態について、図１を参照して説明する。

【００５３】

図１に示したプラズマドーピング装置の基本的な動作については、本発明の第１実施形態において詳しく説明したので、ここでは説明を省略する。

【００５４】

基板９を試料電極６に載置した後、試料電極６の温度を１０℃に保ちつつ、真空容器１内にヘリウムガスを５０ｓｃｃｍ、ドーピング原料ガスとしてのジボラン（B_2H_6）ガスを３ｓｃｃｍ供給し、真空容器１内の圧力を第一の圧力＝３Ｐａに制御しながら、プラズマ源としてのコイル８に高周波電力を１００Ｗ供給することにより、真空容器１内にプラズマを発生させた。プラズマが着火した１秒後に、プラズマを発生させたままの状態で、真空容器１内を第一の圧力（３Ｐａ）よりも低い第二の圧力＝０．３Ｐａに制御し、コイルに供給する高周波電力を８００Ｗまで増加させ、プラズマが安定した後に７秒間に渡って試料電極に２００Ｗの高周波電力を供給することにより、ボロンを基板９の表面近傍に導入することができた。ドーピング濃度は2.4×10^{13}ａｔｍ／ｃｍ^{2}であった。

【００５５】

このように、プラズマの着火を行うステップにおける、プラズマ源への供給電力を小さくすることにより、着火ステップにおける試料への悪影響を少なくしつつ、試料へのイオン照射ダメージが小さいヘリウム主体のプラズマを用いて、安定して低濃度ドーピングを行えるようになった。

【００５６】

以上述べた本発明の第３実施形態において、第二の圧力が第一の圧力と同じであってもよい。この場合においても、着火ステップにおける試料への悪影響を少なくすることができる。

【００５７】

また、プラズマを着火させるステップにおいてヘリウム以外の不活性ガスを供給してもよい。この場合、ヘリウム以外の不活性ガスは、一般にヘリウムよりも着火下限圧力が低いので、より低圧力にてプラズマの着火が行えるという利点がある。

【００５８】

また、プラズマを着火させるステップにおいて、真空容器内にドーピング原料ガスを供給しないようにしてもよい。この場合も、着火ステップにおける試料への悪影響を少なくすることができるという利点がある。

【００５９】

次に、本発明の第４実施形態について、図１を参照して説明する。

【００６０】

図１に示したプラズマドーピング装置の基本的な動作については、本発明の第１実施形態において詳しく説明したので、ここでは説明を省略する。

【００６１】

基板９を試料電極６に載置した後、試料電極６の温度を１０℃に保ちつつ、真空容器１内にヘリウムガスを５０ｓｃｃｍ供給し、真空容器１内の圧力を第一の圧力＝３Ｐａに制御しながら、プラズマ源としてのコイル８に高周波電力を８００Ｗ供給することにより、真空容器１内にプラズマを発生させた。プラズマが着火した１秒後に、プラズマを発生させたままの状態で、真空容器１内を第一の圧力（３Ｐａ）よりも低い第二の圧力＝０．３Ｐａに制御しながら、ドーピング原料ガスとしてのジボラン（B_2H_6）ガスを３ｓｃｃｍ供給し、プラズマが安定した後に７秒間に渡って試料電極に２００Ｗの高周波電力を供給することにより、ボロンを基板９の表面近傍に導入することができた。ドーピング濃度は2.3×10^{13} ａｔｍ／ｃｍ^{2}であった。

【００６２】

このように、プラズマの着火を行うステップにおいてドーピング原料ガスを含まないガスを用いることにより、着火ステップにおける試料への悪影響を少なくしつつ、試料へのイオン照射ダメージが小さいヘリウム主体のプラズマを用いて、安定して低濃度ドーピングを行えるようになった。

【００６３】

以上述べた本発明の第４実施形態において、第二の圧力が第一の圧力と同じであってもよい。この場合においても、着火ステップにおける試料への悪影響を少なくすることができる。

【００６４】

また、プラズマを着火させるステップにおいてヘリウム以外の不活性ガスを供給してもよい。この場合、ヘリウム以外の不活性ガスは、一般にヘリウムよりも着火下限圧力が低いので、より低圧力にてプラズマの着火が行えるという利点がある。

【００６５】

また、プラズマを着火させるステップにおいて、プラズマ源に供給する高周波電力を小さくしてもよい。この場合、着火ステップにおける試料への悪影響を少なくすることができるという利点がある。

【００６６】

以上述べた本発明の実施形態においては、本発明の適用範囲のうち、真空容器の形状、プラズマ源の方式及び配置等に関して様々なバリエーションのうちの一部を例示したに過ぎない。本発明の適用にあたり、ここで例示した以外にも様々なバリエーションが考えられることは、いうまでもない。

【００６７】

例えば、コイル８を平面状とした図２のような構成も可能である。

【００６８】

また、コイル８の代わりにアンテナ１３及び磁場形成装置としての電磁石１４を用いた図３のような構成も可能である。この場合、真空容器内にヘリコン波プラズマを形成することができ、誘導結合型プラズマよりも高密度のプラズマを発生させることができる。電磁石に流れる電流を制御することで、真空容器内に直流磁場または周波数１ｋＨｚ以下の低周波磁場を印加してもよい。

【００６９】

また、コイル８の代わりにアンテナ１３及び磁場形成装置としての電磁石１４を用いた図４のような構成も可能である。この場合、２つの電磁石１４に逆向きの電流を流すことにより、真空容器内に磁気中性ループプラズマを形成することができ、誘導結合型プラズマよりも高密度のプラズマを発生させることができる。電磁石に流れる電流を制御することで、真空容器内に直流磁場または周波数１ｋＨｚ以下の低周波磁場を印加してもよい。

【００７０】

また、図５のような構成も可能である。図５において、真空容器１内に、ガス供給装置２

から所定のガスを導入しつつ、排気装置としてのターボ分子ポンプ３により排気を行い、調圧弁４により真空容器１内を所定の圧力に保ちながら、高周波電源５により１３．５６ＭＨｚの高周波電力を試料電極６に対向した誘電体窓７の近傍に設けられたコイル８に供給することにより、真空容器１内に誘導結合型プラズマが発生し、試料電極６上に載置された試料としてのシリコン基板９に対してプラズマドーピング処理を行うことができる。また、試料電極６に高周波電力を供給するための高周波電源１０が設けられており、試料としての基板がプラズマに対して負の電位をもつように、試料電極６の電位を制御することができるようになっている。ターボ分子ポンプ３及び排気口１１は、試料電極６の直下に配置されており、また、調圧弁４は、試料電極６の直下で、かつ、ターボ分子ポンプ３の直上に位置する昇降弁である。試料電極６は、４本の支柱１２により、真空容器１に固定されている。なお、誘電体窓７の主成分は石英ガラスであるが、不純物としてのボロンを含有させている。

【００７１】

コイル８と誘電体窓７の間に配置したバイアス電極１５に周波数５００ｋＨｚの高周波電力を供給するための高周波電源１６が設けられている。バイアス電極１５はスポーク状（短冊形の電極が放射状に配置されたもの）であり、コイル８の巻き方向とほぼ垂直な線方向に配置されているため、コイル８からの高周波電磁界が真空容器１内に放射されるのをほとんど妨げないように工夫されている。一方で、バイアス電極１５は誘電体窓７のほぼ全域を覆っており、誘電体窓７がスパッタされて、不純物としてのボロンがプラズマ中へ拡散する量を制御することができる。

【００７２】

また、周波数１３．５６ＭＨｚの高周波電力の反射波検出回路系に周波数５００ｋＨｚの高周波電力による変調の影響が及ぶのを防ぐための回路として、バンドパスフィルタ１７が設けられている。これは、周波数５００ｋＨｚの高周波電力の供給によって誘電体窓７の表面のシース厚さが５００ｋＨｚで変動することによる影響を除去し、周波数１３．５６ＭＨｚの高周波電力の反射波のうち、１３．５６ＭＨｚの成分のみを取り出して検出するためのものである。このような構成において、周波数１３．５６ＭＨｚの高周波電力の反射波を反射波計１８でモニタしつつ処理を行うことにより、整合状態や周波数１３．５６ＭＨｚの高周波電源のトラブルをリアルタイムで検知することが可能となる。

【００７３】

このような構成を採用することにより、真空容器内にドーピング原料ガスを供給せずに、固体状の不純物（誘電体窓）から発生させたドーピング原料により、試料または試料表面の膜中に不純物を導入することが可能となる。なお、この構成については、特許文献４に詳しく説明されている。

【００７４】

以上述べた本発明の実施形態において、第一の圧力よりも第二の圧力の方が低い場合、着火を確実に行うとともに、低濃度ドーピングを実現するためには、第一の圧力が１乃至１０Ｐａであり、第二の圧力が０．０１乃至１Ｐａであることが望ましい。さらに、第一の圧力が２乃至５Ｐａであり、第二の圧力が０．０１乃至０．５Ｐａであることが望ましい。

【００７５】

また、ヘリウム以外の不活性ガスを用いる場合、ネオン、アルゴン、クリプトンまたはキセノン（ゼノン）のうち少なくともひとつのガスを用いることが望ましい。これらの不活性ガスは、試料への悪影響が他のガスよりも小さいという利点がある。

【００７６】

また、着火ステップにおいてプラズマ源に供給する高周波電力を小さくする場合、着火を確実に行うとともに、着火ステップにおける試料への悪影響を抑制して、低濃度ドーピングを実現するためには、着火ステップにおいてプラズマ源に供給する高周波電力が、ドーピングステップにおいてプラズマ源に供給する高周波電力の１／１００乃至１／２であることが望ましい。さらに、着火ステップにおいてプラズマ源に供給する高周波電力が、ド

ーピングステップにおいてプラズマ源に供給する高周波電力の１／２０乃至１／５であることが望ましい。

【００７７】

また、真空容器内にドーピング原料ガスを供給する場合、低濃度ドーピングを実現するためには、ドーピング原料ガスの分圧が、ドーピングステップにおける真空容器内の圧力の１／１０００乃至１／５であることが望ましい。さらに、ドーピング原料ガスの分圧が、ドーピングステップにおける真空容器内の圧力の１／１００乃至１／１０であることが望ましい。

【００７８】

また、試料がシリコンよりなる半導体基板である場合を例示したが、他の様々な材質の試料を処理するに際して、本発明を適用することができる。

【００７９】

また、不純物がボロンである場合について例示したが、試料がシリコンよりなる半導体基板である場合、とくに不純物が砒素、燐、ボロン、アルミニウムまたはアンチモンである場合に本発明は有効である。これは、トランジスタ部分に浅い接合を形成することができるからである。

【００８０】

また、本発明は、ドーピング濃度が低濃度である場合に有効であり、とくに、1×10^{11}／cm^2乃至1×10^{17}／cm^2を狙いとしたプラズマドーピング方法として有効である。また、1×10^{11}／cm^2乃至1×10^{14}／cm^2を狙いとしたプラズマドーピング方法として、とくに格別の効果を奏する。

【００８１】

また、本発明は、電子サイクロトロン共鳴（ＥＣＲ）プラズマを用いる場合にも有効ではあるが、ＥＣＲプラズマを用いない場合にとくに有効である。ＥＣＲプラズマは低圧力でもプラズマが着火しやすいという利点があるが、試料付近の直流磁界が大きいため、電子とイオンの荷電分離が生じやすく、ドーピング量の均一性が劣るという欠点があるためである。つまり、本発明をＥＣＲプラズマを用いず、他の高密度プラズマ源を用いたプラズマドーピング方法に適用することにより、均一性に優れた低濃度ドーピングを実現することができる。

【００８２】

【発明の効果】

以上の説明から明らかなように、本願の第１発明のプラズマドーピング方法によれば、試料または試料表面の膜中に不純物を導入するプラズマドーピング方法であって、真空容器内の試料電極に試料を載置する第一のステップと、真空容器内にガスを供給しつつ真空容器内を排気し、真空容器内を第一の圧力に制御しながら、プラズマ源に高周波電力を供給することにより、真空容器内にプラズマを発生させる第二のステップと、プラズマを発生させたままの状態で、真空容器内を第一の圧力よりも低い第二の圧力に制御する第三のステップとを含むため、安定して低濃度ドーピングが可能なプラズマドーピング方法を提供することができる。

【００８３】

また、本願の第２発明のプラズマドーピング方法によれば、試料または試料表面の膜中に不純物を導入するプラズマドーピング方法であって、真空容器内の試料電極に試料を載置する第一のステップと、真空容器内にヘリウム以外の不活性ガスを含むガスを供給しつつ真空容器内を排気し、真空容器内を第一の圧力に制御しながら、プラズマ源に高周波電力を供給することにより、真空容器内にプラズマを発生させる第二のステップと、プラズマを発生させたままの状態で、真空容器内にヘリウムを含むガスを供給しつつ真空容器内を排気し、真空容器内を第二の圧力に制御する第三のステップとを含むため、安定して低濃度ドーピングが可能なプラズマドーピング方法を提供することができる。

【００８４】

また、本願の第３発明のプラズマドーピング方法によれば、試料または試料表面の膜中に

不純物を導入するプラズマドーピング方法であって、真空容器内の試料電極に試料を載置する第一のステップと、真空容器内にガスを供給しつつ真空容器内を排気し、真空容器内を第一の圧力に制御しながら、プラズマ源に高周波電力を供給することにより、真空容器内にプラズマを発生させる第二のステップと、プラズマを発生させたままの状態で、真空容器内を第二の圧力に制御しながら、第二のステップにおける高周波電力よりも大きな高周波電力をプラズマ源に供給する第三のステップとを含むため、安定して低濃度ドーピングが可能なプラズマドーピング方法を提供することができる。

【００８５】

また、本願の第４発明のプラズマドーピング方法によれば、試料または試料表面の膜中に不純物を導入するプラズマドーピング方法であって、真空容器内の試料電極に試料を載置する第一のステップと、真空容器内にドーピング原料ガスを含まないガスを供給しつつ真空容器内を排気し、真空容器内を第一の圧力に制御しながら、プラズマ源に高周波電力を供給することにより、真空容器内にプラズマを発生させる第二のステップと、プラズマを発生させたままの状態で、真空容器内にドーピング原料ガスを含むガスを供給しつつ真空容器内を排気し、真空容器内を第二の圧力に制御する第三のステップとを含むため、安定して低濃度ドーピングが可能なプラズマドーピング方法を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【図１】本発明の第１乃至第４実施形態で用いたプラズマドーピング装置の構成を示す断面図

【図２】本発明の他の実施形態で用いたプラズマドーピング装置の構成を示す断面図

【図３】本発明の他の実施形態で用いたプラズマドーピング装置の構成を示す断面図

【図４】本発明の他の実施形態で用いたプラズマドーピング装置の構成を示す断面図

【図５】本発明の他の実施形態で用いたプラズマドーピング装置の構成を示す断面図

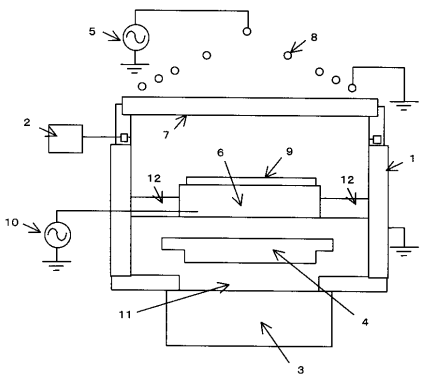
【図６】従来例で用いたプラズマドーピング装置の構成を示す断面図

【図７】従来例で用いたプラズマドーピング装置の構成を示す断面図

【符号の説明】

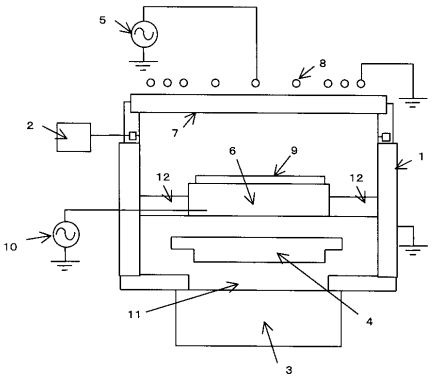
１　真空容器
２　ガス供給装置
３　ターボ分子ポンプ
４　調圧弁
５　高周波電源
６　試料電極
７　誘電体窓
８　コイル
９　基板
１０　高周波電源
１１　排気口
１２　支柱

【図１】

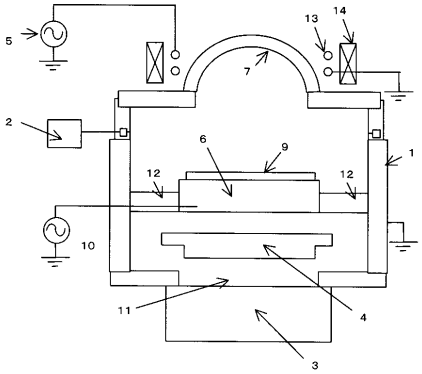


1･･･真空容器
2･･･ガス供給装置
3･･･ターボ分子ポンプ
4･･･調圧弁
5･･･高周波電源
6･･･試料電極
7･･･誘電体窓
8･･･コイル
9･･･基板
10･･･高周波電源
11･･･排気口
12･･･支柱

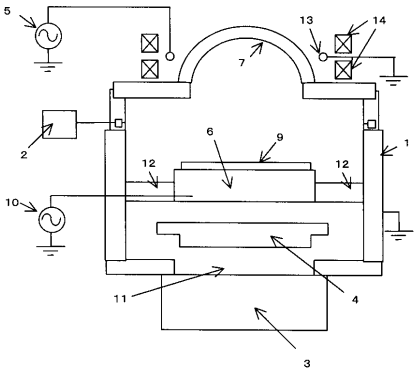
【図２】



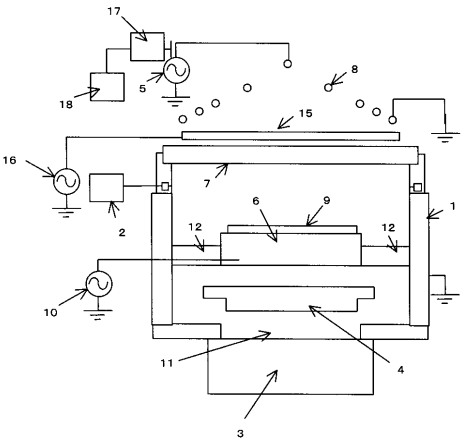
【図３】



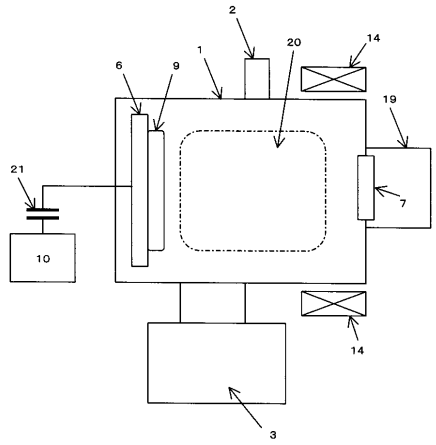
【図４】



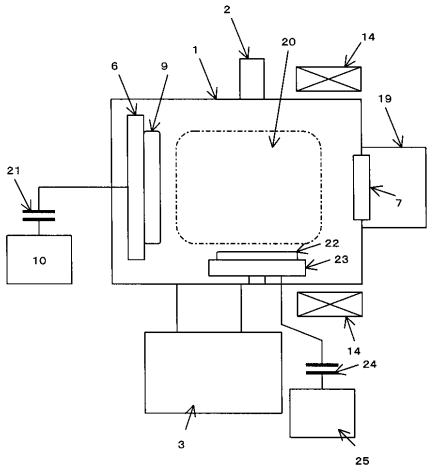
【図５】



【図６】



【図７】



フロントページの続き

(72)発明者　水野　文二
大阪府門真市大字門真１００６番地　松下電器産業株式会社内
(72)発明者　佐々木　雄一朗
大阪府門真市大字門真１００６番地　松下電器産業株式会社内