(19)日本国特許庁(JP)　(12)特　許　公　報(B2)　(11)特許番号
特許第3718237号
(P3718237)
(45)発行日　平成17年11月24日(2005.11.24)　(24)登録日　平成17年9月9日(2005.9.9)

(51)Int.Cl.[7]　F I
C23C 14/35　C23C 14/35　C
H01L 21/203　H01L 21/203　S

請求項の数 7　(全 14 頁)

(21)出願番号　特願平5-323520
(22)出願日　平成5年12月22日(1993.12.22)
(65)公開番号　特開平7-138753
(43)公開日　平成7年5月30日(1995.5.30)
審査請求日　平成12年2月24日(2000.2.24)
(31)優先権主張番号　特願平5-58568
(32)優先日　平成5年3月18日(1993.3.18)
(33)優先権主張国　日本国(JP)
(31)優先権主張番号　特願平5-235039
(32)優先日　平成5年9月21日(1993.9.21)
(33)優先権主張国　日本国(JP)

(73)特許権者　000003078
株式会社東芝
東京都港区芝浦一丁目１番１号
(74)代理人　100077849
弁理士　須山　佐一
(72)発明者　市原　勝太郎
神奈川県川崎市幸区柳町７０番地　株式会社東芝　柳町工場内
(72)発明者　大久保　通子
神奈川県川崎市幸区小向東芝町１番地　株式会社東芝　研究開発センター内
(72)発明者　井上　直行
神奈川県川崎市幸区小向東芝町１番地　株式会社東芝　研究開発センター内

最終頁に続く

(54)【発明の名称】スパッタリング方法

(57)【特許請求の範囲】
【請求項１】
ガス供給系と排気系とを備えた成膜容器内に、ターゲットと被成膜試料とを該被成膜試料の被成膜面を該ターゲットに対向させ、または傾斜させて配置する工程と、
前記成膜容器内を所定のガス雰囲気に設定すると共に、前記ターゲットの表面の極近傍にマグネトロンプラズマを生成させるべく、前記成膜容器内に電界および主磁界を供給する工程と、
前記主磁界に補助磁界を作用させ、該補助磁界の強度または方向を変化させて、前記被成膜試料の被成膜面の近傍に、前記主磁界により形成される前記被成膜試料の被成膜面と平行な磁界を前記被成膜面に沿って移動させる工程と
を具備することを特徴とするスパッタリング方法。
【請求項２】
ガス供給系と排気系とを備えた成膜容器内に、ターゲットと被成膜試料とを該被成膜試料の被成膜面を該ターゲットに対向させ、または傾斜させて配置する工程と、
前記成膜容器内を所定のガス雰囲気に設定すると共に、前記ターゲットの表面の極近傍にマグネトロンプラズマを生成させるべく、前記成膜容器内に電界および主磁界を供給する工程と、
前記主磁界に補助磁界を作用させ、前記ターゲットのエロージョンパターンを積極的に変化させるような前記ターゲットの表面の極近傍の磁界分布の変化を伴うことなく、該補助磁界の強度または方向を変化させて、前記被成膜試料の被成膜面の近傍に、前記主磁界に

より形成される前記被成膜試料の被成膜面と平行な磁界を前記被成膜面に沿って移動させる工程と
を具備することを特徴とするスパッタリング方法。
【請求項３】
電磁石を用いて前記補助磁界を供給することを特徴とする、請求項１または請求項２記載のスパッタリング方法。
【請求項４】
前記被成膜試料の被成膜面に化合物からなる薄膜を形成することを特徴とする、請求項１または請求項２記載のスパッタリング方法。
【請求項５】
前記ターゲットの表面の極近傍における磁界強度が、前記ターゲットのエロージョンパターンを積極的に変化させない程度に、かつ広い範囲に磁界を供給し得る磁界供給手段により、前記補助磁界を供給することを特徴とする、請求項１または請求項２記載のスパッタリング方法。
【請求項６】
前記補助磁界を形成する補助磁界供給手段が、真空シールを介して前記成膜容器の内の空間から隔離されていることを特徴とする、請求項１または請求項２記載のスパッタリング方法。
【請求項７】
空芯コイルにより前記補助磁界を供給することを特徴とする、請求項１または請求項２記載のスパッタリング方法。
【発明の詳細な説明】
【０００１】
【産業上の利用分野】
本発明は、マグネトロン・スパッタリング現象を利用して試料面上に化合物薄膜等を形成するスパッタリング方法に関する。
【０００２】
【従来の技術】
スパッタリング現象を利用して基板面上に各種の化合物薄膜を形成する方法は、比較的簡単な装置構成で高速に成膜が可能であるため、工業的に幅広く使用されている。ＣＶＤ法に比べた場合のスパッタリング法の大きな利点は、低い基板温度（例えば 400℃以下）条件下でも種々の薄膜の形成が可能な点である。この低温成膜性は、特にマグネトロン・スパッタリング法を採用した場合に顕著であり、低耐熱性の樹脂基板をも試料として用いることができ、さらに幅広い応用が期待されている。
【０００３】
マグネトロン・スパッタリング法は、スパッタリング源近傍に電界（Ｅ）と直交する磁界（Ｂ）を供給し、プラズマ中の電子をＥ×Ｂの方向に運動させることによって、プラズマをスパッタリング源の極近傍の領域に閉じ込め、基板温度の上昇を抑制している。マグネトロン・スパッタリング法の付随的効果としては、通常よりも低いガス圧力下で動作が可能であるため、不純物混入量の少ない良質な薄膜が得られる点、プラズマがスパッタリング源近傍に集中するので、スパッタリング源へのイオン入射密度を高くでき、その結果としてスパッタリングレートを高くできる点等が挙げられる。
【０００４】
しかしながら、大面積にわたって一様に電界Ｅや磁界Ｂを印加することが困難であるために、マグネトロン放電分布は不均一になり、それに伴って基板へ流入するプラズマ量も分布を持つことになる。このプラズマ量の分布のために、静止対向型のマグネトロン・スパッタリング法では、大面積に均一な膜質を持つ薄膜を形成することが難しく、さらに通過型や試料ホルダ回転型等の場合においても、膜厚方向に膜質変動のある薄膜が形成されやすいという問題があった。このような傾向は、酸素や窒素等の電子親和性ガスを使用した反応性スパッタリング法で形成した化合物薄膜の場合に特に顕著に現れる。これは、基板

に流入するプラズマ流には反応性ガス中の負イオンやラジカルが含まれており、これら負イオンやラジカルが膜質に大きな影響を与えるためである。

【０００５】

【発明が解決しようとする課題】

上述したように、従来のマグネトロン・スパッタリング法では、基板等の試料上でプラズマ量を平均化することが困難であり、これに起因して大面積に均一な膜質の薄膜、特に化合物薄膜を形成することが難しいという問題があった。

【０００６】

本発明は、このような課題に対処するためになされたもので、従来のマグネトロン・スパッタリング法で形成された化合物薄膜等にみられる膜質の不均一性を改善し、大面積にわたって良質な薄膜を再現性よく形成することを可能にしたスパッタリング方法を提供することを目的としている。

【０００７】

【課題を解決するための手段】

本発明のスパッタリング方法は、ガス供給系と排気系とを備えた成膜容器内に、ターゲットと被成膜試料とを該被成膜試料の被成膜面を該ターゲットに対向させ、または傾斜させて配置する工程と、前記成膜容器内を所定のガス雰囲気に設定すると共に、前記ターゲットの表面の極近傍にマグネトロンプラズマを生成させるべく、前記成膜容器内に電界および主磁界を供給する工程と、前記主磁界に補助磁界を作用させ、該補助磁界の強度または方向を変化させて、前記被成膜試料の被成膜面の近傍に、前記主磁界により形成される前記被成膜試料の被成膜面と平行な磁界を前記被成膜面に沿って移動させる工程とを具備することを特徴とする。

【０００８】

また、本発明のスパッタリング方法は、ガス供給系と排気系とを備えた成膜容器内に、ターゲットと被成膜試料とを該被成膜試料の被成膜面を該ターゲットに対向させ、または傾斜させて配置する工程と、前記成膜容器内を所定のガス雰囲気に設定すると共に、前記ターゲットの表面の極近傍にマグネトロンプラズマを生成させるべく、前記成膜容器内に電界および主磁界を供給する工程と、前記主磁界に補助磁界を作用させ、前記ターゲットのエロージョンパターンを積極的に変化させるような前記ターゲットの表面の極近傍の磁界分布の変化を伴うことなく、該補助磁界の強度または方向を変化させて、前記被成膜試料の被成膜面の近傍に、前記主磁界により形成される前記被成膜試料の被成膜面と平行な磁界を前記被成膜面に沿って移動させる工程とを具備することを特徴とする。

【０００９】

【作用】

本発明においては、マグネトロンプラズマ生成用の主磁界供給手段の他に、試料表面近傍におけるマグネトロンプラズマの空間的分散量を低減させる、すなわち試料表面に流入するプラズマ量を平均化する補助磁界供給手段を設けている。具体的に本発明者らの実験によれば、上記主磁界供給手段によって発生するターゲット面と平行な方向の磁界をターゲット面と平行な方向に移動させるという比較的簡単な方法によって、成膜容器内のあらゆる方向の磁界を全て均一にしなくても、試料表面近傍におけるプラズマ量を平均化できることが分かった。このような本発明のスパッタリング方法によれば、上述したプラズマ量を平均化することによって、従来の化合物薄膜等にみられる膜質の不均一性が改善され、大面積に良質な薄膜を再現性よく形成することが可能となる。

【００１０】

【実施例】

以下、本発明の実施例を図面を参照して説明する。

【００１１】

図１は、本発明を適用した第１の実施例による平行平板型のスパッタリング装置の概略構成を示す図である。図中１は成膜容器であり、この成膜容器１の一方の側面には 2つのガス導入ポート１１、１２が、もう一方の側面にはガス排出ポート１３が設けられている。

ガス導入ポート１１は、反応性ガス供給系９１に接続されており、この反応性ガス供給系９１から供給量調節用のコンダクタンスバルブ９２を介して成膜容器１内に反応性ガスが供給される。また、ガス導入ポート１２は、Arガス供給系１０１に接続されており、このArガス供給系１０１から供給量調節用のコンダクタンスバルブ１０２を介して成膜容器１内にArガスが供給される。ガス排出ポート１３は、排気系１１１に接続されており、この排気系１１１により排気系バルブ１１２を介して成膜容器１内のガスが排気される。

【００１２】

成膜容器１内の上部には、薄膜が表面に形成される試料を保持するための試料ホルダ２がその面を水平にして電気的に浮いた形で設置されており、その下面に試料として基板３が支持されている。基板３の前方には、シャッタ４が電気的に浮いた形で、シャッタ固定台９をスライドさせて開閉自在となるように設けられている。成膜容器１の底部には、基板３に対向するように、電界供給手段と主磁界供給手段とが一体となったマグネトロン・スパッタリング源５が設けられており、直流電源６で駆動されるようになっている。また、マグネトロン・スパッタリング源５は、ターゲット５１を保持するためのターゲットホルダも兼ねている。マグネトロン・スパッタリング源５から発生する電界の方向は、基板３からターゲット５１に向かう方向であり、ターゲット面への投入電力密度は例えば 0.4～1.0W/cm^2 に設定する。

【００１３】

マグネトロン・スパッタリング源５の周囲には、補助磁界供給手段として、交流電源または直流電源７が接続された電磁石８が設置されている。この電磁石８から発生する磁界の方向や強さは、電磁石８に印加する電流によって、自由に変えることができるように構成されている。

【００１４】

図２は、図１に示したスパッタリング装置のマグネトロン・スパッタリング源５と試料である基板３、例えばガラス基板との間における磁界の方向を矢印で示したものである。ここで、磁界はターゲット５１下にある永久磁石５２から発生するが、図中B_h が基板３表面においてターゲット５１面および基板３面と平行な磁界である。基板３表面で平行磁界B_h が生じる位置は、永久磁石５２の強度等によって決まる。この実施例の装置では、平行磁界B_h の強度は 75G、また発生する位置は基板３の中央から 5.1cmであった。そして、平行磁界B_h の前後の基板３表面における磁界は、平行ではなく傾いている。しかしながら、この平行磁界B_h の基板３表面での位置は、電磁石８から発生する磁界の強度あるいは方向を変化させることによって制御することができる。つまり、電磁石８と永久磁石５２とからそれぞれ発生した磁界の和が全体の磁界を形成し、それに伴って平行磁界B_h の位置が基板３の表面上を移動する。その結果、基板３表面近傍におけるプラズマ分布が変化し、プラズマの空間的分散量が低減する。

【００１５】

図３は、図２における主磁界と補助磁界のベクトルの和がターゲット５１面および基板３面に対して平行になる位置を結んだ線を、ターゲット５１の短軸方向の距離（Ｘ）を横軸に、ターゲット５１から基板３方向への距離（Ｚ）を縦軸として記載したものである。電界は、図３において略マイナスＺ方向に印加されるため、ターゲット５１付近に生成したプラズマは、図３に記載した線におおよそ沿って基板３面に到達する。図３において、線Ｘは主磁界のみによる場合、線Ｙは主磁界に加えて基板３面付近のプラズマ分布を基板３の中心方向に移動させるように補助磁界を印加した場合、線Ｚは主磁界に加えて基板３面付近のプラズマ分布を基板３の外側方向に移動させるように補助磁界を印加した場合である。また、図４は上記条件Ｘ、Ｙ、Ｚにおける各漏洩磁界分布を示す図である。図３および図４から明らかなように、本発明に従って補助磁界を印加した場合、ターゲット５１近傍の磁界分布は実質的に変化せず、基板３表面近傍の磁界分布のみが変化することが分かる。従って、本発明によれば、ターゲット５１近傍のプラズマ分布を実質的に変化させることなく、基板３表面近傍のプラズマ分布のみを実質的に変化させることができる。

【００１６】

図５は、図３および図４に示した磁界分布制御の結果として、基板３表面近傍におけるプラズマの空間的分散量が低減することを示す図である。プラズマ量は、基板３付近に設置したプローブで実測したプラズマ中のイオン電流密度と浮動電位との積で示した。イオン電流密度はプラズマ密度に比例する量であり、浮動電位はプラズマ中のイオン等が基板３表面に流入する際に持つエネルギーに相当するので、両者の積は基板３表面に流入するプラズマ粒子束密度に相当する。図示されるように、従来と同様に主磁界のみを印加した場合（線Ｘ）に比べて、主磁界に加えて補助磁界を印加した場合（線Ｙ、Ｚ）には、図３および図４に示した磁界移動に伴ってプラズマ分布が移動すると同時にプラズマの空間的分散量（図５の縦軸方向の分布幅）が低減し得ることが明確に分かる。従って、本発明では成膜条件に応じてプラズマの空間的分散量が低減するように、プラズマ分布を基板３の中心方向に移動させる補助磁界（線Ｙ）、またはプラズマ分布を基板３の外側方向に移動させる補助磁界（線Ｚ）を選択的に印加すればよい。この基板３表面近傍におけるプラズマ分布の平均化効果によって、本発明においては後に詳述するように基板３表面に形成される薄膜の膜質を均一化することができる。なお従来から、ターゲット近傍のプラズマ分布を変化させてターゲットの利用効率を高める目的で、ターゲット付近にマグネトロンプラズマを生成するための主磁界を複数設けたマグネトロンスパッタリング装置が知られており、これもある意味では主磁界供給手段の他に、補助的な磁界供給手段を設けた構成とみなすことができる。しかしながら、この従来の装置では、ターゲット近傍のプラズマ分布は変化するものの、上述したような補助的な磁界供給手段で図３および図４に示した磁界分布制御を行うことは不可能であり、試料表面近傍におけるプラズマの空間的分散量を低減するという本発明の主旨からは逸脱するものである。

【００１７】

一方、本発明のスパッタリング装置においては、前述したように補助磁界の印加によって試料（基板）表面近傍のプラズマ分布は変化するが、ターゲット近傍のプラズマ分布は実質的に変化しなくてもよい。ここで、実質的に変化しないという意味は、厳密なプラズマ計測によればターゲット近傍のプラズマ分布は補助磁界印加による変化が認められるが、ターゲットのエロージョンパターンを積極的に変化し得るような実用的に判別し得る変化はないということである。このように、補助磁界供給手段により試料表面近傍におけるプラズマ量は変化するものの、ターゲット近傍のプラズマ量は実質的に変化しない場合は、ターゲットの利用効率を向上させるための技術等と容易に組合せることができ、スパッタリング装置の設計の自由度に優れるものである。さらに従来は、補助的な磁界供給手段として主にその近接位置において強い磁界を発生する永久磁石が用いられ、それがターゲット付近に設置されていたのに対し、本発明では例えば空芯電磁コイル等の近接位置においては磁界強度が弱く、広い範囲に磁界を供給することが可能な補助磁界供給手段が好ましく用いられ、さらに補助磁界供給手段を設置する位置はターゲットから離れていてもよい。このように、本発明のスパッタリング装置と上述したような従来の装置とは、装置構成が明らかに異なるものである。

【００１８】

次に、図１に示したスパッタリング装置を用いた具体例として、実際に化合物薄膜としてＩＴＯ薄膜を形成し、形成されたＩＴＯ薄膜の特性を評価した結果について述べる。なお、ターゲット５１としてはＩＴＯ焼結体を、また基板３としてはガラス基板を用いた。

【００１９】

まず、成膜容器１を密閉し、排気系バルブ１１２を介して排気系１１１により成膜容器１内の圧力が 2×10^{-6}Torrになるまで排気した。次いで、Arガス供給系１０１からコンダクタンスバルブ１０２を介してArガスを 172sccmの流量で流入させ、成膜容器１内の全ガス圧を 5×10^{-3}Torrとした。そこに、反応性ガス供給系９１からコンダクタンスバルブ９２を介して 0_2 ガスを 1sccmの流量で流入させた。この 0_2 ガス流量は、ＩＴＯ薄膜の膜質を大きく左右するため重要である。この実施例の装置にとって、 1sccmは通常より少ない流量であり、最も適切な 0_2 流量と比較した場合、 0_2 不足の条件である。

【００２０】

この状態で、電磁石８を直流電源７に接続し、補助磁界を基板３からマグネトロン・スパッタリング源５に向かう方向へ印加した。これによって、基板３表面での平行磁界B_hを基板３の内側方向へ移動させた。そして、シャッタ４は閉じたままＤＣマグネトロンプラズマを励起させ、ターゲット５１表面のコンディショニングを行った。

【００２１】

この後、シャッタ４を開けてスパッタリング粒子を基板３側へ導き、 7分間成膜を行って、基板３上にＩＴＯ薄膜を形成した。このようにして得られたＩＴＯ薄膜をＡとする。また、本発明との比較のために、補助磁界を印加しない以外は、ＩＴＯ薄膜Ａと同じプロセスで形成したＩＴＯ薄膜をＢとする。

【００２２】

この実施例のスパッタリング装置において、磁界強度を測定した結果、補助磁界を印加しない状態での平行磁界B_hの位置は、図２に示したように、基板中央から 5.1cmであったが、補助磁界を印加することによって、方向は同一で、位置が 1.5cm基板中央よりに移動することが分かった。

【００２３】

また、ガラス基板へ流入するプラズマ量（以下、プラズマ流入量と称する）を、プローブ法により実際にプラズマ計測を行って求められる浮動電位とイオン電流密度との積に比例する値として考えると、図５に示される通り、主磁界のみの場合には、浮動電位とイオン電流密度との積は、基板中央部では 78mW/cm^2 、中央から 9.0cmの周辺部では 127mW /cm^2 と極めて分布が不均一であったが、補助磁界を印加することによって、夫々130mW/cm^2 、140mW/cm^2 と、面内での分布のバラツキが小さくなっていた。さらにこのとき、 O_2 ガスの流量を全スパッタガス流量の0.30～ 0.86%に設定する限り、特に再現性よく同様のことが起きていることも判明した。

【００２４】

以上のようにして得られたＩＴＯ薄膜Ａ、Ｂについて、基板中央からの位置に基く抵抗率分布を測定した。その結果を図６に示す。図６から明らかなように、補助磁界を印加しつつ成膜することにより、大面積に良質なＩＴＯ薄膜を再現性よく形成できることが分かる。これは、平行磁界B_hの位置を内側に移動させると、プラズマ流入量が基板中央部と周辺部で少なかったのを増加させることができ、基板表面でのプラズマ量を平均化することによって、例えばＩＴＯ薄膜等の化合物薄膜にみられる膜質の不均一性を改善できたからである。なお、ＩＴＯ薄膜の抵抗率分布の不均一性を、基板加熱を行い成膜温度を上昇させることで改善することもできるが、本発明では基板加熱を行わずに均一な膜を得られるので、低耐熱性の基板でも試料として用いることができる。従って、基板材料の選択の幅を広げられるという利点がある。また、基板加熱と基板表面でのプラズマ量の平均化との併用によって、さらなるＩＴＯ薄膜の膜質の均一化、低抵抗化が実現可能である。

【００２５】

次に、上記スパッタリング装置を用いた第２の具体例について述べる。上述した第１の具体例におけるＩＴＯ薄膜の形成プロセスのうち、 O_2 流量を 1sccmから 2sccmに変えると共に、補助磁界供給手段（電磁石８）で発生させる補助磁界を第１の具体例とはまったく逆の方向にした。使用した装置にとって上記 2sccmという O_2 流量は、最も適切な O_2 流量と比較した場合、 O_2 が過剰なＩＴＯ薄膜の形成条件である。その他の条件は、第１の具体例と同様にして、ＩＴＯ薄膜の成膜を行った。

【００２６】

上記した条件でのＩＴＯ薄膜形成時の磁界強度を測定した結果、補助磁界を印加しない状態での平行磁界B_hの位置は基板中央から 5.1cmであったが、補助磁界の印加によって 4.0cm基板外側へ移動したことが分かった。また、基板表面へのプラズマ流入量を測定した結果、図５に示される通り、補助磁界を印加しない場合には、基板中央からの位置に対してプラズマ流入量が著しく不均一であったのに対し、補助磁界を印加することによって、±数 mW/cm^2 以内の僅かな変動に抑えることができた。さらにこのとき、 O_2 ガスの流量を全スパッタガス流量の0.87～ 1.71%に設定する限り、特に再現性よく同様のことが起き

ていることも判明した。

【００２７】

図７は、この第２の具体例で形成したＩＴＯ薄膜の基板中央からの位置と抵抗率との関係を調べた結果である。平行磁界B_hの位置を外側に移動させて成膜したＩＴＯ薄膜をａ、比較のために補助磁界を印加しない以外は同一条件で形成したＩＴＯ薄膜をｂとする。図７より、O_2過剰の状態(O_2流量:2sccm）の場合には、平行磁界B_hの位置を外側に移動させることによって、プラズマ流入量が基板中央部と周辺部の中間付近（中央から5.1cm)で異常に多かったのを減少させることができ、基板表面でのプラズマ量を平均化することによって、化合物薄膜にみられる膜質の不均一性が改善され、抵抗率分布が大面積にわたって均一化されたＩＴＯ薄膜が得られることが分かる。このようにして、大面積に良質な化合物薄膜を、第１の具体例と同様に再現性よく形成することができた。

【００２８】

さらに、以上の 2つの具体例について詳細に検討した結果、以下のようにしてもさらによいことが判明した。

【００２９】

(1) プラズマ流入量が最も大きくなる位置は、平行磁界B_hの位置と一致した。そこで、例えば電磁石に交流電源を接続して交流磁界を発生させ、基板へのプラズマ流入量分布を時間的に変化させて、スパッタ時間内の基板上全ての位置でのプラズマ流入量の和が一定になるようにすれば、膜質に分布のない均一な化合物薄膜を形成することができる。

【００３０】

(2) ＩＴＯ薄膜の抵抗率は、マグネトロン放電を励起する主磁界供給手段のみから磁界を発生させる場合と同様に、O_2流量に敏感であり、O_2流量を一定の範囲にすることでさらに均一性のよい薄膜を得ることが可能である。具体的には、このO_2ガスの流量は、全スパッタガス流量の0.30～ 1.71%の範囲とすることが好ましい。また、O_2流量の制御のみでは、再現性のよい薄膜を得ることが困難であるため、基板上全ての位置に均等にO_2を供給するために、ガス導入ポートの形状を工夫、例えばシャワー状に基板にO_2を吹き付けるような装置構成にすることで、ある程度のO_2流量の変動があっても再現性のよい薄膜を形成することができる。

【００３１】

(3) 成膜する化合物薄膜は、ＩＴＯに限るものではなく、他の透明導電物質例えば酸化錫、酸化亜鉛等であってもＩＴＯの場合と同様の効果を期待することができる。さらには、金属や半導体の酸化物、窒化物、硫化物もＩＴＯの場合と同様の効果を期待することができる。

【００３２】

次に、本発明のスパッタリング装置の第２の実施例について、図８および図９を参照して説明する。この実施例におけるスパッタリング装置は、補助磁界供給手段である電磁石（空芯コイル）８が、成膜容器１の内部とは真空シール１４を介して隔離されている。すなわち、図９に示すように、例えばステンレス材やAl等の非磁性部材からなる真空シール１４内に、交流電源または直流電源７に接続された電磁石８が設置されており、この電磁石８に印加する電流により補助磁界供給手段より発生する磁界の方向や強さは自由に変えられる。また、図９に示すように、真空シール１４内には、電磁石８を冷却するための水冷機構１５が設置されている。上記以外の構成については、前述した第１の実施例と同一構成とされている。

【００３３】

上述したように、補助磁界供給手段である電磁石８を放電空間である成膜容器１の内部から真空隔離することによって、放電空間の不純物濃度を低減させることができる。すなわち、補助磁界供給手段である電磁石８を成膜容器１内に直接設置すると、電磁石８からの脱ガス等により、プラズマ中の不純物濃度が増加し、これによりスパッタ成膜した薄膜中の不純物濃度が高まるおそれがあるためである。また、補助磁界供給手段を真空シールすることにより、補助磁界供給手段自体を冷却、例えば水冷することができる。従って、補

助磁界供給手段として電磁石８を用いる場合には、電磁石８の発熱が抑えられるため、電磁石８の設計を変えることなく、より大きな電流を印加することが可能となる。これにより、印加できる補助磁界の幅が広がるため、基板３へのプラズマ流入量分布をより大きく変化させることができ、放電分布の制御性をより高めることができる

次に、図８に示したスパッタリング装置を用いた具体例として、実際に化合物薄膜としてＩＴＯ薄膜を形成し、形成された薄膜の特性を評価した結果について述べる。ターゲット５１としてはＩＴＯ焼結体を、また基板３としてガラス基板を用いた。

【００３４】

まず、成膜容器１を密閉し、排気系バルブ１１２を介して排気系１１１により成膜容器１内の圧力が 2×10^{-6}Torrになるまで排気した。次いで、Arガス供給系１０１からコンダクタンスバルブ１０２を介してArガスを 172sccmの流量で流入させて、成膜容器１内の全ガス圧を 5×10^{-3}Torrとした。そこに、反応性ガス供給系９１からコンダクタンスバルブ９２を介して 0_2 ガスを 1sccmの流量で流入させた。

【００３５】

この状態で、電磁石８に直流電源７を接続し、補助磁界を印加して基板３表面での平行磁界 B_h を基板３の内側方向に移動させた。そして、シャッタ４は閉じたままＤＣマグネトロンプラズマを励起させ、ターゲット５１表面のコンディショニングを行った。この後、シャッタ４を開けてスパッタリング粒子を基板３側へ導き、 7分間成膜を行い、基板３上にＩＴＯ薄膜を形成した。このようにして得たＩＴＯ薄膜をＣとする。

【００３６】

上記により得たＩＴＯ薄膜Ｃと、前述の第１の具体例で得たＩＴＯ薄膜Ａの組成分析をそれぞれ行ったところ、ＩＴＯ薄膜Ｃの方が不純物量が少なく、かつ分析結果の再現性も優れていた。

【００３７】

前述した各実施例においては、主磁界供給手段の他に、試料へ流入するプラズマ量を制御するための補助磁界供給手段を設けることによる効果、および補助磁界供給手段を成膜容器と真空遮断して得られる効果について明確にした。次の実施例では、本発明の技術をさらに発展させて、マルチリングカソード型のマグネトロン・スパッタリング源に適用した第３の実施例について述べる。

【００３８】

マルチリングカソード型のマグネトロン・スパッタリング源は、ターゲットの保持されるマグネトロン・スパッタリング源を、同心円環状もしくは矩形環状等に複数個具備するもので、各スパッタリング源の寸法あるいはスパッタリング源間の配置を工夫するか、もしくは各スパッタリング源に独立に電力を供給することにより、ターゲットに対向して配置された基板上に形成される薄膜の膜厚分布を、静止対向型のスパッタリング法においても均一化するものである。この実施例は、上記マルチリングカソード型マグネトロン・スパッタリング源の間に、本発明の技術であるマグネトロンプラズマ分布制御用の補助磁界供給手段を配置したものである。

【００３９】

図１０に、この実施例によるスパッタリング装置のマグネトロン・スパッタリング源と基板との概略配置構成を示す。図１０において、５１ａ、５１ｂ、５１ｃは同心円環状のターゲット、５ａ、５ｂ、５ｃはターゲット５１ａ、５１ｂ、５１ｃを保持した同心円環状のマルチリングカソード型マグネトロン・スパッタリング源、８ａ、８ｂ、８ｃはプラズマ分布制御用の補助磁界供給手段としての同心円環状の電磁石、６ａ、６ｂ、６ｃはマルチリングカソード型マグネトロン・スパッタリング源５ａ、５ｂ、５ｃにそれぞれ電力を投入する電源、３は対向配置された基板である。同心円環状のマルチリングカソード型マグネトロン・スパッタリング源５ａ、５ｂ、５ｃには、図１０に示すように、マグネトロン放電を励起する主磁界供給手段（ＮＳで記載）が、各リングカソード毎に極性を反転させて配列されている。極性を交互に反転させている理由は、ターゲット５１ａ、５１ｂ、５１ｃ面上に発生するターゲット５１ａ、５１ｂ、５１ｃ面に平行な磁界強度を高くする

ためであるが、主磁界供給手段の極性配列は特に限定されるものではない。ただし、プラズマ分布制御用の補助磁界の方向は、後述するように主磁界の方向に応じて決定されるものである。また、図１０には繁雑を避けるために特に明示してはいないが、プラズマ分布制御用の補助磁界供給手段としての電磁石８ａ、８ｂ、８ｃは、前述した実施例と同様に、ステンレス材やAlに代表される非磁性部材によって真空シールし、成膜容器と真空遮断することが好ましい。

【００４０】

上記構成のスパッタリング装置を用いて、以下の手順により薄膜の形成を実施した。まず、上記構成を収納する成膜容器内部に、Arと O_2 の混合ガスを所定の流量比で導入し、排気系を操作して成膜容器内部のガス圧力を所定の値に設定した後、電源６ａ、６ｂ、６ｃを動作させて、マルチリングカソード型マグネトロン・スパッタリング源５ａ、５ｂ、５ｃに所定の電力比で電力を投入し、マグネトロンプラズマを励起させる。ここで、マルチリングカソード型マグネトロン・スパッタリング源５ａ、５ｂ、５ｃに投入する所定の電力比とは、基板３の所定の領域内において、均一な膜厚分布が得られる電力比を意味しており、実際上は外側のリングカソードほどターゲット単位面積当たりの電力密度が高くなるように電力比を設定する。このとき、各ターゲット５１ａ、５１ｂ、５１ｃ毎に形成される薄膜は、それぞれターゲット５１ａ、５１ｂ、５１ｃ直上をピークとするほぼガウス形の不均一な膜厚分布を呈するが、マルチリングカソード型マグネトロン・スパッタリング源５ａ、５ｂ、５ｃに適切な電力投入比で電力を投入することで、ガウス形分布が適当に重なりあって、基板３の広い領域にわたって均一な膜厚分布とすることができる。

【００４１】

一方、プラズマの生成と同時に、プラズマ分布制御用の電磁石８ａ、８ｂ、８ｃに適当な電流を通電し、プラズマ分布の制御を行う。例えば、導入した全スパッタガス中の酸素が比較的多い雰囲気においては、前述した実施例と同様に、基板３面に流入するプラズマ量を低く抑える方が好ましいため、主磁界供給手段の配列が図１０に示すような場合には、電磁石８ａからは下向きの補助磁界を発生させて、ターゲット５１ａ上のマグネトロンプラズマ分布を外向きに制御し、電磁石８ｂからは上向きの補助磁界を発生させて、ターゲット５１ｂ上のマグネトロンプラズマ分布を外向きに制御し、電磁石８ｃからは下向きの補助磁界を発生させて、ターゲット５１ｃ上のマグネトロンプラズマ分布を外向きに制御する。また、この実施例においてはその効果を明らかとするために、基板を静止した状態で薄膜の形成を実施した。

【００４２】

上記した手順に従ってＩＴＯ薄膜を形成した。このＩＴＯ薄膜は、マルチリングカソード型マグネトロン・スパッタリング源５ａ、５ｂ、５ｃ上の領域において、ばらつきが±5%以内のほぼ一様な膜厚分布を示すと共に、抵抗率もばらつきが±5%以内とほぼ一様であった。本発明との比較のために、同様にマルチリングカソード型マグネトロン・スパッタリング源５ａ、５ｂ、５ｃを用い、補助磁界供給手段としての電磁石８ａ、８ｂ、８ｃを動作させることなく形成したＩＴＯ薄膜では、膜厚の一様性については上記実施例と同等であったが、抵抗率のばらつきは±30% 程度と大きかった。

【００４３】

上述したように、この実施例ではマルチリングカソード型マグネトロン・スパッタリング源とマグネトロンプラズマ制御用の補助磁界供給手段とを併用することにより、大面積にわたり膜厚と抵抗率の両方が均一な薄膜を静止対向型のスパッタリング法によって実現することができる。従って、装置コストが低く、装置設置面積が小さく、駆動部が少なく、かつ保守が容易な低プロセスコストの静止対向枚葉式スパッタリング装置によって、大型のデバイスの作製が可能となる。また、上述した各実施例においては、ターゲット面と試料面とを略平行に配置したスパッタリング装置に本発明を適用した例について説明したが、本発明ではターゲットと試料との相対的な配置関係は特に限定されるものではなく、ターゲット面と試料面とが斜めもしくは垂直に配置されているような場合においても本発明は有効である。また、ターゲット面も平面でなければならないものではなく、円錐台状、

棒状等の種々の形状のターゲットを用いる場合においても、本発明を適用することができる。

【００４４】

以下に、試料としての基板面をターゲット面に対して傾けて配置した第４の実施例について述べる。図１１は、この実施例における基板３とターゲット５１の概略配置を示す図であり、基板３はターゲット５１に対して45度の角度で傾けて配置されている。なお、これら以外の装置構成は、図１に示したスパッタリング装置と同様である。このようなスパッタリング装置を用いて、主磁界のみの場合の基板３表面へのプラズマ流入量の分布、ターゲット面に平行な磁界がターゲットの内側に移動するように補助磁界を印加した場合の基板３表面へのプラズマ流入量の分布、ターゲット面に平行な磁界がターゲットの外側に移動するように補助磁界を印加した場合の基板３表面へのプラズマ流入量の分布をそれぞれ調べた。それらの結果を、基板３の上方端部からの距離（X_{sub}）を横軸として図１２に示す。なお、図１２における線Ｄは主磁界のみの場合、線Ｅは磁界がターゲットの内側に移動するように補助磁界を印加した場合、線Ｆは磁界がターゲットの外側に移動するように補助磁界を印加した場合である。図１２から明らかなように、基板面とターゲット面とが傾斜配置されている場合においても、補助磁界を印加してターゲット面と平行な方向の磁界の位置を移動させることにより、基板面へのプラズマ流入量を平均化することができ、これにより形成される薄膜の膜質等を均一化することが可能となることが分かる。

【００４５】

【発明の効果】

以上説明したように、本発明によれば、補助磁界を印加してマグネトロンプラズマの空間的分散量を低減するという比較的簡単な手法によって、成膜容器内のあらゆる方向の磁界をすべて均一にしなくても、試料表面でのプラズマ量を平均化することができ、化合物薄膜等にみられる膜質の不均一性を改善することができ、大面積にわたって良質な薄膜を再現性よく形成することができる。

【図面の簡単な説明】

【図１】　本発明の第１の実施例によるスパッタリング装置の概略構成を示す断面図である。

【図２】　図１に示すスパッタリング装置の要部構成および磁界の方向を示す図である。

【図３】　主磁界と補助磁界のベクトルの和がターゲット面に対して平行になる位置を結んだ線を主磁界のみの場合と比較して示す図である。

【図４】　主磁界と補助磁界を加えた場合の漏洩磁界分布を主磁界のみの場合と比較して示す図である。

【図５】　主磁界と補助磁界を加えた場合の基板へのプラズマ流入量と基板中央からの位置との関係を主磁界のみの場合と比較して示す図である。

【図６】　本発明の第１の実施例によるスパッタリング装置を用いて形成したＩＴＯ薄膜の抵抗率分布を比較例の結果と共に示す特性図である。

【図７】　本発明の第１の実施例によるスパッタリング装置を用いて形成した他のＩＴＯ薄膜の抵抗率分布を比較例の結果と共に示す特性図である。

【図８】　本発明の第２の実施例によるスパッタリング装置の概略構成を示す断面図である。

【図９】　図８に示すスパッタリング装置の要部構成を示す図である。

【図１０】　本発明の第３の実施例によるスパッタリング装置の概略構成を示す断面図である。

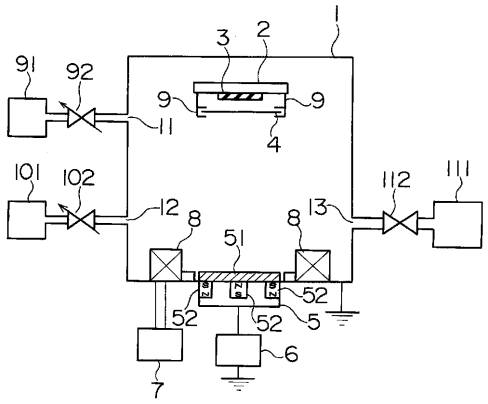
【図１１】　本発明の第４の実施例によるスパッタリング装置の基板とターゲットとの概略配置構成を示す断面図である。

【図１２】　図１１に示すスパッタリング装置における主磁界と補助磁界を加えた場合の基板へのプラズマ流入量と基板端部からの位置との関係を主磁界のみの場合と比較して示す図である。

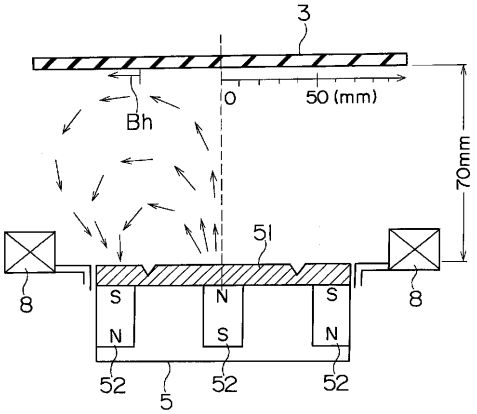
【符号の説明】

1……成膜容器
2……試料ホルダ
3……基板
5……マグネトロン・スパッタリング源
５１……ターゲット
５２……永久磁石
8……電磁石
９１……反応性ガス供給系
１０１…Arガス供給系
１１１…排気系

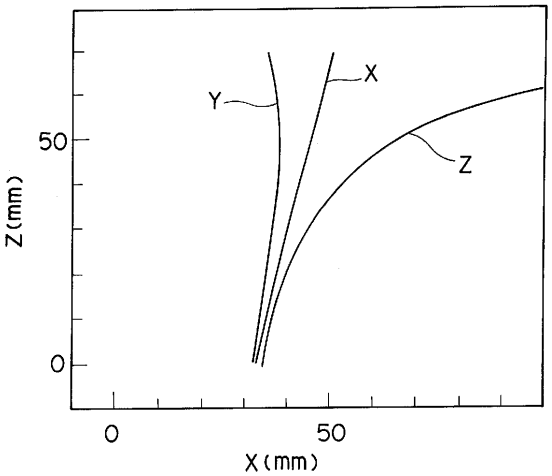
【図１】



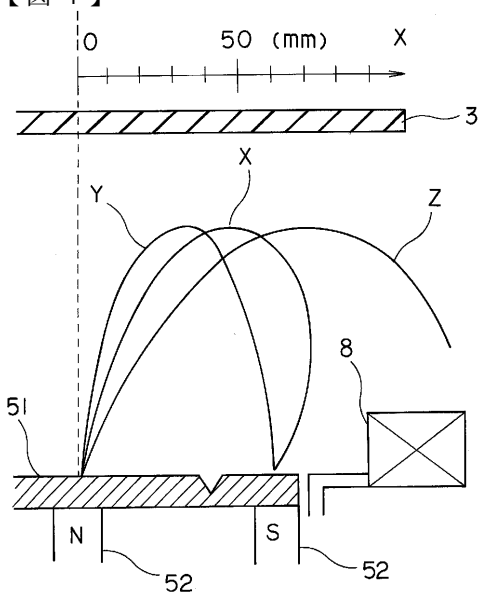
【図２】



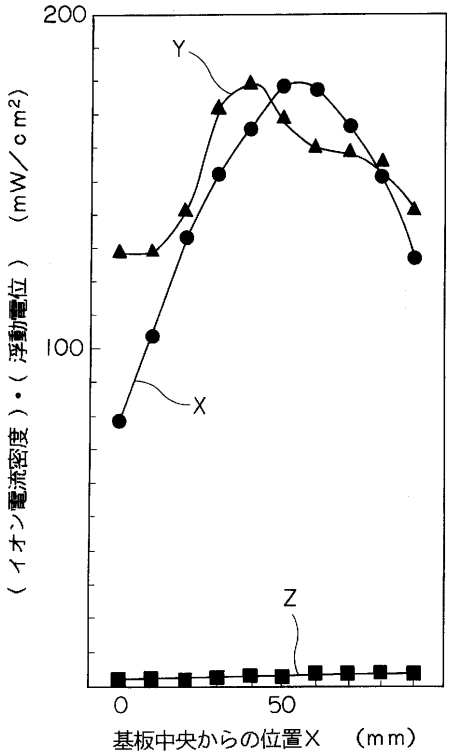
【図３】



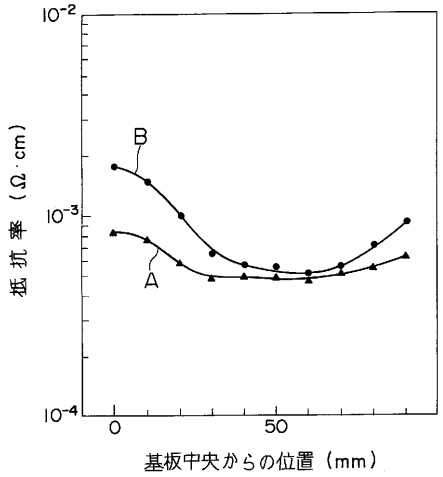
【図４】


0
50 (mm)
X
3
X
Y
Z
8
51
N
S
52
52

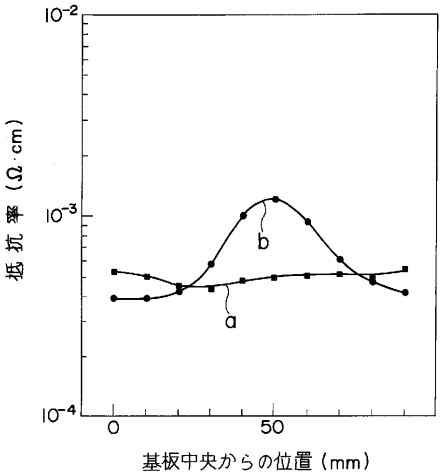
【図５】


200
100
Y
X
Z
0
50
（イオン電流密度）・（浮動電位）（mW／cm²）
基板中央からの位置X （mm）

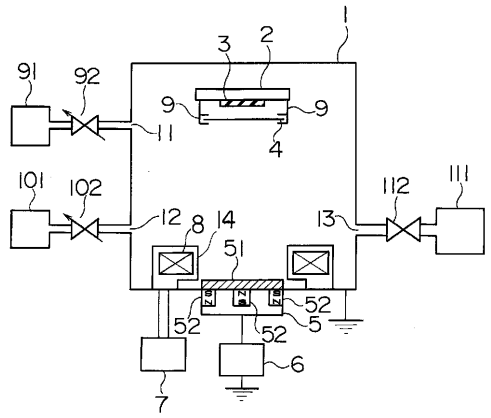
【図６】


10⁻²
10⁻³
10⁻⁴
B
A
0
50
抵抗率（Ω・cm）
基板中央からの位置（mm）

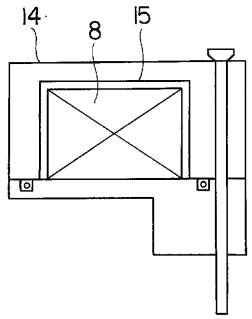
【図７】


10⁻²
10⁻³
10⁻⁴
b
a
0
50
抵抗率（Ω・cm）
基板中央からの位置（mm）

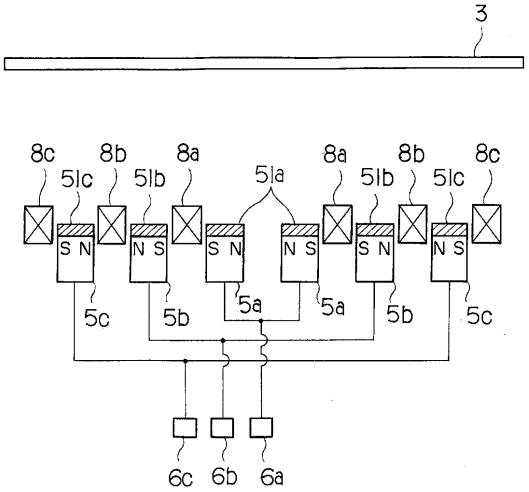
【図８】



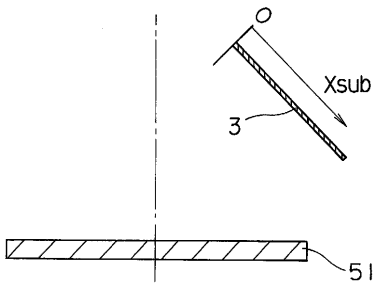
【図９】



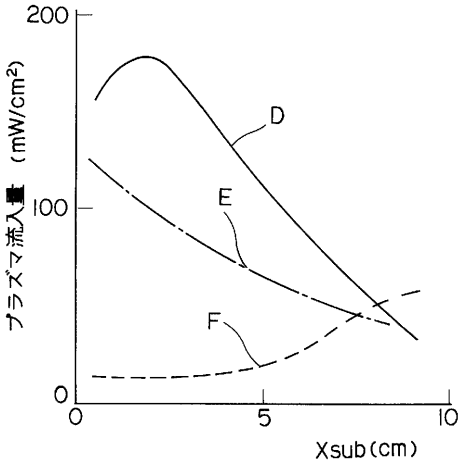
【図１０】



【図１１】



【図１２】



フロントページの続き

(72)発明者　安田　修朗
神奈川県川崎市幸区小向東芝町１番地　株式会社東芝　研究開発センター内

審査官　藤原　敬士

(56)参考文献　特開平０４－２９７５７５（ＪＰ，Ａ）
特開平０４－３２９８７５（ＪＰ，Ａ）
特開昭６２－２０７８６３（ＪＰ，Ａ）

(58)調査した分野(Int.Cl.[7]，ＤＢ名)
C23C 14/35
H01L 21/203