

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第4557315号
(P4557315)

(45) 発行日 平成22年10月6日 (2010. 10. 6)

(24) 登録日 平成22年7月30日 (2010. 7. 30)

(51) Int. Cl.

F I

C 2 3 C 14/54 (2006. 01)

C 2 3 C 14/54 B

C 2 3 C 14/34 (2006. 01)

C 2 3 C 14/34 S

H O 1 L 21/203 (2006. 01)

H O 1 L 21/203 S

H O 1 L 21/285 (2006. 01)

H O 1 L 21/285 S

請求項の数 2 (全 9 頁)

(21) 出願番号 特願平9-177243

(22) 出願日 平成9年7月2日 (1997. 7. 2)

(65) 公開番号 特開平11-21669

(43) 公開日 平成11年1月26日 (1999. 1. 26)

審査請求日 平成16年4月19日 (2004. 4. 19)

審判番号 不服2007-23915 (P2007-23915/J1)

審判請求日 平成19年8月30日 (2007. 8. 30)

(73) 特許権者 000231464

株式会社アルバック

神奈川県茅ヶ崎市萩園2500番地

(74) 代理人 100087745

弁理士 清水 善廣

(74) 代理人 100098545

弁理士 阿部 伸一

(74) 代理人 100106611

弁理士 辻田 幸史

(72) 発明者 松浦 正道

神奈川県茅ヶ崎市萩園2500番地 日本

真空技術株式会社内

(72) 発明者 森田 正

神奈川県茅ヶ崎市萩園2500番地 日本

真空技術株式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 シリコン半導体に於ける化合物バリア膜形成方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

真空室内に、直流電源に接続されたメタルターゲットとその背後の磁石及び該ターゲットの前方のイオン化率を高める該ターゲットと同じ材質の金属で製作されたRFコイルを備えたマグネトロンカソードを設け、プラズマ発生のための該ターゲット及びRFコイルへの投入電力と、該真空室内へ導入される反応性ガスと該真空室内の該ターゲット近傍から導入されるスパッタ用不活性ガスの流量とを制御し、該ターゲットに対向して設けたシリコン半導体基板の表面にメタル膜の成膜と該メタル膜の化合物化を交互に繰り返して化合物バリア膜を形成することを特徴とするシリコン半導体に於ける化合物バリア膜形成方法。

【請求項 2】

上記メタルターゲットを異常放電防止回路を介して直流電源へ接続したことを特徴とする請求項 1 に記載のシリコン半導体に於ける化合物バリア膜形成方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、シリコン半導体デバイスのメタル配線プロセスなどに適用される化合物バリア膜を形成する方法に関する。

【0002】

【従来の技術】

従来、シリコン半導体デバイスのメタル配線プロセスでは、主要配線メタルの形成に先立ちこれの下地として拡散防止用にTiNなどの化合物バリア膜をシリコン半導体基板の表面に形成することが行われている。この化合物バリア膜の形成方法として、プレーナマグネトロンカソードを用いたスパッタ法による形成方法と、CVD法による形成方法とが知られている。スパッタ法による場合、反応性スパッタにより下地上に直接化合物バリア膜を形成する方法や、下地上にスパッタ室で単純スパッタにより先ずメタル層を堆積させ、次いで反応室で窒素ガスなどの反応性ガス雰囲気中で加熱のみにより該メタル層を該雰囲気ガスにより反応させて化合物バリア膜を形成する方法、或いは、下地上にスパッタ室で単純スパッタにより先ずメタル層を形成し、次いで反応室のプラズマで励起した反応性ガス雰囲気中で該メタル層を該雰囲気ガスで反応させて化合物バリア膜を形成する方法が使用されている。CVD法による場合、下地上に直接化合物バリア膜を形成している。

10

【0003】

また、スパッタカソードとして、ターゲットの背後に磁石を設けると共に該ターゲットの前方にRFコイルを設けた誘導結合RFプラズマ支援マグネトロンカソードが出願人により提案されている（特開平6-41739号公報）。このカソードは高真空中でプラズマの発生を持続でき、不純物や2次生成物の発生が少ない利点を持っている。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】

上記反応性スパッタによる方法では、化合物バリア膜を形成出来るが、基板の表面にコンタクトホールやビアホールの穴等の段差部が形成されていると、穴の入り口付近でしばしば図1に示したようなTiNの化合物バリア膜aがきれいに絶縁物(SiO₂)の下地層bを覆っていないいわゆる“段差切れ”が発生し、ここからバリア性が破れるという欠点があった。これは、下地に用いられるシリカやその化合物とTiNなどの化合物バリア膜は、界面張力が大きくいわゆる“濡れ”が悪いため、異なる2方向より引っ張られる段差部で化合物バリア膜が切れてしまうためと考えられる。

20

【0005】

一方、上記メタル層を熱反応させる方法では、スパッタにより下地上に堆積したメタル層は、下地のシリカやその化合物と“濡れ”が良いため、きれいに下地を覆え、次いで該メタル層を熱反応により化合物化するため、形成された化合物バリア膜はきれいに下地を覆い段差切れは発生しない。しかし、この方法では、バリア膜形成のため、スパッタと熱反応という2つのプロセスとその処理をする別々の装置が必要で、作成コストが高くなる不都合がある。

30

【0006】

また、上記メタル層をプラズマ反応させる方法では、前記メタル層の熱反応方法と同様の段差切れのない化合物バリア膜を形成できるが、この方法では次の2つの問題がある。その1つは、スパッタとプラズマ反応の2つのプロセスとその処理をする別々の装置が必要で作成コストが高くなるという問題であり、もう1つは、プラズマ反応で形成できる化合物バリア膜の厚さに限界があるため、図2に見られるように、そのバリア性がしばしば不十分になるという問題である。すなわち、メタル層の表層部分が化合物バリア膜になるとどまり、メタル層全体が化合物バリア膜にならないという問題である。このバリア膜の厚さに限界がある理由は、プラズマ反応ではプラズマ励起された雰囲気ガス成分が、メタル層の表面から拡散により層内へ進入して反応が進行するが、反応温度が前記熱反応より温度の低いプラズマ反応ではメタル層内への拡散が不十分となるため厚い反応層が形成出来ないためと考えられる。

40

【0007】

更に、上記CVD法では、段差切れのない化合物バリア膜を形成できるが、CVD法はスパッタ法と全く異なる装置構成となり、バリア膜形成後にスパッタ法で行う主要メタル配線プロセスとの装置の整合性がとれず、マルチチャンバー装置化できないため、全く別の独立した装置が必要となって作成コストが高くなる不都合がある。

【0008】

50

本発明は、段差切れのない化合物バリア膜を単一の装置により１プロセスで形成する方法を提供することを目的とするものである。

【０００９】

【課題を解決するための手段】

本発明では、真空室内に、直流電源に接続されたメタルターゲットとその背後の磁石及び該ターゲットの前方のイオン化率を高めるＲＦコイルを備えたマグネトロンカソードを設け、プラズマ発生のための該ターゲット及びＲＦコイルへの投入電力と、該真空室内へ導入するスパッタ用不活性ガス及び反応性ガスの流量とを制御し、該ターゲットに対向して設けたシリコン半導体基板の表面にメタル膜の成膜と該メタル膜の化合物化を交互に繰り返して化合物バリア膜を形成することにより、上記の目的を達成するようにした。該ＲＦコイルを上記メタルターゲットと同じ材質の金属で製作することが好都合であり、また、該メタルターゲットを異常放電防止回路を介して直流電源へ接続することが好ましい。

10

【００１０】

【発明の実施の形態】

本発明の実施の形態を図面に基づき説明すると、図３は本発明の実施に使用したスパッタリング装置で、同図の符号１は真空ポンプに連なる排気口２と、アルゴンガス等のスパッタ用ガスの導入口３及び N_2 等の反応性ガスを導入する反応性ガス導入口４を設けた真空室を示す。該真空室１内には、直流電源５に異常放電防止回路１０を介して接続されたＴｉ製のメタルターゲット６とその背後の磁石７及び該ターゲット６の前方のイオン化率を高めるＲＦコイル８を備えたマグネトロンカソード９が設けられる。このカソード９は、上記した誘導結合ＲＦプラズマ支援マグネトロンカソードとして公知のもので、ＲＦコイル８はメタルターゲット６の前方周囲を圍繞して設けられ、これにマッチングボックス１１を介してＲＦ電源１２から電力が供給される。１３は、拡散防止用の化合物バリア膜を形成すべく該ターゲット６と対向して設けられた例えば直径２インチのシリコン半導体デバイス用の基板で、その表面にはコンタクトホールやビアホール或いは溝などの段差部が予め形成されており、化合物バリア膜の形成後にメタル配線膜が形成される。該ＲＦコイル８は該メタルターゲット６と同材質の例えばＴｉにて形成され、必要な場合は、その内部に冷却水を循環させる。１４は基板加熱用のヒータである。

20

【００１１】

図３の装置を使用して反応性スパッタにより基板１３に化合物バリア膜を形成するには、まず真空室１内を排気し、スパッタ用アルゴンガスをカソード９の近傍の導入口３から適量導入して圧力を調整したのち、基板１３をヒータ１４で加熱し、基板温度を所要の成膜温度にする。メタルターゲット６に直流電力と、ＲＦコイル８に高周波電力を夫々投入する。これによりターゲット６の前方にプラズマが発生し、イオンによりターゲット６がスパッタされ、スパッタされたメタル粒子が基板１３に堆積する。メタルが例えば数十程度の極薄く膜状に堆積したところで、ターゲット６への投入電力を零にし、ＲＦコイル８への高周波電力のみを投入した状態で反応ガス導入口４から反応ガスを導入する。これによりターゲット６は殆どスパッタされず、導入された反応性ガスはＲＦコイル８のプラズマで励起・イオン化されるので堆積したメタル膜と速やかに反応し、化合物バリア膜となる。堆積した該メタル膜は極めて薄いので、薄膜内部までほぼ完全に化合した化合物膜になる。

30

40

【００１２】

このあと、前記したターゲット６のスパッタ工程と反応ガスの導入による化合物化工程を繰り返し、基板１３上に例えば１００程度の極薄の化合物バリア膜を形成する。これにより得られた化合物バリア膜は、極薄でありながら良好なバリア性をもつ。ターゲット６には化合物バリア膜を形成する各種のメタルの使用が可能であり、例えばＴａやＷを使用すれば、ＴａＮ、ＷＮのバリア膜を形成でき、ターゲットの材料と反応性ガスを適当に選択することで種々の化合物バリア膜を形成できる。

【００１３】

該基板１３へのメタルの堆積速度は主にターゲット６へ投入する直流電力に依存し、スパ

50

ツタされたメタル粒子や反応ガスのイオン化や励起の程度は主に R F コイル 8 に投入する高周波電力に依存する。後者の理由はスパッタされた中性メタル粒子が R F コイル 8 のつくるプラズマゾーンを通過するときにイオン化されるというイオンブレーティングと同様なポストイオン化機構によるためと考えられる。このイオン化や励起の程度は、主に電子とガス粒子の衝突頻度に依存するので、一般にガスの圧力の高い方が大きい。しかし、基板とターゲット間の距離が従来のプレーナマグネトロンスパッタ装置での距離より 3 ~ 8 倍程度離しているいわゆるロングスロースパッタでは、R F コイルでのプラズマで励起しても、ガス圧力が高いとターゲットと基板間での中性ガスとの衝突でクエンチされる（冷やされる）ため、結果として基板に到達するイオン量は少なくなる。従って、このような配置では、基板に到達するイオン量としては 2×10^{-3} Torr 以下の低い圧力下でより顕著になる。該メタル膜を堆積させる際には、該ターゲット 6 への直流電力のみならず R F コイル 8 に高周波電力を同時に投入することにより、イオン化効率が高まり、基板 13 の下地の上に被覆性良く緻密で結晶性の良い数十 程度の極薄いメタル膜を堆積させ得る。そして、ターゲット 6 への直流電力を零とし、R F コイル 8 への高周波電力のみとした状態で反応性ガスを導入すると、スパッタされるメタルはほとんどなく、R F コイル 8 によるプラズマで励起・イオン化され、堆積した極薄いメタル膜と迅速に反応して該膜をほぼ完全に化合物バリア膜にする。

【 0 0 1 4 】

尚、R F コイル 8 による化合物化工程においては、ターゲット 6 からのスパッタ粒子により R F コイル 8 の表面へメタル膜のコーティングが行われなため、むき出しになった R F コイル 8 の表面が誘導結合プラズマ放電によりスパッタされ、そのコイル材のスパッタ粒子が基板 13 の表面に付着するという汚染が考えられるが、このような汚染は R F コイル 8 をターゲット 6 と同材質で作製しておくことで防げる。

【 0 0 1 5 】

また、この反応性ガスのプラズマ励起・イオン化の際、ターゲット 6 の表面も反応してそこに化合物層が形成され、次のスパッタ工程に於ける直流放電が不安定になる場合がある。これは電気伝導度の小さい化合物や絶縁物がターゲット表面に形成されると、直流放電ではその表面に正電荷が帯電し、カソード（ターゲット）とアノード（基板）との間の電位差を消失する方向に働くことが原因で、放電が不安定になったり、放電が停止する結果になる。この状態を解消するには、ターゲット表面にたまった正電荷をプラズマからの電子で中和すればよく、そのため該ターゲット 6 の直流電源 5 に異常放電防止回路 10 を介在させ、図 4 に示したように、一定の割合で正電位を発生させるようにし、この正電位となったときにターゲット表面にプラズマからの電子を引き込んでターゲット表面にたまった正電荷を中和するようにした。

【 0 0 1 6 】

【 実施例 】

図 3 に示した誘導結合 R F プラズマ支援マグネトロノカソードを備えた装置を使用して、シリコン半導体デバイスの基板 13 上に約 100 程度の極めて薄い T i N の化合物バリア膜を形成した。R F コイル 8 は水冷した T i 製で、T i 製のターゲット 6 に異常放電防止回路 10 を介して直流電源 5 を接続した。また、スパッタガスとしてアルゴンガスを導入口 3 から導入できるようにし、反応性ガスとして N₂ ガスを反応性ガス導入口 4 から導入できるようにした。カソード 6 の直径は 2 インチである。基板とターゲット間の距離は 200 mm とした。

【 0 0 1 7 】

該化合物バリア膜の形成に先立ち、真空室 1 内のアルゴンスパッタガス圧力を 6×10^{-4} Torr、ターゲット投入電力を D C 50 W 一定にし、R F コイル 8 への投入電力を変化させて、基板 13 上への T i 膜堆積速度と基板へ流入するイオン電流の変化を測定した。なお、基板 13 には基板へ流入するイオン電流（T i⁺、A r⁺）を測定できるようにするため、直流を - 50 V 印加した。その結果は図 5 の如くであり、T i 膜堆積速度は、R F コイル 8 への投入電力にあまり依存していないことが分かる。図 6 に、R F コイル 8 への投入

電力をパラメータとしてターゲット直流電力を変化させたときのTi膜堆積速度の変化を示した。これによりこの条件下では、Ti膜堆積速度はターゲット6へ投入する電力に比例しており、RFコイル8への投入電力には殆ど影響されないことが分かり、図5の結果と一致している。一方、基板13に流入するイオン電流は、RFコイル8への投入電力とともに急激に増加しており、この誘導結合RFプラズマ支援マグネトロンスパッタ法がスパッタ粒子のイオン化促進に極めて有効であること示している。この基板へ流入するイオンは、TiイオンとArイオンであり、どちらのイオンがどの位かを調べた結果が図7である。この測定は、基板13の位置にエネルギーアナライザー付四重極質量分析計を取り付け、Tiターゲットをスパッタした際基板に流入するイオンの種類とその量のエネルギー分布を計測したものである。ここではRFコイル8への投入電力を40W一定とし、ターゲット投入直流電力を変化させた例を示す。図7より、直流電力を抑えRFコイルへの投入電力を相対的に増やす(DCパワーを減らす)と、主にガスがイオン化されること、またイオンのエネルギーが高エネルギー側にシフトすることが分かる。雰囲気ガスとして窒素などの反応性ガスを添加した際にも同様に反応性ガスの励起が優先的に起こると考えられるので、これは堆積しているメタル膜を反応性ガスと反応させ化合物膜を作成するのに極めて好都合な条件である。他方、直流電力を相対的に大きくすると、スパッタされたメタル粒子のイオン化が進み、この条件下(反応性ガスは添加せず)では、緻密で良質なメタル膜を堆積できることが分かる。

【0018】

この結果を基に、図3の装置により、Tiメタル膜を堆積するスパッタ工程と、その膜をプラズマ窒化により化合物化する化合物化工程とを図8に示した手順に従って繰り返し、所要厚さ約100Åのバリア性の優れたTiNの化合物バリア膜を形成した。スパッタアルゴンガス圧力は 8×10^{-4} Torr、Si基板の温度は300℃一定とした。

【0019】

詳細には、ターゲット6への直流電力を80W、RFコイル8への高周波電力を30W、Arガスを20sccm、N₂ガスを0sccmとし、この条件で30秒スパッタし、まず厚さ約20Å程度のTiメタル膜を基板に堆積させた。続いてターゲットへの直流電力を0V、RFコイル8への高周波電力をそのまま30Wを維持し、スパッタアルゴンガスの流量を5sccmに減少させ、N₂ガスを20sccm真空室内へ導入して、RFコイル8による誘導結合プラズマのみを60秒間発生させて堆積した該Tiメタル膜をプラズマ窒化させTiN膜とした。更にこのTiN膜の上に次のメタル膜を約20Åの厚さで前記Tiメタル膜のスパッタ条件で堆積させ、この次のメタル膜を前記化合物化条件と同条件で窒化させた。このようにしてスパッタ工程と化合物化工程を4回繰り返し約100ÅのTiN膜を基板に形成した。

【0020】

そして、これと同じ条件でSiウエハ基板上に作成したTiN膜の構成元素の深さ方向の分布をオージェ電子分光法(AES)で測定した結果の1例を図9に示す。堆積した膜全部がTiNとなっており、表面しか窒化していない従来の膜(図2)と大きく異なっていることが分かる。

【0021】

ここではTiNの例を示したが、その他Ta₂N₃、WNなどの種々の化合物バリア膜の成膜に適用が可能である。なお、本発明は、同一チャンパー内にメタルをスパッタする機構と雰囲気ガスをプラズマ励起する機構の両方を備えており、かつそれらがほぼ独立に制御できるようになっていれば、原理的に適用可能である。従って図3に示す装置以外でも、例えばRFコイルがターゲットと基板の中間に設置してあるスパッタ装置、ECRスパッタ装置などにも適用可能なことは言うまでもない。また、ここではシリコン基板メタル配線プロセスについて述べたが、その他フラットディスプレイ、薄膜磁気ヘッド等の種々の電子機器デバイス薄膜作製プロセスへの適用が可能である。更に、ここでは化合物バリア膜をメタル堆積のスパッタ工程とプラズマ反応による化合物化工程とを交互に繰り返したが、その代わりに下地と“濡れ”の悪い第1層或いは次の第2層までをこの方法で作成し、

それ以降は反応性スパッタにより一挙に化合物層を形成してもよい。

【 0 0 2 2 】

【発明の効果】

以上のように本発明によるときは、イオン化率を高める R F コイルを備えたマグネトロンカソードを設け、ターゲット及び R F コイルへの投入電力と、該真空室内へ導入するスパッタ用不活性ガス及び反応性ガスの流量とを制御し、基板にメタル膜の成膜と該メタル膜の化合物化を交互に繰り返すようにしたので、段差切れのない化合物バリア膜を単一の装置により 1 プロセスで形成することができ、成膜コストが安価になる等の効果がある。

【図面の簡単な説明】

【図 1】従来の化合物バリア膜の成膜状態を示す断面図

10

【図 2】従来の化合物バリア膜の深さ方向の構成元素の分布図

【図 3】本発明の方法の実施に使用した装置の切断側面図

【図 4】図 3 のカソードに印加される電圧の特性図

【図 5】R F コイル電力と膜堆積速度の関係図

【図 6】R F コイル電力をパラメータとしてターゲット電力を変化させたときの膜堆積速度の変化図

【図 7】ターゲット電力と R F コイル電力とイオンエネルギーの相関図

【図 8】本発明方法の実施の手順の線図

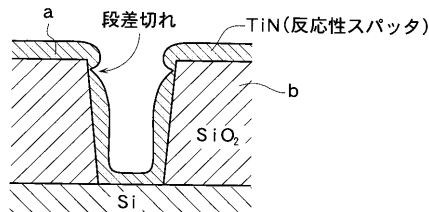
【図 9】本発明方法で得られた膜の深さ方向の構成元素の分布図

20

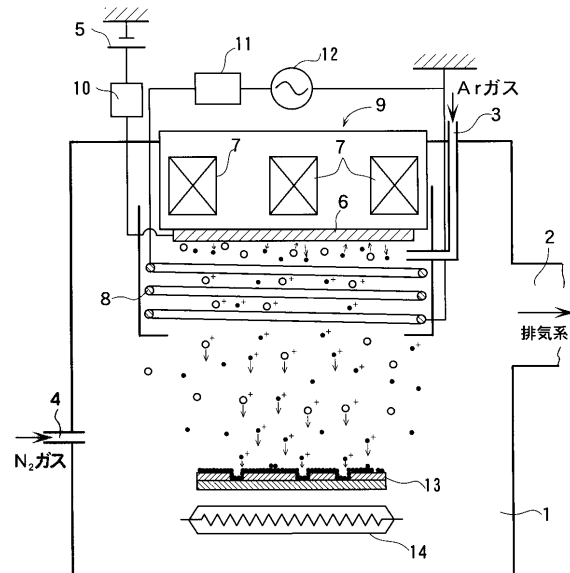
【符号の説明】

1 真空室、2 排気口、3 スパッタガス導入口、4 反応性ガス導入口、5 直流電源、6 メタルターゲット、7 磁石、8 R F コイル、9 マグネトロンカソード、10 異常放電防止回路、11 マッチングボックス、12 高周波電源、13 基板、14 ランプヒーター、

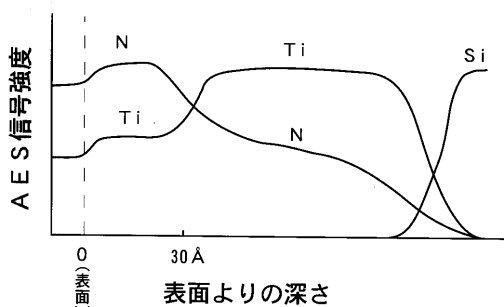
【図 1】



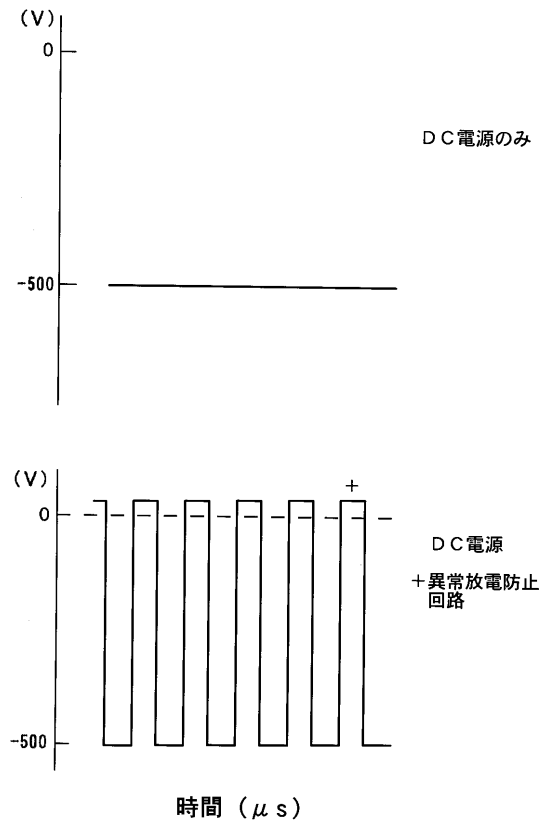
【図 3】



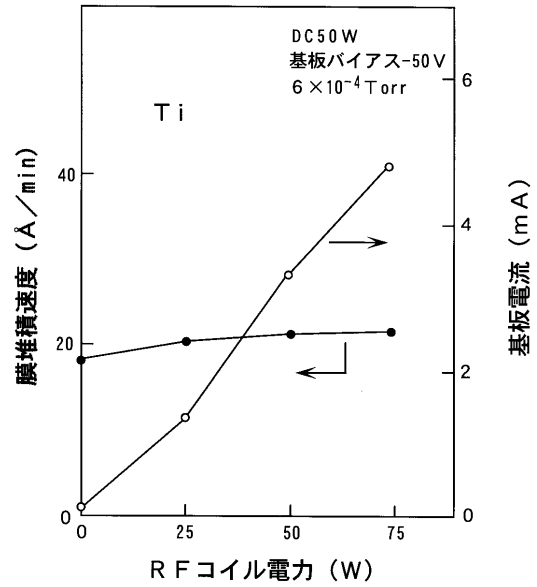
【図 2】



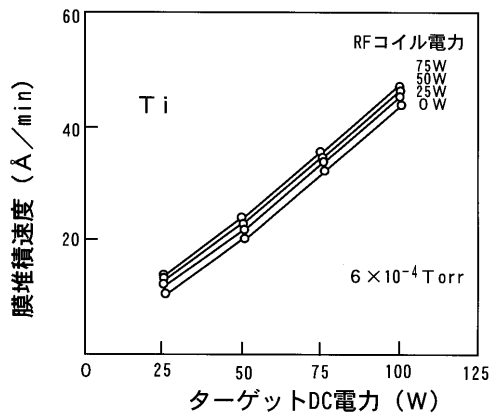
【図 4】



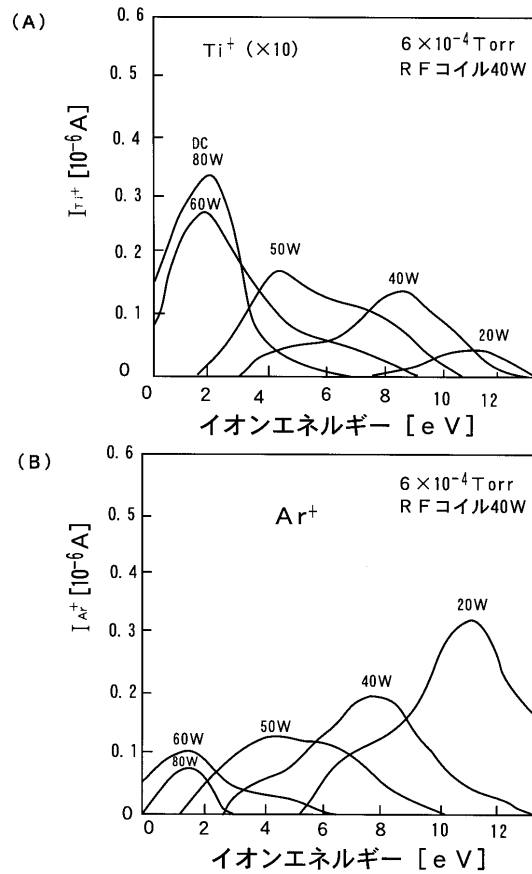
【図 5】



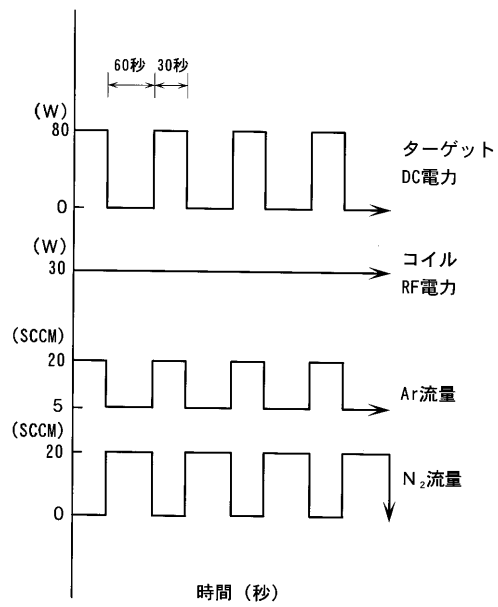
【図 6】



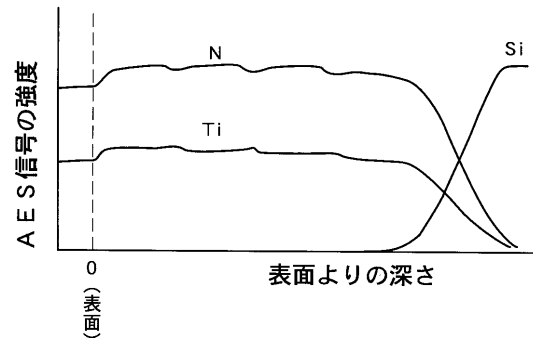
【図 7】



【図 8】



【図 9】



フロントページの続き

(72)発明者 山本 直志
神奈川県茅ヶ崎市萩園2500番地 日本真空技術株式会社内

合議体

審判長 長者 義久

審判官 大橋 賢一

審判官 志水 裕司

(56)参考文献 特開平6-41739(JP,A)
特開平8-176821(JP,A)
特開平9-53176(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
C23C 14/00-14/58