

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4021601号
(P4021601)

(45) 発行日 平成19年12月12日(2007.12.12)

(24) 登録日 平成19年10月5日(2007.10.5)

(51) Int. Cl.	F I
C 2 3 C 14/34 (2006.01)	C 2 3 C 14/34 T
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
H O 1 L 21/768 (2006.01)	H O 1 L 21/90 A

請求項の数 7 (全 31 頁)

(21) 出願番号	特願2000-166059 (P2000-166059)	(73) 特許権者	000003078
(22) 出願日	平成12年6月2日(2000.6.2)		株式会社東芝
(65) 公開番号	特開2001-192824 (P2001-192824A)		東京都港区芝浦一丁目1番1号
(43) 公開日	平成13年7月17日(2001.7.17)	(74) 代理人	100058479
審査請求日	平成16年9月17日(2004.9.17)		弁理士 鈴江 武彦
(31) 優先権主張番号	特願平11-310298	(74) 代理人	100084618
(32) 優先日	平成11年10月29日(1999.10.29)		弁理士 村松 貞男
(33) 優先権主張国	日本国(JP)	(74) 代理人	100092196
			弁理士 橋本 良郎
		(74) 代理人	100091351
			弁理士 河野 哲
		(74) 代理人	100088683
			弁理士 中村 誠
		(74) 代理人	100070437
			弁理士 河井 将次

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 スパッタ装置および成膜方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

被処理基体が収容されるスパッタ室と、
 前記スパッタ室内にガスを導入するガス導入手段と、
 前記スパッタ室内の上方に設けられたスパッタターゲットに負電圧を印加する手段と、
 前記スパッタ室内の下方に設けられ、接地された接地部品と、
 前記被処理基体に負電圧を印加する電圧印加手段と、
 前記スパッタ室内に、前記接地部品に比べて、前記スパッタターゲットにより近接した位置に設けられ、正電圧が印加されるイオン反射板と、
前記スパッタターゲットの表面に磁界を形成し、且つ前記接地部品に向けて伸びるよう
に発散磁界を形成して、前記スパッタ室内に放電を起こした状態で、前記イオン反射板を
接地したときの前記スパッタターゲットと前記イオン反射板との間の電気抵抗を、前記ス
パッタターゲットと前記接地部品との間の電気抵抗よりも大きくする磁界形成手段と、
 を具備してなることを特徴とするスパッタ装置。

10

【請求項2】

前記イオン反射板の少なくとも一部は円筒部分を含み、前記被処理基体の直径を a、前記スパッタターゲットの直径を b、前記被処理基体と前記スパッタターゲットとの間の距離を c、前記イオン反射板の円筒部内径を d とした場合に、
 $a < b < 5a/2$ 、 $3a/4 < c < 5a/2$ および $b < d < 5b/3$ の不等式を満たすことを特徴とする請求項1記載のスパッタ装置。

20

【請求項 3】

前記イオン反射板の長さを L とした場合に、 $c / 5 < L < 5 c / 6$ の不等式を満たすことを特徴とする請求項 2 記載のスパッタ装置。

【請求項 4】

前記磁界形成手段は、前記スパッタターゲットの上方に設けられた、S 極を前記スパッタターゲットに向けた第 1 のマグネットならびに N 極を前記スパッタターゲットに向けた第 2 のマグネットを含み、かつ前記第 1 のマグネットと前記第 2 のマグネットの磁束密度が異なることを特徴とする請求項 1 乃至 3 のいずれか 1 項に記載のスパッタ装置。

【請求項 5】

前記第 1 のマグネットと前記第 2 のマグネットとの間の磁界とは異なった第 2 のマグネットの発散磁界が前記接地部品に向かって伸びるように、前記第 1 および第 2 のマグネットの配置ならびに前記第 1 および第 2 のマグネットの磁束密度を調整することを特徴とする請求項 4 に記載のスパッタ装置。

10

【請求項 6】

請求項 1 乃至 5 のいずれか 1 項に記載のスパッタ装置を用いた成膜方法であって、前記ガス導入手段によりガスを前記スパッタ室内に導入し、かつ前記イオン反射板に正電圧を印加し、かつ前記スパッタターゲットに負電圧を印加して前記スパッタ室内で放電を起こし、かつ前記電圧印加手段により前記被処理基体に負電圧を印加することによって、前記被処理基体上に膜を形成することを特徴とする成膜方法。

【請求項 7】

前記放電が起こった後に前記ガスの導入を止め、前記スパッタターゲットの構成材料のイオンによって前記放電を自己維持させることを特徴とする請求項 6 に記載の成膜方法。

20

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、スパッタ装置および成膜方法に係わり、特に Al や Cu などの配線膜、Ta-N や Ti-N などのバリアメタル膜、Ti や Nb などのライナー膜の成膜に有効なスパッタ装置およびそれを用いた成膜方法に関する。

【0002】

【従来の技術】

従来より半導体プロセスでは、成膜装置としてスパッタ装置が広く用いられている。その理由の 1 つとして、スパッタ装置はランニングコストが低く、生産性が高いことがあげられる。

30

【0003】

一方、最近の微細化・高集積化に伴い、接続孔のアスペクト比（深さ / 開口径）は高くなる傾向にある。表面に拡散層が形成された Si 基板上に層間絶縁膜を堆積し、この層間絶縁膜に上記拡散層に接続する接続孔を開口し、上記拡散層の表面に Ti シリサイド層を形成する場合、接続孔の底面に Ti 膜を厚くスパッタ形成する必要がある。

【0004】

また、接続孔の内面（側面および底面）を Ti-N 膜などのバリアメタル膜、あるいは W-CVD のグレーレイヤーで被覆する場合、接続孔の内面全体にバリアメタル膜等を均一の厚さにスパッタ形成する必要がある。

40

【0005】

また、接続孔の内部を Al 膜で充填する技術として、Al リフロー技術が知られており、その中でもライナー膜、第 1 Al 膜、第 2 Al 膜を順次スパッタ法により形成する 2 ステップリフロー方式が主流化している。

【0006】

2 ステップリフロー方式では、第 1 Al 膜は冷却して形成し、第 2 Al 膜は加熱しながら形成する。第 2 Al 膜の形成段階では Al は第 1 Al 膜を拡散パスとして接続孔内に流動する。そのため、接続孔の内面全体に第 1 Al 膜を形成する必要がある。

50

【0007】

しかしながら、従来のスパッタ装置を用いた成膜方法は段差被覆性に乏しく、接続孔の底面における膜厚を厚くしたり、接続孔の内面全体における膜厚を均一化したり、あるいは接続孔の内面全体に膜を形成することは困難である。

【0008】

一方、従来よりLSI配線にはAl配線が多く用いられてきたが、近年、配線低抵抗化および高信頼性の観点から、すなわちRC遅延の改善およびEM耐性の向上の観点から、低誘電率絶縁膜とCu配線を組み合わせた配線構造が望まれ、検討がなされている。

【0009】

Cuには蒸気圧の高い化合物が少ないため、RIE (Reactive Ion Etching) による加工が困難である。そのため、CuのRIE配線を形成することは困難である。そこで、Cu配線はRIEを用いずに形成するダマシンプロセスが主流となっている。

10

【0010】

ダマシンプロセスでは、層間絶縁膜に予め形成した配線溝の内部を充填するように金属膜を全面に堆積し、その後配線溝の外部の余剰な金属膜をCMPにより除去することによって、上記金属膜からなる配線(ダマシン配線)を形成する。

【0011】

特に、層間絶縁膜に溝および接続孔を予め形成しておき、溝および接続孔の内部を金属膜で一括して充填して、配線とプラグを同時に形成するプロセスをデュアルダマシンプロセス(DDプロセス)と呼ぶ。

20

【0012】

ダマシンプロセスによりCu配線を形成する場合、金属膜には当然にCu膜が使用される。ここで、Cuは層間絶縁膜中を拡散しやすいため、Cu膜中のCuはSi基板まで拡散する。Si基板まで拡散したCuは、Si中に深い準位を形成する。この深い準位はキャリアをトラップし、素子特性の劣化を引き起こす。

【0013】

そこで、ダマシンプロセスによりCu配線を形成する場合には、Cu膜を堆積する前に、Cuの拡散を防止するバリアメタル膜(拡散防止膜)を配線溝の内面にスパッタ形成することが行われている。DDプロセスの場合には接続孔の内面にもバリアメタル膜を形成する必要がある。

30

【0014】

バリアメタル膜としては、TiN膜、Ta₂N膜などが広く検討されている。バリアメタル膜は、その目的から、配線溝、または配線溝および接続孔の内面全体に均一に形成されることが望まれる。

【0015】

また、CuのDDプロセスでは、配線溝等の内部をCu膜で埋め込むことが必要である。Cu膜の成膜方法としては、電界メッキ法が広く検討されている。Cu電界メッキでは電子授受のためのシード層が必要となるが、上述したTa₂N膜などのバリアメタル膜はシード層としての機能が乏しい。

【0016】

そのため、バリアメタル膜の形成後に、配線材料であるCu自身でシード層をスパッタ形成することが多い。このようなシード層(Cuシード層)は、その目的から、配線溝、または配線溝および接続孔の内面全体に均一に形成されることが望まれる。

40

【0017】

このような要求に対して、ロングスロースパッタ装置やイオン化スパッタ装置などのスパッタ粒子の指向性を高めたスパッタ装置が、Ti膜、TiN膜、Ta₂N膜、Cuシード層の形成に用いられている。

【0018】

図22に、従来のロングスロースパッタ装置の概略図を示す。ロングスロースパッタ装置は、基板81とターゲット82との間の距離を広げて、かつAr圧力を低くしてガス散乱

50

を抑えることで、スパッタ粒子の接続孔内への斜め入射成分を抑え、スパッタ粒子の指向性を高める。

【0019】

なお、図中、83はスパッタ室、84はマグネット、85はバックングプレート、86は冷却水路、87は絶縁部材、88はアースシールド、89は第1防着板、90は第2防着板、91は第2防着板90の昇降機構、92は静電チャック板、93はサセプタ、94は冷媒、95はターゲット82に電圧を印加するための直流電圧源をそれぞれ示している。

【0020】

しかし、従来のロングスロースパッタ装置を用いた成膜方法には以下のような問題がある。すなわち、基板端において成膜形状に非対称性が生じ、基板端において金属膜が形成され難く、被覆性が悪いという問題がある。

10

【0021】

一方、イオン化スパッタ装置は、ターゲットと基板との間に取り付けた誘導コイルに高周波電力を投入し、スパッタ室内に導入したArガスの高密度プラズマを発生し、高密度プラズマ中でスパッタ粒子をイオン化するとともに、基板に負電圧を印加することによって、スパッタ粒子の指向性を高める。

【0022】

しかし、従来のイオン化スパッタ装置を用いた成膜方法には以下のような問題がある。

【0023】

成膜時には、スパッタ粒子の他に、スパッタガスであるArもイオン化される。そのため、基板にはイオン化したスパッタ粒子およびArが引き込まれる。基板には引き込まれたArイオンは基板と衝突する。この衝突によってArイオンの持っていた運動エネルギーは熱に変わり、基板温度が上昇する。

20

【0024】

AlやCuは凝集を起こしやすい金属で、特に基板温度が高くなるほど凝集を起こしやすい。したがって、イオン化スパッタ装置でAl膜やCu膜の成膜を行うと、Al膜やCu膜が凝集して分離してしまう。

【0025】

そのため、Alの2ステップリフロー方式における第1Al膜をイオン化スパッタ装置を用いて形成すると、第1Al膜が凝集を起こしてAl流動時の拡散パスがなくなり、接続孔の内部を第2Al膜で充填できなくなる。

30

【0026】

また、電界メッキにおけるCuシード層をイオン化スパッタ装置を用いて形成すると、Cuシード層が凝集を起こしてCuメッキのための電気伝導が得られず、電界メッキにより接続孔の内部をCu膜で充填できなくなる。

【0027】

さらに別のCuの指向性を有するスパッタ装置として、Cuの自己維持放電を利用するタイプのものがある。Cuの場合、特定の電圧、電流、磁場条件ではスパッタガスであるArの導入を止めてもスパッタされたCuがイオン化し、イオン化したCu自身がターゲットに衝突してCu粒子を弾き出して放電を持続することができる。

40

【0028】

このような自己維持放電はCuに限らず、他の金属でも起こるが、Cuは特に自己維持放電を起こしやすい金属で、Cuの自己維持放電によるスパッタは古くから検討されている(麻蒔：薄膜作製の基礎(第3版)(日刊工業新聞社p.195~242、佐野ほか：第40回応用物理学関係連合講演会の講演予稿集(No.2,p.393、堀池ほか：特願平5-257512))。

【0029】

ただし、Cuの自己維持スパッタだけでは、十分な指向性は得られず、アスペクト比3以上の接続孔では段差被覆性に乏しいという問題がある。

【0030】

50

そこで、自己維持スパッタと前述したロングスロースパッタのようにスパッタターゲットと基板との間を広げる手法とを組み合わせたスパッタ装置が検討されている（堀池ほか：特願平8-91728、小谷ほか：第57回応用物理学関係連合講演会の講演予稿集（No.2,p.642））。

【0031】

この種のスパッタ装置では、自己維持スパッタを利用することでArガスを導入しないで済むので、Arガスによるスパッタ粒子の散乱は全く起こらないという利点がある。

【0032】

しかし、自己維持スパッタとロングスロースパッタとを組み合わせても、成膜形状が非対称性になるというロングスロースパッタの本質的問題は解決できず、むしろ、ガス散乱が

10

【0033】

そのため、従来の自己維持スパッタおよびロングスロースパッタを利用したスパッタ装置を用いて、直径200mm以上のSi基板上にCu膜を形成することは、実用上、困難である。

【0034】

さらに、Cuの自己維持放電を利用したスパッタ装置において、基板に直流負電圧を印加することによって、Cuイオンを基板に指向性よく引き込むことが検討されている（A.Sano et al:Advanced Metallization and Interconnect Systems for ULSI Applications in 1995, p.709~715 塚田ほか：特願昭53-57812、佐野ほか：第42回応用物理学関係連合講演会の講演予稿集（No.2.p.813）、佐野ほか：第56回応用物理学学会学術講演会の講演予稿集（No.2.p.607）、佐野ほか：第43回応用物理学関係連合講演会の講演予稿集（No.2.p.747））。

20

【0035】

自己維持スパッタにおいて、基板に直流負電圧を印加してCuイオンの指向性を高める場合、直流負電圧によって基板に引き込まれるイオンはCuイオンだけであるため、イオン化スパッタ装置の場合とは異なり、Arイオンによる基板温度の上昇がなく、基板温度の上昇を必要最小限に抑えられる。

【0036】

しかし、この種のスパッタ装置には以下のような問題がある。Cuの自己維持スパッタでは、多くのCuイオンはターゲット電圧と磁界とによってターゲット近傍に束縛されており、基板に印加した負電圧によって引き込まれる浮遊したイオンの数は少ない。

30

【0037】

そのため、Cuイオンが成膜に及ぼす効果が少なく、十分な段差被覆性が得られないという問題がある。さらに、ターゲット近傍のCuイオンを基板に引き込もうとすると、ターゲット電流密度が低下し、自己放電を維持できなくなるという問題が生じる。

【0038】

そこで、Cuの自己維持スパッタにおいて、Cu中性粒子をイオン化し、Cuイオンの数を増やし、より多くのCuイオンを基板への直流負電圧の印加で指向性良く引き込むことが提案されている。すなわち、ターゲットと基板との間の誘導コイルに高周波交流電力を投入して高密度プラズマを形成し、その高密度プラズマ中でCu中性粒子をイオン化する試みが提案されている（堀池ほか：特願平8-91728、一木ほか：第43回応用物理学関係連合講演会の講演予稿集（No.2.p.748））。

40

【0039】

しかし、Arのような不活性ガスを導入するイオン化スパッタとは異なり、自己維持スパッタは高真空中で行われるため、非常に高い周波数の交流電流を投入しても、真空中を進行するCu中性粒子をイオン化することは困難である。そのため、自己維持スパッタとCu中性粒子のイオン化とを組み合わせても、十分な高密度プラズマを形成すること、すなわちCu成膜に寄与するCuイオンの数を増やすことができず、実用的なスパッタ装置を実現することは困難である。

50

【 0 0 4 0 】

また、自己維持スパッタには成膜速度が速すぎるという問題がある。膜質を良くするためには、一般には、成膜速度を速めることが有効であるが、特願平5 - 257512にも記述されているように、成膜速度が速すぎると薄膜を制御性良く形成することが困難になる。

【 0 0 4 1 】

最近のスパッタ装置の多くはターゲットの上方にマグネットを配置し、マグネットによってプラズマ密度を高めている。ターゲット全面でプラズマ密度を高めた領域とすることは困難で、多くの場合、高密度プラズマ領域を移動させて、ターゲット全面にスパッタしている。この場合、ターゲット上方のマグネットを回転させる場合が多い。しかし、マグネットの回転速度を高速にすることには限界があるため、成膜速度が速すぎると、回転数が少ないうちにスパッタが終了してしまう。その結果、基板面内での膜厚分布のばらつきが大きくなったり、制御膜厚にばらつきが生じたりし、生産面で問題が起こる。

10

【 0 0 4 2 】

自己維持スパッタは、ターゲット電圧や電流、およびターゲット表面の磁束密度を高く保たないと放電を維持できないため、成膜速度が速くなり易いという問題がある。

【 0 0 4 3 】

特願昭53 - 57812には、Cuの自己維持スパッタを持続するためには、ターゲット電流密度を 130 mA/cm^2 以上にする必要があると記載されている。一方、特願平5 - 257512には、Cuの自己維持スパッタで厚さ $0.5 \sim 1\ \mu\text{m}$ のCu膜を制御可能な成膜速度で形成するためには、ターゲット電流密度を 100 mA/cm^2 以下する必要があると記載されている。両者の数値には矛盾点があるが、ターゲット表面の磁束密度やターゲット形状などで数値に違いが生じるものと考えられる。

20

【 0 0 4 4 】

特願平5 - 257512には、自己放電を維持するためのターゲット電流密度の下限値は記載されていないが、成膜速度を低下させるためにターゲット電流密度を単に低下させると、特願平53 - 57812の記述のように自己維持放電の下限値に近づき、放電が途切れるなど、不安定になるという問題がある。

【 0 0 4 5 】

さらに、前述したように最近のCuのダマシンプロセスでは、スパッタにより配線溝や接続孔の内面をCuシード層で被覆した後、電界メッキにより配線溝や接続孔の内部をCu膜で充填するという方法が主流となっている。この場合、メッキ液が配線溝や接続孔の内部に入る必要があるため、配線溝や接続孔の開口がCuシード層によって狭まってはいけない。

30

【 0 0 4 6 】

最近のLSIは高集積化してきているため、配線溝の幅や接続孔の直径は $0.3\ \mu\text{m}$ 以下のものが少なくない。このような微細な配線溝や接続孔の内面に厚いCuシード層をスパッタ形成すると、配線溝や接続孔の開口が狭くなる。そのため、Cuシード層を薄くしなければならず、具体的には $0.3\ \mu\text{m}$ 以下が好ましい。

【 0 0 4 7 】

特願平5 - 257512に開示される 100 mA/cm^2 以下、かつ自己放電を維持できる下限以上のターゲット電流密度領域では、成膜速度が速い問題と自己維持放電が安定しない問題から、上述した薄いシード層を形成することは困難である。

40

【 0 0 4 8 】

また、Cuの自己維持スパッタにおいて、サセプタの周辺に正電圧を印加してイオン化エネルギーやイオンの方向性を制御する方法が提案されている(USP5897752)。

【 0 0 4 9 】

この開示された内容では、発明の実施の形態で後述するとおり、正電圧を印加する部品がアノードとしてカソードと電気的に結合し、イオンの方向性を制御することが困難である。したがって、この方法では上述した段差被覆性に乏しい問題を解決することはできない

50

。

【0050】

また、特願平7-40182には、真空容器の内壁あるいはシールドの電位を正に設定し、不活性ガスイオンの真空容器の内壁への付着を防止する構造が示されている。しかし、この開示された内容だけでは、後述するとおり、正電圧を印加する部品がアノードとしてカソードと電氣的に結合し、不活性ガスイオンの方向性を制御すること、すなわち真空容器の内壁への付着を防止することは困難である。

【0051】

【発明が解決しようとする課題】

上述の如く、従来より、ロングスロースパッタ装置、イオン化スパッタ装置、自己維持放電を利用したスパッタ装置等が知られているが、いずれのスパッタ装置も被覆性（基板端における成膜形状の非対称性、接続孔における段差被覆性）の点で問題があり、さらに自己維持放電を利用したスパッタ装置においては成膜速度が速すぎるといった問題もある。

【0052】

本発明は、上記事情を考慮してなされたもので、その目的とするところは、被覆性の良い成膜が可能となるスパッタ装置および成膜方法を提供することにある。

【0053】

【課題を解決するための手段】

〔構成〕

上記目的を達成するために、本発明に係るスパッタ装置は、被処理基体が収容されるスパッタ室と、前記スパッタ室内にガスを導入するガス導入手段と、前記スパッタ室内の上方に設けられたスパッタターゲットに負電圧を印加する手段と、前記スパッタ室内の下方に設けられ、接地された接地部品と、前記被処理基体に負電圧を印加する電圧印加手段と、前記スパッタ室内に、前記接地部品に比べて、前記スパッタターゲットにより近接した位置に設けられ、正電圧が印加されるイオン反射板と、前記スパッタターゲットの表面に磁界を形成し、且つ前記接地部品に向けて伸びるように発散磁界を形成して、前記スパッタ室内に放電を起こした状態で、前記イオン反射板を接地したときの前記スパッタターゲットと前記イオン反射板との間の電気抵抗を、前記スパッタターゲットと前記接地部品との間の電気抵抗よりも大きくする磁界形成手段と、を具備してなることを特徴とする。

【0054】

本スパッタ装置の好ましい形態は以下の通りである。

【0056】

(1) 前記イオン反射板の少なくとも一部は円筒部分を含み、前記被処理基体の直径を a 、前記スパッタターゲットの直径を b 、前記被処理基体と前記スパッタターゲットとの間の距離を c 、前記イオン反射板の円筒部内径を d とした場合に、 $a < b < 5a/2$ 、 $3a/4 < c < 5a/2$ および $b < d < 5b/3$ の不等式を満たす。

【0057】

(2) 上記(1)において、前記イオン反射板の長さ L を考慮した場合には、 $a < b < 5a/2$ 、 $3a/4 < c < 5a/2$ 、 $b < d < 5b/3$ および $c/5 < L < 5c/6$ の不等式を満たすようにする。

【0058】

(3) 前記磁界形成手段は、S極磁石とN極磁石を含み、かつ前記S極磁石および前記N極磁石の前記スパッタターゲット方向の磁束密度が互いに異なる。

【0059】

また、本発明に係る成膜方法は、上記スパッタ装置を用いた成膜方法であって、前記ガス導入手段によりガスを前記スパッタ室内に導入し、かつ前記イオン反射板に正電圧を印加し、前記スパッタターゲットに負電圧を印加して前記スパッタ室内で放電を起こし、かつ前記電圧印加手段により前記被処理基体に負電圧をすることによって、前記被処理基体上に膜を形成することを特徴とする。

【0060】

10

20

30

40

50

本成膜方法の好ましい形態は以下の通りである。

【0061】

前記被処理基体に前記膜を形成する間、前記イオン反射板に正電圧を印加し、かつ前記膜を形成するための前記放電が起こった後に前記ガスの導入を止め、前記スパッタターゲットの構成材料のイオンによって前記放電を自己維持させる。

【0062】

また、本発明に係る他の成膜方法は、スパッタターゲットにイオンを衝突させ、前記スパッタターゲットの表面からその構成材料を放出させ、その一部をイオン化し、前記構成材料を被処理基体上に堆積して膜を形成する際に、前記被処理基板に向かって放出されなかった前記構成材料のイオンをクーロン力でその進行方向を変えることによって、前記被処理基板に向かって放出されなかった前記構成材料のイオンを前記被処理基体に入射させることを特徴とする成膜方法。

10

【0063】

[作用]

本発明によれば、被処理基体に直接には入射できなかったイオンも、イオン反射板によって反射されて被処理基体に入射することが可能となる。これに対して、従来技術では、被処理基体に直接には入射できなかったイオンは接地部材で消失し、成膜に寄与することはできなかった。したがって、本発明によれば、成膜に寄与するイオンの数を増やすことができ、従来よりも被覆性の良い成膜が可能となる。

【0064】

ここで、特願平7-40182に記載のスパッタ装置は、その内部に正電位を帯びた部品があることで、本発明のスパッタ装置と類似性がある。特願平7-40182では、スパッタ装置内部に正電位を帯びた部分を設け、正電位部位からのダスト発生や不純物の混入を防止している。

20

【0065】

しかし、特願平7-40182の記載内容では、発明の実施の形態で後述するとおり、正電圧を印加する部品がアノードとしてカソードと電氣的に結合する可能性が高く、イオンの方向性を制御することが困難である。また、特願平7-40182には、基板に負電圧を印加できる機構が開示されておらず、ターゲット材料からなるイオンを基板に引き込むことができない。このような構成の違いから、特願平7-40182に記載のスパッタ装置では、段差被覆性を向上することができない。

30

【0066】

【発明の実施の形態】

以下、図面を参照しながら本発明の実施の形態（以下、実施形態という）を説明する。

【0067】

（第1の実施形態）

図1は、本発明の第1の実施形態に係るスパッタ装置を示す模式図である。

【0068】

本スパッタ装置は、大きく分けて、基板1を收容し、スパッタ成膜を行うところのスパッタ室2と、スパッタ室2の底部を構成するとともに、基板1を載置するサセプタ3と、スパッタ室2内の上方にサセプタ3と対向するように設けられたスパッタターゲット（以下、単にターゲットという）4と、スパッタ室2の内壁に沿って設けられた円筒状のイオン反射板5と、イオン反射板5の下方に位置するようにスパッタ室2内に設けられ、かつ接地された下部接地部品6と、ターゲット4と対向するようにスパッタ室2の外に設けられマグネット7と、スパッタ室2内にガスを導入するガス導入系（不図示）と、スパッタ室2内のガスを排気するガス排気系（不図示）とから構成されている。これらは図示しないモジュール内に収められている。

40

【0069】

サセプタ3には別付けされた搬送室から基板1を受け渡しできる搬送機構（不図示）が備わっている。このような搬送室があれば、搬送室に接続された別モジュール内で成膜や工

50

ッチングなどの処理を行った基板 1 を真空中で搬送し、本モジュール内で真空連続的に処理ができる。

【 0 0 7 0 】

本スパッタ装置は、基板 1 にイオンを引き込むために必要な直流負電圧を印加でき、かつ基板 1 とサセプタ 3 との密着性を高められるように、第 1 直流電圧源 8 に接続したクランプ 9 と、クランプ 9 を支持する支持体 1 0 と、支持体 1 0 を昇降する昇降機 1 1 とからなるクランプ機構を備えている。クランプ 9 と下部接地部品 6 とは第 1 絶縁部材 1 2₁ で絶縁され、クランプ 9 と支持体 1 0 とは第 2 絶縁部材 1 2₂ で絶縁されている。

【 0 0 7 1 】

基板 1 をサセプタ 3 上まで搬送し載置した後、昇降機 1 1 により支持体 1 0 を下げることにより、クランプ 9 が基板 1 端に接触して、基板 1 に負電圧を印加できるとともに、基板 1 とサセプタ 3 との密着性を高められる。クランプ 9 を用いる場合、基板表面は導電体である必要がある。

10

【 0 0 7 2 】

ここで、Cu 膜や Al 膜などのように、イオン衝突による基板温度の上昇で凝集を起こしやすい金属膜を形成する場合には、図に示すように、基板冷却機能を有するサセプタ 3 を用いると良い。図には、サセプタ 3 内に冷媒 1 3 を流すことによって、基板 1 を冷却するサセプタ 3 が示されている。

【 0 0 7 3 】

このとき、クランプ 9 により基板 1 とサセプタ 3 との密着性を高め、基板 1 を効果的に冷却することができる。より効果的に基板 1 を冷却するためには、図に示すように、サセプタ 3 上に静電チャック板 1 4 をさらに設ければ良い。これにより、クランプ 9 だけの場合よりも基板 1 とサセプタ 3 との密着性を高くでき、より効果的に基板 1 を冷却することが可能となる。

20

【 0 0 7 4 】

また、静電チャック板 1 4 のみで（静電力のみで）サセプタ 3 上に基板 1 を保持する場合には、クランプ 9 による機械的な保持の場合とは異なり、ダストの原因となる膜剥がれを防止できる。

【 0 0 7 5 】

ターゲット 4 は、冷却水路 1 5 を有するバックングプレート 1 6（チャンパー上壁）に支持され、ターゲット 4 はその裏面から冷却されるようになっている。バックングプレート 1 6 は第 3 絶縁部材 1 2₃ によりチャンパー側壁と絶縁されている。また、ターゲット 4 は第 2 直流電圧源 1 7 に接続している。第 2 直流電圧源はターゲット 4 にスパッタに必要な直流負電圧を印加するためのものであり、電力、電圧、あるいは電流により制御できるようになっている。

30

【 0 0 7 6 】

イオン反射板 5 は、スパッタ室 2 内でターゲット 4 と最近接する部品であり、その間の最近接距離 L は 1 ~ 5 mm である。プラズマ放電後にはターゲット 4 の近傍には多くのイオンが存在し、これらのイオンは接地部品に吸着しやすい。イオンが接地部品に吸着すると、基板 1 への浮遊イオンの集率が低下する。しかし、このような不都合は、本実施形態のように、ターゲット 4 に最近接する部品としてイオン反射板 5 を選ぶことにより解決できる。なお、後述するように、イオン反射板 5 が必ずしも最近接する部品である必要ない。

40

【 0 0 7 7 】

また、イオン反射板 5 は第 3 直流電圧源 1 8 に接続され、イオン反射板 5 にイオンを反射するために必要な正電圧を印加できるようになっている。

【 0 0 7 8 】

マグネット 7 は一対の S 極マグネット 7 S と N 極マグネット 7 N とから構成されている。マグネット 7 は回転機構（不図示）によって回転できるようになっており、これによりターゲット 4 の表面のエロージョン領域が広がるように、磁場強度の高い領域を偏心回転できるようになっている。

50

【0079】

ガス導入系は、減圧弁、流量調整器およびバルブ（不図示）で構成され、少なくとも1種類上のガスをスパッタ室2内に導入できるようになっている。

【0080】

次に上記の如く構成されたスパッタ装置を用いたCu膜の形成方法について説明する。ターゲット4は、Cuを主成分とするターゲットとなる。

【0081】

まず、スパッタ室2内を排気機構により所定の圧力まで排気した後、ガス導入機構により少量のArガスをスパッタ室2内に導入し、さらに第2直流電圧源17から自己維持放電に必要な電力をターゲット4に投入して放電を開始し、その直後にバルブを閉じてArガスの供給を停止し、Cuの自己維持放電に移行させることによって、ターゲット4からCuイオンを放出させる。一方、基板1には第1直流電圧源8からの負電圧がクランプ9を介して印加される。

10

【0082】

その結果、ターゲット4から放出されたCuイオンの一部は基板1側に加速され、基板1の表面に対し略垂直に入射することが可能となる。すなわち、指向性の高いCuのスパッタが可能となる。しかし、この状態では、Cuイオン数が十分ではなく、段差被覆性を向上することはできない。

【0083】

さらに、本実施形態では、上記Cuのスパッタの際に、第3直流電圧源18によりイオン反射板5に正電圧を印加する。その結果、ターゲット4から放出されたCuイオンのうち、スパッタ室2の側壁側に飛来したものはイオン反射板5で反射され、基板1側に加速される。すなわち、基板1に直接には入射できなかったCuイオンも、イオン反射板5によって反射されて基板1に入射することが可能となる。

20

【0084】

図22に示した従来のスパッタ装置の場合、スパッタ室83の側壁側に飛来したCuイオンは接地された第1および第2防着板89、90に衝突し消失するので、成膜には寄与しない。

【0085】

したがって、本スパッタ装置によれば、図22に示した従来のスパッタ装置に比べて、基板1の表面に対し略垂直に入射するCuイオンの数を増やすことができる。これにより、基板表面における被覆性（基板端における成膜形状の非対称性、接続孔における段差被覆性）を改善できる。接続孔における段差被覆性については第2の実施形態で具体的に説明する。

30

【0086】

以下、本実施形態の変形例について説明する。

【0087】

本実施形態では、基板1にイオンを引き込む機構として、クランプ9を用いて基板1に直流負電圧を印加する機構を示したが、図2に示すように、高周波交流電源20からの高周波交流電力を整合器21を介してサセプタ3に投入し、基板1に負電圧を印加する機構でも良い。図中、22は静電チャック電極、124は第4の絶縁部材を示している。静電チャック電極22は図示しない電源に接続されている。

40

【0088】

また、図3に示すように、パルス状直流負電圧電源23により、波形がパルス状の直流負電圧をサセプタ3に印加し、基板1に負電圧を印加する機構でも良い。この場合、図2に示した高周波交流電力を投入する場合とは異なり、整合器を接続する必要がなく、装置コストを削減できる。

【0089】

また、図2に示した高周波交流電力を投入する機構や、図3に示したパルス状直流負電圧を印加する機構の場合、静電チャック電極22により基板1を保持できるので、基板表面

50

にクランプ9を直接接触させる必要がなくなり、ダストを低減することができる。

【0090】

さらに、図2および図3に示した機構の場合、電源20, 23が接続するサセプタ3が導電性であれば、クランプ9を用いた機構の場合とは異なり、基板表面が絶縁体でも問題はない。

【0091】

また、Ti, Ta, W, Nbなどのような高融点金属またはその窒化物からなる膜を形成する場合には、基板1を加熱する加熱機構を設けても良い。図4に、このような加熱機構を有するスパッタ装置の要部を示す。この加熱機構は、サセプタ3上に設けられ、熱伝導率の低い材料からなる非熱伝導体部材24と、この非熱伝導体部材24上に設けられ、内部に静電チャック電極22およびヒーター電極25を有する基板保持・加熱部材26とから構成されている。

10

【0092】

このような加熱機構によれば、基板1と基板保持・加熱部材26とが密着した状態で基板1を加熱でき、基板1の加熱効率を高くできるので、加熱によって膜密度を容易に高めることができる。

【0093】

また、マグネット7のS極マグネット7SおよびN極マグネット7Nのターゲット方向の磁束密度をそれぞれ異なるものとしても良い。これにより、電子が閉じ込められる領域を変形させることができ、磁界とターゲット電圧とに拘束されない、ターゲット4から放出された浮遊イオンを、プラズマ中に増加させることができる。したがって、基板1に印加した負電圧に引き込まれるターゲット材料のイオン数をさらに増加させることができる。

20

【0094】

本実施形態では、スパッタ室2内でターゲット4に最近接する部品をイオン反射板5としたが、アークを防止するために、図5に示すように、イオン反射板5の上部をアースシールド27に代えて、最近接する部品をアースシールド27にしても良い。この場合、プラズマに晒されるアースシールド27の面積を極力小さくすることが好ましい。

【0095】

さらに、本実施形態では、イオン反射板の数を1つとしたが、図6に示すように、イオン反射板5を2つのイオン反射板5₁, 5₂に分け、かつ直流電圧源18を2つの直流電圧源18₁, 18₂に分け、2つのイオン反射板5₁, 5₂にそれぞれ正電圧を独立に印加できるようにしても良い。

30

【0096】

このようにイオン反射板の数を多くし、各イオン反射板に印加する正電圧の値を調整すれば、基板に入射するイオンの方向を容易に調整することができる。具体的には、配線溝や接続孔の内面全体における膜厚を容易に均一にできたり、あるいは配線溝や接続孔の側面の膜厚を溝底面の膜厚よりも容易に厚くできる。

【0097】

本発明者等の検討によると、イオン反射板によってターゲット材料のイオンを増加するためには、ターゲット電流密度を高めることが効果的であるが、ターゲット電流密度を増加させた場合、成膜速度が速くなりすぎる問題がある。このような場合には、ターゲットと基板との間の距離を広げれば良い。

40

【0098】

次に、本発明の効果を得るための好ましい、イオン反射板に正電圧を印加する構造、方法について説明する。

【0099】

従来スパッタ装置でターゲットに負電圧を印加して放電を起こした場合、カソードであるターゲットにはイオン電流が流れ、アノードであるターゲット近傍の接地部品には電子電流が流れる。この場合のカソード/アノード間の電位分布を図7(a)に示す。

【0100】

50

一方、ターゲット近傍に正電圧が印加された部品があると、プラズマ中の電子は正電圧部品の静電力で引き付けられ、正電圧部品がアノードとなる。この場合のカソード/正電圧部品間の電位分布を図7(b)に示す。図7(a)と比較して分かるように、正電圧部品に印加した正電圧 V_a 分だけ電位分布が正方向に移動するだけである。この場合、従来のスパッタ装置と同様、アノードである正電圧部品の電位はプラズマ電位より低く、イオンが正電圧部品で反射して基板に向かうような軌道変化は起こらない。すなわち、従来のスパッタ装置の接地部品と同じようにイオンが吸着、消滅してしまう。したがって、図7(b)に示すような電位分布となるスパッタ装置では、イオンの軌道を曲げて基板に到達するイオン数を増加させることはできない。

【0101】

そこで、本発明では、アンバランスマグネットを用いてプラズマ中の電子分布を制御する。アンバランスマグネットとは、ターゲット側にS極とN極を向けた一对のマグネットからなり、S極とN極の磁束密度が各々異なるものをいう。

【0102】

例えば、図8に示すように、N極の磁束密度をS極より高めたリング状マグネット7rng1, 7rng2を用いると、N極からS極に向かう磁界とN極からの発散磁界を生じる。N極からS極に向かう磁界の中には電子が閉じ込められ、ターゲット4近傍のプラズマ密度が高められる。一方、N極からの発散磁界はプラズマ中の電子をターゲット4から離すように働く。このとき、各々のリング状マグネット7rng1, 7rng2の磁束密度や配置を調整することによって、スパッタ室2の下部接地部品6に向けて発散磁界が伸びるようにする。

【0103】

なお、アンバランスマグネットを構成するマグネットの形状はリング状に限定されるものではない。また、ここでは、下部接地部品6は、スパッタ室2内の下部に設けられた接地部品であるが、重要なのはターゲット4の下方に接地部品を設けることであり、したがって例えばスパッタ室2内の中央部に接地部品(中央部設接地部品)を設けても良い。

【0104】

このようなアンバランスマグネットを用い、グロー放電を発生させると、スパッタ室2内には発散磁界に沿って電子が多くなる電子分布ができる。そのため、図9に示すように、ターゲット4/下部接地部品6間の電気抵抗 R_2 (以下、電気抵抗のことを単に抵抗という。)を、ターゲット4/側部接地部品19間の抵抗 R_1 により小さくでき、アノードをターゲットより離れた下部接地部品とすることができる。

【0105】

このようなアンバランスマグネットとイオン反射板を用いた本発明のスパッタ装置の模式図を図10に示す。なお、図1と対応する部分には図1と同一符号を付してあり、詳細な説明は省略する。また、イオン反射板に印加する電圧とイオン反射板に流れる電流との関係を図11に示す。

【0106】

イオン反射板5の印加正電圧を増加させて行くと、プラズマ中の電子は徐々にイオン反射板5に流れ、やがて飽和する。これは発散磁界により下部接地部品6に流れていた電子がイオン反射板5の静電力で引きよせられて、イオン反射板5に流れてゆくためである。したがって、アンバランスマグネットを用いた場合でも、イオン反射板5に正電圧を印加してゆけば、やがてはイオン反射板5がアノードとなる。

【0107】

イオン反射板5に正電圧を徐々に印加した時の電位分布の推移を図12および図13に示す。図12(a)に示すように、イオン反射板5に印加するイオン反射板電圧(V_{IR})が0の場合、プラズマ電位 V_p は従来のスパッタ装置のものと変わらない。

【0108】

図12(b)に示すように、イオン反射板電圧 V_{IR} (= V_1)を大きくすると、イオン反射板5の電位(イオン反射板電位)とプラズマ電位との差が小さくなる。

【0109】

10

20

30

40

50

図12(c)に示すように、さらにイオン反射板電圧 V_{IR} ($=V_2$)を大きくすると、イオン反射板電位がプラズマ電位より大きくなる。この段階では、まだアノードの一部は下部接地部品であるため、プラズマ電位 V_p はさほど増加せず、イオン反射板5に実効電圧(イオン反射板電圧 V_{IR} -プラズマ電位 V_p で定義される電圧であって、その値が0より大きい電圧)を印加することができる。

【0110】

このイオン反射板電位とプラズマ間電位との差、すなわち電界が徐々に増加していくため、イオンの軌道を曲げて基板に到達するイオン数を増加することができる。

【0111】

図13(d)に示すように、さらにイオン反射板電圧 V_{IR} ($=V_3$)を大きくすると、イオン反射板5だけがアノードとなる。

10

【0112】

しかし、図13(e)に示すように、イオン反射板電圧 V_{IR} ($=V_4$)を V_3 より大きくしても、増加分だけプラズマ電位 V_p と共に正方向に移動するだけでイオンの軌道を曲げるための電界は大きくならない。

【0113】

すなわち、図11および図17に示すように、イオン反射板電圧の増加とともに基板電流も増加してゆくが、イオン反射板へ流れる電流が飽和した後は、イオン反射板電圧を大きくしても基板電流は飽和したままとなる。

【0114】

さらに、本発明者等の研究によれば、成膜速度を実用上問題ない程度に抑え、かつ基板へのイオン集率を高めるためには、イオン反射板の少なくとも一部は円筒部分を含み、基板の直径、ターゲットの直径、ターゲット・基板間距離、およびイオン反射板の円筒部内径を所定の範囲に設定すれば良いことが明らかになった。

20

【0115】

すなわち、基板の直径、ターゲットの直径、ターゲット・基板間距離、およびイオン反射板の円筒部内径をそれぞれ a 、 b 、 c および d としたとき、

$$\begin{aligned} a &= b & 5a/2、 \\ 3a/4 & < c < 5a/2 \\ \text{かつ } b &= d & 5b/3 \end{aligned}$$

30

となる関係を満たす幾何学的構造が成膜速度を実用上問題ない程度に抑え、かつ基板1へのイオン集率を効果的に高くできることが明らかになった。

【0116】

このように、円筒形のイオン反射板の内径がターゲットの直径の $5/3$ 倍までであれば、イオンを効果的に反射できるため、イオン反射板の円筒部内径 d の上限が決まる。ここで、ターゲットの直径 b は、プラズマに晒される部分の直径であり、アースシールドやイオン反射板が覆う重なり部分は含まない。また、この関係は円形の基板、円形のターゲットを用いた場合の関係であり、長方形の基板、長方形のターゲットの場合は、イオン反射板の少なくとも一部を四角筒とし、長辺および短辺をそれぞれ a 、 b 、 d に当てはめ、上の関係を成り立てば良い。このときの c の下限は基板の短辺、上限は基板の長辺を当てはめれば良い。楕円の場合も、イオン反射板の少なくとも一部を楕円筒とし、長辺および短径を同様に当てはめれば良い。

40

【0117】

また、本発明者らの実験によると、イオン反射板の長さは基板への到達確率と密接に関係することが明らかになった。本発明のスパッタ装置のように、アンバランスマグネットで磁場を制御すれば、イオン反射板に実効電圧を印加することができ、その結果として基板に到達する中性粒子の数は従来と同じでも、基板に到達するイオンの数は従来よりも多くなる。

【0118】

ここで、イオン反射板に印加される実効電圧は、イオン反射板の長さにも依存する。その

50

理由は、アンバランスマグネットの発散磁界を下部接地部品に向かって伸びるように調整しても、イオン反射板と下部接地部品との距離が近いと、イオン反射板に実効電圧を印加できず、アノードとして結合されてしまうためである。

【0119】

また、イオン反射板の長さが短い場合、イオンが飛来するイオン反射板の内面積（イオン反射板内面積）が減少するため、軌道を曲げられるイオン数が減少してしまう。

【0120】

図14に、イオン反射板長さのイオン反射板内面積、イオン反射板に印加される実効電圧（実効イオン反射板電圧）および基板電流の依存性を示す。図から、イオン反射板の長さの増加に伴いイオン反射板内面積は増加するが、逆に実効イオン反射板電圧は減少する。したがって、イオン反射板の長さを長くしても、また短くしても基板電流は減少する。つまり、イオン反射板の長さには基板電流を増加させる適度な長さがある。

10

【0121】

さらに、本発明者等の鋭意研究によれば、円筒部分を含むイオン反射板を用いた場合、基板とスパッタターゲットとの間の距離を c 、イオン反射板の長さを L とすると、 $c/5 < L < 5c/6$ の不等式を満たせば、基板電流を有効に増加することができることが分かった。したがって、先の結果と併せると、円筒部分を含むイオン反射板を用いた場合、 $a < b < 5a/2$ 、 $3a/4 < c < 5a/2$ 、 $b < d < 5b/3$ かつ $b < d < 5b/3$ となるように装置を構成することが好ましいことになる。

【0122】

20

また、イオン反射板の位置は、ターゲットに近い方が望ましい。何故なら、Cuなどの質量数の大きい原子のイオンは、電界による軌道変化が小さいからである。したがって、ターゲットと基板間距離を広げ、かつイオン反射板をターゲットの近傍に配置すれば、質量数の大きい原子のイオン、すなわち軌道変化の小さいイオンも基板へ到達することができる。

【0123】

なお、基板の形状は厳密に円である必要ない。すなわち、オリエンテーションフラットやノッチがある基板（ウェハ）でも良い。また、ターゲットの形状は基板と対向する部分が円であれば良い。

【0124】

30

（第2の実施形態）

本実施形態では、第1の実施形態で説明したスパッタ装置を用いた、Cu配線のダマシンプロセスについて説明する。図15および図16に、そのCu配線プロセスの工程断面図を示す。

【0125】

まず、図15(a)に示すように、Si基板31上に、第1層間絶縁膜32、下層配線33、第2層間絶縁膜34を形成する。下層配線33は後述するCu配線（上層配線）と同じダマシンプロセスにより形成しても良いし、あるいは他の方法で形成しても良い。下層配線33はCu配線、Al配線、あるいはW配線である。

【0126】

40

次に図15(b)に示すように、第2層間絶縁膜34に下層配線33に接続する接続孔35および配線溝36を形成する。

【0127】

次に図15(c)に示すように、接続孔35および配線溝36の内面に、第1および第2層間絶縁膜34中へのCuの拡散を防止するバリアメタル膜37を形成する。バリアメタル膜37は、例えばTa₂N膜の単層膜、Ta膜/Ta₂N膜の積層膜、またはTa膜/Ta₂N膜/Ta膜の積層膜である。

【0128】

次に図16(d)に示すように、第1の実施形態で説明したスパッタ装置を用いて、Cu電界メッキのためのCuシード層38をバリアメタル膜37上に形成する。この後、図1

50

6 (e) に示すように、接続孔 3 5 および配線溝 3 6 の内部を埋め込むように C u 電界メッキによって C u 膜 3 9 を全面に形成し、続いて図 1 6 (f) に示すように、接続孔 3 5 および配線溝 3 6 の外部の C u 膜 3 9 を C M P により除去して、C u の D D 配線が完成する。

【 0 1 2 9 】

本実施形態では、本発明のスパッタ装置を用いて C u シード層を形成し、後の C u 電界メッキによって配線溝などを埋め込む方法について説明するが、本発明のスパッタ装置を用いて C u 膜を形成し、後の加熱工程で C u をリフローさせて埋め込んでも良い。

【 0 1 3 0 】

また、第 1 C u 膜と第 2 C u 膜とに分けて行う 2 ステップリフロー方式における、第 1 C u 膜に用いても良い。さらには、C u - C V D における C u シード層として用いても良い。さらにまた、D D 配線ではなく、溝だけを埋め込んで形成する C u シングルダマシ (S D) 配線に適用しても良いし、接続孔だけを埋め込んで形成する C u プラグに適用しても良い。

10

【 0 1 3 1 】

以下、本発明を適用した工程である図 1 6 (d) の C u シード層 3 8 の形成工程について詳説する。

【 0 1 3 2 】

まず、クラスターツールに内蔵された搬送機構によって、S i 基板 3 1 を図 1 に示したスパッタ装置に真空中で搬送する。

20

【 0 1 3 3 】

次に冷媒 1 3 により冷却したサセプタ 3 上に S i 基板 3 1 を搬送した後、支持体 1 0 を下げてクランプ 9 と S i 基板 3 1 を接触させた後、静電チャック板 1 4 に電圧を印加し、S i 基板 3 1 とサセプタ 3 を密着させる。

【 0 1 3 4 】

次にガス供給系によりスパッタ室 2 内にスパッタガスとして A r を導入し、イオン反射板 5 に正電圧を印加し、ターゲット 4 に負電圧を印加して放電を発生させる。

【 0 1 3 5 】

次に A r ガスの導入を止めた後、第 1 直流電圧源 8 によってクランプ 9 を介して S i 基板 3 1 に直流負電圧を印加する。

30

【 0 1 3 6 】

従来のスパッタ装置では、S i 基板 3 1 の表面に対して斜めに入射するスパッタ粒子が多く、段差被覆性が低い。本実施形態のように、S i 基板 3 1 に負電圧を印加して正に帯電した C u イオンを基板表面に垂直に引き込めば、指向性が向上し、段差被覆性を向上させることができる。

【 0 1 3 7 】

しかし、従来のスパッタのように A r ガスを導入した場合、C u イオンの他に A r イオンも存在する。したがって、S i 基板 3 1 に負電圧を印加すると A r イオンも基板表面に垂直に引き込まれ、S i 基板 3 1 に形成された C u シード層 3 8 を物理エッチングする。A r イオンが C u シード層 3 8 を物理エッチングすると、物理エッチングされた C u が接続孔 3 5 の内面に再付着するため、接続孔 3 5 の側面の C u シード層 3 8 の厚さを増加させることができる。

40

【 0 1 3 8 】

しかし、従来のスパッタでは元来、接続孔 3 5 の底面に入射する C u 粒子の数が少ないため、A r の導入量を多くすると、A r イオンによる C u の物理エッチング速度が C u の堆積速度を上回り、接続孔 3 5 の底面に C u シード層 3 8 が形成されない場合がある。

【 0 1 3 9 】

さらに、S i 基板 3 1 に印加した負電圧で加速された A r イオンは、基板衝突により熱を発生し、A r 量が多い場合、基板温度を上昇させてしまう。C u は凝集しやすい材料で、基板温度が上昇すると C u は膜にならず、島状に分離してしまう。C u 電界メッキのため

50

に、Cuシード層38に用いる場合、Cu膜の凝集は、接続孔35の開口部を塞ぐという問題や、Cuシード層38が分離して通電が失われるという問題を招く原因となる。

【0140】

さらに、Arガスを多く導入した場合、Cuシード層38中にArが混入して、膜質が低下する。Cuシード層38中に取り込まれたArは結晶粒の成長を抑制し、Cu配線の信頼性を低下させる。また、アニールによってCuシード層38中のArを除去するためには高温が必要となり、第1および第2層間絶縁膜32, 34や、Si基板31へのCu拡散の問題が起こる。

【0141】

そこで、本実施形態では、Arを導入して放電を起こさせた後、Arの導入を止めて、Cuイオンだけの放電を持続させている。Cuターゲットの電圧・電流および磁場条件を調整すれば、Arガスを止めても、容易に自己放電を持続させることができる。

10

【0142】

本実施形態では、Cuの自己維持放電を起こしやすい性質を利用して、Arガスの悪影響を可能な限り、排除している。つまり、Arガスの導入を止めれば、その後はArイオンによる物理エッチングや温度上昇といった悪影響をなくすことができ、CuイオンだけをSi基板31に指向性よく引き込むことができる。

【0143】

自己維持放電中、Cuターゲット表面には磁場によって高密度プラズマ領域が形成される。これは磁場によって閉じ込められた電子がCuを電離するためである。このとき、プラズマは、磁場とターゲット電圧で拘束されたCuイオンからなるターゲット近傍の高密度プラズマ領域と、浮遊したCuイオンからなるターゲットから離れた低密度プラズマ領域とに分かる。

20

【0144】

Si基板31にターゲット4より低い負電圧を印加した場合、高密度プラズマ領域中のCuイオンはターゲット4の負電圧に拘束されているため、Si基板31に引き込むことができない。

【0145】

逆に、Si基板31にターゲット4より高い負電圧を印加した場合、高密度プラズマ領域中のCuイオンは引き抜かれるが、ターゲット4の電圧、電流、および磁場条件で決定される自己維持放電条件を満たせなくなり、放電が途切れる。

30

【0146】

すなわち、Si基板31に引き込めるCuイオンは主に浮遊する低密度プラズマ領域中のCuイオンであり、自己放電を維持させるためには、その範囲にSi基板31に印加する負電圧値を調整する必要がある。

【0147】

しかし、低密度プラズマ領域中のCuイオンの数は少なく、中性Cu粒子の量に対する成膜に寄与するCuイオン量の比率は低い。したがって、成膜形状に及ぼすCuイオンの効果が十分ではない。

【0148】

さらに、プラズマに晒される領域が接地された防着板である従来のスパッタ装置では、低プラズマ領域で浮遊するCuイオンの多くは接地部品に吸着してしまうため、Si基板31に引き込まれるイオン数が少なくなる。

40

【0149】

これに対して、プラズマに晒される領域が正電圧を印加したイオン反射板5である本発明のスパッタ装置では、正に帯電したCuイオンはイオン反射板5から反射し、負電圧を印加したSi基板31へ集率よくCuイオンを集めることができる。

【0150】

図17に、イオン反射板に印加する電圧を増加させたときの、基板電流密度(基板に流れる電流を基板面積で割った値)の1例を示す。イオン反射板の電圧が大きくなるほど、基

50

板電流密度が増加していることが分かる。Cu自己維持スパッタの場合、基板に負電圧を印加して引き込まれるイオンはCuイオンのみであり、基板に流れる電流はCuイオン電流である。すなわち、基板電流密度の増加は基板に入射するCuイオン数の増加である。したがって、イオン反射板に正電圧を印加することで指向性を持ったCuイオン数を増加でき、段差被覆性を向上できる。

【0151】

また、本発明者等の研究によると、Cuイオンの効果によって基板に形成されるCu膜の段差被覆性が向上するためには、Cuイオンによる基板電流密度が 4.5 mA/cm^2 以上、成膜速度が 10 nm/s 以下に調整することが必要であることが明らかとなった。

【0152】

本実施形態のように、Si基板31に負電圧を印加して、かつプラズマにさらされる領域に正電圧を印加したイオン反射板5を設けた場合、Si基板31に引き込めるCuイオンを増加させることができ、接続孔35および溝36の内面(側面および底面)全体に被覆性よくCuシード層38を形成することができる。さらに、Arによる温度上昇も少ないため、Cuが凝集することもなく、後のCu電界メッキのための電気伝導が十分確保される。

【0153】

図18を用いて、Cuイオンを基板に引き込んだ場合に、段差被覆性が向上する理由について説明する。

【0154】

まず、図18(a)に示すように、Cuイオンは、基板に印加した負電圧(基板負電圧)によって基板表面に垂直に入射するため、接続孔の底面にCu膜を形成できる。

【0155】

さらに、図18(b)に示すように、基板に印加する負電圧を調整すると、Cuイオンが接続孔の底面に形成されたCu膜を物理エッチングし、これによりはじきだされたCuは接続孔の底部側面に再付着するため、接続孔の底部側面のCu膜厚を増加させることができる。

【0156】

また、同図(b)に示すように、斜めに入射してきた中性Cu粒子によって接続孔の開口部はオーバーハング形状となるが、Cuイオンはこのオーバーハング部を再スパッタして、せり出した部分を物理エッチングする。エッチングされたCuは接続孔の側面に再付着するので、接続孔の側面のCu膜厚は増加する。

【0157】

そして、図18(c)に示すように、オーバーハング部のエッチングが進むと、スパッタ粒子の入射見込み角が広がるため、接続孔の内部に入射する粒子の数が増加する。

【0158】

また、本発明のスパッタ装置を用いて、接続孔側面と接続孔底面の被覆量を調整する方法を説明する。平坦部のCu膜厚を 100 nm として、開口径 $0.25 \mu\text{m}$ 、深さ $0.85 \mu\text{m}$ の接続孔にスパッタした場合の、接続孔の底面から接続孔の深さdの半分の深さまでの接続孔の内面(以下、接続孔の底部内面という。)を被覆している全Cuの量の測定した。

【0159】

まず、図19に、接続孔の底部内面を被覆している全Cuの量(以下、接続孔の底部内面のCu量という。)とイオン反射板電圧との関係を示す。この時、プラズマ電位と基板との電位差が同じになるように基板電圧を調整した。接続孔の底部内面のCu量は、従来のスパッタ装置であるロングスロースパッタ装置を用いて形成された基板中心部のCu量で規格化してある。

【0160】

図19の棒グラフから分かるように、イオン反射板の電圧を大きくするに従って、接続孔の底部内面のCu量が増加している。この時、イオン反射板電圧が 100 V 以上では、先

10

20

30

40

50

に説明したとおり、イオン反射板がアノードとなるため、接続孔の底部内面のCu量はさほど増加しない。したがって、イオン反射板電圧はイオン反射板がアノードとならない程度に調整することが望ましい。

【0161】

さらに、イオン反射板に電圧を印加しない場合でも、従来のスパッタ装置を用いた場合よりも、接続孔の底部内面のCu量が増加しているが、イオン反射板に電圧を印加した方が、よりCu量が増加していることが分かる。

【0162】

図20に、接続孔の底面から接続孔の深さdの半分の深さまでの接続孔の側面および底面（底部側面および底部底面）を被覆している全Cuの量と実効基板電圧（プラズマ電位と基板電圧との差）との関係を示す。

10

【0163】

図20の棒グラフから、実効基板電圧の絶対値が増加しても上記全Cuの量はさほど増加せず、上記全Cuの量の増加には、イオン反射板が効果的であることが分かる。

【0164】

さらに同図から、実効基板電圧の絶対値が増加するほど、接続孔の底部底面を被覆しているCuの量が減少し、一方底部側面を被覆しているCuの量は増加することが分かる。これは図18で説明したように、接続孔の底部底面のCuがイオンによって物理エッチングされ、接続孔の底部側面に再付着するためである。すなわち、接続孔の底部側面におけるCu量と接続孔の底部底面におけるCu量の比を実効基板電圧によって調整できることが

20

【0165】

上記原理は他の材料についても同じであり、例えば、凹部内面全体を被覆することが重要なメッキシードのCu、バリアメタルであるTa₂NやTiN、W-CVDのグルーレイヤーであるTiNなどは実効基板電圧の絶対値を高めて底部底面と底部側面の膜厚比が同じになるように調整した方が良い。また、Siとのシリサイド反応を起こさせてコンタクト抵抗を下げるTiやCoなどの高融点金属は、実効基板電圧の絶対値を下げて、底部底面の膜厚を増加させた方が良い。

【0166】

図21に、接続孔の底部内面の右側面と左側面とでのCu量の違い（対称指標）とイオン反射板電圧との関係、および対称指数と実効基板電圧との関係をそれぞれ示す。上記対称指数は、右側面のCu量、左側面のCu量のうち、大きい方のCu量で小さい方のCu量を割った値である。図21(a)には、左側面のCu量の方が右側面のCu量よりも多い図が示されている。

30

【0167】

多くのスパッタ装置において、それで堆積した膜のステップカバレッジが基板端部において非対称となり、特にターゲットと基板との間の距離を離れたロングスロースパッタ装置において上記非対称が顕著となる。本発明のスパッタ装置もターゲットと基板との間距離は広く、ここでは300mmに統一した。

【0168】

図21(b)から分かるように、本発明のスパッタ装置ではイオン反射板電圧が0Vの時は、依然、ステップカバレッジは非対称となっているが、イオン反射板電圧が50V以上の時はほとんど対称になっている。さらに、図21(c)から分かるように、実効基板電圧の絶対値が135Vでは右側面のCu量が多くなり、185Vでは左側面のCu量が多くなっている。これは、イオンによって物理エッチングされた右側面のCuが左側面に再付着するためである。すなわち、本発明のスパッタ装置を用い、実効基板電圧を調整すれば、成膜形状を対称とすることができる。

40

【0169】

また、イオン反射板に実効電圧（イオン反射板の電位 - プラズマ電位 > 0 となる電圧）が印加されると、正イオンは正電位に反発してプラズマ中に押し戻される。つまり、カソー

50

ド（ターゲット）にも反射イオンが入射する。カソード負電圧は、カソード近傍で放電を維持するのに必要な数の正イオンを保持している。しかし、反射イオンがターゲットに直接入射するため、カソード負電圧の絶対値を小さくしても、放電を維持することが可能となる。成膜速度はイオン数とターゲット/プラズマ間の電界で決まり、イオン数と電界が大きいほど、成膜速度が大きくなる。つまり、イオン反射板を用いれば、カソード電圧の絶対値を下げられるため、ターゲットに衝突するイオン数を同じに保っても成膜速度が速くなりすぎるのを抑えられる。

【0170】

また、成膜途中でイオン反射板に印加する正電圧値を調整したり、基板に印加する負電圧を調整することで、より効果的に段差被覆性を制御することが可能となる。

10

【0171】

また、成膜途中でArを導入して物理エッチング量を調整することで、所望のアスペクト比の接続孔の内面の膜厚を調整することもできる。また、HeやH₂などの質量数の小さいガスを導入しても良い。質量数の小さい原子は物理エッチング能力が低く、接続孔底部の物理エッチングを抑えられるだけでなく、自己維持放電が不安定になり易い低電力でも、放電を安定化することができる。

【0172】

（第3の実施形態）

本実施形態では、第1の実施形態で説明したスパッタ装置を用いた、Ti膜の形成方法について説明する。

20

【0173】

Tiは半導体装置に広く用いられる材料であり、本実施形態では基板上に形成された層間絶縁膜に接続孔を開口し、この接続孔の底面にTi膜を厚く形成する方法について説明する。

【0174】

まず、基板上に接続孔を有する層間絶縁膜が形成されてなる試料を用意し、この試料を第1の実施形態で説明した図4のサセプタ構造を有するスパッタ装置に真空中で搬送する。

【0175】

次にヒーター電極25により昇温された基板保持・加熱部材26上にまで試料を搬送した後、静電チャック電極22に電圧を印加し、基板保持・加熱部材26上に試料を密着させるとともに、ヒーター電極25により試料を加熱する。

30

【0176】

次にガス供給系によりスパッタ室2内にスパッタガスとしてArを導入し、イオン反射板5に正電圧を印加し、ターゲット4に負電圧を印加して放電を発生させる。次に試料に高周波交流を印加する。

【0177】

本実施形態では、基板表面が層間絶縁膜で覆われているため、高周波交流電力を整合器21を介して基板に投入しているが、この場合、自己直流負電圧が基板には誘起される。したがって、クランプ9を用いて基板に直接直流負電圧を印加した第2の実施形態と同様の効果が得られる。このとき、高周波交流電力値を調整することで、基板に誘起する直流負電圧値を調整することができる。

40

【0178】

Tiの場合、第2の実施形態で説明したCuとは異なり、自己放電を維持させるためには高いターゲット電圧値および電流値、ならびにターゲット表面で高い磁束密度が必要になる。

【0179】

このような高いターゲット電圧および電流値を保つためには出力の大きな電源が必要になり、また高い磁束密度を得るためには大きなマグネットが必要になるため、Tiの自己放電を維持できるスパッタ装置を実現するには装置コストがかかるという問題がある。

【0180】

50

そこで、本実施形態では安価なスパッタ装置で放電を安定化させるため、微量のArを導入する。この場合において、安定な放電が維持可能な最小限のAr量に調整し、かつターゲット電流密度を 20 mA/cm^2 以上に調整すると、Arイオンに対するターゲット材料からなるイオンの比率を増加させることができる。したがって、基板に負電圧を印加し、ターゲット材料からなるイオンを基板に引き込むことによって、段差被覆性を改善することができる。

【0181】

ここで、上述したように、ターゲット電流密度を大きくすると成膜速度が速くなり、Ti薄膜を制御性良く形成することが困難になる。しかし、第2の実施形態でも説明したように、イオン反射板を用いた本発明のスパッタ装置では、イオン反射板に印加する正電圧によって、ターゲット電圧をターゲット電流密度とは独立に制御することができる。すなわち、ターゲット電流密度をTiイオンが増加するように調整しても、ターゲット電圧を下げることで成膜速度を制御性のある領域に調整することができる。

10

【0182】

また、本実施形態のように、安定放電の維持が可能な最小限のAr量であれば、基板上のTi膜の物理エッチングを抑えることができる。さらに、本実施形態のように基板1を積極的に加熱してスパッタする場合は、Arイオンの基板衝突による温度上昇による悪影響はない。さらにまた、基板1を加熱しているため、成膜過程でArはガス化してTi膜外に放出されるため、Ti膜中に残留するAr量も低いレベルに抑えられる。

【0183】

第2の実施形態で説明したように、プラズマは、Tiターゲット近傍に拘束されたTiイオンやArイオンからなる高密度プラズマ領域と、浮遊したTiイオンやArイオンからなる低密度プラズマ領域とに分かれる。

20

【0184】

基板負電圧によって引き込まれるTiイオンの多くは低密度プラズマ領域のTiイオンであるが、低密度プラズマ領域中のTiイオンやArイオンの数は少なく、成膜に寄与する中性Ti粒子の数に比べてそのTiイオン比率が低い。したがって、成膜形状に及ぼすTiイオンの効果が十分ではない。

【0185】

さらに、プラズマに晒される領域が接地された防着板である従来のスパッタ装置では、低プラズマ領域で浮遊するTiイオンの多くは接地部品に吸着してしまうため、基板に引き込まれるイオン数が少なくなる。

30

【0186】

そこで、本実施形態のように、正電圧を印加したイオン反射板5を設けた場合には、正に帯電したTiイオンはイオン反射板5から反射し、負電圧を印加した基板へ集率よくイオンを集めることができる。

【0187】

すなわち、本実施形態のように、基板に負電圧を印加して、プラズマに晒される領域に正電圧を印加したイオン反射板5を設けた場合、基板に引き込めるTiイオンを増加させることができる。

40

【0188】

このとき、上述したようにターゲット電流密度を 20 mA/cm^2 以上としてプラズマ中のTiイオンの数を増加させ、かつ基板におけるTi膜の物理エッチングの効果が低くなるようにAr導入量や基板負電圧を調整すれば、接続孔の底面のTi膜厚を厚くすることができる。

【0189】

また、成膜途中でイオン反射板に印加する正電圧値を調整したり、基板負電圧を調整することで、より効果的に段差被覆性を制御することができる。

【0190】

また、成膜途中でArの導入量を増やし、物理エッチング量を調整することで、所望のA

50

スペクト比の接続孔の内面の膜厚を制御することができる。

【0191】

また、Arの代わりに、スパッタ室2内にH₂やHeのような軽元素を導入しても良い。H₂やHeは質量数が小さいため、Tiなどの質量数の大きな原子に対するスパッタイールドは低い。したがって、基板におけるTi膜の物理エッチングを抑えられ、かつH₂やHeのような軽元素は運動エネルギーが小さいので基板衝突による基板温度の上昇も抑えられる。

【0192】

また、H₂やHeの導入により、放電の安定性も確保できる。特に、H₂は活性なガスでありTiのイオン化にも寄与し、基板表面におけるTiイオン/Ti中性原子比率を高めることができる。

10

【0193】

また、本実施形態では、Ti膜のスパッタ成膜について説明したが、本発明はAl、Nb、Ta、Wなどを主成分とする単一元素からなる膜のスパッタ成膜にも適用でき、さらにAlCu、AlSiCuなど複数元素からなる膜のスパッタ成膜にも適用できる。

【0194】

(第4の実施形態)

本実施形態では、第1の実施形態で説明したスパッタ装置を用いた、CuのDD配線プロセス(図15、図16参照)におけるバリアメタル膜としてのTa₂N膜の形成方法について説明する。

20

【0195】

配線溝や接続孔の底面や側面からCu配線中のCuが層間絶縁膜中に拡散することを防止するために、Cuのバリアメタル膜として用いられるTa₂N膜は、配線溝や接続孔の内面全てに段差被覆性良く形成されることが望まれる。以下、このような要求を満たすことのできるTa₂N膜の形成方法について詳説する。

【0196】

まず、第2の実施形態と同様に、Si基板上に、第1層間絶縁膜、下層配線、配線溝および接続孔を有する第2層間絶縁膜を形成する(図15(a)、図15(b)参照)。

【0197】

次に基板を本発明のスパッタ装置に真空中で搬送する。本実施形態では、加熱しながらTa₂N膜を形成してTa₂N膜の応力を低下するために、図4に示したサセプタ構造を有するスパッタ装置を用いる。

30

【0198】

次にヒーター電極25により昇温された基板保持・加熱部材26上に基板を搬送した後、静電チャック電極22に電圧を印加して、基板保持・加熱部材26上に基板を密着させるとともに、ヒーター電極25により基板を加熱する。

【0199】

次にスパッタガスとしてAr、反応ガスとしてN₂をスパッタ室2内にガス供給系により導入する。次にイオン反射板5に正電圧を印加する。次にターゲット4に負電圧を印加して放電を発生させる。次に基板に高周波交流電圧を印加する。

40

【0200】

本実施形態では、基板表面が層間絶縁膜で覆われているため、高周波交流電源20からの交流高周波電力を整合器21を介して基板に投入している。この場合、自己直流負荷電圧が基板に誘起される。したがって、クランプ9を用いて基板に直流電流負電圧を印加する第2の実施形態と同様に、基板への正イオンの引き込み効果が得られる。このとき、高周波交流電力の値を調整することで基板に誘起する直流負荷電圧の値を調整することができる。

【0201】

Ta₂N膜の場合、Taターゲットを用い、反応ガスとしてN₂を導入する化成スパッタを用いるため、第2の実施形態で説明したCuのスパッタの場合とは異なり、自己維持スパ

50

ツタはできない。

【0202】

そこで、本実施形態では、ArとN₂との混合ガスの安定放電の維持が可能な最小限の量に調整してArおよびN₂を導入する。このようにArとN₂との混合ガスを必要最小限に導入し、ターゲット電流密度を高めれば、第3の実施形態で説明したように、TaイオンやTaとNが結合した形のTa-Nイオンの比率を増加させることができる。したがって、TaイオンやTa-Nイオンを基板負電圧によって引き込み、段差被覆性を向上することができる。

【0203】

ここで、ターゲット電流密度を増加させると成膜速度が速くなりすぎる問題が起こるが、第2,第3の実施形態でも説明したように、イオン反射を用いた本発明のスパッタ装置では、イオン反射に正電圧を印加することによって、ターゲット電圧をターゲット電流密度とは独立に制御できるため、ターゲット電圧を下げることで成膜速度を制御性のある領域に調整できる。

【0204】

また、プラズマに晒される領域が接地された防着板である従来のスパッタ装置にN₂を導入した化成スパッタでは、低プラズマ領域で浮遊するTaイオンやTa-Nイオン、Nイオンの多くは接地部品に吸着してしまうため、基板に引き込まれるイオン数が少なくなる。

【0205】

しかし、本発明のスパッタ装置のように、正電圧を印加したイオン反射を設けた場合、正に帯電したイオンはイオン反射板から反射し、負電圧を印加した基板へ集率良くイオンを集めることができる。特に、本発明のスパッタ装置を用いた化成スパッタでは、従来の化成スパッタとは異なり、Nイオンも基板に集率良く集めることができるため、バリア性を向上させることができる。

【0206】

化成スパッタには、ターゲット表面を導入したN₂によって窒化してTa-Nをスパッタして成膜するポイズンモードと、ターゲット材料からなるTaスパッタ粒子を成膜しながら基板上で窒化するノンポイズンモードの2つのモードがある。

【0207】

一般に、ポイズンモードはバリア性に優れているが段差被覆性に乏しく、逆にノンポイズンモードはバリア性に乏しいが段差被覆性に優れている。ポイズンモードで段差被覆性が低いのは、ターゲットを窒化するためにN₂を多く導入しなければならないため、ガス散乱の影響が大きくなり、スパッタ粒子の垂直入射成分が減少するためなどである。ノンポイズンモードでバリア性が低いのは、基板表面での窒化が不足するためである。

【0208】

しかし、本発明のスパッタ装置を用いると、イオン反射板と基板の負電圧により基板に引き込まれるNイオンを増加させることができ、基板に形成されたTa-N表面に多くのNイオンを衝突させることができる。したがって、N₂導入量を減らしてガス散乱の影響を少なくしても、十分窒化させることができる。すなわち、イオン反射板によりTaイオンやTa-Nイオンの数を増やして段差被覆性を向上させるだけでなく、同時にバリア性も向上させることができる。

【0209】

また、成膜途中でイオン反射板に印加する正電圧値を調整したり、基板負電圧を調整することで、より効果的に段差被覆性やバリア性を制御することができる。

【0210】

また、成膜途中でArやN₂の導入量を増やすことによって物理エッチング量や窒化量を調整することで、所望のアスペクト比の接続孔の内面の膜厚やバリア性を制御することができる。

【0211】

10

20

30

40

50

また、本実施形態では、T a Nの化成スパッタ成膜について説明したが、T i、W、N bなどの材料からなるターゲットを用い、N₂を導入することで、T i N、W N、N b Nなどの化成スパッタ成膜についても同様に行うことができる。また、T aなどの材料からなるターゲットを用い、O₂を導入することで、T a Oなどの化成スパッタについても同様に行うことができる。

【0212】

なお、本願発明は、上記実施形態に限定されるものではなく、実施段階ではその要旨を逸脱しない範囲で種々に変形することが可能である。さらに、上記実施形態には種々の段階の発明が含まれており、開示される複数の構成要件における適宜な組み合わせにより種々の発明が抽出され得る。例えば、実施形態に示される全構成要件から幾つかの構成要件が削除されても、発明が解決しようとする課題の欄で述べた課題を解決でき、かつ発明の効果の欄で述べられている効果が得られる場合には、この構成要件が削除された構成が発明として抽出され得る。

【0213】

【発明の効果】

以上詳説したように本発明によれば、被処理基体に直接には入射できなかったイオンも、イオン反射板によって反射されて被処理基体に入射することが可能となり、成膜に寄与するイオンの数を増やすことができるので、被覆性の良い成膜が可能となる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1の実施形態に係るスパッタ装置を示す模式図

【図2】第1の実施形態の第1の変形例を説明するための図

【図3】第1の実施形態の第2の変形例を説明するための図

【図4】第1の実施形態の第3の変形例を説明するための図

【図5】第1の実施形態の第4の変形例を説明するための図

【図6】第1の実施形態の第5の変形例を説明するための図

【図7】従来のスパッタ装置、およびターゲット近傍に正電圧が印加された部品があるスパッタ装置のプラズマ電位分布を示す図

【図8】アンバランスマグネットを用いたスパッタ装置およびアンバランスマグネットによる磁界分布を示す図

【図9】図8のスパッタ装置のターゲットと下部接地部品との抵抗およびターゲットと側部接地部品との抵抗を説明するための図

【図10】アンバランスマグネットとイオン反射板を用いた本発明のスパッタ装置（第1の実施形態の第6の変形例）の模式図

【図11】図10のスパッタ装置のイオン反射板に印加する電圧とイオン反射板に流れる電流との関係を示す図

【図12】図10のスパッタ装置のイオン反射板に正電圧を徐々に印加した時の電位分布の推移を示す図

【図13】図12に続く同電位分布の推移を示す図

【図14】イオン反射板長さのイオン反射板内面積、実効イオン反射板電圧および基板電流の依存性を示す図

【図15】本発明の第2の実施形態に係るDDプロセスの工程断面図

【図16】図15に続く同DDプロセスの工程断面図

【図17】イオン反射板が有る場合（本発明）および無い場合（従来）の基板電流密度の基板電圧の依存性を示す図

【図18】Cuの自己維持スパッタにおいて、Cuイオンを基板に引き込むことによってCu膜の段差被覆性が向上する理由を説明するための図

【図19】接続孔の底部内面のCu量とイオン反射板電圧との関係を示す図

【図20】接続孔の底部底面および底部底面を被覆している全Cuの量と実効基板電圧との関係を示す

【図21】対称指標とイオン反射板電圧との関係、および対称指数と実効基板電圧との関

10

20

30

40

50

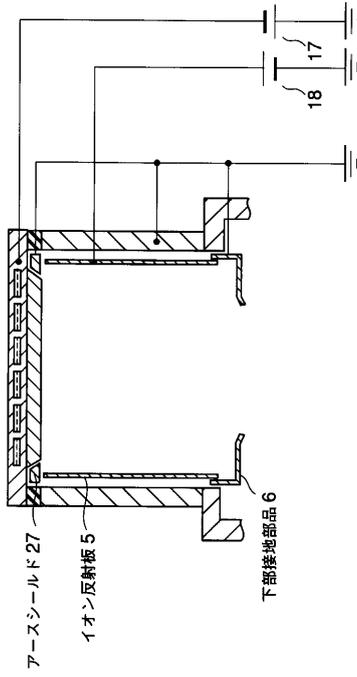
係を示す図

【図 2 2】従来のリングスロースパッタ装置を示す概略図

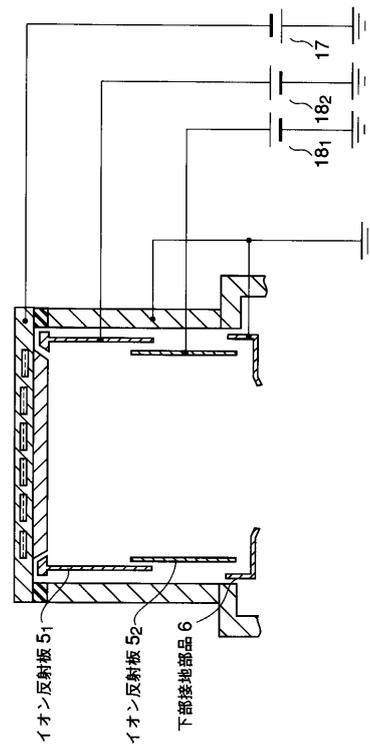
【符号の説明】

- 1 ... 基板
- 2 ... スパッタ室
- 3 ... サセプタ
- 4 ... ターゲット
- 5 ... イオン反射板
- 6 ... 下部接地部品
- 7 ... マグネット 10
- 7 rng1 , 7 rng2... リング状マグネット (アンバランスマグネット)
- 8 ... 第 1 直流電圧源
- 9 ... クランプ
- 1 0 ... 支持体
- 1 1 ... 昇降機
- 1 2₁ ~ 1 2₄ ... 絶縁部材
- 1 3 ... 冷媒
- 1 4 ... 静電チャック板
- 1 5 ... 冷却水路
- 1 6 ... バッキングプレート 20
- 1 7 ... 第 2 直流電圧源
- 1 8 ... 第 3 直流電圧源
- 1 9 ... 側部接地部品
- 2 0 ... 高周波交流電源
- 2 1 ... 整合器
- 2 2 ... 静電チャック電極
- 2 3 ... パルス状直流負電圧電源
- 2 4 ... 非熱伝導体部材
- 2 5 ... ヒーター電極
- 2 6 ... 基板保持・加熱部材 30
- 2 7 ... アースシールド
- 3 1 ... S i 基板
- 3 2 ... 第 1 層間絶縁膜
- 3 3 ... 下層配線
- 3 4 ... 第 2 層間絶縁膜
- 3 5 ... 接続孔
- 3 6 ... 配線溝
- 3 7 ... バリアメタル膜
- 3 8 ... C u シード層

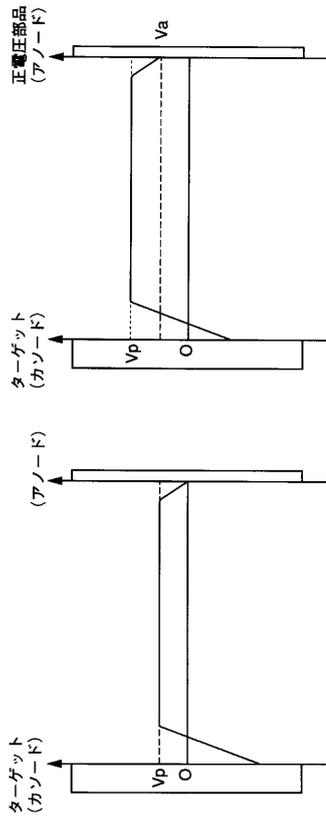
【 図 5 】



【 図 6 】



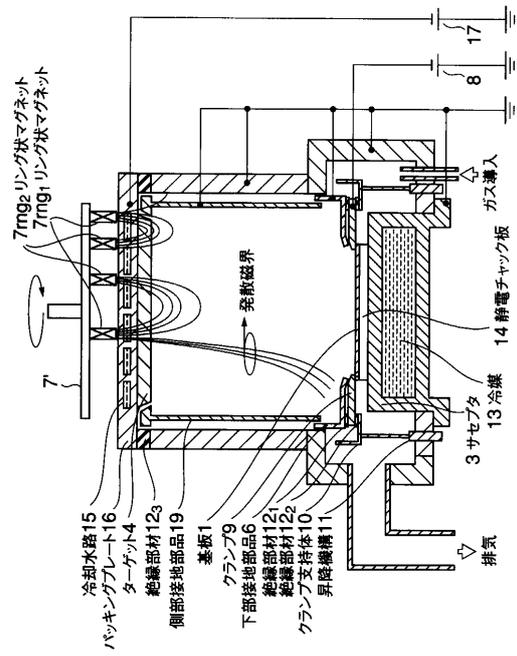
【 図 7 】



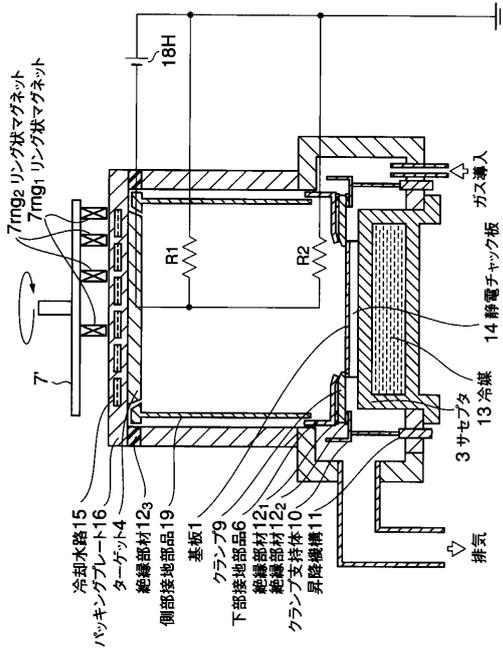
(a) 従来スパッタ装置のプラズマ電位分布

(b) 正電圧部品に正電圧Vaを印加した場合のプラズマ電位分布

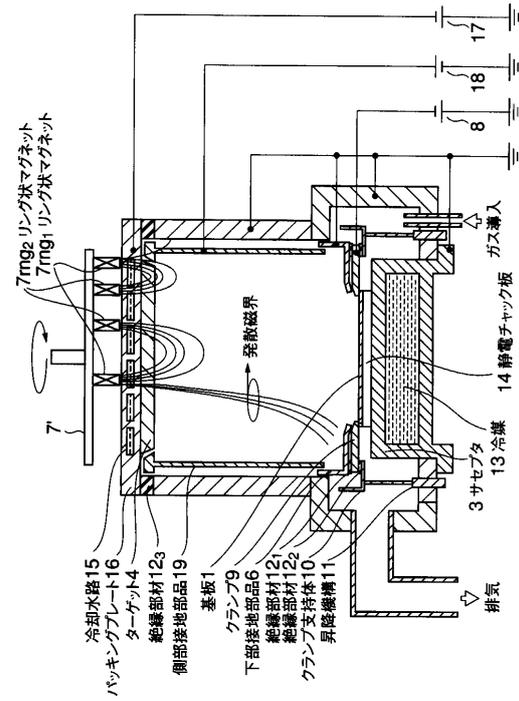
【 図 8 】



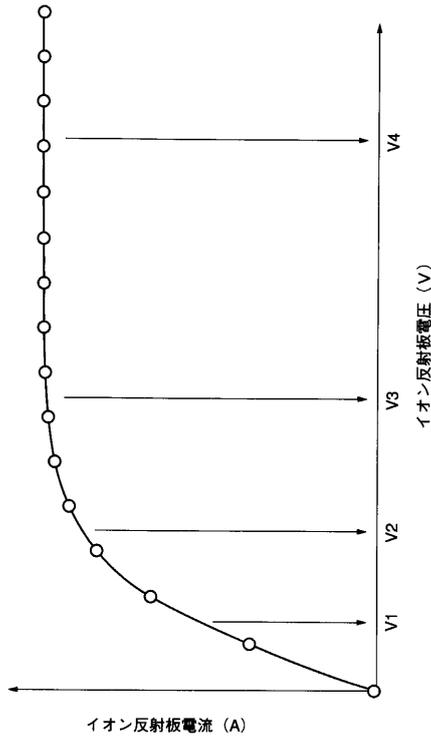
【 図 9 】



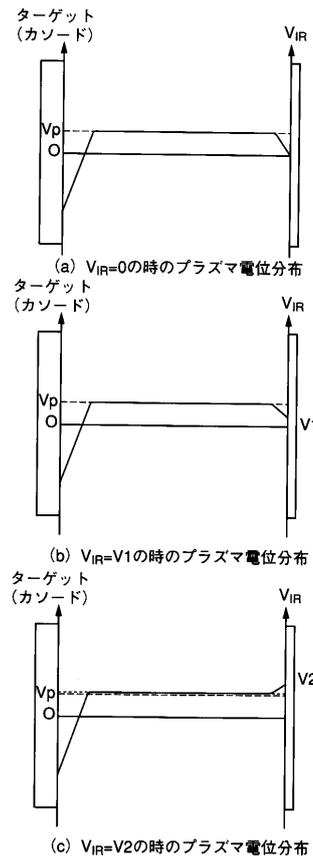
【 図 10 】



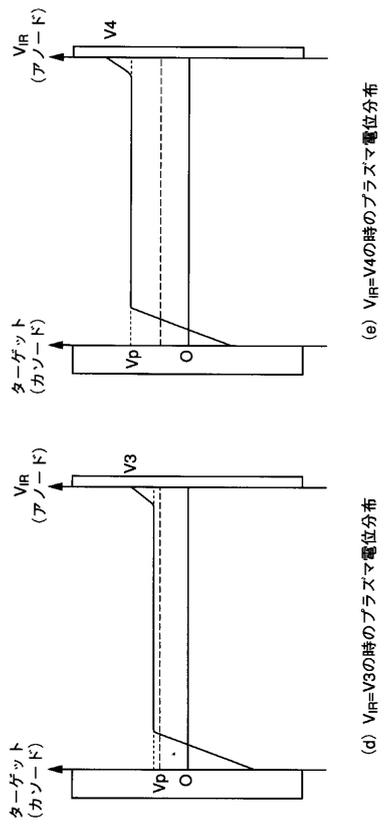
【 図 11 】



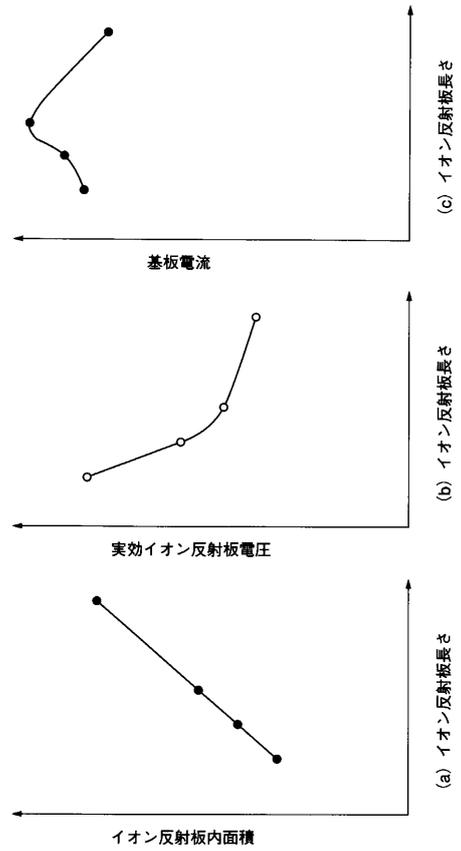
【 図 12 】



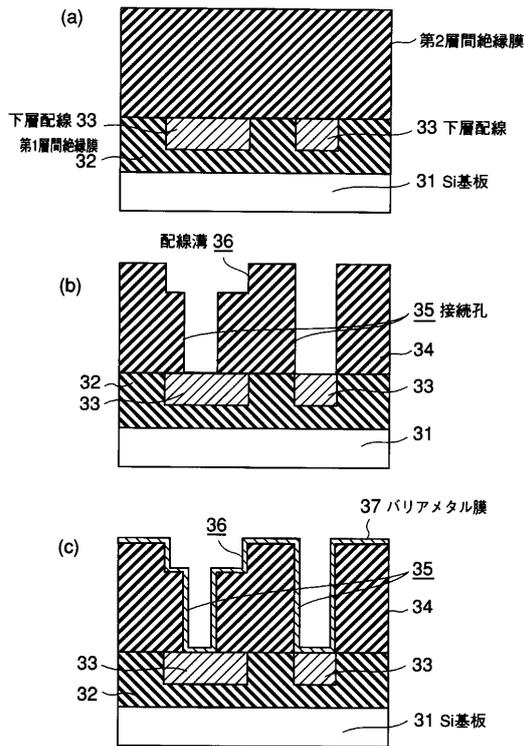
【 図 1 3 】



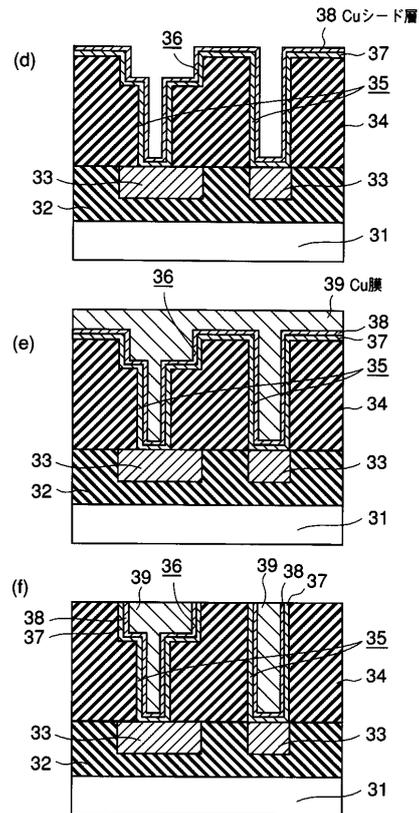
【 図 1 4 】



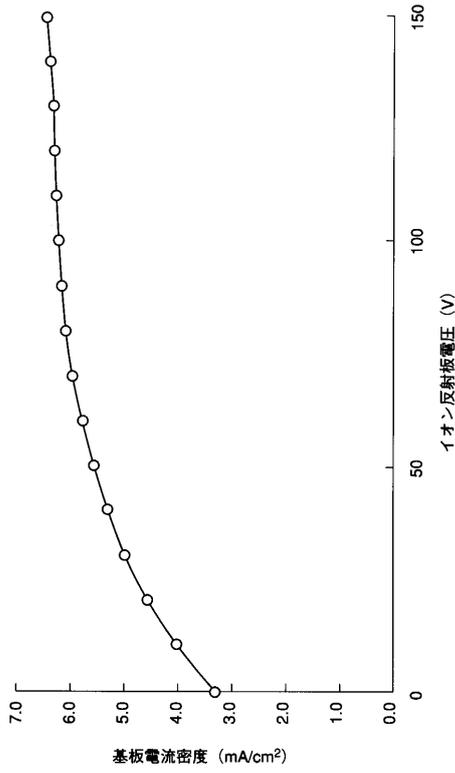
【 図 1 5 】



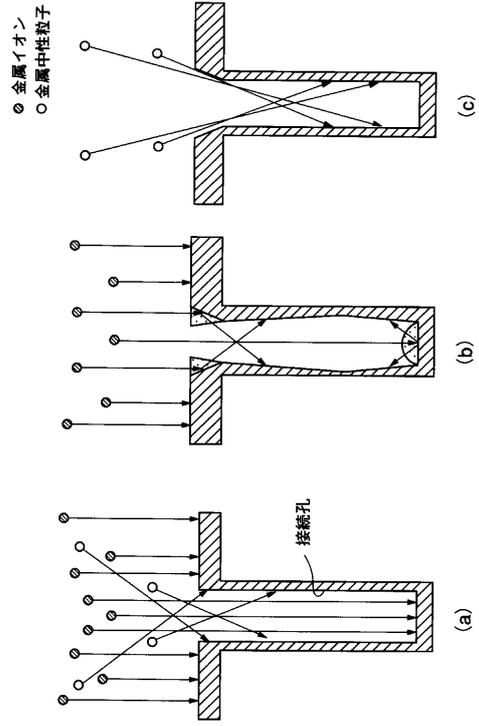
【 図 1 6 】



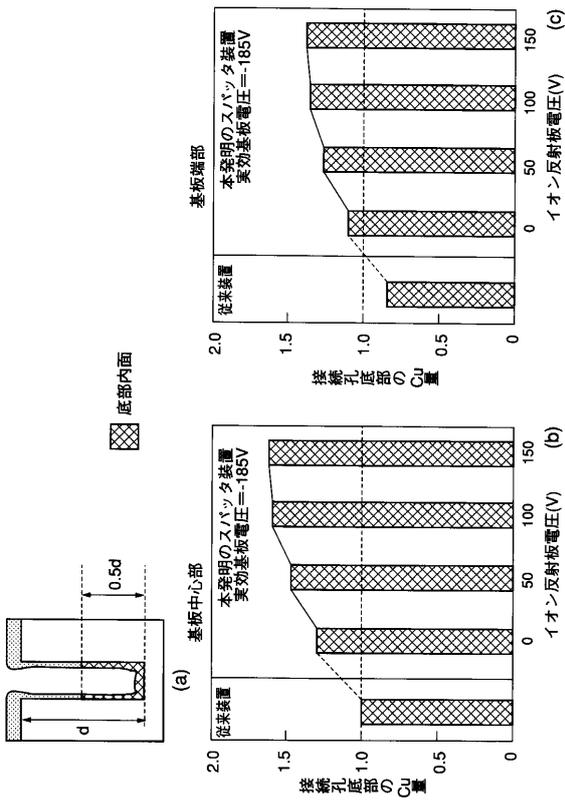
【 図 17 】



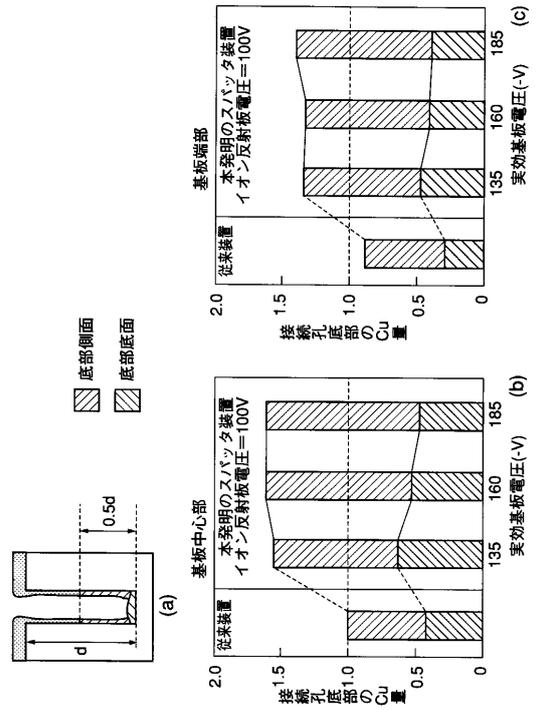
【 図 18 】



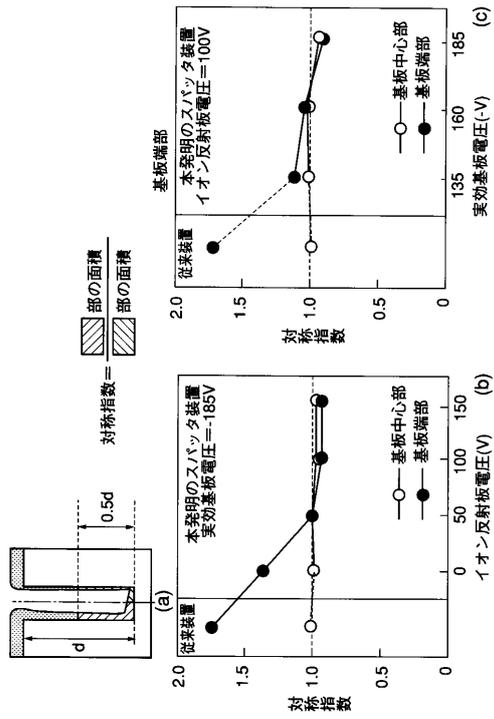
【 図 19 】



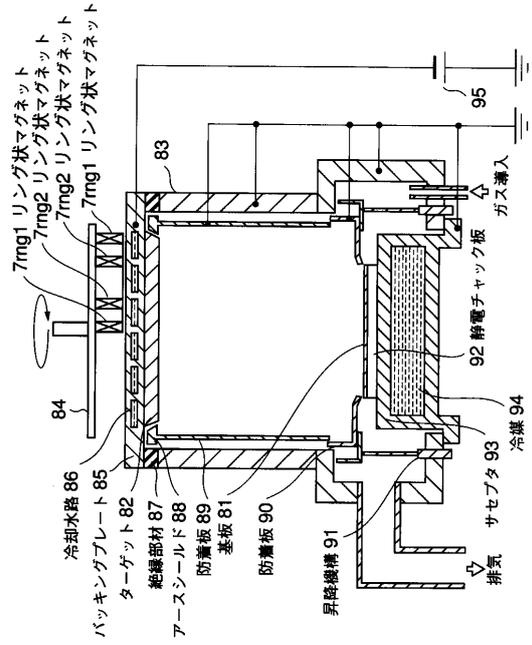
【 図 20 】



【図 2 1】



【図 2 2】



フロントページの続き

- (72)発明者 和田 純一
神奈川県横浜市磯子区新杉田町8番地 株式会社東芝横浜事業所内
- (72)発明者 坂田 敦子
神奈川県横浜市磯子区新杉田町8番地 株式会社東芝横浜事業所内
- (72)発明者 渡邊 光一
神奈川県横浜市磯子区新杉田町8番地 株式会社東芝横浜事業所内
- (72)発明者 松山 日出人
神奈川県横浜市磯子区新杉田町8番地 株式会社東芝横浜事業所内
- (72)発明者 堅田 富夫
神奈川県横浜市磯子区新杉田町8番地 株式会社東芝横浜事業所内

審査官 富永 泰規

- (56)参考文献 特開平04-134719(JP,A)
特開平11-074225(JP,A)
特開2000-188265(JP,A)
特開平04-099176(JP,A)
特開平07-305166(JP,A)
特開2000-282235(JP,A)
特開平02-125871(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

C23C 14/00-14/58
H01L 21/203
H01L 21/285
H01L 21/768