

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第3878027号
(P3878027)

(45) 発行日 平成19年2月7日(2007.2.7)

(24) 登録日 平成18年11月10日(2006.11.10)

(51) Int. Cl.		F I		
H O 1 L	21/66	(2006.01)	H O 1 L	21/66 P
G O 1 B	11/06	(2006.01)	G O 1 B	11/06 Z
G O 1 B	11/24	(2006.01)	G O 1 B	11/24 Z
G O 1 N	21/21	(2006.01)	G O 1 N	21/21 Z

請求項の数 22 (全 13 頁)

(21) 出願番号	特願2002-40506 (P2002-40506)	(73) 特許権者	000219967
(22) 出願日	平成14年2月18日 (2002.2.18)		東京エレクトロン株式会社
(65) 公開番号	特開2003-243467 (P2003-243467A)		東京都港区赤坂五丁目3番6号
(43) 公開日	平成15年8月29日 (2003.8.29)	(74) 代理人	100077849
審査請求日	平成17年2月14日 (2005.2.14)		弁理士 須山 佐一
		(72) 発明者	菊池 俊彦
			東京都港区赤坂五丁目3番6号 TBS放
			送センター 東京エレクトロン株式会社内
		審査官	田代 吉成
		(56) 参考文献	特開平11-316187 (JP, A)

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 偏光解析方法及び光学的膜厚測定装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

測定対象の膜を表面に有する被測定物に所定波長の楕円偏光状態の入射光を所定入射角で照射した時に、前記被測定物から反射する反射光の p 偏光成分と s 偏光成分の位相差 () に基づく値及び振幅比 () に基づく値を理論計算により求めて基準データを得るとともに、

実際に前記被測定物に前記入射光を照射した時に反射する反射光の p 偏光成分と s 偏光成分の位相差 () に基づく値及び振幅比 () に基づく値を測定によって求めて、前記基準データと比較することにより、前記膜の解析を行う偏光解析方法において、

前記基準データを得る際に、前記 p 偏光成分の反射面と、前記 s 偏光成分の反射面とを異ならせて前記理論計算を行うことを特徴とする偏光解析方法。

10

【請求項2】

請求項1記載の偏光解析方法において、

前記比較は少なくとも2つ以上の波長に基づいてなされることを特徴とする偏光解析方法。

【請求項3】

請求項1記載の偏光解析方法において、

前記比較は少なくとも2つ以上の入射角に基づいてなされることを特徴とする偏光解析方法。

【請求項4】

20

請求項 1 ~ 3 いずれか 1 項記載の偏光解析方法において、
前記位相差 () に基づく値は \cos であり、前記振幅比 () に基づく値は \tan であることを特徴とする偏光解析方法。

【請求項 5】

請求項 1 ~ 4 いずれか 1 項記載の偏光解析方法において、
前記被測定物が、
最上層に形成され、光透過性の高い高光透過性材料で構成された第 1 層と、
前記第 1 層の下に設けられ、光透過性の高い高光透過性材料と、光透過性の低い低光透過性材料とで構成される第 2 の層と、
第 2 の層の下に設けられ、光透過性の高い高光透過性材料で構成される第 3 層と、
前記第 3 層の下に設けられ、光透過性の低い低光透過性材料からなる基板と
を有することを特徴とする偏光解析方法。

10

【請求項 6】

請求項 5 記載の偏光解析方法において、
前記第 2 層は、前記高光透過性材料と、前記低光透過性材料が、層平面方向に交互に配置された直線状配線構造を有し、
前記 p 偏光成分の偏光面は前記直線状配線と平行であることを特徴とする偏光解析方法。

【請求項 7】

請求項 6 記載の偏光解析方法において、
前記基板と前記第 3 層との間に、光透過性の高い高光透過性材料と、光透過性の低い低光透過性材料が、層平面方向に交互に配置された直線状配線構造を少なくとも表面に有する第 4 層を有し、
前記第 4 層の直線状配線の方向は、前記第 2 層の直線状配線の方向と直交する方向であることを特徴とする偏光解析方法。

20

【請求項 8】

請求項 7 記載の偏光解析方法において、
前記 s 偏光成分は、前記第 2 層上で反射し、前記 p 偏光成分は前記第 2 層を透過し、前記第 4 層上で反射することを特徴とする偏光解析方法。

【請求項 9】

請求項 5 ~ 8 いずれか一項記載の偏光解析方法において、
前記理論計算における前記第 2 層は、前記 p 偏光成分に対する屈折率と、前記 s 偏光成分に対する屈折率とが異なることを特徴とする偏光解析方法。

30

【請求項 10】

請求項 5 ~ 9 いずれか 1 項記載の偏光解析方法において、
前記光透過性の低い低光透過性材料が金属配線材料であり、前記光透過性の高い高光透過性材料が絶縁性材料であることを特徴とする偏光解析方法。

【請求項 11】

請求項 1 ~ 10 いずれか 1 項記載の偏光解析方法において、
前記測定対象の膜は第 1 層から第 4 層の少なくともいずれか 1 つであって、前記測定対象の膜の膜厚、屈折率、断面形状の少なくともいずれか一つを測定することを特徴とする偏光解析方法。

40

【請求項 12】

測定対象の膜を表面に有する被測定物に所定波長の楕円偏光状態の入射光を所定入射角で照射した時に、前記被測定物から反射する反射光の p 偏光成分と s 偏光成分の位相差 () に基づく値及び振幅比 () に基づく値を理論計算により求めて得られた基準データと、

実際に前記被測定物に前記入射光を照射した時に反射する反射光を測定し、当該測定された反射光の p 偏光成分と s 偏光成分の位相差 () に基づく値及び振幅比 () に基づく値と、

50

を比較し、前記膜の解析を行う光学的膜厚測定装置において、
前記基準データが、前記 p 偏光成分の反射面と、前記 s 偏光成分の反射面とを異ならせて前記理論計算を行い求めたものであることを特徴とする光学的膜厚測定装置。

【請求項 1 3】

請求項 1 2 記載の光学的膜厚測定装置において、
前記比較は少なくとも 2 つ以上の波長に基づいてなされることを特徴とする光学的膜厚測定装置。

【請求項 1 4】

請求項 1 2 記載の光学的膜厚測定装置において、
前記比較は少なくとも 2 つ以上の入射角に基づいてなされることを特徴とする光学的膜厚測定装置。 10

【請求項 1 5】

請求項 1 2 ~ 1 4 いずれか 1 項記載の光学的膜厚測定装置において、
前記位相差 () に基づく値は \cos であり、前記振幅比 () に基づく値は \tan であることを特徴とする光学的膜厚測定装置。

【請求項 1 6】

請求項 1 2 ~ 1 5 いずれか 1 項記載の光学的膜厚測定装置において、
前記被測定物が、
最上層に形成され、光透過性の高い高光透過性材料で構成された第 1 層と、
前記第 1 層の下に設けられ、光透過性の高い高光透過性材料と、光透過性の低い低光透過性材料とで構成される第 2 の層と、
第 2 の層の下に設けられ、光透過性の高い高光透過性材料で構成される第 3 層と、
前記第 3 層の下に設けられ、光透過性の低い低光透過性材料からなる基板と
を有することを特徴とする光学的膜厚測定装置。 20

【請求項 1 7】

請求項 1 6 記載の光学的膜厚測定装置において、
前記第 2 層は、前記高光透過性材料と、前記低光透過性材料が、層平面方向に交互に配置された直線状配線構造を有し、
前記 p 偏光成分の偏光面は前記直線状配線と平行であることを特徴とする光学的膜厚測定装置。 30

【請求項 1 8】

請求項 1 7 記載の光学的膜厚測定装置において、
前記基板と前記第 3 層との間に、光透過性の高い高光透過性材料と、光透過性の低い低光透過性材料が、層平面方向に交互に配置された直線状配線構造を少なくとも表面に有する第 4 層を有し、
前記第 4 層の直線状配線の方法は、前記第 2 層の直線状配線の方法と直交する方法であることを特徴とする光学的膜厚測定装置。

【請求項 1 9】

請求項 1 8 記載の光学的膜厚測定装置において、
前記 s 偏光成分は、前記第 2 層上で反射し、前記 p 偏光成分は前記第 2 層を透過し、前記第 4 層上で反射することを特徴とする光学的膜厚測定装置。 40

【請求項 2 0】

請求項 1 6 ~ 1 9 いずれか 1 項記載の光学的膜厚測定装置において、
前記理論計算における前記第 2 層は、前記 p 偏光成分に対する屈折率と、前記 s 偏光成分に対する屈折率とが異なることを特徴とする光学的膜厚測定装置。

【請求項 2 1】

請求項 1 6 ~ 2 0 いずれか 1 項記載の光学的膜厚測定装置において、
前記光透過性の低い低光透過性材料が金属配線材料であり、前記光透過性の高い高光透過性材料が絶縁性材料であることを特徴とする光学的膜厚測定装置。

【請求項 2 2】

請求項 1 2 ~ 2 1 いずれか 1 項記載の光学的膜厚測定装置において、

前記測定対象の膜は第 1 層から第 4 層の少なくともいずれか 1 つであって、前記測定対象の膜の膜厚、屈折率、断面形状の少なくともいずれか一つを測定することを特徴とする光学的膜厚測定装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、偏光解析方法及び光学的膜厚測定装置に係り、特に半導体装置の製造工程における膜厚測定や、エッチング形状等の断面形状の測定に好適な偏光解析方法及び光学的膜厚測定装置に関する。

10

【0002】

【従来の技術】

従来から、例えば半導体装置の製造プロセスにおける膜厚の検査工程等では、エリプソメータを使用した光学的膜厚測定が利用されている。

【0003】

図 2 は、このようなエリプソメータを使用した光学的膜厚測定の概略を示すものである。同図に示すように、エリプソメータを使用した光学的膜厚測定では、光源 101 からの光を、偏光状態を調整する偏光子 102、位相を調整する補償板 103 の各光学素子を通してることによって、楕円偏光状態の入射光を形成し、サンプル 107 に照射する。

【0004】

20

そして、サンプル 107 からの反射光の光路上に、偏光状態を調べるための検光子 104、所定波長の光を選択するための分光器 105、検出器 106 を設けて反射光の各波長について偏光状態を測定し、スペクトルを得る。

【0005】

例えば、図 3 に示すように、Si 基板 202 上に成膜された酸化膜（ゲート酸化膜など）201 の膜厚を測定する場合、上記のようにして、空気（屈折率 = n_0 ）200 中から角度 θ で照射された楕円偏光状態の入射光は、酸化膜（屈折率 = n_1 ）201 表面で反射するとともに、そのほとんどは酸化膜 201 内に入射する。そして、酸化膜 201 内に入射した光は、Si 基板 202 界面（基板面）（屈折率 = n_2 ）で反射して酸化膜 201 内から空気 200 中に戻り、酸化膜 201 表面での反射光と偏光干渉する。

30

【0006】

上記のような光について、それぞれ p 偏光成分と s 偏光成分を計算し、それぞれの位相差と振幅比 から膜厚が算出される。

【0007】

Si 基板 202 面での反射光の p 偏光成分（ r_{1p} ）と、s 偏光成分（ r_{1s} ）は、それぞれ以下の式によって計算される。

$$r_{1p} = (n_2 \cos \theta_1 - n_1 \cos \theta_2) / (n_2 \cos \theta_1 + n_1 \cos \theta_2)$$

$$r_{1s} = (n_1 \cos \theta_1 - n_2 \cos \theta_2) / (n_1 \cos \theta_1 + n_2 \cos \theta_2)$$

【0008】

また、検出される光の p 偏光成分（ R_p ）と s 偏光成分（ R_s ）は、上記の r_{1p} 、 r_{1s} と、酸化膜 201 面での反射光の p 偏光成分（ r_{0p} ）と、s 偏光成分（ r_{0s} ）から、以下の式により偏光状態が計算される。

40

$$R_p = (r_{0p} + r_{1p} \exp(-2i\delta)) / (1 + r_{0p} \cdot r_{1p} \exp(-2i\delta))$$

$$R_s = (r_{0s} + r_{1s} \exp(-2i\delta)) / (1 + r_{0s} \cdot r_{1s} \exp(-2i\delta))$$

但し（ $\delta = 2 n_1 t \cos \theta_1 / \lambda$ ）

最終的に、

$$R_p / R_s = \tan(\psi) \cdot \exp(-i\delta)$$

を用いて、 \cos と \tan を各波長について計算することで、波長依存スペクトルが得られる。そして、酸化膜 201 の膜厚値 t をパラメータとして実測のスペクトルと理論スペクトルを比較することで、膜厚値 t が算出できる。

50

【0009】

また、図4に示すように、Si基板202上に形成された酸化膜201が、グレーティング構造を有する場合、このグレーティング構造の断面形状の測定も、エリプソメータで可能であり、この場合、図5に示すように、パターン部分をL等分に分割し、グレーティング部分をL層の積層膜として形状を求める方法もある。この方法においては、空気とグレーティング構造の誘電率の混合層が存在し、各界面においてn次回折光が発生するというモデルで断面形状を算出している。この場合、図5に示すグレーティングパターンが無限に繰り返される領域を仮定する。グレーティング構造をL層に分割し各層で空気とグレーティング部分の体積比に基づいて誘電率を算出する。そのL層の積層構造にある角度で光を入射したとき、各層の界面において反射と透過のn次回折光が発生するというモデルを立て、それぞれs偏光成分、p偏光成分の振幅反射率を計算する。最終的にcos と tan の波長依存性から断面形状を求めることができる。

10

【0010】

【発明が解決しようとする課題】

上述した膜厚測定方法、断面形状測定方法のいずれも、基板面（下層の反射面）がSi、Al、Cu等の光の吸収係数kが大きい材料（光透過性の低い低光透過性材料）からなり、膜厚が厚く、平坦な非透過性の場合に適用可能である。

【0011】

しかしながら、上述した膜厚測定方法及び断面形状測定方法膜厚では、測定する対象である酸化膜の下層に多層配線構造を有する試料の場合、膜厚測定及び断面形状測定を行うことができないという問題がある。

20

【0012】

すなわち、例えば、図6に示す試料の場合、図6(a)に示すように、膜厚を測定する対象である酸化膜301からなるa層の下層に、金属配線302と層間絶縁膜303からなるb層、金属配線304と層間絶縁膜305からなるc層が形成され、同図(b)、(c)に示すように、b層の金属配線302とc層の金属配線304とが直交するように形成された多層配線構造を有する。このような多層配線構造のうち、酸化膜301及び層間絶縁膜303、305は、二酸化シリコン等の光透過性の高い高光透過性材料から構成され、金属配線302、304は、Cu、Al、W等の光透過性の低い低光透過性材料から構成されている。なお、図6(a)中、306、307は、SiN膜やSiC膜等からなり、CMP（Chemical Mechanical Polishing）工程で利用されるストッパー層である。

30

【0013】

また、図7に示す試料の場合、さらに、酸化膜301が、グレーティング構造を有する。

【0014】

上記のような多層配線構造を有する試料の場合、下層の反射面の構造が複雑であるため、理論スペクトルを計算するに当たって、a層の表面とa層とb層の界面とで反射するとして理論スペクトルを計算したり、a層の表面とb層とc層の界面で反射するとして理論スペクトルを計算しても、膜厚測定及び断面形状測定を行うことができなかった。

【0015】

このため、従来においては、多層配線構造上に形成された膜の膜厚測定等を行う場合、製造工程中に、製品ウエハとは別にテストピースウエハを投入し、テストピースウエハ（ベアSi）上に測定対象となる膜を形成し、光学的手法により膜厚測定を行っている。

40

【0016】

また、エッチング形状の測定の場合についても、テストピースウエハを投入し、成膜、レジスト塗布、露光、エッチングの工程を行って、断面をSEMで観察し、形状の管理を行っている。

【0017】

このため、いずれの場合も、テストピースウエハ数だけ製造コストが増すことになるという問題があった。

【0018】

50

また、チップ内に膜厚測定あるいはエッチング形状測定のモニタリングパターンを設け、その位置を従来方法で測定することも可能である。しかし、ＩＣの高集積化に伴い、チップ内にある程度の大きさをもったモニタリングパターンを設けることは困難になってきている。また、仮に設けたとしてもパターンが大きいため、ＣＭＰの工程処理で、図８に示すように金属配線３０２の表面がおわん型に削れるディッシングが起こり、金属配線３０２との界面を反射面として膜厚等を測定する場合、測定精度が悪化するという問題がある。

【００１９】

したがって、多層配線上に形成された膜の膜厚及び断面形状を測定、管理するためには、製品ウエハの任意の位置を非破壊、高スループットで測定する方法の開発が求められている。

10

【００２０】

本発明は、かかる従来の事情に対処してなされたもので、多層配線上に形成された膜の膜厚測定及び断面形状測定を、非破壊かつ高スループットで行うことのできる偏光解析方法及び光学的膜厚測定装置を提供しようとするものである。

【００２１】

【課題を解決するための手段】

すなわち、請求項１記載の発明は、測定対象の膜を表面に有する被測定物に所定波長の楕円偏光状態の入射光を所定入射角で照射した時に、前記被測定物から反射する反射光のｐ偏光成分とｓ偏光成分の位相差（ ）に基づく値及び振幅比（ ）に基づく値を理論計算により求めて基準データを得るとともに、実際に前記被測定物に前記入射光を照射した時に反射する反射光のｐ偏光成分とｓ偏光成分の位相差（ ）に基づく値及び振幅比（ ）に基づく値を測定によって求めて、前記基準データと比較することにより、前記膜の解析を行う偏光解析方法において、前記基準データを得る際に、前記ｐ偏光成分の反射面と、前記ｓ偏光成分の反射面とを異ならせて前記理論計算を行うことを特徴とする。

20

【００２２】

請求項２の発明は、請求項１記載の偏光解析方法において、前記比較は少なくとも２つ以上の波長に基づいてなされることを特徴とする。

【００２３】

請求項３の発明は、請求項１記載の偏光解析方法において、前記比較は少なくとも２つ以上の入射角に基づいてなされることを特徴とする。

30

【００２４】

請求項４の発明は、請求項１～３いずれか１項記載の偏光解析方法において、前記位相差（ ）に基づく値は \cos であり、前記振幅比（ ）に基づく値は \tan であることを特徴とする。

【００２５】

請求項５の発明は、請求項１～４いずれか１項記載の偏光解析方法において、前記被測定物が、最上層に形成され、光透過性の高い高光透過性材料で構成された第１層と、前記第１層の下に設けられ、光透過性の高い高光透過性材料と、光透過性の低い低光透過性材料とで構成される第２の層と、第２の層の下に設けられ、光透過性の高い高光透過性材料で構成される第３層と、前記第３層の下に設けられ、光透過性の低い低光透過性材料からなる基板とを有することを特徴とする。

40

【００２６】

請求項６の発明は、請求項５記載の偏光解析方法において、前記第２層は、前記高光透過性材料と、前記低光透過性材料が、層平面方向に交互に配置された直線状配線構造を有し、前記ｐ偏光成分の偏光面は前記直線状配線と平行であることを特徴とする。

【００２７】

請求項７の発明は、請求項６記載の偏光解析方法において、前記基板と前記第３層との間に、光透過性の高い高光透過性材料と、光透過性の低い低光透過性材料が、層平面方向に交互に配置された直線状配線構造を少なくとも表面に有する第４層を有し、前記第４層の

50

直線状配線の方向は、前記第2層の直線状配線の方向と直交する方向であることを特徴とする。

【0028】

請求項8の発明は、請求項7記載の偏光解析方法において、前記s偏光成分は、前記第2層上で反射し、前記p偏光成分は前記第2層を透過し、前記第4層上で反射することを特徴とする。

【0029】

請求項9の発明は、請求項5～8いずれか1項記載の偏光解析方法において、前記理論計算における前記第2層は、前記p偏光成分に対する屈折率と、前記s偏光成分に対する屈折率とが異なることを特徴とする。

【0030】

請求項10の発明は、請求項5～9いずれか1項記載の偏光解析方法において、前記光透過性の低い低光透過性材料が金属配線材料であり、前記光透過性の高い高光透過性材料が絶縁性材料であることを特徴とする。

【0031】

請求項11の発明は、請求項1～10いずれか1項記載の偏光解析方法において、前記測定対象の膜は第1層から第4層の少なくともいずれか1つであって、前記測定対象の膜の膜厚、屈折率、断面形状の少なくともいずれか一つを測定することを特徴とする。

請求項12の発明は、測定対象の膜を表面に有する被測定物に所定波長の楕円偏光状態の入射光を所定入射角で照射した時に、前記被測定物から反射する反射光のp偏光成分とs偏光成分の位相差()に基づく値及び振幅比()に基づく値を理論計算により求めて得られた基準データと、実際に前記被測定物に前記入射光を照射した時に反射する反射光を測定し、当該測定された反射光のp偏光成分とs偏光成分の位相差()に基づく値及び振幅比()に基づく値と、を比較し、前記膜の解析を行う光学的膜厚測定装置において、前記基準データが、前記p偏光成分の反射面と、前記s偏光成分の反射面とを異ならせて前記理論計算を行い求めたものであることを特徴とする。

請求項13の発明は、請求項12記載の光学的膜厚測定装置において、前記比較は少なくとも2つ以上の波長に基づいてなされることを特徴とする。

請求項14の発明は、請求項12記載の光学的膜厚測定装置において、前記比較は少なくとも2つ以上の入射角に基づいてなされることを特徴とする。

請求項15の発明は、請求項12～14いずれか1項記載の光学的膜厚測定装置において、前記位相差()に基づく値は \cos であり、前記振幅比()に基づく値は \tan であることを特徴とする。

請求項16の発明は、請求項12～15いずれか1項記載の光学的膜厚測定装置において、前記被測定物が、最上層に形成され、光透過性の高い高光透過性材料で構成された第1層と、前記第1層の下に設けられ、光透過性の高い高光透過性材料と、光透過性の低い低光透過性材料とで構成される第2の層と、第2の層の下に設けられ、光透過性の高い高光透過性材料で構成される第3層と、前記第3層の下に設けられ、光透過性の低い低光透過性材料からなる基板とを有することを特徴とする。

請求項17の発明は、請求項16記載の光学的膜厚測定装置において、前記第2層は、前記高光透過性材料と、前記低光透過性材料が、層平面方向に交互に配置された直線状配線構造を有し、前記p偏光成分の偏光面は前記直線状配線と平行であることを特徴とする。

請求項18の発明は、請求項17記載の光学的膜厚測定装置において、前記基板と前記第3層との間に、光透過性の高い高光透過性材料と、光透過性の低い低光透過性材料が、層平面方向に交互に配置された直線状配線構造を少なくとも表面に有する第4層を有し、前記第4層の直線状配線の方向は、前記第2層の直線状配線の方向と直交する方向であることを特徴とする。

請求項19の発明は、請求項18記載の光学的膜厚測定装置において、前記s偏光成分は、前記第2層上で反射し、前記p偏光成分は前記第2層を透過し、前記第4層上で反射

10

20

30

40

50

することを特徴とする。

請求項 20 の発明は、請求項 16 ~ 19 いずれか 1 項記載の光学的膜厚測定装置において、前記理論計算における前記第 2 層は、前記 p 偏光成分に対する屈折率と、前記 s 偏光成分に対する屈折率とが異なることを特徴とする。

請求項 21 の発明は、請求項 16 ~ 20 いずれか 1 項記載の光学的膜厚測定装置において、前記光透過性の低い低光透過性材料が金属配線材料であり、前記光透過性の高い高光透過性材料が絶縁性材料であることを特徴とする。

請求項 22 の発明は、請求項 12 ~ 21 いずれか 1 項記載の光学的膜厚測定装置において、前記測定対象の膜は第 1 層から第 4 層の少なくともいずれか 1 つであって、前記測定対象の膜の膜厚、屈折率、断面形状の少なくともいずれか一つを測定することを特徴とする。

10

【0032】

【発明の実施の形態】

以下、本発明の詳細を、実施の形態について図面を参照して説明する。

【0033】

図 1 は、前述した図 6 に示した多層配線構造を有する試料の酸化膜 301 の膜厚 (t_A) を測定する場合の例を示すもので、同図では、説明を簡単にするために、図 6 に示したストッパー層 306, 307 については、図示を省略してある。また、同図において、(a) は、照射された光のうちの s 偏光成分の挙動を示しており、(b) は、p 偏光成分の挙動を示している。なお、測定に使用されるエリプソメータの構成は、前述した図 2 に示されるように、光源 101、偏光子 102、補償板 103、検光子 104、分光器 105、検出器 106 等から構成されている。

20

【0034】

図 1 (a) に示すように、屈折率が N_0 の空気 300 中から、屈折率が N_A の酸化膜 301 からなる A 層に照射された入射光の s 偏光成分は、その一部が反射角 θ_0 で A 層の表面から反射され (r_{0s})、残りが A 層内に入射する。

【0035】

そして、A 層内に入射した s 偏光成分は、A 層を通過して、金属配線 302 と層間絶縁膜 303 からなる B 層との界面に到達するが、s 偏光成分は、金属配線 302 の配線方向 (配線の長手方向) と垂直な方向に振幅しているため、B 層の金属配線 302 間に形成された層間絶縁膜 303 形成領域を通過することができず、B 層との界面において反射角 θ_1 で反射される。この反射光の振幅反射率 r_{1s} は、

30

$$r_{1s} = (N_A \cos \theta_1 - N_B \cos \theta_2) / (N_A \cos \theta_1 + N_B \cos \theta_2)$$

で表せる。なお、 N_B は、B 層の s 偏光成分に対する屈折率である。

【0036】

この反射光 (r_{1s}) が、B 層を通過し、A 層表面で反射した反射光 (r_{0s}) と干渉するが、その干渉光の振幅反射率 R_s は、

$$R_s = (r_{0s} + r_{1s} \exp (- 2 i)) / (1 + r_{0s} \cdot r_{1s} \exp (- 2 i))$$

但し、

$$= 2 N_A t_A \cos \theta_1 /$$

40

$$r_{0s} = (N_0 \cos \theta_0 - N_A \cos \theta_1) / (N_0 \cos \theta_0 + N_A \cos \theta_1)$$

である。

【0037】

一方、図 1 (b) は、照射された光のうちの p 偏光成分の挙動を示している。屈折率が N_0 の空気 300 中から、屈折率が N_A の酸化膜 301 からなる A 層に照射された入射光の p 偏光成分は、その一部が反射角 θ_0 で A 層の表面から反射され (r_{0p})、残りが A 層内に入射する。

【0038】

そして、A 層内に入射した p 偏光成分は、A 層を通過して、金属配線 302 と層間絶縁膜 303 からなる B 層との界面に到達するが、p 偏光成分は、金属配線 302 の配線方向 (

50

配線の長手方向)と平行な方向に振幅しているため、B層の金属配線302間に形成された層間絶縁膜303形成領域を通過することができる。そして、この通過したp偏光成分は、さらに、層間絶縁膜303のみからなるC層を通過して、金属配線304と層間絶縁膜305からなるD層との界面に到達する。なお、同図に示されるとおり、B層との界面、C層との界面において、一部のp偏光成分は、反射角 θ_1 、 θ_2 で反射される。

【0039】

D層の金属配線304は、p偏光成分の振幅方向に対して垂直であるので、p偏光成分は、D層の金属配線304間に形成された層間絶縁膜305形成領域を通過することができず、D層との界面に到達したp偏光成分は、ここで、反射角 θ_3 で反射される。この反射光の振幅反射率 r_{3p} は、

$$r_{3p} = (N_D \cos \theta_3 - N_C \cos \theta_4) / (N_D \cos \theta_3 + N_C \cos \theta_4)$$

で表せる。

【0040】

s偏光成分に対するB層と、p偏光成分に対するD層は、実質的に基板面(非透過面)のように作用しているので、s偏光成分に対するB層の屈折率 N_{Bs} と、p偏光成分に対するD層の屈折率 N_D の間には、 $N_D = N_{Bs}$ が成立する。但し、B層とC層の金属配線の線幅及び間隔が等しい場合に限る。

【0041】

D層との界面で反射した反射光(r_{3p})は、C層を通過し、C層との界面で反射した反射光(r_{2p})と干渉するが、この干渉光の振幅反射率 R_{2p} は、

$$R_{2p} = (r_{2p} + r_{3p} \exp(-2i)) / (1 + r_{2p} \cdot r_{3p} \exp(-2i))$$

但し、

$$r_{2p} = 2 N_C t_C \cos \theta_3 / (N_C \cos \theta_2 - N_B p \cos \theta_3) / (N_C \cos \theta_2 + N_B p \cos \theta_3)$$

である。

【0042】

ここで、B層について説明すると、既にs偏光成分の計算において、B層の屈折率を N_{Bs} と定義したが、B層は膜厚により屈折率が変化するCu、W、Al等の金属を含む層である。このような層の場合、s偏光成分に対して基板面(非透過面)のように機能する場合と、p偏光成分に対して透過膜として機能する場合の屈折率は異なり、 $N_{Bs} \neq N_{Bp}$ である。

【0043】

前述した干渉光(R_{2p})がB層を通過する場合も同様に考えると、B層での振幅反射率 R_{1p} は、

$$R_{1p} = (r_{1p} + R_{2p} \exp(-2i)) / (1 + r_{1p} \cdot R_{2p} \exp(-2i))$$

但し、

$$r_{1p} = 2 N_B p t_B \cos \theta_2 / (N_B p \cos \theta_1 - N_A \cos \theta_2) / (N_B p \cos \theta_1 + N_A \cos \theta_2)$$

である。最終的に、A層表面での振幅反射率 R_p は、

$$R_p = (r_{0p} + R_{1p} \exp(-2i)) / (1 + r_{0p} \cdot R_{1p} \exp(-2i))$$

但し、

$$r_{0p} = 2 N_A t_A \cos \theta_1 / (N_A \cos \theta_0 - N_0 \cos \theta_1) / (N_A \cos \theta_0 + N_0 \cos \theta_1)$$

となる。

【0044】

以上のようにして、基板面(非透過面)のように作用する反射面を、s偏光成分とp偏光成分でそれぞれ分けて計算した振幅反射率 R_s 、 R_p から、s偏光成分とp偏光成分の振幅比と位相差の関数である $\tan \delta$ と $\cos \delta$ が、以下の式から計算できる。

$$R_s / R_p = \tan \delta \cdot \exp(-i\delta)$$

【0045】

10

20

30

40

50

以上は、任意の波長 について説明したもので、連続する複数の波長について、 \tan と \cos を計算することで、基準データとなる $-\tan$ と $-\cos$ のスペクトルデータが得られる。

【0046】

そして、異なるA層の膜厚 t_A に関してこのように求められた基準データのスペクトルデータと、実際に測定して得られた実測のスペクトルデータとを、膜厚及び膜質に関するパラメータを振って比較し、その誤差を示す統計量が最小あるいは最大となる膜厚を出力値とする方法で、多層配線上に形成された酸化膜301(A層)の膜厚を測定することができる。

【0047】

なお試料が90°回転した状態で、s偏光成分とp偏光成分の反射・透過が逆になるパターンでもよい。

【0048】

また、上述したように、s偏光成分とp偏光成分が、それぞれ異なる面で反射するとして、 \tan と \cos の波長依存性を計算し、実測スペクトルと比較する方法は、図7に示したように、グレーティング構造のエッチング形状測定等の断面形状測定にも適用可能である。最上層に形成された断面形状算出に関しては、図5に示したようにパターン部分をn等分に分割し、グレーティング部分をn層の積層膜として形状を求める方法を使用する。

【0049】

さらに、上記の実施形態では、B層とD層に、互いに直交する金属配線302, 304が形成されている場合について説明したが、下層のD層については、金属配線304ではなく、基板面等の非透過面で構成されているものでも、同様にして適用することができる。

【0050】

さらにまた、波長の代わりに入射角を可変とすることで同様の効果が得られる。例えば図1において入射角 θ を可変にして測定を行うことで \cos と \tan の入射角依存性が得られる。そして前記した式に基づき複数の入射角で計算することで $-\cos$ と $-\tan$ の基準データが得られる。基準データと実測のスペクトルデータを比較することで所望の膜厚及び断面形状に関する物理量を求めることが可能である。

【0051】

【発明の効果】

以上説明したとおり、本発明によれば、多層配線上に形成された膜の膜厚測定及び断面形状測定を、非破壊かつ高スループットで行うことができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の測定法の一実施形態を説明するための図。

【図2】本発明方法に使用するエリプソメータの概略構成を示す図。

【図3】従来の膜厚測定方法を説明するための基板断面の概略構成を示す図。

【図4】従来の断面形状測定方法を説明するための基板断面の概略構成を示す図。

【図5】従来の断面形状測定方法を説明するための基板断面の概略構成を示す図。

【図6】従来技術の問題点を説明するための基板断面の概略構成を示す図。

【図7】従来技術の問題点を説明するための基板断面の概略構成を示す図。

【図8】従来技術の問題点を説明するための基板断面の概略構成を示す図。

【符号の説明】

300.....空気、301.....熱酸化膜、302, 304.....金属配線、303, 305...
...層間絶縁膜。

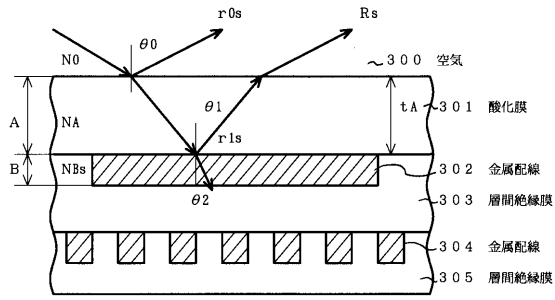
10

20

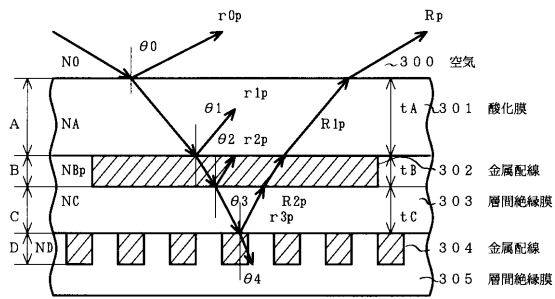
30

40

【図 1】

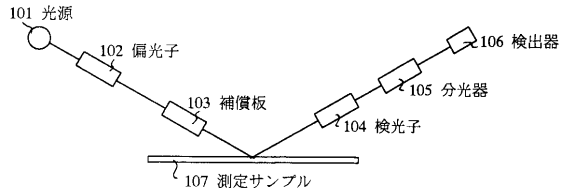


(a) s 偏光

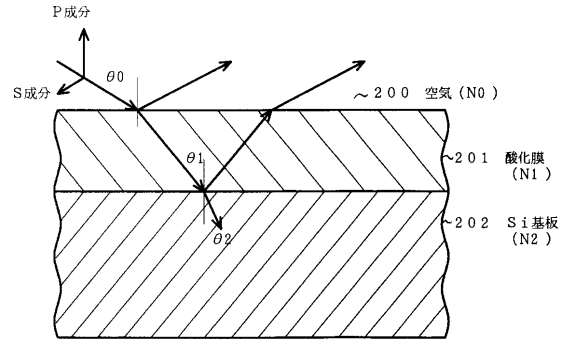


(b) p 偏光

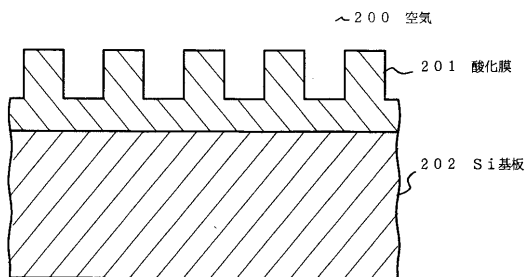
【図 2】



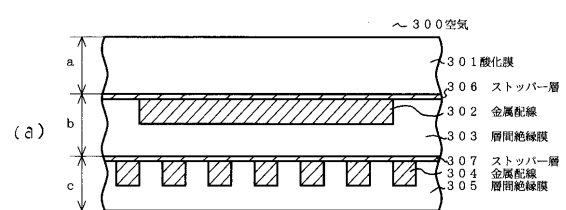
【図 3】



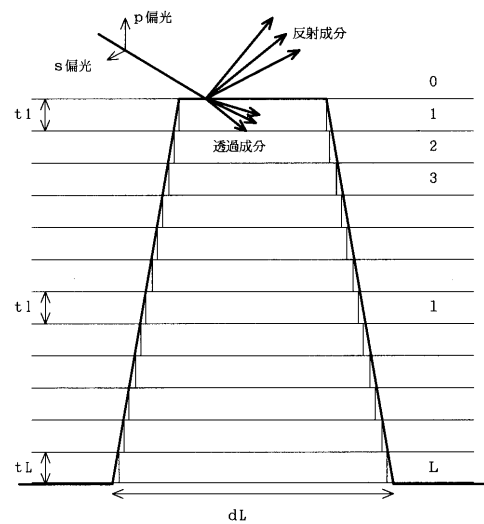
【図 4】



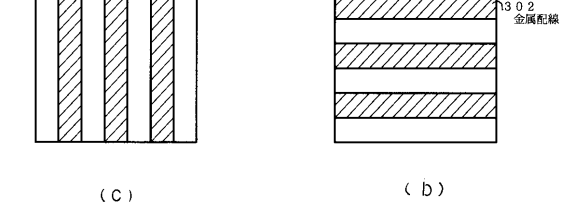
【図 6】



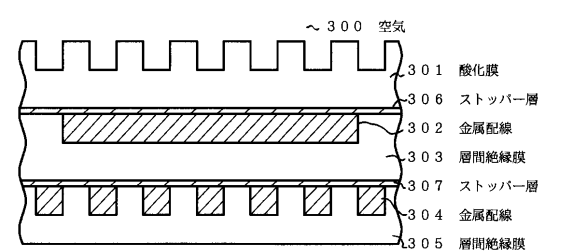
【図 5】



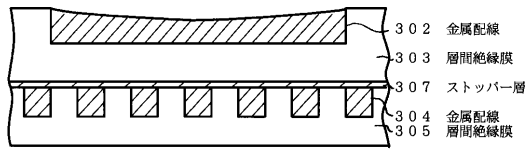
【図 6】



【図 7】



【図 8】



フロントページの続き

(58)調査した分野(Int.Cl. , D B名)

H01L 21/66

G01B 11/06

G01B 11/24

G01N 21/21