

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第3946470号  
(P3946470)

(45) 発行日 平成19年7月18日(2007.7.18)

(24) 登録日 平成19年4月20日(2007.4.20)

(51) Int. Cl.

H 0 1 L 21/66

(2006.01)

F I

H 0 1 L 21/66

請求項の数 12 (全 22 頁)

(21) 出願番号	特願2001-215657 (P2001-215657)	(73) 特許権者	000004260
(22) 出願日	平成13年7月16日(2001.7.16)		株式会社デンソー
(65) 公開番号	特開2002-343842 (P2002-343842A)		愛知県刈谷市昭和町1丁目1番地
(43) 公開日	平成14年11月29日(2002.11.29)	(74) 代理人	100100022
審査請求日	平成15年7月24日(2003.7.24)		弁理士 伊藤 洋二
審査番号	不服2004-24771 (P2004-24771/J1)	(74) 代理人	100108198
審査請求日	平成16年12月2日(2004.12.2)		弁理士 三浦 高広
(31) 優先権主張番号	特願2001-69184 (P2001-69184)	(74) 代理人	100111578
(32) 優先日	平成13年3月12日(2001.3.12)		弁理士 水野 史博
(33) 優先権主張国	日本国(JP)	(72) 発明者	大川 誠
			愛知県刈谷市昭和町1丁目1番地 株式会 社デンソー内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 半導体層の膜厚測定方法及び半導体基板の製造方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

半導体層で構成された活性層(6a)と支持基板(6b)とによって酸化膜(6c)を挟み込んで構成されたSOI基板(6)に対して光を照射し、前記SOI基板からの反射光に基づいて前記活性層の膜厚を測定する膜厚測定方法であって、

前記活性層での光の透過率が10%以上となるように解析波長領域を設定するとともに、前記酸化膜の両面での反射光により、光の干渉が弱められた波長を除くように解析波長領域を設定する工程と、

前記活性層に対して光を照射したことによる反射光を各波長別に分光する工程と、

前記分光された各波長別の光の干渉情報を一括して取得する工程と、

前記解析波長領域における前記干渉情報を用いて、前記活性層の膜厚を算出する工程とを有していることを特徴とする半導体層の膜厚測定方法。

【請求項2】

前記解析波長領域を設定する工程では、

前記酸化膜の屈折率を $n_{ox}$ 、膜厚を $d_{ox}$ とし、 $m$ を任意の正数であるとする、前記解析波長領域を示すとして、

【数 1】

$$\frac{2 \cdot n_{ox} \cdot d_{ox}}{m - 0.98} > \lambda > \frac{2 \cdot n_{ox} \cdot d_{ox}}{m - 0.02}$$

を満たす範囲に設定することを特徴とする請求項 1 に記載の半導体層の膜厚測定方法。

【請求項 3】

前記活性層の膜厚を算出する工程では、前記干渉情報から波長と反射強度との関係を求めると共に、この関係を示した波形の極大値もしくは極小値となる波長を求め、該極大値もしくは極小値となる波長から前記活性層の膜厚を算出することを特徴とする請求項 1 又は 2 に記載の半導体層の膜厚測定方法。

10

【請求項 4】

前記活性層の膜厚を算出する工程では、前記極大値もしくは前記極小値となる波長のうち、前記極小値となる波長から前記活性層の膜厚を算出することを特徴とする請求項 3 に記載の半導体層の膜厚測定方法。

【請求項 5】

前記活性層の膜厚を算出する工程では、任意の極大値もしくは極小値における波長を  $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$ 、波長  $\lambda$  での膜の屈折率を  $n(\lambda)$ 、両波長間の周波数もしくは波数を  $X$ 、単層膜構造と 2 層膜構造における前記極大値もしくは前記極小値となる波長での位相シフト量を  $s_1$ 、 $s_2$  とすると、前記活性層の膜厚  $d$  を、

20

【数 2】

$$d = \frac{\lambda_1 \lambda_2}{\lambda_2 \cdot n(\lambda_1) - \lambda_1 \cdot n(\lambda_2)} \cdot \frac{(X + s_1 - s_2)}{2}$$

にて算出することを特徴とする請求項 3 又は 4 に記載の半導体層の膜厚測定方法。

【請求項 6】

前記位相シフト量  $s_1$ 、 $s_2$  を、前記酸化膜の膜厚と該酸化膜内を通過する光の波長とから求められる該酸化膜の位相値に基づいて求めることを特徴とする請求項 5 に記載の半導体層の膜厚測定方法。

30

【請求項 7】

前記反射光を分光する工程および前記干渉情報を一括して取得する工程では、前記反射光を分光する回折格子 (4a) と該回折格子によって分光された光の各波長別の干渉情報を一括して取得する CCD アレイ (4b) とを備えた分光器 (4) を用いることを特徴とする請求項 1 乃至 6 のいずれか 1 つに記載の半導体層の膜厚測定方法。

【請求項 8】

前記解析波長領域を設定する工程では、前記解析波長領域として、1000nm 以下の波長を設定することを特徴とする請求項 7 に記載の半導体層の計測方法。

【請求項 9】

半導体層で構成された活性層 (6a) と支持基板 (6b) とによって酸化膜 (6c) を挟み込んで構成された SOI 基板 (6) に対し、前記活性層を研磨する研磨工程と、

40

前記研磨中における前記活性層の膜厚を測定する膜厚測定工程と、

前記膜厚測定工程によって前記活性層が所望の膜厚になったことが検出されると、前記研磨を終了させる工程とを有してなる半導体基板の製造方法において、

前記膜厚測定工程では、請求項 1 乃至 8 のいずれか 1 つに記載の半導体層の膜厚測定方法により前記活性層の膜厚の測定を行うことを特徴とする半導体基板の製造方法。

【請求項 10】

前記研磨工程を行っているときに前記膜厚測定工程を行うことを特徴とする請求項 9 に記載の半導体装置の製造方法。

【請求項 11】

50

前記研磨工程では、前記ＳＯＩ基板を回転させることで前記活性層の研磨を行っており、前記ＳＯＩ基板を回転させたままの状態の前記膜厚測定工程を行うことを特徴とする請求項１０に記載の半導体基板の製造方法。

【請求項１２】

半導体層で構成された活性層（６ａ）と支持基板（６ｂ）とによって酸化膜（６ｃ）を挟み込んで構成されたＳＯＩ基板（６）に対して光を照射し、前記ＳＯＩ基板からの反射光に基づいて前記活性層の膜厚を測定する膜厚測定方法であって、

前記活性層での光の透過率が１０％以上となるように解析波長領域を設定するとともに、前記酸化膜の両面での反射光により、光の干渉が弱められた波長を除くように解析波長領域を設定する工程と、

前記活性層に対して光を照射したことによる反射光を各波長別に分光する工程と、

前記分光された各波長別の光の干渉情報を取得する工程と、

前記解析波長領域における前記干渉情報を用いて、前記活性層の膜厚を算出する工程とを有していることを特徴とする半導体層の膜厚測定方法。

【発明の詳細な説明】

【０００１】

【発明の属する技術分野】

本発明は、酸化膜を２枚のシリコン基板で挟み込んだようなＳＯＩ基板における活性層（半導体層）の膜厚計測方法及びＳＯＩ基板のような半導体基板の製造方法に関する。

【０００２】

【従来の技術】

シリコンウェハは、スライス処理後、ラップ処理、エッチング処理を経たのち、ポリッシュ工程が施され、ミラー研磨される。この研磨は、具体的には、複数の回転研磨ブロックに複数枚のウェハをワックス等で貼り付けたのち、研磨布を接着した回転研磨定盤を接着した回転研磨定盤の表面にウェハを押し付けることで行われている。

【０００３】

【発明が解決しようとする課題】

近年では、シリコンウェハの平坦度、平行度に対する要求が厳しくなり、この要求を満たすために、シリコンウェハの厚さの制御を正確に行うことが必要とされている。特に、ＳＯＩ基板を２枚のシリコン基板の貼り合せによって形成する場合、所定厚さの活性層を得るために、研磨時の膜厚制御が重要となる。

【０００４】

しかしながら、従来のＳＯＩ基板の研磨においては、研削・粗研磨の各工程を所定時間行ったのち、ＳＯＩ基板を研磨装置から取り出してから活性層の膜厚測定を行い、さらに、活性層が所望膜厚となるまで調整研磨及び膜厚測定を繰り返し行っていた。すなわち、過度の研磨を行った場合に、そのＳＯＩ基板が使用不能になることから、調整研磨や膜厚測定を繰り返し行わなければならない、その都度、研磨装置から取り出して膜厚測定を行わなければならない。このため、ＳＯＩ基板の研磨に対する作業工程数の増大、作業時間の増大といった問題が生じていた。

【０００５】

これに対し、研磨中に膜厚測定が行え、モニタリングする技術が種々検討されている。そして、その最も有望な方法として、光の干渉を利用した膜厚測定方法が挙げられる（特開平８－２１６０１６号公報参照）。

【０００６】

しかしながら、本発明者らが調査、検討を重ねた結果、光の干渉を利用した膜厚測定においても、各波長毎の干渉情報を取得する間にタイムラグが発生することから、その間に膜厚が変化してしまい、正確な膜厚計測が行えなくなるという問題が発生することが判明した。

【０００７】

また、酸化膜を２枚のシリコン基板で挟み込んだＳＯＩ基板の構成においては、酸化膜が

10

20

30

40

50

同じ光学特性を有する材料で挟まれていることから、酸化膜の両面での反射光によって干渉による光がキャンセルされてしまい、酸化膜厚に応じて光の干渉（光の反射率）が弱まる「節」の部分が発生する。このため、この「節」の付近における波長域で測定が困難になるという問題が発生することが判明した。

【0008】

例えば、活性層の厚さを $5\mu\text{m}$ とし、酸化膜の膜厚を $1\mu\text{m}$ と $2\mu\text{m}$ とした場合において膜厚シミュレーションを行った場合の波長と反射率との関係を図23(a)、(b)に示す。図23(a)に示されるように、光の干渉波形は、波長が $830\text{nm}$ となる付近において極大値となるが、その波長の付近に「節」があると、図23(b)に示すようにその位置が極小値となる。また、ピークとならなかつたりする場合もあれば、極大値となる場合もある。このように、本来のピークとなるべき位置で、正確なピークが取れなくなると、正確な膜厚測定が行えなくなる。

10

【0009】

本発明は上記点に鑑みて、干渉情報を取得するタイムラグを考慮して正確に膜厚計測が行えるようにすることを目的とする。また、光の干渉が弱まる節を考慮して正確に膜厚計測が行えるようにすることを目的とする。

【0010】

【課題を解決するための手段】

上記目的を達成するため、請求項1に記載の発明では、半導体層で構成された活性層(6a)と支持基板(6b)とによって酸化膜(6c)を挟み込んで構成されたSOI基板(6)に対して光を照射し、SOI基板からの反射光に基づいて活性層の膜厚を測定する膜厚測定方法であって、活性層での光の透過率が10%以上となるように解析波長領域を設定するとともに、酸化膜の両面での反射光により、光の干渉が弱められた波長を除くように解析波長領域を設定する工程と、活性層に対して光を照射したことによる反射光を各波長別に分光する工程と、該分光された各波長別の光の干渉情報を一括して取得する工程と、解析波長領域における干渉情報を用いて、活性層の膜厚を算出する工程とを有していることを特徴としている。

20

【0011】

このように、タイムラグが無いように干渉情報を一括して取得すると共に、光の干渉が弱められた波長、つまり「節」を除くように解析波長領域を設定しているため、正確な波数やピーク値に基づいて活性層の膜厚測定を行うことが可能となる。このため、正確に活性層の膜厚測定を行うことができる。また、請求項1に記載の発明においては、活性層での光の透過率が10%以上となるように解析波長領域を設定しているので、光の干渉が明確に確認できる領域で解析波長領域を設定することができる。

30

【0012】

例えば、請求項2に示すように、解析波長領域を設定する工程では、酸化膜の屈折率を $n_{ox}$ 、膜厚を $d_{ox}$ とし、 $m$ を任意の正数であるとする、上記数1を満たす範囲を解析波長領域を示すとして設定する。

【0013】

請求項3に記載の発明においては、活性層の膜厚を算出する工程では、干渉情報から波長と反射強度との関係を求めると共に、この関係を示した波形の極大値もしくは極小値となる波長を求め、該極大値もしくは極小値となる波長から活性層の膜厚を算出することを特徴としている。このように、極大値もしくは極小値となる波長から活性層の膜厚を算出することが可能である。

40

【0014】

この場合、請求項4に示すように、極大値もしくは極小値となる波長のうち、極小値となる波長から活性層の膜厚を算出するようにすれば、ノイズの影響を受け難く、ピーク値となる波長の検出をより正確に行うことができる。

【0015】

請求項5に記載の発明では、活性層の膜厚を算出する工程では、任意の極大値もしくは極

50

小値における波長を  $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$ 、波長  $\lambda$  での膜の屈折率を  $n(\lambda)$ 、両波長間の周波数もしくは波数を  $X$ 、単層膜構造と2層膜構造における極大値もしくは極小値となる波長での位相シフト量を  $s_1$ 、 $s_2$  とすると、活性層の膜厚  $d$  を、上記数2にて算出することの特徴としている。

【0016】

このような算出式によって活性層の膜厚を算出することで、活性層と酸化膜との膜厚の関係によって発生し得る測定膜厚の誤差を補正することができ、より高精度な膜厚測定を可能にできる。

【0017】

なお、請求項6に示すように、位相シフト量  $s_1$ 、 $s_2$  は、酸化膜の膜厚と該酸化膜内を通過する光の波長とから求められる酸化膜の位相値に基づいて求められる。

10

【0019】

請求項7に記載の発明においては、反射光を分光する工程および干渉情報を一括して取得する工程では、反射光を分光する回折格子(4a)と該回折格子によって分光された光の各波長別の干渉情報を一括して取得するCCDアレイ(4b)とを備えた分光器(4)を用いることを特徴としている。このような構成により、反射光の分光と干渉情報の一括取得を行うことが可能である。

【0020】

なお、CCDアレイを用いる場合、請求項8に示すように、解析波長領域として、1000nm以下の波長を設定するのが好ましい。すなわち、1000nm以上の波長であると、CCDアレイの感度低下から波長と反射強度との関係を正確に求められなくなる可能性がある。このため、本請求項のようにすることで、正確にピーク値となる波長を求めることができる。

20

【0021】

請求項9に記載の発明では、半導体層で構成された活性層(6a)と支持基板(6b)とによって酸化膜(6c)を挟み込んで構成されたSOI基板(6)に対し、活性層を研磨する研磨工程と、研磨中における活性層の膜厚を測定する膜厚測定工程と、膜厚測定工程によって活性層が所望の膜厚になったことが検出されると、研磨を終了させる工程とを有してなる半導体基板の製造方法において、膜厚測定工程では、請求項1乃至8のいずれか1つに記載の半導体層の膜厚測定方法により活性層の膜厚の測定を行うことを特徴として

30

【0022】

このように、研磨により活性層の膜厚調整を行うようなSOI基板に対して、請求項1乃至8のいずれか1つに記載の半導体層の膜厚測定方法を用いることで、研磨装置からSOI基板を取り出さなくても正確に活性層の膜厚測定を行うことができる。

【0023】

このような膜厚測定は、請求項10に示すように、研磨工程を行っているとき、例えば、請求項11に示すように、SOI基板を回転させたままの状態で行われても良い。

【0025】

なお、上記各手段の括弧内の符号は、後述する実施形態に記載の具体的手段との対応関係を示すものである。

40

【0026】

【発明の実施の形態】

(第1実施形態)

本発明の第1実施形態における半導体層の膜厚測定方法について説明する。図1に、本実施形態における膜厚測定方法を実現する膜厚測定装置の概略構成を示す。以下、図1に基づいて膜厚測定装置の構成についての説明を行う。

【0027】

図1に示すように、膜厚測定装置には、光源1、光ファイバー2、計測ヘッド3、分光器4および解析装置5が備えられている。光源1には、例えば白色光を発生するタングステ

50

ンハロゲンランプが用いられている。この光源 1 としては、タングステンハロゲンランプが発生する白色光の一部をフィルター等で分光した光を用いても良く、白熱球やキセノンランプ等を用いることも可能である。光ファイバー 2 は、例えば複数本のファイバーからなる光の伝達を行うものであり、光源 1 からの光を計測ヘッドに伝達する役割と、計測ヘッド 3 からの光を分光器 4 に伝達する役割とを果たしている。

#### 【0028】

計測ヘッド 3 は、光ファイバー 2 から伝達された光を S O I 基板 6 の活性層 6 a の表面に向けて照射する役割を果たすと共に S O I 基板 6 からの反射光を受け取る役割を果たす。そして、このように計測ヘッド 3 から受け取られた S O I 基板 6 からの反射光が光ファイバー 2 を通じて分光器 4 に送られるようになっている。

10

#### 【0029】

分光器 4 は、送られてきた光を成分別に分光するものであり、この分光器 4 によって光の干渉情報が一括して受け取れるようになっている。図 2 に分光器 4 の具体的構成の一例を示す。この図に示されるように、分光器 4 には回折格子 4 a と C C D アレイ 4 b とが備えられており、光ファイバー 2 を介して送られてきた S O I 基板 6 からの反射光を検出光とすると、回折格子 4 a によって検出光を各波長別に分光し、この分光した各波長別の光を干渉情報として C C D アレイ 4 b にて一括して受け入れるような構成となっている。このため、各波長別の光の干渉情報をタイムラグなしで取得することができる。なお、本実施形態においては、これらの構成のうちの C C D アレイ 4 b が光の干渉情報を一括して受け取る手段に相当する。

20

#### 【0030】

解析装置 5 は、分光器 4 によって分光された光、具体的には C C D アレイ 4 b に取り込まれた干渉情報に基づいて、S O I 基板 6 の表面における活性層 6 a の膜厚解析を行うと共に、この膜厚解析結果に応じた出力を発生させる。この出力により、例えば、表示装置による膜厚解析結果のモニタリングが行われたり、膜厚解析結果に基づく更なる膜厚調整や活性層 6 a の研磨の停止点の検出が行われる。

#### 【0031】

続いて、図 1 に示す膜厚測定装置を用いた膜厚測定のフローチャートを図 3 に示し、この図に基づいて膜厚測定の詳細についての説明を行う。まず、解析波長領域を設定する（ステップ S 1 0 1）。この解析波長領域とは、C C D アレイ 4 b で受け取られた干渉情報のうち、膜厚測定の解析に用いる波長領域ということの意味している。この解析波長領域の設定方法についての詳細は後述する。

30

#### 【0032】

次に、光源 1 を発光させ、光ファイバー 2 および測定ヘッド 3 を介して S O I 基板 6 における活性層 6 a の表面に光を照射したのち（ステップ S 1 0 2）、測定ヘッド 3 及び光ファイバー 2 を介して S O I 基板 6 からの反射光を分光器 4 に送り、分光器 4 で各波長別の干渉情報を受け取る（ステップ S 1 0 3）。これにより、タイムラグを発生させることなく、各波長別の干渉情報が取得される。そして、解析装置 5 において、各波長別の干渉情報から反射光の波形、すなわち波長と反射強度との関係を求める。この関係を図示すると、波長に対して反射強度が周期的に変化する。このため、この波長と反射強度との関係に基づいて、反射光の波形におけるピーク値（極大値および極小値）と上記で設定した解析波長領域における波数を求める（ステップ S 1 0 4）。この後、求めたピーク値と波数に基づいて解析装置 5 により膜厚算出を行い（ステップ S 1 0 5）、さらにこの膜厚解析結果に応じた出力を行う（ステップ S 1 0 6）。

40

#### 【0033】

ここで、膜厚解析の方法と解析波長領域の設定方法について説明する。まず、膜厚解析方法について、図 4 に示す参考図を用いて説明する。

#### 【0034】

図 4 は、S O I 基板 6 に対して光を照射した際における入射光と反射光との関係を図示したものである。この図に示されるように、S O I 基板 6 の構成が光活性層 6 a と支持基板

50

6 bとの間に酸化膜 6 cを挟み込んだものであるため、光を照射すると活性層 6 aと酸化膜 6 cとの界面や酸化膜 6 cと支持基板 6 bとの界面で反射が起こり、これらの反射光が互いに干渉する。この光の干渉は、活性層 6 aの膜厚 dと屈折率 nと波長  $\lambda$  によって変化する。

#### 【0035】

そして、外気の屈折率を  $n_o$ 、酸化膜 6 cの膜厚を  $d_o$ 、屈折率を  $n_o$ 、支持基板 6 bの屈折率を  $n_s$  とすると、反射率のピーク値が次式となることから、各膜 6 a ~ 6 cの屈折率  $n$ 、 $n_o$ 、 $n_s$  の関係に応じて反射率のピーク値を示す式のいずれの式が極大値と極小値を示しているかが分かる。ただし、次式において m は自然数とする。

#### 【0036】

##### 【数4】

$$2 \cdot n \cdot d = m \cdot \lambda, \quad 2 \cdot n \cdot d = (m - 1/2) \cdot \lambda$$

すなわち、 $n_o > n$  の時に  $n > n_s$  であれば数4の第2式が極大値、第1式が極小値となり、 $n < n_s$  であれば数4の第1式が極大値、第2式が極小値となる。また、 $n_o < n$  の時に  $n > n_s$  であれば数4の第1式が極大値、第2式が極小値となり、 $n < n_s$  であれば数4の第2式が極大値、第1式が極小値となる。

#### 【0037】

そして、反射率のピーク値となる位置と上述したステップ S 104における反射光の波形がピーク値となる位置とが一致するため、上記数4の第1、第2式の関係から活性層 6 aの膜厚 dが次式のように求められる。

#### 【0038】

##### 【数5】

$$d = (\lambda_2 / (2 \cdot n(\lambda_1) - \lambda_1 \cdot n(\lambda_2))) \cdot X / 2$$

ただし、 $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$  は任意のピーク値における波長、 $n(\lambda)$  は波長  $\lambda$  での膜の屈折率、X は両波長間の周波数(波数)を示している。なお、ここでいうピーク値における波長とは、極大値、極小値いずれのピーク値における波長であっても良い。つまり、極大値同士、極小値同士、または極大値と極小値との組み合わせにおける波長いずれを用いても良い。ただし、極大値と極小値との組み合わせにおける波長を用いる場合、X が自然数ではなく自然数に対して  $\pm 0.5$  を加算した値となる。

#### 【0039】

参考として、図5に、活性層 6 aの厚みを  $1.4 \mu\text{m}$ 、酸化膜 6 cの厚みを  $1.3 \mu\text{m}$  とした場合における波長と反射強度との関係を調べた結果を示す。この図に示されるように、波長が最も低い位置におけるピーク値での波長を  $\lambda_1$  とすると、そこから  $X = 6$  とした場合におけるピーク値での波長が  $\lambda_2$  となる。

#### 【0040】

続いて、解析波長領域についての説明を行う。解析波長領域の設定では、上述した「節」を除去した波長領域を解析に用いる波長として設定する。まず、解析波長領域の設定方法に先立ち、「節」が発生する原理および「節」が膜厚測定にどのように影響するかについて説明する。

#### 【0041】

図6に光の干渉現象を模式的に示し、この図に基づいて「節」の発生原理について説明する。まず、活性層 6 a、酸化膜 6 c、支持基板 6 bをそれぞれ媒質 I、II、IIIと見立て、これら各媒質における屈折率を  $n_1$ 、 $n_2$ 、 $n_3$  とし、入射光の振幅を 1 とすると、反射光の振幅(振幅反射率)  $r_1$  と透過光の振幅(振幅反射率)  $t_1$  は、フレネルの法則から次式となる。

#### 【0042】

##### 【数6】

$$r_1 = \frac{n_2 - n_1}{n_2 + n_1}, \quad t_1 = \sqrt{(1 - r_1 \cdot \bar{r}_1)}$$

10

20

30

40

50

【 0 0 4 3 】

また、媒質II、IIIの界面での振幅反射率  $r_2$  および振幅透過率  $t_2$  も同様に次式のように示される。

【 0 0 4 4 】

【 数 7 】

$$r_2 = \frac{n_3 - n_2}{n_3 + n_2}, \quad t_2 = \sqrt{(1 - r_2 \cdot \bar{r}_2)}$$

【 0 0 4 5 】

そして、媒質IIの上下の界面で多重反射するため、媒質Iへ出てくる光の振幅反射率  $r$ 、  
エネルギー反射率  $R$  は次式のように示される。 10

【 0 0 4 6 】

【 数 8 】

$$r = \frac{r_1 + r_2 e^{-i\delta}}{1 + r_1 r_2 e^{-i\delta}}$$

【 0 0 4 7 】

【 数 9 】

$$R = r \cdot \bar{r} = \frac{r_1^2 r_2^2 + 2 r_1 r_2 \cos \delta}{1 + r_1^2 r_2^2 + 2 r_1 r_2 \cos \delta}$$

20

【 0 0 4 8 】

ただし、 $\delta = 4 \pi n_2 d / \lambda$  である。そして、媒質Iを活性層6a(Si)、媒質IIを酸化膜6c(SiO<sub>2</sub>)、媒質IIIを支持基板6b(Si)とした場合、つまり媒質I、II、IIIの各材質をSi、SiO<sub>2</sub>、Siとした場合で考えると、 $n_1 = n_3$ であるため、数10が求められ、この数10と上記数8とにより、数11が求められる。

【 0 0 4 9 】

【 数 1 0 】

30

$$r_2 = \frac{n_1 - n_2}{n_1 + n_2} = -r_1$$

【 0 0 5 0 】

【 数 1 1 】

$$R = r \cdot \bar{r} = \frac{2 r_1^2 (1 - \cos \delta)}{1 + 2 r_1^2 (1 - \cos \delta)}$$

40

【 0 0 5 1 】

そして、 $\cos \delta$  は - 1 ~ 1 の間で変化するため、 $\cos \delta = 1$  となるとき、 $R$  は極小値0をとる。すなわち、酸化膜6cの界面での反射が実質的に起こらなくなる。従って、 $4 \pi n_2 d / \lambda = 2 h \pi$  ( $h$  は自然数) の条件を満たす時に「節」が現われる。このため、この「節」を避けるように、解析波長領域の設定を行う。図7を用いて、この解析波長領域の設定方法を説明する。

【 0 0 5 2 】

図7は、活性層6aの厚みが14  $\mu\text{m}$ 、酸化膜6cの厚みが1.3  $\mu\text{m}$ である場合における波長と反射強度との関係を調べた結果である。この図において、波長が957 nmとなる付近で「節」が発生しており、本来、この波長付近に発生するべき極大値、極小値が鮮 50



明に現われなくなっている。

【 0 0 5 3 】

従って、もし、計測範囲にこの「節」の部分が含まれると、ピーク値の検出が困難になって正しい膜厚測定が行えなくなる。また、極大値と極小値の検出を確実に行うためには、 $\pm 10\%$ 程度以上の変化量があることが望ましく、図 7 の計測結果を用いて言えば「節」の中心波長から  $\pm 5 \text{ nm}$  程度を除いた範囲の波長を解析波長領域として使用するのが好ましい。そして、活性層 6 a の厚さに起因する振幅量（反射率の変化量）の波長依存性は、波長と酸化膜 6 c の厚さによって変化するため、図 7 の計測結果で示される「節」の波長  $\pm 5 \text{ nm}$  を一般的に表現すると、次式で示される。

【 0 0 5 4 】

10

【 数 1 2 】

$$\lambda = \frac{2 \cdot n_{ox} \cdot d_{ox}}{m \pm 0.02}$$

【 0 0 5 5 】

なお、本実施形態のように S O I 基板 6 を用いる場合には、屈折率  $n_{ox}$  や膜厚  $d_{ox}$  が予め分かっていることから、これらの値を予め入力しておくことによって、数 1 2 から「節」を求めることができる。図 7 の解析結果においては、数 1 2 における酸化膜 6 c の屈折率  $n_{ox}$  が 1.45、膜厚  $d_{ox}$  が  $1.32 \mu\text{m}$ 、自然数  $m$  が 4 となる。従って、解析波長領域として好ましい範囲は、次式のように示される。

20

【 0 0 5 6 】

【 数 1 3 】

$$\frac{2 \cdot n_{ox} \cdot d_{ox}}{m - 0.98} > \lambda > \frac{2 \cdot n_{ox} \cdot d_{ox}}{m - 0.02}$$

【 0 0 5 7 】

参考として、活性層 6 a の膜厚を  $9 \mu\text{m}$ 、酸化膜 6 c の膜厚を  $3.54 \mu\text{m}$  とした場合における解析結果を図 8 に示す。この図に示されるように、「節」の中心波長から離れると急激に振幅が大きくなっている。この場合、 $\pm 10\%$ 程度以上の変化量を見込むと、「節」から約  $\pm 2 \text{ nm}$  ほど外側の波長を解析波長領域とするのが好ましいと言える。このように、酸化膜 6 c の膜厚が厚くなるほど、解析波長領域から除去すべき範囲が狭くなり、上記数 1 3 で示される範囲が妥当であることが分かる。

30

【 0 0 5 8 】

次に、以上説明した方法により、CCD アレイ 4 b での露光時間 10 m 秒、計測波長間隔 0.3 nm、分光器 4 の分光分解能（半値幅）1 nm とし、S O I 基板 6 の活性層 6 a の厚さ  $3 \mu\text{m}$ 、酸化膜 6 c の厚さ  $1.1 \mu\text{m}$  とした試料を用いて膜厚測定を行った。

【 0 0 5 9 】

40

このような試料の場合、上記数 1 3 から求められる解析波長領域が  $647 \sim 802 \text{ nm}$ 、もしくは  $810 \sim 1068 \text{ nm}$  となる。上記試料を用いた場合における反射光の波長と反射強度との関係を図示すると、解析波長領域との関係が図 9、図 10 のように示される。ただし、ここでは図 9 が極小値同士を膜厚測定用のピーク値として用いた場合、図 10 が極大値同士を膜厚測定用ピーク値として用いた場合として示してある。

【 0 0 6 0 】

これらの図から分かるように、「節」を避けるようにして解析波長領域が設定されているため、この領域内においては波数や極大値および極小値となるピーク値を正確に測定することができる。このため、正確な波数やピーク値に基づいて正確に活性層 6 a の膜厚測定を行うことが可能となる。具体的には、図中右上に示されるように、活性層 6 a の膜厚測

50

定結果は図 9 の場合では膜厚  $d = 3.17 \mu\text{m}$ 、図 10 の場合では膜厚  $d = 3.20 \mu\text{m}$  となり、共に正確な膜厚測定が行えていることが分かる。

【0061】

このように、本実施形態においては、各波長別の光の干渉情報を一括して取得できるようにすると共に、「節」を避けるように解析波長領域を設定しているため、正確な波数やピーク値に基づいて活性層 6 a の膜厚測定を行うことが可能となる。このため、正確に活性層 6 a の膜厚測定を行うことができる。

【0062】

なお、ここでは、膜厚測定に用いるピーク値として、極小値同士を用いた場合（図 9）と極大値同士を用いた場合（図 10）として示してあるが、極大値と極小値との組み合わせの場合、図 11 のようになる。この図からも分かるように、極大値と極小値との組み合わせであっても、正確に波数やピーク値を求めることができ、正確に活性層 6 a を求めることが可能となる。この場合の膜厚測定結果は、膜厚  $d = 3.18 \mu\text{m}$  となり、この場合にも正確な膜厚測定が行えていることが分かる。

【0063】

このように、膜厚測定に用いるピーク値は、極大値、極小値いずれであっても構わないが、極大値よりも極小値の方の波形がシャープになりやすいため、好ましくは極小値を用いた方がよい。このことは、極大値又は極小値となる位置を正確に検出する際に関連してくる。すなわち、活性層 6 a の膜厚が薄くなってくると、極大値付近での反射率の波長による変化が緩やかになるため、ノイズの影響を受けてピーク値となる波長の検出が難しくなる。これに対しては、データ処理時に平均化を行うことで理想線を推定する等の対処が考えられるが、処理が複雑になるため好ましくない。その反面、極小値付近での反射率の波長による変化は急激であるため、ノイズの影響を受け難く、ピーク値となる波長の検出をより正確に行うことができる。このため、膜厚測定に用いるピーク値としては極小値を用いると良い。

【0064】

また、参考として、活性層 6 a および酸化膜 6 c の膜厚を適宜変化させて活性層 6 a の膜厚測定を行った場合における反射光の波長と反射強度との関係を図 12 ~ 図 14 に示す。

【0065】

図 12 は、活性層 6 a の膜厚を  $25 \mu\text{m}$  と厚めに設定し、酸化膜 6 c の膜厚を  $1.1 \mu\text{m}$  とした場合を示している。このような場合においても、解析波長領域を設定することで、正確に波数やピーク値を求めることができ、正確に活性層 6 a を求めることが可能となる。ただし、このように活性層 6 a を厚めに設定した場合、 $800 \text{ nm}$  よりも短波長となる領域では活性層 6 a での光の吸収によりピーク値が現われなくなる。このため、光の吸収を考慮して解析波長領域を設定する必要がある。例えば、図 13 は、図 12 よりもさらに活性層 6 a を厚く（ $45 \mu\text{m}$ ）した場合を示したものであるが、この図からも活性層 6 a による光の吸収が厚みに応じて大きくなることが分かる。

【0066】

図 15 に、活性層 6 a、つまり Si による光の吸収係数 に対する波長の依存性を示す。この図に示されるように、波長が大きくなるほど吸収係数 が小さくなり、光の透過性が良くなる。そして、活性層 6 a での透過率と図 12、図 13 の各結果とから、光の干渉と透過率の関係を調べたところ、透過率が 10 % になると光の干渉が明確に確認できることが分かった。図 16 に、透過率が 10 % となる活性層 6 a の厚みと波長との関係を示す。この図の斜線領域において光の干渉が明確に確認でき、膜厚測定が可能となる。すなわち、活性層 6 a の厚さを  $25 \mu\text{m}$  とした場合（つまり図 12）では、波長が  $820 \text{ nm}$  付近から光の干渉が明確に認められ、活性層 6 a の厚さを  $45 \mu\text{m}$  とした場合（つまり図 13）では、波長が  $880 \text{ nm}$  付近から光の干渉が明確に認められていることから、図 1 に示す結果と一致する。このため、活性層 6 a での光の透過率が 10 % 以上となるように解析波長領域を設定することで、正確に光の干渉を得ることができ、正確な膜厚測定を行うことが可能となる。

10

20

30

40

50

## 【0067】

一方、図14は、活性層6aを14 $\mu$ m、酸化膜6cを1.3 $\mu$ mとした場合を示している。この場合においても、図中に示されるように「節」が明確に現われているが、この「節」を避けるように解析波長領域が設定されるため、正確に波数やピーク値を求めることができ、正確に活性層6aを求めることが可能となる。

## 【0068】

また、上記方法を用いた場合における計測データ等と標準計測器を用いた膜厚測定データとを比較したところ、図17のように表された。ただし、計測データを得た時の計測条件を、CCDアレイ4bでの露光時間6m秒、計測ヘッド3からSOI基板6までの計測距離20mmとし、極大値の波長を検出することで計測データを得ている。そして、酸化膜6cの厚さが1.1 $\mu$ mの時には850~960nm（ただし活性層6aの厚さが46 $\mu$ mの場合のみ920~1000nm）、1.3 $\mu$ mの時には820~920nm、3.5 $\mu$ mの時には860~920nmの解析波長領域を設定している。また、標準計測器には、活性層6aの膜厚が7 $\mu$ m以下の場合にはナノメトリクス社のナノスペックを用い、膜厚が7 $\mu$ m以上の場合にはFT-IRを用いている。

10

## 【0069】

この計測データから分かるように、各計測データが実線で示される標準計測器の膜厚測定データとほとんど一致しており、非常に良い相関が得られていることが分かる。

## 【0070】

また、上記方法を用い、SOI基板6を回転させた場合の計測も行った。この結果を図18に示す。この計測では、計測条件を、CCDアレイ4bでの露光時間10m秒、解析波長領域が850~960nm、SOI基板6の回転速度が75回転/分となるように設定している。そして、活性層6aの厚さが9.3 $\mu$ m、酸化膜9cの厚さが1.1 $\mu$ m、径が6インチを成すSOI基板6を用い、SOI基板6の最外周から測定間隔を10mmとして、測定時間間隔1秒毎に測定を行っている。なお、図中破線は、FT-IR装置を用いて、SOI基板6が静止した状態において4箇所活性層6の膜厚を計測したときの最大値と最小値を示している。

20

## 【0071】

この結果からも分かるように、SOI基板6を回転させた場合においても、標準計測器として使用されるFT-IR装置での計測結果と一致し、正確に活性層6aの膜厚測定を行うことができると言える。

30

## 【0072】

さらに、上記方法を用い、SOI基板6（活性層6a）の表面に水を介在させた場合についての計測も行った。この結果を図19に示す。この計測では、水の厚さを1mm、活性層6aの厚さを14 $\mu$ m、酸化膜6cの厚さを1.3 $\mu$ mとしている。このように水が介在している場合においても「節」を避けるように解析波形領域を選択することで、正確に波数やピーク値を求めることができ、正確に活性層6aを求めることが可能となる。

## 【0073】

なお、上記した解析波長領域の設定においては、解析波長領域の上限について説明していないが、反射光の干渉情報を一括して受け取る手段として用いるものに依存して解析波長領域の上限を設定することもできる。例えば、ここでの説明に用いたように、反射光の干渉情報を一括して受け取る手段としてCCDアレイ4bを用いる場合、波長と反射強度との実測波形が図20(a)のようになり、波長が長い領域において、図20(b)で示される理論波形と相違する。これは、CCDアレイ4bの感度不足のために生じており、CCDアレイ4bを用いた場合には、波長が約1000nmとなる付近から感度不足が発生する。このため、CCDアレイ4bを用いる場合には、解析波長領域の上限を約1000nmに設定するのが好ましい。

40

## 【0074】

（第2実施形態）

本発明の第2実施形態を説明する。本実施形態は、図1に示した膜厚測定装置を用いて、

50

研磨装置によるＳＯＩ基板６の研磨中に活性層６ａの膜厚測定を行うものである。図２１に、本実施形態における膜厚測定の様子を表した模式図を示す。

【００７５】

図２１に示す研磨装置は、ＣＭＰ（Chemical mechanical polish）装置である。この研磨装置は、研磨パッド１１と、研磨パッド１１が貼られている定盤１２と、ＳＯＩ基板６を取り付けるヘッド１３と、砥粒を含むスラリ１４ａを滴下するスラリ供給部１４とを備えている。

【００７６】

そして、ＳＯＩ基板６のうち平坦化する表面（つまり活性層６ａ側）が研磨パッド１１側に位置するようにＳＯＩ基板６をヘッド１３に固定したのち、スラリ供給部１４からスラリ１４ａを供給しつつ、ヘッド１３によってＳＯＩ基板６を定盤１２に押圧させた状態で定盤１２及びヘッド１３を回転させることで、研磨パッド１１によってＳＯＩ基板６の表面を平坦化できるようになっている。

【００７７】

このように構成された研磨装置において、定盤１２及び研磨パッド１２に窓部１２ａが設けられており、この窓部１２ａを通じて膜厚測定が行われるようになっている。なお、膜厚測定に用いる膜厚測定装置は、図１と同様の構成であるため、ここでは説明を省略する。

【００７８】

このような研磨中における膜厚測定は図２２に示すフローチャートに従って行われる。すなわち、まず、解析波長領域の設定、ＳＯＩ基板６への光の照射、分光器４による反射光信号測定、ピーク位置および波数の検出、膜厚算出、膜厚出力（ステップＳ２０１～Ｓ２０６）を行う。これら各処理は、図３におけるステップＳ１０１～Ｓ１０６と同様に行う。続いて、測定膜厚が所望の設定膜厚以下であるか否かを判定する（ステップＳ２０７）。これにより、活性層６ａが所望の膜厚となったか否かが判定される。そして、ここでの処理が否定判定されれば今までの処理を繰り返し行い、肯定判定されれば解析装置５から研磨終了を示す終点信号が出力され（ステップＳ２０８）、この信号を受けて研磨装置での研磨が停止される。

【００７９】

このように、研磨装置での研磨工程中にも活性層６ａの膜厚測定を行うことができ、より正確に活性層６ａを所望の膜厚にすることができる。

【００８０】

なお、ここでは定盤１２に窓部１２ａを設けることによって研磨中における膜厚測定を行っているが、定盤１２に窓部１２を設けなくても、ＳＯＩ基板６の一部が定盤１２の外周端よりも外側にはみ出るようにし、そのはみ出た部分に対して光を照射することで活性層６ａの膜厚測定を行うようにしてもよい。また、このようにＳＯＩ基板６の一部を定盤１２の外周端からはみ出させる際には、研磨を行ったままの状態としてもよいし、一旦、研磨を停止させた状態としてもよい。

【００８１】

（第３実施形態）

本実施形態では、第１実施形態で示した活性層６ａの膜厚のズレ量の補正を行なう場合について説明する。

【００８２】

上記各実施形態において、ＳＯＩ基板６は２層構造の膜構造を持つため、活性層６ａの直下にある酸化膜６ｃの影響を受け、ピーク値となる波長での位相が単層膜の時に對して若干シフトすることになる。このため、計測膜厚値にズレ、具体的には実際の膜厚よりも厚く検出されるという誤差が生じ、より高精度な膜厚測定が要求される場合には、膜厚計測値の誤差が許容できなく場合が生じる。この問題に対し、多くの測定実測値から対応表を作成し、補正を行なうという方法も可能であるが、汎用性に乏しく、また計測原理に基づいていないため、補正精度のバラツキが大きくなるという問題が発生することが予測され

10

20

30

40

50

る。特に、活性層 6 a が薄いほど、また酸化膜 6 c の膜厚が厚いほど、その影響が大きくなり、膜厚の計測誤差が大きくなるという問題が発生する。

【 0 0 8 3 】

このため、本実施形態では、数 1 4 に示す式を用いて、ピーク値となる波長での位相のシフト量  $s$  に起因した活性層 6 a の膜厚のズレ量の補正を行なう。この数 1 4 で示される補正用の算出式は、第 1 実施形態で示した数 5 における  $X$  から各ピーク値となる波長での位相シフト量  $s$  分を補正したものである。

【 0 0 8 4 】

【 数 1 4 】

$$d = \frac{\lambda_1 \lambda_2}{\lambda_2 \cdot n(\lambda_1) - \lambda_1 \cdot n(\lambda_2)} \cdot \frac{(X + s_1 - s_2)}{2}$$

10

【 0 0 8 5 】

以下、この活性層 6 a の膜厚のズレ量の補正に用いる位相シフト量  $s$  について説明するが、それに先立ち、このズレ量の補正の概念に関して分光法の原理を基に説明する。ただし、分光法の原理のうち第 1 実施形態と同様の部分については、第 1 実施形態を参照する。

【 0 0 8 6 】

まず、第 1 実施形態で示した図 6 において、媒質 II が単層膜構造である場合を想定し、図中に示した光の干渉現象に基づいて、媒質 II から媒質 I へ出てくる光のエネルギー反射率  $R$  を求める。すると、エネルギー反射率  $R$  は、上述した数 9 のように表され、この式は数 1 5 のように変換される。

20

【 0 0 8 7 】

【 数 1 5 】

$$R = r \cdot \bar{r} = 1 - \frac{(1 - r_1^2)(1 - r_2^2)}{1 + r_1^2 r_2^2 + 2 r_1 r_2 \cos \delta}$$

【 0 0 8 8 】

そして、 $\delta = 4 \pi n_2 d / \lambda$  であり、 $\cos \delta$  が  $-1 \sim 1$  の間で変化することから、 $\cos \delta = \pm 1$  となるときにエネルギー反射率  $R$  が極大値もしくは極小値をとる。すなわち、 $4 \pi n_2 d / \lambda = 2m$ 、及び  $4 \pi n_2 d / \lambda = (2m - 1) \pi$  ( $m$  は自然数) の条件を満たす時に、極大値もしくは極小値をとる。従って、 $2nd = m$ 、 $2nd = (m - 1/2)$  の 2 式が導き出され、いずれの式が極大値、極小値になるかは、各媒質 I、II、III の屈折率  $n_1$ 、 $n_2$ 、 $n_3$  の大小関係、つまりこれらの大小関係に基づき上記数 6、数 7 から求まる  $r_1$ 、 $r_2$  によって決まる。

30

【 0 0 8 9 】

次に、図 2 4 に、2 層膜構造の場合における光の干渉現象の模式図を示し、2 層構造の場合における多重反射について考える。図 2 4 に示されるように、媒質 I ~ 媒質 IV を想定し、これら各媒質 I ~ IV の屈折率を  $n_1 \sim n_4$ 、媒質 II の膜厚を  $d_1$ 、媒質 III の膜厚を  $d_2$ 、入射光の振幅を 1、反射光の振幅を  $r_1 \sim r_3$ 、透過光の振幅を  $t_1 \sim t_3$  とすると、単層膜構造の場合と同様の方法により、エネルギー反射率  $R$  が数 1 6 のように求まる。ただし、数 1 6 中における  $r_2$  は数 1 7 で示されるものであり、媒質 III 及び媒質 IV での反射光の振幅の合成反射率に相当するものである。また、 $\delta_1 = 4 \pi n_2 d_1 / \lambda$ 、 $\delta_2 = 4 \pi n_3 d_2 / \lambda$  である。

40

【 0 0 9 0 】

【 数 1 6 】

$$R = r \cdot \bar{r} = \frac{r_1^2 + |r_2'|^2 + 2r_1|r_2'|\cos\delta_1}{1 + r_1^2|r_2'|^2 + 2r_1|r_2'|\cos\delta_1}$$

$$= 1 - \frac{(1 - r_1^2)(1 - |r_2'|^2)}{1 + r_1^2|r_2'|^2 + 2r_1|r_2'|\cos\delta_1}$$

【 0 0 9 1 】

【 数 1 7 】

$$r_2' = \frac{r_2 + r_3 e^{-\frac{i\delta_2}{2}}}{1 + r_2 r_3 e^{-i\delta_2}}$$

10

【 0 0 9 2 】

従って、数 1 6 は、単層膜構造の下側の界面での反射率を媒質 III の上下界面での合成反射率  $r_2'$  で置き換えたもので表され、 $\cos \delta_1$  が  $-1 \sim 1$  で変化する間に  $r_2'$  が一定ならば、単層膜モデルと等価になる。しかしながら、実際には、 $r_1$  だけでなく  $r_2$  も同時に変化するため、 $r_2'$  も変化し、極大値もしくは極小値をとるときの  $r_1$  の値にズレが発生する。数 1 7 から明らかなように、 $r_2'$  は  $r_2$  に依存するため、 $r_1$  のズレ量は  $r_2$  に依存する。

20

【 0 0 9 3 】

つまり、波長  $\lambda$  の変化に対する  $r_2$  の変化量が  $r_1$  の変化量に比べて十分小さい時には、数 1 5 を単層膜の式に置き換えても実質上問題ないが、 $r_2$  と  $r_1$  との変化量の差が小さくなると、単層膜での近似では精度良く媒質 II の膜厚  $d_1$  を求めることができなくなる。なお、ここでいう  $r_2$  と  $r_1$  との変化量の差が小さくなる時とは、具体的には  $r_1 / 2 = n_2 d_1 / n_3 d_2$  の値が小さくなる時、すなわち、媒質 II の膜厚が比較的薄いとき又は媒質 III の膜厚が比較的厚いときを示している。

【 0 0 9 4 】

以上の原理に基づけば、 $r_2$  と  $r_1$  との変化量の差が小さくなる時には、活性層 6 a の膜厚  $d$  を精度良く検出することができず、膜厚  $d$  のズレ量分を補正する必要がある。

30

【 0 0 9 5 】

従って、上述した数 5 で示した活性層 6 a の膜厚  $d$  から  $r_1$  のズレ量分を補正するにあたり、 $r_2$  のズレ量を求めることで  $r_1$  のズレ量を推定することが必要となる。そして、 $r_1$  がピーク値となる波長での位相のシフト量  $s$  と、 $r_2'$  が周期関数である  $\cos \delta_2$  に依存することから、 $\delta_2 / 2$ 、すなわち  $\delta_2$  の影響が酸化膜 6 c の厚さと波長から求まる酸化膜 6 c の位相値 ( $= 2 n d \times \pi / \lambda$ ) の小数部で代表できることから、これらの関係を予め求めておくことにより、位相値の小数部分をパラメータとして位相シフト量  $s$  を一義的に求めることが可能である。

【 0 0 9 6 】

40

すなわち、位相値の小数部分とシフト量  $s$  との関係をシミュレーションによって求めると、図 2 5 に示される結果が得られることから、この関係図に基づいて位相値の小数部分に対応する位相シフト  $s$  を求めることができる。

【 0 0 9 7 】

このように、位相シフト量  $s$  を考慮して、活性層 6 a の膜厚のズレ量分を補正することで、より高精度に活性層 6 a の膜厚を検出することが可能となる。参考として、図 2 6 に、本実施形態に示した補正を行なった場合と行なっていない場合とについて、計測誤差を調べた実測結果を示す。なお、この実験では酸化膜 6 c の膜厚を  $3.57 \mu\text{m}$  としている。この図からも明らかなように、本実施形態で示した補正を行なうことにより、より高精度に活性層 6 a の膜厚を検出することが可能になるといえる。

50

【 0 0 9 8 】

(他の実施形態)

上記各実施形態における膜厚解析の原理として、必ずしも第 1 実施形態で示した方法を使用しなければならないわけではなく、他の膜厚解析の原理を使用してもよい。例えば、以下の方法を使用してもよい。この方法を上記図 4 を用いて説明する。

【 0 0 9 9 】

図 4 に示すように、S O I 基板 6 に光を照射すると、活性層 6 a と酸化膜 6 c との界面や酸化膜 6 c と支持基板 6 b との界面で反射が起こり、これらの反射光が互いに干渉する。この光の干渉は、活性層 6 a の膜厚 d と屈折率 n と波長  $\lambda$  によって変化する。

【 0 1 0 0 】

そして、波長が  $\lambda_1$  から  $\lambda_2$  まで変化したとき、反射光は互いに強め合ったり弱め合ったりを繰り返し、位相が  $\psi$  [rad] 変化したとすると、活性層 6 a の厚さ d は干渉の関係から次式で表される。

【 0 1 0 1 】

【数 1 8】

$$d = \frac{\psi}{4\pi(n(\lambda_1)/\lambda_1 - n(\lambda_2)/\lambda_2)}$$

【 0 1 0 2 】

この  $\psi$  がちょうど  $2\pi$  の整数倍になるとき、上記第 1 実施形態で説明した膜厚解析方法における数 5 の式となる。上記第 1 実施形態で説明した膜厚解析方法では  $\psi$  が整数倍変化する波長  $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$  を求めたが、 $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$  を任意に設定し、 $\lambda_1$  から  $\lambda_2$  の間の干渉光強度の波長変化 (波形) から膜厚 d を算出することも可能である。例えば、周波数解析を行うことにより、膜厚 d を求める方法が採用できる。

【 0 1 0 3 】

具体的には、波長を横軸とした干渉信号は、中心周波数に微妙な周波数変調がかかった波形となる。このため、数 1 8 の  $\psi / 2\pi$  は  $(\lambda_1 - \lambda_2)$  を基本周期とする中心周波数 f と置き換えることができ、数 1 9 のように示すことができる。ただし、次式において f は  $(\lambda_1 - \lambda_2)$  を基本周期 ( $f = 1$ ) としている。

【 0 1 0 4 】

【数 1 9】

$$d = \frac{\lambda_1 \lambda_2}{2(n(\lambda_1)\lambda_1 - n(\lambda_2)\lambda_2)} \cdot f$$

【 0 1 0 5 】

従って、この式からフーリエ変換を行うことで周波数 f を算出し、この周波数 f に基づいて膜厚 d を算出することが可能となる。

【 0 1 0 6 】

さらに、上記第 1 実施形態では、解析波長領域の設定方法として、予め分かっている数値 (屈折率 n o x や膜厚 d o x) を予め解析装置 5 に入力しておき、この数値を用いて「節」を求めるようにしているが以下のようにしてもよい。

【 0 1 0 7 】

すなわち、分光器 4 からの干渉情報から得られる波長と反射強度との関係の波形から極大値を自動検出し、極大値を結ぶ曲線の極大値付近を中心とした波長領域を解析波長領域として設定するようにしてもよい。

【 0 1 0 8 】

また、上記各実施形態では、光の干渉情報を一括して取得する手段として C C D アレイ 4 b を用いているが、この他の手段、例えばフォトダイオードアレイを用いても良い。

10

20

30

40

50

## 【0109】

なお、上記各実施形態において、CCDアレイ等の一括して干渉情報を得る手段を用いなく、「節」だけを除去するようにしても、「節」を除去することによる効果を十分に得ることができる。

## 【0110】

また、上記第3実施形態では、SOI基板6における活性層6aの膜厚測定を行なう場合について説明したが、第3実施形態に示す補正を屈折率の異なる2層膜構造の膜厚測定に用いることも可能である。

## 【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1実施形態における膜厚測定方法を実現する膜厚測定装置の概略構成を示す図である。 10

【図2】分光器4の具体的構成の一例を示す図である。

【図3】図1に示す膜厚測定装置を用いた膜厚測定のフローチャートである。

【図4】膜厚解析方法を説明するための参考図である。

【図5】波長と反射強度との関係を示す波形図である。

【図6】光の干渉現象を模式的に示した図である。

【図7】波長と反射強度との関係を示す波形図である。

【図8】波長と反射強度との関係を示す波形図である。

【図9】波長と反射強度との関係を示す波形図である。

【図10】波長と反射強度との関係を示す波形図である。 20

【図11】波長と反射強度との関係を示す波形図である。

【図12】波長と反射強度との関係を示す波形図である。

【図13】波長と反射強度との関係を示す波形図である。

【図14】波長と反射強度との関係を示す波形図である。

【図15】Siの吸収係数の波長依存性を示す図である。

【図16】透過率が10%となる活性層6aの厚さを示した波長と活性層6aの膜厚との関係を示した図である。

【図17】標準計測器の計測値と第1実施形態の計測値との相関関係を示す図である。

【図18】SOI基板6を回転させた場合の計測結果を示した図である。

【図19】水を介在させた場合における波長と反射強度との関係を示す波形図である。 30

【図20】(a)は、波長1000nmまで実測したときの波長と反射強度との関係を示す波形図であり、(b)は、理論値における波長と反射強度との関係を示す図である。

【図21】本発明の第2実施形態における膜厚測定装置の概略構成を示した図である。

【図22】図21に示す膜厚測定装置を用いた膜厚測定のフローチャートである。

【図23】「節」の影響を説明するための図である。

【図24】2層膜構造の場合における光の干渉現象の模式図である。

【図25】位相値の小数部分とシフト量sとの関係をシミュレーションによって求めた図である。

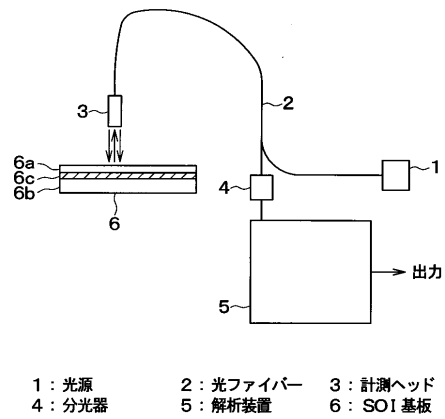
【図26】本発明の第3実施形態における補正を行なった場合と行っていない場合とについて、計測誤差を調べた実測結果を示す図である。 40

## 【符号の説明】

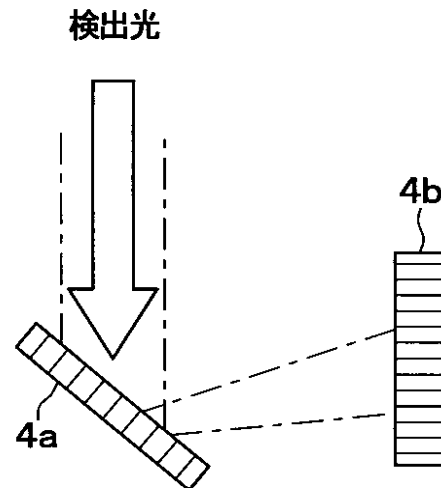
1...光源、2...光ファイバ、3...計測ヘッド、4...分光器、5...解析装置、  
6...SOI基板、6a...活性層、6b...支持基板、6c...酸化膜。



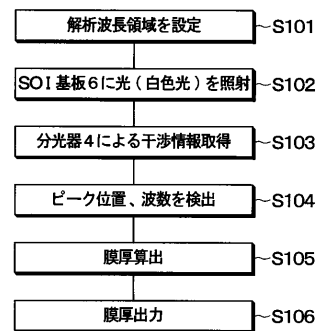
【図 1】



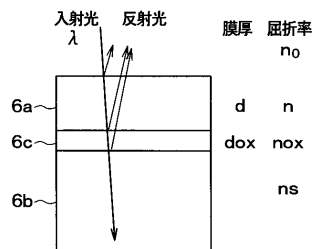
【図 2】



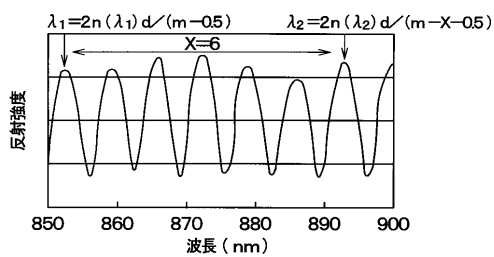
【図 3】



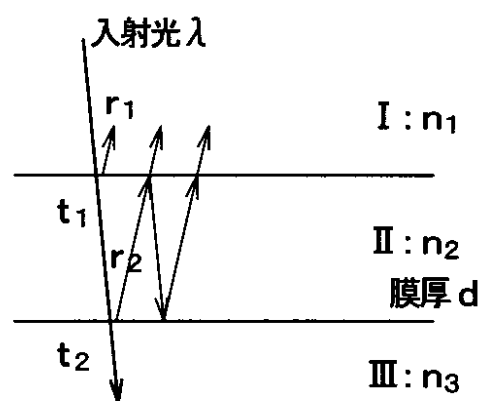
【図 4】



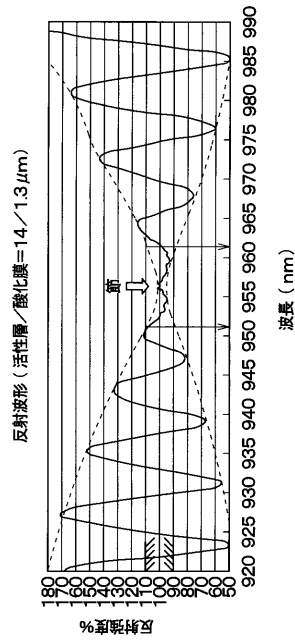
【図 5】



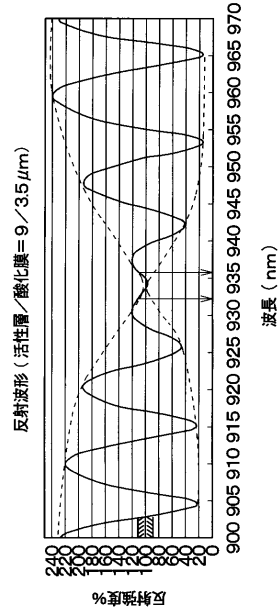
【図 6】



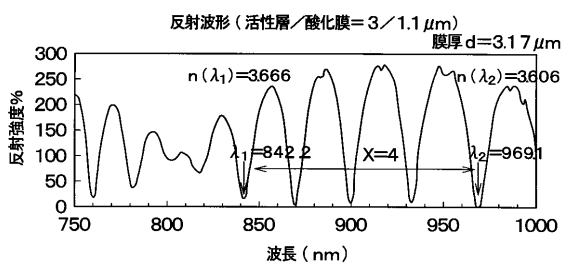
【図 7】



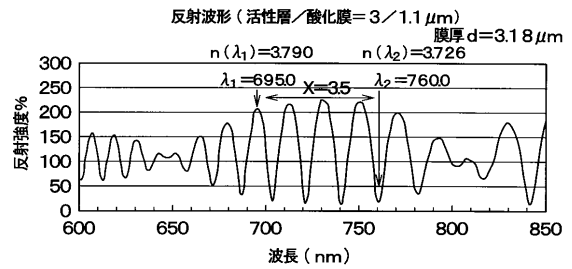
【図 8】



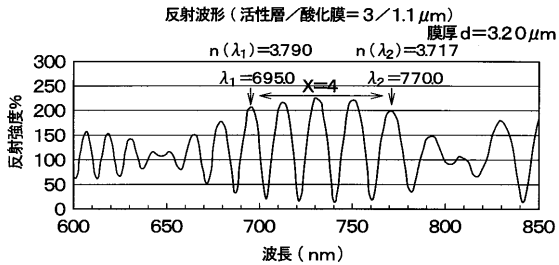
【図 9】



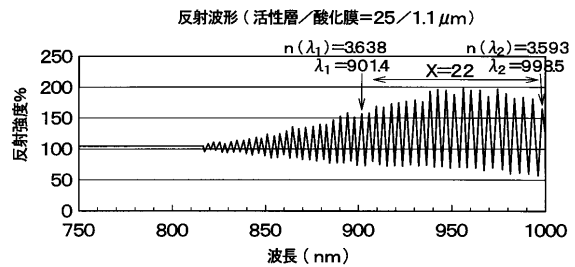
【図 11】



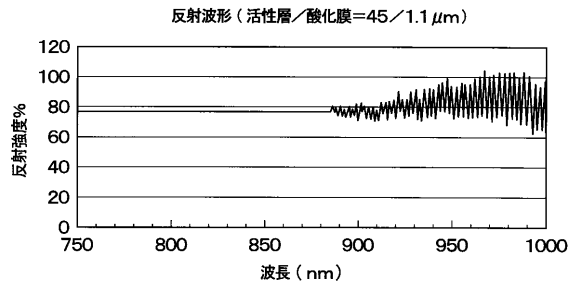
【図 10】



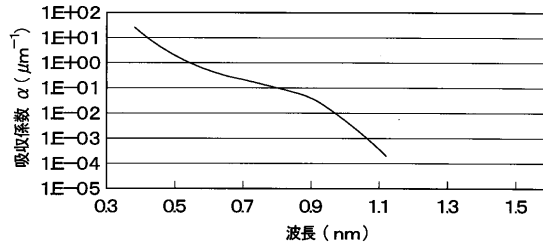
【図 12】



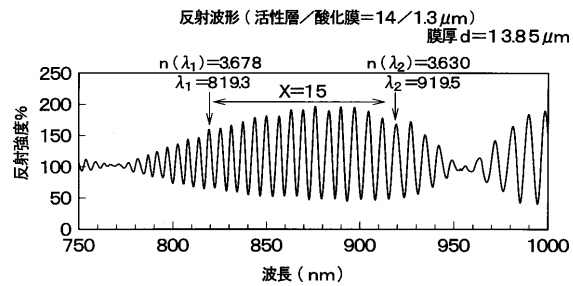
【図 13】



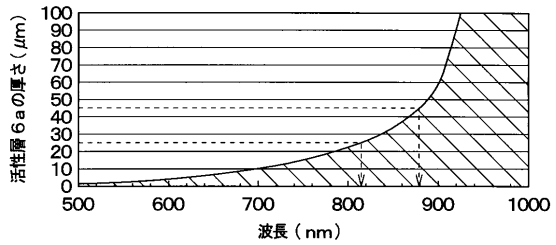
【図 15】



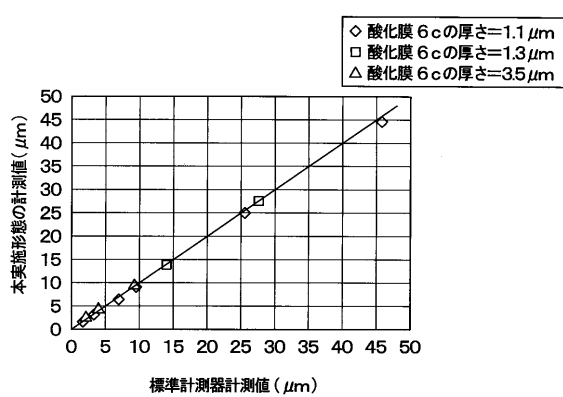
【図 14】



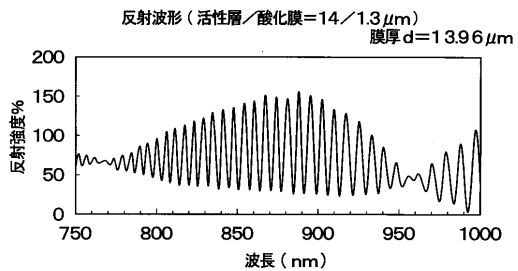
【図 16】



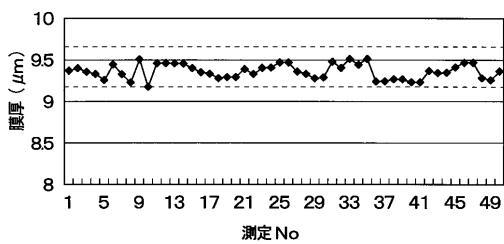
【図 17】



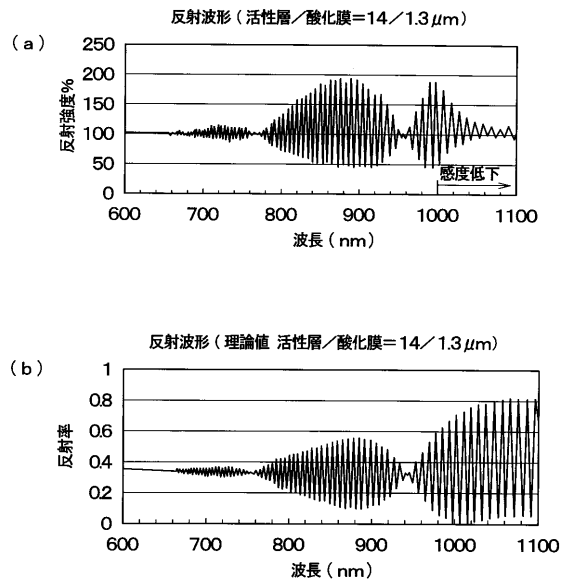
【図 19】



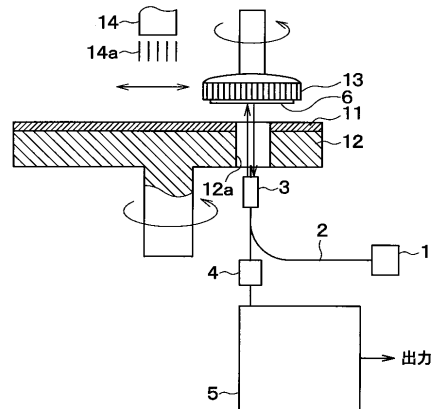
【図 18】



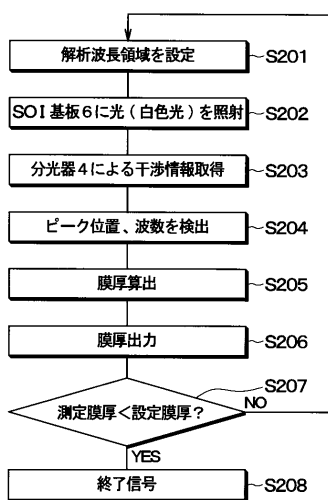
【図 20】



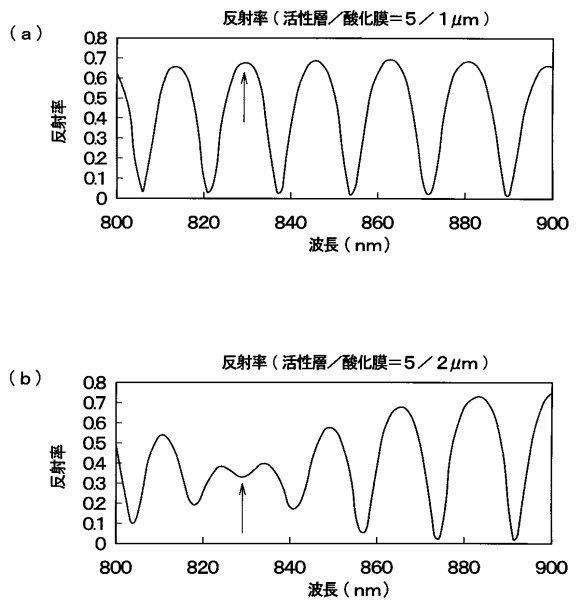
【図 21】



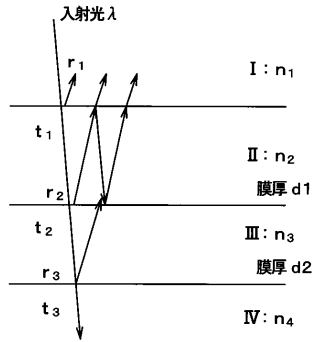
【図 22】



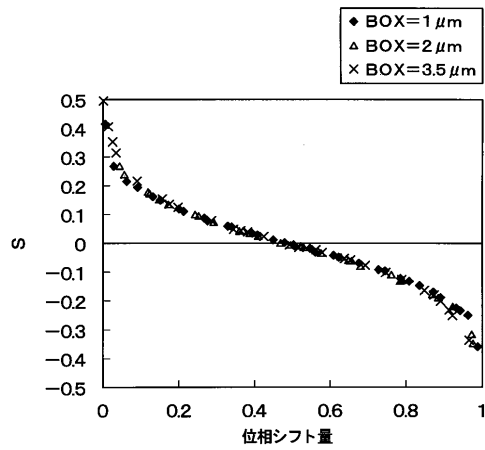
【図 23】



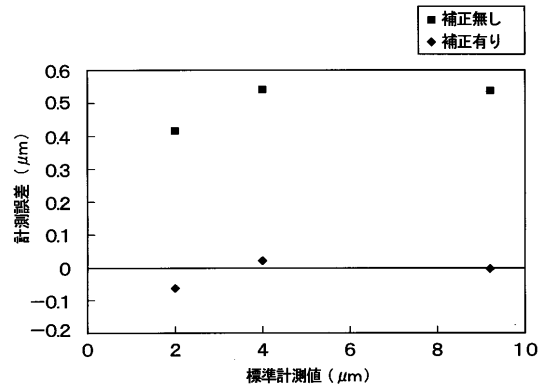
【図 2 4】



【図 2 5】



【図 2 6】



---

フロントページの続き

合議体

審判長 岡 和久

審判官 正山 旭

審判官 前田 仁志

- (56)参考文献 特開平10-307009(JP,A)  
特開平10-132525(JP,A)  
特開2000-9437(JP,A)  
特開平6-34328(JP,A)