

## 明 細 書

発明の名称：膜厚分布測定方法

### 技術分野

[0001] 本発明は、半導体デバイスに使われる２層の薄膜付ウェーハの膜厚分布を反射分光法によって測定する膜厚分布測定方法に関する。

### 背景技術

[0002] 近年、デザインルールの微細化に伴って、FD-SOI（Fully Depleted SOI）デバイス、FinFETデバイス、SiナノワイヤートランジスタなどのSOIデバイスに用いられる、特に高い膜厚均一性の要求される極薄膜のSOI層を有するSOIウェーハが使われ始めている。これらデバイスにおいて、SOI膜厚及び埋め込み酸化膜（BOX膜）厚の均一性がトランジスタの特性を決める上で重要な項目となっている。

[0003] 基板の表面に薄膜を有する、このような薄膜付ウェーハの薄膜の膜厚分布を算出する現有の膜厚測定方法は、分光エリプソ法、反射分光法によるポイント毎の膜厚測定が一般的であるが、ウェーハ全面を高スループットで高精度に膜厚分布測定できる膜厚分布測定装置は市販されていない。

分光エリプソ法、反射分光法によるポイント測定においては、各測定点毎に、ある波長範囲（一般的には、可視光域）のスペクトルを取り、そのスペクトルに対してモデル膜構造にフィッティングすることで各測定点の膜厚を求めている。従って、ウェーハ全面を高スループットで高精度に測定を行おうとすると、測定点数が極端に増えるため、計算量と時間の制約から現実的に測定不可能である。

[0004] またスペクトル測定を行うためには、広い波長範囲の波長領域が必要なため、空間分解能を高くして多点膜厚測定を行うことが事実上不可能である。

このように、SOIウェーハなどの薄膜付ウェーハの膜厚分布の測定を高密度で精度良く、かつ短時間で行うことが課題となっている。

[0005] 尚、特許文献１には、反射分光法により紫外波長域の２波長の光を使用し

て、SOI層とBOX層の2層を同時に測定する方法が記載されている。

特許文献2には、SOIに白色光を照射し、反射光を各波長別に分光し、波長別の干渉情報からSOI層膜厚を算出する技術が開示されている。

特許文献3には、基板上に複数の層が形成された被測定物の膜厚をより高い精度で測定することを目的とし、主に赤外帯域に波長成分を有する光源を用い、各波長における理論反射率（スペクトル）を繰返し算出し、測定対象の膜厚をフィッティングによって決定する方法が記載されている。

## 先行技術文献

### 特許文献

[0006] 特許文献1：特開平7-55435号公報

特許文献2：特開2002-343842号公報

特許文献3：特開2010-2327号公報

## 発明の概要

### 発明が解決しようとする課題

[0007] 本発明は前述のような問題に鑑みてなされたもので、薄膜付ウェーハの膜厚分布を反射分光法を用いて、高密度で精度良く、かつ短時間で測定できる膜厚分布測定方法を提供することを目的とする。

### 課題を解決するための手段

[0008] 上記目的を達成するために、本発明によれば、基板の表面上に形成された第一薄膜と、該第一薄膜の表面上に形成された第二薄膜とを有する薄膜付ウェーハの前記第一薄膜の膜厚分布を反射分光法によって測定する膜厚分布測定方法であって、前記測定対象の薄膜付ウェーハの可視光の波長以上の波長領域の光に対する反射率の波長依存性を示すプロファイルP1をシミュレーションにより算出する工程と、前記測定対象の薄膜付ウェーハの前記第二薄膜の設定膜厚T2より $t$  [nm] だけ薄い、又は厚い第二薄膜を有する薄膜付ウェーハの可視光以上の波長領域の光に対する反射率の波長依存性を示すプロファイルP21をシミュレーションにより算出する工程と、前記算出し

た両方のプロファイル $P_1$ 、 $P_2$ の差のプロファイル $P_3$  ( $=P_2 - P_1$ ) を算出し、該算出した差のプロファイル $P_3$  がゼロとなるときの波長 $\lambda_1$ を求める工程と、前記求めた波長 $\lambda_1$ を含む波長帯を前記反射分光法による膜厚分布測定に用いる光の波長帯として選択する工程と、前記測定対象の薄膜付ウェーハの表面に光を照射し、該薄膜付ウェーハの表面からの反射光のうち前記選択した波長帯の反射光のみを測定対象として、又は、前記測定対象の薄膜付ウェーハの表面に前記選択した波長帯の光を照射し、該薄膜付ウェーハの表面からの反射光の全てを測定対象として、前記第一薄膜の膜厚分布を反射分光法によって測定することを特徴とする膜厚分布測定方法が提供される。

[0009] このような膜厚分布測定方法であれば、第二薄膜の膜厚変動に対して反射率が変動しない波長帯の光を用いて反射分光法により測定を行うことができ、第一薄膜の膜厚分布を、高密度で精度良く、かつ短時間で測定できる。

[0010] このとき、前記求めた波長 $\lambda_1$ を含む波長帯を選択する工程において、前記波長帯を波長 $\lambda_1 \pm 50$  [nm] の範囲内から選択することが好ましい。

このようにすれば、第二薄膜の膜厚変動に対して反射率が変動しない波長帯をより確実に選択でき、第一薄膜の膜厚分布を確実に精度良く測定できる。

[0011] また、本発明によれば、基板の表面上に形成された第一薄膜と、該第一薄膜の表面上に形成された第二薄膜とを有する薄膜付ウェーハの前記第二薄膜の膜厚分布を反射分光法によって測定する膜厚分布測定方法であって、前記測定対象の薄膜付ウェーハの可視光の波長以上の波長領域の光に対する反射率の波長依存性を示すプロファイル $P_1$ をシミュレーションにより算出する工程と、前記測定対象の薄膜付ウェーハの前記第一薄膜の設定膜厚 $T_1$ より $t$  [nm] だけ薄い、又は厚い第一薄膜を有する薄膜付ウェーハの可視光以上の波長領域の光に対する反射率の波長依存性を示すプロファイル $P_2$ をシミュレーションにより算出する工程と、前記算出した両方のプロファイル $P_1$ 、 $P_2$ の差のプロファイル $P_3$  ( $=P_2 - P_1$ ) を算出し、該算

出した差のプロファイルP 3 2 がゼロとなるときの波長 $\lambda$  2 を求める工程と、前記求めた波長 $\lambda$  2 を含む波長帯を前記反射分光法による膜厚分布測定に用いる光の波長帯として選択する工程と、前記測定対象の薄膜付ウェーハの表面に光を照射し、該薄膜付ウェーハの表面からの反射光のうち前記選択した波長帯の反射光のみを測定対象として、又は、前記測定対象の薄膜付ウェーハの表面に前記選択した波長帯の光を照射し、該薄膜付ウェーハの表面からの反射光の全てを測定対象として、前記第二薄膜の膜厚分布を反射分光法によって測定することを特徴とする膜厚分布測定方法が提供される。

[0012] このような膜厚分布測定方法であれば、第一薄膜の膜厚変動に対して反射率が変動しない波長帯の光を用いて反射分光法により測定を行うことができ、第二薄膜の膜厚分布を、高密度で精度良く、かつ短時間で測定できる。

[0013] このとき、前記求めた波長 $\lambda$  2 を含む波長帯を選択する工程において、前記波長帯を波長 $\lambda$  2  $\pm$  5 0 [nm] の範囲内から選択することが好ましい。

このようにすれば、第一薄膜の膜厚変動に対して反射率が変動しない波長帯をより確実に選択でき、第二薄膜の膜厚分布を確実に精度良く測定できる。

[0014] また、本発明によれば、基板の表面上に形成された第一薄膜と、該第一薄膜の表面上に形成された第二薄膜とを有する薄膜付ウェーハの前記第一薄膜及び第二薄膜の膜厚分布を反射分光法によって測定する膜厚分布測定方法であって、前記測定対象の薄膜付ウェーハの可視光の波長以上の波長領域の光に対する反射率の波長依存性を示すプロファイルP 1 をシミュレーションにより算出する工程と、前記測定対象の薄膜付ウェーハの前記第二薄膜の設定膜厚T 2 よりt [nm] だけ薄い、又は厚い第二薄膜を有する薄膜付ウェーハの可視光以上の波長領域の光に対する反射率の波長依存性を示すプロファイルP 2 1 をシミュレーションにより算出する工程と、前記算出した両方のプロファイルP 1、P 2 1 の差のプロファイルP 3 1 (=P 2 1 -P 1) を算出し、該算出した差のプロファイルP 3 1 がゼロとなるときの波長 $\lambda$  1 を求める工程と、前記測定対象の薄膜付ウェーハの前記第一薄膜の設定膜厚T

1 より  $t$  [nm] だけ薄い、又は厚い第一薄膜を有する薄膜付ウェーハの可視光以上の波長領域の光に対する反射率の波長依存性を示すプロファイル  $P_{22}$  をシミュレーションにより算出する工程と、前記算出した両方のプロファイル  $P_1$ 、 $P_{22}$  の差のプロファイル  $P_{32}$  ( $=P_{22}-P_1$ ) を算出し、該算出した差のプロファイル  $P_{32}$  がゼロとなるときの波長  $\lambda_2$  を求める工程と、前記求めた波長  $\lambda_1$  及び  $\lambda_2$  を含む波長帯を前記反射分光法による膜厚分布測定に用いる光の波長帯として選択する工程と、前記測定対象の薄膜付ウェーハの表面に光を照射し、該薄膜付ウェーハの表面からの反射光のうち前記選択した波長帯の反射光のみを測定対象として、又は、前記測定対象の薄膜付ウェーハの表面に前記選択した波長帯の光を照射し、該薄膜付ウェーハの表面からの反射光の全てを測定対象として、前記第一薄膜及び第二薄膜の膜厚分布を反射分光法によって測定することを特徴とする膜厚分布測定方法が提供される。

[0015] このような膜厚分布測定方法であれば、第一薄膜及び第二薄膜の膜厚変動に対して反射率が変動しない波長帯の光を用いて反射分光法により測定を行うことができ、第一薄膜及び第二薄膜の膜厚分布を、高密度で精度良く、かつ短時間で測定できる。

[0016] このとき、前記求めた波長  $\lambda_1$  及び  $\lambda_2$  を含む波長帯を選択する工程において、 $\lambda_1 < \lambda_2$  の場合には、前記波長帯を波長  $\lambda_1 - 50$  [nm] から波長  $\lambda_2 + 50$  [nm] の範囲内から選択し、 $\lambda_1 > \lambda_2$  の場合には、前記波長帯を波長  $\lambda_2 - 50$  [nm] から波長  $\lambda_1 + 50$  [nm] の範囲内から選択することが好ましい。

このようにすれば、薄膜の膜厚変動に対して反射率が変動しない波長帯をより確実に選択でき、第一薄膜及び第二薄膜の膜厚分布を確実に精度良く測定できる。

[0017] またこのとき、前記測定対象の薄膜付ウェーハを  $SOI$  ウェーハとし、前記第一薄膜を埋め込み酸化膜とし、前記第二薄膜をシリコン単結晶からなる  $SOI$  層とすることができる。

このように、測定対象の薄膜付ウェーハとして、埋め込み酸化膜及びＳＯＩ層を有するＳＯＩウェーハを用いることができる。ＳＯＩ層膜厚と埋め込み酸化膜の膜厚の組み合わせに応じて適切な波長を選ぶことによって、ＳＯＩウェーハの薄膜の膜厚分布を高密度で精度良く、かつ短時間で測定できる。

### 発明の効果

[0018] 本発明では、上記した差のプロファイル $P31$ がゼロとなるときの波長 $\lambda_1$ 、又は差のプロファイル $P32$ がゼロとなるときの波長 $\lambda_2$ 、若しくはこれら両方の波長を含む波長帯を反射分光法による膜厚分布測定において測定対象とする光の波長帯として選択して膜厚分布を測定するので、第一薄膜及び第二薄膜の膜厚変動に対して反射率が変動しない波長帯の光を用いて反射分光法により測定を行うことができ、第一薄膜と第二薄膜の膜厚分布をそれぞれ単独に、又は同時に、高密度で精度良く、かつ短時間で測定できる。これにより、膜厚のフィッティング精度を向上できる。

### 図面の簡単な説明

[0019] [図1]本発明の膜厚分布測定方法の工程を示すフロー図である。

[図2]本発明の膜厚分布測定方法で 사용할 ことができる光学的検査装置を示す概略図である。

[図3]実施例１～３で算出した各プロファイルを示す図である。

[図4]ＳＯＩウェーハにおいて算出した各プロファイルの一例を示す図である。

[図5]ＳＯＩウェーハにおいて算出した各プロファイルの一例を示す図である。

[図6]ＳＯＩウェーハにおいて算出した各プロファイルの一例を示す図である。

[図7]ＳＯＩウェーハにおいて算出した各プロファイルの一例を示す図である。

[図8]GeO<sub>2</sub>ウェーハにおいて算出した各プロファイルの一例を示す図であ

る。

[図9]実施例3、比較例3で評価したSOI層及び埋め込み酸化膜の膜厚マップを示す図である。

### 発明を実施するための形態

[0020] 以下、本発明について実施の形態を説明するが、本発明はこれに限定されるものではない。

従来、SOIウェーハなどの2層の薄膜付ウェーハの膜厚分布を反射分光法によって測定する膜厚分布測定方法において、測定を高密度で精度良く、かつ短時間で行うことが課題となっている。

そこで、本発明者はこのような問題を解決すべく鋭意検討を重ねた。その結果、第一薄膜及び第二薄膜に膜厚変動があっても、光を照射した際にその光の反射率を変動させない波長が第一薄膜と第二薄膜のそれぞれに対し存在し、このような波長は薄膜付ウェーハの設定膜厚仕様毎に異なることを発見した。さらに、この波長を中心とした所定範囲の波長帯の光を用いて反射分光法により測定すれば、膜厚分布を実用的な高いスループットで高精度に測定でき、膜厚のフィッティング精度を向上できることを見出し、本発明を完成させた。

[0021] 図1は本発明の膜厚分布測定方法の工程を示すフロー図である。

本発明の膜厚分布測定方法の測定対象は、基板の表面上に形成された第一薄膜と、該第一薄膜の表面上に形成された第二薄膜とを有する薄膜付ウェーハである。例えば、この測定対象の薄膜付ウェーハの例として、シリコン基板の上に埋め込み酸化膜（BOX膜）が形成され、その上にシリコン単結晶からなるSOI層が形成されたSOIウェーハが挙げられる。ここでは、薄膜付ウェーハをこのようなSOIウェーハとした場合を例として説明する。

[0022] ここで、SOIウェーハの製造時にそれぞれ設定した、埋め込み酸化膜の設定膜厚を $T1$  [nm]、SOI層の設定膜厚を $T2$  [nm]とする。

本発明の膜厚分布測定方法では、測定対象のSOIウェーハの薄膜の膜厚変動に対して反射率を変動しない波長帯を選択し、その選択した波長帯の光

を反射分光法による膜厚分布測定時の解析対象とする。この波長帯を選択するために以下に示す工程を実施する。初めに、第一薄膜、すなわち埋め込み酸化膜の膜厚分布のみを測定する場合について説明する。

まず、測定対象のSOIウェーハの可視光の波長以上の波長領域の光に対する反射率の波長依存性を示すプロファイルP1をシミュレーションにより算出する（図1のA参照）。

[0023] 次に、測定対象のSOIウェーハの第二薄膜、すなわちSOI層の設定膜厚 $T2$ より $t$  [nm] だけ薄い、又は厚いSOI層を有するSOIウェーハの可視光以上の波長領域の光に対する反射率の波長依存性を示すプロファイルP21をシミュレーションにより算出する（図1のB参照）。ここで、 $t$ の値は特に限定されないが、例えば1 nm程度とすることができる。

図3（A）は、測定対象のSOIウェーハのSOI層の設定膜厚 $T2$ が12 nm、埋め込み酸化膜の設定膜厚 $T1$ が25 nmの場合のプロファイルP1と、その測定対象のSOIウェーハのSOI層よりSOI層が1 nm厚くなった、すなわち、SOI層の設定膜厚 $T2$ が13 nm、埋め込み酸化膜の設定膜厚 $T1$ が25 nmのSOIウェーハのプロファイルP21の一例を示す図である。

[0024] 図3（A）に示すように、SOI層の厚さを変更することで反射率の波長依存性を示すプロファイルP1、P21が変化している。

次に、シミュレーションにより算出した両方のプロファイルP1、P21の差のプロファイルP31（ $=P21-P1$ ）を算出し、該算出した差のプロファイルP31がゼロとなるときの波長 $\lambda1$ を求める（図1のC参照）。ここで、プロファイルP31は、P1とP21間の反射率差の波長依存性を示すプロファイルである。

[0025] 図3（C）には、図3（A）に示したプロファイルP1、P21の差のプロファイルP31が示されている。図3（C）に示すように、この場合のプロファイルP31がゼロとなるとき、すなわち反射率差がゼロになるときの波長 $\lambda1$ は608 nmである。

図4 (C) — 図7 (C) には、図3 (C) の場合と異なる設定膜厚のSOI層と埋め込み酸化膜とを有するSOIウェーハの場合の差のプロファイルP31が示されているが、この場合、プロファイルP31がゼロとなるときの波長が複数あるときには、求める波長 $\lambda_1$ として、膜厚分布測定で用いる装置の検出系のS/N比が大きくとれる波長とする。通常、500～700 nmに近い波長とすれば高感度での測定が可能となる。

[0026] 次に、求めた波長 $\lambda_1$ を含む波長帯を反射分光法による膜厚分布測定に用いる光の波長帯として選択する（図1のD参照）。

ここで、波長帯を波長 $\lambda_1 \pm 50$  nmの範囲内から選択することが好ましい。このようにすれば、薄膜の膜厚変動に対して反射率が変動しない波長帯をより確実に選択できる。

図3 (C) に示すプロファイルP31の例では、波長608 nmの $\pm 50$  nmの範囲内（558～658 nm）から608 nmを含む波長帯を選択する。

本発明の膜厚分布測定方法において、この波長帯の選択は毎回実施する必要はなく、測定対象の薄膜付ウェーハのSOI層厚及び埋め込み酸化膜厚の組み合わせに応じて適切な波長帯を上記した工程によって事前に選択しておくことができる。このように事前に波長帯を選択しておけば膜厚分布測定の時間を短縮することができる。

[0027] 次に、このようにして選択した波長帯を用い、反射分光法によって以下のように埋め込み酸化膜の膜厚分布を測定する（図1のE参照）。

測定対象のSOIウェーハの表面に光を照射し、該SOIウェーハの表面からの反射光のうち選択した波長帯の反射光のみを測定対象として、埋め込み酸化膜の膜厚分布を測定する。このときSOIウェーハの表面に照射する光の波長帯は、可視光の広い波長帯とすることができる。反射光のうち選択した波長帯の反射光のみを測定対象とする方法としては、解析ソフトウェアを用いる方法がある。この方法であれば、複雑な測定方法や装置を用いる必要もなく、簡便に実施でき、実用性が高い。

[0028] 或いは、測定対象のSOIウェーハの表面に選択した波長帯の光を照射し、該SOIウェーハの表面からの反射光の全てを測定対象として、埋め込み酸化膜の膜厚分布を測定しても良い。SOIウェーハの表面に選択した波長帯の光を照射する方法として、例えば図2に示すような光学顕微鏡装置を用いて実施することができる。

図2に示す光学顕微鏡装置2にはバンドパスフィルター4が取り付けられており、光源3からの光をバンドパスフィルター4により選択した波長帯の光のみを通過させるようにフィルタリングして、SOIウェーハ1の表面に照射できる。このようにすれば、膜厚分布の測定精度をより高めることができる。

[0029] あるいは、バンドパスフィルター4を、例えばアコースティックフィルター、液晶フィルター、波長可変レーザに変更して照射する光のフィルタリングを行うようにすることもできる。

また、光源で波長帯を設定することもでき、種類のレーザ（LD、ガスレーザ、固体レーザ、波長可変レーザ）、発光ダイオード（LED）、液晶表示装置（LCD）等を用いることもできる。また、簡易的にはカラーカメラのRGB信号の中の1つの信号を用いることもできる。

上記のようにして測定した反射光強度分布から第一薄膜の膜厚分布を得ることができる。

[0030] 以下、第二薄膜、すなわちSOI層の膜厚分布のみを測定する場合について説明する。ここで特に記載しない事項は基本的に上記した埋め込み酸化膜の膜厚分布を測定する場合と同様である。

上記と同様にプロファイルP1を算出した後（図1のA参照）、測定対象のSOIウェーハの埋め込み酸化膜の設定膜厚 $T_1$ より $t$  [nm] だけ薄い、又は厚いSOI層を有するSOIウェーハの可視光以上の波長領域の光に対する反射率の波長依存性を示すプロファイルP22をシミュレーションにより算出する（図1のB参照）。

図3（B）は、測定対象のSOIウェーハのSOI層の設定膜厚 $T_2$ が1

2 nm、埋め込み酸化膜の設定膜厚  $T_1$  が 25 nm の場合のプロファイル  $P_1$  と、その測定対象の SOI ウェーハの埋め込み酸化膜より埋め込み酸化膜が 1 nm 厚くなった、すなわち、埋め込み酸化膜の設定膜厚  $T_1$  が 26 nm、SOI 層の設定膜厚  $T_2$  が 12 nm の SOI ウェーハのプロファイル  $P_2$  の一例を示す図である。

[0031] 次に、シミュレーションにより算出した両方のプロファイル  $P_1$ 、 $P_2$  の差のプロファイル  $P_{32}$  ( $=P_2 - P_1$ ) を算出し、該算出した差のプロファイル  $P_{32}$  がゼロとなるときの波長  $\lambda_2$  を求める (図 1 の C 参照)。

図 3 (C) には、図 3 (B) に示したプロファイル  $P_1$ 、 $P_2$  の差のプロファイル  $P_{32}$  が示されている。図 3 (C) に示すように、この場合のプロファイル  $P_{32}$  がゼロとなるとき、すなわち反射率差がゼロになるときの波長  $\lambda_2$  は 535 nm である。

[0032] 次に、求めた波長  $\lambda_2$  を含む波長帯を反射分光法による膜厚分布測定に用いる光の波長帯として選択する (図 1 の D 参照)。ここで、波長帯を波長  $\lambda_2 \pm 50$  nm の範囲内から選択することが好ましい。このようにすれば、薄膜の膜厚変動に対して反射率が変動しない波長帯をより確実に選択できる。

図 3 (C) に示すプロファイル  $P_{32}$  の例では、波長 535 nm の  $\pm 50$  nm の範囲内 (485 ~ 585 nm) から 535 nm を含む波長帯を選択する。

次に、選択した波長帯を用い、反射分光法によって SOI 層の膜厚分布を測定する (図 1 の E 参照)。

[0033] また、第一薄膜及び第二薄膜の膜厚分布を同時に測定する場合には、上記と同様にして、プロファイル  $P_1$ 、 $P_2$ 、 $P_3$ 、 $P_4$ 、 $P_5$  を算出し、波長  $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$  を求める。

図 3 (A) (B) に示す例では、 $\lambda_1$  は 608 nm、 $\lambda_2$  は 535 nm である。

次に、求めた波長  $\lambda_1$  及び  $\lambda_2$  を含む波長帯を反射分光法による膜厚分布測定に用いる光の波長帯として選択する。ここで、求めた波長  $\lambda_1$  及び  $\lambda_2$

が $\lambda_1 < \lambda_2$ の場合には、波長帯を波長 $\lambda_1 - 50\text{ nm}$ から波長 $\lambda_2 + 50\text{ nm}$ の範囲内から選択し、 $\lambda_1 > \lambda_2$ の場合には、波長帯を波長 $\lambda_2 - 50\text{ nm}$ から波長 $\lambda_1 + 50\text{ nm}$ の範囲内から選択することが好ましい。このようにすれば、薄膜の膜厚変動に対して反射率が変動しない波長帯をより確実に選択できる。

[0034] 図3 (C) に示す例では、 $\lambda_1 > \lambda_2$ であり、波長帯を波長 $535\text{ nm} - 50\text{ nm}$ から波長 $608\text{ nm} + 50\text{ nm}$ の範囲内 ( $485 \sim 658\text{ nm}$ ) から $535\text{ nm}$ 及び $608\text{ nm}$ を含む波長帯を選択する。ここで、例えば $535\text{ nm} \sim 608\text{ nm}$ の波長帯を選択すると、その波長帯の範囲ではSOI膜厚の膜厚増加と埋め込み酸化膜の膜厚増加で反射率の変化が逆になるので測定精度が向上する。

その後、この選択した波長帯を用い、反射分光法によって埋め込み酸化膜の膜厚分布を測定する。

[0035] 以上のような本発明の膜厚分布測定方法であれば、測定対象の薄膜付ウェーハに光を照射した際に、例え第一薄膜及び第二薄膜に膜厚変動があっても、反射率が変動しない波長帯の光を用いて反射分光法により膜厚分布測定を実施できるので、第一薄膜及び第二薄膜の膜厚分布を、高密度で精度良く、かつ短時間で測定できる。

[0036] 図4～図7に、他の設定膜厚仕様のSOIウェーハにおいてシミュレーションにより算出したプロファイルP1、P21、P22、P31、P32の例を示す。図8に、第一薄膜が埋め込み酸化膜、第二薄膜がGeOI (Germanium On Insulator) 層であるGeOIウェーハにおいてシミュレーションにより算出したプロファイルP1、P21、P22、P31、P32の例を示す。表1にこれらウェーハの設定膜厚仕様を示す。

[0037]

[表1]

|            | 第一薄膜                   |       | 第二薄膜      |      |
|------------|------------------------|-------|-----------|------|
|            | 材質                     | 設定膜厚  | 材質        | 設定膜厚 |
| ウエーハ1 (図3) | SiO <sub>2</sub> (BOX) | 25nm  | Si (S01)  | 12nm |
| ウエーハ2 (図4) | SiO <sub>2</sub> (BOX) | 10nm  | Si (S01)  | 12nm |
| ウエーハ3 (図5) | SiO <sub>2</sub> (BOX) | 145nm | Si (S01)  | 12nm |
| ウエーハ4 (図6) | SiO <sub>2</sub> (BOX) | 145nm | Si (S01)  | 88nm |
| ウエーハ5 (図7) | SiO <sub>2</sub> (BOX) | 10nm  | Si (S01)  | 50nm |
| ウエーハ6 (図8) | SiO <sub>2</sub> (BOX) | 25nm  | Ge (Ge01) | 12nm |

[0038]   このように、様々な設定膜厚仕様の薄膜付ウエーハそれぞれに対し、差の

プロファイルP31、P32がゼロになるときの波長が存在する。上記したように、この波長の光を薄膜付ウエーハに照射した際にその光の反射率は変動しない。そのため、この波長を中心とした所定範囲の波長帯の光を用いて反射分光法により測定すれば、膜厚分布を実用的な高いスループットで高精度に測定できる。

従って、FDーSOIデバイスなどで要求される高い膜厚分布均一性のSOI層、BOX層を有するウエーハの工程管理、品質管理が可能となる。

実施例

[0039]   以下、本発明の実施例及び比較例を示して本発明をより具体的に説明するが、本発明はこれらに限定されるものではない。

[0040]   (実施例1)

図1に示すような本発明の膜厚分布測定方法により、直径300mmのSOIウエーハの埋め込み酸化膜（BOX層）の膜厚分布を測定し、フイッティング精度を評価した。

ここで、測定対象のSOIウエーハのSOI層の設定膜厚を12nm、埋め込み酸化膜の設定膜厚は25nmであった。反射分光法による膜厚分布測定の際の条件として、測定ポイントを1mmピッチによる全面測定とし、周

辺除外領域を3 mmとした。尚、フィッティング精度は95%信頼区間に基づいた測定精度である。

[0041] まず、反射分光法による膜厚分布測定の際に用いる波長帯を選択するために、プロファイルP1、P21、P31を算出した。ここで、P21の算出において、tの条件を1 nmだけ厚い条件（SOI層の設定膜厚が13 nm）とした。算出したP1、P21を図3（A）に、P31を図3（C）に示す。プロファイルP31がゼロとなるときの波長 $\lambda_1$ は608 nmであり、波長 $\lambda_1$ を含む波長帯598～618 nmを選択した。

[0042] 次に、測定対象のSOIウェーハに波長帯400～800 nmの可視光を照射し、上記選択した波長帯の反射光のみを測定対象として、埋め込み酸化膜の膜厚分布を反射分光法によって測定した。

結果を表2に示す。表2に示すように、フィッティング精度は後述する比較例1と比べて大幅に改善されており、分光エリプソ法の精度と同等以上（最大値において0.11 nm以下の精度）が得られた。また、測定に要した時間は、通常の反射分光法と同等の1分以下であった。

[0043] （実施例2）

図1に示すような本発明の膜厚分布測定方法により、実施例1と同様の条件のSOIウェーハのSOI層の膜厚分布を測定し、フィッティング精度を評価した。

まず、反射分光法による膜厚分布測定の際に用いる波長帯を選択するために、プロファイルP1、P22、P32を算出した。ここで、P22の算出において、tの条件を1 nmだけ厚い条件（埋め込み酸化膜の設定膜厚が26 nm）とした。算出したP1を図3（A）に、P22を図3（B）に、P32を図3（C）に示す。プロファイルP32がゼロとなるときの波長 $\lambda_2$ は535 nmであり、波長 $\lambda_2$ を含む波長帯525～545 nmを選択した。

[0044] 次に、測定対象のSOIウェーハに波長帯400～800 nmの可視光を照射し、上記選択した波長帯の反射光のみを測定対象として、埋め込み酸化

膜の膜厚分布を反射分光法によって測定した。他の条件は実施例 1 と同様とした。

結果を表 2 に示す。表 2 に示すように、フィッティング精度は後述する比較例 2 と比べて大幅に改善されており、分光エリプソ法の精度と同等以上（最大値において 0.11 nm 以下の精度）が得られた。また、測定に要した時間は、通常の反射分光法と同等の 1 分以下であった。

[0045] （実施例 3）

図 1 に示すような本発明の膜厚分布測定方法により、実施例 1 と同様の条件の SOI ウェーハの SOI 層及び埋め込み酸化膜の膜厚分布を同時に測定し、フィッティング精度を評価した。

まず、反射分光法による膜厚分布測定の際に用いる波長帯を選択するために、プロファイル P 1、P 2 1、P 2 2、P 3 1、P 3 2 を算出した。ここで、P 2 1 の算出において、t の条件を 1 nm だけ厚い条件（SOI 層の設定膜厚が 1.3 nm）とし、P 2 2 の算出において、t の条件を 1 nm だけ厚い条件（埋め込み酸化膜の設定膜厚が 2.6 nm）とした。算出した P 1、P 2 1 を図 3（A）に、P 2 2 を図 3（B）に、P 3 1、P 3 2 を図 3（C）に示す。プロファイル P 3 1、P 3 2 がゼロとなるときの波長  $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$  はそれぞれ 608 nm、535 nm であり、波長  $\lambda_1$  及び  $\lambda_2$  を含む波長帯 535～610 nm を選択した。

[0046] 次に、測定対象の SOI ウェーハに波長帯 400～800 nm の可視光を照射し、上記選択した波長帯の反射光のみを測定対象として、埋め込み酸化膜の膜厚分布を反射分光法によって測定した。他の条件は実施例 1 と同様とした。

結果を表 2 に示す。表 2 に示すように、フィッティング精度は後述する比較例 3 と比べて大幅に改善されており、分光エリプソ法の精度と同等以上（最大値において 0.11 nm 以下の精度）が得られた。また、測定に要した時間は、通常の反射分光法と同等の 1 分以下であった。

実施例 1－3 の測定ポイントで分光エリプソ法による測定を行うためには

、測定精度の悪い条件、例えば1点2秒で測定したとしても30時間以上を要するため現実的ではない。

[0047] (比較例1)

反射分光法による膜厚分布測定の際に、照射した波長帯400～800 nmの可視光に対してその波長帯全体の反射光を測定対象とした以外、実施例1と同様な条件でSOIウェーハの埋め込み酸化膜の膜厚分布を測定し、実施例1と同様に評価した。

その結果を表2に示す。表2に示すように、実施例1と比べフィッティング精度が大幅に悪化してしまった。

[0048] (比較例2)

反射分光法による膜厚分布測定の際に、照射した波長帯400～800 nmの可視光に対してその波長帯全体の反射光を測定対象とした以外、実施例2と同様な条件でSOIウェーハのSOI層の膜厚分布を測定し、実施例2と同様に評価した。

その結果を表2に示す。表2に示すように、実施例2と比べフィッティング精度が大幅に悪化してしまった。

[0049] (比較例3)

反射分光法による膜厚分布測定の際に、照射した波長帯400～800 nmの可視光に対してその波長帯全体の反射光を測定対象とした以外、実施例3と同様な条件でSOIウェーハのSOI層及び埋め込み酸化膜の膜厚分布を測定し、実施例3と同様に評価した。

その結果を表2に示す。表2に示すように、実施例3と比べフィッティング精度が大幅に悪化してしまった。

[0050]

|       |       |        |        |        |       |
|-------|-------|--------|--------|--------|-------|
|       | BOX層厚 | 23.803 | 26.687 | 24.682 | 0.164 |
| 美施例 1 | 精度    | 0.024  | 0.109  | 0.065  | 0.012 |
|       | S01層厚 | 11.203 | 12.542 | 12.074 | 0.161 |
| 美施例 2 | 精度    | 0.012  | 0.072  | 0.033  | 0.007 |
|       | S01層厚 | 11.369 | 12.537 | 12.071 | 0.170 |
| 美施例 3 | 精度    | 0.024  | 0.072  | 0.041  | 0.007 |
|       | BOX層厚 | 23.838 | 26.621 | 24.623 | 0.139 |
|       | BOX層厚 | 0.034  | 0.095  | 0.061  | 0.008 |
| 比較例 1 | BOX層厚 | 21.062 | 24.610 | 23.131 | 0.464 |
|       | 精度    | 0.191  | 0.665  | 0.462  | 0.068 |
| 比較例 2 | S01層厚 | 10.426 | 11.933 | 11.382 | 0.188 |
|       | 精度    | 0.063  | 0.215  | 0.147  | 0.022 |
| 比較例 3 | S01層厚 | 9.997  | 12.310 | 11.663 | 0.191 |
|       | 精度    | 0.133  | 0.475  | 0.321  | 0.048 |
|       | BOX層厚 | 22.748 | 27.422 | 23.957 | 0.164 |
|       | BOX層厚 | 0.404  | 1.570  | 0.974  | 0.143 |

ィング精度を向上できることが確認できた。

[0053] なお、本発明は、上記実施形態に限定されるものではない。上記実施形態は例示であり、本発明の特許請求の範囲に記載された技術的思想と実質的に同一な構成を有し、同様な作用効果を奏するものは、いかなるものであっても本発明の技術的範囲に包含される。

## 請求の範囲

[請求項1] 基板の表面上に形成された第一薄膜と、該第一薄膜の表面上に形成された第二薄膜とを有する薄膜付ウェーハの前記第一薄膜の膜厚分布を反射分光法によって測定する膜厚分布測定方法であって、

前記測定対象の薄膜付ウェーハの可視光の波長以上の波長領域の光に対する反射率の波長依存性を示すプロファイルP 1をシミュレーションにより算出する工程と、

前記測定対象の薄膜付ウェーハの前記第二薄膜の設定膜厚T 2よりt [nm]だけ薄い、又は厚い第二薄膜を有する薄膜付ウェーハの可視光以上の波長領域の光に対する反射率の波長依存性を示すプロファイルP 2 1をシミュレーションにより算出する工程と、

前記算出した両方のプロファイルP 1、P 2 1の差のプロファイルP 3 1 (= P 2 1 - P 1)を算出し、該算出した差のプロファイルP 3 1がゼロとなるときの波長 $\lambda$  1を求める工程と、

前記求めた波長 $\lambda$  1を含む波長帯を前記反射分光法による膜厚分布測定に用いる光の波長帯として選択する工程と、

前記測定対象の薄膜付ウェーハの表面に光を照射し、該薄膜付ウェーハの表面からの反射光のうち前記選択した波長帯の反射光のみを測定対象として、又は、前記測定対象の薄膜付ウェーハの表面に前記選択した波長帯の光を照射し、該薄膜付ウェーハの表面からの反射光の全てを測定対象として、前記第一薄膜の膜厚分布を反射分光法によって測定することを特徴とする膜厚分布測定方法。

[請求項2] 前記求めた波長 $\lambda$  1を含む波長帯を選択する工程において、前記波長帯を波長 $\lambda$  1  $\pm$  50 [nm]の範囲内から選択することを特徴とする請求項1に記載の膜厚分布測定方法。

[請求項3] 基板の表面上に形成された第一薄膜と、該第一薄膜の表面上に形成された第二薄膜とを有する薄膜付ウェーハの前記第二薄膜の膜厚分布を反射分光法によって測定する膜厚分布測定方法であって、

前記測定対象の薄膜付ウェーハの可視光の波長以上の波長領域の光に対する反射率の波長依存性を示すプロファイル P 1 をシミュレーションにより算出する工程と、

前記測定対象の薄膜付ウェーハの前記第一薄膜の設定膜厚  $T_1$  より  $t$  [nm] だけ薄い、又は厚い第一薄膜を有する薄膜付ウェーハの可視光以上の波長領域の光に対する反射率の波長依存性を示すプロファイル P 2 2 をシミュレーションにより算出する工程と、

前記算出した両方のプロファイル P 1、P 2 2 の差のプロファイル P 3 2 ( $= P 2 2 - P 1$ ) を算出し、該算出した差のプロファイル P 3 2 がゼロとなるときの波長  $\lambda_2$  を求める工程と、

前記求めた波長  $\lambda_2$  を含む波長帯を前記反射分光法による膜厚分布測定に用いる光の波長帯として選択する工程と、

前記測定対象の薄膜付ウェーハの表面に光を照射し、該薄膜付ウェーハの表面からの反射光のうち前記選択した波長帯の反射光のみを測定対象として、又は、前記測定対象の薄膜付ウェーハの表面に前記選択した波長帯の光を照射し、該薄膜付ウェーハの表面からの反射光の全てを測定対象として、前記第二薄膜の膜厚分布を反射分光法によって測定することを特徴とする膜厚分布測定方法。

[請求項4] 前記求めた波長  $\lambda_2$  を含む波長帯を選択する工程において、前記波長帯を波長  $\lambda_2 \pm 50$  [nm] の範囲内から選択することを特徴とする請求項 3 に記載の膜厚分布測定方法。

[請求項5] 基板の表面上に形成された第一薄膜と、該第一薄膜の表面上に形成された第二薄膜とを有する薄膜付ウェーハの前記第一薄膜及び第二薄膜の膜厚分布を反射分光法によって測定する膜厚分布測定方法であって、

前記測定対象の薄膜付ウェーハの可視光の波長以上の波長領域の光に対する反射率の波長依存性を示すプロファイル P 1 をシミュレーションにより算出する工程と、

前記測定対象の薄膜付ウェーハの前記第二薄膜の設定膜厚  $T_2$  より  $t$  [nm] だけ薄い、又は厚い第二薄膜を有する薄膜付ウェーハの可視光以上の波長領域の光に対する反射率の波長依存性を示すプロファイル  $P_{21}$  をシミュレーションにより算出する工程と、

前記算出した両方のプロファイル  $P_1$ 、 $P_{21}$  の差のプロファイル  $P_{31}$  ( $= P_{21} - P_1$ ) を算出し、該算出した差のプロファイル  $P_{31}$  がゼロとなるときの波長  $\lambda_1$  を求める工程と、

前記測定対象の薄膜付ウェーハの前記第一薄膜の設定膜厚  $T_1$  より  $t$  [nm] だけ薄い、又は厚い第一薄膜を有する薄膜付ウェーハの可視光以上の波長領域の光に対する反射率の波長依存性を示すプロファイル  $P_{22}$  をシミュレーションにより算出する工程と、

前記算出した両方のプロファイル  $P_1$ 、 $P_{22}$  の差のプロファイル  $P_{32}$  ( $= P_{22} - P_1$ ) を算出し、該算出した差のプロファイル  $P_{32}$  がゼロとなるときの波長  $\lambda_2$  を求める工程と、

前記求めた波長  $\lambda_1$  及び  $\lambda_2$  を含む波長帯を前記反射分光法による膜厚分布測定に用いる光の波長帯として選択する工程と、

前記測定対象の薄膜付ウェーハの表面に光を照射し、該薄膜付ウェーハの表面からの反射光のうち前記選択した波長帯の反射光のみを測定対象として、又は、前記測定対象の薄膜付ウェーハの表面に前記選択した波長帯の光を照射し、該薄膜付ウェーハの表面からの反射光の全てを測定対象として、前記第一薄膜及び第二薄膜の膜厚分布を反射分光法によって測定することを特徴とする膜厚分布測定方法。

[請求項6]

前記求めた波長  $\lambda_1$  及び  $\lambda_2$  を含む波長帯を選択する工程において、 $\lambda_1 < \lambda_2$  の場合には、前記波長帯を波長  $\lambda_1 - 50$  [nm] から波長  $\lambda_2 + 50$  [nm] の範囲内から選択し、 $\lambda_1 > \lambda_2$  の場合には、前記波長帯を波長  $\lambda_2 - 50$  [nm] から波長  $\lambda_1 + 50$  [nm] の範囲内から選択することを特徴とする請求項5に記載の膜厚分布測定方法。

[請求項7]           前記測定対象の薄膜付ウェーハがＳＯＩウェーハであり、前記第一薄膜が埋め込み酸化膜であり、前記第二薄膜がシリコン単結晶からなるＳＯＩ層であることを特徴とする請求項１乃至請求項６のいずれか１項に記載の膜厚分布測定方法。