

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5341354号
(P5341354)

(45) 発行日 平成25年11月13日(2013.11.13)

(24) 登録日 平成25年8月16日(2013.8.16)

(51) Int.Cl.

G01B 11/06 (2006.01)
G01N 21/21 (2006.01)

F 1

G01B 11/06
G01N 21/21G
Z

請求項の数 37 (全 18 頁)

(21) 出願番号 特願2007-551372 (P2007-551372)
 (86) (22) 出願日 平成18年1月11日 (2006.1.11)
 (65) 公表番号 特表2008-530519 (P2008-530519A)
 (43) 公表日 平成20年8月7日 (2008.8.7)
 (86) 國際出願番号 PCT/US2006/001067
 (87) 國際公開番号 WO2006/076484
 (87) 國際公開日 平成18年7月20日 (2006.7.20)
 審査請求日 平成21年1月6日 (2009.1.6)
 (31) 優先権主張番号 60/643,711
 (32) 優先日 平成17年1月12日 (2005.1.12)
 (33) 優先権主張国 米国(US)
 (31) 優先権主張番号 11/329,500
 (32) 優先日 平成18年1月10日 (2006.1.10)
 (33) 優先権主張国 米国(US)

(73) 特許権者 500049141
 ケーレルエーテンカー コーポレイション
 アメリカ合衆国、95035、カリフォルニア州、ミルピタス、ワン テクノロジードライブ
 (74) 代理人 100075144
 弁理士 井ノ口 寿
 (72) 発明者 ペアケット、ノア
 アメリカ合衆国、95070、カリフォルニア州、サルトガ、サラグレン ドライブ
 12344

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】周期的回折構造を含む層を有するサンプルを測定するためのシステム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

周期的回折構造を含む層を有するサンプルを測定する方法であって、複数の波長の電磁輻射の第1のビームを前記周期的回折構造に向けるステップと、前記周期的回折構造からの複数の波長での第1のビームの回折を検出するステップと、層の膜モデルを用いて層の厚さ値を見出すステップであって、選択された波長の範囲内のデータまたは選択された波長におけるデータに限定された層の前記周期的回折構造からの回折から得られたデータを使用する膜モデルを使用し、その範囲またはそのような波長における周期的回折構造の反射率は、前記周期的回折構造の1つ以上のプロフィールパラメータの変化に対する感度がそのような範囲の外側の波長または選択された波長とは異なる波長におけるそのような変化に対する感度よりも低い、見出すステップと、

厚さ値と検出された前記回折とを用いて前記周期的回折構造に関連する1つ以上のパラメータを判定するステップと、
を含む方法。

【請求項 2】

請求項1記載の方法において、
前記見出すステップは、反射計または橢円偏光計を使用する方法。

【請求項 3】

請求項1記載の方法において、
前記見出すステップは、分光反射計または分光橢円偏光計を使用する方法。

10

20

【請求項 4】

請求項 1 記載の方法において、

前記見出すステップは、赤外線および近赤外線の範囲内の波長のデータに限定されたデータを使用する膜モデルを使用する方法。

【請求項 5】

請求項 1 記載の方法において、

前記見出すステップは、

前記周期的回折構造の少なくとも一部分を含む層のセクションに複数の波長の電磁輻射の第 2 のビームを向けるステップと、

前記第 2 のビームが前記層のセクションによって反射、屈折、または回折された後に前記第 2 のビームの強度または橢円偏光データを検出するステップと、

を含む方法。

【請求項 6】

請求項 5 記載の方法において、

前記見出すステップは、層の厚さと屈折率とを含むパラメータを用いるが前記周期的回折構造の別のプロフィールパラメータを用いない膜モデルを使用する方法。

【請求項 7】

請求項 6 記載の方法において、

前記見出すステップは、層の屈折率に関連するパラメータの値を変える方法。

【請求項 8】

請求項 1 記載の方法において、

前記見出すステップは、検出された回折から厚さ値を見出す方法。

【請求項 9】

請求項 1 記載の方法において、

前記見出すステップは、層の厚さと屈折率とを含むパラメータを用いるが前記周期的回折構造の別のプロフィールパラメータを用いない膜モデルを使用する方法。

【請求項 10】

請求項 9 記載の方法において、

前記見出すステップは、層の屈折率に関連するパラメータの値を変える方法。

【請求項 11】

請求項 10 記載の方法において、

前記見出すステップは、層の厚さと屈折率とを含むパラメータを用いるが前記周期的回折構造の別のプロフィールパラメータを用いない膜モデルを使用する方法。

【請求項 12】

請求項 1 記載の方法において、

前記見出すステップは、層の屈折率に関連するパラメータの値を変える方法。

【請求項 13】

請求項 1 記載の方法において、

前記見出すステップは、少なくとも前記周期的回折構造の回折が検出された部分を含む層のセクションを測定することにより厚さ値を見出す方法。

【請求項 14】

請求項 1 記載の方法において、

前記判定するステップは、厚さ値を用いる回帰アルゴリズムを適用するステップを含む方法。

【請求項 15】

請求項 1 記載の方法において、

前記判定するステップは、前記周期的回折構造に関連する 1 つ以上のパラメータを判定する回帰アルゴリズムを適用するステップを含む方法。

【請求項 16】

請求項 15 記載の方法において、

10

20

30

40

50

前記回帰アルゴリズムは前記周期的回折構造のプロフィールパラメータのみの値を変え、前記変えられるパラメータは層の厚さを含まない方法。

【請求項 1 7】

請求項 1 6 記載の方法において、

前記変えられるパラメータは、前記周期的回折構造の幅または直径と側壁角とに関連する方法。

【請求項 1 8】

請求項 1 記載の方法において、

前記検出するステップは、前記回折から強度または楕円偏光データを検出し、前記判定するステップは、検出した強度または楕円偏光データを用いて前記周期的回折構造に関連する 1 つ以上のパラメータを判定する方法。 10

【請求項 1 9】

請求項 1 記載の方法において、

前記判定するステップは、厚さ値を用いて基準データベースを構築するステップを含む方法。

【請求項 2 0】

請求項 1 記載の方法において、

前記判定するステップは、厚さ値を固定パラメータとして用いる線形または非線形の最適化プロセスをさらに含む方法。

【請求項 2 1】

請求項 1 記載の方法において、

前記判定するステップは、前記周期的回折構造のパラメータと共に厚さ値が変動するパラメータ推定プロセスで厚さ値をシード値として用いる線形または非線形の最適化プロセスを含む方法。 20

【請求項 2 2】

請求項 1 記載の方法において、

前記見出すステップは、膜モデルを用いて層の屈折率の値（単数または複数）も見出す方法。

【請求項 2 3】

請求項 2 2 記載の方法において、

前記周期的回折構造のパラメータの幾つかについて線形または非線形の最適化プロセスでシードまたは開始値を生成し、これによりこのプロセスの収束を速めるために、前記判定するステップは、層の屈折率の値（単数または複数）を用いるステップを含む方法。 30

【請求項 2 4】

請求項 1 記載の方法において、

前記周期的回折構造のパラメータの変化に対するデータの感度を最大にするために、厚さ値に応じて、前記第 1 のビームの光学的照明角度、アパーチャサイズ、および前記検出するステップのための収集角度のうちの 1 つ以上を選択または調整するステップをさらに含む方法。

【請求項 2 5】

請求項 2 4 記載の方法において、

前記見出すステップは前記向けるステップおよび前記検出するステップに先行して、前記周期的回折構造の少なくとも一部分を含む層のセクションの厚さ値を見出し、前記向けるステップは向け、前記検出するステップは層のセクションまたは前記周期的回折構造の少なくとも一部分を含む層の別のセクションから検出する方法。 40

【請求項 2 6】

請求項 2 4 記載の方法において、

前記見出すステップは、前記向けるステップおよび前記検出するステップに先行して、前記周期的回折構造の少なくとも一部分を含む層のセクションの厚さ値を見出し、前記向けるステップは、厚さ値がそれから見出されたところのものとは異なる周期的回折構造を 50

含む層のセクションに前記第1のビームを向け、前記検出するステップはこのセクションから検出する方法。

【請求項27】

周期的回折構造を含む層を有するサンプルを測定する方法であって、複数の波長の電磁輻射の第1のビームを前記周期的回折構造に向けるステップと、前記周期的回折構造からの複数の波長での第1のビームの回折を検出するステップと、層の膜モデルを用いて層の厚さ値および検出された前記回折を見出すステップであって、層の厚さと屈折率とを含むパラメータを用いるが前記周期的回折構造の別のプロフィールパラメータを用いない膜モデルを使用する、見出すステップと、

厚さ値と検出された前記回折とを用いて前記周期的回折構造に関連する1つ以上のパラメータを判定するステップと、

を含む方法。

【請求項28】

請求項27記載の方法において、

前記判定するステップは、厚さ値を用いる回帰アルゴリズムを適用するステップを含む方法。

【請求項29】

請求項27記載の方法において、

前記判定するステップは、前記周期的回折構造に関連する1つ以上のパラメータを判定する回帰アルゴリズムを適用するステップを含む方法。

20

【請求項30】

請求項29記載の方法において、

前記回帰アルゴリズムは前記周期的回折構造のプロフィールパラメータのみの値を変え、前記変えられるパラメータは層の厚さを含まない方法。

【請求項31】

請求項30記載の方法において、

前記変えられるパラメータは、前記周期的回折構造の幅または直径と側壁角とに関連する方法。

【請求項32】

請求項27記載の方法において、

30

前記見出すステップは、膜モデルを用いて層の屈折率の値（単数または複数）も見出す方法。

【請求項33】

請求項32記載の方法において、

前記周期的回折構造のパラメータの幾つかについて線形または非線形の最適化プロセスでシードまたは開始値を生成し、これによりこのプロセスの収束を速めるために、前記判定するステップは、層の屈折率の値（単数または複数）を用いるステップを含む方法。

【請求項34】

請求項27記載の方法において、

前記周期的回折構造のパラメータの変化に対するデータの感度を最大にするために、厚さ値に応じて、前記第1のビームの光学的照明角度、アパーチャサイズ、および前記検出するステップのための収集角度のうちの1つ以上を選択または調整するステップをさらに含む方法。

40

【請求項35】

請求項34記載の方法において、

前記見出すステップは前記向けるステップおよび前記検出するステップに先行して、前記周期的回折構造の少なくとも一部分を含む層のセクションの厚さ値を見出し、前記向けるステップは向け、前記検出するステップは層のセクションまたは前記周期的回折構造の少なくとも一部分を含む層の別のセクションから検出する方法。

【請求項36】

50

請求項 1 記載の方法において、
前記膜モデルで使用されたデータは、前記検出するステップで検出された前記回折から得られる方法。

【請求項 3 7】

請求項 2 7 記載の方法において、
前記見出すステップは、前記膜モデルおよび前記検出するステップで検出された前記回折を使用する方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0 0 0 1】

10

本発明は、一般的には光学サンプル測定システムに関し、特に周期的回折構造を含む層を有するサンプルを測定するためのシステムに関する。

【背景技術】

【0 0 0 2】

半導体ウェハ処理或いは類似の応用では、レジスト膜または誘電体層にエッチングされた接点穴のような、薄膜にエッチングされた構造の寸法および/またはプロフィールの測定に遭遇することが良くある。構造の寸法および/またはプロフィールを測定する従来の方法は、分光スキャタロメトリ (spectroscopic scatterometry) または分光限界寸法測定法 (spectroscopic critical dimension measurements (S C D)) による。現在の S C D 法では、広帯域光ビームの正反射率のスペクトルが、膜にエッチングされた接点穴または線のアレイの高さ、幅または直径 (限界寸法としても知られている) 、および側壁角のようなパラメータを測定するために使用される。測定を実行するために、構造のモデルを用いてモデルパラメータの関数として反射率スペクトルが計算される。そのスペクトルに合致するモデルパラメータの最善の値を見出すためにアルゴリズムが使用される。構造のモデルにおいて説明されなければならないモデルパラメータが多数あるならば、スペクトルの計算は時間を消費し、実時間で (例えば、数秒で) 完了するためには実用的でなくなる。

20

【0 0 0 3】

この問題を回避するために、現在の方法の 1 つの変形では構造を含まないウェハ上の膜または層の隣接領域が厚さ情報を得るために独立に測定される。隣接領域の膜または層と、興味の対象である構造 (例えば、接点穴) を有する膜または層とが同じ膜インデックスおよび厚さ特性を有するとすれば、そのような厚さ値を後に構造モデルの構築に使用し、これによりモデルパラメータの数を減らすことができる。これは、モデリングの複雑さと計算時間とを減少させるという結果をもたらす。

30

【0 0 0 4】

前述した従来の方法は幾つかの理由から不利である。第 1 に、始めに隣接領域を独立別個に測定することによってモデリングを簡単化することは、そのような隣接領域が常に利用可能であるとは限らないので、常に可能であるとは限らない。たとえそのような領域が利用可能であっても、そのような領域における膜の厚さは、興味の対象であるエッチングされた膜構造の厚さまたは高さとは大幅に異なるかもしれない。隣接領域で別個の測定が実行されなくとも、前述したように、計算が実時間で実行されなければならない用途については計算に時間がかかり過ぎるかもしれない。従って、前述した欠点を克服する改良されたシステムを提供することが望ましい。

40

【特許文献 1】米国特許第 5,608,526 号

【特許文献 2】米国特許第 5,747,813 号

【特許文献 3】米国特許第 4,905,170 号

【特許文献 4】米国特許第 6,590,656 号

【特許文献 5】米国特許出願第 09/741,663 号

【特許文献 6】米国特許出願第 09/671,715 号

【非特許文献 1】ペンウェル・パブリッシング・カンパニーから出版されたソリッドステ

50

ート・テクノロジーの1995年8月版からリプリントされたアイボックらによる「非晶質および多結晶質シリコン膜の光学的特性評価」

【非特許文献2】1986年11月15日の、フォルイらによる「非晶質半導体および非晶質誘電体についての光学的分散関係」、フィジカル・レビューB、第34巻、第10号、7018~7026頁

【非特許文献3】1988年7月15日の、フォルイらによる「結晶質半導体および誘電体の光学的特性」、フィジカル・レビューB、第38巻、第3号、1865~1874頁

【非特許文献4】チャールズ・ダブリュー・ハガヌスらによる「円錐マウントにおけるゼロ次ラメラ格子の有効媒質理論」、J. Opt. Soc. Am. A、1993年10月19日、第10巻、第10号、2217~2225頁

10

【非特許文献5】ピー・ララネらによる「古典的マウントにおけるサブ波長格子の高次有効媒質理論：体積ホログラムへの応用」、J. Opt. Soc. Am. A、第15巻、第7号、1998年7月、1843~1851頁

【非特許文献6】ピー・レラネによる「サブ波長周期構造の有効媒質理論について」、現代光学ジャーナル、1996年、第43巻、第10号、2063~2085頁

【非特許文献7】「非準安定状態限界における2次元サブ波長格子の有効媒質理論」、J. Opt. Soc. Am. A、第15巻、第6号、1998年6月、1577~1585頁

【非特許文献8】ハーランド・ジー・トンプキンスおよびウィリアム・エイ・マクガンによる「分光橜円偏光法および反射計測：ユーザのガイド」、ジョン・ワイリー・アンド・サンズ・インコーポレイション、ニューヨーク、1999年、101~107頁

20

【非特許文献9】バーナーらの「偏光解析法」、技術者の技術、R 6490、1~16頁(1990)

【発明の開示】

【0005】

本発明は、構造モデルの構築を簡単化するために、ターゲット構造の構造モデルを用いて回折構造に関するパラメータの導出を容易にするためにターゲット回折構造を含むウェハの同じ領域に関する膜厚情報を得ることができるとするという認識に基づいている。その膜厚の値は、モデルパラメータの数を減らし信号スペクトルの計算を簡単化するためにターゲット構造の構造モデルの構築或いは応用に使用され得る。一実施形態では、回折構造に関するパラメータを導出するために使用される同じ回折データから膜厚を得ることができるので、初めにデータから膜厚を得、その後に回折構造に関するパラメータを同じデータから導出するプロセスのために充分なデータを得るとき、単一の測定で充分である。代わりの実施形態では、ターゲット回折構造を含むウェハの同じ領域に対して膜厚測定を始めに実行することができ、その後に膜モデルを用いて膜厚を見出すことができる。その後、回折構造に関するパラメータがそれから導出されるところのデータを得るために回折構造に対して別個の測定が行われる。

30

【0006】

好ましくは、膜厚を得るためのプロセスに使用される膜モデルは、ピッチ、限界寸法、側壁角或いは他のプロフィール関連パラメータのような、回折構造に関する如何なる量も変化させず、或いはパラメータ化しない。好ましくは、回折構造は複数の波長(例えば、230~850 nmの範囲の波長)の輻射によって照明される。ビームの回折は好ましくは複数の波長で検出され、見出された厚さ値と検出された回折とを用いて回折構造に関する1つ以上のパラメータが判定される。前述したシステムは、信号スペクトルの或る領域内で検出される輻射を用いて膜内の或るタイプの構造を測定するために特に有益である。回折は、分光スキャタローメータ(spectroscopic scatterometer)、反射計、橜円偏光計或いは偏光計のような任意の適切な機器を用いて検出され得る。

40

【0007】

説明を簡潔にするために、本願では同一の構成要素は同じ数字により特定される。

【発明を実施するための最良の形態】

50

【0008】

図1Aは、半導体ウェハ12の一部分の斜視図であり、これは中に接点穴13の2次元アレイを有する層12bを上に有するシリコン基板12aを有する。図1Bは、図1Aのウェハ12の、図1Aの線1B-1Bに沿う横断面図である。図1Bの横断面図は、図1Aの縮尺と同じ縮尺で描かれてはいない。図1Bに示されているように、接点穴のアレイ内の穴13の各々は直径Dを有し、穴はピッチPで間隔を置いて並べられている。層12bはhの厚さまたは高さを有し、接点穴13の側壁はシリコン基板12aの上面に対して角度Aをなす。

【0009】

従来の方法では、D(穴13の直径)、ピッチP、高さまたは厚さh、側壁角A、または接点穴13のプロフィールまたは形状に関連する他のパラメータのような量を判定できるように、前に参照されたパラメータの全ては層12bの複素屈折率と共に構造のモデルに含められ、スペクトルと合致する最良のモデルパラメータを見出すために回帰が使用される。このような多数のパラメータを含むスペクトルの計算は時間を消費し、実時間で完了するためには実用的でない。前述した従来の方法の1つでは、膜厚の値を見出すために穴のない膜の隣接領域が独立に測定される。この測定された厚さ値は、構造モデルの独立変数の数を減らすために、中に穴を有する膜のための構造モデルにおいて後に使用され得る。しかし、図1Aおよび1Bのウェハ12により例示されているように、残りのパラメータの判定とは無関係にそのような別個の測定を行って層12bの厚さhを判定するための、接点穴13の存在しない層12bの余分の領域はない。

10

【0010】

本発明は、穴アレイに関連するパラメータの測定のための構造モデルを簡単にするために、接点穴アレイに関連するパラメータをいろいろに変えない層の膜モデルを用いて始めに層12bの厚さhの近似値を見出すことができるという認識に基づく。そのようにして見出される厚さは、穴13の直径DがピッチP或いは穴間の間隔の三分の一未満である場合により正確である。そのとき、穴13により占められる体積率は0.1より僅かに小さい。そのような場合、接点穴のパラメータ(例えば、直径、ピッチ、側壁角など)をいろいろに変えない膜モデルは、多くの用途のために充分な精度の高さhの推定値を提供する。膜モデルを用いる前述したコンセプトを適用するための他の有利な条件は、或る波長における層12bの穴13のアレイから屈折した輻射の反射率が、穴直径Dのような回折構造に関連するパラメータによる影響を余り受けないということである。これらの問題点を検討する前に、まず、図1Aおよび1Bのウェハ12を測定するために使用され得る装置を説明するのが有益である。

20

【0011】

図2は、本発明の好ましい実施形態を具体的に説明する分光スキャタロメータシステム10の略図である。図2に示されているように、システム10は、分光スキャタロメータ、分光橜円偏光計および分光反射計の特徴を有利に組み合わせられる。分光反射計または分光橜円偏光計は、膜モデルを用いて回折構造を含む層の膜厚を測定し、以下で説明される回折構造に関連するパラメータを判定するために接点穴13のアレイから回折した輻射のスペクトルを後に測定するために使用され得る。図2に示されているように、半導体ウェハ12は、シリコン基板12aと、膜内の接点穴のアレイのような2次元回折構造を中に有する基板上の(フォトレジストパターンのような)膜12bとを含むことができ、この膜は、少なくとも部分的に光伝導性であって、一定の膜厚hおよび屈折率(nおよびk、すなわち屈折率の実数成分および虚数成分)を有する。

30

【0012】

ウェハを光学系に対して位置決めするためウェハを水平XY方向に移動させるためにXYZステージ14が使用される。以下で説明するように、ウェハ12のz高さを調整するためにもステージ14が使用され得る。図2に関して、白色光源22のような広帯域輻射源(或いは単一または複数の波長の輻射を供給する光源)は、偏りをランダム化してウェハを照明するための均一な光源を作り出すオプションの光ファイバケーブル24を通して

40

50

光を供給する。好ましくは、光源 22 は少なくとも 230 ~ 800 nm の範囲の波長を有する電磁輻射を供給する。ファイバ 24 から出ると、輻射は、スリットアーチャおよびフォーカスレンズ（図示せず）を含むことのできる光学照明器を通過する。このスリットアーチャは、出てきた光ビームに、調節され得る寸法の層 12b の領域を結像させる。照明器 26 から出た光は、P 偏光または S 偏光を有するもののような、層 12b を照明する偏光サンプリングビーム 30 を生じさせるように偏光子 28 により偏光させられる。

【0013】

サンプリングビーム 30 から生じた輻射は、層 12b により反射させられ、その反射した輻射のいろいろなスペクトル成分を検出するために検光子 32 を通して分光計 34 に渡される。分光橜円偏光計についてのもっと詳しい解説を得るために 1997 年 3 月 4 日に登録された米国特許第 5,608,526 号（特許文献 1）を参照されたい。この特許は、その全体が本願明細書において参照により援用されている。

10

【0014】

膜厚を測定するためのシステム 10 の分光橜円偏光法モードでは、分光計 34 が光源 22 のスペクトル中の波長などの複数の波長の反射した光を検出しているときに偏光子 28 または検光子 32（または両方）が（偏光子および検光子間に相対的回転運動を生じさせるために）回転させられ、その回転は当業者に知られた仕方でコンピュータ 40 により制御される。検出されたいろいろな波長における反射強度はコンピュータ 40 に供給され、これは以下でより詳しく説明する仕方で層 12b（または層 12b に似ているが中に穴を持つていない層）の膜厚と屈折率の n および k の値とを計算する。層 12b に似ているが中に穴を持つていない層の膜厚と屈折率の n および k の値とは、当業者に知られている仕方で、または米国特許第 5,608,526 号（特許文献 1）に記載されているように、導出され得る。

20

【0015】

膜厚を測定するためには分光橜円偏光法が好ましいけれども、或る用途では膜厚を測定するためには分光反射計（スペクトロリフレクトメータおよびスペクトロフォトメータとしても知られている）が適切である。この目的のために、レンズ 23 は光源 22 からの輻射を集めてビームスプリッタ 52 に向け、これは、入ってきたビームの一部を、輻射を層 12b に収束させる集束レンズ 54 の方へ反射させる。層 12b から反射した光は、レンズ 54 により集められ、ビームスプリッタ 52 を通過して分光反射計 60 内の分光計に進む。測定される单一またはいろいろな波長のスペクトル成分が検出され、そのような成分を表す信号が、例えば米国特許第 5,747,813 号（特許文献 2）に記載されている仕方で膜厚と屈折率とを判定するためにコンピュータ 40 に供給される。分光反射計および分光橜円偏光計以外の分光装置、または偏光計および单一波長橜円偏光計または反射計のような他の装置も、層 12b の膜厚を測定するために使用され得、本発明の範囲内にある。

30

【0016】

層 12b の膜厚を判定するために使用され得るそのような分光装置の他の例は、カリフォルニア州サンタ クララの n & k テクノロジー・インク (n&k Technology Inc.) の n & k アナライザ (n&k Analyzer) を含み、ペンウェル・パブリッシング・カンパニーから出版されたソリッドステート・テクノロジーの 1995 年 8 月版からリプリントされたアイボックらによる「非晶質および多結晶質シリコン膜の光学的特性評価」（“Optical Characterization of Amorphous and Polycrystalline Silicon Films,” by Ibok et al., reprinted from August 1995 edition of Solid State Technology published by PennWell Publishing Company）（非特許文献 1）、1986 年 11 月 15 日の、フォルイらによる「非晶質半導体および非晶質誘電体についての光学的分散関係」、フィジカル・レビュー B, 第 34 卷, 第 10 号, 7018 ~ 7026 頁（“Optical Dispersion Relations for Amorphous Semiconductors and Amorphous Dielectrics,” by Forouhi et al., Physical Review B, vol. 34, no. 10, pp. 7018-7026, Nov. 15, 1986）（非特許文献 2）、1988 年 7 月 15 日の、フォルイらによる「結晶質半導体および誘電体の光学的特性」

40

50

, フィジカル・レビュー B , 第 38 卷 , 第 3 号 , 1865 ~ 1874 頁 ("Optical Properties of Crystalline Semiconductors and Dielectrics," by Forouhi et al. , Physical Review B, vol. 38, no. 3, pp. 1865-1874, Jul. 15, 1988) (非特許文献 3) 、および米国特許第 4 , 905 , 170 号 (特許文献 3) に記載されている。

【 0017 】

ウェハ 12 の高さを、分光機能偏光法測定において適切な焦点調節を達成するために偏光子 28 、検光子 32 に関して調節する目的で、或いは分光反射計測定において集束レンズ 54 および分光反射計 60 に関して調節する目的で、ウェハの高さは測定前にステージ 14 によって調整される必要がある。この目的のために、層 12b から反射してレンズ 54 により集められた輻射の一部分は、反射した像をパターンと比較するためにビームスプリッタ 62 により収束およびパターン認識ブロック 64 の方へ反射させられる。ブロック 62 は、その比較に関する情報を、ステージ 14 を制御するコンピュータ 40 に送る。ステージ 14 は、ウェハ 12 をシステム 10 の光学コンポーネントに関して適切な高さに移動させるためにウェハ 12 を垂直または Z 方向に上または下に移動させる。

【 0018 】

穴 13 のアレイからの回折は、前述したように図 2 の装置またはシステム 10 を用いて測定され得る。測定された回折から膜 12b の膜厚が得られると、層 12b についての構造モデルを簡略化するために膜厚値を用いてコンピュータ 40 により基準データベースが構築され得る。回折構造に関連するパラメータは、膜厚が得られた同じデータから (或いは、代わりに図 2 の装置を用いて別個の測定で得られた構造の回折データから) 導出され得る。基準データベースの代わりに、そのように得られた前の膜厚値を固定されたパラメータとして用いて、または回折構造のパラメータと共に膜厚を変動させるパラメータ推定プロセスでシード値として用いて、線形または非線形の最適化プロセスを実行することもできる。別の代案では基準データベースと組み合わせて線形または非線形の最適化プロセスを用いることもできる。

【 0019 】

システム 10 により測定される反射率が或る波長範囲内では穴直径 D の変化の結果としては著しく変化しないということが見出されている。これを図 3A ~ 3C に示す。例えば、図 3A では、穴の直径はおよそ 120 nm であり、接点穴アレイは 240 nm のピッチを有するが、この図において実線で示されているように、システム 10 により測定される反射率は、穴の直径が 5 nm も変化したときに実質的に同じままである。図 3A において、点線の曲線は S 偏光成分の反射率であり、実線の曲線は 5 nm の穴直径変化による反射率の変化である。穴のアレイが約 240 nm のピッチを有し、穴の直径は約 120 nm である図 3A から明らかなように、500 nm より上の波長では、5 nm に及ぶ穴直径変化にもかかわらず、反射率は実質的に一定のままである。図 3B および 3C は、穴直径約 150 nm およびピッチ約 300 nm (図 3B) 、並びに穴直径約 180 nm およびピッチ約 360 nm (図 3C) での同じ現象を示す。図 3B および 3C の各々において、また、点線の曲線は S 偏光成分の反射率を表し、実線の曲線は 5 nm の直径変化による反射率の変化を表す。図 3A ~ 3C において、パラメータ CD 、すなわち限界寸法は、接点穴 13 の直径である。

【 0020 】

前述したことから、層 12b の厚さまたは高さの正確な推定値を得るために膜モデルを使用することが可能であることは明らかであり、その膜モデルは穴直径をパラメータ化せず、変化させない。これは、スペクトルの赤および赤外部分或いは図 3A ~ 3C に示されている約 500 nm より上の波長範囲などの一定の限られた波長範囲においてのみ膜モデルが構築される場合に、特に当てはまる。構造自体に関連するパラメータがモデルにおいて変化させられないけれども、膜の中または近くの何らかの回折構造の存在の効果を考慮するように改変された膜モデルを採用するのが好ましい。中に回折格子を有する膜の厚さを計算するための膜モデルは当業者に知られ、本願明細書では詳しくは説明しない。そのような膜モデルに関するさらなる詳細については、チャールズ・ダブリュー・ハガヌスら

10

20

30

40

50

による「円錐マウントにおけるゼロ次ラメラ格子の有効媒質理論」，J. Opt. Soc. Am. A，1993年10月19日，第10巻，第10号，2217～2225頁（“Effective-Medium Theory of Zeroth-Order Lamellar Gratings in Conical Mountings,” by Charles W. Haggans et al., J. Opt. Soc. Am. A, October 19, 1993, Volume 10, No. 10, Pages 2217-2225）（非特許文献4）、ピー・ララネらによる「古典的マウントにおけるサブ波長格子の高次有効媒質理論：体積ホログラムへの応用」，J. Opt. Soc. Am. A，第15巻，第7号，1998年7月，1843～1851頁（“High-Order Effective-Medium Theory of Subwavelength Gratings in Classical Mounting: Application to Volume Holograms,” by P. Lalanne et al., J. Opt. Soc. Am. A, Volume 15, No. 7, July 1998, Pages 1843-1851）（非特許文献5）、ピー・レラネによる「サブ波長周期構造の有効媒質理論について」，現代光学ジャーナル，1996年，第43巻，第10号，2063～2085頁（“On the Effective Medium Theory of Subwavelength Periodic Structures,” P. Lalanne, Journal of Modern Optics, 1996, Volume 43, No. 10, Pages 2063-2085）（非特許文献6）、および「非準安定状態限界における2次元サブ波長格子の有効媒質理論」，J. Opt. Soc. Am. A，第15巻，第6号，1998年6月，1577～1585頁（“Effective Medium Theory of Two-Dimensional Subwavelength Gratings in the Non-Quasi-Static Limit,” J. Opt. Soc. Am. A, Volume 15, No. 6, June 1998, Pages 1577-1585）（非特許文献7）を参照されたい。10

【0021】

膜モデルを用いて、図1Aおよび1Bの層12bの厚さ h を回帰アルゴリズムを用いて見出すことができる。回帰アルゴリズムは当業者に知られ、ここでは詳しく説明しない。回帰法の説明についてはハーランド・ジー・トンプキンスおよびウィリアム・エイ・マクガンによる「分光橢円偏光法および反射計測：ユーザのガイド」，ジョン・ワイリー・アンド・サンズ・インコーポレイション，ニューヨーク，1999年，101～107頁（“Spectroscopic Ellipsometry and Reflectometry: A User's Guide,” by Harland G. Tompkins and William A. McGahan, John Wiley & Sons, Inc., New York, 1999, Pages 101-107）（非特許文献8）を参照されたい。20

【0022】

図4Aは、層の厚さの基準値を提供するために、層12bに似ているが中に接点穴を持たない層が測定されたときの、1つのスペクトルにわたっての、橢円偏光パラメータの測定された値と、膜モデルにより計算された値との比較を示すグラフ的プロットである。橢円偏光パラメータおよびの説明については、バーヌーらの「偏光解析法」，技術者の技術，R6490，1～16頁（1990）（Bernoux et al., “Ellipsometrie,” Techniques de l’Ingenieur, R6490, pp.1-16 (1990))（非特許文献9）を参照されたい。30

図4Aに示されているように、の測定された値は軽快な点線で示され、モデルにより予測された値はより重い点線で示されている。図4Aに示されているように、測定された値とモデルにより予測された値とは一致し、実質的に同じである。図4Bおよび4Dに示されているように、同じことが橢円偏光パラメータとP偏光成分の反射率とに当てはまると思われる。S偏光成分の反射率に関して、測定された値102は、予測された値には現れない少量の振動を450～500nm波長の間で示し、500～600nmの波長範囲ではモデルにより予測された値（104）より僅かに高い。このようならずれは別として、橢円偏光パラメータと反射率との実際の測定された値は、膜モデルにより予測された値と実質的に一致する。図4A～4Bに示されている結果では、屈折率変数nおよびkは膜モデルでは変えられ、厚さも変える。回帰により到達した厚さは3967オングストロームである。40

【0023】

図5A～5Dは、中に接点穴を有する層12bが測定されたときの、橢円偏光パラメータおよびとSおよびP偏光成分の反射率との、測定された値と修正された膜モデルにより予測される値とを比較した比較をグラフを用いて示す。図5A～5Dに示されている結果では、有効屈折率変数nおよびkの他にモデルにおいて層12bの厚さも変えられる50

。しかし、直径または穴のプロフィールのような接点穴に関するパラメータは変えられない。図4A～4Dと図5A～5Dを比較することから明らかのように、グラフ的プロットの両方のセットにおいて測定された値とモデルにより予測された値とは実質的に同じである。図4Cおよび5Cの測定された値112は、400から500nmの間では実質的に同じ振動の挙動を示し、500から600nmの間では予測された値114より僅かに高い。

【0024】

図5A～5Dに示されている測定および構造モデルから回帰により得られた層12bの厚さは3970.08オングストロームであり、これは、中に穴のない膜パッドの測定から得られた値3967オングストロームに近い。これは、実際に、層内の回折構造の存在を考慮した層12bの修正されたモデルを用いて得られた厚さが、中に接点穴のない膜を測定することから得られた厚さと一致することを証明している。修正されたモデルでは、いろいろに変えられる屈折率パラメータnおよびkは図2のシステム10により見られる中に接点穴13を有する層12bについての実効値であって、層12bの材料の屈折率の値とは異なり得る。前述したように、精度を改善するために、赤および近赤外波長のみ、または500nm以上、或いは反射率が回折構造の寸法またはプロフィールの変化による影響を余り受けない他の波長範囲などにおけるデータなどの、限られた波長範囲において回帰プロセスが測定されたデータおよびモデルに適用され得る。

【0025】

図6A～6Dは、中に接点穴を有する層12bが測定されたときの、楕円偏光パラメータおよびSおよびP偏光成分の反射率との、測定された値と修正された膜モデルにより予測された値とを比較した比較をグラフを用いて示す。図6A～6Dに示されている結果では、モデルにおいて層12bの厚さが変えられるが、実効屈折率変数nおよびkは変えられない。図5A～5Dと図6A～6Dを比較すれば明らかであるように、実効屈折率変数nおよびkを変えずに厚さだけを変えると(図6A～6D)、実効屈折率変数nおよびkも変えた場合(図5A～5D)より劣る結果が生じる。図6A～6Dに示されているように、測定された値202, 212, 222, 232は、修正されたモデルにより予測される値204, 214, 224, 234に近いけれども幾つかの波長範囲において一致しない。従って、厚さだけをえることは或る目的のためには充分であるが、実効屈折率変数nおよびkも変化させるのが好ましい。

【0026】

図7は、層12bに類似するが中に穴のない膜と層12bとについてのnおよびkの回帰させられた値の比較を示すグラフ的プロットである。図7に示されているように、中に穴のない膜についてのnおよびkの値302および312は、中に穴を有する層12bについての値304および314とは異なる。前述した層の厚さを導出するための回帰プロセスもnおよびkについての値をもたらすことができる。従って、或る用途について、膜のための前述した回帰プロセスで得られるnおよびkについての値は中に穴を有する層12bについての値とは著しく異なり得るので、それらは、後に穴アレイからの回折についてモデルを構築するときに使用される必要のある変数の数をさらに減らすためには役立たないかもしれない。それでも、膜についてのnの回帰させられた値は格子についての値と大幅には違わないことが観察されているので、或る用途について、接点穴アレイからの回折をモデル化するときに変えられなければならないモデルパラメータの数をさらに減らすために、層の厚さを得るときに前述したプロセスで得られたnの回帰させられた値を使用することが可能である。或いは、層12bの厚さが良く確認されているときには(例えば、安定した製造プロセスにおいて)、有効媒質理論を取り入れた膜モデルを用いて導出された率の値(n & k)は、回折構造のプロフィールパラメータのうちのあるもの(例えば、穴直径)についての線形または非線形の最適化プロセスにおいてシードまたは開始値を生成し、これによりこのプロセスの収束を速めるために、使用され得る。

【0027】

層の厚さの推定値(およびオプションでnの値も)が前述したように得られた後、中に

10

20

30

40

50

穴を有する層 12b からの回折の検出された信号スペクトルを有するモデルが、米国特許第 6,590,656 号（特許文献 4）により詳しく説明されている仕方で構築され、この特許はその全体が本願明細書において参照により援用されている。膜厚と回折構造に関連するパラメータとの両方の別個の連続した導出のために同じ回折データが使用される実施形態では、そのように得られた膜厚を用いてそのようなパラメータが導出される。回折構造に関連するパラメータが厚さ導出のために用いられるものとは異なるデータから得られる代替の実施形態では、図 2 のシステム 10 は、照明ビームを層に向けて米国特許第 6,590,656 号（特許文献 4）により詳しく説明されている仕方で層からのゼロ次回折を好ましくは複数の波長において検出することによって、層 12b 内の穴 13 のアレイから回折した輻射を測定するために再び使用されるが、或る用途のためには単一の波長で充分である。両方の実施形態において、測定されたデータおよび構築されたモデルに回帰アルゴリズムが適用され、それはピッチ、限界寸法（線の幅または穴の直径）、側壁角またはプロフィールのような、回折構造に関連するパラメータの値を見出すために推定された層の厚さ（およびオプションで n の値も）を使用する。回帰アルゴリズムによりいろいろに変えられるパラメータは、回折構造に関連するものを含み、層 12b の厚さを含まない。層の厚さを推定するためのプロセスから有効な n および k の（または k だけの）値が分からない場合には、 n および k （または k だけ）はプロセスにおいていろいろに変えられるパラメータとして含まれても良い。回折構造に関連するパラメータを見出すためのモデルは、2000 年 12 月 19 日に出願された「光学分光システムを使用するパラメトリック・プロフィーリング」という米国特許出願第 09/741,663 号（特許文献 5）と、2000 年 9 月 27 日に出願された「散乱計測定の改良システムおよび応用」という米国特許出願第 09/671,715 号（特許文献 6）とに説明され、これら特許出願はその全体が本願明細書において参照により援用されている。これらのパラメータの値は、システム 10 により測定された強度または橜円偏光パラメータデータを用いて見出され得る。
10

【0028】

その 2 つの実施形態が図 8 に示されている。図 8 に示されているように、複数の波長の電磁輻射のビームが、周期的回折構造を含む層を有するサンプルに向けられる。回折構造からの複数の波長のビームの回折が検出される。層の膜モデルを使用する層の厚さの値が、検出された回折から、または、構造がビームにより照明されてその構造によるビームの回折がデータを得るために検出される別個の測定で得られたデータから、見出される。その後、回折構造に関連する 1 つ以上のパラメータが、厚さ値と検出された回折とを用いて判定される。
20

【0029】

第 1 のステップで得られた膜厚に関する情報は、格子プロフィールパラメータ推定プロセスの前にまたはその間に、光学的照明および収集角度並びにアパーチャサイズが回折構造の測定のために最善であることを確認するために使用され得る。或る多層膜構造について、格子プロフィールパラメータを判定するための最も敏感な光学的条件は、膜厚と共に変化し得る。第 1 のパラメータ推定ステップで導出された膜厚に基づいて、調整可能または選択可能な角度およびアパーチャサイズを取り入れた測定システムについて、第 1 のステップと同じサイト或いは同じウェハ上または次のウェハ上の次のサイトについての後の分光および角度測定データの感度を最大にするために、光学的照明および収集角度並びにアパーチャサイズが調整または選択可能である。
30

【0030】

種々の実施形態を参照して本発明を前に説明してきたが、添付されている特許請求の範囲およびその同等物によってのみ定義されるべき発明の範囲から逸脱せずに変更および改変をなし得ることが理解される。例えば、穴の 2 次元アレイに関連するパラメータを測定するために実施形態を説明してきたが、柱の 2 次元アレイ、格子線または穴の 1 次元アレイのような他の回折構造に関連するパラメータを測定するために同じ実施形態が使用され得る。本願明細書において参照された全ての参考文献は、その全体が本願明細書において
40
50

参照により援用されている。

【図面の簡単な説明】

【0031】

【図1A】本発明を具体的に説明するために役立つ、接点穴の2次元アレイを中に有する層を有する半導体ウェハの一部分の斜視図である。

【図1B】図1Aの線1B-1Bに沿う図1Aのウェハおよび層の一部分の横断面図である。

【図2】本発明の実施形態を具体的に説明する分光スキャタロメータ／反射計の略図である。

【図3】図3A, 3Bおよび3Cは、互いに無関係に測定された3つの対応する異なる層により散乱した輻射の3つの独立の測定で測定されたS偏光成分の反射率のグラフ的プロットである。各層は中に接点穴の2次元アレイを有し、3つの層の中の穴は異なる直径を持っていて異なるピッチで並べられ、本発明を具体的に説明するのに役立つ。これらのグラフ的プロットは、反射率スペクトルがスペクトルの長い波長部分において穴直径の変化に対して敏感でないという事実を具体的に説明するために層内の接点穴直径の5nmの変化に起因するそのような成分の反射率の変化をも示す。

【図4】図4A, 4B, 4Cおよび4Dは、本発明を具体的に説明するために使用される、中に穴のない膜パッドにより散乱した輻射の、各々、橢円偏光パラメータ、と、S偏光成分およびP偏光成分の反射率との、測定された値とモデルにより予測された値との比較を示すグラフ的プロットである。図4A～4Dにおいて、モデルは、3967Aの膜厚値をもたらすように複素屈折率nおよびkがいろいろに変えられるモデルである。

【図5】図5A, 5B, 5Cおよび5Dは、図2の装置を用いて測定される穴の2次元アレイを中に有する膜により散乱した輻射の、各々、橢円偏光パラメータ、と、S偏光成分およびP偏光成分との、測定された値とモデルにより予測された値との比較を示すグラフ的プロットである。図5A～5Dにおいて、モデルは、3970.08Aの膜厚値をもたらすように複素屈折率nおよびkおよび厚さがいろいろに変えられるモデルである。

【図6】図6A, 6B, 6Cおよび6Dは、図2の装置を用いて測定される穴の2次元アレイを中に有する膜パッドにより散乱した輻射の、各々、橢円偏光パラメータ、と、S偏光成分およびP偏光成分との、測定された値とモデルにより予測された値との比較を示すグラフ的プロットである。図6A～6Dにおいて、モデルは、3932.67Aの膜厚値をもたらすように厚さがいろいろに変えられる（複素屈折率nおよびkは変えられない）モデルである。

【図7】本発明をさらに具体的に説明する、中に穴のない膜パッドの複素屈折率nおよびkのグラフ的プロットと、対応する格子（接点穴の2次元アレイを有する膜パッド）のグラフ的プロットとである。

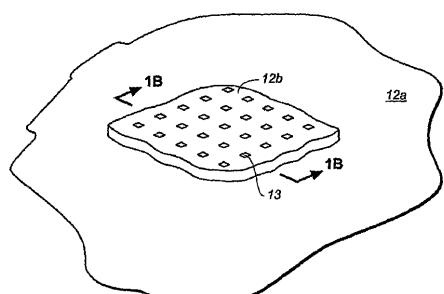
【図8】回折構造を測定する方法を示すフローチャートである。

10

20

30

【図1A】



【図1B】

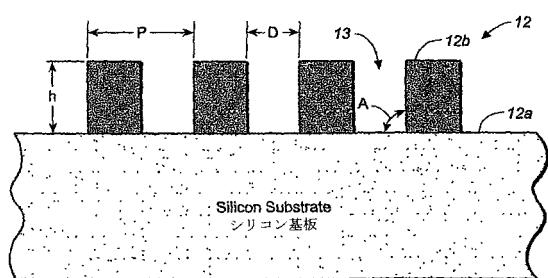


FIG. 1B

【図2】

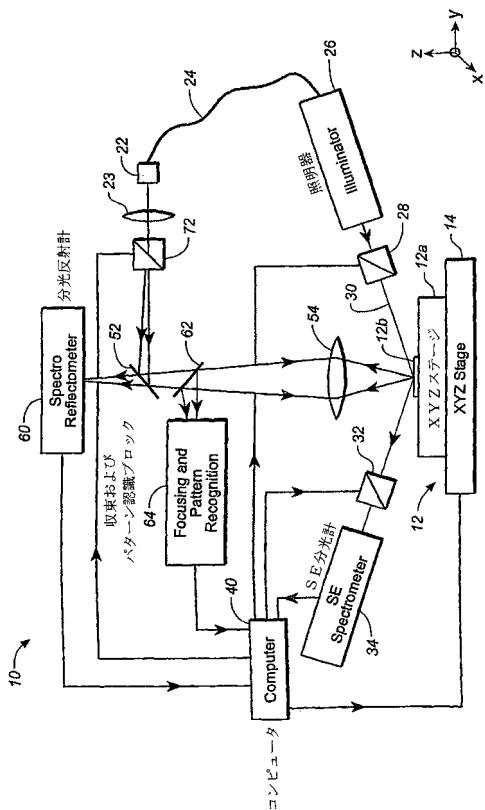


FIG. 2

【図3A】

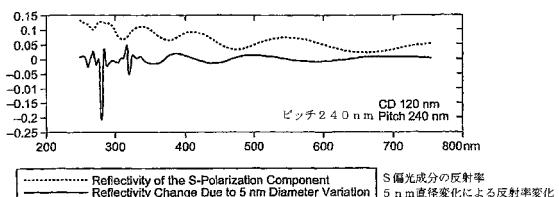


FIG. 3A

【図3B】

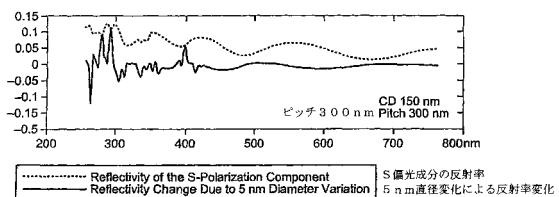


FIG. 3B

【図3C】

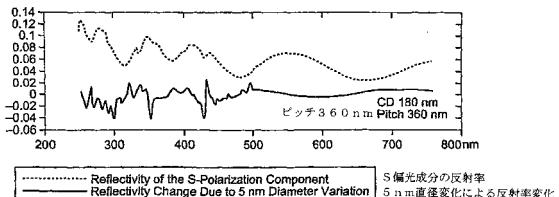


FIG. 3C

【図4A】

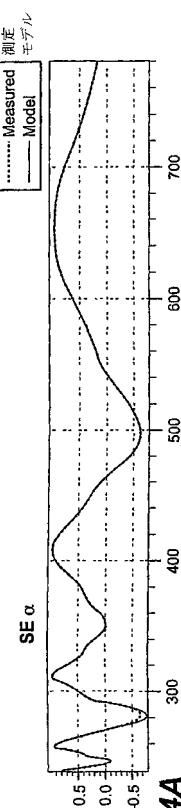


FIG. 4A

【図 4 B】

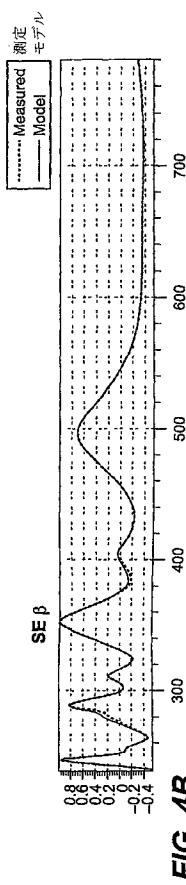


FIG. 4B

【図 4 D】

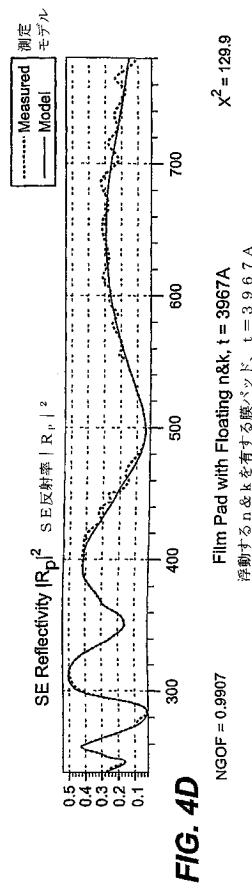


FIG. 4D

【図 4 C】

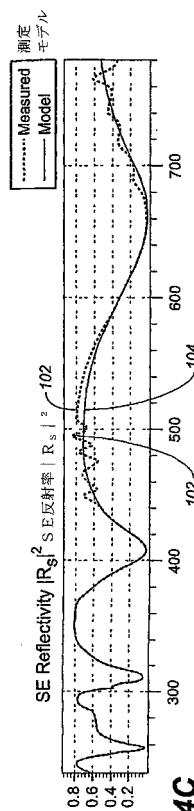


FIG. 4C

【図 5 A】

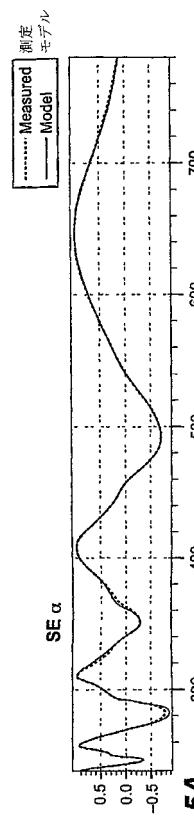


FIG. 5A

【図 5 B】

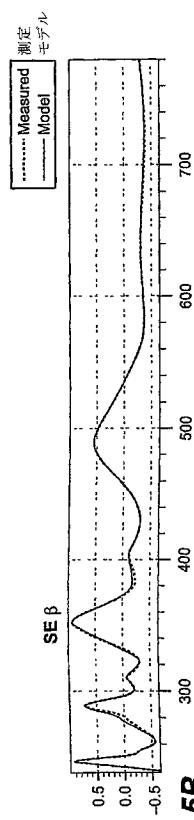


FIG. 5B

【図 5 C】

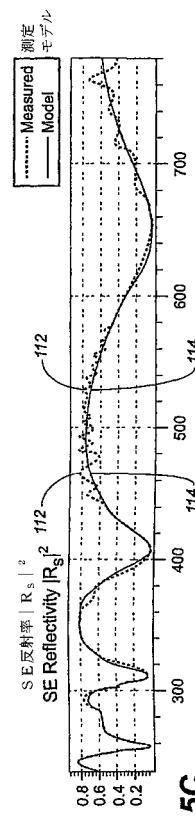


FIG. 5C

【図 5 D】

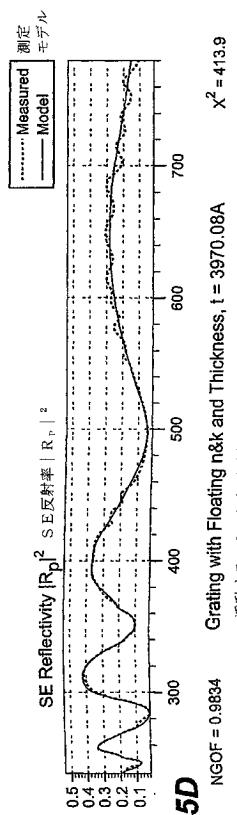


FIG. 5D

【図 6 A】

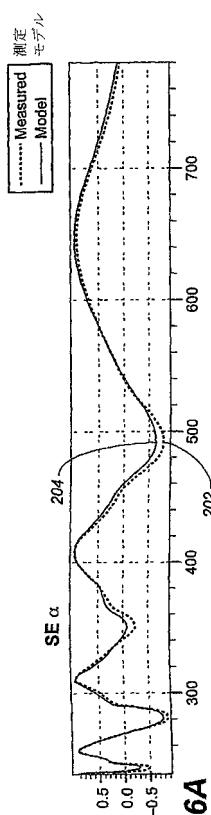


FIG. 6A

【図 6 B】

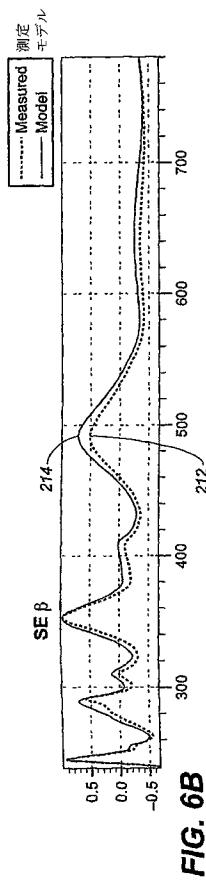


FIG. 6B

【図 6 C】

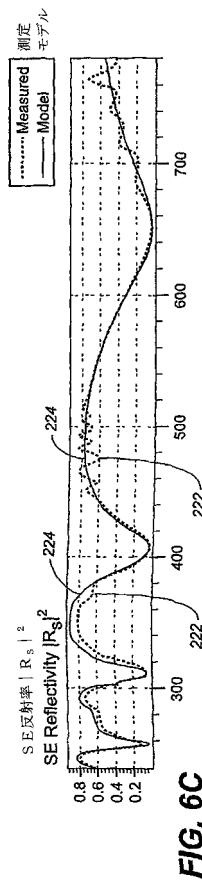


FIG. 6C

【図 6 D】

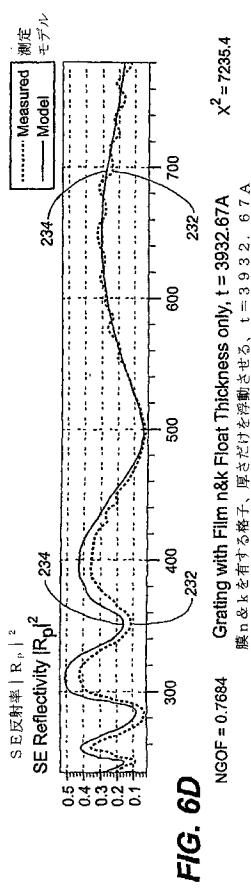


FIG. 6D

【図 7】

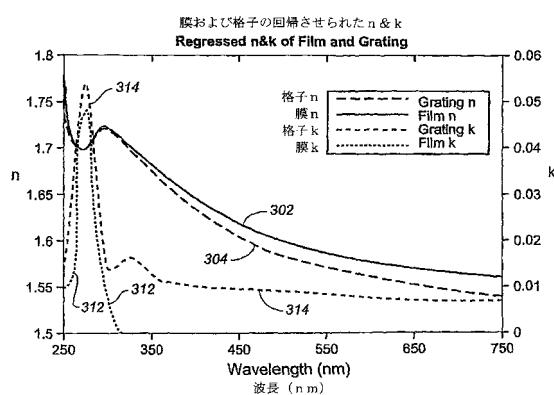


FIG. 7

【図 8】

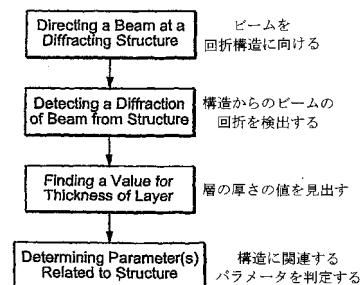


FIG. 8

フロントページの続き

(72)発明者 ワッケ, ダニエル シー.

アメリカ合衆国、92024、カリフォルニア州、ロス アルトス、ランディ レーン 930

(72)発明者 チャオ, グオヘン

アメリカ合衆国、95035、カリフォルニア州、ミルピタス、スターライト ドライブ 106

2

審査官 梶田 真也

(56)参考文献 國際公開第2003/054475 (WO, A1)

特開平09-237812 (JP, A)

特開平08-255751 (JP, A)

特開2003-222616 (JP, A)

特開2002-139303 (JP, A)

特表2002-506198 (JP, A)

米国特許出願公開第2002/0113966 (US, A1)

米国特許出願公開第2002/0128784 (US, A1)

特表2006-512561 (JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01B 11/00 - 11/30

G01N 21/21