

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第3740534号

(P3740534)

(45) 発行日 平成18年2月1日(2006.2.1)

(24) 登録日 平成17年11月18日(2005.11.18)

(51) Int. Cl.		F I	
GO 1 B	11/24 (2006.01)	GO 1 B	11/24 D
GO 1 N	21/00 (2006.01)	GO 1 N	21/00 B
GO 3 F	9/00 (2006.01)	GO 3 F	9/00 H
HO 1 L	21/027 (2006.01)	HO 1 L	21/30 5 2 2 D
HO 1 L	21/66 (2006.01)	HO 1 L	21/66 N

請求項の数 65 (全 30 頁)

(21) 出願番号	特願2002-527823 (P2002-527823)	(73) 特許権者	501460523
(86) (22) 出願日	平成13年9月6日(2001.9.6)		ティンバー テクノロジーズ, インコーポ レイティド
(65) 公表番号	特表2004-509341 (P2004-509341A)		アメリカ合衆国, カリフォルニア 945 38, フレモント, ランドール プレイス 5341
(43) 公表日	平成16年3月25日(2004.3.25)	(74) 代理人	100077517
(86) 国際出願番号	PCT/US2001/027552		弁理士 石田 敬
(87) 国際公開番号	W02002/023231	(74) 代理人	100092624
(87) 国際公開日	平成14年3月21日(2002.3.21)		弁理士 鶴田 準一
審査請求日	平成14年9月18日(2002.9.18)	(74) 代理人	100108383
(31) 優先権主張番号	60/233,017		弁理士 下道 晶久
(32) 優先日	平成12年9月15日(2000.9.15)	(74) 代理人	100082898
(33) 優先権主張国	米国 (US)		弁理士 西山 雅也
(31) 優先権主張番号	09/907,488		
(32) 優先日	平成13年7月16日(2001.7.16)		
(33) 優先権主張国	米国 (US)		

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 周期格子の回折信号のライブラリの生成

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

周期格子の模擬回折信号（模擬信号）のライブラリを生成する方法であって、該方法は、前記周期格子の測定回折信号（測定信号）を得ることと、
仮想パラメータを仮想プロファイルに関連付けることと、
前記仮想パラメータを一定のレンジ内で変化させて、1組の仮想プロファイルを生成することと、
前記測定信号に基づいて前記仮想パラメータを変化させるためのレンジを調節することと、
前記1組の仮想プロファイルから1組の模擬信号を生成すること
とからなる方法。

【請求項2】

さらに、前記周期格子の光学特性を抽出することからなる請求項1に記載の方法。

【請求項3】

前記周期格子は複数の材料から形成されており、各材料は屈折率を有し、光学特性を抽出することは、各材料の前記屈折率の実数部と虚数部とを抽出することからなる請求項2に記載の方法。

【請求項4】

前記屈折率の実数部と虚数部は、模擬焼きなましに基づくオプティマイザを使用して抽出される請求項3に記載の方法。

10

20

【請求項 5】

さらに、前記 1 組の模擬信号の生成において使用するために調和次数の数を決定することからなる請求項 1 に記載の方法。

【請求項 6】

前記調和次数の数を決定することは収束試験を実行することからなる請求項 5 に記載の方法。

【請求項 7】

さらに、

増加する次数を使用して前記模擬信号を生成することと、

使用される次数の増加によって前記模擬信号の変化を決定することと、

前記模擬信号の変化が、得られることが可能な前記測定信号の最小の変化よりも小さい時に、より少ない次数を選択すること

とからなる請求項 6 に記載の方法。

【請求項 8】

さらに、

前記仮想プロファイルを複数の仮想層に分割することと、

前記仮想プロファイルに関する前記 1 組の模擬信号を生成するために使用するために仮想層の数を決定し、前記 1 組の仮想プロファイルの中の各仮想プロファイルが異なる数の仮想層に分割されることが可能であること

とからなる請求項 1 に記載の方法。

【請求項 9】

前記仮想層の数を決定することは、

前記仮想層の数の決定を集合カバー問題としてマッピングすることと、

前記集合カバー問題を解くこと

とを含む請求項 8 に記載の方法。

【請求項 10】

前記周期格子は、基板上に形成された第 1 の層と、前記第 1 の層の上に形成された第 2 の層とを含み、前記周期格子の測定回折信号を得ることは、

前記基板上に前記第 1 の層を形成した後に、かつ、前記第 1 の層上に前記第 2 の層を形成する前に、第 1 の回折信号を測定することと、

前記第 1 の層上に前記第 2 の層を形成した後に第 2 の回折信号を測定することとを含む請求項 1 に記載の方法。

【請求項 11】

複数の測定信号が半導体ウェーハ上の複数の箇所から得られる請求項 1 に記載の方法。

【請求項 12】

複数の測定信号が複数の半導体ウェーハから得られる請求項 11 に記載の方法。

【請求項 13】

前記仮想パラメータを変化させるためのレンジを調節することは、

誤差計量を使用して前記模擬信号と前記測定信号を比較することと、

前記模擬信号と前記測定信号とが一致し、かつ前記模擬信号の前記仮想パラメータが前記レンジの上限または下限の近くにある時に、前記仮想パラメータを変化させるために前記レンジを移動させること

とを含む請求項 11 に記載の方法。

【請求項 14】

前記誤差計量は 2 乗誤差和である請求項 13 に記載の方法。

【請求項 15】

前記誤差計量は 2 乗差対数誤差和である請求項 13 に記載の方法。

【請求項 16】

さらに、

1 組の前記模擬信号に関する分解能を決定することと、

10

20

30

40

50

前記決定された分解能に対応する増分において前記模擬信号の生成に使用される前記仮想パラメータを変化させること

とからなる請求項 1 に記載の方法。

【請求項 17】

前記パラメータに対する前記分解能は、前記周期格子の所望の限界寸法に基づいて決定される請求項 16 に記載の方法。

【請求項 18】

前記パラメータに対する分解能を決定することは、さらに、

前記所望の限界寸法に関連付けられている第 1 の仮想パラメータと、前記所望の限界寸法に関連付けられていない第 2 の仮想パラメータとを含む第 1 の組の仮想パラメータを使用して生成された第 1 の模擬信号と、

前記第 1 の模擬信号の前記第 1 の仮想パラメータに一致する第 1 の仮想パラメータと、前記所望の限界寸法に関連付けられておらずかつ前記第 1 の模擬信号の前記第 2 の仮想パラメータに一致しない第 2 の仮想パラメータとを含む第 2 の組の仮想パラメータを使用して生成された第 2 の模擬信号

とを含む模擬信号の部分集合を生成することと、

前記第 2 の模擬信号を前記模擬信号の部分集合から取り除くことと、

前記第 2 の模擬信号を前記模擬信号の前記部分集合の中のその他の模擬信号に対して比較することと、

前記比較で前記第 2 の模擬信号と前記第 1 の模擬信号とが一致する場合に、前記 1 組の模擬信号の生成において前記第 2 の仮想パラメータに対して使用する分解能を低減することとからなる請求項 17 に記載の方法。

【請求項 19】

仮想パラメータを仮想プロファイルに関連付けることは、さらに、

前記測定信号にもとづいて前記仮想プロファイルに関連付けるために仮想パラメータの数を決定すること

からなる請求項 1 に記載の方法。

【請求項 20】

仮想パラメータの数を決定することは、さらに、

前記決定された数の仮想パラメータを使用して 1 組の模擬信号を生成することと、

前記測定信号を前記 1 組の模擬信号に対して比較することと、

前記測定信号が前記 1 組の模擬信号の中のどの模擬信号にも一致しない場合に、前記仮想パラメータの数を増加させること

とからなる請求項 19 に記載の方法。

【請求項 21】

前記仮想パラメータの数を決定することは、さらに、

前記決定された数の仮想パラメータを使用して 1 組の模擬信号を生成することと、

前記測定信号を前記 1 組の模擬信号に対して比較することと、

前記測定信号が前記 1 組の模擬信号の中のどの模擬信号にも一致しなくなるまで、前記仮想パラメータの数を減少させること

とからなる請求項 19 に記載の方法。

【請求項 22】

さらに、前記仮想パラメータに対して感度分析を行うこととからなる請求項 18 に記載の方法。

【請求項 23】

周期格子の模擬回折信号（模擬信号）のライブラリを生成する方法であって、該方法は、前記周期格子の測定回折信号（測定信号）を得ることと、

仮想パラメータを仮想プロファイルに関連付けることと、

前記仮想パラメータを一定のレンジ内で変化させて、1 組の仮想プロファイルを生成することと、

10

20

30

40

50

前記測定信号に基づいて、前記仮想プロファイルに関連付けるための仮想パラメータの数を決定することと、

前記1組の仮想プロファイルから1組の模擬信号を生成すること
とからなる方法。

【請求項24】

前記仮想パラメータの数を決定することは、さらに、
前記決定された数の仮想パラメータを使用して1組の模擬信号を生成することと、
前記測定信号を前記1組の模擬信号に対して比較することと、
前記測定信号が前記1組の模擬信号の中のどの模擬信号にも一致しない場合に、前記仮想
パラメータの数を増加させること
とからなる請求項23に記載の方法。

10

【請求項25】

前記仮想パラメータの数を決定することは、さらに、
前記決定された数の仮想パラメータを使用して1組の模擬信号を生成することと、
前記測定信号を前記1組の模擬信号に対して比較することと、
前記測定信号が前記1組の模擬信号の中のどの模擬信号にも一致しなくなるまで、前記仮想
パラメータの数を減少させること
とからなる請求項23に記載の方法。

【請求項26】

さらに、前記仮想パラメータに対して感度分析を行うことからなる請求項23に記載の方法。

20

【請求項27】

さらに、前記測定信号に基づいて前記仮想パラメータを変化させるためのレンジを調節する
ことからなる請求項23に記載の方法。

【請求項28】

複数の測定信号が複数の周期格子から得られ、前記仮想パラメータに対するレンジを調節
することは、
誤差計量を使用して模擬信号と前記測定信号とを比較することと、
前記模擬信号と前記測定信号とが一致する時、かつ前記模擬信号の前記仮想パラメータが
前記のレンジの上限または下限の近くにある時に、前記仮想パラメータを変化させるため
の前記レンジを移動させること
とを含む請求項27に記載の方法。

30

【請求項29】

前記誤差計量は2乗誤差和である請求項28に記載の方法。

【請求項30】

前記誤差計量は2乗差対数誤差和である請求項28に記載の方法。

【請求項31】

さらに、
前記1組の模擬信号に対する分解能を決定することと、
前記決定された分解能に対応した増分において、前記模擬信号の生成に使用される前記仮想
パラメータを変化させること
とからなる請求項23に記載の方法。

40

【請求項32】

前記パラメータに対する前記分解能は、前記周期格子の所望の限界寸法に基づいて決定さ
れる請求項31に記載の方法。

【請求項33】

前記パラメータに関する分解能を決定することは、さらに、
前記所望の限界寸法に関連付けられている第1の仮想パラメータと、前記所望の限界寸法
に関連付けられていない第2の仮想パラメータとを含む第1の組の仮想パラメータを使用
して生成された第1の模擬信号と、

50

前記第 1 の模擬信号の前記第 1 の仮想パラメータに一致する第 1 の仮想パラメータと、前記所望の限界寸法に関連付けられておらずかつ前記第 1 の模擬信号の前記第 2 の仮想パラメータに一致しない第 2 の仮想パラメータとを含む第 2 の組の仮想パラメータを使用して生成された第 2 の模擬信号

とを含む模擬信号の部分集合を生成することと、

前記第 2 の模擬信号を前記模擬信号の部分集合から取り除くことと、

前記第 2 の模擬信号を前記模擬信号の前記部分集合の中のその他の模擬信号と比較することと、

前記比較が前記第 2 の模擬信号と前記第 1 の模擬信号と一致する場合に、前記 1 組の模擬信号の生成において前記第 2 の仮想パラメータに対して使用する分解能を低減すること

10

とからなる請求項 3 2 に記載の方法。

【請求項 3 4】

さらに、

前記仮想プロファイルを複数の仮想層に分割することと、

前記仮想プロファイルに関する前記 1 組の模擬信号を生成することに使用する仮想層の数を決定することからなり、ここで前記 1 組の仮想プロファイルの中の各仮想プロファイルは異なる数の仮想層に分割されることが可能である

請求項 2 3 に記載の方法。

【請求項 3 5】

前記周期格子は、基板上に形成されている第 1 の層と、前記第 1 の層の上に形成されている第 2 の層とを含み、前記周期格子の測定回折信号を得ることは、

20

前記基板上に前記第 1 の層を形成した後に、かつ、前記第 1 の層上に前記第 2 の層を形成する前に、第 1 の回折信号を測定することと、

前記第 1 の層上に前記第 2 の層を形成した後に第 2 の回折信号を測定することとを含む請求項 2 3 に記載の方法。

【請求項 3 6】

周期格子の模擬回折信号（模擬信号）のライブラリを生成する方法であって、該方法は、前記周期格子の測定回折信号（測定信号）を得ることと、

仮想パラメータを仮想プロファイルに関連付けることと、

1 組の仮想プロファイルを生成するため前記仮想パラメータを一定のレンジ内で変化させることと、

30

前記測定信号に基づいて、前記仮想パラメータを変化させるためのレンジを調節することと、

前記測定信号に基づいて、前記仮想プロファイルに関連付けるための仮想パラメータの数を決定することと、

前記 1 組の仮想プロファイルから 1 組の模擬信号を生成すること

とからなる方法。

【請求項 3 7】

複数の測定信号が複数の周期格子から得られ、前記仮想パラメータを変化させるためのレンジを調節することは、

40

模擬信号と前記測定信号を比較することと、

前記模擬信号と前記測定信号とが一致する時、かつ前記模擬信号の前記仮想パラメータが前記のレンジの上限または下限の近くにある時に、前記仮想パラメータを変化させるための前記レンジを移動させること

とを含む請求項 3 6 に記載の方法。

【請求項 3 8】

前記仮想パラメータの数を決定することは、さらに、

前記決定された数の仮想パラメータを使用して 1 組の模擬信号を生成することと、

前記測定信号を前記 1 組の模擬信号に対して比較することと、

前記測定信号が前記 1 組の模擬信号の中のどの模擬信号にも一致しない場合に、前記仮想

50

パラメータの数を増加させること
とからなる請求項 36 に記載の方法。

【請求項 39】

前記仮想パラメータの数を決定することは、さらに、
前記決定された数の仮想パラメータを使用して 1 組の模擬信号を生成することと、
前記測定信号を前記 1 組の模擬信号に対して比較することと、
前記測定信号が前記 1 組の模擬信号の中のどの模擬信号にも一致しなくなるまで、前記仮想パラメータの数を減少させること
とからなる請求項 36 に記載の方法。

【請求項 40】

さらに、
前記 1 組の模擬信号に対する分解能を決定することと、
前記決定された分解能に対応した増分で、前記模擬信号の生成に使用される前記仮想パラメータを変化させること
とからなる請求項 36 に記載の方法。

【請求項 41】

前記パラメータに対する前記分解能は、前記周期格子の所望の限界寸法に基づいて決定される請求項 40 に記載の方法。

【請求項 42】

前記パラメータに対する前記分解能を決定することは、さらに、
前記所望の限界寸法に関連付けられている第 1 の仮想パラメータと、前記所望の限界寸法に関連付けられていない第 2 の仮想パラメータとを含む第 1 の組の仮想パラメータを使用して生成された第 1 の模擬信号と、
前記第 1 の模擬信号の前記第 1 の仮想パラメータに一致する第 1 の仮想パラメータと、前記所望の限界寸法に関連付けられておらずかつ前記第 1 の模擬信号の前記第 2 の仮想パラメータに一致しない第 2 の仮想パラメータとを含む第 2 の組の仮想パラメータを使用して生成された第 2 の模擬信号

とを含む模擬信号の部分集合を生成することと、
前記第 2 の模擬信号を前記模擬信号の部分集合から取り除くことと、
前記第 2 の模擬信号と前記模擬信号の前記部分集合の中のその他の模擬信号とを比較することと、

前記比較で前記第 2 の模擬信号と前記第 1 の模擬信号とが一致した場合に、前記 1 組の模擬信号の生成において前記第 2 の仮想パラメータに対して使用する分解能を低減すること
とからなる請求項 41 に記載の方法。

【請求項 43】

さらに、
前記仮想プロファイルを複数の仮想層に分割することと、
前記仮想プロファイルに対して前記 1 組の模擬信号を生成するために使用するために仮想層の数を決定することからなり、ここで前記 1 組の仮想プロファイルの中の各仮想プロファイルが異なる数の仮想層に分割されることが可能である請求項 36 に記載の方法。

【請求項 44】

前記周期格子は、基板上に形成されている第 1 の層と、前記第 1 の層の上に形成されている第 2 の層とを含み、前記周期格子の測定回折信号を得ることは、
前記基板上に前記第 1 の層を形成した後に、かつ、前記第 1 の層上に前記第 2 の層を形成する前に、第 1 の回折信号を測定することと、
前記第 1 の層上に前記第 2 の層を形成した後に第 2 の回折信号を測定することとを含む請求項 36 に記載の方法。

【請求項 45】

前記 1 組の模擬信号は、前記仮想パラメータを変化させる前記調節されたレンジを使用して生成される請求項 36 に記載の方法。

10

20

30

40

50

【請求項 4 6】

さらに、前記生成された 1 組の模擬信号の品質を検査することからなる請求項 3 6 に記載の方法。

【請求項 4 7】

さらに、

前記 1 組の模擬信号の中の各模擬信号を前記 1 組の仮想プロファイルの中の各仮想プロファイルと対にすることと、

模擬信号と仮想プロファイルとの前記対を記憶すること

とからなる請求項 3 6 に記載の方法。

【請求項 4 8】

模擬回折信号（模擬信号）のライブラリを生成する方法であって、該方法は測定回折信号（測定信号）を得ることと、

1 組の仮想パラメータを仮想プロファイルに関連付けることと、1 組の仮想プロファイルを生成するために前記 1 組の仮想パラメータの中の仮想パラメータを一定のレンジ内で変化させることと、前記 1 組の仮想プロファイルの中の各仮想プロファイルに対する模擬信号を生成することとを含む、第 1 の組の模擬信号を生成することと、

前記測定信号に基づいて前記仮想パラメータを変化させるための前記レンジを調節すること、ここで前記レンジは前記第 1 の組の模擬信号の生成前に調節されることと、

前記測定信号に基づいて、前記仮想プロファイルに関連付けるために仮想パラメータの数を決定すること、ここで前記仮想パラメータの数は前記第 1 の組の模擬信号の生成前に決定されること

とからなる方法。

【請求項 4 9】

複数の測定信号が得られ、前記仮想パラメータを変化させるためのレンジを調節することは、

第 2 の組の模擬信号を生成することと、

前記第 2 の組からの模擬信号を前記測定信号と比較することと、

前記模擬信号と前記測定信号とが一致する時、かつ前記模擬信号の前記仮想パラメータが前記レンジの上限または下限にある時に、前記仮想パラメータを変化させるための前記レンジを移動させること

とを含む請求項 4 8 に記載の方法。

【請求項 5 0】

前記仮想パラメータの数を決定することは、さらに、

初期数の仮想パラメータを使用して第 2 の組の模擬信号を生成することと、

前記測定信号と前記第 2 の組の模擬信号とを比較することと、

前記測定信号が前記第 2 の組の模擬信号の中のどの模擬信号にも一致しない場合に、前記仮想パラメータの数を増加させること

とからなる請求項 4 8 に記載の方法。

【請求項 5 1】

前記仮想パラメータの数を決定することは、さらに、

初期数の仮想パラメータを使用して第 2 の組の模擬信号を生成することと、

前記測定信号と前記第 2 の組の模擬信号とを比較することと、

前記測定信号が前記第 2 の組の模擬信号の中のどの模擬信号にも一致しなくなるまで、前記仮想パラメータの数を減少させること

とからなる請求項 4 8 に記載の方法。

【請求項 5 2】

前記 1 組の模擬信号は、前記仮想パラメータを変化させるための前記調節されたレンジを使用して生成される請求項 4 8 に記載の方法。

【請求項 5 3】

さらに、前記生成された 1 組の模擬信号の品質を検査することからなる請求項 4 8 に記載

10

20

30

40

50

の方法。

【請求項 5 4】

1組のパラメータによって定義されることが可能なプロファイル形状を有する周期格子の模擬回折信号（模擬信号）のライブラリを生成する方法であって、該方法は、前記周期格子の測定回折信号（測定信号）を得ることと、前記周期格子の前記プロファイル形状を定義するための前記1組のパラメータに対する値のレンジを得ることと、前記測定信号に基づいた値の前記得られたレンジを調節することと、1組の仮想パラメータを仮想プロファイルに関連付けることと、前記測定信号に基づいて前記仮想プロファイルに関連付けるための仮想パラメータの数を決定することと、前記模擬信号のライブラリに対する分解能を決定することと、前記調節されたレンジの範囲内において、前記決定された分解能に対応する増分で前記1組の仮想パラメータの中の前記仮想パラメータを変化させることと、前記決定された数の仮想パラメータと前記調節されたレンジとを使用して1組の仮想プロファイルを生成することと、前記1組の仮想プロファイルに基づいて1組の模擬信号を生成することと、前記1組の模擬信号の中の各模擬信号を、前記1組の仮想プロファイルの中の各仮想プロファイルと対にすることと、模擬信号と模擬プロファイルとの前記対を記憶することとからなる方法。

10

20

【請求項 5 5】

周期格子構造の模擬回折信号（模擬信号）のライブラリを生成するシステムであって、該システムは、入射信号によって前記周期格子を照射するように構成されている電磁源と、前記周期格子から回折する前記入射信号から測定回折信号（測定信号）を得るように構成されている検出器と、信号プロセッサであって、仮想パラメータを仮想プロファイルに関連付け、前記仮想プロファイルに関連付けるための仮想パラメータの数を決定し、1組の仮想プロファイルを生成するために一定のレンジ内で前記仮想パラメータを変化させ、前記測定信号に基づいて値の前記レンジを調節し、前記1組の仮想プロファイルから1組の模擬信号を生成するように構成されている信号プロセッサとからなるシステム。

30

【請求項 5 6】

前記電磁源は楕円偏光測定器である請求項 5 5 に記載のシステム。

【請求項 5 7】

前記電磁源は反射率計である請求項 5 5 に記載のシステム。

40

【請求項 5 8】

前記信号プロセッサは、さらに、模擬信号と前記測定信号とを比較し、前記模擬信号と前記測定信号とが一致する時、かつ前記模擬信号の前記仮想パラメータが前記レンジの上限または下限の近くにある時に、値の前記レンジを移動させるように構成されている請求項 5 5 に記載のシステム。

【請求項 5 9】

前記信号プロセッサは、さらに、前記決定された数の仮想パラメータを使用して1組の模擬信号を生成し、前記測定信号と前記1組の模擬信号とを比較し、

50

前記測定信号が前記 1 組の模擬信号の中のどの模擬信号にも一致しない場合に、前記仮想パラメータの数を増加させる

ように構成されている請求項 55 に記載のシステム。

【請求項 60】

前記信号プロセッサは、さらに、

前記決定された数の仮想パラメータを使用して 1 組の模擬信号を生成し、

前記測定信号と前記 1 組の模擬信号とを比較し、

前記測定信号が前記 1 組の模擬信号の中のどの模擬信号にも一致しなくなるまで、前記仮想パラメータの数を減少させる

ように構成されている請求項 55 に記載のシステム。

10

【請求項 61】

前記信号プロセッサは、さらに、

前記 1 組の模擬信号に関する分解能を決定し、

前記決定された分解能に対応する増分で、前記模擬信号を生成するために使用される前記仮想パラメータを変化させる

ように構成されている請求項 55 に記載のシステム。

【請求項 62】

前記パラメータに関する分解能は前記周期格子の所望の限界寸法に基づいて決定されている請求項 61 に記載のシステム。

【請求項 63】

20

前記信号プロセッサは、さらに、

前記所望の限界寸法に関連付けられている第 1 の仮想パラメータと、前記所望の限界寸法に関連付けられていない第 2 の仮想パラメータとを含む第 1 の組の仮想パラメータを使用して生成された第 1 の模擬信号と、

前記第 1 の模擬信号の前記第 1 の仮想パラメータに一致する第 1 の仮想パラメータと、前記所望の限界寸法に関連付けられておらずかつ前記第 1 の模擬信号の前記第 2 の仮想パラメータに一致しない第 2 の仮想パラメータとを含む第 2 の組の仮想パラメータを使用して生成された第 2 の模擬信号

とを含む模擬信号の部分集合を生成し、

前記第 2 の模擬信号を前記模擬信号の部分集合から取り除き、

30

前記第 2 の模擬信号と前記模擬信号の前記部分集合の中のその他の模擬信号とを比較し、

前記第 2 の模擬信号と前記第 1 の模擬信号との前記比較が一致している場合に、前記 1 組の模擬信号の生成において前記第 2 の仮想パラメータに対して使用する分解能を低減するように構成されている請求項 62 に記載のシステム。

【請求項 64】

前記信号プロセッサは、さらに、

前記仮想プロファイルを複数の仮想層に分割し、

前記仮想プロファイルに対する前記 1 組の模擬信号を生成するために使用するための仮想層の数を決定する

ように構成されており、前記 1 組の仮想プロファイルの中の各仮想プロファイルが異なる数の仮想層に分割されることが可能である請求項 55 に記載のシステム。

40

【請求項 65】

前記信号プロセッサは、さらに、

前記第 1 の層上に前記第 2 の層を形成する前で、前記基板上に前記第 1 の層を形成した後に、第 1 の回折信号を測定し、

前記第 1 の層上に前記第 2 の層を形成した後に第 2 の回折信号を測定する

ように構成されている請求項 55 に記載のシステム。

【発明の詳細な説明】

【0001】

〔関連出願に対する相互参照〕

50

本出願は、本明細書に内容全体が引例として組み入れてある、2000年9月15日付で出願された、発明の名称「周期格子回折スペクトルのライブラリの生成」の、先行出願された米国仮出願番号60/233,017の利益を請求する。

〔発明の背景〕

〔発明の分野〕

本出願は、一般的に、周期格子 (periodic grating) に関する模擬回折信号 (simulated-diffraction signal) の生成に関する。より詳細には、本出願は、周期格子から回折する電磁信号を暗示する模擬回折信号のライブラリを生成することに関する。

【0002】

〔関連技術の説明〕

半導体製造では、周期格子が品質保証のために典型的に使用される。例えば、周期格子の典型的な使用の1つが、半導体チップの動作構造の付近に周期格子を製造することを含む。その次に、周期格子が電磁放射によって照射される。周期格子から偏向した電磁放射が回折信号として集められる。その次に、周期格子が仕様にしたがって製造されているかどうか、さらには半導体チップの動作構造が仕様にしたがって製造されているかどうかを判定するために、回折信号が分析される。

【0003】

従来のシステムの1つでは、周期格子を照射することによって収集される回折信号 (測定回折信号) が、模擬回折信号のライブラリと比較される。このライブラリ中の模擬回折信号の各々は理論的プロファイルに関連付けられている。測定回折信号とライブラリ中の模擬回折信号の1つとが一致する時には、その模擬回折信号に関連付けられている理論的プロファイルが周期格子の実際のプロファイルに相当すると推定される。

【0004】

この従来のシステムの精度は、部分的には、ライブラリのレンジ (range) および/または分解能 (resolution) に依存している。さらに明確に述べると、ライブラリのレンジは、そのライブラリ内の個々の模擬回折信号のレンジに関係する。したがって、収集された回折信号がそのライブラリのレンジの外である場合には、一致が生じることが不可能である。ライブラリの分解能は、ライブラリ内の個々の模擬回折信号の相互間の差異の量に関係する。したがって、より低い分解能がより粗い一致を生じさせる。

【0005】

したがって、この従来のシステムの精度は、ライブラリのレンジおよび/または分解能を増加させることによって増大させられることが可能である。しかし、ライブラリのレンジおよび/または分解能を増加させることは、そのライブラリを生成するために必要とされる計算の量も増大させる。したがって、必要とされる計算の量を過度に増加させることなくライブラリの適切なレンジおよび/または分解能を求めることが望ましい。

〔概要〕

本出願は、周期格子の模擬回折信号 (模擬信号) のライブラリを生成することに関する。一実施態様では、周期格子の測定された回折信号が得られる (測定信号)。仮想パラメータ (hypothetical parameter) が仮想プロファイル (hypothetical profile) に関連付けられる。仮想パラメータは、1組の仮想プロファイルを生成するために一定のレンジ内で変化させられる。仮想パラメータを変化させるためのレンジが、測定信号に基づいて調節される。1組の模擬信号が1組の仮想パラメータから生成される。

【0006】

本発明は、次の添付図面に関連付けて行う後述の説明を参照することによって最も適切に理解されることが可能であり、添付図面では同じ部品が同じ番号によって示されている。

〔詳細な説明〕

以下の説明は、様々な特定の構成およびパラメータ等を述べる。しかし、こうした説明が本発明の範囲に対する限定を意図しておらず、典型的な実施形態のより適切な説明を提供

10

20

30

40

50

するために示されているということを理解しなければならない。

【0007】

図1を参照すると、この図では、周期格子145が半導体ウェーハ140上に描かれている。図1に描かれたように、ウェーハ140はプロセスプレート180上に配置されており、プロセスプレート180はチルプレート(chill plate)、ホットプレート(hot plate)、デベロッパモジュール(developer module)等を含むことが可能である。あるいは、ウェーハ140は、ウェーハトラック(wafer track)上、エッチャー(etcher)のエンドチャンバ内、エンドステーションまたは度量衡ステーション内、化学機械研磨ツール(chemical mechanical polishing tool)内等に配置されることも可能である。

10

【0008】

上述したように、周期格子145はウェーハ140上に形成されていた処理している構造の付近または内部に形成されることが可能である。例えば、周期格子145は、ウェーハ140上に形成されているトランジスタの付近に形成されることが可能である。あるいは、周期格子145は、トランジスタの動作に干渉しないトランジスタの一区域内に形成されることが可能である。より詳細に後述するように、周期格子145のプロファイルが、周期格子145、さらには周期格子145に隣接した処理している構造が仕様にしたがって製造されているかどうかを判定するために得られる。

【0009】

さらに明確に述べると、図1に示すように、周期格子145は、楕円偏光測定器、反射率計等のような電磁源120からの入射信号110によって照射される。

20

【0010】

【数1】

入射信号110は、周期格子145の法線 \vec{n} に対して入射角 θ_i で周期格子145上に向けられる。回折信号115が法線 \vec{n} に対して角度 θ_d で出ていく。

30

【0011】

一つの典型的実施形態では、入射角 θ_i はブルースター角に近い。しかし、入射角 θ_i は用途に応じて変化することが可能である。例えば、別の実施形態では、入射角 θ_i は約0度から約40度の間である。別の実施形態では、入射角 θ_i は約30度から約90度の間である。さらに別の実施形態では、入射角 θ_i は約40度から約75度の間である。さらに別の実施形態では、入射角 θ_i は約50度から約70度の間である。

【0012】

回折信号115は検出器170によって受け取られ、信号処理システム190によって分析される。電磁源120が楕円偏光測定器である場合には、回折信号115の大きさ I と位相 ϕ が受け取られて検出される。電磁源120が反射率計である場合には、回折信号115の相対強度が受け取られて検出される。

40

【0013】

信号処理システム190は、検出器170によって受け取られた回折信号を、ライブラリ185内に記憶されている模擬回折信号と比較する。ライブラリ185内の模擬回折信号の各々は仮想プロファイルに関連付けられている。検出器170から受け取られた回折信号とライブラリ185内の模擬回折信号の1つとの間に一致が生じる時には、その一致する模擬回折信号に関連付けられている仮想プロファイルが周期格子145の実プロファイルに相当すると推定される。その次に、一致する模擬回折信号および/または理論的プロファイルが、周期格子が仕様にしたがって製造されているかどうかの判定を支援するために提供されることが可能である。

50

【 0 0 1 4 】

上述のように、ライブラリ 1 8 5 は、周期格子 1 4 5 の理論的プロファイルに関連付けられている模擬回折信号を含む。図 1 1 に示すように、この典型的な実施形態では、ライブラリ 1 8 5 を生成するためのプロセスが、(1) 周期格子の薄膜スタックをキャラクタライズすることと、(2) 周期格子を形成するのに使用される材料の光学特性を得ることと、(3) 周期格子から測定回折信号を得ることと、(4) 回折格子のプロファイルをモデル化するために使用するための仮想パラメータの数を決定することと、(5) 1 組の仮想プロファイルの生成において仮想パラメータを変化させるためのレンジを調節することと、(6) 仮想プロファイルに関する模擬回折信号を生成するために仮想プロファイルの分割において使用する層の数を決定することと、(7) 1 組の模擬回折信号の生成において使用するための調和次数 (harmonic order) の数を決定することと、(8) 1 組の模擬回折信号の生成において使用するための分解能を決定することと、(9) 調節されたレンジ、パラメータ化、および/または、分解能に基づいて 1 組の模擬回折信号を生成することと、(1 0) 1 組の測定回折信号を、ライブラリ内の模擬回折信号と比較することを含むことが可能である。

10

【 0 0 1 5 】

図 1 に示したように、概略的に上述しかつより詳細に後述する、ライブラリ 1 8 5 を生成するためのプロセスは、信号処理システム 1 9 0 によって行われることが可能である。さらに、信号処理システム 1 9 0 と検出器 1 7 0 と電磁源 1 2 0 とが線路 1 2 6、1 2 5 によって接続されている形で示されてはいるが、データを様々な方法および媒体によって信号処理システム 1 9 0 と検出器 1 7 0 と電磁源 1 2 0 との間で通信することが可能である。例えば、データを、ディスク、コンパクトディスク、電話線、コンピュータネットワーク、インターネット等を使用して通信することが可能である。

20

【 0 0 1 6 】

さらに、ライブラリ 1 8 5 を生成するための概略的に上述したプロセスは典型的であって、網羅的でもなく排他的でもないということに留意すべきである。したがって、ライブラリ 1 8 5 を生成するためのプロセスは、上述していない追加のステップを含むことが可能である。ライブラリ 1 8 5 を生成するためのプロセスは、さらに、上述したステップよりも少ないステップしか含まなくてもよい。さらに、ライブラリ 1 8 5 を生成するためのプロセスは、上述したステップと異なる順序で含むことが可能である。これらを考慮しながら、概略的に上述した典型的プロセスをさらに詳細に後述する。

30

1. 周期格子の薄膜スタックの特徴を記述する。

【 0 0 1 7 】

図 1 をさらに参照すると、ライブラリ 1 8 5 を生成する前に、周期格子 1 4 5 の特徴が得られる。例えば、次の情報が取得されうる。

【 0 0 1 8 】

・ 照射する入射信号 1 1 0 の入射角および波長範囲のような、使用される測定ツールの明細。

【 0 0 1 9 】

・ 周期格子 1 4 5 の形成に使用されかつスタック内の層がパターン形成される材料。

40

【 0 0 2 0 】

・ パターン形成されていない層の場合には厚さ、または、パターン形成された層の場合には幅 (すなわち、「限界寸法」すなわち「CD」) および厚さのような、周期格子 1 4 5 のための各パラメータに関するレンジ。

【 0 0 2 1 】

・ パターン形成された薄膜の場合の、限界寸法に関する所望の分解能。

【 0 0 2 2 】

・ パターン形成された薄膜の周期格子 1 4 5 のピッチすなわち周期性の長さ。

【 0 0 2 3 】

・ 「フーティング (footing)」、「アンダーカット (undercut)」等

50

のような、期待されるプロファイル形状のタイプの仕様。

【0024】

周期格子145のこれらの特徴を、そのプロセスに対する経験と精通とに基づいて得ることが可能である。例えば、これらの特徴を、ウェーハ140と周期格子145との製造に
関与するプロセスに精通しているプロセス技術者から得ることが可能である。あるいは、
これらの特徴を、原子間力顕微鏡(AFM)、チルトアングル走査電子顕微鏡(SEM)、
X-SEM等を使用してサンプル周期格子145を検査することによって得ることが可能
である。

2. 周期格子の形成に使用される材料の光学特性を得る。

【0025】

この典型的実施形態では、周期格子の形成に使用される材料の光学特性が、回折信号を測
定することによって得られる。図2を参照して、例えば、サンプル周期格子が、基板20
2上に形成された互いに異なる材料の4つの層(すなわち、層204、206、208、
210)を含むと想定する。例えば、層204、206、208、210がそれぞれにゲ
ート酸化物、ポリシリコン、反射防止膜、フォトレジストであり、かつ、基板202がシ
リコンであると想定する。

【0026】

図3に示されているように、各材料の光学特性は、基板202上に形成された層204、
206、208、210の各々に関する別々の回折信号を測定することによって得られる
。さらに明確に述べると、回折信号が、基板202上に形成された層204に関して測定
される。別の回折信号が、基板202上に形成された層206に関して測定されうる。別
の回折信号が、基板202上に形成された層208に関して測定されうる。さらに別の回
折信号が、基板202上に形成された層210に関して測定されうる。

【0027】

あるいは、図4に示されているように、層204、206、208、210が基板202
の上に逐次的に形成されている時には、本明細書で「加法スタック(additive
stack)」アプローチと呼ばれている方法によって、回折信号が測定される。さらに
明確に述べると、回折信号が、基板202上に層204を形成した後に測定される。別の
回折信号が、層204上に層206を形成した後に測定される。さらに別の回折信号が、
層206上に層208を形成した後に測定される。さらに別の回折信号が、層208上に
層210を形成した後に測定される。

【0028】

再び図1を参照すると、周期格子145を形成するために使用された各材料に関して回折
信号を測定した後に、各材料の光学特性が抽出される。さらに明確に述べれば、図2を再
び参照して、例えば周期格子145(図1)が基板202上に形成された層204から層
210を含むと想定する場合に、層204から層210の各層の光学特性が抽出される。
この典型的な実施形態では、層204から層210の各層の屈折率の実数部と虚数部(n
および k)が、薄膜電磁方程式ソルバー(thin film electromagnetic equation solver)と共に最適化エンジンを使用して抽出され
る。例えば、屈折率を、本明細書では模擬焼きなまし連続変数オプティマイザ(Simulated Annealing for Continuous(SAC) variables optimizer)と呼ぶ、焼きなまし法に基づくオプティマイザを使用し
て抽出することが可能である。

【0029】

層204から層210が、高度に反射性である金属層を含む時には、入射信号110(図
1)は、典型的には数ナノメートルの「表皮厚さ」までしかその金属層に侵入しないだろ
う。したがって、 $n-k$ だけが抽出されることが可能であり、一方、公称の厚さ値は測定
できず、理論的に、または、プロセス技術者のような経験に基づいて厚さ値が得られる。

【0030】

非金属層の場合には、様々な物理モデルが、薄膜の光学特性(厚さを含む)を抽出するた

10

20

30

40

50

めに、SACオプティマイザと共に使用されることが可能である。適した光学特性の例に関しては、内容全体が本明細書に引例として組み入れてあるG. E. Jellison, F. A. Modine, "Parameterization of the optical functions of amorphous materials in interband region", Applied Physics Letters, 15 vol. 69, no. 3, 371-373, July 1996と、A. R. Forouhi, I. Bloomer, "Optical Properties of crystalline semiconductors and dielectrics", Physical Review B., vol. 38, no. 3, 1865-1874, July 1988とを参照されたい。

10

【0031】

さらに、回折信号を得るために楕円偏光測定器が使用される時には、(内容全体が本明細書に引例として組み入れてある、Xinhui Niu, Nickhil Harshvardhan JakatdarおよびCostas Spanosによる"Novel DUV Photoresist Modeling by Optical Thin-Film Decompositions from Spectral Ellipsometry/Reflectometry Data," SPIE LA SE 1998に記述されているように) $\tan(\)$ 信号と $\cos(\)$ 信号との対数を比較することが可能である。単に $\tan(\)$ と $\cos(\)$ とを比較するのではなく、 $\tan(\)$ と $\cos(\)$ との対数を比較することは、ノイズによる影響をより受けにくいという利点を有する。

20

3. 周期格子から測定回折信号を得る。

【0032】

この典型的な実施形態では、ライブラリ185を生成する前に、測定回折信号が、少なくとも1つのサンプル周期格子145から得られる。しかし、多数の測定回折信号がウェーハ140上の多数の箇所から得られることが好ましい。さらに、多数の測定回折信号を多数のウェーハ140上の多数の箇所から得ることが可能である。後述するように、これらの測定回折信号を、ライブラリ185の生成において使用することが可能である。

4. 周期格子のプロファイルのモデル化に使用するための仮想パラメータの数を決定する。

30

【0033】

この典型的な実施形態では、1組の仮想パラメータが、周期格子145(図1)のプロファイルモデル化するために使用される。さらに明確に述べると、1組の仮想パラメータが、仮想プロファイルを定義するために使用され、この仮想プロファイルを、周期格子145(図1)の実プロファイルの特徴を記述するために使用することが可能である。仮想パラメータの値を変化させることによって、1組の仮想プロファイルを生成することが可能である。

【0034】

例えば、図8Aを参照すると、2つの仮想パラメータ(すなわち、 h_1 および t_1)が、長方形プロファイルモデル化するために使用可能である。図8Aに示されているように、 h_1 は仮想プロファイルの高さを定義し、 w_1 は仮想プロファイルの幅を定義する。値 h_1 、 w_1 を変化させることによって、1組の長方形の仮想プロファイルを生成することが可能である。

40

【0035】

次に図8Bを参照すると、3つの仮想パラメータ(すなわち、 h_1 、 w_1 および t_1)が、台形プロファイルモデル化するために使用可能である。図8Bに示されているように、 t_1 は、仮想プロファイルの底部と側部との間の角度を定める。この場合も同様に、これらの仮想パラメータを変化させることによって、1組の仮想プロファイルを生成することが可能である。

【0036】

50

次に図 8 C を参照すると、5 つの仮想パラメータ（すなわち、 w_1 、 w_2 、 h 、 p_1 、 w_3 ）が、頂部丸みを有する台形プロファイルモデル化のために使用可能である。図 8 C に示すように、 w_1 は底部の幅を定め、 w_2 は台形プロファイルの頂部の幅を定め、 w_3 は丸い頂部の幅を定める。さらに、 h は全高を定め、 p_1 は丸い頂部の高さを定め、比率 p_1 / h が、丸い高さの割合を定める。この場合も同様に、これらの仮想パラメータを変化させることによって、1 組の仮想プロファイル生成することが可能である。

【 0 0 3 7 】

次に図 8 D を参照すると、7 つの仮想パラメータ（すなわち、 w_1 、 w_2 、 p_1 、 h 、 p_2 、 w_3 、 w_4 ）が、頂部の丸みと底部のフーティング（*footing*）とを有する台形プロファイルモデル化のために使用可能である。図 8 D に示されているように、 w_1 は底部フーティングの幅を定め、 w_2 は台形プロファイルの底部の幅を定め、 w_3 は台形プロファイルの頂部の幅を定め、 w_4 は丸い頂部の幅を定める。さらに、 h は全高を定め、 p_1 は底部フーティングの高さを定め、 p_2 は丸い頂部の高さを定める。したがって、比率 p_1 / h が、底部フーティングである高さの割合を定め、比率 p_2 / h が、丸い高さの割合を定める。この場合も同様に、これらの仮想パラメータを変化させることによって、1 組の仮想プロファイル生成することが可能である。

【 0 0 3 8 】

次に図 8 E を参照すると、8 つの仮想パラメータ（すなわち、 w_1 、 w_2 、 p_1 、 h_1 、 h_2 、 w_3 、 w_4 、 d_1 ）が、頂部の丸みと底部フーティングと 2 つの薄膜の間の横方向オフセットとを有する台形プロファイルモデル化のために使用可能である。図 8 E に示されているように、 w_1 は底部フーティングの幅を定め、 w_2 は台形プロファイルの底部の幅を定め、 w_3 は台形プロファイルの頂部の幅を定め、 w_4 は最上部の薄膜の幅を定める。さらに、 h_1 は第 1 の薄膜の高さを定め、 h_2 は第 2 の薄膜の高さを定め、 p_1 は底部フーティングの高さを定め、比率 p_1 / h_1 が、底部フーティングである第 1 の薄膜の高さの割合を定め、 d_1 は第 1 の薄膜と第 2 の薄膜の間のオフセットを定める。この場合も同様に、これらの仮想パラメータを変化させることによって、1 組の仮想プロファイル生成することが可能である。

【 0 0 3 9 】

このようにして、アンダーカッティング、フーティング、*t* トッピング（*t - topping*）、丸め、凹形側壁、凸形側壁等のような様々な形状と特徴とを有する仮想プロファイル生成するために、任意の数の仮想パラメータを使用することが可能である。積み重ねられた台形の組合せを使用してあらゆるプロファイル形状を近似化することが可能であるということが理解できる。さらに、この説明は稜線の周期格子に焦点を当てているが、稜線と溝との間の区別が多少は作為的であるということと、この応用例があらゆる周期格子に適用可能であるということが留意できる。

【 0 0 4 0 】

より詳細に後述するように、この実施形態では、模擬回折信号を仮想プロファイルに対して生成することが可能である。この場合に、模擬回折信号を、周期格子 1 4 5（図 1）からの測定回折信号と比較することが可能である。これら 2 つの信号が一致する場合には、仮想プロファイルは、周期格子 1 4 5（図 1）の実プロファイルの特徴を記述していると想定される。

【 0 0 4 1 】

この一致の精度は、部分的に、周期格子 1 4 5（図 1）の実プロファイルの複雑度による適切な数のパラメータの選択に依存する。さらに明確に述べると、過少のパラメータを使用することは粗い一致に結果し、過多のパラメータを使用することは時間と計算能力を不必要に消費する可能性がある。

【 0 0 4 2 】

例えば、周期格子 1 4 5（図 1）の実プロファイルの形状が実質的に長方形であると想定する。この場合には、図 8 A に示しかつ上述したように、2 つのパラメータを使用することが、周期格子 1 4 5（図 1）の実プロファイルに一致するための 1 組の仮想プロファイ

10

20

30

40

50

ルを生成するのに十分である。しかし、3つ以上のパラメータを使用して生成された1組の仮想プロファイルは、2つのパラメータを使用した生成された仮想プロファイルを含むことも可能である。さらに明確に述べると、 t_1 が90度である時には、3つのパラメータを使用して生成された仮想プロファイルは、2つのパラメータを使用した生成された1組の長方形の仮想プロファイルを含むことが可能である。しかし、周期格子145(図1)の実プロファイルが長方形なので、長方形でない(すなわち、 t_1 が90度ではない)3つのパラメータを使用して生成されたすべての仮想プロファイルは不要である。しかし、周期格子145(図1)の実プロファイルが台形である場合には、2つのパラメータを使用することは粗い一致を結果的に生じるか、または、全く一致を生じない。

【0043】

したがって、この典型的な実施形態では、ライブラリ185(図1)を生成する前に得られた測定回折信号が、ライブラリ185(図1)の生成に使用するパラメータの適切な数を決定するために使用される。さらに明確に述べると、1つの構成では、仮想パラメータによって定義された仮想プロファイルから生成された模擬回折信号が所望の許容誤差の範囲内で測定回折信号に一致するまで、仮想パラメータの数を増加することが可能である。使用される仮想パラメータの数を減少させるのではなく増加させることの1つの利点は、このことが、時間および計算上においてより効率的であるということであり、より多い数の仮想パラメータによって生成されたより大きな組の仮想プロファイルが必ずしも必要ではないからである。

【0044】

あるいは、別の構成では、仮想パラメータによって定義された仮想プロファイルから生成された模擬回折信号が所望の許容誤差の範囲内で測定回折信号に一致することを止めるまで、仮想パラメータの数を減少することが可能である。仮想パラメータの数を増加させるのではなく減少させることの1つの利点は、より少ない数の仮想パラメータによって生成される仮想プロファイルが、典型的には、より多い数の仮想パラメータによって生成される仮想プロファイルの部分集合であるので、仮想パラメータの減少をより容易に自動化することが可能であるということである。

【0045】

さらに、典型的な実施形態では、感度分析を仮想パラメータに対して行うことが可能である。例えば、3つの幅パラメータ(すなわち、 w_1 、 w_2 、 w_3)を含む1組の仮想パラメータが使用されると想定する。第2の幅 w_2 が、敏感ではない幅パラメータであると想定する。したがって、第2の幅 w_2 が変化させられる時には、生成される模擬回折信号が大きくは変化しない。したがって、敏感でないパラメータを含む1組の仮想パラメータを使用することが、仮想プロファイルと実プロファイルとの間の粗い一致または不正確な一致を結果的に生じさせる可能性がある。

【0046】

したがって、1つの構成では、模擬回折信号と、ライブラリ185(図1)を生成する前に得られた測定回折信号との間で一致を判定した後に、模擬回折信号を生成するために使用される1組の仮想パラメータの中の各仮想パラメータを摂動して、新たな模擬回折信号を生成する。新たに生成された模擬回折信号に対する影響が大きければ大きいほど、そのパラメータは感度が高い。

【0047】

あるいは、別の構成では、模擬回折信号と、ライブラリ185(図1)を生成する前に得られた測定回折信号との間で一致を判定した後に、模擬回折信号を生成するために使用される仮想パラメータの数を1つだけ増加または減少する。周期格子145(図1)のモデル化に使用するための仮想パラメータの適切な数を決定するために、仮想パラメータの数を増加させたと想定する。この場合には、仮想パラメータの数が1つだけ増加させられ、追加の模擬回折信号が生成される。同様の一致が測定回折信号とこれらの模擬回折信号の1つとの間に発見される場合には、追加の仮想パラメータは敏感ではない。

【0048】

次に、周期格子 1 4 5 (図 1) のモデル化に使用するための仮想パラメータの適切な数を決定するために、仮想パラメータの数を減少したと想定する。この場合には、仮想パラメータの数を 1 つだけ減少し、追加の模擬回折信号を生成する。一致を測定回折信号とこれらの模擬回折信号の 1 つとの間に発見した場合には、取り除かれた仮想パラメータは敏感ではない。新たな調節されたパラメータ化 (parameterization) は、敏感でないと思われたパラメータのすべてを排除し、かつ、敏感であることが分ったパラメータのすべてを算入する。

【 0 0 4 9 】

パラメータ化が完了すると、限界寸法 (CD) をプロファイルのあらゆる部分に基づいて定めることが可能である。次に示すのは、図 8 E のプロファイルに基づいた CD 定義の 2 つの例である。

【 0 0 5 0 】

定義 1 : $CD = w_1$ 、

定義 2 : $CD = w_1 / 2 + (4 w_2 + w_3) / 10$

CD 定義はユーザに固有であり、上述の例は、異なる必要に適合するように容易に変更することが可能な典型的な例である。したがって、様々な状況において有効であることが立証されることになる様々な CD 定義が存在するということが理解できる。

5 . 1 組の仮想プロファイルの生成において仮想パラメータを変化させるためのレンジを調節する。

【 0 0 5 1 】

上述のように、1 組の仮想プロファイルを、仮想パラメータを変化させることによって生成することが可能である。より詳細に後述するように、模擬回折信号を、この組の中の仮想プロファイルの各々に対して生成することが可能である。したがって、ライブラリ 1 8 5 (図 1) 内の使用可能な模擬回折信号のレンジが、部分的に、仮想パラメータを変化するレンジによって決定される。

【 0 0 5 2 】

同様に上述したように、仮想パラメータを変化すべき初期レンジを、ユーザ / 顧客から得ることが可能である。しかし、場合によっては、この初期レンジは単なる推測に基づいている。この初期レンジが、AFM、X - SEM 等を使用するサンプルの測定のような経験的な測定に基づいている時にさえ、測定上の不正確さが劣悪な結果を生じさせる可能性がある。

【 0 0 5 3 】

したがって、この典型的な実施形態では、仮想パラメータを変化すべき初期レンジは、ライブラリ 1 8 5 (図 1) を生成する前に得られた測定回折信号に基づいて調節される。簡単に述べると、そのレンジの適切性を判定するために、1 つの模擬回折信号が測定回折信号の 1 つに一致するまで、多数の模擬回折信号が生成される。一致が見い出された時には、一致する模擬回折信号を生成するために使用される仮想パラメータの値が検査される。さらに明確に述べると、これらの仮想パラメータがそのレンジ内のどこに属するかを判定することによって、そのレンジの適切性を判定することが可能であり、そのレンジを必要に応じて調節することが可能である。例えば、これらの仮想パラメータがそのレンジの一方の末端の付近に属する場合には、そのレンジを移動して再び中心を合わせることが可能である。

【 0 0 5 4 】

この典型的な実施形態では、仮想パラメータを変化しなければならないレンジは、ライブラリ 1 8 5 (図 1) を生成する前に調節される。より詳細に後述するように、ライブラリ 1 8 5 (図 1) 内の模擬回折信号は、仮想パラメータに対する調節されたレンジを使用して生成される。しかし、このレンジがライブラリ 1 8 5 (図 1) の生成後に調節することが可能であり、その次にライブラリ 1 8 5 (図 1) を、調節されたレンジを使用して再生することが可能であるということを理解すべきである。

【 0 0 5 5 】

10

20

30

40

50

さらに、この典型的な実施形態では、最適化ルーチンが、一致する模擬回折信号を生成するために使用される。さらに明確に述べると、最適化ルーチンで使用されるべき一定のレンジの仮想パラメータが選択される。同様に、AFMまたはX-SEM測定によってプロファイル形状が予め分かっている場合には、より狭いレンジが使用可能である。しかし、プロファイル形状が予め分かっていない場合には、より広いレンジを使用する可能性があり、これにより最適化時間が増加する可能性がある。

【0056】

誤差計量 (error metric) が、最適化ルーチンをガイドするために選択される。この典型的な実施形態では、選択された誤差計量は測定回折信号と模擬回折信号との間の2乗誤差和 (sum-squared-error) である。この誤差計量は、誤差が互いに同類かつ独立に正規分布 (i i n d : i d e n t i c a l l y a n d i n d e p e n d e n t l y n o r m a l l y d i s t r i b u t e d) しており、かつ、差が妥当である用途では、適切に機能することが可能であるが、誤差が出力値の関数であり (したがって i i n d でなく)、かつ、比率が妥当である場合には、適切な計量でないことがある。誤差が出力の指数関数である時には、2乗差対数誤差和 (sum-squared-difference-log-error) がより適切な誤差計量であることがありうる。したがって、この実施形態では、2乗誤差和が $\cos(\quad)$ の比較に使用され、および、ゼロ次のTE反射率に対するゼロ次のTM反射率の比率が $\tan(\quad)e^i$ によって与えられる場合に、2乗差対数誤差和が $\tan(\quad)$ の比較に使用される。

【0057】

誤差計量を選択した後に、模擬回折信号自体と測定回折信号との間の誤差計量を最小化する模擬回折信号を生じさせる仮想パラメータの値を発見するために、最適化ルーチンが実行される。さらに明確に述べると、この典型的な実施形態では、模擬焼きなまし最適化手順が使用される (内容全体が本明細書に引例として組み入れてある、“Numerical Recipes,” section 10.9, Press, Flannery, Teukolsky & Vetterling, Cambridge University Press, 1986を参照されたい)。さらに、この典型的な実施形態では、模擬回折信号を精密なモデルによって生成する (内容全体が本明細書に引例として組み入れてある、University of California at Berkeley Doctoral Thesis of Xinhui Niu, “An Integrated System of Optical Metrology for Deep Sub-Micron Lithography,” April 20, 1999を参照されたい)。

【0058】

この典型的な実施形態では、模擬回折信号が、標準カイ2乗適合度定義 (standard chi-squared goodness-of-fit definition) の範囲内で測定回折信号に一致する場合には (内容全体が本明細書に引例として組み入れてある、Applied Statistics by J. Neter, W. Wasserman, G. Whitmore, Publishers: Allyn and Bacon, 2nd Ed. 1982を参照されたい)、最適化が成功したと見なされる。その次に、全仮想パラメータの値が検査されてCDが計算される。

【0059】

このプロセスは、測定回折信号のすべてに対して一致する模擬回折信号を見出すために繰り返される。その次に、仮想パラメータのレンジの適切性が、一致する模擬回折信号の仮想パラメータの値がレンジ内のどこに位置するかを調べることによって検査される。例えば、仮想パラメータの値がレンジの一方の端の付近に集まっている場合には、そのレンジを移動し、再び中心を合わせることが可能である。仮想パラメータの値がレンジの限界にある場合には、そのレンジを広げることが可能である。

【0060】

最適化プロセスが、測定回折信号に対する一致する模擬回折信号を見出すことができな

10

20

30

40

50

い場合には、仮想パラメータのレンジまたは数を変更する必要がある。さらに明確に述べると、仮想パラメータの値が検査され、これらの値がレンジの限界付近にある場合には、このことは、そのレンジを変更しなければならないということの表れである。例えば、レンジを2倍にすることも、または、任意の所望の量もしくは適切な量だけ変更することも可能である。仮想パラメータの値がレンジの限界付近にはない場合には、このことは、典型的には、プロファイル形状の特徴を記述するために使用される仮想パラメータの数および/またはタイプを変更する必要があるということの表れである。両方の場合とも、仮想パラメータのレンジまたは数を変更した後に、最適化プロセスが再び行われる。

6. 仮想プロファイルに対する模擬回折信号を生成するために、仮想プロファイルの分割において使用する層の数を決定する。

10

【0061】

上述のように、1組の仮想パラメータは仮想プロファイルを定める。その次に、模擬回折信号が各仮想プロファイルに対して生成される。さらに明確に述べると、この典型的な実施形態では、仮想プロファイルに対する模擬回折信号を生成するプロセスは、仮想プロファイルの形状をよく近似する1組の積み重ねられた長方形の形に仮想プロファイルに分割することを含む。所与の仮想プロファイルに対する1組の積み重ねられた長方形から、対応する模擬回折信号が生成される(内容全体が本明細書に引例として組み入れてある、University of California at Berkeley Doctoral Thesis of Xinhui Niu, "An Integrated System of Optical Metrology for Deep Sub-Micron Lithography," April 20, 1999と、内容全体が本明細書に引例として組み入れてある、2001年1月17日付で出願された発明の名称「高速精密結合波分析のための層間計算のキャッシング(CACHING OF INTRA-LAYER CALCULATIONS FOR RAPID RIGOROUS COUPLED-WAVE ANALYSIS)」の米国特許出願番号09/764,780とを参照されたい)。

20

【0062】

したがって、ライブラリの品質は、部分的には、選択された1組の積み重ね長方形が仮想プロファイルにどれだけ良く近似しているかに依存する。さらに、典型的なライブラリ185(図1)が数10万個の理論的プロファイルを含むことが可能なので、仮想プロファイルに対する1組の積み重ねられた長方形を選択するプロセスを高速で自動化することが有利である。

30

【0063】

プロファイル形状の考慮なしにプロファイルに関する固定数の長方形を決定することと、更に互いに等しい高さの固定数の長方形を使用してプロファイルを表現することとは高速な方法または効率的な方法ではないということに留意すべきである。これは、1つのプロファイルに近似する最適数の長方形が別のプロファイルに近似する最適数の長方形とは異なる可能性があるからである。さらに、特定のプロファイルに近似する積み重ねられる長方形の高さが同一である必要はない。したがって、適切な近似を実現するために、長方形の数 k と長方形の高さとが各プロファイルに対して決定されることが好ましい。

40

【0064】

しかし、ライブラリ生成時間は長方形の数 k の一次関数である。したがって、ライブラリの品質を改善するために k を増加させることが、ライブラリ185(図1)を生成するために必要とされる時間量の増加を結果的に生じさせる。したがって、長方形が可変的な高さを有することを可能にすることによって、最小数の長方形によって各プロファイルに近似することが有利である。

【0065】

したがって、典型的な一実施形態では、プロファイルの形状により適切に近似する可変的な高さを有する長方形の数 k を求めるためのプロセスが提供される。さらに明確に述べると、この問題は、「集合カバー(set-cover)」問題と呼ばれる組合せ最適化問

50

題に変換される。その次に、発見的方法 (heuristics) を「集合カバー」問題を解くために使用することが可能である。

【0066】

簡単に述べると、集合カバー問題は、要素の基礎集合 B と、集合 C_1, C_2, \dots, C_n の集まり C とを含み、ここで各 C_i は B の適正な部分集合であり、集合 C_1, C_2, \dots, C_n は要素を共有することが可能である。さらに、各集合 C_i は、その集合に関連付けられている重み W_i を有する。集合カバー問題のタスクは、総コスト $\sum W_i$ が最小化されるように集合 C_i によって B 内の要素すべてをカバーすることである。

【0067】

長方形化の問題を集合カバー問題に変換するという本発明の適用に戻り、 P が特定のプロファイルを表すとす。表現を簡単にするために、プロファイル P は y 軸に関して対称であると見なされ、したがってプロファイル P の一方の側だけを考察することが可能である。以下の説明では、プロファイル P の左半分が考察される。プロファイル上の点が y 軸に沿って一定の間隔 y で選択され、ここで y はプロファイルの高さよりも著しく小さい。この選択は、 p_1, p_2, \dots, p_n で示された個別の点によって連続した曲線が近似的に表される。言い換えると、点 p_1, p_2, \dots, p_n はそれぞれに座標 $(x_1, 0), (x_2, y), \dots, (x_n, (n-1)y)$ に相当する。これらの点 p_1, p_2, \dots, p_n は基礎集合 B を形成し、 C 内の集合はこれらの点によって生成されることが可能な長方形に相当する。

【0068】

図5の典型的な長方形化に示されているように、各長方形は、 B からの点 p_i にその底部左隅を有し、その頂部左隅はその底部左座標と同じ x 座標を有する。さらに、その頂部左隅の y 座標は特定の値 jy であり、ここで $j = i$ である。したがって、プロファイルに沿った2つの高さ iy, jy を選択することによって形成されることが可能な $(n * (n-1)) / 2$ 個の異なる長方形が存在し、これらの長方形は、その長方形の頂部と底部とがプロファイル P の内部（または、頂部端縁または底部端縁）にある限り、 y から $n * y$ までのすべての採用可能な高さ、プロファイル P 内のすべての採用可能な位置とを有する。これらの長方形は R_1, R_2, \dots, R_m によって表され、ここで $m = (n * (n-1)) / 2$ である。図6を参照すると、 ry から sy に垂直に延びる（ここで r と s は $0 < r < s < n$ であるような整数である）長方形 R_i の左側端縁が、 S_i によって表される P の副領域を近似し、および、集合 C_i は、 S_i 内部にあるプロファイル P のすべての点、すなわち、 ry から sy までの y 座標を有するプロファイル P 上のすべての点を含む。

【0069】

したがって、集合 C_1, C_2, \dots, C_m を有する集合系 C が設定される。その次に、重みが集合 C_i に割り当てられる。集合カバー問題の目的がカバーの総コストを最小化することなので、重み W_i は、その目的を反映するように、すなわち、近似の品質を定量化することによってプロファイル形状を近似するように割り当てられる。したがって、図6に示すように、長方形 R_i に割り当てられた重み W_i は、長方形 R_i の面積と、プロファイル P の部分 S_i と y 軸との間の面積との間の面積上の差である。図7に示すように、部分 S_i が長方形 R_i の外側にある場合には、重み W_i は正の数と見なされる。重み $W_i / |C_i|$ が大きければ大きいほど（ここで、 $|C_i|$ は集合 C_i の濃度を表す）、長方形 R_i はプロファイル P の近似としてはますます不適切になる。

【0070】

上述のように、集合カバー問題とプロファイルの長方形化との間のマッピングを示した。次のステップは、集合カバー問題を解くことである。最もよく知られている厳密解 (exact-solution) アルゴリズムの実行時間が入力サイズの指数関数であるので、集合カバー問題を解くことが計算的には困難であることがすでに示されている。しかし、近最適な解を生じさせることが可能な幾つかの効率的な発見的方法が存在する。

【0071】

10

20

30

40

50

例えば、「貪欲 (greedy)」発見的方法と呼ばれる発見的方法が使用可能である。あらゆるステップにおいて、この発見的方法は、 $W_i / |C_i|$ の値が最小である集合 C_i を選択する。その次に、この発見的方法は C_i を解集合 Z に加え、基礎集合 B に対する C_i 中の要素すべてを削除し、および、 C_i と要素を共有するあらゆる他の集合 C_j を削除する。さらに、 C 中のあらゆる空集合が C から取り除かれる。したがって、あらゆるステップにおいて、基礎集合 B 内の要素の数が減少する。このプロセスが、基礎集合 B が空になるまで繰り返される。この時点で、解集合 Z は、プロファイル点 p_i すべてをカバーする集合から成る。解 Z における集合は、プロファイル P に近似する長方形に変換されて戻される。特定の段階における $|C_i|$ の値が、その段階において C_i が含む要素の数であって、 C_i が当初に含んでいた要素の数ではないということに留意すべきである。集合 C_i の選択が $W_i / |C_i|$ の値に依存するので、得られる長方形は異なったサイズでありうる。この発見的方法の基本アルゴリズムの詳細な説明は、内容全体が本明細書に引例として組み入れてある、Srinivas Doddi、Madhav Marathe、S.S. Ravi、David Taylor、および、Peter Widmayer による論文 “Approximation algorithms for clustering to minimize the sum of diameters,” Scandinavian workshop on algorithm theory (SWAT) 2000, Norway に記載されている。

10

【0072】

上述の方法は、特定のプロファイルに近似する1組の長方形に戻るが、長方形の数は非常に多いだろう。上述の論文では、Doddi 他は、各集合の重みを w だけ均等に増加させて上述の方法を再実行することによって、長方形の数が減少されるということを見つけた。 w の値を増加させるためにこのプロセスを繰り返すことによって、目標数の長方形を得ることが可能である。

20

【0073】

プロファイル形状を表すために使用されるものとして長方形を説明してきたが、台形を含むあらゆる他の幾何学的形状が使用可能であることに留意すべきである。台形によってプロファイルを自動的に近似化するためのプロセスを、例えば、1組の模擬回折信号を生成する際にパラメータを変化させるためのレンジを調節する段階に適用してもよい。

7. 1組の模擬回折信号の生成に使用するための調和次数の数を決定する。

30

【0074】

上述のように、この典型的な実施形態では、模擬回折信号を精密結合波分析 (rigorous coupled wave analysis) (RCWA) を使用して生成することができる。RCWA のより詳細な説明に関しては、内容全体が本明細書に引例として組み入れてある、T.K. Gaylord、M.G. Moharam、 “Analysis and Applications of Optical Diffraction by Gratings,” Proceedings of the IEEE, vol. 73, no. 5, May 1985 を参照されたい。

【0075】

RCWA 計算を行う前に、使用すべき調和次数の数が選択される。この典型的な実施形態では、RCWA 計算で使用するための調和次数の数を決定するために、次数収束試験 (order convergence test) が行われる。さらに明確に述べると、模擬回折信号が、1から40 (または、必要に応じてそれよりも多い数) に増分される調和次数の数と共に RCWA 計算を使用して生成される。1対の連続した次数値に対する模擬回折信号の変化が、光学計測検出器 (例えば、図1の検出器170) によって検出されることが可能な信号の最小絶対変化よりもあらゆる波長において小さい時に、1対の連続次数のうち小さい方の次数が、調和次数の最適数であると見なされる。

40

【0076】

周期格子145 (図1) の特徴を記述することにおいて多数のプロファイル形状が求められる時には、次数収束試験をこれらのプロファイルの各々に対して行うことが可能である

50

。このようにして、次数収束試験を行うことから得られた最大数の調和次数が、ライブラリ185(図1)の生成において使用される。

8. 1組の模擬回折信号の生成に使用するために分解能を決定する。

【0077】

上述したように、仮想パラメータの値は、1組の仮想プロファイルを生成するために一定のレンジ内で変化させられる。その次に、模擬回折信号がその1組の仮想パラメータに対して生成される。模擬回折信号の各々は仮想プロファイルと対にされ、その次にその対がライブラリ185(図1)内に格納される。仮想パラメータが変化させられる際の増分がライブラリ185(図1)のライブラリ分解能を決定する。したがって、この増分が小さければ小さいほど、分解能が精細であり、かつ、ライブラリのサイズが大きくなる。

10

【0078】

したがって、ライブラリ185(図1)の生成に使用される仮想パラメータの分解能は、(1)大きなライブラリ分解能を使用することによるライブラリのサイズの最小化と、(2)小さいライブラリ分解能を使用することによる信号とプロファイルとの間の正確な一致の実現との間で妥協できるように決定される。さらに明確に述べると、この典型的な実施形態では、縮約されたライブラリが、完全なライブラリを生成するのに使用されるレンジの一部分を使用して生成される。縮約ライブラリを使用することによって、最も低い分解能が、限界パラメータに対する正確な一致を依然としてもたらず指定された分解能を持たない仮想パラメータに対して決定される。

【0079】

一例として、プロファイルの特徴を記述するために3つの仮想パラメータ(頂部CD、中間CD、および、底部CD)が使用されると想定する。さらに、頂部CD、中間CD、および、底部CDに関するレンジがそれぞれに60~65ナノメートル、200~210ナノメートル、および、120~130ナノメートルであると想定する。さらに、限界パラメータが底部CDであり、底部CDに関して指定されている分解能が0.1ナノメートルであり、頂部CDと中間CDとに関しては特定の分解能が指定されていないと想定する。

20

【0080】

この典型的な実施形態では、縮約されたアルゴリズムは、仮想パラメータに対して指定されたレンジの一部分を使用して生成される。この例では、模擬回折信号の縮約ライブラリは、60~61の頂部CDと、200~201の中間CDと、120~121の底部CDとに対して生成している。

30

【0081】

最初に、縮約ライブラリは、指定された最高の分解能において生成される。この例では、頂部CD、中間CD、および、底部CDがそのそれぞれのレンジの間で0.1ナノメートルずつ増分されるように、模擬回折信号が頂部CD、中間CD、および、底部CDに対して生成される。例えば、模擬回折信号は、60、60.1、60.2、...、60.9、61の頂部CDに関して生成される。模擬回折信号は、200、200.1、200.2、...、200.9、201の中間CDに対して生成される。模擬回折信号は、120、120.1、120.2、...、120.9、121の底部CDに対して生成される。

40

【0082】

その次に、非限界パラメータの分解能が、限界パラメータに対して試みられた一致が失敗するまで、縮約ライブラリ内で一定量ずつに減少させられる。この例では、60.1の頂部CDと、200の中間CDと、120の底部CDとを有する仮想パラメータの組に対応する模擬回折信号が、その縮約ライブラリから取り除かれる。その次に、取り除かれた模擬回折信号を縮約ライブラリ内の残りの模擬回折信号と一致させようとする試みが行われる。その取り除かれた模擬回折信号(すなわち、120の底部CD)と同じ限界パラメータを有する模擬回折信号との一致を生じた場合には、頂部CDに関する分解能をさらに減少することが可能である。このようにして、非限界パラメータの各々が、使用可能な最小分解能を求めるために検査される。相互作用の影響を考慮に入れるために、この検査は非

50

限界パラメータのすべてに対して行われる。

【0083】

次の説明では、(1) 大きなライブラリ分解能 p_i を使用することによるライブラリのサイズの最小化と、(2) 小さいライブラリ分解能 p_i を使用することによる信号とプロファイルとの間の正確な一致の実現との間で妥協できるように、ライブラリ185 (図1) の生成に使用される仮想パラメータ p_i の分解能 p_i を決定するためのプロセスに関する、より詳細な説明が示されている。

【0084】

様々なプロファイルPの特徴を記述するために使用されるパラメータ p_i を詳細に上述した。次の説明では、 m 個のパラメータ p_1, p_2, \dots, p_m という一般的な事例を示し、および、 $m=2$ の特定の事例を図9に示し、この特定の事例は、括弧記号「 $\{ \}$ 」で囲まれたテキストの形で表してある。 $\{$ 具体的に述べると、第1のパラメータ p_1 が長方形プロファイルの幅 w_1 であるとみなし、第2のパラメータ p_2 が長方形プロファイルの高さ h_1 であるとみなす。 $\}$ したがって、任意のプロファイルPは、 m 次元の空間内の点によって表現できる。 $\{$ したがって、図9に示すように、任意のプロファイルPは、2次元の空間内の点によって表現できる。 $\}$ ライブラリ185 (図1) で使用されるべきプロファイルPのレンジは、各パラメータの最小値 $p_i^{(min)}$ と最大値 $p_i^{(max)}$ とを設定することによって指定されることが可能である。

【0085】

典型的には、半導体製造における対象となる特定の分解能、すなわち、目標分解能 R が、限界寸法の分解能である。一般的に、限界寸法の分解能は、多数のパラメータ p_i の分解能 p_i の何らかの関数である。 $\{$ 2次元の事例では、限界寸法の分解能は偶然にも第1のパラメータ $p_1 = w_1$ の分解能 p_1 である。しかし、2次元の議論を一般的な場合に対応させるためには、限界寸法が多数のパラメータ p_i の分解能 p_i の関数であると想定される。 $\}$

典型的には、単一の目標分解能 R だけが考慮される。しかし、この実施形態では、多数の目標分解能 R_i が考慮されることが可能であり、プロファイルと信号との間のマッピングの精度が、多数のプロファイル形状パラメータ p_i の分解能 p_i を決定することを可能にする。

【0086】

特定のプロファイルPの格子が、複素数値の回折信号 $S(P, \quad)$ を生じ、この信号は波長の関数としてプロットされる。信号 $S(P, \quad)$ の大きさは強度であり、信号 $S(P, \quad)$ の位相は、電界ベクトルの2つの互いに垂直な平面偏光の比率のタンジェントに等しい。もちろん、回折信号はデジタル化されてもよく、および、デジタル値のシーケンスがベクトルの形に形成されてよいが、回折信号が正確に表現されなければならない場合にはベクトルが多数のエントリを有する。したがって、各信号 $S(P, \quad)$ は高次元の信号空間内の点に対応し、および、互いに近接している高次元空間内の点が、類似している回折信号に対応する。この説明を分かり易くするために、図10では、2次元数 s_1 、 s_2 を有する信号空間が示されている。図10の2次元描写は、高次元信号空間の2次元への射影、すなわち、信号空間の2次元スライスであるとみなすことが可能である。

【0087】

この実施形態では、パラメータ p_i のライブラリ分解能 p_i の決定が、名目プロファイル $P^{(n)}$ を選択することと、その対応する信号 $S(P^{(n)})$ を生成することによって開始する。その次に、その名目プロファイル $P^{(n)}$ の近くの1組のプロファイルPが生成される。これは、名目 n の周囲のプロファイル空間内の定間隔の点の配列、名目 n の周囲のプロファイル空間内の定間隔でない点の配列、または、名目 n の周囲のプロファイル空間内のランダムに散乱した点を選択することによって行われてもよい。説明と図解を分かり易くするために、名目 n の周囲の定間隔の点の配列を考察し $\{$ 図9に示した $\}$ 、したがってパラメータ増分値 p_i が各パラメータ p_i に対して選択される。したがって、

$n + \quad a_i \quad p_i$

10

20

30

40

50

に位置したプロファイルと、その対応する回折信号

$$S(n + \sum_i a_i p_i)$$

とが生成され、ここで a_i は整数値(. . . , - 2, - 1, 0, 1, 2, 3, . . .)をとり、かつ、和が $i = 1$ から $i = m$ に及び、 n は名目プロファイル $P^{(n)}$ に対応するベクトルである。

【0088】

{したがって、図9に示されるように、

$$n + a_1 p_1 + a_2 p_2$$

に位置したプロファイルと、それに対応する回折信号

$$S(n + a_1 p_1 + a_2 p_2)$$

とが生成され、ここで a_1 と a_2 は整数値(. . . , - 2, - 1, 0, 1, 2, 3, . . .)をとる。}(表現を容易にするために、プロファイル P と、プロファイル空間内のその対応するベクトルとを同義語として使用する。)パラメータ増分値 p_i は、ライブラリ分解能 p_i の期待値に比較して小さいように選択され、すなわち、{図9に示す例では、パラメータ増分値 p_1 、 p_2 が、それぞれに、パラメータの分解能を決定する際に使用されるパラメータ値のレンジ($p_1^{(max)} - p_1^{(min)}$)および($p_2^{(max)} - p_2^{(min)}$)のサイズの $1/8$ と $1/6$ であるように選択される。}実際には、パラメータ増分値 p_i は、レンジ($p_1^{(max)} - p_1^{(min)}$)のサイズとパラメータ値の分解能 p_i よりも大ききのオーダが小さいように選択される。プロファイル P が格子上的の点に対応するように選択されることが可能であるが、図10に点として示されている対応する回折信号 S は、一般的に、規則正しい間隔をおいて位置しているわけではない。

【0089】

パラメータ p_i の分解能 p_i を決定するためのその次の段階が、名目プロファイル $P^{(n)}$ の信号 $S(n)$ からの距離を増加させることによって信号 $S(n + a_1 p_1 + a_2 p_2)$ を順序付けることであり、これは以下では名目信号 $S(n)$ または $S^{(n)}$ と呼ばれる。この実施形態では、第1の信号 $S^{(1)}$ と第2の信号 $S^{(2)}$ との間の距離が、2乗差対数誤差和測定値を使用して測定され、すなわち、

$$(S^{(1)}, S^{(2)}) = [\log S^{(1)}(\) - \log S^{(2)}(\)]^2$$

であり、ここで和は等間隔の波長において得られる。図10に示されているように、これは、名目信号 $S(n)$ を中心とした円1002、1004、1006、1008として図10に表されている互いに狭い間隔を置いた一連の超球(hypersphere)を描くことと、各信号 $S(n + \sum_i a_i p_i)$ { $S(n + a_1 p_1 + a_2 p_2)$ }を取り囲む最大の超球1002、1004、1006、1008にしたがって信号 $S(n + \sum_i a_i p_i)$ { $S(n + a_1 p_1 + a_2 p_2)$ }を順序付けることとによって図形的に表現されている。最小の超球1002は計測の分解能に対応し、すなわち、この最小の超球1002の内部の信号 S のすべては、すべての波長において、

$$S^{(n)}(\) - S(\)$$

を満たす。図10の典型的な事例では、4つの信号が円1002内に存在する形で示されている。

【0090】

本発明のその次の段階では、信号 $S(n + \sum_i a_i p_i)$ { $S(n + a_1 p_1 + a_2 p_2)$ }が、どれが目標分解能 R だけ名目プロファイル $P(n)$ から相違するプロファイル($n + \sum_i a_i p_i$) { $n + a_1 p_1 + a_2 p_2$ }を有する名目信号 $S^{(n)}$ に最も近い信号 $S(n + \sum_i a_i p_i)$ { $S(n + a_1 p_1 + a_2 p_2)$ }であるかを決定するために、名目信号 $S^{(n)}$ からの増加する距離の順序で検査される。多数の目標分解能 R の場合には、信号 $S(n + \sum_i a_i p_i)$ { $S(n + a_1 p_1 + a_2 p_2)$ }を、どれが目標分解能 R の1つだけ名目プロファイル $P(n)$ から相違するプロファイル($n + \sum_i a_i p_i$) { $n + a_1 p_1 + a_2 p_2$ }を有する名目信号 $S^{(n)}$ に最も近い信号 $S(n + \sum_i a_i p_i)$ { $S(n + a_1 p_1 + a_2 p_2)$ }であるかを決定するために、名目信号 $S^{(n)}$ からの増加する距離の順序で検査する。その特定の信号は境界信号(border signal

10

20

30

40

50

) $S^{(B)}$ と呼ばれ、この境界信号 $S^{(B)}$ を囲む最小の超球 1002、1004、1006、1008 は境界超球 (border hypersphere) B と呼ばれる。境界超球 B の外側にある信号 S の場合には、対応するプロファイル P は、ライブラリ分解能 p_i を決定するプロセスにおいて考慮から排除される。

【0091】

その次に、境界超球 B の内側にある各信号 S に対して、名目プロファイルベクトル n に対する関係における変位ベクトル V が求められる。特に、ベクトル $(p_1^a, p_2^a, \dots, p_m^a)$ によって記述されたプロファイル $P^{(a)}$ と名目ベクトル $n = (p_1^n, p_2^n, \dots, p_m^n)$ との間の変位ベクトル V は、

$$V = (p_1^a - p_1^n, p_2^a - p_2^n, \dots, p_m^a - p_m^n)$$

によって与えられ、{または、図9に示されている2次元の事例では、

$$V = (p_1^a - p_1^n, p_2^a - p_2^n)$$

によって表わされる。

図9に示されている典型的な変位ベクトル V は $V = (1, 2)$ である。}

等価の変位ベクトル V の組が、

$$V = (\pm |p_1^a - p_1^n|, \pm |p_2^a - p_2^n|, \dots, \pm |p_m^a - p_m^n|)$$

として表わされ、{または、図9に示されている2次元の事例では、

$$V = (\pm |p_1^a - p_1^n|, \pm |p_2^a - p_2^n|)$$

として表わされ、すなわち、オリジナルの変位ベクトル V を含む等価の変位ベクトル V の組が、 m 次元の超長方形 (hyperrectangle) {図9に示されている2次元長方形 920} の 2^m {4} つの隅を定める。

【0092】

その次に、境界超球 B の内側にある各信号 $S(V)$ に対して、等価の変位ベクトル V のすべてが、同様に超球 B の内側にある信号 $S(V)$ に対応するかどうか判定される。

1つまたは複数の信号 $S(V)$ が超球 B の内側にない場合には、等価の変位ベクトル V の組全体に対応するプロファイルが、ライブラリ分解能 p^i を決定するプロセスにおいて考慮から排除される。言い換えると、ライブラリ分解能 p^i の決定において考慮の対象として残るものは、対応する信号 S すべてが境界超球 B の内側にあるプロファイル空間内の m 次元の超長方形 {2次元の長方形} である。ライブラリ分解能 p^i として考慮されるのは、これらの m 次元の超長方形 {2次元の長方形} である。

【0093】

対応する信号 S のすべてが境界超球 B の内側に位置するプロファイル空間内の m 次元の超長方形 {2次元の長方形} の各々に対して、そのプロファイル空間を満たすために必要とされる m 次元の超長方形 {2次元の長方形} の数 N が模擬 (simulate) される。

$p_1^* \times p_2^* \times \dots \times p_m^*$ の超長方形の場合には、カウント数 N は、境界 $P_i^{(min)} < p_i < P_i^{(max)}$ によって定義されている超長方形空間の中に嵌り込む $p_1^* \times p_2^* \times \dots \times p_m^*$ の超長方形の数である。カウント数 N は、

$$N = \max [(p_1^{(max)} - p_1^{(min)}) / p_1^*, (p_2^{(max)} - p_2^{(min)}) / p_2^*, \dots]$$

によって与えられ、ここで、上述の式における角括弧は、その角括弧内の各分数が最も近い整数まで丸められるということを示す。{例えば、図9に示されている等価のベクトル V によって定義される $2 \times p_1 \times 4 \times p_2$ の長方形 620 の場合には、長方形プロファイル空間が $(p_1^{(max)} - p_1^{(min)}) = 9 \times p_1$ の幅と $(p_2^{(max)} - p_2^{(min)}) = 6 \times p_2$ の高さを持つので、カウント数 N は5である。}

最後に、ライブラリのために使用される分解能 p_i は、(i) 最も小さいカウント数 N を有しおよび (ii) すべての対応する信号 $S(V)$ が境界超球 B の内側に位置する、等価のベクトル V の組によって定義された m 次元の超長方形の次元に等しい。

9. 調節されたレンジ、パラメータ化、および/または、分解能に基づいて模擬回折信号の組を生成する。

【0094】

この典型的な実施形態では、ライブラリ 185 (図1) が生成され、プロファイル形状お

10

20

30

40

50

よび薄膜形状（厚さおよび幅）パラメータの両方が、上述の調節されたパラメータ化、レンジおよび分解能を使用して変化させられる。したがって、ライブラリ185（図1）内の生成されたプロファイルの数が、プロファイル形状のパラメータ化とそのパラメータのレンジおよび分解能との関数である。さらに、このライブラリの項目は、格子ピッチと、下層にありパターン形成された層における薄膜の光学的特性と、プロファイルパラメータレンジと、プロファイルのパラメータ分解能と、プロファイル形状との関数である。ライブラリ185（図1）が、調節されたレンジだけを使用することによって、または、調節された分解能だけを使用することによって生成されることが可能であることに留意すべきである。

10. 1組の測定回折信号をライブラリ中の模擬回折信号と比較する。

10

【0095】

この典型的な実施形態では、ライブラリ185（図1）を生成した後に、1組の測定回折信号が、品質管理として、ライブラリ185（図1）内の模擬回折信号と比較される。ライブラリ185（図1）で見い出された最良の一致と測定回折信号との間の誤差が閾値適合度限界（*threshold goodness-of-fit limit*）よりも良い場合には、そのライブラリ生成プロセスが成功であると見なされる。あるいは、より好ましくは、例えばX-SEM、CD-SEM等のような別の測定方法を使用することによって得られた幅の値および高さの値を比較することによって、品質管理を確保することが可能である。

【0096】

20

典型的な実施形態を説明してきたが、本発明の着想および/または範囲から逸脱することなしに様々な変型を実現することが可能である。したがって、本発明は、図面に示されおよび上述された特定の形態に限定されないものとして解釈されなければならない。

【図面の簡単な説明】

【図1】 入射信号で周期格子を照射してその周期格子からの回折信号を検出するシステムの透視図である。

【図2】 多重層を有する周期格子の一部分の断面図である。

【図3】 図2の周期格子の基板の上に別々に形成された図2の周期格子の多重層の断面図である。

【図4】 図2の周期格子の基板の上に連続的に形成された図2の周期格子の多重層の断面図である。

30

【図5】 周期格子の典型的な仮想プロファイルのグラフィカルな描写図である。

【図6】 集合カバー問題としての長方形化問題のマッピングを示すグラフである。

【図7】 集合カバー問題としての別の長方形化問題のマッピングを示す別のグラフである。

【図8】 周期格子の様々な典型的な仮想プロファイルの断面図である。

【図9】 2パラメータのグラフである。

【図10】 信号空間の図である。

【図11】 典型的なライブラリ生成プロセスのフローチャートである。

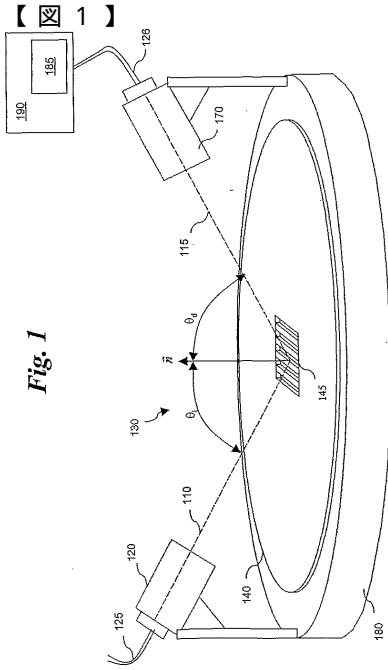


Fig. 1

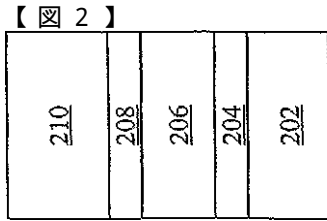


Fig. 2

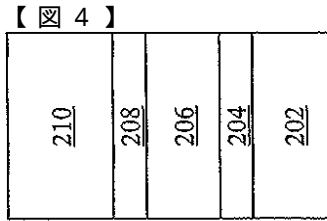


Fig. 4

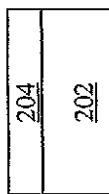
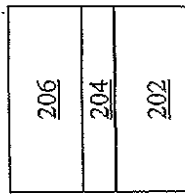
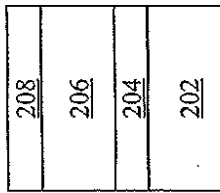


Fig. 2

Fig. 4

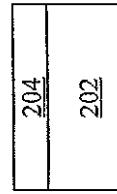
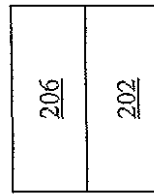
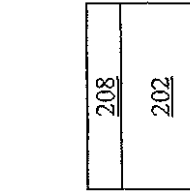
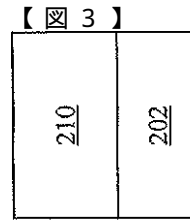


Fig. 3

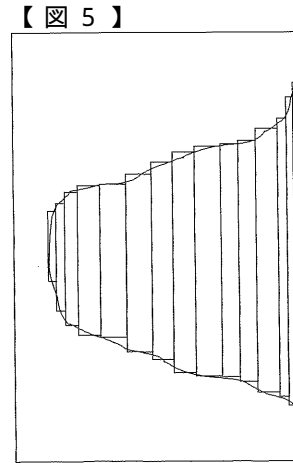


Fig. 5

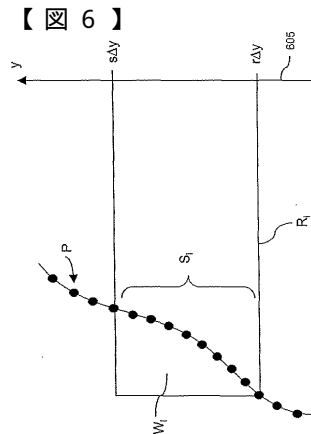


Fig. 6

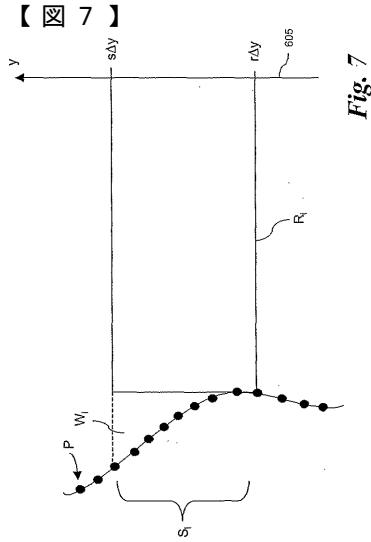


Fig. 7

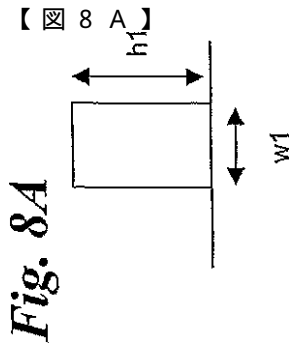


Fig. 8A

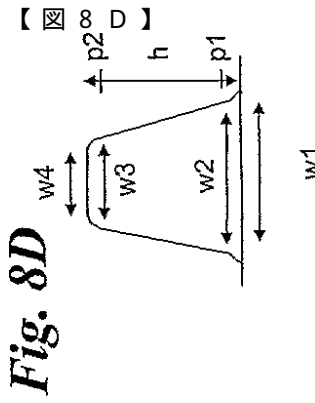


Fig. 8D

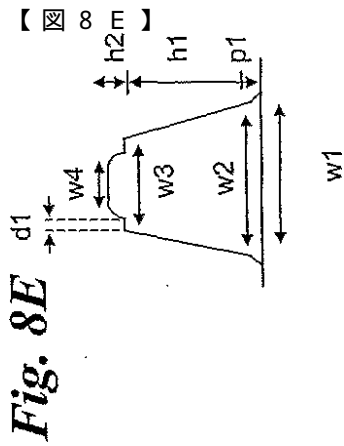


Fig. 8E

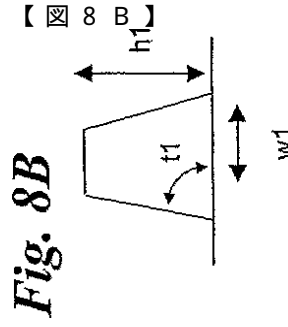


Fig. 8B

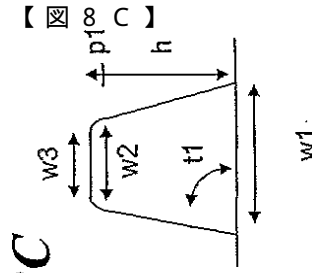


Fig. 8C

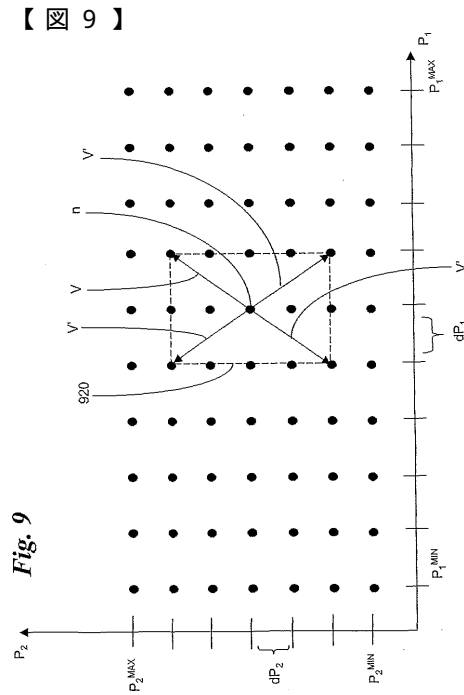


Fig. 9

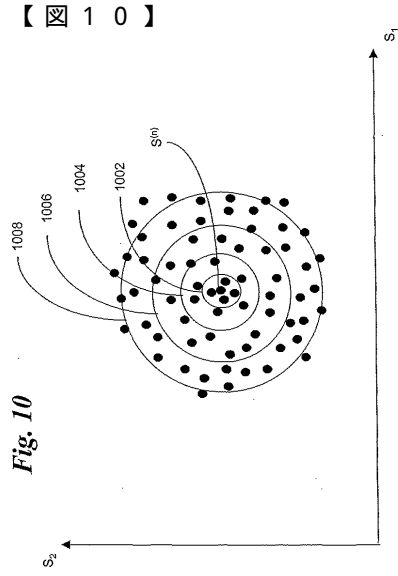


Fig. 10

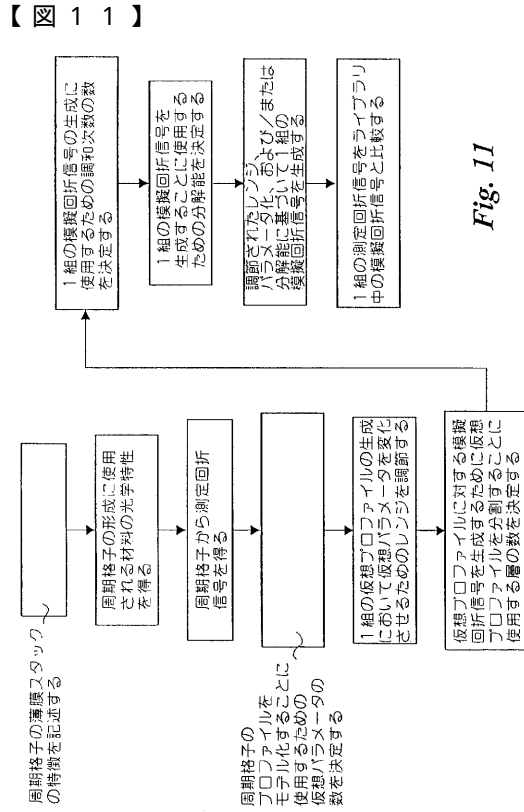


Fig. 11

フロントページの続き

(74)代理人 100081330

弁理士 樋口 外治

(72)発明者 ニウ, シンファイ

アメリカ合衆国, カリフォルニア 9 5 1 3 1 - 3 7 3 7, サンノゼ, バーチメドウ レーン 1
4 2 2

(72)発明者 ジャカトダー, ニックヒル

アメリカ合衆国, カリフォルニア 9 4 5 3 8, フレモント, コイ テラス 1 2 2 6

審査官 岡田 卓弥

(56)参考文献 特開平8 - 2 6 1 7 2 7 (J P , A)

(58)調査した分野(Int.Cl. , D B名)

G01B11/00- 11/30

G01B21/00- 21/32

G01N21/00- 21/958

G03F 9/00

H01L21/027

H01L21/64- 21/66