(19)日本国特許庁(JP)　(12)公表特許公報(A)　(11)特許出願公表番号
特表2008-501119
(P2008-501119A)
(43)公表日　平成20年1月17日(2008.1.17)

(51)Int.Cl.		F I		テーマコード（参考）
G01L 1/00	(2006.01)	G01L	1/00	B

審査請求 未請求　予備審査請求 未請求　（全 34 頁）

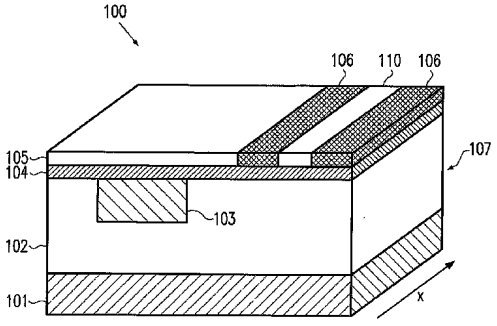
(21)出願番号	特願2007-515061 (P2007-515061)
(86)(22)出願日	平成17年3月29日 (2005.3.29)
(85)翻訳文提出日	平成19年1月29日 (2007.1.29)
(86)国際出願番号	PCT/US2005/010474
(87)国際公開番号	WO2005/119775
(87)国際公開日	平成17年12月15日 (2005.12.15)
(31)優先権主張番号	102004026145.8
(32)優先日	平成16年5月28日 (2004.5.28)
(33)優先権主張国	ドイツ(DE)
(31)優先権主張番号	11/058,706
(32)優先日	平成17年2月15日 (2005.2.15)
(33)優先権主張国	米国(US)

(71)出願人　591016172
アドバンスト・マイクロ・ディバイシズ・インコーポレイテッド
ＡＤＶＡＮＣＥＤ　ＭＩＣＲＯ　ＤＥＶＩＣＥＳ　ＩＮＣＯＲＰＯＲＡＴＥＤ
アメリカ合衆国、９４０８８－３４５３　カリフォルニア州、サニィベイル、ピィ・オゥ・ボックス・３４５３、ワン・エイ・エム・ディ・プレイス、メイル・ストップ・６８（番地なし）
(74)代理人　100099324
弁理士　鈴木　正剛
(74)代理人　100111615
弁理士　佐野　良太

最終頁に続く

(54)【発明の名称】応力感応素子を有する半導体構造、および半導体構造内の応力を測定するための方法

(57)【要約】
半導体構造は、応力感応素子を有する。応力感応素子の特性は、半導体構造（１００）の応力を表している。更に、半導体構造は電気素子（１１０）を有しうる。応力感応素子と電気素子は、共通の層構造（１０７）の一部を有する。分析部は、半導体構造（１００）内の応力を表している応力感応素子の特性と、電気素子（１１０）の特性とを決定するように適合されうる。応力感応素子が特性され、決定された応力感応素子の特性に基づいて製造プロセスが変更されうる。電気素子への応力の影響を調べるために、電気素子（１１０）の特性が、応力感応素子の特性に関連付けられうる。



【特許請求の範囲】
【請求項１】
半導体構造であって、
応力感応素子であって、前記応力感応素子の特性が前記半導体構造（１００）内の応力状態を表している応力感応素子と、
電気素子（１１０）と、を有し、
前記応力感応素子と前記電気素子（１１０）とは、共通の層構造（１０７）の一部を有する半導体構造。
【請求項２】
前記応力感応素子は、透過性材料のライン（１０３）を有する請求項１に記載の半導体構造。
【請求項３】
前記応力感応素子は、弾性素子（５０９），（７０９）を有する請求項１に記載の半導体構造。
【請求項４】
前記弾性素子（５０９），（７０９）と底面の間に間隔を画定するように構成された少なくとも１つのマウント（５１１），（５１２）を更に有する請求項３に記載の半導体構造。
【請求項５】
前記層構造（１０７）は、少なくとも２層の異なる材料の層を有する請求項１に記載の半導体構造。
【請求項６】
半導体構造内の応力を測定するためのシステムであって、前記半導体構造（１００）に形成された応力感応素子と、
前記半導体構造に形成された電気素子（１１０）と、を有し、前記応力感応素子と前記電気素子（１１０）とは、共通の層構造（１０７）の一部を有し、
前記半導体構造（１００）内の応力状態を表している前記応力感応素子の特性を決定するように適合された第１の分析部と、
前記電気素子（１１０）の特性を決定するように適合された第２の分析部と、を有するシステム。
【請求項７】
前記応力感応素子は、透過性材料のライン（１０３）を有する請求項６に記載のシステム。
【請求項８】
前記応力感応素子は、弾性素子（５０９），（７０９）を有する請求項６に記載のシステム。
【請求項９】
前記層構造（１０７）は、少なくとも２層の異なる材料の層を有する請求項６に記載のシステム。
【請求項１０】
前記弾性素子（５０９），（７０９）と底面の間に間隔を画定するように構成された少なくとも１つのマウント（５１１），（５１２）を更に有する請求項８に記載のシステム。
【請求項１１】
半導体構造内の応力を測定するためのシステムであって、前記半導体構造（１００）に形成された応力感応素子と、
光源（２０１）および光検出器（２０９）を有する分析部と、を有し、前記分析部は、前記半導体構造（１００）内の応力状態を表している前記応力感応素子の特性を決定するように適合されているシステム。
【請求項１２】

前記応力感応素子は、透過性材料のライン（１０３）を有し、前記分析部は、
前記光源（２０１）によって出射された光を前記透過性材料のライン（１０３）に結合するように適合された入力カプラと、
前記透過性材料のライン（１０３）から出る光を結合するように構成された出力カプラと、を有する請求項１１に記載のシステム。
【請求項１３】
半導体構造の製造プロセスを調整するための方法であって、
前記製造プロセスによって第１の半導体構造（１００）を形成するステップと、
前記第１の半導体構造（１００）に応力感応素子を形成するステップと、
前記第１の半導体構造（１００）内の応力状態を表している前記応力感応素子の特性を決定するステップと、
前記決定された前記応力感応素子の特性に基づいて前記製造プロセスを変更するステップと、
前記変更された製造プロセスによって第２の半導体構造を形成するステップと、
前記第２の半導体構造に電気素子（１１０）を形成するステップと、を有する方法。
【請求項１４】
前記応力感応素子を形成するステップは、前記第１の半導体構造に透過性材料のライン（１０３）を形成するステップを有する請求項１３に記載の方法。
【請求項１５】
前記応力感応素子の前記特性を決定するステップは、前記透過性材料のライン（１０３）で反射された光の波長を決定するステップを有する請求項１４に記載の方法。
【請求項１６】
前記応力感応素子の前記特性を決定するステップは、前記透過性材料のライン（１０３）の光路長の変化を測定するステップを有する請求項１５に記載の方法。
【請求項１７】
前記応力感応素子を形成するステップは、弾性素子（５０９），（７０９）を形成するステップを有する請求項１３に記載の方法。
【請求項１８】
前記応力感応素子の前記特性を決定するステップは、前記弾性素子（５０９），（７０９）の撓みを決定するステップを有する請求項１７に記載の方法。
【請求項１９】
半導体構造の電気素子への応力の影響を調べるための方法であって、
前記半導体構造（１００）に応力感応素子を形成するステップと、
前記半導体構造（１００）に電気素子を形成するステップと、
前記半導体構造（１００）内の応力状態を表している前記応力感応素子の特性を決定するステップと、
前記電気素子の特性を決定するステップと、
前記電気素子の前記特性を前記応力感応素子の前記特性と関連付けるステップと、を有する方法。
【請求項２０】
前記応力感応素子を形成するステップは、前記半導体構造に透過性材料のライン（１０３）を形成するステップを有する請求項１９に記載の方法。
【請求項２１】
前記応力感応素子を形成するステップは、弾性素子（５０９），（７０９）を形成するステップを有する請求項１９に記載の方法。
【発明の詳細な説明】
【技術分野】
【０００１】
本発明は、半導体デバイスの製造の分野に関し、より詳細には、半導体構造内の応力の測定に関する。

【背景技術】
【０００２】
集積回路は、例えばトランジスタ、コンデンサ、抵抗器などの個々の回路素子を数多く有する。これらの素子は、導電ラインを介して内部的に接続され、メモリデバイス、論理素子、およびマイクロプロセッサなどの複雑な回路を形成している。集積回路の性能を改善するには、フィーチャサイズを縮小する必要がある。信号の伝達時間が短縮されたことで動作速度が高速化したことに加えて、フィーチャサイズの縮小により、回路の機能を拡張するために、回路内の機能要素の個数を増やすことが可能となる。今日、高性能の半導体構造は、フィーチャのサイズが０．１μｍ以下のことがある。
【発明の開示】
【発明が解決しようとする課題】
【０００３】
回路素子、導電ラインなどの構造要素のサイズが微細化すると、応力の影響がますます重要となる。導電ラインは、通常、層間絶縁膜内に埋め込まれている。層間絶縁膜中に応力が発生すると、導電ラインと、層間絶縁膜および／またはそれらの接続先の構造要素（他の導電ラインや回路素子など）の間の機械的接続が弱まることがある。これが集積回路の安定性に悪影響を与え、導電ライン間の接触抵抗の上昇を引き起こす。接触抵抗の上昇は、集積回路の機能に悪影響を与えると共に、過剰の発熱により、回路が急速に劣化することがある。また、応力のため、導電ラインが、その接続先の構造要素から剥がれてしまい、その結果、集積回路の不良が発生することがある。
【０００４】
層間絶縁膜が、寄生容量による信号の伝達遅れを低減させるために用いられるｌｏｗ－ｋ材料を含む場合、層間絶縁膜の応力は、特に不都合となりうる。このような材料は結合力が比較的弱いため、応力が原因で、クラックが発生したり、導電ラインが層間絶縁膜から剥がれたりすることがある。
【０００５】
逆に、応力は、回路素子の性能を向上させるために、意図的に利用することができる。半導体材料の引張応力または圧縮応力は、電子および正孔の移動度を変えることができる。引張応力を生じさせると電子の移動度が増加し、引張応力の大きさによって異なるが、最高２０％の増加を得ることができ、これが直接、電気伝導度の増加につながる。応力によって誘起される電子の移動度の増加は、チャネル領域内の電荷キャリアの移動度を上げることによって、Ｎ型電界効果トランジスタの性能を向上させるために使用することができる。これに対し、Ｐ型電界効果トランジスタのチャネル領域内の圧縮応力は、正孔の移動度を増加させ、これをトランジスタの性能を向上させるために使用することができる。
【０００６】
トランジスタのチャネル領域内で引張応力または圧縮応力を生じさせるため、例えば、チャネル領域またはその下にシリコン／ゲルマニウム層またはシリコン／カーボン層を挿入することが提案されている。別法では、歪スペーサ層を堆積し、歪スペーサ層をエッチングして、引張応力または圧縮応力を有するスペーサ要素をゲート電極の近くに形成することによって、チャネル領域内に応力を発生させることができる。
【０００７】
このため、集積回路内の応力は、回路の性能に著しく影響する可能性がある。このため、半導体構造内の応力の測定は、集積回路の設計またはその構造要素において重要となりうる。
【０００８】
以下に、現行技術による、半導体構造内の応力を測定するための方法について記載する。通常、基板の表面をスタイラスによってスキャンするのに適した機器であるプロファイラ（プロフィルメータ）を使用して、基板の曲率を測定する。その後、基板に材料の層が堆積される。材料の層の堆積によって応力が生じると、基板が湾曲する。このため、基板の曲率が変わる。層を堆積した後に、基板の曲率を再度測定する。その後、弾性理論によ

って導出された式を用いて、層の堆積の前後に測定した曲率から、膜内の応力が計算される。

【０００９】

従来の方法による、半導体構造内の応力の測定に関する問題の１つに、応力の計算に基板の厚さが入るという点がある。基板が厚くなるに従い、所定の応力を受けて生じる曲率の変化が小さくなるため、測定の感度が低下してしまう。一方、薄い基板は重力によって容易に変形し、これも測定の精度に悪影響を与えることがある。

【００１０】

従来の方法による、半導体構造内の応力の測定に関する別の問題に、基板の曲率を、多くても数センチメートルの範囲にわたって測定しなければならず、その結果、基板および／または堆積された層が不均一であると、測定結果の誤差が生じることがあるという点がある。

【００１１】

従来の方法による、半導体構造内の応力の測定に関する更に別の問題に、第１の材料と第２の材料の間の応力を測定するために、これらの材料の一方からなる基板を用意するという点がある。これにより、特に材料が非常に高価であるか、測定のために処理するのが困難であるか、この両方の場合に、測定プロセスのコストが著しく増大することがある。

【００１２】

従来の方法による、半導体構造内の応力の測定に関する更に別の問題に、半導体構造の処理中に、その場（in-situ）で測定を実行することができない点がある。

【００１３】

上述の問題を鑑みて、半導体構造内の応力の精密な測定を可能にするシステムおよび方法が求められている。

【課題を解決するための手段】

【００１４】

以下では、本発明の一部の態様の基本を理解できるように、発明の概要を説明する。この概要は、本発明の全てを概観するものではない。本発明の主要または重要な要素を特定したり、本発明の範囲を詳細に記載することを意図するものでもない。その唯一の目的は、後述する詳細な説明に先だって、概念の一部を簡潔に示すことにある。

【００１５】

本発明の説明のための実施形態によれば、半導体構造は応力感応素子を有する。応力感応素子の特性は、半導体構造内の応力状態を表している。更に、半導体構造は、電気素子を有する。応力感応素子と電気素子は、共通の層構造の一部を有する。

【００１６】

本発明の別の説明のための実施形態によれば、半導体構造内の応力を測定するためのシステムは、半導体構造に形成された応力感応素子と、半導体構造に形成された電気素子と、を有する。応力感応素子と電気素子は、共通の層構造の一部を有する。このシステムは、半導体構造内の応力状態を表している応力感応素子の特性を決定するように適合された第１の分析部と、電気素子の特性を決定するように適合された第２の分析部と、を有する。

【００１７】

本発明の更に別の説明のための実施形態によれば、半導体構造内の応力を測定するためのシステムは、半導体構造に形成された応力感応素子と、分析部と、を有する。分析部は、光源および光検出器を有する。分析部は、半導体構造内の応力状態を表している応力感応素子の特性を決定するように適合されている。

【００１８】

本発明の更に別の説明のための実施形態によれば、半導体構造の製造プロセスを調整するための方法は、製造プロセスによって第１の半導体構造を形成するステップを有する。更に、この方法は、第１の半導体構造に応力感応素子を形成するステップを有する。応力感応素子の特性が決定される。この特性は、第１の半導体構造内の応力状態を表している

。決定された応力感応素子の特性に基づいて製造プロセスが変更される。変更された製造プロセスによって第２の半導体構造が形成され、第２の半導体構造に電気素子が形成される。

【００１９】

本発明の更に別の説明のための実施形態によれば、半導体構造の電気素子への応力の影響を調べるための方法は、半導体構造に応力感応素子を形成するステップと、半導体構造に電気素子を形成するステップと、を有する。応力感応素子の特性が決定される。この特性は、半導体構造内の応力状態を表している。電気素子の特性が決定される。電気素子の特性が応力感応素子の特性に関連付けられる。

【発明を実施するための最良の形態】

【００２０】

添付の図面と併せて下記の説明を読めば、本発明が理解されるであろう。添付の図面においては、同一の参照符号は同じ要素を参照している。

【００２１】

本発明は、種々の変形および代替形態を取り得るが、その特定の実施形態が、図面に例として図示され、ここに詳細に記載されているに過ぎない。しかし、この特定の実施形態の詳細な説明は、本発明を開示した特定の形態に限定することを意図するものではなく、反対に、添付の特許請求の範囲によって規定される本発明の趣旨ならびに範囲に含まれる全ての変形例、均等物および代替例を含むことを理解すべきである。

【００２２】

本発明の例示的な実施形態を下記に記載する。簡潔を期すために、実際の実装の特徴を全て本明細書に記載することはしない。当然、実際の実施形態の開発においては、システム上の制約およびビジネス上の制約に適合させるなど、開発の具体的な目的を達成するために、実装に固有の判断が数多く必要とされ、これは実装によって変わるということが理解される。更に、この種の開発作業は複雑かつ時間がかかるものであるが、本開示の利益を受ける当業者に日常的な作業であるということが理解されよう。

【００２３】

添付の図面を参照して本発明を説明する。説明のみを目的として、当業者に知られている細かい点を説明して本発明をわかりにくくすることのないように、さまざまな構造、システムおよびデバイスが、図面で模式的に示されている。それにも関わらず、本発明の例示的な例を記載および説明するために、添付の図面を添付する。本明細書において使用される語句は、関連技術の当業者が理解している意味と同じ意味に使用されていると理解および解釈すべきである。本明細書においてある語句が矛盾なく用いられている場合、その語句が特別な定義を有する、すなわち通常かつ慣用的に用いられ、当業者が理解している意味と異なる定義を有することはない。ある語句が特別な意味を有する、すなわち当業者の理解とは異なる意味に用いられる場合は、そのような特別な定義は本明細書に明示的に記載して、その特別な定義を直接的かつ明確に示す。

【００２４】

本発明は、電気素子（導電ラインまたは電界効果トランジスタなど）への機械的応力の影響を決定すると共に、半導体構造の製造プロセスを調整するために、半導体構造内の機械的応力の測定を可能にする。応力感応素子は、半導体製造に使用される処理ステップにより、ウェハレベルでの製造プロセス中に実装されうる。測定は、半導体構造内の応力の増加および／または緩和をモニタするために、半導体構造の製造中にその場（in-situ）で実行されても、半導体構造の完成後に実行されても、この両方の時点で行なわれてもよい。本発明は、例えば、１つ以上の集積回路を有するウェハなどの半導体構造内の応力特性を、工場での製造工程中にその場（in-situ）またはインラインでモニタし、製造された半導体構造内の応力を制御するために製造工程を変更するために使用することができる。

【００２５】

説明のための実施形態によれば、半導体構造は応力感応素子を有し、この応力感応素子

の特性が、半導体構造内の応力状態を表している。更に、半導体構造は、電気素子を有してもよい。応力感応素子と電気素子は、共通の層構造の一部を有しうる。応力感応素子の特性を決定することによって、電気素子に影響する半導体構造内の応力を測定することができる。電気素子の特性を決定し、応力感応素子の特性に関連付けて、電気素子の性能への応力の影響を調べることができる。

【００２６】

本発明の別の実施形態では、第１の半導体構造に応力感応素子が形成され、第１の半導体構造内の応力状態を表している応力感応素子の特性が決定される。この後、応力感応素子の特性から推測された第１の半導体構造内の応力状態を考慮に入れて、第１の半導体構造の製造に使用される製造プロセスが変更される。変更された製造プロセスによって第２の半導体構造が製造され、第２の半導体構造に電気素子が形成される。このため、第２の半導体構造の電気素子を、明確に定義された応力状態に置くことができる。

【００２７】

半導体構造内の応力を測定するためのシステムは、半導体構造に形成された応力感応素子と、応力感応素子の特性を決定するように適合された分析部とを有しうる。より詳細には、この分析部は、光学手段により特性を決定するように構成されうる。更に、半導体構造に形成された電気素子の特性を決定するように適合された第２の分析部が設けられうる。

【００２８】

図１は、本発明の説明のための一実施形態による半導体構造１００の模式図である。半導体構造１００は基板１０１を有する。基板１０１の上に層構造１０７が形成されている。層構造１０７は、第１の材料の層１０２、第２の材料の層１０４、および第３材料の層１０５を有する。半導体構造１００の層１０２内を、長手方向ｘに延在する透過性材料のライン１０３の形で、応力感応素子が設けられている。層１０５は、導電ライン１１０の形で設けられた電気素子を有する。導電ライン１１０は、絶縁部分１０６によって、層１０５のほかの部分から分離されている。

【００２９】

ライン１０３の透過性材料は、ガラス、ポリマー、セラミック材料または光に対して透過率の高い他の任意の材料などを含みうる。ここで、「光」との用語は、可視波長領域のほかに、赤外光と紫外光を含むことが理解されるべきである。セラミック材料は、酸化アルミニウム（Al_2O_3）を含みうる。層１０２は、二酸化シリコンなどの第１の誘電材料を含みうる。層１０３は、水素添加シリコンオキシカーバイド（ＳｉＣＯＨ）等のｌｏｗ－ｋ材料などの第２の誘電材料を含みうる。第３の材料は、銅などの金属を含みうる。本発明の別の実施形態では、第１の材料と第２の材料は、実質的に同じ誘電材料（二酸化シリコンなど）を含んでいてもよい。

【００３０】

本発明の更に別の実施形態では、半導体構造１００は、導電ライン以外の電気素子を有していてもよい。より詳細には、電気素子は、電界効果トランジスタを有していてもよい。

【００３１】

このような実施形態では、層１０２と層１０５は、シリコンを含みうる。層１０４は、層１０５内に圧縮応力または引張応力を生じさせるように適合されており、例えば、シリコンとゲルマニウムの合金またはシリコンとカーボンの合金を含みうる。電界効果トランジスタのチャネル領域が、層１０５内に形成されうる。基板１０１は、二酸化シリコンなどの絶縁物材料を含みうる。このため、電界効果トランジスタは、シリコンオンインシュレータ構成で形成されている。別の実施形態では、基板１０１は、半導体材料（シリコンなど）を含んでいてもよい。

【００３２】

応力感応素子１０３の特性は、半導体構造１００内の応力状態を表している。

【００３３】

この特性は、透過性材料のライン１０３を通る光の光路長でありうる。半導体構造１００内に応力が存在していると、透過性材料のライン１０３が変形する。ライン１０３は、層構造１０７が引張圧力と圧縮応力のいずれを受けるかによって、長手方向ｘに伸長される（その結果ライン１０３が長くなる）か、長手方向ｘに圧縮されうる（その結果ライン１０３が短くなる）。

【００３４】

ライン１０３が長くなると透過性材料のライン１０３の光路長も長くなり、ライン１０３が短くなると透過性材料のライン１０３の光路長も短くなる。このため、透過性材料のライン１０３を通る光の光路長は、ライン１０３の、半導体構造１００内の応力状態を表している特性である。

【００３５】

本発明の別の実施形態では、半導体構造１００内の応力状態を表している透過性材料のライン１０３の特性は、透過性材料のライン１０３で反射された光の波長である。

【００３６】

このために、ライン１０３は、屈折率が長手方向ｘに周期的に変化する格子領域を有しうる。この格子領域は、透過性材料の屈折率がライン１０３の他の部分よりも高くなっているゾーンを有する。高屈折率のゾーンは、所定の間隔を置いて設けられている。

【００３７】

屈折率の変化のために、光がブラッグ効果により散乱する。所定の波長を有する光が、透過性材料のライン１０３を、長手方向ｘと実質的に平行する伝搬方向に通過すると、光の一部が、屈折率の高い各ゾーンで伝搬方向と逆の後方に散乱される。

【００３８】

透過性材料内の光の波長が高屈折率ゾーンの間隔の２倍に実質的に等しい場合、高屈折率ゾーンで反射された光の一部は、強め合うように干渉する。その結果、光の大部分が格子部分によって反射され、この光に対する透過性材料のライン１０３の透過率が下がる。

【００３９】

逆に、透過性材料中の光の波長が高屈折率ゾーンの間隔の２倍と大きく異なる場合、高屈折率ゾーンで反射される光の部分が、弱め合うように干渉する。このため、光が格子領域で反射されず、格子領域を透過する。

【００４０】

連続する波長の光が透過性材料のライン１０３を通ると、透過性材料中で高屈折率ゾーンの間隔の２倍と実質的に等しい波長を有する光の部分が反射される。残りの光は、透過性材料のライン１０３を実質的に透過する。このため、反射光のスペクトルには、高屈折率ゾーンの間隔を表す特徴的波長（characteristic wavelength）のピークが含まれる。透過光のスペクトルは、特徴的波長において最小値を有する。

【００４１】

半導体構造１００内に応力が存在していると、透過性材料のライン１０３は、伸長または圧縮される。これにより、高屈折率ゾーンの間隔が増減する。この結果、ライン１０３の特徴的波長が増減する。このため、特徴的波長は、半導体構造１００内の応力状態を表している特性である。

【００４２】

ライン１０３は、半導体構造１００の大部分に延在しうる。本発明の一部の実施形態では、半導体構造１００は、複数のチップを有するウェハを有する。複数のチップは、上記の電気素子を有する電気素子を有する。ライン１０３は、製造プロセス後にウェハを切断するために設けられる、チップ間の間隔（スクライブライン）に形成されうる。これにより、余分なウェハ領域をほとんど必要とすることなく、半導体構造内に応力感応素子を設けることが可能となり有利である。本発明の別の実施形態では、ウェハは、ライン１０３が形成されたテスト構造を有する。

【００４３】

格子領域は、透過性材料のライン１０３の大部分を構成しうる。このため、半導体構造

１００内の平均の応力を測定することができる。本発明の別の実施形態では、格子領域は、半導体構造１００の一部のみを構成している。格子領域の長さは、４００μｍ未満でありうる。本発明の別の実施形態では、格子領域の長さは、１００μｍ未満または２００μｍ未満でありうる。この場合、半導体構造１００の狭い領域内の応力の特異的測定が可能となり、有利である。

【００４４】

本発明の更に別の実施形態では、半導体構造１００内の応力状態を表している透過性材料のライン１０３の特性は、透過性材料中の光の複屈折である。このような実施形態では、透過性材料は、ガラス、ポリマー、または当業者に公知の応力誘起複屈折を示す他の任意の透過性材料を含みうる。

【００４５】

半導体構造１００内に応力が存在していると、透過性材料のライン１０３も応力を受ける。この応力が、透過性材料の複屈折を引き起こす。当業者に周知のように、複屈折では、材料の屈折率は、透過性材料のライン１０３を通る光の偏光方向によって決まる。このため、ライン１０３を通る光の偏光状態が変わりうる。

【００４６】

図５は、本発明の別の実施態様による半導体構造を示す。半導体構造５００は、層構造５０７が形成されている基板を有する。層構造５０７は、第１の材料の層５０２、第２の材料の層５０４、および第３材料の層５０５を有する。図１を参照して説明した半導体構造１００の層構造１０７と同様に、層構造５０７は、絶縁部分５０６によって層５０５の他の部分から分離された導電ライン５１０の形で設けられている電気素子を有する。別の実施形態では、導電素子は、電界効果トランジスタの形で設けられていてもよい。

【００４７】

更に、半導体構造５００は、弾性素子５０９も有する。弾性素子５０９は、トレンチ５１３をまたぎ、トレンチ５１３の側壁５１１，５１２に固定された梁５２０を有する。側壁５１１，５１２はマウントであり、梁５２０とトレンチ５１３の底面の間に間隔ｈを規定している。梁５２０は、層５０４の一部と層５０５の一部を有する。

【００４８】

梁５２０が２層の材料の層を有している必要はない。本発明の別の実施形態では、梁５２０は、１層の材料の層のみを有していても３層以上の材料の層を有していてもよい。

【００４９】

層構造５０７内に圧縮応力が存在している場合、梁５２０は、側壁５１１，５１２から梁５２０の中心部分に向かって作用する力を受け、梁５２０が撓みうる。力の影響下にある梁５２０の挙動は、当業者に公知の弾性理論によって決定することができる。力が小さい場合、梁はまっすぐな状態を保つ。力が臨界強度を超えると、梁が屈曲する。この時、梁の中心部分が、屈曲高さｄだけ持ち上がる。梁５２０の屈曲と屈曲高さｄは、半導体構造５００内の応力状態を表している。屈曲高さｄから、半導体構造５００内の応力を計算することができる。

【００５０】

本発明による半導体構造５００の梁５２０は、図５に示すように、上に屈曲する必要はない。本発明の別の実施形態では、トレンチ５１３の底面から梁５２０の中心部分の高さが、側壁５１１，５１２に近い部分よりも低くなるように、梁５２０が下に屈曲し、屈曲高さｄの値がマイナスの値となってもよい。

【００５１】

半導体構造５００内に引張歪みが存在している場合、梁は側壁５１１，５１２に向かって作用する力を受ける。このような力は、梁５２０を伸長させる傾向がある。梁５２０が伸長すると、梁に作用する力に対する梁５２０のスティフネス（stiffness）が増加する。このため、梁５２０のスティフネスは、半導体構造５００内の応力状態を表している梁５２０の特性である。梁５２０のスティフネスから、弾性理論を用いて、半導体構造５００内の応力を計算することができる。

【００５２】
図７は、本発明の別の実施態様による半導体構造７００を示す。半導体構造７００は基板７０１を有し、その上に、第１の材料の層５０２、第２の材料の層５０４、および第３の材料の層５０５を有する層構造７０７が形成されている。層構造７０７は、導電ライン７１０を有する電気素子と、導電ライン７１０を層７０５の他の部分から分離している絶縁部分７０６とを有しうる。本発明の別の実施形態では、電気素子は、電界効果トランジスタを有しうる。
【００５３】
半導体構造７００は、弾性素子７０９を有する。弾性素子は、トレンチ７１３の上に設けられ、トレンチ７１３の側壁７１１に固定された片持梁７２０を有する。側壁７１１はマウントであり、片持梁７２０とトレンチ７１３の底面の間に間隔ｈ’を画定している。梁は、層７０４，７０５の一部を有する。層７０４，７０５の一方または両方に応力が加わると、片持梁７２０の湾曲を含む片持梁７２０の撓みが発生する。湾曲のため、片持梁７２０の先端が、湾曲高さｂだけ持ち上がる。片持梁７２０が上に湾曲するか下に湾曲するかによって、湾曲高さｂは、正の値か負の値をとる。
【００５４】
層７０４，７０５内の応力と湾曲高さｂの関係は、当業者に公知の弾性理論によって導出することができる。このため、片持梁７２０の湾曲と、湾曲高さｂは、半導体構造７００内の応力状態を表している弾性素子の特性である。
【００５５】
本発明は、応力感応素子を１つ有する半導体構造に限定されない。本発明による半導体構造は、複数の応力感応素子を有していてもよい。これらの応力感応素子は、実質的に同じで、半導体構造の異なる部分に配置されうる。このため、半導体構造の異なる部分の応力を決定することができる。
【００５６】
本発明の別の実施形態では、半導体構造は、異なる応力感応素子を有する。例えば、半導体構造は、図５を参照して上で説明した半導体構造５００の梁５２０と同様の梁の配列を有しうる。配列内の梁のは、長さまたは幅が異なりうる。当業者に周知のように、梁が屈曲する限界応力は梁の幅と長さによって決まり、長く幅の狭い梁は短く幅の狭い梁よりも限界応力が小さい。このため、寸法の異なる複数の梁について梁が屈曲しているかどうかを決定すれば、梁の屈曲高さを測定しない場合であっても、歪みの強度に関する情報を得ることができる。
【００５７】
本発明の更に別の実施形態では、半導体構造は、種類の異なる応力感応素子を複数有しうる。例えば、複数の応力感応素子は梁、片持梁、および透過性材料のラインでありうる。このため、半導体構造内の応力を、複数の異なる方法で測定することができる。これは、応力をより正確に測定できるようになるため有利である。
【００５８】
図２は、本発明の説明のための一実施形態による半導体構造内の応力を測定するためのシステム２００を示す。システム２００は、図１を参照して上で説明したような半導体構造１００を有する。更に、システム２００は、レーザなどの光源２０１も有する。光源２０１は、光束２０２を出射するように適合されている。第１のビームスプリッタ２０３は、光束２０２を第１の光束部分２０５と第２の光束部分２０４に分割するように適合されている。入力カプラ２１０は、第１の光束部分２０５を、半導体構造１００の透過性材料のライン１０３に結合するように適合されている。入力カプラ２１０は、レンズを有しうる第１の集束光学素子を有しうる。第１の集束光学素子の焦点は、透過性材料のライン１０３の第1端部に設定されうる。出力カプラ２１１は、透過性材料のライン１０３から出る第１の光束２０５を結合するように適合されている。入力カプラ２１０と同様に、出力カプラ２１１は、レンズを有しうる第２の集束光学素子を有しうる。第２の集束光学素子の焦点は、透過性材料のライン１０３の第２端部に設定されうる。

【００５９】
第１のミラー２０７は、第１の光束部分２０５を第２のビームスプリッタ２０８の方へ反射させるように適合されている。第２のミラー２０６は、第２の光束部分２０４を第２のビームスプリッタ２０８の方へ反射させるように適合されている。
【００６０】
第２のビームスプリッタ２０８において、第１の光束部分２０５が第２の光束部分２０４と結合されて、一体化された光束２１６が形成される。第１の光束部分２０５と第２の光束部分２０４は、相互に干渉する。このため、第１のビームスプリッタ２０３、第１のミラー２０７、第２のミラー２０６、および第２のビームスプリッタ２０８は、全体として干渉計を形成している。
【００６１】
光検出器２０９は、一体化された光束２１６の強度を測定するよう適合されている。一体化された光束２１６の強度は、透過性材料のライン１０３を通る光の光路長によって決まるが、これは、光路長によって、第１の光束部分２０５と第２の光束部分２０４の位相差が変わるためである。このため、透過性材料のライン１０３内の光の光路長の変化は、光検出器２０９によって測定された一体化された光束２１６の強度の変化から決定することができる。このため、干渉計、光源２０１、および光検出器２０９は、透過性材料のライン１０３内の光の光路長を決定するように適合された第１の分析部を形成している。
【００６２】
更に、システム２００は、第２の分析部２１４を有しうる。第１のワイヤ２１２と第２のワイヤ２１３は、第２の分析部と半導体構造１００の電気素子を電気的に接続している。
【００６３】
電気素子が導電ライン１１０を有する本発明の実施形態では、第２の分析部２１４は、電源と、導電ライン１１０中を流れる電流のアンペア数を測定するように適合された電流計と、電源によって供給される電圧を決定するように適合された電圧計とを有しうる。このため、オームの法則を使用して、導電ライン１１０の抵抗を決定することができるが、この抵抗には、導電ライン１１０と、半導体構造１００内の別の構造要素と間の接触抵抗の寄与も含まれることがある。
【００６４】
半導体構造１００が電界効果トランジスタを有する本発明の実施形態では、第２の分析部２１４は、このほかに、第２の電源と、電界効果トランジスタのゲート電極と第２の電源の間を電気的に接続している第３のワイヤとを有しうる。第１のワイヤと第２のワイヤは、それぞれ、電源と、電界効果トランジスタのソース領域またはドレイン領域の一方との間を電気的に接続するように構成されている。第２の電源によって供給される電圧は、電界効果トランジスタのチャネル領域を導電状態にするために使用されうる。電流計、電圧計および電源は、電界効果トランジスタのチャネル領域の抵抗を決定するために使用され、この抵抗から、チャネル領域中の電荷キャリアの移動度を計算することができる。
【００６５】
本発明の別の実施形態では、第２の分析部２１４とワイヤ２１２，２１３を省略してもよい。このような実施形態では、半導体構造１００が電気素子を有している必要はない。
【００６６】
本発明の更に別の実施形態では、干渉計は第１および第２のビームスプリッタ２０３，２０８、ならびに第１および第２のミラー２０６，２０７の代わりに光ファイバを有していてもよい。第１のスプリット光ファイバは、光源２０１に接続されており、光束２０２を第１の光束部分２０５と第２の光束部分２０４に分割するように適合されている。第１の光束部分２０５を有する第１のスプリット光ファイバの第１端部２０５は、第１のスプリット光ファイバの第１端部を半導体構造１１０に接着するなどにより、透過性材料のライン１０３の第１端部に接続されている。このため、第１のスプリット光ファイバの第１端部は、光源２０１から出射された光を透過性材料のライン１０３に結合するように適合

された入力カプラを形成している。第２のスプリット光ファイバの第１端部は透過性材料のライン１０３の第２端部と接続されており、このため、ライン１０３から出る光を結合するように適合された出力カプラを形成している。第１の光ファイバの第２端部と第２の光ファイバの第２端部は、相互に接続されている。このため、第２のスプリット光ファイバは、第１の光束部分２０５と第２の光束部分２０４を一体化して、一体化された光束２１６を形成するように適合されている。第２のスプリット光ファイバは、光検出器２０９に接続されている。

【００６７】

図４は、本発明の別の実施形態による、半導体構造内の応力を測定するためのシステム４００を示す。システム４００は、図１を参照して上で説明したような半導体構造１００を有する。このほかに、システム４００は、光源４０１と光検出器４０９を有する。第１の光ファイバ４１４は、光源４０１を半導体構造１００に接続しており、光源４０１から出射される光を、半導体構造１００の透過性材料のライン１０３に供給するように適合されている。第２の光ファイバ４１６は、半導体構造１００を光検出器４０９に接続しており、透過性材料のライン１０３を透過した光を光検出器４０９に供給する。光源４０１、光検出器４０９、ならびに第１および第２の光ファイバ４１５，４１６は、全体として透過性材料のライン１０３の光学特性を決定するように適合された分析部を形成している。

【００６８】

このほかに、システム４００は、図２を参照して説明したシステム２００の第２の分析部２１４と同様の、半導体構造１００の電気素子の特性を決定するように適合された第２の分析部４１４を有しうる。第２の分析部４１４は、ワイヤ４１２，４１３によって電気素子と接続されうる。

【００６９】

光検出器４０９は、分光計を有しうる。このため、分析部は、透過性材料のライン１０３を透過した光のスペクトルを決定するように適合されている。半導体構造１００の透過性材料のライン１０３が格子領域を有する場合、分光計を有する光検出器は特に有利である。本発明のこのような実施形態では、光源４０１は、複数の波長の光を出射するように構成されうる。より詳細には、光源４０１は、半導体構造１００内に歪みが存在しない場合の、格子領域の特徴的波長の近傍の波長の連続的なバンドの光を出射するように適合されうる。

【００７０】

透過光のスペクトルには、格子領域の特徴的波長における最小値が含まれ、これは、半導体構造１００内の応力を表している。このため、スペクトル中の最小値の位置から、半導体構造１００内の応力を決定することができる。

【００７１】

本発明の別の実施形態では、光ファイバ４１５，４１６の代わりに、分岐光ファイバを有する。光ファイバ４１５と同様に、分岐光ファイバは半導体構造１００の透過性材料のライン１０３に接続されている。分岐光ファイバの第１端部は、光源４０１に接続されている。分岐光ファイバの第２端部は、光検出器４０９に接続されている。このため、分岐光ファイバは、光源４０１から出る光を透過性材料のライン１０３に導き、ライン１０３で反射された光を光検出器４０９に導く。このため、分析部は、透過性材料のライン１０３で反射される光のスペクトルを決定するように適合されている。スペクトルには、ライン１０３の格子領域の特徴的波長におけるピークが含まれる。スペクトル中のピークの位置から半導体構造１００内の応力を計算することができる。

【００７２】

本発明の別の実施形態では、光源４０１は、第１の偏光方向を有する偏光を出射するように適合されている。別の実施形態では、光源は、非偏光を出射するように適合されており、光源４０１と第１の光ファイバ４１５の間、または第１の光ファイバ４１５と半導体構造１００の間に、第１の偏光方向に偏光された光を透過するように適合された第１の偏波フィルタが設けられうる。このため、所定の偏光方向を有する偏光が、透過性材料のラ

イン１０３に結合される。

【００７３】

光検出器４０９は、半導体構造１００を透過し、第２の偏光方向を有する光の強度を検出するように適合されている。このために、光検出器は、第２の偏波フィルタに提供された光の強度を検出するように適合された光センサを有しうる。別の実施形態では、第２の偏波フィルタは、半導体構造１００と第２の光ファイバ４１６の間に設けられていてもよい。このため、分析部は、透過性材料のライン１０３を透過した光の偏光特性を検出するように適合されている。

【００７４】

偏光特性を検出するように適合された分析部は、半導体構造１００の透過性材料のライン１０３の応力を表している特性が、透過性材料中の光の複屈折である場合に特に有利である。

【００７５】

透過性材料のライン１０３中の光の複屈折を検出するために、第１の偏光方向と第２の偏光方向は互いに直交しうる。透過性媒質内に複屈折が存在しなければ、第２の偏波フィルタは、ライン１０３を透過した光を実質的に遮蔽する。しかし、透過性材料が複屈折の場合、透過光の偏光特性が変わり、透過光の一部が第２の偏波フィルタを通過する。第２のフィルタを通過し、光検出器によって測定された光の強度は、半導体構造１００内の応力を表している。

【００７６】

本発明の更に別の実施形態では、システム４００は、光ファイバ４１５，４１６の代わりに、第１の集束素子を有し、光源４０１によって出射された光を透過性材料のライン１０３に結合するように適合された入力カプラと、第２の集束素子を有し、透過性材料のライン１０３から出る光を結合するように構成された出力カプラを有する。第１の集束素子と第２の集束素子はそれぞれレンズを有しうる。

【００７７】

図８は、本発明の更に別の実施形態よる、半導体構造内の応力を測定するためのシステム８００を示す。システム８００は、図５を参照して説明したような半導体構造５００を有する。このほかに、システム８００は、光束８０２を出射するように適合された光源８０１を有する。ビームスプリッタ８０３は、光束８０２を、第１の光束部分８０５と第２の光束部分８０４に分割するように適合されている。

【００７８】

レンズを有しうる第１の集束素子８１０が、ビームスプリッタ８０３と半導体構造５００の間に設けられている。第１の光束部分８０５は、第１の集束素子を通り、半導体構造５００に入射する。レンズを有しうる第２の集束素子８１１が、ビームスプリッタ８０３と基準面８０６の間に設けられている。基準面８０６は平面でありえる。第２の光束部分８０４は、第２の集束素子を通り、基準面８０６に入射する。

【００７９】

第１の光束部分８０５は、半導体構造５００から反射される。梁５２０の表面から反射された第１の反射光８１２は、第１の集束素子８１２とビームスプリッタ８０３を通り、光検出器８０９に向かう。同様に、第２の光束部分８０４は、基準面８０６から反射される。基準面８０６から反射された第２の反射光８１３は、ビームスプリッタ８０３で反射されて、光検出器８０９に向かう。ビームスプリッタ８０３において、第１の反射光８１２と第２の反射光８１３は、相互に干渉し、一体化された光束８１６が形成される。このため、ビームスプリッタ８０３、第１の集束素子８１０、第２の集束素子８１１、および基準面８０６は、全体として干渉計を形成している。光検出器８０９は、一体化された光束８１６の強度を測定するように適合されている。

【００８０】

第１の集束素子８１０と第２の集束素子８１１は、梁５２０と基準面８０６が光検出器８０９上に結像されるように適合されうる。このため、梁５２０の像と基準面８０６の像

の重畳（superposition）が、光検出器８０９の位置で形成される。光検出器８０９は、梁５２０の像と基準面８０６の像の重畳を記録するように構成された２次元センサを有しうる。本発明の特定の実施形態では、検出器８０９は、電荷結合デバイスまたは写真フィルムを有しうる。

【００８１】

一体化された光束８１６の強度は、第１の反射光８１２と第２の反射光８１３の間の位相差を表している。位相差は、梁５２０の高さプロファイルを表している。梁５２０が屈曲している場合、梁５２０の高さプロファイルは湾曲形状となり、中心部分の高さは、側壁５１１，５１２の近くの梁５２０の周辺部分の高さよりも高くなる。中心部分と周辺部分の高さの差は、半導体構造５００内の応力を表している梁５２０の特性である屈曲高さｄに実質的に等しい。

【００８２】

このため、検出器８０９によって測定された一体化された光束８１６の強度の分析から、半導体構造５００内の応力を決定することができる。

【００８３】

本発明の別の実施形態では、システム８００は、半導体構造５００の代わりに、図７を参照して上で説明した半導体構造７００を有する。第１のビーム部分８０５は半導体構造７００に入射し、第１の反射光８１２が片持梁７２０の表面から反射される。このため、片持梁７２０の高さプロファイルと、したがって片持梁７２０の湾曲は、検出器８０９によって測定された一体化されたビーム８１６の光の強度の分析から決定することができる。

【００８４】

図９は、本発明の別の実施形態による、半導体構造内の応力を測定するためのシステム９００を示す。システム９００は、図５を参照して上で説明したような半導体構造５００を有する。更に、このシステムは、光束９０２を出射するように適合された光源９０１も有する。ビームスプリッタ９０３は、光束９０２の一部分９０５を、半導体構造５００の方へ反射させる。この部分９０５は、ビームスプリッタ９０３と半導体構造５００の間に設けられた第１の集束素子９１０を通る。第１の集束素子９１０は、レンズを有しうる。その後、部分９０５は、半導体構造５００に入射し、半導体構造５００によって少なくとも一部が反射される。本発明のこの実施形態では、梁５２０に入射した光の一部が梁５２０を透過するように、梁５２０は多少の透過性を有する。

【００８５】

第１の反射光９１２は、梁５２０の表面から反射されて、集束素子９１０とビームスプリッタ９０３を通る。第２の反射光９１３は、トレンチ５１３の底面から反射されて、集束素子９１０とビームスプリッタ９０３を通る。第１の反射光９１２と第２の反射光９１３は、光検出器９０９に入射する。

【００８６】

集束素子は、梁５２０とトレンチ５１３が検出器９０９上に結像されるように適合されうる。このため、半導体構造５００の像が検出器９０９に形成される。図８を参照して説明した実施形態の光検出器８０９と同様に、光検出器９０９は、半導体構造５００の像を記録するように構成された２次元センサを有しうる。

【００８７】

第１の反射光９１２と第２の反射光９１３は相互に干渉する。このため、ビームスプリッタ９０３と集束素子９１０は、全体として干渉計を形成している。光検出器８０９によって記録された光の強度は、第１の反射光９１２と第２の反射光９１３の位相差を表しており、これが、半導体構造５００内の応力状態を表している梁５２０のプロファイルを表している。

【００８８】

このため、光検出器９０９によって測定された光の強度の分析から、半導体構造５００内の応力を決定することができる。

【００８９】
本発明の別の実施形態では、システム９００は、半導体構造５００の代わりに、図７を参照して上で説明した半導体構造７００を有する。
【００９０】
光束９０２の一部分９０５が、半導体構造７００の方へ反射されて、半導体構造７００に入射する。第１の反射光９１２が、片持梁７２０の表面から反射される。第２の反射光９１３が、トレンチ７１３の底面から反射される。第１の反射光９１２と第２の反射光は相互に干渉し、その結果、光検出器８０９によって記録された光の強度は片持梁７２０の高さプロファイルを表している。このため、記録された光の強度から、片持梁７２０の湾曲と湾曲高さｂを決定することができる。
【００９１】
上で説明した半導体基板内の応力を測定するためのシステムでは、半導体構造内の応力状態を表している応力感応素子の特性は、光学手段によって非接触方式で決定される。しかし、別の実施形態では、応力感応素子の特性が、各種の接触方法によって決定されてもよい。
【００９２】
半導体構造内の応力を測定するためのシステムは、原子間力顕微鏡を有していてもよい。当業者に公知の原子間力顕微鏡は、片持梁の端部にその先端が配置されている。先端がサンプルに接近すると、サンプルと先端の間の力によって片持梁が撓み、この撓みが周知の手段によって検出されうる。先端によってサンプルの表面がスキャンされる際に、力が実質的に一定となるように、先端とサンプルの距離が、フィードバック機構を使用して調整される。フィードバック機構は、先端とサンプルの間の距離を調整するように適合された圧電素子を有しうる。このようにして、サンプルの高さプロファイルを決定することができる。
【００９３】
このシステムは、図５を参照して上に記載したような半導体構造５００を有しうる。梁５２０の高さプロファイルが、原子間力顕微鏡によってスキャンされうる。高さプロファイルから、梁５２０の撓みと屈曲高さｄを決定することができる。高さプロファイルおよび／または屈曲高さｄから、半導体構造５００内の応力を計算することができる。
【００９４】
本発明の別の実施態様では、システムは、図７を参照して上に記載したような半導体構造７００を有する。片持梁７２０の高さプロファイルが原子間力顕微鏡によってスキャンされて、高さプロファイルから湾曲高さｂが決定されうる。高さプロファイルおよび／または湾曲高さｂから半導体構造内の応力を計算することができる。
【００９５】
原子間力顕微鏡を有する半導体構造内の応力を測定するためのシステムでは、原子間力顕微鏡は、弾性素子に力を加えるように適合されていてもよい。このために、圧電素子が作動され、弾性素子と先端の間の距離を、弾性素子のスキャンに使用される距離より短い距離に短縮される。この結果、弾性素子が撓みうる。撓んだ弾性素子は、原子間力顕微鏡の片持梁に力を及ぼす。この力の強度が、弾性素子のスティフネスを表している。
【００９６】
本発明の一実施態様では、システムは、図５を参照して上に記載したような半導体構造５００を有する。原子間力顕微鏡は、梁５２０に力を加えるように適合されており、このため、半導体構造５００内の応力状態を表している梁５２０のスティフネスを決定するように適合されている。
【００９７】
本発明の別の実施形態では、半導体構造５００は、梁５２０の代わりに膜を有していてもよい。膜は、側壁５１１，５１２のほかに、梁５２０の一方の側に設けられた第３の側壁に固定されていてもよい。このため、半導体構造５００は、膜と層５０２の間に空洞を有する。梁５２０と同様に、膜は層５０４，５０５の一部を有しうる。半導体構造５００

内に圧縮応力が存在している場合、膜が撓む、すなわち基板５０１から離れてアーチ状に上方に迫り上がる。半導体構造５００内に引張応力が存在している場合、膜のスティフネスが増大する。このため、膜の迫り上がりと膜のスティフネスは、半導体構造５００内の応力状態を表している膜の特性である。

【００９８】

図１０は、本発明の更に別の説明のための実施形態による、半導体構造内の応力を測定するためのシステム１０００を示す。システム１０００は、半導体構造１００１を有する。半導体構造１００１は、基板１００１に形成された第１の材料の層１００２を有する。層１００２に、応力感応素子１００３が形成されている。応力感応素子１００３は、複数のトレンチ１００６～１０１０を有する格子１００５の形で設けられた弾性素子を有する。トレンチ１００６～１０１０間にライン１０１６～１０２０が設けられている。格子１００５の長さはｌである。隣接するトレンチ間の間隔はｓである。トレンチ１００６～１０１０の深さは、格子１００５の厚さより小さい値でありうる。本発明の別の実施形態では、トレンチ１００６～１０１０は、格子１００５を貫通している。更に、応力感応素子１００３は、格子１００５と層１００２の間に間隔ｈを画定するように構成されたマウント１００４を有する。

【００９９】

格子１００５が、格子１００５の面の成分を有し、溝１００６～１０１０の方向に対して直交する（図１０の矢印１０５０で示す）応力を受けると、応力が引張応力か圧縮応力かに応じて、格子の長さｌが増減する。長さｌが変化すると、トレンチ１００６～１０１０の間隔ｓも変化する。このため、長さｌと間隔ｓは、半導体構造１１００内の応力状態を表している応力感応素子１００３の特性である。

【０１００】

システム１０００は、半導体構造１１００に加えて回折計を有する。回折計１２００は、光源１０４０と光検出器１０１２を有する。光源１０４０は、格子１００５に入射する光束１０１１を出射するように適合されている。光束１０１１の方向は、格子１００５の表面に直交する方向に対して角度αをなしている。格子１００５の各ラインにおいて、光束１０１１からの光の一部分が散乱される。

【０１０１】

検出器１０１２は、グリッド１００５の表面に対して直交する方向と角度βをなす方向に散乱された光が検出器１０１２に到達するように配置されている。検出器１０１２は、グリッド１００５から検出器１０１２のほうに散乱された光の強度を測定するように適合されている。

【０１０２】

ライン１０１６～１０２０で散乱された光部分は相互に干渉する。隣接するラインから散乱された光部分同士の光路差が光束１０１１の光の波長の整数倍に実質的に等しい場合、干渉は強め合いとなり、検出器１０１２によって受光される光の強度が高くなる。等しくない場合、干渉は弱め合いとなり、検出器１０１２によって受光される光の強度が低くなる。光路差は、角度α，βとグリッド１００５の隣接するラインの間隔ｓによって決まる。

【０１０３】

光束１０１１の方向と格子１００５の表面に直交する方向の角度αの所定の値について、検出器１０１２によって測定された光の強度は角度βの所定の値において最大値となり、ライン１０１６～１０２０間の間隔ｓを表している。このため、散乱光強度が最大となる角度βを測定することによって、間隔ｓを決定することができる。このため、回折計１０１２は、半導体構造１１００内の応力状態を表している間隔ｓを決定するように適合されている。

【０１０４】

本発明の別の実施形態では、システム１０００は、顕微鏡を有しうる。格子１００５の長さｌおよび／またはトレンチ１００６～１０１０の間隔ｓは、格子１００５の顕微鏡画

像から測定することができる。顕微鏡は、応力感応素子１００３の特性を光学的に検査することができる光学顕微鏡、電子顕微鏡（特に走査型電子顕微鏡）、または原子間力顕微鏡を有しうる。

【０１０５】

半導体構造１１００は、応力感応素子１００３のほかに、電気素子を有しうる。電気素子は、図１，５，７を参照して説明した本発明の実施形態の導電ライン１１０，５１０，７１０と同様の導電ラインを有しうる。本発明の別の実施形態では、半導体構造１１００が、電界効果トランジスタを有する電気素子を有してもよい。

【０１０６】

システム１０００は、回折計１２００のほかに、電気素子の特性を測定するように適合された分析部を有しうる。電気素子が導電ラインを有する場合、分析部は、導電ラインの抵抗を測定するように適合されうる。電気素子が電界効果トランジスタを有する場合、分析部は、電界効果トランジスタのチャネル領域内での電荷キャリアの移動度を測定するように適合されうる。

【０１０７】

本発明の一実施形態による、半導体構造の製造プロセスを調整するための方法と、半導体構造の電気素子への応力の影響を調べる方法を、以下に記載する。

【０１０８】

第１の半導体構造が、第１の製造プロセスによって形成される。第１の半導体構造は、図１を参照して上で説明したような半導体構造１００でありうる。この製造プロセスでは、最初に基板１００が用意される。次に、基板１０１に第１の材料の層１０２が堆積される。これは、物理気相成長法、化学気相成長法および／またはプラズマ促進化学気相成長法などの当業者に公知の成膜技術によって行うことができる。

【０１０９】

第１の半導体構造１００に透過性材料のライン１０３が形成される。このために、層１０２にトレンチが形成され、これは当業者に公知のフォトリソグラフィ技術とエッチング技術によって行うことができる。次に、半導体構造１００に透過性材料の層が堆積される。半導体構造１００を平坦化し、透過性材料の層のトレンチから出ている部分を除去するために研磨工程が実行される。この研磨工程には、化学的機械研磨が含まれうる。

【０１１０】

本発明の一部の実施形態では、図３を参照して後述するように、透過性材料のライン１０３に格子領域が形成される。格子領域の形成では、レーザ３０１によって出射されたレーザ光線３０２を第１の光束部分３０４と第２の光束部分３０５に分割することが行なわれうる。これは、ビームスプリッタ３０３によって行うことができる。レーザ光線３０２には、紫外光が含まれうる。第１の光束部分３０４は、第１のミラー３０６によって第１の半導体構造の方へ反射される。第２の光束部分３０５は、第２のミラー３０７によって第１の半導体構造１００の方へ反射される。第１の光束部分３０４と第２の光束部分３０５は、半導体構造１００で相互に干渉する。透過性材料のライン１０３の特定のゾーンに到達した第１の光束部分３０４の光と第２の光束部分３０５の光の位相差は、ライン１０３の長手方向ｘにおけるゾーンの位置によって決まる。このため、ライン１０３に沿って、第１の光束部分と第２の光束部分が強め合うように干渉するゾーンと、第１の光束部分と第２の光束部分が弱め合うように干渉するゾーンが交互に現れる。強め合う干渉のゾーンは、受光する光の強度が高い。このようなゾーンでは、透過性材料の屈折率が上昇するが、このことは、エネルギー性光子によって透過性材料の化学結合が切断されることにより説明することができる。このため、高屈折率のゾーンが形成される。弱め合う干渉のゾーンは、受光する光の強度が低い。このようなゾーンでは、透過性材料の屈折率は、実質的に変わらない。

【０１１１】

製造プロセスでは、更に、層１０２の上に、図１に示す第２の材料の層１０４と第３の材料の層１０５が堆積される。これは、公知の成膜技術によって行うことができる。

【０１１２】
第１の半導体構造１００に電気素子が形成されうる。本発明の一実施態様では、電気素子は導電ライン１１０を有し、これは、後述するようにダマシン技術によって形成されうる。層１０５を堆積する前に、層１０４の上に絶縁部分１０６が形成される。これは、当業者に公知のフォトリソグラフィ技術によって行うことができる。本発明の別の実施形態では、絶縁部分１０６が層１０４に形成されてもよい。このために、絶縁部分１０６から出ている層１０４の部分が薄肉化されるが、これは当業者に公知のフォトリソグラフィ技術とエッチング技術によって行うことができる。層１０４から失われる材料は、これを見越して半導体構造１００に堆積する層１０４の膜厚を増やすことで事前に対処することができる。第３の材料の層１０５を堆積した後、絶縁部分１０６から余分の第３の材料を除去し、半導体構造１００の表面を平坦化するために研磨工程が実行される。

【０１１３】
本発明の別の実施形態では、第１の半導体構造は、図５を参照して上で説明したような半導体構造５００である。図６ａは、製造プロセスの第１段階における半導体構造５００を示す。製造プロセスでは、最初に、基板５０１に層５０２が堆積される。応力感応素子５０９の形成では、層５０２の上に犠牲層５０８が形成される。これは、既知の成膜技術とパターニング技術を使用して行うことができる。

【０１１４】
図６ｂは、製造プロセスのその後の段階の半導体構造５００を示す。製造プロセスでは、更に、半導体構造５００上に層５０４が堆積される。層５０４の、犠牲層５０８に堆積される部分の厚さと、層５０２に堆積される部分の厚さが実質的に等しいため、犠牲層５０８の上で層５０４の表面が盛り上がっている。この隆起を除去し、層５０４を平坦面とするために、化学的機械研磨プロセスなどの研磨工程が実行されうる。

【０１１５】
半導体構造５００に、導電ライン５１０の形で設けられる電気素子が形成されうる。このために、層５０４上に絶縁部分５０６が形成される。図１～４を参照して説明した方法における絶縁部分１０６の形成と同様に、絶縁部分は、半導体構造５００上に絶縁体の層を堆積し、これをパターニングするか、または別の実施形態では、層５０４の絶縁部分５０６以外の部分を薄肉化することによって形成されうる。

【０１１６】
図６ｃは、製造プロセスのその後の段階の半導体構造５００を示す。製造プロセスでは、半導体構造５００上に第３の材料の層５０５を堆積し、層５０５を平坦化して、層５０５を平坦面とすると共に、絶縁部分５０６の上の層５０５の部分を除去することが行なわれる。

【０１１７】
その後、梁形成前構造５１５の近くにトレンチ部分５１４，５１６を形成することによって、応力感応素子の形成が続く。このために、層５０４，５０５と犠牲層５０８が、層５０４，５０５と犠牲層５０８の一部分を除去することによってパターニングされ、これは既知のフォトリソグラフィ技術とエッチング技術によって行なわれうる。トレンチ部分５１４，５１６の底面は層５０２の表面である。梁形成前構造５１５は、残された犠牲層５０８の上に、層５０４，５０５の一部分を有する。

【０１１８】
残った犠牲層５０８が除去される。これは、半導体構造５００を、犠牲層５０８の材料を選択的に除去するように適合されたエッチング剤に曝すことによって行なわれうるが、第１の材料の層、第２の材料の層および第３の材料の層５０２，５０４，５０５と絶縁部分５０６の材料は、エッチング剤の作用をほとんど受けない。残った犠牲層５０８が除去されると、トレンチ部分５１４，５１６が互いに接続されて、トレンチ５１３が形成され、トレンチ５１３をまたぐ梁５２０（図５を参照）が、梁形成前構造５１５の層５０４，５０５の一部分から形成される。

【０１１９】

このようにして、図５に示す半導体構造５００が得られる。半導体構造５００内に応力が存在していると、梁５２０に力がかかる。この応力は、層５０４，５０５の堆積時に発生し、第２の材料の結晶構造と第３の材料の結晶構造の不整合から生じる層５０４，５０５の残留応力によるものでありうる。応力は、基板と層５０２，５０４，５０５の材料の熱膨脹率が異なるために生じることもある。層が高温で堆積された場合、温度が低下すると層の材料が異なる収縮率で（differently）収縮する傾向がある。例えば、基板または層５０２の熱膨脹率が層５０４，５０５よりも大きい場合、層５０４，５０５の堆積後に温度が低下すると、層５０４，５０５が圧縮される。半導体構造５００内に存在する圧縮応力が小さい場合、梁５２０は実質的にまっすぐな状態でとどまる。しかし、圧縮応力が限界応力を超えると、力が臨界強度を超え、上に詳述したように梁５２０が屈曲する。半導体構造５００内に引張応力が存在している場合、梁５２０のスティフネスが増大する。

【０１２０】

半導体構造５００が梁５２０の代わりに膜を有する本発明の一実施形態では、梁５２０の形成と同じように膜を形成することができる。犠牲層５０８と同様の犠牲層の上に、層５０４，５０５が堆積される。層５０４，５０５と犠牲層がパターニングされて、犠牲層の一部分の上に層５０４，５０５の一部分を有する膜形成前構造の近くに、トレンチ部分が形成される。その後、犠牲層の一部分を除去するエッチングを行って膜を完成させる。

【０１２１】

本発明の別の実施形態では、第１の半導体構造は、図７を参照して上で説明したような半導体構造７００である。第１の半導体構造７００の製造と応力感応素子７０９の形成は、第１の半導体構造５００の製造と応力感応素子５０９の形成と同様に行うことができる。応力感応素子７０９の形成では、梁形成前構造５１５と同様の片持梁形成前構造の近くに、トレンチ部分５１４，５１６と同様のトレンチ部分が形成される。更に、片持梁形成前構造を横切る第３のトレンチ部分が形成される。犠牲層５０８と同様の犠牲層の残りが、層７０２を形成する層７０４，７０５の一部分を切り離している。

【０１２２】

半導体構造７００が、犠牲層の材料を選択的に除去するように適合されたエッチング剤に曝されるが、半導体構造７００の他の部分の材料は、エッチング剤の作用をほとんど受けない。このようにして、片持梁７２０とトレンチ７１３が形成される。

【０１２３】

本発明の更に別の実施形態では、第１の半導体構造は、図１０を参照して上で説明したような半導体構造１１００である。

【０１２４】

図１１ａは、製造プロセスの第１段階における半導体構造１１００を示す。基板１００１に層１００２が堆積される。応力感応素子１００５の形成では、層１００２の上にマウント１００４が形成され、これは、公知のフォトリソグラフィ技術によって行うことができる。

【０１２５】

図１１ｂは、製造プロセスのその後の段階の半導体構造１１００を示す。半導体構造１１００に犠牲層１０３０が堆積される。次に、犠牲層１０３０の表面を平坦化し、マウント１００４から犠牲層の一部分を除去するために化学的機械研磨プロセスが実行される。このようにして、マウント１００４の上面が露出される。

【０１２６】

半導体構造１１００の製造プロセスの更に別の段階が、図１１ｃに示される。犠牲層１０３０と露出させたマウント１００４の上面の上に格子１００５が形成される。このために、犠牲層１０３０と、露出させたマウント１００４の上面に格子材料の層が堆積される。次に、格子材料の層が、公知のフォトリソグラフィ技術によってパターニングされる。このようにして、トレンチ１００６～１０１０が形成される。トレンチは、既知の所定の間隔で設けられている。

【０１２７】

その後、半導体構造１１００が、犠牲層１０３０の材料を選択的に除去するように適合されたエッチング剤に曝されるが、格子の材料、マウント１００４の材料および層１００２の材料は、エッチング剤の作用をほとんど受けない。

【０１２８】

このようにして、図１０に示す半導体構造１１００が得られる。格子材料の層の堆積中に、層内に応力が発生しうる。この応力は、例えば、格子材料の結晶構造と犠牲層１０３０の材料の結晶構造の不整合から生じうる。格子材料の層内の応力は、犠牲層１０３０と格子材料の層の熱膨脹率が異なるために生じることもある。格子材料の層が高温で堆積された場合、成膜プロセスの後、温度が低下すると、格子材料の層と犠牲層１０３０が異なる収縮率で（differently）収縮する傾向がある。しかし、格子材料の層と犠牲層は互いに固定されているため、層の収縮プロセスが抑止しあう。このため、この２層内で応力が発生する。

【０１２９】

犠牲層１０３０が除去されると、格子材料の層が犠牲層１０３０に固定されていたことによる抑止が消失し、格子１００５は自由に緩和しうる。格子１００５に応力がかかっている場合、格子１００５の形状はこの緩和によって変わる。より詳細には、応力が、格子１００５の面内にトレンチ１００６～１０１０の方向に対して直交する方向の成分を有する場合、格子１００５のトレンチ１００６～１０１０の間隔ｓが、格子材料の層をパターニングした際に設定されたトレンチ１００６～１０１０の既定の間隔とは異なってくる。既定の間隔と間隔ｓのずれは、半導体構造１１００の格子材料の層内の応力状態を表している特性である。

【０１３０】

半導体構造内の応力状態を表している応力感応素子の特性が決定される。

【０１３１】

第１の半導体構造が図１を参照して上で説明したような半導体構造１００である本発明の実施形態では、応力感応素子の特性を決定する際に、透過性材料のライン１０３の特性が決定される。透過性材料のライン１０３の特性は、透過性材料のライン１０３を通る光の光路長でありうる。光路長は、図２を参照して上で説明したような半導体構造１００を組み込んだ半導体構造内の応力を測定するためのシステム２００によって決定することができる。光路長の変化は、一体化された光束２１６の強度の測定から決定することができる。

【０１３２】

本発明の別の実施形態では、透過性材料のライン１０３の特性は、透過性材料のライン１０３で反射される光の波長であってもよい。

【０１３３】

反射光の波長を決定する際には、図４を参照して上で説明したような、分光計を有する半導体構造内の応力を測定するためのシステム４００に、半導体構造１００が組み込まれうる。反射光の波長は、半導体構造１００を透過する光のスペクトルおよび／または半導体構造１００で反射される光のスペクトルを分析することによって決定することができる。

【０１３４】

本発明の更に別の実施形態では、透過性材料のライン１０３の特性は、ライン１０３を透過する光の複屈折であってもよい。複屈折の検出は、図４を参照して上で説明したような、透過光の偏光特性を検出するように適合された分析部を有する、半導体構造内の応力を測定するためのシステム４００に、半導体構造１００を組み込むことによって行うことができる。透過性材料のライン１０３中の光の複屈折は、第２の偏波フィルタを通過する光の強度を測定することによって検出することができる。

【０１３５】

第１の半導体構造が図５を参照して上で説明したような半導体構造５００である本発明の実施形態では、応力感応素子の特性を決定する際に、弾性素子の撓みが決定されうる。

これは、梁５２０が屈曲しているかどうかを決定することによって行うことができる。更に、屈曲高さｄも測定されうる。

【０１３６】

本発明の一実施形態では、応力感応素子５０９の特性を決定する際に、図８を参照して上で説明した半導体構造内の応力を測定するためのシステムに半導体構造５００が組み込まれる。上で詳述したように、梁５２０の撓みは、梁５２０の高さプロファイルを分析することによって検出することができ、これは、梁５２０の表面から反射される第１の反射光８１２と参照ビームである第２の反射光８１３の間の干渉パターンを有する一体化された光束８１６の強度の分析から決定することができる。また、梁５２０の屈曲高さは、高さプロファイルから決定することもできる。

【０１３７】

本発明の別の実施形態では、梁５２０の撓みは、図９を参照して上で説明した半導体構造内の応力を測定するためのシステムに半導体構造５００を組み込むことによって決定することができる。上で詳述したように、梁５２０の高さプロファイルと、このため屈曲の有無と屈曲高さｄは、光検出器９０９によって測定される、梁５２０の表面から反射される第１の反射光９１２とトレンチ５１３の底面から反射される第２の反射光の間の干渉パターンを有する光の強度から決定することができる。

【０１３８】

同様に、第１の半導体構造が図７を参照して上で説明した半導体構造７００である本発明の実施形態では、応力感応素子の特性の決定では、片持梁７２０の撓みが決定されうる。半導体構造７００内の応力を表す応力感応素子７０９の特性である片持梁７２０の湾曲と湾曲高さｄは、片持梁の表面から反射される光と、トレンチ７１３の底面または参照ビームから反射される光の間の干渉パターンを観察することによって、決定することができる。干渉パターンは、図８を参照して上で説明したような半導体構造内の応力を測定するためのシステム８００、または図９を参照して上で説明したような半導体構造内の応力を測定するためのシステムに、半導体構造７００を組み込むことによって決定することができる。

【０１３９】

第１の半導体構造が図１１を参照して上で説明したような半導体構造１１００である本発明の実施形態では、応力感応素子の特性の決定では、トレンチ１００６～１０１０の間隔ｓが決定されてもよく、これは、応力感応素子から回折される光の回折パターンを分析することによって行うことができる。これは、図１０に示すような回折計１２００に半導体構造１１００を組み込むことで行うことができる。

【０１４０】

本発明の一実施形態では、角度αが固定される。検出器１０１２を移動させることによって角度βが変化される。検出器１０１２に向かう方向に散乱される光の強度が、角度βの関数として測定される。次に、測定された強度が最大値となる角度βの値から、トレンチ１００６～１０１０の間隔ｓを求めることができ、これは、当業者に公知の計算によって行うことができる。

【０１４１】

本発明の別の実施形態では、角度βが固定され、光源１０４０を移動させることによって角度αが変化される。検出器１０１２に向かう方向に散乱される光の強度は、角度αの関数として測定される。次に、測定された強度が最大値となる角度αの値から、トレンチ１００６～１０１０の間隔ｓを求めることができ、これは、当業者に公知の計算によって行うことができる。

【０１４２】

本発明の更に別の実施形態では、角度αと角度βの両方が固定される。光源１０４０は、複数の波長の光を出射するように適合されている。より詳細には、光源１０４０は、連続スペクトルを有する光を出射するように適合されうる。

【０１４３】

格子１００５で散乱される光のスペクトルが決定される。このために、光検出器１０１２は分光計を有しうる。上で詳述したように、ライン１０１６～１０２０から反射される光の一部分間の位相差は、散乱光の波長によって決まる。このため、所定の角度の値α，βにおいて、散乱光のスペクトルが最大値となる。最大値の波長は、トレンチ１００６～１０１０の間隔を表している。検出器１０１２によって測定された散乱光のスペクトルからこの最大値の波長が決定され、最大値の波長から、当業者に公知の計算によって間隔ｓが決定される。

【０１４４】

本発明の更に別の実施形態では、光源１０４０は、複数の波長を出射するように適合されうる。更に、光源１０４０と光検出器１０１２の一方または両方を動かすことによって、角度α，βの一方が変化される。光検出器１０１２は分光計を有する。このため、角度α，βの値を変えて得た複数のスペクトルが記録されうる。複数のスペクトルを使用して、当業者に公知のコンピューターシミュレーション技術から間隔ｓを決定することができる。この方法では、間隔ｓをより正確に決定することができるほか、格子１００５の別の特性（例えば、トレンチ１００６～１０１０の深さおよび／または格子１００５の屈折率）も決定することができ、有利である。

【０１４５】

その後、測定された間隔ｓと、格子材料の層をパターニングする際に設定した既定のトレンチ間隔の差から、格子材料の層と犠牲層１０３０間の応力を計算することができる。

【０１４６】

半導体構造内の応力状態を表している応力感応素子の特性の決定は、製造プロセスが終了した後に実施してもよい。応力感応素子の特性の決定は、半導体構造内の電気素子の動作中に実施してもよい。このため、電気素子の動作によって誘起され、例えば、電流により発生した熱による、半導体構造の部分的な熱膨張等によって生じる応力の発生または緩和を、モニタすることができる。

【０１４７】

本発明の別の実施形態では、特に、第１の半導体構造が図１を参照して上で説明したような半導体構造１００の場合、応力感応素子の特性を製造プロセス中にその場（in-situ）またはインラインでモニタすることができる。

【０１４８】

このために、半導体構造内の応力を測定するためのシステム２００，４００に半導体構造１００が組み込まれ、このシステムが、物理気相成長法、化学気相成長法および／またはプラズマ促進化学気相成長法や当業者に公知の他の任意の成膜プロセスを実行するように適合された装置内に設けられうる。このため、層１０４，１０５の少なくとも一方の堆積時の半導体構造１００内の応力の発生が、透過性材料のライン１０３の特性を決定することによって、連続的に、または複数の時点で観察することができる。更に、半導体構造１００内の応力状態を表している透過性材料のライン１０３の特性を、層１０４の堆積および／または層１０５の堆積後に求めてもよい。このため、堆積が実施されない製造プロセスの間隔（interval）における半導体構造１００内の応力の変化を観察することができ、これにより、半導体構造１００内の応力を低下させる層１０４および／または層１０５の緩和過程のモニタが可能となる。

【０１４９】

応力感応素子の特性の決定は、材料の堆積以外の処理ステップ中に実施されてもよい。より詳細には、応力感応素子の特性の決定は、熱アニールプロセス中あるいはその後に行なわれてもよい。

【０１５０】

熱アニールでは、半導体構造が、所定時間、高温に曝される。熱アニール中に、半導体構造の複数の材料の熱膨脹率が異なることが原因で応力が発生することがある。しかし、熱アニールは、半導体構造内の応力緩和を促進することもあり、これは、高温により原子および／または分子の移動度が上がり、その結果、活動的で不利な高い応力状態をとって

いた粒子がより好ましい状態に再編成されうるためである。

【０１５１】

熱アニールプロセス中に応力感応素子の特性を決定することは、半導体構造の温度を上げるように適合されたヒーターを追加を追加した半導体構造内の応力を測定するためのシステム２００，４００，８００，９００，１０００に半導体構造を組み込み、ヒーターの動作中に応力感応素子の特性を決定することによって行うことができる。

【０１５２】

決定された応力感応素子の特性に基づいて、製造プロセスが変更されうる。

【０１５３】

製造プロセスは、その製造プロセスの１つ以上のパラメータを変更することによって変更されうる。パラメータは、製造ステップが実行される温度（例えば、半導体構造内の層の１つ以上が形成される温度）を含みうる。また、パラメータは、成膜プロセスの反応ガスの圧力または組成を含みうる。パラメータは、基板の組成および／または堆積する層のうちの１層の組成を含みうる。また、パラメータは、半導体構造１００の構成要素の寸法（例えば、層の１つ以上の膜厚）または構造要素の横の寸法（例えば、導電ラインの幅および／または絶縁部分の幅）を含みうる。

【０１５４】

本発明の一部の実施形態では、製造プロセスの変更は、１つ以上の材料の追加の層を形成することでありうる。本発明の別の実施形態では、製造プロセスの変更は、層の形成を省略することでありうる。変更された製造プロセスによって、第２の半導体構造が形成されうる。

【０１５５】

変更された製造プロセスには、第２の半導体構造への電気素子の形成（例えば、第１の半導体構造の導電ライン１１０，５１０，７１０と同様の導電ラインおよび／または電界効果トランジスタの形成）が含まれていてもよい。製造プロセスの変更により、第２の半導体構造の電気素子は、第１の半導体構造の電気素子とは異なる応力状態を受けることができる。

【０１５６】

本発明の一部の実施形態では、第２の半導体構造に応力感応素子が形成され、これには、半導体構造１００のライン１０３と同様の透過性材料のライン、半導体構造５００の梁５２０と同様の梁、半導体構造の片持梁７２０と同様の片持梁、または半導体構造１１００の格子１００５と同様の格子が含まれうる。第２の半導体構造への応力感応素子の形成は、第１の半導体構造への応力感応素子の形成と実質的に同じ処理ステップによって行うことができる。

【０１５７】

第２の半導体構造内の応力状態を表している第２の半導体構造の応力感応素子の特性が、第１の半導体構造の応力感応素子の特性の決定と同様に決定されうる。

【０１５８】

第２の半導体構造の応力感応素子の特性が、第１の半導体構造の応力感応素子の特性と比較されてもよい。このため、製造プロセスの変更が、半導体構造内の応力に与える影響に関する情報を得ることができる。

【０１５９】

本発明の一部の実施形態では、第１の半導体構造が複数形成される。第１の半導体構造の各々は、他の半導体構造を形成するために使用する製造プロセスと異なる製造プロセスによって形成される。製造プロセスは、上に詳述したパラメータの１つ以上が異なっていてもよい。また、製造プロセスは、追加の材料層の形成の有無の点で異なっていてもよい。

【０１６０】

第１の半導体構造のそれぞれに応力感応素子が形成される。応力感応素子のそれぞれは、個々の半導体構造内の応力状態を表している特性を有する。複数の第１の半導体構造の

それぞれの応力感応素子の特性が決定される。このため、第１の半導体構造のそれぞれにおける応力に関する情報を得ることができる。

【０１６１】

第１の半導体構造のそれぞれにおける応力は、個々の第１の半導体構造を形成するために使用した製造プロセスのパラメータの１つ以上と関連付けられうる。このため、半導体構造内の応力の、１つ以上のパラメータへの依存関係を特定することができる。応力の１つ以上のパラメータへの依存関係を特定する際には、１つ以上のパラメータを含むデータと、これらのパラメータを有する製造プロセスによって形成された第１の半導体構造内の応力に、数学関数の近似（fitting）が行なわれうる。

【０１６２】

変更された製造プロセスによって第２の半導体構造が形成され、この製造プロセスの変更は、応力と、第１の半導体構造と、製造プロセスの１つ以上のパラメータとの間の、特定された依存関係に基づいて行なわれうる。

【０１６３】

製造プロセスの変更には、近似で得た数学関数に基づいて、１つ以上のパラメータの改良された値を決定することが行なわれうる。これは、最適化手法によって行うことができる。

【０１６４】

本発明の一部の実施形態では、製造プロセスの変更は、第２の半導体構造内の応力を低減させるように適合されている。１つ以上のパラメータの値が、近似で得た数学関数によって計算された応力を最小化することによって決定され、これは当業者に公知の最適化アルゴリズムによって行うことができる。

【０１６５】

本発明の別の実施形態では、製造プロセスの変更は、第２の半導体構造内の応力を、既定の目標応力値に近づけるように適合されている。１つ以上のパラメータの値が、近似で得た数学関数によって計算された応力と既定の応力値の差の二乗を最小化することによって得ることができる。別の実施形態では、近似で得た数学関数が既定の応力値をとる１つ以上のパラメータの値が決定されうる。これは、当業者に公知のアルゴリズムを解くことによって行うことができる。

【０１６６】

第２の半導体構造が、複数の電気素子を有する集積回路を有していてもよく、応力感応素子を有していなくてもよい。

【０１６７】

例えば本発明の一部の実施形態では、複数の第１の半導体構造のそれぞれに、電気素子（例えば、導電ラインまたは電界効果トランジスタ）が形成される。個々の電気素子の特性が決定されうる。電気素子が導電ラインを有する場合、ラインの比抵抗が決定されうる。電気素子が電界効果トランジスタを有する場合、個々の電界効果トランジスタのチャネル領域中の電荷キャリアの移動度が決定されうる。

【０１６８】

第１の半導体構造の電気素子の特性が、第１の半導体構造の応力感応素子の特性と関連付けられうる。このため、半導体構造内の応力への電気素子の特性の依存関係を特定することができる。電気素子の特性と半導体構造内の応力との間の依存関係を特定することは、電気素子の望ましい特性または望ましくない特性を、応力の影響によるものであると決定することができ、有利である。

【０１６９】

本発明の更に別の変形例では、第１の半導体構造への応力感応素子の形成では、フォトリソグラフィのアライメントの精度をテストするために使用する既知のオーバーレイ構造と同様の複数の周期的特徴の形成が行なわれてもよい。複数の周期的特徴の特性（例えば、周期的特徴の間隔および／または周期的特徴の屈折率および／または周期的特徴の寸法）が、回折法によって決定される。決定された周期的特徴の特性から、半導体構造内の応

力を計算することができる。

【０１７０】

上記に記載した特定の実施形態は例に過ぎず、本発明は、本開示の教示の利益を得る当業者に自明の、異なるが均等の別法によって変更および実施されてもよい。例えば、上記のプロセス工程を記載した順序とは異なる順序で実行してもよい。更に、ここに記載した構成または設計の詳細が、添付の特許請求の範囲以外によって限定されることない。このため、上記に記載した特定の実施形態を変形または変更することが可能であり、このような変形例は全て本発明の範囲ならびに趣旨に含まれることが意図されることが明らかである。したがって、ここに保護を請求する対象は、添付の特許請求の範囲に記載したとおりである。

【図面の簡単な説明】

【０１７１】

【図１】本発明の一実施形態による半導体構造の模式図である。

【図２】本発明の一実施形態による、半導体構造内の応力を測定するためのシステムの模式図である。

【図３】本発明の一実施形態による半導体構造に応力感応素子を形成するためのレーザ装置の模式図である。

【図４】本発明の一実施形態による、半導体構造内の応力を測定するためのシステムの模式図である。

【図５】本発明の一実施形態による半導体構造の模式図である。

【図６ａ】本発明の一実施形態による半導体構造の製造段階を示す図である。

【図６ｂ】本発明の一実施形態による半導体構造の製造段階を示す図である。

【図６ｃ】本発明の一実施形態による半導体構造の製造段階を示す図である。

【図７】本発明の一実施形態による半導体構造の模式図である。

【図８】本発明の実施形態による、半導体構造内の応力を測定するためのシステムを示す図である。

【図９】本発明の実施形態による、半導体構造内の応力を測定するためのシステムを示す図である。

【図１０】本発明の実施形態による、半導体構造内の応力を測定するためのシステムを示す図である。

【図１１ａ】本発明の一実施形態による半導体構造の製造段階を示す図である。

【図１１ｂ】本発明の一実施形態による半導体構造の製造段階を示す図である。

【図１１ｃ】本発明の一実施形態による半導体構造の製造段階を示す図である。

【図１】

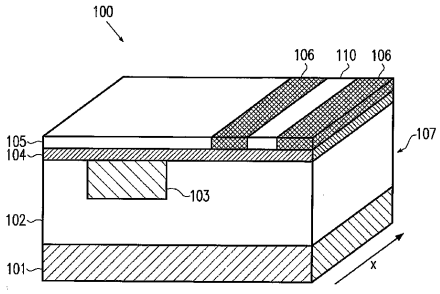


Fig.1

【図２】

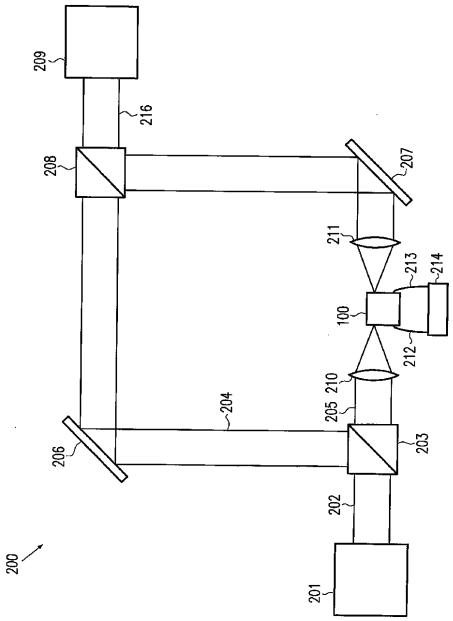


Fig.2

【図３】

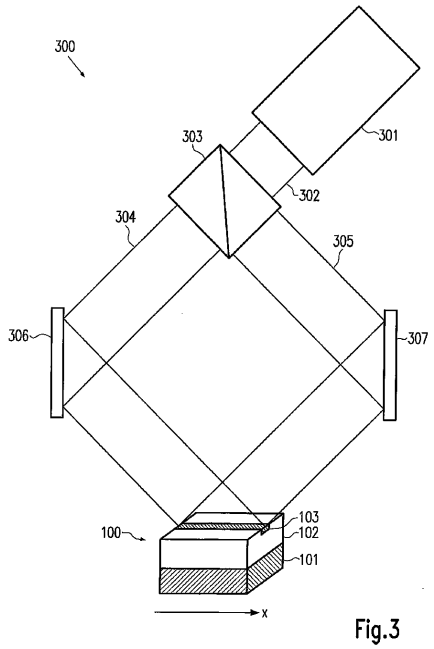


Fig.3

【図４】

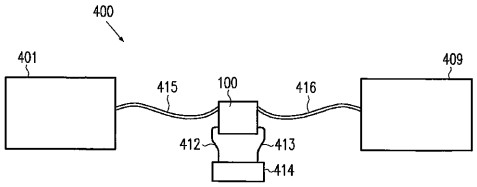


Fig.4

【図５】

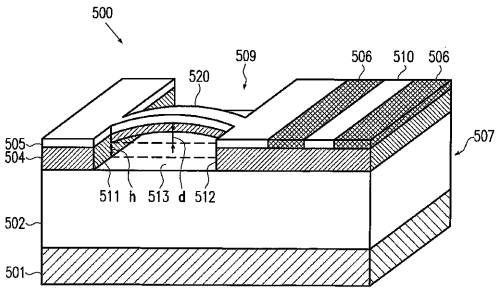


Fig.5

【図６ａ】

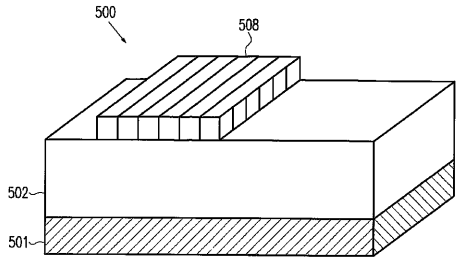


Fig.6a

【図６ｂ】

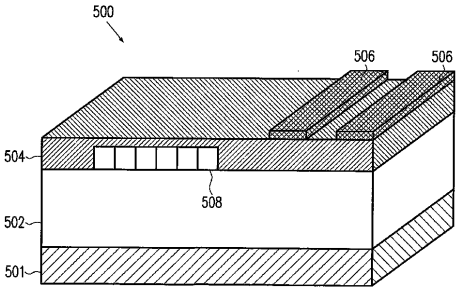


Fig.6b

【図６ｃ】

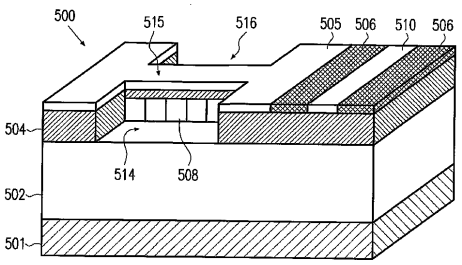


Fig.6c

【図７】

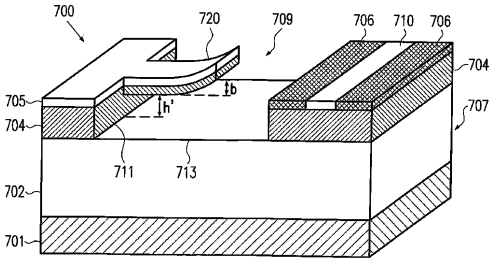


Fig.7

【図８】

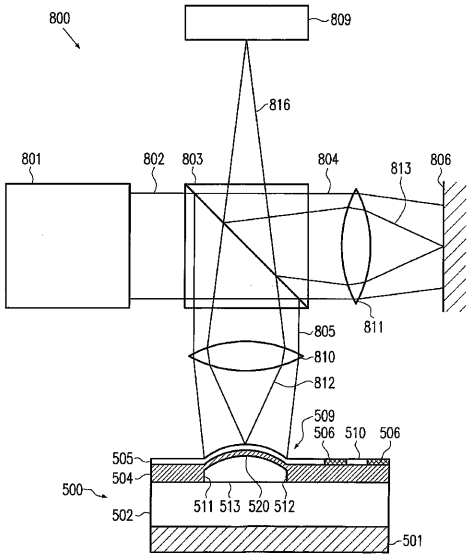


Fig.8

【図９】

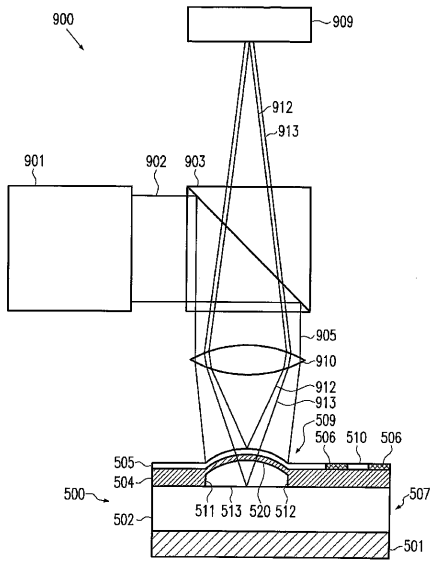


Fig.9

【図１０】

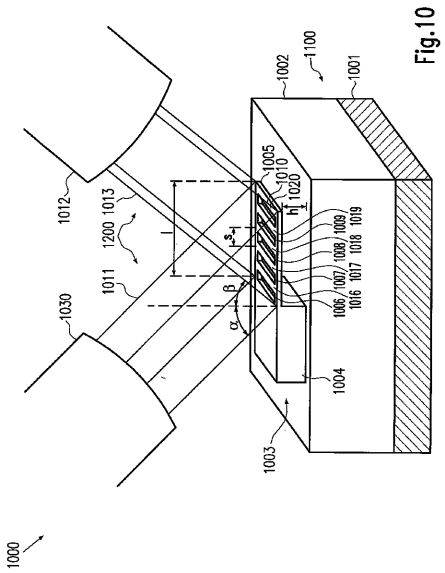


Fig.10

【図１１ａ】

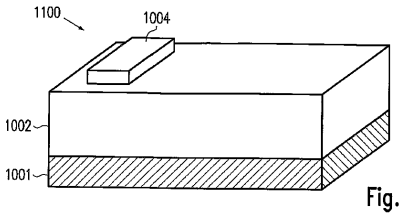


Fig.11a

【図１１ｂ】

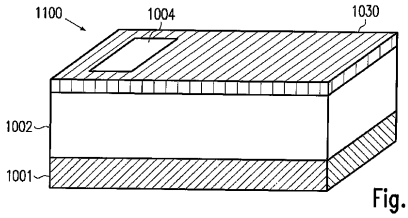


Fig.11b

【図１１ｃ】

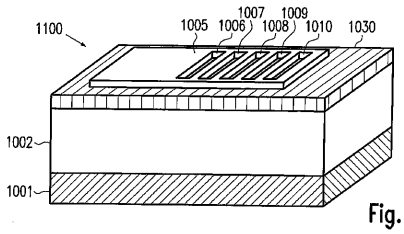


Fig.11c

【国際調査報告】

60700260050

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No
PCT/US2005/010474

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. H01L23/544 H01L21/66

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
H01L

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)
EPO-Internal, WPI Data, PAJ

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 5 204 540 A (NAKASHIMA ET AL) 20 April 1993 (1993-04-20) the whole document	1,2,5-7, 9,11-16, 19,20
X	EP 0 378 098 A2 (HITACHI LTD [JP]) 18 July 1990 (1990-07-18) figure 4b	1
X	US 5 214 729 A (KOAI KWANG-TSAI [US]) 25 May 1993 (1993-05-25) figure 2	1
X	US 6 493 497 B1 (RAMDANI JAMAL [US] ET AL) 10 December 2002 (2002-12-10) figure 5	1
	-/--	

[X] Further documents are listed in the continuation of box C. [X] Patent family members are listed in annex.

* Special categories of cited documents :

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
"E" earlier document but published on or after the international filing date
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed
"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
2 October 2006	05 DEC. 2006

Name and mailing address of the ISA	Authorized officer
European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl, Fax (+31-70) 340-3016	Kästner, Martin

Form PCT/ISA/210 (second sheet) (January 2004)

01.5.2007

2

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No
PCT/US2005/010474

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 2002/190252 A1 (ADAMS EDWARD D ET AL) 19 December 2002 (2002-12-19) the whole document	1
X	US 2003/098704 A1 (DU-NOUR OFER [IL] ET AL) 29 May 2003 (2003-05-29) the whole document	1,11
P,A	CHEN X ET AL: "Annealing and oxidation of silicon oxide films prepared by plasma-enhanced chemical vapor deposition" JOURNAL OF APPLIED PHYSICS, AMERICAN INSTITUTE OF PHYSICS. NEW YORK, US, vol. 97, no. 1, 16 December 2004 (2004-12-16), pages 14913-14913, XP012069283 ISSN: 0021-8979 the whole document	2,7,12, 16,20
X	EP 0 740 139 A1 (FRAUNHOFER GES FORSCHUNG [DE]) 30 October 1996 (1996-10-30) the whole document	6
X	US 6 600 565 B1 (SURESH SUBRA [US] ET AL) 29 July 2003 (2003-07-29) the whole document	11
X	US 6 509 201 B1 (WRIGHT MARILYN I [US]) 21 January 2003 (2003-01-21) the whole document	13
X	US 2004/098216 A1 (YE JUN [US] ET AL) 20 May 2004 (2004-05-20) the whole document	13

Form PCT/ISA/210 (continuation of second sheet) (January 2004)

3

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/US2005/010474

Box II Observations where certain claims were found unsearchable (Continuation of item 2 of first sheet)

This International Search Report has not been established in respect of certain claims under Article 17(2)(a) for the following reasons:

1. ☐ Claims Nos.:
because they relate to subject matter not required to be searched by this Authority, namely:

2. ☐ Claims Nos.:
because they relate to parts of the International Application that do not comply with the prescribed requirements to such an extent that no meaningful International Search can be carried out, specifically:

3. ☐ Claims Nos.:
because they are dependent claims and are not drafted in accordance with the second and third sentences of Rule 6.4(a).

Box III Observations where unity of invention is lacking (Continuation of item 3 of first sheet)

This International Searching Authority found multiple inventions in this International application, as follows:

see additional sheet

1. ☐ As all required additional search fees were timely paid by the applicant, this International Search Report covers all searchable claims.

2. ☐ As all searchable claims could be searched without effort justifying an additional fee, this Authority did not invite payment of any additional fee.

3. ☐ As only some of the required additional search fees were timely paid by the applicant, this International Search Report covers only those claims for which fees were paid, specifically claims Nos.:

4. ☒ No required additional search fees were timely paid by the applicant. Consequently, this International Search Report is restricted to the invention first mentioned in the claims; it is covered by claims Nos.:

1, 2, 5-7, 9, 11, 12, 13-16, 19-20

Remark on Protest

☐ The additional search fees were accompanied by the applicant's protest.

☐ No protest accompanied the payment of additional search fees.

4

International Application No. PCT/ US2005/ 010474

FURTHER INFORMATION CONTINUED FROM PCT/ISA/ 210

This International Searching Authority found multiple (groups of) inventions in this international application, as follows:

1. claims: 1,2,5-7,9,11,12,13-16,19-20

semiconductor structure with stress sensitive element comprising a line of transparent material; and applications thereof.

---

2. claims: 3,4,8,10,17,18,21

semiconductor structure with a stress sensitive element, said element being eleastic; and applications thereof.

---

5)

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No
PCT/US2005/010474

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 5204540 A	20-04-1993	JP 3276666 A	06-12-1991
EP 0378098 A2	18-07-1990	CA 2007383 A1	10-07-1990
		DE 69029207 D1	09-01-1997
		DE 69029207 T2	22-05-1997
		JP 2746326 B2	06-05-1998
		JP 3048476 A	01-03-1991
		US 5042049 A	20-08-1991
US 5214729 A	25-05-1993	NONE	
US 6493497 B1	10-12-2002	AT 314669 T	15-01-2006
		AU 8714201 A	08-04-2002
		CN 1543580 A	03-11-2004
		DE 60116381 T2	13-07-2006
		EP 1354227 A2	22-10-2003
		JP 2004527778 T	09-09-2004
		TW 557584 B	11-10-2003
		WO 0227362 A2	04-04-2002
US 2002190252 A1	19-12-2002	US 6441396 B1	27-08-2002
US 2003098704 A1	29-05-2003	AU 2002353481 A1	10-06-2003
		CN 1618004 A	18-05-2005
		EP 1461584 A1	29-09-2004
		WO 03046474 A1	05-06-2003
		JP 2005510699 T	21-04-2005
		TW 569369 B	01-01-2004
EP 0740139 A1	30-10-1996	DE 19516256 C1	02-10-1996
US 6600565 B1	29-07-2003	EP 1277036 A2	22-01-2003
		JP 2003532280 T	28-10-2003
		WO 0181856 A2	01-11-2001
		US 2004075825 A1	22-04-2004
		US 2002021452 A1	21-02-2002
US 6509201 B1	21-01-2003	NONE	
US 2004098216 A1	20-05-2004	AU 2003286727 A1	07-06-2004
		EP 1546656 A2	29-06-2005
		JP 2006505940 T	16-02-2006
		WO 2004042791 A2	21-05-2004
		US 2004148120 A1	29-07-2004
		US 2004162692 A1	19-08-2004
		US 2004153279 A1	05-08-2004
		US 2004230396 A1	18-11-2004

フロントページの続き

(81)指定国 AP(BW,GH,GM,KE,LS,MW,MZ,NA,SD,SL,SZ,TZ,UG,ZM,ZW),EA(AM,AZ,BY,KG,KZ,MD,RU,TJ,TM),EP(AT,BE,BG,CH,CY,CZ,DE,DK,EE,ES,FI,FR,GB,GR,HU,IE,IS,IT,LT,LU,MC,NL,PL,PT,RO,SE,SI,SK,TR),OA(BF,BJ,CF,CG,CI,CM,GA,GN,GQ,GW,ML,MR,NE,SN,TD,TG),AE,AG,AL,AM,AT,AU,AZ,BA,BB,BG,BR,BW,BY,BZ,CA,CH,CN,CO,CR,CU,CZ,DK,DM,DZ,EC,EE,EG,ES,FI,GB,GD,GE,GH,GM,HR,HU,ID,IL,IN,IS,JP,KE,KG,KP,KR,KZ,LC,LK,LR,LS,LT,LU,LV,MA,MD,MG,MK,MN,MW,MX,MZ,NA,NI,NO,NZ,OM,PG,PH,PL,PT,RO,RU,SC,SD,SE,SG,SK,SL,SM,SY,TJ,TM,TN,TR,TT,TZ,UA,UG,US,UZ,VC,VN,YU,ZA,ZM,ZW

(74)代理人 100108604
弁理士 村松 義人
(72)発明者 エックハルト ランガー
ドイツ、０１４４５ ラーデボイル、シュバイツァーシュトラッセ ７
(72)発明者 エーレンフライド チェック
ドイツ、０１４６８ モリッツブルク、コシェマー ベーク ２０