(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2021-530670
(P2021-530670A)
(43)公表日　令和3年11月11日(2021.11.11)

(51)Int.Cl.	F I		テーマコード（参考）
G01N 21/956 (2006.01)	G01N 21/956	A	2G051

審査請求 未請求　予備審査請求 未請求　（全 62 頁）

(21)出願番号　特願2020-564135 (P2020-564135)
(86)(22)出願日　令和1年5月14日 (2019.5.14)
(85)翻訳文提出日　令和3年1月6日 (2021.1.6)
(86)国際出願番号　PCT/US2019/032282
(87)国際公開番号　WO2019/222260
(87)国際公開日　令和1年11月21日 (2019.11.21)
(31)優先権主張番号　62/671,611
(32)優先日　平成30年5月15日 (2018.5.15)
(33)優先権主張国・地域又は機関
米国 (US)
(31)優先権主張番号　62/671,616
(32)優先日　平成30年5月15日 (2018.5.15)
(33)優先権主張国・地域又は機関
米国 (US)

(71)出願人　519226850
フェムトメトリクス,　インク.
アメリカ合衆国　９２６１４　カリフォルニア州　アーバイン,　マクガウ　アヴェニュー　２８１５
(74)代理人　100121728
弁理士　井関　勝守
(74)代理人　100165803
弁理士　金子　修平
(74)代理人　100170900
弁理士　大西　渉
(72)発明者　レイ,　ミン
アメリカ合衆国　９２６１４　カリフォルニア州　アーバイン,　マクガウ　アヴェニュー　２８１５

最終頁に続く

(54)【発明の名称】第二高調波発生（ＳＨＧ）光学的検査システムの設計

(57)【要約】
第二高調波発生（ＳＨＧ）は、積層半導体構造の表面などの表面を調べるために使用できる。ＳＨＧに基づく試料調査システムは、一度でＳＨＧ信号の異なる偏光成分を同時に収集し、異なる種類の情報を提供する可能性がある。ＳＨＧ撮像システムにより、試料の広範囲にわたるＳＨＧ画像またはＳＨＧ信号の分布マップを提供できる。そのようなＳＨＧ撮像システムには、複数のビームおよび複数の検出器を採用し、試料の一領域にわたるＳＨＧ信号を補足するものがある。ＳＨＧ撮像システムには、結像光学系を採用して、試料を検出器配列に画像化しＳＨＧ画像を形成するものがある。
【選択図】図２３

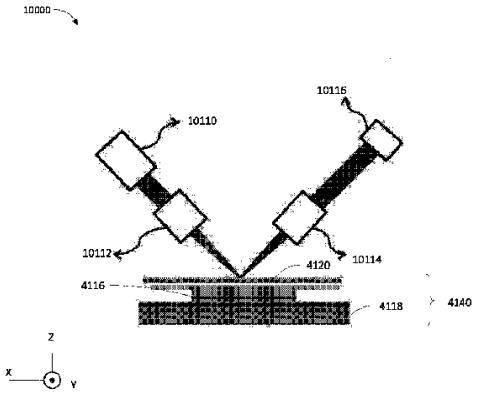


FIG. 23

【特許請求の範囲】
【請求項１】
第二高調波発生を使用して試料を特性評価するためのシステムであって、
試料を支持するように構成された試料ホルダーと、
第二高調波発生を生成するため前記試料に光ビームを向けるように構成された光源と、
前記試料からの第二高調波発生光を受けるように構成された、第１および第２の検出器を備える光学的検出システムと、
前記試料からの第二高調波発生光を受けるため、前記試料および前記光学的検出システム間の光路に配置され、第１および第２の偏光成分を分離し前記第１および第２の検出器にそれぞれ向ける偏光ビームスプリッタと、
前記第１および第２の検出器から前記受けた第１および第２の偏光成分に基づく信号を受けるように構成された電子機器と、を含む試料特性評価システム。
【請求項２】
前記第１および第２の偏光成分は、直交偏光状態を含む、請求項１に記載のシステム。
【請求項３】
前記第１および第２の偏光成分は、異なる偏光方向を向いた直線偏光の光を含む、請求項１または２に記載のシステム。
【請求項４】
前記第１および第２の偏光成分は、それぞれｓおよびｐ偏光である、請求項１～３のいずれか１項に記載のシステム。
【請求項５】
前記偏光ビームスプリッタは、偏光ビームスプリッタキューブを含む、請求項１～４のいずれか１項に記載のシステム。
【請求項６】
前記光源および前記試料間の光路に配置され、偏光された光を前記試料に向ける偏光子をさらに含む、請求項１～５のいずれか１項に記載のシステム。
【請求項７】
前記光源および前記試料間の前記光路に配置された前記偏光子は、直線偏光子を含む、請求項６に記載のシステム。
【請求項８】
前記光源および前記試料間に配置され、前記光源からの光を前記試料上に集束させる集束レンズをさらに備える、請求項１～７のいずれか１項に記載のシステム。
【請求項９】
前記試料および前記偏光ビームスプリッタ間に配置され、前記試料からの第二高調波発生光を平行化するコリメートレンズをさらに含む、請求項１～８のいずれか１項に記載のシステム。
【請求項１０】
前記試料ホルダーは並進ステージを含む、請求項１～９のいずれか１項に記載のシステム。
【請求項１１】
第二高調波発生を使用して試料を特性評価するためのシステムであって、
試料を支持するように構成された試料ホルダーと、
第二高調波発生を生成するため光ビームを前記試料に向けるように構成された光源と、
前記光源および前記試料間の光路に配置され、前記光源からの前記光を複数のビームに分離し前記試料上の複数の位置に一度に入射させて、前記複数のビームは複数の第二高調波発生信号を生成するように構成されたビームスプリッタと、
前記試料からの第二高調波発生光を受けるように構成され、前記ビームスプリッタからの前記複数のビームが生成するＳＨＧ信号のそれぞれを各個に向けるように構成された、複数の検出器を備える光学的検出システムと、
前記複数の検出器から信号を受けるように構成された処理電子機器と、を備える試料評

価システム。
【請求項１２】
前記ビームスプリッタは、一つのビームを受け、前記ビームを複数のビームに分割するように構成された回折ビームスプリッタを含む、請求項１１に記載のシステム。
【請求項１３】
前記ビームスプリッタは、一つのビームを受け、前記ビームを複数のビームに分割するように構成された音響光学変調器を含む、請求項１１～１２のいずれか１項に記載のシステム。
【請求項１４】
前記ビームスプリッタは、入力ビームを前記試料に向けられる少なくとも三つの出力ビームに分離するように構成される、請求項１１～１３のいずれか１項に記載のシステム。
【請求項１５】
前記ビームスプリッタは、入力ビームを前記試料に向けられる少なくとも五つの出力ビームに分離するように構成される、請求項１１～１４のいずれか１項に記載のシステム。
【請求項１６】
前記ビームスプリッタは、入力ビームを前記試料に向けられる少なくとも十個の出力ビームに分離するように構成される、請求項１１～１５のいずれか１項に記載のシステム。
【請求項１７】
前記複数の検出器は、三つの検出器を含む、請求項１１～１６のいずれか１項に記載のシステム。
【請求項１８】
前記複数の検出器は、五つの検出器を含む、請求項１１～１７のいずれか１項に記載のシステム。
【請求項１９】
前記複数の検出器は、十個の検出器を含む、請求項１１～１８のいずれか１項に記載のシステム。
【請求項２０】
前記ビームスプリッタおよび前記試料間の光路に二色性反射器をさらに備え、前記試料から前記ＳＨＧ信号を受け、前記複数の検出器の各個に前記ＳＨＧ信号を向ける、請求項１１～１９のいずれか１項に記載のシステム。
【請求項２１】
前記試料ホルダーは、並進ステージを含む、請求項１１～２０のいずれか１項に記載のシステム。
【請求項２２】
前記複数のビームをスキャンするように構成されたビームスキャンシステムをさらに含む、請求項１１～２１のいずれか１項に記載のシステム。
【請求項２３】
前記試料からの第二高調波発生光を受けるように配置された少なくとも一つの偏光ビームスプリッタをさらに備え、前記少なくとも一つの偏光ビームスプリッタは、光を第１および第２の偏光成分に分離し、前記第１および第２の偏光成分をそれぞれ第１および第２の検出器に向けるように構成された、請求項１１～２２のいずれか１項に記載のシステム。
【請求項２４】
前記試料からの第二高調波発生光を受けるように配置された複数の偏光ビームスプリッタをさらに備え、前記複数の偏光ビームスプリッタは、光を第１および第２の偏光成分に分離し、前記第１および第２の偏光成分をそれぞれ第１および第２の検出器に向けるように構成された、請求項１１～２３のいずれか１項に記載のシステム。
【請求項２５】
前記第１および第２の偏光成分は、それぞれｓおよびｐ偏光である、請求項２３または２４に記載のシステム。

【請求項２６】
第二高調波発生を使用して試料を特性評価するためのシステムであって、
試料を支持するように構成された試料ホルダーと、
第二高調波発生を生成するため光ビームを前記試料に向けるように構成された光源と、
前記試料からの第二高調波発生光を受けるように構成された、少なくとも一つの検出器配列を備える光学的検出システムと、
前記試料からの第二高調波発生光を前記検出器配列上に投影するように構成された投影光学系と、
前記検出器配列から信号を受けるように構成された処理電子機器と、を備える試料評価システム。
【請求項２７】
前記検出器配列は、二次元配列を含む、請求項２６に記載のシステム。
【請求項２８】
前記検出器配列は、ＣＣＤ配列を含む、請求項２６～２７のいずれか１項に記載のシステム。
【請求項２９】
前記検出器配列は、時間依存積分装置を含む、請求項２６～２８のいずれか１項に記載のシステム。
【請求項３０】
前記投影光学系は、前記試料を前記検出器配列上に画像化するように構成される、請求項２６～２９のいずれか１項に記載のシステム。
【請求項３１】
前記投影光学系は、結像レンズを含み、前記検出器配列は、前記試料の共役像面に配置される、請求項２６～３０のいずれか１項に記載のシステム。
【請求項３２】
前記光源からの光を前記試料上に集束させるように構成された集束レンズをさらに備える、請求項２６～３１のいずれか１項に記載のシステム。
【請求項３３】
前記光源および前記検出器配列に関して前記試料を並進させるように構成された並進ステージをさらに備える、請求項２６～３２のいずれか１項に記載のシステム。
【請求項３４】
前記並進ステージは、ｘ－ｙ並進ステージを含む、請求項３３に記載のシステム。
【請求項３５】
前記試料からの第二高調波発生光を受けるように配置された、少なくとも一つの偏光ビームスプリッタをさらに備え、前記少なくとも一つの偏光ビームスプリッタは、光を第１および第２の偏光成分に分離し、前記第１および第２の偏光成分をそれぞれ第１および第２の検出器配列に向けるように構成された、請求項２６～３４のいずれか１項に記載のシステム。
【請求項３６】
前記第１および第２の偏光成分は、それぞれｓ偏光およびｐ偏光である、請求項３５に記載のシステム。

【発明の詳細な説明】
【技術分野】
【０００１】
（関連する出願への相互参照）
本出願は、３５　ＵＳＣ　§１１９（ｅ）の優先権の利益に基づいて、２０１８年５月１５日出願の米国仮特許出願第６２／６７１６１６号「第二高調波発生（ＳＨＧ）撮像に基づく光学的検査システムの設計」および２０１８年５月１５日出願の米国仮出願第６２

／６７１６１１号「ハイブリッド偏光光第二高調波発生のためのシステム設計」の全体を参照により援用する。

【０００２】

本出願の対象は、第二高調波発生（ＳＨＧ）に基づくウエハ検査、半導体計測学、物質特性評価、表面特性評価および／または界面分析のためのシステムに関する。

【背景技術】

【０００３】

非線形光学において、光ビーム入力は、それらの入力の和、差、または高調波周波数として出力される。第二高調波発生（ＳＨＧ）は、光がある角度で入射光源の光ビームの二倍の周波数でもって物質から放出される非線形効果である。このプロセスは、入射放射のエネルギーＥの二つの光子を組み合わせて、エネルギー２Ｅの単一の光子を生成する（つまり、周波数が２倍（２ω）または波長が半分の光を生成する）ものと見なすことができる。

【０００４】

ＳＨＧ技術を使用した科学的研究の調査は、Ｔ．Ｆ．ハインツ等著、「半導体表面からの光第二高調波発生」、レーザ研究の進歩ＩＩＩ（Ａ．Ｃ．タム、Ｊ．Ｌ．コール、Ｗ．Ｃ．スチュワレー編、米国物理学会、ニューヨーク、１９８８）所収、ｐ．４５２によって提供された。そこに見られるように、ＳＨＧプロセスは、対称中心を示す物質（つまり、反転または中心対称物質）のバルク内では発生しない。これらの物質の場合、ＳＨＧプロセスは、バルク物質の反転対称性が破られている表面および／または界面でのみ認識できる。そのため、ＳＨＧプロセスは、表面および界面の特性に対して独自の感度を提供する。

【０００５】

同様の理解について、ＳＨＧ効果が、ハインツ等の米国特許第５２９４２８９号明細書に記載されている。ダウナー等の米国特許第５５５７４０９号、ハントの米国特許第６７９５１７５号、第６７８１６８６号、第６７８８４０５号、第６８１９８４４号、第６８８２４１４号、および第７３０４３０５号、トーク等の第６８５６１５９号、アレス等の第７１５８２８４号明細書のそれぞれは、また、採用する可能性のある他の手法または「ツール」について説明する。しかし、これらの特許の教示によっても、半導体製造および計測用の確立した技術として、ＳＨＧを採用する際の主な障害のいくつかは克服されないように思える。

【先行技術文献】

【特許文献】

【０００６】

【特許文献１】米国特許第５２９４２８９号明細書
【特許文献２】米国特許第５５５７４０９号明細書
【特許文献３】米国特許第６７９５１７５号明細書
【特許文献４】米国特許第６７８１６８６号明細書
【特許文献５】米国特許第６７８８４０５号明細書
【特許文献６】米国特許第６８１９８４４号明細書
【特許文献７】米国特許第６８８２４１４号明細書
【特許文献８】米国特許第７３０４３０５号明細書
【特許文献９】米国特許第６８５６１５９号明細書
【特許文献１０】米国特許第７１５８２８４号明細書

【非特許文献】

【０００７】

【非特許文献１】Ｔ．Ｆ．ハインツ等著、「半導体表面からの光第二高調波発生」、レーザ研究の進歩ＩＩＩ（Ａ．Ｃ．タム、Ｊ．Ｌ．コール、Ｗ．Ｃ．スチュワレー編、米国物理学会、ニューヨーク、１９８８）所収、ｐ．４５２

【発明の概要】

【０００８】
（第Ｉ部）
半導体基板層内の電子が、和の周波数発生（ＳＦＧ）のための異なる電力特性を有する各ポンプ光源およびプローブ光源によって種々に励起されるＳＨＧ計測ツールについて記載する（例えば、通常はＳＨＧ）。そのような手法について、積層半導体装置テンプレートにおける異種界面に電位差を誘導して「ポンプ」として動作する「追加の」集積光源（例えば、紫外線フラッシュランプまたはレーザ）を、「プローブ」光源として動作する短パルスまたは超短パルスレーザ（例えば、フェムト秒固体レーザ）とともに備える、計測特性評価ツールを提供する。効用は、単一のレーザＳＨＧ、もしくは二重または複数のレーザＳＦＧシステムからはっきり区別されるように、異なる目的のための二つの異なる源を一斉にまたは互いに連動させて（後述する、様々な時間オフセットおよび／または可変ポンプエネルギー方法を介して）使用することから生じる。
【０００９】
一方法では、ポンプについて、いくつかの物質の総特性評価時間を低減することを可能にする前励起または予備励起光源として使用する。そのような多くの実装では、時間依存電場を、プローブ／プローブレーザによって一次生成していない。この方法の一変形では、ポンプにより、ウエハ全体をＵＶで照らし、次いでプローブレーザを使って、そのウエハ全体もしくは一部について一点当たり最小プローブ時間を費やしながらラスターするか、またはそうでなければスキャンする（例えば、ハードウェアがレーザを動かせる速度でスキャンする）。この点に関する選択肢には、ウエハ移動により、（スキャン）列に沿ったステップで、行ごとにスキャンを行うことが含まれる。別の手法では、ウエハを半径に沿って回転させスキャンすることもできる。
【００１０】
別の変形例では、ポンプは、物質界面の試料位置における高速な充電を引き起こし、続いて、高速遮断および／または光学遅延方法に関係するプローブによる充電界面の減衰の観測を行う。その方法については、２０１４年４月１７日出願の米国仮出願第６１／９８０８６０号明細書「ウエハ計測技術」の第ＩＩ節「電荷減衰測定のシステムおよび方法」に詳述されている。それらとは関係なく、様々な実施形態において、予備励起するためのポンプ使用の意図は、例えば、界面に影響を与えるのに十分な量の電荷キャリアを誘電体中に注入することである。
【００１１】
別の方法では、ポンプレーザは、既にプローブレーザによって試料位置で生成されたＳＨＧ信号に影響を及ぼす後励起または励起後光源として使用される。さらに別の方法では、プローブのポンプ前およびポンプ後のレーザエネルギー適用によって生成されたＳＨＧ信号の比較／コントラストを使用する。試料をプローブし、ポンプする前にＳＨＧ応答を測定し、次にポンプ光源からの放射を適用し、その後、再プローブすることにより、ポンプ前後のＳＨＧ応答の差を使用して、誘電体物質のトラップ密度などのさらなる物質特性を決定できる。
【００１２】
本明細書で論じた、様々な方法において、タイミング差（すなわち、プローブレーザ使用に対してポンプ源が予備および／または励起後かによる）を使用して、物質界面についてのさらなる情報を表す調査曲線を集めることができる。
【００１３】
様々な方法において、ポンプおよびプローブ光源は同時に使用され、それらの組み合わせは、注入キャリアエネルギーしきい値を決定するためのＳＨＧ信号を提供するために使用される。具体的には、プローブレーザでプローブしている間、調整可能なポンプレーザの周波数を上昇させる。特定の周波数で、ＳＨＧ信号は変曲点（または不連続の領域）を示す。変曲点（または不連続の領域）でのポンプレーザ周波数に対応する値は、注入キャリアエネルギーしきい値に関連付けることができる。
【００１４】

対象のポンプおよびプローブシステムの種々の実施形態によって、特定のハードウェアに基づく利点の可能性も提供する。ポンプがフラッシュランプの例では、極めて妥当なコスト削減を、二レーザシステムに対して達成することができる。フラッシュランプまたは第２のレーザを提供するかどうかにかかわらず、本明細書で企図するポンプおよびプローブの組み合わせにより、また、調査すべき基板への光学的損傷のリスクを低減することができる。平均電力しきい値を超える強すぎる照射は、誘電体および基板さえも劣化させるからである。基板に光学的損傷を引き起こす平均電力しきい値は、実験的な較正調査によって決定できる。

【００１５】

対象のハードウェアに関連して後者の可能性を理解するため、いくつかの背景を提供する。すなわち、ポンプおよびプローブエネルギーにより、単独で、そのようなハードウエハを用いてＳＨＧ信号を生成することができる。ポンプおよびプローブ源は、ＳＨＧ信号を生成するために連動して動作する必要はなく、ポンプは、一般に、埋め込まれた界面ＳＨＧを適切に駆動するためのピーク電力を持っていないので、関連する物質特性は、主に、プローブによって生成されるＳＨＧ信号強度により対象の方法から導出される。時間依存のＳＨＧ強度曲線は、例えば誘電体および基板間などの界面全体の電荷キャリアの分布に基づいて変化する。例えば、誘電体および半導体基板間の界面全体のキャリアの注入に要する時間は、試料上に向けられた平均電力に依存する。いくつかの実装形態では、プローブだけで、誘電体および基板間の界面全体のキャリアの注入を可能にできる。そのような実装では、ピーク電力から平均電力を切り離すことができないので、物質の光学的損傷しきい値を超えることなく、誘電体および基板間の界面全体のキャリアの注入が可能な目標平均電力に達する時間は、ポンプおよびプローブの組み合わせを使用する実装時よりも大きい可能性がある。平均電力は高いがピーク電力は低い光源を、プローブ前の誘電体および基板間の界面全体のキャリアを注入するポンプとして使用することにより、平均電力を増加するための時間が、平均電力での高いピーク電力が誘発する可能性のある潜在的な損傷の複雑化なく、節約できる。

【００１６】

したがって、対象のプローブは、ポンプに比べて、通常、低い平均電力を有する、より高いピーク電力源である。別の言い方をすれば、プローブレーザは、通常、相対的に非常に弱い。一態様では、これにより、基板界面に存在する固有電場への擾乱を最小限に抑えて、初期の時間非依存信号を生成することができる。

【００１７】

より高い平均電力だが、低いピーク電力のポンプにより、電荷キャリアを物質の界面または界面全体のエネルギーレベルにまでジャンプさせることにより、電場（Ｅ）を誘導する。相対的に高い平均電力源をポンプとして使用し、かつ利用可能なすべての電子に少なくとも誘電体にジャンプするのに十分なエネルギーを与えることによって、界面を高速に「充電する」ことにより、高いピーク電力（高ＳＨＧ変換レートを提供する）だが、低い平均電力（パルス持続時間が短く、そのようなパルスの数が限られているため）のプローブレーザで表面を高速に調査し、時間非依存のＳＨＧ信号データを提供できる状況が作られる。

【００１８】

したがって、本明細書で記載する様々な実施形態において、プローブレーザにより電子をより高いエネルギーレベルまたは界面を横切って移動させるために必要な時間の減少が達成でき、それにより定常ＳＨＧ信号および／または電荷キャリア時間動態測定をより迅速に評価できるようになる。この手法によりまた、ＳＨＧプローブの効果について、それ自体が基板界面の電場に与える影響から分離できる。また、ＳＨＧプロセスの時間依存性を高速化または無視できるようになるだけでなく、プローブビームから取得した信号の少なくとも一部の時間非依存のＳＨＧデータをより高速に取得できるようになる。同様に、別の観点では、界面（例えば、半導体および誘電体間の界面）へのキャリア注入のエネルギーしきい値のより速いかつ／またはより正確な決定、ならびにラインツール環境におい

てより速いスループットが可能になる。状況がどうであれ、提供される利用可能な時間短縮により、半導体業界のあらゆる種類のインライン計測ツールでの高スループットテストを有利に促進できる。一例として、１０ｎｍのＳｉｌｉｃｏｎ ｏｎ Ｉｎｓｕｌａｔｏｒの２５ｎｍ 埋め込み酸化物層を含む装置（１０ｎｍの装置層／２５ｎｍのＢＯＸ ＳＯＩ）に関して、ＳＨＧ技術の既存アプリケーションを使用した時間依存曲線を作成すると、１点ごとに６～１２以上秒を要する。本明細書に記載するような予備励起を使用すると、時間依存性を１秒未満で生成することができ、物質およびポンプ／プローブ電力を同一にできる。この進歩により、ライン上で利用可能な時間／ウエハが与えられた場合、ウエハ上で１０倍以上の表面積がカバー可能になるか、または１０％の時間で同等の信頼性が可能になる。そして、この種の数値は、物質、層の厚さ、具体的なポンプ／プローブの電力および波長によって異なるものの、啓発的である。

【００１９】

本発明の実施形態は、本明細書に記載した手法に関連した方法、その方法を実行するためのハードウェア、そのハードウェアおよび製品（プロダクト・バイ・プロセスを含む）を組み込んだ生産システムを、それぞれ含む。

【００２０】

（第ＩＩ部）

現在まで、ＳＨＧベースの計測ツールの採用は限られてきた。この事実は、既存のシステムが検出された界面特性を区別できないことに起因すると考えられる。言い換えれば、既存のＳＨＧ技術では、界面の電気的に活性な異常の位置および存在を決定する手段は提供されるが、それらの方法は相対的な測定に依拠し、電気的に活性な異常の種類（例えば、結合欠損に対する銅などの吸着された汚染物質）を解析し、かつ／または検出された汚染物質を定量化することは実際には不可能である。

【００２１】

しかしながら、本対象のシステムおよび方法により、このような活性のために必要な決定を行うための定量的情報を捕捉することが種々可能となる。これらのシステムおよび方法では、ウエハ試料を光学的な電磁放射（特定の場所をパルスレーザもしくはフラッシュランプまたは他の電磁エネルギー源もしくは光源あるいは他の手段）で充電した後、複数の測定を行い、減衰期間を制御する異種界面に関連する過渡的な電場減衰を監視する。

【００２２】

複数の点で生成し、特性評価した減衰曲線データを用いて、試料位置における異常または問題の分光パラメータについて、欠陥の種類または汚染物質の識別および／もしくは定量化が可能となるように決定することができる。全てにおいて、減衰依存データを収集し、電荷キャリア寿命、トラップエネルギーおよび／またはトラップ電荷密度を決定することにより、欠陥および汚染物質を相互に識別もしくは解析し、汚染物質が検出された場合に種の識別、および／または検出された場合の汚染物質の定量化ができるシステムを提供するために使用される。

【００２３】

このような活性について、選択した方法で位置ごとに、通常、ウエハ全体もしくは他の物質試料またはその領域のスキャンを繰り返して、決定する。そのような決定を可能にするために必要なコンピュータ処理は、「リアルタイム」に（すなわち、結果の出力に実質的な遅延がないスキャン中に）または後処理を介して、生じる可能性がある。しかしながら、様々な実施形態において、後述するような方法について対象データを取得する正確なシステム・タイミングを提供するため、制御ソフトウェアは遅れなく実行可能である。

【００２４】

必要に応じて、試料物質の充電についてＳＨＧ信号生成に関連して監視する。その場合、この信号を介して得られた情報は、物質分析および決定に使用することができる。

【００２５】

いずれの場合においても、システムの実施形態に、10^{2}秒からピコ秒（10^{-12}秒）の範囲で動作する高速シャッターの超短パルスレーザを含む可能性がある。このような

システムは、複数の短い遮断間隔を導入した後、薄膜物質の表面および埋め込み界面からの試料位置でのＳＨＧ信号生成を監視するために使用できる。これらの間隔は、対象の電場減衰を監視するようにタイミングを合わせることができる。

【００２６】

本システムはまた、光回線遅延を含む可能性がある。遅延線は、特に分散補償および偏光制御光学系と組み合わせた場合、ファイバに基づく装置である可能性がある。あるいは、遅延線はミラーに基づき、マクドナルドの米国特許第６１４７７９９号、ビショップ等の第６３５６３７７号、またはウー等の第６７５１３７４号明細書の実施例に相似する可能性がある。いずれの場合にも、遅延は、物質のレーザ調査をピコ秒（10^{-12}秒）～フェムト秒（10^{-15}秒）、おそらくはアト秒（10^{-18}秒）の範囲で行うためのシステムで使用される。このような調査は、単一の減衰曲線に沿った複数の電荷減衰依存のデータ点を検出するのに役立つ場合がある。

【００２７】

本対象の方法は、連続する充電イベントの後に取得した減衰データ点についてＳＨＧ信号を測定することを含む方法を含む。ＳＨＧ信号を取得するための条件は、各充電イベントで異なる可能性がある。さらに、連続する充電イベント間の時間間隔は異なる場合がある。この方法では、複数のデータ点（少なくとも二つ、通常は三つ以上）を相関させて、単一の複合減衰曲線として表すことができる。別の方法では、破壊が最小限の（すなわち、ＳＨＧ信号を生成するために使用される放射が物質を有意には充電しない）ＳＨＧ信号調査イベントが単一の充電イベント後に使用される。

【００２８】

さらに別の過渡的な電荷減衰を決定するための方法は、試料物質（より正確に、光放射により充電されたその構造）からの放電電流を測定することを含む。この信号の時間依存性（動力学）は、ＳＨＧ計測を採用した場合と同じように扱うことができる。さらに、上記のように、そのような計測は、一つの減衰間隔、および／または充電に続く所与のレベルへの複数のそれらにわたる期間で行われ得る。いずれにせよ、そのような使用のための特定電極のハードウェアについて以下に詳述する。

【００２９】

充電または充電レベルに関しては、電荷動態を標準の線形時間または対数時間スケールに対して観測したとき、見かけの飽和点でもよい。上記について、対象の方法論は、必要に応じて、重要な情報をもたらす可能性がある充電速度を観測、記録、および分析する。

【００３０】

連続する充電／調査イベントについて、試料の初期充電状態を測定し飽和レベルが初期充電状態から遠くない場合、システムは、さらなるまたは後続の特性評価を省略してよい。この状況において「遠くない」と見なすことが可能な場合として、対象のツールを使用していつ一定時間サンプリングするかを学習することによって決定される、初期充電状態に対する電荷増加が約１％～約１０％である場合を意味する可能性がある。

【００３１】

換言すれば、いわゆる「飽和」とは、相対的な用語である。線形時間スケールを使用すると、物質は非常にすばやく飽和状態になる。しかし、充電に関連するＳＨＧ信号強度を１０～１００秒の対数スケールで観測した場合、飽和の後半部分は異なる時定数で生じ、相対的により緩やかまたは時間を要することが観測できる。したがって、本明細書で提供する方法論の実施例は、飽和までの充電について論じているが、遅延および他のタイミングは、見かけの飽和に関して生じると見なすことができる。達するのに不必要に時間を要する１００％の飽和のための完全な量の時間を待機するのでなく、装置は、完全に飽和するまでにかかる時間に関係なく、見かけの飽和に到達する、または重要なパラメータを抽出できる時間まで遅延させる可能性がある。

【００３２】

また、飽和に向かう（例えば、ＳＨＧ監視に関連して）充電の量または程度を監視する場合に、本対象の方法およびシステムは、意味のある減衰曲線情報を生成しながら、飽和

未満（上記で説明したように）の充電および／または再充電レベルで動作できることを理解するべきである。しかし、そのような測定でなく、近似飽和が既知のパラメータのとき（例えば、所定の物質を対象ツールで経験することにより）、飽和充電を目標レベルとして使用する。

【００３３】

また、テストする試料の両端のＤＣバイアスを導入することにより、物質の分析を補助できる。ＤＣバイアスを使用すると、光誘導電圧が影響を与える前に、界面での初期電荷分布が積極的に変化する。そうするためには、テストする試料を、試料上面プローブを使用して試料の両端にＤＣバイアスを印加するための接地として使用し得る導電性チャックの上に据え付ける可能性がある。さらに、表面プローブを使用することなく、同様の誘導電圧バイアスを導入する他の手段について、２０１４年４月１７日出願の米国仮出願第６１／９８０８６０号明細書「ウエハ計測技術」の第ＩＶ節「電場バイアスＳＨＧ技術」に詳述されている。

【００３４】

また、対象のシステムは、電荷減衰決定用遮断型分析に含まれる一次レーザに加えて二次光源を使用する可能性がある。そのような光源の一式を、２０１４年４月１７日出願の米国仮出願第６１／９８０８６０号明細書「ウエハ計測技術」の第Ｉ節「ポンプおよびプローブ型ＳＨＧ計測」に詳述されるように、放射ポンプ／プローブの組み合わせとして使用する可能性がある。

【００３５】

すべての本発明の実施形態は、本明細書に記載した手法に関連する方法のそれぞれを単独で、または参照する同時係属中の特許出願からの要素部品もしくは特徴、その方法を実行するためのハードウェア、そのハードウェアおよび製品（プロダクト・バイ・プロセスを含む）を組み込んだ生産システムと組み合わせて含む。

【００３６】

（第ＩＩＩ部）

様々なバイアス場（例えば、磁場バイアス、ＤＣバイアス、ならびに／または容量結合および／もしくは変化する磁場を伴う、ＡＣ場だけで誘導した電圧バイアス）のＳＨＧに基づくシステムおよびそれらの使用方法について説明する。これらについて順番に扱う。それらは、独立して、および／または組み合わせたシステムで使用することができる。本明細書に記載した様々な実施形態は、上記の手法に関連した方法のそれぞれ、上記方法を実行するハードウェア、そのハードウェアおよび製品（プロダクト・バイ・プロセスを含む）を組み込む生産システムを含む。

【００３７】

（磁場バイアス）

静的または変化する磁場を試料に印加すると、物質の二次の光学感受率テンソルの変化を引き起こすであろう。したがって、磁場を使用して、試料からのＳＨＧ信号を最適値まで増加させることができる。さらに、以下でさらに説明するように、変化する磁場を使用してバイアスを誘導することができる。

【００３８】

（ＤＣ接触プローブを除くための誘導電圧バイアス）

積層半導体物質のＳＨＧ応答を特性評価するためのシステムおよび方法が記載について記載する。当該物質は、システム内の接触バイアスプローブを使用せずに、その界面全体にわたる別個の電場を受け、当該電場は、プローブレーザのパルスおよび／または検出器の開閉を、試料に印加する所定振幅の可変もしくはパルス状ＡＣバイアスに同期させ、調査すべき表面に対応のまたは配位された誘導電圧場を生成できる。

【００３９】

対象ハードウェアは、ＳＨＧ装置（例えば、２０１４年４月１７日出願の米国仮出願第６１／９８０８６０号明細書「ウエハ計測技術」の第ＩＩ節「電荷減衰測定のシステムおよび方法」に詳述するもの）を、試料の「装置」面に、またはそれに沿って非接触で電圧

を誘導する手段（例えば、誘導するように構成された部品）とともに含む。そのような手段または部品は、プローブを備えた裏面接触か、または導電チャックを介してのいずれかであり、裏面接触プローブまたはそのようなチャックと通信もする電力源に接続した容量結合プローブを伴う。あるいは、その多層界面に外部電圧場を誘導する目的のため、試料に変化する磁場を印加することによってである。

【００４０】

可変波形（必要に応じてＡＣ）電源が生成する過渡電場によって（上記の手法のいずれかを介して）、多層半導体物質の界面全体の電場を誘導する。電圧および物質界面電場の関係は、伝達関数またはその他の方法でモデル化できる。これには、さまざまな（容量性またはその他の）外的影響を考慮することも含まれる。この関数の出力について、特定の振幅および周波数のＡＣ（または他の）電流を与えることにより、界面の電場振幅値がほぼ瞬時的に一定となるテスト点のＳＨＧ特性評価のため、レーザシャッタおよび／または光子カウンタを同時にトリガするタイミング合図として使用する可能性がある。このように、システムにより、接触電気プローブを介して上面（すなわち、基板の装置層）に印加する一定の（ＤＣ）電圧を模擬することができる。

【００４１】

試料の裏面にＡＣを直接適用すると、システムは、「中性」または接地状態のチャック、ならびに平衡電位のバルクおよび装置層から始まる。次に、バルクまたは多層半導体物質の基板層とガルバニック接触するチャックに交流バイアスを印加する。装置層は、埋め込みの酸化物層によってバルクから分離され、導体に直接接続しないため、装置およびバルク層間に電位場または電圧が生成（すなわち、誘導）される。

【００４２】

あるいは、試料の上面に接触することなくその近傍（約１～約２ｍｍ以内）に存在する容量結合プローブを使用する可能性がある。この点において好ましい手法では、ウエハ全体を覆う（しかし、接触しない）大きさのプレートであって、当該プレートは、入射レーザが試料に向かって通過し、かつ試料から出力するＳＨＧビームが通過するための小さい穴を備え、空中停止している可能性がある。

【００４３】

いくつかの実装では、非接触電極を、ＭＥＭＳ技術を用いて実現することができる。例えば、一実装では、Ｓｉウエハの両面を酸化することができる。次に、スパイラルまたはグリッド状の電極を、ウエハの一つまたは複数の場所に堆積させることによって配置することができる。酸化物物質は、これらの場所でウエハの裏側から取り除くことができる。電極に印加された電磁場は、そのような実装において、近接場誘導結合を介してウエハを誘導的にバイアスすることができる。外部電流によって生成された磁場を使用して、堆積された電極に電流を誘導することにより、ウエハ全体に電流を生成することができる。非接触プローブを実装する他の方法も使用できる。

【００４４】

いずれの場合においても、ＳＨＧ法を、試料を調査するために使用し、例えば、２０１４年４月１７日出願の米国仮出願第６１／９８０８６０号明細書「ウエハ計測技術」の第Ｉ節「ポンプおよびプローブ型ＳＨＧ計測」の部分に詳述がある。同一のことは、以下に論じる他の実施形態に関しても当てはまる。

【００４５】

とにかく、対象の実施形態では、界面の両端間の電圧の関数としてＳＨＧを監視することが望ましいので、ＳＨＧ信号を電力源と同期させるであろう。この同期は、ＳＨＧ信号生成およびＳＨＧ信号処理ソフトウェアに使用するレーザ、レーザ単独、またはＳＨＧ信号処理ソフトウェアのみを、電圧変化とともに時間的に制御することによって達成できる。チャックの電圧も制御できる。

【００４６】

この同期の利点は、ＤＣバイアスのＳＨＧ測定値と同様の電圧バイアスのＳＨＧ測定値を、ウエハの表面に接触電圧バイアスプローブを使用することなく取得できることである

。ＤＣバイアスを印加する代わりに、システムはＳＨＧ測定および／または生成と同期したＡＣバイアスを使用して、電圧サイクルの別々の点でＳＨＧデータを収集する。ＡＣバイアスは、近接場誘導結合を使用して、または試料の容量性結合を介して印加できる。これらのバイアス技術で収集したＳＨＧデータは、ＤＣバイアスのＳＨＧと同一の物質特性情報を生成する。

【００４７】

ノイズを低減または最小化し、界面の両端の電圧の関数として統計学的に適切な指標を得るために、以下に詳述するように、複数の光子計数ウィンドウが望ましい可能性がある。

【００４８】

（界面リークを特性評価するための誘導電圧バイアス）

積層（例えば、半導体）物質の層間の界面リーク電流および／またはキャリア注入エネルギーについて、ＳＨＧおよび上記のような積層半導体物質に印加する電圧変化（例えば、交流の、可変および／もしくはパルス状電圧または電流信号、あるいは試料の装置層内に電圧変化を誘導するように磁場を変化させる装置）を利用して特性評価するシステムおよび方法を説明する。

【００４９】

交流の、可変および／もしくはパルス状電圧を積層の半導体／誘電体構造物質に印加しながら、あるいは印加直後に、当該積層半導体物質に向けられたパルスレーザによって生成される光パルスからのＳＨＧ応答を測定することによって、層間の界面リーク電流および／またはキャリア注入エネルギーを特性評価することができる。いくつかの実施形態では、誘導電圧の減衰時定数の関数として界面からのＳＨＧ信号の時間発展を測定することができる。これにより、界面全体の電荷キャリアの移動度に関する情報が得られる。

【００５０】

（キャリア注入エネルギーしきい値を特性評価するための誘導電圧バイアス）

積層半導体物質における、誘電体への光誘導電荷キャリア注入のエネルギーしきい値を決定するため、波長可変レーザ励起の使用に代わる、試料の装置層での変動電場と関係するＳＨＧ測定について、そのシステムおよび方法を説明する。より具体的には、誘電体への光誘導電荷キャリア注入に必要なエネルギーしきい値を測定するために、前述の物質を実質的に単色の入射光子ビームに曝露してＳＨＧを生成させ、次に曝露された積層半導体物質の界面両端の電圧を増分的に変化させ、ＳＨＧ応答が大幅な屈曲もしくは不連続性を示すか、または以前の測定値からの勾配が突然変化するまで、各増分電圧変化でＳＨＧ信号数を測定することができる。この勾配の変化は、最大もしくは最小（例えば、極大もしくは極小）、または尖点、あるいは階段関数などの可能性がある。これらすべてのプロセスによる正味の電荷変化の伝達は、第三高調波注入電流、強電場による誘電体への「順方向」リーク電流、および「逆方向」放電リーク電流の寄与の積分として説明できる。方程式の形式では、以下となる。

【数１】

$$Q(t) = \int (I_X + I_E - I_L)dt$$

この曲線形状の運動学的特徴（時間に関する屈曲モーメントおよび飽和モーメント）により、キャリア注入エネルギーしきい値を決定するための情報が提供されよう。

【００５１】

すべての本発明の実施形態は、本明細書に記載した手法に関連する方法のそれぞれを単独で、または参照する同時係属中の特許出願からの要素部品もしくは特徴、その方法を実行するためのハードウェア、そのハードウェアおよび製品（プロダクト・バイ・プロセスを含む）を組み込んだ生産システムと組み合わせて含む。

【００５２】

本明細書に開示したシステム、方法および装置は、それぞれがいくつかの革新的な態様を有し、それら単一のものは、いずれも、本明細書に開示した望ましい属性に対して単独で原因を有するわけではない。様々なシステムおよび方法の実施例について以下に説明する。

【００５３】

（複数の偏光の効率的収集）

（実施例１）

第二高調波発生を使用して試料を特性評価するためのシステムであって、

試料を支持するように構成された試料ホルダーと、

第二高調波発生を生成するため前記試料に光ビームを向けるように構成された、少なくとも一つの光源と、

前記試料からの第二高調波発生光を受けるように構成された、第１および第２の検出器を備える光学的検出システムと、

前記試料からの第二高調波発生光を受けるため、前記試料および前記光学的検出システム間の光路に配置され、第１および第２の偏光成分を分離し前記第１および第２の検出器にそれぞれ向ける、少なくとも一つの偏光ビームスプリッタと、

前記第１および第２の検出器から前記受けた第１および第２の偏光成分に基づく信号を受けるように構成された電子機器と、を含む。

（実施例２）

前記第１および第２の偏光成分は、直交偏光状態を含む、実施例１に記載のシステムである。

（実施例３）

前記第１および第２の偏光成分は、異なる偏光方向を向いた直線偏光の光を含む、実施例１または２に記載のシステムである。

（実施例４）

前記第１および第２の偏光成分は、それぞれｓおよびｐ偏光である、実施例１～３のいずれか１項に記載のシステムである。

（実施例５）

前記少なくとも一つの偏光ビームスプリッタは、偏光ビームスプリッタキューブを含む、実施例１～４のいずれか１項に記載のシステムである。

（実施例６）

前記光源および前記試料間の光路に配置され、偏光された光を前記試料に向ける、少なくとも一つの偏光子をさらに含む、実施例１～５のいずれか１項に記載のシステムである。

（実施例７）

前記光源および前記試料間の前記光路に配置された前記少なくとも一つの偏光子は、直線偏光子を含む、実施例６に記載のシステムである。

（実施例８）

前記光源および前記試料間に配置され、前記光源からの光を前記試料上に集束させる、少なくとも一つの集束レンズをさらに備える、実施例１～７のいずれか１項に記載のシステムである。

（実施例９）

前記試料および前記偏光ビームスプリッタ間に配置され、前記試料からの第二高調波発生光を平行化する、少なくとも一つのコリメートレンズをさらに含む、実施例１～８のいずれか１項に記載のシステムである。

（実施例１０）

前記試料ホルダーは、並進ステージを含む、実施例１～９のいずれか１項に記載のシステムである。

【００５４】

（ＳＨＧ撮像）

（実施例１）
第二高調波発生を使用して試料を特性評価するためのシステムであって、
試料を支持するように構成された試料ホルダーと、
第二高調波発生を生成するため光ビームを前記試料に向けるように構成された、少なくとも一つの光源と、
前記光源および前記試料間の光路に配置され、前記光源からの前記光を複数のビームに分離し前記試料上の複数の位置に一度に入射させて、前記複数のビームは複数の第二高調波発生信号を生成するように構成された、少なくとも一つのビームスプリッタと、
前記試料からの第二高調波発生光を受けるように構成され、前記ビームスプリッタからの前記複数のビームが生成するＳＨＧ信号のそれぞれを各個に向けるように構成された、複数の検出器を備える光学的検出システムと、
前記複数の検出器から信号を受けるように構成された処理電子機器と、を備える。
（実施例２）
前記少なくとも一つのビームスプリッタは、一つのビームを受け、前記ビームを複数のビームに分割するように構成された回折ビームスプリッタを含む、実施例１に記載のシステムである。
（実施例３）
前記少なくとも一つのビームスプリッタは、一つのビームを受け、前記ビームを複数のビームに分割するように構成された音響光学変調器を含む、実施例１～２のいずれか１項に記載のシステムである。
（実施例４）
前記少なくとも一つのビームスプリッタは、入力ビームを前記試料に向けられる少なくとも三つの出力ビームに分離するように構成される、実施例１～３のいずれか１項に記載のシステムである。
（実施例５）
前記少なくとも一つのビームスプリッタは、入力ビームを前記試料に向けられる少なくとも五つの出力ビームに分離するように構成される、実施例１～４のいずれか１項に記載のシステムである。
（実施例６）
前記少なくとも一つのビームスプリッタは、入力ビームを前記試料に向けられる少なくとも十個の出力ビームに分離するように構成される、実施例１～５のいずれか１項に記載のシステムである。
（実施例７）
前記複数の検出器は、三つの検出器を含む、実施例１～６のいずれか１項に記載のシステムである。
（実施例８）
前記複数の検出器は、五つの検出器を含む、実施例１～７のいずれか１項に記載のシステムである。
（実施例９）
前記複数の検出器は、十個の検出器を含む、実施例１～８のいずれか１項に記載のシステムである。
（実施例１０）
前記ビームスプリッタおよび前記試料間の光路に少なくとも一つの二色性反射器をさらに備え、前記試料から前記ＳＨＧ信号を受け、前記複数の検出器の各個に前記ＳＨＧ信号を向ける、実施例１～９のいずれか１項に記載のシステムである。
（実施例１１）
前記試料ホルダーは、並進ステージを含む、実施例１～１０のいずれか１項に記載のシステムである。
（実施例１２）
前記複数のビームをスキャンするように構成されたビームスキャンシステムをさらに含

む、実施例１～１１のいずれか１項に記載のシステムである。
（実施例１３）
前記試料からの第二高調波発生光を受けるように配置された少なくとも一つの偏光ビームスプリッタをさらに備え、前記少なくとも一つの偏光ビームスプリッタは、光を第１および第２の偏光成分に分離し、前記第１および第２の偏光成分をそれぞれ第１および第２の検出器に向けるように構成された、実施例１～１２のいずれか１項に記載のシステムである。
（実施例１４）
前記試料からの第二高調波発生光を受けるように配置された複数の偏光ビームスプリッタをさらに備え、前記複数の偏光ビームスプリッタは、光を第１および第２の偏光成分に分離し、前記第１および第２の偏光成分をそれぞれ第１および第２の検出器に向けるように構成された、実施例１～１３のいずれか１項に記載のシステムである。
（実施例１５）
前記第１および第２の偏光成分は、それぞれｓおよびｐ偏光である、実施例１３または１４に記載のシステムである。
（実施例１６）
第二高調波発生を使用して試料を特性評価するためのシステムであって、
試料を支持するように構成された試料ホルダーと、
第二高調波発生を生成するため光ビームを前記試料に向けるように構成された、少なくとも一つの光源と、
前記試料からの第二高調波発生光を受けるように構成された、少なくとも一つの検出器配列を備える光学的検出システムと、
前記試料からの第二高調波発生光を前記検出器配列上に投影するように構成された投影光学系と、
前記検出器配列から信号を受けるように構成された処理電子機器と、を備える。
（実施例１７）
前記少なくとも一つの検出器配列は、二次元配列を含む、実施例１６に記載のシステムである。
（実施例１８）
前記少なくとも一つの検出器配列は、ＣＣＤ配列を含む、実施例１６～１７のいずれか１項に記載のシステムである。
（実施例１９）
前記少なくとも一つの検出器配列は、時間依存積分装置を含む、実施例１６～１８のいずれか１項に記載のシステムである。
（実施例２０）
前記投影光学系は、前記試料を前記検出器配列上に画像化するように構成される、実施例１６～１９のいずれか１項に記載のシステムである。
（実施例２１）
前記投影光学系は、少なくとも一つの結像レンズを含み、前記少なくとも一つの検出器配列は、前記試料の共役像面に配置される、実施例１６～２０のいずれか１項に記載のシステムである。
（実施例２２）
前記光源からの光を前記試料上に集束させるように構成された、少なくとも一つの集束レンズをさらに備える、実施例１６～２１のいずれか１項に記載のシステムである。
（実施例２３）
前記光源および前記検出器配列に関して前記試料を並進させるように構成された、少なくとも一つの並進ステージをさらに備える、実施例１６～２２のいずれか１項に記載のシステムである。
（実施例２４）
前記少なくとも一つの並進ステージは、ｘ－ｙ並進ステージを含む、実施例２３に記載

のシステムである。
（実施例２５）
前記試料からの第二高調波発生光を受けるように配置された、少なくとも一つの偏光ビームスプリッタをさらに備え、前記少なくとも一つの偏光ビームスプリッタは、光を第１および第２の偏光成分に分離し、前記第１および第２の偏光成分をそれぞれ第１および第２の検出器配列に向けるように構成された、実施例１６～２４のいずれか１項に記載のシステムである。
（実施例２６）
前記試料からの第二高調波発生光を受けるように配置された、少なくとも一つの偏光ビームスプリッタをさらに備え、前記複数の偏光ビームスプリッタは、光を第１および第２の偏光成分に分離し、前記第１および第２の偏光成分をそれぞれ第１および第２の検出器に向けるように構成されている、実施例１～２５のいずれか１項に記載のシステムである。
（実施例２７）
前記第１および第２の偏光成分は、それぞれｓ偏光およびｐ偏光である、実施例２５または２６に記載のシステムである。
（実施例２８）
第二高調波発生を使用して試料を特性評価するためのシステムであって、
試料を支持するように構成された試料ホルダーと、
第二高調波発生を生成するため光ビームを前記試料に向けるように構成された、少なくとも一つの光源と、
前記光源および前記試料間の光路に配置され、前記光源からの前記光を複数のビームに分離し前記試料上の複数の位置に一度に入射させて、前記複数のビームは複数の第二高調波発生信号を生成するように構成された、少なくとも一つのビームスプリッタと、
前記試料からの第二高調波発生光を受けるように構成され、前記少なくとも一つのビームスプリッタからの前記複数のビームが生成するＳＨＧ信号のそれぞれを、それぞれの領域に向けるように構成された、少なくとも一つの検出器配列を備える光学的検出システムと、
前記複数の検出器から信号を受けるように構成された処理電子機器と、を備える。
（実施例２９）
前記少なくとも一つのビームスプリッタは、一つのビームを受け、前記ビームを複数のビームに分割するように構成された回折ビームスプリッタを含む、実施例２８に記載のシステムである。
（実施例３０）
前記少なくとも一つのビームスプリッタは、一つのビームを受け、前記ビームを複数のビームに分割するように構成された音響光学変調器を含む、実施例２８～２９のいずれか１項に記載のシステムである。
（実施例３１）
前記少なくとも一つのビームスプリッタは、一つの入力ビームを前記試料に向けられる少なくとも三つの出力ビームに分離するように構成される、実施例２８～３０のいずれか１項に記載のシステムである。
（実施例３２）
前記少なくとも一つのビームスプリッタは、一つの入力ビームを前記試料に向けられる少なくとも五つの出力ビームに分離するように構成される、実施例２８～３１のいずれか１項に記載のシステムである。
（実施例３３）
前記少なくとも一つのビームスプリッタは、一つの入力ビームを前記試料に向けられる少なくとも十個の出力ビームに分離するように構成される、実施例２８～３２のいずれか１項に記載のシステムである。
（実施例３４）

前記少なくとも一つの検出器配列は、複数の画素を含む、実施例２８～３３のいずれか１項に記載のシステムである。

（実施例３５）

前記少なくとも一つの検出器配列の前記領域は、一つまたは複数の画素を含む、実施例２８～３４のいずれか１項に記載のシステムである。

（実施例３６）

前記少なくとも一つの検出器配列は、ＣＣＤ検出器配列を含む、実施例２８～３５のいずれか１項に記載のシステムである。

（実施例３７）

前記ビームスプリッタおよび前記試料間の光路に少なくとも一つの二色性反射器をさらに備え、前記試料から前記ＳＨＧ信号を受け、前記少なくとも一つの検出器配列のそれぞれの領域に前記ＳＨＧ信号を向ける、実施例２８～３６のいずれか１項に記載のシステムである。

（実施例３８）

前記試料ホルダーは、少なくとも一つの並進ステージを含む、実施例２８～３７のいずれか１項に記載のシステムである。

（実施例３９）

前記複数のビームをスキャンするように構成されたビームスキャンシステムをさらに含む、実施例２８～３８のいずれか１項に記載のシステムである。

（実施例４０）

前記試料からの第二高調波発生光を受けるように配置された少なくとも一つの偏光ビームスプリッタをさらに備え、前記少なくとも一つの偏光ビームスプリッタは、光を第１および第２の偏光成分に分離し、前記第１および第２の偏光成分をそれぞれ第１および第２の検出器配列に向けるように構成された、実施例２８～３９のいずれか１項に記載のシステムである。

（実施例４１）

前記試料からの第二高調波発生光を受けるように配置された複数の偏光ビームスプリッタをさらに備え、前記複数の偏光ビームスプリッタは、光を第１および第２の偏光成分に分離し、前記第１および第２の偏光成分をそれぞれ第１および第２の検出器に向けるように構成されている、実施例２８～４０のいずれか１項に記載のシステムである。

（実施例４２）

前記第１および第２の偏光成分は、それぞれｓおよびｐ偏光である、実施例４０または４１に記載のシステムである。

【図面の簡単な説明】

【００５５】

図によって、異なる本発明の変形例について種々の実施形態の態様を図式的に説明する。

【図１Ａ】図１Ａは、本明細書のＳＨＧ計測システムの実施形態の図である。

【図１Ｂ】図１Ｂは、そのようなＳＨＧシステムで使用するためのチャックの斜視図である。

【図１Ｃ】図１Ｃは、本明細書の別のＳＨＧ計測システムの実施形態の図である。

【図２】図２Ａおよび２Ｂは、特性ＳＨＧ信号を生成するためのポンプ／プローブシステムの使用例を示す図である。

【図３】図３Ａおよび３Ｂは、特性ＳＨＧ信号を生成するためのポンプ／プローブシステムの使用例を示す図である。

【図４】図４は、注入キャリアエネルギーしきい値を決定するためのプローブ／ポンプシステムの使用を示す図である。

【図５】図５は、図に表した信号を生成する方法を詳細化したフローチャートである。

【図６Ａ】図６Ａは、システムの実施形態の図である。

【図６Ｂ】図６Ｂは、システムの実施形態の図である。

【図６Ｃ】図６Ｃは、システムの実施形態の図である。
【図７】図７は、システム機能の図である。
【図８Ａ】図８Ａは、このような機能を提供する方法を表現する図である。
【図８Ｂ】図８Ｂは、このような機能を提供する方法を表現する図である。
【図９】図９は、システム機能を図表出力で表現する図である。
【図１０】図１０は、ＳＨＧ調査に関連する方法の実施形態をプロットした図である。
【図１１】図１１は、ＳＨＧ調査に関連する方法の実施形態をプロットした図である。
【図１２Ａ】図１２Ａは、図１０および１１の方法に使用することができる図６Ｃのシステムに関連した時間動態をプロットした図である。
【図１２Ｂ】図１２Ｂは、図１０および１１の方法に使用することができる図６Ｃのシステムに関連した時間動態をプロットした図である。
【図１２Ｃ】図１２Ｃは、図１０および１１の方法に使用することができる図６Ｃのシステムに関連した時間動態をプロットした図である。
【図１２Ｄ】図１２Ｄは、図１０および１１の方法に使用することができる図６Ｃのシステムに関連した時間動態をプロットした図である。
【図１２Ｅ】図１２Ｅは、図１０および１１の方法に使用することができる図６Ｃのシステムに関連した時間動態をプロットした図である。
【図１３】図１３は、過渡電場減衰を観測するための電流に基づく調査方法をプロットした図である。
【図１４】図１４Ａおよび１４Ｂは、図１３の方法で使用することができるハードウェア構成を示す図である。
【図１５】図１５Ａおよび１５Ｂは、本明細書中で使用することができるＳＨＧシステム部品の概略図である。
【図１６Ａ】図１６Ａは、本明細書の第１のチャック構成の斜視図である。
【図１６Ｂ】図１６Ｂは、図１６Ａのチャック構成の側面の断面図である。
【図１７Ａ】図１７Ａは、本明細書の第２のチャック構成について一部を切り取った斜視図である。
【図１７Ｂ】図１７Ｂは、本明細書の第２のチャック構成について一部を切り取った上面図である。
【図１７Ｃ】図１７Ｃは、図１７Ａ／１７Ｂのチャックの切り取った斜視図である。
【図１８】図１８Ａおよび１８Ｂは、ＤＣバイアスプローブを除くため、試料に印加した交流電圧および表れた交流電圧に関する図である。
【図１９】図１９Ａおよび１９Ｂは、リーク電流をテストするため、試料に印加した交流電圧および現われた交流電圧に関する図である。
【図２０】図２０は、試料から収集したＳＨＧ光の偏光と同様に、試料に向けられる光の偏光を制御するために使用され得るＳＨＧシステムの概略図の一例を示す。
【図２１】図２１は、ＳＨＧ信号の第１および第２の偏光（例えば、ｓおよびｐ偏光成分）を同時に個別に収集し得るように、偏光ビームスプリッタを含むＳＨＧシステムの概略図の一例を示す。
【図２２Ａ】図２２Ａは、レーザビームを複数のビームに分割し、それぞれが複数のＳＨＧ信号を生成し、それぞれ複数の検出器に向けることができるように構成されたビームスプリッタを含む、ＳＨＧ撮像システムの概略図の一例を示す。
【図２２Ｂ】図２２Ｂは、レーザビームを複数のビームに分割し、それぞれが複数のＳＨＧ信号を生成し、それぞれ複数の検出器に向けることができるように構成されたビームスプリッタを含む、ＳＨＧ撮像システムの概略図の別の一例を示す。
【図２３】図２３は、複数のＳＨＧ信号からの光を試料上の複数の位置から検出器配列上に投影するように構成された検出器配列および光学系を備えるＳＨＧシステムの概略図の一例を示す。
【発明を実施するための形態】
【００５６】

（第Ｉ部）
図１は、対象の方法に関連して使用できるようなシステム１００の図である。他の適切なシステムの変形例について、２０１４年４月１７日出願の米国仮出願第６１／９８０８６０号明細書「ウエハ計測技術」の第ＩＩ節「電荷減衰測定のシステムおよび方法」に、例えば、中間の光学、光学遅延線を含めることおよび任意の電極機能などに関して提示がある。
【００５７】
図示のように、システム１００には、真空チャック３０により保持された試料ウエハ２０に電磁放射の調査ビーム１２を向ける一次またはプローブレーザ１０が含まれる。図１Ｂに示すように、チャック３０は、ｘおよびｙステージ、ならびに必要に応じて、レーザが向けられる場所に対してウエハ全体の試料位置２２を位置決めするための回転ステージをも含むか、またはそれらのステージ上に設定される。ｘｙステージにより、他のハードウェアを動かすことなく、複数のウエハ表面位置または場所２２をスキャンすることが可能になる。回転ステージにより、必要に応じて、特性評価する物質のひずみ、関連する欠陥または懸念領域など、結晶構造のＳＨＧに対する影響を評価することが可能になる。さらなる任意の特徴、態様および／またはチャック３０の用途について、２０１４年４月１７日出願の米国仮出願第６１／９８０８６０号明細書「ウエハ計測技術」の第ＩＶ節「電場バイアスＳＨＧ技術」に提示がある。試料位置２２は、一つまたは複数の層を含むことができる。試料位置２２は、少なくとも二つの層を含む複合基板を含むことができる。試料位置２２は、二つの異なる物質間（例えば、二つの異なる半導体物質間、不純物が異なる二つの半導体物質間、半導体および酸化物間、半導体および誘電体物質間、半導体および金属、または酸化物および金属間）の界面を含むことができる。
【００５８】
システム１００を使用したとき、検出器４０に向け反射された放射ビーム１４は、ＳＨＧ信号を含むであろう。検出器は、光電子増倍管、ＣＣＤカメラ、アバランシェ検出器、フォトダイオード検出器、ストリークカメラ、およびシリコン検出器のいずれであってもよい。システム１００はまた、一つまたは複数のシャッター型装置５０を含み得る。使用するシャッターハードウェアの種類は、レーザ放射を遮断する、投棄する、または他の方法で試料位置から離れる方向に向ける時間枠に依存する。ポッケルスセルまたはカーセルなどの電子光学遮断装置を使用して、非常に短い遮断期間（つまり、作動時間が10^{-9}～10^{-12}秒程度の）を得ることができる。
【００５９】
より長い遮断時間間隔（例えば、約10^{-5}秒以上）のためには、機械的シャッターまたはフライホイールのチョッパー型装置を用いる可能性がある。しかし、電子光学遮断装置を使用すると、以下の方法に従って、より広範囲の物質をテストできる。非常に短い時間間隔、通常、ピコ秒からマイクロ秒程度で離散的に開閉することができる光子計数システム４４を使用して、時間依存信号の計数を解決することができる。より高速な時間枠の場合、上記のように光学遅延線を組み込むことができる。
【００６０】
システム１００は、ポンプ光源とも呼ばれる追加の電磁放射源６０を含むことができる。様々な実施形態において、放射源６０は、指向性ビーム６２を放出するものとして示されるレーザ、または発散もしくは光学的にコリメートされたパルス６４を放出するＵＶフラッシュランプであり得る。レーザ源の場合、そのビーム６２は、ビーム１２と同一直線上であり得る（例えば、追加のミラーまたはプリズムなどによって向きを変える）。光源６０の出力波長は、約８０ｎｍから約１０００ｎｍのどこであってもよい。この範囲のより短い波長（例えば、約４５０ｎｍ未満）を使用すると、より長い波長よりも少ない光子を使用して、かつ／またはより低いピーク強度で電荷励起を駆動することが可能である。
【００６１】
フラッシュランプの場合、１フラッシュ当りのエネルギー、またはフラッシュ時の電力レベルは、基板物質に依存する可能性がある。１フラッシュ当りの総エネルギー１Ｊ～１

０ｋＪを生成するフラッシュランプが、完全空乏型シリコン・オン・インシュレータ（ＦＤ－ＳＯＩ）に適切であろう。ただし、パルスまたは定常的なＵＶ光源も使用可能であろう。ポンプの特性および用途における重要な要素は、電荷キャリアを調査対象の物質の誘電体中に注入することである。適切なフラッシュランプのメーカーには、米国Ｈｅｌｌｍａ社、および浜松フォトニクス株式会社が含まれる。

【００６２】

レーザを光源６０として使用する場合、ナノ秒、ピコ秒、またはフェムト秒、あるいはより高速のパルスレーザ源のいずれであってもよい。連続固体レーザの可能性さえある。様々な実施形態では、ポンプ源は波長を調整可能である。調整可能なレーザに関して市販されている選択肢には、スペクトラ・フィジックス社のＶｅｌｏｃｉｔｙ、およびＶｏｒｔｅｘ　Ｔｕｎａｂｌｅ　Ｌａｓｅｒがある。さらに、調整可能な固体ソリューションを、ＬＯＴＩＳ社のＬＴ－２２ｘｘシリーズの固体レーザから入手できる。

【００６３】

レーザまたはフラッシュランプのいずれとして提供するにしても、ポンプ源６０は、比較的高い平均電力を有するように選択し得る。これは、約１０ｍＷ～約１０Ｗが可能であるが、より通常は、約１００ｍＷ～約４Ｗと調査物質に依存し（繰り返しになるが、考慮すべきことは、電荷キャリアを物質の界面（例えば、誘電体界面）中に注入するような、電荷キャリア移動度の誘導を保証することである）、物質固有の値であり得る。ポンプ源６０の平均電力は、物質の光学的損傷のしきい値以下であるように選択される。例えば、ポンプ源６０は、調査物質がシリコンを含む場合、シリコンの光学的損傷しきい値を超えないように、平均光電力が１～２Ｗを有するように選択することができる。

【００６４】

プローブレーザ１０は、ナノ秒、ピコ秒、またはフェムト秒、あるいはより高速のパルスレーザ源のいずれであってもよい。必要なピーク電力、波長、信頼性を有する、現在市販のレーザの二つの選択肢は、ドープファイバーおよびチタンサファイア装置である。コヒレント社のＶＩＴＥＳＳＥおよびスペクトラ・フィジックス社のＭＡＩ　ＴＡＩレーザが好適なチタンサファイアの例である。フェムトレーザーズ社およびその他のメーカーも、他の適切なチタンサファイア装置を製造する。適切なドープファイバーレーザを、ＩＭＲＡ、ＯｎｅＦｉｖｅ、およびＴｏｐｔｉｃａ　Ｐｈｏｔｏｎｉｃｓが製造する。基板物質およびポンプ種によっては、浜松など多くのメーカーのピコ秒、および／または、ナノ秒レーザも、選択肢になる可能性がある。レーザ１０は、約１００ｎｍ～約２０００ｎｍの波長範囲において約１０ｋＷ～１ＧＷのピーク電力で動作するが、電力供給は平均で１５０ｍＷ未満となる可能性がある。

【００６５】

その他種々の任意の、いわゆる「中間」光学部品を、システム１００で使用することができる。例えば、システムは、レーザ１０および／または光源６０から直接に反射された放射と同軸のＳＨＧ信号を選択的に通過させる二色性反射もしくは屈折フィルタ７０を含む可能性がある。あるいは、プリズムを使用して、より弱いＳＨＧ信号を、何桁も強い反射一次ビームから区別することができる。しかし、プリズムを使用する手法は誤整列に非常に敏感であることが判明しているため、上記の二色性システムが好ましい場合がある。他の選択肢には、回折格子またはペリクルビームスプリッタの使用が含まれる。集束および平行／円柱構造光学系のための光束８０を設けてもよい。あるいは、フィルタホイール９０、偏光子９２、および／またはズームレンズ９４の装置もしくはアセンブリを、システムで使用することができる。また、角度（または円弧型）回転調整（検出器に対応する調整を伴うもの）およびインライン光学用部品が望ましい場合もある。

【００６６】

図１Ｃに示す実装では、レーザ１０からのビーム１２を、ビームスプリッタ７４によって二つの光路に分割することができる。ビームスプリッタ７４は、二つの光路間に不均等にビーム１２を分割し得る。例えば、ビーム１２のエネルギーの７０％を、第１の光路に沿って（例えば、ビーム１６として）向けることができ、ビーム１２のエネルギーの３０

％を、第２の光路に沿って（例えば、ビーム１８として）向けることができる。別の例として、ビーム１２のエネルギーの６０％を第１の光路に沿って向けることができ、ビーム１２のエネルギーの４０％を第２の光路に沿って向けることができる。さらに別の例として、ビーム１２のエネルギーの８０％を第１の光路に沿って向けることができ、ビーム１２のエネルギーの２０％を第２の光路に沿って向けることができる。このように、分割を不均等（例えば、７０～３０％、８０～２０％、６０～４０％もしくはその間の任意の範囲、例えば、６０～９０％を一の経路にかつ４０～１０％を別の経路に、また、これらの範囲外でも同様）とし、ポンプビームに電力の大半を、プローブビームにその残りを送信し得る。例えば、分割は、ポンプおよびプローブのそれぞれに対して、６０～７０％対４０～３０％、７０～８０％対３０～２０％、８０～９０％対２０～１０％、または９０～９９．９９９％対１０～０．００１％であり得る。異なる実施形態では、例えば、プローブビームは０．００１％～４９．９９％とし、一方、ポンプビームは５０．００１％～９９．９９９％とし得る。二つのビームの合計は、１００％またはそれに近い値にし得る。分割は、特性評価する特定の物質システムによって決まる場合もある。図１Ｃに示す例では、ビーム１２のビームエネルギーの５％は、第１の光路に沿って向けられ、ビーム１２のビームエネルギーの９５％は、第２の光路に沿って向けられる。

【００６７】

ビームスプリッタ７４は、誘電体ミラー、スプリッタキューブ、金属被覆ミラー、ペリクルミラーまたは導波路スプリッタを含むことができる。ビーム１２が光パルスを含む場合の実装では、ビームスプリッタ７４は、光パルスを広げないように二つの光路間にビーム１２を分割する、無視できる程度の分散の光学部品を含むことができる。図１Ｃに示されるように、各ビームは、様々なミラー要素７２を使用して方向転換または照準を合わせることができる。

【００６８】

検出器４０および／または光子計数システム４４からの出力は、電子装置４８に入力することができる。電子装置４８は、計算装置、コンピュータ、タブレット、マイクロコントローラまたはＦＰＧＡとすることができる。電子装置４８は、プロセッサ、処理用電子機器、制御用電子機器、処理／制御用電子機器、または一つもしくは複数のソフトウェアモジュールを実行するように構成され得る電子機器を含む。オペレーティングシステムを実行することに加えて、プロセッサは、ウェブブラウザ、電話アプリケーション、電子メールプログラム、または他の任意のソフトウェアアプリケーションを含む一つまたは複数のソフトウェアアプリケーションを実行するように構成され得る。電子装置４８は、本明細書で論じる方法を、例えば、ＲＡＭ、ＲＯＭ、ＥＥＰＲＯＭ、等のような機械可読非一時的記憶媒体に含まれる命令を実行することにより、実装できる。電子装置４８は、ユーザと対話するための表示装置および／またはグラフィックユーザインタフェースを含むことができる。電子装置４８は、ネットワークインタフェースを介して一つまたは複数の装置と通信することができる。ネットワークインタフェースは、例えば、有線イーサネット、ブルートゥース（登録商標）、または無線接続などの通信が可能な送信機、受信機、および／もしくはトランシーバを含むことができる。

【００６９】

他の選択肢に関しては、ＳＨＧ信号は、それを生成する反射ビームと比較して弱いので、ＳＨＧ計数の信号対ノイズ比を改善することが望ましい。光子計数システム４４の光子計数ゲート時間が、本明細書に記載の遮断および／または遅延プロセスのために減少するにつれて、改善がさらに重要になる。使用する可能性のあるノイズを低減する一つの方法は、光子計数器を積極的に冷却することである。これは、液体窒素やヘリウムなどの極低温流体、またはペルチェ装置を使用した固体冷却を使用して行うことができる。その他の改善分野には、シャッタースピードに関連するマルクスバンク回路（ＭＢＣ）の使用が含まれる可能性がある。さらに、システム１００は、生産ライン環境内のインラインに組み込むことができる。システム１００に先行するまたは後続の生産ライン要素には、エピタキシャル成長システム、リソグラフィおよび／または堆積（ＣＶＤ、ＰＶＤ、スパッタリ

ング、等）システムのいずれも含まれ得る。

【００７０】

さて、図２Ａ／２Ｂおよび３Ａ／３Ｂは、対象のポンプ／プローブシステムをそれらの方法で使用して得られる可能性があるＳＨＧ曲線の種類の例を示す概略図である。図２Ａおよび２Ｂでは、そのような信号を得るための時間スケールは、ミリ秒（10^{-3}秒）の程度である。したがって、これらは「高速」プロセスである。以下でさらに説明するように、既存の手法と比較して、時間的に数桁の改善が得られる可能性がある。例えば、ＳＨＧプローブ前に、テスト物質全面をＵＶ放射に露光可能なフラッシュランプにより、各点での持続的な測定が必要なくなる可能性があるので、全体的なスキャン時間が劇的に低減する。

【００７１】

具体的に、図２ＡのＳＨＧ信号２００は、初期強度２０２で測定されている。この信号は、プローブ源放射を表面位置に適用することにより生成される。ポンプ源放射を（オンしたままのプローブ放射に）与えられた時間差（Ｏ１）後に追加すると、信号強度が時間依存曲線２０４に沿ってより低いレベル２０６に降下する。逆に、図２ＢのＳＨＧ信号２００’は、プローブ放射のみにより生成されたより低いレベル２１２にあって、時間差（Ｏ２）後にポンプ放射を適用すると、時間依存曲線２１４に沿ってより高い平坦部２１６まで増加する。信号２００および２００’は、また、曲線の開始および終了時に時間に依存しない成分または部分を含む。

【００７２】

図２Ａおよび２Ｂの両観測結果は、対象システムの基板物質および異なるレーザ電力（例えば、この場合、ポンプ電力）に応じて、作製され得る。様々な実施形態において、電荷分離は、光子からの励起後に互いに分離する電子および正孔を含む。レーザの光子によってSiO_2伝導帯にシリコン価電子帯から注入された電子は、酸化物の表面上部に主に捕捉される。正孔の大部分は、Ｓｉ／SiO_2界面近傍のシリコン価電子帯の近くに凝集する。入射する放射または内部光電子放出からの励起による電荷キャリアのこの分離は、対象システム内に存在する電場に寄与し、これにより、測定されるＳＨＧが変化する。テスト位置での気体状酸素の存在、問題の試料の組成および構造などのさまざまな要因によって、図２Ａまたは２Ｂのような観測のいずれがなされるかが決まる。

【００７３】

実際に、信号２００および２００’の組み合わせが観測される例がある。それらの例では、信号強度が最初にピークから降下し、底に達し、再度漸近線まで上昇する。一般に、ＳＨＧ強度曲線は、非線形感受率テンソルによって決定され、当該テンソルは、分子配向、原子組成、電子構造、および外部場の影響を受ける。界面を横切って移動する電荷キャリアは、ＳＨＧ信号が発生する界面下位層の構造および電場の電荷状態を変化させる。界面全体の電荷キャリアのタイプ（正または負）、および界面全体の電場の初期状態に応じて、異なる時間依存曲線が観測される。検出されたＳＨＧ信号の強度は、スポットサイズ、平均レーザ電力、ピークレーザ電力などのさまざまな要因に依存し、システム１００は、約４００計数／秒～約７百万計数／秒の範囲の強度を有するＳＨＧ信号を検出するように構成することができる。本明細書に記載のポンプ／プローブシステムは、界面を横切って移動する電荷キャリアが飽和レベルに到達するのに必要な時間を短縮することができる。様々な実施形態において、界面を横切って移動する電荷キャリアが飽和レベルに到達するのに必要な時間は、本明細書に記載のポンプ／プローブシステムにおいて１ｍ秒～１０００秒とすることができる。界面を含む領域の電荷キャリア密度が飽和を下回ったとき、および界面を含む領域の電荷キャリア密度が飽和レベルに達したときに、ＳＨＧ信号の時間発展を取得することが有利である可能性があるため、システムは、ポンプ放射をオン／オフした後、約１μ秒以内にＳＨＧ信号測定値を取得するように構成することができる。例えば、システムは、ポンプ放射（またはプローブ放射）をオン／オフした後１０秒以内に、ポンプ放射をオン／オフした後約６秒以内に、ポンプ放射をオン／オフした後約１秒以内に、ポンプ放射をオフ／オンした後約１００ｍ秒以内に、もしくはポンプ放射をオフ

／オンした後約１ｍ秒以内に、ポンプ放射をオフ／オンした後約１μ秒以内に、ポンプ放射をオフ／オンした後約１ｎ秒以内に、またはこれらの値のいずれかによって形成される任意の範囲（例えば、１ｎ秒より大きい、１μ秒よりも大きい、１ｍ秒より大きい、期間等）内に、ならびにそれらの範囲外でも同様に、ＳＨＧ信号測定値を取得するように構成することができる。これらの値および範囲は、単一の点からデータを得るために適用されるが、適切な結像光学系を用いることにより、これをウエハの実質的な領域のウエハ全体まで拡大し、かつ一度に含むようにすることができる。上記の括弧で示すように、これらの値および範囲を、プローブ放射にも適用する。充電時間およびＳＨＧ信号の取得に必要な時間を短縮することで、界面のテストを高速化できるため、テストおよび／または製造生産ラインのスループットを向上させることができる。

【００７４】

比較のため、図３Ａおよび３Ｂは、既存のＳＨＧ技術のように、基板を調査するため放射源（この場合、高い平均電力および高いピーク電力レーザ）を一つのみ使用したときの、対応する物質についてのＳＨＧ信号曲線３００および３００’の概略図である。図３Ａおよび３ＢのＳＨＧ信号曲線３００および３００’を生成するための時間スケールは、数十から数百（10^2）秒の程度である。

【００７５】

そのような時間にわたって、これらの信号（図２Ａおよび２Ｂのような信号）は、初期の３０２および／または時間依存信号の後に特性評価できる下寄りおよび上寄りの平坦部３０６、３１６を含む。このように、類似（または同一）の分析を信号２００／２００’、および３００／３００’で実行することが可能であるが、主な違いは、対象のシステム（すなわち、より低いピーク電力フェムト秒プローブレーザを、物質の予備励起用のより高い平均電力ポンプと組み合わせて使用するもの）では、必要な信号情報を取得する際の時間的効率を大幅に向上できることである。さらに、対象の手法により、フィルタホイールまたは他の方法を使用せずに、時間に依存しないＳＨＧ測定値をより簡単に決定する方法を提供できる。

【００７６】

いずれの場合においても、図４は、注入キャリアエネルギーしきい値を決定する方法を示す。この場合、ポンプは、波長可変レーザを含む。これによって、ポンプから試料に入射してから経時的に光子の出力周波数（従って、Ｅ＝ｈνによるエネルギー）を高めることができる。観測されるＳＨＧ活性を、信号４００として示す。ポンプレーザをいわゆる適用または使用し、プローブレーザの適用により生成された初期ＳＨＧ信号レベル４０２について、信号が突然の変化（すなわち、４０４での変曲、不連続、最大、最小、階段関数、尖端、または勾配の急激な変化）をするまで観測する。この時点での周波数が、エネルギーしきい値に対応すると見なされる。様々な実装において、エネルギーしきい値は、一つの半導体物質の価電子帯から他の半導体物質の伝導帯に、例えば、二つの半導体物質、または半導体物質および誘電体物質（例えば、ＳｉおよびＳｉO_2、ＳｉおよびＳｉ$_3N_4$、ＳｉおよびＴａ$_2O_5$、ＳｉおよびＢａＴｉO_3、ＳｉおよびＢａＺｒO_3、ＳｉおよびＺｒO_2、ＳｉおよびＨｆO_2、ＳｉおよびＬａ$_2O_3$、ＳｉおよびＡｌ$_2O_3$、ＳｉおよびＹ$_2O_3$、ＳｉおよびＺｒＳｉO_4）など二つの物質間の界面を横切って電子を輸送するのに必要なエネルギーである。システム１００は、約１．０ｅＶ～約６．０ｅＶの範囲のエネルギーしきい値を測定するように構成することができる。本明細書に記載のシステムおよび方法は、例えば、二つの異なる半導体間、半導体および金属間、半導体および誘電体間などのような様々な界面のエネルギーしきい値を決定するように構成することができる。

【００７７】

図５は、ＳＨＧを用いて半導体装置を特性評価する方法の実装について説明するフローチャートである。様々なプロセスフロー経路を示す。そのような方法は全て、５０２の所望の場所に試料を位置決めすることから開始する可能性がある（例えば、通常は、ウエハ２０が固定された後のチャック３０を配置することによる）。プログレッシブ位置決め（

すなわち、再位置決め）は、さらに説明するように、任意のＳＨＧ検出イベント５２０の後に発生する可能性があり、試料の領域内の複数の表面位置もしくはすべての表面位置、または試料のすべての表面位置をスキャンするためである。あるいは、そのような動作を、検出したＳＨＧ信号に関して５４０で所与の決定をした後に起こし得る（「戻る」選択をいずれも点線で示す）。別の決定に関するさらなる詳細について、上記で参照した本出願の他の部分を参照して理解することができよう。いずれの場合も、試料の位置決めまたは再位置決めに続いて、特定のフロー経路を選択する（または、別のフロー経路を同一の表面位置で連続して実行して、異なるデータを生成することもできる）。

【００７８】

一つのプロセスフロー経路（実線部分）に従うと、５０４でプローブ源放射を、特定場所の試料表面に適用する。次に、５０６でポンプ源放射を適用する。この実施例では、ポンプ放射について、放射波長を減少させることによって（必要に応じて）光子エネルギーを線形に増加させるさまざまな方法で適用する。得られたＳＨＧを５２０で検出する。５４２で信号解析（図４の例に基づく）により、キャリア注入エネルギーしきい値を決定できる。様々な実装では、ポンプ放射のエネルギーは、半導体界面のエネルギーしきい値に対応し得る。したがって、ポンプ放射のエネルギーは、約１．０ｅＶ～約６．０ｅＶとし得る。例えば、ＳｉおよびＳｉO_2界面全体のエネルギーしきい値を決定するため、ポンプ放射のエネルギーしきい値を約４．１ｅＶ～約５．７ｅＶで変化させ得る。ポンプ放射のエネルギーの変化は、放射の周波数（または波長）を変化させることによって達成することができる。例えば、約３．２ｅＶのエネルギーしきい値の期待値を有する試料を調査するために、ポンプ放射の波長を約４４３ｎｍ～約３６５ｎｍで変化させることができる。さまざまな実装では、ポンプ放射の光子が２倍のエネルギーを有する電子を生成できるため（例えば、一つの電子が二つの光子を吸収する場合）、ポンプ放射のエネルギーは半導体界面のエネルギーしきい値を下回る可能性がある。このような実装では、充電時間を長くして、解像度および強度を向上させた観測が可能になる。充電時間の増加は、また、試料位置をテストするために必要な時間を増加させ、スループットを減少させ得る。

【００７９】

別のプロセスフロー経路（破線部分）に従うと、５０８でポンプ放射を基板に適用する。そのような適用は、直接調査する表面のみ（例えば、レーザによる）か、またはウエハの表面全体（例えば、フラッシュランプを使用する）に向けることができる。次に、５１０で、調査対象の試料の部分をプローブ源の放射に曝露する。得られたＳＨＧを５２０で検出する。本方法のポンプ－プローブ－検出の態様について、その後、潜在的に５０２で試料の再位置決め後、繰り返す可能性がある。しかし、図示のように、動作ボックス５０８を省略することができ、上記の例のように、基板全体を最初に放射に曝露する場合、再度のポンプを逐次スキャンプロセスから回避させ、または省略してよい。いずれの場合においても、５４４でＳＨＧに基づく種々の信号解析を行い、本出願の他の箇所で説明するように、ブロック５４２のエネルギーしきい値の決定以外の決定もできる。

【００８０】

別のプロセスフロー経路（一点鎖線部分）に従うと、５０４および５１０のプローブ放射を適用直後５２０のＳＨＧ信号データ収集をしながら５０８のポンプ放射の前後に５０４および５１０のプローブ調査を実行する。再び、本方法を再帰的に実行し、基板またはその一領域の全ての部分のような複数の位置をサンプルし、フローチャート要素５０２に戻り、再位置決め後、プローブ－検出－ポンプ－プローブ－検出の方法もしくはその一部を繰り返すことができる。

【００８１】

特に、ＳＨＧ信号分析の方法または方法の一部（一般的にボックス５４０および５４２に包含される）を、瞬時またはほぼ瞬時出力において行うようなリアルタイムに行うことができる。そうすることで、収集データによって決定される任意の分光学的特性を、マシン上か、または遠隔の統合ソフトウェアのいずれかによるソフトウェアパッケージによって計算することができる。あるいは、ＳＨＧ信号分析を、ＳＨＧデータの一部またはすべ

てを検出または収集後、後処理で処理し得る。
【００８２】
本明細書で説明するシステムおよび方法について、試料（例えば、半導体ウエハまたはその一部）を特性評価するために使用できる。例えば、本明細書に記載のシステムおよび方法を使用して、上記のように試料中の欠陥または汚染物質を検出できる。本明細書に記載のシステムおよび方法について、半導体ウエハの製造または生産中に試料を特性評価するように構成できる。したがって、システムおよび方法を、半導体製造施設の半導体製造ラインに沿って使用できる。本明細書に記載のシステムおよび方法を、半導体製造／生産ラインと統合できる。本明細書に記載のシステムおよび方法について、自動化されたウエハ処理機能を備えた半導体製造ラインに統合できる。例えば、システムには、フロントオープニングユニファイドポッド（ＦＯＵＰ）などのウエハカセットを受け入れる機器フロントエンドモジュール（ＥＦＥＭ）を取り付けることができる。これらのカセットのそれぞれを、人間のオペレーターによって、またはカセットを製造／生産ラインに沿ってプロセスからプロセスに移動させる自動カセット処理ロボットによって、それらの機械に配送できる。
【００８３】
様々な実施形態では、システムについて、カセットを一度ＥＦＥＭ上に取り付けると、ＦＯＵＰが開き、そしてロボットアームがＦＯＵＰから個々のウエハを選択しシステムに含まれる自動的に作動するドアを通って移動させ、遮光プロセスボックス、およびバイアス可能な真空チャックに入れるように構成できる。チャックは、試料をその上に置くことができるように、ロボットアームと補完し適合するように設計することができる。この過程のある時点で、ウエハをスキャナにかざして、固有のレーザ刻印を特定できる。
【００８４】
したがって、半導体製造／組み立てラインに統合されるように構成されたシステムは、ＦＯＵＰまたは他の種類のカセットからの自動ウエハ操作能力、上記のようなＥＦＥＭへの統合、ロボット操作と互換性を持つ方法で設計されたチャック、ロボットの棒／アームの動作が可能なように開閉する自動遮光ドア、およびウエハのロード／アンロードおよびウエハ識別のためＥＦＥＭに信号を出すソフトウェアを有することができる。
【００８５】
（第ＩＩ部）
図６Ａは、対象の方法に関して使用し得る第１のシステム２１００を示す。別のシステム２１００’および２１００’’を図６Ｂおよび６Ｃに示す。各システムには、真空チャック２０３０により保持された試料ウエハ２０２０に電磁放射の一次ビーム２０１２を向ける一次レーザ２０１０が含まれる。チャック２０３０は、ｘおよびｙステージ、ならびに必要に応じて、レーザが向けられる場所に対してウエハ全体の試料位置２０２２を位置決めするための回転ステージをも含むか、またはそれらのステージ上に設定される。検出器２０４０に向け反射された放射ビーム２０１４は、ＳＨＧ信号を含むであろう。検出器は、光電子増倍管、ＣＣＤカメラ、アバランシェ検出器、フォトダイオード検出器、ストリークカメラ、およびシリコン検出器のいずれであってもよい。試料位置２０２２は、一つまたは複数の層を含むことができる。試料位置２０２２は、少なくとも二つの層を含む複合基板を含むことができる。試料位置２０２２は、二つの異なる物質間（例えば、二つの異なる半導体物質間、不純物が異なる二つの半導体物質間、半導体および酸化物間、半導体および誘電体物質間、半導体および金属、または酸化物および金属間）の界面を含むことができる。
【００８６】
また、各実施形態の共通点は、一つまたは複数のシャッター型装置２０５０を含むことである。これらを、以下の方法に関連して説明するように使用する。使用するシャッターハードウェアの種類は、レーザ放射を遮断する、投棄する、または他の方法で試料位置から離れる方向に向ける時間枠に依存するであろう。
【００８７】

ポッケルスセルまたはカーセルなどの電子光学遮断装置を使用して、非常に短い遮断期間（つまり、切り替え時間が10^{-9}～10^{-12}秒程度の）を得ることができる。より長い遮断時間間隔（例えば、約10^{-5}秒以上）のためには、機械的シャッターまたはフライホイールのチョッパー型装置を用いる可能性がある。

【００８８】

しかし、電子光学遮断装置を使用すると、以下の方法に従って、より広範囲の物質をテストできるであろう。非常に短い時間間隔、通常、ピコ秒からマイクロ秒程度で離散的に開閉することができる光子計数システム２０４４を使用して、時間依存信号の計数を解決することができる。

【００８９】

ハードウェアについて、前述の方法をより高速な時間枠に押し込むよう企図している。すなわち、図６Ｃに示すように、システムには、遅延線ハードウェア２０６０を含めることができる。対応する数の時間遅延調査イベントのための複数の時間設定遅延線間のビーム分割および切り替え（またはシャッターのオン／オフ）が可能である。ただし、可変遅延線は、ポンプのパルス後すぐ（多くの方法では、わずか10^{-12}秒の遅延しか必要ない場合もあるけれども）から数十ナノ秒の時間枠まで、複数の過渡電荷減衰調査イベントに対して単一のソリューションを提供するため、好ましい可能性がある。より遅いキロヘルツの繰り返しレーザを使用する場合、望ましい遅延時間は、マイクロ秒領域に入る可能性さえある。そして、そのようなハードウェアは、対象の方法（方法およびそのようなハードウェアの両方とも、これまで知られていなかったと信じられている）を実行するのに独自に適するが、他の用途にも使用する可能性がある。

【００９０】

図６Ｃに示す実装では、レーザ２０１０からのビーム２０１２を、ビームスプリッタ２０７０によって二つの光路に分割することができる。ビームスプリッタ２０７０は、二つの光路間に不均等にビーム２０１２を分割し得る。例えば、ビーム２０１２のエネルギーの７０％を、第１の光路に沿って（例えば、ビーム２０１６として）向けることができ、ビーム２０１２のエネルギーの３０％を、第２の光路に沿って（例えば、ビーム２０１８として）向けることができる。別の例として、ビーム２０１２のエネルギーの６０％を第１の光路に沿って向けることができ、ビーム２０１２のエネルギーの４０％を第２の光路に沿って向けることができる。さらに別の例として、ビーム２０１２のエネルギーの８０％を第１の光路に沿って向けることができ、ビーム２０１２のエネルギーの２０％を第２の光路に沿って向けることができる。ビームスプリッタ２０７０は、誘電体ミラー、スプリッタキューブ、金属被覆ミラー、ペリクルミラーまたは導波路スプリッタを含むことができる。ビーム２０１２が光パルスを含む場合の実装では、ビームスプリッタ２０７０は、光パルスを広げないように二つの光路間にビーム２０１２を分割する、無視できる程度の分散の光学部品を含むことができる。図６Ｃに二重矢印で示すように、一次ビーム２０１２からビームスプリッタ２０７０によって取り出された調査ビーム２０１６の経路は、「ポンプ」ビーム２０１８に対する到着タイミングを相対的に変更するため延長または短縮することができ、各ビームは、様々なミラー要素２０７２を使用して方向転換または照準を合わせることが示されている。別の手法（上記）では、光学遅延成分および／または他の光学経路に光ファイバを使用する（例えば、米国特許第６８１９８４４号明細書に提示があり、そのような説明の全体を参照により本明細書に援用する）。

【００９１】

検出器２０４０および／または光子計数システム２０４４からの出力は、電子装置２０４８に入力することができる（例えば、図６Ａおよび６Ｂを参照のこと）。電子装置２０４８は、計算装置、コンピュータ、タブレット、マイクロコントローラまたはＦＰＧＡとすることができる。電子装置２０４８は、プロセッサ、処理電子機器、制御電子機器、処理／制御電子機器、または一つもしくは複数のソフトウェアモジュールを実行するように構成され得る電子機器を含む。オペレーティングシステムを実行することに加えて、プロセッサは、ウェブブラウザ、電話アプリケーション、電子メールプログラム、または他の

任意のソフトウェアアプリケーションを含む一つまたは複数のソフトウェアアプリケーションを実行するように構成され得る。電子装置２０４８は、本明細書で論じる方法を、例えば、ＲＡＭ、ＲＯＭ、ＥＥＰＲＯＭ、等のような機械可読非一時的記憶媒体に含まれる命令を実行することにより、実装できる。電子装置４８は、ユーザと対話するための表示装置および／またはグラフィックユーザインタフェースを含むことができる。電子装置２０４８は、ネットワークインタフェースを介して一つまたは複数の装置と通信することができる。ネットワークインタフェースは、有線または無線接続などの通信が可能な送信機、受信機、および／もしくはトランシーバを含むことができる。

【００９２】

システム２１００’’の別の潜在的な態様は、初期ビームスプリッタが動作する方法に関する。すなわち、分割を不均等（例えば、７０～３０％、８０～２０％、６０～４０％もしくはその間の任意の範囲、例えば、６０～９０％を一の経路にかつ４０～１０％を別の経路に、また、これらの範囲外でも同様）とし、ポンプビームに電力の大半を、プローブビームにその残りを送信し得る。例えば、分割は、ポンプおよびプローブのそれぞれに対して、６０～７０％対４０～３０％、７０～８０％対３０～２０％、８０～９０％対２０～１０％、または９０～９９．９９９％対１０～０．００１％であり得る。異なる実施形態では、例えば、プローブビームは０．００１％～４９．９９％とし、一方、ポンプビームは５０．００１％～９９．９９９％とし得る。二つのビームの合計は、１００％またはそれに近い値にし得る。分割は、特性評価する特定の物質システムによって決まる場合もある。そのようにする価値は（少なくとも部分的には）、以下に説明するように、物質の充電に続くＳＨＧ調査に関与する電力を望ましくは低減または最小化する、図１０および１１に示すような方法を容易にするのを補助し得ることである。さらに別の側面として、ポンプビームおよびプローブビームを異なる角度で採り入れることである。このような手法により、ポンプおよびプローブのＳＨＧ応答を別々に測定することが容易になる。そのような場合、二つの検出器を、各反射ビーム経路に対して一つ使用すると有利な場合がある。

【００９３】

示した実施形態は、様々な他の任意の光学系によって、区別される。例えば、実施例２１００および２１００’は、レーザ２０１０から直接に反射された放射と同軸のＳＨＧ信号を選択的に通過させる二色性反射もしくは屈折フィルタ２０８０を含むことを示す。あるいは、プリズムを使用して、より弱いＳＨＧ信号を、何桁もより強い反射一次ビームから区別する可能性がある。しかし、プリズムを使用する手法は誤整列に非常に敏感であることが判明しているため、上記の二色性システムが好ましい場合がある。他の選択肢には、回折格子またはペリクルビームスプリッタの使用が含まれる。システム２１００に示すように、集束および平行／円柱構造光学系のための光束２０８２を設けてもよい。システム２１００’に示すように、フィルタホイール２０８４、ズームレンズ２０８６、および／または偏光子２０８８をシステムで使用してもよい。また、システム２１００’に示すように、角度（または円弧型）回転調整（検出器に対応する調整を伴うもの）およびインライン光学用部品が望ましい場合もある。また、追加の放射源２０９０（指向性ビーム２０９２を放出する図示のレーザであれ、発散するもしくは光学的に平行な、または集束したパルス２０９４を放出するＵＶフラッシュランプであれ）をシステムに組み込んで、２０１４年４月１７日出願の米国仮出願第６１／９８０８６０号明細書「ウエハ計測技術」の第Ｉ節「ポンプおよびプローブ型ＳＨＧ計測」に関連し上記で参照したような特徴、および／または以下の方法における初期充電／飽和を提供してもよい。

【００９４】

これらのシステムでは、レーザ２０１０は、約７００ｎｍ～約２０００ｎｍの波長範囲で約１０ｋＷ～１ＧＷのピーク電力を有するものの、平均で約１００ｍＷ未満の電力を供給し得る。様々な実施形態では、１０ｍＷ～１０Ｗの平均電力で十分であろう。追加の光源２０９０（別のレーザであれ、またはフラッシュランプであれ）は、約８０ｎｍ～約８００ｎｍの波長範囲で約１０ｍＷ～１０Ｗの平均電力を供給して動作し得る。しかし、上

記の範囲外の値も可能である。

【００９５】

他のシステムの選択肢に関しては、ＳＨＧ信号は、それを生成する反射ビームと比較して弱いので、ＳＨＧ計数の信号対ノイズ比を改善することが望ましい。光子計数ゲート時間が、本明細書に記載の遮断および／または遅延プロセスのために減少するにつれて、改善がさらに有用になる。使用する可能性のあるノイズを低減する一つの方法は、検出器を積極的に冷却することである。冷却により、熱ノイズのためランダムに発生する光子の誤検出を低減できる。これは、液体窒素やヘリウムなどの極低温流体、またはペルチェ装置を使用した固体冷却を使用して行うことができる。その他の改善分野には、シャッタースピードに関連するマルクスバンク回路（ＭＢＣ）の使用が含まれる可能性がある。

【００９６】

これらの改善を、図６Ａ～６Ｃの任意のシステムに適用し得る。同様に、システム２１００および２１００’に関連する上記の機能のいずれかまたは全てを、システム２１００’’に組み込んでよい。実際、すべてのシステム間で機能または部品を組み合わせることを企図している。

【００９７】

対象の方法を実行するこのようなシステムを用い、これまで不可能だった種々の決定を、レーザ遮断および／または遅延に関する技術を利用して行うことができる。図７は、そのような可能性を表すプロセスマップまたは決定ツリー２２００を示す。すなわち、いわゆる検出される問題２２１０について、欠陥（結合ボイド、もしくは転位、結晶起源粒子（ＣＯＰ）等の拡張欠陥）、および汚染物質（例えば点欠陥への銅もしくは他の金属の混入またはそれらのクラスター形態）間の解析ができる。欠陥に関して、欠陥の種類２２２２および／または欠陥の定量化２２２４（例えば、密度または程度）の決定が可能である。汚染物質に関して、汚染物質の種または種類２２３２および／または汚染物質の定量化２２３４の決定が可能である。欠陥および汚染物質間のそのような解析および種の識別について、電荷キャリアの寿命、トラップエネルギー、トラップ捕獲断面積および／またはトラップ密度を決定し、次にこれらをルックアップテーブルもしくはデータベースの値と比較することに関係して実行し得る。基本的に、これらのテーブルまたはデータベースには、対象の方法によって特性評価されるような物質の性質のリストが含まれ、次に、指定した性質を、特定の欠陥または汚染物質に対応するテーブルもしくはデータベースの入力と照合する。

【００９８】

トラップ捕獲断面積およびトラップ密度を、必要に応じて、検出した充電速度に関連して、観測し得る。電荷キャリアの寿命およびトラップエネルギーの決定についてＩ．Ｌｕｎｄｓｔｒｏｍの業績に基づく次式が、指針を提供する。

【数２】

$$\tau = \tau_0 \exp\left\{\frac{4}{3\hbar}\sqrt{2em^*_{ox}}\left[\phi_T^{3/2} - (\phi_T - E_{ox}d_T)^{3/2}\right]/E_{ox}\right\}$$

ここで、τは、トラップ放電のトンネル機構のためのトンネル時定数、Φ_rはトラップエネルギーを表し、E_{ox}は界面での電場の強さを示し、残りの式の変数および状況は、Ｉ．Ｌｕｎｄｓｔｒｏｍ著、ＪＡＰ、ｖ．４３、ｎ．１２、ｐ．５０４５，１９７２、に記載があり、その主題の全体を参照により援用する。

【００９９】

いずれの場合でも、調査対象試料から得た減衰曲線データを使用して、物理モデルおよび関連する数学を利用することにより、トラップエネルギーおよび電荷キャリア寿命のパラメータを決定できる。図８Ａおよび８Ｂに示されているような曲線２３００、２３００’の代表的な組を、上記の式から計算することができる（図８Ｂは、図８Ａのデータの一

部を強調表示または拡大したものである）。

【０１００】

これらの曲線は、時定数（縦軸）および誘電体厚（横軸）との関係を、異なるトラップまたは障壁エネルギーについて示す。縦軸は、ナノ秒（１Ｅ－９秒）まで小さくなる超高速時間スケールを含む。横軸は、トンネル距離（または誘電体厚、本例では両方の用語は概して同等）である。異なる曲線は、定常障壁エネルギーの線である。例えば、図８Ｂでは、リストにある障壁エネルギー０．７ｅＶのエネルギー深さのトラップに捕捉された電子は、誘電体の厚さが４０オングストローム（Å）の場合、約１Ｅ－５秒のデトラップ時定数を示す。

【０１０１】

ポアソン／輸送ソルバを用いたさらなるモデル化を行うことができ、ＭＯＳのような構造およびより新奇な装置のトラップ密度を電荷キャリア寿命および公知のトラップエネルギーを使用して決定できる。具体的には、フェムト秒の光パルスによる光注入電流により、誘電体伝導帯に到達する電荷キャリアのバーストを誘導する。この電流の平均値は、その領域のキャリア濃度および寿命に関連づけることができる。界面全体の電場は、ＳＨＧがこれらの現象を測定するための代理になる。

【０１０２】

図８Ａのプロットにおいて、２０Åの酸化物は、約３ｅＶのエネルギーを有するトラップに対して１ｍ秒の放電時定数を有することが観測できる（破線を参照）。対象のシステムでの使用例に当該プロットを関連付けるため、レーザ励起を遮断後、２０Åの酸化物を調査すると仮定する。図８Ｂに示すように（強調表示の箱を参照）、結果は１μ秒から約１ｍ秒までの観測可能な電流となり、その後すべての電流は消滅する。

【０１０３】

本出願で論じる減衰曲線は、異なるエネルギーおよび異なる緩和／再結合時定数を有するトラップからの複数プロセス（例えば、電荷緩和、電荷再結合、等）の結果物であり得る。それにもかかわらず、様々な実施形態では、減衰曲線を、一般的に、指数関数ｆ（ｔ）＝Ａｅｘｐ（－λｔ）＋Ｂと表せる。ここで、Ａは減衰振幅、Ｂは基準オフセット定数、およびλは減衰定数である。この一般的な指数関数を使用して、実験的に得られた減衰データ曲線から「減衰の程度」を概算することができる。様々な実施形態において、半減期$t_{1/2}$、平均寿命τ、および減衰定数λを使用して、減衰曲線（実験的またはシミュレーションによって得られる）の減衰の程度を特性評価することが可能である。例えば、パラメータＡ、Ｂ、およびλは、以下で説明するように、実験的に取得した減衰データ点から取得できる。平均寿命τは、その後、定性的に部分または完全崩壊と呼ぶものについて基準を設定する方法としての放射性崩壊の理論を利用して、Ａ、Ｂ、およびλから計算することができる。例えば、いくつかの実施形態では、τを、式（$t_{1/2}$）／（ｌｎ（２））で与えることができる。

【０１０４】

様々な実装において、充電状態は、平均寿命τの３倍の期間後に完全に減衰したと考えることができ、それは完全飽和から～９５％の減衰に対応する。部分減衰は、特平均寿命τのある特定の倍数が経過した後の信号で表すことができる。

【０１０５】

動作において、システムは、少なくとも部分的には、対象の方法に基づいて、ウエハの一部（例えば、ダイサイズ部分）またはウエハ全体の、一点ごとに、パラメータ（例えば、キャリア寿命、トラップエネルギー、トラップ断面積、電荷キャリア密度、トラップ電荷密度、キャリア注入エネルギーしきい値、電荷キャリア寿命、電荷蓄積時間、等）を決定する。ウエハ全体（物質、表面積、および必要なスキャン密度に応じて）を、多くの場合、約１０分未満でスキャンでき、これらのパラメータをスキャンした各点に対して決定できる。様々な実施形態で、ウエハの一つの場所を、約１００ｍ秒～約３秒の時間間隔でスキャンすることができる。例えば、ウエハの一つの場所を約９５０ｍ秒でスキャンできる。

【０１０６】
決定したパラメータの空間的分布を含む行列データについて、各パラメータの定量的検査、フィードバック、および報告の手段として、個々に色分けされたヒートマップまたは等高線マップにプロットすることができる。図９は、そのようなマップ２４００を示す。それは、欠陥２４０２が描写される可能性がある方法を示す。図７のさらに洗練した対象事項について、いずれの表示も可能である。定量的なデータが一度得られれば、そのような出力を提供することは、単なるプロットプログラム／スクリプトのコードを変更するだけの問題である。

【０１０７】
そのような情報および／または他の情報について、以下の処理をして、コンピュータモニタもしくは専用システム・ディスプレイに表示することができ、および／または、後の分析で参照または使用するためにデジタルメディア上に記録することができる。加えて、各ウエハの空間分布について、層の厚さのばらつきを補正するために、偏光解析データを参照し相互相関させ、かつ、例えば、全反射Ｘ線蛍光（ＴＸＲＦ）、飛行時間二次イオン質量分析（ＴＯＦ－ＳＩＭＳ）などで得た独立した汚染特性データと相互較正させることができる。次に、これらの初期または修正された空間分布を、仕様の範囲内であることがわかっているウエハの空間分布と比較して、問題の試料にさらなるテストが必要な欠陥または問題のある特徴があるかどうかを判断できる。しかしながら、一般に、低コストのＳＨＧ、および本明細書の他の方法であってＴＸＲＦ等のような遅くて高価な直接法を用いてまたはそれに対して較正されたものを使用することが望ましい。

【０１０８】
人間の決定は、当初、どんなウエハを許容しまたは不満足とするかの基準を決定する際に、ツールが正しく較正されウエハに自律的にフラグを立てることができるようになるまで、使用する可能性がある（例えば、生成されたヒートマップ２４００検査において）。工場内の十分に特性評価したプロセスの場合、人間の決定が唯一必要となるのは、フラグの立ったウエハの特性に基づいて、歩留まりに関するシステム的な問題の根本原因を特定するためであろう。

【０１０９】
どのように実装しても、図１０は、本明細書の第１の方法の実施形態を説明するプロット２５００を提供し、このような決定を行う際に使用することができる。この方法は、以下で説明および図示する他の方法と同様に、調査レーザを一定期間開閉する複数のシャッター遮断イベントを用いてＳＨＧ応答を特性評価することに依拠する。

【０１１０】
この第１の例では、調査すべき試料の部分を飽和する（通常は、レーザにより）まで充電する。この例では、ポンプビームおよびプローブビームとして生成するために単一の光源を使用するが、他の実施形態では、別々のポンプおよびプローブ光源を使用することができる。その間、ＳＨＧ信号を監視することができる。飽和レベルは、物質の特性評価および／または充電に関連するＳＨＧ信号強度（I_{ch}）の漸近的挙動の観測によって知ることができる。飽和に達すると（またはその後）、レーザ（ポンプビーム）からの電磁放射を、試料部分から遮断する。レーザ（プローブビーム）を、選択した期間（t_{bl1}）開閉する。開閉が停止した後、表面を露光するレーザ（プローブビーム）を使用してＳＨＧ強度測定（I_{dch1}）を行い、最初の放電点での電荷の減衰を観測する。再び、物質部分を一定期間（t_{ch}）にわたって飽和状態に充電（ポンプビームを使用）した後、第２の遮断イベントを第１の遮断イベントとは異なる時間（t_{bl2}）発生させ、複合減衰曲線に沿った別の点を特定する。レーザ（プローブビーム）の遮断を解除すると、ＳＨＧ信号強度（I_{dch2}）を再度測定する。この減少した信号は、第２の開閉イベントまたは遮断間隔での電荷の減衰を示す。レーザ（ポンプビーム）によって再び飽和状態に充電すると、第３の異なる時間の遮断イベント（t_{bl3}）が続き、その後ＳＨＧ調査および信号強度測定（I_{dch3}）を行うことによって、ＳＨＧ強度に関連した電荷減衰の第３の測定を行う。

【０１１１】
上記の例では、試料を飽和レベルに充電するが、他の例では、試料を飽和以下の充電レベルに充電してよい。上記の例では、三つの遮断時間t_{bl1}、t_{bl2}、およびt_{bl3}は異なるが、他の例では、三つの遮断時間t_{bl1}、t_{bl2}、およびt_{bl3}を同じにしてよい。様々な例において、試料を最初にある充電レベルまで充電でき、ＳＨＧ強度測定値（I_{dch1}）、（I_{dch2}）および（I_{dch3}）を、最初の充電イベント後の異なる時間間隔で取得できる。
【０１１２】
上記を参照すると、この三点（I_{dch1}、I_{dch2}およびI_{dch3}に対応する）を、複合電荷減衰曲線を構築するために使用できる。それを、本明細書では、その構成要素が複数の関連する事象に由来するという意味で、「複合」曲線と呼ぶ。そして、さらに繰り返して（異なる開閉時間を使用してより多くの減衰曲線データ点を生成する可能性、または確実性を確認するため、および／もしくは選択された点の測定から誤差を取り除くため同一関係のタイミングを使用する可能性がある）行い、四つまたはより多くの遮断後検出というサイクルを使用する可能性があるが、そのようなサイクルをわずか二回のみ使用する可能性があることに注意する必要がある。減衰関連データの一点は、意味のある減衰曲線の特性評価を提供しないが、曲線をモデル化または外挿して特定の線を定義する二点は、有用性を提供し、指数関数減衰フィッティングのための三つ以上の点は、より良い精度で近似値を生成する。別の言い方をすれば、任意の簡単な減衰運動は（例えば、分散型輸送物理学で延長されなければ）次のような一般式を有する。Ｍｅａｓｕｒａｂｌｅ（ｔ）＝M_0＊ＥＸＰ（－ｔ／ｔａｕ）。そこで、二つの未知パラメータＭ０およびｔａｕを求めるために、単純な運動学を仮定すると、少なくとも２点が必要である。分散（すなわち、非線形）運動では、ｎ点を測定しその近似の次数に適したモデルを適用する場合、（ｎ－１）次の補正パラメータを抽出するためできるだけ多くの点を測定することが望ましい。また、その測定値の組について、特定の種類の欠陥に割り当てるｔａｕに関し実に実用的かつ正確となるように、さまざまな電場（Ｅ）に対して測定する。
【０１１３】
上記方法では、いくつかの時点で測定値を得ることにより、パラメータ対時間（例えば、界面リーク電流または占有トラップ密度対時間）の運動曲線を提供することができる。時定数（τ）を、パラメータ対時間の運動曲線から抽出できる。時定数は、特定の種類の欠陥の時定数特性に起因する可能性がある。
【０１１４】
いずれの場合においても、減衰に依存するデータ取得の前に、調査（またはプローブ）レーザで物質を飽和させながらＳＨＧデータ取得を行ってもよい。しかし、充電は必ずしも飽和状態になるとは限らない（例えば、上記の注意のように）。充電レーザの遮断前に必要な測定をしないだろう。さらに、充電は必ずしも調査／プローブレーザを用いて行うとも限らない（例えば、任意選択の、上記引用したポンプ／プローブレーザ方法論を参照のこと）。
【０１１５】
それとは関係なく、一つの試料位置での対象テスト後、試料物質を、通常、同一の（または類似の）テストのため別の部分に場所を移動、または一定移動する。このようにして、試料物質の複数の部分またはすべての部分であっても、上記のようにウエハ全体をスキャンする際に調査および定量化することができる。
【０１１６】
図１１およびプロット２６００は、スキャンにより電荷減衰関連データを取得するための代替（または補完手法）例を示す。この方法では、最初に飽和状態に充電した後、複数の遮断時間間隔（t_{bl1}、t_{bl2}、t_{bl3}）にわたる連続（または少なくとも半連続）放電について、異なるＳＨＧ強度（I_{dch1}、I_{dch2}、I_{dch3}）を測定する調査またはプローブレーザからのレーザパルスによって調査する。調査／プローブレーザからのレーザパルスの強度および／または周波数を、調査／プローブレーザの平均電力

について遮断時間間隔間に妥当なＳＨＧ信号を得つつ物質の再充電を回避するため低減する、ように選択する。そうするため、わずかに１～３個のレーザパルスを適用することもあり得る。そのように（数および／または電力において）低減するので、調査またはプローブレーザパルスから惹起される物質励起は、無視するか、または較正および／もしくはモデル化時の配慮により考慮することができる。

【０１１７】

様々な実施形態では、別個のポンプ源を、充電のために使用することができる。しかし、いくつかの実施形態では、プローブビームを使用して試料を充電することができる。

【０１１８】

いずれの場合においても、パルス間の遅延について、同一もしくは予想される過渡電荷減衰プロファイルまたは他の実用的な理由を考慮して調整できる。同様に、遅延を「開閉」または「遮断」の点から説明したが、図６Ｃに関連して上記で論じたように、遅延について、一つまたは複数の光学遅延線を使用して生成し得ることを理解すべきである。さらに、図１０に関連して論じた遮断／開閉についても同じことが当てはまり得る。

【０１１９】

また、上記のように、図１１について、遮断回数もしくは遅延時間またはイベントに種々の変更を加えて実施することができる。また、ＳＨＧ信号を、飽和までの充電している間に測定する場合としない場合がある。いずれの場合でも、図１１の方法を、最終的な開閉期間でＳＨＧ信号が０になるように（図示の通り）実施することができる。これを確認するには、同じ位置で充電強度（I_{ch}）を測定するモードでこの方法を繰り返すか、または単に、飽和状態まで（再）充電する際にＳＨＧ信号を観測する。

【０１２０】

図１２Ａ～１２Ｅは、対象ハードウェアを使用して減衰に関連するデータ点を得る方法に関して有益である。図１２Ａでは、一連のレーザパルス２７０２であって、その中間または交互のパルスが、所謂「パルスピッキング」手法の遮断ハードウェア（例えば、上述したような）によって遮断された図２７００を示す。与えられた時間間隔にわたって、個々のパルスを通過させ（実線で示す）、他のパルスを遮断する（破線で示す）ことが可能である。

【０１２１】

図１２Ｂは、ＳＨＧ調査のための遮断技術の分解能について、プローブレーザの繰り返し（ＲＥＰ）により制限することができる方法を示す図２７１０を提供する。具体的に、減衰曲線２７１２のような減衰曲線を呈するとき、図１２Ａと同一時間スケールで動作するように示したレーザパルスを使用して、パルスを交互に遮断することで時間遅延プロファイルを分解することが可能である。ただし、より短い曲線２７１４は、このような状況下で分解または観測することができない。そのため、光学遅延段を使用すると、さらに有効である。

【０１２２】

次に、図１２Ｃの図２７２０は、試料の充電に関連する基準時に対する遮断および遅延導入により、レーザの繰り返し速度に対する曲線の減衰時間に関して、有用な重複領域を提供できる方法を（グラフィカルおよびテキストで）示す。また、遅延段のみにより減衰曲線の調査が可能な短い時間範囲、ならびにポンプおよび／またはプローブビームの遮断のみが実用的なより長い時間範囲がいかに存在するか、についても示す。

【０１２３】

図１２Ｄおよび１２Ｅは、さらに、遮断／遅延を組み合わせた装置の効用を示す。図２７３０は、個々のレーザパルス２７０２によって生成されるＳＨＧ信号の例を示す。遅延段のみを使用すると、そのような各パルス間の範囲（Ｘ）のみについて、光学遅延を変化させることによって調査し得る。対照的に、範囲（Ｙ）にわたる追加の使用を、遅延段、およびチョッパー、シャッター、もしくは変調器などの遮断またはシャッター手段を組み合わせたシステムで達成し得る。図２７４０に示すように、このようなシステムにより、１～数パルス時間の範囲の減衰曲線（および関連する時定数）を測定できる。

【０１２４】
図１３は、本明細書の第３の方法の実施形態を示す図２８００を提供する。この実施形態は、図１１と、以下の点を除いて類似する。つまり、その放電電流（J_{dch1}、J_{dch2}、J_{dch3}）について、物質をレーザで充電（必要に応じてそのＳＨＧ強度（I_{ch}）信号を監視もしくは捕捉する）または他の電磁放射源で充電してから試料へのレーザ適用を遮断もしくは他の方法で停止することによって、放電を可能にした後の時間間隔（例えば、基本的に、線形時間に対するログ時間スケールに従う、$t_i = t_0$、$2t_0$、$3t_0$、$7t_0$、$10t_0$、$20t_0$、$30t_0$、$70t_0$、ここで、t_0は、約10^{-6}秒または10^{-3}秒のスケールパラメータであって、測定が開始された時刻）に測定することを除いて、類似する。この手法により、基板内のｅ－ｈプラズマが減衰した後、放電電流が見られ始める瞬間によって、基板内の移動キャリア寿命を推定できるため、ウエハの重要な物理的パラメータが得られる。そして、キャリア寿命を決定した後、電流の放電について、放電された電荷をＳＨＧ計測から得たのと同じ方法で、その時間依存性（つまり、電荷減衰に関する運動学）を解釈できる。

【０１２５】
様々な実施形態を使用して、ある範囲の値の（減衰などの）時定数を測定することができる。例えば、時定数は、０．１フェムト（ｆ）秒～１ｆ秒、１ｆ秒～１０ｆ秒、１０ｆ秒～１００ｆ秒、１００ｆ秒～１ピコ（ｐ）秒、１ｐ秒～１０ｐ秒、１０ｐ秒～１００ｐ秒、１００ｐ秒～１ナノ（ｎ）秒、１ｎ秒～１０ｎ秒、１０ｎ秒～１００ｎ秒、１００ｎ秒～１マイクロ（μ）秒、１μ秒～１００μ秒、１００μ秒～１ミリ（ｍ）秒、１ｍ秒～１００ｍ秒、１００ｍ秒～１秒、１秒～１０秒、もしくは１０秒～１００秒の間、またはそれ以上もしくはそれ以下の範囲となり得る。同様に、例えば、プローブおよびポンプ（またはポンプおよびプローブ）間の時間遅延（Δ）は、例えば、０．１ｆ秒～１ｆ秒、１ｆ秒～１０ｆ秒、１０ｆ秒～１００ｆ秒、１００ｆ秒～１ピコ（ｐ）秒、１ｐ秒～１０ｐ秒、１０ｐ秒～１００ｐ秒、１００ｐ秒～１ナノ（ｎ）秒、１ｎ秒～１０ｎ秒、１０ｎ秒～１００ｎ秒、１００ｎ秒～１マイクロ（μ）秒、１μ秒～１００μ秒、１００μ秒～１ミリ（ｍ）秒、１ｍ秒～１００ｍ秒、１００ｍ秒～１秒、１秒～１０秒、もしくは１０秒～１００秒の間となり得る。これらの範囲外の値もあり得る。

【０１２６】
様々な物理的手法を使って、図１３の方法の実行に最適なシステムを提供できる。特に、当該方法を上記のように変形する可能性がある。そのような手法の二つについて、図１４Ａおよび１４Ｂに示す。

【０１２７】
システム２９００および２９００’は、ゲート電極２９１０および２９２０を使用し、それぞれは可視光領域で透明な導電性物質からなる。そのような電極は、検査対象ウエハ２０２０に接触する可能性があるが、それらは最小距離だけ離れる可能性もあり、必ず接触するというわけではない。さまざまな実装において、誘電体の電場を、静電容量－電圧曲線（ＣＶ曲線）のＡＣ測定を使用して電極－誘電体－基板構造パラメータを抽出することによって推定できる。ＣＶ曲線測定は、対象のツールに物質試料を接続し、市販の標準ＣＶ測定装置を使用して実行できる（例えば、電圧印加により、誘電体に約０．１ＭＶ／ｃｍ～約５ＭＶ／ｃｍの電場を提供できる）。ウエハを、電気的基板接点が提供される導電チャック２０３０上に保持すればよい。ゲート電極の別の代替構造として、１０～３０Åの厚さのガラス上の極薄のＡｕ膜またはＡｌ膜があり、薄い半透明の金属層による一部の光子の吸収により感度が低下する可能性がある。

【０１２８】
しかし、電極２９１０および２９２０は、吸収の問題を呈さない（もっとも、較正によって解決できるかさもなければシステム内で考慮し得る、屈折に基づく考察は生じるかも知れないが）。これらの電極は、電気的接点２９３２に接続されたＺｎＯ、ＳｎＯなどの物質で作られた透明な導体ゲート層２９３０を含み得る。反射防止上層コート２９３４を構造に含んでよい。ゲート層２９３０を、図示のように、厚さ（D_{gc}）の誘電体（Ｓｉ

O_2）で作られた透明キャリア２９３６上に設置し得る。様々な実施形態では、透明キャリアは、非接触電極用のゲートとして使用する絶縁体を含み、当該非接触電極は、２０１４年４月１７日出願の米国仮出願第６１／９８０８６０号明細書「ウエハ計測技術」の第ＩＶ節「電場バイアスＳＨＧ技術」に記載されたものと同様の電気的測定を行うために、例えば、容量結合を使用することができる。ウエハを入射レーザ放射から充電すると、その一つまたは複数の界面の両端にかかる電場が変化し、ウエハの層は、平板コンデンサと同様に、電極内のプレートと容量結合することになる。電極の充電には、電流として測定される電荷キャリアの移動が伴う。

【０１２９】

D_{gc}について、非侵襲的手法を用いて、半導体基板上のＣＶ曲線を測定することによって較正し、印加電圧が既知の場合、電場（Ｅ）の計算に使用するであろう。ゲートおよび試料間の間隙距離が無視できる場合は、エアギャップの可能性がある。あるいは、電極は、エアギャップまたは誘電体によって分離されるのではなく、試料と直接接触する可能性もある。したがって、通常のＣＶまたはＩＶ測定を、様々な実施形態で実行し得る。

【０１３０】

あるいは水およびSiO_2間の屈折率が接近しているので、間隙を脱イオン水で充填すると、悪影響（または少なくとも対処することができないもの）がなく、境界層の反射を低減するのに有用な場合がある。脱イオン（またはクリーンルーム級の）水は、電気的に敏感で化学的に純粋な基板ウエハの周囲の清浄度を維持できる。脱イオン水は、実際、通常の水よりも導電性が低い。

【０１３１】

図１４Ｂに、キャリアまたはゲートホルダー２９３８の構成に差を有する関連の構造を示す。ここでは、それをリングとして構成し、ＭＥＭＳ技術を使用して、中央をエッチングし電極の周囲に物質を突出するように残すことによって、最適に形成する。しかし、いずれにせよ、レーザおよびＳＨＧ放射が通過する必要がある大きな空き区域のため、同区域を上記のようにＤＩ水で満たすことが特に望ましい場合がある。

【０１３２】

それとは関係なく、電極２９１０、２９２０の全体構造において、各実施形態は、通常、使用中の物質の励起放射線に対して静止しているであろう。使用の前後に、電極構造を、ロボットアームまたは運搬装置（図示せず）によって収納し得る。

【０１３３】

上記の通り、様々な実施形態の電極について、電流の測定などの電気的測定を実行するためウエハに直接接触する。しかしながら、例えば、試料と容量的に結合した電極を使用するなど、電流を測定する非接触の方法も使用できる。

【０１３４】

本明細書で説明するシステムおよび方法について、試料（例えば、半導体ウエハまたはその一部）を特性評価するために使用できる。例えば、本明細書に記載のシステムおよび方法を使用して、上記のように試料中の欠陥または汚染物質を検出できる。本明細書に記載のシステムおよび方法について、半導体ウエハの製造または生産中に試料を特性評価するように構成できる。したがって、システムおよび方法を、半導体製造施設の半導体製造ラインに沿って使用できる。本明細書に記載のシステムおよび方法を、半導体製造／生産ラインと統合できる。本明細書に記載のシステムおよび方法について、自動化されたウエハ処理機能を備えた半導体製造ラインに統合できる。例えば、システムには、フロントオープニングユニファイドポッド（ＦＯＵＰ）などのウエハカセットを受け入れる機器フロントエンドモジュール（ＥＦＥＭ）を取り付けることができる。これらのカセットのそれぞれを、人間のオペレーターによって、またはカセットを製造／生産ラインに沿ってプロセスからプロセスに移動する自動カセット処理ロボットによって、それらの機械に配送できる。

【０１３５】

様々な実施形態では、システムについて、カセットを一度ＥＦＥＭ上に取り付けると、

ＦＯＵＰが開き、そしてロボットアームがＦＯＵＰから個々のウエハを選択しシステムに含まれる自動的に作動するドアを通って移動させ、遮光プロセスボックス、およびバイアス可能な真空チャックに入れるように構成できる。チャックは、試料をその上に置くことができるように、ロボットアームと補完し適合するように設計することができる。この過程のある時点で、ウエハをスキャナにかざして、固有のレーザ刻印を特定できる。

【０１３６】

したがって、半導体製造／組み立てラインに統合されるように構成されたシステムは、ＦＯＵＰまたは他の種類のカセットからの自動ウエハ操作能力、上記のようなＥＦＥＭへの統合、ロボット操作と互換性を持つ方法で設計されたチャック、ロボットの棒／アームの動作が可能なように開閉する自動遮光ドア、およびウエハのロード／アンロードおよびウエハ識別のためＥＦＥＭに信号を出すソフトウェアを有することができる。

【０１３７】

（第ＩＩＩ部）

図１５Ａおよび１５Ｂは、対象のシステムおよび方法で使用するために適したハードウェアを示す。これについては、２０１４年４月１７日出願の米国仮出願第６１／９８０８６０号明細書「ウエハ計測技術」の第Ｉ節「ポンプおよびプローブ型ＳＨＧ計測」に詳述がある。他のシステムおよび方法の選択肢には、２０１４年４月１７日出願の米国仮出願第６１／９８０８６０号明細書「ウエハ計測技術」の第ＩＩ節「電荷減衰測定のシステムおよび方法」に詳述があるように、例えば、中間光学系、光学遅延線および必要に応じた電極機能に関するものが含まれる。

【０１３８】

図示のように、システム３０００には、真空チャック３０３０により保持された試料ウエハ３０２０に電磁放射の調査ビーム３０１２を向ける一次またはプローブレーザ３０１０が含まれる。図１５Ｂに示すように、チャック３０３０は、ｘおよびｙステージ、ならびに必要に応じて、レーザが向けられる場所に対してウエハ全体の試料位置３０２２を位置決めするための回転ステージをも含むか、またはそれらのステージ上に設定される。ｘｙステージにより、他のハードウェアを動かすことなく、複数のウエハ表面位置または場所３０２２をスキャンすることが可能になる。回転ステージにより、必要に応じて、特性評価する物質のひずみ、関連する欠陥または懸念領域など、結晶構造のＳＨＧに対する影響を評価することが可能になる。さらなる任意の特徴、態様および／またはチャック３０３０の用途について、本出願の他の場所に提示している。試料位置３０２２は、一つまたは複数の層を含むことができる。試料位置３０２２は、少なくとも二つの層を含む複合基板を含むことができる。試料位置３０２２は、二つの異なる物質間（例えば、二つの異なる半導体物質間、不純物が異なる二つの半導体物質間、半導体および酸化物間、半導体および誘電体物質間、半導体および金属、または酸化物および金属間）の界面を含むことができる。

【０１３９】

システム３０００を使用したとき、検出器３０４０に向け反射された放射ビーム３０１４は、ＳＨＧ信号を含むであろう。検出器３０４０は、光電子増倍管、ＣＣＤカメラ、アバランシェ検出器、フォトダイオード検出器、ストリークカメラ、およびシリコン検出器のいずれであってもよい。システム３０００はまた、一つまたは複数のシャッター型装置３０５０を含み得る。使用するシャッターハードウェアの種類は、レーザ放射を遮断する、投棄する、または他の方法で試料位置から離れる方向に向ける時間枠に依存する。ポッケルスセルまたはカーセルなどの電子光学遮断装置を使用して、非常に短い遮断期間（つまり、作動時間が10^{-9}～10^{-12}秒程度の）を得ることができる。

【０１４０】

より長い遮断時間間隔（例えば、約10^{-5}秒以上）のためには、機械的シャッターまたはフライホイールのチョッパー型装置を用いる可能性がある。しかし、電子光学遮断装置を使用すると、以下の方法に従って、より広範囲の物質をテストできるであろう。非常に短い時間間隔、通常、ピコ秒からマイクロ秒程度で離散的に開閉することができる光子

計数システム３０４４を使用して、時間依存信号の計数を解決することができる。より高速な時間枠の場合、上記のように光学遅延線を組み込むことができる。

【０１４１】

システム３０００には、ポンプ光源とも呼ばれる追加の電磁放射源３０６０を含めることができる。様々な実施形態において、放射源３０６０は、指向性ビーム３０６２を放出するものとして示されるレーザ、または発散もしくは光学的にコリメートされたパルス３０６４を放出するＵＶフラッシュランプであり得る。レーザ源の場合、そのビーム３０６２は、ビーム３０１２と同一直線上であり得る（例えば、追加のミラーまたはプリズムなどによって向きを変える）。光源３０６０の出力波長は、約８０ｎｍから約１０００ｎｍのどこであってもよい。この範囲のより短い波長（例えば、約４５０ｎｍ未満）を使用すると、より長い波長よりも少ない光子を使用して、かつ／またはより低いピーク強度で電荷励起を駆動することが可能である。

【０１４２】

フラッシュランプの場合、１フラッシュ当りのエネルギー、またはフラッシュ時の電力レベルは、基板物質に依存する可能性がある。１フラッシュ当りの総エネルギー１Ｊ～１０ｋＪを生成するフラッシュランプが、完全空乏型シリコン・オン・インシュレータ（ＦＤ－ＳＯＩ）に適切であろう。ただし、パルスまたは定常的なＵＶ光源も使用可能であろう。ポンプの特性および用途における重要な要素は、電荷キャリアを調査対象の物質の誘電体中に注入することである。適切なフラッシュランプのメーカーには、米国Ｈｅｌｌｍａ社、および浜松フォトニクス株式会社が含まれる。

【０１４３】

レーザを光源３０６０として使用する場合、ナノ秒、ピコ秒、またはフェムト秒、あるいはより高速のパルスレーザ源のいずれであってもよい。連続固体レーザの可能性さえある。様々な実施形態では、ポンプ源は波長を調整可能である。調整可能なレーザに関して市販されている選択には、スペクトラ・フィジックス社のＶｅｌｏｃｉｔｙ、およびＶｏｒｔｅｘ　Ｔｕｎａｂｌｅ　Ｌａｓｅｒがある。さらに、調整可能な固体ソリューションを、ＬＯＴＩＳ社のＬＴ－２２ｘｘシリーズの固体レーザから入手できる。

【０１４４】

レーザまたはフラッシュランプのいずれとして提供するにしても、ポンプ源３０６０は、比較的高い平均電力を有するように選択し得る。これは、約１０ｍＷ～約１０Ｗが可能であるが、より通常は、約１００ｍＷ～約４Ｗと調査物質に依存し（繰り返しになるが、考慮すべきことは、電荷キャリアを物質の界面（例えば、誘電体界面）中に注入するような、電荷キャリア移動度の誘導を保証することである）、物質固有の値であり得る。ポンプ源３０６０の平均電力は、物質の光学的損傷のしきい値以下であるように選択される。例えば、ポンプ源３０６０は、調査物質がシリコンを含む場合、シリコンの光学的損傷しきい値を超えないように、平均光電力が１～２Ｗを有するように選択することができる。

【０１４５】

プローブレーザ３０１０は、ナノ秒、ピコ秒、またはフェムト秒、あるいはより高速のパルスレーザ源のいずれであってもよい。必要なピーク電力、波長、信頼性を有する、現在市販のレーザの二つの選択肢は、ドープファイバーおよびチタンサファイア装置である。コヒレント社のＶＩＴＥＳＳＥおよびスペクトラ・フィジックス社のＭＡＩ　ＴＡＩレーザが好適なチタンサファイアの例である。フェムトレーザーズ社およびその他のメーカーも、他の適切なチタンサファイア装置を製造する。適切なドープファイバーレーザを、ＩＭＲＡ、ＯｎｅＦｉｖｅ、およびＴｏｐｔｉｃａ　Ｐｈｏｔｏｎｉｃｓが製造する。基板物質およびポンプ種によっては、浜松など多くのメーカーのピコ秒、および／または、ナノ秒レーザも、選択肢になる可能性がある。レーザ３０１０では、約１００ｎｍ～約２０００ｎｍの波長範囲において約１０ｋＷ～１ＧＷのピーク電力で動作するが、電力供給は平均で１５０ｍＷ未満となる可能性がある。

【０１４６】

その他種々の任意の、いわゆる「中間」光学部品を、システム３０００で使用すること

ができる。例えば、システムは、レーザ３０１０および／または光源３０６０から直接に反射された放射と同軸のＳＨＧ信号を選択的に通過させる二色性反射もしくは屈折フィルタ３０７０を含む可能性がある。あるいは、プリズムを使用して、より弱いＳＨＧ信号を、何桁も強い反射一次ビームから区別することができる。しかし、プリズムを使用する手法は誤整列に非常に敏感であることが判明しているため、上記の二色性システムが好ましい場合がある。他の選択肢には、回折格子またはペリクルビームスプリッタの使用が含まれる。集束および平行／円柱構造光学系のための光束３０８０を設けてもよい。あるいは、フィルタホイール３０９０、偏光子３０９２、および／またはズームレンズ３０９４の装置もしくはアセンブリを、システムで使用することができる。また、角度（または円弧型）回転調整（検出器に対応する調整を伴うもの）およびインライン光学用部品が望ましい場合もある。

【０１４７】

検出器３０４０および／または光子計数システム３０４４からの出力は、電子装置３０４８に入力することができる。電子装置３０４８は、計算装置、コンピュータ、タブレット、マイクロコントローラまたはＦＰＧＡとすることができる。電子装置３０４８は、プロセッサ、処理用電子機器、制御用電子機器、処理／制御用電子機器、または一つもしくは複数のソフトウェアモジュールを実行するように構成され得る電子機器を含む。オペレーティングシステムを実行することに加えて、プロセッサは、ウェブブラウザ、電話アプリケーション、電子メールプログラム、または他の任意のソフトウェアアプリケーションを含む一つまたは複数のソフトウェアアプリケーションを実行するように構成され得る。電子装置３０４８は、本明細書で論じる方法を、例えば、ＲＡＭ、ＲＯＭ、ＥＥＰＲＯＭ、等のような機械可読非一時的記憶媒体に含まれる命令を実行することにより、実装できる。電子装置３０４８は、ユーザと対話するための表示装置および／またはグラフィックユーザインタフェースを含むことができる。電子装置３０４８は、ネットワークインタフェースを介して一つまたは複数の装置と通信することができる。ネットワークインタフェースは、例えば、有線イーサネット、ブルートゥース（登録商標）、または無線接続などの通信が可能な送信機、受信機、および／もしくはトランシーバを含むことができる。

【０１４８】

他の選択肢に関しては、ＳＨＧ信号は、それを生成する反射ビームと比較して弱いので、ＳＨＧ計数の信号対ノイズ比を改善することが望ましい。光子計数システム３０４４の光子計数ゲート時間が、本明細書に記載の遮断および／または遅延プロセスのために減少するにつれて、改善がさらに重要になる。使用する可能性のあるノイズを低減する一つの方法は、光子計数器を積極的に冷却することである。これは、液体窒素やヘリウムなどの極低温流体、またはペルチェ装置を使用した固体冷却を使用して行うことができる。その他の改善分野には、シャッタースピードに関連するマルクスバンク回路（ＭＢＣ）の使用が含まれる可能性がある。さらに、システム３０００は、生産ライン環境内のインラインに組み込むことができる。システム３０００に先行するまたは後続の生産ライン要素には、エピタキシャル成長システム、リソグラフィおよび／または堆積（ＣＶＤ、ＰＶＤ、スパッタリング、等）システムのいずれも含まれ得る。

【０１４９】

いずれの場合においても、図１６Ａおよび１６Ｂによって、対象のＳＨＧシステムで使用する可能性がある目的特化のチャックハードウェアの第１の組の図を提供する。チャック３０３０は、ウエハ３０２０を真空または他の手段によって保持する。チャック３０３０は導電性であり、電源に接続される。必要に応じて、容量結合プローブ３１００も、電源３１２０に接続される。電源はコンピュータ制御であるか、または少なくともその出力は、上記に要約したタイミングの理由でコンピュータによって調整される。プローブ３１００も、同様に制御および／または監視することができる。それは、電源３１２０に接続された容量性回路の一部であるという意味で制御されるであろう。それは、電圧計によってチャック３０３０と共に監視されて、電圧が意図されたように誘導されていることを確認することができる。

【０１５０】
プローブ３１００は、穴３１０２またはポート（例えば、直径０．２ｍｍ）をそのリング内に含むので、光ビーム３０１２、３０１４（調査ビームおよび反射ＳＨＧビーム）が遮断されずに通過でき、かつ光学部品に対して相対的に固定されるので、装置表面をスキャンするときに、光学素子と一緒に移動するか、または留まり、（再）配置した試料位置３０２２の中心に留まる。その結合（正の「＋」電荷を持つことを示す）は、試料装置の表面の近く（例えば、約１ｍｍ～約２ｍｍ以内）に配置されるが、接触はしない。カンチレバーアームまたはその他の方法で支持される。プローブ３１００は、図１６Ｂに示すように、リング３１０４として提供してもよいし、またはより大きな円盤もしくは平板を含んでもよい。

【０１５１】
図１６Ｂの断面図に示す例では、ウエハ３０２０または装置表面（シリコンを含む）は、シリコンバルク層からSiO_2によって分離されている。したがって、上記で説明したように、装置表面への誘導バイアスが必要である。そうでなければ、導電性チャック３０３０と接触する、下のシリコンから（少なくとも実質的に）電気的に絶縁されるか、または分離されるからである。

【０１５２】
図１７Ａ～１７Ｃは、電源３１２０に接続した電気コイル３１３０を含む電磁チャック３０３０の詳細を示す。使用中、ウエハ３０２０を、チャック３０３０の上に置き、固定する。交流電流（ＡＣ）をコイル３１３０に印加すると、これによりウエハを通る交流磁場を発生する。交流磁場は、その装置表面を含むウエハ３０２０全体に電位を誘導する。そして、この電場により、上記のＳＨＧ調査のさまざまなモードが可能になるので、その一部について、以下で詳しく説明する。あるいは、ＤＣ電流をチャック３１３０と平行に配向されるコイル３１３０に印加し、上記した他の効果のためチャック全体に一定の磁場を作り出すこともできる。

【０１５３】
図１８Ａは、基板バルク層に時間の経過とともに印加したＡＣ電圧（Ｖ）プロファイル（正弦波）の一例を示す。図１８Ｂは、装置および装置がその上に製造されている基板バルク層間の誘導電圧（V_i）の仮想的な応答を示す。様々な実施形態では、基板は、シリコンウエハまたは半導体物質の一部を含むことができる。図１９Ａは、基板バルク層に時間の経過とともに印加したＡＣ電圧（V_O）プロファイル（方形波）の一例を示す。図１９Ｂは、装置およびバルク層間の誘導電圧（V_i）の仮想的な応答を示す。なお、図１８Ａまたは１９Ａのいずれにおいても、電圧入力は図と異なる可能性があり、潜在的に、階段、ランプ、正弦波、または他の形で印加する可能性があることに留意されたい。

【０１５４】
図１８Ａおよび１８Ｂに関して、より具体的には、ノイズを最小化し、界面の両端の電圧の関数として統計的に妥当なＳＨＧ強度を取得するために、複数の光子計数ウィンドウが望ましい可能性がある。このような目的のために、例として、点A_1およびA_2について、バルクおよび装置層間の電圧が電圧Ａとして両点で同一になるようにタイミング調整する。これは、例えば、点B_1およびB_2の電圧Ｂ、点C_1およびC_2の電圧Ｃ、についても同様である。例えば、電圧Ａを使用して、ＳＨＧを記録し、点A_1における計数値を、点A_2での計数値および点A_3、A_4、A_n．．．での計数値と、所望の測定時間に応じて任意の長い系列で加算し得る。次に、この期間に測定された計数値の総数を、１秒あたりの平均計数値を見つける方法として、この「ゲート」が及ぶ時間で除算する。これにより、ＳＨＧ強度をバルク－装置電圧の関数としてプロットできる。同一方法を使用して、点B_1およびB_2、ならびにB_3、B_4、B_n．．．での電圧Ｂに対する測定値を、所望の測定時間に応じて任意の長い系列で取得できる。次に、この期間に測定された計数値の総数を、１秒あたりの平均計数値を見つける方法として、この「ゲート」が及ぶ時間で除算する。これにより、ＳＨＧ強度をバルク－装置電圧の関数としてプロットできる。同様に、この方法を使用して、点C_1およびC_2、ならびにC_3、C_4、C_n．．．での電

圧Ｃに対する測定値を、所望の測定時間に応じて任意の長い系列で取得できる。次に、この期間に測定された計数値の総数を、１秒あたりの平均計数値を見つける方法として、この「ゲート」が及ぶ時間で除算する。これにより、ＳＨＧ強度をバルク－装置電圧の関数としてプロットできる。バイアス電圧の関数としてのＳＨＧ強度の利用に関するさらなる詳細について、ＤＣバイアス文献に見出すことができる。例えば、「第二高調波発生に測定した照射ＳＯＩウエハにおける電荷トラップ」、ＩＥＥＥ Ｔｒａｎｓａｃｔｉｏｎｓ ｏｎ Ｎｕｃｌｅａｒ Ｓｃｉｅｎｃｅ、Ｖｏｌ．５１、Ｎｏ．６、２００４年１２月所収、および「電場誘導第二高調波発生を利用したシリコン集積回路の光プローブ」、Ａｐｐｌｉｅｄ Ｐｈｙｓｉｃｓ Ｌｅｔｔｅｒｓ、８８、１１４１０７、２００６年所収、等があり、各出版物について、その全体を参照により本明細書に援用する。

【０１５５】

図１９Ａおよび１９Ｂに関して、より具体的には、これらの図は、シリコン・オン・インシュレータ（ＳＯＩ）装置を調査する一例を示す。この例では、導電性チャックは「中立の」基底状態で始まり、バルク層および装置層は平衡電位にある。時点「Ａ」で、チャックに印加される電圧を急激に変化させると、当該電圧が試料の導電性バルク層に印加される。試料の装置層は、薄い埋め込み酸化膜層によってバルクから分離されて導電体と直接接続していないため、電位電場または電圧が装置およびバルク層間に誘導されるであろう。時刻「Ａ」および「Ｂ」の間、チャックに印加する電圧は変化しない。バルク層および装置層間の誘電体は完全ではないため、誘導された電位が層間のリーク電流を駆動し、バルク層および装置層間の電位を自然な状態に戻す。次に、電場のこのスパイクおよび減衰について、ＳＨＧを介して監視することによって、リーク電流に関する洞察を提供する。時刻「Ｂ」で、チャックに印加した電圧を接地電位に戻すと、界面の両端の電圧が逆転する。

【０１５６】

本明細書で説明するシステムおよび方法について、試料（例えば、半導体ウエハまたはその一部）を特性評価するために使用できる。例えば、本明細書に記載のシステムおよび方法を使用して、上記のように試料中の欠陥または汚染物質を検出できる。本明細書に記載のシステムおよび方法について、半導体ウエハの製造または生産中に試料を特性評価するように構成できる。したがって、システムおよび方法を、半導体製造施設の半導体製造ラインに沿って使用できる。本明細書に記載のシステムおよび方法を、半導体製造／生産ラインと統合できる。本明細書に記載のシステムおよび方法について、自動化されたウエハ処理機能を備えた半導体製造ラインに統合できる。例えば、システムには、フロントオープニングユニファイドポッド（ＦＯＵＰ）などのウエハカセットを受け入れる機器フロントエンドモジュール（ＥＦＥＭ）を取り付けることができる。これらのカセットのそれぞれを、人間のオペレーターによって、またはカセットを製造／生産ラインに沿ってプロセスからプロセスに移動する自動カセット処理ロボットによって、それらの機械に配送できる。

【０１５７】

様々な実施形態では、システムについて、カセットを一度ＥＦＥＭ上に取り付けると、ＦＯＵＰが開き、そしてロボットアームがＦＯＵＰから個々のウエハを選択しシステムに含まれる自動的に作動するドアを通って移動させ、遮光プロセスボックス、およびバイアス可能な真空チャックに入れるように構成できる。チャックは、試料をその上に置くことができるように、ロボットアームと補完し適合するように設計することができる。この過程のある時点で、ウエハをスキャナにかざして、固有のレーザ刻印を特定できる。

【０１５８】

したがって、半導体製造／組み立てラインに統合されるように構成されたシステムは、ＦＯＵＰまたは他の種類のカセットからの自動ウエハ操作能力、上記のようなＥＦＥＭへの統合、ロボット操作と互換性を持つ方法で設計されたチャック、ロボットの棒／アームの動作が可能なように開閉する自動遮光ドア、およびウエハのロード／アンロードおよびウエハ識別のためＥＦＥＭに信号を出すソフトウェアを有することができる。

【０１５９】
（複数の偏光の効率的収集）
第二高調波発生信号の異なる偏光成分は、異なる物質特性に関する情報を提供することができる。例えば、シリコンと同一の対称性を有するシリコンベースの材料または結晶では、ｐ偏光の第二高調波発生信号は、電気的特性に敏感であり得る。これに対して、ｓ偏光の第二高調波発生信号は、歪みまたは結晶関連情報を提供することができる。したがって、どの偏光成分または偏光成分を収集するかを制御することができるシステムは、試料の特定の特性に関するデータを分離しかつ収集する際に有用であり得る。したがって、第二高調波発生信号の異なる偏光成分を収集するためのシステムの様々な実装について、本明細書で説明する。
【０１６０】
図２０は、特定の偏光の第二高調波発生信号を収集することができるシステムを示す。特に、図２０は、ウエハのような試料を調査するために使用する可能性がある構成要素の概略図の一例を示す。図示のように、ウエハ４１２０を調査するためのシステム４０００には、光源４１１０、偏光光学系（例えば、偏光子）４１１２、集束光学系（例えば、集束レンズ）４１１４、回転ステージ４１１６、並進ステージ４１１８、収集光学系（例えば、コリメート光学系）４１２４、偏光光学系（例えば、偏光フィルタ光学系または偏光子）４１２２、分光フィルタ４１２６、および検出器４１３０が含まれ得る、図示の構成では、光源４１１０、偏光光学系（例えば、偏光子）４１１２、集束光学系（例えば、集束レンズ）４１１４は、光を試料（例えば、ウエハ）に向けるための第１の光路にあり、収集光学系（例えば、コリメート光学系）４１２４、偏光光学系（例えば、偏光フィルタ光学系または偏光器）４１２２、分光フィルタ４１２６、および検出器４１３０は、試料から反射された光のための第２の光路にある。
【０１６１】
システム４０００を使用したとき、光源４１１０から入力光４１３２を発することができ、光源４１１０は、レーザ光源または他の電磁放射源を含むことができる。例えば、光源４１１０は、ナノ秒、ピコ秒、フェムト秒のようなパルスレーザ、または連続レーザのようなレーザであってもよい。様々な実施形態では、レーザは固体レーザを含む。他の例では、光源４１１０は、発散又は光学的にコリメートされた光を発するランプとすることができる。光源４１１０は、任意の波長を有する光４１３２を発することができる。例えば、光源４１１０は、８０ｎｍ～１０００ｎｍのスペクトルを含む波長を有する光（４１３２）を発することができる。
【０１６２】
システム４０００は、偏光を試料に向けることができる。いくつかの実施形態では、光源４１１０は、直線偏光のような偏光を出力することができる。いくつかの実施形態では、システムは、偏光光学系４１１２を用いて入力光４１３２を偏光させることができる。偏光光学系４１１２は、例えば、入力光４１３２の偏光状態を変更する偏光子を含むことができる。いくつかの実施形態では、偏光光学系４１１２は、入力光４１３２の偏光状態を変更するための任意の適切な種類の偏光子を含むことができる。例えば、偏光光学系は、入力光４１３２を直線偏光させることができる吸収型偏光子を含むことができる。いくつかの実施形態では、偏光光学系４１１２は、偏光状態を変化させるように構成された偏光制御光学系を備えることができ、例えば、直線偏光の向きを（例えば、垂直偏光から水平偏光へ）変更する。いくつかの実施形態では、例えば、偏光光学系４１１２は、試料に入射する光に対して、特定の角度θ_1を有する直線偏光を提供する。例えば、偏光光学系４１１２は、入力光４１３２の直線偏光の向きθ_1を、ウエハ４１２０、ウエハ４１２０のある領域、またはウエハ４１２０上のあるパターンに対して変更することができる。例えば、偏光光学系４１１２は、ウエハ４１２０上のあるパターンに対してｓ偏光を生成することができる。様々な実施形態では、１つ以上のハードウェアプロセッサは、入力光４１３２の偏光状態を変更するために、偏光光学系４１１２を制御することができる。
【０１６３】

システム４０００は、入力光４１３２を集束光学系４１１４で集束させる場合がある。集束光学系４１１４には、入力光４１３２をウエハ４１２０上の領域４１３６に集束させるための任意の適切な集束光学系が含まれ得る。例えば、集束光学系４１１４には、入力光４１３２をウエハ４１２０の領域４１３６に向けて集束できる一つまたは複数のレンズが含まれ得る。

【０１６４】

システムには、また、試料から反射された光を収集する収集光学系が含まれ得る。収集光学系には、例えば、試料からＳＨＧ光を受けるように配置された一つまたは複数のレンズまたはミラーが含まれ得る。

【０１６５】

ある実装では、収集光学系４１２４は、試料からのＳＨＧ光を収集するコリメート光学系を含む。コリメート光学系４１２４には、ウエハ４１２０から受信した出力光４１３４をコリメートするための任意の適切なコリメート光学系が含まれ得る。例えば、コリメート光学系４１２４には、一つまたは複数のコリメートレンズなどの一つまたは複数のコリメータが含まれ得る。このような一つまたは複数のコリメートレンズを、例えば、それが焦点距離ｆを有する場合、焦点距離ｆに対応する距離だけ試料から離した位置に配置し得る。他の構成も可能である。

【０１６６】

上記のように、異なる物質特性に関する情報は、第二高調波生成信号の異なる偏光成分に含まれ得るので、システム４０００は、検出のため、ＳＨＧ信号の異なる偏光を選択するように構成され得る。システム４０００は、例えば、特定の偏光状態を有するなどの特定の偏光特性を備えた光を、検出器４１３０に、偏光光学系４１２２を用いて、向けることができる。偏光光学系４１２２は、例えば、出力光４１３４の特定の偏光状態を選択して通過させるように構成された偏光フィルタまたは偏光子を備える。偏光光学系４１２２は、任意の適切な種類の偏光子を含むことができる。例えば、偏光光学系４１２２は、特定の向きの直線偏光を選択的に透過させることができる吸収型偏光子を含むことができる。例えば、１つまたは複数のハードウェアプロセッサを含むことができる制御電子機器は、出力光４１３４から選択する偏光状態を変更するために、偏光光学系４１２２を制御することができる。例えば、偏光子は、特定の偏光角θ_2を有する直線偏光を選択するように回転するように構成することができる。いくつかの実施形態では、制御電子機器は、例えば、偏光子４１２２を回転させることによって、選択する、例えば選択的に透過させる直線偏光の角度を変更するように構成することができる。制御電子機器は、例えば、第１の状態では試料からのｐ偏光ＳＨＧと比較してｓ偏光ＳＨＧ光を検出器に到達させるため、試料からのｓ偏光ＳＨＧ光を選択的に許容し、第２の状態では試料からのｓ偏光ＳＨＧと比較してｐ偏光ＳＨＧ光を検出器に到達させるため試料からのｐ偏光ＳＨＧ光を選択的に許容するように、偏光光学系４１２２を制御することができる。例えば、制御電子機器は、偏光光学系４１２２について、例えば、試料からのｓ偏光ＳＨＧ光を透過させるために、第１の状態では、試料からのｓ偏光ＳＨＧ光は検出器に入射し、試料からの無視できない量のｐ偏光ＳＨＧ光は検出器に入射しないように制御することができる。同様に、制御電子機器は、偏光光学系４１２２について、例えば、試料からのｐ偏光ＳＨＧ光を透過させるために、第２の状態では、試料からのｐ偏光ＳＨＧ光は検出器に入射し、試料からの無視できない量のｓ偏光ＳＨＧ光は検出器に入射しないように制御することができる。

【０１６７】

システム４０００は、他の任意の光学要素を含んでよい。例えば、システム４０００には、特定の波長の光を選択するための分光フィルタ４１２６が含まれ得る。例えば、フィルタ４１２６は、バンドパスフィルタ、ハイパスフィルタ、またはローパスフィルタであってよい。フィルタ４１２６は、例えば、特定の波長または波長範囲を有する光を選択的に透過してよい。

【０１６８】

上記のように、システム４０００には、検出器４１３０が含まれ得る。検出器は、光電

子増倍管、アバランシェ検出器、フォトダイオード検出器、ストリークカメラ、およびシリコン検出器のいずれであってもよい。検出器４１３０は、ＳＨＧ信号を含む可能性がある出力光４１３４を検出してよい。

【０１６９】

ウエハ４１２０について、ある実施形態ではチャックを含む可能性がある試料ステージ４１４０を使用して所定の位置に保持する場合がある。試料ステージまたはチャック４１４０には、ある設計では、ウエハ４１２０を配置してウエハの面内で移動させることができる並進ステージ４１１８および／または回転ステージ４１１６が含まれてよい。例えば、回転ステージ４１１６により、ウエハ領域４１３６に対して軸４１２８を中心にウエハ４１２０を回転できる場合がある。並進ステージにより、ウエハ４１２０のｘおよびｙ位置を変更できる場合がある。回転ステージ４１１６および並進ステージ４１１８について、例えば、一つ以上のハードウェアプロセッサを含む可能性がある制御電子機器によって制御する場合がある。

【０１７０】

上記のように、このシステムは、第１の偏光、例えばｓ偏光を有するＳＨＧ信号を検出して、試料に関する第１の種類の情報を取得し、第２の偏光、例えばｐ偏光を有するＳＨＧ信号を検出して、試料に関する第２の種類の情報を取得することができる。偏光制御器は、例えば、最初に第１の偏光成分を収集し、その後に第２の偏光成分を収集するように、またはその逆に設定することができる。本明細書に記載した他の実施形態は、複数の偏光成分、例えば、第１の偏光（例えば、ｓ偏光の光）および第２の偏光（例えば、ｐ偏光の光）からの光を、それぞれ同時に、第１および第２の検出器に向けるように構成される。

【０１７１】

図２１は、図２０で説明したようなシステムの一例を示す。該システムには、偏光光学系４１２２に代わる偏光ビームスプリッタ５１２２、偏光ビームスプリッタからの光を受け取るように配置された単一の検出器４１３０に代わる第１および第２の検出器５１３０Ａ、５１３０Ｂが含まれる。偏光ビームスプリッタは、光を受け、光を第１および第２の偏光成分に分割するように構成される。図２１に示すシステムでは、ビームスプリッタは、試料から第二高調波発生光を受け、光を第１および第２の（例えば、直交する）偏光成分（例えば、ｓ偏光およびｐ偏光の光）に分割するように配置される。偏光ビームスプリッタは、第１および第２の偏光成分を、個別の第１および第２の経路に沿って、それぞれ、第１および第２の検出器に向ける。これにより、第二高調波発生信号の第１及び第２の偏光成分に関するデータを同時に収集することができる。

【０１７２】

いくつかの実施態様では、試料をスキャンすることができ、または光源４１１０から試料上に向けられたビーム４１３２をスキャンして、試料の異なる部分についてのＳＨＧ信号を取得し、試料もしくはその一部のＳＨＧ画像を生成することができる。以下に説明するように、他の手法を用いて試料からの第二高調波発生光から画像を形成することができる。有利には、図２１に示すシステムでは、ＳＨＧ信号の第１の偏光および第２の偏光を別々に収集し、同時に測定することができる。例えば、ｐおよびｓ偏光成分のような直交偏光を、試料の一回のスキャンから同時に収集することができる。したがって、両方の偏光状態を有する信号を同時に収集して物質を評価する場合、スループットを、例えば２倍に向上させることができる。上記のように、シリコンベースの物質またはシリコンと同一の対称性を有する結晶については、ｐ偏光ＳＨＧ信号成分は、界面電気特性などの電気特性に関する情報を提供することができ、ｓ偏光ＳＨＧ信号成分は、歪みまたは結晶関連情報を提供することができる。本明細書でのシステム開示を使用して、このような情報を同時に収集することができ、それによって、スループットおよび／または処理速度を向上させながら、二つの偏光成分によるより網羅的な物質特性評価を提供することができる。信号の正規化もまた、複数の偏光成分に提供し得る。

【０１７３】

偏光ビームスプリッタは、偏光ビームスプリッタキューブ、表面上に偏光選択反射コーティングを有するプレートまたは他の光学素子を含むことができる。他の種類の偏光子も使用することができる。システム内の他の構成要素は、図２０に示したものと同じであってもよい。同様に、図２０または本開示を通して他の場所で説明した動作の様々な特徴および動作モードを、図２１に示したシステムに適用することができるが、広い範囲の変形も可能である。例えば、第１および第２の偏光成分を受ける第１および第２の検出器５１３０Ａ、５１３０Ｂを有する代わりに、検出器配列（例えば、ＣＣＤ検出器配列）が、第１および第２の偏光成分を受けることもできる。例えば、検出器配列は、複数の画素を含むことができる。検出器配列の異なる領域、例えば、検出器配列の第１および第２の領域は、第１および第２の偏光成分をそれぞれ受け取ることができる。検出器配列の一つの領域は、検出器配列の一つまたは複数の画素を含むことができる。さらに他の変形も可能である。

【０１７４】

（ＳＨＧ撮像）

上記したように、第二高調波発生によって、重大な界面電気特性について敏感な非破壊的検出を提供できる。しかしながら、様々な点ベースの測定／サンプリング手法は、大面積カバレッジおよび高い分解能を有する大きな領域の空間的プロファイリングについてスループットが減少する。したがって、本明細書に開示した様々な実施形態では、ＳＨＧ撮像ベースの検査システムのための設計を提供する。これらの撮像システムは、試料のより大きな領域にわたるＳＨＧ画像またはＳＨＧ信号の分布マップを提供することができ、また、高い分解能を提供することができる。これらの撮像システムにより、高い分解能で第二高調波発生の既存の適用可能性を、および向上したスループットでより大きな領域にわたるランダムな分布の欠陥／問題のカバレッジを拡張することができる。場合によっては、このようなＳＨＧ撮像システムは、複数のビームを生成するための一つまたは複数のビームスプリッタ、および試料の一領域にわたる複数のＳＨＧ信号を捕捉するための複数の検出器を使用して、ＳＨＧ画像を形成することができる。また、スキャン技術を使用することもできる。場合によっては、ＳＨＧ撮像システムは、結像光学系を用いて、試料もしくは試料の一領域を画像化する、および／または試料の一領域に関連するＳＨＧ信号を検出器配列上に投影してＳＨＧ画像を形成してもよい。そのようなシステムの例を以下に説明する。

【０１７５】

例えば、図２２Ａは、一つのレーザビーム７１２６を複数のビーム７１２２Ａ、７１２２Ｂ、７１２２Ｃに分割又は分離するように構成されたＳＨＧ撮像システム８０００を示す。いくつかの実施形態では、この複数のビーム７１２２Ａ、７１２２Ｂ、７１２２Ｃを試料４１２０の一領域にわたってスキャンして、試料またはその一部のＳＨＧ画像を提供することができる。

【０１７６】

本明細書に記載の他のＳＨＧシステムと同様に、図２２に示すシステム８０００には、試料ステージ４１４０上に支持される試料４１２０に向けられ、試料４１２０から第二高調波発生を生成できる光７１２６を出力するように構成された光源（例えば、レーザ光源）７１０８が含まれる。本明細書に記載された他のシステムと同様に、試料ステージ４１４０は、ｘ－ｙ並進ステージ４１１８のような並進ステージ、および／または回転ステージ４１１６を含むことができる。

【０１７７】

図２２Ａに示すシステム８０００は、ビームを一つのビームで受け、複数のビームに分割又は分離するように構成されたビームスプリッタ７１１０をさらに含む。このようなビームスプリッタ７１１０は、マルチスポットビーム発生器またはアレイビーム発生器とも呼ばれる。複数のビームは、ビームの線形配列又はビームの二次元配列であってもよい。ビームスプリッタ７１１０は、一つのビームからの光を複数のビームに回折するように構成された回折格子または回折光学素子のような回折ビームスプリッタを備えることができ

る。いくつかの実施形態では、ビームスプリッタ７１１０は、音響光学変調器を備えることができる。音響光学変調器は、例えば、複数の出力ビームを生成するように、一つの入力ビームからの光を回折するように構成することができる。図２２Ａに示すシステム８０００では、ビームスプリッタ７１１０は、レーザ光源７１１０から出力されたビーム７１２６を受け、複数のビーム７１２２Ａ、７１２２Ｂ、７１２２Ｃを生成する。三つのビームを示すが、より多くの又はより少ないビームをビームスプリッタによって生成してもよい。ビーム７１２２Ａ、７１２２Ｂ、７１２２Ｃの数（およびビームによって照射され得る試料上の対応する点または位置、ならびに得られるＳＨＧ信号の数）は、例えば、３、５、１０、１５、２０、２５、３０より大きくてもよく、またはこれらの任意の値の間の任意の範囲であってもよい。試料４１２０上で、より多くの、又はより少ないビーム７１２２Ａ、７１２２Ｂ、７１２２Ｃ、照射スポットもしくは位置、及び／あるいはＳＨＧ信号も可能である。

【０１７８】

システム８０００は、ビームスプリッタ７１１０によって生成された複数のビーム７１２２Ａ、７１２２Ｂ、７１２２Ｃを受けるように構成されたスキャナ７１１２をさらに含む。スキャナ７１１２は、例えば、１つまたは複数のミラーもしくは反射表面を備えることができ、受けた光の方向を傾け、回転させ、かつ／または変化させ、異なる方向に再度向ける。他の種類のスキャナまたはビームスキャナを使用してもよい。様々な実施形態では、スキャナ７１１２は、試料４１２０の１つまたは複数の領域にわたってビーム７１２２Ａ、７１２２Ｂ、７１２２Ｃをスキャンするように構成することができる。

【０１７９】

システム８０００は、ビームスプリッタ７１１０および試料間に配置された対物レンズ７１１６をさらに含み、対物レンズ７１１６は、複数のビーム７１２２Ａ、７１２２Ｂ、７１２２Ｃを受け、その後、図２２Ａに示すビーム７１２０Ａ、７１２０Ｂ、７１２０Ｃとして試料４１２０上に進ませる。いくつかの実施形態では、対物レンズ７１１６は、試料４１２０上に複数のビーム７１２０Ａ、７１２０Ｂ、７１２０Ｃを集束させる。図２２Ａに示すシステムでは、スキャナ７１１２は、ビームスプリッタ７１１０および対物レンズ７１１６間の光路にあるので、対物レンズに入射する複数のビーム７１２２Ａ、７１２２Ｂ、７１２２Ｃは、スキャンされる。同様に、試料４１２０上に入射する複数のビーム７１２０Ａ、７１２０Ｂ、７１２０Ｃも、対物レンズ７１１６が作用した（例えば集束させた）後、試料の少なくとも一部分にわたってスキャンされる。図２２Ａに示すようないくつかの実施では、対物レンズ７１１６は、試料４１２０に対してより垂直な経路に沿って、複数のビーム７１２０Ａ、７１２０Ｂ、７１２０Ｃを試料に向けることもできる。

【０１８０】

試料４１２０上に入射した複数のビーム７１２０Ａ、７１２０Ｂ、７１２０Ｃは、複数のそれぞれのＳＨＧ信号を生成する。これらの別々のＳＨＧ信号は、対物レンズ７１１６の方向に戻ってくる。図２２Ａに示すようないくつかの実施では、複数のＳＨＧ信号は、試料４１２０に対して実質的に垂直な経路に沿って対物レンズ７１１６に向かう。

【０１８１】

図２２Ａに示すシステム８０００は、二色性ミラーまたは反射器７１１４をさらに含む。この二色性ミラー７１１４は、複数のビーム７１２２Ａ、７１２２Ｂ、７１２２Ｃ（および７１２０Ａ、７１２０Ｂ、７１２０Ｃ）によって生成された別々のＳＨＧ信号を受けるように配置されてもよい。二色性ミラー７１１４は、対物レンズ７１１６およびスキャナから受けたＳＨＧ信号が二色性ミラーに入射するように、ビームスプリッタ７１１０およびスキャナ７１１２間に配置することができる。二色性ミラー７１１４は、ＳＨＧ信号の波長を有する光を反射するように構成することができる。したがって、複数のＳＨＧ信号は、二色性ミラー７１１４によって反射される。

【０１８２】

二色性ミラー７１１４は、複数のビーム７１２２Ａ、７１２２Ｂ、７１２２Ｃを光源７１０８およびビームスプリッタ７１１０から透過させるように構成してもよい。例えば、

二色性ミラー７１１４は、複数のビーム７１２２Ａ、７１２２Ｂ、７１２２Ｃに対応する光の波長（例えば、基本周波数）を透過させるように構成してもよい。これにより、レーザ光源７１０８および試料４１２０間の光路に二色性ミラー７１１４を挿入することにより、レーザ光源およびビームスプリッタ７１１０からの複数のビーム７１２２Ａ、７１２２Ｂ、７１２２Ｃを透過させて試料４１２０に入射させることができるが、複数のビーム７１２２Ａ、７１２２Ｂ、７１２２Ｃ（および７１２０Ａ、７１２０Ｂ、７１２０Ｃ）によって生成された複数のＳＨＧ信号のそれぞれは、二色性ミラー７１１４から反射されるのに適した波長を有することができる。

【０１８３】

図２２Ａに示すシステム８０００は、複数のＳＨＧ信号を受けるように配置された複数の検出器８１３０Ａ、８１３０Ｂ、８１３０Ｃ（例えば、光電子増倍管またはＰＭＴ）をさらに含む。特に、図示のシステム８０００では、二色性ミラー７１１４は、複数のＳＨＧ信号を複数の検出器８１３０Ａ、８１３０Ｂ、８１３０Ｃに光路８１２８Ａ、８１２８Ｂ、８１２８Ｃに沿って反射させるように構成される。これらの光路８１２８Ａ、８１２８Ｂ、８１２８Ｃを、図２２Ａに模式的に湾曲するものとして示すが、これらの経路は、例えば、直線的かつ互いに接近するように異なっていてもよい。経路８１２８Ａ、８１２８Ｂ、８１２８Ｃは、ミラーのような光学素子によっても変化し、あるいは、光ファイバまたはファイバデバイスまたは集積光学もしくは導波路デバイスのような他の光学部品を含むことができる。上記のように、二色性ミラー７１１４は、ＳＨＧ信号が二色性ミラーから反射されるように、ＳＨＧ信号の光の波長を反射するように構成することができる。また、複数の検出器８１３０Ａ、８１３０Ｂ、８１３０Ｃを、二色性ミラー７１１４に対して光路内に配置して、それぞれのＳＨＧ信号を受けるようにしてもよい。

【０１８４】

図２２Ａに示すシステム８０００には、三つの光学的検出器８１３０Ａ、８１３０Ｂ、８１３０Ｃを示すが、より多くのまたはより少ない光学的検出器を用いてもよい。光学的検出器８１３０Ａ、８１３０Ｂ、８１３０Ｃの数（および対応するＳＨＧ信号の数）は、例えば、３、５、１０、１５、２０、２５、３０、またはこれらの任意の値の間の任意の範囲であってもよい。より多くのまたはより少ない、光学的検出器８１３０Ａ、８１３０Ｂ、８１３０Ｃおよび／もしくはＳＨＧ信号も可能である。以下に説明するように、いくつかの実施形態では、一検出器配列（または一つ以上の検出器配列）を検出器８１３０Ａ、８１３０Ｂ、８１３０Ｃとして使用することができる。

【０１８５】

このようなシステム８０００は、複数の検出器８１３０Ａ、８１３０Ｂ、８１３０Ｃを用いて複数の点または位置のＳＨＧデータを有利に提供することができ、それによってスループットを向上させることができる。さらに、複数の位置をスキャンして、試料の一部にわたってＳＨＧ信号を得ることができる。例えば、複数のビーム７１２２Ａ、７１２２Ｂ、７１２２Ｃは、第１の方向、例えばｘ（またはｙ）方向に延在することができる。これらのビーム７１２２Ａ、７１２２Ｂ、７１２２Ｃを、第２の（おそらく直交する）方向、例えば、ｙ（またはｘ）方向にスキャンし、試料４１２０の一領域にわたるＳＨＧ信号レベルをサンプリングすることができる。さらに、又はあるいは、試料４１２０を、試料全体の調査領域のさらなるスキャンを提供するため、光源７１０８および対物レンズ７１１６に対して移動できる。いくつかの実施形態では、例えば、スキャナ７１１２は、一方向次元、例えばｘに複数のビーム７１２２Ａ、７１２２Ｂ、７１２２Ｃをスキャンし、試料ステージ４１４０は、別の方向または次元、例えば、ｙに試料をスキャンする、あるいはその逆も同様である。このようにして、試料４１２０上の一領域にわたるＳＨＧ画像またはＳＨＧ信号分布マップを得ることができる。複数の検出器８１３０Ａ、８１３０Ｂ、８１３０Ｃを有することにより、データ収集の効率または速度を有利に高めることができる。

【０１８６】

したがって、図２２Ａに示すようなシステムを有する様々な実施形態では、レーザ光源

からの光（およびＳＨＧ信号）は、複数のビームに分割される。複数のビームは、別個の領域上を平行にスキャンすることができる。入射光の異なるビームによって生成されたＳＨＧ信号は、異なるチャネル（例えば、光電子増倍管またはＰＭＴチャネル）によって検出され得る。配列または複数のＰＭＴ検出器からのデータの組み合わせから最終画像を生成することができる。したがって、マルチビームスキャン装置を、複数のチャネルからの信号を同時に収集しながら使用することによって、高速スキャン速度を達成することができる。

【０１８７】

したがって、様々な実施形態では、レーザビームまたはウエハのいずれか（あるいは両方）の高速スキャンを使用して、試料の一領域または複数の領域にわたって、ＳＨＧ信号の二次元撮像を形成することができる。異なる位置（例えば、ｘ、ｙ位置）からのＳＨＧ信号の点対点のマッピングを生成することができ、これにより、ＳＨＧ信号に関連する物理パラメータ（例えば、電荷密度、歪み、界面状態など）の空間的分布を提供することができる。

【０１８８】

広範囲の変形が可能であり、例えば、一つの光源、一つのビームスプリッタ、一つのスキャナ、一つの二色性ミラーおよび一つの対物レンズの代わりに、これらの任意の構成要素の一つ以上がシステム８０００に含まれてもよく、また、これらの構成要素は異なった配置であってもよい。例えば、図２２Ｂに示すように、対物レンズから受けたＳＨＧ信号が二色性ミラーに入射するように、対物レンズ７１１６およびスキャナ７１１２間に二色性ミラー７１１４を配置してもよい。さらに、光ファイバまたは集積光学部品（例えば、導波路ベースの構成要素）を、ＳＨＧ調査システム８０００に使用することができ、また、複数の検出器８１３０Ａ、８１３０Ｂ、８１３０Ｃの代わりに１つ以上の検出器配列（例えば、ＣＣＤ配列）を使用することができる。例えば、検出器配列の異なる領域は、試料４１２０に入射するそれぞれのビーム７１２２Ａ、７１２２Ｂ、７１２２Ｃによって生成された異なるＳＨＧ信号を収集することができる。いくつかの実施形態では、入射ビーム７１２２Ａ、７１２２Ｂ、７１２２Ｃのうちの特定の一つについてのＳＨＧ信号は、検出器配列上のそれぞれの領域にまたがる積分によって得ることができる。さらに、本明細書中に開示した構成要素、特徴、および／または方法あるいは技術のいずれも使用することができる。例えば、一つ以上の偏光ビームスプリッタを使用して、ｓ偏光成分およびｐ偏光成分のような第１および第２の偏光状態の光を同時に収集することができる。例えば、図２１および関連する説明を参照されたい。

【０１８９】

図２３は、試料４１２０の一領域のＳＨＧ画像を生成するための別のシステム１０００００を示す。このＳＨＧ撮像システム１００００は、試料４１２０もしくはその一領域を画像化し、かつ／または試料の一領域に関連するＳＨＧ信号を検出器配列１０１１６に投影してＳＨＧ画像を形成するために、結像光学系１０１１４を用いる。

【０１９０】

本明細書に記載された他のＳＨＧシステムと同様に、図２３に示すシステム１００００は、試料ステージ４１４０上に支持される試料４１２０から第二高調波発生を生成するため試料４１２０に向けることができる光を出力するように構成された光源（例えば、レーザ光源）１０１１０を含む。本明細書に記載された他のシステムと同様に、試料ステージ４１４０は、ｘ－ｙ並進ステージのような並進ステージおよび／または回転ステージ４１１６を含むことができる。

【０１９１】

図２３に示すシステム１００００は、さらに、任意選択の集束光学系１０１１２を含み、光源１０１１０からの光を試料４１２０上の一つの位置に集束させる。集束光学系は、例えば、いくつかの実施形態では、一つまたは複数のレンズもしくはミラーを含むことができる。

【０１９２】

図２３に示すシステム１００００は、また、試料４１２０からの第二高調波発生光のような光を収集するように構成された投影光学系１０１１２を含む。投影光学系１０１１２は、例えば、いくつかの実施形態では、一つまたは複数のレンズもしくはミラーを含むことができる。

【０１９３】

図２３に示すシステム１００００は、試料４１２０から第２高調波発生光を受けるように配置された検出器配列１０１１６を含む。検出器配列または画素化検出器１０１１６は、複数の検出器または画素を含む。検出器配列の画素によって生成された電気信号を処理して、画素によって受信した光信号の強度レベルの画像またはマップを形成することができる。検出器配列１０１１６は、例えば、いくつかの実施形態では、電荷結合検出器（ＣＣＤ）配列を備えることができるが、他の種類の検出器配列を使用することも可能である。検出器配列１０１１６は、ある実施形態では、時間依存積分に基づく装置を備えることもできる。時間にわたる積分信号は、信号測定値の増加を提供することができる。

【０１９４】

いくつかの実施形態では、投影光学系１０１１４は、光強度を有する一つまたは複数の光学素子のような結像光学系を含む。結像光学系１０１１４は、例えば、一つもしくは複数のレンズ、一つもしくは複数のミラー又はそれらの組み合わせのようなものを含むことができる。いくつか実施形態では、例えば、検出器配列１０１１６は、試料の共役平面（例えば、像平面）に配置される（対応する対象面にあってもよい）。したがって、いくつかの実施形態では、試料４１２０（または、試料上の異なる位置から放射するＳＨＧ光によって形成された像）は、検出器配列１０１１６上に結像する。ＳＨＧ光は、試料をレーザ光で照射することによって生成され、入射レーザビームによって照射された試料上の一領域または点領域にわたって延在することができる。

【０１９５】

したがって、様々な実施形態では、試料４１２０上の異なる位置からのＳＨＧ信号は、検出器配列１０１１６上の異なる位置にマッピングされる。したがって、試料４１２０上の異なる位置に入射するレーザ光源１０１１０からの光によって異なる位置のＳＨＧ信号を生成することができ、したがって、検出器配列１０１１６は、試料４１２０上の異なる位置のＳＨＧ信号を測定し、試料上のＳＨＧ信号の分布の画像またはマップを生成することができる。

【０１９６】

いくつかの実施態様では、試料のより広い領域にわたる画像化を提供するために、試料をレーザ光源および投影光学系に対して平行移動する。同様に、レーザおよび投影光学系（および検出器）を試料に対して平行移動させて、試料のより広い領域にわたる画像化を提供することができる。さらに、時間積分を用いて、測定された信号レベルを増加させることもできる。

【０１９７】

したがって、様々な実施形態では、レーザビームは静止したままであり、試料（例えば、ウエハ）を並進させ、その間ＳＨＧ信号を画素化検出器に投影する。時間依存積分を、測定する信号レベルを増加させるために、いくつかの実施において採用し得る。検出器からの異なる画素要素は、検出器配列上の対応する画素と対になったウエハ表面上の空間的位置からの局所的なＳＨＧ信号を記録することができる。

【０１９８】

広範囲の変形が可能であり、例えば、一つの光源１０１１０、一つの検出器配列１０１１６、一組の集束光学系１０１１２、または一組の投影光学系１０１１４の代わりに、これらの任意の構成要素の一つ以上がシステム８０００に含まれてもよい。さらに、本明細書中に開示した構成要素、特徴、および／または方法あるいは技術のいずれも使用することができる。例えば、一つ以上の偏光ビームスプリッタを使用して、ｓ偏光成分およびｐ偏光成分のような第１および第２の偏光状態の光を同時に収集することができる。例えば、図２１および関連する説明を参照されたい。

【０１９９】
（変形例）
本発明の実施形態について、特徴の選択に関する詳細とともに、以上に記載した。他の詳細に関しては、これらについて、上記で参照した特許および刊行物に関連して理解し得るだけでなく、一般に、当業者によって知られているか、または評価されている。本発明の方法に基づく態様に関しても、一般的または論理的に使用する追加の動作について、同じことが当てはまる可能性がある。製造および使用方法を含む、そのような方法に関して、これらについて、論理的に可能なイベントの任意の順序、ならびに列挙したイベントの任意の順序で実行できる。さらに、値の範囲を提供する場合、全ての介在値、つまり、その範囲の上限および下限間、ならびに当該記載範囲の他の任意の記載または介在値は、本発明に含まれることが理解されよう。また、記載する本発明の変形例の任意の選択可能な特徴について、本明細書に記載した一つもしくは複数の任意の特徴と独立に、または組み合わせて、明らかにし主張することを企図している。
【０２００】
本明細書で使用するように、項目リスト「の少なくとも一つ」を指す句は、単一の項目を含む、それらの項目の任意の組み合わせを指す。例として、「ａ、ｂ、またはｃの少なくとも一つ」は、ａ、ｂ、ｃ、ａｂ、ａｃ、ｂｃ、およびａｂｃを含むことを意図する。
【０２０１】
本発明の実施形態について、必要に応じて種々の特徴を組み込んだ、いくつかの実施例を参照して説明したが、これらはそれぞれ、そのような変形例に関して意図するように記載され、または示されたものに限定されない。記載したそのような発明の任意の実施形態に変更を加えてよく、同等物（本明細書に記載されているか、または簡潔にするために含まれていないかを問わず）を、本明細書の真の精神および範囲から逸脱することなく置き換えることができる。この明細書で別々の実装の状況で記載した特定の特徴を、また、単一の実装として組み合わせて実装することもできる。逆に、単一の実装の状況で記載した様々な機能を、また、複数の実装で別々に、または任意の適切な部分的組み合わせで実装することもできる。さらに、特徴について、特定の組み合わせで作用するものとして上記に記載し、最初にそのように主張しても、主張した一つの組み合わせからの一つまたは複数の特徴を、場合によっては当該組み合わせから切り出すことができ、当該主張した組み合わせを、部分的組み合わせまたはその変形に向けることができる。
【０２０２】
記載した様々な処理例について、汎用プロセッサ、デジタル信号プロセッサ（ＤＳＰ）、特定用途集積回路（ＡＳＩＣ）、フィールドプログラマブルゲートアレイ（ＦＰＧＡ）または他のプログラマブル論理装置、個別ゲートもしくはトランジスタロジック、個別ハードウェア部品、または本明細書に記載の機能を実行するように設計されたそれらの任意の組み合わせを用いて実現し、または実行してよい。汎用プロセッサは、マイクロプロセッサであってよいが、代替として、前述のプロセッサは、任意の従来のプロセッサ、コントローラ、マイクロコントローラ、またはステートマシンであってよく、ユーザインタフェースと通信し、ユーザによって入力されたコマンドを受信するユーザインタフェースポート、プロセッサの制御下およびユーザインタフェースポートを介した通信で動作するプログラムを含む電気的情報を格納する、少なくとも一つのメモリ（例えば、ハードドライブまたは他の同等の記憶装置、およびランダムアクセスメモリ）、ＶＧＡ、ＤＶＩ、ＨＤＭＩ（登録商標）、ＤｉｓｐｌａｙＰｏｒｔなどの任意の種類のビデオ出力形式を介して出力を生成するビデオ出力を有するコンピュータシステムの一部であり得る。
【０２０３】
プロセッサについて、また、計算装置の組み合わせ、例えば、ＤＳＰおよびマイクロプロセッサの組み合わせ、複数のマイクロプロセッサ、ＤＳＰコアと連動する一つもしくは複数のマイクロプロセッサ、または他の任意のこのような構成として実現してよい。また、これらの装置を使用して、本明細書に記載した装置の値を選択してよい。
【０２０４】

本明細書に開示された実施形態に関連して説明された方法またはアルゴリズムの工程を、直接ハードウェアで、プロセッサによって実行されるソフトウェアモジュールで、またはこれらの組み合わせで、具体化し得る。ソフトウェアモジュールは、ランダムアクセスメモリ（ＲＡＭ）、フラッシュメモリ、読み出し専用メモリ（ＲＯＭ）、電気的にプログラム可能なＲＯＭ（ＥＰＲＯＭ）、電気的に消去可能なプログラマブルＲＯＭ（ＥＥＰＲＯＭ）、レジスタ、ハードディスク、取り外し可能なディスク、ＣＤ－ＲＯＭ、または当該技術分野で知られている任意の他の形態の記憶媒体に存在できる。記憶媒体の一例では、プロセッサが記憶媒体から情報を読み取り、記憶媒体に情報を書き込むことができるように、プロセッサに結合する。代替として、記憶媒体を、プロセッサと一体してもよい。プロセッサおよび記憶媒体は、ＡＳＩＣに存在してもよい。ＡＳＩＣは、ユーザ端末内に存在できる。代替として、プロセッサおよび記憶媒体は、ユーザ端末内の別個の構成要素として存在できる。

【０２０５】

一つまたは複数の実施形態の例では、説明した機能を、ハードウェア、ソフトウェア、ファームウェア、またはそれらの任意の組み合わせで実施し得る。ソフトウェアで実施する場合、機能は、コンピュータ可読媒体上に記憶され、送信され、または一つまたは複数の命令、コード他の情報のような分析／計算データを結果として出力する。コンピュータ可読媒体には、ある場所から別の場所へのコンピュータプログラムの転送を容易にする任意の媒体を含む、コンピュータ記憶媒体および通信媒体の両方が含まれる。記憶媒体を、コンピュータによってアクセス可能な任意の利用可能な媒体とできる。限定ではなく、例として、そのようなコンピュータ可読媒体には、ＲＡＭ、ＲＯＭ、ＥＥＰＲＯＭ、ＣＤ－ＲＯＭもしくは他の光ディスク記憶装置、磁気ディスク記憶装置もしくは他の磁気記憶装置、または命令もしくはデータ構造の形態で所望のプログラムコードを搬送もしくは記憶するために使用することができ、コンピュータによってアクセスすることができる任意の他の媒体が含まれ得る。メモリ記憶装置は、また、回転磁気ハードディスクドライブ、光ディスクドライブ、もしくはフラッシュメモリベースの記憶装置ドライブ、または他のそのような固体、磁気または光学記憶装置であってもよい。

【０２０６】

また、任意の接続は、コンピュータ可読媒体と適切に呼ばれる。例えば、ソフトウェアが、同軸ケーブル、光ファイバーケーブル、ツイストペア、デジタル加入者線（ＤＳＬ）、または赤外線、無線、およびマイクロ波のような無線技術を使用して、ウェブサイト、サーバー、または他のリモートソースから送信される場合、同軸ケーブル、光ファイバーケーブル、ツイストペア、ＤＳＬ、または赤外線、無線、およびマイクロ波のような無線技術は、媒体の定義に含まれる。本明細書で使用されるディスク（Ｄｉｓｋ）およびディスク（Ｄｉｓｃ）は、コンパクトディスク（ＣＤ）、レーザディスク、光ディスク、デジタル多用途ディスク（ＤＶＤ）、フロッピーディスク、およびブルーレイディスクを含み、ディスク（Ｄｉｓｋ）は通常、データを磁気的に再生し、ディスク（Ｄｉｓｃ）は、データをレーザで光学的に再生する。上記の組合せもまた、コンピュータ可読媒体の範囲内に含まれるべきである。

【０２０７】

本明細書で説明した動作は、ウェブサイト上またはウェブサイト経由で実行することができる。ウェブサイトは、サーバーコンピュータ上で動作し、もしくは、例えば、クライアントコンピュータにダウンロードすることによってローカルに動作し、またはサーバーファームを介して動作することができる。ウェブサイトは、携帯電話もしくはＰＤＡを経由して、または任意の他のクライアント上でアクセスすることができる。ウェブサイトは、ＭＨＴＭＬまたはＸＭＬのような任意の形式のＨＴＭＬコードを使用することができ、さらに、カスケード式スタイルシート（ＣＳＳ）または他の形式のような任意の形式を介して使用することができる。

【０２０８】

また、本発明者らは、「手段」という語を使用する特許請求の範囲のみが、３５ＵＳＣ

１１２、第６段落の下で解釈されるべきであることを意図している。さらに、明細書からの制限は、特許請求の範囲に明示的に含まれない限り、いずれの特許請求の範囲にも、含まれることを意図するものではない。本明細書に記載されたコンピュータは、汎用のいずれのコンピュータ、またはワークステーションなどの特定の目的のコンピュータであってもよい。プログラムは、Ｃ、もしくはＪＡＶＡ（登録商標）、ＢＲＥＷ、または任意の他のプログラミング言語で書くことができる。プログラムは、記憶媒体、例えば、磁気もしくは光学のもの、例えば、コンピュータハードドライブ、メモリスティックもしくはＳＤメディアなどの取り外し可能なディスクもしくは媒体、または他の取り外し可能な媒体上に常駐する場合がある。プログラムはまた、ネットワーク上で実行されてもよく、例えば、サーバーまたは他のマシンがローカルマシンに信号を送信することにより、ローカルマシンに本明細書に記載した動作の実行をさせてもよい。

【０２０９】

また、本明細書に提供される任意の実施形態に関して記載された全ての特徴、要素、構成要素、機能、動作および工程について、任意の他の実施形態からのものと自由に組み合わせ可能であり、かつ置換可能であることを意図していることにも留意されたい。特定の特徴、要素、構成要素、機能、または工程について、一実施形態に関してのみ記載している場合、その特徴、要素、構成要素、機能、または工程を、特に明記しない限り、本明細書に記載されたあらゆる他の実施形態と一緒に使用し得ることが理解されるべきである。したがって、この段落は、特定の例において、以下の説明により、そのような組み合わせまたは置換が可能であることを明記していない場合であっても、いつでも、異なる実施形態からの特徴、要素、構成要素、機能、および動作もしくは工程を組み合わせる、または、ある実施形態からの機能、要素、構成要素、機能、および動作もしくは工程を他の実施形態のものと置換する、請求項を導入するための先行的な基礎および書面による支持として機能する。すべての可能な組合せおよび置換の列挙を表現することは、特に、各組み合わせおよび置換の許容度について当業者によって容易に認識することができることを考慮すると、過度の負担になることが明らかに認められるからである。

【０２１０】

いくつかの例では、エンティティは、他のエンティティに結合されるものとして本明細書で説明する。「相互嵌合」、「結合」または「接続」（あるいはこれらの形態のいずれか）という用語について、本明細書では交換可能に使用する場合があり、二つのエンティティの直接結合（無視できない、いかなる、例えば、寄生するエンティティが介在しない）および二つのエンティティの間接的な結合（無視できない、一つまたは複数の、寄生するエンティティが介在する）を包括することを理解されたい。エンティティが互いに直接結合されるものとして示されている、または介在するエンティティを記載することなく互いに結合されるように記載されている場合、これらのエンティティは、文脈がそうでないことを明確に指示しない限り、互いに間接的に結合され得ることを理解されたい。

【０２１１】

単数の項目を参照することは、複数の同じ項目が存在する可能性を含む。より具体的には、本明細書および添付の特許請求の範囲において使用されるように、単数形「一つの（ａ、ａｎ）」、「前記（ｓａｉｄ）」および「前述の（ｔｈｅ）」は、特に明記しない限り、複数の指示対象を含む。換言すれば、その冠詞を使用することにより、以下の特許請求の範囲と同様に、上記の説明において対象の「少なくとも一つ」が可能となる。

【０２１２】

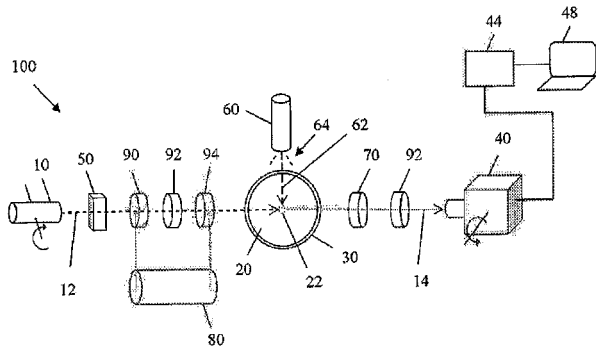
さらに、請求項について、任意の選択的な要素（例えば、本明細書の「通常」、「できる」、「可能である」、または「可能性がある」、「場合がある」、「してよい」などを用いた記載により指定した要素）を除外して作成してもよいことに留意されたい。したがって、この記述について、請求項の列挙に関連して「単独で」、「唯一」などのような排他的な用語の使用、または他の「否定的な」請求項制限言語の使用をするための先行的な基礎として機能するように意図している。このような排他的な用語を使用することなく、特許請求の範囲における「含む」という用語は、所与の数の要素が請求項に列挙されてい

るかどうか、または機能の追加が特許請求の範囲に記載された要素の性質を変換するものと見なされ得るかどうかに関係なく、任意の追加の要素が包含されることを許容する。さらに、特許請求の範囲における任意のそのような用語「含む」について、排他型言語「から成る」に補正できることを企図している。また、本明細書で具体的に定義する場合を除いて、本明細書で使用する全ての技術的および科学的用語は、請求項の妥当性を維持しながら、可能な限り当業者に広く一般に理解される意味として与えられるべきである。

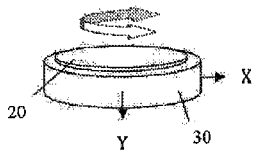
【０２１３】

実施形態について、様々な変更および代替形態が可能であるが、その具体例を、図面に示し、本明細書で詳細に説明している。しかし、これらの実施形態は、開示した特定の形態に限定されるものではなく、むしろ、本開示の精神に含まれる全ての変更、均等物および代替物を網羅するものであることを理解されたい。さらに、本発明の実施形態の任意の特徴、機能、動作、工程、または要素について、特許請求の範囲内に記載しても、特許請求の範囲に追加してもよく、発明の範囲内にない特徴、機能、工程、または要素によって請求項の本発明の範囲を規定する否定的制限（上述したように、または他のものであってもよい）も同様である。したがって、本発明の変形例または発明の実施形態の幅は、提供した実施例に限定されるものではなく、以下の請求項の範囲によってのみ限定される。したがって、本発明者らは以下の通り、請求する。

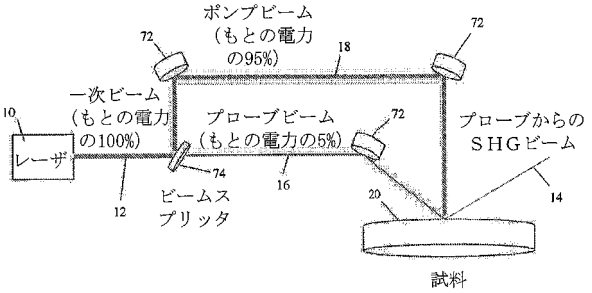
【図１Ａ】



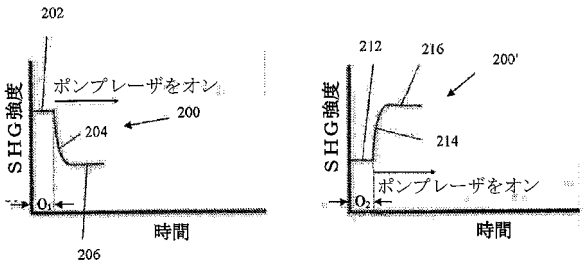
【図１Ｂ】



【図１Ｃ】

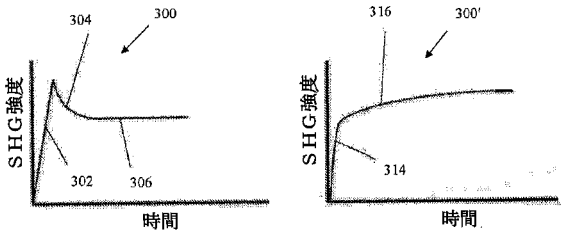


【図２】



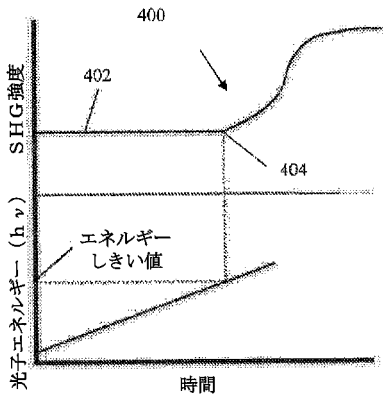
(図２Ａ)　(図２Ｂ)

【図３】

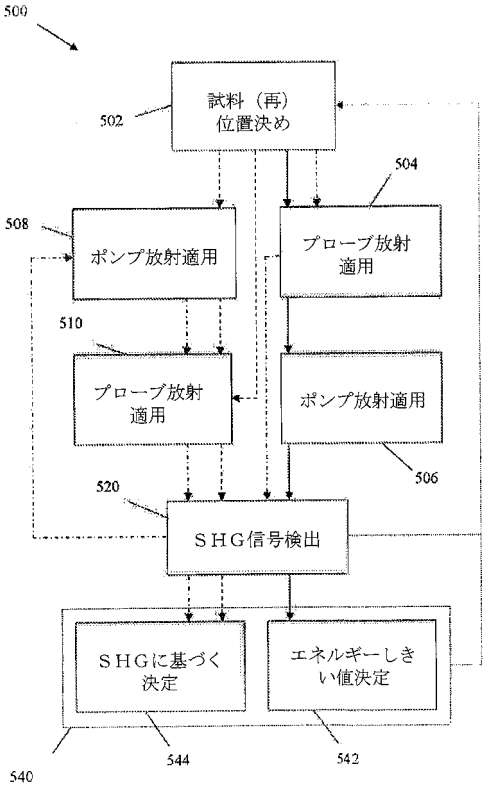


（図３Ａ）　（図３Ｂ）

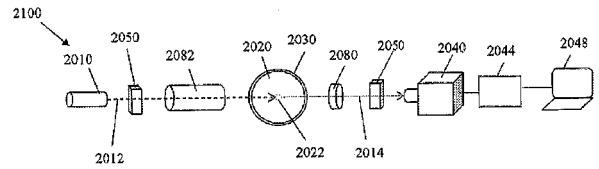
【図４】



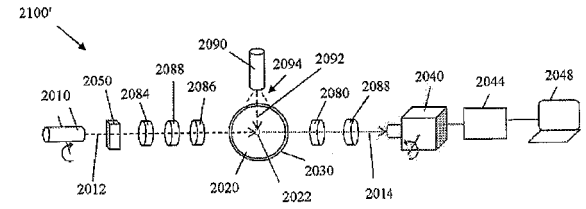
【図５】



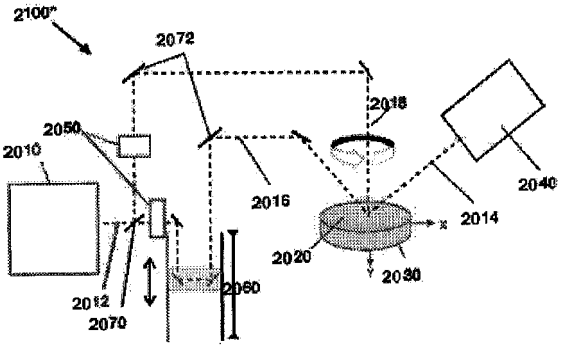
【図６Ａ】



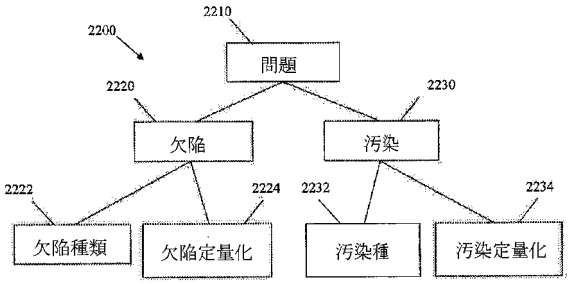
【図６Ｂ】



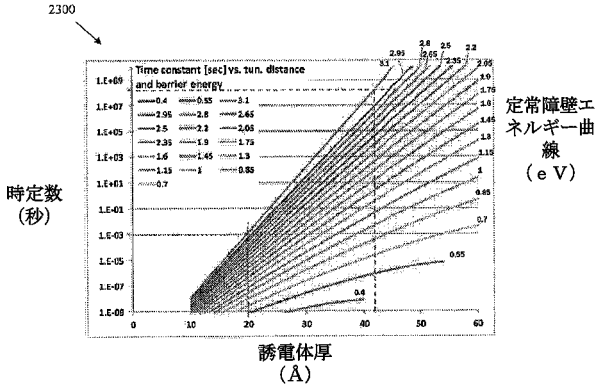
【図６Ｃ】



【図７】

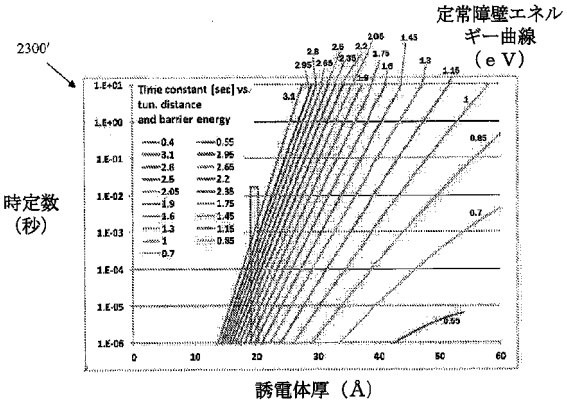


【図８Ａ】



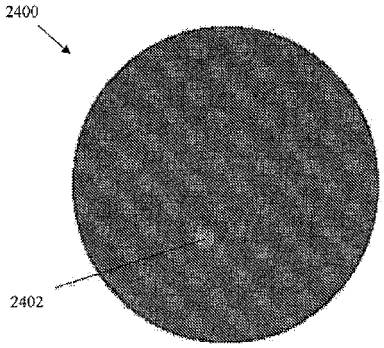
時定数（秒）vs. トンネル距離および障壁エネルギー

【図８Ｂ】

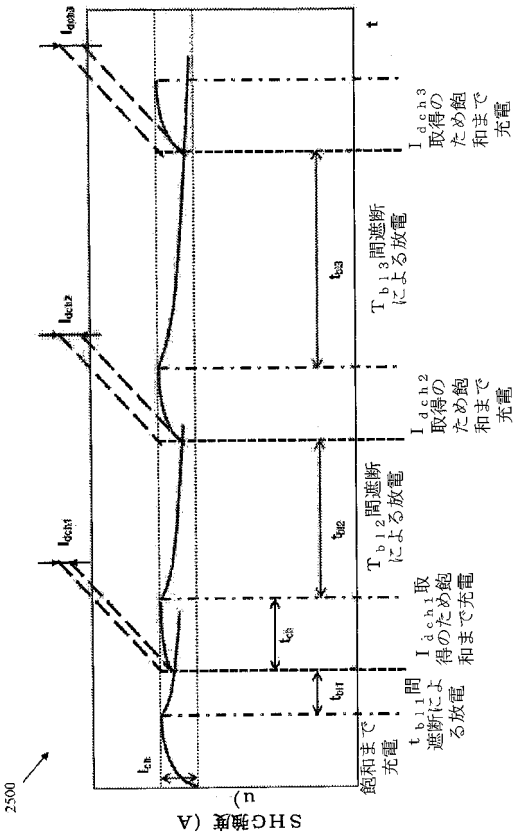


時定数（秒）vs. トンネル距離および障壁エネルギー

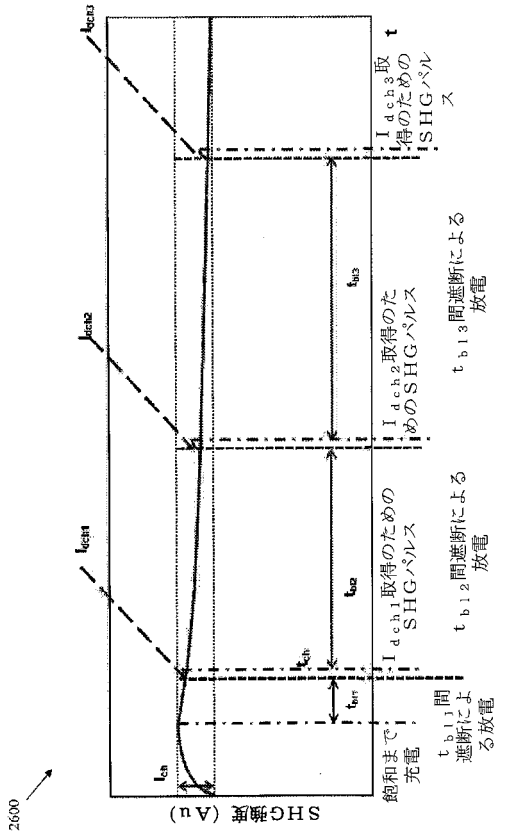
【図９】



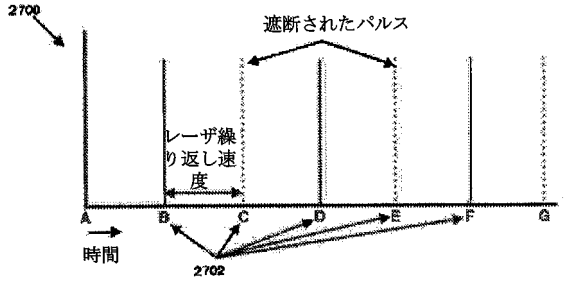
【図１０】



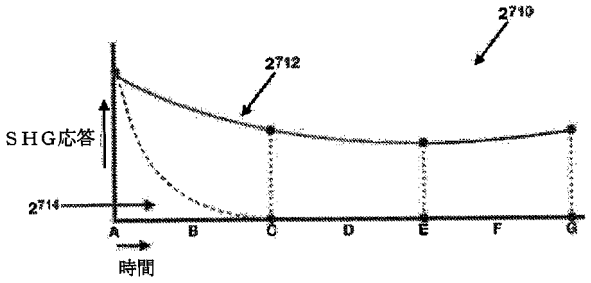
【図１１】



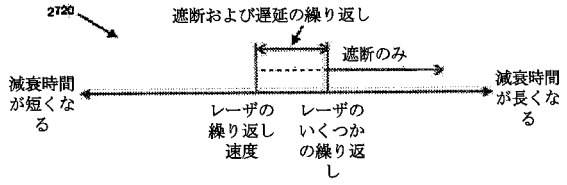
【図１２Ａ】



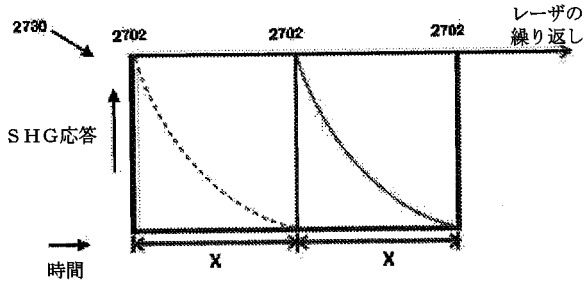
【図１２Ｂ】



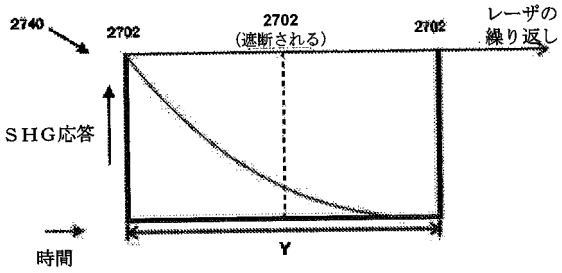
【図１２Ｃ】



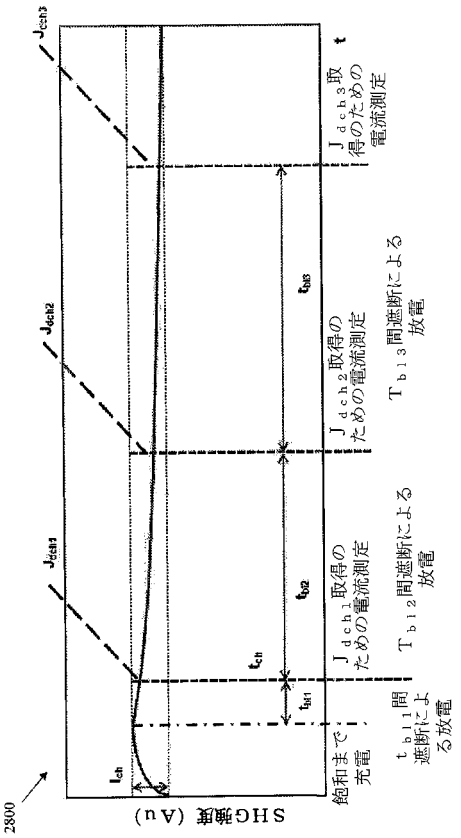
【図１２Ｄ】



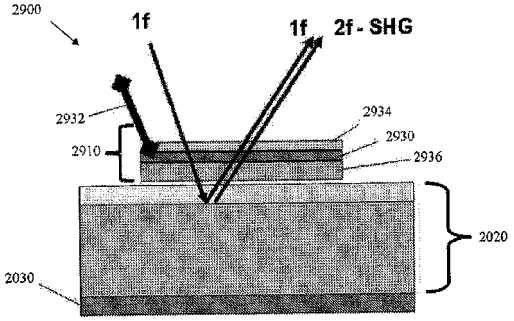
【図１２Ｅ】



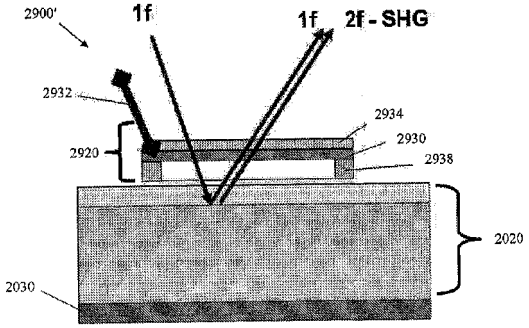
【図１３】



【図１４】

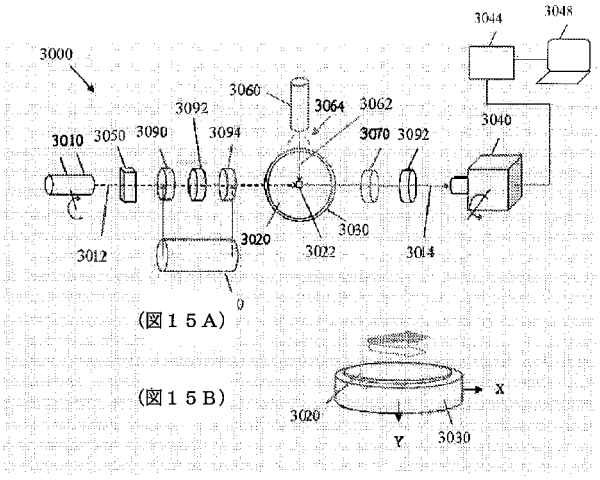


(図１４Ａ)



(図１４Ｂ)

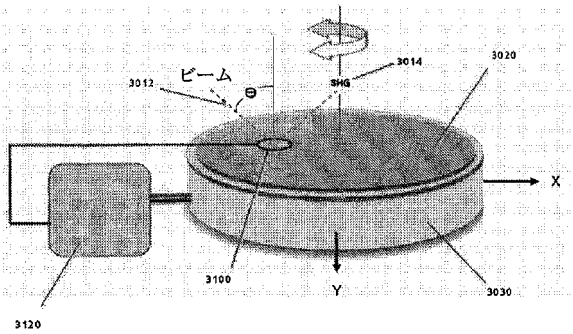
【図１５】



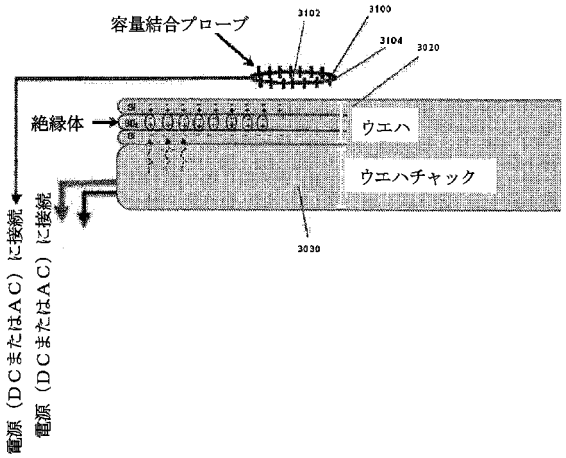
(図１５Ａ)

(図１５Ｂ)

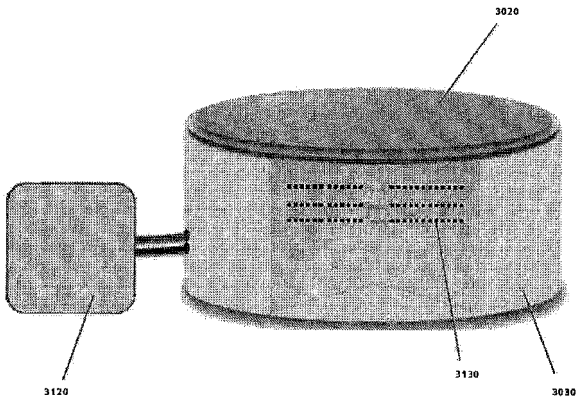
【図１６Ａ】



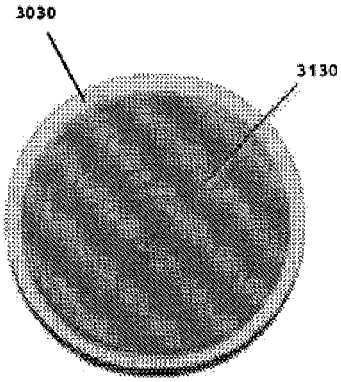
【図１６Ｂ】



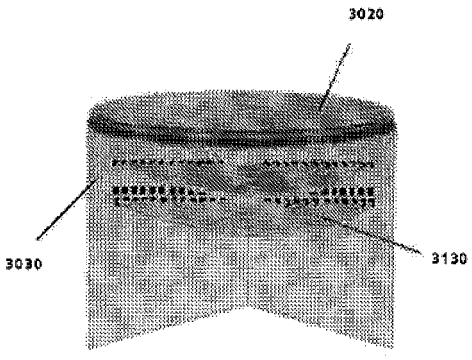
【図１７Ａ】



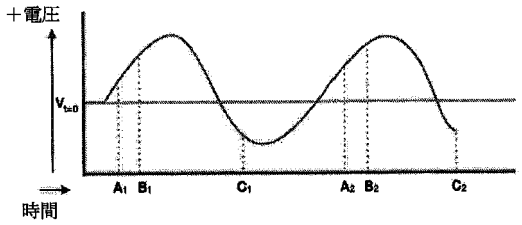
【図１７Ｂ】



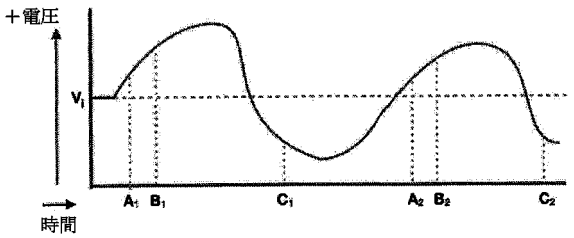
【図１７Ｃ】



【図１８】

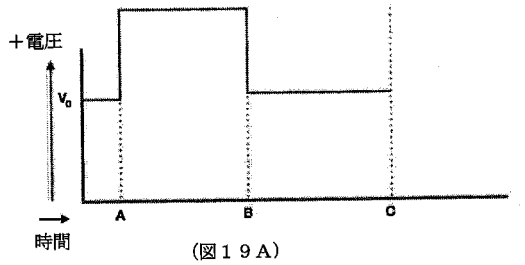


（図１８Ａ）

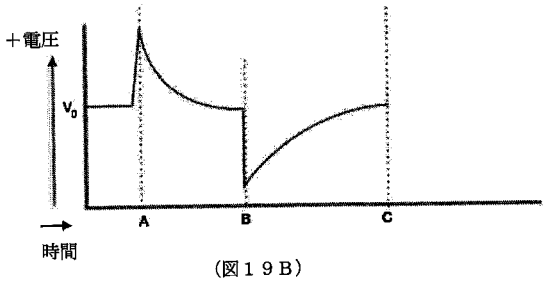


（図１８Ｂ）

【図１９】

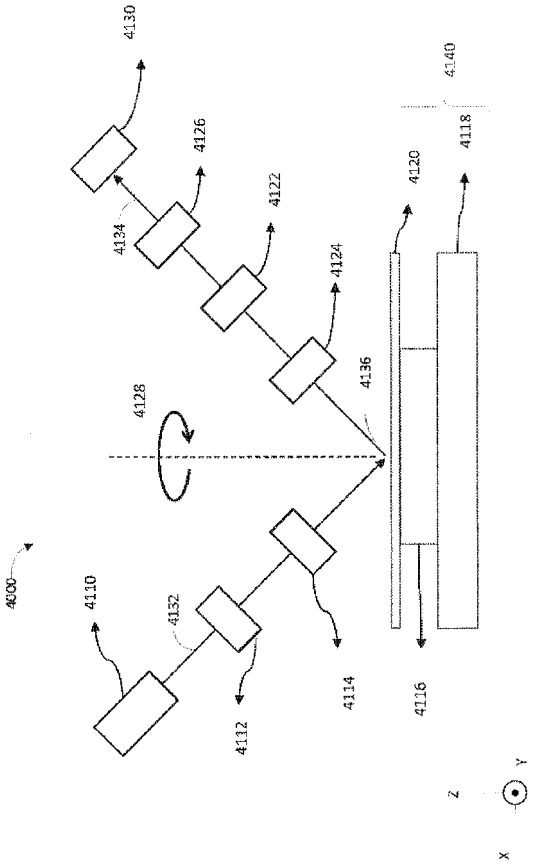


(図１９Ａ)

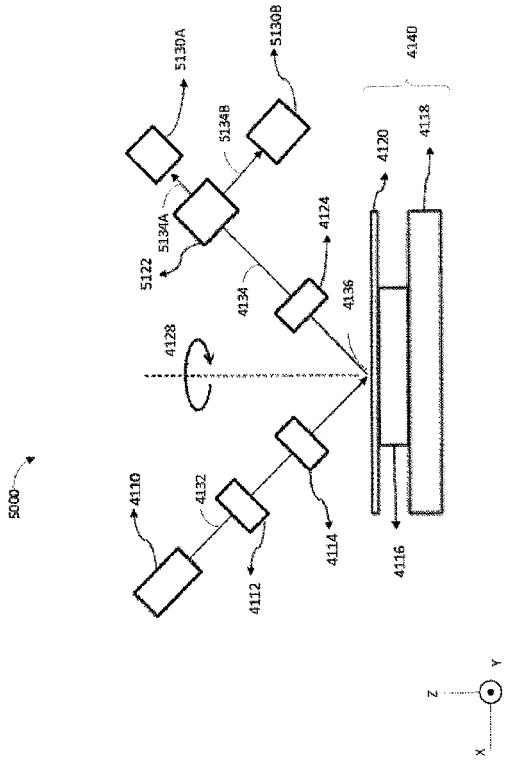


(図１９Ｂ)

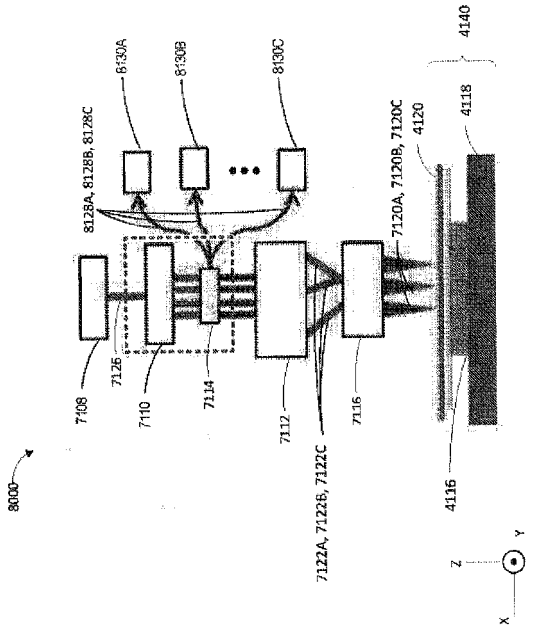
【図２０】



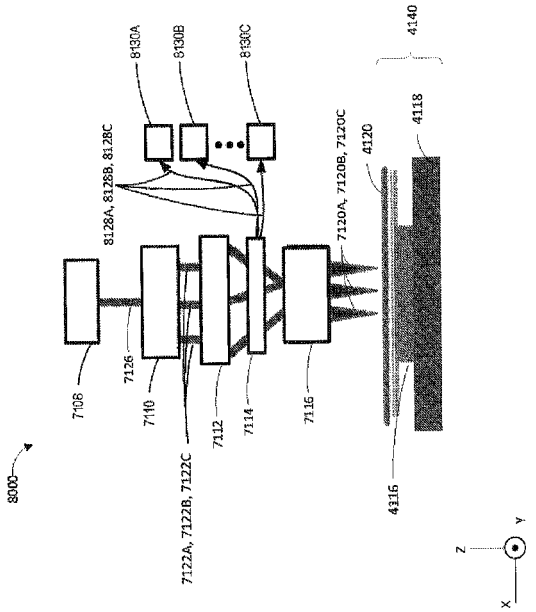
【図２１】



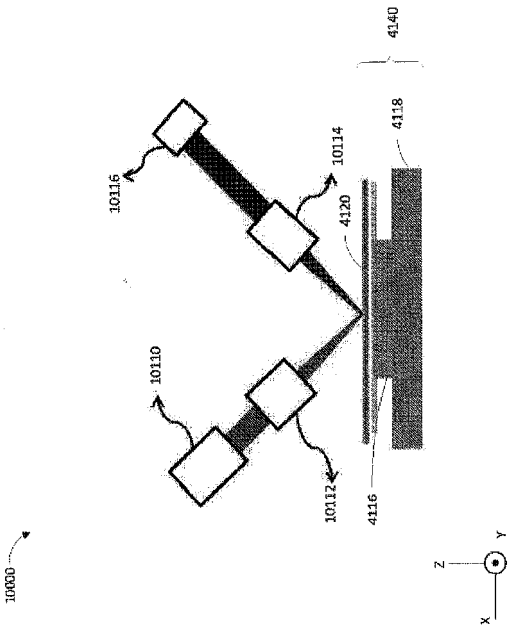
【図２２Ａ】



【図２２Ｂ】


8000
8130A
8130B
8130C
8128A, 8128B, 8128C
7120A, 7120B, 7120C
4120
4118
4140
4116
7106
7126
7110
7122A, 7122B, 7122C
7112
7114
7116
Z
Y
X

【図２３】


10000
10116
10114
4120
4118
4140
10110
10112
4116
Z
Y
X

【国際調査報告】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/US2019/032282

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G01N 21/88(2006.01)i, G01N 21/95(2006.01)i, G01N 21/01(2006.01)i

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)
G01N 21/88; G01N 21/86; G01N 29/24; G01N 29/44; G02F 1/35; G02F 1/355; G02F 1/37; G11B 7/00; H01S 3/133; G01N 21/95; G01N 21/01

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched
Korean utility models and applications for utility models
Japanese utility models and applications for utility models

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)
eKOMPASS(KIPO internal) & keywords: second harmonic generation, sample, optical source, polarization beamsplitter, detector

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 2002-0109110 A1 (SOME et al.) 15 August 2002 See paragraphs [0028]-[0039], claims 1, 10, and figures 1-3.	11-12,26-27
Y		1-3
Y	EP 0378061 A2 (INTERNATIONAL BUSINESS MACHINES CORPORATION) 18 July 1990 See column 3, line 54 - column 4, line 17 and figure 1.	1-3
A	US 2009-0303574 A1 (GUNTER et al.) 10 December 2009 See paragraphs [0072]-[0077] and figure 4.	1-3,11-12,26-27
A	US 2017-0205377 A1 (VANDERBILT UNIVERSITY) 20 July 2017 See paragraph [0073] and figure 1.	1-3,11-12,26-27
A	US 2010-0188957 A1 (KNITTEL et al.) 29 July 2010 See paragraph [0043] and figure 1.	1-3,11-12,26-27

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☒ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
"D" document cited by the applicant in the international application
"E" earlier application or patent 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
24 September 2019 (24.09.2019)	**25 September 2019 (25.09.2019)**

Name and mailing address of the ISA/KR	Authorized officer
International Application Division Korean Intellectual Property Office 189 Cheongsa-ro, Seo-gu, Daejeon, 35208, Republic of Korea	LEE, Hun Gil
Facsimile No. +82-42-481-8578	Telephone No. +82-42-481-8525

Form PCT/ISA/210 (second sheet) (July 2019)

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/US2019/032282

Box No. 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.: 7, 34, and 36
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:
Claims 7, 34, and 36 are regarded to be unclear because they refer to a multiple dependent claim which does not comply with PCT Rule 6.4(a).

3. ☒ Claims Nos.: 4-6, 8-10, 13-25, 28-33, and 35
because they are dependent claims and are not drafted in accordance with the second and third sentences of Rule 6.4(a).

Box No. 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:

1. ☐ As all required addtional 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 fees, this Authority did not invite payment of any additional fees.

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.:

Remark on Protest

☐ The additional search fees were accompanied by the applicant's protest and, where applicable, the payment of a protest fee.
☐ The additional search fees were accompanied by the applicant's protest but the applicable protest fee was not paid within the time limit specified in the invitation.
☐ No protest accompanied the payment of additional search fees.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/US2019/032282

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 2002-0109110 A1	15/08/2002	AU 2002-251930 A1	28/08/2002
		CN 1496478 A	12/05/2004
		EP 1360474 A2	12/11/2003
		JP 2004-529327 A	24/09/2004
		US 6791099 B2	14/09/2004
		WO 02-065108 A2	22/08/2002
		WO 02-065108 A3	21/11/2002
EP 0378061 A2	18/07/1990	AU 4778690 A	19/07/1990
		AU 626964 B2	13/08/1992
		BR 9000115 A	23/10/1990
		CN 1044193 A	25/07/1990
		CN 1044193 C	22/04/1994
		DE 68925810 T2	26/09/1996
		EP 0378061 A3	14/08/1991
		EP 0378061 B1	28/02/1996
		HK 203896 A	15/11/1996
		JP 02-239238 A	21/09/1990
		KR 10-1993-0006854 B1	24/07/1993
		US 5060233 A	22/10/1991
US 2009-0303574 A1	10/12/2009	EP 2013948 A1	14/01/2009
		US 7894126 B2	22/02/2011
		WO 2007-121598 A1	01/11/2007
US 2017-0205377 A1	20/07/2017	US 10371668 B2	06/08/2019
		WO 2016-007950 A1	14/01/2016
US 2010-0188957 A1	29/07/2010	CN 101789244 A	28/07/2010
		CN 101789244 B	18/02/2015
		EP 2211343 A1	28/07/2010
		EP 2211344 A1	28/07/2010
		EP 2211344 B1	13/03/2013
		JP 2010-176830 A	12/08/2010
		JP 5539744 B2	02/07/2014
		KR 10-2010-0087635 A	05/08/2010
		US 8693301 B2	08/04/2014

フロントページの続き

(81)指定国・地域 AP(BW,GH,GM,KE,LR,LS,MW,MZ,NA,RW,SD,SL,ST,SZ,TZ,UG,ZM,ZW),EA(AM,AZ,BY,KG,KZ,RU,TJ,TM),EP(AL,AT,BE,BG,CH,CY,CZ,DE,DK,EE,ES,FI,FR,GB,GR,HR,HU,IE,IS,IT,LT,LU,LV,MC,MK,MT,NL,NO,PL,PT,RO,RS,SE,SI,SK,SM,TR),OA(BF,BJ,CF,CG,CI,CM,GA,GN,GQ,GW,KM,ML,MR,NE,SN,TD,TG),AE,AG,AL,AM,AO,AT,AU,AZ,BA,BB,BG,BH,BN,BR,BW,BY,BZ,CA,CH,CL,CN,CO,CR,CU,CZ,DE,DJ,DK,DM,DO,DZ,EC,EE,EG,ES,FI,GB,GD,GE,GH,GM,GT,HN,HR,HU,ID,IL,IN,IR,IS,JO,JP,KE,KG,KH,KN,KP,KR,KW,KZ,LA,LC,LK,LR,LS,LU,LY,MA,MD,ME,MG,MK,MN,MW,MX,MY,MZ,NA,NG,NI,NO,NZ,OM,PA,PE,PG,PH,PL,PT,QA,RO,RS,RU,RW,SA,SC,SD,SE,SG,SK,SL,SM,ST,SV,SY,TH,TJ,TM,TN,TR,TT

Fターム(参考) 2G051 AA51 AB01 AB02 BA10 BA11 BB01 BC02 CA03 CB01 DA08