(19)日本国特許庁(JP)　(12)特　許　公　報(B2)　(11)特許番号
特許第3631749号
(P3631749)
(45)発行日　平成17年3月23日(2005.3.23)　(24)登録日　平成16年12月24日(2004.12.24)

(51)Int.Cl.[7]	F I		
G01J 5/00	G01J	5/00	B
G01B 11/06	G01B	11/06	Z
G01N 21/35	G01J	5/00	D
G01N 22/00	G01N	21/35	Z
H01L 21/22	G01N	22/00	N

請求項の数 17　(全 17 頁)　最終頁に続く

(21)出願番号　特願平4-511439
(86)(22)出願日　平成4年4月27日(1992.4.27)
(65)公表番号　特表平6-500404
(43)公表日　平成6年1月13日(1994.1.13)
(86)国際出願番号　PCT/US1992/003456
(87)国際公開番号　WO1992/019944
(87)国際公開日　平成4年11月12日(1992.11.12)
審査請求日　平成11年4月27日(1999.4.27)
審判番号　不服2001-13478(P2001-13478/J1)
審判請求日　平成13年8月2日(2001.8.2)
(31)優先権主張番号　692,578
(32)優先日　平成3年4月29日(1991.4.29)
(33)優先権主張国　米国(US)

(73)特許権者　591095960
ラクストロン　コーポレイション
ＬＵＸＴＲＯＮ　ＣＯＲＰＯＲＡＴＩＯＮ
アメリカ合衆国、９５０５１、カリフォルニア州、サンタ　クララ、ノースウェスタン　パークウェイ　２７７５
(74)代理人　100075144
弁理士　井ノ口　壽
(72)発明者　シーティンガー　チャールズ　ダブリュー．
アメリカ合衆国　９７２１９　オレゴン州　ポートランド　エス．ダブリュー．メイプルクレスト　ドライブ　７３１

最終頁に続く

(54)【発明の名称】表面状態測定用非接触光学技術

(57)【特許請求の範囲】

【請求項１】

ある基板材料の表面上の前記材料とは異なる材料の層の物理的または化学的特徴を決定するための方法において、

加熱源からの所与の波長領域を含み、かつ周期的な強度のリプルを持つ電磁波が変調されるように前記層および表面に向けて電磁放射を照射するステップと、

前記層によって変調された電磁放射の所与の波長領域の強度レベルを検出することによって、第１の大きさの周期的な強度のリプルを持つ第１の電気信号を発生する第１のレベルを検出するステップと、

前記層と表面に照射されている前記所与の波長領域内にあり、前記層と表面から直接照射される電磁放射を含まない電磁放射の一部の強度を検出することによって、第２の大きさの周期的な強度のリプルを持つ第２の電気信号を発生する第２のレベルを検出するステップと、および

前記第１と第２の電気信号のレベルであるI_WとI_L、および第１と第２の電気信号のリプル要素であるΔI_WとΔI_Lから前記層からの熱放射E_Wを式、

$$E_W = I_W - I_L \left(\Delta I_W / \Delta I_L \right)$$

から得て前記層または表面の物理的または化学的特徴を決定するステップと、

を含む層の物理的または化学的特徴を決定する方法。

【請求項２】

前記表面は半導体材料を含み、そして前記所与の波長領域は半導体基板の吸収帯域の端の

下に存在する請求項１記載の層の物理的または化学的特徴を決定する方法。
【請求項３】
前記表面は、金属が加熱処理を受けている状態を含む請求項１記載の層の物理的または化学的特徴を決定する方法。
【請求項４】
前記放射を検出するステップの少なくとも一つは、水晶，サファイアまたはキュービックジルコニアのいずれか一つからつくられる光パイプで電磁放射を集めるステップと、集めた放射を光検出器に照射するステップとを含む請求項１記載の層の物理的または化学的特徴を決定する方法。
【請求項５】
前記集めるステップは、電磁放射を凸状の光パイプの端部を介して電磁放射を集めることによって、その視野を拡大するステップを含む請求項４記載の層の物理的または化学的特徴を決定する方法。
【請求項６】
前記物理的特徴を決定するステップは、前記層が基板表面に形成されるのと同時に行われる請求項１記載の層の物理的または化学的特徴を決定する方法。
【請求項７】
表面上に層を形成するプロセスを制御するために層の厚さの決定を用いるさらなるステップを含む請求項６記載の層の物理的または化学的特徴を決定する方法。
【請求項８】
前記層および表面に対して電磁放射を照射するステップは、交流電流によって駆動される加熱ランプの一つのセットの使用を含むことによって、前記層および表面をこのようなランプの照明によって加熱する請求項１記載の層の物理的または化学的特徴を決定する方法。
【請求項９】
前記放射を照射するステップは、恒久的に設けられた白熱または蛍光ランプからの照明の経路に前記表面を配置するステップを含む請求項１記載の層の物理的または化学的特徴を決定する方法。
【請求項１０】
実質的に光学的に透明な窓を壁に持つ容器内に配置される基板表面上に材料の層を形成するシステムにおいて、前記基板が、時間変動の強度要素によって特徴づけられる電磁放射源から、前記容器の外側から前記窓を介して前記基板に対して所与の帯域幅の電磁放射を照射することによって加熱され、かつ前記システムが前記層の形成をモニタするのに適したものであって、前記システムは、
第１および第２の光検出器であって、前記光検出器の各々が、時間変動の強度放射要素を含む光検出器に入射する電磁放射のレベルに比例する電気信号を発生することによって特徴づけられるものである第１および第２の光検出器と、
前記基板表面領域から反射された電源電磁放射の一部と、前記電源電磁放射の帯域幅内の前記基板表面領域によって放射される電磁放射との両方を前記第１の光検出器に伝達するために前記基板表面に関連して配置される手段によって、第１の時間変動の要素を含む第１の電気信号を発生するものである前記基板表面に関連して配置される手段と、
前記基板表面から反射もしくは放出された任意の放射を実質的に含まない電源電磁放射の一部を前記第２の光検出器に伝達するために電源に関連して配置される手段によって、第２の時間変動の要素を含む第２の電気信号を発生するものである電源に関連して配置される手段と、および
前記第１と第２の電気信号のレベルであるI_WとI_L、および第１と第２の電気信号のリプル要素であるΔI_WとΔI_Lから前記層からの熱放射E_Wを式、
$E_W = (I_W - I_L (\Delta I_W / \Delta I_L)$
から得て前記層の厚さを決定する第１および第２の電気信号を受信する手段と、
を備えるシステム。

【請求項１１】
前記第１および第２の光検出器は、前記容器の外側に配置され、前記第１および第２の光検出器の放射を伝達する手段は、第１および第２の光パイプの各々が前記容器内に配置される片側の端部を持つそれぞれの第１および第２の光パイプを備える請求項10記載のシステム。
【請求項１２】
前記第１および第２の光パイプは、サファイアまたはキュービックジルコニアの材料のいずれかによって実質的に全体につくられる請求項10記載のシステム。
【請求項１３】
前記第１および第２の光パイプの少なくとも一つは、端部を含み、前記端部は、凸状に形づくられ、かつそこを介して放射を受け取るために配置される請求項11記載のシステム。
【請求項１４】
基板により支持された層から材料を除去するためのシステムにおける前記層の厚さを同時にモニタする器具であって、前記器具は、
反射されるように前記層に照射される周期的な強度のリプルを持つ電磁放射源と、
光検出器に入射する電磁放射のレベルに関連するそれぞれの第１および第２の電気信号を発生させることによって特徴づけられる第１および第２の光検出器であって、前記第１の光検出器は、前記層によって反射される電源からの放射と、電源放射の帯域幅内の前記層によって放出される放射の両方を受け取るために配置され、前記第２の光検出器は、前記層からの反射もしくは放出される任意の放射を実質的に含まない電源電磁放射の一部を受け取るために配置されるものである第１および第２の光検出器と、および
前記第１と第２の電気信号のレベルであるI_WとI_L、および第１と第２の電気信号のリプル要素であるΔI_WとΔI_Lから前記層からの熱放射E_Wを式、
$E_W = (I_W - I_L (\Delta I_W / \Delta I_L)$
から得て前記層の厚さを決定する第１および第２の電気信号を受信する手段と、
を備える層の厚さを同時にモニタする器具。
【請求項１５】
前記厚さを決定する手段は、前記第１および第２の電気信号の強度のリプルから前記層の放射率を算出するための手段を備え、次いで、前記層の厚さが算出された放射率から決定される請求項14記載の層の厚さを同時にモニタする器具。
【請求項１６】
前記第１および第２の光検出器は、水晶，サファイアまたはキュービックジルコニアのいずれか一つからつくられるそれぞれの第１および第２の光パイプを介して放射を受け取るために配置される請求項14記載の層の厚さを同時にモニタする器具。
【請求項１７】
前記層の厚さの決定に応じて材料の除去システムを制御するための手段をさらに備える請求項14乃至16のいずれか１項記載の層の厚さを同時にモニタする器具。
【発明の詳細な説明】
【０００１】
【発明の属する技術分野】
本発明は、基板表面に種々の熱的および物理的な状態などの固体の物体表面の種々の状態の光学的測定技術に関する。
【０００２】
【従来の技術】
種々の形態にある材料が種々の技術によって加熱される必要がある工業的なプロセスの多くの例が存在する。一例は、加熱材料のテストを目的とするそれら加熱材料のためのものである。他の例は、物体の熱処理のためのものである。さらなる例は、半導体処理産業において見いだされる。この後者の例において、処理されるべきシリコンウェハが密閉容器内に配置され、ここでシリコンウェハは、通常、無線周波数または光学放射であるある適当な技術によって加熱される。ある形態において、このような半導体処理容器は、少なく

とも部分的に光学的に透明な材料でつくられる。容器の外側のランプは、大量のエネルギーをその透明な壁を介してウェハ上に照射する。ウェハは、光学放射のその吸収の結果として加熱される。一般に、容器は水晶の筒によって形成されるか、または光学窓を備えるステンレス鋼によって形成される。加熱されたウェハは、ウェハの加熱された表面と反応する容器に適当なガスを導入することによって処理される。

【０００３】

これらのプロセスでは、良い処理結果を得るために、ウェハの温度を限られた狭い範囲内に保持する必要がある。したがって、ウェハの温度をモニタするための技術が必要とされる。一つの可能性として、ウェハを従来の熱電対と接触させる技術が挙げられるが、これは、半導体ウェハが加熱されるべき物体である場合、不十分な測定や汚染に対する配慮によって妨げられることになる。他のタイプの物体について、このような接触測定技術はしばしばは種々の現実的な配慮から排除される。熱電対の使用は、熱質量の相違、不確実な熱接触および熱電対と加熱されるべき物体間の異なる放射により実質的な誤差をもしばしば結果として生じさせることになる。

【０００４】

その結果として、多くの光学的な加熱の応用では、長い波長の高温計の形態などが用いられる。この技術では、半導体ウェハの放射強度または狭い波長帯域内の他の光学的に加熱された物体の放射強度を測定する。次いで、その放射強度は、物体の温度と相関付けられる。加熱されている物体により反射される加熱用の光学放射を測定する高温計において測定誤差を回避するために、加熱ランプの放射スペクトルの外側にある波長が、高温計のモニタ用に選択される。この検出された波長領域は、一般的にランプのスペクトルよりもかなり長い領域になるようにされる。

【０００５】

このような現存する高温計システムにはいくつかの問題点がある。第１に、長い波長における測定は、短い波長における測定の感度の一部しか持てないことである。第２に、光学的に加熱されるシリコンや他の材料の放射率が測定がなされる温度と波長に依存することである。第３に、最も高いSN比を持つ光検出器が、より短い波長の放射に応答する光検出器であることである。第４に、現存する光学高温計は小さい開口数を持つので、測定される物体の粗さやフィルムの成長の程度にも依存する温度測定を提供することである。第５に、現存する高温計の測定技術は遅いので、急速な加熱システムではかなりの問題が生じることである。第６に、典型的な高温計による水晶の窓を介して行う測定では、高温計はそれが感度を持つ水晶から放出される長い波長成分を持つエネルギーにより影響を受けた結果、誤差が生じることである。

【０００６】

【課題を解決するための手段】

よって、本発明の主たる目的は、これら問題を解決することができる温度および／または放射率測定用の改良された高温計技術を提供することである。

【０００７】

本発明のさらに他の目的は、熱的な状態とともに表面の種々の光学的な状態をモニタし、および／または測定するための非接触技術を提供することである。

【０００８】

厚さなどのフィルムの物理的なパラメータが測定されなければならない典型的には薄膜の材料の層に関連する多くのプロセスも存在する。通常、基板上に形成された新しいフィルムが極めてわずかな誤差内で所望の厚さを持つことが望ましい。他の応用では、正確な厚さを持つ薄膜を形成するために、層からの材料の除去が含まれる。薄膜技術の主たる応用は、シリコン半導体やガリウム砒化物の集積回路の製造過程でも見いだされる。前述したタイプの加熱された容器で集積回路を形成する通常のプロセスには、多くのフィルムの形成やフィルムの除去が含まれる。このような薄膜プロセスにおいてフィルムの形成またはフィルムの除去ステップの終了時点がいつ完了したのかを少なくとも知る必要がある。プロセスとそれ自身が干渉しない技術によってプロセスをリアルタイムでモニタし、制御す

ることができることも望まれている。

【０００９】

よって、本発明の主たる目的は、例えば集積回路の製造および金属処理などにおいて用いられる薄膜に関連する種々のプロセスで一般的に有用性を持つ表面をモニタするプロセスを提供することである。

【００１０】

本発明の他の目的は、高精度で、高分解能を持つ非常に薄い膜の厚さを測定するための技術を提供することである。

【００１１】

表面の構造または化学的な組成が、腐食、酸化、表面活性化、錆の形成などのような事故または設計のいずれかによって変化する場合も多々ある。一般に、当初の表面材料とは異なる材料の表面上に層が形成されることにより変化は起こるが、表面に拡散する異なる材料の分子によっても変化は起こり得る。このようなことが起こる工業的なプロセスの一例として、スラグが溶融アルミの表面上に形成するか、または巻かれているアルミの表面上に油が吹きつけられるなどのアルミの処理が挙げられる。これらの例の両方において、表面放射率は、未知であり、かつ変化しうるものである。

【００１２】

したがって、本発明のさらなる他の目的は、このような変化が起こる状態での表面の特徴をモニタし、測定するための技術を提供することである。

【００１３】

さらに詳しく言えば、本発明の目的は、このような表面の変化から不可避的に結果として生じる表面放射率の変化にもかかわらず、高温計によって温度のような特性を正確に測定する方法を提供することである。

【００１４】

これらの目的および他の目的は、本発明によって達成され、簡潔にかつ一般的に言えば、強度のリプルを含む電磁放射が対象となる物体表面に対して照射され、その強度は放射が反射または透過によって表面と相互に作用する前および後の両方において測定される。次いで、これら強度の測定は、表面の状態の表示または測定を得るために、電子的に処理される。表面からの電磁放射の強度も測定される。この測定は、表面に物理的に接触することなく、光学的に達成される。本発明の測定技術は、材料やプロセスの広範囲における応用に利用可能である。

【００１５】

表面または表面に形成される層における多くの特定の特徴を、本発明の技術によってモニタし、あるいは測定することができる。これらの特徴は、この説明の目的のために、次の４つのグループに分類される。すなわち、（１）温度または放射率などの熱的特徴、（２）反射率などの光学的特徴、（３）層の厚さなどの物理的特徴、（４）層または表面の組成などの化学的特徴である。

【００１６】

本発明の光学的／電子的な測定技術の利点として、１または２以上のこのような表面状態の測定は、物体表面が自然に変化し、あるいは処理されて所望の制御された変化が得られる時に自然位で実施可能であるということが挙げられる。さらに、本発明は、これらの測定がモニタされる表面の変化とともにリアルタイムで実質的に瞬時に行われることを可能にする。したがって、これらの測定を表面の変化のプロセスを自動的に制御するのに用いることは極めて望ましい。このことは、表面温度とフィルムの厚さの両方を連続的に測定し、その結果をプロセスの制御に用いる薄膜の形成または除去をモニタし、制御するための集積回路処理技術において特に有利である。また、表面の放射率がプロセス中に変化している金属の熱処理中などの金属処理においても有利である。

【００１７】

本発明の多くの態様である付加的な目的、利点および特徴は、図面を参照して本発明の好ましい実施形態に関する以下の説明により明らかにされる。

【００１８】
【発明の実施の形態】
本発明の改良は表面状態をモニタすることを含む多くの異なったプロセスに対する応用を持つものであるが、まず第１の例として、熱的特徴の測定および半導体ウェハ上に集積回路を製造するステップの場合に形成または除去されるフィルムの厚さについて説明する。さらに、シリコン半導体プロセスとして例示しているが、これらの例は、ゲルマニウム、ガリウム砒化物やその他のプロセスに同様に適用可能である。結果として得られるフィルムは、極めて薄く、１ミクロンの10分の１のオーダーまたはそれ以下であり、そしてそれらのフィルムの厚さは限られた極めて狭い範囲内で制御されなければならない。半導体処理の例について説明した後、金属処理の例について説明する。
【００１９】
図１を参照すると、シリコン半導体基板11が実質的に光学的に透明な水晶炉管１３内に配置されている。管13と端面板14が密閉容器15を形成する。基板11が端面板14に取り付けられている水晶支持体12によって支持され、この支持体により基板11のほとんどの底面を露出させることができる。もちろん工業用に用いられる種々の固有のシリコンウェハの支持体の配列および加熱された処理容器が存在するが、図１の支持体と処理容器は本発明のフィルム測定技術を説明することのみを目的として一般的に示されている例にすぎない。
【００２０】
図１に示す半導体炉のタイプとして、ウェハ11を加熱するための容器15の外部にランプを用いるものがある。このような２つのランプ列17と19が示され、それらは互いにウェハ11の反対側に位置させられている。各々が、光列17のランプ23のような複数の水晶ランプ、および反射器21のような適当な反射器を持つ。しかし、これは、半導体炉の加熱ランプ構成の多くの現存する特定の構成のうちの一例にすぎない。これらのランプは交流電源41によって駆動される。容器15内に適当なガス源39から入口37を介してガスが導入される。図１に関連してこれまで説明してきたことは、半導体反応容器の一般的な概要であり、その反応容器は強烈な背景光を発生し、その背景光が測定における必要な範囲にあるような場合に、本発明は有効である。
【００２１】
半導体プロセスで形成されるフィルムの一つのタイプとして誘電導体フィルムがある。典型的な誘電体は、ポリシリコンのようなシリコン基板それ自体、あるいはシリコン関連の材料の他の層上のいずれかに成長される薄い二酸化シリコン層である。非常に限られた許容範囲内で設計された厚さを用いてこのような二酸化シリコン層を設けることはしばしば極めて重要なことである。ゲート誘電体、トンネル誘電体および極めて薄い他の誘電体の形成の過程で、特に関心を持たれることである。
【００２２】
したがって、本発明の技術では、フィルムが基板表面上に形成される時に基板表面の放射率をモニタする。異なった組成を持つフィルムが下側にある基板の放射率とは異なる放射率を持つので、薄膜が形成される場合に測定される放射率は、モニタされる波長が電磁放射スペクトルの赤外部分の近くにある時に、２つの組み合わせとなる。組成の放射率の変化は、形成されるフィルムの厚さに関連する。フィルムが形成される基板11の底面から照射される放射を捕らえるために、光パイプ25は容器15内に配置されている。光パイプは、炉の容器15の内部および隣接して起こる高い温度に抵抗できるある材料によってつくられる。例えば、このような材料の一例として、サファイアがある。その屈折率から、サファイアの光パイプも非常に大きな開口数（受光角）を持つ。キュービックジルコニアもこれらの所望の特徴を持つ。水晶を光パイプ材料として代わりに用いることができる。光パイプ25は、温度がより低いところへ容器15から延び出し、より一般的な溶融石英光ファイバ29にコネクタ27によって結合される。その光ファイバは、測定器具31で終端する。
【００２３】
基板の所望の光学放射および光パイプ25を介して測定器具31に伝達されるフィルムの形成だけでなく、光パイプ25は同じ赤外線内、あるいは光列19からの赤外線帯域近くの光学放

射も受け取る。よって、第２の光パイプ43が容器15内に配置され、基板またはフィルムそれ自体からの任意の直接的な光信号を必要とすることなく、加熱ランプ19の強度だけを捕らえるように照射される。この光信号は、光ファイバ47にコネクタ45によって結合され、それから測定器具31に供給される。

【００２４】

光ファイバ29と47の信号は、測定器具31内および同じ波長領域内の同じタイプの光検出器によって検出される。光パイプ43からの信号は、光ファイバ25からの信号とともに数学的に演算されることによって、基板とフィルムの光学放射に関連する信号を得られる。次いで、その信号は、基板とフィルムの放射率を決定するために後述する方法で処理される。次いで、フィルムの厚さは、結果として得られる放射率からリアルタイムで算出される。これらの厚さの決定は、例えば、制御回路49を介して電源41を駆動するランプの電源を調整することにより、かつ制御回路48の信号によって容器15内へのガス供給源39からのガスの流れまたは組成を制御することによるなどのフィルム形成プロセスを制御することに好ましくは用いられる。フィルム形成プロセスの終了時点が所望の大きさに達したフィルムの厚さの算出によって検出される時、電源41および／またはガス供給源39はプロセスの終わりに傾斜的に減少させられる。終了時点に達する前のプロセスの場合において、厚さの測定は、ランプ源やガス供給源を制御することによって一定の範囲内に形成されるフィルムにおける比を保つためにも用いられる。

【００２５】

純粋なシリコンの放射率の特徴の例が図２の曲線に示される。純粋なシリコンウェハ上に形成される二酸化シリコンフィルムは異なった放射率対波長の特徴を持つ。放射率も基板とフィルムの温度に依存するので、検出される光パイプ25の光信号の波長領域が温度依存性がないことが好ましい。したがって、約0.8ミクロン～約1.1ミクロンの範囲に広がる範囲50が図２に示され、シリコンの約1.2ミクロンの吸収帯域の端よりわずかに下に選択される。図２からわかるように、その帯域の端より上の波長で観察される場合、シリコンの放射率は温度に極めて高く依存することになる。その光検出器に達する前に、光信号の各々の経路に適当なフィルタ（図３）を配置することにより、検出された波長を範囲50に制限することができる。代わりに、あるフィルタを、バンドギャップより下のすべての波長の検出を可能にするために用いることができ、それによって、1.2ミクロンより上のそれら波長にも排除する際に、ほとんどの光が光検出器に達することを可能にする。他の半導体材料は種々のバンドギャップを持つので、これら測定用に選択された波長帯域とは異なることになり、波長帯域は一般的にそれら種々のバンドギャップよりわずかに下になる。後述する金属処理の例において、低い温度の測定を許容するために、わずかに長い波長領域を選択する。

【００２６】

特に異なった材料の組み合わせとともに用いる一般的な技法において、波長の選択によって可変要素として温度を完全に除去することはできないので、光パイプ25によって捕らえられた基板とフィルムからの光学放射信号からそれらの温度を測定することも通常望ましい。それにより、放射率と温度に関する情報の両方は、フィルムの厚さを算出するために用いられる。温度測定もフィルムの厚さ測定とは独立して重要であり、かつ電源41によって加熱ランプ23に供給されるエネルギーを制御することによって、処理容器または領域内のウェハまたは他のサンプルの温度を制御するために用いることができる。

【００２７】

測定器具31の主たる機能的な要素を図３に示す。さらに詳しい測定システムが、デイルスによる米国特許第4,750,139号（1988年）の関連する出願に示される。光検出器61と63は、それぞれの光ファイバ29と47から光信号を受け取る。これらの信号は、最初に光フィルタ65と67をそれぞれ通過する。これらのフィルタは、特定の応用を記載するのを目的として、前述したように、0.95ミクロン近辺の光学放射の同じ狭い帯域幅50（図２）を通過するか、または約1.2ミクロンより下のすべての波長を好ましくは通過する。好ましくは、光検出器61と63は、市販されているシリコンまたはインジュームガリウム砒素（InGaAs）

タイプのものであるのが望ましい。

【００２８】

光検出器61と63の電気的な信号の出力は、それぞれの直線増幅器69と71によって増幅される。共通のA/D変換器73を時分割するために、マルチプレクサ回路75が、増幅器69と71の出力を交互に他の直線増幅器７７に接続するために設けられ、その後この増幅器の出力は、A/D変換器73に入力として供給される。ディジタル化された信号をマイクロコンピュータ79によって受信し、処理する。マイクロコンピュータ79は非常に速いディジタル信号処理（DSP）の集積回路チップを備えることができる。マイクロコンピュータ79の制御機能の一部は、線81の適当な制御信号によってマルチプレクサ75の切り替えをする。

【００２９】

その入力信号からマイクロコンピュータ79によって算出された結果として得られる厚さは、その後、表示装置83上に表示されるか、かつ／あるいは制御回路85によって前述した回路48と49で処理制御信号を発生させるために用いることができる。

【００３０】

光学チャンネルの各々に対する図３に示す単一の光検出器の代わりとして、一対のこのような検出器をチャンネルの各々に対して用いることができる。光パイプ29と27の各々を異なる光検出器に延びる一対の小径の光ファイバ（図示せず）に結合することができる。各対の検出器の一方は、交流のリプルをひずみなく処理するために、高い帯域幅の増幅器回路に結合され、他方は、同じ信号の平均値または中間値を得るために、低い帯域幅の増幅器回路に結合される。よって、マルチプレクサ75は、４つの増幅器の出力をそれらの入力として選択するように設けられる。信号処理の一部、すなわち平均信号または中間信号の決定は、アナログ回路によって行われる。

【００３１】

図６の流れ図に関連してマイクロコンピュータ79によって実行される計算について説明する前に、その検出された光信号の処理を最初に図４の曲線によって示す。曲線51は、光パイプ43を介してのみランプの光信号に対応する検出器63の出力信号レベルを示す。同様に、曲線53は、組み合わされた物体の放射と、光パイプ25によって受け取った加熱用の光源の反射を受け取る検出器61の出力を例示する。測定を行うために光源を用いるだけでなく、物体を加熱するために光源を用いるので、これらの曲線は説明されている特定の例を示しているだけである。さらに、反射率と放射率の測定は、物体それ自体の赤外線放射を検出することなく、行うことができる。

【００３２】

信号51と53の各々は、加熱ランプに対する電源41の周波数を持つリプル（交流）要素を含み、一般的には、米国においては60Hzであり、ヨーロッパにおいては50Hzであるが、厚さおよび／または熱測定を行うための特別な周波数は必要とされない。信号51の交流要素のピーク・ツー・ピークの値はΔI_Lとして示され、信号53の交流要素のピーク・ツー・ピークの値はΔI_Wとして示される。信号レベルI_LとI_Wは信号51と53の平均値をそれぞれ表す。これら信号のピーク・ツー・ピークの値は、それらの平均値のわずかな部分である。図４の曲線も、加熱された物体11（E_W）の放射に比例する定常的な信号55を示し、これはマイクロコンピュータの処理によって導かれる。

【００３３】

光パイプ25と43は非常に大きい開口数を持つように選択されているから、以下のような関係が成立する。

ウェハの反射率＝$\rho_o = \Delta I_W / \Delta I_L$　　（１）

不透明な物体の放射率は１からその反射率を引いたものと等しいキルヒホフの法則により既知であるので、以下のように示すことができる。

放射率＝$1 - (\Delta I_W / \Delta I_L)$　　（２）

式（２）は、物体の放射率の測定値を示す。その温度が測定されるべき時、以下のように、I_Wの反射された要素が引かれ、物体の放射信号のみを残すことができる。

$E_W = I_W - I_L (\Delta I_W / \Delta I_L)$　　（３）

かくして、量E_Wは物体からの熱放射のみであるので、標準的な高温計とともに用いられるのと同じような方法でプランクの放射法則により、基板11とその上に形成されるフィルムの温度に変換される。

【００３４】

さらなる詳細については、本件出願人であるシーティンガーらによる論文「リプル技術：RTPのための新規な非接触ウェハの放射率と温度測定方法」（高速熱処理および集積回路処理,224巻,23～31頁，材料研究学会（1991年））によって明らかになる。

【００３５】

変形された信号測定技術を図５に示す。図４に示すようなランプ信号51のピーク・ツー・ピークの値と反射されたウェハ信号53のピーク・ツー・ピークの値を測定するというよりは、図３のシステムのマイクロコンピュータ79を、信号曲線51'と53'の信号の平均値I_LとI_Wとにそれぞれ関連して、それぞれの信号曲線51'と53'下での領域52と54を積分するようにプログラムしてもよい。すなわち、平均値I_LとI_Wは、最初に図３のシステムによって各々の信号からのディジタルサンプルから算出される。それにより、この信号の平均値を持つディジタルサンプルの各々の大きさの絶対的な差分が算出され、これらの不確定な差分が少なくとも信号－サンプル－信号サイクルの半分の時間の間蓄積されるが、信号中に存在し得る任意のノイズ成分の影響を低減させるために、好ましくは多数のサイクルが望ましい。かくして、これら蓄積された差分または曲線51'と53'下側の領域は、前述した式（１），（２），（３）の引き続く計算を用いるΔI_LとΔI_Wの量である。ΔI_LとΔI_Wの量はこれらの式の比で常に示すので、それぞれの信号51'と53'の同じ数のサイクルからのデータがΔI_LとΔI_Wの各々を算出するために用いられる限り、それらの値を得るためにそれぞれの信号51'と53'のサイクルがどれだけ積分されたかは問題にはならない。

【００３６】

図６を参照すると、フィルムの厚さを算出するマイクロコンピュータ79のプロセスが流れ図の形式で示される。初期のステップ91と93は、図４の検出され、かつディジタル化された信号53と51の交流要素をそれぞれ決定する。これらの交流要素ΔI_LとΔI_Wは、それぞれのI_LとI_W信号のピーク・ツー・ピークの量を直接測定することにより決定することができる。代わりに、図６による信号53'と51'の積分された値を用いることができる。次のステップ95は、前述した式（２）による放射率を算出するステップである。次のステップ97は、前述した式（３）による図４の定常的な状態の量55を算出するステップである。その定常的な状態の量E_Wを、モニタされる特定の基板とフィルムの材料組成について経験的に決定された参照テーブルまたは式によって基板とフィルムの温度に変換する。

【００３７】

この時点において、放射率および基板11またはその上のフィルムの温度が決定される。マイクロコンピュータの能力は速い速度でこのような計算が生じることを可能にするので、好ましくは間断なく多くのサンプルデータからの計算を一秒の何分の一のわずかな時間内で実行し、サンプルデータからのフィルムの厚さを算出する処理を行う前に、それらの結果を平均化することが望ましい。よって、図６の流れ図のステップ101は、何回放射率と温度が測定され、計算されたのかを記録し、そして放射率と温度の測定と計算がＮ回引き続いて行われるまで、このような計算を行い続ける。ステップ103は、最後のＮ個の計算を平均化する。これら平均値は、計算され、かつ平均化された放射率と温度の値をフィルムの厚さに変換するために、ステップ105において用いられる。この変換は、モニタされるプロセスにおいて用いられる特定の基板とフィルムの組成について経験的に決定された参照テーブルまたは式のいずれかの使用によって行われる。その厚さの値は、ステップ107によって、図３の表示装置83または制御回路85のような適当な出力装置に送られる。

【００３８】

モニタが続いている限り、ステップ109は、当初に戻し、放射率と温度を引き続いてＮ回だけ再度算出し、放射率と温度からフィルムの厚さを算出することなどを計算プロセスにさせる。図６のプロセスによる厚さの計算は、通常のタイプのマイクロコンピュータ79を用いて、一秒の何分の一の時間内で容易に行うことができ、これにより図１に示すプロセ

スをリアルタイムで制御することができる。

【００３９】

前述した計算におけるある種の調整と修正は、ある状況下における本発明の測定の精度および反復性を向上させるために、望ましいものであることが見いだされた。前述した式（１），（２），（３）は、むしろ理想的な状況を表し、必要ならば、より複雑な処理を導入することでさらなる精度が得られ、他の半導体炉または他のシステムにおける誤差を補正することができる。

【００４０】

得られた結果はいろいろなファクタの影響を受けると考えられる。例えば、ファクタの影響がある場合には、光源にわたる不均一な光強度や、カバーされていない光パイプの側からの光入射や、光パイプ側を介する光損失や、基板が配置される容器内での複雑な反射などが挙げられる。その結果として、ある項目が、各々のケースを較正するために前述した式に追加される。かくして、前述した式（１）は次のようになる。

$$\rho_{adj} = (\rho_o - k_2) / (1 - k_1) \qquad (4)$$

ここで、k_1とk_2は、光パイプの長さに沿って散乱することによって再度照射される取り囲んでいる容器から光パイプ側へ入射する放射輝度の量の関数を表す散乱係数である。その結果として、放射率を決定するための前述した式（２）は、次のようになる。

$$\text{放射率} = 1 - \rho_{adj} \qquad (5)$$

【００４１】

ほとんどの修正は、それが用いられる場合、表面温度の測定が望まれる時には、表面の放射の計算時に起こなわれる必要がある。前述した式（３）を、以下のように３つの付加的な係数を含むように修正する。

$$E_{adj} = \left[I_W - I_L \; k_2 - \rho_{adj} \left(I_L - k_1 \; I_L \right) \right] / \left[A + B\rho_{adj} + C\rho^2_{adj} \right] \qquad (6)$$

ここで、係数Ａ,Ｂ,Ｃは、形状と光学的な係数を表し、温度に依存し得るベクトルである。式（６）の分母の中の高次式を、容器の反射率が低い時には、より高い次数の項を含むように拡張することができる。

【００４２】

これら５つの定数と係数は、較正過程によって特定の炉または他のタイプのシステムのために決定される。図１に示すようなタイプの半導体処理炉の容器内において用いるための測定システムの較正を一例として説明する。第１のステップは、第２の較正ステップ中でテスト用の物体表面の放射率を正確に測定することができるようにするために、炉の容器の外側の環境で光パイプと光検出器を較正するステップである。この第１のステップにおいて、その炉の容器の外側で、テスト用の黒体の放射は、較正されるシステムから光パイプと光検出器よって集められる。光検出器の出力は、非光学的な技術によって、異なった温度に加熱された黒体とともに測定される。黒体の温度は、その中に埋め込まれた熱電対によって正確に測定される。テスト用の黒体は１つの放射率を持ち、温度の関数として光検出器の出力を集めたデータは、他の物体表面の放射率を決定するための参照データを規定する。

【００４３】

第２の較正ステップにおいて、炉の容器内で処理されるであろうタイプの物体表面の放射率は、第１のステップにおいて較正された光パイプと光検出器の組合せによって、任意の加熱ランプを用いることなく、炉の外側で正確に測定される。熱電対もこの物体表面の中に埋め込まれる。熱電対は、光学的な測定を行うのに影響を与えないある適当な技術によって加熱される。物体の放射は、第１の較正ステップにおける温度と同じ温度で、以前に較正された光パイプと検出器のシステムによって測定される。物体表面が黒体でないので、このステップの光検出器の出力は、第１の較正ステップにおけるその出力よりも少なくなる。光パイプと光検出器が直線的であるならば、同じ温度で第１および第２の較正ステップ中に得られた光検出器の出力の比は、物体表面の放射率を与えることになる。直線的でなければ、ある適当な補正が最初に行われる。

【００４４】
較正の過程における第３のステップにおいて、較正された光パイプと光検出器のシステムは、半導体炉が使用されるその炉の中に位置させられる。第２のステップにおいて測定された同じ基板も、炉の容器の中に位置させられる。基板ホルダと光パイプの間の幾何学的な関係は、第２および第３の較正ステップと同じように保持され、それは較正が完了した後で炉の容器内で用いられる。基板表面の温度は、基板の中に埋め込まれた熱電対を保つことにより再び正確にモニタされる。基板が種々のレベルにおける温度を上げる時、測定はシステム全体によって行われ、ここで基板表面の放射率は第２の較正ステップで行われた測定から既知である。基板の温度を上昇させるためにその加熱ランプの使用を含めて、較正されたシステムがその測定を行うようにあてにされている時、動作されることを意図して、炉またはその他のシステムが動作される。前述した式（５）と（６）から算出された放射率と温度の値を、第２の較正ステップにおいて測定された放射率と、熱電対によって測定される温度とを比較する。算出された値が、測定値からは幾分異なっていることがあり得る。これらの差分を無くすように行われる計算を調整することが、較正の過程の目的である。このような測定が十分に行われた後で、式（４），（５），（６）のk_1,k_2,A,B, Cの値を数学的に決定することができ、これによりこの較正を行うことなく、システムの動作と比較して精度を上げるとともに、その特定の物体表面のために、測定された値と一致するように基板表面の算出された特徴が生じる。

【００４５】
しかし、このような較正は、１つの特性の基板表面のみにおいて正確である。このシステムをより完全に較正するために、前述したステップ２とステップ３が種々の異なるタイプの基板表面に対して繰り返される。そうすることにより、十分なデータが、基板表面の広い範囲において式（４），（５），（６）を用いて正確な結果を供給する単一の値でk_1,k_2,A,B,Cの各々を固定するために得られる。加えて、他の較正ステップを付加することも望ましく、ここで第３のステップにおける前述した測定のすべてが容器内で行われるが、加熱ランプはオフ状態であり、較正測定の他のセットを行うことを目的として基板を加熱するためにある非光学的な手段が用いられる。

【００４６】
図１のシステムの変形例が図７に示され、ここで対応する要素や構成部分には同じ参照番号が付されているが、プライム記号（’）が付加される。基本的な相違点は、水晶炉管13'の外側にある光パイプ25'と43'の配置である。これにより、光パイプ25’は、管13'の壁を介して基板11'からの放射と反射された放射を受け取る。光パイプ43'は、炉管13'内からのいかなる要素の影響を受けることなく、光学ランプからの放射を受け取る。図７の配列における相違点は、かくして検出された光信号が、図１の実施形態による容器15'内で検出された光信号よりも幾分異なることであり、その差分は、材料13'をつくるのに用いられる水晶またはその他の材料によって生じたフィルタ効果の差である。

【００４７】
図１および図７の半導体処理炉のシステムの例は、必要な化学反応が起き得る要求された温度まで処理炉内の半導体ウェハを加熱するためにランプを用いるタイプのシステムである。これは、必要な交流駆動光源がすでに存在するので、本発明の技術の適用において便利である。しかし、無線周波数ジェネレータや抵抗加熱器の加熱を用いるような半導体ウェハを加熱するための種々の技術が存在し、ここでは光源をフィルムの厚さの計算を行うために必要な導出データ用に用いることには利用できない。さらに、集積回路処理以外の処理分野において、このような加熱ランプは用いられそうもない。したがって、このような状況下において、フィルムが形成され、かつ未知の放射率が測定される基板表面に対して光学放射を照射することが必要である。

【００４８】
このようなシステムが図８に略図示される。付加的なサファイア光パイプ111が、任意の適切な周波数の交流源115によって励起される光源113からの光学放射を基板11"の物体表面へ照射する。交流強度の要素を持つ周囲を取り巻く任意の光とも異なる周波数を選択す

ることがある応用においては望ましい。これに反して、恒常的に取り付けられる蛍光または白熱源のいずれかから利用可能な一般的に用いられる照明法を、応用が許容される場合、専用の光源113と光パイプ111に置き換えて用いることができる。基板とフィルムからの照射された光の反射および放射は、図１の光パイプ25に対応する光パイプ25"によって集められ、そして基板11"にあたっている光の強度に比例した信号は、図１の光パイプ43に対応する光パイプ43”によって捕らえられる。このようなシステムは、好ましいサファイアの光パイプの大きな開口数とともに実際的に行われる。

【００４９】

このような光パイプの広い受光角は、種々の異なった角度でフィルムを通過してきた光を集めるという結果を生じることになるので、異なる経路の長さの範囲を持つフィルムを介して移動することになる。フィルムの厚さが増加するにしたがってそのフィルム内の干渉効果に起因する任意の一つの経路に沿うフィルムを通過する光の強度レベルの任意の変化は、他の経路を移動する光のような変化とは異なり得る。これらの光のすべてが単一の検出器に照射された時に、平均化された信号が測定される放射率のこのような干渉効果を極小化するという結果を生じる。

【００５０】

このような干渉の効果を極小化するための他の方法として、光検出器に光パイプの中心部の光のみを照射することによるような狭まった角度範囲を用いてフィルムを通過する光の２つの波長帯域を別々に検出することが挙げられる。前述したシリコン基板の例において、第２の波長領域も、1.2ミクロンの帯域の端より狭く、第１の領域からの波長よりも確実に分離される。これらの帯域は、ここで例示されているような単一の一対の光パイプを用いる適当なビーム分割器とフィルタリングによって分離されるように保たれ、または代わりに、第２の波長帯域を選択するフィルタを持つ付加的な一対の光パイプを用いることができる。また、必要とする狭い角度の光学入射から、高温計のような伝統的な光学システムを光パイプの替わりに用いることもできる。

【００５１】

フィルム内におけるこのような干渉の効果を極小化するためのさらに他の方法として、フィルム表面に関連して少なくと２つの異なった角度でフィルムを通過する光を別々に検出することが挙げられる。このことは、前述した大きな開口数を持つ光パイプを用いることによって達成することができるが、次いで異なった光検出器に光パイプの中心部と外側モードを光学的に照射しなくてはならない。代わりに、光パイプをこのように用いるのではなく、２つの伝統的な高温計を、フィルムが形成されている基板表面上の同じスポットに向けて異なった角度でそれらに照射することにより用いることができる。

【００５２】

図９および図10を参照すると、図1,7または８に示すシステムにおける電磁放射を集める光パイプの１つまたは両方の開口を増加させ、かつ制御する光パイプの構造が示されている。その高い屈折率によって引き起こされた光パイプのすでに広い受光角を、レンズ要素を含むようにその端部を形づくることによって増大させる。光パイプの長手方向の軸に直角の方向で平面である通常の光パイプの端部は、別個の光学システムを設ける必要もなく、光パイプの視野を増加させるドーム型の凸表面を設けることにより再度形づくられる。

【００５３】

このような変形例は、図１のシステムにおける加熱ランプからの放射を集めるために用いられる光パイプ43に対して、あるいは物体を加熱しないために他のランプを用いる種々の状況下において、特に望ましい。光パイプ25に反射光を供給するウェハ11の部分を照明している光源のほぼ同一の領域にわたって光パイプ43を介して参照光信号を集めることが望ましいことが見いだされた。より広い開口は、容器１５の内部表面から反射されたより多くの光をも集める。とすれば、光パイプ25を介して見られるウェハの部分も、これらの反射によって照明されるということが重要である。

【００５４】

図９は、光パイプ121の光を集める端部でほぼ球面形状の凸平面123を持つ変形された光パ

イプ121を示す。図10Bは、この光パイプの拡大図である。図９に破線で示す円錐125は、拡大された視野と比較するために、光パイプの端部にドーム型の部分123を設けることにより生じる円錐127に対して平坦な端部を持つ光パイプの視野を示す。それにより、加熱ランプ129からの放射は、ウェハ133の第２の光パイプ135が反射光を受け取る部分131を照明しているランプ領域の大きな部分にわたって集められる。第２光パイプ135は、図１のシステムの光パイプ25に対応する。

【００５５】

図10Aは、平坦な端部139を持つ典型的な光パイプ137の視野を表す円錐125の相対的なサイズを示す。これを、図10Bに示す改良された光パイプの端部123の円錐127と比較することができる。ドーム型の端部123を、機械的にまたは加熱研磨した端部によって光パイプの平坦な端部から形成することができる。改良された光パイプ用の好ましい材料は、相変わらずサファイア、キュービックジルコニア、または水晶などの前述したような高い屈折率、高い融点をもつ材料のままである。さらなる代替の変形例を図10Cに示し、ここで光パイプ143の端部141が球形に形成されるので、その視野145がさらに拡大される。

【００５６】

光パイプの視野を拡大するための他の技術として、光パイプの各々をそれぞれの光ファイバに光学的に適当に結合させることが挙げられる。一例として図１を参照すると、非常に高い屈折率を持つ光パイプ25と43は、比較的低い屈折率を持つそれぞれの水晶光ファイバ29と47にカプラ27と45によって結合される。非常に異なる屈折率であるから、光ファイバの受光角は光ファイバが結合される光パイプの受光角よりもわずかに小さい。その結果として、捕らえられた光のすべては、それぞれの光ファイバへ結合されない。このような問題を解決するために、光学要素または簡単な光学システムが、光ファイバに光パイプからの可能な限りの光強度で結合されるようにカプラ27と45の各々の一部として設けられる。これの一実施形態は、光ファイバに光パイプの光出力を撮像するレンズである。代わりに、ディフューザ、またはモードミキサを用いることができる。

【００５７】

前述したように、本発明の技術は、半導体処理以外の多くの表面測定の応用に役に立つ。これは、加熱される表面を持つものや、加熱されない表面を持つものの両方に利用可能である。図11と12は、このような２つの付加的な応用を一般的に示す。図11において、溶融された金属151の量が坩堝153によって保持される。白熱光源または蛍光源155は、その表面に対する前述したような物理的、熱的または光学的特徴のいずれかの測定を行うのを目的として、金属電解槽151の表面に対して光を照射する。光源は、通常金属電解槽151を加熱するのを目的としてはいないが、必要であれば、そのように用いることもできる。光パイプ157は、光源155の放射の一部を集め、図３に関連して説明したようなタイプの測定器具161に光ファイバを介してそれを伝達する。同様に、光パイプ163は、溶融された金属151の上部表面から反射される光の一部を集め、その光信号を光ファイバ165を介して器具161に伝達する。

【００５８】

溶融された金属151の表面の放射率は、通常未知であり、さらにその処理によって一般的に変わり得る。酸化はこのような変化の一つである。他の変化は、ある他の材料のフィルムまたは層を付着することによる表面の処理法という結果を生じさせる。本発明の測定技術は、従来の非接触で、光学的な技術が適当に動作しないこのような困難な状況において特に利用価値があるものである。

【００５９】

図12において、アルミニウム、またはその他の金属からなる移動するシート167は、表面の特徴測定位置を通過して移動する。測定位置は、シート材料167の経路上に配置される光源169を含む。この光源169は、単一の標準的な蛍光管として示されているが、その光出力が前述したようなリプル要素の強度を持つかぎり、ある他の形態にすることができる。光パイプ171は光源の出力の一部を集め、それを光ファイバ173によって測定器具175へ伝達する。他の光パイプ177は、材料167の表面によって反射された後で、その光の一部を

他の光ファイバ179を介して測定器具175に伝達する。このシステムは、測定された結果によって少なくとも部分的に金属167の処理を制御することができるように、材料表面の多くの特徴のうちの任意の特徴のリアルタイムでの測定を可能にする。

【００６０】

本発明の種々の態様をそれらの好ましい実施形態に関連して説明してきたが、本発明は、添付の特許請求の範囲の全範囲においてその権利が保護されるべきであることが理解されよう。

【図面の簡単な説明】

【図１】本発明によるウェハ測定および制御システムを備えた半導体処理炉の特定のタイプを示す概略図である。

【図２】フィルムが図１に示す装置によって制御可能に形成される基板の１つのタイプの放射率の特徴を示すための曲線である。

【図３】図１の装置における測定器具の回路のブロック図である。

【図４】図３の装置の特定の動作を示すための曲線である。

【図５】図３の装置の他の特定の動作を示すための曲線である。

【図６】図４の測定器具のマイクロコンピュータの動作を示す流れ図である。

【図７】図１の半導体処理炉および測定システムの変形例を示す。

【図８】図１のシステムの他の変形例を示す。

【図９】図１、７または８のいずれかのシステムに用いられる光パイプの所望の特徴を示す。

【図１０Ａ】図１、７または８のいずれかのシステムに用いられる光パイプの端部の形状を示す。

【図１０Ｂ】図１、７または８のいずれかのシステムに用いられる光パイプの端部の形状を示す。

【図１０Ｃ】図１、７または８のいずれかのシステムに用いられる光パイプの端部の形状を示す。

【図１１】本発明の測定技術の追加の応用を示す。

【図１２】本発明の測定技術の追加の応用を示す。

【図１】

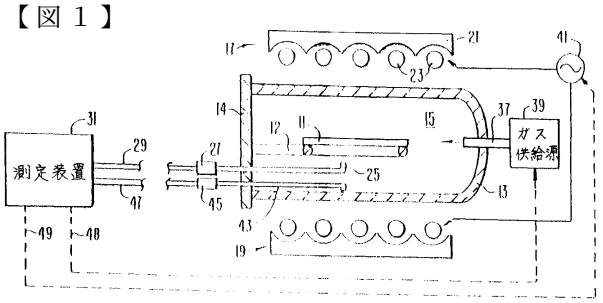


FIG. 1.

【図２】

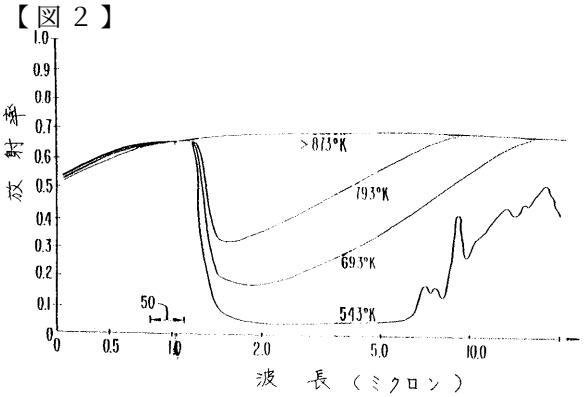


FIG. 2.

【図３】

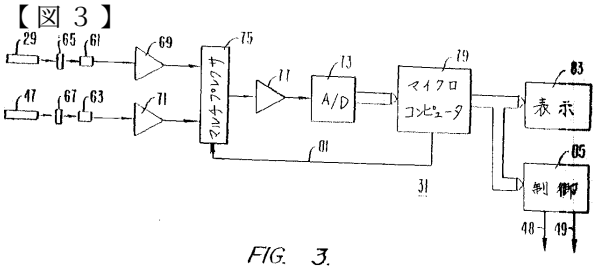


FIG. 3.

【図４】

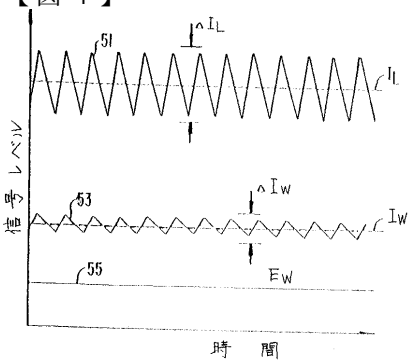


FIG. 4.

【図８】

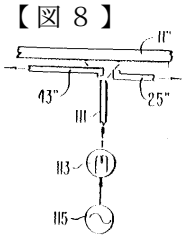


FIG. 8.

【図７】

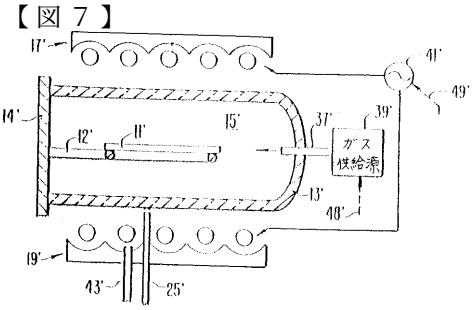


FIG. 7.

【図５】

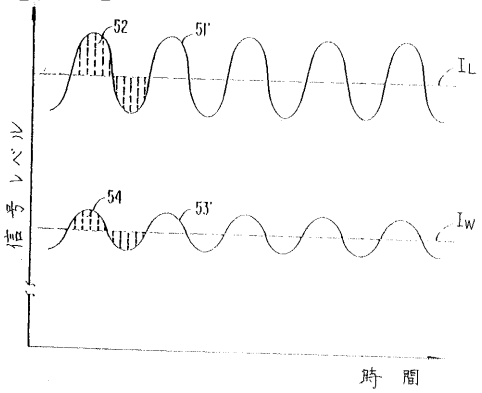


FIG. 5.

【図６】

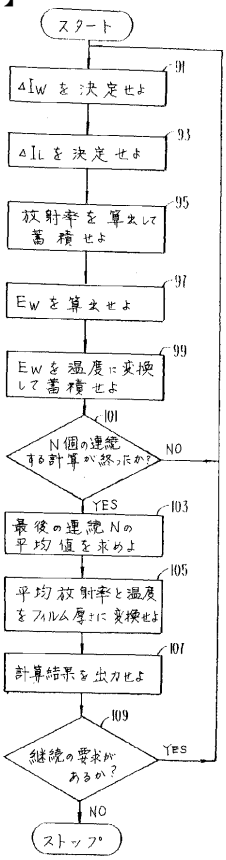


FIG. 6.

【図９】

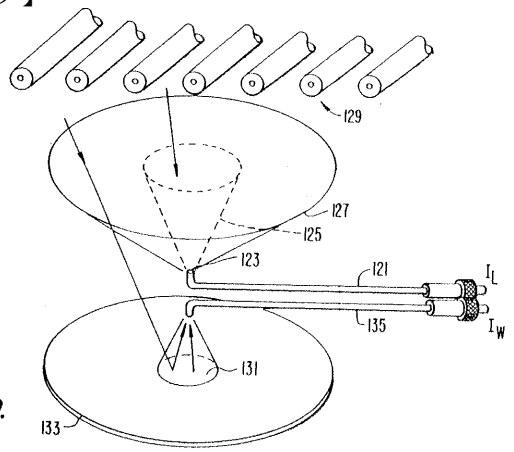


FIG. 9.

【図１０Ａ】

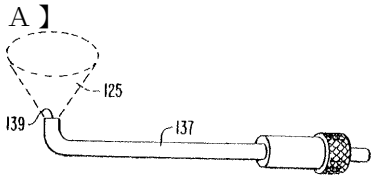


FIG. 10A.

【図１０Ｂ】

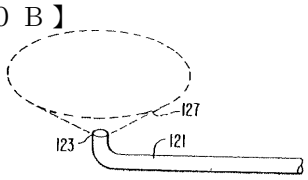


FIG. 10B.

【図１０Ｃ】

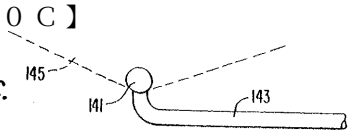


FIG. 10C.

【図１１】

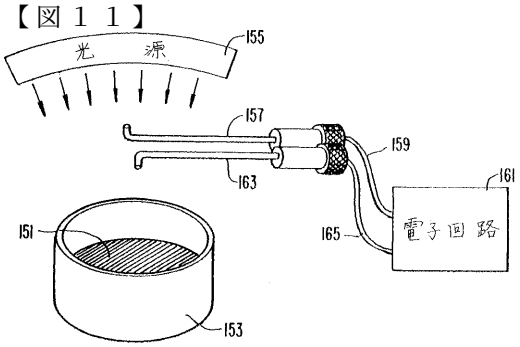


FIG. 11.

【図１２】

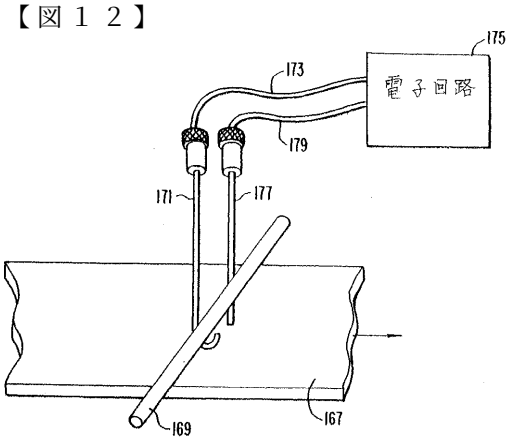


FIG. 12.

フロントページの続き

(51)Int.Cl.[7]	FI		
H01L 21/26	G01N	22/00	U
	H01L	21/22	501N
	H01L	21/26	T

(72)発明者 アダムス ブルース イー.
アメリカ合衆国 97201 オレゴン州 ポートランド、エス. ダブリュー. サーティーンス 3411

合議体
審判長 渡部 利行
審判官 橋場 健治
審判官 福島 浩司

(56)参考文献 特開平2－287125（JP, A）
特開平1－114727（JP, A）
特開昭59－92998（JP, A）
特開平2－256254（JP, A）
特開昭63－243826（JP, A）
特開昭47－13270（JP, A）
米国特許第4919542（US, A）