

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6876607号
(P6876607)

(45) 発行日 令和3年5月26日(2021.5.26)

(24) 登録日 令和3年4月28日(2021.4.28)

(51) Int.Cl. F I
GO 1 N 21/27 (2006.01) GO 1 N 21/27 Z
GO 2 B 21/00 (2006.01) GO 2 B 21/00

請求項の数 24 (全 16 頁)

(21) 出願番号	特願2017-534597 (P2017-534597)	(73) 特許権者	506316557
(86) (22) 出願日	平成27年12月22日 (2015.12.22)		サントル ナショナル ドウ ラ ルシエ
(65) 公表番号	特表2018-511777 (P2018-511777A)		ルシュ シアンティフィック
(43) 公表日	平成30年4月26日 (2018.4.26)		フランス国 75016 パリ リュ ミ
(86) 国際出願番号	PCT/EP2015/080932		ケランジュ 3
(87) 国際公開番号	W02016/102540	(73) 特許権者	517219085
(87) 国際公開日	平成28年6月30日 (2016.6.30)		ユニヴェルシテ ド リール 1
審査請求日	平成30年12月17日 (2018.12.17)		フランス 59655 ヴィルヌーヴ ダ
(31) 優先権主張番号	1463250		スク シテ シアンティフィーク
(32) 優先日	平成26年12月23日 (2014.12.23)	(73) 特許権者	517219096
(33) 優先権主張国・地域又は機関	フランス (FR)		イセン
			フランス 59800 リール ブールヴ
			ァール ヴォバン 41
		(74) 代理人	100094569
			弁理士 田中 伸一郎

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光学組立体を再合焦する方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

短パルス光源(2)から生じる少なくとも1つのビーム(f_u)を使用して、光学機器を標的表面(100)上に再合焦させる方法であって、前記光学機器は、前記ビーム(f_u)を前記標的表面(100)上に合焦させるための少なくとも1つの光学素子(5)を備え、前記再合焦は、前記光学機器が合焦されると見なされる基準条件(d_1)が分かった後で適用され、

前記標的表面(100)で反射したビーム(f_r)と、前記標的表面(100)で反射しない前記光源(2)から導出される基準ビーム(f_{ref})との間のパルスの時間的オーバーラップを表す合焦信号が検出され、前記ビームの1つが、遅延線(14)によって遅延され、

前記基準条件に基づいて、前記遅延線(14)が配置される前記ビームの光路は、前記合焦信号を予め定められた閾値に到達させるか又は前記閾値を超えさせるように変更され、

前記合焦は、前記基準条件(d_1)と前記合焦信号が前記予め定められた閾値に到達するか又は前記閾値を超える条件(d_2)との間の光路の変動の知識に基づいて再調整される、方法。

【請求項 2】

少なくとも1つが前記短パルス光源(2)から生じるプローブビーム(f_s)及びポンプビーム(f_p)を使用して、前記標的表面を定める試料(100)の分析に適用され、

10

20

前記ビームの1つの軌跡上に設けられた少なくとも1つの遅延線(4)と、前記ポンプビーム(f_p)及び前記プローブビーム(f_s)を分析される前記試料(100)上に合焦させる少なくとも1つの光学素子(5)とを備え、前記パルスの前記時間的オーバーラップを表す前記合焦信号は、前記試料(100)から反射して前記遅延線(4)で遅延されたビーム(f_r)と、前記試料(100)から反射しない基準ビーム(f_{ref})との間で検出される、請求項1に記載の方法。

【請求項3】

前記遅延線(4、14)が設けられる前記ビームの前記光路は、前記遅延線を前記標的表面(100)に対して移動させることによって、又は特に前記標的表面が配置される可動試料ホルダーを使用して前記標的表面を前記遅延線に対して移動させることによって変更される、請求項1又は2に記載の方法。

10

【請求項4】

前記予め定められた閾値は、ゼロに等しい、請求項1から3のいずれかに記載の方法。

【請求項5】

前記予め定められた閾値は、厳密にゼロよりも大きい、請求項1から3のいずれかに記載の方法。

【請求項6】

前記パルスの時間的オーバーラップを表す前記合焦信号は、前記標的表面(100)から反射したビーム(f_r)と、前記標的表面(100)から反射しない前記光源(2)又はその1つから導出される基準ビーム(f_{ref})との間の相互相関に基づいて検出され、前記ビームの1つは、前記遅延線(4)によって遅延される、請求項1から5のいずれかに記載の方法。

20

【請求項7】

前記光学機器は、前記標的表面(100)から反射した前記ビーム(f_r)及び前記標的表面(100)から反射しない前記基準ビーム(f_{ref})を生成するために、前記光源(2)から生じる前記ビーム(f_u)を分割するスプリッタ要素(10)を備える、請求項1及び3から6のいずれかに記載の方法。

【請求項8】

前記光学機器は、単一の光源(2)と、前記ポンプビーム(f_p)及び前記プローブビーム(f_s)を生成するために前記光源から生じるビーム(f_i)を分割するスプリッタ要素(3)とを備える、請求項2に記載の方法。

30

【請求項9】

前記光学機器は、前記ポンプビーム(f_p)及び前記プローブビーム(f_s)をそれぞれ放射する2つの光源を備える、請求項2に記載の方法。

【請求項10】

前記遅延線(4)は、前記ポンプビーム(f_p)の前記軌跡上に設けられる、請求項2に記載の方法。

【請求項11】

前記試料(100)から反射しない前記基準ビーム(f_{ref})は、前記遅延線(4)によって遅延されない前記ポンプビーム(f_p)、又は前記プローブビーム(f_s)、又は、前記光学機器が単一の光源(2)とスプリッタ要素(3)とを備える場合、前記スプリッタ要素の前で捕捉された前記光源から導出されるビーム(f_i)である、請求項2に記載の方法。

40

【請求項12】

前記合焦は、前記1又は複数の合焦光学素子(5)を前記標的表面(100)に対して移動させることによって、又は特に前記標的表面(100)が配置される可動試料ホルダーを使用して前記標的表面を前記1又は複数の合焦光学素子に対して移動させることによって再調整される、請求項1から11のいずれかに記載の方法。

【請求項13】

前記基準条件は、前記1又は複数の合焦光学素子(5)が基準標的表面上で合焦される

50

と見なされる合焦状態に対応し、前記遅延線(4、14)と前記標的表面との間の前記光路の基準長さ(d_1)は、前記合焦状態から決定される、請求項1から12のいずれかに記載の方法。

【請求項14】

前記基準長さ(d_1)の事前の決定は、使用される標的表面以外の基準標的表面で、又は前記標的表面(100)であるが使用される必要がある前記標的表面の箇所以外の基準箇所で行われる、請求項13に記載の方法。

【請求項15】

前記合焦信号が前記予め定められた閾値に到達する、前記遅延線(4、14)と前記標的表面(100)との間の前記光路の長さ(d_2)が決定される、請求項1から14のい

10

【請求項16】

前記合焦は、前記1又は複数の光学素子(5)が前記標的表面に合焦されるように、前記長さ(d_2)と前記基準長さ(d_1)との差によって決まる値によって再調整される、請求項15に記載の方法。

【請求項17】

光学機器を標的表面(100)上で再合焦させる請求項1から16のいずれか記載の方法を実行することが意図される再合焦装置(1)であって、短パルス光源(2)から生じる少なくとも1つのビーム(f_u)を使用する前記光学機器が、前記ビーム(f_u)を前記標的表面(100)上で合焦させる少なくとも1つの光学素子(5)を含み、前記装置は

20

前記標的表面(100)から反射したビーム(f_r)と、前記標的表面(100)から反射しない前記光源(2)から導出される基準ビーム(f_{ref})との間の前記パルスの時間的オーバーラップを表す合焦信号を検出する手段(7、17)を備え、前記ビームの1つは、前記遅延線(14)によって遅延され、

前記装置は、

- 前記合焦信号を予め定められた閾値に到達させるか又はこれを超えさせるように、前記遅延線(4)が配置される前記ビームの光路を、前記光学機器を合焦させると見なされる基準条件に基づいて変更し、

- 前記基準条件と、前記合焦信号が前記予め定められた閾値に到達する条件との間の、光路の前記変動の知識に基づいて前記合焦を再調整するように構成される、再合焦装置。

30

【請求項18】

前記標的表面を定める試料の分析に適用され、前記光学機器は、少なくとも1つが前記短パルス光源(2)から生じるプローブビーム(f_s)及びポンプビーム(f_p)を使用し、前記ビームの1つの軌跡上に設けられた少なくとも1つの遅延線(4)と、分析される前記試料(100)上で前記ポンプビーム(f_p)及び前記プローブビーム(f_s)を合焦させる少なくとも1つの光学素子(5)とを備え、前記パルスの前記時間的オーバーラップを表す前記合焦信号は、前記試料(100)から反射して前記遅延線(4)によって遅延されたビーム(f_r)と、前記試料(100)から反射しない基準ビーム(f_{ref})との間で検出される、請求項17に記載の装置。

40

【請求項19】

前記合焦信号を検出する前記手段(7、17)は、非線形結晶又は二光子フォトダイオード(9)を含む、請求項17又は18に記載の装置。

【請求項20】

前記少なくとも1つの光源(2)は、特に10fs~10psの短パルスレーザである、請求項17から19のいずれかに記載の装置。

【請求項21】

前記遅延線(4、14)は、特に可動キャリッジによって保持されたミラー、及び/又は1又は2以上の全反射プリズム、及び/又は再帰反射器、及び/又は電気光学変調器を含む、請求項17から20のいずれかに記載の装置。

50

【請求項 2 2】

前記遅延線（14）は、前記合焦信号を検出する前記手段（17）に組み込まれる、請求項 17 から 21 のいずれかに記載の装置。

【請求項 2 3】

光学機器の標的表面（100）に再合焦させる請求項 1～請求項 16 のいずれかに記載の方法を実行することが意図される組立体であって、

- 少なくとも 1 つの遅延線（4、14）と、前記標的表面（100）上でビームを合焦させる少なくとも 1 つの光学素子（5）とを含む請求項 17 から 22 のいずれかに記載の前記再合焦装置（1）と、

- 基準標的表面であって、前記光学機器を前記基準標的表面上で合焦させると見なされる基準条件の事前の決定のための基準標的表面と、
を備える、組立体。

10

【請求項 2 4】

前記基準標的表面は、特にアルミニウムの金属層、及び別の材料、特にシリコン又はガラスの少なくとも 1 つの層で構成される基準試料によって定められ、前記基準条件の事前の決定のために、垂直入射で観察される、請求項 2 3 に記載の組立体。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、光学機器を再合焦する方法及び装置に関する。

20

【背景技術】

【0002】

時間的に非常に短い、すなわちフェムト秒又はピコ秒のオーダーのパルスを有する、光源から生じるビームを使用する一部の光学機器は、要素の機械加工される箇所を正確に示すために産業用機械加工において使用される。

【0003】

特に「ポンププローブ」タイプのいわゆる「時間分解」光学機器において、時間的に非常に短いレーザパルスは、現象の生成前、生成中、及び生成後に試料を光学的に励起させてその状態を検出するために使用される。これは、金属又は半導体内の電荷キャリアを励起すること、熱を加えること、又は音響パルスを発生させることさえも含むことができる。

30

【0004】

ポンププローブ機器によって、例えば、物質内の電子の動特性、小規模の熱拡散、又は「ピコ秒音響効果」とも呼ばれる非常に迅速な光音響現象である、非常に迅速な現象を研究することが可能になる。この光音響用途装置は、産業界では広範に使われている。Rudolph Technologies 社では、長年にわたって集積回路の層の厚さのインラインモニタリングのための設備を販売しており、あらゆる主要マイクロ電子機器製造業者が幅広く使用している。MENAPIC 社は、材料を特性評価することができる光音響技術の変形形態を使用している。

【0005】

40

これらの光学機器の本質は、特にレーザの 2 つの光源を使用するか、又は 2 つのビームに分割される 1 つの光源を使用する。「ポンプ」と呼ばれる第 1 の光源は、現象を生成する役割を担う。ポンプビームは、例えば、レンズ又は顕微鏡対物レンズなどの専用合焦光学素子を通して試料上に合焦される。また、プローブと呼ばれる第 2 のビームは、同じ光学素子又は異なる光学素子を用いて同じ場所で試料上に合焦される。

【0006】

2 つのビームは、異なる光学軌跡を有するが、少なくとも一方の長さは調整可能であり、2 つのビームが移動する光路の長さを厳密に等しくする手段が存在する。遅延線による軌跡の一方の長さの調整は、ポンプとプローブビームとの間の時間的位相シフトを設定して、試料の状態が観察される瞬間を決定する。

50

【0007】

2つのポンプビーム及びプローブビームは、試料上で反射するか又は試料を通過する。反射した又は透過したプローブビームは、光学機器によって振幅、位相、又は方向が分析される。ポンプビームとプローブビームとの間の遅延の関数としてのこれらの量のうちの1つの依存度の分析によって、現象の生成前、生成中、及び生成後に試料の履歴を再構成することができる。

【0008】

図1は、単一のレーザー源52を用いるポンププローブ光学機器51の例を示す。導出されるビーム f_i は、スプリッタ要素53によって2つのビーム、ポンプ f_p 及びプローブ f_s に分割される。これらのビームの間の遅延は、遅延線54を用いて調整可能であり、この例では、直線変位に応じて移動可能なミラーで構成される。次に、2つのポンプ f_p 及びプローブ f_s ビームは、考察する例において2つのビームに特有の合焦光学素子55を用いて、分析される試料100上に再結合される。試料100から反射したプローブ光 f_{sr} は、本例ではフォトダイオード56を使用して強度が分析され、ポンプビーム f_{pr} は、光トラップ57によって受け止められる。

【0009】

合焦光学素子と分析される試料の表面との間の距離の正確な調整は、A. Devos et al.、「Strong oscillations detected by picosecond ultrasonics in thin silicon: evidence for an electronic structure effect」、Physical Review B, 70, 12, 12508, 2004、及び、「A different way of performing picosecond ultrasonic measurements in thin transparent films based on laser-wavelength effect」、Applied Physics Letters 86, 21, 211903, 2005で説明されているように、求められる信号を取得するのに非常に重要である。

【0010】

試料の変更又は分析される領域の変更の毎に、特に変厚の試料に関して、この調整は、試料の局所的厚さ及びそのタイプに応じて繰り返す必要がある。

【0011】

公知の方法において、再合焦は、焦点距離が変動する際の信号の傾向を観察することにより、新しい試料で基準試料に相当するか又はこれよりも強い応答を取得することを目指すことによって行われる。しかしながら、応答が弱い試料の場合、この探究が十分である保証はない。実際には、ビームの空間的重畳又は電子測定装置の定格を修正することが必要な場合、信号が失われることが多い。

【0012】

別の公知に技術は、試料上で反射したビームの発散を分析するものである。しかしながら、この技術は、ビームの合焦及びリコリメーションが同じ光学素子で行われる機器にのみ適用可能である。遠くで反射ビームを観察する際に、試料が光学素子の焦点面にある場合に、反射ビームはコリメートされたように見えるはずである。この技術は、精度不足を生る場合が多い。

【0013】

他の公知の方法において、外部システム、例えば、カナダ特許出願第502281747号で説明されているような電子システムが使用される。この方法は、American Laser Enterprises社のオートフォーカスコントロールモジュール製品の場合と同様に、キャパシタンスの測定に依存することができる。また、この方法は、Motion X社の製品FocusTrac(商標)の場合と同様に、外部光学システムを用いた光学的測定に依存することができる。

【0014】

10

20

30

40

50

キャパシタンス測定を使用するシステムは、金属試料面を必要とし、これは、例えばガラス試料に類似した全てのタイプの試料を排除する。

【0015】

外部光学システムは、レーザ源の軌跡上に異なる光学素子の追加を必要とし、これは測定精度を損なう。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0016】

【特許文献1】カナダ特許出願第502281747号

【非特許文献】

10

【0017】

【非特許文献1】A. Devos et al. 「Strong oscillations detected by picosecond ultrasonics in thin silicon: evidence for an electronic structure effect」、Physical Review B, 70, 12, 12508, 2004

【非特許文献2】A. Devos et al. 「A different way of performing picosecond ultrasonic measurements in thin transparent films based on laser-wavelength effect」、Applied Physics Letters 86, 21, 211903, 2005

20

【非特許文献3】Chong et al. 「Autocorrelation measurement of femtosecond laser pulses based on two-photon absorption in GeP photodiode」、Applied Physics Letter volume 105, page 062111, 2014

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0018】

結果的に、上記の欠点を改善するために、光学機器内の光学的反射支持体上にビームを合焦するのを可能にする方法をさらに向上させるニーズがある。

30

【課題を解決するための手段】

【0019】

本発明の目的は、上記のニーズに対応することであり、本発明の1つの態様では、短パルス光源から生じる少なくとも1つのビームを使用して、ビームを標的表面上で合焦させる少なくとも1つの光学素子を備える光学機器を標的表面上で再合焦させる方法によってこれを達成し、再合焦は、光学機器を合焦させると見なされる基準条件が分かった後に適用され、この方法では、

- 標的表面から反射するビームと、標的表面から反射せず光源から導出される基準ビームとの間のパルスの時間的オーバーラップを表す合焦信号が検出され、ビームの1つは、遅延線によって遅延され、

40

- 上記基準条件に基づいて、遅延線が配置されるビームの光路は、合焦信号を予め定められた閾値に到達させるか又はこの閾値を超えさせるように変更され、

- 合焦は、基準条件と、合焦信号が予め定められた閾値に到達するか又はこの閾値を超える条件との間の光路の変動の知識に基づいて再調整される。

【0020】

本発明による方法は、少なくとも1つが短パルス光源から生じるプローブビーム及びポンプビームを使用して、標的表面を定める試料の分析に適用することができ、ビームの1つの軌跡上に配置された少なくとも遅延線と、ポンプビーム及びプローブビームを分析される試料上に合焦させる少なくとも1つの光学素子とを備え、パルスの時間的オーバーラ

50

ップを表す合焦信号は、試料から反射して遅延線によって遅延されたビームと、試料から反射しない基準ビームとの間で検出される。

【0021】

他の態様によれば、本発明は、上記の方法を実行することが意図される再合焦装置に関し、短パルス光源から生じる少なくとも1つのビームを使用する光学機器が、ビームを標的表面上に合焦させる少なくとも1つの光学素子を備え、この装置は、標的表面から反射したビームと、標的表面から反射せず光源から導出される基準ビームとの間のパルスの時間的オーバーラップを表す合焦信号を検出する手段を備え、ビームの1つは、遅延線によって遅延され、この装置は、

- 合焦信号を予め定められた閾値に到達させるか又はこの閾値を超えさせるように、遅延線が配置されるビームの光路を、光学機器を合焦させると見なされる基準条件に基づいて変更し、

- 基準条件と、合焦信号が予め定められた閾値に到達する条件との間の、光路の変動の知識に基づいて合焦を再調整するように構成される。

【0022】

本発明による装置は、標的表面を定める試料の分析に適用することができ、その場合、光学的分析機器は、好都合には、少なくとも1つが短パルス光源から生じるプローブビーム及びポンプビームを使用し、ビームの1つの軌跡上に配置された少なくとも1つの遅延線と、分析される試料上でポンプ及びプローブビームを合焦させる少なくとも1つの光学素子を備え、パルスの時間的オーバーラップを表す合焦信号は、試料から反射して遅延線によって遅延されたビームと、試料から反射しない基準ビームとの間で検出される。

【0023】

本発明は、特にポンプ-プローブタイプの光学機器において、技術者の介入や外部システムを使用することなく非常に迅速にビームの標的表面上の合焦を簡単に調整することを可能にする。

【0024】

本発明による方法は、基準試料の厚さとは約4mmだけ異なる厚さを有する試料によって定められた標的表面であっても合焦を上手く自動的に再調整することを可能にする。

【0025】

本発明は、合焦が必要とされる表面から反射するポンプビームを使用することができ、通常、このタイプの機器では信号が失われる。合焦精度は、時間的分離能がポンプ-プローブ機器の分離能であるので優れている。従って、本発明は、試料の応答とは無関係に、1又は複数の合焦光学素子に付与される新しい位置を決定することを可能にする。

【0026】

本発明は、光学的分析機器から独立してこれを妨げるのを防止する光学素子と、相互関係を生成することを可能にする手段とを使用して実行することができるが、機器の外部の複雑な光学システムの追加を必要としない。その結果、非常にコンパクトな装置になる。

【0027】

本発明は、ポンプ-プローブタイプの光学機器、例えば、サーモリフレクタンス、ピコ秒音響又はテラヘルツ機器を実装する全ての機器を対象とする。例えば、厚さ、半導体内のキャリアの寿命、又は材料弾性の測定のための、特にソナー用途のための迅速な光学的測定及び音響分析システムに特に適している。

【0028】

また、本発明は、非常に正確な合焦を可能にするので、特に機械加工用途における単一ビームの光学機器に適している。

【0029】

上記の基準条件に基づいて、遅延線を標的表面に対して移動させることによって、遅延線が配置されるビームの光路を変更することが可能であり、これは最適な合焦結果をもたらす。変形例において、遅延線が配置されるビームの光路は、特に標的表面が配置される可動試料ホルダーを使用して遅延線に対して標的表面を移動させることによって変更され

10

20

30

40

50

る。

【0030】

好ましくは、遅延線は、標的表面から反射しない基準ビームの経路上に配置される。この経路は必然的に短く、装置は光学軌跡が等しいことを必要とし、不可避免的に光学軌跡を引き延ばすので、この経路上で遅延線を配置することは好都合である。変形例において、遅延線は標的表面から反射するビームの経路上に配置される。

【0031】

従って、遅延線及び/又は標的表面は、好都合には、合焦信号が予め定められた閾値に到達するか又はこの閾値を超えるまで、合焦信号の様々な検出値を生じさせるために移動される。

10

【0032】

この予め定められた閾値は、ゼロに等しいか又は好ましくは厳密にゼロよりも大きい。予め定められた閾値はパルス幅に依存し、ゼロの閾値は、特にピコ秒のオーダーのパルスに関して再合焦を容易に行うには十分ではないであろう。予め定められた閾値は、1又は複数の光源の波長の関数とすることができる。

【0033】

パルスの時間的オーバーラップを表す合焦信号は、標的表面から反射して遅延線によって遅延されたビームと、標的表面から反射せず光源又は複数の光源の1つから導出される基準ビームとの間の相互相関によって得ることができる。

【0034】

光パルス、特にレーザーパルス間の相互相関又は自己相関は、以下の論文、すなわち、Chong et al. 「Autocorrelation measurement of femtosecond laser pulses based on two-photon absorption in GeP photodiode」、Applied Physics Letter volume 105, page 062111, 2014に説明されている。

20

【0035】

本発明による再合焦法は、制御ループを使用して実行することができ、これによって特に完全に自動的に試料を分析することができる。制御ループは、本発明による再合焦法、並びに特に試料の変更又は観察領域の変更の場合に、分析条件の各変更における試料の状態の分析の、種々のステップを実行するようにプログラムすることができる。

30

【0036】

本発明による方法が実行される光学機器は、標的表面から反射するビーム及び標的表面から反射しない基準ビームを生成するために、光源から生じるビームを分割するスプリッタ要素を備えることができる。

【0037】

変形例において、光学的分析機器は、単一光源と、ポンプビーム及びプローブビームを生成するために光源から生じるビームを分離するスプリッタ要素とを備える。別の変形例において、光学的分析機器は、ポンプビーム及びプローブビームをそれぞれ放射する2つの光源を備える。光学的分析機器が2つの異なる光源を備える場合、専用電子機器を使用して同期させることができる。

40

【0038】

好都合には、遅延線は、ポンプビームの軌跡上に配置される。

【0039】

試料から反射しない基準ビームは、遅延線によって遅延されないポンプビーム、又はプローブビーム、又は光学的分析機器が単一光源及びスプリッタ要素を備える場合、スプリッタ要素の前に捕捉された光源から導出されるビームとすることができる。

【0040】

遅延線によって遅延されないポンプビームを使用することは、より高いエネルギーパルスを得ることができるので好適であり、ビームは、その軌跡上でビームを変える可能性が

50

ある光学素子を通過しない。

【0041】

好都合には、本発明による方法が実行される光学的分析機器は、2つのポンプビーム及びプローブビームを試料上で再結合することを可能にする単一の合焦光学素子を備える。変形例において、光学的分析機器は、各ポンプビーム及びプローブビームに関して異なる合焦光学素子を備える。

【0042】

合焦は、1又は複数の合焦光学素子を標的表面に対して移動させることによって再調整することができる。変形例において、合焦は、特に標的表面が配置される試料ホルダーの移動を利用して、標的表面を1又は複数の合焦光学素子に対して移動させることによって

10

【0043】

本発明による方法を実行する際に、合焦を再確立することができる場合で、遅延線が配置されるビームの光路を変えるために遅延線が移動された場合、信号を取得して、例えば試料の分析又は機械加工を開始するために、遅延線は、基準ゼロで再配置されることが好ましい。

【0044】

好都合には、基準条件は、1又は複数の合焦光学素子が基準標的表面上で合焦すると見なされる状態に対応し、遅延線と標的表面との間の光路の基準長さ d_1 に対応することができる。

20

【0045】

基準長さ d_1 の事前の決定は、使用される標的表面以外の基準標的表面で、又は標的表面で、しかしながら使用される必要がある標的領域以外の基準領域を観察する場合に行うことができ、例えば、試料の表面上で又は試料の分析の場合にはその厚さにおいてより大きい又はより小さい深さで行うことができる。

【0046】

本発明の好適な実施形態によれば、合焦信号が予め定められた閾値に到達するか又はこの閾値を超えるような、遅延線と標的表面との間の光路の長さ d_2 が決定される。その結果、これは、好ましくは $d_2 - d_1$ に依存する値によって合焦光学素子又は標的表面を移動させることによって合焦を再調整するのに十分であるが、これは、 d_2 と d_1 との間以外の

30

【0047】

従って、ビームが1又は複数の遅延を数回通過するよう光学機器が構成される場合、再調整は、この値 $d_2 - d_1$ の倍数、例えば $(2k(d_2 - d_1))$ であり、 k は、進行パス及び戻りパスの数である。

【0048】

光学的分析機器が許容する、標的表面の位置に関する絶対値としての最大シフトは、例えば0から25mmである値 d を有する。遅延線は、 $d_1 + d$ よりも大きい値又は $d_1 - d$ よりも小さい値で標的表面から離れることができない。この遅延線の移動は、負の遅延又は正の遅延、すなわち遅延又は先行(advance)に対応することができる。

40

【0049】

好都合には、その後、相互相関による合焦信号の検索が、値 $d_1 - d$ に基づいて、光路長を漸進的に増大させることによって行われる。

【0050】

本発明による方法は、シリコン基板上に多くの薄層、特に金属層を備える試料に特に適している。試料は、例えば、特に10nmに等しい厚さを有するアルミニウム層、特に200nmに等しい厚さを有する窒化シリコン層、及び組成Al/SiN/Siを有するシリコン層を備える。

【0051】

試料を分析する場合、合焦は、試料の表面上で、又は表面から予め定められた距離の深

50

さで行うことができる。

【0052】

好都合には、光源は、特に 10 fs から 10 ps のパルスをもつ短パルスレーザーである。使用されるレーザーは、例えば、Coherent社製のChameleon Ultraモデル又はMIRAモデル、又はSpectra Physics社製のMai Taiモデルである。

【0053】

好都合には、これらのレーザーは、近赤外に対応する 680 nm から 1050 nm の間の波長に調整可能な約 100 fs の持続時間を有するパルスを送出する。単一光源の場合、ポンプ/プローブスプリッタ要素の前方又は後方に適切に配置された周波数逡倍器は、例えば、パルスの持続時間を変更することなく、青色に対応する 350 nm から 520 nm の間の波長に調整することができるパルスを送出するために使用することができる。

10

【0054】

1又は複数の光源の平均電力は、数 mW から 100 mW 以上とすることができ、必要であれば、光学機器の入力での減衰を利用することができる。光源が放射するエネルギーパルスが多いほど、相互相関の測定が容易になる。

【0055】

合焦信号を検出する手段は、有意な偏光をもたらす非線形結晶、特にホウ酸バリウム(BBO)結晶を備えることができる。合焦信号を検出するために、2つのビームは、非線形結晶において結合され、相互相関から生じる光子の総和に由来するビームは、フォトダイオードを使用して検出される。

20

【0056】

変形例において、合焦信号を検出する手段は、2つのビームが合焦される、特に炭化珪素(SiC)の二光子フォトダイオード、ガリウム砒素フォスファイド(GaAsP)、又はガリウム燐(GxAP)二光子フォトダイオードである。二光子フォトダイオード、特に炭化珪素の使用は、異なる波長の光源を使用する用途の場合に特に好都合であり、例えば、ポンプビームの波長は近赤外にあり、約 680 nm から 1050 nm の間の波長であり、プローブビームの波長は青色にあり、約 350 nm から 520 nm の間の波長である。

【0057】

光学遅延線は、特に移動キャリッジで保持されたミラー、及び/又は1又は2以上の全反射プリズム、及び/又は再帰反射器、及び/又は電気光学変調器を含むことができる。好都合には、遅延線タイプの選択は、1又は複数の光源の波長に依存する。マイクロコントローラは、遅延線の移動を引き起こすために装置内に存在することができる。

30

【0058】

光遅延線は、上記の合焦信号を検出する手段に組み込むことができる。これにより、最小占有面積のコンパクトな装置とすることができ、最小限の要素を追加することにより、公知の合焦光学機器の変更を制限することができる。

【0059】

必要であれば、遅延線が配置される光ビームの光路を変えるために使用される遅延線は、前述のように、試料分析用のポンプビームとプローブビームとの間の時間的位相シフトを公知の方法で設定するのに使用される遅延線と同じとすることができる。変形例において、本発明による装置は2つの異なる遅延線を備える。

40

【0060】

他の態様によれば、本発明は、本発明による再合焦方法を実行することが意図されるキットとも呼ばれる組立体に関し、この組立体は、
 - 少なくとも1つの遅延線と、標的表面上でビームを合焦させる少なくとも1つの光学素子とを備える、前述の発明による再合焦装置と、
 - 光学機器を基準標的表面上で合焦させると見なされる基準条件の事前の決定のための基準標的表面と、

50

を備える。

【0061】

基準標的表面は、特にアルミニウムの金属層、及び別の材料、特にシリコン又はガラスの少なくとも1つの層で構成される基準試料によって定めることができる。

【0062】

好ましくは、基準標的表面は、上記の基準条件の事前の決定のために、垂直入射で観察される。

【0063】

集光方法及び装置に関して前述した特徴は、上記の組立体に適用される。

【0064】

本発明は、非限定的で例示的な実施構造の以下の詳細な説明を読んで添付図面を検討することでより良く理解できるはずである。

【図面の簡単な説明】

【0065】

【図1】従来技術によるポンププローブ光学機器を示す。

【図2】本発明による光学機器を合焦させるための装置を示す。

【図3】本発明によるポンプ - プローブ光学機器を合焦させる装置を示す。

【図4】本発明による図3の装置の検出手段を示す。

【図5】本発明による方法を実行するステップを示す。

【図6】本発明による方法を適用することによって得られる信号のタイミング図を示す。

【発明を実施するための形態】

【0066】

図2は、本発明による再合焦方法を実行することが意図された、光学機器の標的表面100に合焦させるための装置1を示す。

光学機器は、光源2から生じるビーム f_u を使用する。光源2は、好都合には、短パルスレーザであり、例えば、 $100f_s$ に実質的に等しい持続時間を有し、近赤外に対応する $680\text{Im} \sim 1050\text{nm}$ の波長に調節可能である。

【0067】

光学機器は、ビーム f_u を標的表面100上に合焦させる光学素子5と、本明細書で以下に説明する検出手段17に組み込まれた遅延線14とを備える。

本発明による再合焦法の実行に先立って、遅延線14と標的表面との間の光路の基準長さ d_1 が基準条件で決定されており、合焦光学素子5は、基準標的表面上で合焦されると見なされる。

事前の基準長さ d_1 の決定は、使用される表面以外の基準標的表面又は標的表面100で、しかしながら標的とされる必要がある領域以外の基準領域において行うことができる。

標的表面100から反射しない基準ビーム f_{ref} は、ビーム f_u の一部を捕捉して、ミラー18及び19を使用して合焦信号を検出する手段17に送るためのスプリッタ要素10の配置によって取得される。また、標的表面100から反射してビーム f_u から導出されるビーム f_r は、合焦信号を検出する手段17に送られる。基準ビーム f_{ref} は、遅延線14によって遅延される。

【0068】

図3は、本発明による方法を実行することが意図された、標的表面を定める試料100を分析するために光学機器を合焦させる装置1を示す。

試料100は、例えば、 10nm に等しい厚さのアルミニウム層、 200nm に等しい厚さの窒化シリコン層、及び組成 $\text{Al}/\text{SiN}/\text{Si}$ を有するシリコンの層を備える。しかしながら、本発明は、分析される特定のタイプの試料に限定されない。

【0069】

光学的分析機器は、単一の光源2から放射されてスプリッタ要素3によって2つのポンプ及びプローブビームに分割される初期ビーム f_i から生じる、ポンプビーム f_p 及びプロ

10

20

30

40

50

ープビーム f_s を使用する。例示しない変形例において、光学的分析機器は、ポンプ f_p ビーム及びプローブ f_s ビームをそれぞれ放射する2つの光源を備える。

周波数通倍器（図示せず）は、プローブに関して、パルスの持続時間を変更することなく、青色に対応する350nmから520nmの間の波長に調整することができるパルスを供給するために、スプリッタ要素3の後方に配置することができる。しかしながら、本発明は、特定のタイプの光源、又は特定のタイプのポンプ及びプローブビームに限定されない。

【0070】

光学的分析機器は、ポンプビーム f_p 及び合焦光学素子5の軌跡上に設けられた遅延線4を備え、これによって、2つのポンプ f_p ビーム及びプローブ f_s ビームを分析試料100上に再結合させることができる。例示しない変形例において、光学的分析機器は、各ポンプ f_p ビーム及びプローブ f_s ビームに関して異なる合焦光学素子を備える。1又は複数の合焦光学素子5は、例えば、50mm AC254-50-B又は60mm Achromo MGタイプのレンズである。

10

【0071】

本発明による再合焦法の実行に先立って、遅延線14と試料との間の光路の基準長さ d_1 が基準条件において決定されており、合焦光学素子5は、基準試料上で合焦されると見なされる。

事前の基準長さ d_1 の決定は、分析される試料以外の基準試料で又は分析される試料100で、しかしながら分析される必要がある領域以外の基準領域において行うことができる。

20

【0072】

試料100から反射しない基準プローブビーム f_{ref} は、プローブビームの一部を捕捉して合焦信号を検出する手段7に送るためのスプリッタ要素8の配置によって取得される。試料100で反射されたプローブビーム f_s は、説明される実施例において、フォトダイオード6によって捕捉される。

【0073】

図2及び図4から分かるように、ポンプ f_p ビーム及びプローブ f_s ビームの波長が異なる場合、合焦信号を検出する手段7、17は、例えば炭化珪素(SiC)である二光子フォトダイオードであることが好都合であり、ポンプ-プローブ機器の場合に特に好都合である。

30

一部の変形例において、合焦信号を検出する手段7は、ガリウム砒素フォスファイド(GaAsP)又はガリウムリン(GaP)の二光子フォトダイオードであるか、又は、非線形結晶、例えば、バリウムボラート(BBO)の結晶を備える。しかしながら、本発明は、特定のタイプの合焦信号を検出する手段に限定されない。

【0074】

説明される実施例において、遅延線4、14は、可動キャリッジによって保持されたミラーを備える。一部の変形例において、遅延線4、14は、1又は2以上の全反射プリズム及び/又は再帰反射器及び/又は電気光学変調器を備える。

【0075】

マイクロコントローラ電子回路（図示せず）は、光学機器、特に遅延線4、14の種々の可動要素の移動を引き起こすために存在することができる。

40

本発明による再合焦法は、制御ループを使用して自動的に実行することができ、図5に実施例を示す。

標的表面の変化又は観察領域の変化、つまり、図5のステップ11で示される変化によって、光学機器の新規の合焦が必要となる。

【0076】

ステップ12において、遅延線4、14は、最初に $d_1 - d$ に対応する値で配置される。値 d は、遅延線4、14と、標的表面100との間の光学的分析機器に許容される最大オフセットであり、 d は、0から25mmとすることができる。ステップ13において、

50

遅延線 4、14 が設けられたビームの光路を増大させるために、遅延線 4、14 は、光路 $d_1 - d$ に対応する位置から漸進的に移動される。

【0077】

ステップ 14 において、各移動増大に関して、試料 100 から反射したビーム f_r と試料 100 から反射しない基準ビーム f_{ref} との間のパルスの時間的オーバーラップを表す合焦信号の検出が行われる。光路の長さは、予め定められた閾値を上回る合焦信号が検出されるまで遅延線を移動させることによって増大される。

【0078】

ステップ 15 において、対応する長さ d_2 が記憶される。例示しない変形例において、標的表面 100 は、例えば、標的表面がその上に配置される試料ホルダーを使用して、ビームの光路を変更するために、遅延線 4、14 に対して移動される。

合焦信号の検出は、前述したように、試料 100 から反射したビーム f_r と試料 100 から反射しない基準ビーム f_{ref} との間の相互相関によって行われることが好都合である。

【0079】

ステップ 16 において、遅延線 4、14 は、光路の基準長さ d_1 に対応する基準ゼロにおいて再配置される。

【0080】

ステップ 17 において、合焦は、合焦光学素子が標的表面 100 上で再度正確に合焦されるように、値 $d_2 - d_1$ だけ合焦光学素子 5 を移動させることによって再調整される。

【0081】

合焦は、合焦光学素子 5 を値 $d_2 - d_1$ だけ標的表面 100 に対して移動させることによって再調整することができる。変形例において、合焦は、標的表面 100 を合焦光学素子 5 に対して移動させることによって、例えば、標的表面が配置される試料ホルダーを移動させることによって再調整され、合焦光学素子 5 は、固定されたままである。

【0082】

ビームの 1 つが遅延線 4、14 を数回通過するように光学機器が構成される場合、合焦再調整値は、進行パス及び戻りパスの数に依存する。

【0083】

次に、ステップ 18 において、標的表面 100 を定める試料、又は標的表面 100 の機械加工の分析を開始することができる。

【0084】

図 6 は、本発明による方法をポンプ - プローブ形式の光学的分析機器の場合に適用することによって得られる信号のタイミング図を示す。

【0085】

タイミング図 6 (a) は、試料 100 で反射して遅延線 4 によって遅延されたポンプビーム f_r と試料 100 で反射されない基準プローブビーム f_{ref} との間の相互相関によって取得される合焦信号の例を表す。タイミング図 6 (b) は、測定値を通る平滑曲線を表す。

【0086】

タイミング図 6 (c) 及び 6 (d) は、遅延線 4 の移動に応じた種々の重なりを表す。

【0087】

本発明による再合焦装置、及び基準条件の事前決定のための基準試料を備えるキットを提案することができる。

【0088】

「を備える」という表現は、特に指示がない限り、「少なくとも 1 つを備える」ことを意味すると理解されるべきである。

10

20

30

40

【図1】

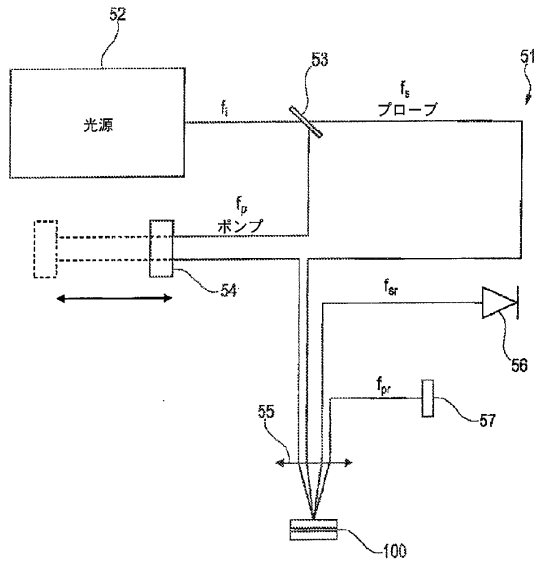


Fig. 1
従来技術

【図2】

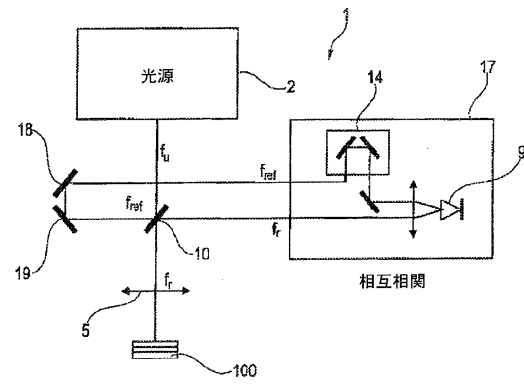


Fig. 2

【図3】

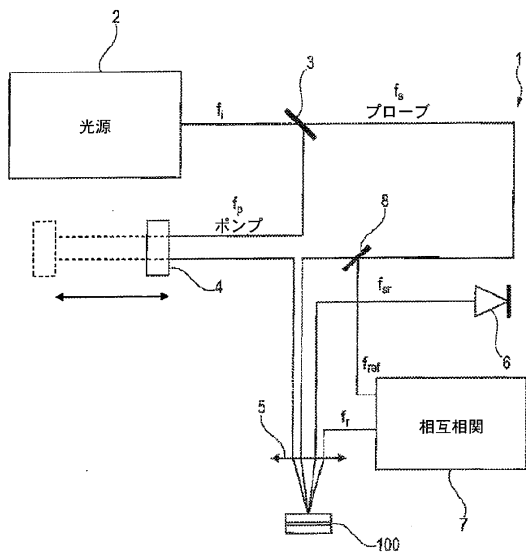


Fig. 3

【図4】

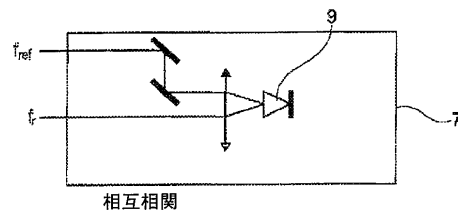


Fig. 4

【図5】

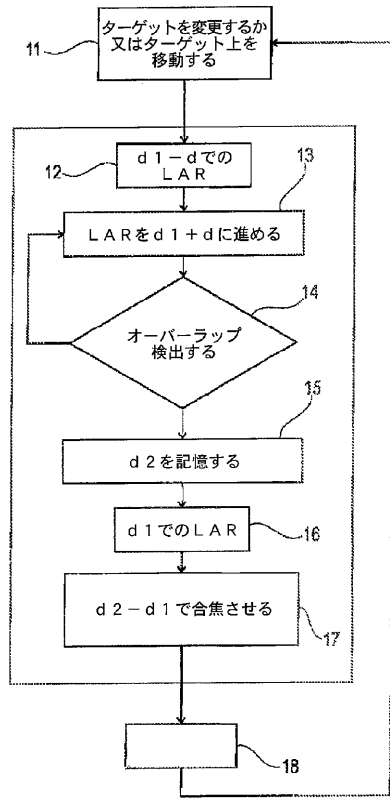


Fig. 5

【図6】

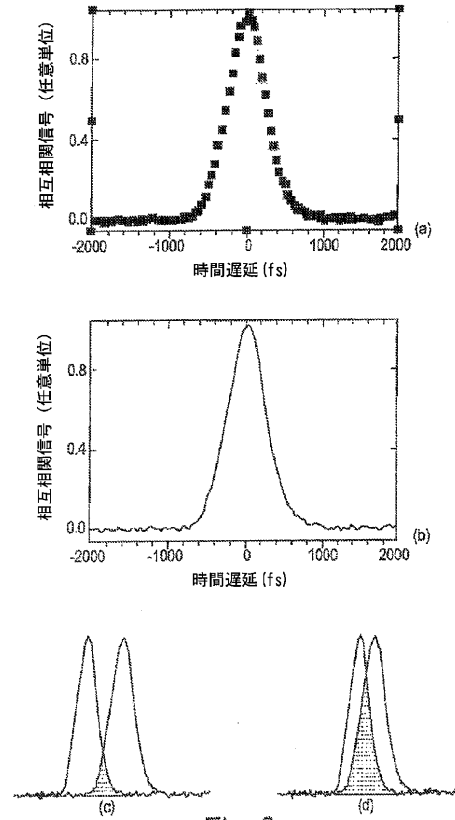


Fig. 6

フロントページの続き

- (74)代理人 100088694
弁理士 弟子丸 健
- (74)代理人 100103610
弁理士 吉 田 和彦
- (74)代理人 100095898
弁理士 松下 満
- (74)代理人 100098475
弁理士 倉澤 伊知郎
- (74)代理人 100130937
弁理士 山本 泰史
- (74)代理人 100144451
弁理士 鈴木 博子
- (72)発明者 ドゥヴォス アルノー
フランス 5 9 3 2 0 エンヌティエール アン ヴェップ リュー デュ プール 1 2

審査官 伊藤 裕美

- (56)参考文献 特表2008-544269(JP,A)
特開2001-228123(JP,A)
特開平08-043533(JP,A)
特表2008-502898(JP,A)
米国特許出願公開第2012/0314214(US,A1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G 0 1 N 2 1 / 0 0 - 2 1 / 7 4
G 0 2 B 2 1 / 0 0 - 2 1 / 3 6
G 0 1 J 3 / 0 0 - 3 / 5 1