

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5220019号
(P5220019)

(45) 発行日 平成25年6月26日 (2013.6.26)

(24) 登録日 平成25年3月15日 (2013.3.15)

(51) Int.Cl. F 1
A 6 1 F 9/00 (2006.01) A 6 1 F 9/00 5 1 2

請求項の数 20 (全 15 頁)

(21) 出願番号	特願2009-529563 (P2009-529563)	(73) 特許権者	502303382
(86) (22) 出願日	平成19年9月11日 (2007.9.11)		カール ツアイス メディテック アクチ エンゲゼルシャフト
(65) 公表番号	特表2010-504777 (P2010-504777A)		ドイツ国 07745 イエナ ゲシュビ ツエル ストラッセ 51-52
(43) 公表日	平成22年2月18日 (2010.2.18)	(74) 代理人	100068755
(86) 国際出願番号	PCT/EP2007/007914		弁理士 恩田 博宣
(87) 国際公開番号	W02008/040436	(74) 代理人	100105957
(87) 国際公開日	平成20年4月10日 (2008.4.10)		弁理士 恩田 誠
審査請求日	平成22年6月17日 (2010.6.17)	(74) 代理人	100142907
(31) 優先権主張番号	102006046370.6		弁理士 本田 淳
(32) 優先日	平成18年9月29日 (2006.9.29)	(72) 発明者	ビショフ、マルク
(33) 優先権主張国	ドイツ (DE)		ドイツ連邦共和国 99438 パート ベルカ マックス-リンケ-シュトラセ 8

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 透過型コンタクト部材を使用するマテリアル・プロセッシングのためのデバイスおよび方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

物体(18)中または該物体(18)上に光学ブレイクスルーを生成することによるマテリアル・プロセッシングのための装置(1)を形成する方法であって、該装置は、該物体(18)の中または該物体(18)の上の様々な位置にパルス・プロセッシング・レーザ放射(4)を合焦させるための可変式3次元焦点調節デバイス(6、11)を備え、

該プロセッシング・レーザ放射(4)に対して透過的であり、該物体(18)の上に配置されるコンタクト部材(19)が、該装置に設置され、該コンタクト部材(19)は、該物体(18)の上に配置される側のコンタクト面(20)と、反対側に位置する該プロセッシング・レーザ放射のための進入面(30)とを有し、該面はそれぞれ、既知の形状を有し、

該物体(18)をプロセッシングする前に、該焦点調節デバイス(6、11)に対する該進入面(30)または該コンタクト面(20)の位置が、該可変式焦点調節デバイス(6、11)を用いた該面(20、30)の付近または該面(20、30)の上への測定用レーザ放射(4)の合焦による該面上へのレーザ放射(4)の照射によって決定され、該合焦された測定用レーザ放射(4)のエネルギー密度は、光学ブレイクスルーを生成できない低さであり、該測定用レーザ放射(4)の焦点は、該面(20、30)の想定位置に交差する測定面(23)中にて調節される方法において、

a) 該測定用レーザ放射(4)の該焦点から散乱されて戻るまたは反射されて戻る放射が、共焦点式に検出され、

10

20

b) 該測定面(23)と該面(20、30)との交差点(26)の位置が、該共焦点式に検出される放射と該可変式焦点調節デバイス(6、11)の割り当てられた設定とから決定され、工程a)は、定められた数の交差点(26)が検出されるまで、変更された測定面(23)に関して反復され、

c) 該面の該位置は、該交差点(26)の該位置と、該面(20、30)の予め知られている形状とから決定されることを特徴とする、方法。

【請求項2】

前記工程a)は、前記定められた数の交差点(26)が検出されるまで、変位された測定面(23)に関して反復される、請求項1に記載の方法。

10

【請求項3】

前記面(20、30)は、非球面であり、前記位置は、光学軸に対する前記面(20、30)の傾斜に関する決定されることを特徴とする、請求項1または2に記載の方法。

【請求項4】

前記焦点位置は、前記測定面(23)に位置する曲線経路(28)に沿って移動されることを特徴とする、請求項1乃至3のいずれか1項に記載の方法。

【請求項5】

前記測定面(23)は、前記プロセッシング・レーザ放射(4)の主光学軸(22)に対して円筒対称であり、好ましくは円筒殻または円盤の形状を有することを特徴とする、請求項1乃至4のいずれか1項に記載の方法。

20

【請求項6】

前記測定用レーザ放射(4)は、EPULS 300 nJのパルス・エネルギーでパルス発振されることを特徴とする、請求項1乃至5のいずれか1項に記載の方法。

【請求項7】

前記測定面(23)に位置しており、

$$f < 20 \text{ Hz} \times ((D / \text{EPULS}) \times (1 \mu\text{J} / 1 \text{ mm}))^4$$

に当てはまる最大範囲Dおよびパルス周波数fを有する曲線経路(28)が使用されることを特徴とする、請求項6に記載の方法。

【請求項8】

前記測定面(23)に位置しており、1 μmから15 mmの間の最大範囲Dを有する曲線経路(28)が使用されることを特徴とする、請求項1乃至7のいずれか1項に記載の方法。

30

【請求項9】

前記測定用レーザ放射(4)は、パルス・レーザ放射源(3)により生成され、該パルス・レーザ放射源(3)は、低減されたパルス・エネルギー・モードでの該放射源(3)の制御、あるいは前記プロセッシング・レーザ放射(4)のビーム経路中においてエネルギー減衰器を作動させるまたは挿入することのそれぞれによって、前記プロセッシング・レーザ放射を生成することが意図されることを特徴とする、請求項1乃至8のいずれか1項に記載の方法。

【請求項10】

請求項1の工程a)乃至c)は、前記コンタクト部材(19)が前記焦点調節デバイスに対して固定された後で、前記コンタクト部材(19)が前記物体(18)の上に配置される前に実施されることを特徴とする、請求項1乃至9のいずれか1項に記載の方法。

40

【請求項11】

前記コンタクト面(20)は、前記測定用レーザ放射(4)の照射の最中に覆われることを特徴とする、請求項1乃至10のいずれか1項に記載の方法。

【請求項12】

前記コンタクト面(20)は、非接触の態様で、前記測定用レーザ放射(4)の照射の最中に覆われる、請求項11に記載の方法。

【請求項13】

50

前記面(20、30)は、曲面(20、30)であり、該面(20、30)の頂点(21)の位置が、後のマテリアル・プロセッシングのための参照ポイントとして決定され、記憶されることを特徴とする、請求項1乃至11のいずれか1項に記載の方法。

【請求項14】

前記面(20、30)の形状が、1群の複数の様々な形状に属することが予め知られており、それぞれは、その正確な幾何学的形状に関して知られており、面縁部(27)の位置が、さらに決定され、該形状は、該縁部のおよび頂点(21)の相対位置にもとづいて、該群の前記面(20、30)が有する形状から決定されることを特徴とする、請求項13に記載の方法。

【請求項15】

パルス・プロセッシング・レーザ放射(4)を生成するプロセッシング・レーザ(3)と、
光学ブレイクスルーが焦点中に形成されるように、プロセッシングすべき物体(18)の中にまたは該物体(18)の上に該プロセッシング・レーザ放射(4)を合焦させるための光学デバイス(5、10)と、

該物体(18)の中または該物体(18)の上の焦点位置の可変式調節のための焦点調節デバイス(6、11)と、

該物体(18)の上に配置され、該物体(18)の上に配置されるコンタクト面(20)および該面(20)の反対側の該プロセッシング・レーザ放射のための進入面を含む、装置(1)に設置されるコンタクト部材(19)であって、該面がそれぞれ予め知られている形状を有するコンタクト部材(19)と、

該コンタクト部材(19)を設置した後および該物体(18)をプロセッシングする前に該進入面(30)または該コンタクト面(20)の位置を決定するための制御デバイス(17)であって、該プロセッシング・レーザ(3)および該焦点調節デバイス(6、11)を制御する該制御デバイス(17)と
を備え、

該制御デバイス(17)によって同様に制御される測定用レーザ放射源(3)が、測定用レーザ放射(4)を発生するために提供され、該放射源(3)からの該測定用レーザ放射(4)は、該焦点調節デバイス(6、11)および該光学デバイス(5、10)を通過し、該焦点中に光学ブレイクスルーを生じさせず、該制御デバイス(17)は、該面(20、30)の位置を決定するために、該面(20、30)の想定位置に交差する測定面中にて該測定用レーザ放射(4)の焦点を移動させる、マテリアル・プロセッシング装置であって、

該測定用レーザ放射(4)の該焦点から散乱されて戻るまたは反射されて戻る放射を共焦点式に検出し、該制御デバイス(17)に測定信号を供給する共焦点検出器デバイス(12)が提供され、

該制御デバイス(17)は、該測定信号にもとづいて、該測定面(23)と該面(20、30)との交差ポイント(26)の位置を決定し、該制御デバイス(17)は、交差ポイントが無いまたは少なすぎる場合には、該測定面を変更させ、該交差ポイント(26)の該位置と該面(20、30)の該予め知られている形状とにもとづいて該面の位置(19)を決定する
ことを特徴とする、装置。

【請求項16】

該制御デバイス(17)は、交差ポイントが無いまたは少なすぎる場合には、該測定面を変位させ、該交差ポイント(26)の該位置と該面(20、30)の該予め知られている形状とにもとづいて該面の位置(19)を決定する、請求項15に記載の装置。

【請求項17】

前記制御デバイス(17)は、請求項1乃至14の方法クレームの1つまたは複数による方法の中の1つを実施するために、前記装置(1)を制御することを特徴とする、請求項15に記載の装置。

【請求項18】

10

20

30

40

50

伝達される測定用レーザ放射(4)を吸収するために前記コンタクト面(20)にて前記コンタクト部材(19)を覆う被覆機構を特徴とする、請求項15乃至17のいずれか1項に記載の装置。

【請求項19】

前記測定用レーザ放射(4)は、パルス発振され、このパルス・エネルギーは、2nJから300nJの間であることを特徴とする、請求項15乃至18のいずれか1項に記載の装置。

【請求項20】

前記測定用レーザ放射源は、低エネルギー・レーザ放射パルスを発振するための作動モードにおいて制御される前記プロセッシング・レーザ放射源(3)により実現されることを特徴とする、請求項15乃至19のいずれか1項に記載の装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、物体中または物体上に光学ブレイクスルーを生成することによるマテリアル・プロセッシングのための装置を形成する方法に関し、この装置は、物体の中のまたは物体の上の様々な位置にパルス・プロセッシング・レーザ放射を合焦させるための可変式3次元焦点調節デバイスを含み、物体の上に配置されるコンタクト部材が、装置に設置され、該コンタクト部材は、処置用レーザ放射が透過できるものであり、物体の上に配置される側のコンタクト面と、反対側に位置するプロセッシング・レーザ放射のための進入面とを含み、該面はそれぞれ、予め知られている形状を有し、物体をプロセッシングする前に、焦点調節デバイスに対する進入面またはコンタクト面の位置が、可変式焦点調節デバイスを用いた該面の付近または該面上への測定用レーザ放射の合焦による該面上への測定用レーザ放射の照射によって決定され、この合焦される測定用レーザ放射のエネルギー密度は、光学ブレイクスルーを生成できない低さであり、測定用レーザ放射の焦点位置は、該面の期待位置に交差する測定面中にて調節される。

【0002】

さらに、本発明は、パルス処置用レーザ放射を生成するプロセッシング・レーザと、光学ブレイクスルーが焦点中に形成されるように、プロセッシングすべき物体の中にまたは物体の上にプロセッシング・レーザ放射を合焦させるための光学デバイスと、物体の中または物体の上の焦点位置の可変式調節のための焦点調節デバイスと、装置に設置することが可能であり、物体の上に配置されるコンタクト面およびコンタクト面の反対側の処置用レーザ放射のための進入面を含む、物体の上に配置されるコンタクト部材であって、該面がそれぞれ予め知られている形状を有するコンタクト部材と、コンタクト部材を設置した後および物体をプロセッシングする前に進入面またはコンタクト面の位置を決定するための制御デバイスであって、プロセッシング・レーザおよび焦点調節デバイスを制御する制御デバイスとからなるマテリアル・プロセッシング装置に関し、また、やはり制御デバイスによって制御される、測定用レーザ放射を発振するための測定用レーザ放射源が提供され、この測定用レーザ放射は、焦点調節デバイスおよび光学デバイスを通過し、焦点中に光学ブレイクスルーを生じさせず、制御デバイスは、面の位置を決定するために、面の期待位置に交差する測定面中にて測定用レーザ放射の焦点を調節する。

【背景技術】

【0003】

マテリアル・プロセッシングにおいては、しばしばレーザ・プロセッシング・デバイスを用いて、プロセッシング・レーザ・ビームによってプロセッシングすべき物体の領域をスキャンする。通常は、レーザ・ビームの位置決め精度が、プロセッシングにおいて達成される精度を決定する。レーザ・ビームがプロセッシング体積中に合焦される場合には、正確な3次元位置決めが必要となる。したがって、高精度プロセッシングのためには、通常は、レーザ・プロセッシング装置に対して正確に規定された位置に物体を保持することが不可欠である。このような用途のために、前述のコンタクト部材が使用されるが、これは、このコンタク

10

20

30

40

50

ト部材によってプロセッシングすべき物体の固定が可能となり、それによって、規定される関係性がプロセッシング体積まで実現可能となるからである。この点において、コンタクト部材は、プロセッシング・レーザ放射のビーム経路の一部となる。

【0004】

特に、これは、プロセッシング・レーザ放射のスペクトル領域において低い線形光吸収を有するにすぎないマテリアルのマイクロプロセッシングにおいて必要とされる。このようなマテリアルについては、レーザ放射とマテリアルとの非線形相互作用は、一般的には光学ブレイクスルーが高エネルギー・レーザ・ビームの焦点中に生成されるという形において当技術で使用される。さらに、プロセッシング効果はレーザ・ビームの焦点中でのみ生じるため、焦点の正確な3次元位置決めが不可欠である。したがって、レーザ・ビームの2次元偏向に加えて、焦点位置の正確な深度調整が必要となる。コンタクト部材は、物体とレーザ・プロセッシング・デバイスとを機械的に結合することによって、また既知の光学的効果を有する形状を物体面に与えることによって、物体へのビーム経路中において、ある精度を有することが知られている一定の光学条件を確実なものとする役割を果たす。

10

【0005】

このようなコンタクト・ガラスの典型的な用途が、フェムト秒レーシック(LASIK)として知られる眼科手術法であり、治療器具の形態で提供されるレーザ・プロセッシング装置が、角膜にレーザ・ビームを合焦させ、1マイクロメートル・オーダの寸法で焦点を形成する。次いで、プラズマが焦点中に形成され、角膜組織の局部的剥離を生じさせる。さらに、局部的な剥離区域の適切な連続的構成を生成することによって、微小切開(microscopic cut)が実現され、例えば角膜の規定の部分的領域が分離される。

20

【0006】

コンタクト部材の位置がこの方法の精度に影響を及ぼし、したがってコンタクト部材の位置は、位置決定に関して文字通り多数回にわたって対処がなされる。

(特許文献1)は、参照マークを備えるコンタクト・レンズを開示する。該コンタクト・レンズは別個の測定デバイスを用いて調節され、その結果比較的複雑な構成となっている。コンタクト部材の他の1例が、(特許文献2)に開示される。これは、(特許文献1)のコンタクト・レンズと類似のものであるが、外科医がデバイスを視覚的に位置決めすることを可能にする線状マークを有するホルダの形態の外縁部を追加的に備える。しかし、通常は、このような位置決めは、正確さを過剰に欠く。

30

【0007】

コンタクト部材は、通常は、プロセッシングすべき物体に接触するため、一般的には、各物体について新たな別個のアダプタを使用する必要がある。これは、無菌の態様下における眼科的用途において特に当てはまる。その結果、それぞれ各プロセッシング作業の前にまたは外科的介入の前に、コンタクト部材を、この場合には例えば治療器具として提供されるレーザ・プロセッシング・デバイスに設置しなければならない。(特許文献3)は、レーザ・プロセッシング・デバイスにロックされるペンチ様手段中に保持することによってコンタクト・ガラスを設置することを教示する。該ロッキングは、レール内で誘導されるカラーにより行われる。アダプタが、形態ロッキングの態様で光学軸に直交して押入される。(特許文献4)は、機械式結合機構の使用を説明しており、傾斜角でコンタクト・ガラスの取付台に装着される金属製ロッドが、磁石または電磁石を用いてスリーブ中に保持される。しかし、これらの装着では、十分な精度でコンタクト部材の位置が規定されない。

40

【0008】

さらに、コンタクト・ガラスに位置マークを与えることと、照射される測定用レーザ放射と組み合わせることでマークの位置を検出することおよびそこからコンタクト・ガラスの位置を決定することを可能にする共焦点検出器ユニットをレーザ・プロセッシング・デバイスに付加することが、(特許文献5)より知られている。したがって、コンタクト・ガラスの位置が認識される精度は、例えば(特許文献6)において説明される設置機構により得られる精度、およびコンタクト・ガラスの製造公差により得られる精度よりも優れている

50

【0009】

また、(特許文献7)は、コンタクト・ガラスの位置を正確に決定する目的を追求する。この特許文献は、上記のタイプの方法またはデバイスについて説明する。眼に押し付けられる面であるコンタクト・ガラスのコンタクト面の位置の正確な決定について、該広報は、コンタクト面に対する処置用レーザの効果を利用することを示唆する。処置用レーザは、それが多数のポイントにて収束され、処置用レーザ放射パルスを発するように制御される。コンタクト・ガラスの境界面上に合焦されるこれらのレーザ・ビーム・パルスは、非線形効果により光学ブレイクスルーを生成し、この非線形効果は、対応するプラズマ放電として現れる。したがって、放電の検出によって、境界面が処置用レーザ・ビームの現在の焦点位置に置かれていることの指摘が与えられる。さらに、例えば処置用レーザ・ビームの光学軸に直交する面中に配置され得る、十分な数のこのようなポイントの決定を使用して、コンタクト・ガラスの位置を決定する。代替的なアプローチにおいては、該広報が、比較的低いエネルギー・レベルの処置用レーザ・パルスによってもたらされる、すなわち光学ブレイクスルーを生じさせないエネルギー・レベルによりもたらされる非線形効果をコンタクト・ガラスに対して利用することを示唆している。当然、光学ブレイクスルーのエネルギーしきい値を下回るこのような非線形効果は、特定のコンタクト部材材料に関してのみ生じる。この広報は、照射される処置用レーザ放射または白色光放射の二次高調波の形態の非線形効果について述べている。このような放射の測定または検出は、例えば照射される周波数が2倍である放射を検出しなくてはならないために、高彩度の要求が生じる。これによって、光学系が複雑なものになる。

10

20

【0010】

第3のアプローチにおいては、前述の広報が、干渉構成を用いてコンタクト・ガラスのコンタクト面の位置を検出することを示唆している。しかし、一般的には、これによってもたらされる干渉パターンは、経験の浅いユーザによる調節または考慮に適するものではない。これらを自動的に評価するのは極めて困難である。用途に適する限りにおいては、該引用文献のコンセプトは、コンタクト・ガラスの境界面に光学ブレイクスルーを形成する高エネルギー・レーザ放射の照射を要する(放射線管理の態様下では不利である)か、またはプロセッシング・レーザ放射に対して非線形効果を呈するコンタクト・ガラス材料を要するかのいずれかである。

30

【0011】

コンタクト部材では、物体の上に配置されるコンタクト面は、通常は高精度で製造される。したがって、前述の(特許文献7)の方法およびデバイスは、例えば平面であってよいコンタクト面の位置を決定する。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0012】

【特許文献1】米国特許第6,373,571号

【特許文献2】欧州特許第1,159,986 A2号

【特許文献3】国際公開第03/002008 A1号

40

【特許文献4】ドイツ国特許第19831674 A1号

【特許文献5】国際公開第05/039462 A1号

【特許文献6】ドイツ国特許第10354025 A1号

【特許文献7】国際公開第04/032810 A2号

【特許文献8】欧州特許第1159986 A1号

【特許文献9】米国特許第5549632号

【特許文献10】国際公開第05/048895 A1号

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0013】

50

したがって、本発明の1つの目的は、コンタクト・ガラスの位置の決定に関して上記のタイプの方法またはデバイスを改良することである。

【課題を解決するための手段】

【0014】

本発明によれば、この目的は、マテリアル・プロセッシング装置を形成する方法により達成され、測定用レーザ放射の焦点から散乱されて戻りまたは反射されて戻り放射が、共焦点式に検出され、測定面と進入面またはコンタクト面との交差点の位置が、共焦点式に検出される放射と可変式焦点調節デバイスの割り当てられた設定とにより決定され、上記の工程は、必要であれば、好ましくは5ポイントである定められた数の交差点が検出されるまで、変更された、特に変位された測定面に関して複数回反復され、該面の位置は、交差点の位置と、進入面またはコンタクト面の予め知られている形状とから決定される。

10

【0015】

さらに、この目的は、上記のタイプの装置により達成され、測定用レーザ放射の焦点から散乱されて戻りまたは反射されて戻り放射を共焦点式に検出し、制御デバイスに測定信号を供給する共焦点検出器デバイスが提供され、制御デバイスは、測定面と進入面またはコンタクト面との交差点の位置を決定し、該制御デバイスは、交差点が無いまたは少なすぎる場合には、必要であれば測定面を変更させ、特に変位させ、交差点の位置と進入面またはコンタクト面の予め知られている形状とにもとづいて面の位置を決定する。

20

【0016】

当然、コンタクト面は、位置決定に適した面である。進入面とコンタクト面との間のコンタクト部材の幾何学的構造が十分な精度で得られる場合には、進入面の位置の決定も当然予期される。特に平面または球形のコンタクト部材の場合においては、通常は、進入面とコンタクト面との間の幾何学的構造は、そのコンタクト部材について進入面の位置を決定することも可能になるような精度で製造することが可能である。これは、コンタクト部材が既に物体の上に配置されているか否かにかかわらず、通常は非接触である進入面に屈折率の明確な不連続性が常に存在するという利点を有する。

【0017】

本発明は、検出のために、測定放射と検出すべき面（すなわち進入面またはコンタクト面）との間の線形相互作用を利用する。光学ブレイクスルーを実現するエネルギー密度にレーザ放射を合焦させる必要もなく、またコンタクト・ガラスの材料が光学ブレイクスルーのエネルギーしきい値を下回る測定用レーザ放射に関して非線形相互作用を呈する必要もない。また、使用する光学系（例えば対物レンズ）は、処置用放射と同一の波長の放射を選択しさえすればよく、これによっていかなる追加的な（彩度に関する）要求も生じない。したがって、先行技術と比較した場合に、検出機能によってこの構成がより複雑なもののおよびより費用のかかるものになることはない。

30

【0018】

本発明によるアプローチは、コンタクト部材（本明細書ではコンタクト・ガラスとも呼ぶ）の正確な位置を決定する役割を果たす。コンタクト・ガラスの境界面は通常は湾曲しているため、普通は、この形状は、コンタクト・ガラスに対する、例えば湾曲したコンタクト面の場合には湾曲の頂点または任意の他のマーキングされたポイントに対する座標系によって表される。これとは対照的に、マテリアル・プロセッシングまたはマテリアル・プロセッシングのための装置はそれぞれ、装置自体に対する座標系に関して操作される。このとき、コンタクト・ガラスのコンタクト面または進入面の正確な位置の決定によって、コンタクト・ガラスまたはその面湾曲部の座標系を、装置またはマテリアル・プロセッシング方法の座標系に対して調節するまたは適合させることが可能になり、あるいは2つの座標系の間にあるずれを決定するおよび考慮することが可能になる。

40

【0019】

測定面は、それがコンタクト部材上の検出すべき面の期待位置に交差するように選択さ

50

れる。期待位置は、期待位置を決定する前にコンタクト・ガラスがプロセシングデバイスに装着されるので、予め知られている。このように知られている幾何学的条件により、この面の期待位置の領域は、設置の際の公差と、コンタクト・ガラスの製造の際にまたは様々なタイプのコンタクト・ガラスに関してもたらされることのある生じ得る変動とによって、予め定められる。

【0020】

測定面中にて測定用レーザ放射の焦点位置を移動させることによって、測定面と検出すべき面との交差ポイントが求められる。共焦点検出は、コンタクト・ガラスの面に生じる屈折率の不連続性の曖昧でない検出を可能にするが、好ましくはこのコンタクト・ガラスは、この位置では接触されない。焦点が測定面中で移動されると、検出すべき面と測定面との交差ポイントに焦点が位置する場合には常に屈折率の不連続性が生じ、この不連続性は、共焦点検出の際に対応する信号をもたらす。

10

【0021】

有利には、散乱されて戻るまたは反射されて戻る測定用レーザ放射の共焦点検出は、透過性媒体の境界面で散乱されて戻る共焦点式に検出される放出放射の一部が、透過性媒体内よりもかなり高いという事実を利用する。この場合には空間フィルタリングが生じるため、共焦点検出は、隣接し合う媒体のコンタクト面の屈折率の差に大きく強度が左右される十分な強さの信号を生成する。したがって、例えば該差は、ガラスから涙液への移行についてよりも、ガラスから空気への移行についての方がより大きい。したがって、コンタクト面の位置の決定の際には、コンタクト部材がプロセシングすべき物体の上、例えば眼の角膜の上に配置される前に、位置の決定を行うことが好ましい。測定用レーザ放射のエネルギーは、いかなるプロセシング効果ももたらさないため、コンタクト部材が物体の上に配置された後に、すなわち眼科手術の場合においてはコンタクト部材が涙液で濡れた後に、面の位置を決定することも当然可能である。

20

【0022】

もちろん、測定面は、焦点移動で完全に網羅される必要はない。十分なポイント、すなわち(十分な)密度の経路曲線が測定面中に位置するならば、絶対的に十分である。満たすべき条件は、位置決定に十分な数の交差ポイントが検出されることである。必要な場合には、測定面中のポイント数を増加させなければならない。さらに、検出すべき既知の面の期待位置と交差するような範囲を有する任意の2次元多様体が、十分なものである。

30

【0023】

したがって、焦点位置は、測定面中に位置する経路曲線に沿って移動されると好ましい。この経路は、それがコンタクト・ガラスの検出面と交差するように、すなわち測定面と測定面の期待位置にある面との間の共通ポイントを含むように選択されるべきである。湾曲面を検出する場合には、経路が、測定面と検出すべき面との少なくとも5つの認識可能な交差ポイントを生成すれば、概して十分である。

【0024】

次いで、交差ポイントの位置にもとづいて、該面の位置が、進入面のまたはコンタクト面の予め知られている形状を考慮して決定される。非球形面については、これは、この系の主光学軸の傾斜の決定も含み得る。

40

【0025】

回転対称面の場合においては、より少ない交差ポイントで十分である。球形状湾曲コンタクト部材に関して従来使用されている面については、測定面は、それがプロセシング・レーザ・ビームの主光学軸の周囲で円筒対称であり、好ましくは円筒殻または円盤の形状を有するように配置されることが好ましい。円筒は、z座標、すなわちプロセシング・レーザ・ビームの主光学軸に沿った座標が、コンタクト部材の設置およびその製造公差に関する比較的大きな変動を受けることが分かっているため、特に好ましい。測定面を円筒状面として実現することには、比較的広い面積部分をz方向に(測定用レーザ放射またはプロセシング・レーザ放射の主光学軸に沿って)網羅することが可能となる利点がある。この円筒殻における経路は、例えば螺旋として実現することが可能である。この螺旋の十分

50

なピッチを選択することによって、測定面と検出すべき（回転対称）面との十分な数の交差ポイントを得ることが確実になる。必要であれば、すなわち交差ポイントの数が十分でない場合には（上記を参照）、経路を繰り返し変更しなければならない。

【 0 0 2 6 】

当然、面の検出は、測定用レーザ放射電力を上げることによって容易になる。最適な信号対雑音比は、約 20 nJ のパルス・エネルギーで達成されてしまう。特にパルス発振の態様で印加することが可能な測定用レーザ放射の強度は、焦点に光学ブレイクスルーが生じないように選択される。したがって、パルス測定用レーザ放射については、300 nJ 未満のパルス・エネルギーが好ましい。この値は、コンタクト部材に対する光学ブレイクスルーまたは他の非線形プロセッシング効果を回避するために超えるべきではない上限に相当する。

10

【 0 0 2 7 】

さらに、ユーザまたは第三者の放射被曝を可能な限り低く保つために、可能な限り低い測定用レーザ放射電力を使用することが勧められる。もちろん、パルス・エネルギーだけではなくパルス周波数もまたこれに関連して関係性があるが、それは、これらの両方が共に線量を決定するからである。好都合なことには、50 から 500 kHz の間のパルス周波数については、10 nJ または 5 nJ の上限でも有利であるが、これは、1,000 nm から 1,060 nm の間の典型的な波長では、見る人の眼の水晶体によって網膜上に合焦されることが可能な最大放射電力が無害領域内に保たれるためである。

【 0 0 2 8 】

20

透過性物体に対するプロセッシング効果は、光学ブレイクスルーで実現することが可能である。しかし、定められた短い時間間隔内で、ある特定の体積部材中に、光学ブレイクスルーのしきい値を下回るレーザ放射パルスを反復的に加えることによってプロセッシング効果を実現することも可能である。この効果に対する通常の説明は、レーザ放射のパルス・エネルギー E P U L S を比較的短時間内に体積中に累積させることが可能であり、その結果レーザ放射のパルス・エネルギー E P U L S がプロセッシング効果をもたらすというものである。これを回避するためには、20 秒未満の間に測定用レーザ放射として発せられるレーザ・パルス数が、該体積の最大範囲内のある一定数を超えるべきではない。経路の最大範囲または最大長さを D として表し、パルス周波数を f として表すと、以下の不等式、すなわち $f < 20 \text{ Hz} \times ((D / \text{E P U L S}) \times (1 \mu\text{J} / 1 \text{ mm}))^4$ が与えられる。この場合の最大範囲 D は、観察者が測定用レーザ放射のスペクトル領域を（対応する空間分解能で）知覚することが可能であると仮定した場合に、経路が観察者に発光体として見える範囲の経路の範囲である。D は、少なくとも 1 μm であるべきだが、20 mm を上回るべきではない。これらのサイズは、検出面の期待位置からの生じ得るずれによるものである。

30

【 0 0 2 9 】

また、前述の不等式は、測定用レーザ放射が超えるべきではない放射被曝を考慮する。物体の最大範囲は、この不等式における電力 4 に当てはめられるため、放射被曝は、経路の適切な選択、特に経路の側方範囲の適切な選択によって大幅に低減させることが可能である。

40

【 0 0 3 0 】

さらにユーザまたは他の人々に対して安全性を提供するために、位置決定の際に安全装置を使用してもよく、この安全装置は、コンタクト部材により伝達されるおそれのある測定用レーザ放射を吸収する。例えば、測定用レーザ放射が入射する側の反対側のコンタクト部材の上に安全キャップを配置することが可能であり、該安全キャップは、コンタクト面での屈折率の不連続性を得るためにコンタクト面に接触しないことが好ましい。これは、無菌性の理由からも有利である。代替として、または追加的に、プロセッシング装置内に組み込まれ作動される、例えば定位置に旋回される被覆機構を使用してよい。

【 0 0 3 1 】

特にレーザ手術においては、多くの場合、様々なコンタクト部材が使用され、これらの

50

部材は、その入力面および/またはコンタクト面の幾何学的形状に関して異なっている。個別化パラメータの1つとしては、例えばコンタクト部材の面の湾曲または直径であってよい。マテリアル・プロセッシングの際には、または対応する装置の操作の際には、いずれのコンタクト部材、すなわちいずれの入力面またはコンタクト面が現在あるのかを当然考慮すべきである。面の位置を決定するときには、該面の正確な形状は知られていない。しかし、あり得るコンタクト部材の供給は当然限定されるので、面の形状がある特定の群の形状に属するという事は知られている。もちろん球形面の場合もだが、特に回転対称コンタクト部材の場合には、互いに対する面の頂点の位置および面の縁部の位置は、装置に現在設置されているコンタクト部材が限定的な面の群の中のいずれの面を備えているかに関して、曖昧でない指摘を与える。したがって、湾曲面の頂点の位置は、面の縁部の位置と同様に決定されると好ましく、これらの構造体の距離または相互位置を使用して、いずれのコンタクト部材またはいずれのコンタクト面があるかを決定する。この決定は、曲率半径の決定を含んでよい。

10

【0032】

既に述べたように、上記の物体は、対応する装置によっても実現される。そのような装置を形成する場合に実施される方法工程が、上記したものである、または以下に記載するものである限りにおいては、そのような方法工程は、対応する制御デバイスにより自動的に制御して実施することが可能である。人によって実施される処置を差し挟む必要はない。特に、この方法は、装置の制御プログラム中の対応するルーチンを検索することによって完全に自動的に実施することが可能である。これは、プロセッシングすべき物体がコンタクト部材にまだ接触していない変形例に、およびコンタクト部材が既に物体上に配置されている変形例にも等しく適用される。さらに、測定用レーザ放射はプロセッシング効果を有さないため(上記を参照)、本発明による方法は、これが眼科手術に関連して使用される場合においても治療的性質または診断的性質のものとはならない。

20

【0033】

もちろん、上で説明したまたは以下に説明する実施形態および特徴は、有利な態様において、個別にまたは明確には述べられない他の組み合わせにおいて使用することも可能である。

【図面の簡単な説明】

【0034】

【図1】眼科手術用のプロセッシング装置の形態の、マテリアル・プロセッシングのための装置の概略図。

【図2】図1の装置において使用されるコンタクト・ガラスの拡大概略図。

【図3】コンタクト・ガラスの下面の位置を決定する測定面の位置をさらに示す、図2のコンタクト・ガラスの他の拡大図。

【図4】図3の部分底面図に相当する、位置決定を説明する概略図。

【図5】図1の装置においてコンタクト・ガラスの位置を決定するための、他の可能な測定面ならびにその中に位置する経路の概略図。

【発明を実施するための形態】

【0035】

以下、実施例として、図面を参照として、本発明をより詳細に説明する。

図1は、(特許文献8)および(特許文献9)に記載のものと同様の眼科的方法のための処置装置を図示する。処置装置1は、既知のレーシック(LASIK)法または同様の方法による患者の眼2に対して視力低下の矯正を実施する役割を果たす。このため、処置装置1は、パルス・レーザ放射を発生する処置用レーザ3を備える。パルス幅は、例えばフェムト秒領域内であり、レーザ放射は、非線形光学効果により、上記の態様で、例えば角膜中に光学ブレイクスルーを生成することによって角膜中で作用する。

【0036】

レーザ3により発生されるレーザ・ビーム4は、説明される図の実施形態においては相互に直交する軸の周囲を回転可能な2つのスキャニング・ミラーによって実現されるスキ

50

ャナ 6 に入射する。スキャナ 6 は、レーザ・ビームを 2 次元的に屈折させる。したがって、スキャナ 6 およびその後配置されるスキャニング・レンズ 7 の後には扇状ビーム 8 があり、扇状ビーム 8 はスキャナ 6 の位置に応じて入射方向の主光学軸に対していくつかの角度で調節される。ユーザに光学式ファインダを提供するビーム・スプリッタ 9 による屈折の後に、扇状ビームは、結像レンズ 10 によっておよび可変式レンズ 11 によって合焦されて、眼 2 の前方部分、例えば角膜 18 に位置する焦点を形成する。扇状ビームの各光線について、すなわちスキャナ 6 の各位置について、焦点の対応する側方変位は、作動していないスキャナに関して存在する主光学軸に対して実現される。

【 0 0 3 7 】

結像レンズ 10 と共に、可変式レンズ 11 は、主光学軸に沿った、すなわちいわゆる z 方向への焦点の変位を実現する投影レンズを形成する。したがって、その結果として、レンズ 11 およびスキャナ 6 の組み合わせが、可変式 3 次元焦点調節デバイスを形成する。この焦点調節デバイスは、例えば装置 1 を使用して既知のレーシック (LASIK) 法を実施することが可能となるように、制御デバイス 17 によって制御される。

【 0 0 3 8 】

既に上で記載したように、角膜 18 への入射の所要の一定条件を実現するために、およびその後空間においてもその条件を確定させるために、後に説明されるコンタクト・ガラス 19 が、角膜 18 の上に配置される。

【 0 0 3 9 】

処置装置 1 は、(特許文献 7) にも説明されている限りにおいては、既知の構造に一致する。しかし、(特許文献 7) において説明される装置と比較して、処置装置 1 には、共焦点検出器 12 が付加されている。共焦点検出器 12 は、スキャナ 6 によって入射レーザ・ビーム 4 が屈折される前に、入射レーザ・ビーム 4 のビーム経路中に組み込まれる。したがって、ビーム・スプリッタ 13 は、変化を受ける前のビーム経路中に配置され、レーザ走査顕微鏡法より知られているカラー・スプリッタの効果をも有し、非スペクトルのスプリッタ効果がこの場合でも可能である。

【 0 0 4 0 】

共焦点検出器 12 は、放射を、すなわち角膜 18 中に、すなわち可変式 3 次元焦点調節デバイスによって選択される焦点中に散乱されて戻るかまたは反射されて戻ら放射を検出し、それをビーム・スプリッタ 13 で結合させる。検出すべき放射は、反対方向に、レーザ・ビーム 4 のビーム経路を通り焦点からビーム・スプリッタ 13 に進む。

【 0 0 4 1 】

ピンホール・レンズ 14 およびその後配設されるピンホール 15 が、角膜 18 中の焦点に対する所望の共焦点フィルタリングを生じさせ、それによって、焦点から散乱されて戻るかまたは反射されて戻ら放射のみが、さらにその後配置される検出器 16 へと進む。また、検出器 16 は、配線 (図示せず) によって制御デバイス 17 に接続されるが、この制御デバイス 17 は、3 次元焦点調節デバイス (スキャナ 6 およびレンズ 11) の対応する制御を用いることによって、検出器 16 から各焦点位置に信号を割り当てることが可能であり、したがって像を生成することが可能である。

【 0 0 4 2 】

図 1 の装置 1 において使用されるコンタクト・ガラス 19 が、図 2 においては断面図として、概略的に拡大されて示される。分かるように、コンタクト・ガラス 19 は、平面進入面 30 と、例示の実施形態においては回転対称であるが一般的には平坦なまたは湾曲したコンタクト面 20 とを有する。(特許文献 7) に開示されるように、平面コンタクト・ガラスを使用することも可能である。また、進入面 30 は、湾曲したものが可能である。図 2 に図示される回転対称コンタクト・ガラス 19 は、回転対称コンタクト面 20 の場合にコンタクト・ガラス 19 の光学軸がコンタクト面 20 を貫通するポイントとして定められる頂点 21 を含む。もちろん、湾曲進入面 30 を有するコンタクト・ガラス 19 の場合には (この場合にも)、頂点はこの位置に存在する。しかし、例示として、図 2 の構造は以下のように仮定される。

10

20

30

40

50

【 0 0 4 3 】

図 3 に図示するように、通常は、コンタクト面 2 0 の湾曲は、頂点 2 1 に対して（例えば円筒の座標または球の座標による）座標系において表される。この座標系は、図 3 において概略的に示され、参照番号 2 5 を有する。

【 0 0 4 4 】

例えば（特許文献 1 0 ）において説明される機械式システムを用いて処置装置 1 にコンタクト・ガラス 1 9 を固定した後に、コンタクト・ガラス 1 9（したがってそのコンタクト面 2 0 も）は、処置装置 1 に対して固定される空間位置を有するが、この位置は、固有の公差を有する。

【 0 0 4 5 】

焦点の 3 次元的調節は、処置装置 1 においては座標系 2 1 において、通常はスキャナ 6 またはコンタクト・ガラスのコンタクト面である、操作の際に存在する処置装置 1 の部材の中の 1 つに対して実施される。この座標系 2 4 は、図 3 に概略的に示される。通常は、これは、コンタクト・ガラスの湾曲が表される座標系 2 5 とは一致しない。これは、一般的に、入射レーザ放射の主光学軸 2 2 が、コンタクト・ガラス 1 9 の設置の際の不可避の公差によりおよびコンタクト・ガラスの製造公差により、コンタクト・ガラス 1 9 の光学軸または頂点 2 1 のそれぞれに対してずれを生じ得るおよび / または傾斜され得るためである。また、特にコンタクト・ガラス 1 9 の中心の厚みを狭い公差内で製造することが非常に困難なため、通常は、z 方向、すなわち主光学軸 2 2 の長手方向における頂点 2 1 の位置に関して幾分かの不確実性が存在する。

【 0 0 4 6 】

（処置装置 1 の）座標系 2 4 と（コンタクト・ガラス 1 9 の）座標系 2 5 との間のずれを決定するために、測定用レーザ放射が、処置装置 1 のビーム経路を通り照射される。好都合には、このとき、処置用レーザ 3 が測定用レーザ放射の放射源として使用されるが、これは、本実施形態においては、処置用レーザ 3 が焦点において、すなわち処置装置 1 の光学系を通過した後で、非線形相互作用、特に光学ブレイクスルーを生じさせないパルス・エネルギーを有するパルス・レーザ放射を発することが可能である作動条件で処置用レーザ 3 を制御することが可能であるためである。また、適切な減衰器が可能である。もちろん、測定用レーザ放射のための別個の放射源を使用してもよい。しかし、測定用レーザ放射が座標系 2 4 に対して十分に正確な関係を有することが不可欠である。これは、測定用レーザ放射が焦点調節装置、すなわちスキャナ 6、結像レンズ 1 0 およびレンズ 1 1 をやはり通過する場合には、すなわち測定用レーザ放射が装置の座標系 2 4 内で調節される場合には、確実にすることが特に容易である。その場合によろしく、両方の座標系の間のずれを十分に正確に決定することが可能となる。

【 0 0 4 7 】

次に、低エネルギー・レーザ・ビーム 4 の形態の測定用レーザ放射が、測定面 2 3 内に位置する経路に沿って移動される。測定面 2 3 の位置は、これがコンタクト面 2 0 の期待位置と交差するように選択される。図 3 に図示される実施形態においては、座標系 2 4 の円筒座標において表される、一定の z 座標上に位置する測定面 2 3 が選択される。したがって、測定面 2 3 は、主光学軸 2 2 に直交する面である。したがって、この実施形態の測定面 2 3 における湾曲の座標は、それらの径方向座標または角座標とは異なるが、一定の z 座標を有する。測定面 2 3 とコンタクト面 2 0 との交差は、この球形状湾曲コンタクト面 2 0 の場合においては円形である閉経路となるが、これは、中心を含まない球形セクションが、規則的に小円に至るためである。目下、この小円は、主光学軸 2 2 に対してずれている。

【 0 0 4 8 】

このずれは、図 3 の図を下方より示す図 4 において明確に見ることが可能である。図 4 においては交差線 2 6 として示される小円のずれおよび半径によって、座標系 2 5 におけるずれの容易な算定が可能になる。これは、球形コンタクト面だけでなく、コンタクト面の形状が知られている限り回転対称コンタクト面に対してもかなり一般的に適用される。

10

20

30

40

50

球形コンタクト面 20 の場合においては、交差点 26 が位置する小円の中心の径方向座標および角座標が、自動的に頂点 21 の対応する横座標となる。z 座標 Z a は、測定面 23 の z 座標 Z k、ならびにコンタクト面 3 の曲率半径 R および前述の小円の半径 r より、等式 $Z a = Z k + R - (R^2 - r^2)^{1/2}$ によって求められる。

【 0 0 4 9 】

また、前記のパラメータ / 構造に加えて、図 3 および図 4 は、コンタクト面 20 の縁部 27 を示す。該縁部 27 もまた、主光学軸 22 に沿って測定面 23 を適切に変位させることによって検出することが可能である。これは、縁部 27 を検出するために 1 群の測定面 23 の使用を要するにすぎない。例えば、1 群の可能なコンタクト面より選択されるコンタクト面 20 の場合においても、頂点 21 および縁部 27 の径方向座標から実際に存在するコンタクト面 20 を決定することが可能である。このために、当業者は、頂点 21 および縁部 27 の径方向座標間の差異を利用することが可能である。既知の群の中のいずれのコンタクト面が存在するかを決定した後、次いで座標系 24 および 25 の前記の調節を、高い精度で、1 群の可能なコンタクト・ガラスよりいずれのコンタクト・ガラス 19 が装置 1 に実際に設置されたかを前もって知る必要性を伴うことなく実施することが可能となる。

10

【 0 0 5 0 】

図 5 は、他の実施形態を示し、異なる測定面 23 が使用された。この場合において測定面 23 の全ポイントについて当てはまることは、座標系 24 の円筒座標において半径が一定であるということである。測定面 23 は、円筒殻である。この殻中に位置する経路は、例えば螺旋 29 として実現することが可能である。さらに、境界面 20 が測定面積部分 23 との間に有する交差点 26 (図 5 においては図示をより簡易なものとするために示されない) が、閉経路上に位置する。この場合においては、当業者はコンタクト面 20 の位置を決定することが容易である。特に、簡単な解析解を球形コンタクト面に対して適用することが可能である。

20

【 図 1 】

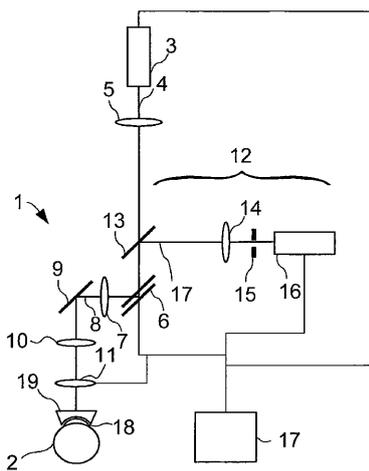


Fig. 1

【 図 2 】

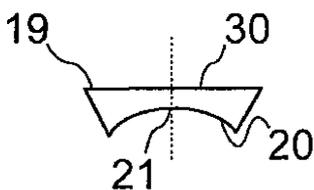


Fig. 2

【 図 3 】

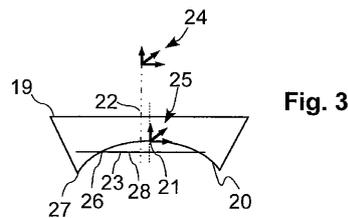


Fig. 3

【 図 4 】

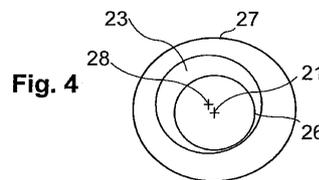


Fig. 4

【 図 5 】

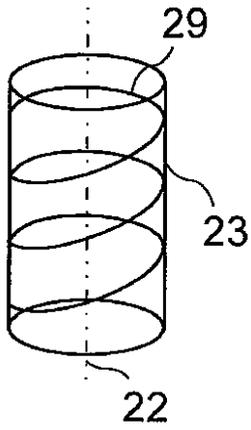


Fig. 5

フロントページの続き

(72)発明者 ストブラヴァ、グレゴール
ドイツ連邦共和国 07743 イェナ リカルダ - フッフ - ヴェーク 1アー

審査官 沼田 規好

(56)参考文献 特表2006 - 502410 (JP, A)
特開2000 - 139996 (JP, A)
特開平11 - 325828 (JP, A)
特開2003 - 270084 (JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
A61F 9/008