

(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2019-527576

(P2019-527576A)

(43) 公表日 令和1年10月3日 (2019. 10. 3)

(51) Int. Cl.	F I	テーマコード (参考)
A 6 1 B 1/00 (2006. 01)	A 6 1 B 1/00 5 2 3	2 G 0 5 9
G 0 1 N 21/27 (2006. 01)	A 6 1 B 1/00 7 3 1	2 H 0 4 0
G 0 2 B 23/24 (2006. 01)	G 0 1 N 21/27 A	2 H 2 4 9
G 0 2 B 5/18 (2006. 01)	G 0 2 B 23/24 B	4 C 1 6 1
	G 0 2 B 5/18	
審査請求 未請求 予備審査請求 未請求 (全 36 頁)		

(21) 出願番号 特願2019-501432 (P2019-501432)
 (86) (22) 出願日 平成29年7月13日 (2017. 7. 13)
 (85) 翻訳文提出日 平成31年3月11日 (2019. 3. 11)
 (86) 国際出願番号 PCT/US2017/041976
 (87) 国際公開番号 W02018/013838
 (87) 国際公開日 平成30年1月18日 (2018. 1. 18)
 (31) 優先権主張番号 62/363, 089
 (32) 優先日 平成28年7月15日 (2016. 7. 15)
 (33) 優先権主張国・地域又は機関
 米国 (US)

(71) 出願人 596130705
 キヤノン ユーエスエイ、インコーポレイ
 テッド
 CANON U. S. A. , INC
 アメリカ合衆国 ニューヨーク州 117
 47, メルビル, ワン キヤノン パ
 ーク
 (74) 代理人 100090273
 弁理士 國分 孝悦
 (72) 発明者 ワン チュオ
 アメリカ合衆国 カリフォルニア州 92
 618-3731, アーバイン, アル
 トン パークウェイ 15975 キヤノ
 ン ユーエスエイ、インコーポレイテッ
 ド内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 スペクトル符号化プローブ

(57) 【要約】

前方ビュー、側方ビュー、または前方ビューと側方ビューの組み合わせを有するスペクトル符号化内視鏡 (SEE) プローブであり得る新規な内視鏡が本明細書に提供される。SEEプローブは、光ガイドコンポーネントと、光集束コンポーネントと、回折格子コンポーネントとを備える。プローブは、光ガイドコンポーネントと回折格子コンポーネントの間に中間的な反射がない状態で回折格子コンポーネントからのスペクトル的な分散光などの光を試料へ進めるように構成されている。階段回折格子、または出っ張り回折格子などの三角回折格子が、回折格子コンポーネントとして使用され得る。

【選択図】 図4

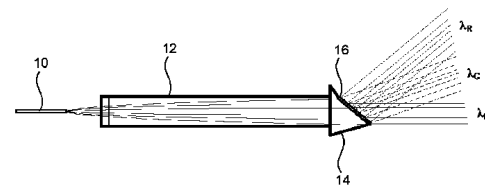


FIG. 4

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

光ガイドコンポーネントと、
光集束コンポーネントと、
回折格子コンポーネントと、
を備えたプローブであって、

前記プローブは、前記光ガイドコンポーネントからの光を、前記光集束コンポーネントを通じて前記回折格子コンポーネントへ前記プローブの光軸の方向にガイドし、次いで前記光ガイドコンポーネントと前記回折格子コンポーネントの間に中間的な反射がない状態で、前記回折格子コンポーネントからのスペクトル的な分散光を試料に進めるように構成されているプローブ。

10

【請求項 2】

前記回折格子コンポーネントは、三角回折格子を備える、請求項 1 に記載のプローブ。

【請求項 3】

前記プローブは、スペクトル符号化内視鏡検査 (SEE) プローブである、請求項 1 に記載のプローブ。

【請求項 4】

前記回折格子コンポーネントは、前記プローブの光軸の前記方向に実質的に直交する第 1 の表面と前記プローブの光軸の前記方向に実質的に平行な第 2 の表面とを有する三角回折格子を備え、

20

前記回折格子コンポーネントは、以下の式、

【数 1】

$$\sin \theta_i = \frac{-mG\lambda_0}{n_i - n_d}$$

$$\sin \theta_d = \frac{n_i m G (\lambda - \lambda_0) - n_d m G \lambda}{(n_i - n_d) n_d}$$

を満足し、

ただし、 m は、前記回折格子コンポーネントの回折次数であり、 G は、前記回折格子コンポーネントの空間周波数であり、 λ は、前記回折格子コンポーネントへの入射光の波長であり、 λ_0 は、前記回折格子コンポーネントによって回折される光の特定の波長であり、 n_i および n_d は、前記入射光および回折光それぞれの屈折率であり、 θ_i は、前記回折格子コンポーネントへの前記入射光の入射角であり、 θ_d は、前記回折格子コンポーネントによって回折させられた前記光の回折角である、請求項 1 に記載のプローブ。

30

【請求項 5】

400 nm から 1000 nm の間の波長を有する前記回折格子コンポーネントから回折された光は、実質的に 0 次コンポーネントを有さない、請求項 1 に記載のプローブ。

【請求項 6】

前記回折格子コンポーネントは、前記プローブの光軸の前記方向に実質的に直交する第 1 の屈折表面を備える、請求項 1 に記載のプローブ。

40

【請求項 7】

前記回折格子コンポーネントは、前記プローブの光軸の前記方向に実質的に平行な第 2 の屈折表面を備える、請求項 6 に記載のプローブ。

【請求項 8】

前記回折格子コンポーネントは、透過された回折光の次数のうちの 1 つまたは複数を高めるように構成された透過性回折格子である、請求項 1 に記載のプローブ。

【請求項 9】

前記回折格子コンポーネントは、回折光の 4 次、5 次、および 6 次を高めるように構成されている、請求項 8 に記載のプローブ。

50

【請求項 10】

前記回折格子コンポーネントは、階段設計を有する、請求項 8 に記載のプロープ。

【請求項 11】

前記光集束コンポーネントは、屈折率分布型 (GRIN) レンズ、またはボールレンズである、請求項 1 に記載のプロープ。

【請求項 12】

前記プロープは、可視光をガイドおよび回折するように構成され、入射角 θ_i および回折角 θ_d を $\theta_i = \theta_d$ であるように有する前記可視光内の 1 つの波長がある、請求項 1 に記載のプロープ。

【請求項 13】

前記プロープは、可視光をガイドおよび回折するように構成されており、前記可視光の最短の波長は、前記プロープの光軸に実質的に平行な前記回折格子コンポーネントから伝搬する、請求項 1 に記載のプロープ。

【請求項 14】

前記回折格子コンポーネントは、反射に関する弱め合う干渉によって、前記回折格子コンポーネントに入射する光の反射を最小にするように構成されている、請求項 1 に記載のプロープ。

【請求項 15】

前記回折格子コンポーネントの側面に配置されている光学的に平坦である反射面をさらに備え、前記回折格子コンポーネントおよび前記反射面は、前記回折格子コンポーネントに 0 次反射光を戻すようにガイドするように構成されている、請求項 1 に記載のプロープ。

【請求項 16】

前記試料から少なくとも 1 つの反射光を受け取るように配置および構成された検出ファイバをさらに備える、請求項 1 に記載のプロープ。

【請求項 17】

前記試料から反射光を受け取るように配置および構成された、少なくとも 2 つの検出ファイバをさらに備え、

少なくとも 1 つの検出ファイバは、前記プロープの光軸に実質的に沿った前記試料上の位置から少なくとも 1 つの反射光を受け取るように配置および構成され、少なくとも 1 つの検出ファイバは、前記プロープの光軸に対して実質的に角度付けされた前記試料上の位置から少なくとも 1 つの反射光を受け取るように配置および構成されている、請求項 1 に記載のプロープ。

【請求項 18】

前記回折格子コンポーネントの側面に配置された第 2 の回折格子コンポーネントをさらに備える、請求項 17 に記載のプロープ。

【請求項 19】

前記第 2 の回折格子コンポーネントは、前記回折格子コンポーネントによって反射された 0 次の光を回折させるように配置および構成され、

前記プロープの光軸に対して実質的に角度付けされた前記試料上の位置から少なくとも 1 つの反射光を受け取るように配置および構成された前記検出ファイバは、その遠位端に回折格子を備える、請求項 18 に記載のプロープ。

【請求項 20】

回折格子間隔は、 0.75 から $1.25 \mu\text{m}$ の間である、請求項 1 に記載のプロープ。

【請求項 21】

回折格子間隔は、少なくとも $1.5 \mu\text{m}$ である、請求項 1 に記載のプロープ。

【請求項 22】

前記プロープの半分の視野 (FOV) は、 400 から 800 ナノメートルの間の波長を有する回折光について 30 から 80 度の間で角度付けされており、

10

20

30

40

50

前記半分の F O V の角度は、 $\theta_i = \theta_d - \theta_i$ として定められ、 θ_i は前記回折格子コンポーネントへ入射する前記光の入射角であり、 θ_d は前記回折格子コンポーネントにより回折させられた前記光の回折角である、請求項 1 に記載のプロープ。

【請求項 2 3】

光ガイドコンポーネントと、
光集束コンポーネントと、
回折格子コンポーネントと、
回転要素と、
1 つまたは複数の検出ファイバと、
1 つまたは複数の検出器と、

前記 1 つまたは複数の検出器によって検出された回折光の複数の次数からの光を処理し、前記処理された光に基づいて単色画像または多色画像を形成するように構成された 1 つまたは複数のプロセッサと、
を備えたシステムであって、

前記光ガイドコンポーネント、光集束コンポーネント、および回折格子コンポーネントは、前記光集束コンポーネントを通じて前記回折格子コンポーネントへプロープの光軸の方向に前記光ガイドコンポーネントからの光をガイドするように構成されたプロープを形成し、次いで前記光ガイドコンポーネントと前記回折格子コンポーネントの間に中間的な反射がない状態で前記回折格子コンポーネントからのスペクトル的な分散光を試料に進めるように配置され、

前記 1 つまたは複数の検出器は、前記試料から反射した回折光の複数の次数の光を検出するように構成されているシステム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

関連出願の相互参照

本出願は、2016 年 7 月 15 日に提出した仮出願第 62 / 363089 号の優先権を主張するものであり、その開示は、全体として参照により本明細書に組み込まれる。

【0002】

本開示は、内視鏡に関する。より詳細には、本開示は、スペクトル符号化内視鏡プロープ (spectrally encoded endoscopic probe) を例示する。

【背景技術】

【0003】

医療用内視鏡プロープは、患者の身体の内側から画像を送る能力を有する。異物が入ることで引き起こされる人体への潜在的な損傷を検討するのに際して、プロープは、できる限り小さいことが好ましい。さらに、小血管、小管、小ニードル、小さい隙間などの小さい導管内で撮像する能力は、小さいプロープサイズを必要とする。

【0004】

有用な医療用プロープの 1 つは、スペクトル符号化内視鏡検査 (spectrally encoded endoscopy: 「SEE」) を用いるものであり、この SEE は、サブミリ径のプロープを介して高精細撮像を行うことができる小型内視鏡検査法である。SEE プロープでは、広帯域光が、光ファイバの先端で回折格子により回折させられ、試料に異なる波長 (色) の分散スペクトルをもたらす。この試料から戻った光は分光計を用いて検出され、それぞれの分解可能な波長は、試料上の異なる点の反射率に対応する。このように、SEE プロープは、試料中の所与の点から反射した光を波長で符号化する。SEE 技法の原理、および 0.5 mm、すなわち、500 μ m の直径を有する SEE プロープについては、D. Yelgin 他による刊行物名称「Three-dimensional miniature endoscopy」、Nature Vol. 443、765 ~ 765 (2006 年) によって説明されている。別の同様の例は、G. Tear

10

20

30

40

50

ney 他による「Spectrally encoded miniature endoscopy」、Opt. Lett.、27(6):412~414 ページ、2002 年によって説明されている。SEE を用いた撮像は、2 次元または 3 次元の高品質画像をもたらすことができる。

【0005】

スペクトル符号化内視鏡検査は、波長に従って入射光を回折角へ偏向させる回折格子の能力を利用する。偏向された光が物体に当たるときに、光は、物体によって散乱される。波長ごとに散乱光強度を検出することは、対応する回折角からの強度を検出することに相当する。このように、物体の 1 次元ライン画像が得られる。2 次元画像は、SEE プローブを回転させることによって得られる。3 次元画像は、SEE プローブを回転および並進（直線的に移動）させることによって得ることができる。また、干渉計の試料アームに組み込まれるとき、SEE プローブは、試料（例えば、組織）からの深さ情報を取得することもできる。典型的には、回折格子が光を偏向させるとき、入射光は、通常、プローブの光軸に対して曲げられる。このように、光は、光軸に対して真っ直ぐに進まない。光が真っ直ぐに進まないので、従来のスペクトル符号化内視鏡検査の構成を用いて前方を見ることできない。

【0006】

スペクトル符号化内視鏡検査の現在のトレンドは、側方ビュー型を用いるものであり、数例は、前方ビューの特徴を示す。フロントビュー型は、レンズ、スペーサ要素、プリズム、および回折格子を含む複数のコンポーネントからなり、これによりプローブ設計が複雑になっている。そのような設計の例は、例えば、C. Pitris 他、Optical Express Vol. 11 120~124 (2003 年)、および米国特許第 8145018 号に見付けることができ、これらの両方は、回折格子が 2 つのプリズム間に挟まれているデュアルプリズム構成（「グリズム」）を開示する。このグリズムは、スペクトル的に分散光をファイバの光軸を含む方向に向ける。グリズムは、適切な位置合わせを必要とする複数のコンポーネント（回折格子、プリズム）からなる。前方ビューのプローブを構成するためのグリズムの必要性により、プローブのコスト、製造の複雑さ、およびサイズは増加する。公報 WO 2015/116951 は、角度の付いた反射側面によって、波長の少なくとも 1 つがレンズの光軸に平行に伝搬するように回折格子への光入射角をもたらす別の前方ビュー内視鏡を開示する。しかしながら、前方ビュー SEE プローブのこれらの知られている設計は、欠点を有する。第 1 に、この設計は、利用可能な口径全体の使用を可能にすることができない。より小さい口径は、達成できる分解能の低下を意味する。

【0007】

第 2 に、両設計は、スペーサ内に反射面を必要とする。これは、小型サイズのスペーサを考慮すると、製造がとりわけ容易というわけではない。特に、スペーサおよび GRIN レンズの位置合わせは、製造中の課題をもたらす。

【0008】

さらに、照明ファイバは、GRIN レンズの軸外にあり、これは、製造時のさらなる困難、および光学収差をもたらす。いくつかの設計では、反射コーティングが、第 2 の反射面に少なくとも必要とされ、これは、系内の光損失および散乱をもたらす。このコーティングは、低屈折率エポキシが使用されるのでない限り、第 1 の反射面にも必要とされる。低屈折率エポキシは、通常、特別な硬化条件を必要とし、これは、大量生産についてさらなる懸念をもたらす。

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0009】

したがって、本明細書中で上に示した欠点の少なくとも一部に対処しおよび / または克服することが有益であり得、それゆえ例えば小型光学部品における撮像のための、前方ビューおよび / または無指向性ビューを有する新しい SEE プローブ、およびそのようなブ

ローブを使用する装置を提供する。従来知られているプローブと比較して低コストであり、および／またはあまり複雑でないSEEプローブを提供することも有益である。

【課題を解決するための手段】

【0010】

本発明の少なくとも1つの実施形態によれば、光ガイドコンポーネント(light guiding component)と、光集束コンポーネント(light focusing component)と、回折格子コンポーネント(grating component)(例えば、三角回折格子(triangular grating))とを備えたスペクトル符号化内視鏡検査プローブであって、当該プローブは、光ガイドコンポーネントからの光を、光集束コンポーネントを通じて回折格子コンポーネントへプローブの光軸の方向にガイドし、次いで中間的な反射(intermediate reflection)がない状態で回折格子コンポーネントからのスペクトル的な分散光を試料に進めるように構成されているスペクトル符号化内視鏡検査プローブを備える装置を提供する。

10

【0011】

本発明の少なくとも1つの実施形態によれば、光ガイドコンポーネントと、光集束コンポーネントと、三角回折格子コンポーネントとを備えるプローブであって、光ガイドコンポーネントからの光を、光集束コンポーネントを通じて回折格子コンポーネントへプローブの光軸の方向にガイドし、次いで中間的な反射がない状態で回折格子コンポーネントからの回折光を試料に進めるように構成されているプローブを備えた装置を提供する。

20

【0012】

さらに他の実施形態によれば、光ガイドコンポーネントと、光集束コンポーネントと、回折格子コンポーネントと、回転要素(rotary element)と、1つまたは複数の検出ファイバ(detection fiber)と、1つまたは複数の検出器(detector)と、複数の回折次からの光を処理し、この光に基づいて単色画像を処理するように構成された1つまたは複数のプロセッサ(processor)とを備えたシステムを提供する。プローブは、光ガイドコンポーネントからの光を、光集束コンポーネントを通じて回折格子コンポーネントへプローブの光軸の方向にガイドし、次いで中間的な反射がない状態で回折格子コンポーネントからのスペクトル的な分散光を試料に進めるように構成することができる。

30

【0013】

本開示のこれらおよび他の目的、特徴、および利点は、添付図面および用意した特許請求の範囲と併せて見るときに、後述する本開示の例示的な実施形態の詳細な説明を読むと明らかになる。

【0014】

本開示のさらなる目的、特徴、および利点は、本開示の説明的な実施形態を示す添付図面と併せて見るときに、以下の詳細な説明から明らかになる。

【図面の簡単な説明】

【0015】

【図1】図1は、本開示の例示的な一実施形態によるSEEプローブの図である。

40

【図2】図2は、前方ビューの特徴を有するSEEプローブの一実施形態のスペクトル分散を示す図である。

【図3】図3A、図3Bおよび図3Cは、図2に示されたプローブの例示的な光跡図である。

【図4】図4は、負の入射角および+1次の回折次数を有する前方ビューSEEプローブの一実施形態を示す図である。

【図5】図5は、回折格子間隔を増大させることによって逆波長極性設計を有する前方ビューSEEプローブの一実施形態を示す図である。

【図6】図6A、図6Bおよび図6Cは、図5に示す逆波長極性プローブの例示的な光跡図を示す図である。

50

【図 7】図 7 は、逆波長極性の + 5 次の回折光に基づいて向上した F O V を有する側面ビュー S E E プローブの一実施形態を示す図である。

【図 8】図 8 A および図 8 B は、様々な実施形態に説明されている回折格子の式を導くのに使用される符号規約を示す図である。

【図 9】図 9 は、計算された光入射角および半分の F O V 対入射光の様々な屈折率についての - m G についての具体的な解空間の 1 つを示すグラフである。

【図 10】図 10 は、計算された光入射角および半分の F O V 対入射光の様々な屈折率についての m G についての具体的な解空間の 1 つを示すグラフである。

【図 11】図 11 A および図 11 B は、図 2 の S E E プローブについての例示的な階段回折格子設計の詳細図である。図 11 A は、例示的な階段についての数値を示し、図 11 B は、20 段の階段回折格子を製造するための回折格子パラメータ全体を示す。

【図 12】図 12 A は、最小にされた反射率について最適化された階段回折格子設計の概略図である。図 12 B は、光ビームの細部が拡大されている図 12 A の回折格子設計の概略図である。

【図 13】図 13 A および図 13 B は、回折格子の最適化の概略説明図である。

【図 14】図 14 は、一実施形態による可視光の回折の最大効率について最適化された回折格子設計の概略図である。

【図 15】図 15 は、バイナリ回折格子のための例示的な回折格子製造方法のステップを示す図である。

【図 16】図 16 は、マルチステップバイナリ回折格子のための例示的な回折格子製造方法のステップを示す図である。

【図 17】図 17 は、回折した - 1 次および反射した 0 次を用いることで前方方向に拡大した F O V を有する S E E プローブの一実施形態に適した例示的な階段回折格子設計を示す図である。

【図 18】図 18 は、屈折した - 1 次および反射した 0 次ならびに側面の別の回折格子を用いることによって前方方向に拡大した F O V を有する S E E プローブの一実施形態に適した例示的な階段回折格子設計を示す図である。

【図 19】図 19 は、階段回折格子の側面の第 2 の回折格子の表面を用いた屈折した - 1 次および 0 次の反射および透過を用いる無指向性ビュー特性を有する S E E プローブの一実施形態に適した例示的な階段回折格子設計を示す図である。

【図 20】図 20 は、拡大した F O V のための 2 つの照明ファイバおよび 2 つの階段回折格子を有する S E E プローブの例示的な実施形態を示す図である。

【図 21】図 21 は、図 20 に示した設計により設計した S E E プローブを用いて取得した画像の写真である。

【図 22】図 22 A および図 22 B は、階段回折格子の最適化の例を示す図である。図 22 A は、低い反射率および高い透過回折に最適化された回折格子設計の概略図である。図 22 B は、ビームの細部が拡大されている図 22 A の回折格子設計の概略図である。

【図 23】図 23 は、本開示の例示的な一実施形態による S E E 装置を含むイメージングシステムの図である。

【図 24】図 24 は、例示的なイメージングコンソールの概略図である。

【発明を実施するための形態】

【0016】

各図全体にわたって、同じ参照数字および記号は、特段明記されない限り、同じ特徴、要素、コンポーネント、または図示した実施形態の一部を示すために使用される。また、本主題開示は、次に図を参照して詳細に説明するが、図示した例示的な実施形態に関連してそのように行われる。特許請求の範囲によって定められる本主題開示の真の範囲および精神から逸脱することなく、変更および修正は、記載された例示的な実施形態になされてもよいことが意図される。

【0017】

本明細書に開示した実施形態は、利用できる直径のより完全な使用により走査方向と分

10

20

30

40

50

光方向 (s p e c t r a l d i r e c t i o n) の両方において良好な分解能を有することができる S E E プローブ記載する。これらの実施形態は、設計中に軸から外れた 1 つまたは複数の要素を必要とすることなく、およびミラー反射要素を必要とすることなく、やはり S E E プローブを提供する。軸から外れた要素およびミラー反射がないことは、製造プロセスを単純化し、プローブの信頼性を改善する。さらに、反射光を集めることにおいてより限られた受光角の使用により、本明細書に与えられる S E E プローブのいくつかの実施形態は、0 次および - 2 次がシステム内で迷光を引き起こさないように設計することができる。これは、0 次透過光および 0 次反射光がとても大きい角度では実質的にない場合に、多くの設計にとって特に真実である。

【 0 0 1 8 】

図 1 には、本開示による S E E プローブ 1 0 0 例示的な一実施形態の図が示されている。この例示的な S E E プローブ 1 0 0 は、光ファイバ 1 0 (光ガイドコンポーネント) と、集束レンズ 1 2 (光集束コンポーネント) と、スペーサ 1 4 と、回折格子 1 6 (回折格子コンポーネント) とを備える。広帯域光 (または他の電磁放射) は、ファイバ 1 0 に結合または他の方法でファイバ 1 0 の中に供給され、レンズ 1 2 によって集束され得る。光 (または他の電磁放射) は、集束レンズ 1 2、スペーサ 1 4 を通じて移動し、それらの間で何ら反射することなく回折格子 1 6 に入射する。回折格子 1 6 において、光は、光の波長および入射角に従って回折させられる。 (波長 または波長帯 を有する) 各光は、組織 1 8 (試料) 上の特有の空間位置に集束する。図 1 に示すように、 X_1 、 X_2 、および X_3 は、それぞれ波長 λ_1 、 λ_2 、および λ_3 についての組織 1 8 の特有の空間位置である。したがって、光 (または他の電磁放射) は、点ではなく、平面または線 2 0 の中に集束することができる。図 1 に示された平面または線 2 0 は、スペクトル符号化線 (s p e c t r a l l y - e n c o d e d l i n e) と呼ばれる。光中の波長の 1 つは、図 1 の λ_1 として示されたレンズ 1 2 の光軸 (O x) にほぼ平行に伝搬することができる。組織 1 8 によって反射される光 (または他の電磁放射) は、ファイバ 1 0 または異なるファイバ (図示せず) に結合され、または他の方法でそれに戻すことができ、次いで、集束された光は、分光計 (図示せず) を含む検出器 (図示せず) へ送り届けることができる。分光計において、戻る光 (または他の電磁放射) のスペクトルは、電気信号として読み取ることができ、次いでこの電気信号は、コンピュータまたは他のデジタルプロセッサ (図示せず) を用いた組織の線画像を生成するように使用することができる。例示的な S E E プローブ 1 0 0 は、例えば、レンズ 1 2 を回転または振動させることによってまたは当業者に理解されるはずである他のやり方で、回転の矢印 2 2 によって示されるように、レンズの光軸 O x に沿って回転走査することができる。

【 0 0 1 9 】

図 1 に示すように、および他の実施形態において、前方ビューの設計を行うのに軸から外れた要素が必要とされない。光ガイドコンポーネントと光集束コンポーネントの間にまたは光が回折格子に当たる前に任意の反射 / ミラー内に軸から外れた要素は必要とされない。これによって、以前から知られている S E E プローブと比較して光学部品の位置合わせがより容易になるので、製造プロセスを単純化し、および / または信頼性を改善することができる。

【 0 0 2 0 】

図 2 は、例示的な一実施形態による照明光および回折光の光跡を示す。図 2 では、照明ファイバ 1 0 は、集束レンズ 1 2 と同軸である。レンズ 1 2 は、製造を容易にするために G R I N (g r a d e d i n d e x) レンズとして図 2 に示されているが、ボールレンズまたは他のレンズ形状が、用いられてもよい。図 2 のこの実施形態は、ある特定の波長 (例えば、青色、415 nm) で、その回折次数のうちの 1 つ (この場合、- 1 次) が、回折しないように光軸に平行に伝搬する (回折角が入射角と同じである) ように回折格子への入射角が設計されるように、回折格子 1 6 を特別に最適化する。

【 0 0 2 1 】

図 2 に示すように、集束レンズ 1 2 の後、光は、スペーサ 1 4 を通過し、次いで回折格

10

20

30

40

50

子 1 6 に入射し、それらの間でそれらの反射はない。 - 1 次の回折次数が、図 3 A に示されている。 0 次は、反射することになり、示されていない。図 3 B は、図 2 に示したプローブ設計についての - 2 次の回折次数を示す。検出ファイバに限られた受光角である（例えば、 $NA = 0.5$ ）ことにより、（反射される）0 次およびより大きい角度で回折される - 2 次は、通常、システム内に迷光を引き起こさない。視野（FOV）は、波長範囲を増大させることによって、またはより高次の回折次数を導入することによって拡大することができる。FOV は、後で説明するように、回折格子への入射角を増大させることによって拡大することもできる。表 1 は、入射角 $\theta_i = 56.1^\circ$ である 3 つの異なる波長における様々な次数についての光の伝搬を与える。

【表 1】

表 1

λ	-1 次	-2 次	-1 次
0.415 μm	0°	33°	0°
0.8 μm	30°	75°	30°
1.0 μm	---	---	43°
FOV (半分の角度)	30°	N/A	43°

10

20

【0022】

図 2 に示す設計については、回折格子間隔は便宜上約 $1 \mu\text{m}$ で一定であり、青色の光（ 415 nm ）は FOV の中央にあるように設計されており、赤色の光（ 800 nm ）は FOV の縁部にあるように設計された。図 3 A は、- 1 次の回折次数を用いた図 2 のプローブ設計で得ることができる例示的な半分の角度の FOV を示す。他の実施形態では、他の光帯域が使用されてもよく、他の波長または相対波長が FOV の中央および末端として定められてもよい。しかしながら、所望の用途に応じて、回折格子は、回折の他のものが特定の FOV 角を占めるように合わされるように設計することができる。図 3 B は、図 2 に示すプローブ設計についての - 2 次の回折次数によって形成される例示的な半分の角度の FOV を示す。

30

【0023】

このようにして、図 2 の実施形態では、検出ファイバ（図示せず）の限られた受光角により、0 次および - 2 次は、システム内でかなりの迷光を引き起こすべきでない。

【0024】

FOV は、光の波長範囲を増大させるまたはより高次の回折次数を用いることによって拡大することができる。例えば、図 3 C に示すように、波長範囲が $0.8 \mu\text{m}$ から $1 \mu\text{m}$ まで拡大される場合、図 3 A と比較して、視野（半分の角度）は 30° から 43° へ増加する。ここである潜在的問題は、図 3 B に示される青色の光の - 2 次の回折次数であり、これは - 1 次の回折次数の青色部分と干渉する（例えば、 415 nm は、両中央 FOV を覆うことになり、FOV は 830 nm に対応する）。少なくとも 2 つの測定が、この問題に対処するためにとられ得る。1 つは、より高次の回折の効率を最小にするように回折格子を設計することである。他方の 1 つは、もう 1 つの検出ファイバを導入して、具体的により高い角度（例えば、 30° から 43° ）の光を受けることである。例えば、フィルタが導入されてもよく、または検出ファイバ上の回折格子は、青色のエンド波長がフィルタで除去されるように設計され得る。

40

【0025】

いくつかの実施形態では、集束レンズ 12 は、ボールレンズとすることができる。スペーサ 14 は、回折格子 16 を支持する透明材料で形成することができる。言い換えれば、スペーサ材料は、回折格子 16 の支持体とすることができ、例えば、エポキシ材が、レンズ 12 を回折格子 16 に位置合わせおよび固定するために使用され、あるいはガラス材料

50

が使用されてもよい。代替として、スペーサ 14 は、ちょうどレンズ 12 と回折格子 16 の間の自由空間（空気）であってもよい。実際には、スペーサ 14 は、複数の溝が回折格子 16 を形成するように配設されている透明なウェハ基板であってもよい。

【0026】

図 4 は、+1 次の光を回折させるように設計された回折格子 16 を有するプローブを示す。図 2 に示した実施形態と比較して、図 4 では、回折格子への光入射角は、正から負へ変化させられる。回折次数は、この場合、-1 次から +1 次へやはり変化させられる。図 2 および図 3 A に関連して示す場合と同様に、0 次の回折次数とより高次の回折次数の両方は、検出ファイバの限られた受光角、またはより高次の回折についての回折格子の低い効率、あるいは両方により、迷光を導入することができない。表 2 は、3 つの異なる波長における第 1 および第 2 の正（+）の回折次数について光伝搬角度を与える。

【表 2】

表 2

λ	+1 次	+2 次
0.415 μm	5°	30°
0.617 μm	18°	57°
0.800 μm	30°	84°

【0027】

検出用ファイバ（図示せず）の限られた受光角により、0 次および +2 次は、本実施形態のプローブを用いてシステム内に迷光を引き起こさない。先の実施形態にあるように、FOV は、波長範囲を増大させることによって、またはより高次の回折次数を使用することによって拡大することができる。

【0028】

図 4 に示された設計について、回折格子間隔は、便宜上約 1 μm で一定である。両設計について（図 2 および図 4）、青色の光（415 nm）は、中央 FOV 内にあり、赤色の光（800 nm）は、FOV の縁部にある。しかしながら、前述したように、他の光帯域が使用されてもよく、他の波長または相対波長が、FOV の中央および末端として定められてもよい。

【0029】

図 5 は、回折格子のピッチが FOV の中央および末端として特定の波長を定めるように設計されている例示的な実施形態を示す。図 5 に示すように、中央 FOV は、現在、青色の光（415 nm）に代わって赤色（800 nm）の光によってカバーされている。本実施形態では、回折格子間隔は、例えば、約 1 μm から 2.5 μm へかなり増加した。この設計は、FOV 内の波長の極性を変化させた。すなわち、図 5 に示すように、赤色の光は中央にあり、青色の光は FOV の縁部にある。これは、いくつかの理由のため、特に興味深いものであり得る。1 つは、回折格子、および検出器の量子効率が、通常、赤色の領域内でより高い効率を有することである。中央 FOV は、通常より重要であるので、この領域における効率および / または分解能が改善される。この逆波長極性設計は、+2 次の回折次数は、FOV の中央における青色の波長および周辺における赤色の波長を有するので、第 2 の正（+2）の回折次数を用いるときにカラー S E E プローブにおいてやはり特に有用であり得る。また、この長い回折格子間隔の設計の場合、いくつかのより高い回折次数は、図 6 A ~ 6 C に示すように、視野内で共存することができる。図 6 A は、+1 次の回折次数を用いるとき、赤色（800 nm）の波長が FOV の中央にあり、青色（415 nm）の波長が FOV の縁部にある図 5 の示す S E E プローブの視野を示す。図 6 B は、2 次（+2）の回折次数の FOV 内の様々な波長の位置を示し、図 6 C は、5 次（+5）の回折次数の FOV 内の様々な波長の位置を示す。この現象は、以下本明細書においてよ

り詳細に説明される。

【0030】

長い回折格子間隔の設計の場合、いくつかのより高次の回折次数が、図6A～図6Cに示すように共存することができ、+1次、+2次、+3次、+4次、および+5次の回折次数について表3にまとめられている。したがって、いくつかの実施形態では、回折格子は、これらのより高次の回折次数のうちの1つまたは複数の効率を特に高めるように設計される。

【0031】

表3は、3つの異なる波長および入射角 $i = 56.1^\circ$ で図5に示す実施形態について様々な次数についての光伝搬角度を示す。

【0032】

【表3】

表3

Λ	+1次	+2次	+3次	+4次	+5次
0.415 μm	-12.8°	0.9°	12.3°	22.6°	32.3°
0.617 μm	-5.7°	12.0°	27.1°	41.4°	55.7°
0.800 μm	0.0°	21.1°	39.8°	58.4°	79.6°

【0033】

表3に示す+5次が、図4に示す+1次と比較してずっと大きいFOVを含むことができるので、手始めとしてとても粗い回折格子を有する側方ビュー応用のために、+5次を用いることでシステムを設計することが可能である。これは、粗い回折格子が製造をより容易であるとともに、細かいピッチ回折格子よりも並べるのが容易であるので特に有利である。

【0034】

複数の次数の回折を用いたカラー撮像についての一実施形態は、例えば、図2に示した構造的設計を用いることが可能である。図2に示したプローブは、入射角は81度であり、回折格子の溝密度は0.1983線/mmであるように設計されている。415nm、498nm、および622.5nmの中心波長を有する光ビームは、前方ビューの方向にそれぞれ-6次、-5次、および-4次で回折された。このプローブを用いて、3つの単色の画像が、青色(415～475nm、-6次)、緑色(498～570nm、-5次)、および赤色(622.5～712.5nm、-4次)のチャンネルについて得られる。半分の角度のFOVは、29.3度である。知られている画像処理アルゴリズムを用いて3つの単色の画像を組み合わせることによって、プローブによって走査される任意の関心領域の前方ビューのRGBカラー画像を得ることを可能にする。

【0035】

側面ビュープローブは、図7に示されている。このプローブは、図5に示された逆波長極性設計の+5次屈折次数に基づく。回折格子への光入射角は39.8°であり、FOVは47°、(0.415 μm から0.800 μm)である。しかしながら、回折格子間隔は、以前から知られている他の側面ビューの設計の0.5 μm と比較して2.5 μm である。

【0036】

回折格子設計

回折次数の議論を明確にするために、回折格子の式についての符号規約が、図8Aおよび図8Bにおいて与えられ、示されている。入射光および回折光の場合、光は、回折格子の表面の法線に対して回転させられる。法線に対する回折光の回転が時計回りの場合、図8Bに示すように、回折光の符号は負(負の角度)である。回折次数については、回折光

10

20

30

40

50

は、0 次の光に対して回転し、回折光の回転が 0 次に対して反時計回りの場合、図 8 A に示すように、符号は正である（正の回折次数）。

【0037】

図 8 A および図 8 B に定められた符号規約によれば、回折格子の式は、以下の式 1 に示された形態をとる。

$$-n_i \sin \theta_i + n_d \sin \theta_d = mG \quad (1)$$

ただし、 m は回折次数（ $m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$ ）であり、 G は回折格子空間周波数（単位： $1/\mu\text{m}$ ）であり、 λ は真空中の光の波長（単位： μm ）であり、 n_i および n_d は、それぞれ入射光および回折光の屈折率であり、 θ_i および θ_d は、図 8 A および図 8 B に示す符号規約によって定められる入射角および回折角度である。

10

【0038】

本明細書に記載されるような前方ビュー（front-view）の設計については、少なくとも 1 つの特定の波長 λ_0 、入射角、および回折角度は、式（2）を満足することを意味する。

$$\theta_i = \theta_d \quad (2)$$

【0039】

式 1 と式 2 を組み合わせると、入射光の角度の要件は、式（3）が満足させられるように得ることができる。

【数 1】

$$\sin \theta_i = \frac{-mG\lambda_0}{n_i - n_d} \quad (3)$$

20

【0040】

対応する回折角は、したがって、以下の式（4）から得ることもできる。

【数 2】

$$\sin \theta_d = \frac{n_i m G (\lambda - \lambda_0) - n_d m G \lambda}{(n_i - n_d) n_d} \quad (4)$$

したがって、前方ビュープロープについての半分の FOV 角は、 $\theta_d - \theta_i$ として決定される。

30

【0041】

本明細書において、本発明者らは、図 9 に示すように、可能性のある光入射角、およびそれらの対応する半分の FOV 角を調べた。計算は、屈折光の屈折率を $n_d = 1$ （空気）、 $\lambda_0 = 0.415 \mu\text{m}$ （青色の波長）、および $\lambda = 0.8 \mu\text{m}$ （赤色の波長）と仮定した場合の式 3 および式 4 に基づいている。図 9 に示したグラフによれば、回折格子への入射角が増大するにつれて、半分の FOV 角は増大することが明らかである。回折格子への入射角が 90° に近くなっていくとき、結果として得られる半分の FOV 角は、入射光が出会う屈折率に応じて 55° （ $n_i = 1.5$ の場合）から 70° （ $n_i = 1.7$ の場合）の範囲である。図 2 によって具体化される回折格子 16 の設計は、図 9 に示したグラフに従う。

40

【0042】

図 9 には、計算された光入射角および半分の FOV 角についての 1 つの解空間対入射光の様々な屈折率についての $-mG$ が示されている。回折光が観測する屈折率は、1 であると仮定する（すなわち、回折光は、空気を通じて移動する）。これらの解は、図 2 によって具体化された設計を含む。

【0043】

図 10 には、計算された光入射角および半分の FOV 角についての別の解空間対入射光の様々な屈折率についての mG が示されている。回折光が観測する屈折率は、 $n_d = 1$ であるとも仮定し、入射光が出会う屈折率は、 $n_i = 1.5$ であると仮定する。図 10 のグラフは、図 4、図 5、および図 7 によって具体化された回折格子の設計の対応する数値解

50

である。この解空間は、式(3)中の負の符号が、式の左辺へ移されている(すなわち、式(3)の両辺に-1の積)と理解することができる。したがって、入射角ならびに回折次数は、符号を変化させている。

【0044】

図6A～図6Cによって例示される実施形態で観察した逆極性解は、式(3)によって説明することもでき、すなわち同じ光入射角 θ_i および同じ格子定数 G は、 m の1つまたは複数の組み合わせに対応する。

【0045】

いくつかの例示的な実施形態では、入射角、格子定数(G)、および半分のFOV角は、図9および図10に示した結果に基づいて設計される。対称性により、図9に示した解決策にのみ注目する。 $n_d = 1$ (空気)、 $n_i = 1.5$ (例えば、我々の例に使用されているエポキシOG603に対応する)、 $m = -1$ 、 $\theta_o = 0.415^\circ$ 、 $G = 1/\mu\text{m}$ の場合、我々は、 $\theta_i = 56.1^\circ$ を有する。図4および図5に示した回折格子の設計は、ここで概説したこれらの数字に基づいている。

【表4】

表4

	A	B	C	D
入射角	60.63°	65.92°	71.12°	81.00°
格子定数(G)	1.05/ μm	1.1/ μm	1.14/ μm	1.19/ μm
半分のFOV	32.78°	36.62°	40.64°	49.03°

【0046】

表4の列Aに示すように、入射角を60.63°まで増加させる場合、格子定数は $G = 1.05/\mu\text{m}$ となり、半分のFOV角は32.78°となる。入射角を65.92°まで増加し続ける場合、格子定数は $G = 1.1/\mu\text{m}$ となり、半分のFOV角は36.62°となる(列B)。入射角が71.12°である場合、格子定数は、 $G = 1.14/\mu\text{m}$ となり、半分のFOV角は40.64°となる(列C)。最後に、入射角が81.00°であるとき、この場合の格子定数は、 $1.19/\mu\text{m}$ となり、半分のFOV角は49.03°となる(列D)。

【0047】

回折格子の形成

本発明の様々な実施形態のプロープに使用される回折格子は、三角回折格子である。三角回折格子は、より一般化されたブレード回折格子であり、その回折格子線は、三角形の鋸歯状形状の断面を有する。形成された構造は、図11Aに示すように階段状であり得る。図11Aは、 $\theta_i = 56.1^\circ$ および対応するその寸法が1ミクロンのピッチについての数値解に従う階段設計を示す。この階段設計は、典型的なブレード回折格子に基づいているが、それは、所与のパラメータ $n_d = 1$ (空気)、 $n_i = 1.5$ 、 $m = -1$ 、 $\theta_o = 0.415^\circ$ 、および $G = 1/\mu\text{m}$ に対する特定の結果を得るように特定の波長に合わせられている。図11Aに示すタイプの三角回折格子は、望ましい構造の補完的形状(しばしば、回折格子自体)を有する原型で成形され得る。原型の製造は、図15または図16に示すように、通常、フォトリソグラフィプロセスで行われる。

【0048】

図11Aに示した回折格子のこの特定の設計は、図2に示した例示的なプロープのためである。階段設計は、回折格子が光軸 Ox に平行である階段の「ステップ」の側壁を有する実施形態を含む。それは、側壁は完全には平行でないが、出っ張りを有する階段設計も含む。

【0049】

図 1 1 B は、階段回折格子を設計するパラメータを示し、ある方法は、まず式 3 ~ 4 に従って理にかなった光入射角を用いて半分の F O V 角を最適化するものである。この最適化の結果は、知られているまたは予期される半分の F O V 角に関して回折格子間隔 および光入射角 θ となる。次いで、直線、すなわち光軸に平行（およびしたがって、入射光に平行）な線、および平行な線に直交する線が、階段プロファイルを形成するように描かれており、したがって、階段回折格子という名である。

【 0 0 5 0 】

厳密結合波理論 (R C W A : R i g o r o u s c o u p l e d - w a v e a n a l y s i s) は、図 1 1 A に示す設計についての格子効率を解析するために使用されてきている。本明細書に使用されるとき、格子効率は、所与の回折次数における所与の波長（または波長領域）における回折光エネルギーと入射光エネルギーの差を指す。当業者によって理解されるように、回折格子の（ピッチを減少させる）単位距離あたりの線の個数を増加させると、全体にわたるエネルギーを増加させる。しかしながら、ここでの目的は、回折効率が特定の回折次数で特定の波長について最適化されるように回折格子を設計することである。 - 1 次（負の 1 次回折）について、平均効率は約 3 0 % である。いくつかの実施形態では、他でも様々な実施形態において説明されるように、効率は、異なる回折次数または異なるピッチを用いてさらに最適化される。T E (T r a n s v e r s e E l e c t r o m a g n e t i c (横電磁)) 解析は、T M (t r a n s v e r s e m a g n e t i c (横磁場)) 解析よりもより高い回折効率を示す。比較として、 - 2 次（負の 1 次回折）についての回折効率は、このタイプの階段回折格子設計に対してずっと低い。 - 2 次についての回折効率は、例えば、領域全体について 0 . 0 4 未満、および 5 0 0 から 8 0 0 n m まで 0 . 0 2 未満ほどの低さであり得る。他の実施形態では、回折格子は、 - 2 次で最適化され得る。

【 0 0 5 1 】

エネルギー配分をよりよく理解するために、効率が、T E モードと T M モードの両方について（反射および透過の）全ての回折次数について計算されている。本明細書に開示した実施形態では、透過の 0 次は存在しない。0 次における光の大部分は、これらの場合について反射の 0 次である。そこで、有利には、0 次反射光は、本明細書において以下に詳細に説明するように、拡大 F O V を有するプローブを設計するために再利用することができる。

【 0 0 5 2 】

フォトリソグラフィは、本明細書に開示したような回折格子を製造するために使用され得る。製造方法は、いわゆる「バイナリオプティクス」のより大きいカタログに含まれ、ただし、いくつかのマスクは、図 1 1 B に示すような関心の構造を形成するように特に設計され得る。R C W A 解析において、回折格子構造における 2 0 ステップを有する回折格子設計がシミュレートされた（図 1 1 B）。リソグラフィに使用されるとともにこのプロセスに示される 4 つのマスクは、最終設計において $2^4 = 16$ ステップを与えることができ、これは、いくつかの応用にとって十分なはずであり、他の応用は異なる製造方法を必要とするであろう。N バイナリ透過マスクからの 2^N までの位相レベルを生成する特定のプロセスは、任意の回折格子構造を生成するのに使用することができる。

【 0 0 5 3 】

階段回折格子設計は、さらなる最適化のためのスタート点であり得る。すなわち、階段設計は、三角形の 2 つのより短い縁部が交わる点、すなわち図 1 1 B に示される点 P の位置を微調整するときを使用することができる。最適化は、例えば、回折格子間隔 における、そして回折格子高さ d における、あるいはその逆も同様に点 P の位置で開始することができる。一方向において局所的な最小にそれが到達するとき、我々は、別な方向における局所的な最小を探し始めることができる。このプロセスは、解決策がまとまるまで続く。

【 0 0 5 4 】

メリット関数が、この最適化プロセスに使用することができる。可能性のあるメリット

10

20

30

40

50

関数の1つは、少なくとも2つのパラメータを含むべきであり、1つは所望の回折次数についての平均回折効率である。他方の1つは、一実施形態の場合、約0.4(400nm)から約0.15(800nm)までの範囲である要求された最小回折である。必要な場合、ペナルティ(または重み)関数は、0次回折またはより高次の回折を検討するために導入することもできる。

【0055】

いくつかの実施形態では、回折格子は、バイナリ回折格子であり得る。図15は、バイナリ回折格子のための例示的な回折格子製造方法のステップを示す。図16は、マルチステップバイナリ回折格子のための例示的な回折格子製造方法のステップを示す。概して、回折性のバイナリ光学部品を製造する最も一般的なプロセスは、マイクロエレクトロニクスの製造に使用されるものと同様のものであるフォトリソグラフィ法を含む。これらの方法は、基板に配設されるフォトレジストの使用に基づいており、マスクを使用してフォトレジストをエッチングし、フォトレジストを除去して所望の回折格子構造を得る。図15および図16に示すように、複数のリソグラフィマスクが、所望の数のエッチングレベル、したがって所望の回折の効率に応じて使用され得る。処理ステップは、(1)フォトレジストでコーティングされた基板の上に所望のマスクを配置するステップと、(2)マスクを電磁エネルギーで照射するステップと(マスクの一部の透過は、光がフォトレジストを露光することを可能にし、したがってフォトレジストは、基板から除去される)、(3)フォトレジストのない基板エリアを決定された深さまでエッチングするステップ(バイナリステップ)を含む。エッチング中、フォトレジストを有する基板のエリアは、エッチングプロセスを通さないままであり、(4)残っているフォトレジストを除去する。これらの4つの初期のステップは、図15に示すような基本バイナリ構造を形成する。図15のバイナリ構造を形成するためにフォトレジストが除去された後、プロセスは、さらなるレベルを形成し続けることができる。したがって、図16に示すように、プロセスは、以下のステップをさらに含むことができる。(5)バイナリ構造をフォトレジストでコーティングするステップ、(6)新しいマスクを電磁エネルギーで照射するステップ(マスクの一部を照射することで、光がフォトレジストを露光することを可能にし、それによってフォトレジストが基板から除去される)、(7)(第2のバイナリステップを形成するために)フォトレジストのない基板エリアを所定の深さまでエッチングするステップ。エッチング中、フォトレジストがある基板のエリアは、エッチングプロセスを通さないままである。(8)残っているフォトレジストを除去するステップ。これらのプロセスは、所望のレベル数が基板の中にエッチングされるまで繰り返すことができる。

【0056】

回折性の微細構造を製造するために、多くの異なる方法が存在する。上記のリソグラフィ技法は別として、直接機械加工、および複製(例えば、以前に「原型」について説明した)がよく知られている。製造技法の選択は、一般に、所望の機能とコストのバランスによって決められる。

【0057】

原型の製造は、図15および/または図16に示すように、通常、フォトリソグラフィで行われる。しかしながら、図14に示す特別回折格子設計の場合、アンダーカットにより、設計は、典型的なブレード回折格子として製造することができない。深堀りRIE(反応性イオンエッチング)などのアンダーカットという結果になり得る異方性エッチングまたは他のエッチング方法は、原型を作り出すために使用することができる。製造中に、三角形の頂点が丸くなり、三角形の縁部が完全な直線からわずかに外れる場合があることに注目する価値がある。ここで階段または三角回折格子の定義は、頂点が丸くなっている、または縁部が曲がっているとき、製造限界/誤差/欠陥による結果も含むはずである。

【0058】

他の実施形態は、階段回折格子それ自体でない三角回折格子を用いてもよい。例えば、回折格子は、三角形の出っ張りの回折格子であってもよい。この回折格子の最適化は、階

段回折格子の最適化と同様にして行うことができる。バイナリ回折格子設計、最適化によって理にかなった回折効率をもたらすこともできる。バイナリ回折格子に関連した問題の1つは、より高い回折次数に対して、より高い効率となることである。それにもかかわらず、特定の回折格子間隔および入射角に関連して理にかなった回折効率をもたらすことができる任意のタイプの三角回折格子が、本明細書に記載されるようなプローブに使用することができる。

【0059】

したがって、いくつかの実施形態では、回折格子の最適化は、図12Aおよび図12Bならびに図13Aおよび図13Bによって説明することができる。これらの図では、プローブの屈折率 $n_i = 1.5$ であり、回折される空間媒体は $n_d = 1.0$ の屈折率を有すると推定され、図示されるようなパラメータの各々は、最適化することができる。これらの最適化では、三角形の一縁部は、プローブ軸 O_x と平行と仮定される。したがって、図13Aおよび図13Bに示すような未知の「 y 」寸法は、回折格子間隔と回折格子高さ h と光入射角の正接の値との積との差として計算される。

【0060】

三角形の出っ張りである最適化された回折格子設計の1つが、図14に示されている。この回折格子では、屈折率が $n_d = 1$ および $n_i = 1.5$ と定められる場合、最適化された設計は、 $h = 1$ および $a_1 = 1$ をもたらす。この回折格子は、 400 nm から 800 nm で最小効率が 65% をもたらし、同じ範囲にわたって 75% よりも大きい平均効率を有する。

【0061】

いくつかの実施形態では、B. Baiら、(Appl. Opt. 2010年10月1日、49(28):5454~64)によって説明されている回折格子製造方法が使用されてもよい。Baiは、EBL、RIE、RIE、およびUV複製などの知られている微細製造技法を用いて実現することができる傾いた出っ張り回折格子カブラの製造および複製を説明している

【0062】

いくつかの実施形態では、O. Barlevら、(Appl. Opt. 2012年12月1日、51(34):8074~80)によって説明されている製造方法が、使用されることもできる。Barlevは、深くて密集した溝を有する表面起伏共振領域回折格子を形成した。Barlevは、「(a)電子ビームリソグラフィを用いて電子ビームレジスト層内に共振領域回折格子パターンを記録するステップと、(b)記録された空間パターンを細かい金属マスクに転写するステップと、(c)反応性イオンエッチング(RIE)技法を用いて金属マスクから共振領域回折格子の基板へ空間パターンを転写するステップ」を有するプロセスを使用した。これらおよび他の製造方法は、本発明が関係する当業者の知識内に十分あると考えられる。

【0063】

増大したFOV

前述したように、いくつかの実施形態については、0次は反射される。したがって、この0次の光を再利用/リサイクルするのが有用である。0次の光は、FOVを増大させるために再利用することができる。図17は、FOVを増大させるために0次反射光を再利用するように構成された階段回折格子の一実施形態を示す。-1次の光42は、前方ビュー光として回折格子16から外に出る。0次反射光38は、例えば、内部全反射(TIR)側壁または反射コーティング30によってさらに反射され、内部で反射された0次光39は、異なる角度でシステムに再び入り、反射40として階段(ブレード)回折格子16と再び相互作用する。この設計の場合、反射面30は、光学的に平坦である、すなわち細かく磨かれているまたは射出成形されていることを必要とする。必要に応じて、射出成形部品が光学システム内で収差を補正するためにこの表面になだらかな曲線を導入することが可能である。図17に示すように、-1次の光42は、プローブの光軸 O_x に平行な回折格子16から出て、前方ビュー光としての役割を果たす。他方で、反射40(再利用の

10

20

30

40

50

0 次) の光は、光軸に対して負の角度で回折格子を出て、このようにして側面ビュー光としての役割を果たす。したがって、2 つの検出ファイバ、すなわち、前方ビュー用のものと側面ビュー光用のものが、図 17 のこの実施形態とともに使用されることが好ましい。限られた受光角のより、0 次および - 2 次は、システム内で迷光を引き起こさない。対照的に、最適化された側壁 30 を用いて適切に設計されているとき、回折格子は、F O V を増大させるために 0 次を使用することができる。

【0064】

図 18 は、光軸に実質的に平行なその側面の側壁表面 32 を有する別の回折格子を示す。やはり、回折格子の側壁表面 32 は、色収差補正のために、なだらかな曲線を有することが可能である。回折格子 16 の第 1 の表面からの 0 次反射光 38 は、入射光として働き、側壁表面 32 と相互作用する。側壁表面 32 は、第 2 の回折格子として形成することができる。第 2 の回折格子は、0 次反射光 38 を回折して回折光 50 および回折光 52 にすることができる。側壁表面 32 (第 2 の回折格子) からの回折光 50 および 52 は、- 1 次、- 2 次等などの選択した次数に応じて、側面ビューのための、またはさらには後方ビューのための照明として機能する。図 18 では、側壁 32 によって回折される光は、- 1 次の光 52 および 0 次の光 50 として示される。しかしながら、壁 32 (第 2 の回折格子) は、所望の照明角度で特定の所望の回折次数を回折させるように設計されることもできる。他方、図 18 では、元の - 1 次の光 42 は光軸に平行に伝搬し、前方ビュー光としての役割を果たす。やはり、2 つの検出ファイバ、すなわち前方ビュー用のものと側面ビュー (または後方ビュー) 用のものが、このシステムのために使用されることが好ましい。

【0065】

図 17 および図 18 に示す回折格子の構成の組み合わせは、無指向性 S E E プローブを可能にさせることができる。無指向性 S E E プローブを実現するように構成されている回折格子の一例は、図 19 に示されている。図 19 によれば、回折格子 16 の第 1 の表面から反射された 0 次反射光 38 は、側壁表面 34 と相互作用する。側壁表面 34 は、第 2 の回折格子として設計され、この第 2 の回折格子が 0 次の光 38 を回折して後方ビュー用の回折光 50 にするとともに、側面ビューのための光 39 も反射させるようになっている。反射光 39 は、側方ビュー照明のために回折格子 16 の第 1 の表面とやはり相互作用する。側壁表面 34 (第 2 の回折格子) からの回折光 50 は、0 次、- 1 次、- 2 次等などの回折次数に応じて、後方ビューのための照明光として機能する。3 つの検出ファイバは、図 19 の場合に、すなわち 1 つは前方ビューのため、1 つは側面ビューのため、および 1 つは後方ビューのために必要とされる。このようにして、真の無指向性ビューのプロープを最小数の光学要素を用いて提供することができる。

【0066】

図 17 ~ 図 19 に示す設計は、たった 1 つの照明ファイバを備えた拡大 F O V を提供する。1 つまたは複数のさらなる照明ファイバを導入することによって、半分の F O V の有効範囲をもっとさらに拡大するように回折格子をわずかに異なるように設計することが可能である。一例が図 20 に示されており、S E E プローブ 200 は、共通のシース 210 に配置された第 1 および第 2 の照明ファイバ 10 a および 10 b と、第 1 および第 2 の G R I N レンズ 12 a および 12 b と、第 1 および第 2 の回折格子 16 a および 16 b とを備える。図 20 の S E E プローブ 200 によれば、F O V の 0 ° から 30 ° は、図 2 を参照して上述した前方ビュー設計によって含まれている。そして、F O V の 30 ° から 80 ° は、図 7 を参照して上述したものとして (負の回折角を除いて) 側面ビュープロープ設計によって含まれている。上述したように、前方ビュープロープについては、回折格子間隔は、2.5 μ m とすることができ、入射角は 49.6 ° である。側面ビュープロープについては、回折格子間隔は 0.5 μ m であり、入射角は 25.4 ° である。バイナリ回折格子は、ここでは前方ビューと側方ビューの両方に使用され、これは - 1 次で最も高い回折効率のために最適化されている。

【0067】

本発明者らは、図 20 に示した前方プロープビューの設計を用いて得ることができる撮

像品質を本明細書においてシミュレートした。計算されたスポットダイアグラムおよび R M S 波面誤差は、撮像品質が前方ビュープロープの回折限界に近い（それではない）ことを示した。したがって、本明細書において提供される方法によるさらなる最適化は、この回折格子が回折限界に到達することをさらに最適化する。図 20 のシミュレートされた側面ビュープロープについては、回折限界の撮像は、 $0.63\text{ }\mu\text{m}$ あたりを中心とした波長範囲において達成することができた。

【0068】

図 20 の設計に従ったプロープが、作製され、検査を受けた。側面ビュープロープセクションは、 30° 未満のボイドスペースを有する F O W を有し、この F O V のボイドスペースは、図 20 に示すように、前方ビュープロープ設計によって満たされる。本発明者らによって行われた検査は、取得した画像が歪んでいるという結果となった。しかしながら、そのような歪みは、知られている画像処理アルゴリズムを用いて後で数的に補正することができる。走査用モータの限界により、本発明者らは、約 70° の角度範囲だけを走査することができた。完全な円は、モータを修正し回転接合を導入することで適切に走査することができた。表 5 は、図 20 に示す S E E プロープ 200 の構成を用いて得られた撮像波長および F O V 角を要約する。

【表 5】

表 5

λ	前方ビュー 図 20	側面ビュー 図 20
$0.415\text{ }\mu\text{m}$	0°	30°
$0.617\text{ }\mu\text{m}$	17°	61°
$0.8\text{ }\mu\text{m}$	30°	82°

【0069】

回折格子における反射の最小化

図 11 に示す階段回折格子設計の代替回折格子設計を、図 22 A および図 22 B を参照して説明する。この設計は、低い反射率および高い透過回折について最適化される。図 22 A は、回折格子平面に直交する光軸に沿った平面回折格子の破断図を示す。この設計については、4002 は回折格子の平面であり、4001 は階段回折格子の物理的な縁部（形状）である。プロープの光軸（Ox）は符号 4003 として示され、光軸に平行な前方方向の光（回折光）は矢印 4004 として示されている。図の左上部分は、屈折率（ n_i ）のプロープスペーサ材料であり、ただし $n_i = 1.5$ である。図の右下部分は、屈折率（ n_d ）を有する空気または回折空間媒体と仮定され、ただし、 $n_d = 1.0$ である。この設計については、415 から 830 nm あるいは同様の範囲の波長範囲が考えられる。回折格子は、以前に示した実施形態について、かつ特定の波長 $\lambda_0 = 415\text{ nm}$ について、式（1）から（4）に従う。波面 4008 を伴う反射光線 4006（a）および 4006（b）は、回折格子の上側リッジ 4010 における散乱から波を結合することによって引き起こされる反射である。波面 4009 を伴う射光線 4007（a）および 4007（b）は、回折格子の下側リッジ 4011 における散乱によって引き起こされる反射である。回折格子の形状は、反射波面 4008 および 4009 が互いに弱め合う干渉をするように最適化されており、それによって反射の影響は小さくなる。この最適化のために、光線 4006（b）および 4007（a）の光学的な経路差（path difference）は、以下に説明するように計算される。

【0070】

図 22 B において、ビーム 4107 および 4106 が左から移動するとき、経路差は、等位点 4111 および 4110 からの経路を用いて計算することができることが理解でき

た。点 4 1 1 1 から点 4 1 1 2 へのビーム 4 1 0 7 の経路 1 は、

$$\text{経路 1} = -n_i \cos \theta_i \cos 2\theta_i \tan \gamma \quad (5)$$

である。

【 0 0 7 1 】

点 4 1 1 0 から点 4 1 1 3 までのビーム 4 1 0 6 の経路 2 は、以下の通りである。

【 数 3 】

$$\text{経路 2} = \frac{n_d \Lambda \cos \theta_i}{\cos \gamma} \quad (6)$$

【 0 0 7 2 】

10

は回折格子のピッチであり、格子定数 G の逆である。弱め合う干渉を有するために、2つの光線または波面の間の経路差は、波長および半波長の整数の倍数に等しい経路長を有さなければならない。この波長は、前方伝搬の波長 $\lambda_0 = 415 \text{ nm}$ から独立して選ぶことができる。

【 数 4 】

$$\text{経路 1} - \text{経路 2} = \left(k + \frac{1}{2}\right) \Lambda, [k = 0, \pm 1, \pm 2, \dots] \quad (7)$$

【 0 0 7 3 】

角 γ は、屈折に関するスネルの法則から以下の通りに決定される。

20

【 数 5 】

$$\sin \gamma = -\frac{n_i}{n_d} \cos 2\theta_i \quad (8)$$

【 0 0 7 4 】

これらの式を用いて、例示的な一設計は、表 6 にまとめられる。この実施形態については、最短波長 415 nm が反射を最小にするために選ばれ、したがってこの波長における透過回折を最大にする。経路差は、 415 nm の波長の 1.5 倍である 622.5 nm である。一例の回折格子についての厳密結合波理論 (RCWA) の計算は、TM 光と TE 光の両方について良好な効率を与える。この例では、TE の効率は、 $0.6 (400 \text{ nm})$ から $0.3 (800 \text{ nm})$ の間である。TM 光については、効率は、約 0.5 からわずかに 0.1 を超えるまでの範囲である。

30

【 表 6 】

表 6

パラメータ	値	単位
λ_0	415	nm
n_i	1.5	
n_d	1	
経路差	622.5	nm
θ_i, θ_d	51.47	度
ピッチ	1061	nm
γ	19.63	度

40

【 0 0 7 5 】

反射を最小にする回折格子設計の別の例示的な実施形態は、図 1 2 A および図 1 2 B を

50

用いて説明され、プローブおよびシステムは、図2を参照して以前に説明したように、前方ビューイメージングモードで働くことができる。この設計は、図2と同様に低い反射率および高い透過回折について最適化されているが、より高い回折効率のために回折格子のブレード角度でも最適化されている。図12Aおよび図12Bは、光軸に沿っていると回折格子の平面に直交する平面回折格子の破断図を示す。これらの図は、説明を容易にするために、回折格子構造の一部を見るために大きく拡大されている。回折格子は、局所的に平坦な表面および直線的に定められた縁部を有するものとして示されるが、本発明の様々な実施形態は、平らな表面およびわずかに湾曲した（凹または凸）表面に適用することができることに留意されたい。

【0076】

10

図12Aに示す設計については、4402は回折格子の平面であり、4401はステップ（階段）回折格子の物理的な形状（縁部）である。プローブの光軸Oxは、4403に示されており、光軸に平行な前方方向の光は、4404によって示されている。図12Aおよび12Bに示す実施形態の平面は、ブレード回折格子を形成するようにこの回折格子に対してブレード角度で意図的に傾けられており、それによって屈折に関するスネルの法則は、ビーム4412にも当てはまり、ビーム4413の方向に屈折および回折する。そのような条件の式は、以下の通りである。

【数6】

$$\sin \alpha = \frac{n_d}{n_i} \sin(\theta_i - \theta_{dc} + \alpha) \quad (9)$$

20

これは、以下と同じである。

【数7】

$$\tan \alpha = \frac{n_d \sin(\theta_i - \theta_{dc})}{n_i - n_d \cos(\theta_i - \theta_{dc})} \quad (10)$$

【0077】

図の左上部分は、屈折率 $n_i = 1.5$ のプローブスペーサ材料である。図の右下部分は、屈折率 $n_d = 1.0$ を有する空気または回折空間媒体と仮定される。この設計については、波長範囲415から830nmが使用される。回折格子は、特定の回折波長 $\lambda_0 = 415$ nmの場合、以前に示した実施形態の式(1)から式(4)に従う。さらに、ブレード角度は、 λ_0 以外の波長について独立して選ぶことができる。

30

【0078】

図12Aでは、波面4408を伴う反射光線4406(a)および4406(b)は、回折格子の上側リッジ4410における散乱から波を結合することによって引き起こされる反射である。波面4409を伴う反射光線4407(a)および4407(b)は、回折格子の下側リッジ4411における散乱によって引き起こされる反射である。回折格子の形状は、反射波面4408および4409が互いに弱め合う干渉をするように最適化されており、それによって反射の影響は小さくなる。この最適化のために、光線4406(b)および4407(a)の光学的な経路差は、以下に説明するように計算される。

【0079】

40

図12Bに示すように、ビーム4507および4506が、左から移動するとき、経路差は、等位点4514および4510からの経路を用いて計算することができる。

【0080】

点4514から点4512までのビーム4507の経路1は、以下の通りである。

$$\text{経路1} = -n_i \cos \theta_i \cos 2\theta_i (\tan \alpha + \tan \gamma) \quad (11)$$

【0081】

点4510から点4513までのビーム4506の経路2は、以下の通りである。

【数8】

$$\text{経路2} = \Lambda \cos \theta_i \left(n_i \tan \alpha + \frac{n_d}{\cos \gamma} \right) \quad (12)$$

50

【 0 0 8 2 】

は回折格子のピッチであり、格子定数 G の逆である。弱め合う干渉を有するために、2つの光線または波面の間の経路差は、波長および半波長の整数の倍数に等しい経路長を有さなければならない。やはり、この波長は、前方伝搬の波長 $\lambda_0 = 415 \text{ nm}$ から独立して選ぶことができる。

【 数 9 】

$$\text{経路1} - \text{経路2} = \left(k + \frac{1}{2}\right) \Lambda, [k = 0, \pm 1, \pm 2, \dots] \quad (13)$$

【 0 0 8 3 】

角度 γ は、点 4 1 1 2 における屈折に関するスネルの法則から以下の通りに決定される。

【 数 1 0 】

$$\sin \gamma = -\frac{n_i}{n_d} \cos 2\theta_i \quad (14)$$

【 0 0 8 4 】

階段回折格子、回折格子ステップ、および回折光線の構成により、ほんのいくつかの条件が存在し、これは、回折格子における反射の影響を最小にすることが満足されなければならない。

【 0 0 8 5 】

これらの式を用いて、例示的な一例の設計は、以下に示される表 7 にまとめられる。この実施形態については、中心波長 $\lambda_c = 622.5 \text{ nm}$ が反射を最小にするために選ばれ、したがって前方方向におけるこの波長における透過回折を最大にする。経路差は、選ばれた波長の 1.5 倍である 933.75 nm である。全波長にわたって回折効率全体を向上させるために、 $\lambda_c = 622.5 \text{ nm}$ の中心波長は、ブレイズ角度最適化にも使用される。表 7 の設計パラメータを用いたこの実施形態の回折格子についての厳密結合波理論 (RCWA) の計算は、約 0.4 の効率を与える。この実施形態のこのパラメータを有する回折格子の効率は、受け入れ可能であり、より高い TE を有し、 800 nm で $E_{\max} = 0.56$ および $\min = 0.3$ である。TM は、青色で同様の最大を有するとともに (800 nm で) \min が 0.2 である。完全なスペクトル範囲にわたっての全体の回折効率は、-1 次回折の場合、表 6 を参照して説明すると回折格子についてもものよりも高い。

【 表 7 】

表 7

パラメータ	値	単位
λ	415	nm
n_i	1.5	
n_a	1	
経路差	933.74	nm
θ_i, θ_d	52.77	度
λ_c	622.5	nm
θ_{dc}	36.67	度
ピッチ	1042	nm
γ	23.70	度

【 0 0 8 6 】

この設計では、視野（F O V）は、追加の次数の光（例えば、反射した 0 次を用いることによって拡大することができる。上述したように無指向性のプローブ設計を有することさえも可能である。

【0087】

この実施形態および他の実施形態では、ずっと大きい間隔（例えば、 $> 1.5 \mu\text{m}$ ）を有する回折格子は、より大きい F O V を有する側方ビューのプローブについてのより高い回折次数（ $m > 1$ ）の組み合わせで 사용할 ことができる。我々の設計例では、5 次回折を高めるためにブレード回折格子を使用する場合、 $2.5 \mu\text{m}$ 回折格子間隔の場合でも、より大きい F O V 47° を実現することが可能である。

【0088】

いくつかの実施形態は、図 14 に示すように、大きい出っ張りを有する回折格子を提供する。本明細書に記載されるとき本発明の様々な実施形態におけるある特定の利点は、これらの実施形態がプローブに関して利用できる直径を完全に使用する能力をもたらすので、走査方向およびスペクトル分光方向の一方または両方において従来の S E E プローブに比べて、プローブは、改善された分解能を有することができることである。

【0089】

本発明の様々な実施形態における別の特有の利点は、検出用ファイバまたはファイバの限られた受光角により、0 次および - 2 次はあまりシステム内に迷光をもたらさないことである。これは、0 次透過光を有さない本明細書に記載の多くの実施形態に関して特に真実である。多くの例では、0 次反射光は、とても大きい角度におけるものであり、迷光をあまり引き起こさない。有利には、いくつかの実施形態において、0 次反射光は、プローブの F O V 角度を増大させるために再利用（再び方向づける）することができる。さらに有利には、回折格子のステップおよびブレードは、反射光の弱め合う干渉を引き起こすことによって 0 次反射光の影響を最小にするように設計することができる。

【0090】

イメージングシステム

本開示の例示的な一実施形態による S E E プローブから画像を取得するシステムは、図 23 の図に示されている。図 23 のシステム 30 は、例えば、光源 370 と、検出器 / 分光計 380 と、光ファイバ回転接合（F O R J）330 と、プローブ 302 と、画像処理コンピュータ 350 とを備える。光源 370 は、広帯域スペクトル（または他の電磁放射）の光を出力する。波長の範囲は、 400 nm から 800 nm までである可視領域内であり得る。しかしながら、他の波長も使用可能である。例示的なイメージングシステム 300 では、光は、直接ガイドすることができ、または他の方法で照明ファイバと呼ばれ得るファイバ 372 の中に供給することができる。照明ファイバ 372 は、F O R J 330 に接続することができ、シース 320 内の F O R J 330 に接続される別の照明ファイバ 310 にさらにガイドされる（および / またはそれと関連付けられる）。照明ファイバ 310 の端部には、例示的な S E E プローブ 302 を取り付けることができる。物体または試料（例えば、組織）から戻る散乱された光は、プローブ 302 によって集められ、検出ファイバ 312 へガイドすることができる。検出ファイバ 312 は、F O R J 330 を介して別の検出ファイバ 382 に接続することができる。検出ファイバ 382 は、コリメート用光学器械 384 を介して検出器 / 分光計 380 に接続することができる。検出器 / 分光計 380 は、選択した波長の強度を検出することができる。選択した波長を検出するこの例示的な機能は、分光計によって実行することができる。F O R J 330 内に収容される機械的走査ユニットによって回折方向に直交する方向 328 にプローブを機械的に走査することによって、物体の 2 次元画像を得ることができる。機械的走査は、照明ファイバ 310 および検出ファイバ 312 とともにプローブを回転させるために例えば、ガルバノスキャナまたはモータによって実行することができる。コンピュータ 350 は、システム 300 の様々な部分を制御し動作させるように構成された 1 つまたは複数のマイクロプロセッサを備え、コンピュータ可読命令（プログラムコード）を実行して検出器 / 分光計 380 から得た信号に基づいて画像を再構成する。

10

20

30

40

50

【0091】

いくつかの例示的な実施形態では、光源370から照明ファイバ372に広帯域光をガイドする代わりに、まず、光は、予め定められた波長 λ_1 、 λ_2 、 \dots 、 λ_N へ分散せられてもよい。例えば、波長 λ_i ($1 \leq i \leq N$)を有する光は、多重化方式で照明ファイバ372に入力されてもよい。入力光は、接合(FORJ330)、照明ファイバ310、プローブ302から試料へ供給され、プローブ302、検出ファイバ312、接合(FORJ330)、検出ファイバ382を介して集められ、検出器/分光計380へガイドされてもよい。適宜、個々の波長 λ_i の光を用いて撮像する場合、入力光が波長 λ_i を有するので、検出器/分光計380は、光検出器などの単純な光強度検出器であってもよく、またはそれを含んでもよい。1からNまで i を変えることにより、単純な強度光検出器またはラインセンサを用いることによって、1次元ライン画像を得ることができる。機械的にラインを走査することによって、物体の2次元画像を取得することもできる。

10

【0092】

FORJ330は、任意であってもよい。光接合(FORJ330)の役割の1つは、照明ファイバ310および検出ファイバ312を含むプローブ302を取り外し可能にさせることであり得る。この例示的な機能に関して、プローブ302は、廃棄可能とすることができ、したがって人間用の無菌プローブの「その場」使用が、撮像動作が実行されるたびに行うことができる。

【0093】

本明細書中に説明および図示される様々な例示的なSEEプローブは、参照軸に沿って光をそらせ、前方ビューを容易にすることができる。例示的なプローブは、静止保持することができ、または回転させることができ、プローブの回転は、2次元フロントビュー画像およびカラー画像の取得に特に役立つ。

20

【0094】

例えば、検出ファイバ312は、フロントビュー型SEEプローブに取り付けることができるので、プローブの連続回転は、照明ファイバ310および検出ファイバ312をからまらせる可能性がある。したがって、いくつかの例示的な実施形態では、プローブは、例えば、+/-約360度、順逆に回転することができる。他の例示的な実施形態では、例示的なプローブは、+/-約180度、順逆に回転することができる。さらなる例示的な実施形態では、例えば、順回転および逆回転の90度または270度などの他の度数の回転が使用されてもよい。

30

【0095】

様々な例示的な実施形態によれば、マルチクラッドファイバが、照明ファイバ310と検出ファイバ312の両方にために利用されてもよい。マルチクラッドファイバは、光伝搬方向に応じてそれが異なるコア径を有するかのよう機能することができる。したがって、そのようなマルチクラッドファイバは、照明ファイバおよび検出ファイバとして使用することができる。マルチクラッドファイバが「回転接合」に接続される場合、プローブの連続的な回転を行うことができる。

【0096】

この例示的なイメージングシステム300は、例えば、本明細書における様々な例示的な実施形態に説明されるような例示的なプローブとともに使用することができる。本明細書に記載の例示的なフロントビューSEEプローブは、2つの例示的なタイプに分類される。あるタイプのプローブ、照明ファイバおよび検出ファイバを使用することができる。別のタイプのプローブは、たった1つファイバを使用することができ、これは、例えば、マルチクラッド(ダブルクラッド)ファイバであり得る。

40

【0097】

本発明の様々な実施形態のいくつかの態様は、一時的または非一時的な記憶媒体に記録されているコンピュータ実行可能命令(例えば、1つまたは複数のプログラム)を読み出しとともに実行して上記の実施形態のうちの1つまたは複数の機能を実施し、および/または上記の実施形態のうちの1つまたは複数の機能を実施するための1つまたは複数の回

50

路を含む1つまたは複数のコンピュータによって、ならびに例えば、上記の実施形態のうちの1つまたは複数の機能を実施するように記憶媒体からコンピュータ実行可能命令を読み出すとともに実行することによって、および/または上記の実施形態のうちの1つまたは複数の機能を実行するように1つまたは複数の回路を制御することによってシステムまたは機器のコンピュータによって実施される方法によって、実現することができる。例えば、コンピュータシステムは、イメージングプロセッサの一部であり、またはイメージングプロセッサに取り付けられ、イメージング検出器および任意の第2の検出器から受信した情報を取得および修正することができる。例えば、コンピュータシステムは、3つの異なる光のオーダを処理し、3つの異なるオーダからの画像に基づいてカラー画像を生成するために使用することができる。

10

【0098】

したがって、検出器/分光計380は、コンピュータ350に接続することができ、コンピュータ350は、高品位マルチメディアインタフェース(HDMI)を介してこのイメージングプロセッサに接続されるイメージングプロセッサおよび1つまたは複数のディスプレイユニットを含む。適宜、別個のイメージサーバが、イーサネットケーブルまたは無線アクセスポイントを介して接続されたプロセッサに接続されている別のコンピュータユニットである。

【0099】

図24は、本明細書に記載のSEEプローブの様々な実施形態に適用できる制御処理システムの概略ブロック図である。図24に示すように、コンピュータ制御システムは、図23に示すコンピュータ350の典型である。図24では、コンピュータ350は、中央処理装置(CPU)401と、記憶メモリ(RAM)402と、ユーザ入出力(I/O)インタフェース403と、システムインタフェース404とを備える。図24によって説明されるコンピュータ350は、ユーザインタフェースユニット/構成403を介してイメージングシステム300へ送信できる指令を発することができる。タッチパネルスクリーンは、ユーザインタフェースユニット/イメージングプロセッサの一部として含まれ得るが、キーボード、マウス、ジョイスティック、ボールコントローラ、およびフットペダルも、含まれ得る。ユーザは、ユーザインタフェースユニット/イメージングプロセッサを用いて例示的なフロントビューSEEプローブを介して人体の内腔の内部を観察し始めるように指令することができる。例えば、ユーザがユーザインタフェース403を介して指令を入力するとき、この指令は、実行のために中央処理装置CPU401へ送信され、それによってCPUにシステムインタフェース404を介して光源370、検出器/分光計380、またはFORJ330のうちの1つまたは複数に指令を発させる。

20

30

【0100】

CPU401は、記憶メモリ402に記憶されたコンピュータ可読命令を読み出して実行するように構成された1つまたは複数のプロセッサ(マイクロプロセッサ)で構成されている。コンピュータ可読命令は、本明細書に開示した新規のプロセス、方法、および/または計算の実行に関するプログラムコードを含むことができる。

【0101】

コンピュータ350は、ノイズリダクション、座標歪み補正、コントラスト改善等などの例示的な画像処理を適用するようにプログラムできるイメージングプロセッサとして機能する。画像処理が実行された後または画像処理中に、データは、イメージングプロセッサからディスプレイ(図示せず)へ送信することができる。液晶ディスプレイ(LCD)は、ディスプレイであり得る。ディスプレイは、例えば、本開示の様々な例示的な実施形態による単色または合成カラー画像から得られる個々の画像を表示することができる。ディスプレイは、観察の日付、人体の一部が観察されているもの、患者の名前、オペレータの名前等などの画像以外の他の情報を表示することもできる。

40

【0102】

CPU401は、記憶部/RAM402に記憶されたコンピュータ可読命令を読み出して実行するように構成されている。コンピュータ可読命令は、本明細書に記載の方法およ

50

び／または計算の実行のためにそれらを含むことができる。例えば、CPU 401は、SEEプローブの角運動量または回転速度を計算することができ、その情報（回転速度または角運動量）を使用してFORJを動作させることができる。このように、コンピュータ350は、その角度位置が補正されている新しい画像セットを得ることができる。記憶部／RAM 402は、1つまたは複数のコンピュータ可読および／または書き込み可能媒体を備えるとともに、例えば、磁気ディスク（例えば、ハードディスク）、光ディスク（例えば、DVD、ブルーレイ）、光磁気ディスク、半導体メモリ（例えば、不揮発性メモリカード、フラッシュメモリ、固体ドライブ、SRAM、DRAM）、EPROM、EEPROMなどを含むことができる。記憶部／RAM 402は、コンピュータ可読データおよび／またはコンピュータ可読命令を記憶することができる。プロセッサのコンポーネントは、バスを介して通信することができる。

10

【0103】

システムI/Oインタフェース404は、キーボード、ディスプレイ、マウス、印刷装置、タッチスクリーン、光ペン、光記憶装置、スキャナ、マイクロフォン、カメラ、ドライブ、通信ケーブル、およびネットワーク（有線または無線）が含まれ得る入出力デバイスへの通信インタフェースを提供する。

【0104】

システムI/Oインタフェース404も、入出力デバイスへの通信インタフェースを提供する。検出器は、例えば、光電子倍增管（PMT）、フォトダイオード、アバランシェフォトダイオード検出器（APD）、電荷結合素子（CCD）、マルチピクセルフォトンカウンタ（MPPC）、または他のものを含むことができる。また、検出器の機能は、記憶部／RAM 402に記録されたコンピュータ実行可能命令（例えば、1つまたは複数のプログラム）によって実現することができる。

20

【0105】

例示的な動作では、ユーザは、例示的なSEEプローブをシースの中に配置したことができ、次いでそのような装置／構成を人体の予め定められた位置に挿入することができる。シース単独が、前もって人体に挿入されてもよく、シースの挿入後にSEEプローブをシースに挿入することが可能である。例示的なプローブは、人体の内部で観察するために使用することができ、関節鏡、気管支鏡、副鼻腔鏡、血管内視鏡などの内視鏡として働く。

30

【0106】

定義

説明を参照するのに際して、開示した例を十分に理解するために具体的な詳細が説明される。他の例では、よく知られている方法、手順、コンポーネント、および回路については、本開示を必ずしも長くする必要がないので詳細には説明していない。

【0107】

要素または部分が、別の要素または部分の「の上」、「に対して」、「に接続される」、または「に結合される」と本明細書において言及している場合、要素または部分は、他の要素または部分の上に直接あってもよく、他の要素または部分に直接対してもよく、他の要素または部分に直接接続または結合されてもよく、あるいは要素または部分に介在するものが存在してもよいことを理解されたい。逆に、要素が別の要素または部分の「直接上」、別の要素または部分に「直接接続される」、または別の要素または部分に「直接結合される」ことを指している場合、介在する要素または部分は存在しない。使用されるとき、「および／または」という用語は、そのように与えられる場合、関連して列挙した項目のうちの1つまたは複数のいずれかおよび全ての組み合わせを含む。

40

【0108】

「下」、「真下」、「下方」、「下側」、「上方」、「上側」、「近位」、「遠位」などの空間的に相対的な用語は、様々な図に示されるようにある要素または特徴と別の要素または特徴の関係を説明するのを容易にするために本明細書に使用され得る。しかしながら、空間的に相対的な用語は、図に示した向きに加えて使用または動作時に装置の異なる

50

向きを含むことが意図されることを理解されたい。例えば、図中の装置がひっくり返された場合、他の要素または特徴の「下方」または「真下」として記載された要素は、そのときこの他の要素または特徴の「上方」に向けられる。したがって、「下方」などの空間的に相対的な用語は、上方と下方の向きの両方を含み得る。装置は、他のやり方で向けられてもよく（90度または他の向きで回転されてもよく）、明細書に使用される空間的に相対的な説明は、それに応じて解釈されるべきである。同様に、空間的に相対的な用語は、「近位」および「遠位」は、適用された場合、適用可能な場合、交換可能とすることもできる。

【0109】

本明細書に使用されるとき、「約」という用語は、例えば、10%以内、5%以内、それ以下を意味する。いくつかの実施形態では、「約」という用語は、測定誤差の範囲内を意味し得る。

10

【0110】

「実質的に」という用語は、本明細書に使用されるとき、製造パラメータおよび/または測定誤差の範囲内であることを意味する。

【0111】

第1、第2、第3などの用語は、様々な要素、コンポーネント、領域、部分、および/またはセクションを説明するために本明細書中で使用される場合がある。これらの要素、コンポーネント、領域、部分、および/またはセクションは、これらの用語に限定されるべきではないことを理解されたい。これらの用語は、ある要素、コンポーネント、領域、部分、またはセクションを、別の領域、部分、またはセクションと区別するためにのみ使用されてきた。したがって、以下に説明される第1の要素、コンポーネント、領域、部分、またはセクションは、本明細書中の教示から逸脱することなく、第2の要素、コンポーネント、領域、部分、またはセクションと名付けられ定義もよい。

20

【0112】

本明細書において使用されている専門用語は、特定の実施形態の説明するためのものに過ぎず、限定することを意図したものではない。本明細書において使用されるとき、「1つの(a)」、「1つの(an)」、および「前記(the)」という単数形は、文脈上特段明確に示していない限り、複数形をも含むことが意図される。「備える、含む(include)」および/または「含む、備える(including)」という用語は、本明細書において使用されるときには、記述されている特徴、整数、ステップ、動作、要素、および/またはコンポーネントの存在を特定するが、1つまたは複数の他の特徴、整数、ステップ、動作、要素、コンポーネント、および/または明示的に述べられていないこれらの群の存在もしくは追加を排除するものではないことをさらに理解されたい。

30

【0113】

前述したものは、本開示の原理を示すものに過ぎない。説明している例示的な実施形態への様々な修正および変更は、本明細書中の教示に鑑みて当業者に明らかであろう。実際には、本開示の例示的な実施形態による配置、システム、および方法は、任意のSEEシステム、または他のイメージングシステム、例えば、米国特許第6,341,036号、第7,796,270号、第7,843,572号、第7,859,679号、第8,045,177号、第8,145,018号、第8,780,176号、および第8,812,087号、ならびに米国特許出願第2008/0013960号、および第2011/0237892号、ならびにPCT国際公開WO2015/116951、およびWO2015116939に記載されているものとともに使用することができ、これらの開示は、全体として参照により本明細書に組み込まれる。

40

【0114】

図面に示された例の実施形態を説明する際に、特定の専門用語が明確化のために用いられる。しかしながら、本特許明細書の本開示は、そう選択される特定の専門用語に限定されることは意図しておらず、各特定の要素は、同様のやり方で動作する全ての技術的な均等物を含むと理解されたい。

50

【 0 1 1 5 】

例示的な実施形態を参照して本開示を説明してきたが、本開示は、開示した例示的な実施形態に限定されないことを理解されたい。添付の特許請求の範囲は、全てのそのような修正および均等な構造および機能を含むように最も広い解釈が与えられるべきである。

【 図 1 】

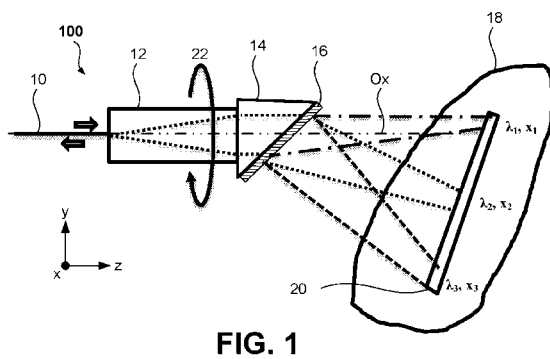


FIG. 1

【 図 2 】

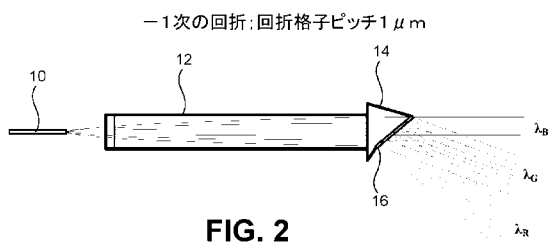


FIG. 2

【 図 3 】

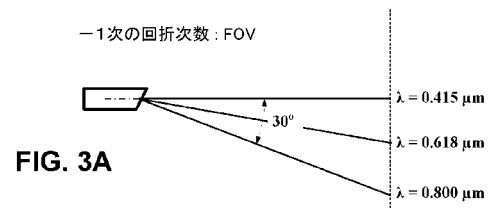


FIG. 3A

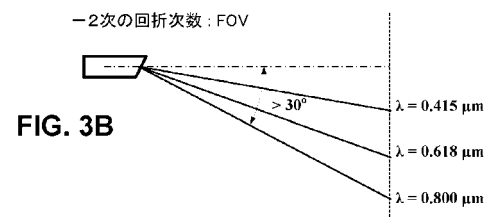


FIG. 3B

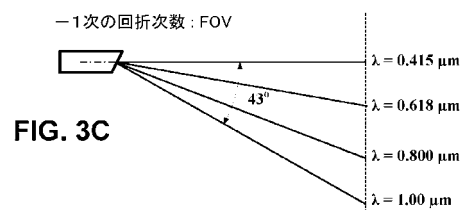


FIG. 3C

【図 4】

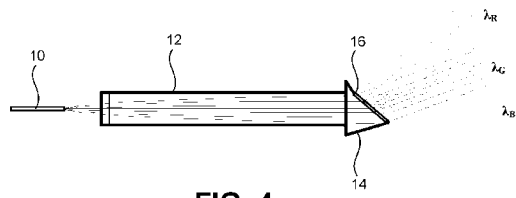


FIG. 4

【図 5】

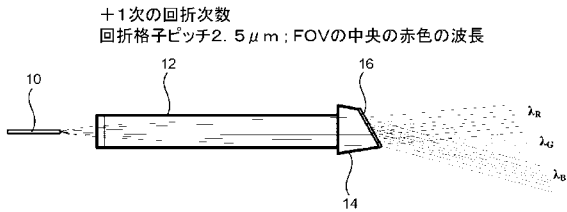


FIG. 5

【図 7】

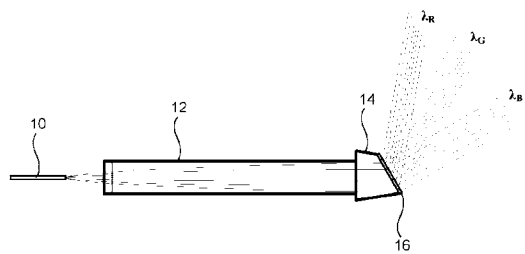


FIG. 7

【図 6】

FIG. 6A

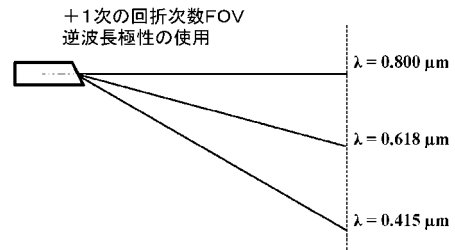


FIG. 6B

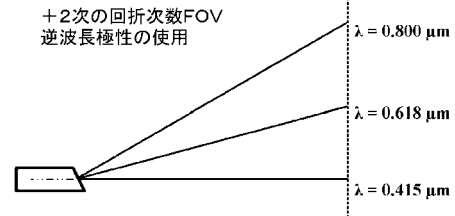
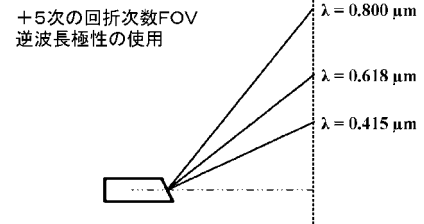


FIG. 6C



【図 8】

回折次数および符号規約

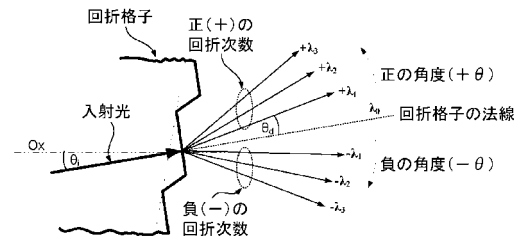


FIG. 8A

符号規約: 入射光および回折光は、回折格子の表面の「法線」に関して回転する。法線に対して時計回りに回転した回折光は「負」である。反時計回りは「正」である。

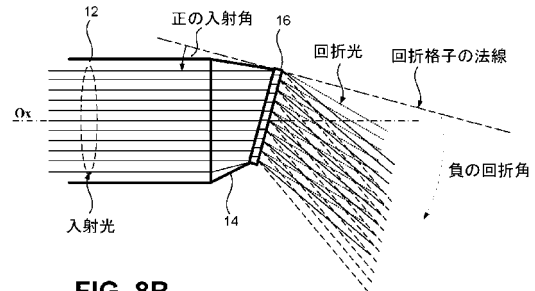


FIG. 8B

【 図 9 】

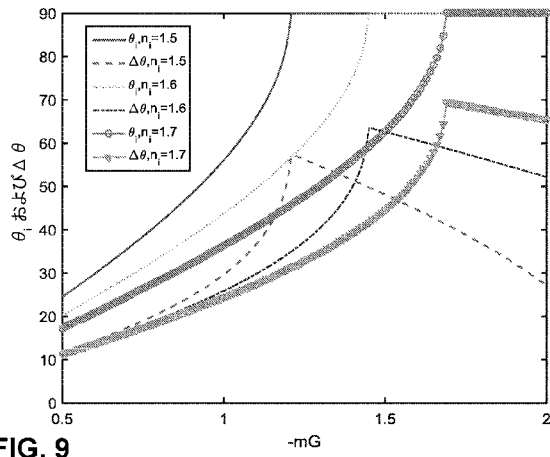


FIG. 9

【 図 10 】

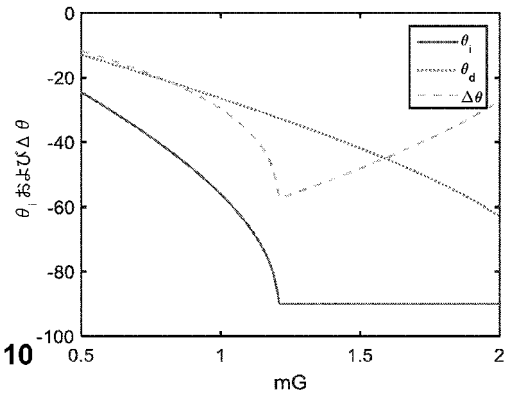


FIG. 10

【 図 11 】

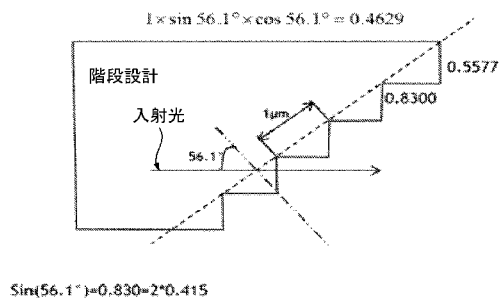


FIG. 11A

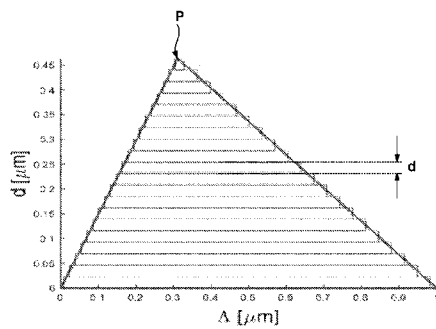


FIG. 11B

【 図 12 】

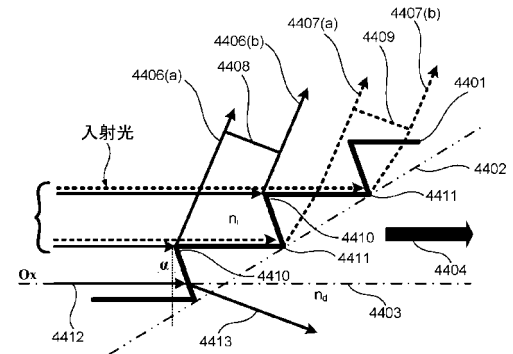


FIG. 12A

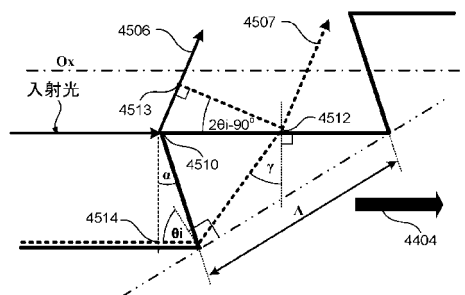


FIG. 12B

【 図 1 3 】

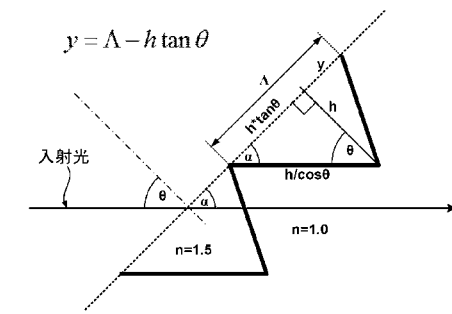


FIG. 13A

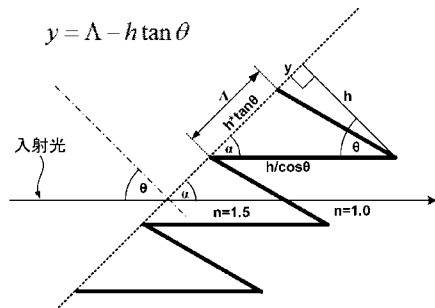


FIG. 13B

【 図 1 4 】

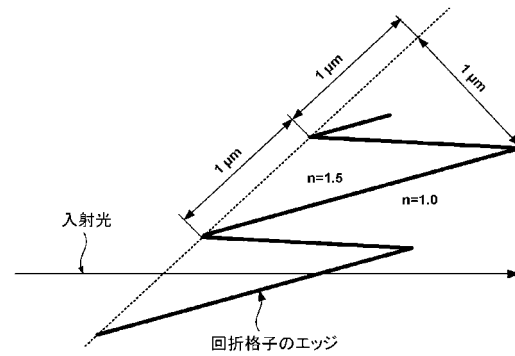


FIG. 14

【 図 1 5 】

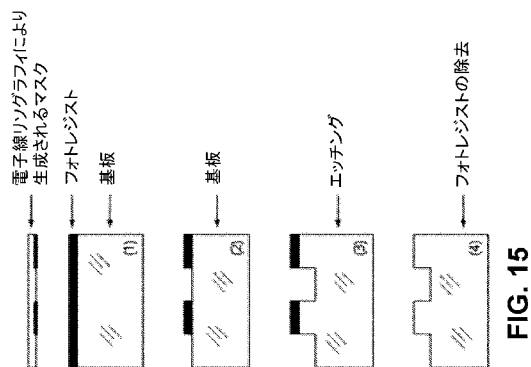


FIG. 15

【 図 1 6 】

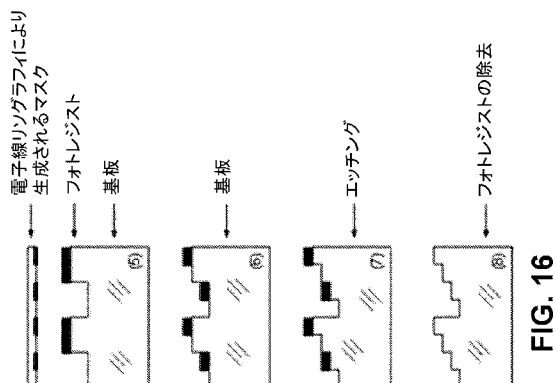


FIG. 16

【 図 1 7 】

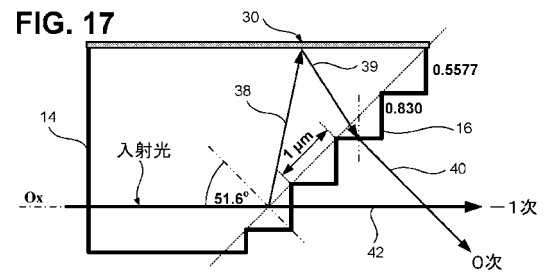


FIG. 17

【 図 1 8 】

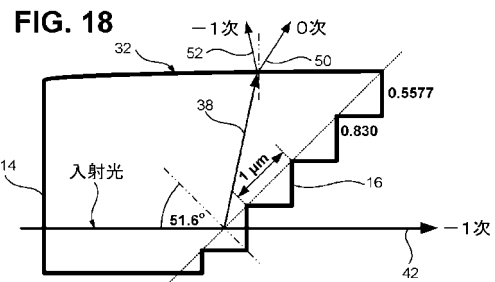
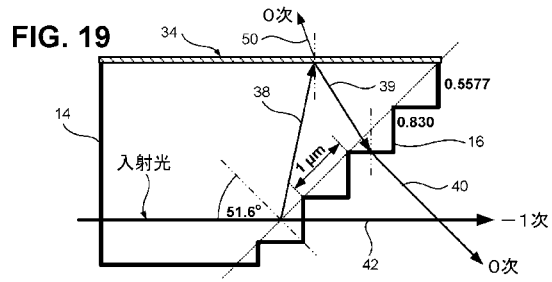
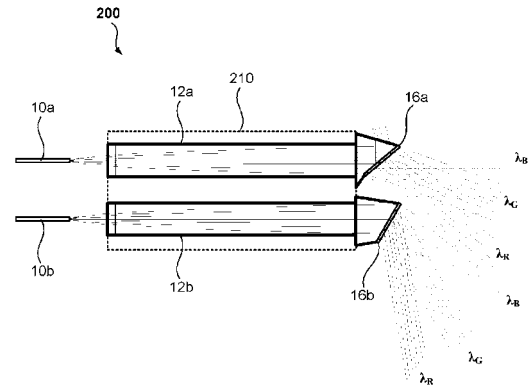


FIG. 18

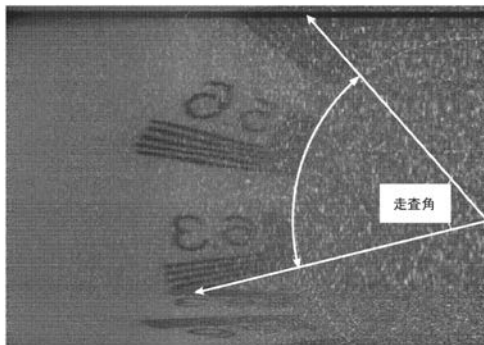
【図 19】



【図 20】



【図 21】



【図 22】

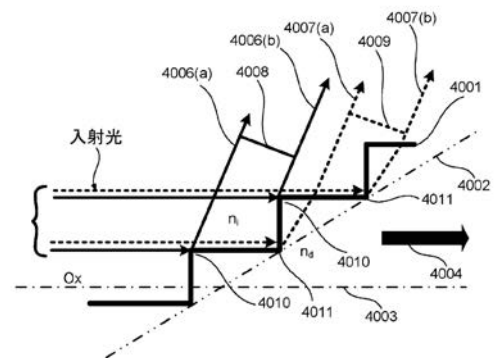


FIG. 22A

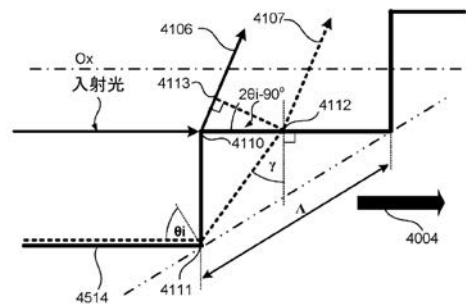


FIG. 22B

【図 23】

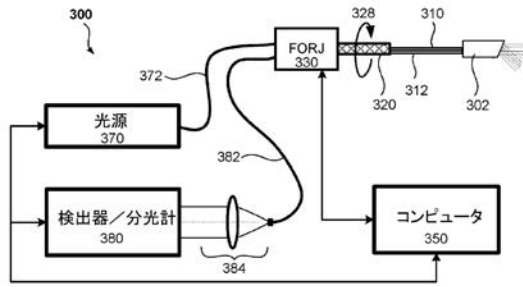


FIG. 23

【図 24】

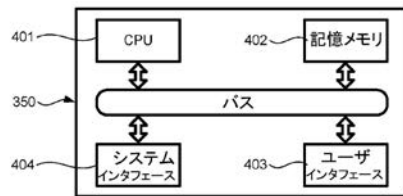


FIG. 24

【国際調査報告】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No

PCT/US2017/041976

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

INV. A61B5/00 G01J3/02 G02B6/32
ADD.

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)

A61B G01J G02B

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

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

EPO-Internal

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 2015/045622 A1 (SHISHKOV MILEN [US] ET AL) 12 February 2015 (2015-02-12)	1-9, 11-13, 15-23
Y	the whole document	10,14
Y	US 2003/027328 A1 (CUNNINGHAM BRIAN T [US] ET AL) 6 February 2003 (2003-02-06) claim 2	10
Y	US 2004/174529 A1 (MAZNEV ALEXEI [RU] ET AL) 9 September 2004 (2004-09-09) paragraph [0064]	14
X,P	WO 2017/024145 A1 (CANON USA INC [US]; YAMAZOE KENJI [JP]; MACH ANDERSON [US]; WANG ZHOU) 9 February 2017 (2017-02-09) the whole document	1-23
	----- -/--	

☒ 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

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

6 October 2017

Date of mailing of the international search report

17/10/2017

Name and mailing address of the ISA/

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Schindler, Martin

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No PCT/US2017/041976

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 2013/331709 A1 (LE ANTHONY VAN [US] ET AL) 12 December 2013 (2013-12-12) the whole document -----	1-23

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/US2017/041976

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 2015045622 A1	12-02-2015	US 2007188855 A1	16-08-2007
		US 2012328241 A1	27-12-2012
		US 2015045622 A1	12-02-2015
		US 2017160132 A1	08-06-2017
		WO 2007084903 A2	26-07-2007

US 2003027328 A1	06-02-2003	AT 455303 T	15-01-2010
		CA 2474562 A1	07-08-2003
		EP 1468290 A2	20-10-2004
		EP 2204652 A1	07-07-2010
		EP 2284537 A1	16-02-2011
		HK 1069631 A1	24-09-2010
		JP 4504685 B2	14-07-2010
		JP 4851582 B2	11-01-2012
		JP 2005516210 A	02-06-2005
		JP 2010122227 A	03-06-2010
		NZ 534507 A	23-12-2005
		US 2003027328 A1	06-02-2003
		WO 03064995 A2	07-08-2003

US 2004174529 A1	09-09-2004	AU 2002319840 A1	17-02-2003
		TW 561242 B	11-11-2003
		US 2004174529 A1	09-09-2004
		WO 03010518 A2	06-02-2003

WO 2017024145 A1	09-02-2017	NONE	

US 2013331709 A1	12-12-2013	NONE	

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

(特許庁注：以下のものは登録商標)

1 . H D M I

(72)発明者 竹内 誠二

アメリカ合衆国 カリフォルニア州 92618-3731, アーバイン, アルトン パーク
ウェイ 15975 キヤノン ユーエスエイ, インコーポレイテッド内

Fターム(参考) 2G059 AA05 AA06 BB08 BB12 EE02 EE12 FF01 FF20 JJ05 JJ11
JJ17 KK04 LL01 MM09
2H040 BA23 CA02 CA11 CA26
2H249 AA03 AA13 AA50 AA53 AA58 AA63 AA64 AA65
4C161 BB08 CC07 FF40 FF46 HH51 MM10 NN01 QQ09 RR01 RR18