

(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2005-530128

(P2005-530128A)

(43) 公表日 平成17年10月6日(2005.10.6)

(51) Int. Cl.<sup>7</sup>  
G01N 21/17

F I  
G O 1 N 21/17 6 2 0

テーマコード(参考)  
2 G O 5 9

審査請求 未請求 予備審査請求 未請求 (全 20 頁)

(21) 出願番号 特願2003-560471 (P2003-560471)  
 (86) (22) 出願日 平成15年1月10日(2003.1.10)  
 (85) 翻訳文提出日 平成16年9月6日(2004.9.6)  
 (86) 国際出願番号 PCT/US2003/000699  
 (87) 国際公開番号 W02003/060423  
 (87) 国際公開日 平成15年7月24日(2003.7.24)  
 (31) 優先権主張番号 60/347,528  
 (32) 優先日 平成14年1月11日(2002.1.11)  
 (33) 優先権主張国 米国(US)

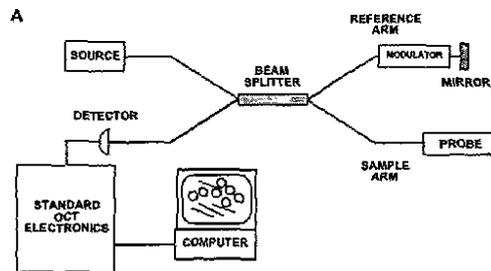
(71) 出願人 300052453  
 ザ・ジェネラル・ホスピタル・コーポレイ  
 ション  
 アメリカ合衆国02110マサチューセッ  
 ツ州ボストン、フルート・ストリート55  
 (74) 代理人 100064908  
 弁理士 志賀 正武  
 (74) 代理人 100089037  
 弁理士 渡邊 隆  
 (74) 代理人 100101465  
 弁理士 青山 正和  
 (74) 代理人 100108453  
 弁理士 村山 靖彦  
 (74) 代理人 100110364  
 弁理士 実広 信哉

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 解像度と深さ領域を改善するための軸方向線焦点を用いたOCT撮像用装置

(57) 【要約】

横解像度を高くかつ焦点深度を大きくして試料の低干渉探査を行うための装置であって、光学的探査システムを備え、該光学的探査システムは、光源、前期光源から前期試料へと光を指向させるための手段、前期試料から反射された光を検出器に向けて指向させるための手段、少なくとも一つの検出器、前期検出器によって受光された光のデータを処理するための手段であってかつ像を生成する手段を有し、さらに、光学素子を備え、該光学素子は、約5 μm以下とされた  $r$  で定義される横解像、ならびに少なくとも約50 μmの焦点深度  $z$  を有している装置。



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

横解像度を高くかつ焦点深度を大きくして試料の低干渉探査を行うための装置であって

a . 光学的探査システムを備え、該光学的探査システムは、

i) 光源、

ii) 前期光源から前期試料へと光を指向させるための手段、

iii) 前期試料から反射された光を検出器に向けて指向させるための手段、

iv) 少なくとも一つの検出器、

v) 前期検出器によって受光された光のデータを処理するための手段であってかつ像を生成する手段

を有し、さらに、

b . 光学素子を備え、該光学素子は、

i) 約  $5 \mu\text{m}$  以下とされた  $r$  で定義される横解像度、ならびに

ii) 少なくとも約  $50 \mu\text{m}$  の焦点深度  $z$

を有している装置。

10

## 【請求項 2】

請求項 1 に記載の装置において、

前期光源は、広いスペクトルを含む光源とされていることを特徴とする装置。

## 【請求項 3】

請求項 1 に記載の装置において、

前期光源は、パルスレーザとされていることを特徴とする装置。

20

## 【請求項 4】

請求項 1 に記載の装置において、

前期光源は、直流レーザとされていることを特徴とする装置。

## 【請求項 5】

請求項 1 に記載の装置において、

前期試料に向けて光を指向させかつ前期試料からの光を指向させるための手段は、干渉計とされていることを特徴とする装置。

## 【請求項 6】

請求項 1 に記載の装置において、

前期試料に向けて光を指向させかつ前期試料からの光を指向させるための手段は、光導波レンズとされていることを特徴とする装置。

30

## 【請求項 7】

請求項 1 に記載の装置において、

前期試料に向けて光を指向させかつ前期試料からの光を指向させるための手段は、光ファイバ・レンズとされていることを特徴とする装置。

## 【請求項 8】

請求項 1 に記載の装置において、

前期検出器は、単体の検出器とされていることを特徴とする装置。

40

## 【請求項 9】

請求項 1 に記載の装置において、

前期検出器は、検出器のアレイとされていることを特徴とする装置。

## 【請求項 10】

請求項 1 に記載の装置において、

前期処理装置は、干渉のデータを解析できるように設けられていることを特徴とする装置。

## 【請求項 11】

請求項 1 に記載の装置において、

前期処理装置は、時間的検出を解析できるように設けられていることを特徴とする装置

50

- 。
- 【請求項 1 2】  
請求項 1 に記載の装置において、  
前期装置は、スペクトル分析を解析できるように設けられていることを特徴とする装置
- 。
- 【請求項 1 3】  
請求項 1 に記載の装置において、  
前期光学素子は、アキシコン・レンズ素子とされていることを特徴とする装置。
- 【請求項 1 4】  
請求項 1 3 に記載の装置において、  
前期光学素子は透過型とされていることを特徴とする装置。 10
- 【請求項 1 5】  
請求項 1 3 に記載の装置において、  
前期光学素子は反射型とされていることを特徴とする装置。
- 【請求項 1 6】  
請求項 1 3 に記載の装置において、  
前期光学素子は屈折型とされていることを特徴とする装置。
- 【請求項 1 7】  
請求項 1 3 に記載の装置において、  
前期光学素子はアポダイズド・レンズとされていることを特徴とする装置。 20
- 【請求項 1 8】  
請求項 1 3 に記載の装置において、  
前期光学素子はホログラムとされていることを特徴とする装置。
- 【請求項 1 9】  
請求項 1 3 に記載の装置において、  
前期光学素子は、回折素子とレンズとを組み合わせることを特徴とする装置。
- 【請求項 2 0】  
請求項 1 3 に記載の装置において、  
前期光学素子は、アポダイズド・レンズ、ホログラム、および回折素子を組み合わせることを特徴とする装置。 30
- 【請求項 2 1】  
横解像度を高くかつ焦点深度を大きくして試料の低干渉探査を行うための装置であって、
- 、
- a . 光学的探査システムを備え、該光学的探査システムは、
- i ) 光源、
- ii ) 前期光源から前期試料へと光を指向させるための手段、
- iii ) 前期試料から反射された光を検出器に向けて指向させるための手段、
- iv ) 検出器、
- を有し、さらに、
- b . 前期検出器によって受光された光のデータを処理するための手段であってかつ像を 40  
生成する手段を備え、さらに、
- c . 光学素子を備え、該光学素子は、深さ方向に配分された複数の集束スポットを生成するように設けられている装置。
- 【請求項 2 2】  
請求項 2 1 に記載の装置において、  
前期複数の集束スポットは、一直線の垂直な線内に存在していることを特徴とする装置
- 。
- 【請求項 2 3】  
請求項 2 1 に記載の装置において、  
前期複数の前期複数の集束スポットは、前期垂直な面に対して傾斜していることを特徴 50

とする装置。

【請求項 24】

請求項 21 に記載の装置において、  
前期複数の集束スポットは、縦方向の位置が異なっていることを特徴とする装置。

【請求項 25】

請求項 21 に記載の装置において、  
前期光学素子は、アキシコン・レンズ素子とされていることを特徴とする装置。

【請求項 26】

請求項 25 に記載の装置において、  
前期光学素子は透過型とされていることを特徴とする装置。

10

【請求項 27】

請求項 25 に記載の装置において、  
前期光学素子は反射型とされていることを特徴とする装置。

【請求項 28】

請求項 25 に記載の装置において、  
前期光学素子は屈折型とされていることを特徴とする装置。

【請求項 29】

請求項 25 に記載の装置において、  
前期光学素子はアポダイズド・レンズとされていることを特徴とする装置。

【請求項 30】

請求項 25 に記載の装置において、  
前期光学素子はホログラムとされていることを特徴とする装置。

20

【請求項 31】

請求項 25 に記載の装置において、  
前期光学素子は、回折素子とレンズとを組み合わせることを特徴とする装置。

【請求項 32】

請求項 25 に記載の装置において、  
前期光学素子は、アポダイズド・レンズ、ホログラム、および回折素子を組み合わせることを特徴とする装置。

【請求項 33】

請求項 21 に記載の装置において、  
多重目標スポットを生成するための手段をさらに備え、これにより、各スポットが該スポットの起点から前期光学素子まで固有の距離を有することで、各スポットの像が固有の縦方向位置を有するように構成されていることを特徴とする装置。

30

【請求項 34】

請求項 33 に記載の装置において、  
前期多重スポット生成手段は、複数の光ファイバを備えていることを特徴とする装置。

【請求項 35】

請求項 33 に記載の装置において、  
前期多重スポット生成手段は、開口マスクを備えていることを特徴とする装置。

40

【請求項 36】

請求項 33 に記載の装置において、  
前期多重スポット生成手段は、回折格子を備えていることを特徴とする装置。

【請求項 37】

請求項 33 に記載の装置において、  
前期多重スポット生成手段は、マイクロレンズアレイを備えていることを特徴とする装置。

【請求項 38】

請求項 21 に記載の装置において、  
前期試料に向けて光を指向させかつ前期試料からの光を指向させるための手段をさらに

50

備えていることを特徴とする装置。

【請求項 39】

請求項 21 に記載の装置において、  
前期光を走査するための手段をさらに備えていることを特徴とする装置。

【請求項 40】

請求項 38 に記載の装置において、  
前期走査手段は、走査ミラーとされていることを特徴とする装置。

【請求項 41】

請求項 38 に記載の装置において、  
前期走査手段は、前期光学素子に対して前期ファイバを移動させるための手段とされて 10  
いることを特徴とする装置。

【請求項 42】

請求項 38 に記載の装置において、  
前期走査手段は、前期ファイバと前期光学素子の両方を動かすための手段とされている  
ことを特徴とする装置。

【請求項 43】

請求項 38 に記載の装置において、  
前期走査手段は、前期光ファイバから出る光線を移動させるための手段とされているこ  
とを特徴とする装置。

【請求項 44】

請求項 38 に記載の装置において、  
前期走査手段は、前期光学素子に対して前期光線の角度を変更するための手段とされて 20  
いることを特徴とする装置。

【請求項 45】

請求項 21 に記載の装置において、  
当該装置を密閉する外装をさらに備えていることを特徴とする装置。

【請求項 46】

請求項 21 に記載の装置において、  
前期軸方向の焦点を走査するための手段をさらに備えていることを特徴とする装置。

【請求項 47】

高い解像度で大きな焦点深度の試料の結像を得るための方法であって、 30  
a . 光源を設け；  
b . 光指向手段により前期光源から光学素子を介して光を試料に指向し、  
c . 前期試料から反射されて前期光学素子を介して戻った光を受光し；  
d . 前期反射された光を検出器に指向し；さらに  
e . 前期検出器からのデータを処理して像を生成し、  
このとき、前期光学素子が約 5  $\mu\text{m}$  よりも小さな横解像度と、約 50  $\mu\text{m}$  よりも大きな  
焦点深度を有している方法。

【発明の詳細な説明】

40

【技術分野】

【0001】

〔関連出願の相互参照〕

本出願は、2002年1月11日に提出された米国仮出願第60/347,528号に  
対する優先権を主張する。先の出願の内容は、本明細書に包括的に組み込まれている。

【0002】

本発明は、光干渉トモグラフィーを用いて組織試料を撮像するための装置であって、横  
解像度と焦点深度を改善するための光学素子を備えている装置に関する。

【背景技術】

【0003】

50

現在、光干渉トモグラフィー（OCT）の使用は、生体組織内のモフォロジックな形態的構造を視覚化することに限定されている。細胞以下の形状をOCTを用いて撮像することはこれまで上手くいかなかった。というのも、焦点深度を保つために横解像度（横断方向の解像度）を比較的悪くしなければならないからである。横解像度が高く、深さ領域の広い断面OCT撮像を行うことができれば、細胞以下のレベルの解像度が求められる上皮癌の早期診断ならびにその他の生体医療撮像診断に応用することができよう。

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

これまでのところ、広い深さ領域にわたって高い横解像度で撮像を行うことができる光干渉トモグラフィーの構成は知られていない。高い横解像度で広い深さ領域の光干渉トモグラフィーを行う簡易な装置を実現することが求められていると言えよう。その上、単一の光ファイバを通して光を送ることができれば、この装置はさらに、カテーテルないし内視鏡の内部に容易に組み込まれることであろう。こういった特性によれば、上記の装置は、生物系内の遠隔部位における細胞以下の解像度の撮像に光干渉トモグラフィーを応用することを可能にする技術になることであろう。

10

【発明を実施するための最良の形態】

【0005】

本発明を図示するが、図において参照符号は同じかもしくは類似の部材を指す。

【0006】

20

〔定義〕

「アキシコン」とは、軸方向に線状に焦点（軸方向線焦点）を生成することができるあらゆる光学素子（もしくはその組み合わせ）を意味するものとする。屈折、回折、及び反射型のアキシコンが実際に証明されている。J. H. McLeod, J. Opt. Soc. Am 44,592 (1954); J. H. McLeod, J. Opt. Soc. Am 50, 166 (1960); and J. R. Rayces, J. Opt. Soc. Am. 48,576 (1958) を参照されたい。

【0007】

「焦点深度」とは、特定の縦方向の広がり（縦方向の広がり）に渡っては、ビーム径が4倍に増加する（通常はルート2もしくは2）ものとする。ガウシアンビームの場合には、ルート2焦点深度は：

30

【0008】

【数1】

$$2z_R = \frac{2\pi \left(\frac{d}{2}\right)^2}{\lambda}$$

【0009】

通常の高スリットスポットサイズ（ $1/e^2$  の直径） $5 \mu\text{m}$  および波長  $830 \text{ nm}$  では、焦点深度はおよそ  $48 \mu\text{m}$  である。一様ビームの焦点深度（縦方向の面を介して動かされる平面反射器に対する  $3 \text{ dB}$  半値全幅強さ反応）は次のように定義することができるであろう：

40

【0010】

【数2】

$$z_u \approx \frac{.9\lambda}{NA^2}$$

【0011】

50

スポットサイズが  $5 \mu\text{m}$  となる  $NA = 0.2$  の場合、一様ビームの焦点深度は、 $830 \text{ nm}$  においておよそ  $17 \mu\text{m}$  である。

【0012】

「縦方向 (Longitudinal)」とは、光軸に対して略平行であることを意味するものとする。

【0013】

「縦方向解像度」とは、一つの光学的な検出手段で区別されるようにしながら2点を分離することのできる縦方向の最小の隔たり  $z$  のことを意味するものとする。

【0014】

「スポットサイズ」とは、集束スポット (焦点合わせされて結像されたスポット) の横方向の直径を意味するものとする。ガウシアンビームの場合、スポットサイズは、スポットの横方向の幅として定義され、そこでは、焦点における強度が  $1/e^2$  だけ低下する。コリメートされたガウシアンビームでは、スポットサイズ  $d$  は、次のように定義される：

【0015】

【数3】

$$d = \frac{4\lambda f}{\pi D},$$

20

【0016】

ここで、 $D$  はレンズの位置でのビーム径、 $f$  はレンズの焦点距離、 $\lambda$  は波長である。扁平頂上あるいは一様なビームでは、スポット半径は、エアリ - ディスクの1番目のゼロ値の横方向位置として定義される：

【0017】

【数4】

$$w = \frac{1.22\lambda}{NA},$$

30

【0018】

ここで、

【0019】

【数5】

$$NA = n \sin \left( \tan^{-1} \left( \frac{D}{2f} \right) \right),$$

【0020】

そして、 $n$  は浸漬媒質の屈折率である。

40

【0021】

「横方向 (Transverse)」とは、光軸に対して略垂直であることを意味するものとする。

【0022】

「横解像度」は、一つの光学的な検出手段で区別されるようにしながら2点を分離することのできる横方向の最小の隔たり  $r$  のことを意味するものとする。習慣的に用いられてきた一つの近似は、 $r = d$  (ガウシアンビームの場合) あるいは  $r = w$  (一様ビームの場合) とするものである。

【0023】

〔基本原理〕

50

長い長さ（すなわち焦点深度）にわたり狭い横方向ビーム径を有した軸方向線焦点が生成される。OCTとともに用いられる場合、線焦点の直径は、横解像度を決め、その長さは、領域の深さ（深さ領域）を決める。OCTで普通行われているように、軸方向焦点に沿った部位から後方反射された光の検出は、マイケルソン干渉計を用いて行われる。光源が有限のスペクトル幅を有している場合には、この構成は、後方反射部位の軸方向位置を決めるのに用いることができる。軸方向解像度は、光源のコヒーレンス長によって決定される。

## 【0024】

当業者であれば、線焦点を生成するための多様な既知の装置が存在することを理解することであろう。アキシコン（反射型、透過型、もしくは回折光学素子〔“DOE”〕）は、この場合、当業者に既知の許容可能な模範例であり、広い深さ領域にわたる高解像度撮像を実現するための軸方向線焦点によるOCTの利用を実際に示すために本発明において採用される方法となる。この方法は、説明であって、他を除外する模範でないことはいうまでもない。限定するわけではないが、他の既知の形態には、レイリー・ウッド・レンズ（Optical Processing and Computing, H. H. Arsenault, T. Szoplik, and B. Macukow eds., Academic Press Inc., San Diego, CA, 1989）といった多焦点レンズ（波長に依存する縦方向軸線に沿った焦点の列を生成するために色収差を利用する）などがある。

10

## 【0025】

〔解像度〕

以下の節では、図1に示されるように、屈折を利用する代表的なアキシコンの物理的な原理について述べる。屈折型のアキシコン・レンズ（R. Arimoto, C. Saloma, T. Tanaka, and S. Kawata, Appl. Opt. 31, 6653 (1992) 参照）を通る光の強度分布は、式(1)によって与えられる：

20

## 【0026】

【数6】

$$I(r,z) = \frac{4\pi^2 E^2(R)}{\lambda} \frac{R \sin(\beta)}{\cos^2(\beta)} J_0^2\left(\frac{2\pi r \sin(\beta)}{\lambda}\right), \quad (1)$$

## 【0027】

ここで、 $E^2(R)$  は、アキシコンに入射する半径  $R$  の関数としての光の強度、 $\lambda$  は光の波長、そして  $\beta$  はアキシコンを通る光の半角である。テーパ角は  $\alpha$  は、 $z_D$  と焦点深度  $Z_D$  に式(2a)及び(2b)によって関係付けられている：

30

## 【0028】

【数7】

$$n \sin(\alpha) = \sin(\alpha + \beta), \quad (2a)$$

## 【0029】

【数8】

$$z_D = R(\cot(\beta) - \tan(\alpha)), \quad (2b)$$

40

## 【0030】

ここで、 $n$  はアキシコンの屈折率である。上記の式は、軸方向線焦点の直径を決めるのに用いることができる。平面波照明の場合には、焦点径は式(3)により与えられる：

## 【0031】

【数 9】

$$d_0 = 0.766 \frac{\lambda}{\beta} \quad (3)$$

【0032】

反射型ないし回折型のアキシコンの場合には、式(1)は変更が加えられるものの、それはいかなる場合でも撮像系の横解像度を決定する軸方向焦点の直径である。本発明の主題は、現在のOCTシステムによく見られる低い横解像度が、焦点の占める空間の大きさ(パワー分布)が横方向の次元においても軸方向の次元においても限定されている標準的な集束形状から、焦点の大きさが横方向においてのみ制限されるような集束形状へと変更されることで、改善できることにある。

10

【0033】

アキシコンの高い横方向局在性(及び低い軸方向局在性)をOCT(図2参照)に結びつけることによって、広い領域の規模にわたって高い3次元局在性を提供する撮像系を実現することができる。この撮像技術に関する軸方向解像度は、専ら光源のコヒーレンス長によって決定され(E. A. Swanson, D. Huang, M. R. Hee, J. G. Fujimoto, C. P. Lin, and C. A. Puliafito, Opt. Lett. 17, 151 (1992))、式(4)によって与えられる:

【0034】

20

【数10】

$$\Delta z = \frac{2 \text{Ln}(2)}{\pi} \frac{\lambda^2}{\Delta \lambda} \quad (4)$$

【0035】

ここで、 $\Delta \lambda$  は光源のスペクトル幅(半値全幅["FWHM"])である。

【0036】

好ましい実施形態では、光学素子は、 $r = d_0$  として定義された横解像度(横方向解像度)が約0.5 μmから約10 μmの範囲、より好ましくは、約5 μm以下とされている。光学素子は、少なくとも50 μmの  $z = z_D$  を有している。

30

【0037】

〔像形成〕

図4Aは、本発明の一実施形態によるOCT/アキシコン・システムの全体を示す。アキシコン・プローブを除けば全ての構成要素は、OCTに標準的なものである。OCTを用いて、後方反射を軸方向線焦点に沿った距離の関数として求めることにより、1次元ラスタ走査が行なわれる。この走査は、通常、干渉計参照アームの長さを走査することによってなされる。アキシコンというものは、焦点の軸方向位置のそれぞれが、当該アキシコンの入射開口位置での一つの環に一意的に対応するという特徴を持っている(図3参照)。この関係によれば、参照アームの長さ方向の走査が、アキシコン開口における環状照明の走査によって置き換えられる。

40

【0038】

軸方向の次元をどのように走査するかにかかわらず、像を得るためには、もう一つ別の軸の走査を行なう必要がある。この第2の走査を行なう次元は、通常、もっと遅い速度で実行される。第2の軸のこのゆっくりとした走査を行なう方法は、光ファイバ、コリメートレンズ、及びアキシコンを備えたサンプリングアーム光学系をy方向に動かす(図4B参照)、プローブ全体を光ファイバ軸線周りに回転させ(図4C参照)る、あるいはx-y平面(図4D参照)内で線焦点を角度を持たせて反射させる工程を含んでいる。(G. J. Tearney, S. A. Boppart, B. E. Bouma, M. E. Brezinski, N. J. Weissman, J. F. So

50

uthern, and J. G. Fujimoto, *Opt. Lett.* 21, 543 (1996) ) ならびに ( S. A. Boppart, B. E. Bouma, C. Pitris, G. J. Tearney, J. G. Fujimoto, and M. E. Brezinski, *Opt. Lett.* 22, 1618 (1997) ) を参照されたい。y ないし z 軸に沿った直線運動のいずれも、圧電式のトランデュースもしくは機械式又は圧縮空気式のアクチュエータを用いてコンパクトなプローブ内で容易に行われる。

【0039】

図5は、広い深さ領域にわたって高い横解像度を実現するのに用いられる別の装置を概略的に示す。このシステムは、光源、ビーム再指向素子、検出器、および光学素子を備えている。上記光学素子により、線焦点ならびに試料上に集束されたスポット列（スポットアレイ）が得られる。

10

【0040】

図6が示すのはオフセット・ファイバ・アレイ（段違いファイバ列）であり、反射鏡（ミラー）により対物レンズを通して指向され、試料上の縦と横の次元に集束（結像）スポットを再配置するのに用いられる。これらのスポットは走査され（走査方向は、水平方向の線と矢印によって示されている）、多次元像を生成する。

【0041】

図7は、試料上の縦と横の次元に集束（結像）スポットを再配置するのに用いられるファイバ・アレイ、マイクロレンズアレイ、および回折格子（反射鏡のアレイ）の概略である。光源（図示せず）からの光は、アレイになったファイバを通過し、さらにマイクロレンズアレイを通過して回折格子にいたる。格子（回折格子）によって指向された光は、対物レンズを通過して試料上に焦点合わせされる。スポットは走査され（走査方向は、水平方向の線と矢印によって示されている）、多次元像を生成する。

20

【0042】

大きな焦点深度にわたって高い横解像度を得るための別の方法は、結像レンズの背面にフィルタを用いることである。通常アポダイゼーションと呼ばれるこの技術は、アキシコンにおけるような線焦点、もしくは長さ方向の次元に沿って配置された複数集束スポットのいずれの生成も可能にする。ビームの集束を形成するための環状アポダイゼーションは、これまでも公知文献に記載されている（M. Martinez-Corral, P. Andres, J. Ojeda-Castaneda, G. Saavedra, *Opt. Comm.* 119, 491 (1995)）。しかしながら、長い焦点距離にわたって高い横解像度を得るためにアポダイゼーションを用いることは（このとき、縦方向のデータはOCTによってさらに分解される）、これまでに示されたことはなかった。

30

【0043】

図8は、アポダイズされる瞳面のフィルタの実施形態を示す。

【0044】

図9は、結像レンズの上流側にアポダイザーを用いる場合を概略的に示し、結像レンズからの出力は、軸方向の線で焦点が合わされる。

【0045】

〔撮像方法〕

また、本発明は、高い解像度で大きな焦点深度の試料像を得るための方法を提供し、この方法では、

40

- a. 光源を設け；
- b. 光指向手段により前期光源から光学素子を通して光を試料に指向し、このとき、該光学素子が約5 μmよりも小さな横解像度と、約50 μmよりも大きな焦点深度を有しており、
- c. 前期試料から反射されて前期光学素子を介して戻った光を受光し；
- d. 前期反射された光を検出器に指向し；さらに
- e. 前期検出器からのデータを処理して像を生成する。

【0046】

本発明の長所は、コンパクトな光ファイバベースのパッケージにおいて、細胞以下の解

50

像度で試料の横方向および縦方向の次元に沿った撮像がOCT撮像装置により可能になるという点にある。もう一つの長所は、アポダイザ - レンズの組み合わせ、もしくはアキシコンといったような、軸方向線焦点性光学素子を、コンパクトで低価格にできる点にある。

【0047】

以上、本発明のいくつかの代表例についてのみ詳しく述べてきたが、当業者であれば、本発明の新しい技術と長所を実質的に逸脱することなく、代表的な実施形態において多くの変形例を容易に想倒するであろう。従って、斯かる変形例は全て、特許請求の範囲に規定されているような本発明の思想に含まれる。さらに、本明細書中参照されたいかなる特許、応用、ならびに公知文献も参照により本明細書に包括的に取り入れられていることに留意されたい。

10

【図面の簡単な説明】

【0048】

【図1】屈折型のアキシコンによる焦点合わせ（集束）を説明するための概略図であって、コリメートされた光線が左側から入射し、狭い幅で大きい深度の軸方向線焦点が形成される様子を示す図である。

【図2】サンプリングアーム内にアキシコン光学系を備えたOCTシステムの概略図である。

【図3】環状の照明と軸線方向の位置との関係を示す概略図である。

【図4A】像形成を示す図である。

20

【図4B】Bは全光学アセンブリのy軸方向への平行移動を示す概略図であり、Cは全光学アセンブリの回転を示す概略図であり、Dは軸方向線焦点のx-y面における所定角度での反射を示す図である。

【図5】広い深さ領域に渡って高い横解像度を実現するために用いられるシステムの概略図である。

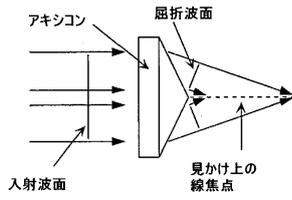
【図6】オフセット・ファイバ・アレイの概略図である。

【図7】ファイバ・アレイ、マイクロレンズアレイ、および回折格子の概略図である。

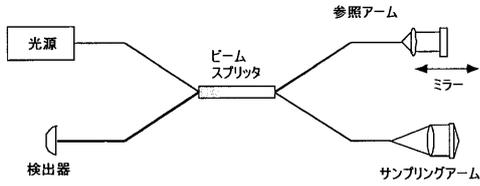
【図8】アポダイズ瞳面フィルタの一実施形態の概略図である。

【図9】アポダイザーを結像レンズの上流側に用いた様子を示す概略図である。

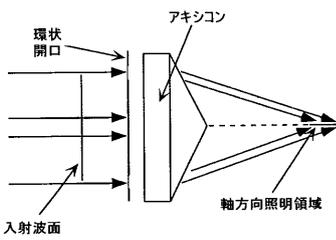
【 図 1 】



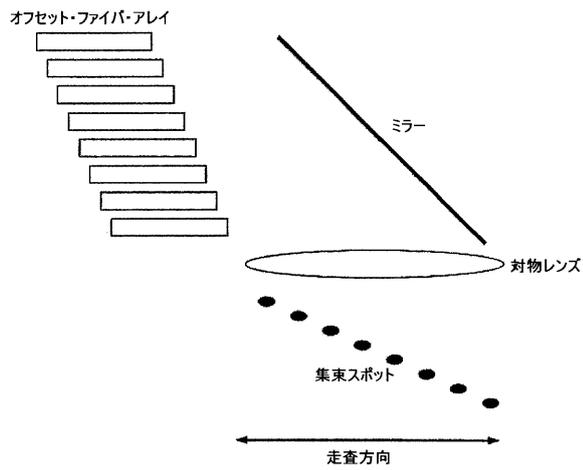
【 図 2 】



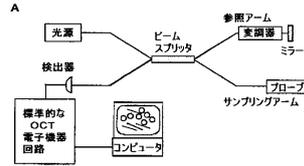
【 図 3 】



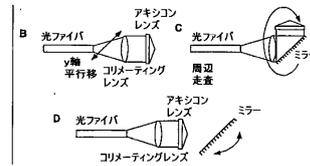
【 図 6 】



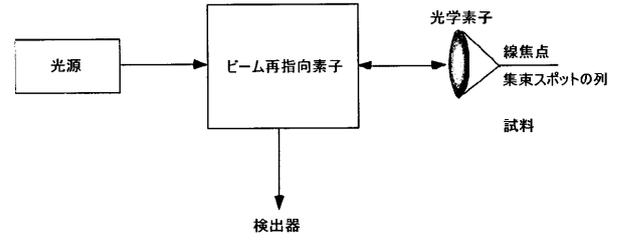
【 図 4 A 】



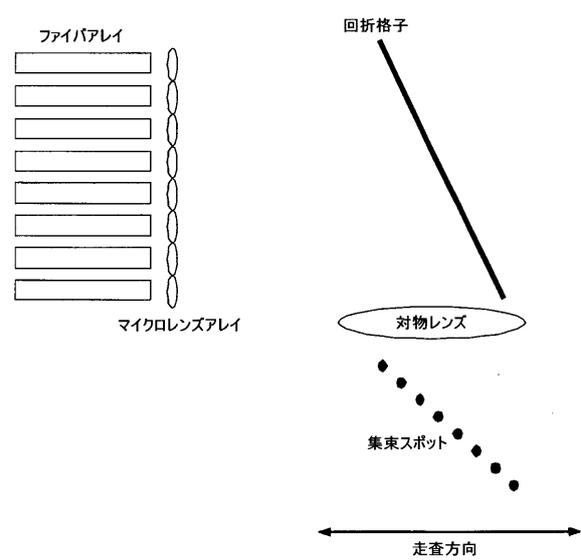
【 図 4 B 】



【 図 5 】



【 図 7 】



【 図 8 】

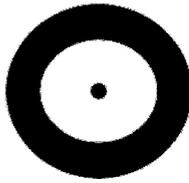
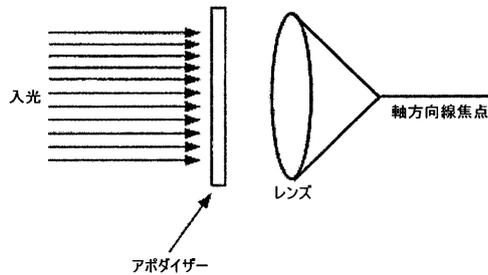


FIG. 8

【 図 9 】



## 【 手続補正書 】

【 提出日 】平成16年9月29日(2004.9.29)

## 【 手続補正 1 】

【 補正対象書類名 】特許請求の範囲

【 補正対象項目名 】全文

【 補正方法 】変更

【 補正の内容 】

【 特許請求の範囲 】

## 【 請求項 1 】

少なくとも試料の一部を撮像するための装置であって、  
電磁的な放射を供給する第1の干渉装置；及び  
前記電磁放射を受け入れるように構成され、かつ合成電磁的強度分布を生成するように  
構成された第2の装置を備え、

特定の方向に沿って、少なくとも予め設定された距離の間の前記強度分布が概ね一定と  
されている装置。

## 【 請求項 2 】

請求項1に記載の装置において、  
前記第2の装置は、光学的に前記試料の像を形成する光学装置とされていることを特徴  
とする装置。

## 【 請求項 3 】

請求項1に記載の装置において、  
前記第2の装置は、アキシコン・レンズとされていることを特徴とする装置。

## 【 請求項 4 】

請求項1に記載の装置において、  
前記第2の装置は、回折光学素子とされていることを特徴とする装置。

## 【請求項 5】

請求項 1 に記載の装置において、  
前記第 2 の装置は、環帯とされていることを特徴とする装置。

## 【請求項 6】

請求項 1 に記載の装置において、  
前記第 2 の装置は、回折素子とレンズとの組み合わせを備えていることを特徴とする装置。

## 【請求項 7】

請求項 1 に記載の装置において、  
前記第 2 の装置は、アポダイズド・レンズ、ホログラム、及び回折素子の組み合わせを備えていることを特徴とする装置。

## 【請求項 8】

請求項 1 に記載の装置において、  
前記強度分布は、ベッセルビームとされていることを特徴とする装置。

## 【請求項 9】

請求項 1 に記載の装置において、  
前記第 2 の装置と協働するように設けられた第 3 の装置をさらに備え、前記試料と前記強度分布の少なくとも一つを移すように構成されていることを特徴とする装置。

## 【請求項 10】

請求項 1 に記載の装置において、  
前記試料と前記強度分布の少なくとも一つの変換により、2 以上の次元を有する像が生成されるように構成されていることを特徴とする装置。

## 【請求項 11】

請求項 1 に記載の装置において、  
前記強度分布の全値全幅は  $10 \mu\text{m}$  より小さいことを特徴とする装置。

## 【請求項 12】

請求項 1 に記載の装置において、  
前記予め設定された距離は少なくとも  $50 \mu\text{m}$  とされていることを特徴とする装置。

## 【請求項 13】

請求項 1 に記載の装置において、  
前記強度分布の少なくとも一部は、非ガウシアン分布を有していることを特徴とする装置。

## 【請求項 14】

請求項 1 に記載の装置において、  
前記強度分布に関係した情報を受け取り、該受け取られた情報に基づいて像を表示するように構成された第 4 の装置をさらに備えていることを特徴とする装置。

## 【請求項 15】

少なくとも試料の一部を撮像するための装置であって、  
電磁的な放射を供給する第 1 の干渉装置；及び  
前記電磁放射を受け入れるように構成され、かつ合成電磁的強度分布を生成するように構成された第 2 の装置を備え、  
特定の方向に沿って、前記強度分布の少なくとも 2 つのセクションの幅が概ね等しくされている装置。

## 【請求項 16】

請求項 15 に記載の装置において、  
前記特定の方向は、略垂直方向とされていることを特徴とする装置。

## 【請求項 17】

請求項 15 に記載の装置において、  
前記第 2 の装置は、複数のレンズを備えていることを特徴とする装置。

## 【請求項 18】

請求項 15 に記載の装置において、  
前記セクションの一つは、少なくとも部分的にもう一方の前記セクションの上方にあることを特徴とする装置。

【請求項 19】

請求項 15 に記載の装置において、  
前記強度分布全値全幅は、 $10\ \mu\text{m}$  より少ないことを特徴とする装置。

【請求項 20】

請求項 15 に記載の装置において、  
前記強度分布の少なくとも一部は、非ガウシアン分布を有していることを特徴とする装置。

【請求項 21】

請求項 15 に記載の装置において、  
前記第 2 の装置と協働するように設けられた第 3 の装置をさらに備え、前記試料と前記強度分布の少なくとも一つを移すように構成されていることを特徴とする装置。

【請求項 22】

請求項 21 に記載の装置において、  
前記試料と前記強度分布の少なくとも一つの変換により、2 以上の次元を有する像が生成されるように構成されていることを特徴とする装置。

【請求項 23】

少なくとも試料の一部を撮像するための方法であって、  
a) 干渉装置を用いて電磁的な放射を供給し、  
b) 前記電磁的な放射を受け入れ、かつ合成電磁的強度分布を生成し、このとき、特定の方向に沿って、少なくとも予め設定された距離の間、前記強度分布を概ね一定にする方法。

【請求項 24】

請求項 23 に記載の方法において、  
光学的に前記試料の像を形成する光学装置を用いて工程 (b) を実行することを特徴とする方法。

【請求項 25】

請求項 23 に記載の方法において、  
アキシコン・レンズを用いて工程 (b) を実行することを特徴とする方法。

【請求項 26】

請求項 23 に記載の方法において、  
回折光学素子を用いて工程 (b) を実行することを特徴とする方法。

【請求項 27】

請求項 23 に記載の方法において、  
環帯を用いて工程 (b) を実行することを特徴とする方法。

【請求項 28】

請求項 23 に記載の方法において、  
回折素子とレンズとの組み合わせを用いて工程 (b) を実行することを特徴とする方法。

【請求項 29】

請求項 23 に記載の方法において、  
アポダイズド・レンズ、ホログラム、及び回折素子の組み合わせを用いて工程 (b) を実行することを特徴とする方法。

【請求項 30】

請求項 23 に記載の方法において、  
前記強度分布は、ベッセルビームであることを特徴とする方法。

【請求項 31】

請求項 23 に記載の方法において、

さらに、前記試料と前記強度分布の少なくとも一つを移すことを特徴とする方法。

【請求項 3 2】

請求項 3 1 に記載の方法において、  
前記試料と前記強度分布の少なくとも一つの変換により、2 以上の次元を有する像を生成することを特徴とする方法。

【請求項 3 3】

請求項 2 3 に記載の方法において、  
前記強度分布の全値全幅は  $10 \mu\text{m}$  より小さいことを特徴とする方法。

【請求項 3 4】

請求項 2 3 に記載の方法において、  
前記予め設定された距離は少なくとも  $50 \mu\text{m}$  であることを特徴とする方法。

【請求項 3 5】

請求項 2 3 に記載の方法において、  
前記強度分布の少なくとも一部は、非ガウシアン分布を有していることを特徴とする方法。

【請求項 3 6】

請求項 2 3 に記載の方法において、  
前記強度分布に関係した情報を受け取り、該受け取られた情報に基づいて像を表示する工程をさらに有していることを特徴とする方法。

【請求項 3 7】

少なくとも試料の一部を撮像するための方法であって、  
a) 干渉装置を用いて電磁的な放射を供給し、  
b) 前記電磁的な放射を受け入れ、かつ合成電磁的強度分布を生成し、このとき、特定の方向に沿って、前記強度分布の少なくとも 2 つのセクションの幅を概ね等しくする方法。

【請求項 3 8】

請求項 3 7 に記載の方法において、  
光学的に前記試料の像を形成する光学装置を用いて工程 (b) を実行することを特徴とする方法。

【請求項 3 9】

請求項 3 7 に記載の方法において、  
アキシコン・レンズを用いて工程 (b) を実行することを特徴とする方法。

【請求項 4 0】

請求項 3 7 に記載の方法において、  
回折光学素子を用いて工程 (b) を実行することを特徴とする方法。

【請求項 4 1】

請求項 3 7 に記載の方法において、  
環帯を用いて工程 (b) を実行することを特徴とする方法。

【請求項 4 2】

請求項 3 7 に記載の方法において、  
回折素子とレンズとの組み合わせを用いて工程 (b) を実行することを特徴とする方法。

【請求項 4 3】

請求項 3 7 に記載の方法において、  
アボダイズド・レンズ、ホログラム、及び回折素子の組み合わせを用いて工程 (b) を実行することを特徴とする方法。

【請求項 4 4】

請求項 3 7 に記載の方法において、  
前記強度分布は、ベッセルビームであることを特徴とする方法。

【請求項 4 5】

請求項 37 に記載の方法において、  
さらに、前記試料と前記強度分布の少なくとも一つを移すことを特徴とする方法。

【請求項 46】

請求項 45 に記載の方法において、  
前記試料と前記強度分布の少なくとも一つの変換により、2以上の次元を有する像を生成することを特徴とする方法。

【請求項 47】

請求項 37 に記載の方法において、  
前記強度分布の全値全幅は  $10\ \mu\text{m}$  より小さいことを特徴とする方法。

【請求項 48】

請求項 37 に記載の方法において、  
前記予め設定された距離は少なくとも  $50\ \mu\text{m}$  であることを特徴とする方法。

【請求項 49】

請求項 37 に記載の方法において、  
前記強度分布の少なくとも一部は、非ガウシアン分布を有していることを特徴とする方法。

【請求項 50】

請求項 37 に記載の方法において、  
前記強度分布に関係した情報を受け取り、該受け取られた情報に基づいて像を表示することを特徴とする方法。

## 【 国際調査報告 】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT		International Application No PCT/US 03/00699
<b>A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER</b> IPC 7 G01B9/02 G01B11/02 G01B9/04 G01N21/47 A61B5/00		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
<b>B. FIELDS SEARCHED</b>		
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) IPC 7 G01B G01N A61B		
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 practical, search terms used) EPO-Internal, PAJ, WPI Data		
<b>C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT</b>		
Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 5 583 342 A (ICHIE KOJI) 10 December 1996 (1996-12-10) abstract; figures 1,2 ---	1,47
A	WO 01 42735 A (OTI OPHTHALMIC TECHNOLOGIES INC.) 14 June 2001 (2001-06-14) abstract; figure 9 ---	1,47
A	US 4 965 441 A (PICARD BERNARD) 23 October 1990 (1990-10-23) abstract; figure 3 -----	21
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of box C. <input checked="" type="checkbox"/> Patent family members are listed in 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 document 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  2 September 2003		Date of mailing of the international search report  12/09/2003
Name and mailing address of the ISA European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl, Fax: (+31-70) 340-9016		Authorized officer  Vorropoulos, G

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/US 03/00699

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 5583342	A	10-12-1996	US 5796112 A	18-08-1998
			DE 69418248 D1	10-06-1999
			DE 69418248 T2	14-10-1999
			EP 0627643 A2	07-12-1994
			JP 8015156 A	19-01-1996
			JP 2931268 B2	09-08-1999
			JP 10062694 A	06-03-1998
WO 0142735	A	14-06-2001	WO 0142735 A1	14-06-2001
			AU 1542700 A	18-06-2001
			EP 1240476 A1	18-09-2002
			JP 2003516531 T	13-05-2003
US 4965441	A	23-10-1990	FR 2626383 A1	28-07-1989
			DE 68906040 D1	27-05-1993
			DE 68906040 T2	14-10-1993
			EP 0327425 A1	09-08-1989
			JP 1245215 A	29-09-1989

## フロントページの続き

(81)指定国 AP(GH,GM,KE,LS,MW,MZ,SD,SL,SZ,TZ,UG,ZM,ZW),EA(AM,AZ,BY,KG,KZ,MD,RU,TJ,TM),EP(AT, BE,BG,CH,CY,CZ,DE,DK,EE,ES,FI,FR,GB,GR,HU,IE,IT,LU,MC,NL,PT,SE,SI,SK,TR),OA(BF,BJ,CF,CG,CI,CM,GA,GN, GQ,GW,ML,MR,NE,SN,TD,TG),AE,AG,AL,AM,AT,AU,AZ,BA,BB,BG,BR,BY,BZ,CA,CH,CN,CO,CR,CU,CZ,DE,DK,DM,DZ,EC, EE,ES,FI,GB,GD,GE,GH,GM,HR,HU,ID,IL,IN,IS,JP,KE,KG,KP,KR,KZ,LC,LK,LR,LS,LT,LU,LV,MA,MD,MG,MK,MN,MW,M X,MZ,NO,NZ,OM,PH,PL,PT,RO,RU,SD,SE,SG,SK,SL,TJ,TM,TN,TR,TT,TZ,UA,UG,US,UZ,VN,YU,ZA,ZM,ZW

(72)発明者 ギレルモ・ジェイ・ティアニー

アメリカ合衆国・マサチューセッツ・02139・ケンブリッジ・キネアード・ストリート・#3  
・118

(72)発明者 ブレット・ユージン・ブーマ

アメリカ合衆国・マサチューセッツ・02171・クインシー・モンマス・ストリート・12

Fターム(参考) 2G059 AA06 BB12 EE02 EE09 FF02 FF03 FF04 GG01 GG08 HH01  
HH06 JJ11 JJ13 JJ15 JJ17 JJ22 JJ30 KK04