

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7309728号
(P7309728)

(45)発行日 令和5年7月18日(2023.7.18)

(24)登録日 令和5年7月7日(2023.7.7)

(51)国際特許分類

G 02 B	21/00 (2006.01)	F I	G 02 B	21/00
G 02 B	21/06 (2006.01)		G 02 B	21/06
G 02 F	1/33 (2006.01)		G 02 F	1/33

請求項の数 19 (全11頁)

(21)出願番号 特願2020-538997(P2020-538997)
 (86)(22)出願日 平成31年1月15日(2019.1.15)
 (65)公表番号 特表2021-510845(P2021-510845)
 A)
 (43)公表日 令和3年4月30日(2021.4.30)
 (86)国際出願番号 PCT/EP2019/050868
 (87)国際公開番号 WO2019/138119
 (87)国際公開日 令和1年7月18日(2019.7.18)
 審査請求日 令和4年1月14日(2022.1.14)
 (31)優先権主張番号 102018100762.0
 (32)優先日 平成30年1月15日(2018.1.15)
 (33)優先権主張国・地域又は機関
 ドイツ(DE)

(73)特許権者 511079735
 ライカ マイクロシステムズ シーエムエ
 ス ゲゼルシャフト ミット ベシュレン
 クテル ハフツング
 Leica Microsystems
 CMS GmbH
 ドイツ連邦共和国 ヴェッツラー エルン
 スト - ライツ - シュトラーゼ 17 - 37
 Ernst - Leitz - Strass
 e 17 - 37, D - 35578 We
 tzlar, Germany
 100114890
 弁理士 アインゼル・フェリックス=ラ
 インハルト
 (74)代理人 100098501

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 音響光学装置および方法

(57)【特許請求の範囲】**【請求項1】**

音響光学素子(1)における回折光(7)の色拡がり角を減少させる装置を含む顕微鏡であって、

前記装置は、入射光ビーム(2)の光路に配置されている前記音響光学素子(1)を有し、

前記音響光学素子(1)により、前記入射光ビーム(2)から、前記音響光学素子(1)の仮想の相互作用点(50)を起点とする回折光(7)が形成され、

前記顕微鏡は、試料を照明するための、パルス光を放射するレーザ光源を含み、前記レーザ光源により、1000 fsのパルス持続時間有する前記入射光ビーム(2)が供給され、

前記装置には、2つの集束光学系(10、20)が含まれており、

第1の集束光学系(20)は、前記光路において前記音響光学素子(1)の前方に配置されており、第2の集束光学系(10)は、前記回折光(7)に配置されており、

前記第1の集束光学系(20)の後方の前記入射光ビーム(2)の焦点(40)は、前記音響光学素子(1)に位置しており、

前記仮想の相互作用点(50)は、前記第2の集束光学系(10)の前方の焦点にある、顕微鏡。

【請求項2】

前記回折光(7)は、プラス/マイナス1次回折光である、

請求項 1 記載の顕微鏡。

【請求項 3】

前記第 1 の集束光学系 (20) および / または前記第 2 の集束光学系 (10) には、少なくとも 1 つのミラーが含まれている、

請求項 1 または 2 記載の顕微鏡。

【請求項 4】

前記第 1 の集束光学系 (20) および / または前記第 2 の集束光学系 (10) には、少なくとも 1 つのレンズが含まれている、

請求項 1 から 3 までのいずれか 1 項記載の顕微鏡。

【請求項 5】

前記第 1 の集束光学系 (20) および / または前記第 2 の集束光学系 (10) は、1 つのレンズから構成されている、

請求項 1 から 4 までのいずれか 1 項記載の顕微鏡。

【請求項 6】

前記第 1 の集束光学系 (20) および / または前記第 2 の集束光学系 (10) は、1 つの球形レンズまたはシリンドリカルレンズから構成されている、

請求項 5 記載の顕微鏡。

【請求項 7】

前記音響光学素子は、音響光学変調器である、

請求項 1 から 6 までのいずれか 1 項記載の顕微鏡。

10

【請求項 8】

前記顕微鏡は、多光子顕微鏡である、

請求項 1 から 7 までのいずれか 1 項記載の顕微鏡。

【請求項 9】

前記レーザ光源により、300 fs のパルス持続時間を有する前記入射光ビーム (2) が供給される、

請求項 1 から 8 までのいずれか 1 項記載の顕微鏡。

【請求項 10】

前記レーザ光源により、100 fs のパルス持続時間を有する前記入射光ビーム (2) が供給される、

20

請求項 1 から 8 までのいずれか 1 項記載の顕微鏡。

【請求項 11】

請求項 1 から 10 までのいずれか 1 項記載の顕微鏡を使用して、音響光学素子 (1) における回折光 (7) の色拡がり角を減少させる方法であって、

前記音響光学素子 (1) は、入射光ビーム (2) の光路に配置されており、前記回折光 (7) は、前記入射光ビーム (2) から形成され、前記回折光 (7) は、前記音響光学素子 (1) の仮想の相互作用点 (50) から出発し、

前記方法は、

第 1 の集束光学系 (20) により、前記音響光学素子 (1) に位置する焦点 (40) に前記入射光ビーム (2) を集束するステップと、

前記音響光学素子 (1) により、前記入射光ビーム (2) から前記回折光 (7) を形成するステップであって、前記回折光 (7) は、前記音響光学素子 (1) の仮想の相互作用点 (50) から出発するステップと、

第 2 の集束光学系 (10) を通して前記回折光 (7) を通過させるステップであって、前記仮想の相互作用点 (50) は、前記第 2 の集束光学系 (10) の前方の焦点に位置するステップと、

を含み、

前記入射光ビーム (2) は、1000 fs のパルス持続時間を有するパルス光を放射するレーザ光源からのパルス光ビームである、

方法。

30

40

50

【請求項 1 2】

前記入射光ビーム(2)は、300 fsのパルス持続時間有するパルス光を放射するレーザ光源からのパルス光ビームである。

請求項 1 1 記載の方法。

【請求項 1 3】

前記入射光ビーム(2)は、100 fsのパルス持続時間有するパルス光を放射するレーザ光源からのパルス光ビームである。

請求項 1 1 記載の方法。

【請求項 1 4】

前記回折光(7)は、プラス／マイナス1次回折光である。

請求項 1 1 から 1 3 までのいずれか 1 項記載の方法。

【請求項 1 5】

前記第1の集束光学系(20)および／または前記第2の集束光学系(10)には、少なくとも1つのミラーが含まれている。

請求項 1 1 から 1 4 までのいずれか 1 項記載の方法。

【請求項 1 6】

前記第1の集束光学系(20)および／または前記第2の集束光学系(10)には、少なくとも1つのレンズが含まれている。

請求項 1 1 から 1 5 までのいずれか 1 項記載の方法。

【請求項 1 7】

前記第1の集束光学系(20)および／または前記第2の集束光学系(10)は、1つのレンズから構成されている。

請求項 1 1 から 1 6 までのいずれか 1 項記載の方法。

【請求項 1 8】

前記第1の集束光学系(20)および／または前記第2の集束光学系(10)は、1つのシリンドリカルレンズから構成されている。

請求項 1 7 記載の方法。

【請求項 1 9】

前記音響光学素子は、音響光学変調器である。

請求項 1 1 から 1 8 までのいずれか 1 項記載の方法。

20

【発明の詳細な説明】**【技術分野】****【0001】**

本発明は、光学顕微鏡法、特に、多光子顕微鏡法の分野に関する。

【0002】

本発明は、音響光学素子および2つの集束光学系を含む、音響光学素子における回折光の色拡がり角を減少させる装置に関する。さらに本発明は、音響光学素子における回折光の色拡がり角を減少させる方法に関する。

【背景技術】**【0003】**

光学顕微鏡法の多くの分野における重要な1つのチャレンジは、使用される方法とはかかわりなく、あらかじめ設定された1つ以上の波長を有する励起光を提供することである。顕微鏡法の種類に応じて、かつ／または試料の種類に応じて、一般にあらかじめ設定されたスペクトル特性を有するはずである1つ以上の励起光ビームが必要になることがある。

【0004】

例えば、蛍光顕微鏡法の分野において重要であるのは、蛍光を励起する波長を有する光を使用することである。特に、試料が、異なる励起スペクトルを有する蛍光物質を含有する場合には、種々異なる波長が使用される。

【0005】

多光子顕微鏡法および共焦点走査型顕微鏡法（共焦点顕微鏡法）の分野において特に重

30

40

50

要であるのは、特定の波長について強度を適合させるか、または特定の波長をオンまたはオフすることである。

【 0 0 0 6 】

このためには、音響光学効果に基づく波長選択性的な素子が使用可能である。このような音響光学素子は、一般に、いわゆる音響光学結晶を有しており、この音響光学結晶は、変換器または「トランスデューサ」とも称される音響信号発生器によって振動させられる。一般に、このような変換器は、圧電材料と、この材料に接触接続する2つ以上の電極とを有する。これらの電極と、一般に10MHz～10GHzの範囲内にある高周波とを電気的に接続することにより、圧電材料は励起されて振動し、これにより、結晶を通過する音響波を発生させることが可能である。音響光学結晶は、発生させたこの音波により、結晶の光学特性が変化する点が優れている。特に、局所的な屈折率の周期的な変調が行われる。この変調は、(プラグ)グレーティングのように作用し、対応する波長の光を回折させることができある。

【 0 0 0 7 】

このような音響光学素子の例は、音響光学変調器(AOM:acousto-optical modulator)、音響光学偏向器(AOD:acousto-optical deflector)、音響光学チューナブルフィルタ(AOTF:acousto-optical tunable filter)、音響光学ビームスプリッタ(AOBS:acousto-optical beam splitter)および音響光学ビームミキサ(AOBM:acousto-optical beam mixer)である。本明細書の枠内では、AOMによって一般に、音響光学素子に形成される音響波に依存して、入射光の周波数および/または伝搬方向および/または強度を変化させるもしくは変調する音響光学素子を意味するものとする。例えば、AODは、伝搬方向を変化させるのに特化された、AOMの特別な特徴形態を表すのに対し、AOTFは、特に音響光学変調器のフィルタ特性を利用するAOMである。音響波が比較的高速に変調可能であることと、(例えば電気光学作用による)他の手法と比較してコストが少ないとにより、AOMは、レーザ走査顕微鏡における光変調のための標準ツールになっている。

【 0 0 0 8 】

多光子顕微鏡法においてAOMは広く知られている。ここでは、一般に、近赤外領域までの赤色領域に波長を有するフェムト秒レーザが使用される(F. HelmchenおよびW. Denkによる"Deep tissue two-photon microscopy", Nature Methods 2, 932～940(2005))。一般的な値は、100MHzオーダの繰り返し率および直線偏光において、650nm～1300nmの波長、50fs～200fsのパルス幅、数100nJのパルスエネルギーである。

【 0 0 0 9 】

使用分野および要求に応じて、AOMおよび一般的な音響光学素子もしくは音響光学系は、さまざまなパラメータに基づいて最適化可能である。設計パラメータは、特に、

- ・プラス/マイナス1次回折光(いわゆる利用ビーム)の色共線性
- ・回折効率
- ・印加した高周波において効率的に回折される光のスペクトルバンド幅(スペクトル幅)
- ・入力ビームの角速度
- ・高周波の周波数範囲および振幅範囲

である。

【 0 0 1 0 】

特に、プラス/マイナス1次回折光(以下では、略して±1次回折光とも称する)の色共線性、すなわち互いに異なる波長の利用ビームの共線性は、多光子顕微鏡法における使用に一層重要である。言い換えると、本明細書の枠内において±1次回折光の色共線性は、プラス1次回折光ではあるが、互いに異なる波長の回折ビーム、またはマイナス1次回折光ではあるが、互いに異なる波長の回折ビームの共線性を意味する。色共線性のこの定義は、より高い次数の回折光(すなわち一般に±n次回折光、ただし n > 1)にも当てはまる。

10

20

30

40

50

【0011】

AOMに、与えられた中心波長 およびスペクトル幅 を有する光パルスが当たる場合、一般に利用ビームとして使用される±1次回折光が形成される。回折効率が有限であることにより、通例、さらに0次回折光も検出することが可能であるが、0次回折光は、±1次回折光と比べて、AOMによって良好に変調ができないため、一般に使用されない。

【0012】

光パルスのスペクトルバンド幅が有限であることにより、音響光学素子により、±1次回折光の角度分解が行われる。すなわち、光パルスの種々異なる色成分は、音響光学素子により、わずかに異なる方向に回折される。したがって±1次回折光の色共線性は存在しない。上の複数の段落で述べたことは、当然のことながら、より高次の回折光にも同様に当てはまる。

10

【0013】

音響光学素子によるこの拡がりの大きさを、以下では、色拡がり角 (CSA : Chromatic Spread Angle) と称し、回折光の波長 による、回折光の回折角 の微分と定義する。すなわち CSA = $d / d\lambda$ である。すなわち CSA は、1つの回折次数内における完全な色共線性からの偏差の強さについての尺度であり、単位 mrad / nm を有する。音響光学素子に入射する光のスペクトルバンド幅が広ければ広いほど、光が回折される角度範囲も広くなる (CSA が一定の場合)。したがって回折光を効率的に利用するためには、広いスペクトルバンド幅を有する光において CSA を補償または減少させることが特に望ましい。というのは、CSA と共にこの角度範囲も狭くなるからである。

20

【0014】

(多光子)顕微鏡法において使用するために、大きすぎる CSA は、2つの理由から問題である。すなわち、第1に、フェムト秒光パルスの色成分の伝搬方向が異なることにより、伝搬が進むにつれてビームプロファイルが楕円形になり、ひいては励起対物レンズの入射瞳が最適に照明されず、これにより、特に、解像度が落ちるか、または出力が低下する (入射瞳が過剰に照明される場合) ことになる。第2に、光パルスの種々異なる色成分は、種々異なる角度で入射瞳に当たり、これによってこれらの色成分が、試料において空間的に分離されてしまうという結果になる。この空間的な分離 (「空間チャーブされた光パルス」または「空間チャーブ」ともいう) により、色成分の同時でない到達 (「時間チャーブ」) と同様にピーク強度が減少され、ひいては多光子励起の効率も減少される。

30

【0015】

第1の点によって発生し、伝搬区間に依存する扁平率 (もしくは「空間チャーブ」) を発生する欠点は、従来技術によって補償可能であり、これは、適切なリレー光学系によって AOM の仮想の相互作用点を対物レンズの入射瞳に結像し、扁平率をまったく生じさせないことによって行われる。本明細書の枠内において、音響光学素子の、特に AOM の仮想の相互作用点 (回折点) とは、音響光学素子から放出される複数のビームのビーム経過を光の物理的な伝搬方向とは逆に延長しあつそれらの交点を特定する場合に得られる1つの点のことであると理解される。

【0016】

特に第2の問題 (「時間チャーブ」) を解決するために、従来技術では、プリズム (S. Zeng等による "Simultaneous compensation for spatial and temporal dispersion of acousto-optical deflectors for two-dimensional scanning with a single prism"、Opt. Lett. 31、1091～1093 (2006))、グレーティングまたは別の音響光学構成部材 (Y. Kremer等による "A spatio-temporally compensated acousto-optic scanner for two-photon microscopy providing large field of view"、Opt. Express 16、10066～10076 (2008)) が使用されており、これらは、適切な配置構成において実質的に、AOM によって生じる CSA が元のように補償されるようにする。しかしながらこれらのアプローチは、比較的コストがかかるか、または柔軟性を欠いている (例えばレーザ波長が変化する場合)。

40

【発明の概要】

50

【発明が解決しようとする課題】

【0017】

したがって本発明の課題は、音響光学素子、特に AOM によって回折された光の上記の CSA を大きく減少させ、これにより、高品質の多光子顕微鏡法が可能になるようとする、コスト的に有利でありかつ柔軟性に富む装置を示すことである。さらに本発明の課題は、対応する方法を示すことである。

【0018】

適切な光学構成部材により、音響光学素子に対する位置および方向において、光ビームもしくはレーザパルスのスペクトル成分を補償する、従来技術の上記の解決のアプローチとは異なり、本発明では、対物レンズ瞳の位置における色成分の共線性だけが保証される。これらの色成分は、次に試料側において同じ位置に結像される。

10

【課題を解決するための手段】

【0019】

本発明によるこのアプローチに基づいて発見されたのは、驚くべきほど簡単に構成され、ひいてはコスト的に有利に製造可能なレンズシステムについての、請求項 1 に記載した技術的な実現であり、このレンズシステムは、音響光学素子と連係して柔軟に動作可能であり、回折光の CSA の補償について高い品質要件を満たす。有利な実施形態は、従属請求項ならびに以下の説明の対象である。

【0020】

本発明の第 1 の実施形態によれば、音響光学素子における回折光の色拡がり角を減少させる本発明の装置は、入射光ビームの光路に配置されている音響光学素子を有し、この音響光学素子により、入射光ビームから、この音響光学素子の仮想の相互作用点を起点とする回折光が形成され、この装置にはさらに、2 つの集束光学系が含まれており、第 1 の集束光学系は、光路において音響光学素子の前方に配置されており、第 2 の集束光学系は、回折光に配置されており、第 1 の集束光学系の後方の入射光ビームの焦点は、音響光学素子に位置しており、仮想の相互作用点は、第 2 の集束光学系の前方の焦点にある、ことを特徴とする。

20

【0021】

基本的には、可能な限りに短い焦点距離を有する光学系によって本発明を実現するのが好ましい。というのはこれによって色の偏心が少なくなるからである。しかしながらこのことは、都度の音響光学素子の設計に応じて、多かれ少なかれ回折効率が大きく顕著に低下することになり得る。すなわち、入射光の特定の入射角（光軸とビーム経過との間の角度）が一層大きくなると、音響光学素子により、入射光は、一般に非効率的に回折される。したがって実施においては、具体的な適用事例を考慮して、偏心と回折効率との間の妥協を行わなければならない。

30

【0022】

仮想の相互作用点に対して焦点距離の間隔を有しあつ音響光学素子の後方の第 2 の光学系により、色成分（ここでは色成分は、特定の波長を有する回折光を意味する）は、実質的に互いに共線的に、かつ光軸に対して共線的に伝搬する。しかしながらこのような配置構成により、色成分もしくは結果的に生じる光ビームが集束され、したがって間接的に、結果的に生じる光ビームの発散に結び付くため、光ビームのこの発散に対抗する、音響光学系の前方の第 1 の光学系が必要である。音響光学素子の前方のこの第 1 の光学系は、入射光ビームを集束することにより、それぞれの波長の回折光（すなわちすべての色成分）が、音響光学素子においてそれぞれ可能な限りに小さいビーム直径を有するようにする。

40

【0023】

本発明による装置は、特に、特に短いパルス持続時間有するパルス状の入射光ビームの場合に有利に使用可能である。というのは、パルス持続時間が短くなると、スペクトル幅が拡がり、ひいては光が回折される角度範囲が大きくなるからである。すなわち CSA を減少させることができが、必要であるか、または少なくとも望ましい。ここでは、例示的に多光子顕微鏡における、もしくは多光子顕微鏡法の分野におけるこの装置の応用が挙げられ

50

ており、この応用では一般に、数 1 0 0 フェムト秒の範囲の、利用される光のパルス持続時間が使用される。したがって、本発明の別の実施形態によれば、入射光ビームは、最大 1 0 0 0 f s (すなわち 1 0 0 0 f s)、好適には最大 8 0 0 f s (8 0 0 f s)、好適には最大 5 0 0 f s (5 0 0 f s)、好適には最大 3 0 0 f s (3 0 0 f s)、特に好適には最大 2 0 0 f s (2 0 0 f s)、また極めて好適には最大 1 0 0 f s (1 0 0 f s) のパルス持続時間を有する、パルス光を放射するレーザ光源(パルス状のレーザ光源、パルス状のレーザ、パルスレーザ)からのパルス光である。

【 0 0 2 4 】

本発明の第 3 の実施形態によれば、回折光は、プラス / マイナス 1 次回折光である。というのはこの次の光が、好適には顕微鏡法の用途に使用されるからである。

10

【 0 0 2 5 】

上記の原理は、例えばシリンドリカルレンズにより、かつ / または球形レンズによって実現可能である。シリンドリカルレンズを使用する際の利点は、結晶における、また特に結晶表面におけるピーク強度(最大強度)が比較的小さいことである。結像特性を改善するために、例えばアクロマチックレンズおよび / または非球面レンズも考えられる。説明した本発明を曲面ミラーによって実現することも可能であり、この際には、標準レンズの使用に比べて、色収差が発生しないことが利点である。このようなミラーは、球状の構造形態で、または(球面収差を回避するために)放物面ミラーとして形成されていてよい。幾何学形状上の理由から、状況によっては、「軸外」(off-axis) 放物面(O A P)の構造形態の放物面ミラーも適切である。一般に、使用される光学系は、1つ以上のレンズおよび / またはミラーおよび / またはフィルタまたはプリズムのような別の光学素子を含んでいてよく、極めて多種多様な組み合わせが考えられる。

20

【 0 0 2 6 】

したがって本発明の別の好ましい実現によれば、第 1 の集束光学系および / または第 2 の集束光学系には、少なくとも 1 つのミラーおよび / または少なくとも 1 つのレンズが含まれている。

【 0 0 2 7 】

構造的に簡単でありかつコスト的に有利であることによって特に好ましい、本発明による装置の実現によれば、第 1 の集束光学系および / または第 2 の集束光学系は、レンズ、特に球面レンズまたはシリンドリカルレンズから構成されている。シリンドリカルレンズを使用することは、この A O M により、ビーム経過の回転対称性が、断たれるために有利である。それは、この A O M により、ただ 1 つの空間方向に分解が引き起こされるからである。2 つの集束光学系が個々のレンズによって実現される場合、これらの光学系は、好適には、共に球面レンズから構成されるか、または共にシリンドリカルレンズから構成されるかのいずれかである。これによって保証されるのは、ビームが、不必要に 1 つの次元において集束または発散されることである。

30

【 0 0 2 8 】

すでに上で述べたように、本発明は、特に好ましくは、音響光学変調器(A O M)を使用して実現される。

【 0 0 2 9 】

上で説明したように、本発明による装置は、特に、顕微鏡法における使用に適しており、また顕微鏡法において走査顕微鏡法、特に多光子顕微鏡法に分野における使用に適している。したがって本発明の別の一実施形態によれば、顕微鏡、特に多光子顕微鏡には、請求項 1 から 7 までのいずれか 1 項の装置が含まれている。

40

【 0 0 3 0 】

このような装置を備えた顕微鏡(もしくは顕微鏡システム)(例えば多光子顕微鏡)には、試料を照明するための、パルス光を放射するレーザ光源が含まれており、このレーザ光源は、最大 1 0 0 0 f s (すなわち 1 0 0 0 f s)、好適には最大 8 0 0 f s (8 0 0 f s)、好適には最大 5 0 0 f s (5 0 0 f s)、好適には最大 3 0 0 f s (3 0 0 f s)、特に好適には最大 2 0 0 f s (2 0 0 f s)、また極めて好適には最大 1

50

0 0 f s (1 0 0 f s) のパルス持続時間有する、装置に入射する光ビームを形成することができる。本発明による装置により、入射パルス光ビームから形成される、この装置の音響光学素子における回折光の C S A が減少される。この関連において再度、注意を促したいのは、パルス持続時間が短くなると、光が回折されるスペクトル幅、ひいては角度範囲が、拡がることであり、すなわち、パルス持続時間が短い場合、本発明による装置を有する顕微鏡の使用は、C S A を減少させるために特に有利である。

【 0 0 3 1 】

音響光学素子によって回折された回折光の色拡がり角 (C S A : Chromatic Spread Angle) を減少させるための、本発明による方法は、好適には請求項 1 から 7 までのいずれか 1 項に記載の装置を使用して実施される。

10

【 0 0 3 2 】

本発明の分野に携わる当業者は、本発明による解決手段の、上で説明した装置の特徴の知識があれば、好適には上で説明した装置を使用するために、装置の特徴に対応する方法ステップを構成することであろう。この点において、繰り返しを避けるために、明細書の先行部分を参照されたい。

【 0 0 3 3 】

本発明の教示を有利に構成しあつ発展させるためには、さまざまな選択肢がある。これについては、一方では請求項 1 に従属する請求項を、他方では図面に基づく本発明の以下の説明を参照されたい。図面に基づく本発明の好ましい実施例の説明に関連して、この教示の一般に好ましい実施形態および発展形態も説明する。

20

【 図面の簡単な説明 】

【 0 0 3 4 】

【図 1】走査顕微鏡の一般的な照明光路を示す概略図である。

【図 2】A O M における回折過程を示す概略図である。

【図 3】本発明による装置の概略図である。

【図 4】第 2 の光学系としてシリンドリカルレンズを使用する際のビーム経過を示す部分概略図である。

【 発明を実施するための形態 】

【 0 0 3 5 】

図 1 には、ビーム変調手段としての音響光学素子 1 、特に A O M を備えた走査顕微鏡の、例えば多光子顕微鏡の一般的な照明光路が、大きく簡略化された形で示されている。入射光ビーム 2 は、光源 2 2 、例えばレーザ、特にパルスレーザから出発し、選択的にはビームガイド光学系および適合光学系 2 4 を介して、音響光学素子 1 に到達する。音響光学素子 1 における回折光 7 は、ここから、選択的な結像および走査光学系 2 6 を介して、対物レンズ 2 8 に到達し、最終的には試料 3 0 に到達する。

30

【 0 0 3 6 】

図 2 には、与えられた中心周波数 ω_0 およびスペクトル幅 $\Delta\omega$ を有する入射光ビーム 2 が当たる A O M 1 における回折過程が略示されている。A O M 1 の結晶には、結晶に高周波 (R F) を印加するトランスデューサ 5 が取り付けられている。これによって発生するグレーティングでは、一般に利用ビームとして使用される、回折光 7 の ± 1 次回折光が形成される。回折効率が有限であることによってさらに、一般に 0 次回折光 8 も検出可能である。1 次回折光の不完全な色共線性および入射光パルス 2 の有限のスペクトルバンド幅により、 ± 1 次回折光の角度分解 9 が発生し、角度分解 9 では、光パルスの種々異なる色成分为、わずかに異なる方向に回折される。このことは、例示的に、種々異なる波長 λ_1 、 λ_2 および λ_3 を有する 3 つの部分ビーム 7 a 、 7 b 、 7 c について示されている。この回折光の拡がりの大きさは、色拡がり角 (C S A : Chromatic Spread Angle) によって

40

単位 mrad / nm で示される。これらの回折された部分ビーム 7 a 、 7 b 、 7 c は、A O M 1 の仮想の相互作用点 5 0 から出発しており、この相互作用点 5 0 は、A O M 1 の結晶と周囲媒体との間の移行部におけるいかなる屈折作用も考慮することなく、物理的な伝搬方向とは逆にビーム経過を延長して交点を特定する場合に得られる。

50

【0037】

図3には、本発明による装置の概略図が示されており、ここでは、AOM1の前方の第1の光学系20（例えば個別のレンズ）と、AOM1の後方の第2の光学系10（同様に例えば個別のレンズ）と、が設けられている。第1の光学系20は、この第1の光学系20によって集束された入射光2の光ビームが、AOM1において、第1の光学系20から間隔dで焦点40に集束されるように、すなわち入射光2の光ビームのビーム経過が、結晶の一点で交わるように位置決めされる。（この図では、周囲媒体から結晶に光が移行する際の屈折作用はわかり易くするために描画されていない。しかしながらこれは、第1の光学系20を配置する際に当然のことながら考慮すべきである。間隔dは一般に、周囲媒体における、例えば空気における光学系20の焦点距離に対応しない。）AOM1の後方の第2の光学系10は、例示的に部分ビーム7a、7b、7cで示した、例えば±1次回折光の色成分が、互いに色共線的に進行する（色共線性）ように位置決めされる。これらの色の部分ビーム7a、7b、7cは、部分ビーム17a、17b、17cに移行する。このようにして生成されコリメートされた（部分ビーム17a、17b、17cを含む）ビームは、試料30に送られる。第2の光学系10と仮想の相互作用点50との間の間隔は、したがって第2の光学系10の焦点距離fに対応する。ここでは第2の光学系10が、±1次回折光の色共線性を得るために、ひいては回折光のコリメートを得るために使用されるのに対し、第1の光学系20は、色の部分ビーム17a、17b、17c（図4を参考されたい）の、また結果的に得られる光ビームの不所望の発散が可能な限りに補償されるか、または少なくともこれに対抗するために使用される。

10

20

【0038】

図4には概略的および部分的に、第2の光学系10としてシリンドリカルレンズを使用した際のビーム経過が詳細に示されており、部分図a）およびb）では、光軸3に関して互いに90°だけ回転されている2つの視点からこの配置構成が示されている。色の部分ビーム7a、7b、7cはそれぞれ、シリンドリカルレンズ10によって集束され、これにより、シリンドリカルレンズ10の後方の空間方向において、部分ビーム17a、17b、17cの不所望の発散および結果的に得られる光ビームの不所望の発散が生じる（部分図a）を参考されたい）。この発散は、AOM1の前方の第1の光学系20によって可能な限りに補償され、この補償は、第1の光学系20が、この第1の光学系20によって行われる集束により、図3において例示的に部分ビーム7a、7b、7cによって描画したそれぞれの波長の回折光（すなわち色成分）がそれぞれ、それ自体可能な限りに小さいビーム直径を有することによって行われる。

30

40

50

【図面】
【図 1】

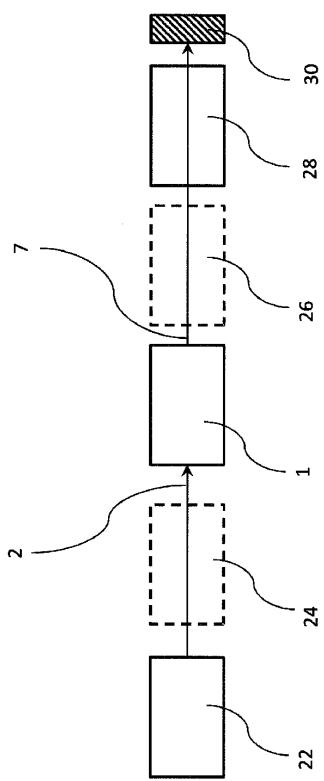


Fig. 1

【図 2】

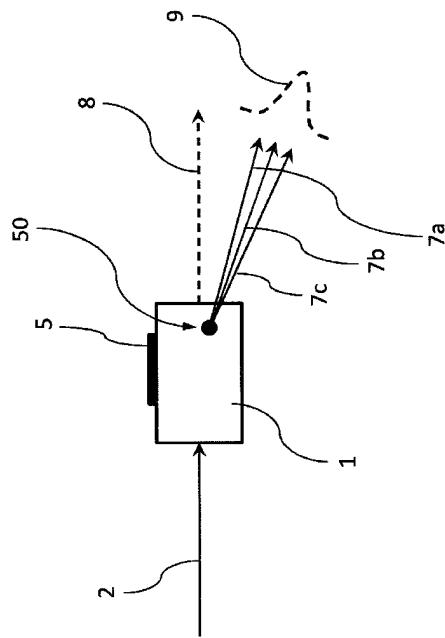


Fig. 2

10

20

30

40

【図 3】

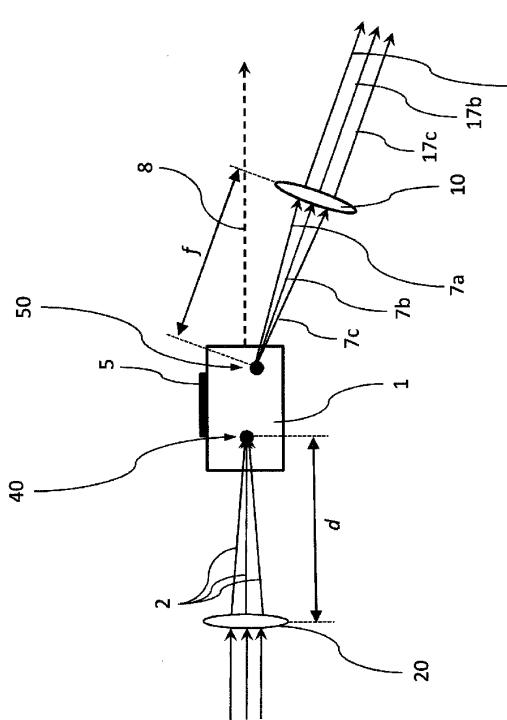


Fig. 3

【図 4】

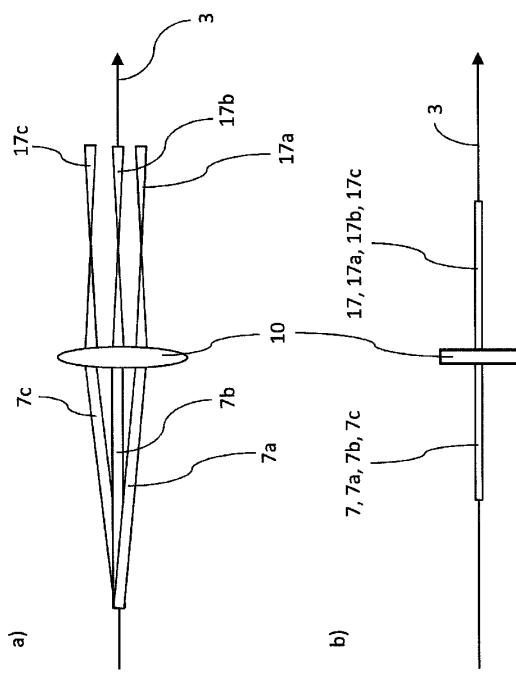


Fig. 4

50

フロントページの続き

弁理士 森田 拓

(74)代理人 100116403

弁理士 前川 純一

(74)代理人 100134315

弁理士 永島 秀郎

(74)代理人 100135633

弁理士 二宮 浩康

(74)代理人 100162880

弁理士 上島 類

(72)発明者 マヌエル クレーマー

ドイツ連邦共和国 ライメン ローアバッハ-シュトラーセ 106

(72)発明者 フェリックス ノイガート

ドイツ連邦共和国 マンハイム シュヴェツィンガー ブラツツ 1

審査官 殿岡 雅仁

(56)参考文献 特開昭53-117448(JP,A)

特開平01-282515(JP,A)

中国特許出願公開第103453988(CN,A)

特開平11-249181(JP,A)

特開2003-065850(JP,A)

特開平01-265131(JP,A)

米国特許第05694216(US,A)

特開2008-209429(JP,A)

(58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)

G 02 B 21/00 - 21/36

G 02 F 1/00 - 7/00

G 01 J 3/00 - 9/04

G 01 B 9/00 - 9/10