

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2012-208462

(P2012-208462A)

(43) 公開日 平成24年10月25日(2012.10.25)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
G02B 21/06 (2006.01)	G02B 21/06	2G059
G02B 6/42 (2006.01)	G02B 6/42	2H052
A61B 1/00 (2006.01)	A61B 1/00 3OOD	2H137
G01N 21/17 (2006.01)	G01N 21/17 A	4C161

審査請求 未請求 請求項の数 26 O L (全 38 頁)

(21) 出願番号	特願2011-207030 (P2011-207030)	(71) 出願人	000000376
(22) 出願日	平成23年9月22日 (2011. 9. 22)		オリンパス株式会社
(31) 優先権主張番号	特願2011-58053 (P2011-58053)		東京都渋谷区幡ヶ谷2丁目43番2号
(32) 優先日	平成23年3月16日 (2011. 3. 16)	(74) 代理人	100147485
(33) 優先権主張国	日本国 (JP)		弁理士 杉村 憲司
		(74) 代理人	100147692
			弁理士 下地 健一
		(72) 発明者	藤原 真人
			東京都渋谷区幡ヶ谷2丁目43番2号 オ
			リンパス株式会社内
		(72) 発明者	平 健二
			東京都渋谷区幡ヶ谷2丁目43番2号 オ
			リンパス株式会社内
		Fターム(参考)	2G059 BB12 FF01 FF03 GG08 JJ05
			JJ06 JJ15 JJ17 JJ30 MM09
			最終頁に続く

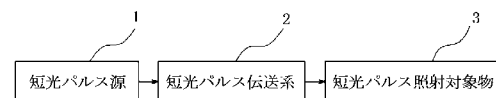
(54) 【発明の名称】 非線形光学装置、多光子顕微鏡および内視鏡

(57) 【要約】

【課題】複雑な補償機構を設けることなく、群速度分散スロープによる光パルスの時間幅の広がりや波形崩れの影響を低減した高ピークパワーの短光パルスを対象物に照射できる、非線形光学装置を提供する。

【解決手段】非線形光学装置は、短光パルスを発生する短光パルス源10と、短光パルス源から発生した短光パルスを対象物に伝送するための短光パルス伝送系20とを備える。非線形光学装置内で発生する非線形光学効果が実質的に無く、該非線形光学装置内の群速度分散量が実質的に無く、短光パルス源から短光パルスが発生し、且つ、短光パルスのスペクトル幅(半値全幅) λ_{FWHM} が、 $\lambda_1 < \lambda_{FWHM} < \lambda_2$ を満たす。

【選択図】図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

対象物に短光パルス照射して 2 次非線形光学効果を生ずる非線形光学装置であつて、

短光パルスを生ずる短光パルス源と、

該短光パルス源から生じた短光パルスを前記対象物に伝送するための短光パルス伝送系とを備え、

該非線形光学装置内で生ずる非線形光学効果が実質的に無く、該非線形光学装置内の群速度分散量が実質的に無く、且つ、前記短光パルス源が生ずる短光パルスのスペクトル幅（半値全幅） λ_{FWHM} が、

$$\lambda_1 < \lambda_{FWHM} < \lambda_2 \quad (1)$$

を満たし、

ただし、

【数 1】

$$\lambda_1 = \frac{a\lambda_c^2}{cT_2} \quad (2)$$

$$\lambda_2 = \frac{a\lambda_c^2}{cT_1} \quad (3)$$

$$T_1 = 2\sqrt{-p} \cos\left(\frac{u}{3} + \frac{4\pi}{3}\right) + \frac{(kD_{3d})^{1/3}}{\alpha \cdot 2^{2/3}} \quad (4)$$

$$T_2 = 2\sqrt{-p} \cos\left(\frac{u}{3}\right) + \frac{(kD_{3d})^{1/3}}{\alpha \cdot 2^{2/3}} \quad (5)$$

$$p = -\left(\frac{-1}{\alpha 2^{2/3} (kD_{3d})^{-1/3}}\right)^2 \quad (6)$$

$$u = \cos^{-1}\left(\frac{q}{p\sqrt{-p}}\right) \quad (7)$$

$$q = -\left(\frac{-1}{\alpha 2^{2/3} (kD_{3rd})^{-1/3}}\right)^3 + \frac{kD_{3rd}}{2} \quad (8)$$

a, k : パルス波形に依存して決定されるパラメータ

λ_c : パルスの中心波長

c : 光速

D_{3d} : 総群速度分散スロープ量

$\alpha = 0.5$

であることを特徴とする非線形光学装置。

【請求項 2】

前記短光パルス伝送系の各伝播媒質の非線形係数を γ 、前記短光パルス伝送系の各伝播媒質により伝送される前後の前記短光パルスのピークパワーのうちいずれか高い値を P_{peak} 、前記短光パルス伝送系の各伝播媒質の物理長を L 、総群速度分散量を D_{2d} 、総群速度分散スロープ量を D_{3d} 、前記短光パルスのスペクトル幅から算出されるフーリエ変換限界の時間幅において、前記短光パルスの出力強度が前記ピークパワーの $1/e$ になるときの時間幅を T_0 とするとき、

10

20

30

40

50

【数 2】

$$\sum_{\text{伝播媒質}} \gamma \cdot P_{\text{peak}} \cdot L \leq 1 \quad (9)$$

$$\frac{D_{2d}}{T_0^2} \leq 1 \quad (10)$$

$$\frac{D_{3d}}{T_0^3} \geq 1 \quad (11)$$

10

を満たすことを特徴とする請求項 1 に記載の非線形光学装置。

【請求項 3】

前記パラメータ k は、 $0.35 < k < 0.55$ を満たすことを特徴とする請求項 1 または 2 に記載の非線形光学装置。

【請求項 4】

前記短光パルス源は、ほぼチャープしていない短光パルスを発生する短光パルス発生装置と、該短光パルス発生装置から発生した短光パルスにチャープを加えるチャープ付加装置とを備えることを特徴とする請求項 1 - 3 のいずれか一項に記載の非線形光学装置。

【請求項 5】

前記短光パルス源は、スペクトル幅調整機構を備えていることを特徴とする請求項 1 - 4 のいずれか一項に記載の非線形光学装置。

20

【請求項 6】

前記短光パルス源は、 0.5 nm 以上のスペクトル幅の短光パルスを発生することを特徴とする請求項 1 - 5 のいずれか一項に記載の非線形光学装置。

【請求項 7】

前記短光パルス伝送系は、分散発生装置を備えることを特徴とする請求項 1 - 6 のいずれか一項に記載の非線形光学装置。

【請求項 8】

前記短光パルス伝送系は、中空コアフォトニック結晶ファイバを備えることを特徴とする請求項 1 - 7 のいずれか一項に記載の非線形光学装置。

30

【請求項 9】

前記短光パルス源は、中空コアフォトニック結晶ファイバの群速度分散がゼロである波長の短光パルスを出射することを特徴とする請求項 8 に記載の非線形光学装置。

【請求項 10】

前記短光パルス源は、非線形光学装置内の総群速度分散がゼロになる波長の短光パルスを出射することを特徴とする請求項 8 に記載の非線形光学装置。

【請求項 11】

請求項 1 - 10 のいずれか一項に記載の非線形光学装置を備え、前記対象物から発生した 2 次非線形効果を検出することを特徴とする多光子顕微鏡。

40

【請求項 12】

請求項 1 - 10 のいずれか一項に記載の非線形光学装置を備え、前記対象物から発生した 2 次非線形効果を検出することを特徴とする内視鏡。

【請求項 13】

対象物に短光パルスを照射して 2 次非線形光学効果を発生させる非線形光学装置であって、

短光パルスを発生する短光パルス源と、

該短光パルス源から発生した短光パルスを前記対象物に伝送するための短光パルス伝送系とを備え、

該非線形光学装置内で発生する非線形光学効果が実質的に無く、該非線形光学装置内の

50

群速度分散量が実質的に無く、且つ、前記短光パルス源が発生する短光パルスのパルス時間幅（半値全幅） T_{FWHM} が、

$$T_1 < T_{FWHM} < T_2 \quad (13)$$

を満たし、

ただし、

【数 3】

$$T_1 = 2\sqrt{-p} \cos\left(\frac{u}{3} + \frac{4\pi}{3}\right) + \frac{(kD_{3d})^{1/3}}{\alpha \cdot 2^{2/3}} \quad (14)$$

$$T_2 = 2\sqrt{-p} \cos\left(\frac{u}{3}\right) + \frac{(kD_{3d})^{1/3}}{\alpha \cdot 2^{2/3}} \quad (15)$$

$$p = -\left(\frac{-1}{\alpha 2^{2/3} (kD_{3d})^{-1/3}}\right)^2 \quad (16)$$

$$u = \cos^{-1}\left(\frac{q}{p\sqrt{-p}}\right) \quad (17)$$

$$q = -\left(\frac{-1}{\alpha 2^{2/3} (kD_{3rd})^{-1/3}}\right)^3 + \frac{kD_{3rd}}{2} \quad (18)$$

k : パルス波形に依存して決定されるパラメータ

D_{3d} : 総群速度分散スロープ量

$\alpha = 0.5$

であることを特徴とする非線形光学装置。

【請求項 14】

前記短光パルス伝送系の各伝播媒質の非線形係数を γ 、前記短光パルス伝送系の各伝播媒質により伝送される前後の前記短光パルスのピークパワーのうちいずれか高い値を P_{peak} 、前記短光パルス伝送系の各伝播媒質の物理長を L 、総群速度分散量を D_{2d} 、総群速度分散スロープ量を D_{3d} 、前記短光パルスの出力強度が前記ピークパワーの $1/e$ になるときの時間幅を T_0 とするとき、

【数 4】

$$\sum_{\text{伝播媒質}} \gamma \cdot P_{peak} \cdot L \leq 1 \quad (19)$$

$$\frac{D_{2d}}{T_0^2} \leq 1 \quad (20)$$

$$\frac{D_{3d}}{T_0^3} \geq 1 \quad (21)$$

を満たすことを特徴とする請求項 13 に記載の非線形光学装置。

【請求項 15】

前記短光パルス源は、該短光パルス源が発生する短光パルスのスペクトル半値幅（半値全幅）を f_{FWHM} とするとき、

10

20

30

40

【数 5】

$$T_{FWHM} \cdot f_{FWHM} \leq 0.88 \quad (22)$$

を満たす短光パルスが発生することを特徴とする請求項 13 または 14 に記載の非線形光学装置。

【請求項 16】

前記パラメータ k は、 $0.35 < k < 0.55$ を満たすことを特徴とする請求項 13 - 15 のいずれか一項に記載の非線形光学装置。

【請求項 17】

前記短光パルス源は、チャープした短光パルスが発生するチャープ光発生装置と、該チャープ光発生装置から発生した短光パルスのチャープを補償するチャープ補償装置とを備えることを特徴とする請求項 13 - 16 のいずれか一項に記載の非線形光学装置。

10

【請求項 18】

前記チャープ補償装置は、回折格子を備えることを特徴とする請求項 17 に記載の非線形光学装置。

【請求項 19】

前記チャープ補償装置は、プリズムを備えることを特徴とする請求項 17 に記載の非線形光学装置。

【請求項 20】

前記短光パルス伝送系は、群速度分散補償装置を備えることを特徴とする請求項 13 - 19 のいずれか一項に記載の非線形光学装置。

20

【請求項 21】

前記群速度分散補償装置は、回折格子を備えることを特徴とする請求項 20 に記載の非線形光学装置。

【請求項 22】

前記群速度分散補償装置は、プリズムを備えることを特徴とする請求項 20 に記載の非線形光学装置。

【請求項 23】

前記短光パルス伝送系は、中空コアフォトニック結晶ファイバを備えることを特徴とする請求項 13 - 22 のいずれか一項に記載の非線形光学装置。

30

【請求項 24】

前記短光パルス源は、1 ピコ秒以下の時間幅の短光パルスが発生することを特徴とする請求項 13 - 23 に記載の非線形光学装置。

【請求項 25】

請求項 13 - 24 のいずれか一項に記載の非線形光学装置を備え、
前記対象物から発生した 2 次非線形効果を検出することを特徴とする多光子顕微鏡。

【請求項 26】

請求項 13 - 24 のいずれか一項に記載の非線形光学装置を備え、
前記対象物から発生した 2 次非線形効果を検出することを特徴とする内視鏡。

40

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、短光パルスを対象物に照射して、2 次非線形光学効果を誘起する非線形光学装置およびこれを用いた多光子顕微鏡および内視鏡に関する。

【背景技術】

【0002】

近年、生物学、医学、医療、加工、計測などの様々な分野において、高ピークパワーを持ち、複数の波長成分を含むピコ秒以下の超短光パルスが利用されるようになってきてい

50

る。特に、生物学分野や医学分野では、多光子蛍光顕微鏡、高調波顕微鏡などの非線形光学効果を利用した顕微鏡や、光応力波を用いた遺伝子導入装置、拡散光トモグラフィ装置などに、チタン：サファイヤレーザやファイバレーザなどの、超短光パルスが発生する光パルス源が活発に利用されている。

【 0 0 0 3 】

これらの分野で超短光パルスは、超短光パルスが照射される対象物において非線形光学効果を誘起することを目的として使用される。そして、対象物に照射される超短光パルスのピークパワーが高いほど、高い効率で非線形光学効果が誘起される。

【 0 0 0 4 】

一方、光パルス源にて生成される超短光パルスを対象物まで伝送する際には、通常レンズや光ファイバなどの短光パルス伝送系が用いられる。しかし、高ピークパワーの超短光パルスは、短光パルス伝送系を伝搬する過程において、短光パルス伝送系の群速度分散 (Group-velocity dispersion: G V D) 効果や短光パルス伝送系中にて誘起される自己位相変調 (Self-phase modulation: S P M) 効果などの非線形光学効果の影響を受けて、時間幅がわりや波形崩れが生じることが知られている。この光パルス時間幅の広がりや光パルス波形の崩れは、多くの応用で問題となる。

【 0 0 0 5 】

例えば、多光子蛍光顕微鏡などの非線形光学顕微鏡では、高いピークパワーの超短光パルスが要求されるが、光ファイバなどの短光パルス伝送系中にパルス時間幅が広がる、または、パルス波形が崩れると、それに伴って短光パルスのピークパワーが低下し、多光子励起の効率が落ちるため、顕微鏡画像の明度が低下するという問題点がある。

【 0 0 0 6 】

したがって、短光パルス伝送系中における光パルスの時間幅の広がりや波形崩れを、なるべく低減することが非常に重要である。

【 0 0 0 7 】

そこで、これらの短光パルス伝送系における G V D 効果や非線形光学効果を低減する、もしくは、補償することが広く行なわれている。例えば、G V D 効果については、G V D の低い短光パルス伝送系を利用するか、短光パルス伝送系中に G V D を補償する分散発生装置を含めるという対策がとられる。また、非線形光学効果は、短光パルス伝送系中に長尺な光ファイバを含む場合には非常に顕著になるため、特別な対策が必要になるが、その他の場合はほとんど問題にならない。

【 0 0 0 8 】

一方、高次の GVD である群速度分散スロープについても、これを補償するための機構が提案されている (例えば、非特許文献 1 参照)。この機構を短光パルス伝送系内などに設けることによって、群速度分散スロープの影響による短光パルス波形の崩れを補償することができる。

【 先行技術文献 】

【 非特許文献 】

【 0 0 0 9 】

【 非特許文献 1 】 J.A.R.Williams, L.A.Everall, I.Bennion, "Fiber Bragg grating fabrication for dispersion slope compensation," IEEE Photon. Technol. Lett., 8, p.p.1187-1189 (1996)

【 発明の概要 】

【 発明が解決しようとする課題 】

【 0 0 1 0 】

しかしながら、群速度分散スロープなどの高次分散を完全に補償する、もしくは無視できる程度に十分低減することは、現状では技術的に非常に難易度が高い。また、非特許文献 1 に記載のように、高次分散補償機構を設けると、短光パルス伝送系の複雑化及び高コスト化を招いてしまう。

【 0 0 1 1 】

10

20

30

40

50

したがって、これらの点に着目してなされた本発明の目的は、複雑な補償機構を設けることなく、群速度分散スロープによる光パルスの時間幅の広がりや、波形崩れの影響を低減した高ピークパワーの短光パルスを対象物に照射できる、非線形光学装置およびこれを用いた多光子顕微鏡および内視鏡を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0012】

上記目的を達成する請求項1に係る非線形光学装置の発明は、
対象物に短光パルスを照射して2次非線形光学効果を発生させる非線形光学装置であって、

短光パルスを発生する短光パルス源と、

10

該短光パルス源から発生した短光パルスを前記対象物に伝送するための短光パルス伝送系とを備え、

該非線形光学装置内で発生する非線形光学効果が実質的に無く、該非線形光学装置内の群速度分散量が実質的に無く、且つ、前記短光パルス源が発生する短光パルスのスペクトル幅（半値全幅） λ_{FWHM} が、

$$\lambda_1 < \lambda_{FWHM} < \lambda_2 \quad (1)$$

を満たし、

ただし、

【数1】

$$\lambda_1 = \frac{a\lambda_c^2}{cT_2} \quad (2) \quad 20$$

$$\lambda_2 = \frac{a\lambda_c^2}{cT_1} \quad (3)$$

$$T_1 = 2\sqrt{-p} \cos\left(\frac{u}{3} + \frac{4\pi}{3}\right) + \frac{(kD_{3d})^{1/3}}{\alpha \cdot 2^{2/3}} \quad (4)$$

$$T_2 = 2\sqrt{-p} \cos\left(\frac{u}{3}\right) + \frac{(kD_{3d})^{1/3}}{\alpha \cdot 2^{2/3}} \quad (5) \quad 30$$

$$p = -\left(\frac{-1}{\alpha 2^{2/3} (kD_{3d})^{-1/3}}\right)^2 \quad (6)$$

$$u = \cos^{-1}\left(\frac{q}{p\sqrt{-p}}\right) \quad (7)$$

$$q = -\left(\frac{-1}{\alpha 2^{2/3} (kD_{3rd})^{-1/3}}\right)^3 + \frac{kD_{3rd}}{2} \quad (8) \quad 40$$

a, k : パルス波形に依存して決定されるパラメータ

λ_c : パルスの中心波長

c : 光速

D_{3d} : 総群速度分散スロープ量

$\alpha = 0.5$

であることを特徴とするものである。

【0013】

50

請求項 2 に係る発明は、請求項 1 に記載の非線形光学装置において、

前記短光パルス伝送系の各伝播媒質の非線形係数を γ 、前記短光パルス伝送系の各伝播媒質により伝送される前後の前記短光パルスのピークパワーのうちいずれか高い値を P_{peak} 、前記短光パルス伝送系の各伝播媒質の物理長を L 、非線形光学装置内の総群速度分散量を D_{2d} 、非線形光学装置内の総群速度分散スロープ量を D_{3d} 、前記短光パルスのスペクトル幅から算出されるフーリエ変換限界の時間幅において、前記短光パルスの出力強度が前記ピークパワーの $1/e$ になるときの時間幅を T_0 とするとき、

【数 2】

$$\sum_{\text{伝播媒質}} \gamma \cdot P_{peak} \cdot L \leq 1 \quad (9)$$

10

$$\frac{D_{2d}}{T_0^2} \leq 1 \quad (10)$$

$$\frac{D_{3d}}{T_0^3} \geq 1 \quad (11)$$

を満たすことを特徴とするものである。

【0014】

20

ここで、フーリエ変換限界の短光パルスについて説明しておく。フーリエ変換限界パルスとは短光パルスにチャープがない状態であり、式(12)で表される短光パルスの時間幅と周波数幅の積が最小になる短光パルスのことである。その最小値は短光パルスの波形に依存して変化し、パルス波形がガウシアン型の場合 0.441 となり、ハイパボリックセカント (sech) 型の場合 0.315 となる。

【数 3】

$$T_{FWHM} \cdot f_{FWHM} \quad (12)$$

【0015】

請求項 3 に係る発明は、請求項 1 または 2 に記載の非線形光学装置において、前記パラメータ k は、 $0.35 < k < 0.55$ を満たすことを特徴とするものである。

30

【0016】

パラメータ k はパルス波形によって変化し、パルス波形がガウシアン型の場合 0.535 となり、ハイパボリックセカント (sech) 型の場合 0.370 となる。短光パルス源から出射される短光パルスの波形は、一般に完全なガウシアン波形やハイパボリックセカント波形になっていることは稀である。パラメータ k を $0.35 < k < 0.55$ とすることによって、これらのパルス波形の中間の波形をカバーすることができる。

【0017】

請求項 4 に係る発明は、請求項 1 - 3 のいずれか一項に記載の非線形光学装置において、前記短光パルス源は、ほぼチャープしていない短光パルスを発生する短光パルス発生装置と、該短光パルス発生装置から発生した短光パルスにチャープを加えるチャープ付加装置とを備えることを特徴とするものである。

40

【0018】

請求項 5 に係る発明は、請求項 1 - 4 のいずれか一項に記載の非線形光学装置において、前記短光パルス源は、スペクトル幅調整機構を備えていることを特徴とするものである。

【0019】

これによって、短光パルスを照射する対象物において、非線形光学効果を効率良く発生させることができるように、非線形光学装置内の総群速度分散スロープから計算される最適なスペクトル幅を設定することができる。

50

【 0 0 2 0 】

請求項 6 に係る発明は、請求項 1 - 5 のいずれか一項に記載の非線形光学装置において、前記短光パルス源は、 0.5 nm 以上のスペクトル幅の短光パルスを発生することを特徴とするものである。

【 0 0 2 1 】

短光パルスのスペクトル幅が 0.5 nm 以上であれば、対象物に照射される短光パルスが、高ピークパワーのパルスとなり、対象物内で高い 2 次非線形光学効果が生じることが期待できる。

【 0 0 2 2 】

請求項 7 に係る発明は、請求項 1 - 6 のいずれか一項に記載の非線形光学装置において、前記短光パルス伝送系は、分散発生装置を備えることを特徴とするものである。

10

【 0 0 2 3 】

これによって、短光パルス伝送系などの非線形光学装置内で発生する群速度分散を補償し、短光パルスを照射する対象物に、ピークパワーの高い短光パルスを照射し、非線形光学効果を効率良く発生させることができる。

【 0 0 2 4 】

請求項 8 に係る発明は、請求項 1 - 7 のいずれか一項に記載の非線形光学装置において、前記短光パルス伝送系は、中空コアフォトニック結晶ファイバを備えることを特徴とするものである。

【 0 0 2 5 】

請求項 9 に係る発明は、請求項 8 に記載の中空コアフォトニック結晶ファイバを備えた非線形光学装置において、前記短光パルス源は、中空コアフォトニック結晶ファイバの群速度分散がゼロである波長の短光パルスを出射することを特徴とするものである。

20

【 0 0 2 6 】

これによって、前記短光パルス伝送系の群速度分散を補償するような分散発生装置を備える必要がなくなり、装置構成が単純となる。

【 0 0 2 7 】

請求項 10 に係る発明は、請求項 8 に記載の中空コアフォトニック結晶ファイバを備えた非線形光学装置において、前記短光パルス源は、非線形光学装置内の総群速度分散がゼロになる波長の短光パルスを出射することを特徴とするものである。

30

【 0 0 2 8 】

これによって、中空コアフォトニック結晶ファイバとその他の光学系（対物レンズなど）の群速度分散の総和がゼロになり、装置構成が単純となるとともに、短光パルスを照射する対象物に、ピークパワーの高い短光パルスを照射し、非線形光学効果を効率良く発生させることができる。

【 0 0 2 9 】

上記目的を達成する請求項 11 に係る多光子顕微鏡の発明は、請求項 1 - 10 のいずれか一項に記載の非線形光学装置を備え、前記対象物から発生した 2 次非線形効果を検出することを特徴とするものである。

【 0 0 3 0 】

上記目的を達成する請求項 12 に係る内視鏡の発明は、請求項 1 - 11 のいずれか一項に記載の非線形光学装置を備え、前記対象物から発生した 2 次非線形効果を検出することを特徴とするものである。

40

【 0 0 3 1 】

上記目的を達成する請求項 13 に係る非線形光学装置の発明は、

対象物に短光パルスを照射して 2 次非線形光学効果を発生させる非線形光学装置であって、

短光パルスを発生する短光パルス源と、

該短光パルス源から発生した短光パルスを前記対象物に伝送するための短光パルス伝送系とを備え、

50

該非線形光学装置内で発生する非線形光学効果を実質的に無く、該非線形光学装置内の群速度分散量が実質的に無く、且つ、前記短光パルス源が発生する短光パルスのパルス時間幅（半値全幅） T_{FWHM} が、

$$T_1 < T_{FWHM} < T_2 \quad (13)$$

を満たし、

ただし、

【数4】

$$T_1 = 2\sqrt{-p} \cos\left(\frac{u}{3} + \frac{4\pi}{3}\right) + \frac{(kD_{3d})^{1/3}}{\alpha \cdot 2^{2/3}} \quad (14)$$

10

$$T_2 = 2\sqrt{-p} \cos\left(\frac{u}{3}\right) + \frac{(kD_{3d})^{1/3}}{\alpha \cdot 2^{2/3}} \quad (15)$$

$$p = -\left(\frac{-1}{\alpha 2^{2/3} (kD_{3d})^{-1/3}}\right)^2 \quad (16)$$

$$u = \cos^{-1}\left(\frac{q}{p\sqrt{-p}}\right) \quad (17)$$

20

$$q = -\left(\frac{-1}{\alpha 2^{2/3} (kD_{3rd})^{-1/3}}\right)^3 + \frac{kD_{3rd}}{2} \quad (18)$$

k ：パルス波形に依存して決定されるパラメータ

D_{3d} ：総群速度分散スロープ量

$\alpha = 0.5$

であることを特徴とするものである。

【0032】

請求項14に係る発明は、請求項13に記載の非線形光学装置において、

30

前記短光パルス伝送系の各伝播媒質の非線形係数を γ 、前記短光パルス伝送系の各伝播媒質により伝送される前後の前記短光パルスのピークパワーのうちいずれか高い値を P_{peak} 、前記短光パルス伝送系の各伝播媒質の物理長を L 、総群速度分散量を D_{2d} 、総群速度分散スロープ量を D_{3d} 、前記短光パルスの出力強度が前記ピークパワーの $1/e$ になるときの時間幅を T_0 とすると、

【数5】

$$\sum_{\text{伝播媒質}} \gamma \cdot P_{peak} \cdot L \leq 1 \quad (19)$$

40

$$\frac{D_{2d}}{T_0^2} \leq 1 \quad (20)$$

$$\frac{D_{3d}}{T_0^3} \geq 1 \quad (21)$$

を満たすことを特徴とするものである。

【0033】

請求項15に係る発明は、請求項13または14に記載の非線形光学装置において、

前記短光パルス源は、該短光パルス源が発生する短光パルスのスペクトル半値幅（半値

50

全幅)を f_{FWHM} とするとき、

【数 6】

$$T_{FWHM} \cdot f_{FWHM} \leq 0.88 \quad (22)$$

を満たす短光パルスが発生することを特徴とするものである。

【0034】

請求項16に係る発明は、請求項13 - 15のいずれか一項に記載の非線形光学装置において、

前記パラメータ k は、 $0.35 < k < 0.55$ を満たすことを特徴とするものである。

【0035】

請求項17に係る発明は、請求項13 - 16のいずれか一項に記載の非線形光学装置において、

前記短光パルス源は、チャープした短光パルスが発生するチャープ光発生装置と、該チャープ光発生装置から発生した短光パルスのチャープを補償するチャープ補償装置とを備えることを特徴とするものである。

【0036】

請求項18に係る発明は、請求項17に記載の非線形光学装置において、

前記チャープ補償装置は、回折格子を備えることを特徴とするものである。

【0037】

請求項19に係る発明は、請求項17に記載の非線形光学装置において、

前記チャープ補償装置は、プリズムを備えることを特徴とするものである。

【0038】

請求項20に係る発明は、請求項13 - 19のいずれか一項に記載の非線形光学装置において、

前記短光パルス伝送系は、群速度分散補償装置を備えることを特徴とするものである。

【0039】

請求項21に係る発明は、請求項20に記載の非線形光学装置において、

前記群速度分散補償装置は、回折格子を備えることを特徴とするものである。

【0040】

請求項22に係る発明は、請求項20に記載の非線形光学装置において、

前記群速度分散補償装置は、プリズムを備えることを特徴とする。

【0041】

請求項23に係る発明は、請求項13 - 22のいずれか一項に記載の非線形光学装置において、

前記短光パルス伝送系は、中空コアフォトニック結晶ファイバを備えることを特徴とするものである。

【0042】

請求項24に係る発明は、請求項13 - 23に記載の非線形光学装置において、

前記短光パルス源は、1ピコ秒以下の時間幅の短光パルスが発生することを特徴とするものである。

【0043】

短光パルスの時間幅が1ピコ秒以下であれば、高ピークパワーのパルスとなり、対象物内で高い2次非線形光学効果が生じることが期待できる。

【0044】

上記目的を達成する請求項25に係る多光子顕微鏡の発明は、

請求項13 - 24のいずれか一項に記載の非線形光学装置を備え、

前記対象物から発生した2次非線形効果を検出することを特徴とするものである。

【0045】

上記目的を達成する請求項26に係る内視鏡の発明は、

請求項13 - 24のいずれか一項に記載の非線形光学装置を備え、

10

20

30

40

50

前記対象物から発生した 2 次非線形効果を検出することを特徴とするものである。

【発明の効果】

【0046】

本発明によれば、所定の条件下で、短光パルス源が発生する短光パルスのスペクトル幅（半値全幅） λ_{FWHM} が所定の範囲（ $\lambda_1 < \lambda_{FWHM} < \lambda_2$ ）を満たすようにしたので、群速度分散スロープによる光パルスの時間幅の広がりや波形崩れを低減した高ピークパワーの短光パルスを対象物に照射することができる。

【図面の簡単な説明】

【0047】

【図 1】本発明に係る非線形光学装置の基本構成を示すブロック図である。

10

【図 2】非線形光学装置内の群速度分散スロープによる波形歪みを表した図である。

【図 3】2 次非線形光学効果により発生する信号光量と短光パルス源から射出される短光パルスのスペクトル幅との関係を示すグラフである。

【図 4】本発明の第 1 実施の形態に係る小型顕微鏡非線形光学装置の概略構成図である。

【図 5】図 4 のマイクロヘッドの詳細な構成を示す図である。

【図 6】第 1 実施の形態における、2 次非線形光学効果により発生する信号光量と短光パルス源から射出される光パルスのスペクトル幅との関係を示すグラフである。

【図 7】本発明の第 2 実施の形態に係る内視鏡非線形光学装置の概略構成図である。

【図 8】本発明の第 3 実施の形態に係る顕微鏡非線形光学装置の概略構成図である。

【図 9】図 8 の分散発生装置の一例を示す構成図である。

20

【図 10】第 3 実施の形態における、2 次非線形光学効果により発生する信号光量と短光パルス源から射出される光パルスのスペクトル幅との関係を示すグラフである。

【図 11】短光パルス源内にチャープ付加装置を含む場合の短光パルス源構成図である。

【図 12】本発明の第 4 実施の形態に係る顕微鏡非線形光学装置の概略構成図である。

【図 13】第 4 実施の形態における、2 次非線形光学効果により発生する信号光量と短光パルス源から射出される光パルスのスペクトル幅との関係を示すグラフである。

【図 14】2 次非線形光学効果により発生する信号光量と短光パルス源から射出される光パルスのパルス時間幅との関係を示すグラフである。

【図 15】本発明の第 5 実施の形態に係る多光子顕微鏡の概略構成図である。

【図 16】図 15 の群速度分散補償装置の一例を示す構成図である。

30

【図 17】第 5 実施の形態における、2 次非線形光学効果により発生する信号光量と短光パルス源から射出される光パルスのパルス時間幅との関係を示すグラフである。

【図 18】本発明の第 6 実施の形態に係る多光子顕微鏡の概略構成図である。

【図 19】第 6 実施の形態における、2 次非線形光学効果により発生する信号光量と短光パルス源から射出される光パルスのパルス時間幅との関係を示すグラフである。

【図 20】本発明の第 7 実施の形態に係る多光子顕微鏡の概略構成図である。

【図 21】本発明の第 8 実施の形態に係る内視鏡の概略構成図である。

【発明を実施するための形態】

【0048】

本発明の実施形態の説明に先立ち、本願発明の基本的な構成と、理論的な根拠を説明する。

40

【0049】

図 1 は、本発明に係る非線形光学装置の基本構成を示す図である。短光パルスが発生する短光パルス源 1 と、短光パルス源 1 から発生した短光パルスを短光パルス照射対象物（以下、対象物と呼ぶ）3 まで伝送するための短光パルス伝送系 2 とを備える。ここで、非線形光学装置は、短光パルスを対象物 3 に照射することにより、2 光子蛍光および第 2 高調波発生等の 2 次非線形光学効果が発生させる装置である。対象物 3 から発生した、2 光子蛍光や第 2 高調波等の信号光は、例えば、図示しない検出部によって検出される。

【0050】

ここで、短光パルス源 1 および短光パルス伝送系 2 より構成される光学系は、公知の方

50

法により、非線形光学効果および総群速度分散が低減できるか、あるいは、補償されるように構成することができる。一方、総群速度分散スロープ量は、容易に補償又は低減できず、無視することができない。そのような場合、短光パルスの波形の変形や歪みは、主として群速度分散スロープの存在に起因して発生する。

【 0 0 5 1 】

非線形光学装置内の非線形光学効果および総群速度分散量は、上述の (9) および (1 0) の各条件式を満たすことが好ましい。式 (9) を満たす場合、非線形光学装置内の非線形光学効果は、無視できるほど小さい。式 (1 0) を満たす場合、非線形光学装置内の群速度分散量は、無視できるほど小さい。式 (9) および式 (1 0) が満たされ、さらに、式 (1 1) を満たす場合、非線形光学装置内の群速度分散スロープは、無視できない。これらの条件式が満たされることによって、短光パルス光学系で発生する非線形光学効果と群速度分散とは、無視できるほど小さくなるので、群速度分散スロープの存在に起因する短光パルスの波形変化が顕著に現れる。

10

【 0 0 5 2 】

図 2 は非線形光学装置内の群速度分散スロープに起因する短光パルスの波形変化を表した図であり、図 2 A は短光パルス源 1 出射直後の時間波形を示し、図 2 B は短光パルス伝送系 2 出射後の時間波形を示している。短光パルス伝送系を伝送後の短光パルス時間波形にリングングが発生し波形が歪んでいることが見てとれる。このような波形歪みが発生すると、短光パルスのピークパワーが低下し、短光パルス照射対象物で発生する非線形光学効果の効率が低下してしまう。

20

【 0 0 5 3 】

上述のような条件下において、まず、短光パルス伝送系内の総群速度分散スロープ量を考慮しないで計算すると、短光パルスが照射される対象物において 2 次非線形光学効果により発生する信号の単位時間あたりの光量 F_{noD} [W] は以下の式 (2 3) のように表される。(参考文献 : Winfried Denk, James H. Strickler, Watt W. Webb, "Two-Photon Laser Scanning Fluorescence Microscopy", Science, 248, pp.73-76, 1990)

【 数 7 】

$$F_{noD} = \frac{A \cdot P_{ave}^2}{f_{rep} \cdot T_{FWHM}} = \frac{A \cdot P_{ave}^2}{f_{rep}} \cdot \frac{c \lambda_{FWHM}}{a \lambda_c^2} \quad (23)$$

30

【 0 0 5 4 】

ここで、A は [1 / W] の次元を持つ係数、 P_{ave} は短光パルスの単位時間における平均パワー、 f_{rep} は短光パルスの繰り返し周波数、c は光速、 λ_{FWHM} は短光パルスのスペクトル幅 (半値全幅)、a は前記短光パルスのフーリエ変換限界を規定する時間幅と周波数 (スペクトル) 幅を掛け合わせたパラメータで、短光パルスの波形に依存して変化し、パルス波形がガウシアン型の場合 0 . 4 4 1 となり、ハイパボリックセカント (sech) 型の場合 0 . 3 1 5 となる。

【 0 0 5 5 】

式 (1 5) を見ると、短光パルスのスペクトル幅 λ_{FWHM} が広いほど、短光パルスを照射する対象物における 2 次非線形光学効果により発生する信号の光量 F_{noD} が高いことがわかる。

40

【 0 0 5 6 】

しかし、一般にスペクトル幅が広がると、群速度分散スロープに起因する短光パルスの波形歪みは大きくなることが知られている。

【 0 0 5 7 】

それは式 (1 1) からも見えて取れる。式 (1 1) は総群速度分散スロープ量とスペクトル波形の比を表しており、この値が大きくなるほど群速度分散スロープに起因する短光パルスの波形歪みは大きくなる。

【 0 0 5 8 】

50

そして、式(11)をスペクトル幅 λ_{FWHM} で表すと、以下のようになり、スペクトル幅が大きいほど式(11)の値も大きくなることわかる。

【数8】

$$\frac{D_{3d}}{T_0^3} = \frac{D_{3d}}{(T_{FWHM}/b)^3} = b^3 D_{3d} \left(\frac{c\lambda_{FWHM}}{a\lambda_c^2} \right)^3 \propto \lambda_{FWHM}^3 \quad (24)$$

【0059】

ここで、 b は T_0 と T_{FWHM} を関係付けるパラメータであり、式(25)のように定義され、パルス波形がガウシアン型の場合1.665、ハイパボリックセカント(sech)型の場合1.763となる。

10

【数9】

$$T_{FWHM} = bT_0 \quad (25)$$

【0060】

よって、以上の議論により、非線形光学装置内の群速度分散スロープが存在する場合、短光パルス照射する対象物に2次非線形光学効果を最も効率良く発生させる、最適な短光パルスのスペクトル幅が存在することがわかる。

【0061】

しかし、そのような最適なスペクトル幅が存在し、その最適なスペクトル幅を具体的に導出した文献は見当たらない。本発明では、その最適なスペクトル幅を群速度分散スロープの関数として導出した。

20

【0062】

以下、非線形光学装置内に群速度分散スロープが存在するときの、短光パルス照射する対象物における2次非線形光学効果の効率の導出について説明する。

【0063】

短光パルス伝送系内における総群速度分散スロープ量を考慮すると、短光パルス波形の崩れによる影響で、信号光の光量 F_{noD} は、式(23)に以下の式(26)を乗じたものとなる。

【数10】

$$\frac{(a\lambda_c^2/c\lambda_{FWHM})^3}{(a\lambda_c^2/c\lambda_{FWHM})^3 + k \cdot D_{3d}} \quad (26)$$

30

ここで、 k は短光パルスの波形により定まるパラメータであり、 D_{3d} は総群速度分散スロープ量である。

【0064】

また、 k は総群速度分散スロープと短光パルスの波形とスペクトル幅とを変えて実験した結果、求められたパラメータであり、パルス波形がガウシアン型の場合0.535となり、ハイパボリックセカント(sech)型の場合0.370となる。もし、ガウシアン型とsech型の中間のパルス波形の場合、これら2値の中間の値をとる。

40

【0065】

すると、短光パルスが照射される対象物において2次非線形光学効果により発生する信号の光量 F は、式(23)と式(26)を掛け合わせた以下の式(27)のように表される。

【0066】

【数11】

$$F = \frac{A \cdot P_{ave}^2}{f_{rep}} \cdot \frac{(a\lambda_c^2/c\lambda_{FWHM})^2}{(a\lambda_c^2/c\lambda_{FWHM})^3 + k \cdot D_{3d}} \quad (27)$$

50

図 3 は、この式 (2 7) を短光パルスのスペクトル幅に關係するパラメータ ($a \lambda_c^2 / c \lambda_{FWHM}$) を横軸にとり、グラフに表したものである。

【 0 0 6 7 】

図 3 に示されるように、短光パルス伝送系内における総群速度分散スロープ量が無視できないほど大きい場合、対象物に短光パルスを照射して 2 次非線形光学効果により発生する信号の光量 F には、おおよそ最大 (F_{MAX}) となる短光パルスのスペクトル範囲 $\lambda_1 < \lambda_{FWHM} < \lambda_2$ があり、そこから大きく外れると 2 次非線形光学効果により発生する信号の光量 F が著しく低下する。

【 0 0 6 8 】

ここで、2 光子蛍光観察における蛍光強度や短光パルスを照射する対象物の熱損傷などを考慮すると、2 次非線形光学効果により発生する光量が最も高い値 (F_{MAX}) から光量 F がその 5 0 % ($\alpha = 0.5$) に落ちるまでのスペクトル範囲 ($\lambda_1 < \lambda_{FWHM} < \lambda_2$) の λ_{FWHM} を有する短光パルスを用いることが好ましい。更に、検出器の感度などを考えるとより好ましくは F_{MAX} の 6 0 % 以上、更には観察対象によっては 7 0 % 以上、また、微弱なシグナルを検出する場合は 8 0 % 以上となる範囲の λ_{FWHM} が好ましい。

10

【 0 0 6 9 】

この最適な短光パルスのスペクトル幅 λ_{FWHM} の範囲 λ_1 、 λ_2 は以下の式 (2) ~ (8) から求められる。

【 数 1 2 】

20

$$\lambda_1 = \frac{a \lambda_c^2}{c T_2} \quad (2)$$

$$\lambda_2 = \frac{a \lambda_c^2}{c T_1} \quad (3)$$

$$T_1 = 2\sqrt{-p} \cos\left(\frac{u}{3} + \frac{4\pi}{3}\right) + \frac{(kD_{3rd})^{1/3}}{\alpha \cdot 2^{2/3}} \quad (4)$$

30

$$T_2 = 2\sqrt{-p} \cos\left(\frac{u}{3}\right) + \frac{(kD_{3rd})^{1/3}}{\alpha \cdot 2^{2/3}} \quad (5)$$

$$p = -\left(\frac{-1}{\alpha 2^{2/3} (kD_{3d})^{-1/3}}\right)^2 \quad (6)$$

$$u = \cos^{-1}\left(\frac{q}{p\sqrt{-p}}\right) \quad (7)$$

40

$$q = -\left(\frac{-1}{\alpha 2^{2/3} (kD_{3rd})^{-1/3}}\right)^3 + \frac{kD_{3rd}}{2} \quad (8)$$

a, k : パルス波形に依存して決定されるパラメータ

λ_c : パルスの中心波長

c : 光速

D_{3d} : 総群速度分散スロープ量

$\alpha = 0.5$

【 0 0 7 0 】

50

ここで、 a は前述の通り、短光パルスの前記フーリエ変換限界を規定する時間幅と周波数（スペクトル）幅を掛け合わせたパラメータで、短光パルスの波形に依存して変化し、パルス波形がガウシアン型の場合 0.441 となり、ハイパボリックセカント（*sech*）型の場合 0.315 となる。

【0071】

k は前述の通り、実験より求めた、短光パルスの波形に依存して変化するパラメータであり、パルス波形がガウシアン型の場合 0.535 となり、ハイパボリックセカント（*sech*）型の場合 0.370 となる。また、ガウシアン型と *sech* 型の中間のパルス波形の場合、 a 、 k は、それぞれ上述の 2 値の中間の値をとる。

【0072】

したがって、本発明の非線形光学装置は、群速度分散スロープを補償するための機構を設けなくとも、スペクトル幅 λ_{FWHM} が上記要件を満足するようにすれば、群速度分散スロープによる光パルスの時間幅の広がりや波形崩れの影響を低減した高ピークパワーの短光パルスを対象物に照射できる。

【0073】

以下、本発明の実施の形態について、図面を参照して説明する。

【0074】

（第 1 実施の形態）

図 4 は、本発明の第 1 実施の形態に係る小型顕微鏡非線形光学装置 10 の概略構成図である。本実施の形態は、顕微鏡を小型化したマイクロヘッド 14 をマウスなどの実験小動物の頭部に固定して、麻酔をかけない状態でマウスの脳などの臓器を観察できるようにしたものである。

【0075】

この小型顕微鏡非線形装置は、チャープしたガウシアン型短光パルスを発生する短光パルス源 11、レンズ 12、中空コアフォトニック結晶ファイバ 13、マイクロヘッド 14、マルチモード光ファイバ 15、レンズ 16、バリアフィルタ 17 および検出器 18 を含んで構成されている。

【0076】

短光パルス源 11 は、チャープした短光パルスを出射する短光パルス源であり、例えば、チタンサファイアレーザを用いた波長 800 nm の近赤外領域のガウシアン型短光パルスを発生する光源であり、平均パワーは 2 W、繰り返し周波数は 80 MHz、時間幅（半値全幅）は 300 fs、スペクトル幅（半値全幅）は 7.8 nm で、チャープした短光パルスを出射する。

【0077】

中空コアフォトニック結晶ファイバ 13 は、800 nm の波長の光に対して群速度分散はゼロである。しかし、レンズ 12 などの光学系の群速度分散は存在するため、マウスなどの短光パルスを照射する観察対象 19 上でほぼチャープのないパルスとなるように、あらかじめ短光パルス源 11 内でチャープが付加されるように構成されている。

【0078】

図 4 に示すように、短光パルス源 11 を出射した短光パルスは、レンズ 12 を用いて中空コアフォトニック結晶ファイバ 13 に入射し、この中空コアフォトニック結晶ファイバ 13 を通って、観察対象 19 である例えばマウスの頭部に取付けられ固定されたマイクロヘッド 14 に伝送される。

【0079】

図 5 は、図 4 のマイクロヘッド 14 の詳細な構成を示す図である。マイクロヘッド 14 は、ピエゾ X Y スキャナ 14 a、レンズ 14 b、分光ミラー 14 c、対物レンズ 14 d、バリアフィルタ 14 e およびレンズ 14 f を含んで構成される。ピエゾ X Y スキャナ 14 a は、マイクロヘッド 14 内へ導入された中空コアフォトニック結晶ファイバ 13 の先端部と結合している。また、分光ミラー 14 c は、短光パルスを透過させ、短光パルスの照射により観察対象物から発生する信号光を反射させるスペクトル特性を有する。中空コア

10

20

30

40

50

フォトニック結晶ファイバ 13 を出射した短光パルスは、レンズ 14 b でコリメートされ、分光ミラー 14 c を透過して対物レンズ 14 d により観察対象 19 であるマウスの所望の位置を照射する。その際、ピエゾ X Y スキャナ 14 a を駆動することにより、観察対象 19 上のパルス照射位置を順次走査させる。

【0080】

例えば、観察対象 19 がマウスの脳の場合、短光パルスの照射により発生した 2 光子蛍光や第二高調波等は、対物レンズ 14 d を経て分光ミラー 14 c で反射され、短光パルスによる迷光をカットするためのバリアフィルタ 14 e を透過して、レンズ 14 f により集光されマルチモードファイバ 15 に入射する。

【0081】

その後、図 4 に示すように、信号光は口径の大きいマルチモードファイバ 15 を通り、レンズ 16、バリアフィルタ 17 を経て検出器 18 によって検出される。検出器 18 はピエゾ X Y スキャナ 14 a とともに図示しない画像処理装置に接続され、検出器 18 で得られる信号光強度と観察対象 19 上の短光パルス照射位置との情報に基づいて、2 次元顕微鏡画像が形成される。

【0082】

図 6 は、第 1 実施の形態における、2 次非線形光学効果により発生する信号光量 F と短光パルス源から射出される光パルスの $a \lambda_c^2 / c \lambda_{FWHM}$ との関係を示すグラフである。そして、観察対象 19 であるマウスに 2 次非線形光学効果を効率よく発生させるには、

$$0.065 < a \lambda_c^2 / c \lambda_{FWHM} < 0.434$$

を満たす短光パルスを照射するのが好ましい。ここから、最適な短光パルスのスペクトル幅（半値全幅）の範囲を求めた結果、

$$\lambda_1 = 2.2 \text{ nm}$$

$$\lambda_2 = 14.5 \text{ nm}$$

となった。

【0083】

よって、短光パルスを照射する観察対象に 2 次非線形光学効果を効率良く発生させるには、

$$2.2 \text{ nm} < \lambda_{FWHM} < 14.5 \text{ nm}$$

を満たすスペクトル幅の短光パルスを用いると良い。短光パルス源 11 から発せられる短光パルスのスペクトル幅（半値全幅）である 7.8 nm は、この範囲内に属している。

【0084】

また、短光パルス源 11 を出射した直後の短光パルスは、

$$T_{FWHM} \times f_{FWHM} = 1.2$$

となっている。

【0085】

これによって、中空コアフォトニック結晶ファイバ 13 は、 800 nm の波長の光に対して群速度分散はゼロである。しかし、レンズ 12 などの光学系の群速度分散は存在するため、マウスなどの短光パルスを照射する観察対象 19 上でほぼチャープのないパルスとなるように、あらかじめ短光パルス源 11 内でチャープが付加されるように構成されていることで、回折格子対などの分散補償器を新たに設ける必要がなくなる。

【0086】

なお、本実施の形態では短光パルス源 11 から出射される短光パルスは、チャープされている状態で出射されたとしたが、観察対象物上でほぼチャープのないパルスとなるように短光パルス伝送系が構成されていれば、短光パルス源 11 で発生するパルスが、チャープのほとんどないフーリエ変換限界パルスとして出射されても同様の効果が得られる。

【0087】

上記 λ_{FWHM} の好適な範囲の導出において、短光パルス源 11 からはガウシアン型短光パルスが発生するとして、

10

20

30

40

50

$$a = 0.441$$

$$k = 0.535$$

$$D_{3d} = 0.003 \text{ ps}^3$$

$$\alpha = 0.5$$

とし、これらのパラメータを式(2)から(8)に代入して求めた。

【0088】

ここで、 k と D_{3d} との導出過程を簡単に説明する。まず、 k は短光パルスの波形に依存するパラメータであり、 $k = k_1 \times k_2$ のように2つに分けることができる。

【0089】

短光パルスが群速度分散スロープで波形歪みを起こした場合、その波形歪みにより、短光パルスが照射される対象から2次非線形光学効果により発生する信号光量 F が減少する。 k_1 はその減少に関する係数を表している。

【0090】

具体的に説明すると、群速度分散スロープがない、もしくはほとんど無視できる場合は、短光パルスが照射される対象物において2次非線形光学効果により発生する信号の光量 F_{noD} は上述のように式(23)で表すことができた。

【数13】

$$F_{noD} = \frac{A \cdot P_{ave}^2}{f_{rep}} \cdot \frac{c\lambda_{FWHM}}{a\lambda_c^2} \quad (23)$$

20

【0091】

しかし、系内の群速度分散スロープ量が無視できない場合、式(26)を式(23)に乗じたものとなる。

【数14】

$$\frac{\left(a\lambda_c^2/c\lambda_{FWHM}\right)^3}{\left(a\lambda_c^2/c\lambda_{FWHM}\right)^3 + k \cdot D_{3d}} \quad (26)$$

【0092】

この式(26)を書き換えると、以下ようになる。

【数15】

$$\begin{aligned} \frac{\left(a\lambda_c^2/c\lambda_{FWHM}\right)^3}{\left(a\lambda_c^2/c\lambda_{FWHM}\right)^3 + k \cdot D_{3d}} &= \frac{1}{1 + \frac{k \cdot D_{3d}}{\left(a\lambda_c^2/c\lambda_{FWHM}\right)^3}} \\ &= \frac{1}{1 + \frac{k_1 \cdot k_2 \cdot D_{3d}}{\left(a\lambda_c^2/c\lambda_{FWHM}\right)^3}} \\ &= \frac{1}{1 + \frac{k_1 \cdot k_2 \cdot D_{3d}}{T_{FWHM}^3}} \quad (28) \\ &= \frac{1}{1 + \frac{k_1 \cdot D_{3d}}{T_0^3}} \end{aligned}$$

40

【0093】

2次非線形光学効果により発生する信号の光量 F は、式(23)に式(28)を乗じた

50

ものとなる。したがって、式(28)は、フーリエ変換限界におけるパルス時間幅(T_0)の異なる光源を用意し、 D_{3d} の群速度分散スロープを持つ光学系に入射させ、2次非線形光学効果により発生する信号光量を見積もると、 k_1 の増加とともに信号光量 F が減少することを示し、 k_1 はこのときの係数を表しており、実験結果により求められた値である。この値は、ガウシアン型短光パルスでは、 $k_1 = 0.116$ となる。

【0094】

また、 k_2 は、短光パルス波形の半値全幅 T_{FWHM} と、信号強度が $1/e$ になる幅 T_0 との比の3乗である。よって、

【数16】

$$T_{FWHM} = \sqrt[3]{k_2} \cdot T_0 \quad (29)$$

と表され、ガウシアン型パルスでは $k_2 = 1.665^3$ となる。

【0095】

したがって、 k は k_1 、 k_2 を掛け合わせて 0.535 と算出される。

【0096】

次に群速度分散スロープ D_{3d} の値の導出方法を説明する。 D_{3d} は、中空コアフォトニック結晶ファイバ13から発生する D_{3d1} のみを考えればよい。それは中空コアフォトニック結晶ファイバ13から発生する群速度分散スロープと比較して、その他のレンズ32などから発生する群速度分散スロープ量は非常に小さいため、無視することができるためである。また、短光パルス源11の3次以上の高次位相スペクトル変化も無視することができる。

【0097】

よって、長さ3mの中空コアフォトニック結晶ファイバ33から発生する D_{3d1} は、波長800nmでは

$$D_{3d1} = 0.003 \text{ ps}^3$$

なので、総群速度分散スロープ D_{3d} は、

$$D_{3d} = 0.003 \text{ ps}^3$$

となる。

【0098】

以上説明したように、本実施の形態によれば、ガウシアン型の短光パルス源および短光パルス伝送系を備える非線形光学装置であって、非線形光学装置内で発生する非線形光学効果が実質的に無く、非線形光学装置内の群速度分散量が実質的に無く、且つ、前記短光パルス源が発生する短光パルスのスペクトル幅(半値全幅) λ_{FWHM} が、式(2)~(8)に基づいて求めた式(1)の範囲 $2.2 \text{ nm} < \lambda_{FWHM} < 14.5 \text{ nm}$ を満たすので、群速度分散スロープによる光パルスの時間幅の広がりや波形崩れを低減した高ピークパワーの短光パルスを対象物に照射することができる。

【0099】

また、式(19)、(20)、(21)の条件が満たされる場合、非線形光学装置内の非線形光学効果および群速度分散効果が無視できるほど小さいので、群速度分散スロープの存在に起因する短光パルスの波形変化が顕著に現れるので、上記時間幅の超短パルスを使用することが特に有効である。

【0100】

また、中空コアフォトニック結晶ファイバ13を備え、短光パルス源11がこの中空コアフォトニック結晶ファイバ13の群速度分散がゼロとなる波長の光を出射することによって、前記短光パルス伝送系の群速度分散を補償するような分散発生装置を備える必要がなくなり、装置構成が単純となる。

【0101】

さらに、短光パルス源11が、非線形光学装置内の総群速度分散がゼロになる波長の短光パルスを出射することによって、中空コアフォトニック結晶ファイバとその他の光学系(対物レンズなど)の群速度分散の総和がゼロになり、装置構成が単純となるとともに、

10

20

30

40

50

短光パルス照射する対象物に、ピークパワーの高い短光パルスを照射し、非線形光学効果を効率良く発生させることができる。

【0102】

また、短光パルス源11が発生する短光パルスのスペクトル幅が0.5nm以上なので、対象物に照射する短光パルスが、高ピークパワーのパルスとなり、対象物内で高い2次非線形光学効果が生じることが期待できる。

【0103】

(第2実施の形態)

図7は、本発明の第2実施の形態に係る内視鏡非線形光学装置20の概略構成図である。本実施の形態は、図4の第1実施の形態において、マイクロヘッド14を硬性部21として、これに接続される中空コアフォトニック結晶ファイバ13とマルチモードファイバ15とを1本に束ねて可撓性の挿入部22とし、単独でもしくは既存の内視鏡の鉗子穴に挿入するなどして使用することにより、内視鏡非線形装置20として使用するものである。これによって、内視鏡として利用しても、第1実施の形態と同様の効果が得られる。

10

【0104】

(第3実施の形態)

図8は、本発明の第3実施の形態に係る顕微鏡非線形光学装置30の概略構成図である。

この顕微鏡非線形光学装置30は、sech型短光パルスを発生する短光パルス源31、レンズ32、中空コアフォトニック結晶ファイバ33、レンズ34、分散発生装置35、ガルバノミラー36、分光ミラー37、対物レンズ38、バリアフィルタ41および検出器42を含んで構成されている。

20

【0105】

短光パルス源31は、例えば、チタンサファイアレーザを用いた波長1030nmの近赤外領域のsech型短光パルスを発生する光源であり、平均パワーは0.5W、繰り返し周波数は80MHz、時間幅(半値全幅)は370fs、スペクトル幅(半値全幅)は1nmで、チャープした短光パルスを出射する。

【0106】

レンズ32、中空コアフォトニック結晶ファイバ33、レンズ34、分散発生装置35、ガルバノミラー36、分光ミラー37、対物レンズ38は、短光パルス源31を出射した短光パルスを観察対象の観察対象39まで伝送する短光パルス伝送系を構成する。ここで、分光ミラー37は、短光パルス源から伝送された短光パルスを反射させ、短光パルスの照射により観察対象から発生する信号光は透過させる周波数特性を有する、ダイクロイックミラーである。

30

【0107】

分散発生装置35は、短光パルス源31の2次のスペクトル位相変化と、レンズ32から観察対象39までの光学系の総群速度分散とを補償する装置である。

【0108】

図9は、回折格子を用いた公知の分散発生装置35の詳細な構成を示す図である。分散発生装置35は、回折格子35a、35d、レンズ35b、35cおよびミラー35e、35fを含んで構成される。短光パルス源31から射出されたチャープした短光パルスは、回折格子35aに入射し回折される際に、波長成分により角度分散が生じる。さらに、角度分散により広げられた短光パルスは、レンズ35b、35cを経て回折格子35dで再び回折され平行光になり、ミラー35eにより反射される。反射された光は、回折格子35d、レンズ35c、35bおよび回折格子35aを経由して、ミラー35fで反射されて出射する。これにより発生する群速度分散により、短光パルス源31の2次のスペクトル位相変化と、レンズ32から観察対象39までの光学系の総群速度分散が補償される。

40

【0109】

分散発生装置35は、回折格子を含むものに限られず、プリズム、ガラスブロック、チ

50

ャーブミラーなどを用いた波長分散を発生する装置であれば良い。

【 0 1 1 0 】

次に顕微鏡非線形光学装置の装置全体の作用について説明する。短光パルス源 3 1 から射出された光はレンズ 3 2 を経由して、中空コアフォトニック結晶ファイバ 3 3 に入射する。中空コアフォトニック結晶ファイバ 3 3 から出射した短光パルスは、レンズ 3 4 でコリメートされ、分散発生装置 3 5 に入射し分散を受ける。

【 0 1 1 1 】

分散発生装置 3 5 から出射した短光パルスはガルバノミラー 3 6 で順次反射され、分光ミラー 3 7 で反射され、対物レンズ 3 8 により集光されて観察対象 3 9 の所望の観察位置を照射する。その際、ガルバノミラー 3 6 を駆動することにより、観察対象 3 9 上のパルス照射位置を順次走査させる。

10

【 0 1 1 2 】

ここで、観察対象 3 9 は、マウスなどの実験小動物や人間の皮膚などであり、短光パルスの照射により、これら観察対象から 2 光子蛍光や第 2 高調波 (S H G) が発生する。

【 0 1 1 3 】

発生した 2 光子蛍光または第 2 高調波は、対物レンズ 3 8 を経て分光ミラー 3 7 を透過し、短光パルスによる迷光をカットするためのバリアフィルタ 4 1 を透過して、信号光として検出器 4 2 によって検出される。検出器 4 2 はガルバノミラー 3 6 とともに図示しない画像処理装置に接続され、検出器 4 2 で得られる信号光強度と観察対象 3 9 上の短光パルス照射位置の情報に基づいて、2 次元顕微鏡画像が形成される。

20

【 0 1 1 4 】

以上のような構成により、短光パルス源 3 1 および短光パルス伝送系内で非線形光学効果はほとんど生じず、また、短光パルス源 3 1 の 2 次のスペクトル位相変化と、レンズ 3 2 から観察対象 3 9 までの光学系の総群速度分散は、分散発生装置 3 5 によって補償される。

【 0 1 1 5 】

一方、中空コアフォトニック結晶ファイバ 3 3 などで主に発生する群速度分散スロープは補償されていない。さらに好適には、式 (1 9)、(2 0)、(2 1) の条件が満たされる。そこで、式 (2) および式 (3) により λ_1 、 λ_2 を求め、式 (1) に基づいて、好ましい短光パルスのスペクトル幅 (半値全幅) の範囲を求めることができる。

30

【 0 1 1 6 】

図 1 0 は、第 3 実施の形態における、2 次非線形光学効果により発生する信号光量 F と短光パルス源から射出される光パルスの $a \lambda_c^2 / c \lambda_{FWHM}$ との関係を示すグラフである。このグラフに示すように、

$$0.05 < a \lambda_c^2 / c \lambda_{FWHM} < 0.335$$

を満たす短光パルスが最適であり、ここから、最適な短光パルスのスペクトル幅 (半値全幅) の範囲を求めた結果、

$$\lambda_1 = 3.3 \text{ nm}$$

$$\lambda_2 = 22.3 \text{ nm}$$

となった。

40

【 0 1 1 7 】

よって、短光パルスを照射する観察対象に 2 次の非線形光学効果を効率良く発生させるには、

$$3.3 \text{ nm} < \lambda_{FWHM} < 22.3 \text{ nm}$$

を満たすスペクトル幅の短光パルスを用いると良い。

【 0 1 1 8 】

短光パルス源 3 1 から発せられる短光パルスのスペクトル幅 (半値全幅) である 1 1 nm は、この範囲内に属している。

【 0 1 1 9 】

また、短光パルス源 3 1 を出射した直後の短光パルスは、

50

$$T_{FWHM} \times f_{FWHM} = 1.15$$

となっている。これによって、光源から出射した短光パルスのピークパワーが非常に高い場合、その後の光学素子（図示していないが、波長板など）の反射防止コートが焦げるなどの損傷が発生する場合がある。そのため、あらかじめ光源出射短光パルスにチャープを与えておき、ピークパワーを下げることで損傷の発生を抑えることができる。

【0120】

本実施の形態も第1および第2実施の形態と同様に、短光パルス源から出射される短光パルスは、チャープされている状態で出射されるとしたが、チャープのほとんどないフーリエ変換限界パルスとして出射されても同様の効果が得られるため、短光パルス源から出射される短光パルスにチャープがほとんどなくても良い。

10

【0121】

上記 λ_{FWHM} の好適な範囲の導出において、短光パルス源31からは *sech* 型短光パルスが発生するとして、

$$a = 0.315$$

$$k = 0.37$$

$$D_{3d} = 0.002 \text{ ps}^3$$

$$\alpha = 0.5$$

とし、これらのパラメータを式(4)から(8)に代入して求めた。

【0122】

ここで、第1実施の形態と同様に、 k と D_{3d} との導出過程を簡単に説明する。まず、 k は短光パルスの波形に依存するパラメータであり、 $k = k_1 \times k_2$ のように2つに分けることができる。

20

【0123】

フーリエ変換限界におけるパルス時間幅 (T_0) の異なる光源を用意し、 D_{3d} の群速度分散スロープを持つ光学系に入射させ、2次非線形光学効果により発生する信号光量を見積もると、 k_1 の増加とともに信号光量 F が減少することを示し、 k_1 はこのときの係数を表し、*sech* 型短光パルスでは、 $k_1 = 0.0676$ となる。

【0124】

また、 k_2 は、短光パルス波形の半値全幅 T_{FWHM} と、信号強度が $1/e$ になる幅 T_0 との比の3乗であり、

30

【数17】

$$T_{FWHM} = \sqrt[3]{k_2} \cdot T_0 \quad (29)$$

と表され、*sech* 型パルスでは $k_2 = 1.763^3$ となる。

【0125】

したがって、 k は k_1 、 k_2 を掛け合わせて 0.37 と算出される。

【0126】

次に群速度分散スロープ D_{3d} の値の導出方法を説明する。 D_{3d} は、中空コアフォトニック結晶ファイバ33から発生する D_{3d1} と、分散発生装置から発生する D_{3d2} との和として計算した。これら中空コアフォトニック結晶ファイバなどから発生する群速度分散スロープと比較して、その他のレンズ32などから発生する群速度分散スロープ量は非常に小さいため、無視することができる。また、短光パルス源の3次以上の高次位相スペクトル変化も無視することができる。

40

【0127】

そして、中空コアフォトニック結晶ファイバ33から発生する D_{3d1} と、分散発生装置から発生する D_{3d2} は、

$$D_{3d1} = 0.003 \text{ ps}^3$$

$$D_{3d2} = -0.001 \text{ ps}^3$$

であり、総群速度分散スロープ D_{3d} は、

$$D_{3d} = 0.002 \text{ ps}^3$$

50

である。

【0128】

以上説明したように、本実施の形態によれば、sech型の短光パルス源および短光パルス伝送系を備える顕微鏡非線形光学装置であって、短光パルス源が発生する短光パルスのスペクトル幅（半値全幅）が、式（2）～（8）に基づいて求めた式（1）の範囲 $3 \text{ nm} < \lambda_{\text{FWHM}} < 22.3 \text{ nm}$ を満たすようにしたので、群速度分散スロープによる短光パルスの波形崩れを低減した高ピークパワーの短光パルスを対象物に照射することができる。

【0129】

また、式（19）、（20）、（21）の条件が満たされる場合、非線形光学装置内の非線形光学効果および群速度分散効果が無視できるほど小さいので、群速度分散スロープの存在に起因する短光パルスの波形変化が顕著に現れ、上記スペクトル幅の短光パルスを使用することが特に有効である。

10

【0130】

さらに、短光パルス源31の2次のスペクトル位相変化と、レンズ32から観察対象39までの光学系の総群速度分散を補償する分散発生装置35を設けたので、短光パルス伝送系などの非線形光学装置内で発生する群速度分散を補償し、短光パルスを照射する対象物に、ピークパワーの高い短光パルスを照射し、非線形光学効果を効率良く発生させることができる。

【0131】

なお、短光パルス源31はチャープした短光パルスを発生するが、図11のようにほとんどチャープしていない短光パルスを発生する短光パルス発生装置31aと、該チャープしていない短光パルスに、チャープを与えるチャープ付加装置31bとから構成しても良い。

20

【0132】

また、図8のように、分散発生装置をレンズ34直後に配置したが、これに限らず、短光パルス伝送系の任意の位置に配置することができる。

【0133】

（第4実施の形態）

図12は、本発明の第4実施の形態に係る顕微鏡非線形光学装置50の概略構成図である。

30

【0134】

この顕微鏡非線形光学装置は、sech型短光パルスを発生する短光パルス源51、レンズ52、中空コアフォトニック結晶ファイバ53、レンズ54、ガルバノミラー61、分光ミラー62、対物レンズ55、バリアフィルタ63および検出器64を含んで構成されている。これらのうち、ガルバノミラー61、分光ミラー62、バリアフィルタ63および検出器64は、顕微鏡本体60内に設けられている。

【0135】

短光パルス源51は、例えば、チタンサファイアレーザを用いた波長 1020 nm の近赤外領域のsech型短光パルスを発生する光源であり、平均パワーは 0.6 W 、繰り返し周波数は 80 MHz 、時間幅（半値全幅）は 120 fs 、スペクトル幅（半値全幅）は 9 nm で、ほぼチャープの無い短光パルスを出射する。

40

【0136】

更に、短光パルス源51にはスペクトル幅を調整する図示しないスペクトル幅調整機構が備えられ、短光パルスを照射する対象物における非線形光学効果が最も効率よく発生するスペクトル幅に調整可能であり、非線形光学装置の群速度分散スロープから導出された最適なスペクトル幅 9 nm に、あらかじめ調整してある。スペクトル幅調整機構としては、US7430071に記載されているようなPulse-Shaperなどがある。

【0137】

レンズ52、中空コアフォトニック結晶ファイバ53、レンズ54、ガルバノミラー6

50

1, 分光ミラー 62、対物レンズ 55 は、短光パルス源 51 を出射した短光パルスを観察対象 56 である生体まで伝送する短光パルス伝送系を構成する。ここで、分光ミラー 62 は、短光パルス源 51 から伝送された短光パルスを反射させ、短光パルスの照射により観察対象 56 から発生する信号光は透過させる周波数特性を有する、ダイクロイックミラーである。

【0138】

次に顕微鏡非線形光学装置 50 の装置全体の作用について説明する。短光パルス源 51 から射出された光はレンズ 52 を経由して、中空コアフォトニック結晶ファイバ 53 に入射する。中空コアフォトニック結晶ファイバ 53 から射出した短光パルスは、レンズ 54 でコリメートされ、ガルバノミラー対 61 で順次反射され、分光ミラー 62 で反射され、対物レンズ 55 により集光されて観察対象 56 の所望の観察位置を照射する。その際、ガルバノミラー 61 を駆動することにより、観察対象 56 上のパルス照射位置を順次走査させる。

10

【0139】

ここで、観察対象 56 は、マウスなどの実験小動物や人間の皮膚などであり、短光パルスの照射により、これら観察対象から 2 光子蛍光や第 2 高調波 (SHG) が発生する。

【0140】

発生した 2 光子蛍光または第 2 高調波は、対物レンズ 55 を経て分光ミラー 62 を透過し、短光パルスによる迷光をカットするためのバリアフィルタ 63 を透過して、信号光として検出器 64 によって検出される。

20

【0141】

以上のような構成により、短光パルス源 51 および短光パルス伝送系内で非線形光学効果はほとんど生じず、また、短光パルス源 51 からはほとんどチャープのない短光パルスが出射される。

【0142】

また、非線形光学装置 50 内における群速度分散がほぼゼロになるように波長が選択されている。具体的には、対物レンズ 55 など発生する正の群速度分散量と、中空コアフォトニック結晶ファイバ 53 で発生する負の群速度分散量の和がちょうどゼロになるような波長を選ぶことで達成される。

30

【0143】

よって、中空コアフォトニック結晶ファイバ 53 から発生する群速度分散 D_{2d1} と、対物レンズなどから発生する D_{2d2} は、

$$D_{2d1} = -0.03 \text{ ps}^2$$

$$D_{2d2} = 0.03 \text{ ps}^2$$

であり、総群速度分散 D_{2d} は、

$$D_{2d} = D_{2d1} + D_{2d2} = 0.0 \text{ ps}^2$$

であり、分散発生装置などの複雑な機構を設けることなく、非線形光学装置内の群速度分散量をゼロにすることができる。

【0144】

一方、中空コアフォトニック結晶ファイバ 53 など主発生する群速度分散スロープは補償されていない。さらに好適には、式 (19)、(20)、(21) の条件が満たされる。そこで、式 (2) および式 (3) により λ_1 、 λ_2 を求め、式 (1) に基づいて、好ましい短光パルスのスペクトル幅 (半値全幅) の範囲を求めることができる。

40

【0145】

図 13 は、第 4 実施の形態における、2 次非線形光学効果により発生する信号光量 F と短光パルス源から射出される光パルスの $a\lambda_c^2 / c\lambda_{FWHM}$ との関係を示すグラフである。その結果、

$$0.058 < a\lambda_c^2 / c\lambda_{FWHM} < 0.384$$

を満たす短光パルスが最適であり、ここから、最適な短光パルスのスペクトル幅 (半値全幅) の範囲を求めた結果、

50

$\lambda_1 = 2.8 \text{ nm}$
 $\lambda_2 = 18.8 \text{ nm}$
 となった。

【0146】

よって、短光パルスを照射する観察対象に2次の非線形光学効果を効率良く発生させるには、

$2.8 \text{ nm} < \lambda_{FWHM} < 18.8 \text{ nm}$

を満たすスペクトル幅の短光パルスを用いると良い。

【0147】

短光パルス源51から発せられる短光パルスのスペクトル幅（半値全幅）である9 nmは、この範囲内に属している。

【0148】

また、短光パルス源51を出射した直後の短光パルスは、 $T_{FWHM} \times f_{FWHM} = 0.315$ となっているが、このようにチャープのない短光パルスについても、第1～第3実施の形態と同様に、最適なスペクトル幅が求められる。

【0149】

上記 λ_{FWHM} の好適な範囲の導出において、短光パルス源51からはsech型短光パルスが発生するとして、

$a = 0.315$

$k = 0.37$

$D_{3d} = 0.003 \text{ ps}^3$

$\alpha = 0.5$

とし、第1実施の形態と同様にこれらのパラメータを式(4)から(8)に代入して求めた。

【0150】

以上説明したように、本実施の形態によれば、sech型の短光パルス源および短光パルス伝送系を備える顕微鏡非線形光学装置であって、短光パルス源が発生する短光パルスのスペクトル幅（半値全幅）が、式(2)～(8)に基づいて求めた式(1)の範囲 $2.8 \text{ nm} < \lambda_{FWHM} < 18.8 \text{ nm}$ を満たすようにしたので、群速度分散スロープによる短光パルスの波形崩れを低減した高ピークパワーの短光パルスを対象物に照射することができる。

【0151】

また、スペクトル幅調整機構を備えたので、非線形光学効果を効率良く発生させることができるように、非線形光学装置内の総群速度分散スロープから計算される最適なスペクトル幅を設定することができる。これによって、より高ピークパワーの短光パルスを対象物に照射することができる。

【0152】

以下の第5～第8実施の形態では、短光パルス源1は、式(22)を満たすフーリエ変換限界（以下、変換限界という）に近い短光パルスを発生するものとする。 $T_{FWHM} \cdot f_{FWHM}$ が0.88を超えると、短光パルスを照射する対象物からの2次の非線形光学効果による信号光が完全な変換限界の半分程度以下となる。

【0153】

ここで $T_{FWHM} \cdot f_{FWHM}$ の計算は、以下の式を用いてスペクトル幅を波長幅に直すことによって計算することができる。

【0154】

【数18】

$$T_{FWHM} \cdot f_{FWHM} = T_{FWHM} \cdot \left(\frac{c\lambda_{FWHM}}{\lambda_c^2} \right) \quad (30)$$

ここで、 c は光速、 λ_c は短光パルスの中心波長、 λ_{FWHM} は波長幅（半値全幅）である。

【 0 1 5 5 】

上述のような条件下において、まず、短光パルス伝送系内の総群速度分散スロープ量を考慮しないで計算すると、短光パルスが照射される対象物において 2 次非線形光学効果により発生する信号の光量 F_{noD} [W] は、式 (2 3) の左側に示したように、以下の式 (3 1) のように表される。

【 0 1 5 6 】

【 数 1 9 】

$$F_{noD} = \frac{A \cdot P_{ave}^2}{f_{rep} \cdot T_{FWHM}} \quad (31)$$

10

ここで、 A は [1 / W] の次元を持つ係数、 P_{ave} は短光パルスの単位時間における平均パワー、 f_{rep} は短光パルスの繰り返し周波数、 T_{FWHM} は短光パルス時間幅（半値全幅）である。

【 0 1 5 7 】

式 (3 1) を見ると、短光パルス時間幅が短いほど、対象物における 2 次非線形光学効果により発生する信号の光量 F_{noD} が高いことがわかる。しかし、短光パルス伝送系内における総群速度分散スロープ量を考慮すると、短光パルス波形の崩れによる影響で、信号光の光量 F_{noD} は、式 (3 1) に以下の式 (3 2) を乗じたものとなる。

20

【 0 1 5 8 】

【 数 2 0 】

$$\frac{T_{FWHM}^3}{T_{FWHM}^3 + k \cdot D_{3d}} \quad (32)$$

ここで、 k は短光パルスの波形により定まるパラメータであり、 D_{3d} は総群速度分散スロープ量である。

【 0 1 5 9 】

すると、短光パルスが照射される対象物において 2 次非線形光学効果により発生する信号の光量 F は、式 (3 1) と式 (3 2) を掛け合わせた以下の式 (3 3) のように表される。

30

【 0 1 6 0 】

【 数 2 1 】

$$F = \frac{A \cdot P_{ave}^2}{f_{rep}} \cdot \frac{T_{FWHM}^2}{T_{FWHM}^3 + k \cdot D_{3d}} \quad (33)$$

【 0 1 6 1 】

図 1 4 は、この式 (3 3) を横軸に短光パルス幅 T_{FWHM} をとりグラフに表したものである。図 1 4 に示されるように、短光パルス伝送系内における総群速度分散スロープ量が無視できないほど大きい場合、対象物に短光パルスを照射して 2 次非線形光学効果により発生する信号の光量 F には、最大 (F_{MAX}) となる短光パルス時間幅があり、そこから大きく外れると 2 次非線形光学効果により発生する信号の光量 F が著しく低下する。

40

【 0 1 6 2 】

ここで、2 光子蛍光観察における蛍光強度や短光パルスを照射する対象物の熱損傷などを考慮すると、2 次非線形光学効果により発生する光量が最も高い値 (F_{MAX}) から光量 F がその 5 0 % ($\alpha = 0.5$) に落ちるまでの範囲 ($T_1 < T_{FWHM} < T_2$) の T_{FWHM} を有する短光パルスを用いることが好ましい。更に、検出器の感度などを考えるとより好ましくは F_{MAX} の 6 0 % 以上、更には観察対象によっては 7 0 % 以上、また、微弱なシグナルを検出する場合は 8 0 % 以上となる範囲の T_{FWHM} が好ましい。

【 0 1 6 3 】

50

この最適な短光パルス時間幅 T_{FWHM} の範囲 T_1 、 T_2 を式 (33) から求めると、
上述の式 (14) および (15) が得られる。

【0164】

【数22】

$$T_1 = 2\sqrt{-p} \cos\left(\frac{u}{3} + \frac{4\pi}{3}\right) + \frac{(kD_{3rd})^{1/3}}{\alpha \cdot 2^{2/3}} \quad (14)$$

$$T_2 = 2\sqrt{-p} \cos\left(\frac{u}{3}\right) + \frac{(kD_{3rd})^{1/3}}{\alpha \cdot 2^{2/3}} \quad (15)$$

10

ここで、 k は短光パルスの波形に依存して変化するパラメータであり、パルス波形がガウシアン型の場合 0.535 となり、ハイパボリックセカント (sech) 型の場合 0.370 となる。また、ガウシアン型と sech 型の中間のパルス波形の場合、この 2 値の中間の値をとる。

【0165】

したがって、本発明の非線形光学装置は、群速度分散スロープを補償するための機構を設けなくとも、パルス時間幅 T_{FWHM} が上記要件を満足するようにすれば、群速度分散スロープによる光パルスの時間幅の広がりや波形崩れの影響を低減した高ピークパワーの短光パルスを対象物に照射できる。

20

【0166】

以下、本発明の第 5 ～ 第 8 実施の形態について説明する。

【0167】

(第 5 実施の形態)

図 15 は、本発明の第 5 実施の形態に係る多光子顕微鏡の概略構成図である。

【0168】

この多光子顕微鏡は、チャープのない sech 型短光パルスを発生する短光パルス源 81、群速度分散補償装置 71、ビームエキスパンダ 72、ガルバノミラー 61a、61b、分光ミラー 62、対物レンズ 55、バリアフィルタ 63 および検出器 64 を含んで構成されている。ここで、第 4 実施の形態と同様の構成には、同一の参照符号を付している。

30

【0169】

短光パルス源 81 は、例えば、チタンサファイアレーザを用いた波長 980 nm の近赤外領域の sech 型短光パルスを発生する光源であり、平均パワーは 1 W、繰り返し周波数は 80 MHz、時間半値全幅は 80 fs、スペクトル幅は 13 nm である。

【0170】

群速度分散補償装置 71、ビームエキスパンダ 72、ガルバノミラー 61a、61b、分光ミラー 62、対物レンズ 55 は、短光パルス源 81 を出射した短光パルスを観察対象の観察対象 56 まで伝送する短光パルス伝送系を構成する。

【0171】

群速度分散補償装置 71 は、短光パルス源 81 から観察対象 56 までの光学系の総群速度分散量を補償する装置である。群速度分散補償装置 71 は、例えば、プリズムペアを使用したものが知られており、図 16 に示すように、プリズム 71a、71b およびミラー 71c、71d により構成される。プリズム 71a、71b の間隔はおよそ 75 cm で、用いるプリズムは硝材 SF58 で構成されたプリュースタープリズムである。

40

【0172】

図 16 の群速度分散補償装置 71 の作用を簡単に説明すると、短光パルス源 81 から射出された短光パルスは、プリズム 71a に入射し、これを通過する際、ガラスの屈折率分散による角度分散が生じる。さらに、角度分散により広げられた短光パルスは、プリズム 71b を通過して平行になり、ミラー 71c により反射される。反射された光は、プリズム 71b、71a を通過しミラー 71d で反射されて出射する。これにより発生する負の

50

群速度分散により、非線形光学装置内の群速度分散が補償される。

【 0 1 7 3 】

次に多光子顕微鏡の装置全体の作用について説明する。短光パルス源 8 1 から射出された光は、群速度分散補償装置 7 1 を経由して、レンズ 7 2 a および 7 2 b より構成されるビームエキスパンダ 7 2 によりビーム径が拡大される。ビームエキスパンダ 7 2 を出射した短光パルスは、ガルバノミラー 6 1 a および 6 1 b で順次反射され、分光ミラー 6 2 で反射される。以降の顕微鏡本体 6 0 内での作用は、第 4 実施の形態と同様である。

【 0 1 7 4 】

以上のような構成により、短光パルス源 8 1 および短光パルス伝送系内で非線形光学効果はほとんど生じず、また、ビームエキスパンダ 7 2 や対物レンズ 5 5 等で発生する群速度分散は、群速度分散補償装置 7 1 によって補償される。一方、群速度分散スロープは補償されていない。さらに、好適には、式 (1 9)、(2 0)、(2 1) の条件が満たされる。そこで、式 (1 4) および式 (1 5) により T_1 、 T_2 を求め、式 (1 3) に基づいて、好ましい短光パルスの時間幅 (半値全幅) を求めることができる。

【 0 1 7 5 】

図 1 7 は、第 5 実施の形態における、2 次非線形光学効果により発生する信号光量 F と短光パルス源から射出される光パルスのパルス時間幅 T_{FWHM} との関係を示すグラフである。最適な短光パルス時間幅 (半値全幅) の範囲を求めた結果、

$$T_1 = 1.2 \text{ [fs]}$$

$$T_2 = 8.3 \text{ [fs]}$$

となった。

【 0 1 7 6 】

よって、短光パルスを照射する観察対象に 2 次の非線形光学効果を効率良く発生させるには、

$$1.2 \text{ [fs]} < T_{FWHM} < 8.3 \text{ [fs]}$$

を満たす時間幅の短光パルスを用いると良い。短光パルス源 8 1 から発せられる短光パルス時間幅 (半値全幅) である 8.0 [fs] は、この範囲内に属している。

【 0 1 7 7 】

また、短光パルス源 8 1 を出射した直後の短光パルスは、 $T_{FWHM} \times f_{FWHM} = 0.33$ となり、式 (2 2) の条件を満たしている。

【 0 1 7 8 】

上記 T_{FWHM} の好適な範囲の導出において、短光パルス源 8 1 からは *sech* 型短光パルスが発生するとして、

$$k = 0.37$$

$$D_{3d} = 0.00003 \text{ [ps }^3 \text{]}$$

$$\alpha = 0.5$$

とした。

【 0 1 7 9 】

ここで、 D_{3d} は、ビームエキスパンダ 7 2 などのレンズから発生する D_{3d1} と、群速度分散補償装置 (プリズム対) から発生する D_{3d2} との和として計算した。前者は、使用しているレンズ材料屈折率の波長依存性を表すセルマイヤー方程式から求め、後者は、論文 (R.L.Fork, O.E.Martinez, and J.p.Gordon, "Negative dispersion using pairs of prisms," Opt. Lett., 9, pp.150 (1984)) に掲載のプリズム対からの群速度分散スロープを見積もる式から計算した。

【 0 1 8 0 】

以上説明したように、本実施の形態によれば、*sech* 型の短光パルス源および短光パルス伝送系を備える非線形光学装置であって、装置内で発生する群速度分散スロープにより生じる短光パルスの変形による広がりが、装置内で発生する非線形光学効果と群速度分散とにより生じる短光パルスの変形による広がりよりも大きく、且つ、短光パルス源が発生する短光パルスの時間幅 (半値全幅) が、 $1.2 < \text{[fs]} T_{FWHM} < 8.3 \text{ [fs]}$ を

10

20

30

40

50

満たすようにしたので、群速度分散スロープによる光パルスの時間幅の広がりや波形崩れを低減した高ピークパワーの短光パルスを対象物に照射することができる。

【0181】

また、式(19)、(20)、(21)の条件が満たされる場合、非線形光学装置内の非線形光学効果および群速度分散効果が無視できるほど小さいので、群速度分散スロープの存在に起因する短光パルスの波形変化が顕著に現れるので、上記時間幅の超短パルスを使用することが特に有効である。

【0182】

なお、群速度分散補償装置は、短光パルス源の直後に配置したが、これに限られず、総群速度分散を補償するために、短光パルス伝送系の任意の位置に配置することができる。また、群速度分散補償装置は、プリズム対を使ったものに限られず、回折格子対を用いたもの(第3実施の形態の分散発生装置と同様のもの)など、群速度分散を補償する種々の装置を利用することができる。

【0183】

(第6実施の形態)

図18は、本発明の第6実施の形態に係る多光子顕微鏡の概略構成図である。本実施の形態は、既存の多光子顕微鏡に本発明を適用したものである。

【0184】

この多光子顕微鏡は、チャープのないガウシアン型短光パルスを発生する短光パルス源82、レンズ52、中空コアフォトニック結晶ファイバ53、レンズ54および既存の顕微鏡装置60を含んで構成されている。

【0185】

短光パルス源82は、例えば、チタンサファイアレーザを用いた波長980nmの近赤外領域のガウシアン型短光パルスを発生する光源であり、平均パワーは1W、繰り返し周波数は80MHz、パルス時間半値全幅は148fs、スペクトル幅は15nmである。

【0186】

短光パルス源82を出射した短光パルスは、レンズ52を用いて長さ3mの中空コアフォトニック結晶ファイバ53に入射し、この中空コアフォトニック結晶ファイバ53を通った後、レンズ54を用いて平行ビームとして顕微鏡装置60に供給される。一般に中空コアフォトニック結晶ファイバの群速度分散量と群速度分散スロープ量とは非常に大きい。が、伝送される光の波長を選択することによって、群速度分散量をゼロにすることができる。本実施の形態の中空コアフォトニック結晶ファイバ53は、短光パルス源82の発生する短光パルスの波長980nmで、群速度分散量がゼロになるものを用いる。

【0187】

顕微鏡本体60は、ガルバノミラー対61、分光ミラー62、対物レンズ55、バリアフィルタ63および検出器63を含んで構成されている。ここで、ガルバノミラー対は、観察対象56を走査するための2組のガルバノミラーであり、第5実施の形態における2つのガルバノミラー61aおよび61bと同様の構成、作用を有している。また、顕微鏡本体60内のその他の構成も、第4および第5実施の形態と同様であるので、同様の構成要素には同一参照符号を付して説明を省略する。

【0188】

なお、レンズ52、中空コアフォトニック結晶ファイバ53、レンズ54、ガルバノミラー対61、分光ミラー62、対物レンズ55は、短光パルス伝送系を構成する。

【0189】

以上のような構成によって、短光パルス光源82と顕微鏡装置60との間を、中空コアフォトニック結晶ファイバ53で接続するようにしたので、顕微鏡装置60から離れた場所に短光パルス源82を配置することができる。また、このような配置にすることで、短光パルス源82からの短光パルスを、空間を伝播させ顕微鏡本体60に導入する第5実施の形態のような場合と比べ、短光パルス源82を動かしても、アライメントをし直す必要がないので、使い勝手が非常に良くなる。

10

20

30

40

50

【 0 1 9 0 】

また、以上のような構成によれば、短光パルス源 8 2 および短光パルス伝送系内で非線形光学効果はほとんど生じず、また、中空コアフォトニック結晶ファイバ 5 3 内では群速度分散は発生しない一方、大きな群速度分散スロープが発生している。この際、好適には、式 (1 9)、(2 0)、(2 1) の条件が満たされる。そこで、式 (1 4) および式 (1 5) から求めた T_1 、 T_2 に基づいて、式 (1 3) から好ましい短光パルスの時間幅 (半値全幅) を求めることができる。

【 0 1 9 1 】

図 1 9 は、第 6 実施の形態における、2 次非線形光学効果により発生する信号光量 F と、短光パルス源から射出される光パルスのパルス時間幅 T_{FWHM} との関係を示すグラフである。最適な短光パルス時間幅 (半値全幅) の範囲を求めた結果、

$$T_1 = 65 \text{ [fs]}$$

$$T_2 = 434 \text{ [fs]}$$

となった。

【 0 1 9 2 】

よって、短光パルスを照射する観察対象に 2 次の非線形光学効果が発生させるには、

$$65 \text{ [fs]} < T_{FWHM} < 434 \text{ [fs]}$$

を満たす時間幅の短光パルスを用いると良い。更には最も好ましい短光パルス時間幅 (半値全幅) は 148 [fs] であり、本実施の形態の短光パルス源 8 2 から発せられる短光パルス時間幅 (半値全幅) は、最適な値となっていることがわかる。

【 0 1 9 3 】

また、短光パルス源 8 2 出射直後の短光パルスは、 $T_{FWHM} \times f_{FWHM} = 0.7$ となり、式 (2 2) の条件を満たしている。

【 0 1 9 4 】

上記 T_{FWHM} の好適な範囲の導出において、短光パルス源からはガウシアン型短光パルスが発生するとして、

$$k = 0.535$$

$$D_{3d} = 0.003 \text{ [ps }^3 \text{]}$$

$$\alpha = 0.5$$

とした。

【 0 1 9 5 】

ここで、群速度分散スロープ D_{3d} は、中空コアフォトニック結晶ファイバのゼロ分散波長における分散スロープ D (約 $4.4 \text{ [ps }^2 \text{ / nm }^2 \text{ / km]}$) を用い、中空コアフォトニック結晶ファイバの長さ $L = 3 \text{ m}$ として、公知の算出式 (3 4)

【 数 2 3 】

$$D_{3d} = \frac{\lambda^3}{(2\pi c)^2} \left(2D + \lambda \frac{dD}{d\lambda} \right) \cdot L \quad (34)$$

により算出した。

【 0 1 9 6 】

以上説明したように、本実施の形態によれば、ガウシアン型の短光パルス源および短光パルス伝送系より構成される非線形光学装置であって、装置内で発生する群速度分散スロープにより生じる短光パルスの変形による広がりが、装置内で発生する非線形光学効果と群速度分散とにより生じる短光パルスの変形による広がりよりも大きく、且つ、短光パルス源が発生する短光パルスの時間幅を、 $65 \text{ [fs]} < T_{FWHM} < 434 \text{ [fs]}$ を満たすようにしたので、群速度分散スロープによる光パルスの時間幅の広がりや波形崩れを低減した高ピークパワーの短光パルスを対象物に照射することができる。

【 0 1 9 7 】

また、式 (1 9)、(2 0)、(2 1) の条件が満たされる場合、非線形光学装置内の

非線形光学効果および群速度分散効果が無視できるほど小さいので、群速度分散スロープの存在に起因する短光パルスの波形変化が顕著に現れるので、上記時間幅の短光パルスを使用することが特に有効である。

【 0 1 9 8 】

なお、本実施の形態では、群速度分散のない中空コアフォトニック結晶ファイバを用いたので、第 5 実施の形態と異なり、群速度分散補償装置を用いない構成とした。仮に、顕微鏡装置の観察対象までの光学系で対物レンズ等により無視できない大きさの群速度分散が発生する場合は、これを補償するために群速度分散補償装置を短光パルス伝送系内に設けても良い。

【 0 1 9 9 】

(第 7 実施の形態)

図 2 0 は、本発明の第 7 実施の形態に係る多光子顕微鏡の概略構成図である。本実施の形態は、中空コアフォトニック結晶ファイバの先端に顕微鏡を小型化したマイクロヘッドを配置し、マウスなどの実験小動物の頭部に固定して、麻酔をかけない状態でマウスの脳などの臓器を観察できるようにしたものである。

【 0 2 0 0 】

この多光子顕微鏡は、チャープ光発生源 8 3、チャープ補償装置 7 5、レンズ 1 2、中空コアフォトニック結晶ファイバ 1 3、マイクロヘッド 1 4、マルチモード光ファイバ 1 5、レンズ 1 6、バリアフィルタ 1 7 および検出器 1 8 を含んで構成されている。

【 0 2 0 1 】

チャープ光発生源 8 3 は、チャープしたパルスを射出する短光パルス光源であり、該チャープ光発生源 8 3 の後段に配置されたチャープ補償装置 7 5 は、そのチャープを補償するためのプリチャープである。本実施の形態では、短光パルス源は、チャープ光発生源 8 3 とチャープ補償装置 7 5 とを含んで構成される。

【 0 2 0 2 】

チャープ補償装置 7 5 は、例えば、図 9 の分散発生装置 3 5 と同様に構成することができる。短光パルス源 8 3 およびチャープ補償装置 7 5 は、組み合わされて、チャープのない変換限界に近い短光パルスを発生する短光パルス源を構成する。その他の構成、作用は、第 1 実施の形態と同様なので、同一の構成には同一の参照符号を付して説明を省略する。

【 0 2 0 3 】

以上説明したように、本実施の形態によれば、チャープしたパルスを発生するチャープ光発生源とチャープを補償するチャープ補償装置とを含んでチャープの無い短光パルス源を構成したので、所定の条件を満たす場合、この光源を用いて第 5 および第 6 実施の形態による非線形光学装置と同様の効果がえられる。

【 0 2 0 4 】

なお、チャープ補償装置としては、回折格子対を用いるものに限られない。第 5 実施の形態で、分散補償装置に使用したプリズム対を用いた装置と同様な構成の装置など、チャープした短光パルス源のチャープを補償する装置であれば、種々の装置を利用することが可能である。

【 0 2 0 5 】

(第 8 実施の形態)

図 2 1 は、本発明の第 8 実施の形態に係る内視鏡の概略構成図である。本実施の形態は、図 2 0 の第 7 実施の形態において、マイクロヘッド 1 4 を硬性部 2 1 として、これに接続される中空コアフォトニック結晶ファイバとマルチモードファイバとを 1 本に束ねて可撓性の挿入部 2 2 とし、単独でもしくは既存の内視鏡の鉗子穴に挿入するなどして使用することにより、内視鏡非線形システム 2 0 として使用するものである。これによって、内視鏡として利用しても、第 7 実施の形態と同様の効果が得られる。

【 0 2 0 6 】

なお、本発明は、上記各実施の形態にのみ限定されるものではなく、幾多の変形または

10

20

30

40

50

変更が可能である。たとえば、本発明の利用分野は、顕微鏡や内視鏡に限られず、2光子過程による2次の非線形光学効果を利用するものであれば、例えば材料の加工等の種々の分野にも適用可能である。また、上記第1～第8の実施形態では、s e c h型またはガウシアン型の短光パルス源を用いたが、本発明が利用できる短光パルス源はこれに限られず、他の種々の光源を利用することが可能である。その場合、短光パルスの波形により、短光パルスのスペクトル幅（半値全幅）または時間幅（半値全幅）の算出に用いたパラメータkが異なる。特に、ガウシアン型とs e c h型との中間に位置するようなパルス波形を有する場合、kの値もガウシアン型とs e c h型との中間、すなわち、 $0.35 < k < 0.55$ の範囲にある。このような波形の短光パルスに対しても、本発明の効果が有効に得られる。

10

【符号の説明】

【0207】

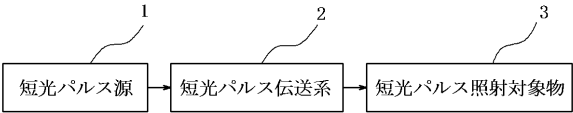
- 1 短光パルス源
- 2 短光パルス伝送系
- 3 短光パルス照射対象物
- 10 小型顕微鏡非線形光学装置
- 11 短光パルス源（ガウシアン型チャープ有り）
- 12, 16, 32, 34, 52, 54 レンズ
- 13, 33, 53 中空コアフォトニック結晶ファイバ
- 14 マイクロヘッド
- 15 マルチモードファイバ
- 17, 41, 63 バリアフィルタ
- 18, 42, 64 検出器
- 19, 39, 56 観察対象
- 20 内視鏡非線形光学装置
- 21 硬性部
- 22 挿入部
- 31 短光パルス源（s e c h型チャープ有り）
- 30 顕微鏡非線形光学装置
- 35 分散発生装置
- 36, 61 ガルバノミラー対
- 37 分光ミラー
- 38 対物レンズ
- 50 顕微鏡非線形光学装置
- 51 短光パルス源（s e c h型チャープ無し）
- 55 対物レンズ
- 60 顕微鏡本体
- 62 分光ミラー
- 71 群速度分散補償装置
- 71a, 71d ミラー
- 71b, 71c プリズム
- 72 ビームエキスパンダ
- 72a, 72b レンズ
- 75 チャープ補償装置
- 81 短光パルス源（s e c h型チャープ無し）
- 82 短光パルス源（ガウシアン型チャープ無し）
- 83 チャープ光発生源

20

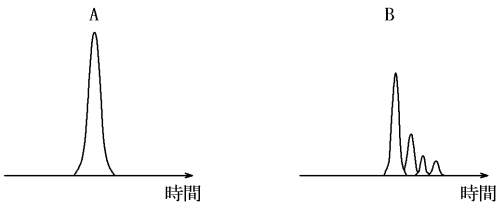
30

40

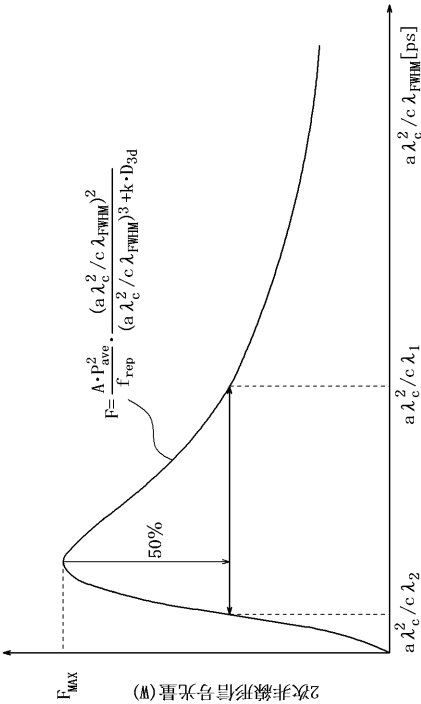
【 図 1 】



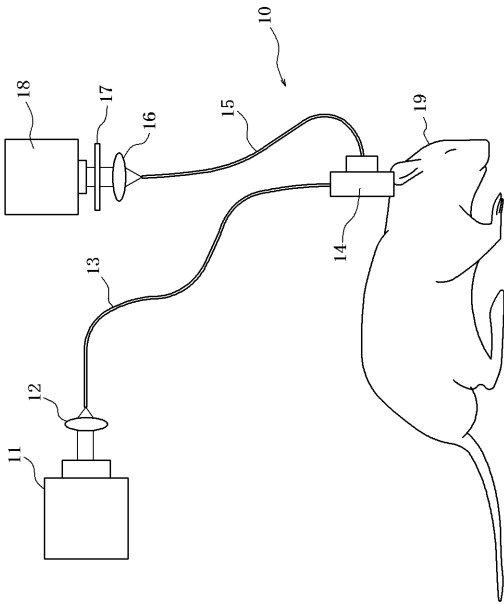
【 図 2 】



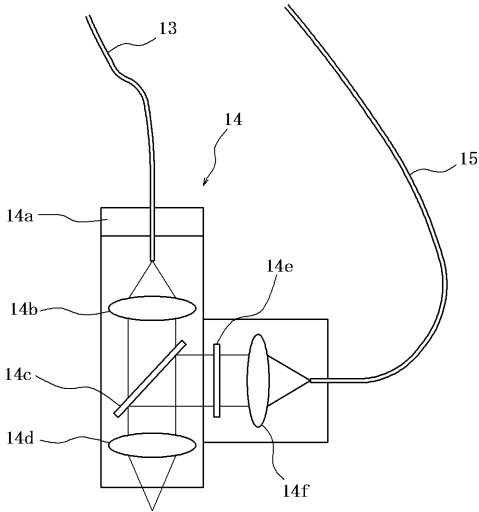
【 図 3 】



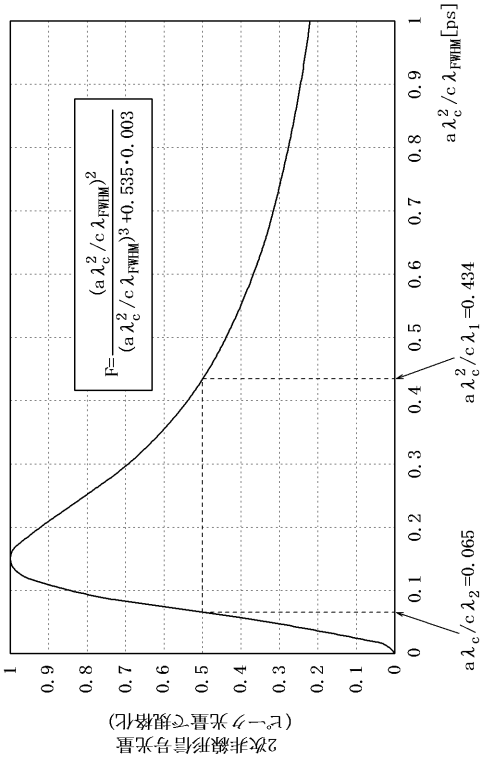
【 図 4 】



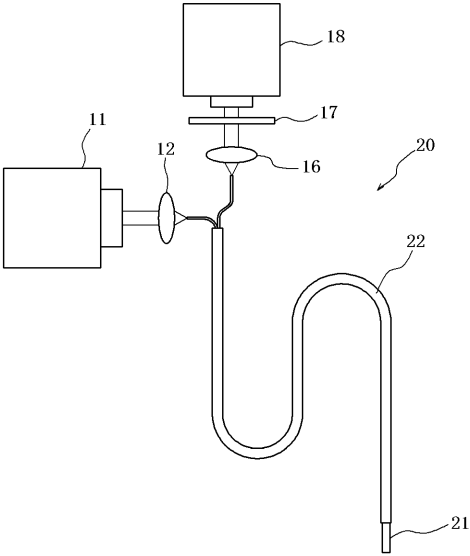
【 図 5 】



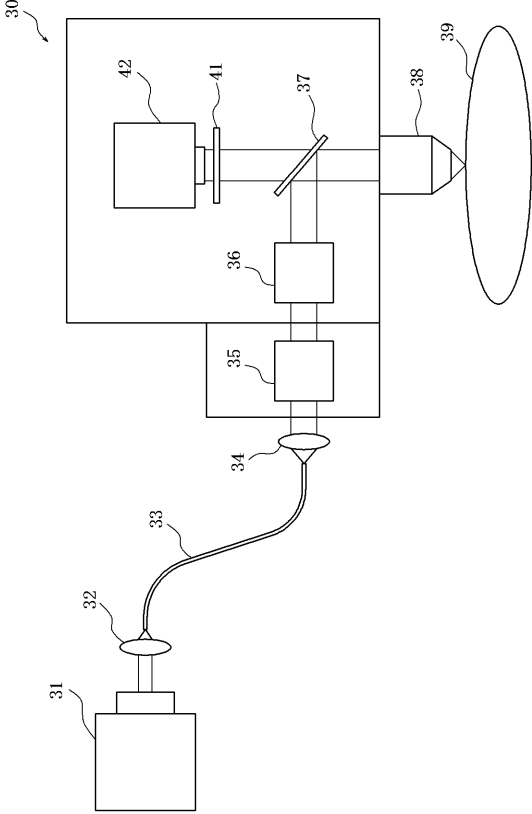
【図 6】



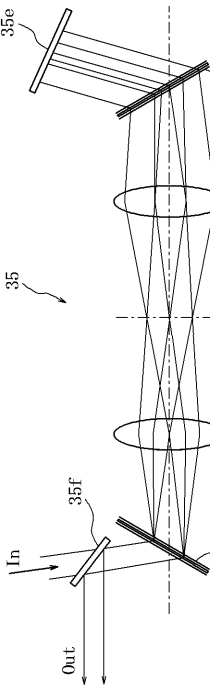
【図 7】



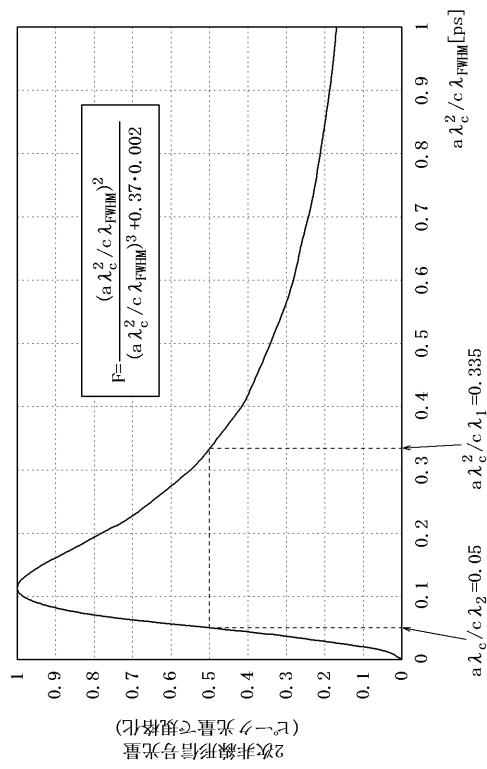
【図 8】



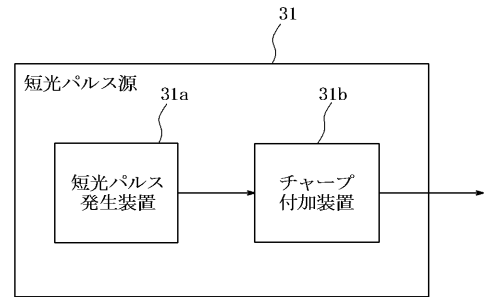
【図 9】



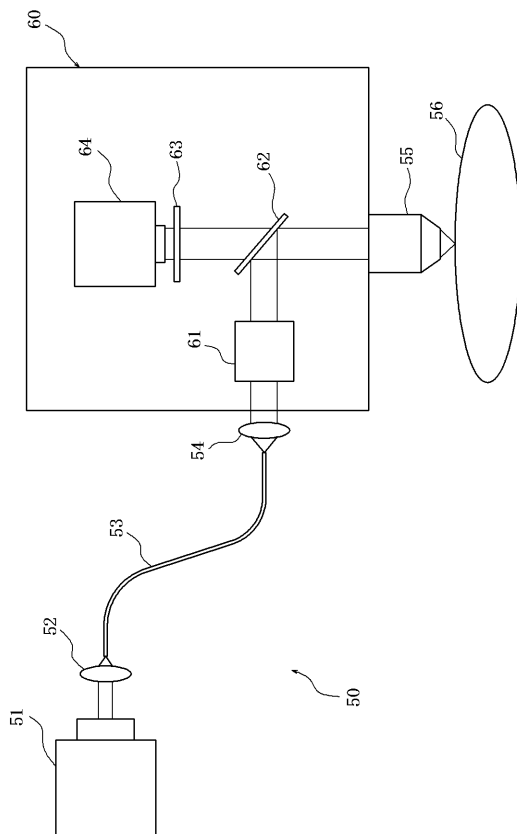
【図 10】



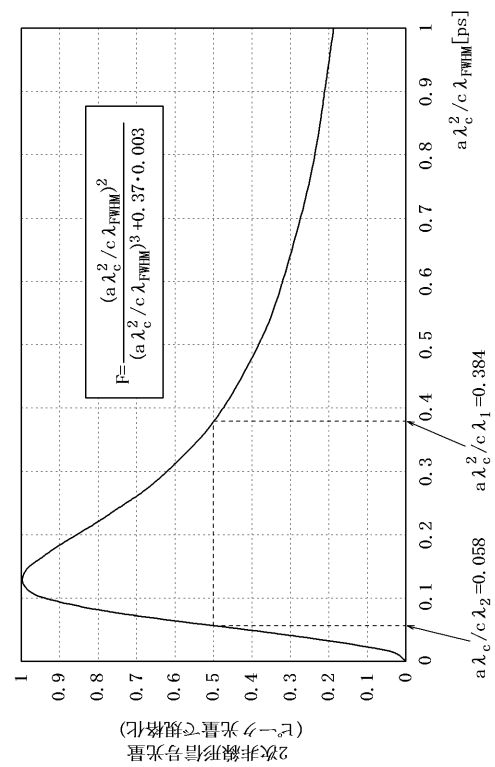
【図 11】



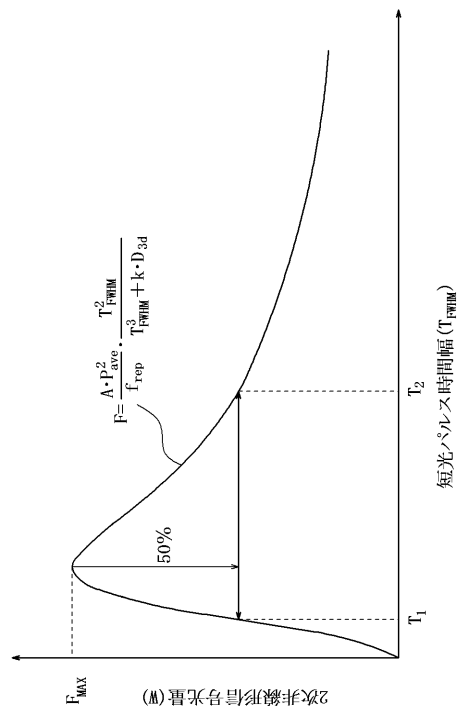
【図 12】



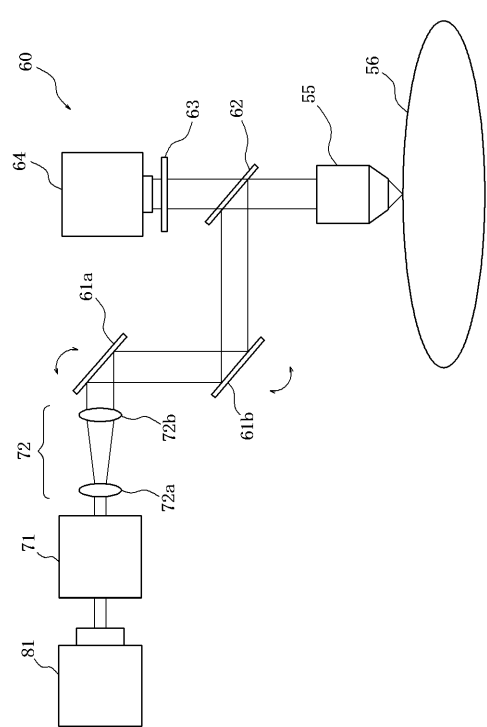
【図 13】



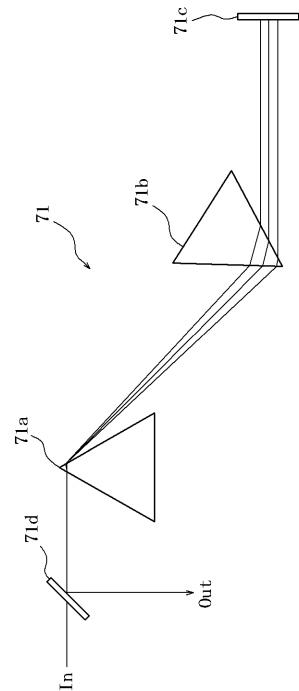
【 図 1 4 】



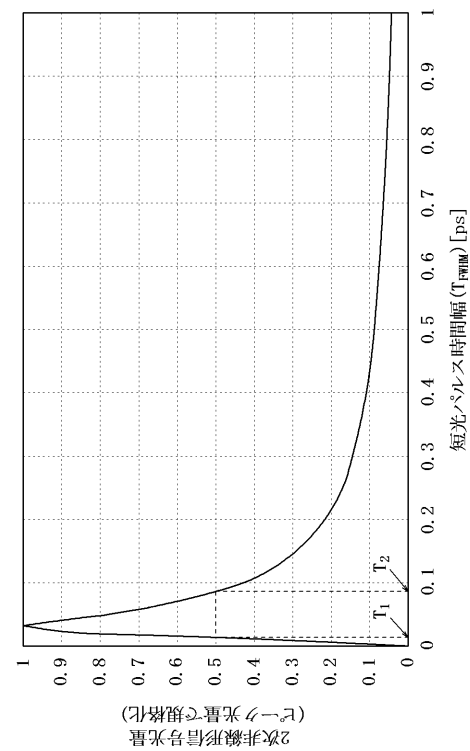
【 図 1 5 】



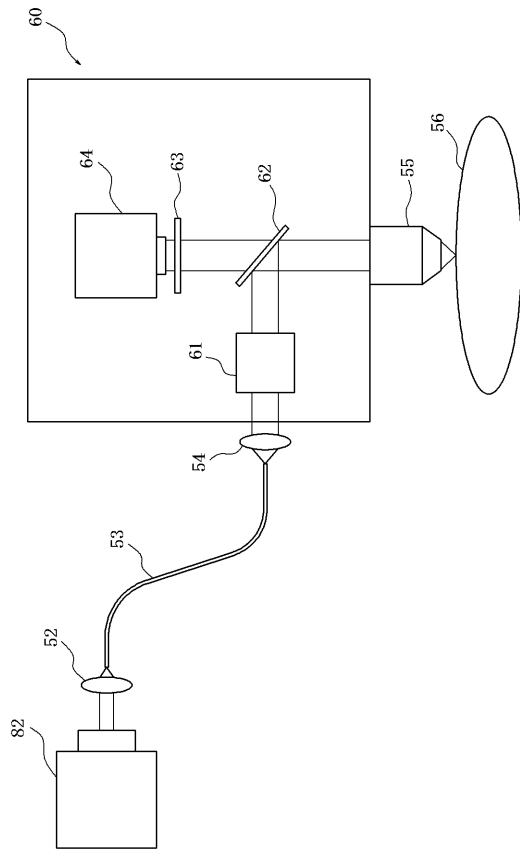
【 図 1 6 】



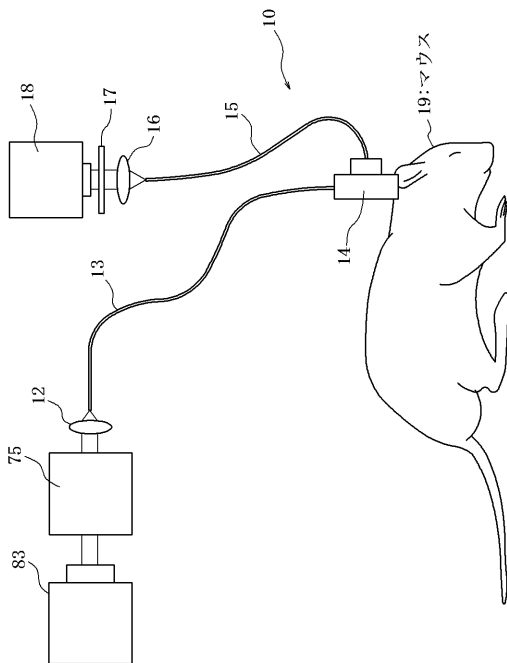
【 図 1 7 】



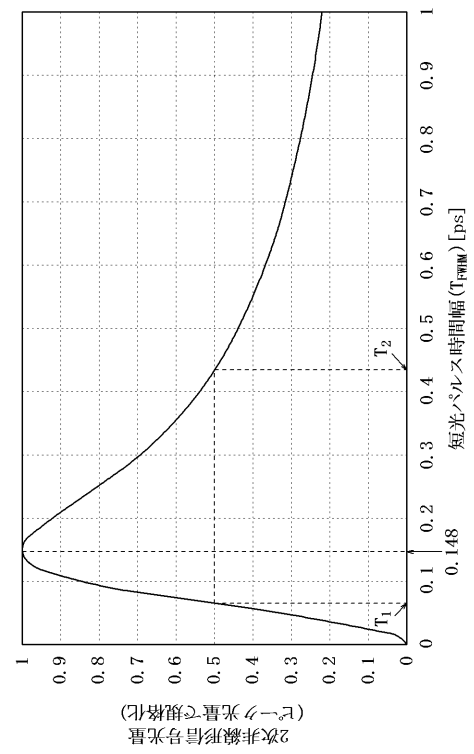
【図 18】



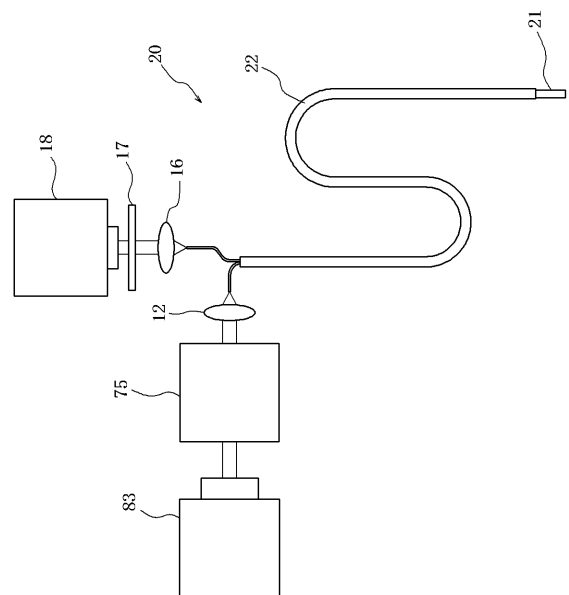
【図 20】



【図 19】



【図 21】



フロントページの続き

F ターム(参考) 2H052 AA09 AC04 AC26
2H137 AA14 AB05 AB06 BA04 BA11 BB02 BB12 BC02 BC51 BC61
4C161 BB08 HH51 QQ01

专利名称(译)	非线性光学装置，多光子显微镜和内窥镜		
公开(公告)号	JP2012208462A	公开(公告)日	2012-10-25
申请号	JP2011207030	申请日	2011-09-22
[标]申请(专利权)人(译)	奥林巴斯株式会社		
申请(专利权)人(译)	奥林巴斯公司		
[标]发明人	藤原真人 平健二		
发明人	藤原 真人 平 健二		
IPC分类号	G02B21/06 G02B6/42 A61B1/00 G01N21/17		
CPC分类号	G01N21/6458 A61B5/0075 G01N21/636 G01N2201/0697 G02B21/0008 G02B21/06 G02B23/2469 H01S3/0057		
FI分类号	G02B21/06 G02B6/42 A61B1/00.300.D G01N21/17.A A61B1/00.500 A61B1/00.550 A61B1/07.732		
F-TERM分类号	2G059/BB12 2G059/FF01 2G059/FF03 2G059/GG08 2G059/JJ05 2G059/JJ06 2G059/JJ15 2G059/JJ17 2G059/JJ30 2G059/MM09 2H052/AA09 2H052/AC04 2H052/AC26 2H137/AA14 2H137/AB05 2H137/AB06 2H137/BA04 2H137/BA11 2H137/BB02 2H137/BB12 2H137/BC02 2H137/BC51 2H137/BC61 4C161/BB08 4C161/HH51 4C161/QQ01		
代理人(译)	杉村健二 下地健一		
优先权	2011058053 2011-03-16 JP		
其他公开文献	JP5860647B2		
外部链接	Espacenet		

摘要(译)

要解决的问题：提供一种非线性光学器件，通过该非线性光学器件，可以将由于群速度色散斜率导致的光学脉冲和波形坍塌的时间宽度增加的影响较小的短光学脉冲发射到物体而不提供一种复杂的补偿机制。解决方案：非线性光学装置包括用于产生短光脉冲的短光脉冲源10和用于将从短光脉冲光源产生的短光脉冲传输到的短光脉冲传输系统20。目的。基本上防止了在非线性光学装置中产生的非线性光学效应，基本上防止了非线性光学装置中的群速度色散量，并且从短光脉冲源产生短光学脉冲。此外，短光脉冲的光谱宽度（半值全宽） λ < λ_{SB} POS = “POST” > FWHM < λ_{SB} > 满足 λ < λ_{SB} POS = “POST” > 1 < λ_{SB} > < λ < λ_{SB} POS = “POST” > FWHM < λ_{SB} > < λ < λ_{SB} POS = “POST” > 2 < λ_{SB} >。

