

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2012年12月13日(13.12.2012)



(10) 国際公開番号
WO 2012/169578 A2

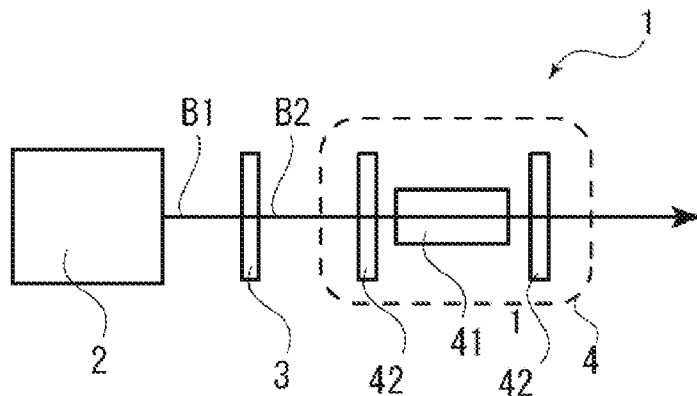
- (51) 国際特許分類:
G02F 1/39 (2006.01) H01S 3/10 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2012/064663
- (22) 国際出願日: 2012年6月7日(07.06.2012)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2011-127356 2011年6月7日(07.06.2011) JP
- (71) 出願人(米国を除く全ての指定国について): 国立
大学法人 千葉大学(National University Corpora-
tion Chiba University) [JP/JP]; 〒2638522 千葉県千葉
市稲毛区弥生町1番33号 Chiba (JP).
- (72) 発明者; および
- (75) 発明者/出願人(米国についてのみ): 尾松 孝茂
(OMATSU Takashige) [JP/JP]; 〒2638522 千葉県千葉
市稲毛区弥生町1番33号 国立大学法人千葉
大学 大学院融合科学研究科内 Chiba (JP). 宮本
克彦(MIYAMOTO Katsuhiko) [JP/JP]; 〒2638522 千
葉県千葉市稲毛区弥生町1番33号 国立大学
法人千葉大学 大学院融合科学研究科内 Chiba
(JP).
- (74) 代理人: 井上 春季(INOUE Haruki); 〒1100005 東
京都台東区上野3-18-1 大熊ビル502
号室 Tokyo (JP).
- (81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保
護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA,
BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO,
CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI,
GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS,
JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS,
LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX,
MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT,
QA, RO, RS, RU, RW, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST,
SV, SY, TH, TJ, TW, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ,
VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) 指定国(表示のない限り、全ての種類の広域保
護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW,
MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシ
ア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ
(AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR,
GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT,
NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI
(BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR,
NE, SN, TD, TG).

[続葉有]

(54) Title: OPTICAL VORTEX LASER VIBRATION METHOD AND OPTICAL VORTEX LASER VIBRATION DEVICE

(54) 発明の名称: 光渦レーザー発振方法及び光渦レーザー発振装置

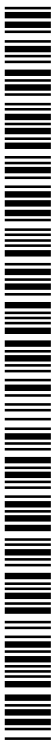
[図1]



(57) Abstract: Provided is an optical vortex laser vibration device which is capable of an increased output and can generate an optical vortex even in a wide frequency range and if the optical vortex has a quantum number which is not an integer. A laser device according to one embodiment of the present application comprises: a laser light source for generating laser light; an optical vortex generation unit for generating an energized optical vortex on the basis of the laser light generated by the laser light source; and an optical resonance unit for resonating the energized optical vortex generated by the optical vortex generation unit and dividing the energized optical vortex into signal light and idler light. Therein, it is preferable that the optical resonance unit comprises a non-linear medium and a pair of resonator mirrors sandwiching the non-linear medium, and it is preferable that the non-linear medium includes at least one among KTiOPO_4 , periodically polarization-reversed LiNbO_3 , and periodically polarization-reversed LiTaO_3 .

(57) 要約:

[続葉有]



WO 2012/169578 A2



添付公開書類:

- 国際調査報告なし；国際調査報告を受け取り次第公開される。（規則 48.2(g)）

高出力化が可能であって、広い周波数範囲で、かつ、整数以外の量子数の光渦であっても発生させることができる光渦レーザー発振装置を提供する。本発明の一観点に係るレーザー装置は、レーザー光を発するレーザー光源と、レーザー光源が発するレーザー光に基づき励起光渦を発する光渦発生部と、光渦発生部が発する前記励起光渦を共振させてシグナル光とアイドラー光に分割する光共振部と、を有する。この場合において、光共振部は、非線形媒質と、前記非線形媒質を挟む一対の共振器ミラーとを有することが好ましく、非線形媒質は、 KTiOPO_4 、周期分極反転 LiNbO_3 、及び周期分極反転 LiTaO_3 の少なくともいずれかを含むことが好ましい。

明 細 書

発明の名称：光渦レーザー発振方法及び光渦レーザー発振装置 技術分野

[0001] 本発明は、光渦レーザー発振方法及び光渦レーザー発振装置に関する。

背景技術

[0002] 光渦は、位相特異点に由来する角運動量（軌道角運動量）及びドーナツ型強度分布という特徴的な性質をもった光波である。

[0003] 光渦の代表例としては、例えばラゲールガウスビームを挙げることができる（例えば下記非特許文献1参照）。ラゲールガウスビームは、円筒座標系における波動方程式の固有解であり、回転中心の周りで1波長伝搬するごとに 2π の整数倍だけ位相が回転する周期的境界条件を満たす。このため、量子数 L （ $L = 1, 2, 3 \dots$ ）を用いて軌道角運動量の大きさを表すことが可能である。光渦の波面はらせん形状を有しており、この法線方向と光の伝搬方向のベクトル差で与えられる方向に軌道角運動量が働く。

[0004] また光渦は、光の放射圧を利用した光マニピュレーション、位相特異点を利用した高解像度顕微鏡、軌道角運動量を積極的に利用した光渦アブレーション加工などに利用することができ、今後の工業的な利用が大きく期待される。

[0005] 光渦を発生させる方法としては、例えば（1）バウンス共振器を用いる方法（例えば下記非特許文献2）、（2）マルチモードエリアファイバー増幅器を用いる方法（例えば下記非特許文献3）、（3）位相板を用いる方法（例えば下記非特許文献4）、（4）空間位相変調器を用いる方法（例えば下記非特許文献5）、を例示することができる。

先行技術文献

非特許文献

[0006] 非特許文献1：L. Allen, M. W. Beijersbergen, R. J. C. Spreeuw, and J. P. Woel

rdman, "Orbital angular momentum of light and the transformation of Laguerre-Gaussian laser modes," Phys. Rev. A 45, 8185-8189 (1992)

非特許文献2: M. Okida, M. Itoh, T. Yatagai, and T. Omatsu, "Direct generation of high power Laguerre-Gaussian output from a diode-pumped Nd:YVO₄ 1.3- μ m bounce laser," Optics Express, 15, 7616-7622 (2007).

非特許文献3: Y. Tanaka, M. Okida, K. Miyamoto, and T. Omatsu, "High power picosecond vortex laser based on a large-mode-area fiber amplifier," Opt. Express 17, 14362-14366 (2009).

非特許文献4: T. Omatsu, K. Chujo, K. Miyamoto, M. Okida, K. Nakamura, N. Aoki, and R. Morita, "Metal microneedle fabrication using twisted light with spin," Opt. Express, 18, 17967-17973 (2010).

非特許文献5: N. R. Heckenberg, R. McDuff, C. P. Smith, and A. G. White, "Generation of optical phase singularities by computer-generated holograms," Opt. Lett. 17, 221-223 (1992)

発明の概要

発明が解決しようとする課題

- [0007] しかしながら、上記（１）、（２）の方法では、発生させることのできる光渦の量子数は＋１、－１等の低次元に限られてしまい、また量子数は整数のみである。
- [0008] また上記（３）、（４）の方法では、基本的に受動的な方法であり、特定の波長においてのみ光渦を発生させることができるに過ぎず、また素子による光損失を伴うため、高出力化において課題がある。
- [0009] そこで、本発明は、高出力化が可能であって、広い周波数範囲で、かつ、整数以外の量子数の光渦であっても発生させることができる光渦レーザー発振装置を提供することを目的とする。

課題を解決するための手段

- [0010] 上記課題を解決する本発明の第一の観点に係る光渦レーザー発振方法は、パルス励起の光渦を光パラメトリック発振系に入力し、複数のコヒーレントな光渦を発生させ、周波数変換を行い軌道角運動量の量子数を変化させることを特徴とする。
- [0011] また本観点に係る光渦レーザー発振方法において、限定されるわけではないが、光パラメトリック発振系は、非線形媒質と、非線形媒質を挟む一对の共振器ミラーと、を有する共振器を備えることが好ましい。
- [0012] また本観点に係る光渦レーザー発振方法において、限定されるわけではないが、共振器ミラーの曲率半径は、一对の共振器ミラーが形成する共振器長の５倍以上であることが好ましい。
- [0013] また本観点に係る光渦レーザー発振方法において、限定されるわけではないが、一对の共振器ミラーは、平行平板であることが好ましい。
- [0014] また本観点に係る光渦レーザー発振方法において、限定されるわけではないが、共振器における共振条件を変化させて角運動量の量子数の縮退状態を変化させることが好ましい。
- [0015] また本観点に係る光渦レーザー発振方法において、限定されるわけではな

いが、軌道角運動量の量子数は非縮退状態であることが好ましい。

[0016] また本観点に係る光渦レーザー発振方法において、限定されるわけではないが、複数のコヒーレントな光渦を発生させて多周波数発生を行うことが好ましい。

[0017] また本観点に係る光渦レーザー発振方法において、限定されるわけではないが、差周波を発生させることが好ましい。

[0018] また本観点に係る光渦レーザー発振方法において、限定されるわけではないが、非線形媒質を回転させることが好ましい。

[0019] また本観点に係る光渦レーザー発振方法において、限定されるわけではないが、非線形媒質の温度を変えることが好ましい。

[0020] また本観点に係る光渦レーザー発振方法において、限定されるわけではないが、非線形媒質は、 KTiOPO_4 、周期分極反転 LiNbO_3 、及び周期分極反転 LiTaO_3 の少なくともいずれかを含むことが好ましい。

[0021] また本発明の他の一観点に係る光渦レーザー発振装置は、パルス励起のレーザー光を発するレーザー光源と、レーザー光源が発するレーザー光に基づき励起光渦を発する光渦発生部と、光渦発生部により発生した励起光渦に基づき複数のコヒーレントな光渦を発生させ、周波数変換を行い軌道角運動量の量子数を変化させる光パラメトリック発振系と、を有することを特徴とする。

[0022] また本観点に係る光渦レーザー発振装置において、限定されるわけではないが、光パラメトリック発振系は、非線形媒質と、非線形媒質を挟む一对の共振器ミラーと、を有する共振器を備えることが好ましい。

[0023] また本観点に係る光渦レーザー発振装置において、限定されるわけではないが、共振器ミラーの曲率半径は、一对の共振器ミラーが形成する共振器長の5倍以上であることが好ましい。

[0024] また本観点に係る光渦レーザー発振装置において、限定されるわけではないが、一对の共振器ミラーは、平行平板であることが好ましい。

[0025] また本観点に係る光渦レーザー発振装置において、限定されるわけではな

いが、共振器における共振条件を変化させて前記角運動量の量子数の縮退状態を変化させることが好ましい。

[0026] また本観点に係る光渦レーザー発振装置において、限定されるわけではないが、軌道角運動量の量子数は非縮退状態であることが好ましい。

[0027] また本観点に係る光渦レーザー発振装置において、限定されるわけではないが、複数のコヒーレントな光渦を発生させて多周波数発生を行うことが好ましい。

[0028] また本観点に係る光渦レーザー発振装置において、限定されるわけではないが、差周波を発生させることが好ましい。

[0029] また本観点に係る光渦レーザー発振装置において、限定されるわけではないが、非線形媒質を回転させることが好ましい。

[0030] また本観点に係る光渦レーザー発振装置において、限定されるわけではないが、非線形媒質の温度を変えることが好ましい。

[0031] また本観点に係る光渦レーザー発振装置において、限定されるわけではないが、非線形媒質は、 KTiOPO_4 、周期分極反転 LiNbO_3 、及び周期分極反転 LiTaO_3 の少なくともいずれかを含むことが好ましい。

[0032] また本発明の他の一観点に係る光渦レーザー発振装置は、レーザー光を発するレーザー光源と、レーザー光源が発するレーザー光に基づき励起光渦を発する光渦発生部と、光渦発生部が発する励起光渦を共振させてシグナル光とアイドラー光に分割する光共振部と、を有することを特徴とする。

[0033] また本観点に係る光渦レーザー発振装置において、限定されるわけではないが、光共振部は、非線形媒質と、前記非線形媒質を挟む一对の共振器ミラーとを有することが好ましい。

[0034] また本観点に係る光渦レーザー発振装置において、限定されるわけではないが、共振器ミラーの曲率半径は、前記一对の共振器ミラーが形成する共振器長の5倍以上であることが好ましい。

[0035] また本観点に係る光渦レーザー発振装置において、限定されるわけではないが、シグナル光の光子エネルギーに対するアイドラー光の光子エネルギー

の比が、0.8以上1.2以下の範囲にあることが好ましい。

[0036] また本観点に係る光渦レーザー発振装置において、限定されるわけではないが、非線形媒質は、 KTiOPO_4 、周期分極反転 LiNbO_3 、及び周期分極反転 LiTaO_3 の少なくともいずれかを含むことが好ましい。

発明の効果

[0037] 以上本発明により、高出力化が可能であって、広い周波数範囲で、かつ、整数以外の量子数の光渦であっても発生させることができる光渦レーザー発振装置を提供できる。

図面の簡単な説明

[0038] [図1]実施形態に係る光渦レーザー発振装置の概略図である。

[図2]実施例に係る実験光学系の概略を示す図である。

[図3]実施例1に係る励起光渦 ($L = 1$) の空間プロファイルを示す図である。

[図4]実施例1に係るシグナル光の空間プロファイルを示す図である。

[図5]実施例1に係るアイドラー光の空間プロファイルを示す図である。

[図6]実施例1でSHG部から出力されたシグナル光 ($L = 1$) の空間プロファイルを示す図である。

[図7]実施例1でSHG部から出力されたアイドラー光 ($L = 1$) の空間プロファイルを示す図である。

[図8]実施例1で干渉部から出力されたシグナル光の空間プロファイルを示す図である。

[図9]実施例1で干渉部から出力されたアイドラー光の空間プロファイルを示す図である。

[図10]実施例2に係る励起光渦 ($L = 2$) の空間プロファイルを示す図である。

[図11]実施例2に係るシグナル光の空間プロファイルを示す図である。

[図12]実施例2に係るアイドラー光の空間プロファイルを示す図である。

[図13]実施例2でSHG部から出力されたシグナル光 ($L = 1$) の空間プロ

ファイルを示す図である。

[図14]実施例2でSHG部から出力されたアイドラー光 ($L = 1$) の空間プロファイルを示す図である。

[図15]実施例2で干渉部から出力されたシグナル光の空間プロファイルを示す図である。

[図16]実施例2で干渉部から出力されたアイドラー光の空間プロファイルを示す図である。

[図17]実施例3に係る実験光学系の概略を示す図である。

[図18]実施例3に係る光パラメトリック発生の入出力特性を示す図である。

[図19]実施例3に係るシグナル光及びアイドラー光の空間プロファイルを示す図である。

[図20]実施例3に係るシグナル光及びアイドラー光の回折格子を透過させた後の1次回折光パターンを示す図である。

発明を実施するための最良の形態

[0039] 以下、本発明を実施するための形態について、図面を用いて詳細に説明する。ただし、本発明は多くの異なる形態による実施が可能であり、以下に示す実施形態、実施例の例示にのみ狭く限定されるものではない。

[0040] 本実施形態に係る光渦レーザー発振装置（以下「本レーザー装置」という。）は、パルス励起のレーザー光を発するレーザー光源と、レーザー光源が発するレーザー光に基づき励起光渦を発する光渦発生部と、光渦発生部により発生した励起光渦に基づき複数のコヒーレントな光渦を発生させ、周波数変換を行い軌道角運動量の量子数を変化させる光パラメトリック発振系と、を有する。

[0041] 本実施形態において光パラメトリック発振系は、上記のとおり光渦発生部により発生した励起光渦に基づき複数のコヒーレントな光渦を発生させ、周波数変換を行い軌道角運動量の量子数を変化させる光学系をいう。光パラメトリック発振系の構成例としては、この機能を有する限りにおいて限定されるわけではないが、具体的には一対の共振器ミラーと、この一対のミラーの

間に配置される媒質との組み合わせ（光共振部）を含む光学系を挙げることができる。より具体的な構成については、下記に詳述する。

[0042] ここで図1は、本実施形態に係る光渦レーザー発振装置（以下「本レーザー装置」という。）1の光学系の概略を示す図である。本図で示すように、本レーザー装置1は、レーザー光B1を発するレーザー光源2と、レーザー光源2が発するレーザー光B1に基づき励起光渦B2を発する光渦発生部3と、光渦発生部が発する励起光渦B2を共振させてシグナル光とアイドラー光に分割する光共振部4と、を有する。

[0043] 本実施形態において、レーザー光源2は、上記の通りレーザー光B1を発することができるものである。レーザー光源2については、上記機能を有する限りにおいて限定されるわけではなく、YAGレーザー等の固体レーザー、色素レーザー、He-Neレーザー等のガスレーザー、LDレーザー等の半導体レーザー等を用いることができるがこれに限定されない。ただし、本実施形態においてレーザー光源2から放出される光の波長領域は、可視領域外のものであることが好ましく、具体的には800nm以上、より好ましくは1000nm以上の波長の光を放出することが好ましい。この範囲とすることで光共振部4において可視波長領域から中赤外領域の光を得ることができるようになる。

[0044] また本実施形態において、レーザー光源2は、パルスのレーザー光を発するパルス発振レーザー光源であることが好ましい。パルス発振レーザー光は連続発振レーザー光源の場合に比べてスペクトルの幅が広く、またその出力の高いレーザー光を放出することができ現実的である。更に、連続発振レーザー光源の場合コヒーレントカップリングが起こりにくい一方、パルス発振レーザーの場合コヒーレントカップリングを起こしやすい。

[0045] また、本実施形態において、光渦発生部3は、レーザー光源2が発するレーザー光B1に基づき励起光渦B2を発することができるものであり、この限りにおいて限定されないが、例えば位相板、空間位相変調器、マルチモードエリアファイバー増幅器等を用いることができる。なお、レーザー光源2

と、光渦発生部3とを一体にして直接光渦を発生させる構成としてもよい。光渦発生部において発生させる光渦はコヒーレントな光渦であることが特に好ましい。

[0046] また本実施形態において、光共振部4は、光渦発生部が発する励起光渦B2を共振させて複数のコヒーレントな光渦を発生させ、周波数変換を行い軌道角運動量の量子数を変化させることのできるものであって、具体的にはシグナル光とアイドラー光に分割することができるものである。また本実施形態に係る光パラメトリック発振系（光共振器部）から発せられる光渦は、その共振における条件を変化させることで起動角運動量の量子数を任意に変化させることが可能となり、これら複数の光の量子数を縮退状態にすること、更には非縮退状態とすることも可能となる。

[0047] また本実施形態において、光共振部4は、限定されるわけではないが、例えば非線形媒質41と、この非線形媒質41を挟む一对の共振器ミラー42とを有することが好ましい。

[0048] また本実施形態において、光共振部4から出射される光の波長は、限定されるわけではないが、可視波長領域から中赤外領域の光（360nm以上4 μ m以下の波長範囲）であることが好ましく、波長可変域は励起光渦の1.5倍以上2.5倍以下であることが好ましく、より好ましくは1.8以上2.2倍以下である。また光共振部4から出射される光の波長は、同じであってもよいが異なっても良い。異なっている場合、多周波発生となり更にこれらを用いて差周波を発生させることができる。

[0049] また本実施形態において、非線形媒質41は、共振器内の光路長を調整するために用いられるものであって、この機能を有する限りにおいて限定されるわけではないが、例えばKTiOPO₄、周期分極反転LiNbO₃、及び周期分極反転LiTaO₃の少なくともいずれかを含むことが好ましい。

[0050] また、本実施形態において、一对の共振器ミラー42は、それぞれ入射された光の一部を透過し、一部を反射させるものであって、互いに対向する面の反射率が高く設定されている。このようにすることで高い割合で光を反射

させることで、光を閉じ込め、光を共振させることができる。

[0051] 本実施形態において、一对の共振器ミラー42の構成としては、上記の限りにおいて限定されないが、互いに向かい合う面が凹面であるミラーであるか、又はその一方が平面である平板のミラー、又は一对の平行な平板（平行平板）を採用することができる。ただし、共振器ミラー42が凹面を有するミラーである場合その凹面の曲率半径は、グイ位相を回転させないことが必要であり、一对の共振器ミラーが形成する共振器長よりも十分に長くすることが好ましい。この曲率半径は、共振器長の少なくとも5倍以上であることが好ましく、より好ましくは10倍以上である。

[0052] また本実施形態において、励起光渦B2のエネルギーとシグナル光及びアイドラー光のエネルギーの和、及び、励起光渦B2の運動量とシグナル光及びアイドラー光の運動量の和は、それぞれ等しい。このようにすることで、励起光渦をシグナル光とアイドラー光に分割することが可能となる。ここで「等しい」とは、完全に一致することはもちろんであるが、実際の測定上、装置設定上の誤差程度は許容する意味であり、例えばエネルギー及び運動量において2%以下の誤差であればここでいう「等しい」に含まれる。

[0053] また、本実施形態において、シグナル光の光子エネルギーに対するアイドラー光の光子エネルギーの比は0.8以上1.2以下の範囲にある。そしてこの範囲にある場合、シグナル光の量子数とアイドラー光の量子数はこの比に等しくなるよう分割される。例えば励起光渦の量子数が2で、シグナル光の光子エネルギーとアイドラー光の光子エネルギーが等しい場合、シグナル光の量子数とアイドラー光の量子数はそれぞれ等しく1となる。

[0054] また、本実施形態において、限定されるわけではないが、一对の共振器ミラー42の間の距離は、上記のとおり、非線形媒質を挟むことができる十分な長さを有し、グイ位相を反転させない限りにおいて限定されず様々な距離を採用することができるが、3cm以上10cm以下の範囲とするのが好ましい。

[0055] 本実施形態に係るレーザー発振装置は、光共振部4の共振の条件を適宜調

整することで出射される光の状態を変化させることができる。この調整方法としては、例えば一对の共振器ミラーの距離、少なくとも一方の共振器の曲率半径、一对の共振器ミラーの間に配置される非線形媒質の材質、温度、向き（回転位置）等を変更することで様々に変化させることができる。

[0056] また、上記構成から明らかなように、本実施形態に係る光渦レーザー発振装置を構成することによって、例えば、パルス励起の光渦を光パラメトリック発振系に入力し、複数のコヒーレントな光渦を発生させ、周波数変換を行い軌道角運動量の量子数を変化させる、より具体的には、レーザー光を発生させ、更にこのレーザー光に基づき励起光渦を発生させ、更にこれを共振させることで、変調光渦を発生させるレーザー発生方法を提供することができる。

[0057] 以上、本実施形態に係る光渦レーザー発振装置は、高出力化が可能であって、広い周波数範囲で量子数を分割させた光渦を発生させることができる。

実施例

[0058] ここで、上記実施形態に係る光渦レーザー発振装置について、実際に系を作製し、その効果を確認した。以下説明する。

[0059] （実施例1）

図2は、本実施例に係る実験光学系を示す図である。本実施例では、上記実施形態において示した構成要素に加え、出力された光の量子数などを確認するための実験系も加わっている。

[0060] 本図で示すように、本実験光学系Sは、レーザー光B1を発するレーザー光源2と、レーザー光源が発するレーザー光B1に基づき励起光渦B2を発する光渦発生部3と、光渦発生部3が発する励起光渦B2を共振させてシグナル光とアイドラー光に分割する光共振部4と、を有している。

[0061] 本実施例においてレーザー光源2として、Nd:YAG (Lotis SL-2136、波長1064nm、パルス幅40ns、繰返速度50Hz)を用いた。

[0062] また、本実施例において光渦発生部3としてらせん位相板を用い、量子数

L = 1 の励起光渦が発生するよう配置した。なお図 3 に、この状態における励起光渦の空間プロファイルを示しておく。

[0063] また、本実施例において光共振部 4 としては、第一の平面反射ミラー（ $2\ \mu\text{m}$ における反射率 98%、 $1\ \mu\text{m}$ における透過率 90%）と、第二の平面反射ミラー（ $2\ \mu\text{m}$ における透過率約 100%、 $1\ \mu\text{m}$ における反射率 80%）と、を用い、この間の距離（共振器長）を 5 cm に対向して配置させるとともに、この間に、 $5\ \text{mm} \times 5\ \text{mm} \times 30\ \text{mm}$ の非線形媒質である KTiOPO_4 ($\theta = 51.4^\circ$) を設置した。

[0064] また本実験光学系 S では、光共振部 4 から出射した光をミラーで反射させ、半波長板を通した後、第一の偏光ビームスプリッタ PBS によりシグナル光、アイドラー光をそれぞれ取り出すことができる。なお、第一の偏光ビームスプリッタを通過する光は、後述の SHG 部 5 及び干渉部 6 に入射される。この第一の偏光ビームスプリッタにより取り出されるシグナル光、アイドラー光の空間プロファイルを図 4、5 にそれぞれ示しておく。

[0065] また本実験光学系 S には、SHG 部 5 及び干渉部 6 が設けられている。SHG 部 5 は、SHG 光を発生させるための部であり、これを配置することで、光渦発生部 3 から発生した光の 2 倍の周波数の光を発生させることができる。SHG 部 5 として、本実施例では、第一のレンズ ($f = 100\ \text{mm}$) と、第二のレンズ ($f = 100\ \text{mm}$) と、この間に配置される $10\ \text{mm} \times 10\ \text{mm} \times 20\ \text{mm}$ の非線形媒質である KTiOPO_4 ($\theta = 51.4^\circ$) (KTP) と、を有している。

[0066] また本実施例では、干渉部 6 も設けられており、SHG 部 5 から出力される光に対し干渉を行なわせる部である。この干渉部 6 により、シグナル光及びアイドラー光の量子数を確認することができる。なお、本実施例において、干渉部 6 は、第一のハーフミラー（反射率 50%）と、このハーフミラーによって反射される一方の光を反射させる第一の全反射ミラーと、ハーフミラーを透過する他方の光を反射させる第二の全反射ミラーと、更に第一の全反射ミラーと第二の全反射ミラーから反射される光をあわせるための第二の

ハーフミラーとを有して構成される。

[0067] また、本実験光学系Sでは、SHG部5と干渉部6との間に第二の偏向ビームスプリッタPBSを設け、一方の偏光を光学系Sの外部に、一方を干渉部6側に出力する構成としており、SHG部5から出力され干渉部6に入射される前のシグナル光、アイドラー光のそれぞれの空間プロファイルを図6、7に、干渉部6から出力されるシグナル光、アイドラー光の空間プロファイルを図8、9にそれぞれ示しておく。

[0068] この結果、発振後の常光線であるシグナル光は空間プロファイルを有する $L=0.5$ を有する 2μ 帯光渦となっていることが確認できた。すなわち、本実施例により、励起光が有する量子数の半分を波長変換後のシグナル光に転写できるため、これまで光渦を発生させることができなかった中赤外波長領域でも任意の量子数を有する光渦を発生させることができることを確認した。

[0069] (実施例2)

本実施例では、光渦発生部3にらせん位相板を2枚用いた以外は実施例1と同じとした。この配置により、量子数 $L=2$ の励起光渦を発生させることができる。

[0070] ここで図10に入射される前の励起光渦の空間プロファイルを、図11、12に第一の偏光ビームスプリッタから出射されるシグナル光、アイドラー光の空間プロファイルをそれぞれ示し、図13、14に、第二の偏向ビームスプリッタPBSから出力されるシグナル光及びアイドラー光の空間プロファイルを、図15、16に、干渉部6から出力されるシグナル光及びアイドラー光の空間プロファイルをそれぞれ示す。

[0071] この結果、量子数 $L=1$ の $2\mu\text{m}$ の光渦が発生していることを確認した。なお、この場合において、異常光線に光渦は現われなかった。すなわち、本実施例によっても、励起光が有する量子数の半分を波長変換後のシグナル光に転写できるため、これまで光渦を発生させることができなかった中赤外波長領域でも任意の量子数を有する光渦を発生させることができることを確認

した。

[0072] (実施例3)

本実施例では、レーザー光源2が発生するレーザー光のパルス幅を25 nmとし、第一の凹面反射ミラー(R=2000 mm、2 μmにおける反射率98%、1 μmにおける透過率90%)と、第二の平面反射ミラー(2 μmにおける反射率80%、1 μmにおける透過率80%)と、を用い、この間の距離(共振器長)を31.2 mmに対向して配置させるとともに、この間に、2 mm×2 mm×30 mmの非線形媒質であるPPSLTを設置した以外は上記実施例1と同様にした。なおこの結果、1064 nmの光は1970 nmの光と2313 nmの光に分割された。

[0073] この光学系の配置の概略を図17に、この光パラメトリック発生の入出力特性を図18に、更に、光共振部から出射されるシグナル光及びアイドラー光の空間プロファイルを図19に示す。また、このシグナル光及びアイドラー光についてそれぞれ回折格子を透過させた後の1次回折光パターンを図20に示す。

[0074] また、この結果出力されたシグナル光及びアイドラー光に対して1次光渦用ホログラムを用い、これらに回折光を入射し回折光を得たところその強度分布に非対称性が現れた。すなわちシグナル光とアイドラー光の軌道角運動量が非縮退状態であることがわかった。一方、上記実施例1におけるシグナル光及びアイドラー光における同様の観察の結果は対称性があり、縮退していることが確認できた。

[0075] 以上、本発明により、高出力化が可能であって、広い周波数範囲で、かつ、整数以外の量子数の光渦であっても発生させることができる光渦レーザー発振装置を提供することができた。特に、共振条件を変化させることで多周波発生が可能であるとともに、軌道各運動量の縮退、非縮退のいずれの状態も任意に調整可能であることが示された。

産業上の利用可能性

[0076] 本発明は、光渦レーザー発振装置、及び光渦レーザー発生方法として産業

上の利用可能性がある。

請求の範囲

- [請求項1] パルス励起の光渦を光パラメトリック発振系に入力し、複数のコヒーレントな光渦を発生させ、周波数変換を行い軌道角運動量の量子数を変化させる光渦レーザー発振方法。
- [請求項2] 前記光パラメトリック発振系は、非線形媒質と、前記非線形媒質を挟む一对の共振器ミラーと、を有する共振器を備える請求項1記載の光渦レーザー発振方法。
- [請求項3] 前記共振器ミラーの曲率半径は、前記一对の共振器ミラーが形成する共振器長の5倍以上である請求項2記載の光渦レーザー発振方法。
- [請求項4] 前記一对の共振器ミラーは、平行平板である請求項1記載の光渦レーザー発振方法。
- [請求項5] 前記共振器における共振条件を変化させて前記角運動量の量子数の縮退状態を変化させる請求項1記載の光渦レーザー発振方法。
- [請求項6] 前記軌道角運動量の量子数は非縮退状態である請求項1記載の光渦レーザー発振方法。
- [請求項7] 前記複数のコヒーレントな光渦を発生させて多周波数発生を行う請求項1記載の光渦レーザー発振方法。
- [請求項8] 差周波を発生させる請求項7記載の光渦レーザー発振方法。
- [請求項9] 前記非線形媒質を回転させる請求項2記載の光渦レーザー発振方法。
- [請求項10] 前記非線形媒質の温度を変える請求項2記載の光渦レーザー発振方法。
- [請求項11] 前記非線形媒質は、 KTiOPO_4 、周期分極反転 LiNbO_3 、及び周期分極反転 LiTaO_3 の少なくともいずれかを含む請求項2記載の光渦レーザー発振方法。
- [請求項12] パルス励起のレーザー光を発するレーザー光源と、
前記レーザー光源が発するレーザー光に基づき励起光渦を発する光渦発生部と、

前記光渦発生部により発生した励起光渦に基づき複数のコヒーレントな光渦を発生させ、周波数変換を行い軌道角運動量の量子数を変化させる光パラメトリック発振系と、を有する光渦レーザー発振装置。

[請求項13] 前記光パラメトリック発振系は、非線形媒質と、前記非線形媒質を挟む一对の共振器ミラーと、を有する共振器を備える請求項12記載の光渦レーザー発振装置。

[請求項14] 前記共振器ミラーの曲率半径は、前記一对の共振器ミラーが形成する共振器長の5倍以上である請求項13記載の光渦レーザー発振装置。

[請求項15] 前記一对の共振器ミラーは、平行平板である請求項12記載の光渦レーザー発振装置。

[請求項16] 前記共振器における共振条件を変化させて前記角運動量の量子数の縮退状態を変化させる請求項12記載の光渦レーザー発振装置。

[請求項17] 前記軌道角運動量の量子数は非縮退状態である請求項12記載の光渦レーザー発振装置。

[請求項18] 前記複数のコヒーレントな光渦を発生させて多周波数発生を行う請求項12記載の光渦レーザー発振装置。

[請求項19] 差周波を発生させる請求項18記載の光渦レーザー発振装置。

[請求項20] 前記非線形媒質を回転させる請求項13記載の光渦レーザー発振装置。

[請求項21] 前記非線形媒質の温度を変える請求項13記載の光渦レーザー発振装置。

[請求項22] 前記非線形媒質は、 KTiOPO_4 、周期分極反転 LiNbO_3 、及び周期分極反転 LiTaO_3 の少なくともいずれかを含む請求項13記載の光渦レーザー発振装置。

[請求項23] レーザー光を発するレーザー光源と、
前記レーザー光源が発するレーザー光に基づき励起光渦を発する光渦発生部と、

前記光渦発生部が発する前記励起光渦を共振させてシグナル光とアイドラー光に分割する光共振部と、を有するレーザー発振装置。

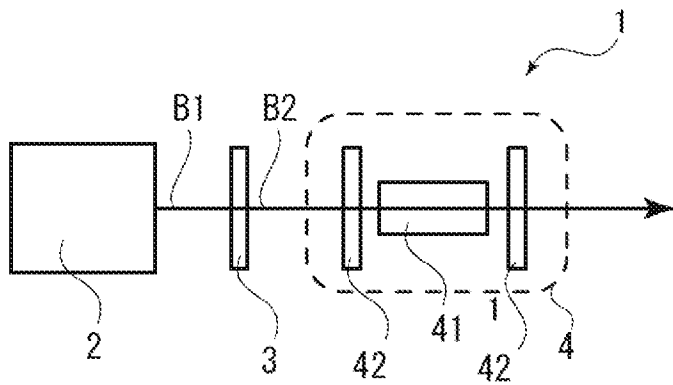
[請求項24] 前記光共振部は、非線形媒質と、前記非線形媒質を挟む一对の共振器ミラーとを有する請求項23記載の光渦レーザー発振装置。

[請求項25] 前記共振器ミラーの曲率半径は、前記一对の共振器ミラーが形成する共振器長の5倍以上である請求項24記載の光渦レーザー発振装置。

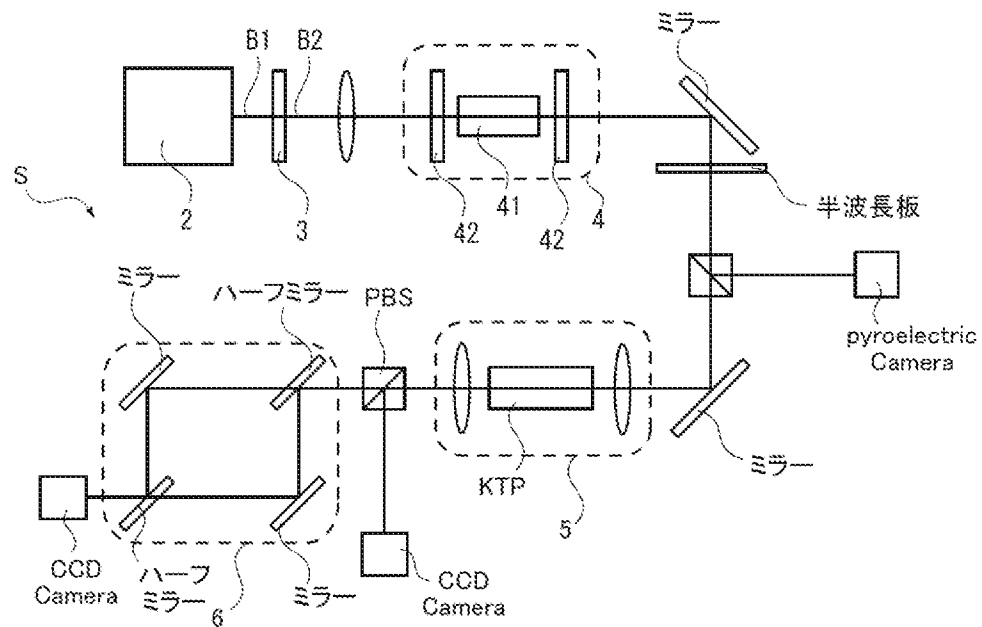
[請求項26] 前記シグナル光の光子エネルギーに対するアイドラー光の光子エネルギーの比が、0.8以上1.2以下の範囲にある請求項23記載の光渦レーザー発振装置。

[請求項27] 前記非線形媒質は、 KTiOPO_4 、周期分極反転 LiNbO_3 、及び周期分極反転 LiTaO_3 の少なくともいずれかを含む請求項24記載の光渦レーザー発振装置。

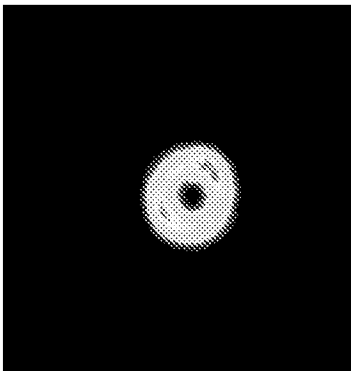
[図1]



[図2]



[図3]



[図4]



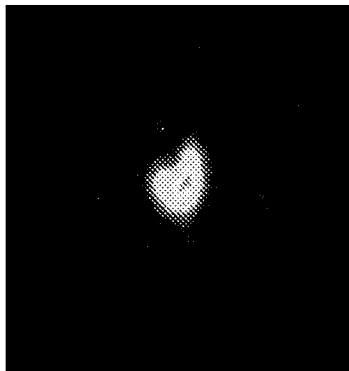
[図5]



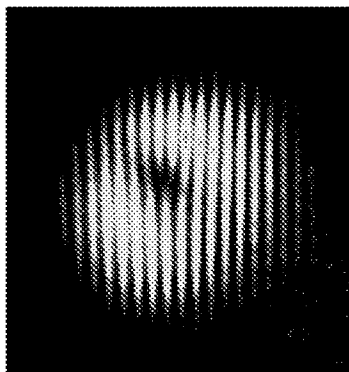
[図6]



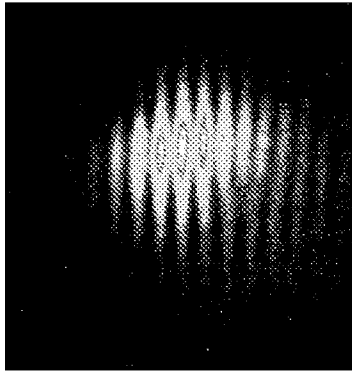
[図7]



[図8]



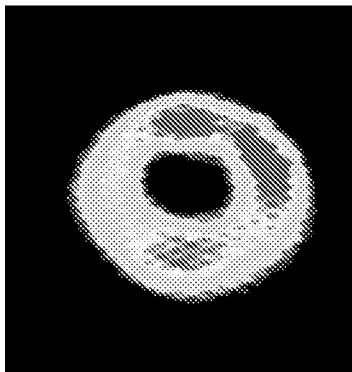
[図9]



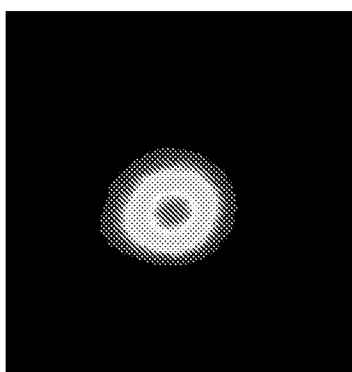
[図10]



[図11]



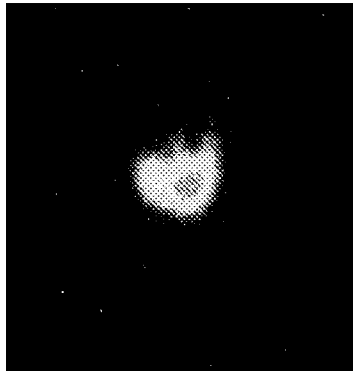
[図12]



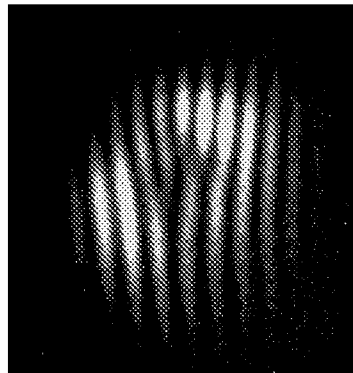
[図13]



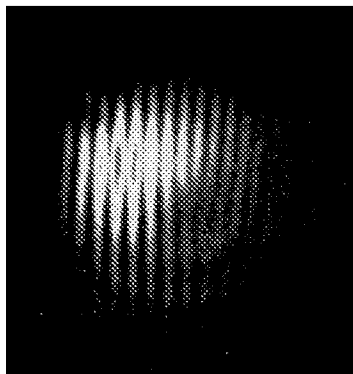
[図14]



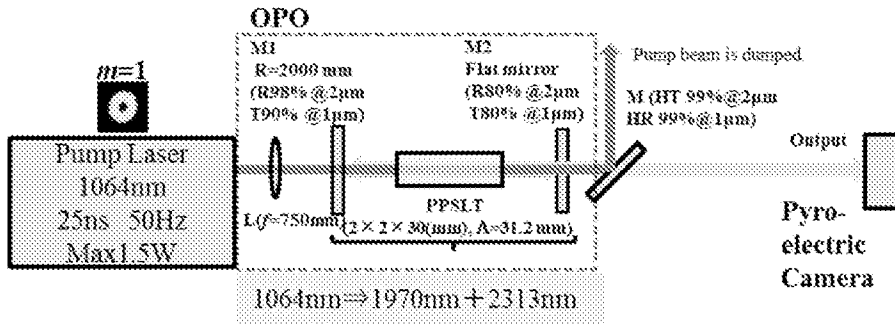
[図15]



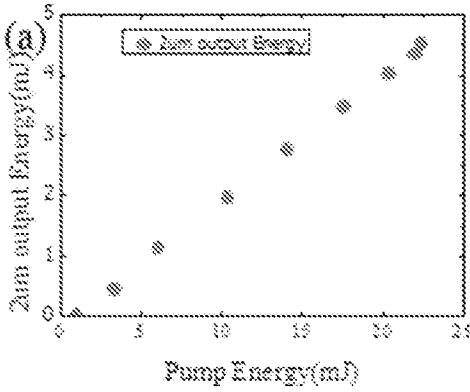
[図16]



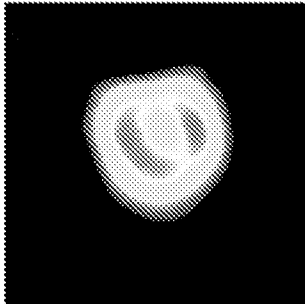
[圖17]



[圖18]



[圖19]



[圖20]

