(19)日本国特許庁(JP)　(12)特　許　公　報(B2)　(11)特許番号

特許第6188079号
(P6188079)

(45)発行日　平成29年8月30日(2017.8.30)　(24)登録日　平成29年8月10日(2017.8.10)

(51)Int.Cl.			F I		
G02B	5/30	(2006.01)	G02B	5/30	
H01S	3/10	(2006.01)	H01S	3/10	Z
H01S	1/02	(2006.01)	H01S	1/02	
H01S	3/00	(2006.01)	H01S	3/00	A
G02F	1/37	(2006.01)	G02F	1/37	

請求項の数 3　(全 7 頁)

(21)出願番号　特願2014-39285(P2014-39285)
(22)出願日　平成26年2月28日(2014.2.28)
(65)公開番号　特開2015-163912(P2015-163912A)
(43)公開日　平成27年9月10日(2015.9.10)
審査請求日　平成28年3月28日(2016.3.28)

特許法第３０条第２項適用　２０１３年　第７４回　応用物理学会秋季学術講演会　講演予稿集、平成２５年８月３１日発行

(73)特許権者　304021831
国立大学法人　千葉大学
千葉県千葉市稲毛区弥生町１番３３号
(74)代理人　100121658
弁理士　高橋　昌義
(72)発明者　宮本　克彦
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
(72)発明者　尾松　孝茂
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

最終頁に続く

(54)【発明の名称】光渦発生装置及びこれに用いられる連続螺旋型位相板並びに光渦発生方法

(57)【特許請求の範囲】
【請求項１】
１．２ＴＨｚ以上１２ＴＨｚ以下のテラヘルツ帯域から可視領域において透過性を有するオレフィンポリマー樹脂により構成される連続螺旋型位相板であって、
１０μｍ以上３００μｍ以下の波長範囲における透過率が６０％以上であり、
一方の面が、中心軸に垂直な面に沿った直線が前記中心軸を中心に一周回転しつつ厚み方向に移動することにより無段階の連続的な螺旋が形成された面であり、
他方の面が平面である連続螺旋型位相板。
【請求項２】
１．２ＴＨｚ以上１２ＴＨｚ以下のテラヘルツ帯域から可視領域において透過性を有するオレフィンポリマー樹脂により構成される連続螺旋型位相板であって、１０μｍ以上３００μｍ以下の波長範囲における透過率が６０％以上であり、一方の面が、中心軸に垂直な面に沿った直線が前記中心軸を中心に一周回転しつつ厚み方向に移動することにより無段階の連続的な螺旋が形成された面であり、他方の面が平面である連続螺旋型位相板にテラヘルツ波長範囲のレーザー光を照射して光渦を発生させる光渦発生方法。
【請求項３】
テラヘルツ帯域のレーザー光を発生させるレーザー光源部と、
前記レーザー光をコリメートさせるコリメータと、
入射されるコリメートされた前記レーザー光を光渦に変化させる連続螺旋型位相板と、
を有する光渦発生装置であって、

前記連続螺旋型位相板は、
１．２ＴＨｚ以上１２ＴＨｚ以下のテラヘルツ帯域から可視領域において透過性を有するオレフィンポリマー樹脂により構成される連続螺旋型位相板であって、
１０μｍ以上３００μｍ以下の波長範囲における透過率が６０％以上であり。
一方の面が、中心軸に垂直な面に沿った直線が前記中心軸を中心に一周回転しつつ厚み方向に移動することにより無段階の連続的な螺旋が形成された面であり、
他方の面が平面である連続螺旋型位相板である、光渦発生装置。

【発明の詳細な説明】
【技術分野】
【０００１】
本発明は、光渦発生装置及びこれに用いられる連続螺旋型位相板並びに光渦発生方法に関する。より具体的には、テラヘルツ帯域において光渦を発生させる方法及びそれに用いられる光渦発生装置及び連続螺旋型位相板に好適なものである。
【背景技術】
【０００２】
光渦は等位相面（波面）が螺旋状であって、中央が凹んだドーナツ型の強度分布を有するレーザー光である。光渦は、光波面に直行する方向に力が作用するため、マイクロオーダーの物質を操る光ピンセット、レーザー加工、超解像顕微分光等に応用できる。
【０００３】
公知の光渦発生方法として、螺旋型位相板を用いる手法が、例えば下記非特許文献１に記載されている。
【先行技術文献】
【非特許文献】
【０００４】
【非特許文献１】Ｋ．Ｓｕｅｄａ，　Ｇ．Ｍｉｙａｊｉ，　Ｎ．Ｍｉｙａｎａｇａ　ａｎｄ　Ｍ．Ｎａｋａｔｓｕｋａ、ＯＰＴＩＣＳ　ＥＸＰＲＥＳＳ、Ｖｏｌ．１２、　Ｎｏ．１５、２００４年、３５４８－３５５３
【発明の概要】
【発明が解決しようとする課題】
【０００５】
しかしながら、周波数０．１～３０ＴＨｚのテラヘルツ帯域において光渦の発生はこれまで前例がなく未踏領域として取り残されている。
【０００６】
そこで、本発明は、上記課題を鑑み、テラヘルツ帯域において光渦を発生させる方法並びにこれを実現する光渦発生装置及び連続螺旋型位相板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】
【０００７】
上記課題を解決する本発明の一観点に係る連続螺旋型位相板は、テラヘルツ帯域において透過性を有するオレフィンポリマー樹脂により構成されることを特徴とする。
【０００８】
また、本発明の他の一観点に係る光渦発生方法は、テラヘルツ帯域において透過性を有するオレフィンポリマー樹脂により構成される連続螺旋型位相板にテラヘルツ帯域のレーザー光を照射して光渦を発生させることを特徴とする。
【０００９】
また、本発明の他の一観点に係る光渦発生装置は、テラヘルツ帯域のレーザー光を発生させるレーザー光源部と、レーザー光をコリメートさせるコリメータと、入射されるコリメートされたレーザー光を光渦に変化させる連続螺旋型位相板と、を有する。

【発明の効果】
【００１０】
以上、本発明により、テラヘルツ帯域において光渦を発生させる方法並びにこれを実現する光渦発生装置及び連続螺旋型位相板を提供することができる。
【図面の簡単な説明】
【００１１】
【図１】実施形態に係る光渦発生装置の概略を示す図である。
【図２】連続螺旋型位相板の概略を示す図である。
【図３】連続螺旋型位相板の透過率の一例を示す図である。
【図４】実施例に係る連続位相型位相板の写真代用図である。
【図５】実施例に係る光渦発生装置の光学系を示す図である。
【図６】実施例により生じた光渦の写真代用図である。
【図７】実施例において位相板の向きを変えトポロジカルチャージｍの符号を逆にした場合の光渦の写真代用図である。
【発明を実施するための最良の形態】
【００１２】
以下、本発明の実施形態について、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、実施例の例示に限定されるものではない。
【００１３】
図１は、本実施形態に係る光渦発生装置（以下「本装置」という。）１の概略を示す図である。本図で示すように、本装置１は、テラヘルツ帯域のレーザー光を発生させるレーザー光源部１１と、レーザー光をコリメートさせるコリメータ１２と、入射されるコリメートされたレーザー光を光渦に変化させる連続螺旋型位相板１３と、を有する。
【００１４】
ここで本実施形態におけるテラヘルツ帯域とは、周波数０．１ＴＨｚ～３０ＴＨｚの範囲をいい、より具体的に「テラヘルツ帯域のレーザー光」とは１０μｍ以上３００μｍ以下の波長範囲にあるレーザー光をいう。本実施形態に係る連続螺旋型位相板の透過範囲及び材料の加工限界を考慮すると周波数１．２ＴＨｚ以上１２ＴＨｚ以下の範囲内であることがより好ましい。
【００１５】
本実施形態において、レーザー光源部１１は、テラヘルツ帯域のレーザー光を発生させることができる限りにおいて限定されず、様々な部材を用いることができる。限定されるわけではないが、例えば、Ｎｄ：YVO_4レーザー等の公知のレーザー光源を用い、レーザー光源から発せられたレーザー光を分割し、それぞれに対しＰＰＳＬＴ、ＰＰＬＮ等の波長変換素子によって異なる波長に変換し、ＤＡＳＴ（４－ｄｉｍｅｔｈｙｌａｍｉｎｏ－Ｎ－ｍｅｔｈｙｌ－４－ｓｔｉｌｌｂａｚｏｌｉｕｍｔｏｓｙｌａｔｅ）結晶等を用いて差周波を発生させることは好ましい一例である。
【００１６】
また、本実施形態では、連続螺旋型位相板１３には、所定の面積を有する平行（コリメート）な光を入射させる必要があるため、この機能を有するコリメータ１２を備えていることが望ましい。コリメータの例としては限定されるわけではないが、レンズやミラーを所望の機能を有するように組み合わせたものを例示することができる。また、平行な光の面積としては、連続螺旋型位相板の面積に合わせて適宜調節可能である。
【００１７】
また本実施形態における連続螺旋型位相板１３は、入射されるコリメートされたレーザー光を光渦に変化させるものである。図２は、本実施形態に係る連続螺旋型位相板（以下「本位相板」という。）１３の概略を説明するための図である。
【００１８】
また本連続螺旋型位相板１３の材料は、限定されるわけではないが、オレフィンポリマ

ー樹脂であることが好ましい。オレフィンポリマー樹脂はテラヘルツ帯から可視領域までほぼ屈折率が一定であるため、発生したテラヘルツ光渦は広い帯域にわたって純度の高い光渦であるといえる。また、加工が容易であるといった効果もあり、この結果無段階で連続的に厚さの変わる螺旋形状が可能となる。

【００１９】

また、本図で示すように、本位相板１３は、中心軸（想定される光の進行方向）に垂直な面に沿った直線が中心軸を中心に一周回転しつつ厚み方向に移動することにより形成される面に沿って構成されている。この結果、当該面は無段階で連続的となっている一方、当該直線が中心を一周した結果、段差面Ｓを生じさせることとなる。なおこの段差面の形状は長方形であって、厚さｄ（想定される光の進行方向における段差の高さ）は、下記式で示されるものとなっており、必要とされる波長に応じて適宜調整可能であるが、本実施形態において、材料の加工限界と材料の透過性を考慮すると、段差ｄの大きさは、１μｍ以上５００μｍ以下の範囲としておくことが好ましく、より好ましくは１２μｍ以上５００μｍ以下の範囲内である。なお下記式中、ｎは屈折率であり、ｍはトポロジカルチャージを示す。

【数１】

$$d=\frac{m\lambda}{n-1}$$

【００２０】

なお、本位相板１３において、上記無段階の連続的な螺旋が形成された面の他方の面は限定されるわけではないが平面であることが好ましい。

【００２１】

以上、本実施形態ではオレフィンポリマー樹脂（Ｔｓｕｒｕｐｉｃａ）を用いて連続螺旋位相板を用いることで、テラヘルツ帯の光渦を発生させることが可能となる。

【００２２】

ここで、本実施形態に係る光渦発生方法（以下「本方法」という。）について説明する。本方法は、テラヘルツ帯域において透過性を有するオレフィンポリマー樹脂により構成される無段階の連続螺旋型位相板にテラヘルツ波長範囲のレーザー光を照射して光渦を発生させることを特徴とする。

【００２３】

本方法において、平行光が本位相板に入射されるとその透過した距離に応じて位相の変調を受ける。そして本位相板は連続的に螺旋を描いているため変調を受ける量は厚みに依存する、すなわち螺旋的に変化していくこととなる。この結果、光渦を発生させることが可能となる。なお本位相板は、中心軸はそのままとして反対向きに配置することで反対の光渦を発生させることができる。

【００２４】

以上、本装置を用いることで、テラヘルツ帯の光渦を発生させることができる。具体的には、本実施形態では、オレフィンポリマー樹脂はテラヘルツ領域から可視領域までほぼ屈折率が一定であり、発生したテラヘルツ光渦は広帯域にわたって純度の高い光渦となる。なおオレフィンポリマー樹脂は金型による作成が可能であるため加工が容易であり、無段階の連続螺旋形状にでき、位相変調を滑らかにすることが可能となる。

【実施例】

【００２５】

ここで実際に連続螺旋型位相板を作成し、その効果を確認した。以下具体的に説明する。

【００２６】

まず、下記式で示される化合物からなり図３に示す透過率を有するオレフィンポリマー樹脂を用い、上記図２で示される形状の連続螺旋型位相板を作成した。この連続螺旋型位相板の寸法は、直径２ｃｍ、段差厚みは約２９０μｍとした。この結果作成した位相板の

写真図を図４に示す。

【００２７】

ついで、図５で示されるように、Ｎｄ：ＹＶＯ４レーザー（波長１０６４ｎｍ、繰り返し周波数１ＭＨｚ、パルス幅７．４ｐｓ、出力１４Ｗ）及びＤＡＳＴ結晶を含む光学系を用いてテラヘルツ帯差周波を発生させ、さらにコリメータを用いて平行光にした後、上記連続螺旋型位相板に照射し、その光をテラヘルツ帯に対応したカメラで撮影した。この結果を図６に示しておく。本図は、光学系の調整によって発生させた２ＴＨｚ（ｍ＝１）、４ＴＨｚ（ｍ＝２）、６ＴＨｚ（ｍ＝３）それぞれのテラヘルツ光渦のビームファイルを示すものである。また、図７には、位相板の向きを変え、トポロジカルチャージｍの符号を逆にした場合の結果を示す。

【００２８】

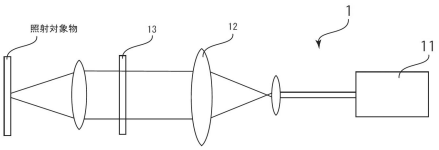
これらの結果からわかるように、ビーム中央に光渦特有の暗点すなわち位相特異点をはっきり確認することができた。すなわち、ガウシアンテラヘルツビーム帯光渦で発生させていることが確認できた。

【産業上の利用可能性】

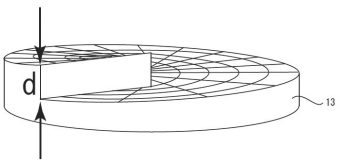
【００２９】

本発明は、光渦発生装置及びこれに用いられる連続螺旋型位相板並びに光渦発生方法として産業上の利用可能性がある。

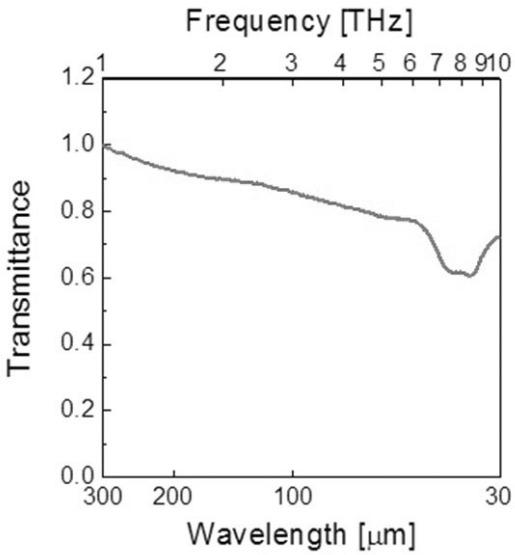
【図１】



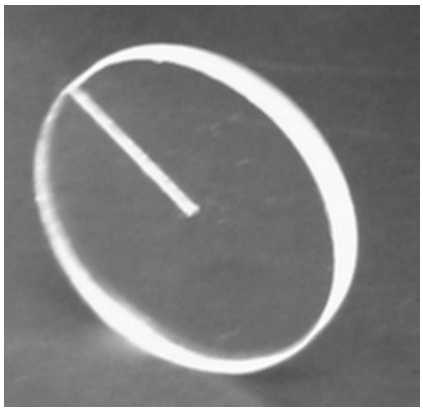
【図２】



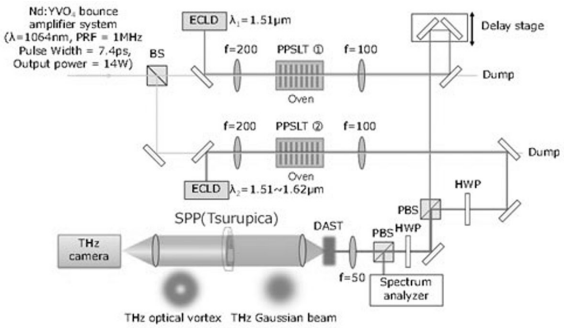
【図３】



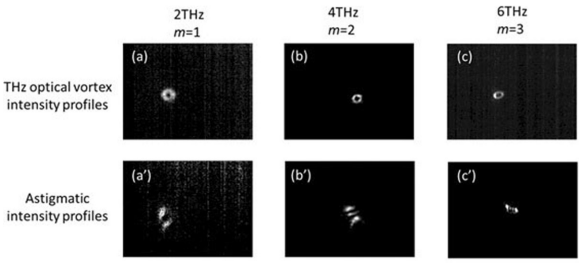
【図４】



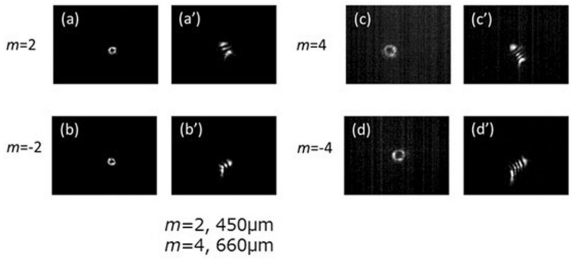
【図５】


Nd:YVO, bounce amplifier system (λ=1064nm, PRF = 1MHz Pulse Width = 7.4ps, Output power = 14W)
BS
ECLD λ1=1.51μm
f=200
PPSLT ①
f=100
Oven
Delay stage
Dump
f=200
PPSLT ②
f=100
Oven
Dump
ECLD λ2=1.51~1.62μm
HWP
PBS
SPP(Tsurupica)
DAST
PBS
HWP
THz camera
f=50
Spectrum analyzer
THz optical vortex
THz Gaussian beam

【図６】


2THz
m=1
4THz
m=2
6THz
m=3
THz optical vortex intensity profiles
(a)
(b)
(c)
Astigmatic intensity profiles
(a')
(b')
(c')

【図７】


m=2
(a)
(a')
m=4
(c)
(c')
m=-2
(b)
(b')
m=-4
(d)
(d')
m=2, 450μm
m=4, 660μm

フロントページの続き

(72)発明者　工藤　朗人
宮城県仙台市青葉区南吉成六丁目６番地の３　有限会社パックス内

審査官　後藤　亮治

(56)参考文献　特開２００９－３００４８６（ＪＰ，Ａ）
特開２００８－１１６４３９（ＪＰ，Ａ）
国際公開第２００７／０１３６４８（WO，Ａ１）
特開２０１３－０７６７７０（ＪＰ，Ａ）
鈴木　雅人　Masato Suzuki　Masato Suzuki，非線型屈折率効果を伴う物質の異方性を用いた光子のスピン軌道角運動量変換ＩＶ　Spin-Orbit Coupling of Photon with Nonlinear Refraction in Anisotropic Media IV，＜第６０回＞応用物理学関係連合講演会講演予稿集，日本，公益社団法人　応用物理学会，２０１３年　3月１１日，04-155頁
Jack T. Surek他，Polymer Membranes to Quarter-Wave Match Gaussian Optics，IEEE TRANSACTIONS ON TERAHERTZ SCIENCE AND TECHNOLOGY，米国，IEEE，２０１３年　3月，第3巻、第2号，187～191頁

(58)調査した分野(Int.Cl.，ＤＢ名)
Ｇ０２Ｂ　　１／００　－　１／０８
Ｇ０２Ｂ　　５／３０
ＪＳＴＰｌｕｓ／ＪＭＥＤＰｌｕｓ／ＪＳＴ７５８０（ＪＤｒｅａｍＩＩＩ）