

【公報種別】特許法第 17 条の 2 の規定による補正の掲載

【部門区分】第 6 部門第 2 区分

【発行日】平成29年7月20日(2017.7.20)

【公表番号】特表2016-526699(P2016-526699A)

【公表日】平成28年9月5日(2016.9.5)

【年通号数】公開・登録公報2016-053

【出願番号】特願2016-519621(P2016-519621)

【国際特許分類】

G 0 2 F 1/37 (2006.01)

H 0 1 S 3/10 (2006.01)

【F I】

G 0 2 F 1/37

H 0 1 S 3/10 Z

【手続補正書】

【提出日】平成29年6月8日(2017.6.8)

【手続補正 1】

【補正対象書類名】特許請求の範囲

【補正対象項目名】全文

【補正方法】変更

【補正の内容】

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

深紫外線（D U V）連続波（C W）レーザーであって、

約 $1\ \mu\text{m}$ ～ $1.1\ \mu\text{m}$ の対応する波長を持つ基本波周波数を発生させるように構成された基本波 C W レーザーと、

少なくとも 1 つの第 1 の周期分極反転非線形光学（N L O）結晶を含み、前記基本波周波数の第 1 の部分を受け取るように位置付けされ、3 次高調波を発生させるように構成された 3 次高調波発生器モジュールと、

4 次高調波発生器モジュールであって、

前記基本波周波数に対応する波長で共振する空洞を形成するように構成された複数の鏡と、

前記空洞内で前記基本波周波数の第 2 の部分を結合し、前記第 2 の部分を前記複数の鏡で定義される空洞光路に沿って向かわせる結合器と、

空洞光路内に配置された第 2 の周期分極反転非線形光学（N L O）結晶と、

前記第 2 の周期分極反転非線形光学（N L O）結晶内の前記 3 次高調波を集束し、前記 3 次高調波は前記第 2 の周期分極反転非線形光学（N L O）結晶内で前記基本波周波数の第 2 の部分を重ね合わせ、前記第 2 の周期分極反転非線形光学（N L O）結晶は、前記基本波周波数の第 2 の部分と前記 3 次高調波とを組み合わせる 4 次高調波を発生させる、1 以上のレンズと、

前記空洞光路から離間するように前記第 2 の周期分極反転非線形光学（N L O）結晶から発した前記 3 次高調波の未消費部分を反射するように構成され、前記未消費部分は前記空洞内で再循環しない、ビームスプリッタと、

を有する 4 次高調波発生器モジュールと、

を備える、レーザー。

【請求項 2】

前記 3 次高調波発生器モジュールは、共振空洞を使用しない、請求項 1 に記載のレーザー。

【請求項 3】

前記 3 次高調波発生器モジュールは、前記基本波周波数で共振する空洞をさらに備える、請求項 1 に記載のレーザー。

【請求項 4】

前記少なくとも 1 つの第 1 の周期分極反転非線形光学 (NLO) 結晶は、2 次高調波を発生させる、請求項 1 に記載のレーザー。

【請求項 5】

前記少なくとも 1 つの第 1 の周期分極反転非線形光学 (NLO) 結晶は、3 次高調波を発生させる、請求項 1 に記載のレーザー。

【請求項 6】

前記少なくとも 1 つの第 1 の周期分極反転非線形光学 (NLO) 結晶は、前記 3 次高調波の直接発生のために二重周期の分極反転結晶を備える、請求項 1 に記載のレーザー。

【請求項 7】

前記 3 次高調波発生器モジュールは、2 つの周期分極反転非線形光学 (NLO) 結晶を備える、請求項 1 に記載のレーザー。

【請求項 8】

前記少なくとも 1 つの第 1 の周期分極反転非線形光学 (NLO) 結晶は、3 次高調波発生効率を最大化するために温度制御される、請求項 1 に記載のレーザー。

【請求項 9】

前記基本波周波数は、前記少なくとも 1 つの第 1 の周期分極反転非線形光学 (NLO) 結晶の分極反転深さに実質的に平行な短軸を有する楕円ビームに集束される、請求項 1 に記載のレーザー。

【請求項 10】

前記 3 次高調波発生器モジュールは、前記 3 次高調波の和周波発生のための 3 次擬似位相整合を達成するために、 $2\ \mu\text{m}$ より長いドメイン周期を有する第 1 の周期分極反転非線形光学 (NLO) 結晶を使用する、請求項 1 に記載のレーザー。

【請求項 11】

3 次高調波変換効率を高めるために電気光学変調が使用される、請求項 1 に記載のレーザー。

【請求項 12】

深紫外線 (DUV) 連続波 (CW) レーザー照射を発生させる方法であって、

約 $1\ \mu\text{m}$ ~ $1.1\ \mu\text{m}$ の対応する波長を持つ基本波周波数を発生させることと、

前記基本波周波数の一部を、第 1 の周期分極反転非線形光学 (NLO) 結晶を使用して、2 次高調波に変換することと、

前記基本波周波数の別の一部と前記 2 次高調波とを組み合わせることで 3 次高調波を発生させることと、

前記基本波周波数に対応する波長で共振する空洞内で前記基本波周波数の第 2 の部分と前記 3 次高調波とを組み合わせることによって 4 次高調波を発生させることであり、前記空洞内に配置された第 2 の周期分極反転非線形光学 (NLO) 結晶内で前記 3 次高調波を集束し、前記基本波周波数の第 2 の部分と前記 3 次高調波の和周波発生を実行することを含む、発生させることと、

前記第 2 の周期分極反転非線形光学 (NLO) 結晶から発する前記 3 次高調波の未消費部分を反射することであり、前記未消費部分は前記空洞内で再循環しない、反射することと、

を含む方法。

【請求項 13】

2 次高調波発生のための前記第 1 の周期分極反転非線形光学 (NLO) 結晶は、いずれの共振空洞内にも設けられない、請求項 12 に記載の方法。

【請求項 14】

2 次高調波発生のための前記第 1 の周期分極反転非線形光学 (NLO) 結晶と 3 次高調波発生のための別の周期分極反転非線形光学 (NLO) 結晶とは、前記基本波周波数で共

振する別の空洞内に収容される、請求項 1 2 に記載の方法。

【請求項 1 5】

前記 2 次高調波及び前記 3 次高調波は、二重周期の分極反転結晶を使用して発生する、請求項 1 2 に記載の方法。

【請求項 1 6】

前記 2 次高調波及び前記 3 次高調波は、2 つの周期分極反転 非線形光学 (N L O) 結晶を使用して発生する、請求項 1 2 に記載の方法。

【請求項 1 7】

2 次高調波発生のための前記 第 1 の周期分極反転非線形光学 (N L O) 結晶は、 LiNbO_3 、SLT、 LiTaO_3 、KTP、KTA、 $\text{MgO}:\text{LiNbO}_3$ 、及び $\text{MgO}:\text{SLT}$ のうちの少なくとも 1 つを含む、請求項 1 2 に記載の方法。

【請求項 1 8】

前記 第 1 の周期分極反転非線形光学 (N L O) 結晶は、3 次高調波発生効率を最大化するために温度制御される、請求項 1 2 に記載の方法。

【請求項 1 9】

前記基本波周波数は、前記 第 1 の周期分極反転非線形光学 (N L O) 結晶の分極反転深さに実質的に平行な短軸を有する楕円ビームに集束される、請求項 1 2 に記載の方法。

【請求項 2 0】

前記 3 次高調波の前記発生は、3 次擬似位相整合を達成するために、 $2\ \mu\text{m}$ より長いドメイン周期を有する周期分極反転 非線形光学 (N L O) 結晶を使用する、請求項 1 2 に記載の方法。

【請求項 2 1】

3 次高調波変換効率を高めるために電気光学変調が使用される、請求項 1 2 に記載の方法。

【請求項 2 2】

前記 4 次高調波の前記発生は、水素アニールされた CLBO 、 CBO 、 LBO 、 LB4 、または BBO を含むバルク単結晶 内の前記 3 次高調波を集光することをさらに含む、請求項 1 2 に記載の方法。

【手続補正 2】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0 0 2 4

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0 0 2 4】

様々な実施形態は、以下の特徴を有し得る。3 次高調波発生器モジュールは、共振空洞を使用しなくてもよい。3 次高調波発生器モジュールはさらに、基本波周波数で共振する空洞を含み得る。少なくとも 1 つの周期分極反転 NLO 結晶は、2 次高調波または 3 次高調波を発生させ得る。少なくとも 1 つの周期分極反転 NLO 結晶は、3 次高調波の直接発生のために二重周期の分極反転結晶を含み得る。3 次高調波発生器モジュールは、2 つの周期分極反転 NLO 結晶を含み得る。少なくとも 1 つの周期分極反転 NLO 結晶は、3 次高調波発生効率を最大化するために温度制御され得る。基本波周波数は、少なくとも 1 つの周期分極反転 NLO 結晶の分極反転深さに実質的に平行な短軸を有する楕円ビームに集束され得る。3 次高調波発生器モジュールは、3 次高調波の和周波発生のための 3 次擬似位相整合を達成するために、 $2\ \mu\text{m}$ より長いドメイン周期を有する周期分極反転 NLO 結晶を使用し得る。電気光学変調は、3 次高調波変換効率を高めるために使用され得る。4 次高調波発生器モジュールは、3 次高調波を空洞内で再循環させなくてもよい。5 次高調波発生器モジュールは、3 次高調波を空洞内で再循環させなくてもよい。

【手続補正 3】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0 0 4 0

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0040】

図2Bは、効率的な3次高調波発生のために単結晶を有する別の3次高調波発生器モジュール220を図示する。この実施形態では、周波数 ω で動作する基本波レーザー221は、基本波222を発生させる。レンズ223は、2次及び3次高調波を発生させるために、基本波222を二重周期の分極反転NLO結晶224に集束させるように位置決めされる。このような結晶は、2つの別々の光パラメトリックプロセス、すなわち周波数2倍化と和周波発生とを、縦続接続の疑似位相整合の相互作用を通じて結合することを可能にし、それにより超格子結晶サンプルから3次高調波を直接発生させることを可能にする。二重周期及び超格子の分極反転NLO材料の理論的説明は、Antonosyan et al., 「Phase-reversed structures in superlattice of nonlinear materials」, <http://arxiv.org/abs/1109.2751v1> (2011)に見ることができる。二重周期のタンタル酸リチウム構造の例は、Liu et al., 「Quasi-Cw Ultraviolet Generation in a Dual-periodic LiTaO₃ Superlattice by Frequency Tripling」, Japanese Journal of Applied Physics, vol. 40, pp6841-6844 (2001)に見ることができる。これらの論文の両方は、参照により本明細書に組み込まれる。二重周期の分極反転NLO224は、2つのバルク結晶または周期分極反転結晶を直列で使用するものよりも、3次高調波発生において、より高い効率性及びより単純な光路を有し得る。二重周期の分極反転NLO結晶224及び／またはレンズ223の表面は、1つ以上の周波数における高透過性のために適切に被膜され得る。ビームスプリッタ対225（またはプリズム）を使用して、発生した3次高調波（ 3ω ）226、未消費の2次高調波（ 2ω ）227、及び未消費の基本波（ ω ）228を分離させ得る。

【手続補正4】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0042

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0042】

図2Cは、3次高調波発生のための基本波パワーを高めるための共振空洞を含む、さらに別の例示的な3次高調波発生器モジュール230を図示する。この実施形態では、周波数 ω で動作する基本波レーザー231は、基本波232を発生させる。曲面鏡等の入力結合器233は、2次高調波発生のために、基本波232を第1の周期分極反転NLO結晶234に集束させるように位置決めされる。アクロマティックレンズ236（またはダブルレット）は、和周波発生のために、NLO結晶234から発生した2次高調波（ 2ω ）と未消費の基本波（ ω ）235とを第2の周期分極反転NLO結晶237に集束させるように位置決めされる。NLO結晶234、237、及び／またはレンズ236の表面は、1つ以上の周波数における高透過性のために適切に被膜され得る。第2及び第3高調波周波数は、空洞の外で出力結合器238を通じて結合され、出力結合器238は、基本波（ ω ）に対して高反射性であり、2次高調波（ 2ω ）及び3次高調波（ 3ω ）に対して高透過性である。一実施形態では、出力結合器238は、鏡によって実現される。ビームスプリッタ対239（またはプリズム）は、未消費の2次高調波（ 2ω ）240及び3次高調波（ 3ω ）241を分離させ得る。出力結合器238からの反射後、残存基本波（ ω ）242は、それがプリズム243を通過する際に平行化され、入力結合器233に戻り、空洞内部を循環する。一実施形態では、プリズム243は、空洞長のフィードバック制御のために圧電トランスデューサ（PZT）244に装着される。

【手続補正5】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0045

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0045】

図3は、ボウタイ空洞を含む4次高調波発生器モジュール300を図示する。この実施形態では、基本波(ω)301は、基本波301をボウタイ空洞内へ集束及び結合させるために、ボウタイ空洞に入る前に1つ以上のモード整合レンズ302を通過する。ボウタイ空洞は、入力結合器303、鏡304、305、306、及びNLO結晶309を含む。一実施形態では、入力結合器303は、鏡によって実現される。モジュール300において、3次高調波(3ω)307は、鏡305、例えばダイクロイック曲面鏡を通じてボウタイ空洞に入り、和周波発生のためにNLO結晶309内部で基本波周波数(ω)と重なり合う。鏡305は、3次高調波を効率的に通過させることができる一方で基本波を高効率で反射するように、適切に被膜される。

【手続補正6】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0051

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0051】

図5は、別の例示的な5次高調波発生器モジュール500を図示する。この実施形態では、NLO結晶509は、3次高調波発生器モジュール(例えば、図2Bを参照)からの3次高調波(3ω)507と2次高調波(2ω)513の未消費部分(及び/または2次高調波501)とを組み合わせる際に、和周波発生を実行して5次高調波514を発生させることができる。変換効率を高めるために、2次高調波501は、鏡503(入力結合器)、504、505、506、及びNLO結晶509を備える共振空洞内へ結合される。3次高調波(3ω)507は、鏡505(例えば、ダイクロイック曲面鏡)を通じて空洞に入り、NLO結晶509内部で2次高調波(2ω)513と重なり合う。鏡505は、3次高調波507を効率的に通過させる一方で2次高調波501、513を効率的に反射するように、被膜される。したがって、この構成は、空洞が基本波(ω)の代わりに2次高調波(2ω)と共振することを除いて、4次高調波発生器モジュール(例えば、図3に示される)と実質的に同様である。一実施形態では、NLO結晶509は、BBOを含むが、その理由は、BBOは、2次及び3次高調波の周波数加算のための位相整合を行うことができるからである。NLO結晶509の両面は、2次高調波(2ω)に対してブリュースターカットであり得、3次高調波(3ω)及び5次高調波(5ω)の高透過性のために適切に被膜され得る。モード整合レンズ502(またはレンズ)は、2次高調波501を空洞内へと集束及び結合させる。レンズ(複数可)508は、3次高調波(3ω)507をNLO結晶509の中心近傍に集束させる。ビームスプリッタ510(またはダイクロイック鏡もしくはプリズム)は、5次高調波(5ω)514及び未消費の3次高調波(3ω)512を空洞外へ反射させる。これら2つの異なる高調波512及び514はさらに、別のビームスプリッタまたはプリズム511により分離され得る。一部の実施形態では、2次、3次、及び5次高調波は、単一のプリズムまたはビームスプリッタによって、互いに分離され得る。

【手続補正7】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0052

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0052】

5次高調波発生器モジュール500が200または220の3次高調波発生器モジュール

ル（そのどちらも空洞を使用しない）と組み合わせられる場合、5次高調波は、先行技術の装置における少なくとも2つの空洞と比較して、1つの空洞のみを使用して発生することに留意されたい。5次高調波発生器モジュール500が3次高調波発生器モジュール230（これは、単一の空洞を使用する）と組み合わせられる場合、5次高調波は、基本波周波数で共振する1つの空洞と2次高調波周波数で共振する第2の空洞とにより発生する。2つの共振空洞を使用する先行技術のCWレーザーは、4次高調波のみを発生させる。したがって、基本波及び2次高調波でそれぞれ共振する2つの空洞を含む実施形態は、空洞の数は同じでありながら、より短い波長を発生させるという利点を有する。

【手続補正8】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0077

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0077】

システム700で用いられる照明サブシステムは、レーザー源701、集光光学系702 a、702 b、703 a、703 b、704 a、704 b、瞳面705 aと705 bに近接して設けられるビーム整形コンポーネント、ならびにリレー光学系706 a、706 b及び709から構成される。内部フィールド面707は、レンズ706 a、706 bと709との間に位置する。一構成では、レーザー源701は、上述の向上されたレーザーのうちの1つを含み得る。

【手続補正9】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0080

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0080】

瞳面705 a、705 bに近接して設けられる素子は、現在のシステムにおいて、成形開口の概念を使用して用いられ得る。この設計を使用すると、均一な照明または均一に近い照明、及び個別ポイント照明、リング照明、4極照明、または他の望ましいパターンもまた実現され得る。

【手続補正10】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0090

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0090】

例えば、図9Bは、表面検査システムのための、集光システム931、932、及び933の例示的なアレイを図示する（ここで、その照明システム、例えば照明システム901と同様のものは、簡略化のために示されていない）。集光システム931内の第1の光学系は、サンプルの表面911から第1の方向に散乱された光を集光する。集光システム932内の第2の光学系は、サンプルの表面911から第2の方向に散乱された光を集光する。集光システム933内の第3の光学系は、サンプルの表面911から第3の方向に散乱された光を集光する。第1、第2、及び第3の経路は、該サンプルの表面911に対して異なる反射角にあることに留意されたい。サンプル911を支持する台座921は、サンプル911の全表面が走査され得るように、光学系とサンプル911との間の相対運動を引き起こすために使用され得る。