

(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
2017年9月8日(08.09.2017)



(10) 国際公開番号
WO 2017/150324 A1

- (51) 国際特許分類:
H01S 3/30 (2006.01) H05H 9/00 (2006.01)
H05H 7/08 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2017/006777
- (22) 国際出願日: 2017年2月23日(23.02.2017)
- (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 2016-040591 2016年3月3日(03.03.2016) JP
- (71) 出願人: 国立研究開発法人理化学研究所 (RIKEN) [JP/JP]; 〒3510198 埼玉県和光市広沢2番1号 Saitama (JP).
- (72) 発明者: 石川 哲也 (ISHIKAWA Tetsuya); 〒3510198 埼玉県和光市広沢2番1号 国立研究開発法人理化学研究所内 Saitama (JP).
- (74) 代理人: 特許業務法人 佐野特許事務所 (SANO PATENT OFFICE); 〒5400032 大阪府大阪市中央

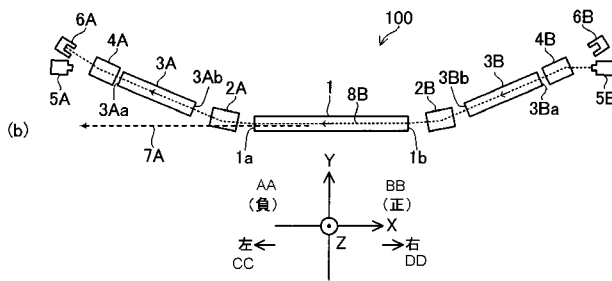
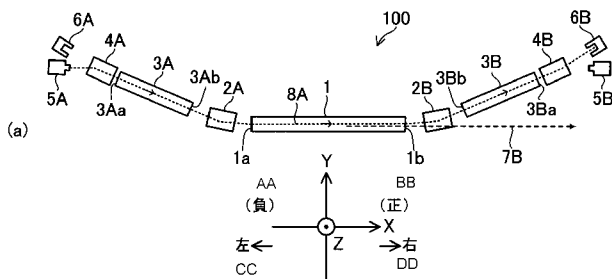
区天満橋京町2-6天満橋八千代ビル別館5F Osaka (JP).

- (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, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, 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, ST, 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),

[続葉有]

(54) Title: BIDIRECTIONAL FREE ELECTRON LASER DEVICE

(54) 発明の名称: 双方向自由電子レーザー装置



AA Negative
BB Positive
CC Left
DD Right

(57) Abstract: Two superconductive linear accelerators (3A, 3B) are respectively disposed either side of an undulator (1) having a self-amplified spontaneous emission function. Electron beams (8A, 8B) accelerated in each of the two superconductive linear accelerators (3A, 3B) enter the undulator (1) from opposite directions from each other, and, as a result, laser emission light (7B, 7A) is obtained from both sides of the undulator (1). One of the superconductive linear accelerators (3B, 3A) decelerates the electron beam emitted from the undulator (1) that entered from the other of the superconductive linear accelerators (3A, 3B), in order to recover energy.

(57) 要約: 自己増幅自発放射機能を持つアンジュレータ(1)の両側に2台の超電導リニアック(3A、3B)を1台ずつ配置する。2台の超電導リニアック(3A、3B)は、夫々において加速した電子ビームをアンジュレータ(1)に対して互いに逆方向から入射し(8A、8B)、これによってアンジュレータ1の両側からレーザー放射光を得る(7B、7A)。一方の超電導リニアック(3B、3A)は、他方の超電導リニアック(3A、3B)から入射されてアンジュレータ(1)から出射された電子ビームに対しエネルギー回収のための減速を行う。

WO 2017/150324 A1

OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG). 添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

明 細 書

発明の名称： 双方向自由電子レーザー装置

技術分野

[0001] 本発明は、双方向自由電子レーザー装置に関する。

背景技術

[0002] 極端紫外線領域からX線領域に至る短波長放射光の利用が注目されている。特に半導体デバイスの分野においては、集積回路の高密度化が露光技術に依存しており、10nm（ナノメートル）以下の線幅を実現するには、13.5nmの波長を有する極端紫外光が必須と言われている。しかしながら、このような短波長の極端紫外光を大量生産露光に必要な強度を持って照射できる現実的な光源はこれまでになく、高繰り返し自由電子レーザー装置に可能性が委ねられている。

先行技術文献

特許文献

- [0003] 特許文献1：特許第2726920号公報
特許文献2：特開平9-246674号公報
特許文献3：特許第4457207号公報

非特許文献

- [0004] 非特許文献1：峰原英介、“原研超電導リニアック駆動自由電子レーザー 極短パルス、高効率、高出力、波長可変レーザーの実現に向けて（The JAERI Free-Electron Laser Driven by a Superconducting rf Linac. Towards Ultra-Short Pulse, Highly-Efficient, High Power, and Tunable Coherent Light Sources）”、放射光、日本放射光学会(The Japanese Society for Synchrotron Radiation Research)、2001年、第14巻、第3号（2001）、p.182-189

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0005] 特許文献1、2及び3には、レーザー光に対する光共振器を有する構成の自由電子レーザー装置（以下、FELと称することがある）が開示されているが、13.5nmでは光共振器を構成しうる高効率反射鏡は存在しないため、十分な放射光の強度が得られず、光共振器を使うFELを極端紫外光源として利用することは困難である。この短波長領域で大量生産露光に必要とされる1kW（キロワット）レベルの光強度を得るためには、長いアンジュレータを用いた自己増幅自発放射（Self-Amplified Spontaneous Emission）型の自由電子レーザー装置であって且つ高繰り返しのものが必須であり、そのためには例えば、特許文献3及び非特許文献1と同様に超電導リニアックを利用した駆動が望ましい。

[0006] 一方で、エネルギー効率等を考慮すれば、利用済電子ビームが持つエネルギーを回収することも肝要である。しかしながら、特許文献3及び非特許文献1に記されたようなエネルギーを回収するために電子ビームを反転させる方式においては、反転を担うための反転アーク部（ループ電子路）が必須となる。これは、装置設置面積の増大要因及び施設の面積利用効率の低下要因となりえる。特に例えば、13.5nmのレーザー光を生成する程度に電子ビームエネルギーが高い場合においては、レーザー光を生成する部分を自己増幅自発放射型で構成した場合であっても、反転アーク部（ループ電子路）の半径が相当に大きくなるため、施設の面積利用効率が相当に悪くなる。装置設置面積の増大、施設の面積利用効率の低下が望ましくないことは言うまでも無い。

[0007] 尚、説明の具体化のため、13.5nmの波長を有する極端紫外光に注目して従来のFELの構成等を説明したが、13.5nm以外の波長を有するレーザー光を得ようとした場合にも同様のことが言える。

[0008] そこで本発明は、面積利用効率の向上等に寄与しつつ高いエネルギー効率で高強度のレーザー放射光（特に例えば極端紫外線領域の短波長のレーザー放射光）を出射し得る双方向自由電子レーザー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

[0009] 本発明に係る一側面に係る双方向自由電子レーザー装置は、自己増幅自発放射機能を持つアンジュレータを用いて双方向にレーザー放射光を得る双方向自由電子レーザー装置であって、前記アンジュレータの両側に1台ずつ配置され、各々に前記アンジュレータに対し電子ビームを入射する2台の超電導リニアックを備え、前記アンジュレータの一方の端部から入射し他方の端部から出射する電子ビームに対し、加速とエネルギー回収のための減速とを前記2台の超電導リニアックで分担して行うことを特徴とする。

[0010] 本発明に係る他の側面に係る双方向自由電子レーザー装置は、自己増幅自発放射機能を持つアンジュレータと、前記アンジュレータを挟んで配置され、各々に電子ビームに対する加速と減速の機能を有する2台の超電導リニアックと、前記2台の超電導リニアックに対し電子ビームを供給する2台の電子銃と、を備え、各電子銃から一方の超電導リニアックと前記アンジュレータと他方の超電導リニアックとを通る電子ビーム通路を構成することで、電子ビームの走行方向が互いに逆の2本の電子ビーム通路を構成するとともに前記アンジュレータの両側からレーザー放射光を得ることを特徴とする。

発明の効果

[0011] 本発明によれば、面積利用効率の向上等に寄与しつつ高いエネルギー効率で高強度のレーザー放射光（特に例えば極端紫外線領域の短波長のレーザー放射光）を出射し得る双方向自由電子レーザー装置を提供することが可能となる。

図面の簡単な説明

[0012] [図1]本発明の実施形態に係る双方向自由電子レーザー装置の概略構成図である。

[図2] (a) 及び (b) は、夫々、図1の双方向自由電子レーザー装置に係る、第1電子ビームの通路の説明図及び第2電子ビームの通路の説明図である。

[図3]本発明の第1実施例に係るアンジュレータの側面図である。

[図4] (a)、(b)、(c)は、夫々、本発明の第2実施例に係る2つのアンジュレータ部の第1の側面図、第2の側面図、配置関係図である。

[図5]本発明の第4実施例に係るFELシステムの構成図である。

発明を実施するための形態

[0013] 以下、本発明の実施形態の例を、図面を参照して具体的に説明する。参照される各図において、同一の部分には同一の符号を付し、同一の部分に関する重複する説明を原則として省略する。

[0014] 本発明においては、自由電子を媒体とした自己増幅自発放射 (Self-Amplified Spontaneous Emission) 機構をアンジュレータと呼び、電子の線形加速器をリニアック(Linac)と略称する。

[0015] [基本構成の説明]

図1は、本発明の実施形態に係る双方向自由電子レーザー装置（以下、双方向FELと称する）100の概略構成図である。図1では、双方向FEL100の各構成装置を上方から見たときの、各構成装置の概略外形が示されている。

[0016] 双方向FEL100は、アンジュレータ1と、偏向磁石2A及び2Bと、超電導リニアック3A及び3Bと、振り分け磁石4A及び4Bと、電子銃5A及び5Bと、ビームダンプ6A及び6Bと、光ビームライン7A及び7Bと、を備えて構成される。偏向磁石2A及び2Bは互いに同じ構成を有して良い。超電導リニアック3A及び3Bは互いに同じ構成を有して良い。振り分け磁石4A及び4Bは互いに同じ構成を有して良い。電子銃5A及び5Bは互いに同じ構成を有して良い。ビームダンプ6A及び6Bは互いに同じ構成を有して良い。光ビームライン7A及び7Bは互いに同じ構成を有して良い。

[0017] 図2(a)に、電子銃5Aから出射された第1電子ビームの通路である電子ビーム通路8Aを示す。電子ビーム通路8Aは、電子銃5Aから、振り分け磁石4A、超電導リニアック3A、偏向磁石2A、アンジュレータ1、偏向磁石2B、超電導リニアック3B、振り分け磁石4Bを、この順番で経由

してビームダンプ6 Bに至る通路である。

図2 (b) に、電子銃5 Bから出射された第2電子ビームの通路である電子ビーム通路8 Bを示す。電子ビーム通路8 Bは、電子銃5 Bから、振り分け磁石4 B、超電導リニアック3 B、偏向磁石2 B、アンジュレータ1、偏向磁石2 A、超電導リニアック3 A、振り分け磁石4 Aを、この順番で経由してビームダンプ6 Aに至る通路である。

[0018] 以下では、説明の具体化及び明確化のため、双方向FEL100が設置される実空間内に、互いに直交するX軸、Y軸及びZ軸を定義する。X軸及びY軸は水平面に平行であって、Z軸は鉛直面に平行であるとする。アンジュレータ1の長さ方向、即ち、アンジュレータ1内を走行する電子ビームの走行方向はX軸に平行である。更に、アンジュレータ1の中心にX軸の原点をとり、偏向磁石2 A、超電導リニアック3 A、振り分け磁石4 A、電子銃5 A、ビームダンプ6 A及び光ビームライン7 AがX軸の負側に設置され、且つ、偏向磁石2 B、超電導リニアック3 B、振り分け磁石4 B、電子銃5 B、ビームダンプ6 B及び光ビームライン7 BがX軸の正側に設置されているものとする。また、アンジュレータ1の中心からX軸の正側に向かう向きを右と定義し、アンジュレータ1の中心からX軸の負側に向かう向きを左と定義する。

[0019] 記号1 a、1 bは、夫々、アンジュレータ1の長さ方向における一方の端部、他方の端部を表す。アンジュレータ1において、端部1 aから端部1 bに向かう方向は、X軸に並行であってX軸の負側から正側に向かう方向と一致する。記号3 A a、3 A bは、超電導リニアック3 Aにおける一方の端部、他方の端部を表す。記号3 B a、3 B bは、超電導リニアック3 Bにおける一方の端部、他方の端部を表す。アンジュレータ1と同様、超電導リニアック3 A及び3 Bの夫々において、長さ方向は、電子ビームの走行方向と一致する。超電導リニアック3 Aにおいて、端部3 A aから端部3 A bに向かう方向は、X軸から傾いているが、X軸の負側から正側に向かう成分を有する。超電導リニアック3 Bにおいて、端部3 B aから端部3 B bに向かう方

向は、X軸から傾いているが、X軸の正側から負側に向かう成分を有する。

[0020] 図1及び図2(a)及び(b)に示すように、双方向FEL100では、長尺且つ共通のアンジュレータ1を挟むようにアンジュレータ1の両側に超電導リニアック3A、3Bを配置し、それらで加速された電子ビームを偏向磁石2A、2Bで軌道を変えて共通のアンジュレータ1に互いに逆方向から導くことで、自己増幅自発放射機構によるレーザー放射光(即ち、放射光に基づくレーザー光)を発生させるものである。超電導リニアック3Aで加速された電子ビームに基づくレーザー放射光は光ビームライン7Bに導かれ、超電導リニアック3Bで加速された電子ビームに基づくレーザー放射光は光ビームライン7Aに導かれる。双方向FEL100にて発生するレーザー放射光は、短波長の自由電子レーザー光であって良い。ここにおける短波長とは、例えば、極端紫外線領域に属する波長からX線領域に属する波長までの波長を指し、例えば、1nmから数10nmまでの範囲内の波長を指す。

[0021] 電子銃5A、5Bで生成された電子ビームは、振り分け磁石4A、4Bで軌道を曲げられて超電導リニアック3A、3Bに導かれ、超電導リニアック3A、3Bにて加速された電子ビームは、偏向磁石2A、2Bにて軌道を再度曲げられてからアンジュレータ1に投入(即ち入射)される。

[0022] 電子銃5Aからの電子ビームに基づきアンジュレータ1にてレーザー光を放出した電子は、偏向磁石2Bを通じて超電導リニアック3Bに導かれ、超電導リニアック3Bの中を超電導リニアック3Bで加速される電子とは逆方向に走行することで減速された後、再び振り分け磁石4Bで軌道を曲げられてビームダンプ6Bに導かれる。

電子銃5Bからの電子ビームに基づきアンジュレータ1にてレーザー光を放出した電子は、偏向磁石2Aを通じて超電導リニアック3Aに導かれ、超電導リニアック3Aの中を超電導リニアック3Aで加速される電子とは逆方向に走行することで減速された後、再び振り分け磁石4Aで軌道を曲げられてビームダンプ6Aに導かれる。

[0023] 電子の減速時に回収されたエネルギーを、各超電導リニアックにおいて、

正方向に走行する電子の加速用エネルギーとして利用することができる。また、各超電導リニアックを負方向に走行する間に電子ビームは十分に減速されるので、ビームダンプ6 A、6 Bでの放射線の問題を回避することができる。即ち、各ビームダンプで発生しうる放射線の強度を低く抑えることができ、放射線の遮蔽対策レベルを低く抑えることができる。尚、超電導リニアック3 A、3 Bの夫々において、電子が加速される方向を正方向と称し、その逆方向を負方向と称する。超電導リニアック3 Aにおいては、端部3 A aから端部3 A bに向かう方向が正方向であり、超電導リニアック3 Bにおいては、端部3 B aから端部3 B bに向かう方向が正方向である。

[0024] [動作原理の説明]

本実施形態に係る双方向FEL100は、基本的には、アンジュレータ機能としての自己増幅自発放射機構を利用する短波長自由電子レーザー装置を二基組み合わせた上で、長尺アンジュレータを共通にしたものである。また、大出力を得るために、熱損失が無く繰り返しの高い超電導リニアック1対を用いて双方向電子の加速と減速を並行して行うものである。

[0025] 短波長自由電子レーザー光を発生させるためには、高エネルギー電子加速が必要となる。半導体分野の高細密露光に必要な13.5nmの極端紫外線を実用可能な強度で発生させる場合、電子を約280MeV（メガエレクトロンボルト）程度まで加速する必要がある。このような電子の加速を最小のエネルギー損失で実現するために用いる超電導リニアック3 A、3 Bとして、例えば1m（メートル）当たり20MeVの割合で加速が行われるよう、1.3GHz（ギガヘルツ）で励振する全長15mほどの直進型多空洞共振器を用いると良い。この直進型多空洞共振器は超電導材料で構成され、冷凍機からの超低温液に浸漬された状態で動作するので、電気抵抗による損失は略ゼロとなる。尚、本発明において使用する2台の超電導リニアック3 A、3 Bでは、夫々にその中に2本の電子ビーム通路を必要とするが、この点に特別の技術的制約はなく、既に知られた技術で構成することができる（各超電導リニアックにおいて、単一の直進型多空洞共振器内に、正方向に走行する

電子ビーム用の通路と負方向に走行する電子ビーム用の通路とを、互いに分離して確保すれば足る)。

[0026] レーザー放射光は、アンジュレータ1の中を加速電子がシンクロトロン走行する際の自己増幅自発放射機構により得られるが、放射光の波長は基本的にアンジュレータ1内の電子ビーム通路における磁界周期に比例する。例えば、13.5nmの極端紫外線を放射光として得ようとした場合、その磁界周期は20mm(ミリメートル)程度となる。また、アンジュレータ1の長さは、主として導入される電子のエネルギーに依存するものとされており、極端紫外線領域の放射光を得る場合、アンジュレータ1に入るとき電子エネルギーが前述の280MeV程度であれば、アンジュレータ1の長さは10~20mの範囲内の長さで十分である。

[0027] ここで、一般に、FELにおける放射光の波長 λ_L は、例えば非特許文献1にも記載されているように、正確には以下の数式(1)で定まる。

$$\lambda_L = \lambda_u / 2 \gamma^2 \cdot (1 + K/2) \quad \dots (1)$$

λ_u はアンジュレータ内の電子ビーム通路における磁界周期を表し、 γ はアンジュレータに入射される電子ビームの電子エネルギーを表し、 K はアンジュレータでの磁界強度や磁界周期で定まる係数を表す。

[0028] 故に、本実施形態に係る双方向FEL100により、波長13.5nmで1kWレベルの強度を持った極端紫外線の放射光を得るためには、先に例示したような280MeVの電子エネルギーと、20mm程の磁界周期を有する長さ20m程度のアンジュレータ1が必要となり、その場合の係数 K の値は1.5程度になる。

[0029] また、アンジュレータ1の中にも電子ビームの双方向通路を必要とするが、この点に関しては、例えば、周期磁場を形成する磁極間隔を若干広げるだけで2本の通路を容易に確保することができる。従って、このアンジュレータ1自体も公知の技術を利用して組み立てることができ、その構成自体に特別の工夫は必要としない。

[0030] 但し、後述するように、アンジュレータ1内での電子と放射光との相互作用

用による自己増幅機能がより高まるよう、電子ビームの走行空間にテーパを設ける場合には、双方向の電子通路を互いに分離する必要がある。従って、超電導リニアック 3 A から入射する第 1 電子ビームと超電導リニアック 3 B から入射する第 2 電子ビームに対して共通に利用されるアンジュレータ 1 は、第 1 及び第 2 電子ビームに対する周期磁場通路空間を共通とした 1 基のアンジュレータを必ずしも意味しておらず、第 1 及び第 2 電子ビームに対する周期磁場通路空間を分離しつつも、それらの配置スペースを共通化した構成も当然含むものである。

[0031] ところで一般に大出力の FEL においては、レーザー光放出後に大量の高エネルギー電子を処理する必要がある。先に説明したように特許文献 3 等の従来のエネルギー回収型リニアックでは、ループ状の電子の反転アーク部（特許文献 3 では図 1 の構成要素 5 に相当）を設けることによって単一の超電導リニアックで加速と減速を行い、利用済電子ビームは位相を異ならせて減速させることにより廃棄に伴う放射線対策としている。しかしながら、実際の産業分野で利用可能な装置構成の面からは、必要強度のレーザー光を得ようとする、相応に高いエネルギーの電子が必須となるため、必然的に反転アーク部も大きくなり、装置全体の設置面積が大きくなると共に施設の面積利用効率が低下する（ループ状の反転アーク部の内側が無駄なスペースとなる）。

[0032] この点、本実施形態に係る双方向 FEL 100 においては、対向する側の超電導リニアックの逆方向減速電界を利用して利用済電子ビームを減速し、減速時に回収されるエネルギーを正方向電子ビームの加速に用いることによって、エネルギー効率を高めている。即ち、本実施形態では、反転アーク部ではなく、独立した二基の超電導リニアック 3 A、3 B を互いに加速、減速に用いると言う新しい発想に基づいて、双方向 FEL 100 を構成しているので、装置全体の設置面積を小さくすることができると共に、面積利用効率を大幅に向上させることができる。また、上記の如く利用済電子ビームを減速することで、利用済の高エネルギー電子に対する放射線遮蔽対策を軽減す

ることができる。

[0033] 因みに、先に述べたように例えばアンジュレータ 1 の長さを 20 m とすると共に、超電導リニアック 3 A、3 B を中心とした加速系の長さをそれぞれ 15 m とすれば、双方向 FEL 100 は、全体として、50 m × 10 m 四方、即ち 500 m² の工場建屋に収まるものとなる。この大きさは、特許文献 1 や特許文献 3 に開示されたような電子ビームの反転アーク部（ループ電子路）を必要とする従来施設に比べ、面積比で 1/5 以下のものとなり、工場設備として極めて現実的なものと言うことができる。その上、放射光のビームラインが 2 本同時に得られるので、施設の面積利用効率は更に 2 倍に高まることになる。つまり、本発明に係る双方向 FEL 100 によれば、所望強度の短波長放射光を得るに当たり、特許文献 1 等の従来 FEL と比べ、全体として 10 倍の面積利用効率を達成でき、コストも格段に低廉化できる。本発明は、特に半導体デバイスの分野において、露光技術の高細密化に寄与し且つ製造効率の向上に寄与すると考えられる。

[0034] 上述した双方向 FEL 100 の構成及び動作等を、便宜上、基本構成例と称する。以下、複数の実施例の中で、双方向 FEL 100 のより詳細な構成や、応用技術、変形技術等を説明する。特に記述無き限り且つ矛盾無き限り、基本構成例について説明した上述の全ての事項が後述の各実施例に適用され、各実施例において基本構成例と矛盾する事項については、各実施例での記載が優先される。また矛盾無き限り、以下に述べる複数の実施例の内、任意の実施例に記載した事項を、他の任意の実施例に適用することもできる（即ち複数の実施例の内の任意の 2 以上の実施例を組み合わせることも可能である）。

[0035] [第 1 実施例]

第 1 実施例を説明する。第 1 実施例において、双方向 FEL 100 の構成及び動作の詳細な一例を説明する。既に述べた事項から明らかであるが、双方向 FEL 100 は、アンジュレータ 1 の左側に配置された装置群から成る左系統（第 1 加速系統）と、アンジュレータ 1 の右側に配置された装置群か

ら成る右系統（第2加速系統）と、左系統と右系統に共用される共通アンジュレータとも称されるべきアンジュレータ1と、を備えて構成される。

[0036] 左系統の電子銃5Aは、第1電子ビームを生成して出射する。例えば、電子銃5Aで生成された第1電子流は、繰り返し周波数1GHz（ギガヘルツ）程度で断続する第1電子ビームとして電子銃5Aから打ち出される。電子銃5Aから出射された第1電子ビームは、図示しない初段加速度で所定の初速度を与えられた後、振り分け磁石4Aに入射する。

振り分け磁石4Aは、電子銃5Aからの第1電子ビームの軌道を曲げることで第1電子ビームを超電導リニアック3Aの端部3Aaに導き、これによって第1電子ビームが超電導リニアック3Aに投入（即ち入射）される。

超電導リニアック3Aは、電子銃5Aから振り分け磁石4Aを経由して入射された第1電子ビームを加速して、加速された第1電子ビームを超電導リニアック3Aの端部3Abから出射する。第1電子ビームは、超電導リニアック3A内を走行する間に280MeV程度のエネルギーを持つまで加速される。

振り分け磁石2Aは、超電導リニアック3Aの他端3Abから出射された第1電子ビームの軌道を曲げることで第1電子ビームをアンジュレータの端部1aに導き、これによって、超電導リニアック3Aにて加速された第1電子ビームが端部1aからアンジュレータ1に投入（即ち入射）される。

[0037] アンジュレータ1に投入された第1電子ビームは、アンジュレータ1が形成する周期磁場によってシンクロトロン放射に寄与しながら右方向（即ちX軸の正の方向）に走行して端部1bから出射される。第1電子ビームに基づくシンクロトロン放射による放射光は第1レーザー光（換言すれば第1レーザー放射光）として光ビームライン7Bに導出され、そのまま又は必要な光増幅器（不図示）を通じて利用に供される。

[0038] アンジュレータ1の端部1bから出射された第1電子ビームは、偏向磁石2Bによって軌道を曲げられて超電導リニアック3Bの端部3Bbに導かれる。これによってアンジュレータ1内を走行後の第1電子ビームは、超電導

リニアック 3 B に投入（即ち入射）されて超電導リニアック 3 B 内を端部 3 B b から端部 3 B a に向けて走行し、その後、振り分け磁石 4 B を経由してビームダンプ 6 B に捨てられる。

[0039] 超電導リニアック 3 B 内には、正方向（即ち端部 3 B a から端部 3 B b に向かう方向）に走行する第 2 電子ビームを加速させるための電界が存在し、その電界は、負方向に走行する第 1 電子ビームに対しては逆の作用を及ぼすため、第 1 電子ビームは、超電導リニアック 3 B 内を走行する間に十分に減速せしめられる。超電導リニアック 3 B は、第 1 電子ビームの減速分のエネルギーを回収し、回収したエネルギーを、正方向に走行する第 2 電子ビームを加速させるためのエネルギーとして再利用する。このようなエネルギーの回収方法及び再利用方法として公知の方法を用いることができる。

[0040] 右系統の電子銃 5 B は、第 2 電子ビームを生成して出射する。例えば、電子銃 5 B で生成された第 2 電子流は、繰り返し周波数 1 GHz（ギガヘルツ）程度で断続する第 2 電子ビームとして電子銃 5 B から打ち出される。電子銃 5 B から出射された第 2 電子ビームは、図示しない初段加速度で所定の初速度を与えられた後、振り分け磁石 4 B に入射する。

振り分け磁石 4 B は、電子銃 5 B からの第 2 電子ビームの軌道を曲げることで第 2 電子ビームを超電導リニアック 3 B の端部 3 B a に導き、これによって第 2 電子ビームが超電導リニアック 3 B に投入（即ち入射）される。

超電導リニアック 3 B は、電子銃 5 B から振り分け磁石 4 B を経由して入射された第 2 電子ビームを加速して、加速された第 2 電子ビームを超電導リニアック 3 B の端部 3 B b から出射する。第 2 電子ビームは、超電導リニアック 3 B 内を走行する間に 280 MeV 程度のエネルギーを持つまで加速される。

振り分け磁石 2 B は、超電導リニアック 3 B の他端 3 B b から出射された第 2 電子ビームの軌道を曲げることで第 2 電子ビームをアンジュレータの端部 1 b に導き、これによって、超電導リニアック 3 B にて加速された第 2 電子ビームが端部 1 b からアンジュレータ 1 に投入（即ち入射）される。

- [0041] アンジュレータ 1 に投入された第 2 電子ビームは、アンジュレータ 1 が形成する周期磁場によってシンクロトロン放射に寄与しながら左方向（即ち X 軸の負の方向）に走行して端部 1 a から出射される。第 2 電子ビームに基づくシンクロトロン放射による放射光は第 2 レーザー光（換言すれば第 2 レーザー放射光）として光ビームライン 7 A に導出され、そのまま又は必要な光増幅器（不図示）を通じて利用に供される。
- [0042] アンジュレータ 1 の端部 1 a から出射された第 2 電子ビームは、偏向磁石 2 A によって軌道を曲げられて超電導リニアック 3 A の端部 3 A b に導かれる。これによってアンジュレータ 1 内を走行後の第 2 電子ビームは、超電導リニアック 3 A に投入（即ち入射）されて超電導リニアック 3 A 内を端部 3 A b から端部 3 A a に向けて走行し、その後、振り分け磁石 4 A を経由してビームダンプ 6 A に捨てられる。
- [0043] 超電導リニアック 3 A 内には、正方向（即ち端部 3 A a から端部 3 A b に向かう方向）に走行する第 1 電子ビームを加速させるための電界が存在し、その電界は、負方向に走行する第 2 電子ビームに対しては逆の作用を及ぼすため、第 2 電子ビームは、超電導リニアック 3 A 内を走行する間に十分に減速せしめられる。超電導リニアック 3 A は、第 2 電子ビームの減速分のエネルギーを回収し、回収したエネルギーを、正方向に走行する第 1 電子ビームを加速させるためのエネルギーとして再利用する。このようなエネルギーの回収方法及び再利用方法として公知の方法を用いることができる。
- [0044] 光ビームライン 7 B 及び 7 A に導出される各レーザー光は、高調波を含んでおり、基本構成例の説明文中で示した数値例にて双方向 FEL 100 を構成した場合においては、それらの第 5 高調波が 13.5 nm の波長を有することとなる。従って、13.5 nm のレーザー光を利用して高精細露光を行う場合には、光ビームライン 7 B 及び 7 A に導出される各レーザー光の第 5 高調波を選択して利用することになる。
- [0045] アンジュレータ 1 は、上述したように、自己増幅自発放射機能を有する。即ち、特に外部から電力を加えることなく、自身に入射された電子ビームに

基づき放射光を自ら発生させる自発放射機能と、光共振器を利用することなく、発生させた放射光の強度を自ら増幅する自己増幅機能と、を有している。即ち、第1電子ビームに注目して考えた場合、アンジュレータ1は、アンジュレータ1内の周期磁場と第1電子ビームに基づくシンクロトロン放射により光を発生させ（自発放射）、その発生させた光で、第1電子ビームを構成する電子に光の波長間隔での密度変調をかけ、多数の電子から出る光の位相を揃えることで光の強度を増幅する（自己増幅）。第2電子ビームに対しても同様である。

[0046] このように、超電導リニアック3Aは、第1電子ビームを加速する加速機能を備えると共に第2電子ビームを減速する減速機能を有する一方で、超電導リニアック3Bは、第2電子ビームを加速する加速機能を備えると共に第1電子ビームを減速する減速機能を有し、超電導リニアック3A及び3Bにおいて減速分のエネルギーは回収される。つまり、アンジュレータ1の一方の端部（1a又は1b）から入射し他方の端部（1b又は1a）から出射する電子ビームに対し、加速とエネルギー回収のための減速とを2台の超電導リニアック3A及び3Bで分担して行うことになる。

[0047] 図3に、アンジュレータ1として用いることが可能なアンジュレータ10の側面図を示す。アンジュレータ10は、互いに対向するように間隔をあけて平行に配置された磁石列M1及びM2を備えている。図3は、アンジュレータ10を構成する磁石列M1及びM2を、Y軸に平行な方向に沿って見たときの、それらの側面図を表している。図3では、磁石列M1が磁石列M2に対して上側に配置されている。磁石列M1及び磁石列M2の夫々は、直線状に配列された複数の磁石MGにて形成される。各磁石MGはネオジム磁石等の永久磁石で形成される。図3において、各磁石MG内に記された矢印は、各磁石MGの磁化方向（S極からN極に向かう方向）を表している（後述の図4（a）及び（b）においても同様）。

[0048] 磁石列M1に含まれる複数の磁石MGの磁化方向及び磁石列M2に含まれる複数の磁石MGの磁化方向はX軸方向に沿って周期的に変化し、その周期

的な変化に基づき、磁石列M1及びM2間には周期磁場Bが形成される。周期磁場Bでは、X軸に垂直な磁場成分の向き及び大きさが周期的に変化し、その周期が上述の磁界周期 λ_u に相当する。

[0049] 磁石列M1及びM2間の間隔は磁極間隔と称される。この磁極間隔を適切に設定すれば、磁石列M1及びM2間の空間に、互いに分離した2本の通路PS1及びPS2を確保することができる。通路PS1は、図2(a)に示す電子ビーム通路8Aの一部である、アンジュレータ10内の第1電子ビームの通路である。通路PS2は、図2(b)に示す電子ビーム通路8Bの一部である、アンジュレータ10内の第2電子ビームの通路である。尚、図3では、通路PS1及びPS2がZ軸方向に沿って分離しているが、通路PS1及びPS2が互いに分離している限り、それらの位置関係は任意であり、例えば、通路PS1及びPS2がY軸方向に沿って分離していても良い。

[0050] 尚、図3では、磁石列M1が磁石列M2に対して上側に配置されているため、周期磁場Bにおいては、磁場のZ軸成分の向き及び大きさが周期的に変化しているが、周期磁場Bにおいて、X軸に垂直な磁場成分の向き及び大きさが周期的に変化する限り、磁石列M1と磁石列M2の位置関係は任意であり、例えば、磁石列M1及びM2の磁極間隔の方向がY軸と平行となるように磁石列M1及びM2を横に並べても良い。

[0051] また、図3では、磁石列M1及びM2として、1周期内に4個の磁石MGを配列するHalbach型磁石列が例示されているが、周期磁場Bを構成し得る任意の型の磁石列を磁石列M1及びM2として用いて良い（後述の第2実施例についても同様）。

[0052] [第2実施例]

第2実施例を説明する。図4(a)及び(b)に、第2実施例に係るアンジュレータ部20A及び20Bの側面図を示す。アンジュレータ部20A及び20Bから成るアンジュレータ20(図4(c)参照)、アンジュレータ1として用いることができる。

[0053] アンジュレータ部20A及び20Bの夫々は、互に対向するように間隔

をあけて配置された磁石列M1及びM2を備えていて、図3のアンジュレータ10と同じく、自己増幅自発放射機能を有している。図4(a)は、アンジュレータ部20Aを構成する磁石列M1及びM2を、Y軸に平行な方向に沿って見たときの、それらの側面図を表している。図4(b)は、アンジュレータ部20Bを構成する磁石列M1及びM2を、Y軸に平行な方向に沿って見たときの、それらの側面図を表している。図4(c)に示す如く、アンジュレータ部20A及び20BはY軸方向に並べて配置される。

[0054] アンジュレータ部20A及び20Bの夫々において、磁石列M1及びM2の構成自体は、第1実施例で述べたものと同様である。従って、アンジュレータ部20A及び20Bの夫々において、磁石列M1に含まれる複数の磁石MGの磁化方向及び磁石列M2に含まれる複数の磁石MGの磁化方向はX軸方向に沿って周期的に変化し、その周期的な変化に基づき磁石列M1及びM2間には周期磁場が形成される。各周期磁場では、X軸に垂直な磁場成分の向き及び大きさが周期的に変化し、その周期が上述の磁界周期 λ_u に相当する。

[0055] アンジュレータ部20Aにおいて、磁石列M1及びM2間の空間であってアンジュレータ部20Aの周期磁場が形成されている空間をパス空間PSaと呼び、アンジュレータ部20Bにおいて、磁石列M1及びM2間の空間であってアンジュレータ部20Bの周期磁場が形成されている空間をパス空間PSbと呼ぶ。アンジュレータ部20A及び20Bが互いに横方向に並べて配置されていることから理解されるように、パス空間PSa及びPSbは互いに分離された2つの空間である。

[0056] 第2実施例においては、パス空間PSaがアンジュレータ部20A内をX軸の正方向に走行する第1電子ビームの通路となり、パス空間PSbがアンジュレータ部20B内をX軸の負方向に走行する第2電子ビームの通路となる。つまり、アンジュレータ20をアンジュレータ1として用いる場合、パス空間PSaが、図2(a)に示す電子ビーム通路8Aの一部である、アンジュレータ1内の電子ビーム通路として機能し、且つ、パス空間PSbが、

図2 (b) に示す電子ビーム通路8 Bの一部である、アンジュレータ1内の電子ビーム通路として機能する。

[0057] 第1電子ビームはパス空間P S a内を右方向（即ちX軸の正の方向）に走行し、第2電子ビームはパス空間P S b内を左方向（即ちX軸の負の方向）に走行することとなるが、パス空間P S aは、第1電子ビームの走行方向に対して（即ち右方向に向けて）広がりを持つテーパを有し、且つ、パス空間P S bは、第2電子ビームの走行方向に対して（即ち左方向に向けて）広がりを持つテーパを有する。

[0058] より具体的には、アンジュレータ部20 Aにおいて、磁石列M1及びM2間の磁極間隔が右に向かうにつれて大きくなるように、即ち、パス空間P S aの断面積が右に向かうにつれて大きくなるように、図3のアンジュレータ10の磁石列M1及びM2を基準として、アンジュレータ部20 Aの磁石列M1及びM2が互いに傾けて配置される。図4 (a) のアンジュレータ部20 Aの例では、Z軸方向の間隔である磁極間隔が右に向かうにつれて大きくなるように、Z軸及びX軸に平行な面内で磁石列M1及びM2が互いに傾けて配置されている。

同様に、アンジュレータ部20 Bにおいて、磁石列M1及びM2間の磁極間隔が左に向かうにつれて大きくなるように、即ち、パス空間P S bの断面積が左に向かうにつれて大きくなるように、図3のアンジュレータ10の磁石列M1及びM2を基準として、アンジュレータ部20 Bの磁石列M1及びM2が互いに傾けて配置される。図4 (b) のアンジュレータ部20 Bの例では、Z軸方向の間隔である磁極間隔が左に向かうにつれて大きくなるように、Z軸及びX軸に平行な面内で磁石列M1及びM2が互いに傾けて配置されている。

尚、パス空間P S a、P S bにおいて、断面積とは、X軸に直交する断面（即ち電子ビームの走行方向に直交する断面）での面積を指す。

[0059] 上述のようなテーパを設けることで、アンジュレータ部20 A内において、第1電子ビームの蛇行走行で発生するシンクロトロン放射による光と第1

電子ビームとの間でより強い相互作用が現れて自己増幅が高まり、より強いレーザー放射光が得られる。アンジュレータ部20Bについても同様である。尚、テーパの広がり方向が相違する点を除き、アンジュレータ部20Aとアンジュレータ部20Bは同様の構成を有して良い。

[0060] 上述したように、図4(c)に示す例では、アンジュレータ部20A及び20BがY軸方向に並べて配置され、従って例えば、第1電子ビームの走行軸のZ軸座標値と第2電子ビームの走行軸のZ軸座標値は共にゼロであって良いが、それらのZ軸座標値は互いに多少相違していても構わない(即ち、第1及び第2電子ビームの走行軸を真横から見たとき、それらの走行軸は完全に重なっていても良いし、互いに多少ずれていても構わない)。

[0061] 尚、図4(a)、(b)に示す例では、磁石列M1が磁石列M2に対して上側に配置されている。このため、アンジュレータ部20A及び20Bにおいて、磁場のZ軸成分の向き及び大きさが周期的に変化することになるが、X軸に垂直な磁場成分の向き及び大きさが周期的に変化する限り、磁石列M1と磁石列M2の位置関係は任意であり、例えば、磁石列M1及びM2の磁極間隔の方向がY軸と平行となるように磁石列M1及びM2を横に並べても良い。

[0062] 更に、アンジュレータ部20A内を第1電子ビームが右方向に走行し且つアンジュレータ部20B内を第2電子ビームが左方向に走行する限り、アンジュレータ部20A及び20Bの位置関係は任意であり、アンジュレータ20内で、アンジュレータ部20A及び20Bが二段に並行して配置されていれば足る。例えば、アンジュレータ部20A及び20Bは上下二段に重ねて配置されても良い。

[0063] アンジュレータ20は、第1及び第2電子ビームに対する周期磁場のパス空間を分離しつつも、それらのパス空間を包含するアンジュレータ装置全体の配置スペースを共通化したものであり、例えば、アンジュレータ部20A及び20Bは共通の架台(不図示)に支持されて一体化されたものであっても良い。

[0064] [第3実施例]

第3実施例を説明する。図1に示す双方向FEL100では、アンジュレータ1の左側に配置された装置群から成る左系統（第1加速系統）と、アンジュレータ1の右側に配置された装置群から成る右系統（第2加速系統）が、アンジュレータ1の中心に対し互いに左右鏡面对称の関係で配置されている。即ち、偏向磁石2A、超電導リニアック3A、振り分け磁石4A、電子銃5A、ビームダンプ6Aの配置位置は、夫々、偏向磁石2B、超電導リニアック3B、振り分け磁石4B、電子銃5B、ビームダンプ6Bの配置位置と、アンジュレータ1の中心を通り且つY軸に平行な軸に関して、対称である。

[0065] しかしながら、上述の左系統と右系統は、アンジュレータ1の中心に対し互いに回転対称の関係で配置されていても良い。即ち、偏向磁石2A、超電導リニアック3A、振り分け磁石4A、電子銃5A、ビームダンプ6Aの配置位置が、夫々、偏向磁石2B、超電導リニアック3B、振り分け磁石4B、電子銃5B、ビームダンプ6Bの配置位置と、アンジュレータ1の中心を中心として点对称の関係を持つように、それらの配置関係を図1に示すものから変更しても良い。

[0066] [第4実施例]

第4実施例を説明する。図5に示す如く、複数の双方向FEL100から成るFELシステムを構築しても良い。当該FELシステムでは、複数の双方向FEL100がY軸方向に沿って並べて配置される。このため、FELシステムを構成する各双方向FEL100では、右向きのレーザー光が光ビームライン7Bにて導出されると共に左向きのレーザー光が光ビームライン7Aにて導出される。故に例えば、双方向FEL100を3つ並べたならば計6本の光ビームラインが得られることとなる。FELシステムは大量生産露光に好適である。

[0067] [その他の変形等]

本発明の実施形態は、特許請求の範囲に示された技術的思想の範囲内にお

いて、適宜、種々の変更が可能である。以上の実施形態は、あくまでも、本発明の実施形態の例であって、本発明ないし各構成要件の用語の意義は、以上の実施形態に記載されたものに制限されるものではない。

[0068] 上述の説明文中に示した具体的な数値は、単なる例示であって、当然の如く、それらを様々な数値に変更することができる。即ち例えば、上述の実施形態においては、双方向FEL100から13.5nmの波長を有するレーザー光を得ることを主として考えたが、上記数式(1)の右辺の各パラメータを適宜調整することで、13.5nmと異なる任意の波長を有するレーザー光を双方向FEL100から得るようにしても良い。

符号の説明

- [0069] 1 アンジュレータ
2 A、2 B 偏向磁石
3 A、3 B 超電導リニアック
4 A、4 B 振り分け磁石
5 A、5 B 電子銃
6 A、6 B ビームダンプ
7 A、7 B 光ビームライン
8 A、8 B 電子ビーム通路
10、20 アンジュレータ
100 双方向FEL(双方向自由電子レーザー装置)
PS a、PS b パス空間

請求の範囲

- [請求項1] 自己増幅自発放射機能を持つアンジュレータを用いて双方向にレーザー放射光を得る双方向自由電子レーザー装置であって、前記アンジュレータの両側に1台ずつ配置され、各々に前記アンジュレータに対し電子ビームを入射する2台の超電導リニアックを備え、
- 前記アンジュレータの一方の端部から入射し他方の端部から出射する電子ビームに対し、加速とエネルギー回収のための減速とを前記2台の超電導リニアックで分担して行う
- ことを特徴とする双方向自由電子レーザー装置。
- [請求項2] 自己増幅自発放射機能を持つアンジュレータと、
- 前記アンジュレータを挟んで配置され、各々に電子ビームに対する加速と減速の機能を有する2台の超電導リニアックと、
- 前記2台の超電導リニアックに対し電子ビームを供給する2台の電子銃と、を備え、
- 各電子銃から一方の超電導リニアックと前記アンジュレータと他方の超電導リニアックとを通る電子ビーム通路を構成することで、電子ビームの走行方向が互いに逆の2本の電子ビーム通路を構成するとともに前記アンジュレータの両側からレーザー放射光を得る
- ことを特徴とする双方向自由電子レーザー装置。
- [請求項3] 前記2台の超電導リニアックは、夫々において加速した電子ビームを前記アンジュレータに対して互いに逆方向から入射し、これによって前記アンジュレータの両側から前記レーザー放射光が得られ、
- 前記2台の超電導リニアックを構成する一方の超電導リニアックは、他方の超電導リニアックから入射されて前記アンジュレータから出射された電子ビームに対し前記エネルギー回収のための減速を行う
- ことを特徴とする請求項1又は2に記載の双方向自由電子レーザー装置。
- [請求項4] 前記アンジュレータは、前記2台の超電導リニアックから入射され

て互いに逆方向に走行する2つの電子ビームに対し、互いに分離された2つのパス空間を有する

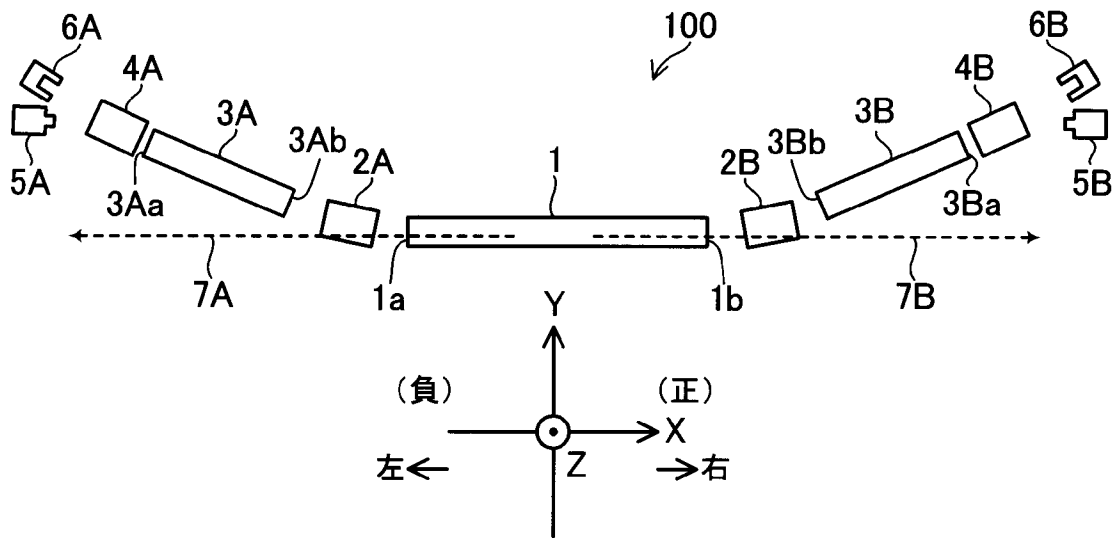
ことを特徴とする請求項3に記載の双方向自由電子レーザー装置。

[請求項5]

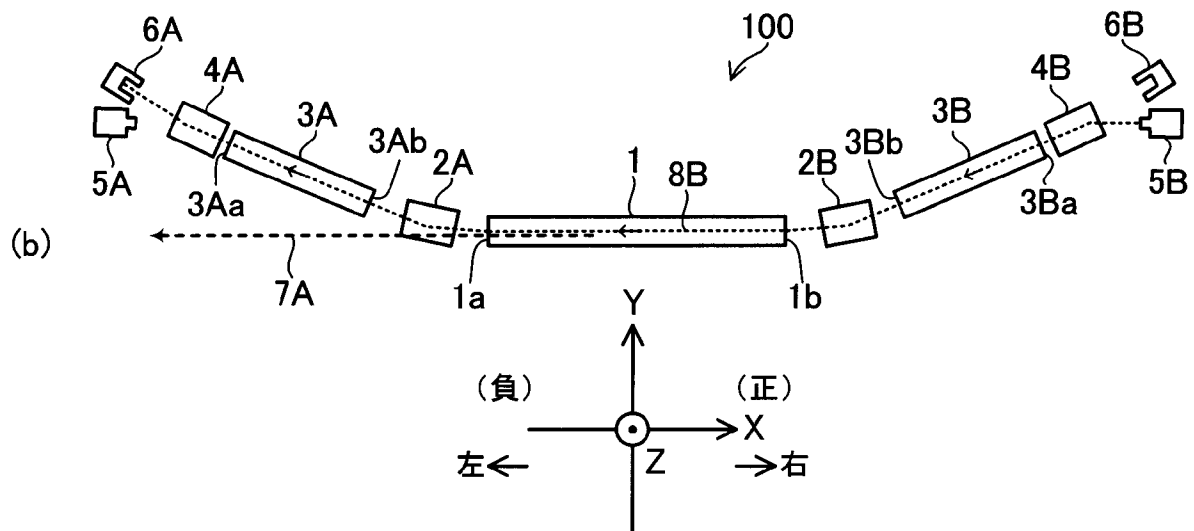
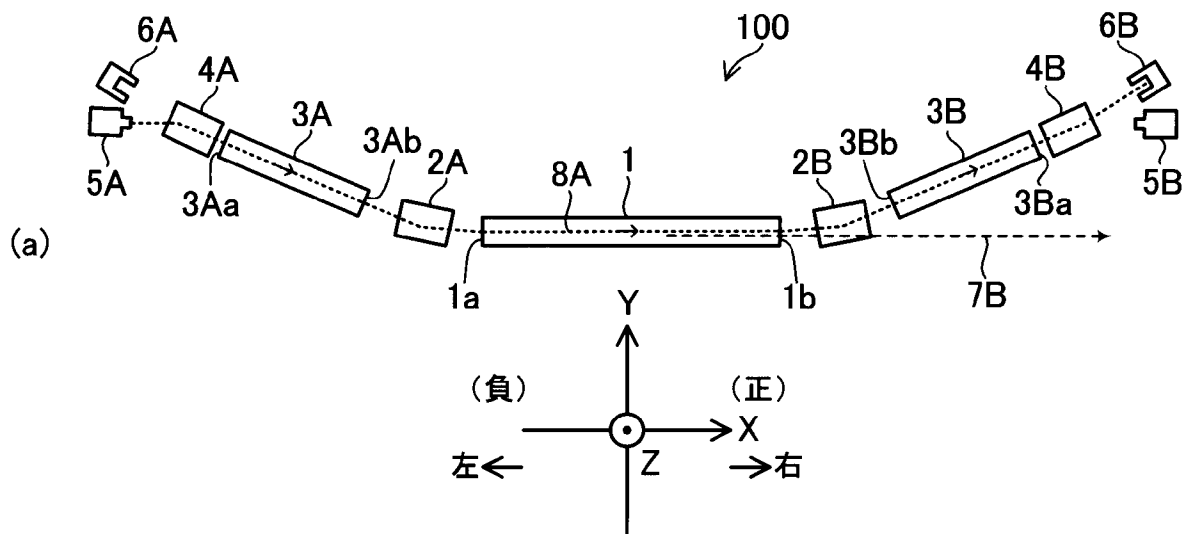
各パス空間は、対応する電子ビームの走行方向に対しテーパを有する

ことを特徴とする請求項4に記載の双方向自由電子レーザー装置。

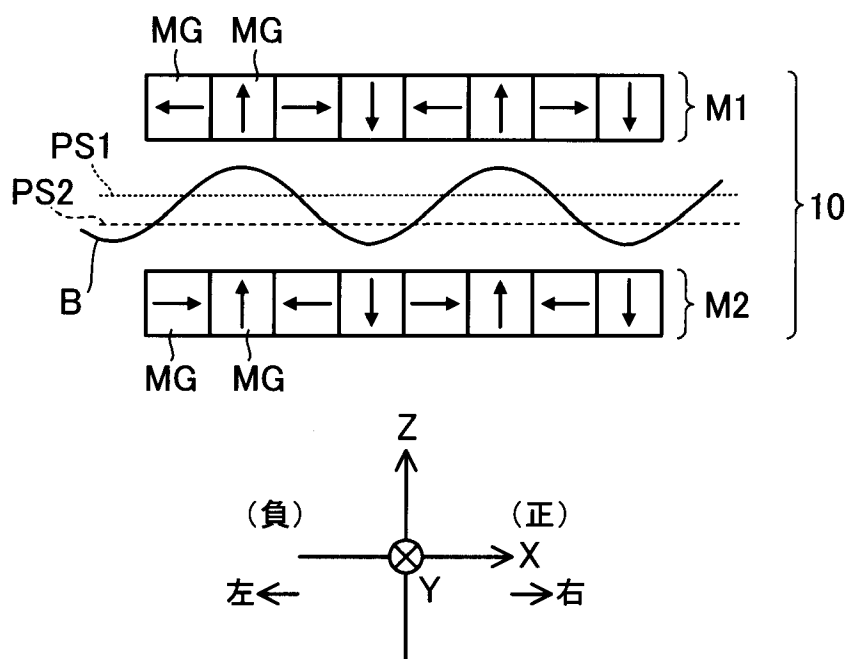
[図1]



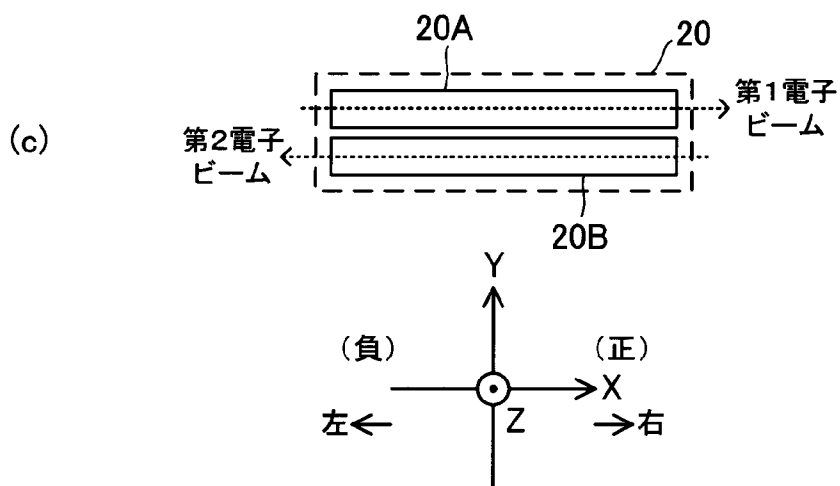
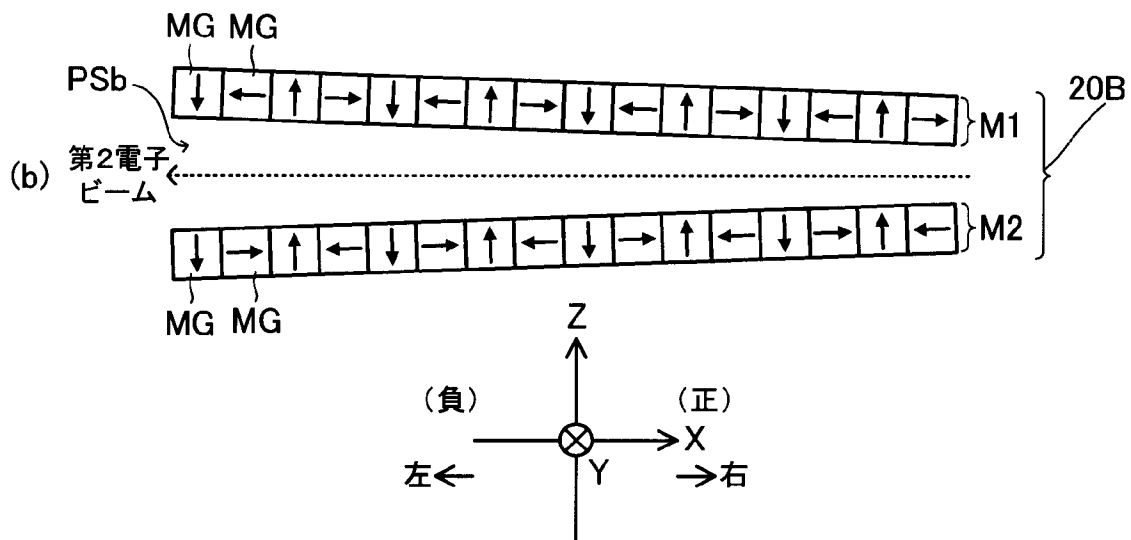
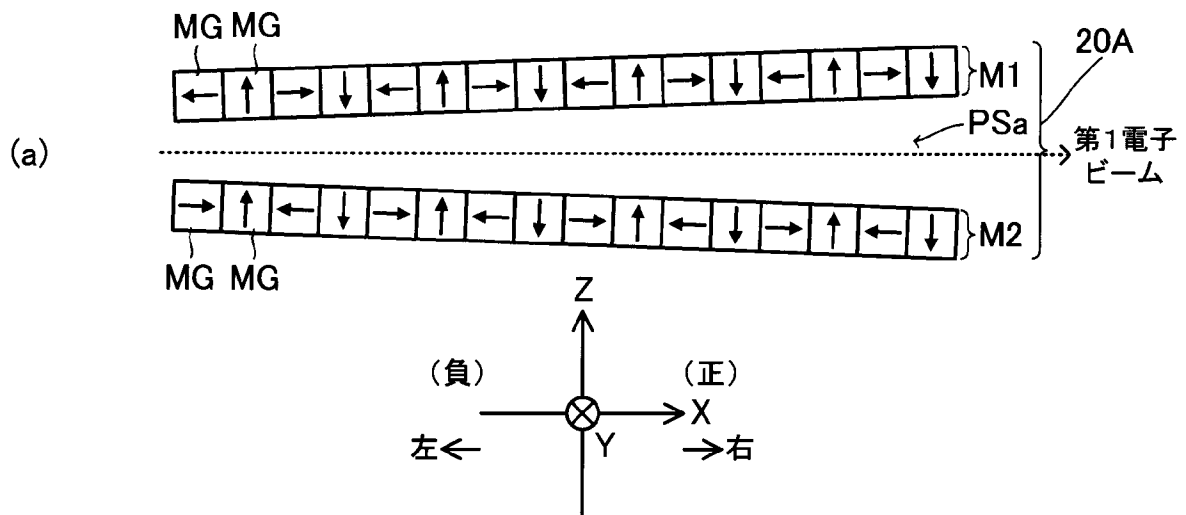
[図2]



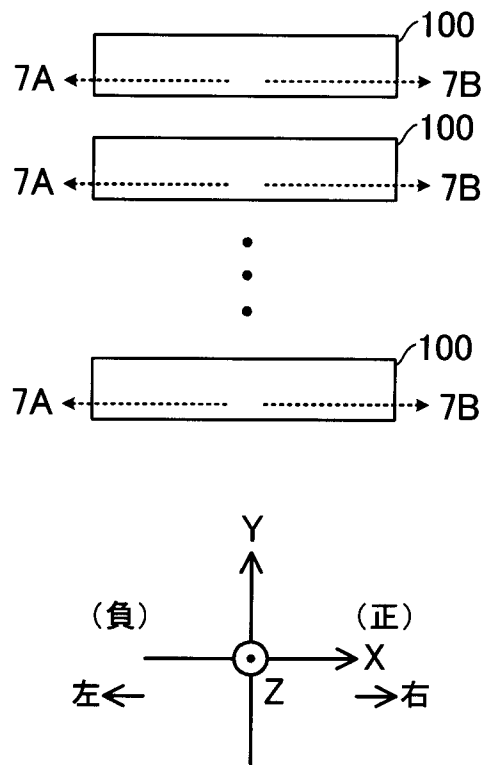
[図3]



[図4]



[図5]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2017/006777

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
H01S3/30(2006.01)i, H05H7/08(2006.01)i, H05H9/00(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
H01S3/30, H05H7/08, H05H9/00

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2017
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2017	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2017

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2001-196681 A (Japan Atomic Energy Research Institute), 19 July 2001 (19.07.2001), entire text; all drawings (Family: none)	1-5
A	JP 9-307196 A (Kawasaki Heavy Industries, Ltd.), 28 November 1997 (28.11.1997), entire text; all drawings (Family: none)	1-5
A	JP 8-64398 A (Institute for Laser Technology), 08 March 1996 (08.03.1996), entire text; all drawings (Family: none)	1-5

Further documents are listed in the continuation of Box C. See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date	"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	"&" document member of the same patent family
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	

Date of the actual completion of the international search 01 May 2017 (01.05.17)	Date of mailing of the international search report 16 May 2017 (16.05.17)
---	--

Name and mailing address of the ISA/ Japan Patent Office 3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915, Japan	Authorized officer Telephone No.
--	---

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2017/006777

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 2014/0299782 A1 (ISIS INNOVATIOM LTD.), 09 October 2014 (09.10.2014), entire text; all drawings & GB 201118556 D & WO 2013/061051 A1	1-5

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))
 Int.Cl. H01S3/30(2006.01)i, H05H7/08(2006.01)i, H05H9/00(2006.01)i

B. 調査を行った分野
 調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))
 Int.Cl. H01S3/30, H05H7/08, H05H9/00

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの
 日本国実用新案公報 1922-1996年
 日本国公開実用新案公報 1971-2017年
 日本国実用新案登録公報 1996-2017年
 日本国登録実用新案公報 1994-2017年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
A	JP 2001-196681 A (日本原子力研究所) 2001.07.19, 全文全図 (ファミリーなし)	1-5
A	JP 9-307196 A (川崎重工業株式会社) 1997.11.28, 全文全図 (ファミリーなし)	1-5

☑ C欄の続きにも文献が列挙されている。

☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー	の日の後に公表された文献
「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの	「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの	「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)	「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献	「&」同一パテントファミリー文献
「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願	

国際調査を完了した日
01.05.2017

国際調査報告の発送日
16.05.2017

国際調査機関の名称及びあて先
 日本国特許庁 (ISA/J P)
 郵便番号 100-8915
 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員) 小濱 健太	2K	4009
電話番号 03-3581-1101 内線 3255		

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
A	JP 8-64398 A (財団法人レーザー技術総合研究所) 1996. 03. 08, 全文全図 (ファミリーなし)	1-5
A	US 2014/0299782 A1 (ISIS INNOVATIOM LIMITED) 2014. 10. 09, 全文全図 & GB 201118556 D & WO 2013/061051 A1	1-5