

(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2014-106093  
(P2014-106093A)

(43) 公開日 平成26年6月9日(2014.6.9)

(51) Int. Cl. F I テーマコード (参考)  
**G 2 1 K 5/04 (2006.01)** G 2 1 K 5/04 E  
**G 2 1 B 1/03 (2006.01)** G 2 1 B 1/00 V

審査請求 未請求 請求項の数 8 O L (全 14 頁)

(21) 出願番号	特願2012-258815 (P2012-258815)	(71) 出願人	000236436 浜松ホトニクス株式会社 静岡県浜松市東区市野町1126番地の1
(22) 出願日	平成24年11月27日(2012.11.27)	(71) 出願人	505125945 学校法人光産業創成大学院大学 静岡県浜松市西区呉松町1955番1
		(71) 出願人	000003207 トヨタ自動車株式会社 愛知県豊田市トヨタ町1番地
		(71) 出願人	000003609 株式会社豊田中央研究所 愛知県長久手市横道41番地の1
		(74) 代理人	100088155 弁理士 長谷川 芳樹

最終頁に続く

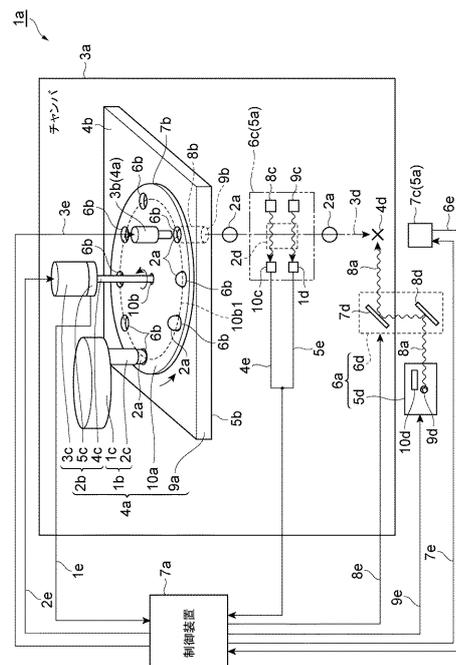
(54) 【発明の名称】 量子ビーム生成装置、量子ビーム生成方法、及び、レーザ核融合装置

(57) 【要約】

【課題】自動的に連続して量子ビーム生成が行える量子ビーム生成装置と量子ビーム生成方法と、レーザ核融合装置とを提供する。

【解決手段】ターゲット2 aをチャンバ3 aに供給するターゲット供給装置4 aと、チャンバ3 aの内側にあるターゲット2 aを監視するターゲット監視装置5 aと、チャンバ3 aの内側にあるターゲット2 aにレーザ光8 aを照射するレーザ照射装置6 aと、制御装置7 aとを備える。ターゲット供給装置4 aは、制御装置7 aによって制御される出射タイミングでターゲット2 aをチャンバ3 aの内側における予め設定された出射方向3 dに出射し、制御装置7 aは、レーザ光8 aの照射点4 dを算出し、照射点4 dへのターゲット2 aの到達タイミングを算出し、照射点4 dと到達タイミングとに基づいてレーザ照射装置6 aにレーザ光を照射させる。

【選択図】 図1



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

量子ビーム生成装置であって、  
 ターゲットが量子ビーム生成反応を起こすチャンバと、  
 前記ターゲットを前記チャンバに供給するターゲット供給装置と、  
 前記チャンバの内側にある前記ターゲットを監視するターゲット監視装置と、  
 前記チャンバの内側にある前記ターゲットにレーザ光を照射するレーザ光照射装置と、  
 前記ターゲット監視装置による監視結果に基づいて、前記ターゲット供給装置と前記レーザ光照射装置とを制御する制御装置と、  
 を備え、

10

前記ターゲット供給装置は、前記ターゲットを出射する出射口を備え、前記制御装置によって制御される出射タイミングで、前記ターゲットを、前記チャンバの内側における予め設定された出射方向に、前記出射口から出射し、  
 前記ターゲット監視装置は、位置検出器と時間検出器とを備え、  
 前記位置検出器は、監視領域における前記ターゲットの通過位置を検出し、前記通過位置を示す位置情報を、前記制御装置に送信し、  
 前記監視領域は、前記チャンバの内側において前記出射方向に交差する位置に、予め設定され、

前記通過位置は、前記出射方向に垂直な面内における位置を示し、  
 前記時間検出器は、前記ターゲットが前記監視領域に入射する入射時間と前記ターゲットが前記監視領域を出射する出射時間とを測定し、前記入射時間を示す入射時間情報と前記出射時間を示す出射時間情報とを、前記制御装置に送信し、

20

前記レーザ光照射装置は、レーザ光出力器と集光光学装置とを備え、  
 前記レーザ光出力器は、前記制御装置による制御のもとで、レーザ光を出力し、  
 前記集光光学装置は、前記レーザ光出力器から出力されるレーザ光を、前記制御装置による制御に基づいて、集光し、

前記制御装置は、前記位置情報を用いて、レーザ光の照射点を算出し、前記照射点に基づく集光制御情報を、前記集光光学装置に送信し、前記監視領域の幅と、前記入射時間情報と、前記出射時間情報と、前記監視領域から照射点までの距離と、を用いて、前記照射点へのターゲットの到達タイミングを算出し、前記到達タイミングに基づくレーザ制御情報を、前記レーザ光出力器に送信し、

30

前記集光制御情報は、前記レーザ光出力器からのレーザ光を前記照射点に集光するよう前記集光光学装置を制御するための情報であり、

前記レーザ制御情報は、前記到達タイミングでレーザ光を出力するよう前記レーザ光出力器を制御するための情報である、

ことを特徴とする量子ビーム生成装置。

## 【請求項 2】

前記制御装置は、複数の前記ターゲットを、順次、周期的に、前記出射口から出射するように、前記ターゲット供給装置を制御する、  
 ことを特徴とする請求項 1 に記載の量子ビーム生成装置。

40

## 【請求項 3】

前記ターゲット供給装置は、支持台と円板とタンクと駆動装置とを備え、  
 前記支持台は、主面と裏面と出射孔とを備え、  
 前記出射孔は、前記ターゲットの通過が可能な径を備え、前記出射口を備え、前記主面から前記裏面に貫通し、

前記円板は、当該円板の縁に沿って、予め設定された間隔に、複数の貫通孔を備え、  
 前記円板の中心は、前記貫通孔が前記出射孔と重なるように、前記主面に対し回転可能に保持され、

前記貫通孔は、前記主面の上において前記ターゲットを収容可能であり、

前記タンクは、本体と供給管とを備え、前記円板の上に配置され、

50

前記本体は、複数の前記ターゲットを格納可能であり、  
前記供給管は、前記ターゲットの通過が可能な径を備え、前記本体に接続され、複数の前記貫通孔の全ての中心を通る円周の上に配置され、  
前記駆動装置は、回転軸とモータとを備え、  
前記回転軸は、前記円板の中心において、前記円板に固定され、前記円板と共に回転可能であり、  
前記モータは、前記回転軸に接続され、前記制御装置による制御のもとで、前記回転軸を回転する、  
ことを特徴とする請求項 1 又は請求項 2 に記載の量子ビーム生成装置。

【請求項 4】

前記駆動装置は、センサを備え、  
前記センサは、前記回転軸の回転数と前記回転軸の軸位置とを検出し、前記回転数と前記軸位置とを示す回転情報を、前記制御装置に送信し、  
前記制御装置は、前記回転情報に基づいて、前記円板の回転運動を制御し、  
前記軸位置は、前記回転軸の回転方向における位置である、  
ことを特徴とする請求項 3 に記載の量子ビーム生成装置。

【請求項 5】

前記ターゲット供給装置は、出射補助器を備え、  
前記出射補助器は、前記出射孔の上に配置され、前記制御装置による制御のもとで、前記出射孔にある前記ターゲットに対し前記出射方向に向けて加圧することが可能であり、  
前記制御装置は、前記回転情報に基づいて、前記円板の回転に伴って前記円板の前記貫通孔が前記出射孔に重なる加圧タイミングを算出し、前記加圧タイミングに基づく加圧制御情報を、前記出射補助器に送信し、  
前記加圧制御情報は、前記加圧タイミングで加圧するように前記出射補助器を制御するための情報である、  
ことを特徴とする請求項 4 に記載の量子ビーム生成装置。

【請求項 6】

量子ビーム生成方法であって、  
量子ビーム生成を生じさせるターゲットをチャンバの内側に出射する出射工程と、  
前記チャンバの内側におけるレーザー光の照射点を予測する予測工程と、  
レーザー光の照射を準備する準備工程と、  
レーザー光を出力する出力工程と、  
を備え、  
前記出射工程では、前記ターゲットを、制御可能な出射タイミングで、前記チャンバの内側における予め設定された出射方向に、出射し、  
前記予測工程では、監視領域におけるターゲットの通過位置を検出し、前記ターゲットが前記監視領域に入射する入射時間と前記ターゲットが前記監視領域を出射する出射時間とを測定し、前記通過位置を用いて、前記照射点を算出し、前記監視領域の幅と、前記入射時間と、前記出射時間と、前記監視領域から前記照射点までの距離と、を用いて、前記照射点への前記ターゲットの到達タイミングを算出し、  
前記監視領域は、前記チャンバの内側において前記出射方向に交差する位置に、予め設定され、  
前記通過位置は、前記出射方向に垂直な面内における位置を示し、  
前記準備工程では、前記照射点にレーザー光を集光できるようにし、  
前記出力工程では、前記到達タイミングにレーザー光を出力する、  
ことを特徴とする量子ビーム生成方法。

【請求項 7】

前記出射工程では、複数の前記ターゲットを、順次、周期的に、出射する、ことを特徴とする請求項 6 に記載の量子ビーム生成方法。

【請求項 8】

10

20

30

40

50

レーザ核融合装置であって、  
 ターゲットが核融合反応を起こすチャンバと、  
 前記ターゲットを前記チャンバに供給するターゲット供給装置と、  
 前記チャンバの内側にある前記ターゲットを監視するターゲット監視装置と、  
 前記チャンバの内側にある前記ターゲットにレーザ光を照射するレーザ光照射装置と、  
 前記ターゲット監視装置による監視結果に基づいて、前記ターゲット供給装置と前記レーザ光照射装置とを制御する制御装置と、  
 を備え、  
 前記ターゲット供給装置は、前記ターゲットを出射する出射口を備え、前記制御装置によって制御される出射タイミングで、前記ターゲットを、前記チャンバの内側における予め設定された出射方向に、前記出射口から出射し、  
 前記ターゲット監視装置は、位置検出器と時間検出器とを備え、  
 前記位置検出器は、監視領域における前記ターゲットの通過位置を検出し、前記通過位置を示す位置情報を、前記制御装置に送信し、  
 前記監視領域は、前記チャンバの内側において前記出射方向に交差する位置に、予め設定され、  
 前記通過位置は、前記出射方向に垂直な面内における位置を示し、  
 前記時間検出器は、前記ターゲットが前記監視領域に入射する入射時間と前記ターゲットが前記監視領域を出射する出射時間とを測定し、前記入射時間と前記出射時間とを示す入射時間情報と前記出射時間情報とを、前記制御装置に送信し、  
 前記レーザ光照射装置は、レーザ光出力器と集光光学装置とを備え、  
 前記レーザ光出力器は、前記制御装置による制御のもとで、レーザ光を出力し、  
 前記集光光学装置は、前記レーザ光出力器から出力されるレーザ光を、前記制御装置による制御に基づいて、集光し、  
 前記制御装置は、前記位置情報を用いて、レーザ光の照射点を算出し、前記照射点に基づく集光制御情報を、前記集光光学装置に送信し、前記監視領域の幅と、前記入射時間情報と、前記出射時間情報と、前記監視領域から照射点までの距離と、を用いて、前記照射点へのターゲットの到達タイミングを算出し、前記到達タイミングに基づくレーザ制御情報を、前記レーザ光出力器に送信し、  
 前記集光制御情報は、前記レーザ光出力器からのレーザ光を前記照射点に集光するよう前記集光光学装置を制御するための情報であり、  
 前記レーザ制御情報は、前記到達タイミングでレーザ光を出力するよう前記レーザ光出力器を制御するための情報であり、  
 前記ターゲットの材料は、水素同位体を含む材料である、  
 ことを特徴とするレーザ核融合装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、量子ビーム生成装置と量子ビーム生成方法とレーザ核融合装置とに関する。

【背景技術】

【0002】

特許文献1は、制御された核融合反応からエネルギーを取り出すためのシステムを開示する。このシステムは、核融合ターゲット材料を受け入れるためのターゲット室を含む。制御された核融合反応を生じさせるべくターゲット室内のターゲット材料にエネルギーを供給し、核融合プラズマ及び熱の形態でエネルギーを放出するため、複数のエネルギー・ドライバがターゲット室の周囲に配置されている。核融合反応からエネルギーを取り出すための複数の構造が設けられている。これらの構造は、核融合プラズマから高圧電流電力を取り出すための装置と、ターゲット室から熱エネルギーを取り出すための手段とを備える。エネルギー・ドライバに対する電力は、核融合反応から取り出される高圧直流電力から供給することができる。このエネルギー・ドライバは、流体力学的不安定性を回避すべく、核融合反応を生

10

20

30

40

50

じさせるための駆動エネルギーの波面に所望形状を与えるためのアポダイジング・フィルタを使用する。

【 0 0 0 3 】

特許文献 2 は、ターゲットにレーザー光を照射してプラズマ化し、その際に発生する E U V 光を出力として取り出すレーザープラズマ E U V 光源を開示する。このレーザープラズマ E U V 光源は、ターゲットとして、レーザー光の集光径とほぼ等しい寸法の板状ターゲットを使用している。スリット状の開口を有するノズルから円板の方向を揃えてターゲットを噴出する。ターゲットはガス流に乗せて搬送される。この例では H e ガスを用いている。ノズルの外部は高真空に保たれているので、ノズルから放出されたターゲットは、そのままの姿勢で、レーザー光の照射位置に達する。ターゲットの供給と同期させて N d : Y A G レーザ光源からパルスレーザー光をレンズで集光してターゲットへ照射する。レーザーのスポット径はターゲットの直径と同じ 1 m m とされ、その厚さは 1 0 0 0 n m 以下である。よって、ターゲットのほぼ全てがプラズマ化され、d e b r i s の発生が抑えられる共に、変換効率が高くなる。

10

【 0 0 0 4 】

非特許文献 1 は、リニアサポー式及びエアガン式の長尺のターゲット加速機構を用いた技術を開示する。非特許文献 2 は、サポー式のターゲット加速機構の技術が開示されている。

【 先行技術文献 】

【 特許文献 】

20

【 0 0 0 5 】

【 特許文献 1 】 特表 2 0 0 9 - 5 3 9 1 1 7 号公報

【 特許文献 2 】 再表 2 0 0 6 / 0 7 5 5 3 5 号公報

【 非特許文献 】

【 0 0 0 6 】

【 非特許文献 1 】 " 4 . ターゲット製造・インジェクション系設計 "、乗松孝好、遠藤琢磨、吉田弘樹、岩本晃史、J.Plasma Fusion Res. Vol82, No12(2006)829 835。

【 非特許文献 2 】 G E N E R A L A T O M I C S 社のカタログ " I F T Catalog "、" 1 1 . I N T E R I A L F U S I O N E N E R G Y "、URL:[http://www.ga.com/media/GA/energy/IFT\\_Catalog.pdf](http://www.ga.com/media/GA/energy/IFT_Catalog.pdf)

g.pdf

30

【 発明の概要 】

【 発明が解決しようとする課題 】

【 0 0 0 7 】

上記のような従来の量子ビーム生成装置は、量子ビームを自動的に連続的に生成できるものにはなっていない。そこで、本発明の目的は、上記の事項を鑑みてなされたものであり、自動的に連続して量子ビーム生成が行える量子ビーム生成装置と量子ビーム生成方法とレーザー核融合装置とを提供することである。

【 課題を解決するための手段 】

【 0 0 0 8 】

本発明に係る量子ビーム生成装置は、ターゲットが量子ビーム生成反応を起こすチャンバと、前記ターゲットを前記チャンバに供給するターゲット供給装置と、前記チャンバの内側にある前記ターゲットを監視するターゲット監視装置と、前記チャンバの内側にある前記ターゲットにレーザー光を照射するレーザー光照射装置と、前記ターゲット監視装置による監視結果に基づいて、前記ターゲット供給装置と前記レーザー光照射装置とを制御する制御装置と、を備え、前記ターゲット供給装置は、前記ターゲットを出射する出射口を備え、前記制御装置によって制御される出射タイミングで、前記ターゲットを、前記チャンバの内側における予め設定された出射方向に、前記出射口から出射し、前記ターゲット監視装置は、位置検出器と時間検出器とを備え、前記位置検出器は、監視領域における前記ターゲットの通過位置を検出し、前記通過位置を示す位置情報を、前記制御装置に送信し、前記監視領域は、前記チャンバの内側において前記出射方向に交差する位置に、予め設定さ

40

50

れ、前記通過位置は、前記出射方向に垂直な面内における位置を示し、前記時間検出器は、前記ターゲットが前記監視領域に入射する入射時間と前記ターゲットが前記監視領域を出射する出射時間とを測定し、前記入射時間を示す入射時間情報と前記出射時間を示す出射時間情報とを、前記制御装置に送信し、前記レーザ光照射装置は、レーザ光出力器と集光光学装置とを備え、前記レーザ光出力器は、前記制御装置による制御のもとで、レーザ光を出力し、前記集光光学装置は、前記レーザ光出力器から出力されるレーザ光を、前記制御装置による制御に基づいて、集光し、前記制御装置は、前記位置情報を用いて、レーザ光の照射点を算出し、前記照射点に基づく集光制御情報を、前記集光光学装置に送信し、前記監視領域の幅と、前記入射時間情報と、前記出射時間情報と、前記監視領域から照射点までの距離と、を用いて、前記照射点へのターゲットの到達タイミングを算出し、前記到達タイミングに基づくレーザ制御情報を、前記レーザ光出力器に送信し、前記集光制御情報は、前記レーザ光出力器からのレーザ光を前記照射点に集光するよう前記集光光学装置を制御するための情報であり、前記レーザ制御情報は、前記到達タイミングでレーザ光を出力するよう前記レーザ光出力器を制御するための情報である。このように、制御装置によって制御される出射タイミングで、量子ビーム生成反応を起こすターゲットが、ターゲット供給装置によってチャンバの内側に供給され、チャンバの内側におけるターゲットの運動は、ターゲット監視装置によって監視され、制御装置は、この監視結果に基づいて、ターゲットにレーザ光を照射する。従って、ターゲットの供給と、ターゲットへのレーザ光の照射とが、制御装置によって、自動的に行われるので、制御装置による制御によって、連続的な量子ビーム生成が可能となる。

10

20

**【0009】**

本発明に係る量子ビーム生成装置において、前記制御装置は、複数の前記ターゲットを、順次、周期的に、前記出射口から出射するように、前記ターゲット供給装置を制御する。従って、制御装置による制御によって、周期的で連続的な量子ビーム生成が可能となる。

**【0010】**

本発明に係る量子ビーム生成装置において、前記ターゲット供給装置は、支持台と円板とタンクと駆動装置とを備え、前記支持台は、主面と裏面と出射孔とを備え、前記出射孔は、前記ターゲットの通過が可能な径を備え、前記出射口を備え、前記主面から前記裏面に貫通し、前記円板は、当該円板の縁に沿って、予め設定された間隔に、複数の貫通孔を備え、前記円板の中心は、前記貫通孔が前記出射孔と重なるように、前記主面に対し回転可能に保持され、前記貫通孔は、前記主面の上において前記ターゲットを収容可能であり、前記タンクは、本体と供給管とを備え、前記円板の上に配置され、前記本体は、複数の前記ターゲットを格納可能であり、前記供給管は、前記ターゲットの通過が可能な径を備え、前記本体に接続され、複数の前記貫通孔の全ての中心を通る円周の上に配置され、前記駆動装置は、回転軸とモータとを備え、前記回転軸は、前記円板の中心において、前記円板に固定され、前記円板と共に回転可能であり、前記モータは、前記回転軸に接続され、前記制御装置による制御のもとで、前記回転軸を回転する。従って、ターゲットが等間隔に配置された円板を回転することによって、ターゲットを順次チャンバに供給できる。従って、ターゲットが等間隔に配置された円板を用いることによって、周期的及び連続的な量子ビーム生成が、実現できる。

30

40

**【0011】**

本発明に係る量子ビーム生成装置において、前記駆動装置は、センサを備え、前記センサは、前記回転軸の回転数と前記回転軸の軸位置とを検出し、前記回転数と前記軸位置とを示す回転情報を、前記制御装置に送信し、前記制御装置は、前記回転情報に基づいて、前記円板の回転運動を制御し、前記軸位置は、前記回転軸の回転方向における位置である。このように、センサを用いて、円板の回転状態を認識できるので、制御装置は、任意に設定する周期で円板を回転させることができる。従って、任意に設定する周期で、連続的に量子ビーム生成が可能となる。

**【0012】**

本発明に係る量子ビーム生成装置において、前記ターゲット供給装置は、出射補助器を備

50

え、前記出射補助器は、前記出射孔の上に配置され、前記制御装置による制御のもとで、前記出射孔にある前記ターゲットに対し前記出射方向に向けて加圧することが可能であり、前記制御装置は、前記回転情報に基づいて、前記円板の回転に伴って前記円板の前記貫通孔が前記出射孔に重なる加圧タイミングを算出し、前記加圧タイミングに基づく加圧制御情報を、前記出射補助器に送信し、前記加圧制御情報は、前記加圧タイミングで加圧するように前記出射補助器を制御するための情報である。出射補助器によって、ターゲットが強制的に出射されるので、出射タイミングであるにもかかわらず、出射が行われない、という事態が、回避できる。更に、高速度でターゲットを出射できるため、低温に冷却されたターゲットを使用した場合においても、温度を維持したまま短時間の内に照射点まで供給することが可能となる。

10

**【 0 0 1 3 】**

本発明に係る量子ビーム生成方法は、量子ビーム生成を生じさせるターゲットをチャンバの内側に出射する出射工程と、前記チャンバの内側におけるレーザ光の照射点を予測する予測工程と、レーザ光の照射を準備する準備工程と、レーザ光を出力する出力工程と、を備え、前記出射工程では、前記ターゲットを、制御可能な出射タイミングで、前記チャンバの内側における予め設定された出射方向に、出射し、前記予測工程では、監視領域におけるターゲットの通過位置を検出し、前記ターゲットが前記監視領域に入射する入射時間と前記ターゲットが前記監視領域を出射する出射時間とを測定し、前記通過位置を用いて、前記照射点を算出し、前記監視領域の幅と、前記入射時間と、前記出射時間と、前記監視領域から前記照射点までの距離と、を用いて、前記照射点への前記ターゲットの到達タイミングを算出し、前記監視領域は、前記チャンバの内側において前記出射方向に交差する位置に、予め設定され、前記通過位置は、前記出射方向に垂直な面内における位置を示し、前記準備工程では、前記照射点にレーザ光を集光できるようにし、前記出力工程では、前記到達タイミングにレーザ光を出力する。このように、制御可能な出射タイミングで、量子ビーム生成反応を起こすターゲットが、チャンバの内側に供給され、チャンバの内側におけるターゲットの運動は監視され、この監視結果に基づいて、ターゲットにレーザ光が照射される。従って、ターゲットの供給と、ターゲットへのレーザ光の照射とが、自動的に行われるので、連続的な量子ビーム生成が可能となる。

20

**【 0 0 1 4 】**

本発明に係る量子ビーム生成方法において、前記出射工程では、複数の前記ターゲットを、順次、周期的に、出射する。従って、周期的で連続的な量子ビーム生成が可能となる。

30

**【 0 0 1 5 】**

本発明に係るレーザ核融合装置は、ターゲットが核融合反応を起こすチャンバと、前記ターゲットを前記チャンバに供給するターゲット供給装置と、前記チャンバの内側にある前記ターゲットを監視するターゲット監視装置と、前記チャンバの内側にある前記ターゲットにレーザ光を照射するレーザ光照射装置と、前記ターゲット監視装置による監視結果に基づいて、前記ターゲット供給装置と前記レーザ光照射装置とを制御する制御装置と、を備え、前記ターゲット供給装置は、前記ターゲットを出射する出射口を備え、前記制御装置によって制御される出射タイミングで、前記ターゲットを、前記チャンバの内側における予め設定された出射方向に、前記出射口から出射し、前記ターゲット監視装置は、位置検出器と時間検出器とを備え、前記位置検出器は、監視領域における前記ターゲットの通過位置を検出し、前記通過位置を示す位置情報を、前記制御装置に送信し、前記監視領域は、前記チャンバの内側において前記出射方向に交差する位置に、予め設定され、前記通過位置は、前記出射方向に垂直な面内における位置を示し、前記時間検出器は、前記ターゲットが前記監視領域に入射する入射時間と前記ターゲットが前記監視領域を出射する出射時間とを測定し、前記入射時間を示す入射時間情報と前記出射時間を示す出射時間情報とを、前記制御装置に送信し、前記レーザ光照射装置は、レーザ光出力器と集光光学装置とを備え、前記レーザ光出力器は、前記制御装置による制御のもとで、レーザ光を出力し、前記集光光学装置は、前記レーザ光出力器から出力されるレーザ光を、前記制御装置による制御に基づいて、集光し、前記制御装置は、前記位置情報を用いて、レーザ光の照射

40

50

点を算出し、前記照射点に基づく集光制御情報を、前記集光光学装置に送信し、前記監視領域の幅と、前記入射時間情報と、前記出射時間情報と、前記監視領域から照射点までの距離と、を用いて、前記照射点へのターゲットの到達タイミングを算出し、前記到達タイミングに基づくレーザ制御情報を、前記レーザ光出力器に送信し、前記集光制御情報は、前記レーザ光出力器からのレーザ光を前記照射点に集光するよう前記集光光学装置を制御するための情報であり、前記レーザ制御情報は、前記到達タイミングでレーザ光を出力するよう前記レーザ光出力器を制御するための情報であり、前記ターゲットの材料は、水素同位体を含む材料である。このように、制御装置によって制御される出射タイミングで、核融合反応を起こすターゲットが、ターゲット供給装置によってチャンバの内側に供給され、チャンバの内側におけるターゲットの運動は、ターゲット監視装置によって監視され、制御装置は、この監視結果に基づいて、ターゲットにレーザ光を照射する。従って、ターゲットの供給と、ターゲットへのレーザ光の照射とが、制御装置によって、自動的に行われるので、制御装置による制御によって、連続的な核融合反応が可能となる。

10

【発明の効果】

【0016】

本発明によれば、自動的に連続して量子ビーム生成が行える量子ビーム生成装置と量子ビーム生成方法と、レーザ核融合装置とを提供できる。

【図面の簡単な説明】

【0017】

【図1】実施形態に係る量子ビーム生成装置の構成を模式的に示す図である。

20

【図2】実施形態に係る量子ビーム生成装置の構成を模式的に示す図である。

【図3】実施形態に係る量子ビーム生成方法を説明するためのフローチャートである。

【図4】実施形態に係る量子ビーム生成装置の効果を説明するための図である。

【発明を実施するための形態】

【0018】

以下、図面を参照して、本発明に係る好適な実施形態について詳細に説明する。なお、図面の説明において、可能な場合には、同一要素には同一符号を付し、重複する説明を省略する。図1及び図2を参照して、実施形態に係る量子ビーム生成装置1aの構成を説明する。図1及び図2は、いずれも、量子ビーム生成装置1aの構成を模式的に示す図である。

30

【0019】

量子ビーム生成装置1aは、チャンバ3aと、ターゲット供給装置4aと、ターゲット監視装置5aと、レーザ光照射装置6aと、制御装置7aとを備える。チャンバ3aは、ターゲット2aが量子ビーム生成反応を起こす空間を画定する。ターゲット供給装置4aは、ターゲット2aをチャンバ3aに供給する。ターゲット監視装置5aは、チャンバ3aの内側にあるターゲット2aを監視する。レーザ光照射装置6aは、チャンバ3aの内側にあるターゲット2aにレーザ光8aを照射する。制御装置7aは、ターゲット監視装置5aによる監視結果に基づいて、ターゲット供給装置4aとレーザ光照射装置6aとを制御する。

【0020】

40

ターゲット供給装置4aは、ターゲット2aを出射する出射口9bを備える。ターゲット供給装置4aは、制御装置7aによって制御される出射タイミングで、ターゲット2aを、チャンバ3aの内側における予め設定された出射方向3dに、出射口9bから出射する。

【0021】

ターゲット供給装置4aは、支持台9aと円板10aとタンク1bと駆動装置2bとを備える。支持台9aは、主面4bと裏面5bと出射孔8bとを備える。出射孔8bは、ターゲット2aの通過が可能な径を備える。出射孔8bは、出射口9bを備える。出射孔8bは、主面4bから裏面5bに貫通する。出射口9bは、裏面5bの側の開口である。

【0022】

50

円板 10 a は、円板 10 a の縁 7 b に沿って、予め設定された間隔（例えば、等間隔）に、複数の貫通孔 6 b を備える。円板 10 a の中心 10 b は、貫通孔 6 b が出射孔 8 b と重なるように、主面 4 b に対し回転可能に保持される。貫通孔 6 b は、主面 4 b の上においてターゲット 2 a を収容可能である。

【0023】

タンク 1 b は、本体 1 c と供給管 2 c とを備える。タンク 1 b は、円板 10 a の上に配置される。本体 1 c は、複数のターゲット 2 a を格納可能である。供給管 2 c は、ターゲット 2 a の通過が可能な径を備える。供給管 2 c は、本体 1 c に接続される。供給管 2 c は、複数の貫通孔 6 b の全ての中心を通る円周 10 b 1 の上に配置される。

【0024】

駆動装置 2 b は、回転軸 4 c とモータ 3 c とを備える。回転軸 4 c は、円板 10 a の中心 10 b において、円板 10 a に固定され、円板 10 a と共に回転可能である。モータ 3 c は、回転軸 4 c に接続される。モータ 3 c は、制御装置 7 a による制御のもとで、回転軸 4 c を回転する。

【0025】

駆動装置 2 b は、センサ 5 c を備える。センサ 5 c は、回転軸 4 c の回転数と回転軸 4 c の軸位置とを検出する。センサ 5 c は、回転軸 4 c の回転数と回転軸 4 c の軸位置とを示す回転情報 1 e を、制御装置 7 a に送信する。回転軸 4 c の軸位置は、回転軸 4 c の回転方向における位置である。本実施形態において、情報とは、制御装置 7 a の CPU が読み取り可能な電子データを意味する。

【0026】

ターゲット供給装置 4 a は、出射補助器 3 b を備える。出射補助器 3 b は、出射孔 8 b の上に配置される。出射補助器 3 b は、制御装置 7 a による制御のもとで、出射孔 8 b の上にあるターゲット 2 a に対し、出射方向 3 d に向けて加圧することが可能である。出射補助器 3 b は、例えば、ガスを出射方向 3 d に向けて噴射することによって、ターゲット 2 a を加圧する。

【0027】

ターゲット監視装置 5 a は、位置検出器 7 c と時間検出器 6 c とを備える。位置検出器 7 c は、例えば、一又は複数の撮像装置（カメラ）である。位置検出器 7 c は、監視領域 2 d におけるターゲット 2 a の通過位置を検出し、この通過位置を示す位置情報 6 e を、制御装置 7 a に送信する。位置検出器 7 c は、例えば、入射時間情報 4 e に基づき、ターゲット 2 a が監視領域 2 d に入射したタイミングで、ターゲット 2 a の通過位置を検出する。監視領域 2 d は、チャンバ 3 a の内側において出射方向 3 d に交差する位置に、予め設定される。位置検出器 7 c によって検出される通過位置は、出射方向 3 d に垂直な面内（図 2 に示す基準面 3 f に平行な面）における位置を示す。時間検出器 6 c は、ターゲット 2 a が監視領域 2 d に入射する入射時間とターゲット 2 a が 2 D を出射する出射時間とを測定する。

【0028】

時間検出器 6 c は、入射時間を示す入射時間情報 4 e と出射時間を示す出射時間情報 5 e とを、制御装置 7 a に送信する。時間検出器 6 c は、例えば、フォトセンサである。時間検出器 6 c は、発光素子 8 c と発光素子 9 c と受光素子 10 c と受光素子 1 d とを備える。受光素子 10 c は、発光素子 8 c が発光する光を受光する。受光素子 1 d は、発光素子 9 c が発光する光を受光する。受光素子 10 c は、受光した光信号を電気信号に変換し、この電気信号を、入射時間情報 4 e として、制御装置 7 a に送信する。受光素子 1 d は、受光した光信号を電気信号に変換し、この電気信号を、出射時間情報 5 e として、制御装置 7 a に送信する。監視領域 2 d は、発光素子 8 c が発光する光の進路と、発光素子 9 c が発光する光の進路とによって、画定される。ターゲット 2 a が監視領域 2 d に入射した場合、受光素子 10 c が出力する電気信号（入射時間情報 4 e）は、監視領域 2 d へのターゲット 2 a の入射を示す値をとる。ターゲット 2 a が監視領域 2 d から出射した場合、受光素子 1 d が出力する電気信号（出射時間情報 5 e）は、監視領域 2 d からのターゲッ

10

20

30

40

50

ト 2 a の出射を示す値をとる。発光素子 8 c と発光素子 9 c とは、例えば、いずれも、発光ダイオードである。受光素子 10 c と受光素子 1 d とは、例えば、いずれも、フォトダイオードである。ここで、時間検出複器 6 c は、複数の撮像装置もしくは高速度撮影が可能な撮像装置であってよい。

【 0 0 2 9 】

レーザ光照射装置 6 a は、レーザ光出力器 5 d と集光光学装置 6 d とを備える。レーザ光出力器 5 d は、制御装置 7 a による制御のもとで、レーザ光 8 a を出力する。レーザ光出力器 5 d は、レーザ光源 9 d とシャッター 10 d とを備える。レーザ光源 9 d は、レーザ制御情報 9 e によらずに、数 10 MHz の繰り返し率でレーザ光を発光する。レーザ光出力器 5 d は、数 10 MHz の繰り返し率で発光しているレーザパルス列の中から、レーザ制御情報 9 e に基づいて、レーザパルスを選択し、シャッター 10 d を駆動する。レーザ光出力器 5 d は、レーザ制御情報 9 e に基づいて、発光の指示の場合には、シャッター 10 d を開け、発光を行わない指示の場合には、シャッター 10 d を閉じる。

10

【 0 0 3 0 】

集光光学装置 6 d は、レーザ光出力器 5 d から出力されるレーザ光 8 a を、制御装置 7 a による制御に基づいて、集光する。集光光学装置 6 d は、複数のミラー、例えばミラー 7 d とミラー 8 d とを、備える。集光光学装置 6 d は、集光制御情報 8 e に基づいて、例えばミラー 7 d とミラー 8 d との配置を移動する。

【 0 0 3 1 】

制御装置 7 a は、回転情報 1 e に基づいて、円板 10 a の回転時に円板 10 a の貫通孔 6 b が出射孔 8 b に重なるタイミング（加圧タイミング）を、算出する。制御装置 7 a は、加圧タイミングに基づく加圧制御情報 3 e を、出射補助器 3 b に送信する。加圧制御情報 3 e は、制御装置 7 a によって算出された加圧タイミングで加圧するように出射補助器 3 b を制御するための情報である。

20

【 0 0 3 2 】

制御装置 7 a は、複数のターゲット 2 a を、順次、周期的に、出射口 9 b から出射するように、ターゲット供給装置 4 a を制御する。制御装置 7 a は、回転情報 1 e に基づいて、円板 10 a の回転運動を制御する。

【 0 0 3 3 】

制御装置 7 a は、位置情報 6 e を用いて、レーザ光 8 a の照射点 4 d を算出する。照射点 4 d は、基準面 3 f に含まれる点である。基準面 3 f は、支持台 9 a の主面 4 b からの距離が一定（距離 10 e と幅 1 f と距離 2 f との和）であり、出射方向 3 d に直交する平面である。制御装置 7 a は、照射点 4 d に基づく集光制御情報 8 e を、集光光学装置 6 d に送信する。制御装置 7 a は、監視領域 2 d の幅 1 f と、入射時間情報 4 e と、出射時間情報 5 e と、監視領域 2 d から照射点 4 d までの距離 2 f と、を用いて、照射点 4 d へのターゲット 2 a の到達タイミングを算出する。制御装置 7 a は、到達タイミングに基づくレーザ制御情報 9 e を、レーザ光出力器 5 d に送信する。集光制御情報 8 e は、レーザ光出力器 5 d からのレーザ光 8 a を照射点 4 d に集光するよう集光光学装置 6 d を制御するための情報である。レーザ制御情報 9 e は、制御装置 7 a によって算出された到達タイミングでレーザ光 8 a を出力するようレーザ光出力器 5 d を制御するための情報である。距離 10 e を示す情報と幅 1 f を示す情報と距離 2 f を示す情報とは、いずれも、制御装置 7 a のメモリに電子データとして予め格納されている。

30

40

【 0 0 3 4 】

出射孔 8 b の径は、例えば、ターゲット 2 a の直径の 101% 以上 120% 以下である。供給管 2 c の径は、例えば、ターゲット 2 a の直径の 101% 以上 120% 以下である。制御装置 7 a は、例えば、10 Hz 以上 100 Hz 以下の範囲で、ターゲット 2 a の出射を行う。出射補助器 3 b は、出射口 9 b からの出射時におけるターゲット 2 a の初速を、例えば、数 m/s 以上、数百 m/s 以下とすることができる。出射補助器 3 b は、ガスを出射方向 3 d に向けて、例えば、数 ms 以上、数百 ms 以下の間だけ噴射することによって、ターゲット 2 a を加圧する。距離 10 e は、例えば、80 mm 程度であり、幅 1 f は

50

、例えば、40 mm程度であり、距離  $2f$  は、例えば、60 mm程度である。

【0035】

図3を参照して、実施形態に係る量子ビーム生成方法を説明する。まず、ステップS1（出射工程）において、制御装置7aは、ターゲット供給装置4aを制御して、ターゲット2aをチャンバ3aの内側に出射する。ステップS1において、制御装置7aは、ターゲット供給装置4aを制御して、ターゲット2aを、制御装置7aの制御可能な出射タイミングで、チャンバ3aの内側における予め設定された出射方向3dに、出射する。

【0036】

ステップS1の後、ステップS2（予測工程）において、制御装置7aは、チャンバ3aの内側におけるレーザー光8aの照射点4dを予測する。ステップS2は、ステップS2aとステップS2bとを備える。

10

【0037】

ステップS2aにおいて、位置検出器7cは、監視領域2dにおけるターゲット2aの通過位置を検出する。ステップS2aにおいて、時間検出器6cは、ターゲット2aが監視領域2dに入射する入射時間と、ターゲット2aが監視領域2dを出射する出射時間とを測定する。

【0038】

ステップS2aの後、ステップS2bにおいて、位置検出器7cは、位置検出器7cによって検出された通過位置を用いて、照射点4dを算出する。ステップS2bにおいて、位置検出器7cは、監視領域2dの幅1fと、入射時間を示す入射時間情報4eと、出射時間を示す出射時間情報5eと、監視領域2dから照射点4dまでの距離2fと、を用いて、照射点4dへのターゲット2aの到達タイミングを算出する。

20

【0039】

ステップS2の後、ステップS3（準備工程）において、制御装置7aは、集光光学装置6dを制御して、照射点4dにレーザー光8aを集光できるように、レーザー光8aの照射位置を移動させて照射を準備する。ステップS3の後、ステップS4（出力工程）において、制御装置7aは、レーザー光出力器5dを制御して、ステップS2bにおいて算出した到達タイミングにレーザー光8aを出力する。

【0040】

図4は、実施形態に係る量子ビーム生成装置の効果を説明するための図である。図4の（A）部の横軸と図4の（B）部の横軸とは、いずれも、時間ジッタ（ms）を表す。図4に示す時間ジッタは、レーザー光8aの照射時刻から、ターゲット2aの照射点4dの通過時刻を差し引いた値である。図4の（A）部の縦軸と図4の（B）部の縦軸とは、いずれも、頻度（イベント数）を表す。図4の（A）部は、量子ビーム生成装置1aにおいて、特にレーザー制御情報9eを用いない場合の測定結果である。図4の（B）部は、量子ビーム生成装置1aの測定結果（特に、レーザー制御情報9eを用いて得られた測定結果）である。図4に示す結果から、レーザー制御情報9eを用いる量子ビーム生成装置1aのほうが、レーザー制御情報9eを用いない量子ビーム生成装置1aに比較して、レーザー光8aの照射時刻と、ターゲット2aの照射点4dの通過時刻とが略一致（時間ジッタがゼロ）する場合が多いことがわかる。時間ジッタがゼロの場合に、レーザー光8aはターゲット2aに照射される。ターゲット2aとしてはLiやBeを含有したシェルもしくはビーズを用いることができる。ターゲットとしてLiやBeを含有したシェルもしくはビーズを用いた場合には、中性子、陽子（プロトン）、イオン等の量子ビームの生成が可能である。

30

40

【0041】

このように、制御装置7aによって制御される出射タイミングで、量子ビーム生成反応を起こすターゲット2aが、ターゲット供給装置4aによってチャンバ3aの内側に供給され、チャンバ3aの内側におけるターゲット2aの運動は、ターゲット監視装置5aによって監視され、制御装置7aは、この監視結果に基づいて、ターゲット2aにレーザー光8aを照射する。よって、ターゲット2aの供給と、ターゲット2aへのレーザー光8aの照射とが、制御装置7aによって、自動的に行われるので、制御装置7aによる制御によっ

50

て、連続的な量子ビーム生成が可能となる。

【0042】

制御装置7aによる制御によって、周期的で連続的な量子ビーム生成が可能となる。

【0043】

ターゲット2aが等間隔に配置された円板10aを回転することによって、ターゲット2aを順次、チャンバ3aに供給できる。よって、ターゲット2aが等間隔に配置された円板10aを用いることによって、周期的及び連続的な量子ビーム生成が、実現できる。

【0044】

制御装置7aは、センサ5cを用いて、円板10aの回転状態を認識できるので、任意に設定する周期で、円板10aを回転させることができる。よって、任意に設定する周期で、連続的に量子ビーム生成が可能となる。

10

【0045】

出射補助器3bによって、ターゲット2aが強制的に出射されるので、出射タイミングであるにもかかわらず出射が行われず、という事態が、回避できる。更に、高速度でターゲットを出射できるため、低温に冷却されたターゲットを使用した場合においても、温度を維持したまま短時間の内に照射点まで供給することが可能となる。

【0046】

以上、好適な実施の形態において本発明の原理を図示し説明してきたが、本発明は、そのような原理から逸脱することなく配置および詳細において変更され得ることは、当業者によって認識される。本発明は、本実施の形態に開示された特定の構成に限定されるものではない。したがって、特許請求の範囲およびその精神の範囲から来る全ての修正および変更を権利を請求する。例えば、ターゲット供給装置4a、時間検出器6c、レーザ光照射装置6aの何れか又は全てが、チャンバ3aの外側に配置されることができる。

20

【0047】

レーザ光出力器5dを複数配置して、同時にまたは時間差を設けてターゲットに照射しても良い。ターゲットの材料として極低温に冷却された固体の水素同位体（重水素や三重水素）や気体の水素同位体を充填したペレット、水素を水素同位体に置換したプラスチックビーズやプラスチックシェルを用いることで、本実施形態の量子ビーム生成装置をレーザ核融合装置とすることもできる。レーザ核融合装置とする場合にはチャンバ3aと断熱させた状態で、ターゲット供給装置4aを極低温槽に配置することで、低温に冷却されたターゲットを供給することもできる。このように、本実施形態によって自動的に連続して核融合反応が行えるレーザ核融合装置と核融合生成方法とを提供することができる。

30

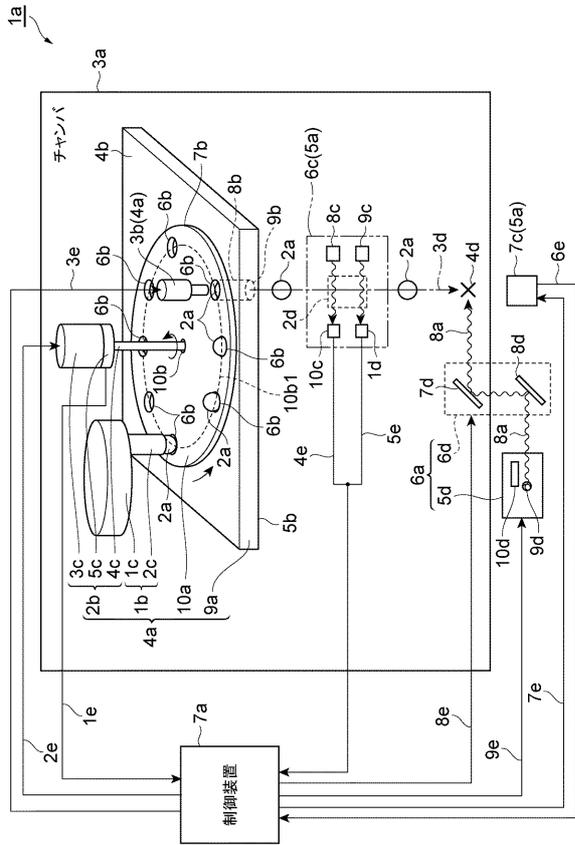
【符号の説明】

【0048】

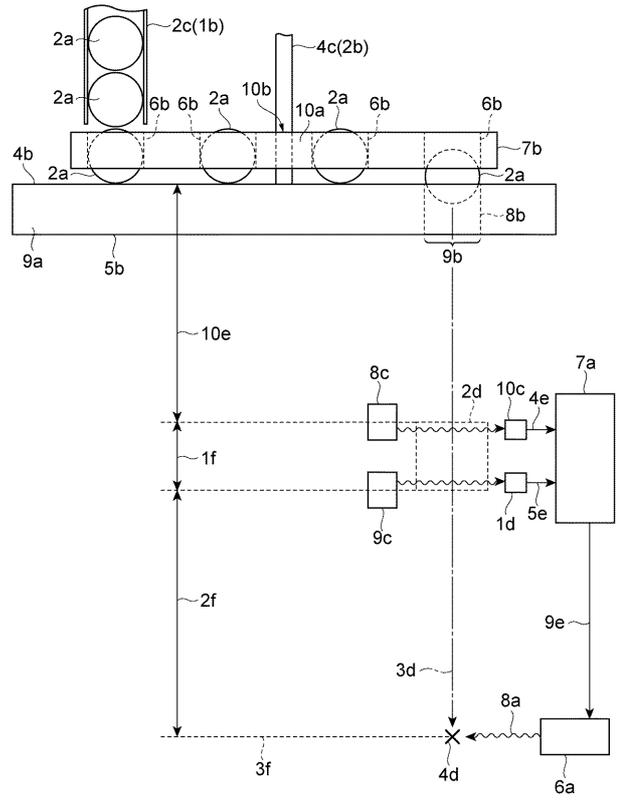
1a 量子ビーム生成装置、2a ターゲット、3a チャンバ、4a ターゲット供給装置、5a ターゲット監視装置、6a レーザ光照射装置、7a 制御装置、8a レーザ光、9a 支持台、10a 円板、1b タンク、2b 駆動装置、3b 出射補助器、4b 主面、5b 裏面、6b 貫通孔、7b 縁、8b 出射孔、9b 出射口、10b 中心、1c 本体、2c 供給管、3c モータ、4c 回転軸、5c センサ、6c 時間検出器、7c 位置検出器、8c 発光素子、9c 発光素子、10c 受光素子、1d 受光素子、2d 監視領域、3d 出射方向、4d 照射点、5d レーザ光出力器、6d 集光光学装置、7d ミラー、8d ミラー、9d レーザ光源、10d シャッター、1e 回転情報、2e 回転制御情報、3e 加圧制御情報、4e 入射時間情報、5e 出射時間情報、6e 位置情報、7e 撮像制御情報、8e 集光制御情報、9e レーザ制御情報、10e 距離、1f 幅、2f 距離、3f 基準面。

40

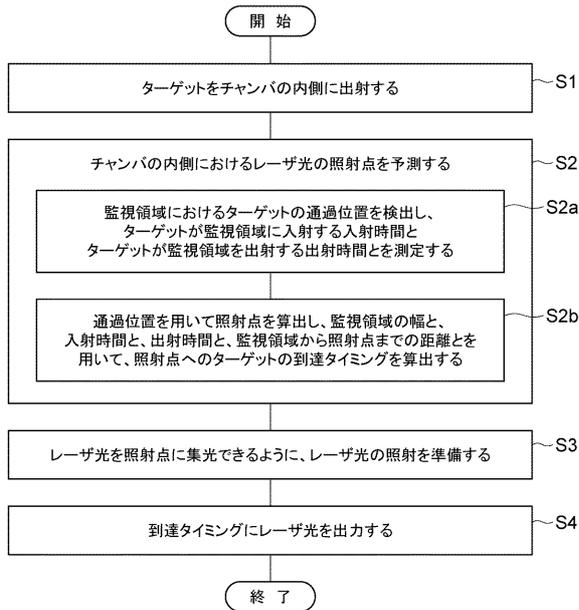
【図1】



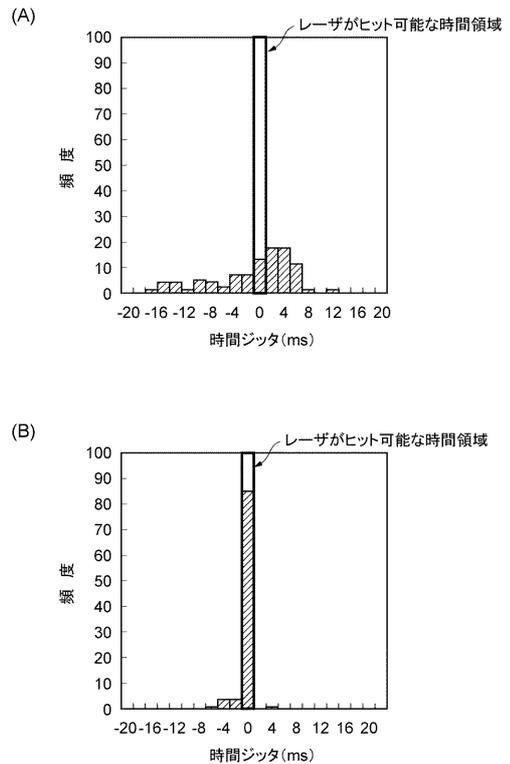
【図2】



【図3】



【図4】



---

フロントページの続き

- (74)代理人 100113435  
弁理士 黒木 義樹
- (74)代理人 100124291  
弁理士 石田 悟
- (72)発明者 関根 尊史  
静岡県浜松市東区市野町 1 1 2 6 番地の 1 浜松ホトニクス株式会社内
- (72)発明者 川嶋 利幸  
静岡県浜松市東区市野町 1 1 2 6 番地の 1 浜松ホトニクス株式会社内
- (72)発明者 佐藤 仲弘  
静岡県浜松市東区市野町 1 1 2 6 番地の 1 浜松ホトニクス株式会社内
- (72)発明者 北川 米喜  
静岡県浜松市西区呉松町 1 9 5 5 番地の 1 学校法人光産業創成大学院大学内
- (72)発明者 森 芳孝  
静岡県浜松市西区呉松町 1 9 5 5 番地の 1 学校法人光産業創成大学院大学内
- (72)発明者 石井 勝弘  
静岡県浜松市西区呉松町 1 9 5 5 番地の 1 学校法人光産業創成大学院大学内
- (72)発明者 花山 良平  
静岡県浜松市西区呉松町 1 9 5 5 番地の 1 学校法人光産業創成大学院大学内
- (72)発明者 米田 修  
愛知県豊田市トヨタ町 1 番地 トヨタ自動車株式会社内
- (72)発明者 西村 靖彦  
愛知県豊田市花本町井前 1 番地 2 1 トヨタテクニカルディベロップメント株式会社内
- (72)発明者 掛布 光孝  
愛知県長久手市横道 4 1 番地の 1 株式会社豊田中央研究所内