

(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2010-25929

(P2010-25929A)

(43) 公開日 平成22年2月4日(2010.2.4)

(51) Int.Cl.

F I

テーマコード (参考)

G04F 5/14 (2006.01)
H01S 1/06 (2006.01)

G04F 5/14
H01S 1/06

審査請求 有 請求項の数 10 O L (全 23 頁)

(21) 出願番号 特願2009-143762 (P2009-143762)
(22) 出願日 平成21年6月16日 (2009.6.16)
(31) 優先権主張番号 61/073, 197
(32) 優先日 平成20年6月17日 (2008.6.17)
(33) 優先権主張国 米国 (US)
(31) 優先権主張番号 12/481, 709
(32) 優先日 平成21年6月10日 (2009.6.10)
(33) 優先権主張国 米国 (US)

(71) 出願人 591002810
ノースロップ グラマン ガイダンス ア
ンド エレクトロニクス カンパニー イ
ンコーポレイテッド
アメリカ合衆国 90067 カリフォル
ニア州 ロサンジェルス、センチュリー
パーク イースト 1840
(74) 代理人 100078282
弁理士 山本 秀策
(74) 代理人 100062409
弁理士 安村 高明
(74) 代理人 100113413
弁理士 森下 夏樹

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 置換可能アルカリビームセル

(57) 【要約】

【課題】置換可能アルカリビームセルを提供すること。

【解決手段】置換可能アルカリビームセルを備えているアルカリビームセルシステムであって、該置換可能アルカリビームセルは、第1の期間の間、アルカリ金属を蒸発させるように構成されるリザーバチャンバとして構成され、そして、第2の期間の間、該蒸発したアルカリ金属を収集するように構成される検知チャンバとして構成される第1のチャンバと、該第1の期間の間、該検知チャンバとして構成され、そして、該第2の期間の間、該リザーバチャンバとして構成される第2のチャンバと、該第1のチャンバと該第2のチャンバとを相互接続するアパーチャであって、該アパーチャを通して、該アルカリ金属は拡散することが可能である、アパーチャとを備えている、システム。

【選択図】 図3

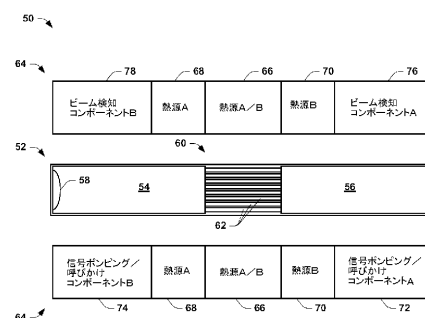


FIG. 3

【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

置換可能アルカリビームセルを備えているアルカリビームセルシステムであって、該置換可能アルカリビームセルは、

第 1 の期間の間、アルカリ金属を蒸発させるように構成されるリザーバチャンバとして構成され、そして、第 2 の期間の間、該蒸発したアルカリ金属を収集するように構成される検知チャンバとして構成される第 1 のチャンバと、

該第 1 の期間の間、該検知チャンバとして構成され、そして、該第 2 の期間の間、該リザーバチャンバとして構成される第 2 のチャンバと、

該第 1 のチャンバと該第 2 のチャンバとを相互接続するアパーチャであって、該アパーチャを通して、該アルカリ金属は拡散することが可能である、アパーチャとを備えている、システム。

10

【請求項 2】

前記アパーチャは、実質的に平行な複数のチューブとして構成され、該実質的に平行な複数のチューブはそれぞれ、前記第 1 のチャンバに結合される第 1 の開口部と、前記第 2 のチャンバに結合される第 2 の開口部とを有する、請求項 1 に記載のシステム。

【請求項 3】

前記実質的に平行な複数のチューブのそれぞれが、第 1 のサイズから第 2 のサイズへと先細にされるように構成されることにより、長手方向に依存する断面を達成し、前記第 1 の開口部のうちの最初の開口部は、該第 1 のサイズであり、第 1 の開口部のうちの第 2 のサイズの複数の開口部に隣接し、そして、該第 1 の開口部の 2 番目の開口部は、該第 2 のサイズであり、該第 1 の開口部のうちの該第 1 のサイズの複数の開口部に隣接している、請求項 2 に記載のシステム。

20

【請求項 4】

前記実質的に平行な複数のチューブのうちのそれぞれが、軸を有するように構成され、該軸は、実質的に真っ直ぐであり、そして、前記第 1 のチャンバと前記第 2 のチャンバとの中心軸に対して平行ではない、請求項 2 に記載のシステム。

【請求項 5】

前記実質的に平行な複数のチューブのうちのそれぞれが、実質的に非直線状である軸を有するように構成されている、請求項 2 に記載のシステム。

30

【請求項 6】

前記第 1 の期間と前記第 2 の期間とのそれぞれの終了の際に、前記リザーバチャンバと前記検知チャンバとに関して、前記第 1 のチャンバと前記第 2 のチャンバとの構成を置換するように構成されたコントローラをさらに備えている、請求項 1 に記載のシステム。

【請求項 7】

前記コントローラは、閾値未満に減少された強度を有する、前記検知チャンバにおける検知された蛍光信号に応答して、前記第 1 のチャンバと前記第 2 のチャンバとの構成を置換するように構成されている、請求項 6 に記載のシステム。

【請求項 8】

前記コントローラは、前記アルカリビームセルの加熱構成を置換することによって前記第 1 のチャンバと前記第 2 のチャンバとの前記構成を置換することにより、該第 1 のチャンバと該第 2 のチャンバとの間の圧力差を置換するように構成されている、請求項 6 に記載のシステム。

40

【請求項 9】

請求項 1 に記載のアルカリビームセルシステムを備えている、アルカリビーム原子時計。

【請求項 10】

前記置換可能アルカリビームセルは、第 1 の置換可能アルカリビームセルであり、前記アルカリビーム原子時計は、

第 2 の置換可能アルカリビームセルと、

50

時計コントローラであって、該時計コントローラは、該第 1 のアルカリビームセルと該第 2 のアルカリビームセルとのうちの一方から周波数基準を獲得し、そして、所与の時間において、該第 1 のアルカリビームセルと該第 1 のアルカリビームセルとのうちの他方の前記リザーバチャンバにおいて前記アルカリ金属が実質的に完全に蒸発すると、該第 1 のアルカリビームセルと該第 2 のアルカリビームセルとのうちの他方を置換し、それにより、該周波数基準が、実質的に妨げられないように構成されている、時計コントローラとをさらに備えている、請求項 9 に記載のアルカリビーム原子時計。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

10

(関連出願の引用)

本発明は、2008 年 6 月 17 日出願の米国仮特許出願第 61 / 073 , 197 号の優先権を主張する。

【0002】

(技術分野)

本発明は、概して、ビームセルシステムに関し、特に、置換可能 (r e v e r s i b l e) アルカリビームセルに関する。

【背景技術】

【0003】

20

アルカリビームセルは、非常に正確で安定した周波数を必要とする様々なシステム、例えば、アルカリビーム原子時計において利用され得る。例として、アルカリビーム原子時計は、パイスタティックレーダシステム、全地球測位システム (G P S)、ならびに衛星システムなどの他のナビゲーションおよび測位システムにおいて使用され得る。原子時計はまた、セルラー電話システムなどの通信システムにおいて使用され得る。

【0004】

アルカリビームセルは、一般的に、アルカリ金属を含む。例えば、金属は、セシウム (C s) であり得る。光源からの光が、蒸発したアルカリ金属の原子を基底状態からより高い状態にポンピングし得、蒸発したアルカリ金属の原子は、その状態から様々な超微細状態になり得る。次に、マイクロ波信号などの呼びかけ信号が、アルカリビームセルに加えられる得、そして、呼びかけ信号を制御する発振器が、初期の基底状態の再生率を最大化するために特定の周波数に同調され得る。このようにして、制御された量の光が、アルカリビームセルから伝達され得、そして、例えば、光検知器によって検出され得る。

30

【0005】

検出デバイスの出力を調べることによって、制御システムは、発振器と光源とに様々な制御信号を提供して、マイクロ波の入力周波数と超微細遷移周波数 (h y p e r f i n e t r a n s i t i o n f r e q u e n c y) とが実質的に同じになるように、伝達された光の波長とマイクロ波の周波数とが正確に制御されることを確実にし得る。その後、発振器は、非常に正確で安定した周波数の出力信号を周波数基準または原子時計として使用するために提供し得る。

【発明の概要】

40

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

アルカリビームセルが使用され得る用途によっては、アルカリビームセルの寿命に影響することなくサイズを減少させる要求が存在する。例えば、衛星の用途においては、関連する原子時計が、実装され得るので、原子時計は、一般的に、有効積載量を減少させるために、そして、原子時計を容易に取り替えることはできないので長い寿命を有するように、小さいことが所望される。しかしながら、一般的なアルカリビームセルに関しては、かかる概念は、互いに相容れないことがあり得る。特に、一般的なアルカリビームセルにおいては、アルカリビームセルの寿命を増加させるために、より多くのアルカリ金属が必要とされ得る。しかしながら、アルカリ金属の量を増加させることは、より大きなアルカリビ

50

ームセルを必要とし得る。

【課題を解決するための手段】

【0007】

本発明の一実施形態は、置換可能アルカリビームセルを備えているアルカリビームセルシステムを含む。置換可能アルカリビームセルは、第1の期間の間、アルカリ金属を蒸発させるように構成されるリザーバチャンバとして構成され、そして、第2の期間の間、蒸発したアルカリ金属を収集するように構成される検知チャンバとして構成される第1のチャンバを含む。置換可能アルカリビームセルはまた、第1の期間の間、検知チャンバとして構成され、そして、第2の期間の間、リザーバチャンバとして構成される第2のチャンバを含む。置換可能アルカリビームセルはさらに、第1のチャンバと第2のチャンバとを相互接続するアパーチャを含み、該アパーチャを通して、アルカリ金属が拡散することが可能である。

10

【0008】

本発明の別の実施形態は、アルカリビーム原子時計システムを含む。アルカリビーム原子時計システムは、置換可能アルカリビームセルを含み、該置換可能アルカリビームセルは、第1のチャンバと、第2のチャンバと、アパーチャとを備え、該アパーチャは、第1のチャンバと第2のチャンバとを相互接続し、そして、該アパーチャを通して、アルカリ金属が拡散することが可能である。第1の期間の間、第1のチャンバは、アルカリ金属を蒸発させるように構成されるリザーバチャンバとして構成され得、そして、第2のチャンバは、蒸発したアルカリ金属を収集するように構成される検知チャンバとして構成され得る。第2の期間の間、第2のチャンバは、リザーバチャンバとして構成され得、そして、第1のチャンバは、検知チャンバとして構成され得る。アルカリビーム原子時計システムはまた、第1の期間と第2の期間とのそれぞれの間に、リザーバチャンバを加熱するように構成された少なくとも1つの加熱要素を備えている。アルカリビーム原子時計はさらに、時計信号を生成するように構成された時計コントローラを備え、該時計信号は、検知チャンバにおける蒸発したアルカリ金属の超微細遷移周波数に固定されている。

20

【0009】

本発明の別の実施形態は、アルカリビーム原子時計を制御する方法を含む。該方法は、アルカリ金属を蒸発させ、そして、リザーバチャンバとして構成された第1のチャンバと検知チャンバとして構成された第2のチャンバとの間に圧力差を生成するためにアルカリビームセルに熱を加えることを含む。方法はまた、呼びかけのためにアルカリビームを準備するためにアルカリ金属の蒸発した粒子を所望の超微細状態に遷移させるために第2のチャンバに光エネルギーをポンピングすることを含む。方法はまた、アルカリビームに呼びかけ信号を加えることと、呼びかけ信号に基づいて周波数基準を獲得することとを含む。方法はまた、第1のチャンバが検知チャンバとして構成され、そして、第2のチャンバがリザーバチャンバとして構成されるように、アルカリビームセルを置換することを含む。方法はさらに、熱を加えるステップと、光エネルギーをポンピングするステップと、呼びかけ信号を加えるステップと、周波数基準を獲得するステップとを繰り返すことを含む。

30

【0010】

したがって、本発明は、以下を提供する。

40

【0011】

(項目1 - A)

置換可能アルカリビームセルを備えているアルカリビームセルシステムであって、該置換可能アルカリビームセルは、

第1の期間の間、アルカリ金属を蒸発させるように構成されるリザーバチャンバとして構成され、そして、第2の期間の間、該蒸発したアルカリ金属を収集するように構成される検知チャンバとして構成される第1のチャンバと、

該第1の期間の間、該検知チャンバとして構成され、そして、該第2の期間の間、該リザーバチャンバとして構成される第2のチャンバと、

50

該第 1 のチャンバと該第 2 のチャンバとを相互接続するアパーチャであって、該アパーチャを通して、該アルカリ金属は拡散することが可能である、アパーチャとを備えている、システム。

【 0 0 1 2 】

(項目 2 - A)

上記アパーチャは、実質的に平行な複数のチューブとして構成され、該実質的に平行な複数のチューブはそれぞれ、上記第 1 のチャンバに結合される第 1 の開口部と、上記第 2 のチャンバに結合される第 2 の開口部とを有する、上記項目のうちのいずれか 1 項に記載のシステム。

【 0 0 1 3 】

(項目 3 - A)

上記実質的に平行な複数のチューブのそれぞれが、第 1 のサイズから第 2 のサイズへと先細にされるように構成されることにより、長手方向に依存する断面を達成し、それにより、上記第 1 の開口部のうちの最初の開口部は、該第 1 のサイズであり、第 1 の開口部のうちの第 2 のサイズの複数の開口部に隣接し、そして、該第 1 の開口部の 2 番目の開口部は、該第 2 のサイズであり、該第 1 の開口部のうちの該第 1 のサイズの複数の開口部に隣接している、上記項目のうちのいずれか 1 項に記載のシステム。

【 0 0 1 4 】

(項目 4 - A)

上記実質的に平行な複数のチューブのうちのそれぞれが、軸を有するように構成され、該軸は、実質的に真っ直ぐであり、そして、上記第 1 のチャンバと上記第 2 のチャンバとの中心軸に対して平行ではない、上記項目のうちのいずれか 1 項に記載のシステム。

【 0 0 1 5 】

(項目 5 - A)

上記実質的に平行な複数のチューブのうちのそれぞれが、実質的に非直線状である軸を有するように構成されている、上記項目のうちのいずれか 1 項に記載のシステム。

【 0 0 1 6 】

(項目 6 - A)

上記第 1 の期間と上記第 2 の期間とのそれぞれの終了の際に、上記リザーバチャンバと上記検知チャンバとに関して、上記第 1 のチャンバと上記第 2 のチャンバとの構成を置換するように構成されたコントローラをさらに備えている、上記項目のうちのいずれか 1 項に記載のシステム。

【 0 0 1 7 】

(項目 7 - A)

上記コントローラは、閾値未満に減少された強度を有する、上記検知チャンバにおける検知された蛍光信号に応答して、上記第 1 のチャンバと上記第 2 のチャンバとの上記構成を置換するように構成されている、上記項目のうちのいずれか 1 項に記載のシステム。

【 0 0 1 8 】

(項目 8 - A)

上記コントローラは、上記アルカリビームセルの加熱構成を置換することによって上記第 1 のチャンバと上記第 2 のチャンバとの構成を置換して、該第 1 のチャンバと該第 2 のチャンバとの間の圧力差を置換するように構成されている、上記項目のうちのいずれか 1 項に記載のシステム。

【 0 0 1 9 】

(項目 9 - A)

上記項目のうちのいずれか 1 項に記載のアルカリビームセルシステムを備えている、アルカリビーム原子時計。

【 0 0 2 0 】

(項目 1 0 - A)

上記置換可能アルカリビームセルは、第 1 の置換可能アルカリビームセルであり、上記

10

20

30

40

50

アルカリビーム原子時計は、

第 2 のアルカリビームセルと、

時計コントローラであって、該時計コントローラは、該第 1 のアルカリビームセルと該第 2 のアルカリビームセルとのうちの一方から周波数基準を獲得し、そして、所与の時間において、該第 1 のアルカリビームセルと該第 1 のアルカリビームセルとのうちの他方の上記リザーバチャンバにおいて上記アルカリ金属が実質的に完全に蒸発すると、該第 1 のアルカリビームセルと該第 2 のアルカリビームセルとのうちの他方を置換し、それにより、該周波数基準が、実質的に妨げられないように構成されている、時計コントローラとをさらに備えている、上記項目のうちのいずれか 1 項に記載のアルカリビーム原子時計

10

【 0 0 2 1 】

(項目 1 1 - A)

アルカリビーム原子時計システムであって、

置換可能アルカリビームセルであって、第 1 のチャンバと、第 2 のチャンバと、アパーチャとを備え、該アパーチャは、該第 1 のチャンバと該第 2 のチャンバとを相互接続し、そして、該アパーチャを通して、該アルカリ金属は拡散することが可能であり、第 1 の期間の間、該第 1 のチャンバは、該アルカリ金属を蒸発させるように構成されるリザーバチャンバとして構成され、該第 2 のチャンバは、該蒸発したアルカリ金属を収集するように構成される検知チャンバとして構成され、第 2 の期間の間、該第 2 のチャンバは、該リザーバチャンバとして構成され、該第 1 のチャンバは、該検知チャンバとして構成される、置換可能アルカリビームセルと、

20

該第 1 の期間と該第 2 の期間とのそれぞれの間に、該リザーバチャンバを加熱するように構成された少なくとも 1 つの加熱要素と、

時計信号を生成するように構成された時計コントローラであって、該時計信号は、該検知チャンバにおける該蒸発したアルカリ金属の超微細遷移周波数に固定されている、時計コントローラと

を備えている、アルカリビーム原子時計システム。

【 0 0 2 2 】

(項目 1 2 - A)

上記時計コントローラは、上記第 1 の期間と上記第 2 の期間とのそれぞれの終了の際に、上記リザーバチャンバと上記検知チャンバとに関して、上記第 1 のチャンバと上記第 2 のチャンバとの構成を置換するように構成されている、上記項目のうちのいずれか 1 項に記載のシステム。

30

【 0 0 2 3 】

(項目 1 3 - A)

上記時計コントローラは、閾値未満に減少された強度を有する、上記検知チャンバにおける検知された蛍光信号に応答して、上記構成を置換するように構成されている、上記項目のうちのいずれか 1 項に記載のシステム。

【 0 0 2 4 】

(項目 1 4 - A)

上記時計コントローラは、上記第 1 の置換可能アルカリビームセルと上記第 2 の置換可能アルカリビームセルとの加熱構成を置換することによって上記構成を置換して、上記第 1 のチャンバと上記第 2 のチャンバとの間の圧力差を置換するように構成されている、上記項目のうちのいずれか 1 項に記載のシステム。

40

【 0 0 2 5 】

(項目 1 5 - A)

前記置換可能アルカリビームセルは、第 1 の置換可能アルカリビームセルであり、上記アルカリビーム原子時計は、第 2 の置換可能アルカリビームセルをさらに備え、前記時計コントローラはさらに、該第 1 の置換可能アルカリビームセルと該第 2 の置換可能アルカリビームセルとのうちの一方から上記時計信号を生成し、そして、所与の時間において、

50

該第 1 の置換可能アルカリビームセルと該第 2 の置換可能アルカリビームセルとのうちの他方の上記リザーバチャンバにおいて上記アルカリ金属が実質的に完全に蒸発すると、該第 1 の置換可能アルカリビームセルと該第 2 の置換可能アルカリビームセルとのうちの他方を置換し、それにより、該時計信号が、実質的に妨げられないように構成されている、上記項目のうちのいずれか 1 項に記載のシステム。

【0026】

(項目 16 - A)

上記置換可能アルカリビームセルは、第 1 の置換可能アルカリビームセルであり、上記アルカリビーム原子時計はさらに、第 2 の置換可能アルカリビームセルを備え、該第 2 の置換可能アルカリビームセルは、第 3 のチャンバと、第 4 のチャンバと、第 2 のアパーチャとを備え、該第 2 のアパーチャは、該第 3 のチャンバと該第 4 のチャンバとを相互接続し、そして、該第 2 のアパーチャを通して、上記アルカリ金属は拡散することが可能であり、第 3 の期間の間、該第 3 のチャンバは、該アルカリ金属は蒸発させるように構成される第 2 のリザーバチャンバとして構成され、該第 4 のチャンバは、該蒸発したアルカリ金属を収集するように構成される第 2 の検知チャンバとして構成され、第 4 の期間の間、上記第 2 のチャンバは、該第 2 のリザーバチャンバとして構成され、上記第 1 のチャンバは、該第 2 の検知チャンバとして構成され、該第 3 の期間は、該第 1 の期間と該第 2 の期間とのそれぞれの一部分に重複し、そして、該第 4 の期間は、該第 1 の期間と該第 2 の期間とのそれぞれの残りの部分に重複している、上記項目のうちのいずれか 1 項に記載のシステム。

【0027】

(項目 17 - A)

上記時計コントローラは、上記第 1 の期間と上記第 2 の期間とのそれぞれの終了の際に、上記第 1 のチャンバと上記第 2 のチャンバとの構成を置換し、そして、上記第 3 の期間と上記第 4 の期間とのそれぞれの終了の際に、上記第 3 のチャンバと上記第 4 のチャンバとの構成を置換するように構成されており、該システムはさらに、

一組の検知コンポーネントであって、該一組の検知コンポーネントは、該第 1 の期間、該第 2 の期間、該第 3 の期間、および該第 4 の期間の間に、該第 1 の検知チャンバと該第 2 の検知チャンバとの両方における蛍光放出と蛍光吸収とのうちの 1 つを検知して、妨げられることのない周波数基準を提供するように構成されており、該妨げられることのない周波数基準は、該第 1 の期間、該第 2 の期間、該第 3 の期間、および該第 4 の期間の全体にわたって、上記蒸発したアルカリ金属の上記超微細遷移周波数に基づいている、上記項目のうちのいずれか 1 項に記載のシステム。

【0028】

(項目 18 - A)

アルカリビーム原子時計を制御する方法であって、該方法は、

アルカリ金属を蒸発させ、そして、リザーバチャンバとして構成された第 1 のチャンバと検知チャンバとして構成された第 2 のチャンバとの間に圧力差を生成するためにアルカリビームセルに熱を加えることと、

アルカリビームを確立するために該アルカリ金属の該蒸発した粒子を所望の超微細状態に励起するために該第 2 のチャンバに光エネルギーをポンピングすることと、

該アルカリビームに呼びかけ信号を加えることと、

該呼びかけ信号に基づいて周波数基準を獲得することと、

該第 1 のチャンバが該検知チャンバとして構成され、そして、該第 2 のチャンバが該リザーバチャンバとして構成されるように、該アルカリビームセルを置換することと、

該熱を加えるステップと、該光エネルギーをポンピングするステップと、該呼びかけ信号を加えるステップと、該周波数基準を獲得するステップとを繰り返すことと

を包含する、方法。

【0029】

(項目 19 - A)

10

20

30

40

50

前記アルカリビームセルを置換することは、閾値未満に減少された強度を有する、上記検知チャンバにおける検知された蛍光信号に応答して、該アルカリビームセルを置換することを包含する、上記項目のうちのいずれか 1 項に記載の方法。

【0030】

(項目 20 - A)

前記アルカリビームセルを置換することは、該アルカリビームセルの加熱構成を置換して、上記第 1 のチャンバと上記第 2 のチャンバとの間の圧力差を置換することを包含する、上記項目のうちのいずれか 1 項に記載の方法。

【0031】

(項目 21 - A)

上記アルカリビームセルを置換することは、上記リザーバチャンバに堆積されたアルカリ金属が、実質的に完全に蒸発され、そして、上記検知チャンバに収集されたことに基づいて該アルカリビームセルを置換することを包含する、上記項目のうちのいずれか 1 項に記載の方法。

【0032】

(項目 22 - A)

上記アルカリビームセルに熱を加えることは、上記第 1 のチャンバと上記第 2 のチャンバとを備えている第 1 のアルカリビームセルに熱を加えることと、アルカリ金属を蒸発させ、そして、第 2 のリザーバチャンバとして構成される第 3 のチャンバと、第 2 の検知チャンバとして構成される第 4 のチャンバとの間に圧力差を生成するために第 2 のアルカリビームセルに熱を加えることとを包含し、上記周波数基準は、第 1 の周波数基準であり、上記方法はさらに、

第 2 のアルカリビームを確立するために該アルカリ金属の該蒸発した粒子を所望の超微細状態に励起するために該第 4 のチャンバに光エネルギーをポンピングすることと、

該第 2 のアルカリビームに第 2 の呼びかけ信号を加えることと、

該第 2 の呼びかけ信号に基づいて第 2 の周波数基準を獲得することであって、該第 2 の周波数基準は、該第 1 の周波数基準とほぼ等しい、ことと、

該第 3 のチャンバが該第 2 の検知チャンバとして構成され、そして、該第 4 のチャンバが該第 2 のリザーバチャンバとして構成されるように該第 2 のアルカリビームセルを置換することと、

該熱を加えるステップと、該光エネルギーをポンピングするステップと、該第 2 の呼びかけ信号を加えるステップと、該周波数基準を獲得するステップとを繰り返すことと

を包含する、上記項目のうちのいずれか 1 項に記載の方法。

【0033】

(項目 23 - A)

上記置換可能アルカリビームセルは、第 1 の置換可能アルカリビームセルであり、上記方法はさらに、

該第 1 の置換可能アルカリビームセルと第 2 の置換可能アルカリビームセルとのうちの一方から上記周波数基準を獲得することと、

所与の時間において、該第 1 のアルカリビームセルと該第 1 のアルカリビームセルとのうちの他方の上記リザーバチャンバにおいて上記アルカリ金属が実質的に完全に蒸発すると、該第 1 のアルカリビームセルと該第 2 のアルカリビームセルとのうちの他方を置換し、それにより、該周波数基準が、実質的に妨げられないことと

を包含する、上記項目のうちのいずれか 1 項に記載の方法。

【0034】

(項目 1 - B)

置換可能アルカリビームセルを備えているアルカリビームセルシステムであって、該置換可能アルカリビームセルは、

第 1 の期間の間、アルカリ金属を蒸発させるように構成されるリザーバチャンバとして構成され、そして、第 2 の期間の間、該蒸発したアルカリ金属を収集するように構成され

10

20

30

40

50

る検知チャンバとして構成される第 1 のチャンバと、

該第 1 の期間の間、該検知チャンバとして構成され、そして、該第 2 の期間の間、該リザーバチャンバとして構成される第 2 のチャンバと、

該第 1 のチャンバと該第 2 のチャンバとを相互接続するアパーチャであって、該アパーチャを通して、該アルカリ金属は拡散することが可能である、アパーチャとを備えている、システム。

【 0 0 3 5 】

(項目 2 - B)

上記アパーチャは、実質的に平行な複数のチューブとして構成され、該実質的に平行な複数のチューブはそれぞれ、上記第 1 のチャンバに結合される第 1 の開口部と、上記第 2 のチャンバに結合される第 2 の開口部とを有する、上記項目のうちのいずれか 1 項に記載のシステム。

10

【 0 0 3 6 】

(項目 3 - B)

上記実質的に平行な複数のチューブのそれぞれが、第 1 のサイズから第 2 のサイズへと先細にされるように構成されることにより、長手方向に依存する断面を達成し、上記第 1 の開口部のうちの最初の開口部は、該第 1 のサイズであり、第 1 の開口部のうちの第 2 のサイズの複数の開口部に隣接し、そして、該第 1 の開口部の 2 番目の開口部は、該第 2 のサイズであり、該第 1 の開口部のうちの該第 1 のサイズの複数の開口部に隣接している、上記項目のうちのいずれか 1 項に記載のシステム。

20

【 0 0 3 7 】

(項目 4 - B)

上記実質的に平行な複数のチューブのうちのそれぞれが、軸を有するように構成され、該軸は、実質的に真っ直ぐであり、そして、上記第 1 のチャンバと上記第 2 のチャンバとの中心軸に対して平行ではない、上記項目のうちのいずれか 1 項に記載のシステム。

【 0 0 3 8 】

(項目 5 - B)

上記実質的に平行な複数のチューブのうちのそれぞれが、実質的に非直線状である軸を有するように構成されている、上記項目のうちのいずれか 1 項に記載のシステム。

【 0 0 3 9 】

(項目 6 - B)

上記第 1 の期間と上記第 2 の期間とのそれぞれの終了の際に、上記リザーバチャンバと上記検知チャンバとに関して、上記第 1 のチャンバと上記第 2 のチャンバとの構成を置換するように構成されたコントローラをさらに備えている、上記項目のうちのいずれか 1 項に記載のシステム。

30

【 0 0 4 0 】

(項目 7 - B)

上記コントローラは、閾値未満に減少された強度を有する、上記検知チャンバにおける検知された蛍光信号に応答して、上記第 1 のチャンバと上記第 2 のチャンバとの構成を置換するように構成されている、上記項目のうちのいずれか 1 項に記載のシステム。

40

【 0 0 4 1 】

(項目 8 - B)

上記コントローラは、上記アルカリビームセルの加熱構成を置換することによって上記第 1 のチャンバと上記第 2 のチャンバとの上記構成を置換することにより、該第 1 のチャンバと該第 2 のチャンバとの間の圧力差を置換するように構成されている、上記項目のうちのいずれか 1 項に記載のシステム。

【 0 0 4 2 】

(項目 9 - B)

上記項目のうちのいずれか 1 項に記載のアルカリビームセルシステムを備えている、アルカリビーム原子時計。

50

【 0 0 4 3 】

(項 目 1 0 - B)

上記置換可能アルカリビームセルは、第 1 の置換可能アルカリビームセルであり、上記アルカリビーム原子時計は、

第 2 の置換可能アルカリビームセルと、

時計コントローラであって、該時計コントローラは、該第 1 のアルカリビームセルと該第 2 のアルカリビームセルとのうちの一方から周波数基準を獲得し、そして、所与の時間において、該第 1 のアルカリビームセルと該第 1 のアルカリビームセルとのうちの他方の上記リザーバチャンバにおいて上記アルカリ金属が実質的に完全に蒸発すると、該第 1 のアルカリビームセルと該第 2 のアルカリビームセルとのうちの他方を置換し、それにより、該周波数基準が、実質的に妨げられないように構成されている、時計コントローラと

をさらに備えている、上記項目のうちのいずれか 1 項に記載のアルカリビーム原子時計

。

【 0 0 4 4 】

(摘 要)

本発明の一実施形態は、置換可能アルカリビームセルを備えているアルカリビームセルシステムである。置換可能アルカリビームセルは、第 1 の期間の間、アルカリ金属を蒸発させるように構成されるリザーバチャンバとして構成され、そして、第 2 の期間の間、蒸発したアルカリ金属を収集するように構成される検知チャンバとして構成される第 1 のチャンバを含む。置換可能アルカリビームセルはまた、第 1 の期間の間、検知チャンバとして構成され、そして、第 2 の期間の間、リザーバチャンバとして構成される第 2 のチャンバを含む。置換可能アルカリビームセルはさらに、第 1 のチャンバと第 2 のチャンバとを相互接続するアパーチャを含み、該アパーチャを通して、アルカリ金属は拡散することが可能である。

【 図面の簡単な説明 】

【 0 0 4 5 】

【 図 1 】 図 1 は、本発明の局面に従った置換可能アルカリビームセルの図の例を示す。

【 図 2 】 図 2 は、本発明の局面に従ったアルカリビームセルの例を示す。

【 図 3 】 図 3 は、本発明の局面に従ったアルカリビームセルシステムの例を示す。

【 図 4 】 図 4 は、本発明の局面に従ったアルカリビームセルシステムの別の例を示す。

【 図 5 】 図 5 は、本発明の局面に従ったアルカリビームセルシステムのさらに別の例を示す。

【 図 6 】 図 6 は、本発明の局面に従ったアルカリビームセルシステムのまたさらなる例を示す。

【 図 7 】 図 7 は、本発明の局面に従ったアルカリビーム原子時計システムの図の例を示す。

。

【 図 8 】 図 8 は、本発明の局面に従ったアルカリビーム原子時計を制御する方法の例を示す。

【 発明を実施するための形態 】

【 0 0 4 6 】

本発明は、概して、ビームセルシステムに関し、特に、置換可能アルカリビームセルに関する。原子時計に実装され得るような置換可能アルカリビームセルは、第 1 のチャンバと、第 2 のチャンバと、アパーチャとを含み、該アパーチャは、第 1 のチャンバと第 2 のチャンバとを相互接続している。置換可能アルカリビームセルの第 1 の動作期間の間、第 1 のチャンバは、セシウム (Cs) などのアルカリ金属を保持し、蒸発させるリザーバチャンバとして構成され得、そして、第 2 のチャンバは、蒸発したアルカリ金属を収集する検知チャンバとして構成され得る。第 2 の動作期間の間、第 1 のチャンバと第 2 のチャンバとは、役割を交換し得る。したがって、第 2 の動作期間の間、第 2 のチャンバは、アルカリ金属を保持し、蒸発させるリザーバチャンバとして構成され得、そして、第 1 のチャンバは、蒸発したアルカリ金属を収集する検知チャンバとして構成され得る。

【 0 0 4 7 】

第 1 の期間と第 2 の期間との間の遷移は、アルカリ金属がほぼ完全にリザーバチャンバから使い果たされたときに生じ得る。したがって、アルカリ金属の大部分は、遷移の直前には検知チャンバにある。結果として、以前に検知チャンバであったチャンバが、新たなリザーバチャンバとなり、そして、以前にリザーバチャンバであったチャンバが、新たな検知チャンバとなる。置換可能アルカリビームセルは、原子時計に実装され得る。例えば、2 つの置換可能アルカリビームセルが、互いに平行に、かつ、互いに位相がずれて実装され、そして、動作し得る。置換可能アルカリビームセルの両方が、実質的に同時に原子時計に同じタイミング基準を提供するように同調され得る。結果として、置換可能アルカリビームセルの一方が、リザーバチャンバと検知チャンバとを置換し、他方の置換可能アルカリビームセルが、途切れることなくタイミング基準を原子時計に提供し続ける。結果として、置換可能アルカリビームセルの一方に関するチャンバを置換する遷移の間であっても、原子時計は、安定した正確な時間を維持し得る。

10

【 0 0 4 8 】

図 1 は、本発明の局面に従ったアルカリビームセル 10 の図の例を示す。例として、アルカリビームセル 10 は、衛星の用途、または正確なタイミングと、小さなサイズと、長い寿命とを必要とする様々な他の用途のうちの任意の用途において利用され得るようなアルカリビーム原子時計に実装され得る。アルカリビームセル 10 は、第 1 のチャンバ 12 と、第 2 のチャンバ 14 と、アパーチャ 16 とを含み、該アパーチャ 16 は、第 1 のチャンバ 12 と第 2 のチャンバ 14 とを相互接続している。例として、第 1 のチャンバ 12 と第 2 のチャンバ 14 とのそれぞれが、Pyrex（登録商標）から製造されるようなガラスチャンバとして構成され得、そして、アパーチャ 16 が、第 1 のチャンバ 12 と第 2 のチャンバ 14 とを接続する 1 つ以上の穴として構成され得る。このように、アルカリビームセル 10 は、完全にシールされ得る。以下でさらに詳細に記述されるように、アパーチャ 16 は、アルカリビームセル 10 の中に収容されている蒸発するアルカリ金属の速度プロフィールに影響を与える様々な方法のうちの任意の方法で設計され得る。

20

【 0 0 4 9 】

図 1 の例において、第 1 のチャンバ 12 は、リザーバ / 検知チャンバとして示され、そして、第 2 のチャンバ 14 は、検知 / リザーバチャンバとして示されている。したがって、所与の期間において、第 1 のチャンバ 12 と第 2 のチャンバ 14 とのうちの一方が、リザーバチャンバとして構成され、該リザーバチャンバは、セシウム (Cs) などのアルカリ金属を保持し、蒸発させ、そして、第 1 のチャンバ 12 と第 2 のチャンバ 14 とのうちの他方が、検知チャンバとして構成され、該検知チャンバは、蒸発したアルカリ金属を収集し、そして、該検知チャンバを介して、周波数基準が決定される。しかしながら、アルカリビームセル 10 は、置換可能であるので、第 1 のチャンバ 12 と第 2 のチャンバ 14 との役割が、交換され得る。結果として、第 1 の期間の間に、第 1 のチャンバ 12 が、リザーバチャンバとして構成され、第 2 のチャンバ 14 が、検知チャンバとして構成された後、第 2 の期間の間に、第 2 のチャンバが、検知チャンバとして構成され得、第 1 のチャンバが、リザーバチャンバとして構成され得る。

30

【 0 0 5 0 】

例として、最初に、第 1 のチャンバ 12 は、所定の量のアルカリ金属を最初に貯蔵するリザーバチャンバとして構成され得る。したがって、第 2 のチャンバ 14 は、最初に、検知チャンバとして構成され得る。外付けの加熱源（図示せず）が、アパーチャ 16 に熱を加え、そして、例えば、第 1 のチャンバ 12 の側壁に沿って第 1 のチャンバ 12 に熱を加え得る。その結果、アパーチャ 16 が、アルカリビームセル 10 の最も熱い部分となり得、第 1 の（すなわち、リザーバ）チャンバ 12 の側壁と、第 2 の（すなわち、検知）チャンバ 14 の側壁とが、アパーチャ 16 よりもわずかに冷たくなり得、アパーチャ 16 から最も遠い、第 1 のチャンバ 12 の端壁が、第 1 のチャンバ 12 の側壁よりも冷たくなり得、そして、アパーチャ 16 から最も遠い、第 2 のチャンバ 14 の端壁が、アルカリビームセル 10 の最も冷たい箇所となり得る。結果として、アルカリビームセル 10 が加熱され

40

50

る方法が、蒸発したアルカリ金属に対し、アルカリビームセル 10 において第 1 のチャンバ 12 から第 2 のチャンバ 14 まで圧力差をもたらす。したがって、アルカリ金属の蒸発した粒子は、実質的に一定の割合で、極めて予測可能な方法で、そして、制御された速度プロファイルを有して、第 1 のチャンバ 12 からアパーチャ 16 を通って第 2 のチャンバ 14 の中に移動し得る。その結果、アルカリ金属ビームが、第 2 のチャンバ 14 内に形成され、該アルカリ金属ビームは、アルカリビーム原子時計に実装され得るような周波数基準を確立するために、ポンピングされ、信号で呼びかけられ、そして、光学的に調査され、および / または光学的に、かつ、マイクロ波空洞を用いて調査され得る。

【0051】

蒸発し、そして、第 2 のチャンバ 14 に収集された、第 1 のチャンバ 12 のアルカリ金属の実質部分に基づいて、関連するコントローラ（図示せず）が、第 1 のチャンバ 12 の役割と第 2 のチャンバ 14 の役割とを交換し得る。その結果、最初に、第 2 のチャンバ 14 が、リザーバチャンバとして構成され得、そして、第 1 のチャンバ 12 が、検知チャンバとして構成され得る。例として、関連するコントローラは、第 1 のチャンバ 12 の加熱と第 2 のチャンバ 14 の加熱とを置換し得る。したがって、アパーチャ 16 は、アルカリビームセル 10 の最も熱い部分のままであり得、第 2 の（すなわち、リザーバ）チャンバ 14 の側壁と、第 1 の（すなわち、検知）チャンバ 12 の側壁とは、アパーチャ 16 よりもわずかに冷たくなり得、アパーチャ 16 から最も遠い、第 2 のチャンバ 14 の端壁は、第 2 のチャンバ 14 の側壁よりも冷たくなり得、そして、アパーチャ 16 から最も遠い、第 1 のチャンバ 12 の端壁は、アルカリビームセル 10 の最も冷たい箇所となり得る。結果として、アルカリビームセル 10 における圧力差が、蒸発したアルカリ金属に対して、第 2 のチャンバ 14 から第 1 のチャンバ 12 に交換をもたらす。したがって、ここで、アルカリ金属の蒸発した粒子が、実質的に一定の割合で、第 2 のチャンバ 14 からアパーチャ 16 を通って第 1 のチャンバ 12 の中に移動し得る。その結果、ここで、アルカリ金属ビームが、第 1 のチャンバ 12 に形成され、該アルカリ金属ビームは、周波数基準を確立するために、ポンピングされ、信号で呼びかけられ、そして、光学的に調査され、および / または光学的に、かつ、マイクロ波空洞を用いて調査され得る。

【0052】

図 2 は、本発明の局面に従ったアルカリビームセル 20 の例を示す。アルカリビームセル 20 は、図 1 の例におけるアルカリビームセル 10 の図に対応し得る。したがって、図 2 の例において、図 1 の例に参照が行われる。

【0053】

アルカリビームセル 20 は、第 1 のチャンバ 22 と第 2 のチャンバ 24 とを含む。第 1 のチャンバ 22 と第 2 のチャンバ 24 とのそれぞれが、ガラスの側壁 26 に囲まれるように図 2 の例に示され、第 1 のチャンバ 22 は、ガラスの端壁 28 を有し、そして、第 2 のチャンバ 24 は、ガラスの端壁 30 を有する。したがって、第 1 のチャンバ 22 と第 2 のチャンバ 24 とはそれぞれ、実質的に囲い込まれている。ガラスの側壁 26 は第 1 のチャンバ 22 と第 2 のチャンバ 24 との角柱形状を形成するように、様々な形状のうちの任意の形状、例えば、平坦であり得、ガラスの側壁の表面のうちの少なくとも一方が、実質的に透明である。所定の量のアルカリ金属 32、例えば、Cs が、ガラスの端壁 28 の内側表面に堆積される。したがって、図 2 の例に示されているように、第 2 のチャンバ 22 は、リザーバチャンバに対応し得、そして、第 2 のチャンバ 24 は、検知チャンバに対応し得る。

【0054】

アルカリビームセル 20 はまた、アパーチャ部分 34 を含む。アパーチャ部分 34 は、複数のチューブ 36 を含み、該複数のチューブ 36 は、互いに対して、そして、第 1 のチャンバ 22 と第 2 のチャンバ 24 との両方を通して延びる中心軸に対して、真っ直ぐ、かつ、平行に配置されている。図 2 の例に示されているように、チューブ 36 はそれぞれ、第 1 のチャンバ 22 と第 2 のチャンバ 24 とのそれぞれにおける対向する開口部を有し得るように、チューブ 36 は、第 1 のチャンバ 22 と第 2 のチャンバ 24 とを結合している

。結果として、第 1 のチャンバ 2 2 と第 2 のチャンバ 2 4 とチューブ 3 6 とは、囲い込まれた体積を画定し得、該囲い込まれた体積が、アルカリビームセル 2 0 を構成する。

【 0 0 5 5 】

チューブ 3 6 が、真っ直ぐ、かつ、平行であることに限定されることは意図されておらず、蒸発したアルカリ金属の速度プロフィールに影響を与える様々な形状のうちの任意の形状を有し得ることが、理解されるべきである。例えば、チューブ 3 6 は、非直線状であり得るか、または第 1 のチャンバ 2 2 と第 2 のチャンバ 2 4 とを通過して延びる中心軸に対して平行でない軸を有し得る。別の例として、チューブ 3 6 は、第 1 のチャンバ 2 2 における開口部と第 2 のチャンバ 2 4 における開口部とに対して先細にされて、チューブ 3 6 が、長手方向に依存する断面積を有し得る。例えば、所与のチューブ 3 6 が、第 1 のチャンバ 2 2 において小さい開口部を有する場合、それに隣接するチューブ 3 6 のそれぞれが、第 1 のチャンバ 2 2 において大きい開口部を有し、チューブの反対側の端における開口部は、第 2 のチャンバ 2 4 においてサイズが反対である。同様に、所与のチューブ 3 6 が、第 1 のチャンバ 2 2 において大きな開口部を有する場合、それに隣接するチューブ 3 6 のそれぞれが、第 1 のチャンバ 2 2 において小さい開口部を有し、チューブの反対側の端における開口部は、第 2 のチャンバ 2 4 において、サイズが反対である。

10

【 0 0 5 6 】

上に記述されているのと同様に、第 1 のチャンバ 2 2 と第 2 のチャンバ 2 4 とはそれぞれ、所与の期間において、リザーバチャンバと検知チャンバとにそれぞれ対応し得る。上に記述されたように、アルカリ金属 3 2 は、第 1 のチャンバ 2 2 に堆積されるので、図 2 の例において、第 1 のチャンバ 2 2 は、リザーバチャンバとして示され、そして、第 2 のチャンバ 2 4 は、検知チャンバとして示されている。しかしながら、アルカリビームセル 2 0 は、置換可能であるので、アルカリ金属 3 2 が実質的に蒸発して、第 2 のチャンバ 2 4 に収集されると、第 2 のチャンバ 2 4 が、リザーバチャンバになり得、そして、第 1 のチャンバ 2 2 が、検知チャンバになり得る。

20

【 0 0 5 7 】

図 2 の例において、第 1 のチャンバ 2 2 と第 2 のチャンバ 2 4 とは、互いに実質的に同じ寸法を有するように構成され得る。したがって、第 1 のチャンバ 2 2 と第 2 のチャンバ 2 4 とのそれぞれの役割に関わらず、リザーバチャンバから検知チャンバへのアルカリ金属 3 2 の粒子の制御された蒸発率が、実質的に同一に維持され得る。したがって、第 1 のチャンバ 2 2 と第 2 のチャンバ 2 4 とのそれぞれの役割に関わらず、アルカリビームセル 2 0 に加えられる実質的に同じ加熱条件の下で、アルカリ金属 3 2 は、アルカリビームセル 2 0 のアルカリビームと関連付けられるほぼ均一な周波数基準を提供し得る。

30

【 0 0 5 8 】

アルカリビームセル 2 0 の構成は、正確なアルカリビーム原子時計が、数百年、さらには数千年を越えて一秒未満の誤差を有するようきわめて正確なタイミングを提供するように構成され得るような構成であり得る。しかしながら、アルカリビームセル 2 0 は、置換可能であるので、アルカリビームセル 2 0 は、実質的に無限の寿命を有し得る。なぜならば、アルカリビームセル 2 0 は、第 1 のチャンバ 2 2 と第 2 のチャンバ 2 4 との間でアルカリ金属 3 2 を交換するために置換され続け得るからである。さらに、アルカリビームセル 2 0 は、実質的に無限の寿命を有するので、アルカリビームセル 2 0 は、従来のビームセルと比べてかなり小さくなるように構成され得る（例えば、5 cm 以下）。特に、アルカリビームセル 2 0 の寿命は、実質的に無限であるので、アルカリビームセル 2 0 の寿命は、アルカリ金属 2 0 の量によって限定されない。したがって、アルカリビームセル 2 0 は、寿命を延ばすためにより多くの量のアルカリ金属 3 2 を必要とすることに基づいたサイズの制約を受けない。したがって、アルカリビームセル 2 0 は、例えば、衛星などの制限的な用途において重量およびサイズを節約するなどのために、実質的に小さいフォームファクタで構成され得る。

40

【 0 0 5 9 】

アルカリビームセル 2 0 は、図 2 の例に限定されることが意図されていないことが理解

50

されるべきである。例として、アルカリビームセル 20 は、様々な形状と様々な寸法で構成され得る。さらに、上に記述されたように、チューブ 36 は、アルカリ金属 32 の蒸発した粒子の速度プロファイルを正確に制御する様々な方法のうちの任意の方法で構成され得る。したがって、アルカリビームセル 20 は、様々な方法のうちの任意の方法で構成され得る。

【0060】

図 3 は、本発明の局面に従ったアルカリビームセルシステム 50 の例を示す。システム 50 は、アルカリビームセル 52 を含む。アルカリビームセル 52 は、置換可能アルカリビームセルであり得、例えば、図 1 および図 2 の例において上で記述されたアルカリビームセル 10 およびアルカリビームセル 20 などの置換可能アルカリビームセルであり得る。したがって、図 3 の例に関する以下の記述において図 1 および図 2 の例に参照がなされる。

【0061】

アルカリビームセル 52 は、第 1 のチャンバ 54 と第 2 のチャンバ 56 とを含む。図 3 の例において、所定の量のアルカリ金属 58、例えば、Cs が、第 1 のチャンバ 54 の端壁の内側表面に堆積している。したがって、図 3 の例に示されているように、第 1 のチャンバ 54 は、リザーバチャンバに対応し得、そして、第 2 のチャンバ 56 は、検知チャンバに対応し得る。さらに、アルカリビームセル 52 はまた、アパーチャ部分 60 を含み、該アパーチャ部分 60 は、第 1 のチャンバ 54 と第 2 のチャンバ 56 とを結合する。図 3 の例において、アパーチャ部分 60 は、複数のチューブ 62 を含み、該複数のチューブ 62 は、図 2 の例において上で記述されたチューブ 36 と実質的に同様に配置されている。しかしながら、上で記述されたように、チューブ 62 は、互いに対して、そして、第 1 のチャンバ 54 と第 2 のチャンバ 56 との両方を通して延びている中心軸に対して、真っ直ぐ、かつ、平行に配置されることに限定されない。

【0062】

システム 50 はまた、複数の制御コンポーネント 64 を含み、該複数の制御コンポーネント 64 は、アルカリビームセル 52 と共にアルカリビーム原子時計システムに実装され得る。特に、制御コンポーネント 64 は、「熱源 A / B」として示されている第 1 の熱源 66 と、「熱源 A」として示されている第 2 の熱源 68 と、「熱源 B」として示されている第 3 の熱源 70 とを含む。第 1 の熱源 66 は、アパーチャ部分 60 に熱を加えるように構成されている。例として、第 1 の熱源 66 は、チューブ 62 に導かれる熱を加えるためにアパーチャ部分 60 を実質的に囲むように構成され得る。第 2 の熱源 68 と第 3 の熱源 70 とは、第 1 のチャンバ 54 の側壁と、第 2 のチャンバ 56 の側壁とのそれぞれの側壁に熱を加えるように構成されている。例として、第 1 のチャンバ 54 が、リザーバチャンバとして構成されると、第 2 の熱源 68 が、第 1 のチャンバ 54 に熱を提供するように構成され得、そして、第 2 のチャンバ 56 が、リザーバチャンバとして構成されると、第 3 の熱源 70 が、第 2 のチャンバ 56 に熱を提供するように構成され得る。例えば、熱源 66、68、70 は、抵抗性の熱源として構成され得、該抵抗性の熱源は、アパーチャ部分 60 と第 1 のチャンバ 54 と第 2 のチャンバ 56 とのそれぞれのガラスの側壁の周りに、または実質的にその中に配置され得る。したがって、第 1 の熱源 66 と、第 2 の熱源 68 と、第 3 の熱源 70 とは、アルカリ金属 58 を蒸発させるために必要不可欠な熱を提供し、そして、アルカリビームセル 52 全体にわたって圧力差を提供することにより、アルカリビームを生成するように構成され得、その結果、アルカリビームに基づいて周波数基準を生成する。

【0063】

制御コンポーネント 64 はまた、「信号ポンピング / 呼びかけコンポーネント A」として示されている第 1 の信号ポンピングおよび呼びかけコンポーネント 72 を含み、そして、「信号ポンピング / 呼びかけコンポーネント B」として示されている第 2 の信号ポンピングおよび呼びかけコンポーネント 74 を含む。制御コンポーネント 64 はさらに、「ビーム検知コンポーネント A」として示された第 1 のビーム検知コンポーネント 76 と、「

「第 1 の信号ポンピングおよび呼びかけコンポーネント B」として示された第 2 のビーム検知コンポーネント 7 8 とを含む。

【 0 0 6 4 】

第 1 の信号ポンピングおよび呼びかけコンポーネント 7 2 と、第 1 のビーム検知コンポーネント 7 6 とは、実質的に第 2 のチャンバ 5 6 の近くに配置され、そして、第 2 の信号ポンピングおよび呼びかけコンポーネント 7 4 と、第 2 のビーム検知コンポーネント 7 8 とは、実質的に第 1 のチャンバ 5 4 の近くに配置される。したがって、第 2 のチャンバ 5 6 が、検知チャンバとして構成されると、第 1 の信号ポンピングおよび呼びかけコンポーネント 7 2 が、光エネルギーを第 2 のチャンバ 5 6 に提供するように構成されて、アルカリ金属 5 8 の蒸発した粒子を所望の超微細状態にポンピングすることにより、呼びかけのためのアルカリビームを準備し得る。第 1 の信号ポンピングおよび呼びかけコンポーネント 7 2 はまた、マイクロ波信号などの 1 つ以上の呼びかけ信号を第 2 のチャンバ内のアルカリビームに提供するように構成され得る。したがって、第 1 のビーム検知コンポーネント 7 6 は、呼びかけ信号に応答したアルカリビームの蛍光発光特性または蛍光吸収特性を、光検知器などを介してモニタリングして、呼びかけ信号の周波数を設定する発振器（図示せず）を同調させるように構成され得る。したがって、蒸発したアルカリ金属の放出放射線 / 吸収放射線と関連付けられる超微細遷移周波数で発振器の周波数を固定する際に、アルカリビームの安定した周波数基準が、設定され得る。

10

【 0 0 6 5 】

第 1 の信号ポンピングおよび呼びかけコンポーネント 7 2 と第 1 のビーム検知コンポーネント 7 6 とに関する上の記述は、第 1 のチャンバ 5 4 が検知チャンバとして構成される際、第 2 の信号ポンピングおよび呼びかけコンポーネント 7 4 と第 2 のビーム検知コンポーネント 7 8 とに同様に適用される。したがって、リザーバチャンバと検知チャンバとのそれぞれに関する第 1 のチャンバ 5 4 と第 2 のチャンバ 5 6 との役割に関わらず、アルカリビームの周波数基準は、設定され得る。したがって、図 3 と、以下の図 4 ~ 図 6 とに示されているように、「A」と「B」との指定は、第 1 のチャンバ 5 4 と第 2 のチャンバ 5 6 とのそれぞれの役割に対応する。特に、第 1 のチャンバ 5 4 が、リザーバチャンバとして構成され、第 2 のチャンバ 5 6 が、検知チャンバとして構成されている間に、「A」で示されたコンポーネントが、動作し、そして、第 2 のチャンバ 5 6 が、リザーバチャンバとして構成され、第 1 のチャンバ 5 4 が、検知チャンバとして構成されている間に、「B」で示されたコンポーネントが、動作する。したがって、図 3 の例に示されているように、第 1 の加熱源 6 6 は、両方の期間の間に（すなわち、第 1 のチャンバ 5 4 と第 2 のチャンバ 5 6 とのそれぞれの役割の両方において）動作するように構成され得る。

20

30

【 0 0 6 6 】

図 4 は、本発明の局面に従ったアルカリビームセルシステム 5 0 の別の例を示す。図 4 の例において、図 3 の例の参照番号と同様な参照番号が、使用されている。したがって、図 4 の例に関する以下の記述において、図 3 の例に参照がなされる。

【 0 0 6 7 】

図 4 の例は、第 1 のチャンバ 5 4 がリザーバチャンバとして構成され、そして、第 2 のチャンバ 5 6 が検知チャンバとして構成されるような第 1 の期間におけるアルカリビームセル 5 2 の動作を示す。したがって、「A」で示されたコンポーネントが、図 4 の例においては動作中である。特に、第 1 の熱源 6 6 と第 2 の熱源 6 8 とから出ている矢印によって図 4 の例に示されたように、第 1 の熱源 6 6 は、アパーチャ部分 6 0 に熱を提供し、そして、第 2 の熱源 6 8 は、第 1 のチャンバ 5 4 に熱を提供する。図 4 の例において、第 2 の熱源 6 8 から出ている矢印が、より短いことにより、アパーチャ部分 6 0 が、アルカリビームセル 5 2 の最も熱い部分であることを描いている。

40

【 0 0 6 8 】

第 1 の熱源 6 6 と第 2 の熱源 6 8 とによって提供された熱に応答して、圧力差が、第 2 のチャンバ 5 6 において、第 1 のチャンバ 5 4 に対して生成され、そして、図 4 の例においては、アルカリ金属 5 8 は、蒸発しているように示されている。結果として、アルカリ

50

金属 5 8 から出ている矢印によって示された蒸発したアルカリ金属粒子は、第 1 の熱源 6 6 と第 2 の熱源 6 8 とによって誘発される圧力差によってアルカリビームセル 5 2 に沿って移動させられる。さらに、アパーチャ部分 6 0 の構成は、圧力差に応答したアルカリ金属粒子の速度プロファイルを制御し得る。これは、アパーチャ部分 6 0 のチューブ 6 2 を通った真っ直ぐな点線の矢印に基づいて、図 4 の例に示されている。図 4 の例において、アルカリ金属 5 8 の大部分が、第 1 のチャンバ 5 4 の端壁に堆積されているように示されている。しかしながら、図 4 の例はまた、アルカリ金属 5 8 のわずかな部分が、アルカリ金属 5 8 の粒子の蒸発と移動とに応答して第 2 のチャンバ 5 6 の端壁に集まることを示している。

【 0 0 6 9 】

10

第 2 のチャンバ 5 6 の端壁へのアルカリ金属 5 8 の粒子の移動に基づいて、第 1 の信号ポンピングおよび呼びかけコンポーネント 7 2 が、所望の超微細状態に粒子をポンピングするように構成され得る。第 1 の信号ポンピングおよび呼びかけコンポーネント 7 2 はまた、結果として生じるアルカリビームをマイクロ波信号で呼びかけ、そして、図 3 の例において上で記述されたように、第 1 のビーム検知コンポーネント 7 6 によって行われた光検知に基づいて、アルカリ金属 5 8 の粒子と関連付けられる超微細遷移周波数に、関連付けられるマイクロ波発振器の周波数を固定するように構成され得る。したがって、図 4 の例は、アルカリビーム原子時計に実装され得るような周波数基準が、第 1 の期間の間に生成され得る方法を示している。

【 0 0 7 0 】

20

図 5 は、本発明の局面に従ったアルカリビームセルシステム 5 0 の別の例を示す。図 5 の例において、図 3 および図 4 の参照番号と同様な参照番号が、使用されている。したがって、図 5 の例に関する以下の記述において、図 3 および図 4 の例に、参照がなされる。

【 0 0 7 1 】

図 5 の例は、図 4 の例と実質的に同様に描かれている。特に、図 5 の例は、第 1 のチャンバ 5 4 が、リザーバチャンバとして構成され、そして、第 2 のチャンバ 5 6 が、検知チャンバとして構成されているような第 1 の期間の間におけるアルカリビームセル 5 2 の動作を示す。したがって、「A」で示されたコンポーネントは、図 5 において、依然として動作中である。しかしながら、図 5 の例においては、第 1 のチャンバ 5 4 の端壁に堆積されたアルカリ金属 5 8 は、ほとんど全て使い果たされている。言い換えると、アルカリ金属 5 8 の大部分が、第 2 のチャンバ 5 6 の端壁に集まっている。したがって、図 5 の例は、第 1 の期間の終了近くのアルカリビームセルシステム 5 0 を描いている。

30

【 0 0 7 2 】

アルカリ金属 5 8 の総量が、第 1 のチャンバ 5 4、したがってリザーバチャンバからほとんど全て使い果たされているので、気化され、そして、第 1 のチャンバ 5 4 から第 2 のチャンバ 5 6 に移動しているアルカリ金属 5 8 の粒子の総量が、顕著に減少され得る。これが、図 4 の例に示された矢印に対する、第 1 のチャンバ 5 4 におけるアルカリ金属 5 8 から出ている矢印の量の減少に基づいて図 5 の例に示されている。結果として、第 1 のビーム検知コンポーネント 7 6 によって検知された放出信号 / 吸収信号の強度が、実質的に減少され得る。したがって、第 1 のビーム検知コンポーネント 7 6 が、第 1 の期間が終了間近であるときを識別するように構成され得るので、関連するコントローラ（図示せず）は、適切な時に、第 2 の期間を開始して、第 1 のチャンバ 5 4 と第 2 のチャンバ 5 6 との役割を交換するように構成され得る。例として、第 1 のビーム検知コンポーネント 7 6 は、閾値未滿に下げられた放出信号 / 吸収信号の強度に応答して、関連するコントローラに信号を提供するように構成され得る。その結果、関連するコントローラは、第 1 のチャンバ 5 4 と第 2 のチャンバ 5 6 との役割を検出チャンバとリザーバチャンバとのそれぞれになるように置換するように構成され得る。したがって、第 1 の期間が終了し、第 2 の期間が開始する。

40

【 0 0 7 3 】

図 6 は、本発明の局面に従ったアルカリビームセルシステム 5 0 の別の例を例示してい

50

る。図 6 の例において、図 3 ~ 図 5 の例の参照番号と同様な参照番号が、使用されている。したがって、図 6 の例に関する以下の記述において、図 3 ~ 図 5 の例に参照がなされる。

【 0 0 7 4 】

図 6 の例は、第 2 のチャンバ 5 6 が、リザーバチャンバとして構成され、そして、第 1 のチャンバ 5 4 が、検知チャンバとして構成されているような、第 2 の期間の間におけるアルカリビームセル 5 2 の動作を示す。したがって、「B」で示されたコンポーネントは、図 6 において、動作中である。特に、第 1 の熱源 6 6 と第 3 の熱源 7 0 とから出ている矢印によって図 6 の例に示されたように、第 1 の熱源 6 6 は、アパーチャ部分 6 0 に熱を提供し、そして、第 3 の熱源 7 0 は、第 2 のチャンバ 5 6 に熱を提供する。図 6 の例において、図 4 の例において上で記述されたのと同様に、第 3 の熱源 7 0 から出ている矢印が、より短いことにより、アパーチャ部分 6 0 が、アルカリビームセル 5 2 の最も熱い部分であることを描いている。

10

【 0 0 7 5 】

第 1 の熱源 6 6 と第 3 の熱源 7 0 とによって提供された熱に応答して、圧力差が、第 1 のチャンバ 4 6 において、第 2 のチャンバ 5 6 に対して生成され、そして、アルカリ金属 5 8 は、図 6 の例においては、蒸発しているように示されている。したがって、図 4 の例において上で記述されたのと同様に、結果として、蒸発したアルカリ金属粒子は、第 1 の熱源 6 6 と第 3 の熱源 7 0 とによって誘発される圧力差によってアルカリビームセル 5 2 に沿って移動させられる。図 6 の例において、アルカリ金属 5 8 の大部分が、第 2 のチャンバ 5 6 の端壁に堆積されているように示されている。しかしながら、図 6 の例はまた、アルカリ金属 5 8 のわずかな部分が、アルカリ金属 5 8 の粒子の蒸発と移動とに応答して第 1 のチャンバ 5 4 の端壁に集まっていることを示している。

20

【 0 0 7 6 】

第 1 のチャンバ 5 4 の端壁へのアルカリ金属 5 8 の粒子の移動に基づいて、第 2 の信号ポンピングおよび呼びかけコンポーネント 7 4 が、所望の超微細状態に粒子をポンピングするように構成され得る。第 2 の信号ポンピングおよび呼びかけコンポーネント 7 4 はまた、結果として生じるアルカリビームをマイクロ波信号で呼びかけ、そして、図 3 および図 4 の例において上で記述されたように、第 2 のビーム検知コンポーネント 7 8 によって行われた光検知に基づいて、関連するマイクロ波発振器の周波数を固定するように構成され得る。したがって、図 6 の例は、アルカリビーム原子時計に実装され得るような周波数基準が、第 2 の期間の間に生成され得る方法を示している。

30

【 0 0 7 7 】

システム 5 0 は、図 3 ~ 図 6 の例に限定されることが意図されていないことが理解されるべきである。例として、第 1 の熱源 6 6 と、第 2 の熱源 6 8 と、第 3 の熱源 7 0 とは、アルカリビームセル 5 2 を加熱する位置、方向、または方法に対して限定がなされることを意図されていない。例えば、第 2 の熱源 6 8 は、第 2 の期間の間に、依然として熱を提供するように構成され得、そして、第 3 の熱源 7 0 は、第 1 の期間の間に、依然として熱を提供するように構成され得る。熱源 6 8 と熱源 7 0 とは、期間に基づいて変動可能であり得る。別の例として、アルカリビームセル 5 2 が、物理的に、動かされるか、または回転させられることにより、アルカリビームセル 5 2 が加熱される方法を変更し得る。例えば、アルカリビームセル 5 2 は、第 1 の期間と第 2 の期間との間の遷移の際に 1 8 0 ° で配向され得る。したがって、システム 5 0 は、一組の熱源と、信号ポンピングおよび呼びかけコンポーネントと、ビーム検知コンポーネントとをだけ含み得る。さらに、アルカリビームが検知チャンバにおいて生成される方法と、周波数基準が獲得される方法とは、図 3 ~ 図 6 の例に限定されず、その代わりに、周波数基準を獲得するための様々な他の技術のうちの任意の方法を組み込まれ得ることが、理解されるべきである。したがって、アルカリビームセルシステム 5 0 は、様々な方法のうちの任意の方法で構成され得る。

40

【 0 0 7 8 】

図 7 は、本発明の局面に従ったアルカリビーム原子時計システム 1 0 0 の図の例を例示

50

している。システム 100 は、衛星または他の用途に実装され得るような非常に正確なタイミング基準を提供するように構成され得る。システム 100 は、第 1 のアルカリビームセル 102 と、第 2 のアルカリビームセル 104 とを含む。第 1 のアルカリビームセル 102 と第 2 のアルカリビームセル 104 とのそれぞれが、図 1 ~ 図 6 の例において上で記述されたアルカリビームセル 10、20、および 52 と実質的に同様に構成され得る。したがって、第 1 のアルカリビームセル 102 と第 2 のアルカリビームセル 104 とはそれぞれ、置換可能として構成され得るので、第 1 のアルカリビームセル 102 と第 2 のアルカリビームセル 104 とのそれぞれが、異なる期間の間にリザーバチャンバと検知チャンバとしてそれぞれ構成され得る第 1 のチャンバと第 2 のチャンバとのそれぞれを含み得る。

10

【0079】

システム 100 は、第 1 のアルカリビームセル 102 を制御するように構成された第 1 のセル制御システム 106 と、第 2 のアルカリビームセル 104 を制御するように構成された第 2 のセル制御システム 108 とを含む。第 1 のセル制御システム 106 と第 2 のセル制御システム 108 とのそれぞれが、加熱制御装置 110 と、ポンピング/呼びかけ制御装置 112 と、ビーム検知制御装置 114 とを含む。例として、加熱制御装置 110 のそれぞれが、図 3 ~ 図 6 の例における第 1 の加熱源 66 と第 2 の加熱源 68 と第 3 の加熱源 70 とのうちの少なくとも 1 つとして構成され得る。同様に、ポンピング/呼びかけ制御装置 112 のそれぞれが、第 1 のポンピングおよび呼びかけコンポーネント 72、ならびに第 2 のポンピングおよび呼びかけコンポーネント 74 と実質的に同様であるように構成され得、そして、ビーム検知制御装置 114 のそれぞれが、第 1 のビーム検知コンポーネント 76 および第 2 のビーム検知コンポーネント 78 と実質的に同様に構成され得る。したがって、第 1 のアルカリビームセル 102 および第 1 のセル制御システム 106、ならびに第 1 のアルカリビームセル 104 および第 2 のセル制御システム 108 とは、図 3 ~ 図 6 の例におけるアルカリビームセルシステム 50 と実質的に同様に構成され得る。

20

【0080】

システム 100 はまた、原子時計 116 を含む。原子時計 116 は、第 1 のセル制御システム 106 と第 2 のセル制御システム 108 とのそれぞれから周波数基準信号を受信するように構成されている。したがって、原子時計 116 は、非常に正確で非常に寿命の長いタイミング信号 118 を提供するように構成され得る。例として、第 1 のセル制御システム 106 と第 2 のセル制御システム 108 とのそれぞれから提供される周波数基準信号は、互いに実質的に同期され得るので、原子時計 116 は、周波数基準信号のいずれかから、またはそれらの両方からタイミング信号 118 を冗長な方法で同時に提供し得る。したがって、タイミング信号 118 は、正確で寿命の長いタイミングが必要である様々な用途のうちの任意の用途に実装され得る。

30

【0081】

上で記述されたように、第 1 のアルカリビームセル 102 と第 2 のアルカリビームセル 104 とのそれぞれが、置換可能であるので、それらが、それぞれの第 1 のセル制御システム 106 と第 2 のセル制御システム 108 とによって実装されることにより、実質的に無限に周波数基準を獲得し続け得る。しかしながら、第 1 のアルカリビームセル 102 と第 2 のアルカリビームセル 104 とのうちの一方が、第 1 の期間から第 2 の期間に切り換わると、第 1 のアルカリビームセル 102 と第 2 のアルカリビームセル 104 とのそれぞれの周波数基準信号が、妨げられるので、周波数基準は、期間遷移の際に、第 1 のアルカリビームセル 102 と第 2 のアルカリビームセル 104 とのそれぞれから再入手されることを必要とし得る。したがって、第 1 のアルカリビームセル 102 と第 2 のアルカリビームセル 104 とは、第 1 のチャンバと第 2 のチャンバとの役割とに関連付けられる期間に関して、互いに位相がずれるように構成され得る。

40

【0082】

例えば、第 1 のアルカリビームセル 102 の第 1 のチャンバは、第 1 の期間の間にリザ

50

ーバチャンバとして構成され、そして、第 2 の期間の間に検知チャンバとして構成され得る。同様に、第 2 のアルカリビームセル 104 の第 1 のチャンバは、第 3 の期間の間にリザーバチャンバとして構成され、そして、第 4 の間に検知チャンバとして構成され得る。第 3 の期間は、第 1 の期間と第 2 の期間とのそれぞれの一部分に重複し得、そして、第 4 の期間は、第 1 の期間と第 2 の期間とのそれぞれの残りの部分に重複し得る。結果として、システム 100 は、所与の段階において、第 1 のアルカリビームセル 102 と第 2 のアルカリビームセル 104 とのうちの一方だけの第 1 のチャンバと第 2 のチャンバとの役割を置換するように構成され得るので、周波数基準信号は、常に、任意の所与の時間に原子時計 116 に提供される。したがって、アルカリビームセル 102 とアルカリビームセル 104 とのうちの一方が置換され、そして、それぞれの周波数基準を再入手する間、原子時計は、アルカリビームセル 102 とアルカリビームセル 104 とのうちの他方から提供された周波数基準信号に基づいて、正確に、かつ、妨げられることなくタイミング信号 118 を維持し得る。

10

【0083】

システム 100 はさらに、時計コントローラ 120 を含む。時計コントローラ 120 は、第 1 のアルカリビームセル 102 と第 2 のアルカリビームセル 104 との期間の遷移（すなわち、置換）を制御するように構成されている。図 7 の例において、原子時計 116 は、時計コントローラ 120 にタイミング基準を提供するように構成されるので、時計コントローラ 120 は、第 1 のセル制御システム 106 と第 2 のセル制御システム 108 とのうちの一方にコマンドを提供して、アルカリビームセル 102 とアルカリビームセル 104 とのそれぞれを置換し得る。別の例として、時計コントローラ 120 は、図 5 の例において上で記述されたように、例えば、蛍光放出 / 蛍光吸収信号が閾値未満に減少されたことに基づいて、第 1 のセル制御システム 106 と第 2 のセル制御システム 108 とのうちの一方から信号を受信し得る。したがって、第 1 のアルカリビームセル 102 と第 2 のアルカリビームセル 104 とのそれぞれに対する、制御され、かつ、時間をずらした期間の遷移に基づいて、原子時計 116 は、実質的に一貫して、かつ、無限に非常に正確なタイミング信号 118 を維持し得る。

20

【0084】

システム 100 は、図 7 の例に限定されることを意図していないことが、理解されるべきである。例として、システム 100 は、2 つのアルカリビームセルの使用に限定されず、任意の数のアルカリビームセルと、任意の数の関連するセル制御システムとを含み得、該任意の数のアルカリビームセルと、該任意の数の関連するセル制御システムとはそれぞれ、周波数基準を原子時計 116 に提供する。別の例として、時計コントローラ 120 は、第 1 のセル制御システム 106 と第 2 のセル制御システム 108 とのうちの一方または両方に組み込まれ得る。したがって、アルカリビーム原子時計システム 100 は、様々な方法のうちの任意の方法で構成され得る。

30

【0085】

上に記述された上述の構造的特徴および機能的特徴を踏まえると、本発明の様々な局面に従った方法論は、図 8 を参照してより良く認識される。説明を簡潔にする目的で、図 8 の方法論は、連続的に実行されるように示され、かつ、記述されているが、本発明は例示された順序に限定されないことが理解され、そして、認識される。なぜならば、一部の局面は、本発明に従って、本明細書に示され、かつ、記述された他の局面と異なる順序で生じ、および / またはそれらと同時に生じ得るからである。さらに、例示された特徴の全てが、本発明の局面に従った方法論を組み込むことを必要とし得るわけではない。

40

【0086】

図 8 は、本発明の局面に従ったアルカリビーム原子時計を制御する方法 150 の例を例示する。152 において、熱が、アルカリビームセルに加えられることにより、アルカリ金属を蒸発させ、そして、リザーバチャンバとして構成された第 1 のチャンバと、検知チャンバとして構成された第 2 のチャンバとの間に圧力差を生成する。第 1 のチャンバと第 2 のチャンバとは、アパーチャ部分によって相互接続され得る。アパーチャ部分は、穴、

50

または複数のチューブを含み得、該複数のチューブは、真っ直ぐかつ平行、先細、または非直線状、および／または第１のチャンバと第２のチャンバとに沿って延びている軸と平行ではない、であり得る。アルカリ金属は、第１のチャンバにおいて蒸発され、そして、第２のチャンバに移動させられる。蒸発は、熱によってもたらされ得、そして、移動は、圧力差に基づいてもたらされ得る。アルカリ金属は、セシウム（Cs）であり得る。アルカリ金属は、蒸発し、そして、移動すると、第２のチャンバに集まる。アルカリ金属は、移動によって第２の（すなわち、検知）チャンバの端壁に集まり得る。

【００８７】

１５４において、光エネルギーが、第２のチャンバにポンピングされて、アルカリ金属の蒸発した粒子を所望の超微細状態に励起することにより、呼びかけのためのアルカリビームを準備する。１５６において、呼びかけ信号が、アルカリビームに加えられる。ビームが、マイクロ波信号などの１つ以上の信号によって呼びかけられることにより、放出蛍光エネルギーまたは吸収蛍光エネルギーをもたらし得、該放出蛍光エネルギーまたは該吸収蛍光エネルギーが、検知される。１５８において、周波数基準が、呼びかけ信号に基づいて獲得される。検知された放出蛍光信号または検知された吸収蛍光信号が、使用されることにより、蒸発したアルカリ金属の放出放射線／吸収放射線と関連する超微細遷移周波数で発振器の周波数を固定することによって、周波数基準に対応し得る発振器の周波数が設定され得る。

【００８８】

１６０において、アルカリビームセルが、置換され得ることにより、第１のチャンバが、検知チャンバとして構成され、そして、第２のチャンバが、リザーバチャンバとして構成され得る。アルカリ金属の大部分が、第２のチャンバに配置されることによって、置換が、生じ得る。置換は、放出光エネルギー／吸収光エネルギーの強度が閾値未満に降下することに対応するものであり得るか、所定の時間に対応するものであり得る。したがって、１６２における矢印によって図８の例に示されるように、方法１５０は、繰り返す。結果として、アルカリビームセルは、安定した方法で、かつ、実質的に無限に周波数応答を提供し得る。

【００８９】

上に記述されたものは、本発明の例である。当然、本発明を記述する目的で、コンポーネントまたは方法論の考えられる全ての組み合わせを記述することは、可能ではないが、当業者は、本発明の多くのさらなる組み合わせおよび並べ替えが可能であることを認識する。したがって、本発明は、添付の特許請求の範囲の精神と範囲とに該当する全ての代替案、改変および変形例を含むことを意図している。

【符号の説明】

【００９０】

- ５０ アルカリビームセルシステム
- ５２ アルカリビームセル
- ５４ 第１のチャンバ
- ５６ 第２のチャンバ
- ５８ アルカリ金属
- ６０ アパーチャ部分
- ６２ 複数のチューブ
- ６４ 制御コンポーネント
- ６６ 第１の熱源
- ６８ 第２の熱源
- ７０ 第３の熱源

10

20

30

40

【図 1】



FIG. 1

【図 2】

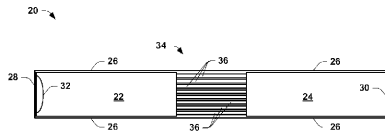


FIG. 2

【図 3】

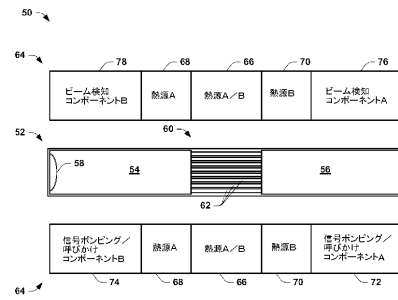


FIG. 3

【図 4】

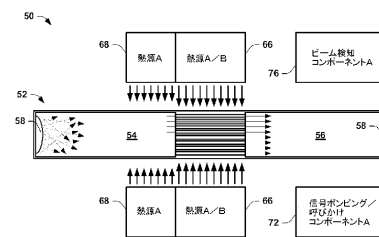


FIG. 4

【図 5】

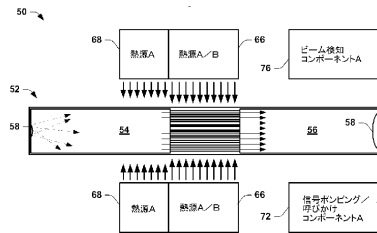


FIG. 5

【図 6】

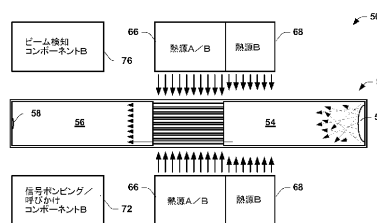


FIG. 6

【図 7】

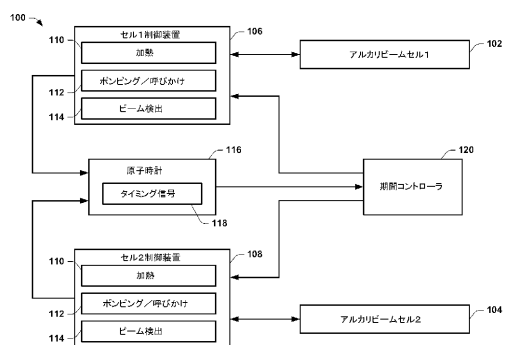


FIG. 7

【図 8】

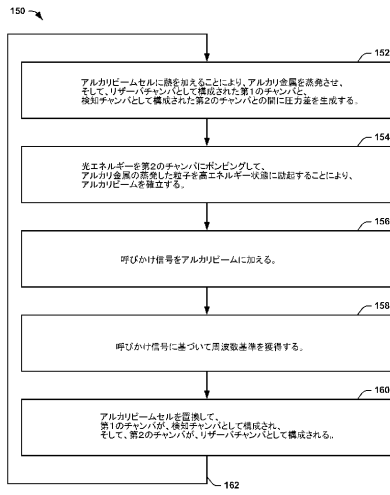


FIG. 8

フロントページの続き

(72)発明者 マイケル ディー . プラトウィクス

アメリカ合衆国 カリフォルニア 9 1 3 0 4 , カノガ パーク , オーウェンズマウス アベ
ニュー 9 0 0 1 , ユニット 2 6

(72)発明者 マイケル エス . ラーセン

アメリカ合衆国 カリフォルニア 9 1 3 6 7 , ウッドランド ヒルズ , バーバンク ブール
バード 2 1 2 4 0 , ダブリュー - 1 9