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

特許第5443380号
(P5443380)

(45)発行日　平成26年3月19日(2014.3.19)　(24)登録日　平成25年12月27日(2013.12.27)

(51)Int.Cl.		F I		
H01S 1/06	(2006.01)	H01S	1/06	
G04F 5/14	(2006.01)	G04F	5/14	
G01R 33/02	(2006.01)	G01R	33/02	F

請求項の数 8　(全 6 頁)

(21)出願番号	特願2010-537439 (P2010-537439)
(86)(22)出願日	平成20年12月10日 (2008.12.10)
(65)公表番号	特表2011-507250 (P2011-507250A)
(43)公表日	平成23年3月3日 (2011.3.3)
(86)国際出願番号	PCT/EP2008/067255
(87)国際公開番号	WO2009/074619
(87)国際公開日	平成21年6月18日 (2009.6.18)
審査請求日	平成23年12月7日 (2011.12.7)
(31)優先権主張番号	0759742
(32)優先日	平成19年12月11日 (2007.12.11)
(33)優先権主張国	フランス(FR)

(73)特許権者　502124444
コミッサリア　ア　レネルジー　アトミーク　エ　オ　ゼネルジ　ザルタナテイヴ
フランス国　エフー７５０１５　パリ，バテイマン　「　ル　ポナン　デー　」，リュ　ルブラン　２５
(74)代理人　100108453
弁理士　村山　靖彦
(74)代理人　100064908
弁理士　志賀　正武
(74)代理人　100089037
弁理士　渡邊　隆
(74)代理人　100110364
弁理士　実広　信哉

最終頁に続く

(54)【発明の名称】環境磁場の補正を備えた装置

(57)【特許請求の範囲】

【請求項１】

ガスで充填されたセル（１）と、前記ガスの原子を高エネルギー状態に遷移させるガス励起装置（２）と、前記ガスを通過する光信号を収集する検出器（４）と、一つの実質的な静磁場及び、互いに垂直な向きの二つの振動磁場を印加する磁場印加手段（９、１０）と、環境磁場を相殺するための磁場である前記実質的な静磁場の方向及び強度を制御するために前記磁場印加手段を制御する手段（８）とを備え、前記制御する手段が、前記振動磁場の周波数（Ω／２π、ω／２π）、前記周波数の和（（ω＋Ω）／２π）及び前記周波数の差（（ω－Ω）／２π）の間で、前記ガスを通過する光信号のスペクトル線の振幅を減少させることを特徴とする装置。

【請求項２】

該装置が原子時計であることを特徴とする請求項１に記載の装置。

【請求項３】

該装置が磁力計であることを特徴とする請求項１に記載の装置。

【請求項４】

前記磁場印加手段が少なくとも一つの三軸磁気コイルを備えることを特徴とする請求項１から３のいずれか一項に記載の装置。

【請求項５】

前記磁場印加手段が少なくとも三つの同心状の一軸コイルを備えることを特徴とする請求項１から３のいずれか一項に記載の装置。

【請求項６】
前記ガスが、アルカリ性ガス及びヘリウム３から選択されていることを特徴とする請求項１から５のいずれか一項に記載の装置。
【請求項７】
該装置が磁気シールディングを備えていないことを特徴とする請求項１から６のいずれか一項に記載の装置。
【請求項８】
前記振動磁場が、前記振動磁場の各角振動数（ω、Ω）を前記ガスの磁気回転比でわったものに等しい強度（Ｈω、ＨΩ）を有することを特徴とする請求項１に記載の装置。
【発明の詳細な説明】
【技術分野】
【０００１】
本発明は環境磁場の補正を備えた装置に関する。本装置は、動作方法の簡単な変更で、時間測定用の電子時計、磁力計において用いられる。
【背景技術】
【０００２】
原子時計は、ガス状媒体（大抵アルカリ性）と、レーザ等のそのガスの原子を励起するための装置（原子を高エネルギー状態に遷移させることができる）と、レーザからの光子を用いて、通常のエネルギー準位に戻る際に原子から放出される周波数信号を測定するための手段とを備える。
【０００３】
ガスによって戻される光子信号の周波数は、式ν＝ΔＥ／ｈで定義され、ここで、νは周波数、ΔＥはエネルギー準位間の差、ｈはプランク定数であり、６．６２×１０$^{-34}$Ｊ／ｓに等しい。
【０００４】
この周波数は非常に安定であり、時間基準ユニットとして機能可能であることが知られている。しかしながら、このことは、物質のゼーマン効果を考慮すると最早正しくない。エネルギー準位は、僅かに異なる状態に対応する副準位から構成されるものとして現れ、エネルギー準位の基準状態に対する０、その他の状態に対する－１、－２…、＋１、＋２…の磁気量子数ｍによって区別される。このことが、^{87}Ｒｂ元素の場合について図１に示されていて、初めの二つのエネルギー準位（角運動量Ｆ＝１及びＦ＝２）の分裂が示されている。
【０００５】
エネルギー準位は環境磁場に敏感である。その感度は、０に等しい磁気量子数における副準位に対しては低いが（二次のオーダ）、他の副準位に対してははるかに高く（一次のオーダ）、そこから又はそこへの遷移は光子を生じ、その周波数が可変であるので基準として機能せず、磁気量子数ゼロの二つの副準位間の遷移に対応する信号の一部のみが、測定用に利用されて、その質に悪影響を及ぼす。原子時計によって与えられる基準周波数は、ガス中で考慮される超微細遷移周波数$f_0 = E_0 / h$であり、ここで、E_0は、二つの状態（例えば図１のＦ＝１及びＦ＝２）のｍ＝０における副準位間のエネルギー差である。
【０００６】
従って、ゼロ磁場の補償がないので、外部摂動を減少させるために原子時計周辺の磁気シールドに頼り、また、副準位を適切に分離する一定磁場の印加に頼る。原子時計の動作はより安定になるが、副準位は不動で明確なものであり、周波数の分散を受けること、及び信号を弱めて行わなければならないことの欠点が避けられない。
【先行技術文献】
【特許文献】
【０００７】
【特許文献１】仏国特許発明第１３５４２０８号明細書

【特許文献２】米国特許出願公開第２００７／２４７２４１号明細書
【特許文献３】特開昭６３－１９１９８１号公報
【特許文献４】欧州特許出願公開第０９６４２６０号明細書
【非特許文献】
【０００８】
【非特許文献１】Ｓ．Ｈａｒｏｃｈｅ他、“Ｍｏｄｉｆｉｅｄ Ｚｅｅｍａｎ ｈｙｐｅｒｆｉｎｅ ｓｐｅｃｔｒａ ｏｂｓｅｒｖｅｄ ｉｎ Ｈ１ ａｎｄ Ｒｂ８７ ｇｒｏｕｎｄ ｓｔａｔｅｓ ｉｎｔｅｒａｃｔｉｎｇ ｗｉｔｈ ａ ｎｏｎｒｅｓｏｎａｎｔ ｒｆ ｆｉｅｌｄ”、Ｐｈｙｓ．Ｒｅｖ．Ｌｅｔｔ．、１９７０年、第２４巻、ｐ．８６１－８６４
【発明の概要】
【発明が解決しようとする課題】
【０００９】
本発明は、副準位を同じエネルギー値に集め、はるかに鋭い測定ピークを備えた信号を得るために、ゼロ磁場で動作させることによって、既存の原子時計を改良しようとするものである。
【課題を解決するための手段】
【００１０】
原子時計又は磁力計とて機能することができる装置は、ガスで充填されたセルと、ガスの原子をより高いエネルギー準位に遷移させる励起装置と、ガスを通過する光信号を収集する検出器とを備え、一つの実質的な静磁場と、互いに垂直な二つの振動磁場とを印加する磁場印加手段と、実質的な静磁場の方向及び強度を制御するために磁場印加手段を制御する手段とを備えることを特徴とする。
【００１１】
以下、本発明を、添付図面を参照して、より完全に説明する。
【図面の簡単な説明】
【００１２】
【図１】上述のように、原子時計に使用される物質の元素のエネルギー準位図を示す。
【図２】原子時計の概略図である。
【図３】原子時計で得られる信号の図である。
【図４】図１のものと比較されるエネルギー準位図によって得られた結果を示す。
【発明を実施するための形態】
【００１３】
原子時計（図２）のコアは、アルカリ性ガスで充填されたセル１である。励起装置２は、円偏光子３を通過する偏光した光子束として、このガスにエネルギーを伝える。例えば、励起装置はマイクロ波場でもあり得る。いずれの場合においても、ガスの共鳴を検出するために光ビーム（例えばレーザ）を投入する必要がある。光検出器４は、セル１のガスによって戻される発光エネルギーを収集し、計数装置５に信号を伝える。周波数分離器６は、計数装置５の出力において信号を収集し、その結果を、測定されるスペクトル線の強度の指標として、原子時計を動作させる装置７及び制御装置８に伝える。制御装置８は、励起装置２並びに磁場印加手段９及び１０を制御する。磁場印加手段は、角振動数Ω及びωの無線周波数で磁場を放出し、それら磁場は相互に垂直であり、偏光に依存した方向のものである（例えば、円偏光子の場合に励起装置２から放出される光線に垂直である）。
【００１４】
図３を参照する。計数装置５からの信号は、複数の光線を備え、まず第一に、ガス状媒体による光子の戻りに対応する有用な周波数ｆ０のものであり、時間測定に基準を与える光線を備える。図３は、周波数Ω／２π、（ω－Ω）／２π、ω／２π、（ω＋Ω）／２πにおけるスペクトル線も示す。これらのスペクトル線は、小さな値の磁場（$1/\delta T_R$よりもはるかに小さい）対して現れ、ここでT_Rは副準位の緩和時間、γは磁気回転比であり、励起化学元素の特徴である。これらのスペクトル線は、副準位間の共鳴に対応する

。振幅は、環境磁場に比例する。そこで、本発明は、実質的に静的な環境磁場を相殺するための磁場の印加を教示するが、これは、必要であれば連続的に振幅及び方向を変化させて行われて、光線の振幅が可能な限り減少されて、相殺磁場が環境磁場を相殺する。図４は、各メイン準位の副準位が同一のエネルギー値にあり、ガス状媒体によって戻される光子が全て有用な周波数f_0にあることを示す。対応するスペクトル線は、はるかに鋭くて高いピークとして現れ、その検出が容易になる。

【００１５】

本発明を適用することによって、従来の原子時計の磁気シールディングを省略することができる。

【００１６】

無線周波数場の振幅は、（静的相殺場の印加前の）共鳴スペクトル線の振幅を最大化するように有利に選択される。近似的に式$\gamma H\omega/\omega=1$及び$\gamma H\Omega/\Omega=1$の関係が好ましい。ここで、Ｈω及びＨΩは、角振動数ω及びΩの無線周波数場の振幅である。有利には、実質的に静的な相殺磁場を印加する手段は、無線周波数磁場を印加するものと同一である。

【００１７】

固有の励起装置は、例えばダイオードレーザやランプによって放出されるレーザ束等の光子束であり得る。ガス状元素は、^{87}Ｒｂ、^{133}Ｃｓで構成され得て、必要であれば、バッファガスと混合される。セル１の物質は、パイレックス（登録商標）等のガラスで構成され得る。磁場印加手段９及び１０は、三軸コイル、又は三つの相互に同心状の一軸コイルで構成され得る。光検出器４は、セル１の出力において光子束を測定するいずれかのタイプのものであり得る。光子は、例えば励起装置に追加された偏光子によって偏光される必要がある。制御は、計算ユニットを備えた既知のものによって達成される。コイルは、電流又は電圧制御される。共鳴周波数f_0への励起は、周波数$f_0/2$におけるダイオードレーザの振幅変調によって、又は周波数f_0において共鳴するマイクロ波キャビティによって達成される。二つのレーザ（周波数差がf_0である）を備えた励起装置も考えられる。

【００１８】

全ての副準位がゼロ磁場において等価であるので（そのｍの値に依存せず）、原子時計において通常使用されるもの（アルカリ性ガス）以外のガスを使用することができ、特に原子の超微細構造が角運動量ゼロの副準位を有さない^{3}Ｈｅ等のガスを使用することができる。

【００１９】

^{87}Ｒｂで動作し、戻りの光子の波長が７９５ｎｍである原子時計の具体的な例では、無線周波数場は、１０ｋＨｚ及び４５ｋＨｚの周波数Ω／２π及びω／２πを有し、１５ｍガウス及び７０ｍガウスの振幅をそれぞれ有していた。１０ｍガウスのオーダの環境磁場に対して、その相殺は、各軸に対して１０ｍガウス未満の残留磁場でなされた。相殺磁場に対する分解能（制御手段の乱れによる磁気ノイズ）は、

【数１】

$$0.1\mu\text{ガウス}/\sqrt{Hz}$$

のオーダであった。原子時計の周波数安定性は、

【数２】

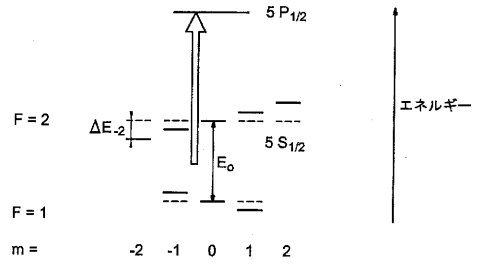
$$0.67Hz/\sqrt{Hz}$$

、つまり、積分時間τについて原子時計によって届けられる周波数に対する相対的な解像

度において、
【数３】

$$10^{-10}/\sqrt{\tau}$$

のオーダであった。
【００２０】
原子時計に対して本発明の使用を説明してきたが、逐次的又はラムゼーフリンジで動作するものとなり得る。また、磁場測定に、つまり磁力計として応用可能である。無線周波数場による図のスペクトル線が最小である際に印加相殺磁場を記録すれば十分であり、磁場印加手段に対して読み出す。環境磁場は逆向きである。
【００２１】
原子が感じる場がゼロなので、磁気シールドが無用であると分かる。
【符号の説明】
【００２２】
１　セル
２　励起装置
３　円偏光子
４　光検出器
５　計数装置
６　周波数分離器
７　原子時計を動作させる装置
８　制御装置
９、１０　磁場印加手段
【図１】



【図２】

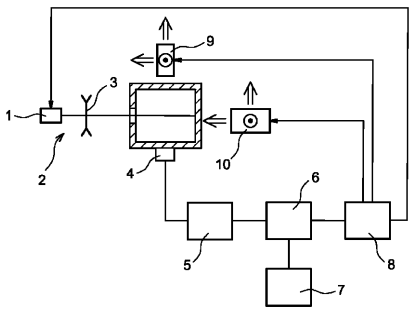
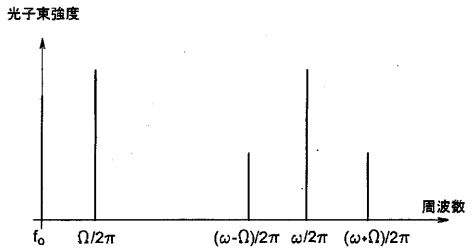
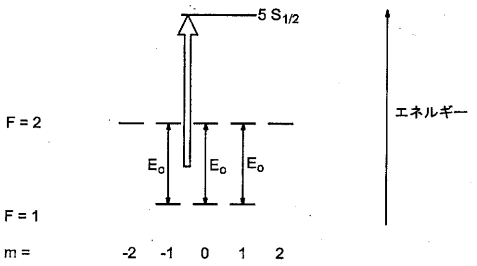


FIG. 2

【図３】



【図４】



フロントページの続き

(72)発明者　マティユー・ル・プラド
フランス・Ｆ－２６２６０・シャルム・シュル・レルバッス・ロット・レ・グランヴェール・９
(72)発明者　ジャン－ミシェル・レジェ
フランス・Ｆ－３８１９０・ヴィラール・ボノ・アヴニュ・デュ・ジェネラル・ミリベル・３６

審査官　古田　敦浩

(56)参考文献　仏国特許出願公開第０１３５４２０８（ＦＲ，Ａ１）
米国特許出願公開第２００７／０２４７２４１（ＵＳ，Ａ１）
特開昭６３－１９１９８１（ＪＰ，Ａ）
欧州特許出願公開第００９６４２６０（ＥＰ，Ａ１）
S. Haroche et al., Modified Zeeman Hyperfine Spectra Observed in H1 and Rb87 Ground States Interacting with a Nonresonant rf Field, PHYSICAL REVIEW LETTERS, １９７０年　４月２０日, Vol.24, No.16, pp.861-864

(58)調査した分野(Int.Cl., ＤＢ名)
Ｈ０１Ｓ　　１／００　－　　１／０６
Ｇ０４Ｆ　　５／１４
Ｇ０１Ｒ　３３／００　－　３３／２６