

(19) 日本国特許庁(JP)

## (12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5504851号  
(P5504851)

(45) 発行日 平成26年5月28日(2014.5.28)

(24) 登録日 平成26年3月28日(2014.3.28)

(51) Int.Cl.

H01S 1/06 (2006.01)  
H03L 7/26 (2006.01)

F 1

H01S 1/06  
H03L 7/26

請求項の数 8 (全 8 頁)

(21) 出願番号 特願2009-273157 (P2009-273157)  
 (22) 出願日 平成21年12月1日 (2009.12.1)  
 (65) 公開番号 特開2011-119325 (P2011-119325A)  
 (43) 公開日 平成23年6月16日 (2011.6.16)  
 審査請求日 平成24年12月3日 (2012.12.3)

(73) 特許権者 000002369  
 セイコーエプソン株式会社  
 東京都新宿区西新宿2丁目4番1号  
 (74) 代理人 100095728  
 弁理士 上柳 雅善  
 (74) 代理人 100107261  
 弁理士 須澤 修  
 (74) 代理人 100127661  
 弁理士 宮坂 一彦  
 (72) 発明者 牧 義之  
 東京都日野市日野421-8 エプソント  
 ヨコム株式会社内  
 (72) 発明者 西田 哲朗  
 長野県諏訪市大和3丁目3番5号 セイコ  
 ーエプソン株式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】原子発振器及び製造方法

## (57) 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

受光素子と、  
 空洞を有するセル層と、  
 前記空洞に封入されている原子と、  
 前記受光素子とともに前記原子を挟むように配置されていて、前記原子に共鳴光を出射する発光素子と、  
 前記受光素子又は前記発光素子上に積層して前記空洞を封止している酸化膜層と、  
 前記受光素子又は前記発光素子のいずれか一方と前記セル層との間に有するバンプと、  
 を備えていることを特徴とする原子発振器。

10

## 【請求項 2】

前記セル層、前記酸化膜層、前記受光素子の順に積層していることを特徴とする請求項1に記載の原子発振器。

## 【請求項 3】

前記セル層、前記酸化膜層、前記発光素子の順に積層していることを特徴とする請求項1に記載の原子発振器。

## 【請求項 4】

前記酸化膜層とともに前記空洞を挟むように配置されていて、前記空洞を封止している透明部材を有することを特徴とする請求項1乃至3の何れか一項に記載の原子発振器。

## 【請求項 5】

20

前記セル層が透明部材であることを特徴とする請求項1乃至4の何れか一項に記載の原子発振器。

【請求項6】

半導体基板上に受光部を有する受光素子を用意する第1の工程と、  
前記受光素子上に酸化膜を積層する第2の工程と、  
前記酸化膜上にセル層を積層する第3の工程と、  
前記受光部の上部の前記セル層に開口部を有するように空洞を用意する第4の工程と、  
前記空洞に気体状のアルカリ金属原子を封入する第5の工程と、  
前記開口部を透明部材により封止する第6の工程と、  
前記アルカリ金属原子に共鳴光を出射する発光素子を、前記受光素子とともに前記アルカリ金属原子を挟むように配置し、バンプを介して前記セル層に接続する第7の工程と、  
を含むことを特徴とする原子発振器の製造方法。 10

【請求項7】

半導体基板上に受光部を有する受光素子を用意する第1の工程と、  
前記受光素子上に酸化膜を積層する第2の工程と、  
前記酸化膜上にアルカリ金属を積層する第3の工程と、  
前記受光部の上部に空洞を有する透明部材を配置する第4の工程と、  
前記受光素子に前記透明部材を接合する第5の工程と、  
前記アルカリ金属原子に共鳴光を出射する発光素子を、前記受光素子とともに前記アルカリ金属原子を挟むように配置し、バンプを介して前記セル層に接続する第6の工程と、  
を含むことを特徴とする原子発振器の製造方法。 20

【請求項8】

共鳴光を出射する発光素子を半導体基板上に用意する第1の工程と、  
前記発光素子上に酸化膜を積層する第2の工程と、  
前記酸化膜上にセル層を積層する第3の工程と、  
前記受光部の上部の前記セル層に開口部を有するように空洞を用意する第4の工程と、  
前記空洞に気体状のアルカリ金属原子を封入する第5の工程と、  
前記開口部を透明部材により封止する第6の工程と、  
前記共鳴光が前記アルカリ金属原子を透過した光を受光する受光部を、前記発光素子とともに前記アルカリ金属原子を挟むように配置し、バンプを介して前記セル層に接続する第7の工程と、  
を含むことを特徴とする原子発振器の製造方法。 30

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、原子発振器及び製造方法に関し、さらに詳しくは、発光素子、ガスセル、及び受光素子を縦積み構成にした原子発振器とその製造方法に関するものである。

【背景技術】

【0002】

近年、通信網や放送網等のデジタルネットワーク化の進展に伴い、伝送装置のクロック信号や放送局の基準周波数の生成に使用されるクロック源等として、高精度・高安定な発振器が必要不可欠なものとなっている。そのような発振器として、発振周波数の精度・安定度が高いルビジウム原子発振器が多く用いられている。また、近年原子発振器の小型化の要求が高まり、ガスセルも含めて全体を小型化する必要性に迫られている。それと同時に、ユニットコストを低減するために製造コストを下げる製造方法が要求されている。 40

特許文献1には、光源から出射した光がプリズムで屈折されてガスセルを透過し、更にプリズムで屈折されて受光素子により受光される原子発振器の構成が開示されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【特許文献1】U S 6 9 0 0 7 0 2 B 2

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

従来の原子発振器は、生産効率を高める一つの手段として、複数のガスセルを一体的に形成して、後で単体にダイシングする製造方法を探っているが、発光素子、ガスセル、及び受光素子が基板上に横並びに、かつ各部材間が間隔をもって配置され、さらに光を屈折させるための複数のミラーを必要とした構成であることから、全体のユニットとして必ずしも小型化が実現されたとは言い難い。

また、特許文献1に開示されている従来技術は、プリズム等の高価な部品を使用しているため、ユニットコストが高くなるといった問題がある。 10

本発明は、かかる課題に鑑みてなされたものであり、少なくとも受光素子又は発光素子と、ガスセルとを半導体基板上に形成し、そこに他の部品を積層することにより、小型化とコストダウンを図ることができる原子発振器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】

【0005】

本発明は、上述の課題の少なくとも一部を解決するためになされたものであり、以下の形態又は適用例として実現することが可能である。

【0006】

[適用例1] 本適用例に係る原子発振器は、受光素子と、空洞を有するセル層と、前記空洞に封入されている原子と、前記セル層に積層して前記空洞を封止する酸化膜層と、前記受光素子とともに前記原子を挟むように配置されていて、前記原子に共鳴光を射出する発光素子と、を備えていることを特徴とする。 20

【0007】

本適用例によれば、容易にモノリシック原子発振器を構成することが出来、小型化とコストダウンを図ることができる。

【0008】

[適用例2] 本適用例に係る原子発振器は、前記セル層、前記酸化膜層、前記受光素子の順に積層していることを特徴とする。

【0009】

本適用例によれば、半導体基板上に受光素子が形成され、容易にモノリシック原子発振器を構成することが出来、小型化とコストダウンを図ることができる。

【0010】

[適用例3] 本適用例に係る原子発振器は、前記セル層、前記酸化膜層、前記発光素子の順に積層していることを特徴とする。

【0011】

本適用例によれば、半導体基板上に発光素子が形成され、容易にモノリシック原子発振器を構成することが出来、小型化とコストダウンを図ることができる。

【0012】

[適用例4] 本適用例に係る原子発振器は、前記酸化膜層とともに前記空洞を挟むように配置されていて、前記空洞を封止している透明部材を有することを特徴とする。 40

【0013】

本適用例によれば、空洞を酸化膜と透明部材とで挟んでいて、さらに受光素子と発光素子とに挟まれるので、容易にモノリシック原子発振器を構成することが出来、小型化とコストダウンを図ることができる。

【0014】

[適用例5] 本適用例に係る原子発振器は、前記セル層が透明部材であることを特徴とする請求項1乃至4の何れか一項に記載の原子発振器。

【0015】

セル層が透明部材であるので、酸化膜と対向している空洞の底部も透明部材で構成され 50

ていることにより、容易にモノリシック原子発振器を構成することが出来、小型化とコストダウンを図ることができる。

【0016】

[適用例6] 本適用例に係る原子発振器の製造方法は、半導体基板上に受光部を有する受光素子を形成する第1の工程と、前記受光素子上に酸化膜を積層する第2の工程と、前記酸化膜上にセル層を積層する第3の工程と、前記受光部の上部の前記セル層に開口部を有するように空洞を形成する第4の工程と、前記空洞に気体状のアルカリ金属原子を封入する第5の工程と、前記開口部を透明部材により封止する第6の工程と、前記アルカリ金属原子に共鳴光を出射する発光素子を、前記受光素子とともに前記アルカリ金属原子を挟むように配置する第7の工程と、を含むことを特徴とする。

10

【0017】

本適用例によれば、半導体基板上に受光素子が形成され、容易にモノリシック原子発振器を構成することが出来、小型化とコストダウンを図ることができる。

【0018】

[適用例7] 本適用例に係る原子発振器の製造方法は、半導体基板上に受光部を有する受光素子を形成する第1の工程と、前記受光素子上に酸化膜を積層する第2の工程と、前記酸化膜上にアルカリ金属を積層する第3の工程と、前記受光部の上部に空洞を有する透明部材を配置する第4の工程と、前記受光素子に前記透明部材を接合する第5の工程と、前記アルカリ金属原子に共鳴光を出射する発光素子を、前記受光素子とともに前記アルカリ金属原子を挟むように配置する第6の工程と、を含むことを特徴とする。

20

【0019】

セル層が透明部材であるので、酸化膜と対向している空洞の底部も透明部材で構成されていることにより、容易にモノリシック原子発振器を構成することが出来、小型化とコストダウンを図ることができる。

【0020】

[適用例8] 本適用例に係る原子発振器の製造方法は、共鳴光を出射する発光素子を半導体基板上に形成する第1の工程と、前記発光素子上に酸化膜を積層する第2の工程と、前記酸化膜上にセル層を積層する第3の工程と、前記受光部の上部の前記セル層に開口部を有するように空洞を形成する第4の工程と、前記空洞に気体状のアルカリ金属原子を封入する第5の工程と、前記開口部を透明部材により封止する第6の工程と、前記共鳴光が前記アルカリ金属原子を透過した光を受光する受光部を、前記発光素子とともに前記アルカリ金属原子を挟むように配置する第7の工程と、を含むことを特徴とする。

30

【0021】

本適用例によれば、半導体基板上に受光素子が形成され、容易にモノリシック原子発振器を構成することが出来、小型化とコストダウンを図ることができる。

【図面の簡単な説明】

【0022】

【図1】本発明の第1の実施形態に係る原子発振器の構成を示す断面図である。

【図2】本発明の第2の実施形態に係る原子発振器の構成を示す断面図である。

【図3】本発明の第3の実施形態に係る原子発振器の構成を示す断面図である。

40

【図4】図1の原子発振器の製造工程を説明するフロー・チャートである。

【図5】図2の原子発振器の製造工程を説明するフロー・チャートである。

【図6】図3の原子発振器の製造工程を説明するフロー・チャートである。

【発明を実施するための形態】

【0023】

以下、本発明を図に示した実施形態を用いて詳細に説明する。但し、この実施形態に記載される構成要素、種類、組み合わせ、形状、その相対配置などは特定的な記載がない限り、この発明の範囲をそれのみに限定する主旨ではなく単なる説明例に過ぎない。

【0024】

図1は本発明の第1の実施形態に係る原子発振器の構成を示す断面図である。この原子

50

発振器 50 は、半導体基板上に形成された受光部 6a を有する受光素子 (P D : Photodiode) 6 と、受光素子 6 上に積層され、受光部 6a の上部に開口部 8a を有する空洞 8b が形成されたセル層 8 と、空洞 8b に封入された気体状のアルカリ金属原子 5 と、開口部 8a を閉止するカバーガラス (透明部材) 4 と、カバーガラス 4 を介してアルカリ金属原子 5 に共鳴光を出射する発光素子 (V C S E L : Vertical Cavity Surface Emitting Laser (垂直共振器面発光レーザー)) 1 と、を備えて構成されている。尚、受光素子 (P D) 6 には電極 7 が備えられ、カバーガラス 4 上には発光素子 1 用の電極 3 が形成されている。そして発光素子 1 のバンプ 2 を介して電極 3 と接続される。

即ち、本発明では、まず半導体基板上に受光部 6a を有する受光素子 6 を形成する。そして、更にその上にセル層 8 を積層して、エッチングにより受光部 6a の上部に開口部 8a を有する空洞 8b を形成する。このセル層 8 が搭載された状態の構造体をアルカリ金属原子の雰囲気内に置くことにより、空洞 8b にアルカリ金属原子 5 が充満する。その状態で開口部 8a をカバーガラス 4 にて閉止して、カバーガラス 4 とセル層 8 とで凹部を有するキャップを構成する。  
10

そして、カバーガラス 4 の上面の電極 3 にバンプ 2 により発光素子 6 を電極 3 に接続する。

尚、複数の原子発振器を効率的に形成するためにはバッチ処理工程を採用することが望ましい。

即ち、複数の受光部 6a を形成したウエハー状態の半導体基板上にウエハー状態のセル層 8 を重ねた後、所望の位置に複数の空洞 8b を形成し、その後、空洞 8b 内にアルカリ金属原子を入れた状態のまま開口部 8a を閉止するためにウエハー状態のセル層 8 にウエハー状態のカバーガラス 4 を重ね合わせて、接合した構造体を用意する。  
20

そして、この構造体に発光素子 1 を搭載する前または、発光素子 1 を搭載した後の段階で、構造体を原子発振器または発光素子 1 を搭載する前の状態の原子発振器用のパーツ毎に切断し、固体化する。これにより、容易にモノリシック原子発振器を構成することができる。

なお、半導体基板 6 に搭載する前に空洞 8b を形成したセル層 8 を用意しても良い。

#### 【0025】

図 2 は本発明の第 2 の実施形態に係る原子発振器の構成を示す断面図である。この原子発振器 51 は、半導体基板上に形成された受光部 6a を有する受光素子 6 (P D) と、受光素子 6 上に接合され、受光部 6a の上部に空洞 4b が形成されたカバーガラス (透明部材) 4 と、空洞 4b に封入された気体状のアルカリ金属原子 5 と、カバーガラス 4 を介してアルカリ金属原子 5 に共鳴光を出射する発光素子 (V C S E L) 1 と、を備えて構成されている。尚、受光素子 (P D) 6 には電極 7 が備えられ、カバーガラス 4 上には発光素子 1 用の電極 3 が形成されている。そして発光素子 1 のバンプ 2 を介して電極 3 と接続される。ここで図 1 と図 2 の違いは、図 1 では半導体基板上にセル層 8 を搭載した後、空洞 8b を形成し、空洞 8b 内のアルカリ金属原子 5 を板状のカバーガラス 4 により封止したものであり、図 2 では受光素子 6 とキャップとを予め別体で構成して置き、空洞 4b にアルカリ金属原子 5  
30

を封入しながら両者を接合するものである (製造方法は後述する)。

即ち、本実施形態では、カバーガラスで開口部を閉止する工程の省略を可能にしている。つまり、半導体基板上に受光部 6a を有する受光素子 6 を形成する。そして、透明材料として例えばガラスに空洞 4b を形成したキャップを用意する。その後、アルカリ金属原子の雰囲気内で空洞 4b の開口内に受光部 6a が収まるようにしてキャップと受光素子 6 とを重ね合わせて接合することにより、空洞 4b にアルカリ金属原子 5 が充満する。そして、バンプ 2 により発光素子 1 を接続する。これにより、エッチングなどの化学処理により受光部 6a を傷める心配もなく、容易にモノリシック原子発振器を構成することができる。  
40

なお、図 1 に示したモノリシック原子発振器の場合においても、受光素子 6 とキャップとを別体で用意しておき、両者をアルカリ金属原子の雰囲気内で接合しても良い。

10

20

30

40

50

## 【0026】

図3は本発明の第3の実施形態に係る原子発振器の構成を示す断面図である。この原子発振器52は、半導体基板上に形成された発光部1aを有する発光素子(VCSEL)1と、発光素子1上に積層され、発光部1aの上部に開口部8aを有する空洞8bが形成されたセル層8と、空洞8bに封入された気体状のアルカリ金属原子5と、開口部8aを閉止するカバーガラス(透明部材)4と、カバーガラス4を介してアルカリ金属原子5を透過した共鳴光を受光する受光素子(PD)6と、を備えて構成されている。尚、発光素子(VCSEL)1には電極10が備えられ、カバーガラス4上には受光素子6用の電極3が形成されている。そして受光素子6のバンプ2を介して電極3と接続される。ここで図1と図3の違いは、図1では、受光素子6上に積層したセル層8に空洞8bを形成したが、図3では、発光素子1上に積層したセル層8に空洞8bを形成した。

即ち、本発明では、図1に係る発光素子1と受光素子6の配置を逆転した構成である。即ち、半導体基板上に発光部1aを有する発光素子1を形成する。そして、更にその上にセル層8を積層して、エッチングにより発光部1aの上部に開口部8aを有する空洞8bを形成する。このセル層8をアルカリ金属原子の雰囲気内に置くことにより、空洞8bにアルカリ金属原子5が充満する。その状態で開口部8aをカバーガラス4にて閉止して、バンプ2により受光素子6を接続する。これにより、容易にモノリシック原子発振器を構成することができる。

## 【0027】

図4は図1の原子発振器の製造工程を説明するフローチャートである。まず、半導体基板上に受光素子6を形成し(S1)、更に電極取出し用の金属膜(以下、単に電極7と呼ぶ)を形成する(S2)。次に、受光素子6上にセル層を積層する(S3)。そして、セル層の一部をエッチングして空洞8bを形成する(S4)。このとき空洞8bは一方に開口部8aを設ける。次に空洞8bに気体状のアルカリ金属原子5を封入し(S5)、カバーガラス4により開口部8aを封止して接合する(S6)。そのカバーガラス4上に電極3を形成する(S7)。最後にアルカリ金属原子5に共鳴光を出射する発光素子1を開口部8a上に実装し、電極3とバンプ2とを接続(フリップチップボンディング)する(S8)。

## 【0028】

図5は図2の原子発振器の製造工程を説明するフローチャートである。まず、半導体基板上に受光素子6を形成し(S11)、更に電極7を形成する(S12)。次に、受光素子6上に酸化膜9を積層する(S13)。そして、図2のA部にアルカリ金属を積層する(S14)。そして受光素子6と対向する位置に空洞4bを有するキャップをその上から接合する(S15)。そのキャップ上に電極3を形成する(S16)。最後にアルカリ金属原子5に共鳴光を出射する発光素子1をキャップ上に実装し、電極3とバンプ2とを接続(フリップチップボンディング)する(S17)。

## 【0029】

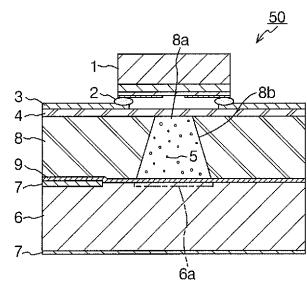
図6は図3の原子発振器の製造工程を説明するフローチャートである。まず、半導体基板上に発光素子1を形成し(S21)、更に電極10を形成する(S22)。次に、発光素子1上にセル層8を積層する(S23)。そして、セル層8の一部をエッチングして空洞8bを形成する(S24)。次に空洞8bに気体状のアルカリ金属原子5を封入し(S25)、カバーガラス4により開口部8aを封止して接合する(S26)。そのカバーガラス4上に電極3を形成する(S27)。最後に共鳴光を受光する受光素子6を開口部8a上に実装し、電極3とバンプ2とを接続(フリップチップボンディング)する(S28)。

## 【符号の説明】

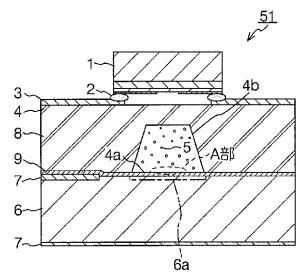
## 【0030】

1 発光素子(VCSEL)、1a 発光部、2 バンプ、3 電極、4 カバーガラス、5 アルカリ金属ガス(Csガス)、6 受光素子(PD)、6a 受光部、7 電極、8 セル層、9 酸化皮膜、10 電極、50、51、52 原子発振器

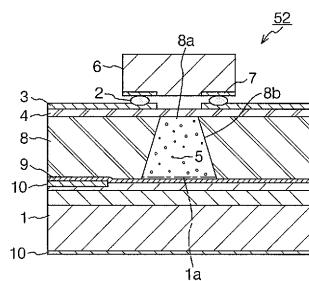
【図1】



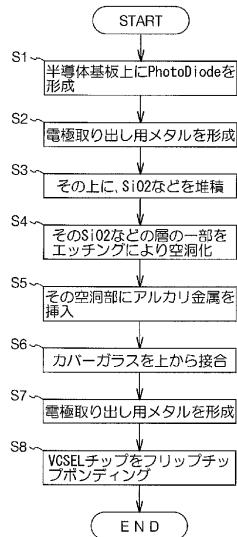
【図2】



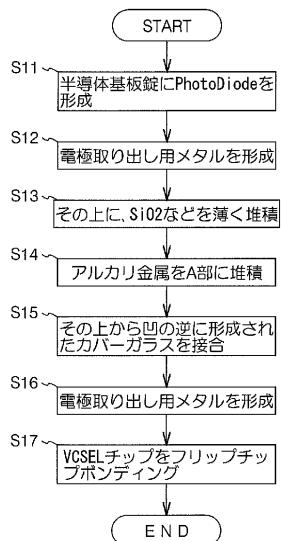
【図3】



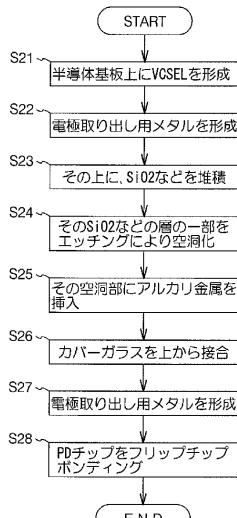
【図4】



【図5】



【図6】



---

フロントページの続き

審査官 古田 敦浩

(56)参考文献 米国特許出願公開第2005/0184815(US, A1)

米国特許出願公開第2006/0051883(US, A1)

米国特許出願公開第2007/0247241(US, A1)

米国特許出願公開第2009/0066430(US, A1)

米国特許出願公開第2009/0251224(US, A1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01S 1/00 - 1/06

H03L 7/26

G04F 5/14