

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第5581887号  
(P5581887)

(45) 発行日 平成26年9月3日 (2014.9.3)

(24) 登録日 平成26年7月25日 (2014.7.25)

(51) Int.Cl.

F I

H03H 9/02 (2006.01)

H03H 9/02 M

H03H 9/19 (2006.01)

H03H 9/02 K

H03H 9/215 (2006.01)

H03H 9/19 J

H03H 3/02 (2006.01)

H03H 9/215

H03H 3/04 (2006.01)

H03H 3/02 D

請求項の数 11 (全 15 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2010-180100 (P2010-180100)  
 (22) 出願日 平成22年8月11日 (2010.8.11)  
 (65) 公開番号 特開2011-155628 (P2011-155628A)  
 (43) 公開日 平成23年8月11日 (2011.8.11)  
 審査請求日 平成25年7月17日 (2013.7.17)  
 (31) 優先権主張番号 特願2009-299045 (P2009-299045)  
 (32) 優先日 平成21年12月29日 (2009.12.29)  
 (33) 優先権主張国 日本国 (JP)

(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 雅誉  
 (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 河合 宏紀  
 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

審査官 橋本 和志

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 振動片、振動子、発振器、電子機器、および周波数調整方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

基部と、

前記基部から延びている振動腕と、

前記振動腕の共振周波数を調整する第1質量部と、を有し、

前記振動腕は屈曲振動し、前記屈曲振動により圧縮または伸長する第1面と、前記第1面が圧縮したときに伸長し前記第1面が伸長したときに圧縮する第2面とを、有し、

前記第1質量部は、前記第1面および前記第2面の少なくとも一方の面であって、前記振動腕の前記基部側の端部から先端部までの全長  $L$  に対して、前記基部側の端部から  $0.30L$  以上、 $0.65L$  以下の範囲の少なくとも一部に設けられていることを特徴とする振動片。

【請求項 2】

請求項 1 に記載の振動片において、

前記第1質量部は、前記振動腕の前記全長  $L$  に対して、前記基部側の端部から  $0.42L$  以上、 $0.57L$  以下の範囲の少なくとも一部に設けられていることを特徴とする振動片。

【請求項 3】

請求項 1 または 2 に記載の振動片において、

前記第1質量部に金膜を用いたことを特徴とする振動片。

【請求項 4】

10

20

請求項 3 に記載の振動片において、

前記第 1 質量部にスリットが設けられていることを特徴とする振動片。

【請求項 5】

請求項 1 乃至 4 のいずれか一項に記載の振動片において、

前記振動腕の前記先端部の前記第 1 面および前記第 2 面の少なくとも一方の面にさらに共振周波数を調整する第 2 質量部が設けられたことを特徴とする振動片。

【請求項 6】

基部と、

前記基部から延びている振動腕と、

前記振動腕の共振周波数を調整する第 1 質量部と、を有し、

前記振動腕は屈曲振動し、前記屈曲振動により圧縮または伸長する第 1 面と、前記第 1 面が圧縮したときに伸長し前記第 1 面が伸長したときに圧縮する第 2 面とを、有し、

前記第 1 質量部は、前記第 1 面および前記第 2 面の少なくとも一方の面であって、前記振動腕の前記基部側の端部から先端部までの全長  $L$  に対して、前記基部側の端部から  $0.30L$  以上、 $0.65L$  以下の範囲の少なくとも一部に形成されている振動片を用意する工程と、

前記第 1 質量部の質量を変化させることにより前記振動腕の共振周波数を調整する微調工程と、を含む周波数調整方法。

【請求項 7】

請求項 6 に記載の前記微調工程において、

前記振動腕の前記先端部に形成された前記第 1 質量部から質量を減少させることを特徴とする周波数調整方法。

【請求項 8】

請求項 6 または 7 に記載の前記微調工程において、

前記第 1 質量部に金膜を用い、前記金膜をレーザーで除去することにより前記第 1 質量部の質量を減少させることを特徴とする周波数調整方法。

【請求項 9】

請求項 1 乃至 5 のいずれか一項に記載の振動片と、

前記振動片を収納したパッケージと、

を備えることを特徴とする振動子。

【請求項 10】

請求項 1 乃至 5 のいずれか一項に記載の振動片と、

前記振動片に接続された回路素子と、

を備えることを特徴とする発振器。

【請求項 11】

請求項 1 乃至 5 のいずれか一項に記載の振動片を用いたことを特徴とする電子機器。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、振動片、振動子、発振器、電子機器、および周波数調整方法に関する。

【背景技術】

【0002】

振動腕を有する振動子において、振動腕が面内で振動するのではなく、振動腕の厚み方向に振動（面外振動）する振動片が知られている。この振動片は、一般に奇数本の振動腕を有し、3 本以上の振動腕を持つ場合、隣り合う振動腕が反対方向の振動を交互に繰り返す振動（ウォークモード振動）を行う。

面内振動を行う音叉型の振動子における周波数（共振周波数）の調整は、振動腕の先端部に振動方向の平面に錘を設け、この錘にレーザー光などを照射して錘の一部を除去して行っている。これは錘の一部を除去し、振動腕の重量を減少させることで周波数を順次高くして周波数調整が行われる（例えば特許文献 1 参照）。

10

20

30

40

50

これに対して、面外振動を行う振動子の周波数（共振周波数）は、振動腕の振動方向の厚みに比例し、振動腕の長さの二乗に反比例する。このため、周波数の調整は振動腕の厚みとなる面に錘を付加せず振動腕の側面に錘を付加し、レーザー光を照射してこの側面の錘の一部を除去することで行っている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【特許文献1】特開2003-318685号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

10

【0004】

面外振動を行う振動子の小型化を図る場合、振動腕の長さが短くなるため、同じ周波数を得るためには振動腕の厚みを薄くする必要がある。

しかしながら、薄い振動腕の側面に従来と同様に錘を付加することは困難である。また、振動腕の側面に錘を付加することができたとしても、レーザー光を照射してこの錘の一部を削除することは非常に困難であり、面外振動を行う振動子の周波数調整を容易にかつ精度よく行うことが望まれている。

【課題を解決するための手段】

【0005】

本発明は上記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、以下の形態または適用例として実現することが可能である。

20

【0006】

〔適用例1〕本適用例に係る振動片は、第1軸と該第1軸に直交する第2軸とを含む平面上に設けられた基部と、前記基部から第1軸方向に延びる振動腕と、前記振動腕の共振周波数を調整する第1質量部と、を有し、前記振動腕は前記平面に対し垂直方向に屈曲振動し、屈曲振動により圧縮または伸長する第1面と、前記第1面が圧縮したときに伸長し前記第1面が伸長したときに圧縮する第2面とを、有し、前記第1質量部は前記第1面および前記第2面の少なくとも一方の面であって、前記振動腕の基部側の端部から先端部までの長さの略中心に設けられたことを特徴とする。

【0007】

30

この構成によれば、振動片の第1質量部が振動腕の長さの略中心に形成されている。この振動腕の中心では質量の増減により周波数が増減する錘効果と、振動腕の厚みにより周波数が増減する厚み効果との境界が存在する。例えば、膜などを除去した場合、錘効果が支配的な部分では周波数は+側に高く調整され、厚み効果が支配的な部分では周波数は-側に低く調整される。膜を付加した場合は、この反対に錘効果が支配的な部分では周波数は-側に低く調整され、厚み効果が支配的な部分では周波数は+側に高く調整される。

このように、この振動腕の中心では振動片の周波数を+側、-側に調整することができ、さらに、その周波数調整による周波数の変化量は小さく、容易で、かつ精度の高い周波数調整が可能である。

【0008】

40

〔適用例2〕上記適用例にかかる振動片において、前記第1質量部に金膜を用いたことが望ましい。

【0009】

この構成によれば、第1質量部が金膜であることから、金膜の一部を削除するのが容易であり、良好な周波数調整ができる。

【0010】

〔適用例3〕上記適用例にかかる振動片において、前記第1質量部にスリットが設けられたことが望ましい。

【0011】

この構成によれば、第1質量部にスリットが形成されている。つまり、面に金属膜が疎

50

に形成されていることから、金属膜を除去して振動片の周波数調整を行う際に、微小な量を削除でき、周波数の変化量が少なく、精度よく周波数を合わせこむことができる。

【 0 0 1 2 】

〔適用例 4〕上記適用例にかかる振動片において、前記第 1 質量部が振動腕の全長  $L$  に対して、基部側の端部から  $0.30L$  以上、 $0.65L$  以下の範囲の少なくとも一部に設けられていることが望ましい。

【 0 0 1 3 】

この構成によれば、基部側の端部から  $0.30L \sim 0.65L$  の間の位置に設けられた第 1 質量部では金膜を除去することで周波数偏差  $\pm 1000$  ppm の周波数調整が可能である。このように、振動片の周波数の調整は周波数を + 側に高くする方向、および周波数を - 側に低くする方向にも調整が可能である。このことから、この第 1 質量部では調整範囲の広い周波数調整ができ、かつ精度の高い振動片の周波数調整が可能である。

10

【 0 0 1 4 】

〔適用例 5〕上記適用例にかかる振動片において、前記第 1 質量部が振動腕の全長  $L$  に対して、基部側の端部から  $0.42L$  以上、 $0.57L$  以下の範囲の少なくとも一部に設けられたことが望ましい。

【 0 0 1 5 】

この構成によれば、基部側の端部から  $0.42L \sim 0.57L$  の間の位置に設けられた第 1 質量部では金膜を除去することで周波数偏差  $\pm 200$  ppm の周波数調整が可能である。このように、振動片の周波数の調整は周波数を + 側に高くする方向、および周波数を - 側に低くする方向にも調整が可能である。このことから、この第 1 質量部では調整範囲の狭い周波数調整ができ、かつ精度の高い振動片の周波数調整が可能である。

20

【 0 0 1 6 】

〔適用例 6〕上記適用例にかかる振動片において、前記振動腕の先端部の前記第 1 面および前記第 2 面の少なくとも一方の面にさらに共振周波数を調整する第 2 質量部が設けられたことが望ましい。

【 0 0 1 7 】

この構成によれば、振動腕の先端部の粗調用の第 2 質量部で粗調を行い、略中心の第 1 質量部で微調を行うことができる。このことから、調整量の多い振動片の周波数調整における加工時間を短時間にすることが可能である。

30

【 0 0 1 8 】

〔適用例 7〕本適用例にかかる周波数調整方法は、第 1 軸と該第 1 軸に直交する第 2 軸とを含む平面上に形成される基部と、前記基部から第 1 軸方向に延びる振動腕と、前記振動腕の共振周波数を調整する第 1 質量部と、を有し、前記振動腕は前記平面に対し垂直方向に屈曲振動し、屈曲振動により圧縮または伸長する第 1 面と、前記第 1 面が圧縮したときに伸長し前記第 1 面が伸長したときに圧縮する第 2 面とを、有し前記第 1 質量部は前記第 1 面および前記第 2 面の少なくとも一方の面であって、前記振動腕の基部側の端部から先端部までの長さの略中心に形成されている振動片を用意する工程と、前記第 1 質量部の質量を変化させることにより前記振動腕の共振周波数を調整する微調工程と、を有することを特徴とする。

40

【 0 0 1 9 】

この周波数調整方法によれば、振動腕の長さの略中心に形成されている第 1 質量部の質量を変化させることで振動片の共振周波数の微調を行う。

この振動腕の中心では質量の増減により周波数が増減する錘効果と、振動腕の厚みにより周波数が増減する厚み効果との境界が存在する。例えば、膜などを除去した場合、錘効果が支配的な部分では周波数は + 側に高く調整され、厚み効果が支配的な部分では周波数は - 側に低く調整される。膜を付加した場合は、この反対に錘効果が支配的な部分では周波数は - 側に低く調整され、厚み効果が支配的な部分では周波数は + 側に高く調整される。

このように、この振動腕の中心では振動片の周波数を + 側、- 側に調整することができ

50

、さらに、その周波数調整による周波数の変化量は小さく、容易でかつ精度の高い周波数調整が可能である。

【 0 0 2 0 】

〔適用例 8〕上記適用例にかかる周波数調整方法において、前記振動片の周波数は、前記微調工程前において目標の周波数に対して低くなるように設定され、前記振動腕の前記第 1 軸方向の長さの略中心に対し先端部側に形成された前記第 1 質量部から質量を減少させることが望ましい。

【 0 0 2 1 】

この周波数調整方法によれば、振動腕の第 1 軸方向の長さの中心に対し先端部側に形成された第 1 質量部から質量を減少させる。このようにすれば、周波数を最初に大きく変化させることができ、効率的な周波数調整ができる。

10

【 0 0 2 2 】

〔適用例 9〕上記適用例にかかる周波数調整方法において、前記第 1 質量部に金膜を用い、前記金膜をレーザーで除去することにより前記第 1 質量部の質量を減少させることが望ましい。

【 0 0 2 3 】

この周波数調整方法によれば、レーザー光を金膜に照射して金膜の一部を除去して第 1 質量部の質量を減少させる。金膜はレーザーにより容易に除去が可能であり、効率の良い周波数調整ができる。

【 0 0 2 4 】

20

〔適用例 10〕本適用例にかかる振動子は、上記適用例のいずれかに記載の振動片と、前記振動片を収納したパッケージと、を備えることを特徴とする。

【 0 0 2 5 】

この構成によれば、振動子は、周波数調整が容易で、しかも精度よく周波数調整が行える振動片を備えており、周波数精度に優れた振動子を提供できる。

【 0 0 2 6 】

〔適用例 11〕本適用例にかかる発振器は、上記適用例のいずれかに記載の振動片と、前記振動片に接続された回路素子と、を備えることを特徴とする。

【 0 0 2 7 】

この構成によれば、発振器は、周波数調整が容易で、しかも精度よく周波数調整が行える振動片を備えており、周波数精度に優れた発振器を提供できる。

30

【 0 0 2 8 】

〔適用例 12〕本適用例にかかる電子機器は、上記適用例のいずれかに記載の振動片を用いたことを特徴とする。

【 0 0 2 9 】

この構成によれば、電子機器は、上記適用例 1 ～ 上記適用例 6 のいずれか一例に記載の効果を奏する電子機器を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 3 0 】

【図 1】面外振動を行う振動片の一例を説明する概略斜視図。

40

【図 2】振動腕に形成された金属膜の形成位置と周波数の関係を示すグラフ。

【図 3】第 1 の実施形態の振動片の構成を示し、( a ) は概略平面図、( b ) は同図 ( a ) の A - A 断線に沿う概略断面図、( c ) は同図 ( a ) の B - B 断線に沿う概略断面図。

【図 4】第 1 の実施形態における周波数の調整範囲 ( 調整量 ) と振動腕の長さに対する質量部の位置に関するグラフ。

【図 5】第 1 の実施形態における振動片における周波数調整の手順を説明する模式図。

【図 6】変形例における第 1 質量部の金属膜の構成を示す構成図。

【図 7】第 2 の実施形態の振動子の構成を示し、( a ) は概略平面図、( b ) は同図 ( a ) の G - G 断線に沿う概略断面図。

【図 8】第 3 の実施形態の発振器の構成を示し、( a ) は概略平面図、( b ) は同図 ( a )

50

)のH-H断線に沿う概略断面図。

【発明を実施するための形態】

【0031】

実施形態の説明に先立ち、本発明の理解のために、面外振動を行う振動片における質量部と周波数の関係について説明する。

図1は面外振動を行う振動片の一例を説明する概略斜視図である。図2は振動腕に形成された金属膜の形成位置と周波数の関係を示すグラフである。

図1に示すように、面外振動を行う振動片1は、基部15と、基部15から平行して延びる3本の振動腕11, 12, 13を有している。

ここで、振動腕11, 12, 13が延びる方向をY方向(第1軸)、Y方向に直交し振動腕11, 12, 13が並ぶ方向をX方向(第2軸)としたとき、Y方向とX方向に直交する方向をZ方向とする。

【0032】

面外振動は振動腕の先端がZ方向、つまりXY平面に対し垂直方向に振動し、かつ隣り合う振動腕とは反対の方向になるように振動を繰り返す振動である。このような振動は振動腕が形成されるXY平面から外れて振動するため、一般的に面外振動と呼ばれている。

このため、振動腕11, 13が+Z方向に振動し振動腕12が-Z方向に振動した場合、XY平面に形成される振動腕11, 12, 13の対向する第1面11a, 12a, 13aと第2面11b, 12b, 13bは、第1面11a, 13aは圧縮し第2面11b, 13bは伸長し、他方で第1面12aは伸長し第2面12bは圧縮する。また、振動腕11, 13が-Z方向に振動し、振動腕12が+Z方向に振動した場合は、圧縮と伸長の関係が前述と逆になる。なお、振動腕は3本に限らず、1本であっても良いし5本であっても良い。

【0033】

このような面外振動を行う振動片において、振動片の共振周波数を $f$ 、振動腕の全長を $L$ 、振動腕の振動方向の厚みを $t$ とすると、 $f \propto (t/L^2)$ 、という関係がある。

つまり、面外振動を行う振動片の共振周波数 $f$ は、振動腕の振動方向の厚み $t$ に比例し、振動腕の全長 $L$ の二乗に反比例する。

【0034】

このような振動片の基本的な特性において、音叉型の面内振動を行う振動片と同様に、XY平面内にある振動腕の第1面あるいは第2面に、膜の付加または膜の除去を行って周波数調整をする場合には、単純な錘の効果だけでなく厚みの変化も考慮する必要がある。このため、振動腕の第1面あるいは第2面に膜の付加または膜の除去による周波数調整は困難であると考えられていた。

【0035】

そこで、発明者は基部に1本の振動腕が形成された面外振動を行う振動片をモデルとして、XY平面内にある振動腕の一面に金属膜を形成し、それを振動腕の先端側から削除していったときの周波数の変化をシミュレーションして考察を行った。

図2がそのグラフであり、縦軸に規格化した周波数変化量 $f$ を取り、横軸に振動腕の全長 $L$ に対する周波数調整膜としての金属膜の基部からの長さをとっている。縦軸の $f$ は、振動腕に金属膜(周波数調整膜)を形成しないときの周波数を $f_0$ とし、金属膜(周波数調整膜)を形成したときの周波数を $f$ としたときに $f = (f - f_0) / f_0$ とし、さらに $f$ の最大値が1となるように $f(\text{規格化}) = f / (f \text{の最大値})$ として規格化した数値である。なお、このグラフは金属膜として金(Au)膜を形成した場合のデータである。

【0036】

図2のグラフによれば、振動腕に形成した金属膜を先端側から削除していくと、周波数は順次高くなるように変化し、振動腕のほぼ中心で周波数の変化がゼロになる。そして、さらに金属膜を基部に向かって除去していくと、今度は周波数が低くなるように変化していく。また、周波数の変化量は中心に近いほど小さくなっている。

振動腕の長さの略中心を境にして、振動腕の先端側では錘効果が支配的になり、金属膜の除去により周波数は高くなる方向に変化する。また、振動腕の長さの略中心から振動腕の基部側では厚み効果が支配的になり、金属膜の除去により周波数は低くなる方向に変化する。

このように、発明者は、振動腕の長さのほぼ中心に周波数変化の方向が異なる境界が存在することを見出した。そして、これらの知見に基づき、発明者は本発明を創出するに至った。

#### 【 0 0 3 7 】

以下、本発明を具体化した実施形態について図面に従って説明する。なお、以下の説明に用いる各図面では、各部材を認識可能な大きさとするため、各部材の寸法の割合を適宜変更している。

(第1の実施形態)

#### 【 0 0 3 8 】

図3は本実施形態の振動片の構成を示し、図3(a)は概略平面図であり、図3(b)は同図(a)のA-A断線に沿う概略断面図、図3(c)は同図(a)のB-B断線に沿う概略断面図である。

振動片1は直交座標系でXY平面に展開したときに、Z方向を厚みとする形態である。振動片1は3本の振動腕11, 12, 13を有し、振動腕11, 12, 13はX方向(第2軸方向)に並列されると共に、Y方向(第1軸方向)に互いに平行に延在している。そして、振動腕11, 12, 13は基部15に連結され、各振動腕11, 12, 13が片持ち構造となる振動片1を構成している。このとき基部15はY方向(第1軸)とY方向(第1軸)に直交するX方向(第2軸)とを含む平面(XY平面)上に形成されているとも言える。

#### 【 0 0 3 9 】

振動腕11, 12, 13の基部15に近い位置にはそれぞれ圧電素子61, 62, 63が形成されている。

振動腕11に形成された圧電素子61は、図3(b)に示すように、振動腕11の厚みを規定する対向する面(Z方向に垂直な面)の一方の面側に設けられている。そして圧電素子61は、下部電極21、圧電膜31、上部電極41が積層されて形成されている。なお、図示しないが圧電膜31と上部電極41との間に絶縁膜を形成しても良い。

#### 【 0 0 4 0 】

このようにして、圧電膜31を挟んで下部電極21と上部電極41とが対向することで圧電素子61が形成され、各電極間に正負の電圧をかけることで圧電膜が圧縮または伸長することが可能である。そして、圧電膜が圧縮または伸長することで、振動腕11をZ方向に変位させることができる。

同様に、振動腕12, 13に形成された圧電素子62, 63は、振動腕11の厚みを規定する対向する面の一方の面側に下部電極22, 23、圧電膜32, 33、上部電極42, 43が積層されて形成されている。

#### 【 0 0 4 1 】

また、下部電極21, 22, 23および上部電極41, 42, 43は振動片1の基部15に引き出され、収容器などの基台に固定されて電氣的導通が図られるマウント電極45, 46に接続されている。また、下部電極21, 23と上部電極42とを繋ぐ接続部47が設けられ、さらに、下部電極22と上部電極41, 43とを繋ぐ接続部48が設けられ、圧電素子61, 63と圧電素子62との極性が逆になるように構成されている。このように構成することにより、振動腕11, 13が+Z方向に振動する場合に、振動腕12は-Z方向に振動する。

#### 【 0 0 4 2 】

図3(c)に示すように、振動腕11の圧電素子61が形成された面と同じ面には、第1質量部51が設けられている。この第1質量部51は金(Au)膜で形成されている。なお、金膜は基材との密着力を強くするために、下地にクロム(Cr)膜などの下地層を

10

20

30

40

50

形成しても良い。また、金膜に代えてアルミニウム ( A l ) 膜などの金属膜を採用してもよい。

この第 1 質量部 5 1 は、振動腕 1 1 の周波数を調整するために設けられ、金膜の一部を除去することで振動腕 1 1 の周波数が調整される。そして、第 1 質量部 5 1 は、振動腕 1 1 のほぼ中心に形成されている。

#### 【 0 0 4 3 】

次に振動腕に配置される第 1 質量部 5 1 の位置について詳しく説明する。

図 4 は周波数の調整範囲 ( 調整量 ) と振動腕の全長 L に対する第 1 質量部の基部からの位置に関するグラフである。このグラフは図 2 で説明したグラフと同じものであり、第 1 質量部として金膜を形成したときのデータである。

このグラフによれば、振動腕に形成した金膜を先端側から削除していくと、周波数は順次高くなるように変化し、振動腕のほぼ中央 ( 0 . 5 L ) で周波数の変化がゼロになる。そして、さらに金膜を基部に向かって除去していくと、今度は周波数が低くなるように変化していく。また、周波数の変化量は中央 ( 0 . 5 L ) に近いほど小さくなっている。このように、振動腕の長さの中心を境にして、振動腕の先端側では錘効果が支配的になり、金属膜の除去により周波数は高くなる方向に変化する。また、振動腕の長さの略中心から振動腕の基部側では厚み効果が支配的になり、金属膜の除去により周波数は低くなる方向に変化する。この現象を利用して、例えば、第 1 質量部 5 1 を振動腕 1 1 の全長 L に対して、基部 1 5 から 0 . 3 0 L 以上、0 . 6 5 L 以下の範囲の少なくとも一部に設け、0 . 3 0 L 以上、0 . 6 5 L 以下の範囲内にある金膜を除去することで周波数変化量が  $\pm 1 0 0 0$  p p m の周波数調整が可能である。また、基部 1 5 から 0 . 4 2 L 以上、0 . 5 7 L 以下の範囲の少なくとも一部に設け、0 . 4 2 L 以上、0 . 5 7 L 以下の範囲内にある金膜を除去することで周波数変化量が  $\pm 2 0 0$  p p m の周波数調整が可能である。

本実施形態では基部 1 5 から 0 . 4 2 L 以上、0 . 5 7 L 以下の範囲に第 1 質量部 5 1 が設けられている。

#### 【 0 0 4 4 】

そして、振動腕 1 2 , 1 3 においても振動腕 1 1 と同様に第 1 質量部 5 2 , 5 3 が設けられている。

さらに、図 3 ( a ) に示すように、振動腕 1 1 , 1 2 , 1 3 の第 1 質量部 5 1 , 5 2 , 5 3 が形成された同一面であり、その先端部に粗調用の第 2 質量部 5 5 , 5 6 , 5 7 が設けられている。粗調用の第 2 質量部 5 5 , 5 6 , 5 7 は第 1 質量部 5 1 , 5 2 , 5 3 と同様に金膜で形成されている。なお、粗調用の第 2 質量部 5 5 , 5 6 , 5 7 と第 1 質量部 5 1 , 5 2 , 5 3 との間にも金属膜を配置して両者が繋がった形態としてもよい。

#### 【 0 0 4 5 】

この振動腕の先端部に形成された粗調用の第 2 質量部 5 5 , 5 6 , 5 7 では、図 4 に示すように、この金膜を除去することによる周波数の変化量が大きく、調整量の多い振動片の粗調用の周波数調整として利用できる。このように、振動腕 1 1 , 1 2 , 1 3 の先端部を粗調用の質量部とし、略中心を微調用の質量部とすることで、短時間に効率よく振動片 1 の周波数調整が可能である。

この粗調用の第 2 質量部 5 5 , 5 6 , 5 7 は振動片 1 の調整量が少ない場合には、必ずしも必要ではなく、第 1 質量部 5 1 , 5 2 , 5 3 だけで周波数の調整が可能である。例えば、基部 1 5 から 0 . 3 0 L 以上、0 . 6 5 L 以下の範囲に第 1 質量部 5 1 , 5 2 , 5 3 を設けて、周波数の調整量として  $\pm 1 0 0 0$  p p m の加工ができる。

#### 【 0 0 4 6 】

以上説明したように本実施形態は、面外振動をおこなう振動片において、振動腕の長さのほぼ中心に周波数変化の正負の方向が異なる境界が存在することを見出し、振動腕の周波数を微調整するための第 1 質量部を振動腕の全長 L に対しほぼ中心に設けることで、精度の高い周波数の微調整が可能となる。

#### 【 0 0 4 7 】

なお、下部電極および上部電極は金 ( A u ) 、アルミニウム ( A l ) 、チタン ( T i )

10

20

30

40

50



などの金属材料を利用できる。また、下部電極および上部電極は下地との密着強度を向上させるために下地との間にクロム（Cr）膜を備えても良い。圧電膜としては、ZnO、AlN、PZT、LiNbO<sub>3</sub>、KNbO<sub>3</sub>などの材料を使用することができるが、特にZnO、AlNがより良好な特性が得られ好ましい。絶縁膜はSiO<sub>2</sub>、SiNなどが用いられる。

振動片1は水晶またはシリコンなどの基材を用いて形成されている。そして、振動片1の基材として水晶を用いる場合には、Xカット板、ATカット板、Zカット板などを利用することができる。

また、上記実施例では、第1質量部51、52、53、および粗調用の第2質量部55、56、57を振動腕の第1面側に形成しているが、これに限らず、第1質量部および第2質量部は、振動腕の第2面側に形成しても良いし、振動腕の第1面側および第2面側の両方に形成しても良い。

#### 【0048】

次に、以上のような振動片における周波数調整の方法の一例について説明する。

図5は振動片における周波数調整の手順を説明する模式図である。なお、図中では圧電素子、配線などは省略して表している。

図5(a)に示すように、振動片1の各振動腕11、12、13には粗調用の第2質量部と微調用の第1質量部とが設けられている。振動腕11、12、13の先端側が粗調用の第2質量部55、56、57であり、振動腕11、12、13の略中心が微調用の第1質量部51、52、53である。

なお、振動片1の周波数は調整前において、目標とする周波数に対して低くなるように設定されている。

#### 【0049】

まず、図5(b)に示すように、各振動腕11、12、13の粗調用の第2質量部55、56、57の金属膜にレーザー光を照射して、その一部を除去する。

レーザー光の照射は各振動腕11、12、13を横断するように、X方向に連続して照射が行われ、ライン状に金属膜が除去され、粗調用の第2質量部55、56、57にレーザー加工線59が形成される。このレーザー光の照射は、振動片1の周波数が所望の周波数範囲になるまで繰り返され、金属膜の除去により振動片1の周波数は高くなるように調整される。また、粗調後の周波数は、目標とする周波数に対して低くなるように設定されている。

#### 【0050】

次に、振動片1の粗調が終了すると、図5(c)に示すように、各振動腕11、12、13の微調用の第1質量部51、52、53の金属膜にレーザー光を照射して、その一部を除去する。

レーザー光の照射は第1質量部51、52、53の基部15とは反対側の部分から行われる。これは、第1質量部51、52、53の基部15とは反対側の部分では錘効果が支配的な部分であり、金属膜を除去することで振動片1の周波数が高くなる方向に調整できるためである。

レーザー光の照射は各振動腕11、12、13を横断するように、X方向に連続して照射が行われ、ライン状に金属膜が除去され、微調用の第1質量部51、52、53にレーザー加工線59が形成される。このレーザー光の照射は、振動片1の周波数が目標の周波数になるまで繰り返されて終了する。

#### 【0051】

ここで、例えば、第1質量部51、52、53にレーザー光を照射して、周波数が高くなるように調整するが、金属膜を除去しすぎて周波数が目標の周波数より高くなってしまいう場合がある。このときには、第1質量部51、52、53の基部15側の部分にレーザー光を照射して周波数調整を行う。これは、第1質量部51、52、53の基部15側の部分では厚み効果が支配的な部分であり、金属膜を除去することで振動片1の周波数が低くなる方向に調整できるためである。

10

20

30

40

50

このように、振動片 1 の周波数を高くする方向だけでなく、周波数を低くすることができるため、周波数を精度良く調整することができる。

【 0 0 5 2 】

また、他の周波数調整方法として、粗調用の第 2 質量部 5 5 , 5 6 , 5 7 にて、目標とする周波数を狙って周波数調整を行い、その後、微調用の第 1 質量部 5 1 , 5 2 , 5 3 において周波数調整を行う。微調では、振動片 1 の周波数が目標とする周波数に対して高いか低いかを判断して、周波数が低い場合には基部 1 5 とは反対側の第 1 質量部 5 1 , 5 2 , 5 3 の金属膜を除去し、周波数が高い場合には基部 1 5 側の第 1 質量部 5 1 , 5 2 , 5 3 の金属膜を除去する。このような方法でも振動片 1 の周波数調整を行うことができる。

【 0 0 5 3 】

なお、第 1 質量部の金属膜をライン状に除去したが、間隔をあけてドット状に除去してもよい。

また、振動片 1 を収容器にマウントした場合、回路容量などにより周波数が変化するため、収容器に振動片 1 をマウントした後に周波数調整を行うのがより好ましい。

【 0 0 5 4 】

以上、本実施形態の面外振動を行う振動片 1 は、振動腕 1 1 , 1 2 , 1 3 の全長 L のほぼ中心に第 1 質量部 5 1 , 5 2 , 5 3 が形成されている。この振動腕 1 1 , 1 2 , 1 3 の中心では質量の増減により周波数が増減する錘効果と、振動腕 1 1 , 1 2 , 1 3 の厚みにより周波数が増減する厚み効果との境界が存在する。例えば、金属膜などを除去した場合、錘効果が支配的な部分では周波数は高く調整され、厚み効果が支配的な部分では周波数は低く調整される。

【 0 0 5 5 】

このように、この振動腕 1 1 , 1 2 , 1 3 の中間部では振動片 1 の周波数を + 側 ( 高く ) 、 - 側 ( 低く ) に調整することができ、その金属膜除去による周波数の変化量は小さく、精度の高い周波数調整が可能である。

さらに、このように振動腕 1 1 , 1 2 , 1 3 の X Y 平面に形成された第 1 質量部 5 1 , 5 2 , 5 3 にて周波数の調整ができるので、従来のように振動腕 1 1 , 1 2 , 1 3 の側面を加工することなく周波数調整が容易で、また、振動片 1 の小型化が可能である。

【 0 0 5 6 】

なお、第 1 質量部を振動腕の圧電素子を形成した面と同じ面に形成したが、対向する反対の面に形成しても良い。

さらに、本実施形態では金属膜を除去する方法にて説明したが、金属膜を付加する方法でも振動片の周波数調整が可能である。

( 変形例 )

【 0 0 5 7 】

次に、第 1 の実施形態の第 1 質量部における金属膜の構成の変形例について説明する。

図 6 は第 1 質量部の変形例における金属膜の構成を示し、図 6 ( a ) は変形例を示す平面図、図 6 ( b ) は同図 ( a ) の C - C 断面図、図 6 ( c ) は第 2 変形例を示す平面図、図 6 ( d ) は同図 ( c ) の D - D 断面図、図 6 ( e ) は第 3 の変形例を示す平面図、図 6 ( f ) は同図 ( e ) の E - E 断面図である。なお、図 6 では一つの振動腕について表し、他の 2 本の振動腕についても同様の構成とする。

【 0 0 5 8 】

変形例として、図 6 ( a ) 、 ( b ) に示すように、振動腕 1 1 の中間部に第 1 質量部 5 1 a が形成され、第 1 質量部 5 1 a の金属膜は振動腕 1 1 の延びる方向 ( Y 方向 ) に多数の溝部 5 4 が形成されスリットが形成されている。

また、第 2 の変形例として、図 6 ( c ) 、 ( d ) に示すように、振動腕 1 1 の中間部に第 1 質量部 5 1 b が形成され、第 1 質量部 5 1 b の金属膜は振動腕 1 1 の幅方向 ( X 方向 ) に多数の溝部 5 4 が形成されスリットが形成されている。

【 0 0 5 9 】

このように、第 1 質量部 5 1 a , 5 1 b にスリットが形成されていることから、同じ面

10

20

30

40

50

積の金属膜の除去に対して周波数の変化量が少なく、精度の高い微調を可能とする。

また、スリットを形成する方向は上記に限らず、斜め方向のスリットであっても良い。

【0060】

さらに、第3の変形例として、図6(e)、(f)に示すように、振動腕11の中心に第1質量部51c、51dが形成され、第1質量部51c、51dの金属膜は振動腕の幅方向(X方向)と長さ方向(Y方向)に多数のブロックに形成しても良い。なお、図示のように第1質量部51dを第1質量部51cよりも小さく形成することにより周波数調整量によって任意に質量部を選択することができる。

(第2の実施形態)

【0061】

次に、第2の実施形態として、上記で説明した振動片を備えた振動子について説明する。

図7は振動子の構成を示し、図7(a)は概略平面図、図7(b)は同図(a)のG-G断線に沿う概略断面図である。

振動子5は、第1の実施形態の振動片1と、収容器としてのセラミックパッケージ81と、蓋体85を備えている。

セラミックパッケージ81は、振動片1を収納できるように凹部が形成され、その凹部には振動片1のマウント電極と接続される接続パッド88が設けられている。接続パッド88はセラミックパッケージ81内の配線に接続され、セラミックパッケージ81の外周部に設けられた外部接続端子83と導通可能に構成されている。

また、セラミックパッケージ81の凹部の周囲にはシームリング82が設けられている。さらに、セラミックパッケージ81の底部には貫通穴86が設けられている。

【0062】

振動片1は、セラミックパッケージ81の接続パッド88に導電性接着剤84を介して接着固定され、セラミックパッケージ81の凹部を覆う蓋体85とシームリング82とがシーム溶接されている。セラミックパッケージ81の貫通穴86には金属材料の封止材87が充填されている。この封止材87は、減圧雰囲気内で熔融させられ、セラミックパッケージ81内が減圧状態となるように気密に封止されている。

このように、振動子5は周波数調整が容易でしかも、精度よく周波数調整が行える振動片1を備えており、周波数精度に優れた振動子5を提供できる。

(第3の実施形態)

【0063】

次に、第3の実施形態として、上記で説明した振動片を備えた発振器について説明する。

図8は発振器の構成を示し、図8(a)は概略平面図、図8(b)は同図(a)のH-H断線に沿う概略断面図である。

発振器6は上記振動子5の構成に回路素子としてのICチップをさらに備えた点が異なる。このため、振動子5と同じ構成については、同符号を附し説明を省略する。

発振器6は第1の実施形態の振動片1と、収容器としてのセラミックパッケージ81と、蓋体85と、回路素子としてのICチップ91と、を備えている。

ICチップ91は、振動片1を励振させる発振回路を含み、セラミックパッケージ81の底部に固着され、金線などの金属ワイヤー92により他の配線と接続されている。

【0064】

このように、発振器6は周波数調整が容易でしかも、精度よく周波数調整が行える振動片1を備えており、周波数精度に優れた発振器6を提供できる。

(第4の実施形態)

【0065】

次に、第4の実施形態として、上記で説明した振動片を用いた電子機器について説明する。なお、図示は省略する。

上述した振動片1は、携帯電話、電子ブック、パーソナルコンピューター、テレビ、デ

10

20

30

40

50

デジタルスチールカメラ、ビデオカメラ、ビデオレコーダー、カーナビゲーション装置、ページャー、電子手帳、電卓、ワードプロセッサ、ワークステーション、テレビ電話、POS端末、タッチパネルを備えた機器などの基準クロック発振源などとして好適に用いることができ、いずれの場合にも上述した各実施形態および変形例で説明した効果を奏する電子機器を提供することができる。

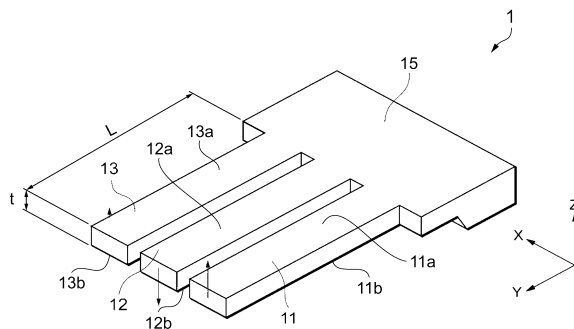
【符号の説明】

【0066】

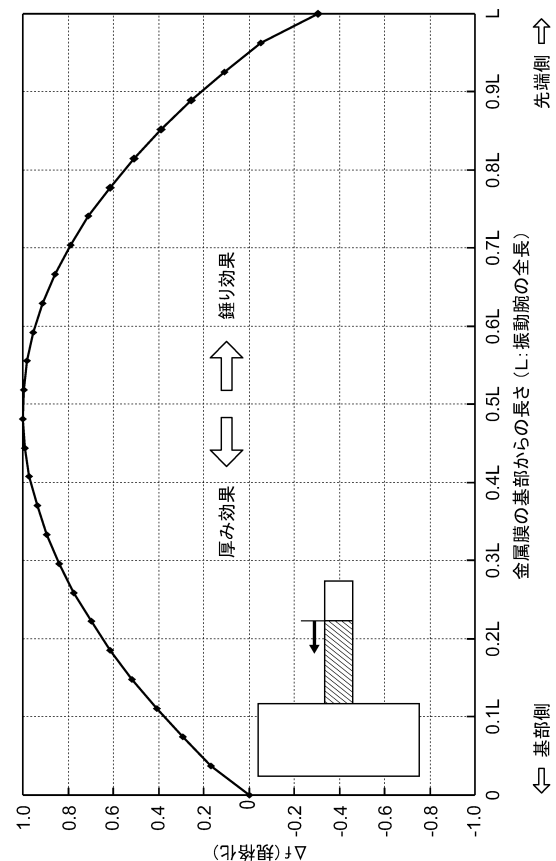
1 ... 振動片、5 ... 振動子、6 ... 発振器、11, 12, 13 ... 振動腕、11a, 12a, 13a ... 第1面、11b, 12b, 13b ... 第2面、15 ... 基部、21, 22, 23 ... 下部電極、31, 32, 33 ... 圧電膜、41, 42, 43 ... 上部電極、45, 46 ... マウント電極、47, 48 ... 接続部、51, 52, 53 ... 第1質量部、54 ... 溝部、55, 56, 57 ... 粗調用の第2質量部、59 ... レーザー加工線、61, 62, 63 ... 圧電素子、81 ... 収容器としてのセラミックパッケージ、82 ... シームリング、83 ... 外部接続端子、84 ... 導電性接着剤、85 ... 蓋体、86 ... 貫通穴、87 ... 封止材、88 ... 接続パッド、91 ... 回路素子としてのICチップ、92 ... 金属ワイヤー。

10

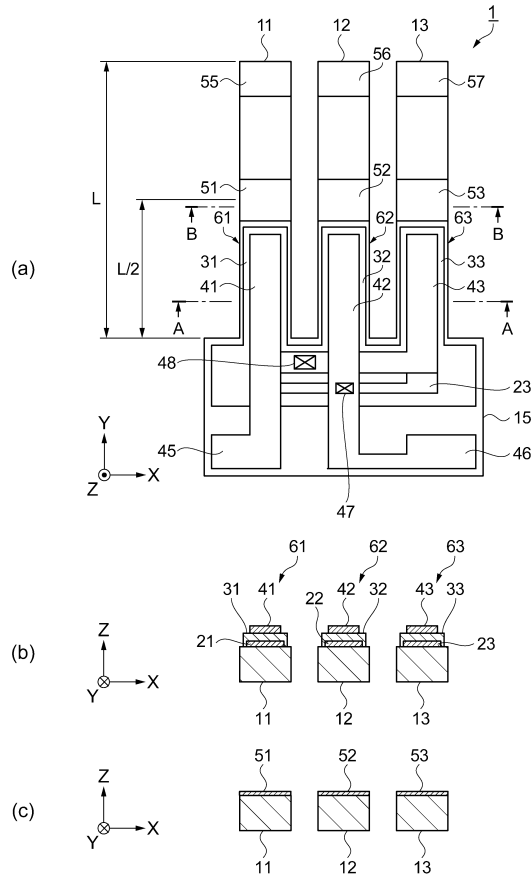
【図1】



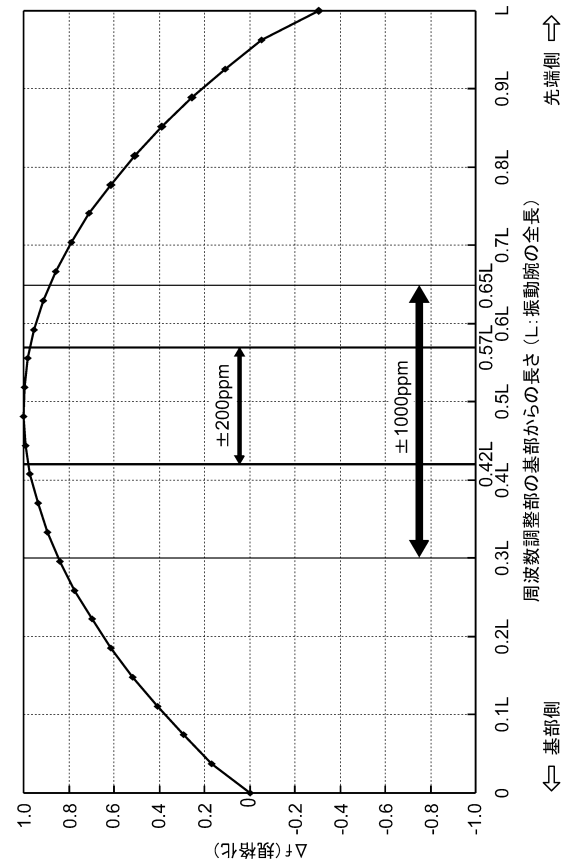
【図2】



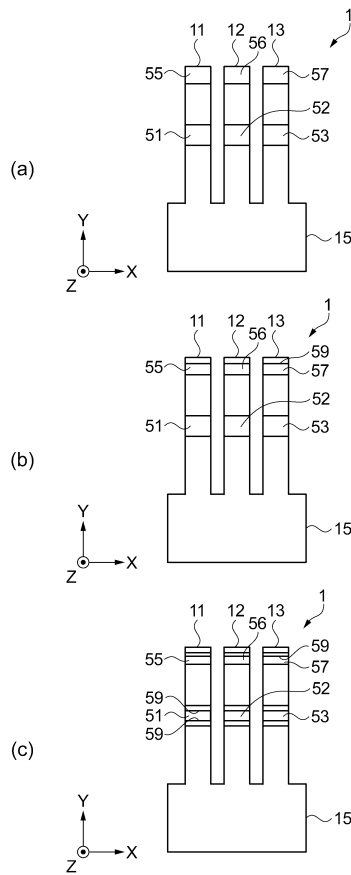
【図 3】



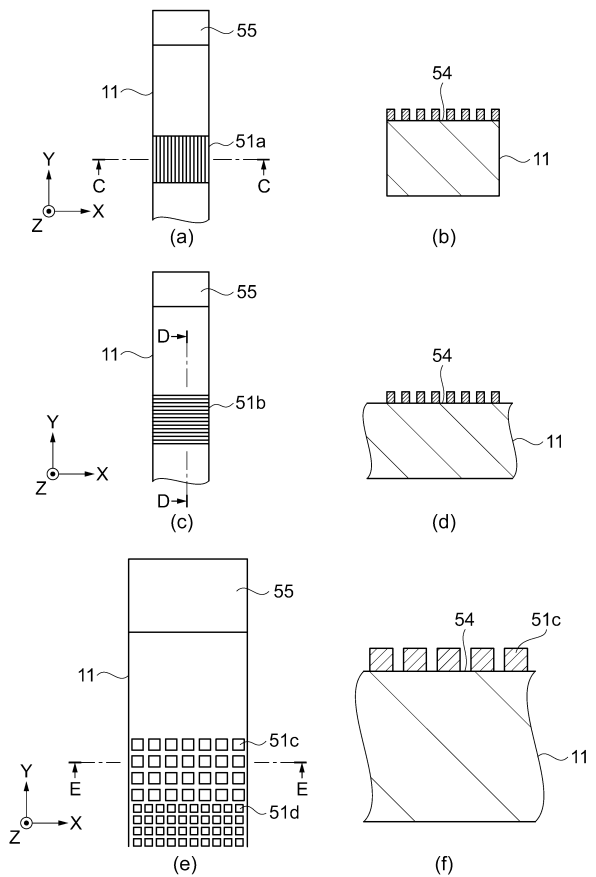
【図 4】



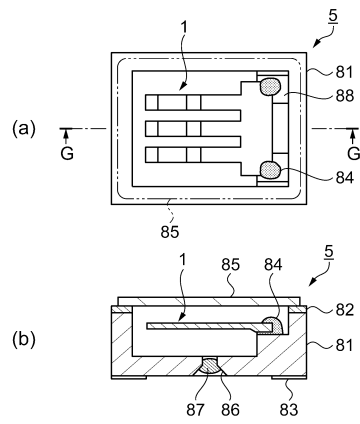
【図 5】



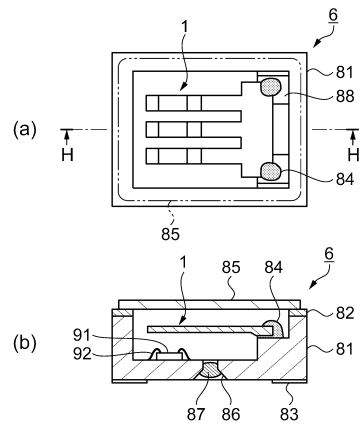
【図 6】



【図 7】



【図 8】



---

 フロントページの続き

(51)Int.Cl.			F I		
<i>H 0 3 B</i>	<i>5/32</i>	<i>(2006.01)</i>	<i>H 0 3 H</i>	<i>3/04</i>	<i>B</i>
<i>H 0 1 L</i>	<i>41/09</i>	<i>(2006.01)</i>	<i>H 0 3 B</i>	<i>5/32</i>	<i>H</i>
<i>H 0 1 L</i>	<i>41/187</i>	<i>(2006.01)</i>	<i>H 0 1 L</i>	<i>41/08</i>	<i>C</i>
			<i>H 0 1 L</i>	<i>41/18</i>	<i>1 0 1 D</i>
			<i>H 0 1 L</i>	<i>41/18</i>	<i>1 0 1 B</i>

(56)参考文献 特開 2 0 0 1 - 1 9 6 8 9 1 ( J P , A )  
 特開昭 5 7 - 0 9 9 0 1 4 ( J P , A )  
 特開 2 0 0 3 - 1 3 3 8 8 5 ( J P , A )

(58)調査した分野(Int.Cl. , D B 名)

<i>H 0 3 H</i>	<i>9 / 0 2</i>
<i>H 0 1 L</i>	<i>4 1 / 0 9</i>
<i>H 0 1 L</i>	<i>4 1 / 1 8 7</i>
<i>H 0 3 B</i>	<i>5 / 3 2</i>
<i>H 0 3 H</i>	<i>3 / 0 2</i>
<i>H 0 3 H</i>	<i>3 / 0 4</i>
<i>H 0 3 H</i>	<i>9 / 1 9</i>
<i>H 0 3 H</i>	<i>9 / 2 1 5</i>