

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第3758996号

(P3758996)

(45) 発行日 平成18年3月22日(2006.3.22)

(24) 登録日 平成18年1月13日(2006.1.13)

(51) Int. Cl. F I
GO2F 1/035 (2006.01) GO2F 1/035
GO2F 2/02 (2006.01) GO2F 2/02

請求項の数 5 (全 10 頁)

(21) 出願番号	特願2001-188669 (P2001-188669)	(73) 特許権者	503360115
(22) 出願日	平成13年6月21日(2001.6.21)		独立行政法人科学技術振興機構
(65) 公開番号	特開2003-5142 (P2003-5142A)		埼玉県川口市本町4丁目1番8号
(43) 公開日	平成15年1月8日(2003.1.8)	(73) 特許権者	593154414
審査請求日	平成14年4月16日(2002.4.16)		興梠 元伸
			神奈川県横浜市旭区若葉台4-28-905
		(74) 代理人	100067736
			弁理士 小池 晃
		(74) 代理人	100086335
			弁理士 田村 榮一
		(74) 代理人	100096677
			弁理士 伊賀 誠司
		(72) 発明者	中山 義宣
			東京都世田谷区奥沢3-43-9
			最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光導波路型光変調器及び光導波路型光周波数コム発生器

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

光変調を行うビーム光を通過させる光導波路が形成された電気光学結晶基板を空洞マイクロ波共振器に内蔵してなる光導波路型光変調器であって、

上記空洞マイクロ波共振器と結合される電極を電気光学結晶基板の表面に光導波路を挟むように形成し、

上記空洞マイクロ波共振器は、上記電気光学結晶基板の表面の電極と該電気光学結晶基板の表面側に設置された凹型の金属ブロックで構成され、

上記空洞マイクロ波共振器を構成する金属平板の一部を上記電気光学結晶基板の表面に作成した電極が兼ねる構造とし、光導波路の反対側が解放されていることを特徴とする光導波路型光変調器。

【請求項2】

さらに、上記空洞マイクロ波共振器の片側を閉じている金属ブロックに開口を設け、上記空洞マイクロ波共振器を開放型の構造としたことを特徴とする請求項1記載の光導波路型光変調器。

【請求項3】

上記電極は網目状に形成されていることを特徴とする請求項2記載の光導波路型光変調器。

【請求項4】

上記空洞マイクロ波共振器は、マイクロ波の電極を伝わる速度と光の速度を一致させた

10

20

ことを特徴とする請求項3記載の光導波路型光変調器。

【請求項5】

光共振を起こさせるビーム光を通過させる光導波路が形成された電気光学結晶基板の相対向する2つの端面に入射端反射膜と出射端反射膜が形成されてなる光共振器を空洞マイクロ波共振器に内蔵してなる光導波路型光周波数コム発生器であって、

上記空洞マイクロ波共振器と結合される電極を電気光学結晶基板の表面に光導波路を挟むように形成し、

上記空洞マイクロ波共振器は、上記電気光学結晶基板の表面の電極と該電気光学結晶基板の表面側に設置された凹型の金属ブロックで構成され、

上記空洞マイクロ波共振器を構成する金属平板の一部を上記電気光学結晶基板の表面に作成した電極が兼ねる構造とし、光導波路の反対側が解放されていることを特徴とする光導波路型光周波数コム発生器。

10

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、光導波路型光変調器及び光導波路型光周波数コム発生器に関し、光通信、光CT、光周波数標準機など多波長でコヒーレンス性の高い標準光源、又は、各波長間のコヒーレンス性も利用できる光源を必要とする分野に適用される。

【0002】

【従来の技術】

従来より、例えば光周波数を高精度に測定する場合に光周波数コム発生器(Optical Frequency Comb Generator)が使用されている。すなわち、2つのレーザー光をヘテロダイン検波してその差周波数を測定する場合、その帯域は受光素子の帯域で制限され、おおむね数十GHz程度であるので、光周波数コム発生器を用いて広帯域なヘテロダイン検波系を構築するようにしている。光周波数コム発生器は、入射したレーザー光の側帯波を等周波数間隔毎に数百本発生させるもので、発生される側帯波の周波数安定度はもとのレーザー光のそれとほぼ同等である。そこで、この側帯波と被測定レーザー光をヘテロダイン検波することにより、数THzに亘る広帯域なヘテロダイン検波系を構築することができる。

20

【0003】

光周波数コム発生器として、例えば光導波路型光周波数コム発生器が使用されている。

30

【0004】

従来の光導波路型光周波数コム発生器は、広帯域の光導波路型光位相変調器の両端面に鏡を形成した光共振器を備え、その光共振器の自由スペクトル域の整数倍で光導波路型光位相変調器を駆動し、レーザー光を変調し光周波数コムを発生していた。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、上述の如き構造の従来の光導波路型光周波数コム発生器では、広帯域の光導波路型光位相変調器を駆動するために多くの電力が必要であった。

【0006】

低電力化のためには、電極をマイクロ波共振器構造にした狭帯域の光導波路型光位相変調器を用いる必要があると考えられる。ところが、光導波路型光位相変調器の電極構造で外部金属構造を用いない共振器を作成する場合、例えば図12に示すように、光導波路301を形成した2電極構造のY-cut LiNbO₃の基板302を用いた光変調器300では、電極303A、303Bの端を開放とし、開放端でマイクロ波の反射が起こるようにして光共振器を作成しようとする、電極303Aが細く電気抵抗が大きいため、ジュール熱が発生しマイクロ波がエネルギーを失い高品質なマイクロ波共振が得られない。すなわち高いQ値がえられない。電極303Aを細くすることは、インピーダンスマッチングを得るため、またマイクロ波の電極を伝わる速度と光の速度を一致させるため、さらに電界を狭い範囲に閉じ込め高い変調効率を得るための構造であるが、高いQ値を得るためには不向きであった。また電極を超伝導材料などで作成すると、高いQ値が得られるが、液

40

50

体室素温度まで冷却する必要があり実用的ではない。

【0007】

そこで、本発明の目的は、上述の如き従来の問題点に鑑み、低電力駆動の光導波路型光変調器及び光導波路型光周波数コム発生器を提供することにある。

【0008】

【課題を解決するための手段】

ところで、従来のバルク型光周波数コム発生器では、図13に示すようにバルク型位相変調器を構成する電気光学結晶基板410を空洞マイクロ波共振器420に挿入して駆動する構造採用することにより高効率を得られている。

【0009】

本発明では、上述の如き従来の問題点を解決するために、金属で囲まれた空洞マイクロ波共振器と結合させマイクロ波の伝播の電気抵抗損失を少なくし、さらに電界を狭い範囲に閉じ込め高い変調効率を得、かつマイクロ波の電極を伝わる速度と光の速度を一致させ、その結果高いQ値の実用的な共振器型光変調器を実現する。

【0010】

すなわち、本発明は、光変調を行うビーム光を通過させる光導波路が形成された電気光学結晶基板を空洞マイクロ波共振器に内蔵してなる光導波路型光変調器であって、上記空洞マイクロ波共振器と結合される電極を電気光学結晶基板の表面に光導波路を挟むように形成し、上記空洞マイクロ波共振器は、上記電気光学結晶基板の表面の電極と該電気光学結晶基板の表面側に設置された凹型の金属ブロックで構成され、上記空洞マイクロ波共振器を構成する金属平板の一部を上記電気光学結晶基板の表面に作成した電極が兼ねる構造とし、光導波路の反対側が解放されていることを特徴とする。

【0011】

本発明に係る光導波路型光変調器は、例えば、さらに、空洞マイクロ波共振器の片側閉じている金属ブロックに開口を設け、上記空洞マイクロ波共振器を開放型の構造とされる。

【0012】

また、上記光導波路型光変調器において、上記電極は、例えば、網目状に形成される。

【0013】

さらに、上記光導波路型光変調器において、上記空洞マイクロ波共振器は、例えば、マイクロ波の電極を伝わる速度と光の速度を一致させた構造とする。

【0014】

また、本発明は、光共振を起こさせるビーム光を通過させる光導波路が形成された電気光学結晶基板の相対向する2つの端面に入射端反射膜と出射端反射膜が形成されてなる光共振器を空洞マイクロ波共振器に内蔵してなる光導波路型光周波数コム発生器であって、上記空洞マイクロ波共振器と結合される電極を電気光学結晶基板の表面に光導波路を挟むように形成し、上記空洞マイクロ波共振器は、上記電気光学結晶基板の表面の電極と該電気光学結晶基板の表面側に設置された凹型の金属ブロックで構成され、上記空洞マイクロ波共振器を構成する金属平板の一部を上記電気光学結晶基板の表面に作成した電極が兼ねる構造とし、光導波路の反対側が解放されていることを特徴とする。

【0015】

【発明の実施の形態】

以下、本発明の実施の形態について図面を参照しながら詳細に説明する。

【0016】

本発明では、図1に基本的な構造を示すように、バルク型光周波数コム発生器の空洞マイクロ波共振器構造を光導波路型光コム発生器に適用することにより低電力な光導波路型光コム発生器(2電極構造)を実現する。

【0017】

すなわち、図1に示した光導波路型光コム発生器30は、光共振を起こさせるビーム光L1を通過させる光導波路11が形成された電気光学結晶基板12の相対向する2つの端面

10

20

30

40

50

に入射端反射膜 14 A と出射端反射膜 14 B が形成されてなる光共振器 10 と、金属で囲まれた空洞マイクロ波共振器 20 とを備え、上記光共振器 10 を空洞マイクロ波共振器 20 に内蔵してなる。

【0018】

上記空洞マイクロ波共振器 20 は、光共振を起こさせる光ビーム L1 を伝播させ、かつそれぞれの光ビーム L1 に対応して光導波路 11 に電界をかけるためのものであって、図示しない給電アンテナに供給されるマイクロ波信号に共振することにより、上記マイクロ波信号に応じた電界を光導波路 11 に印加する。

【0019】

また、上記電気光学結晶基板 12 は、例えばニオブ酸リチウム (LiNbO_3) など電圧で光を位相変調できる光学材料基板である。 10

【0020】

上記光学結晶基板 12 には、入射端反射膜 14 A を介して基本波としての光ビーム L1 が入射され、入射端反射膜 14 A と出射端反射膜 14 B により構成されたファブリペロエタロンにより共振した光ビーム L1 の一部が、出射端反射膜 14 B を介して光周波数コム LC1 として出射される光導波路 11 が形成されている。

【0021】

上記入射端反射膜 14 A と出射端反射膜 14 B は、それぞれ僅かに透過率もある反射鏡であって、クロム、金、アルミニウムあるいは誘電体多層膜などを蒸着することにより、上記電気光学結晶基板 12 の相対向する 2 つの端面に形成されている。 20

【0022】

上記電気光学結晶基板 12 に形成された光導波路 11 は、上記空洞マイクロ波共振器 20 に内蔵されているので、マイクロ波信号に上記空洞マイクロ波共振器 20 が共振することにより、上記マイクロ波信号に応じた電界が印加され、上記マイクロ波信号に応じて屈折率が変化する。これにより、上記光導波路 11 は、入射端反射膜 14 A を介して入射された基本波としての光ビーム L1 に対して上記マイクロ波信号に応じた光位相変調を施す光位相変調器として機能する。

【0023】

このような構成の光共振器 10 を空洞マイクロ波共振器 20 に内蔵してなる光導波路型光コム発生器 30 では、入射端反射膜 14 A を介して光導波路 11 に入射された基本波としての光ビーム L1 に対して、マイクロ波信号に応じて光位相変調することができ、光ビーム L1 の位相を変調して、出射端反射膜 14 B を介して光周波数コム LC1 を出射することができる。 30

【0024】

なお、上記空洞マイクロ波共振器 20 内のマイクロ波の伝播モードが TE モードである場合だと、電界は結晶に対して図の上下方向にかかるが、電界は結晶全体にほぼ様にかかり、光導波路型変調器の利点である電界が光の通る部分領域に集中する特性ではない。そのため、電界が光導波路 11 に集中せず十分な低電力な変調にはならないと考えられる。また空洞マイクロ波共振器 20 に平面基板上に作成された電気光学変調器を如何に設置するかの問題も生じる。実際の光導波路は薄い平面の基板上に作成されるので図 1 のような構成は作成上難しい。 40

【0025】

そこで、図 2 に要部を拡大して示すように、実用的な光導波路型光コム発生器 130 では、光共振器 110 の光導波路 111 を薄い平面の電気光学結晶基板 112 に形成し、この電気光学結晶基板 112 上に電極 115 A, 115 B を作成して空洞マイクロ波共振器構造と結合させるように、平面基板に適した空洞マイクロ波共振器 120 に光共振器 110 を挿入する。

【0026】

そして、図 3 に示すように金属平板 120 a, 120 b で挟まれた空洞マイクロ波共振器 120 は、光導波路 111 の反対側の幅を電気光学結晶基板 112 の厚さよりも十分大き 50

くし、平面基板を設置しやすい構造としてある。このような構成であると、電気光学結晶基板 112 が薄くても容易に設置できる。また、この空洞マイクロ波共振器 120 には、図 3 (a) に示す開放型空洞マイクロ波共振器 120 A と図 3 (b) に示す非開放型空洞マイクロ波共振器 120 B があり、開放型空洞マイクロ波共振器 120 A は低周波数に向き、非開放型空洞マイクロ波共振器 120 B は高周波数に向く傾向にあるが、原理的にはどちらでもよい。

【0027】

ここで、上記電極 115 A, 115 B としては、それぞれ全面電極を用いている。図 4 は、この時の電界強度分布の計算結果である。電界が中心（光の通る部分）に集中していることが分かる。このような構造の電極を用いることは、空洞マイクロ波共振部からの電流に対して、電流が広い面積の電極を通るため電流損失を少なくすることが可能である。

10

【0028】

上記ではあらかじめ電気光学結晶基板 112 上に補助的な電極 115 A, 115 B を作成することが電界集中に役立つことを説明した。しかしながら空洞マイクロ波共振器 120 の光導波路 111 の反対側にもある程度電界はもれる。その電界のもれは電気光学結晶基板 112 の厚さ程度の範囲まで発生する。漏れ電界を減らすのは、電気光学結晶基板 112 の厚さを薄くすることで可能である。これにより大きな電界集中を得られる。ところが電気光学結晶基板 112 を薄くすることは、機械的な強度が劣化する可能性があり電気光学結晶基板 112 を薄くすることは最小限にとどめる必要がある。

【0029】

そこで、上記電極 115 A, 115 B として、図 5 の (a), (b), (c) に示すように網状の電極構造を採用することにより、部分的に不要な電気力線を遮滅し、静電容量を遮滅する。

20

【0030】

すなわち、網目状の電極 115 A, 115 B は、図 6 に示すように、光の通る部分の電界強度を高めるための空洞マイクロ波共振器 120 からの電流を流す線路として働くが、電気力線は電極下部に発生するのみで、網の空間部では電気力線は発生しない。よって平均的に見ると電気力線の数が増え光の通る部分に対する電界集中を高めることができる。編み目電極の間隔はマイクロ波の波長より十分小さくすることによって周期構造による影響をなくすることができる。網目状の電極を作成する範囲は光が通過する部分から電気光学結晶基板 112 の厚み程度の範囲で十分である。

30

【0031】

さらに、この構造でマイクロ波が電極 115 A, 115 B を伝わる速度と光の速度を一致させ、さらに電界を狭い範囲に閉じ込め高い変調効率を得ることができる。電極 115 A, 115 B の持つ静電容量が 250 pF / m 程度の分布を持つとするときのマイクロ波の位相速度を等価屈折率としてあらわしたのが図 7 及び図 8 である。

【0032】

図 7 は、 $H = 0.015$ m、 $W = 0.0004$ m の開放型空洞マイクロ波共振器 120 A、非開放型空洞マイクロ波共振器 120 B を採用した場合の等価屈折率特性 A, B を示している。光の速度は結晶中では等価屈折率であらわすと 2.18 であり、図 7 では直線であらわしている。約 10 GHz においてマイクロ波の等価屈折率は光の等価屈折率に一致し、この時マイクロ波の電極 115 A, 115 B を伝わる速度と光の速度が一致する。この周波数は、開放型空洞マイクロ波共振器 120 A、非開放型空洞マイクロ波共振器 120 B の違いや H 及び W の値をかえることで変更が可能である。例えば図 8 は非開放型空洞マイクロ波共振器 120 B で W の値を変化させた場合の等価屈折率特性を示している。等価屈折率が 2.18 になる範囲は W を変化させることで 5 GHz から 20 GHz まで可変であることが分かる。

40

【0033】

以上説明した光導波路型光コム発生器 130 では、金属平板 120 a, 120 b で挟まれた空洞マイクロ波共振器 120 を用いていたが、次に説明する図 9 及び図 10 に示す光導

50

波路型光コム発生器 230 では、空洞マイクロ波共振器 220 を構成する金属平板の一部を電気光学結晶基板 212 に作成した電極 215 A, 215 B が兼ねる構造となっており、光導波路 211 の反対側は完全に解放されている。光導波路 211 側は、電気光学結晶基板 212 の表面の電極 215 A, 215 B と設置された凹型の金属ブロック 220 A の間で空洞マイクロ波共振器 220 が構成されている。この空洞マイクロ波共振器 220 には、励起用のマイクロ波入力と同軸線路によって空洞内部に直接結合するように、励起用空洞部が形成されている。

【0034】

このような構造の光導波路型光コム発生器 230 は、金属平板で挟まれた空洞マイクロ波共振器 220 の作成が容易であり、しかも、小型化に有利である。この光導波路型光コム発生器 230 において、空洞マイクロ波共振器 220 の光の進む方向に垂直な面は開放端になっている。これは光周波数コム発生器として必要なモードとして端面で開放端となるようなモードを励起するためである。この場合、マイクロ波の電極を伝わる速度と光の速度を一致させるように空洞の大きさ等の調整を行っているとする、光共振器 210 の自由スペクトル域の整数倍にこの空洞マイクロ波共振器 220 の共振周波数に一致することになる。

10

【0035】

さらに、このような構造の光導波路型光コム発生器 230 では、図 11 に示すように、空洞マイクロ波共振器 220 の片側閉じている金属ブロック 220 A に開口 220 a を設け、空洞マイクロ波共振器 220 を開放型の構造とすることにより、直流バイアスの印加を容易に行うことが可能となる。

20

【0036】

【発明の効果】

以上詳細に説明したように、本発明に係る導波路型光変調器では、光変調を行うビーム光を通過させる光導波路が形成された電気光学結晶基板を空洞マイクロ波共振器に内蔵して結合させることにより、マイクロ波の伝播の電気抵抗損失を少なくすることができる。

【0037】

また、本発明に係る光導波路光変調器では、上記電気光学結晶基板上に光導波路を挟むように形成された電極を上記空洞マイクロ波共振器と結合させた構造とすることによって、電界を狭い範囲に閉じ込め高い変調効率を得ることができる。

30

【0038】

また、本発明に係る光導波路型光変調器では、上記電極を網目状に形成した構造とすることにより、光の通る光導波路部分に対する電界集中を高めることができる。

【0039】

さらに、本発明に係る光導波路型光変調器では、上記空洞マイクロ波共振器をマイクロ波の電極を伝わる速度と光の速度を一致させた構造とすることにより、高い Q 値の実用的な共振器型光変調器で効率よく光変調を行うことができる。

【0040】

すなわち、本発明によれば、金属で囲まれた空洞マイクロ波共振器と結合させマイクロ波の伝播の電気抵抗損失を少なくし、さらに電界を狭い範囲に閉じ込め高い変調効率を得、かつマイクロ波の電極を伝わる速度と光の速度を一致させ、その結果高い Q 値の実用的な共振器型光変調器で効率よく光変調を行うことができる光導波路型光変調器を提供することができる。

40

【0041】

また、本発明に係る光導波路型光周波数コム発生器では、光共振を起こさせるビーム光を通過させる光導波路が形成された電気光学結晶基板の相対向する 2 つの端面に入射端反射膜と出射端反射膜が形成されてなる光共振器を空洞マイクロ波共振器に内蔵して結合させることにより、マイクロ波の伝播の電気抵抗損失を少なくして、効率よく光周波数コムを発生することができる。

【0042】

50

【図面の簡単な説明】

【図 1】本発明に係る光導波路型光周波数コム発生器の基本的な構成を模式的に示す斜視図である。

【図 2】実用的な光導波路型光コム発生器の要部を拡大して示す斜視図である。

【図 3】実用的な構造を有する開放型空洞マイクロ波共振器及び開放型空洞マイクロ波共振器の外観斜視図である。

【図 4】上記実用的な構造を有する光導波路型光コム発生器において、空洞マイクロ波共振器と結合される電極を電気光学結晶基板上に光導波路を挟むように形成した場合の電界強度分布の計算結果を模式的に示す図である。

【図 5】上記実用的な構造を有する光導波路型光コム発生器において採用される網状の電極構造を模式的に示す図である。 10

【図 6】上記網状の電極構造を採用した光導波路型光コム発生器における、電気光学結晶基板を通る電気力線を模式的に示す図である。

【図 7】開放型空洞マイクロ波共振器及び非開放型空洞マイクロ波共振器を採用した場合における電気光学結晶基板の等価屈折率特性を示す特性図である。

【図 8】開放型空洞マイクロ波共振器でWの値を変化させた場合における電気光学結晶基板の等価屈折率特性を示す特性図である。

【図 9】本発明に係る光導波路型光コム発生器の他の構成例を模式的に示す図である。

【図 10】上記光導波路型光コム発生器の要部断面図である。

【図 11】上記光導波路型光コム発生器の変形例を示す要部断面図である。 20

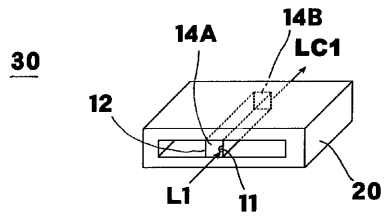
【図 12】従来の光導波路型光コム発生器の構成を模式的に示す図である。

【図 13】従来のバルク型光周波数コム発生器の構成を模式的に示す図である。

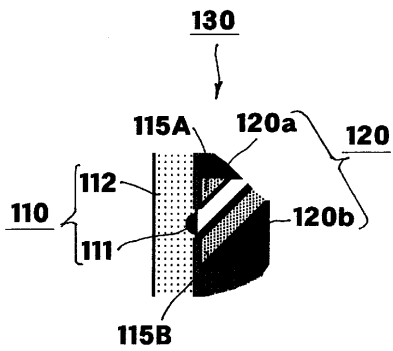
【符号の説明】

1 0 , 1 1 0 , 2 1 0 光共振器、 1 1 , 1 1 1 , 2 1 1 光導波路、 1 2 , 1 1 2 , 2
1 2 電気光学結晶基板、 1 4 A 入射端反射膜、 1 4 B 出射端反射膜、 2 0 , 2 2 0
空洞マイクロ波共振器、 3 0 , 1 3 0 , 2 3 0 光導波路型光コム発生器、 1 1 5 A ,
1 1 5 B , 2 1 5 A , 2 1 5 B 電極、 1 2 0 a , 1 2 0 b 金属平板、 1 2 0 空洞マ
イクロ波共振器、 1 2 0 A 開放型空洞マイクロ波共振器、 1 2 0 B 非開放型空洞マ
イクロ波共振器、 2 2 0 A 金属ブロック、 2 2 0 a 開口

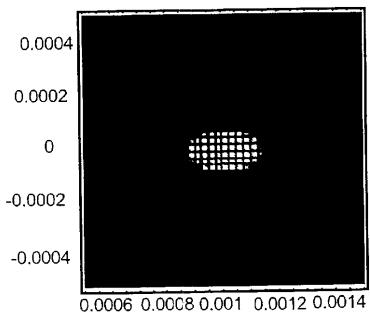
【 図 1 】



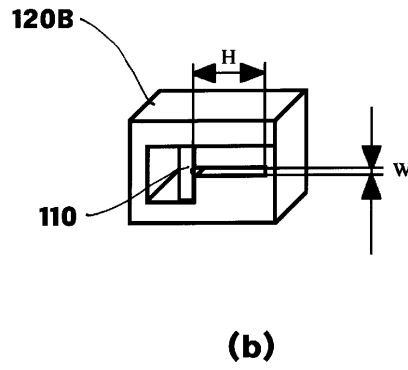
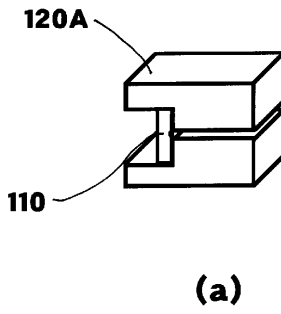
【 図 2 】



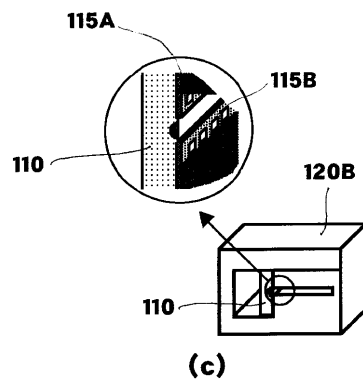
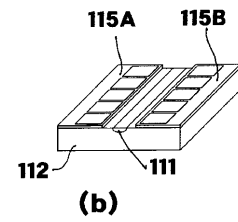
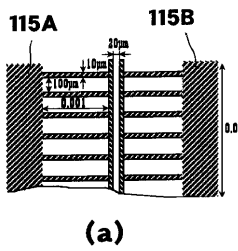
【 図 4 】



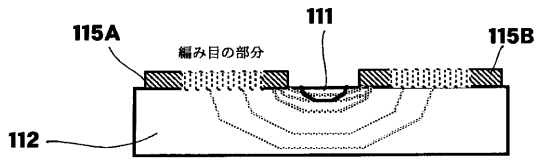
【 図 3 】



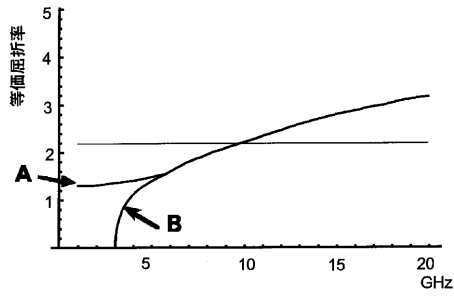
【 図 5 】



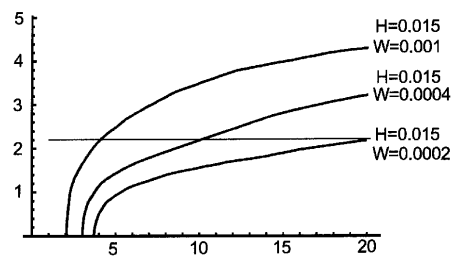
【 図 6 】



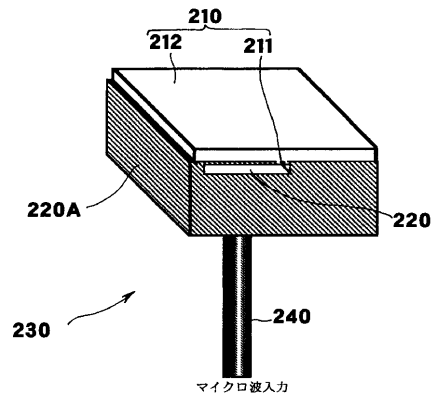
【 図 7 】



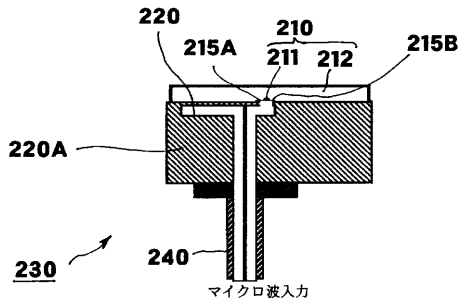
【 図 8 】



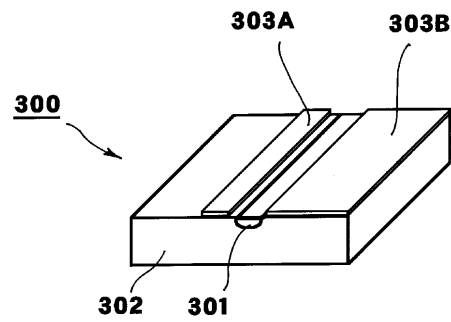
【 図 9 】



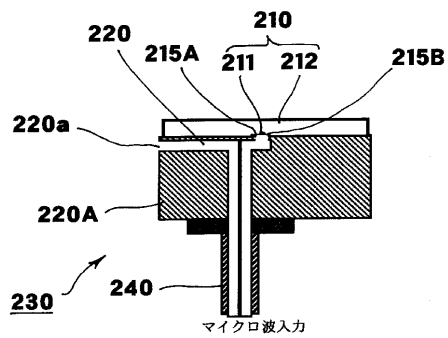
【 図 10 】



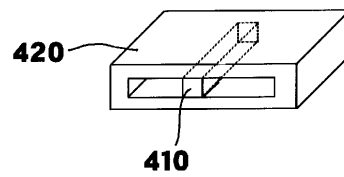
【 図 12 】



【 図 11 】



【 図 13 】



フロントページの続き

- (72)発明者 興梠 元伸
神奈川県横浜市旭区若葉台4 - 28 - 905
- (72)発明者 仲本 修
東京都大田区蒲田3 - 3 - 4
- (72)発明者 三澤 成嘉
東京都大田区田園調布2 - 5 - 8
- (72)発明者 バンバン ウィディアトモコ
神奈川県横浜市緑区津田町3034 - 3

審査官 佐藤 宙子

- (56)参考文献 特開平07 - 058386 (JP, A)
特開昭62 - 024224 (JP, A)
特開平06 - 118358 (JP, A)
特開平06 - 110023 (JP, A)
特開平07 - 234391 (JP, A)

- (58)調査した分野(Int.Cl. , DB名)
G02F 1/03
G02F 2/02
JICSTファイル(JOIS)