

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局



(43) 国際公開日
2005 年 3 月 3 日 (03.03.2005)

PCT

(10) 国際公開番号
WO 2005/019507 A1

- (51) 国際特許分類: C30B 29/28, 13/00
(21) 国際出願番号: PCT/JP2004/011985
(22) 国際出願日: 2004 年 8 月 20 日 (20.08.2004)
(25) 国際出願の言語: 日本語
(26) 国際公開の言語: 日本語
(30) 優先権データ:
特願2003-301434 2003 年 8 月 26 日 (26.08.2003) JP
(71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 株式会社アドバンテスト (ADVANTEST CORPORATION)
[JP/JP]; 〒1790071 東京都練馬区旭町 1 丁目 3 2 番 1 号 Tokyo (JP).
(72) 発明者; および
(75) 発明者/出願人 (米国についてののみ): 阿部 祥和 (ABE,

Yoshikazu) [JP/JP]; 〒1790071 東京都練馬区旭町 1 丁目 3 2 番 1 号 株式会社アドバンテスト内 Tokyo (JP).
渡部 隆 (WATANABE, Takashi) [JP/JP]; 〒1790071 東京都練馬区旭町 1 丁目 3 2 番 1 号 株式会社アドバンテスト内 Tokyo (JP).

(74) 代理人: 北野 好人 (KITANO, Yoshihito); 〒1600015 東京都新宿区大京町 9 番地 エクシード四谷 2 階 Tokyo (JP).

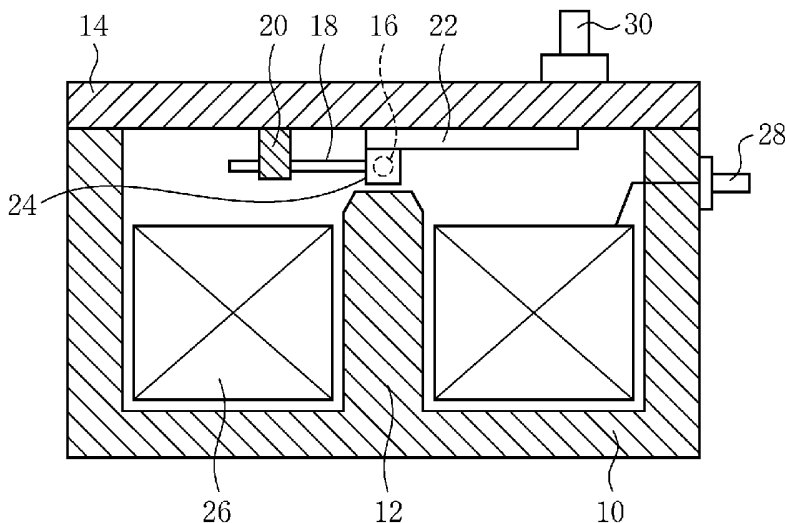
(81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE,

/ 続葉有 /

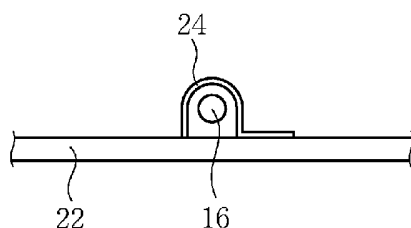
(54) Title: MAGNETIC GARNET SINGLE CRYSTAL AND YIG DEVICE

(54) 発明の名称: 磁性ガーネット単結晶及び Y I G デバイス

(a)



(b)



(57) Abstract: A YIG device comprises a resonator composed of a spherical YIG crystalline body (16) of a yttrium iron garnet single crystal in which part of yttrium atoms are replaced with gadolinium atoms, and a magnetic field applying means (26) for applying a magnetic field to the YIG crystalline body (16) to resonance it. Thus, a YIG device having a small magnetic resonance half peak width and a large limit power with which resonance saturation occurs can be produced.

(57) 要約: イットリウムの一部をガドリニウムに置換したイットリウム・鉄・ガーネットの単結晶が球状に成形された Y I G 結晶体 1 6 と、Y I G 結晶体 1 6 に磁界を印加して Y I G 結晶体 1 6 を共振する磁界印加手段 2 6 とを有する共振器を有している。これにより、磁気共鳴半値幅が小さく、共鳴飽和が生じる限界電力が大きい Y I G デバイスを提供することができる。



SG, SK, SL, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US,
UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN,
TD, TG).

(84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF,

添付公開書類:

— 国際調査報告書

2文字コード及び他の略語については、定期発行される各PCTガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

明 細 書

磁性ガーネット単結晶及びYIGデバイス

技術分野

- [0001] 本発明は、磁性ガーネット単結晶及びYIGデバイスに係り、特に、磁気共鳴半値幅が小さく共鳴飽和が生じる限界電力が大きい磁性ガーネット単結晶及びこのような磁性ガーネット単結晶を用いたYIGデバイスに関する。

背景技術

- [0002] マイクロ波周波数帯における発振器やフィルタとしては、YIG（イットリウム・鉄・ガーネット）デバイスが知られている。YIGデバイスは、フェライトの一種であるイットリウム・鉄・ガーネットの3金属フェリ磁性共鳴のQ値が非常に高い特性を利用した、マイクロ波帯の可変同調共振器や可変同調発振器用のデバイスである。
- [0003] YIGデバイスは、スペクトラム・アナライザやネットワーク・アナライザ等の計測器のローカル発振器やフィルタに用いられており、それら計測器の性能を左右する重要な構成部品となっている。
- [0004] YIGデバイスを構成する中心的な素子が、YIG結晶体である。YIG結晶体は、その基本組成が $\text{Y}_3\text{Fe}_5\text{O}_{12}$ の化学式で表される磁性ガーネット材料からなり、この結晶が球状に加工されたものである。
- [0005] YIGデバイスでは、YIG結晶体の特性として、磁気共鳴スペクトルの半値幅（以下、磁気共鳴半値幅という） ΔH が小さいことが要求される。磁性ガーネット材料の磁気共鳴半値幅 ΔH は、一般に、
- $$\Delta H = \Delta H_i + \Delta H_p + \Delta H_a$$
- として表される。ここで、 ΔH_i は、同一組成における単結晶の磁気共鳴半値幅 ΔH であり、材料固有の値である。 ΔH_p は、気孔や異相周辺での反磁場による寄与分であり、焼結体中に存在する気孔の影響分である。また、 ΔH_a は、結晶磁気異方性に基づく内部磁場による寄与分であり、多結晶材料では必然的に生じるものである。
- [0006] また、YIG結晶体の結晶格子に欠陥が存在すると、YIG結晶体内部のスピンの歳差運動が一様でなくなってしまう、それはQ値の悪化、スプリアスの発生、寄生共振

の発生等、RF特性の悪化として現れる。

- [0007] したがって、磁気共鳴半値幅 ΔH が小さいことが要求されるYIGデバイスでは、結晶性に優れた磁性ガーネット単結晶によりYIG結晶体を構成することが望ましい。

特許文献1:特開平09-270605号公報

特許文献2:特開平06-236814号公報

特許文献3:特開平08-165197号公報

特許文献4:特開平10-233308号公報

発明の開示

発明が解決しようとする課題

- [0008] YIG結晶体に印加する入力パワーを増加することにより、YIGデバイスの出力パワーを増加することができる。しかしながら、入力パワーがある閾値(限界電力)を超えると、出力パワーの増加割合が小さくなり、最終的に出力パワーがある値に漸近する現象(共鳴飽和現象)が生じる。

- [0009] この共鳴飽和現象を共振状態の観点からみると、入力パワーの増加とともにQ値が劣化していく。これは、スピンの歳差運動が一様でなくなり、損失が大きくなるためである。更に入力パワーを増加していくと、入力パワーを増大するほどに磁気共鳴スペクトルがブロードとなり、共振周波数の半分の周波数でも共振が生じるようになる。

- [0010] 共鳴飽和現象は、磁気共鳴半値幅 ΔH が小さい素子ほど生じやすく、磁気共鳴半値幅 ΔH が小さい単結晶材料を用いるYIGデバイスでは特に重要である。しかしながら、従来は、YIG結晶体の共鳴飽和現象に対する十分な検討及び対策は行われていなかった。

- [0011] 本発明の目的は、磁気共鳴半値幅が小さく共鳴飽和が生じる限界電力が大きい磁性ガーネット単結晶及びこのような磁性ガーネット単結晶を用いたYIGデバイスを提供することにある。

課題を解決するための手段

- [0012] 本発明の一観点によれば、イットリウムの一部をガドリニウムに置換したガドリニウム置換イットリウム・鉄・ガーネットの単結晶よりなることを特徴とする磁性ガーネット単結晶が提供される。

- [0013] また、上記の磁性ガーネット単結晶において、前記ガドリニウム置換イットリウム・鉄・ガーネットの組成を $Y_{3-x}Gd_xFe_5O_{12}$ として、ガドリニウムの組成比 x は、 $0 < x < 0.1$ の範囲であつてもよい。
- [0014] また、上記の磁性ガーネット単結晶において、鉄の一部が、3価の遷移金属元素及びIII属元素を含むグループから選択される少なくとも一の元素に置換されてもよい。
- [0015] また、上記の磁性ガーネット単結晶において、前記ガドリニウム置換イットリウム・鉄・ガーネットの組成を $Y_{3-x}Gd_xFe_{5-y}M_yO_{12}$ として、鉄の置換元素 M の組成比 y は、 $0 \leq y < 1.5$ の範囲であつてもよい。
- [0016] また、本発明の他の観点によれば、イットリウムの一部をガドリニウムに置換したイットリウム・鉄・ガーネットの単結晶が球状に成形されてなることを特徴とするYIG結晶体が提供される。
- [0017] また、本発明の更に他の観点によれば、イットリウムの一部をガドリニウムに置換したイットリウム・鉄・ガーネットの単結晶が球状に成形されたYIG結晶体と、前記YIG結晶体に磁界を印加して前記YIG結晶体を共振する磁界印加手段とを有することを特徴とする共振器が提供される。
- [0018] また、本発明の更に他の観点によれば、イットリウムの一部をガドリニウムに置換したイットリウム・鉄・ガーネットの単結晶が球状に成形されたYIG結晶体と、前記YIG結晶体に磁界を印加して前記YIG結晶体を共振する磁界印加手段とを有する共振器を含むことを特徴とするYIGデバイスが提供される。
- [0019] また、本発明の更に他の観点によれば、イットリウムの一部をガドリニウムに置換したイットリウム・鉄・ガーネットの単結晶をTSFZ法により育成することを特徴とする磁性ガーネット単結晶の製造方法が提供される。

発明の効果

- [0020] 本発明によれば、イットリウムの一部をガドリニウムにより置換したYIG単結晶によりYIG結晶体を構成するので、磁気共鳴半値幅 ΔH を小さくできるとともに、共鳴飽和が生じる限界電力を増大することができる。また、YIG結晶体を $Y_{3-x}Gd_xFe_5O_{12}$ として、ガドリニウムの組成比 x を $0 < x < 0.1$ の範囲に設定することにより、磁気共鳴半値幅 ΔH の増加を小さく抑えつつ、共鳴飽和が生じる限界電力を増加することができ

る。また、磁気共鳴半値幅 ΔH の温度依存性を小さくすることができる。また、ガドリニウムの組成比 x を 0.05 近傍に設定することにより、YIG デバイスの一般的使用温度範囲における磁気共鳴半値幅 ΔH をほぼ一定にすることができる。

図面の簡単な説明

- [0021] [図1]本発明の一実施形態によるYIGデバイスの構造を示す概略断面図である。
- [図2]本発明の一実施形態によるYIGデバイスにおける発振回路の構成図である。
- [図3]限界電力と周波数との関係を示すグラフである。
- [図4]磁気共鳴半値幅の温度依存性を示すグラフである。
- [図5]限界電力とガドリニウム組成比との関係及び磁気共鳴半値幅とガドリニウム組成比との関係を示すグラフである。
- [図6]TSFZ法による結晶成長に用いる赤外線集中加熱炉を示す概略断面図である。
- [図7]TSFZ法により形成したYIG結晶体及びフラックス法により形成したYIG結晶体における磁気共鳴半値幅のばらつきを示すグラフである。
- [図8]本発明の一実施形態の変形例によるYIGデバイスの構造を示す概略断面図である。

符号の説明

- [0022] 10…つぼ形磁気コア
- 12…中心コア
- 14…板状磁気コア
- 16…YIG結晶体
- 18…支持棒
- 20…固定具
- 22…集積回路基板
- 24…結合コイル
- 26…励磁コイル
- 28…電源端子
- 30…同軸コネクタ

- 32…共振器
- 34…トランジスタ
- 36…インダクタ
- 38…整合器
- 40…原料支持具
- 42…結晶原料棒
- 44…種結晶支持具
- 46…種結晶
- 48…上主軸
- 50…下主軸
- 52…石英ガラス管
- 54…雰囲気ガス入口
- 56…雰囲気ガス出口
- 58…楕円面鏡
- 60…ハロゲンランプ
- 62…溶融帯
- 64…CCDカメラ
- 66…入力結合ループ
- 68…出力結合ループ
- 70…電磁石

発明を実施するための最良の形態

[0023] 本発明の一実施形態によるYIGデバイスについて図1乃至図7を用いて説明する。

[0024] 図1は本実施形態によるYIGデバイスの構造を示す断面図、図2は本実施形態によるYIGデバイスにおける発振回路の構成図、図3は限界電力と周波数との関係を示すグラフ、図4は磁気共鳴半値幅の温度依存性を示すグラフ、図5は限界電力とガドリニウム組成比との関係及び磁気共鳴半値幅とガドリニウム組成比との関係を示すグラフ、図6はTSFZ法による結晶成長に用いる赤外線集中加熱炉を示す概略断面図、図7はTSFZ法により形成したYIG結晶体及びフラックス法により形成したYIG結

晶体における磁気共鳴半値幅のばらつきを示すグラフである。

- [0025] はじめに、本実施形態によるYIGデバイスの構造及び動作について図1及び図2を用いて説明する。
- [0026] つぼ形磁気コア10の内部には、中心コア12が設けられている。つぼ形磁気コア10の上方部には板状磁気コア14が設けられており、つぼ形磁気コア10の開口部が板状磁気コア14により塞がれている。中心コア12には、励磁コイル26が巻回されている。励磁コイル26には、電源端子28を介して外部から直流電圧を印加できるようになっている。
- [0027] 中心コア12の先端面と板状磁気コア14との間には、球状に成形されたYIG結晶体（以下、YIG球という）16が配置されている。YIG球16は、板状磁気コア14の内面に平行な支持棒18の一端に取り付けられている。支持棒18の他端は、固定具20により板状磁気コア14の内面に固定されている。
- [0028] 板状磁気コア14の内面には、また、集積回路基板22が固定されている。集積回路基板22上には、YIG球16が中心部に位置するように、半円形をした結合コイル24が取り付けられている（図1 (b) 参照）。
- [0029] 集積回路基板22には、例えば図2に示すような発振回路が形成されている。YIG球16と励磁コイル26とにより共振器32が構成されており、YIG球16には、結合コイル24が磁気結合されている。結合コイル24には、トランジスタ34のエミッタ電極が接続されている。トランジスタ34のベース電極は、インダクタ36を介して接地されている。トランジスタ34のコレクタ電極には整合器38が接続されている。整合器38の出力は、発振器の出力となっている。
- [0030] 集積回路基板22は、板状磁気コア14の外部に設けられた同軸コネクタ30に接続されており、集積回路基板22との間で信号の入出力ができるようになっている。
- [0031] 電源端子28を介して外部から直流電圧を印加して励磁コイル26に直流電流を流すことにより、YIG球16には直流磁界が印加される。この印加磁界により、YIG球16は共振する。YIG球16の共振周波数はYIG球16に印加される磁界の強度に比例するため、励磁コイル26に流す電流を適宜制御することにより、所望の共振周波数を得ることができる。

- [0032] YIG球16は、結合コイル24によって磁気結合された集積回路基板22上の能動回路とともに発信回路を構成する。YIG球16に印加する磁界を変化させることにより、発信周波数を変化することができる。発振出力は、板状磁気コア14取り付けられた同軸コネクタ30から外部に出力することができる。
- [0033] ここで、本実施形態によるYIGデバイスは、YIGデバイスを構成する中心的な素子であるYIG球16が、イットリウム(Y)の一部をガドリニウム(Gd)により置換したYIG単結晶により構成されていることを主たる特徴としている。具体的には、YIG球16は、 $\text{Y}_{3-x}\text{Gd}_x\text{Fe}_5\text{O}_{12}$ の組成で表される材料により構成されている。イットリウムの一部置換に加え、鉄(Fe)の一部を3価の遷移金属元素又はIII族元素(Mで表す)で置換し、 $\text{Y}_{3-x}\text{Gd}_x\text{Fe}_{5-y}\text{M}_y\text{O}_{12}$ の組成で表される材料により構成してもよい。2種以上の3価の遷移金属元素又はIII族元素により、鉄の一部を置換するようにしてもよい。
- [0034] YIG球16のイットリウムを一部ガドリニウムに置換することにより、共鳴飽和が生じる印加電力(限界電力)を増加できるとともに、磁気共鳴半値幅 ΔH に対する温度係数を制御することができる。
- [0035] 図3は、限界電力と周波数との関係を示すグラフである。縦軸の単位であるdBmは、mWの指数表記に対応し、-10dBmが0.1mW、0dBmが1mW、10dBmが10mWである。なお、図3は、飽和磁化800ガウスのYIG結晶体を $300\mu\text{m}\phi$ の球状に加工した素子での測定結果である。
- [0036] 図示するように、イットリウムの一部をガドリニウムに置換した本実施形態の素子(図中、特性A)及びイットリウムをガドリニウムにより置換していない素子(図中、特性B)のいずれの場合にも、同調下限周波数以上の周波数では共振状態となり、周波数の増加とともに限界電力も増加している。同一周波数において限界電力 P_{th} を比較すると、イットリウムの一部をガドリニウムに置換した本実施形態の素子(図中、特性A)は、イットリウムをガドリニウムにより置換していない素子(図中、特性B)よりも限界電力 P_{th} が大きくなっている。すなわち、イットリウムの一部をガドリニウムに置換することにより、共鳴飽和が生じにくくなっていることが判る。
- [0037] 図4は、磁気共鳴半値幅 ΔH の温度依存性を示すグラフである。図中、◆印はガドリニウム組成比 x が $x=0$ ($\text{Y}_3\text{Fe}_5\text{O}_{12}$) の場合、●印はガドリニウム組成比 x が $x=0.0$

$5(Y_{2.95}Gd_{0.05}Fe_5O_{12})$ の場合、×印はガドリニウム組成比 x が $x=0.10(Y_{2.9}Gd_{0.1}Fe_5O_{12})$ の場合である。

- [0038] 図示するように、ガドリニウムを含まないYIG結晶体(◆印)では、磁気共鳴半値幅 ΔH が温度の増加とともに急激に増加する傾向を示している。YIGデバイスの一般的な使用温度域である室温～400K程度の温度範囲における磁気共鳴半値幅 ΔH の変動も極めて大きく、好ましくない。
- [0039] 一方、ガドリニウムを含むYIG結晶体では、ガドリニウム組成比 x が増加するほどに温度に対する磁気共鳴半値幅 ΔH の増加割合が低下する。そして、ガドリニウム組成比 x が0.05のYIG結晶体(●印)では、磁気共鳴半値幅 ΔH の温度依存性はほとんど見られず、YIGデバイスの一般的な使用温度域である室温～400K程度の温度範囲ではほぼフラットな特性となる。ガドリニウム組成比 x が0.10のYIG結晶体(×印)の場合には、磁気共鳴半値幅 ΔH の温度依存性は逆転し、磁気共鳴半値幅 ΔH が温度の増加とともに減少する傾向を示すようになる。
- [0040] 図5は、限界電力とガドリニウム組成比との関係及び磁気共鳴半値幅とガドリニウム組成比との関係を示すグラフである。図中、●印は限界電力とガドリニウム組成比との関係を示しており、◆印は磁気共鳴半値幅とガドリニウム組成比との関係を示している。
- [0041] 図示するように、ガドリニウム組成比 x を増加することにより、限界電力 P_{th} を増加することができる。その一方、ガドリニウム組成比 x を増加することにより、磁気共鳴半値幅 ΔH は増加する。ガドリニウム組成比 x が0.1以上になると、磁気共鳴半値幅 ΔH がガドリニウムを含まない場合の4倍以上の値となり、好ましくない。
- [0042] YIGデバイスに用いるYIG球16としては、限界電力が大きく、磁気共鳴半値幅が小さいことが望ましい。しかしながら、図5に示すように、限界電力及び磁気共鳴半値幅は、ともにガドリニウム組成比 x の増加に伴って増加する。したがって、ガドリニウム組成比 x は、限界電力と磁気共鳴半値幅とを比較考量し、所望するYIG球16の特性に応じて適宜選択することが望ましい。
- [0043] 図4及び図5の結果を考え合わせると、YIG球16中のガドリニウムの含有量は、 $Y_{3-x}Gd_xFe_5O_{12}$ として、ガドリニウム組成比 x を、 $0 < x < 0.1$ の範囲に設定することが望

ましく、一般的な使用温度範囲で磁気共鳴半値幅 ΔH の変動が極めて小さい $x \approx 0.05$ 近傍に設定することが更に望ましい。

[0044] なお、多結晶のYIG結晶体の場合、磁気共鳴半値幅 ΔH がもともと大きく、ガドリニウム添加による磁気共鳴半値幅 ΔH への影響は小さい。しかしながら、磁気共鳴半値幅 ΔH が狭いことが要求される単結晶のYIG結晶体では、磁気共鳴半値幅 ΔH の増加を抑えるためにガドリニウムの添加量をごく微量に制限する必要がある。

[0045] 本実施形態によるYIGデバイスに用いるYIG球16は、イットリウムのガドリニウムによる一部置換に加え、鉄の一部を少なくとも1種の3価遷移金属元素又はIII族元素(Mで表す)で置換し、 $Y_{3-x}Gd_xFe_{5-y}M_yO_{12}$ の組成で表される材料により構成するようにしてもよい。

[0046] 鉄と置換する3価遷移金属元素又はIII族元素元素としては、アルミ(Al)、ガリウム(Ga)等を適用することができる。鉄の一部をこれら元素で置換することにより、飽和磁化を適宜制御することができる。

[0047] 元素Mの組成比yは、 $0 \leq y < 1.5$ に設定することが望ましい。元素Mの組成比yを $y > 1.5$ とするのは、組成比yが1.5を越えると磁気秩序転位温度(キュリー温度)が室温以下となり、使用温度範囲で磁性体ではなくなってしまうからである。また、素子を冷却してキュリー温度以下に保ったとしても、添加量が多いため磁気共鳴半値幅 ΔH が広く(Q値が低いため)共振素子として使用できないからである。

[0048] 本実施形態によるYIG球16は、TSFZ(移動帯溶融:Traveling Solvent Floating Zone)法により結晶成長することが望ましい。

[0049] 従来、単結晶YIG結晶体は、フラックス法により育成されていた。フラックス法とは、るつぼ内に結晶原料とフラックス(融剤)とを入れて溶融した後、徐冷し或いはフラックスを揮発させることにより、単結晶成長させる方法である。しかしながら、フラックス法による結晶成長では、育成中における温度や組成の変動により結晶内部で添加物に分布が生じることがあり、微量添加物の制御が困難であった。このため、本実施形態によるYIGデバイスに用いるYIG球16のように微量なガドリニウムを含む単結晶材料は、フラックス法により成長することは困難である。

[0050] 一方、TSFZ法は、予め所望の量の添加物を混入した結晶原料棒を溶融し、種結

晶上にエピタキシャル成長させる方法であり、微量な添加物を含む単結晶の成長も可能である。したがって、TSFZ法は、本実施形態によるYIGデバイスに用いるYIG球16のように微量なガドリニウムを含む単結晶材料の育成に好適である。

- [0051] 図6は、TSFZ法による結晶成長に用いる赤外線集中加熱炉を示す図である。
- [0052] 原料支持具40に保持された結晶原料棒42と、種結晶支持具44に保持された種結晶46とは、同一軸芯上に支持されている。結晶原料棒42及び種結晶46は、上主軸48及び下主軸50によりそれぞれ支持されており、軸芯方向に移動できるようになっている。
- [0053] 結晶原料棒42及び種結晶46は石英ガラス管52内に配置されている。石英ガラス管52には、雰囲気ガス入口54と雰囲気ガス出口56とが設けられており、これらの中で所定の雰囲気ガスを流すことにより、石英ガラス管52内を所望の雰囲気に制御できるようになっている。
- [0054] 石英ガラス管52の周囲には、石英ガラス管52を囲むように楕円面鏡58が設けられている。楕円面鏡58の一方の焦点にはハロゲンランプ60が配置されている。楕円面鏡58の他方の焦点には、結晶原料棒42の先端部分が位置するように配置されており、ハロゲンランプ60から放出された熱線が結晶原料棒42の先端部分に照射されるようになっている。
- [0055] ハロゲンランプ60から放出された熱線が楕円面鏡58により集光されて結晶原料棒42に照射され、結晶原料棒42の上部に熔融帯62が形成される。この状態で、種結晶46を熔融帯62に接触後、種結晶46を回転しながら種結晶46及び結晶原料棒42を僅かずつ下に向かって移動させることにより、熔融帯62中の熔融原料が種結晶46上に単結晶成長する。単結晶の成長過程は、CCDカメラ64によってモニタすることができる。
- [0056] 上述のTSFZ法では、結晶原料棒42の組成及び熔融帯62中の熔融組成を適切に選定することにより、所望の組成の単結晶を育成することができる。また、TSFZ法によれば、フラックス法等と比較して不純物の混入を大幅に低減することができ、混入したい添加物に対しては微量であっても精度よく混入させることができる。
- [0057] 図7は、TSFZ法により形成したYIG結晶体及びフラックス法により形成したYIG結

晶体における磁気共鳴半値幅のばらつきを示すグラフである。横軸は磁気共鳴半値幅の値を示し、縦軸は全体に占める割合を示している。

[0058] 図示するように、TSFZ法により形成したYIG結晶体は、フラックス法により形成したYIG結晶体と比較して、より小さい磁気共鳴半値幅 ΔH を有している。また、磁気共鳴半値幅 ΔH のばらつきも小さく、安定した特性を有するYIG結晶体を形成できることが判る。

[0059] このように、TSFZ法は、本実施形態によるYIGデバイスに用いる単結晶のYIG球16を育成するために極めて有効である。

[0060] このように、本実施形態によれば、イットリウムの一部をガドリニウムにより置換したYIG単結晶によりYIG結晶体を構成するので、共鳴飽和が生じる限界電力を増加することができる。また、YIG結晶体を $Y_{3-x}Gd_xFe_5O_{12}$ として、ガドリニウムの組成比 x を $0 < x < 0.1$ の範囲に設定することにより、磁気共鳴半値幅 ΔH の増加を小さく抑えつつ、限界電力を増加することができる。また、磁気共鳴半値幅 ΔH の温度依存性を小さくすることができる。また、ガドリニウムの組成比 x を0.05近傍に設定することにより、YIGデバイスの一般的使用温度範囲における磁気共鳴半値幅 ΔH をほぼ一定にすることができる。

[0061] また、共鳴飽和が生じる限界電力が増加することにより、YIG結晶体に印加する入力パワーを大きくすることが可能となる。これにより、高発信出力・広帯域の発振器を実現することができる。

[0062] 本発明は上記実施形態に限らず種々の変形が可能である。

[0063] 例えば、上記実施形態では、本発明のYIG結晶体を適用するYIGデバイスの一例としてYIG同調発振器を示したが、他のYIGデバイスに適用することも可能である。例えば、YIG同調フィルタ等、他のYIGデバイスに適用してもよい。

[0064] YIG同調フィルタは、例えば図8に示すように、YIG球16と、YIG球16に所定の磁界を印加する電磁石70と、YIG球16に磁気結合された入力結合ループ66及び出力結合ループ68とにより構成することができる。

[0065] また、上記実施形態では、YIG結晶体を球状に成形した例を示したが、YIG結晶体は必ずしも球状である必要はない。一般に、YIG結晶体を球状にすると共振周波

数 f と外部磁界 H とが $f = \gamma H$ の関係となるためデバイス設計が容易であるが、円板状や針状の共振器を形成することも可能である。特に、円板状のYIG結晶体は、共振周波数 f が $f = \gamma (H - 4 \pi M_s)$ で表され、球状の場合よりも低いため、低周波素子へ適用することができる。但し、共振周波数 f が $4 \pi M_s$ に依存し、飽和磁化(M_s)の温度変化が直接共振周波数の温度変化となるため、温度安定化のための工夫が必要である。また、共振器としての応用ではなくサーキュレータや遅延線等の応用では、平板状のYIG結晶体を用いることもできる。

産業上の利用可能性

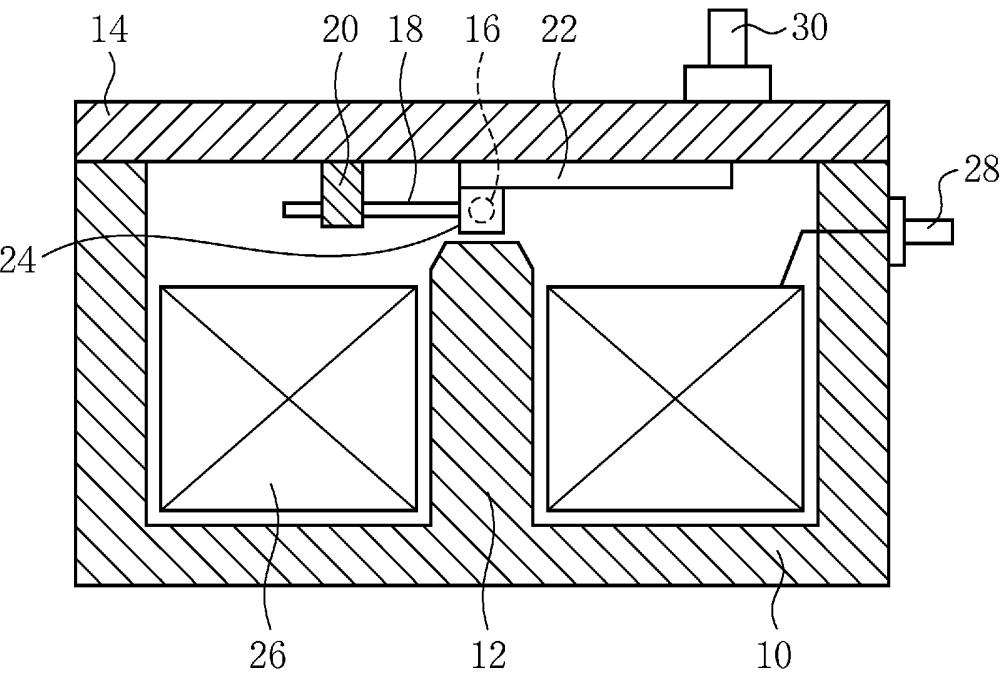
- [0066] 本発明によるYIG結晶体は、磁気共鳴半値幅 ΔH が小さくその温度依存性も小さい。また、高い限界電力を有している。したがって、高発振出力・広帯域が要求されるYIGデバイス、このようなYIGデバイスを用いたスペクトラム・アナライザやネットワーク・アナライザ等への適用に極めて有用である。

請求の範囲

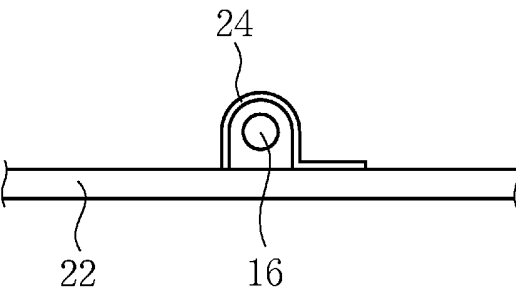
- [1] イットリウムの一部をガドリニウムに置換したガドリニウム置換イットリウム・鉄・ガーネットの単結晶よりなることを特徴とする磁性ガーネット単結晶。
- [2] 請求の範囲第1項記載の磁性ガーネット単結晶において、
前記ガドリニウム置換イットリウム・鉄・ガーネットの組成を $Y_{3-x}Gd_xFe_{5-12}O_{12}$ として、ガドリニウムの組成比 x が、 $0 < x < 0.1$ の範囲であることを特徴とする磁性ガーネット単結晶。
- [3] 請求の範囲第1項又は第2項記載の磁性ガーネット単結晶において、
鉄の一部が、3価の遷移金属元素及びIII属元素を含むグループから選択される少なくとも一の元素に置換されていることを特徴とする磁性ガーネット単結晶。
- [4] 請求の範囲第3項記載の磁性ガーネット単結晶において、
前記ガドリニウム置換イットリウム・鉄・ガーネットの組成を $Y_{3-x}Gd_xFe_{5-y}M_yO_{12}$ として、鉄の置換元素 M の組成比 y が、 $0 \leq y < 1.5$ の範囲であることを特徴とする磁性ガーネット単結晶。
- [5] イットリウムの一部をガドリニウムに置換したイットリウム・鉄・ガーネットの単結晶が球状に成形されてなることを特徴とするYIG結晶体。
- [6] イットリウムの一部をガドリニウムに置換したイットリウム・鉄・ガーネットの単結晶が球状に成形されたYIG結晶体と、
前記YIG結晶体に磁界を印加して前記YIG結晶体を共振する磁界印加手段とを有することを特徴とする共振器。
- [7] イットリウムの一部をガドリニウムに置換したイットリウム・鉄・ガーネットの単結晶が球状に成形されたYIG結晶体と、前記YIG結晶体に磁界を印加して前記YIG結晶体を共振する磁界印加手段とを有する共振器を含むことを特徴とするYIGデバイス。
- [8] イットリウムの一部をガドリニウムに置換したイットリウム・鉄・ガーネットの単結晶をTSFZ法により育成することを特徴とする磁性ガーネット単結晶の製造方法。

[図1]

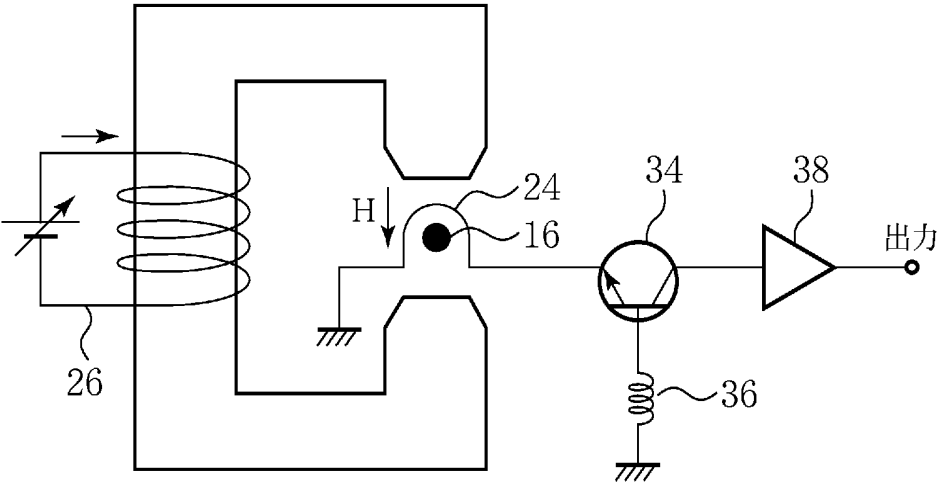
(a)



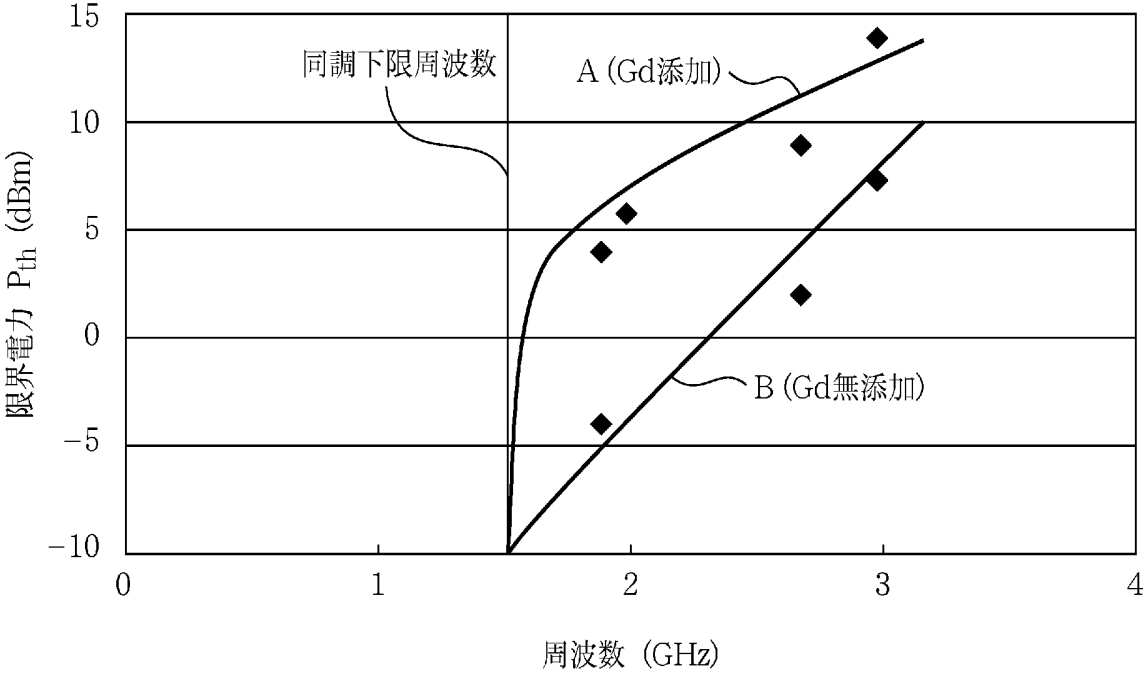
(b)



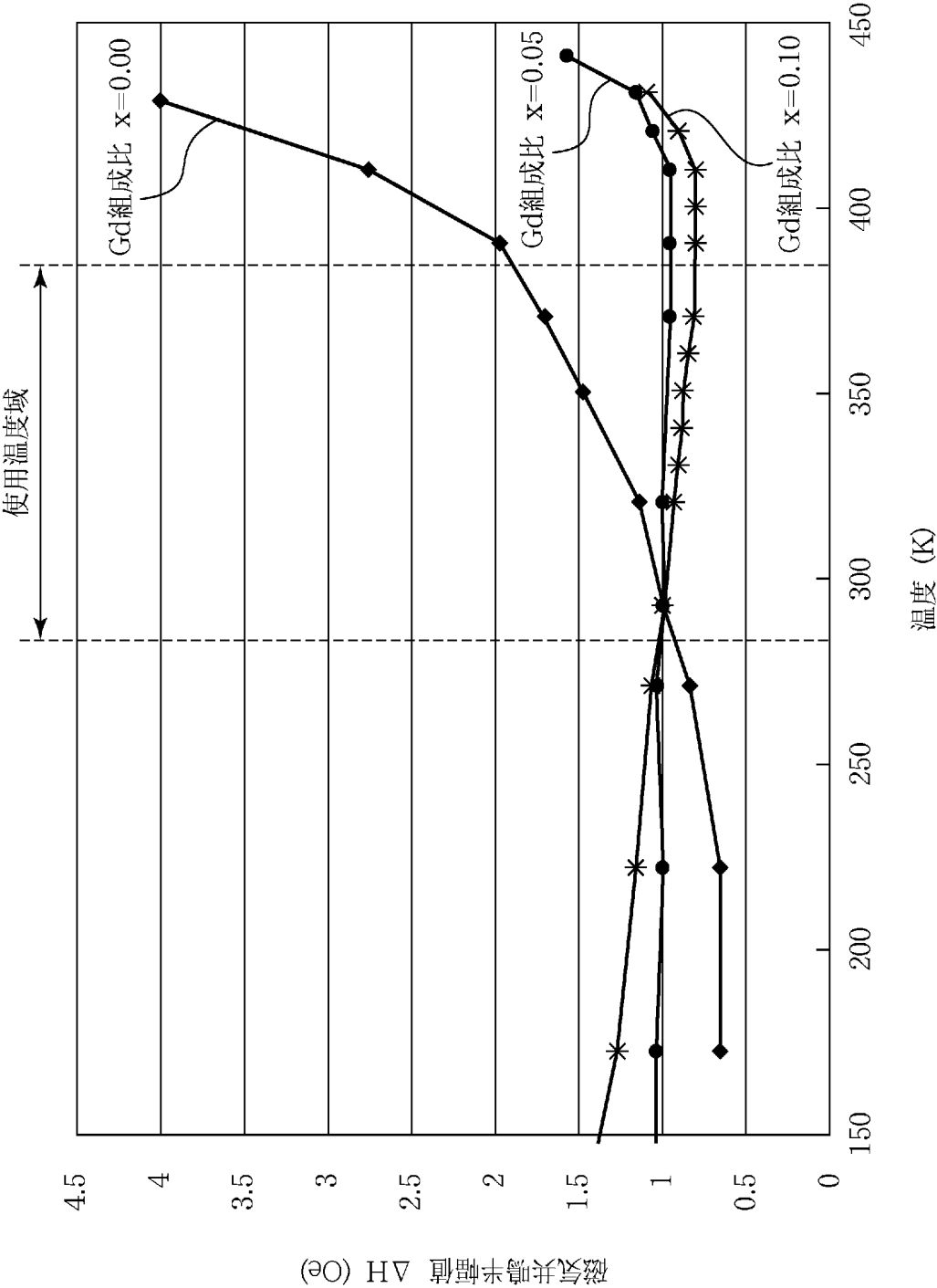
[図2]



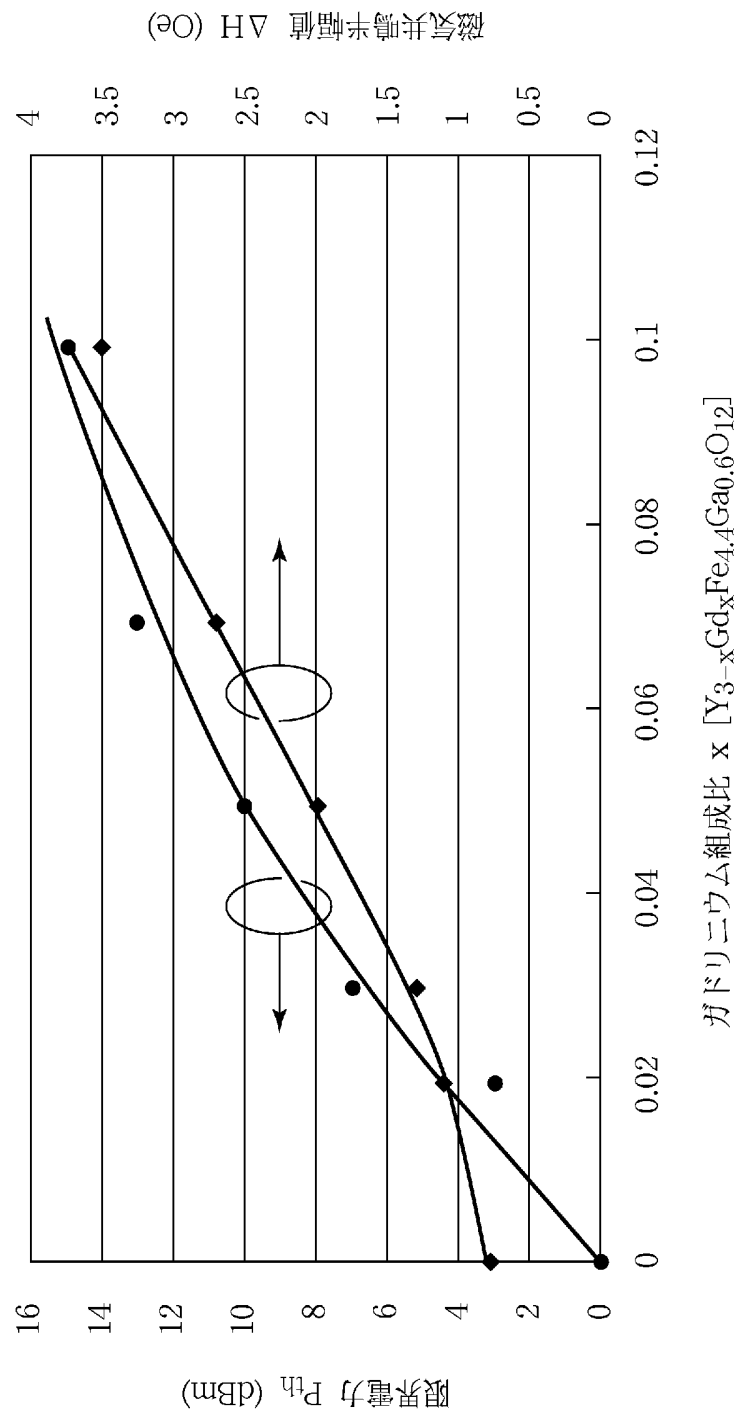
[図3]



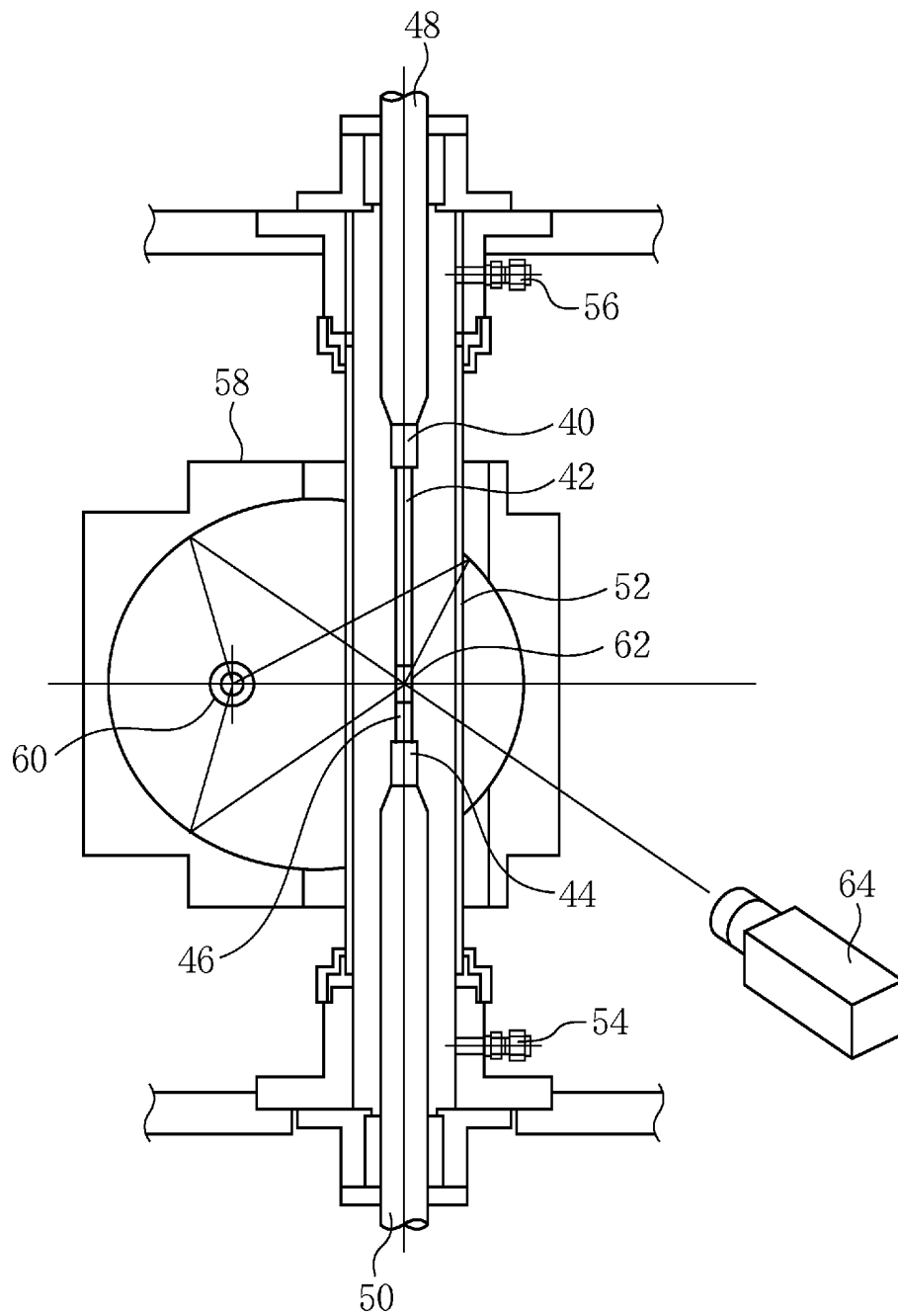
[図4]



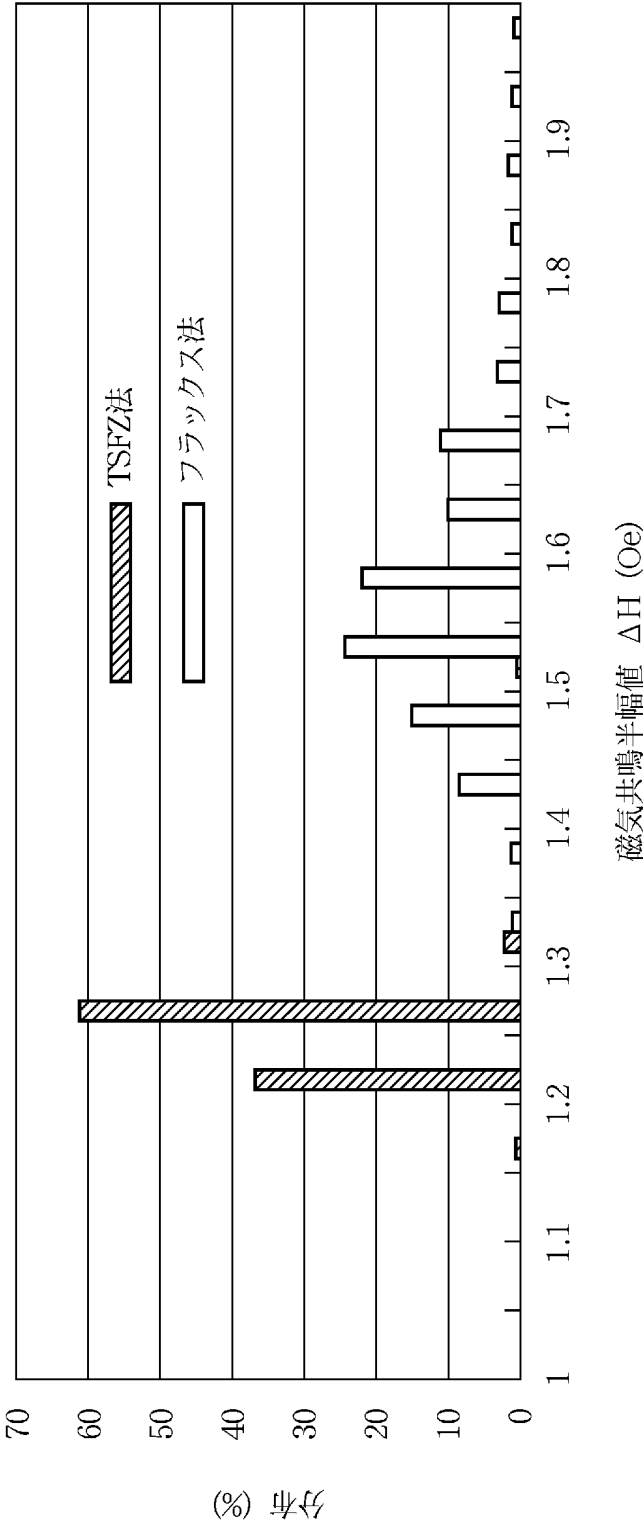
[図5]



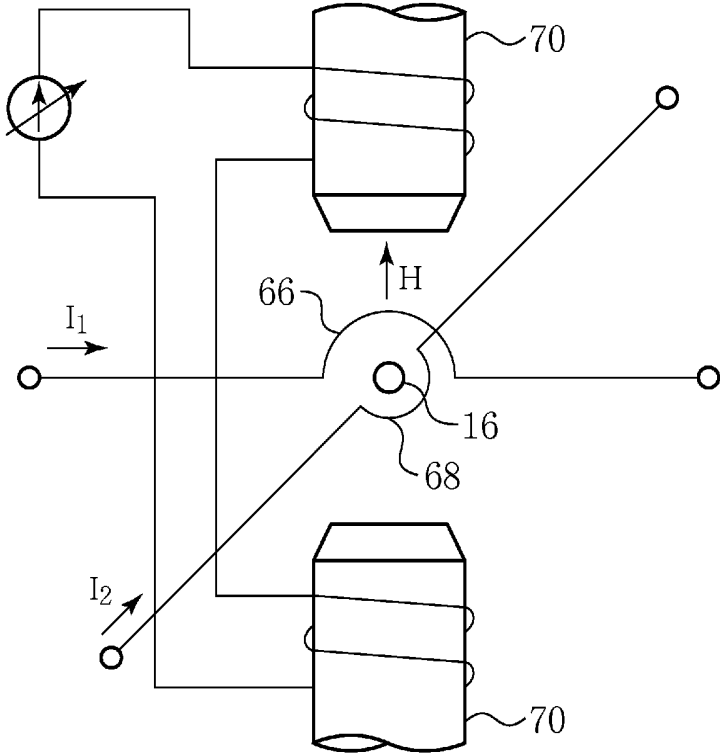
[図6]



[図7]



[図8]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2004/011985

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
Int.Cl⁷ C30B29/28, C30B13/00

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl⁷ C30B29/28, C30B13/00

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1926-1996	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2004
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2004	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2004

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

WPI

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	JP 5-251788 A (Murata Mfg. Co., Ltd.), 28 September, 1993 (28.09.93), Claims; Page 2, Par. No. [0008] to page 3, Par. No. [0017] & EP 559095 A1	1-8
X	JP 2003-55096 A (Murata Mfg. Co., Ltd.), 26 February, 2003 (26.02.03), Claims; page 3, Par. No. [0014] to page 5, Par. No. [0044] & US 2003-041797 A1	1-8
X	JP 5-70144 A (Murata Mfg. Co., Ltd.), 23 March, 1993 (23.03.93), Claims & EP 531914 A3	1-8

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
30 September, 2004 (30.09.04)

Date of mailing of the international search report
19 October, 2004 (19.10.04)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2004/011985

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	JP 55-143009 A (Matsushita Electric Industrial Co., Ltd.), 08 November, 1980 (08.11.80), Claims; page 2, lower right column, lines 3 to 9 (Family: none)	1-8

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))		
Int. Cl ⁷ C30B29/28, C30B13/00		
B. 調査を行った分野		
調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))		
Int. Cl ⁷ C30B29/28, C30B13/00		
最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの		
日本国実用新案公報 1926-1996 日本国公開実用新案公報 1971-2004 日本国登録実用新案公報 1994-2004 日本国実用新案登録公報 1996-2004		
国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)		
WPI		
C. 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
X	JP 5-251788 A(株式会社村田製作所), 1993.09.28, 特許請求の範囲, 第2頁段落【0008】-第3頁段落【0017】 & EP 559095 A1	1-8
X	JP 2003-55096 A(株式会社村田製作所), 2003.02.26, 特許請求の範囲, 第3頁段落【0014】-第5頁段落【0044】 & US 2003-041797 A1	1-8
X	JP 5-70144 A(株式会社村田製作所), 1993.03.23, 特許請求の範囲 & EP 531914 A3	1-8
☒ C欄の続きにも文献が列举されている。 ☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。		
* 引用文献のカテゴリー 「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの 「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの 「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す) 「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献 「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願日の後に公表された文献 「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの 「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの 「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの 「&」 同一パテントファミリー文献		
国際調査を完了した日	国際調査報告の発送日	
30.09.2004	19.10.2004	
国際調査機関の名称及びあて先	特許庁審査官 (権限のある職員)	4G 8618
日本国特許庁 (ISA/J P)	新居田 知生	
郵便番号100-8915	電話番号 03-3581-1101	内線 6781
東京都千代田区霞が関三丁目4番3号		

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
X	JP 55-143009 A(松下電器産業株式会社), 1980. 11. 08, 特許請求の 範囲, 第2頁右下欄第3行~9行(ファミリーなし)	1 - 8