

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2017-45763

(P2017-45763A)

(43) 公開日 平成29年3月2日(2017.3.2)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
HO 1 L 29/82 (2006.01)	HO 1 L 29/82 Z	4 M 1 1 9
HO 1 L 43/08 (2006.01)	HO 1 L 43/08 Z	5 F 0 9 2
HO 1 L 21/8246 (2006.01)	HO 1 L 27/10 4 4 7	
HO 1 L 27/105 (2006.01)	HO 1 L 43/10	
HO 1 L 43/10 (2006.01)	HO 1 L 37/00	

審査請求 未請求 請求項の数 1 O L (全 10 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2015-164906 (P2015-164906)
 (22) 出願日 平成27年8月24日 (2015.8.24)

特許法第30条第2項適用申請有り 第62回応用物理学会春季学術講演会講演予稿集 (DVD-ROM)、09-100ページ、公益社団法人応用物理学会、平成27年2月26日発行 第62回応用物理学会春季学術講演会、平成27年3月12日

(71) 出願人 000004260
 株式会社デンソー
 愛知県刈谷市昭和町1丁目1番地
 504157024
 国立大学法人東北大学
 宮城県仙台市青葉区片平二丁目1番1号
 110001128
 特許業務法人ゆうあい特許事務所
 (72) 発明者 水沼 広太郎
 愛知県刈谷市昭和町1丁目1番地 株式会社デンソー内
 (72) 発明者 才賀 裕太
 愛知県刈谷市昭和町1丁目1番地 株式会社デンソー内

最終頁に続く

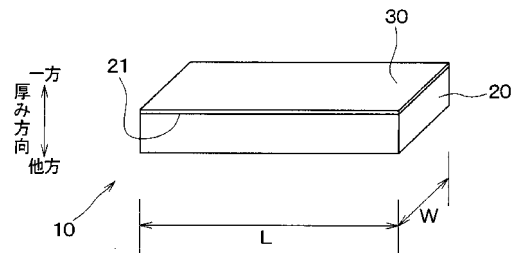
(54) 【発明の名称】 デバイス

(57) 【要約】

【課題】 高いスピントラッキング係数 $SSSE$ を得ることができるスピントラッキング変換素子 10 を提供する。

【解決手段】 スピントラッキング変換素子 10 は、磁性体 20 と、この磁性体 20 の一面 21 に形成されている電極 30 とを備える。スピントラッキング変換素子 10 は、磁性体 20 に生じる温度勾配に起因して磁性体 20 と電極 10 との間に発生するスピントラッキング効果によって電極 30 に起電力が誘起される。電極 30 は、Pt と Cu とを含む合金によって構成されて、Pt の原子数濃度が 50 at% 以上で 70 at% 以下の範囲内に入るように電極 30 が構成されている。

【選択図】 図 1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

スピン軌道相互作用を有する材料によって構成されて、スピン流および電流のうち一方から他方に変換する変換体(30)を備えるデバイスであって、

前記変換体を構成する前記材料は、PtとCuとを含む合金であり、前記Ptの原子数濃度が50at%以上で70at%以下の範囲内に入るように前記変換体が構成されていることを特徴とするデバイス。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、スピン流と電流の変換を行うデバイスに関するものである。

【背景技術】

【0002】

近年、スピントロニクスに対する研究が注目されている。電子のスピンを利用したスピントロニクスデバイスは、新技術のイノベーションを起こすものとして期待されている。

【0003】

具体的な応用先は、スピントランジスタ、新たな構造の記憶素子、多機能の論理回路、高感度磁気センサー、熱電変換素子や高周波発振素子などと多岐にわたる。

【0004】

これらのスピントロニクスデバイスにおいて、重要な技術の一つにスピンホール効果やその逆効果である逆スピンホール効果が挙げられる。スピンホール効果は電流からスピンの流れ(スピン流)を生み出す効果で、逆スピンホール効果はスピン流を電流に変換する効果として知られている。これらの効果はPtなどのスピン軌道相互作用の強い材料において観測される(例えば、特許文献1参照)。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0005】

【特許文献1】特許第5585314号明細書

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

しかしながら、一般にスピン軌道相互作用の強い材料として、Ptが使用されているが、高価な材料であることから産業応用には適していない。

【0007】

本発明は、かかる背景に鑑みてなされたものであり、PtとCuの合金化によってPtの使用量を減らし、かつ高いスピン軌道相互作用を有するデバイスを提供するものである。

【課題を解決するための手段】

【0008】

上記目的を達成するため、請求項1に記載の発明では、スピン軌道相互作用を有する材料によって構成されて、スピン流および電流のうち一方から他方に変換する変換体(30)を備えるデバイスであって、

変換体を構成する材料は、PtとCuとを含む合金であり、Ptの原子数濃度が50at%以上で70at%以下の範囲内に入るように変換体が構成されていることを特徴とする。

【0009】

このように、Ptの原子数濃度が50at%~70at%の範囲内に入るように変換体が構成されている。このため、Ptの使用量を減らし、かつ高いスピン軌道相互作用を有するデバイスを提供することができる。

【0010】

10

20

30

40

50

なお、この欄および特許請求の範囲に記載した各手段の括弧内の符号は、後述する実施形態に記載の具体的手段との対応関係を示すものである。

【図面の簡単な説明】

【0011】

【図1】本発明の第1実施形態におけるスピン熱電変換素子の構成を示す斜視図である。

【図2】第1実施形態におけるスピン熱電変換素子の起電力の測定方法を示す図である。

【図3】第1実施形態におけるスピン熱電変換素子の作成工程を示すフローチャートである。

【図4】第1実施形態におけるスピンゼーベック係数 SSE の電極の厚み寸法依存性を示すグラフである。

10

【図5】第1実施形態の第1変形例におけるスピン熱電変換素子の構成を示す斜視図である。

【図6】第1実施形態の第2変形例におけるスピン熱電変換素子の構成を示す斜視図である。

【図7】本発明の第2実施形態におけるMTJ素子の構成を示す断面図である。

【発明を実施するための形態】

【0012】

以下、本発明の実施形態について図に基づいて説明する。なお、以下の各実施形態相互において、互いに同一もしくは均等である部分には、説明の簡略化を図るべく、図中、同一符号を付してある。

20

【0013】

(第1実施形態)

スピン熱電変換素子10は、図1に示すように、磁性体20および電極30から構成されている。磁性体20は、YIGによってバルク体として構成されている。

【0014】

YIGは、Yttrium Iron Garnet (Y₃Fe₅O₁₂) の略称である。本実施形態では、磁性体20は、表面21を有する板状に形成されている。表面21は、磁性体20の厚み方向の一方側に平面状に形成されている一面である。

【0015】

電極30は、磁性体20の表面21に沿うように薄膜状に形成されている起電体である。本実施形態の電極30は、後述するように、PtとCuとを含む合金によって構成されている。

30

【0016】

このように構成される本実施形態のスピン熱電変換素子10では、磁性体20と電極30との間に発生するスピンゼーベック効果によって電極30に起電力が誘起される。

【0017】

具体的には、図2に示すように、磁性体20の厚さ方向に温度勾配を生じさせて、磁性体20に対して幅方向に磁場Hを与えると、厚さ方向他方側から厚さ方向一方側にスピン流が流れる。このスピン流の一部が電極30において電流に変換させる。この電流は、電極30において、スピン流の流れ方向に直交し、かつ磁場Hの方向に直交する方向に流れる。このことにより、スピンゼーベック効果により、温度差に起因した起電力が電極30に誘起される。

40

【0018】

次に、本実施形態におけるスピン熱電変換素子10の作成工程について図3を参照して説明する。

【0019】

まず、第1工程(ステップ100)において、YIGの多結晶体を幅方向寸法 $W = 2 \text{ mm}$ 、長さ $L = 5 \text{ mm}$ 、厚さ寸法 $t = 0.9 \text{ mm}$ とするバルク体としてダイヤモンドワイヤーソー(ムサシ電子社製; CS-203)でカットする。以下、このようにカットしたYIGの多結晶体をYIG素子という。

50

【0020】

次に、第2工程（ステップ110）において、YIG素子の表面を研磨する。

【0021】

次に、第3工程（ステップ120）において、この表面を研磨したYIG素子を有機溶剤中で約5分間、超音波洗浄して磁性体20が形成される。

【0022】

次に、第4工程（ステップ130）において、磁性体20の表面21の全面に対して、いわゆるコスパッタ法によりCu、Ptによって薄膜を形成する。

【0023】

具体的には、磁性体20の表面21全面に対してスパッタ等により形成する薄膜の原材料であるターゲットとしてCu、Ptを設定して、Cuによって薄膜を形成する成膜工程と、Ptによって薄膜を形成する成膜工程とを同時に行う。

10

【0024】

以上により、PtとCuとからなる合金からなる薄膜が電極30として磁性体20の表面21の全面に形成されることになる。これにより、スピン熱電変換素子10が作成される。

【0025】

次に、第5工程（ステップ140）において、測定器40で温度差による起電力を評価する。

【0026】

具体的には、図2に示すように、磁性体20の厚み方向に温度差Tの温度勾配を生じさせる。この際に、幅方向に磁場Hを与えて、電極30の長さ方向に誘起される起電力を測定器40で測定する。

20

【0027】

本実施形態では、磁性体20の厚み方向には、30の温度差Tの温度勾配を生じさせる。磁性体20の幅方向に与える磁場Hとしては、-140mT～140mTの範囲内の磁界が設定される（-140mT H 140mT）。測定器40としては、（株）ケスレー製のナノボルトメータ（21824）が用いられる。

【0028】

以下、本実施形態のスピン熱電変換素子10の起電力の測定結果について図4について説明する。

30

【0029】

図4は、横軸が電極30の厚さ寸法t（nm）とし、縦軸をスピンゼーベック係数SSSE（ $\mu\text{V}/\text{K}$ ）としたグラフである。スピンゼーベック係数SSSEは、「単位温度差あたりの起電力」である。

【0030】

図4において、円形のドットからなるグラフは、Ptの原子数濃度が100at%になるように電極40が構成されているスピン熱電変換素子のスピンゼーベック係数SSSEを示している。三角形のドットからなるグラフは、Cuの原子数濃度が50at%になり、Ptの原子数濃度が50at%になるように電極40を構成されているスピン熱電変換素子10のスピンゼーベック係数SSSEを示している。四角形のドットからなるグラフは、Ptの原子数濃度が50at%になるように電極40が構成されているスピン熱電変換素子のスピンゼーベック係数SSSEを示している。

40

【0031】

以下、説明の便宜上、Ptの原子数濃度が100at%になるように電極40が構成されているスピン熱電変換素子を「比較対象としてのスピン熱電変換素子10X」とする。Cuの原子数濃度が50at%になり、Ptの原子数濃度が50at%になるように電極40を構成されているスピン熱電変換素子10を、「本実施形態のスピン熱電変換素子10A」という。Ptの原子数濃度が70at%になるように電極40を構成されているスピン熱電変換素子10を、「本実施形態のスピン熱電変換素子10B」という。

50

【0032】

図4から分かるように、比較対象としてのスピン熱電変換素子10Xのスピンゼーベック係数 SSE と、本実施形態のスピン熱電変換素子10Aのスピンゼーベック係数 SSE とは、ほぼ同等になっている。つまり、本実施形態のスピン熱電変換素子10Aにおいて、高いスピンゼーベック係数 SSE を得ることができる。

【0033】

比較対象としてのスピン熱電変換素子10Xのスピンゼーベック係数 SSE と、本実施形態のスピン熱電変換素子10Bのスピンゼーベック係数 SSE とは、ほぼ同等になっている。つまり、本実施形態のスピン熱電変換素子10Bにおいて、高いスピンゼーベック係数 SSE を得ることができる。

10

これに加えて、本発明者の実験によれば、スピン熱電変換素子10において、 $50 \text{ at} \% < Pt$ の原子数濃度 $< 70 \text{ at} \%$ を満たすように電極30を構成する場合においても、高いスピンゼーベック係数 SSE を得ることができることが分かった。

【0034】

以上により、スピン熱電変換素子10において、 Pt の原子数濃度が $50 \text{ at} \%$ 以上で $70 \text{ at} \%$ 以下の範囲に入るように電極30を構成する場合には、高いスピンゼーベック係数 SSE を得ることができることが分かった。

【0035】

但し、本実施形態では、 Cu の原子数濃度と Pt の原子数濃度とを加算した値が $100 \text{ at} \%$ となるように電極30が構成されている。

20

【0036】

以上説明した本実施形態によれば、スピン熱電変換素子10は、磁性体20と、この磁性体20の一面21に形成されている電極30とを備える。スピン熱電変換素子10は、磁性体20に生じる温度勾配に起因して磁性体20と電極10との間に発生するスピンゼーベック効果によって電極30に起電力が誘起される。

【0037】

電極30は、 Pt と Cu とを含む合金によって構成されて、 Pt の原子数濃度が $50 \text{ at} \%$ 以上で $70 \text{ at} \%$ 以下の範囲内に入るように電極30が構成されていることを特徴とする。

【0038】

これにより、高いスピンゼーベック係数 SSE を得ることができる。したがって、 Pt と Cu の合金化によって Pt の使用量を減らし、かつ高いスピン軌道相互作用を有するスピン熱電変換素子10を提供することができる。

30

【0039】

さらに、スピン熱電変換素子10において、より高いスピンゼーベック係数 SSE を得るためには、 Pt の原子数濃度が $50 \text{ at} \%$ 以上で $70 \text{ at} \%$ 以下の範囲内に入るように電極30が構成されていることが好ましい。

【0040】

(第1実施形態の第1変形例)

上記第1実施形態では、磁性体20の表面21に電極30を形成したスピン熱電変換素子10について説明したが、これに代えて、本第1変形例では、図5に示すように、スピン熱電変換素子10を形成した例について説明する。

40

【0041】

すなわち、スピン熱電変換素子10は、円筒状に形成されている磁性体20と、磁性体20の外周面21aに沿う薄膜状に電極30が形成されている。本第1変形例の電極30は、磁性体20軸線Sを中心線とする円筒状に形成されている。

【0042】

この場合、磁性体20に対して軸線方向に磁場Hを印加して、磁性体20に対して軸線Sを中心とする径方向に温度勾配を生じさせると、電極30において軸線Sを中心とする円周方向にスピン流に基づく電流が流れる。

50

【 0 0 4 3 】

以上説明した本第 1 変形例によれば、スピン熱電変換素子 1 0 の電極 3 0 は、P t と C u とを含む合金によって構成されている。電極 3 0 において、C u の原子数濃度と P t の原子数濃度とを加算した値を 1 0 0 a t % とすると、P t の原子数濃度が 3 0 a t % 以上で 8 0 a t % 以下の範囲内に入るように電極 3 0 が構成されていることを特徴とする。或いは、P t の原子数濃度が 5 0 a t % 以上で 7 0 a t % 以下の範囲内に入るように変換層 5 4 が構成されている。これにより、上記第 1 実施形態と同様に、高いスピン軌道相互作用を有するスピン熱電変換素子 1 0 を提供することができる。

【 0 0 4 4 】

(第 1 実施形態の第 2 変形例)

上記第 1 実施形態では、磁性体 2 0 と電極 3 0 とから構成されるスピン熱電変換素子 1 0 について説明したが、これに限らず、本第 3 実施形態では、図 6 に示すように、基板 5 0 の一面 5 1 に磁性体 2 0 と電極 3 0 とを形成したスピン熱電変換素子 1 0 を用いる例について説明する。

【 0 0 4 5 】

図 6 は、本第 3 実施形態のスピン熱電変換素子 1 0 の構成を示す斜視図である。

【 0 0 4 6 】

本実施形態の磁性体 2 0 は、基板 5 0 の一面 5 1 に薄膜状に形成されている。磁性体 2 0 は、ガドリニウム・ガリウム・ガーネット (gadolinium gallium garnet) や S i によって形成されている。電極 3 0 は、磁性体 2 0 に対して基板 5 0 の反対側の表面 2 1 に沿うように薄膜状に形成されている。

【 0 0 4 7 】

(第 2 実施形態)

上記第 1 実施形態では、本発明のデバイスをスピン熱電変換素子 1 0 に適用した例について説明したが、これに代えて、本第 2 実施形態では、本発明のデバイスを磁気トンネル接合素子 (M T J (Magnetic Tunnel Junction) 素子) に適用した例について説明する。

【 0 0 4 8 】

図 7 に本発明の磁気トンネル接合素子 5 0 の本実施形態の概略構成を示す。磁気トンネル接合素子 5 0 は、磁気ランダムアクセスメモリを構成するもので、固定層 5 1、トンネルバリア層 5 2、記録層 5 3、および変換層 5 4 が積層されて構成されている。

【 0 0 4 9 】

磁気トンネル接合素子 5 0 は、固定層 5 1 および変換層 5 4 の間にトンネルバリア層 5 2 および記録層 5 3 が配置されている。トンネルバリア層 5 2 は変換層 5 4 に対して固定層 5 1 側に配置されている。記録層 5 3 は、固定層 5 1 に対して変換層 5 4 側に配置されている。

【 0 0 5 0 】

固定層 5 1、トンネルバリア層 5 2、記録層 5 3、および変換層 5 4 は、それぞれの面方向が平行になっている。面方向は、厚み方向に直交して、層 5 1、5 2、5 3、5 4 が拡がる方向である。層 5 1、5 2、5 3、5 4 は、固定層 5 1、トンネルバリア層 5 2、記録層 5 3、および変換層 5 4 を省略した表記である。

【 0 0 5 1 】

固定層 5 1 は、強磁性材料によって薄膜状に形成されて、磁化方向 G 1 が固定されている。固定層 5 1 の磁化方向は、固定層 5 1 の面方向に平行になるように形成されている。トンネルバリア層 5 2 は、非強磁性材料によって薄膜状に形成されている。

【 0 0 5 2 】

記録層 5 3 は、強磁性材料によって薄膜状に形成されて、磁化方向 G 2 が変化可能になっている。記録層 5 3 の磁化方向 G 2 は、固定層 5 1 の磁化方向 G 1 に対して平行、或いは逆平行になる。変換層 5 4 は、上記第 1 実施形態の電極 3 0 と同様に、P t と C u とを含む合金によって薄膜状に形成されている。

10

20

30

40

50

【0053】

このように構成される本実施形態では、変換層54に対して矢印Y aの如く、変換層54の面方向に流すと、変換層54に流れる電流がスピン流に変換される。この変換されたスピン流は、記録層53にその厚み方向に注入される。このように注入されるスピン流によって、記録層53の磁化方向G2が反転する。

【0054】

例えば、記録層53の磁化方向G2が磁化方向G1に対して平行である状態になっているとすると、記録層53の磁化方向G2が、スピン流によって反転して、磁化方向G1に対して逆平行になる。

【0055】

以上説明した本実施形態では、磁気トンネル接合素子50は、固定層51、トンネルバリア層52、記録層53、および変換層54が積層されて構成されている。

【0056】

本実施形態では、変換層54は、CuとPtとからなる合金から構成されてPtの原子数濃度が30at%以上で80at%以下の範囲内に入るように変換層54が構成されている。或いは、Ptの原子数濃度が50at%以上で70at%以下の範囲内に入るように変換層54が構成されている。したがって、磁気トンネル接合素子50において高いスピン軌道相互作用を有することができる。このため、変換層54において、高いスピンホール効果が得られる。よって、変換層54に電流を流すと、変換層54に流れる電流がスピン流に変換される。この変換されたスピン流が記録層53に注入される。これによって、記録層53の磁化方向G2を反転することができる。

【0057】

(他の実施形態)

(1)上記第1実施形態では、YIGからなる磁性体20を用いた例について説明したが、これに代えて、YIG以外の材料からなる磁性体20を用いてもよい。

【0058】

(2)上記第1実施形態では、PtとCuとからなる合金によって電極30を形成した例について説明したが、これに限らず、Pt、Cuに他の元素を添加した合金材料によって電極30を形成してもよい。

【0059】

同様に、上記第3実施形態では、PtとCuとからなる合金によって変換層54を形成する場合に限らず、Pt、Cuに他の元素を添加した合金材料によって変換層54を形成してもよい。

【0060】

(3)上記第1実施形態では、スピン流を電流に変換するデバイスとしてスピン熱電変換素子10について説明したが、これに限らず、スピン流を電流に変換するデバイスとしてスピン熱電変換素子10以外のデバイスを用いてもよい。

【0061】

(4)上記第2実施形態では、電流をスピン流に変換するデバイスとして磁気トンネル接合素子について説明したが、これに限らず、電流をスピン流に変換するデバイスとして磁気トンネル接合素子以外のデバイスを用いてもよい。

【0062】

(5)上記第1実施形態では、スピン流を電流に変換するデバイスを本発明のデバイスとし、上記第2実施形態では、電流をスピン流に変換するデバイスを本発明のデバイスとしたが、これに限らず、スピン流を電流に変換する一方、電流をスピン流に変換するデバイスを本発明のデバイスとしてもよい。

【0063】

ここで、本発明の変換層としては、半導体、磁性半導体から構成してもよい。

【0064】

(6)上記第1実施形態では、Cu、Ptによって電極30を形成する方法としてコス

10

20

30

40

50

パッタ法を用いた例について説明したが、これに限らず、各種の方法を用いて、Cu、Ptによって電極30を形成してもよい。例えば、Cu、Ptからなる合金を予め用意し、この用意した合金を用いてスパッタリング等の各種方法によって電極30を形成してもよい。

【0065】

(7)なお、本発明は上記した実施形態に限定されるものではなく、特許請求の範囲に記載した範囲内において適宜変更が可能である。また、上記各実施形態は、互いに無関係なものではなく、組み合わせが明らかに不可な場合を除き、適宜組み合わせが可能である。また、上記各実施形態において、実施形態を構成する要素は、特に必須であると明示した場合および原理的に明らかに必須であると考えられる場合等を除き、必ずしも必須のものではないことは言うまでもない。また、上記各実施形態において、実施形態の構成要素の個数、数値、量、範囲等の数値が言及されている場合、特に必須であると明示した場合および原理的に明らかに特定の数に限定される場合等を除き、その特定の数に限定されるものではない。また、上記各実施形態において、構成要素等の形状、位置関係等に言及するときは、特に明示した場合および原理的に特定の形状、位置関係等に限定される場合等を除き、その形状、位置関係等に限定されるものではない。

10

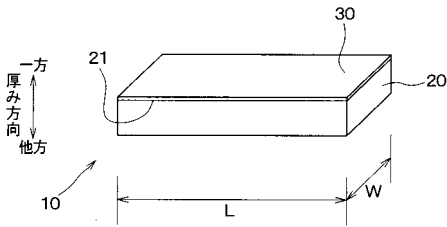
【符号の説明】

【0066】

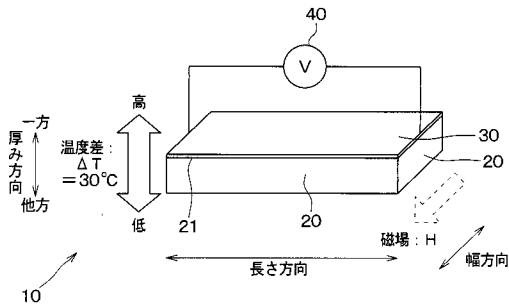
- 10 スピン熱電変換素子
- 20 磁性体
- 21 表面
- 30 電極(変換体)
- 50 磁気トンネル接合素子
- 51 固定層
- 52 トンネルバリア層52
- 53 記録層
- 54 変換層(変換体)

20

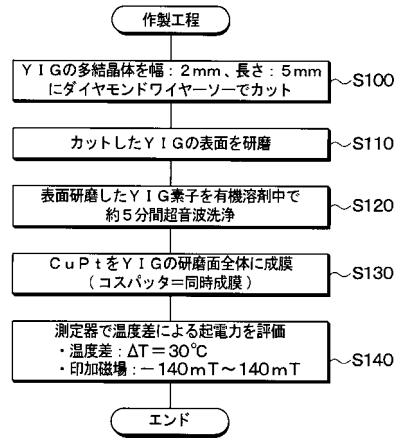
【 図 1 】



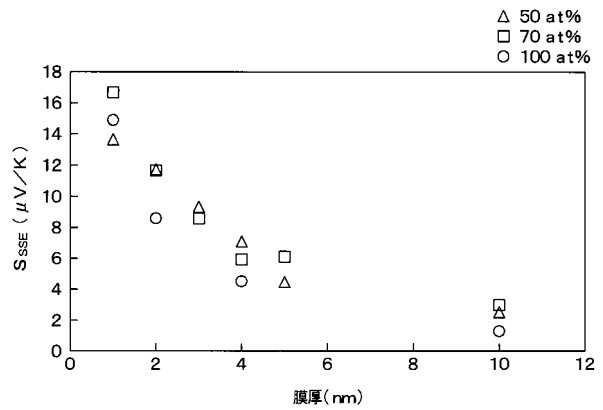
【 図 2 】



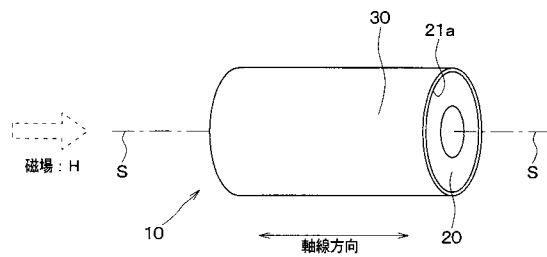
【 図 3 】



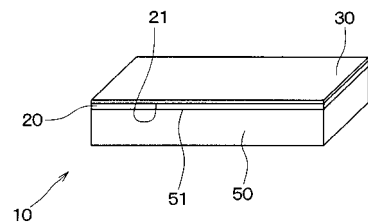
【 図 4 】



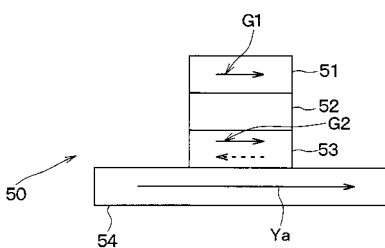
【 図 5 】



【 図 6 】



【 図 7 】



フロントページの続き

(51)Int.Cl. F I テーマコード(参考)
H 0 1 L 37/00 (2006.01)

(72)発明者 河野 欣
愛知県刈谷市昭和町1丁目1番地 株式会社デンソー内

(72)発明者 新田 淳作
宮城県仙台市青葉区片平二丁目1番1号 国立大学法人東北大学内

(72)発明者 好田 誠
宮城県仙台市青葉区片平二丁目1番1号 国立大学法人東北大学内

Fターム(参考) 4M119 BB01 CC05 DD02 JJ03
5F092 AB06 AC12 AC21 AD03 AD25 BC03 BE24 CA02