

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5645181号  
(P5645181)

(45) 発行日 平成26年12月24日(2014.12.24)

(24) 登録日 平成26年11月14日(2014.11.14)

(51) Int. Cl. F I  
 H O 1 L 29/82 (2006.01) H O 1 L 29/82 Z  
 B 8 1 B 1/00 (2006.01) B 8 1 B 1/00

請求項の数 6 (全 13 頁)

(21) 出願番号	特願2014-517923 (P2014-517923)	(73) 特許権者	503360115
(86) (22) 出願日	平成25年10月31日(2013.10.31)		独立行政法人科学技術振興機構
(86) 国際出願番号	PCT/JP2013/079599		埼玉県川口市本町四丁目1番8号
(87) 国際公開番号	W02014/073452	(73) 特許権者	500116351
(87) 国際公開日	平成26年5月15日(2014.5.15)		ユニヴァーシティー オブ ヨーク
審査請求日	平成26年4月16日(2014.4.16)		UNIVERSITY OF YORK
(31) 優先権主張番号	特願2012-246581 (P2012-246581)		イギリス, ワイオー10 5ディーデー
(32) 優先日	平成24年11月8日(2012.11.8)		ー ノース・ヨークシャー, ヨーク,
(33) 優先権主張国	日本国(JP)		ヘスリントン
早期審査対象出願		(74) 代理人	100088155
			弁理士 長谷川 芳樹
		(74) 代理人	100124291
			弁理士 石田 悟
		(74) 代理人	100161425
			弁理士 大森 鉄平

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 スピンバルブ素子

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

強磁性体からなるスピン注入子と、  
 強磁性体からなるスピン検出子と、  
 非磁性体からなるチャンネル部と、  
 を有するスピンバルブ素子であって、  
 前記スピン検出子は、前記スピン注入子から離間した位置に配置され、  
 前記チャンネル部は、前記スピン注入子及び前記スピン検出子に直接又は絶縁層を介して  
 接続され、前記チャンネル部には、前記スピン注入子の接合位置と前記スピン検出子の接合  
位置との間に、スピン流に直交する方向の断面積が拡大されたスピン拡散部が複数形成さ  
れ、

10

前記スピン拡散部は、スピン注入子からスピン検出子へ向かう第1方向の経路のスピン  
抵抗が、スピン検出子からスピン注入子へ向かう第2方向の経路のスピン抵抗よりも小さ  
くなるように形成されているスピンバルブ素子。

【請求項2】

前記スピン拡散部は、前記断面積が最大となる先端部を有し、  
 前記スピン流に直交する方向の前記スピン拡散部の断面積の変化率は、前記スピン注入  
 子側から前記先端部へ向かう場合の方が、前記先端部から前記スピン検出子側へ向かう場  
 合に比べて小さい請求項1に記載のスピンバルブ素子。

【請求項3】

20

前記スピ注入子、前記スピ検出子及び前記チャネル部は、基板上に形成されており

、  
前記スピ注入子及び前記スピ検出子が基板の主面と平行な方向に互いに離間して配置される請求項 1 又は 2 に記載のスピバルブ素子。

【請求項 4】

前記スピ拡散部は、前記基板の上面からみて、前記断面積が最大となる先端部を通り、前記スピ流に直交する方向に伸びる線を基準として非対称に形成されている請求項 3 に記載のスピバルブ素子。

【請求項 5】

前記スピ拡散部は、前記基板の上面からみて、前記チャネル部の軸線を基準として対称に形成されている請求項 4 に記載のスピバルブ素子。

【請求項 6】

非局所的手法を用いて電圧を検出する請求項 1 ~ 5 の何れか一項に記載のスピバルブ素子。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、スピバルブ素子に関するものである。

【背景技術】

【0002】

従来、スピエレクトロニクス分野では、電子のスピ状態を利用したスピバルブ素子が用いられている（例えば、特許文献 1 参照。）。このスピバルブ素子は、強磁性体からなるスピ注入子及びスピ検出子と、スピ注入子及びスピ検出子を橋渡しした非磁性体からなるチャネル部を備えており、いわゆる非局所的手法により、スピ注入子とスピ検出子との間のチャネル部に電荷の流れを伴わないスピ流を発生させ、スピ検出子とチャネル部との界面に発生するスピ蓄積電圧を検出する。また、スピバルブ素子において、スピ流すなわち電子の角運動量の流れは、スピ注入子からの距離とスピの拡散長とに依存して指数関数的に減衰することが知られている（例えば、特許文献 2 参照。）。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【特許文献 1】特開 2012 - 151307 号公報

【特許文献 2】特開 2009 - 158554 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

スピバルブ素子を設計するにあたっては、上記スピ流の減衰を考慮してスピ注入子とスピ検出子との間の長さを設定する必要がある。すなわち、スピ注入子とスピ検出子との間の長さは減衰後のスピ流が検出可能である長さでなければならないという一定の制約があるため、スピ注入子及びスピ検出子の配置の自由度に制限があるとともに、上記制約を満たすことができる加工技術が要求される。このため、本技術分野ではスピ流の減衰を抑制することができるスピバルブ素子が望まれている。

【課題を解決するための手段】

【0005】

本発明の一側面に係るスピバルブ素子は、強磁性体からなるスピ注入子と、強磁性体からなるスピ検出子と、非磁性体からなるチャネル部と、を有するスピバルブ素子であって、スピ検出子は、スピ注入子から離間した位置に配置され、チャネル部は、スピ注入子及びスピ検出子に直接又は絶縁層を介して接続され、チャネル部には、スピ注入子の接合位置とスピ検出子の接合位置との間に、スピ流に直交する方向の断

10

20

30

40

50

面積が拡大されたスピン拡散部が複数形成され、スピン拡散部は、スピン注入子からスピン検出子へ向かう第1方向の経路のスピン抵抗が、スピン検出子からスピン注入子へ向かう第2方向の経路のスピン抵抗よりも小さくなるように形成されている。

【0006】

このように構成することで、強磁性体からなるスピン注入子と非磁性体からなるチャンネル部とに電流又は電圧を印加すると、チャンネル部にスピン検出子へ向けてスピン流が生じる。チャンネル部の一部には、スピン流に直交する方向の断面積が拡大されたスピン拡散部が形成されているため、チャンネル部に発生したスピン流は、スピン拡散部にてスピン流に直交する方向に拡散させられる。このように、スピン拡散部の形状によってスピン流の拡散を制御することができるため、例えば、スピン拡散部の形状を、スピン注入子からスピン検出子へ向かうスピン流の方が、スピン検出子からスピン注入子へ向かうスピン流よりも流れやすい形状とすることが可能となる。すなわち、スピン拡散部の形状を制御することによって、所望の方向のスピン流の減衰を抑制することができる。よって、スピン流の減衰が抑制されることから、スピン注入子とスピン検出子との間を拡大させることができるため、設計の自由度が向上する。また、チャンネル部にスピン拡散部が複数形成されているため、より効率的にスピンを拡散することができる。さらに、このように構成することで、第1方向の経路のスピン抵抗は第2方向の経路のスピン抵抗より低くなる。このため、チャンネル部を第1方向へ流入するスピン流の拡散と、第2方向へ流入するスピン流の拡散とに差が生じるため、例えば第1方向のスピン流の減衰を抑制することができる。

【0009】

一実施形態では、スピン拡散部は、断面積が最大となる先端部を有し、スピン流に直交する方向のスピン拡散部の断面積の変化率は、スピン注入子側から先端部へ向かう場合の方が、先端部からスピン検出子側へ向かう場合に比べて大きくされていてもよい。

【0010】

このように構成することで、スピン注入子側から拡散部の断面積が最大となる先端部まで流れるスピン流の拡散の程度と、先端部からスピン検出子側へ流れるスピン流の拡散の程度とが同一とならず、スピン注入子からスピン検出子へ向かうスピン流を流れやすくすることができる。よって、スピン流の減衰を抑制することが可能となる。

【0011】

一実施形態では、スピン注入子、スピン検出子及びチャンネル部は、基板上に形成されており、スピン注入子及びスピン検出子が基板の主面と平行な方向に互いに離間して配置されている。このように、いわゆる面内スピンバルブ構造において、スピン流の減衰を抑制することができる。

【0012】

一実施形態では、スピン拡散部は、基板の上面からみて、前記断面積が最大となる先端部を通り、スピン流に直交する方向に伸びる線を基準として非対称に形成されていてもよい。このように、先端部を通る線を基準としてスピン拡散部を非対称とすることで、スピン注入子からスピン検出子へ流れるスピン流の拡散の程度と、スピン検出子からスピン注入子へ流れるスピン流の拡散の程度とが同一とならず、例えばスピン注入子からスピン検出子へ向かうスピン流を流れやすくすることができるため、スピン流の減衰を抑制することが可能となる。

【0013】

一実施形態では、スピン拡散部は、基板の上面からみて、チャンネル部の軸線を基準として対称に形成されていてもよい。スピン流はチャンネル部の軸線方向に沿って発生する。上記構成とすることで、スピン流の伝搬が軸線方向を基準に対称となるため、軸線方向へのスピン流を流れやすくすることができる。

【0015】

一実施形態では、非局所的手法を用いて電圧を検出してもよい。このように構成することで、電荷の流れを伴わないスピン偏極電子の流れやすさを制御することができる。

【発明の効果】

10

20

30

40

50

## 【 0 0 1 6 】

以上説明したように、本発明の一側面及び実施形態によれば、スピン流の減衰を抑制することができるスピンバルブ素子を提供することができる。

## 【 図面の簡単な説明 】

## 【 0 0 1 7 】

【 図 1 】 本発明の一実施形態に係るスピンバルブ素子の斜視図である。

【 図 2 】 一実施形態に係るスピンバルブ素子の上面図である。

【 図 3 】 スピン拡散部の変形例を示す概要図である。

【 図 4 】 シミュレーションにおけるスピンバルブ素子と注入されるスピンの関係を示す概要図である。

10

【 図 5 】 シミュレーションにおいて用いたモデルを示す概要図である。

【 図 6 】 スピン流が伝搬するシミュレーション結果を示す概要図である。

【 図 7 】 スピン流が伝搬するシミュレーション結果を示す概要図である。

【 図 8 】 スピン流の電流密度のシミュレーション結果を示すグラフである。

【 図 9 】 スピン拡散部の先端部の大きさと、スピン流の電流密度の変化との関係をあらわすシミュレーション結果のグラフである。

【 図 1 0 】 スピン拡散部の断面積の大きさと、スピン流の電流密度の変化との関係をあらわすシミュレーション結果のグラフである。

## 【 発明を実施するための形態 】

## 【 0 0 1 8 】

20

以下、添付図面を参照して本発明の一実施形態について具体的に説明する。なお、図面の説明において同一の要素には同一の符号を付し、重複する説明を省略する。また、図面の寸法比率は、説明のものと必ずしも一致していない。

## 【 0 0 1 9 】

一実施形態に係るスピンバルブ素子は、例えばいわゆる面内スピンバルブ構造を有する素子として好適に採用されるものである。図 1 は、一実施形態に係るスピンバルブ素子 1 0 の斜視図である。図 2 は本実施形態に係るスピンバルブ素子 1 0 の上面図である。

## 【 0 0 2 0 】

図 1 及び図 2 に示すように、スピンバルブ素子 1 0 は、基板 2 0 上に形成された、スピン注入子 1 2、チャンネル部 1 4 及びスピン検出子 1 6 を備えている。基板 2 0 は、例えば Si, GaAs, MgO 基板などの半導体や絶縁体基板が用いられる。スピン注入子 1 2、チャンネル部 1 4 及びスピン検出子 1 6 は、チャンネル部 1 4 がスピン注入子 1 2 及びスピン検出子 1 6 を橋渡しするようにスピン注入子 1 2 及びスピン検出子 1 6 に接続された面内スピンバルブ構造を形成している。

30

## 【 0 0 2 1 】

スピン注入子 1 2 は、チャンネル部 1 4 へスピンを注入する端子であり、例えば線形部材である。スピン注入子 1 2 は、その軸線方向が面内方向（基板面に平行な方向）と一致するように基板 2 0 上に配置されている。スピン注入子 1 2 は、所定方向に磁化された強磁性体からなり、例えば Fe、NiFe 等により形成される。図 1 に示すスピン注入子 1 2 中の破線矢印は、スピン注入子 1 2 の磁化方向をあらわしている。スピン注入子 1 2 の線幅は、例えば 1 0 μm 以下とされる。また、スピン注入子 1 2 の線幅は、例えば、0.1 μm 以上であってもよい。スピン注入子 1 2 及びチャンネル部 1 4 は、互いに接触（直接的に接合）している。スピン注入子 1 2 の一端部には、電流又は電圧印加用の端子部 1 2 a が形成されていてもよい。なお、スピン注入子 1 2 は、チャンネル部 1 4 上に配置されていてもよい。また、スピン注入子 1 2 とチャンネル部 1 4 とは、絶縁層を介して接合していてもよい。

40

## 【 0 0 2 2 】

スピン検出子 1 6 は、チャンネル部 1 4 からスピンを検出する端子であり、例えば線形部材である。スピン検出子 1 6 は、基板 2 0 上であって、基板 2 0 の主面と平行な方向にスピン注入子 1 2 と離間して配置されている。スピン検出子 1 6 は、その軸線方向が面内方

50

向と一致するように基板 20 上に配置されている。スピン検出子 16 は、所定方向に磁化された強磁性体からなり、例えば Fe、NiFe 等により形成される。磁化方向は、スピン注入子 12 の磁化方向と平行又は反平行とされる。図 1 に示すスピン検出子 16 中の破線矢印は、スピン検出子 16 の磁化方向をあらわしており、例えば、スピン注入子 12 の磁化方向と平行な磁化方向をあらわしている。スピン検出子 16 の線幅は、例えば  $10\ \mu\text{m}$  以下とされる。また、スピン検出子 16 の線幅は、例えば、 $0.1\ \mu\text{m}$  以上であってもよい。スピン検出子 16 及びチャンネル部 14 は、互いに接触（直接的に接合）している。なお、スピン検出子 16 は、チャンネル部 14 上に配置されていてもよい。また、スピン検出子 16 とチャンネル部 14 とは、絶縁層を介して接合していてもよい。

### 【0023】

チャンネル部 14 は、線形部材であって、その軸線 L1 の方向が面内方向と一致するように配置されている。チャンネル部 14 は、スピン注入子 12 及びスピン検出子 16 に直接又は絶縁層を介して接続されている。スピン注入子 12 及びスピン検出子 16 の接合位置は、チャンネル部 14 の両端部から離間した位置とされている。チャンネル部 14 は、非磁性体からなり、例えば Si もしくはヒ化ガリウム (GaAs) などの半導体材料、又は、Ag もしくは Cu 等の非磁性金属により形成される。チャンネル部 14 の一端部（両端部のうちスピン注入子 12 に近い端部）には、電流又は電圧印加用の端子部 14a が形成されている。チャンネル部 14 は、例えば基板 20 上に積層させた半導体層をメサ状に加工することによって形成されていてもよい。チャンネル部 14 の線幅は、例えば  $10\ \mu\text{m}$  以下とされる。また、チャンネル部 14 の線幅は、例えば、 $0.1\ \mu\text{m}$  以上であってもよい。

### 【0024】

チャンネル部 14 の一部には、チャンネル部 14 に発生するスピン流を制御するためのスピン拡散部が形成されている。ここでは、一例として、チャンネル部 14 に 5 つのスピン拡散部 30 ~ 34 が形成されている。具体的には、スピン拡散部 30 ~ 34 は、スピン注入子 12 の接合位置とスピン検出子 16 の接合位置との間に形成されている。スピン拡散部 30 ~ 34 は、チャンネル部 14 に発生するスピン流において、スピン注入子 12 からスピン検出子 16 へ向かう第 1 方向 L1 の経路のスピン抵抗が、スピン検出子 16 からスピン注入子 12 へ向かう第 2 方向 L2 の経路のスピン抵抗よりも小さくなる形状で形成されている。

### 【0025】

各スピン拡散部 30 ~ 34 は、ここでは同一の形状を有しているため、スピン拡散部 30 を例にして説明する。スピン拡散部 30 は、スピン注入子 12 と接する接合部からスピン検出子 16 と接する接合部へ流れるスピン流に直交する方向のチャンネル部 14 の断面積を他の箇所のチャンネル部 14 の断面積よりも拡大させることで形成されている。例えば、スピン拡散部 30 は、チャンネル部 14 の軸線 M1 を基準としてチャンネル部 14 の断面積を幅方向に対称に拡大させることで形成されている。スピン拡散部 30 の幅方向の形状を対称とすることで、スピン流の伝搬が軸線方向を基準に対称となるため、第 1 方向 L1 又は第 2 方向 L2 へのスピン流に与える影響を少なくしつつ、幅方向へのスピン流に影響を与えることができる形状とすることができる。また、スピン拡散部 30 は、例えばスピン流に直交する方向の断面積が最大となる先端部 30a を有している。そして、スピン拡散部 30 は、基板 20 の上面からみて、先端部 30a を通り、スピン流に直交する方向に伸びる線 M2 を基準として非対称に形成されている。例えば、スピン拡散部 30 は、スピン注入子 12 側から先端部 30a へ向かう場合の断面積の変化率の方が、先端部 30a からスピン検出子 16 側へ向かう場合の断面積の変化率に比べて大きくなるような形状とされる。例えば、チャンネル部 14 の両側部が幅方向外側へ拡大されており、該拡大された部分が基板 20 の上面からみて先端部 30a を頂点とした直角三角形とされている。スピン拡散部 30 のスピン流に沿った方向の長さが、スピン拡散部が形成されていないチャンネル部 14 の部分のスピン流に直交する方向の長さの 3 倍のとき、上記断面積は、スピン拡散部が形成されていないチャンネル部 14 の部分のスピン流に直交する方向の断面積の 1.2 倍から 3.0 倍に形成されていてもよい。なお、先端部 30a は、スピン拡散部 31 ~ 34

10

20

30

40

50

の先端部 3 1 a ~ 3 4 a に対応している。

【 0 0 2 6 】

上記構成を有するスピバルブ素子 1 0 は、以下のように動作する。ここでは、以下に示す非局所的手法によって電圧を検出する。非局所的手法は、電流の流れている部分に生じる電圧を測定する局所的手法と異なり、電流の流れていない部分にスピンの拡散伝導を生じさせスピン分極によって発生する電位差を測定する手法である。

【 0 0 2 7 】

まず、図 1 に示すように、スピン注入子 1 2 の端子部 1 2 a とチャンネル部 1 4 の端子部 1 4 a との間に電流が印加される（図 1 中白矢印）。これにより、スピン注入子 1 2 の磁化方向と反平行となるスピンがチャンネル部 1 4 へ注入される。チャンネル部 1 4 に注入されたスピンは、チャンネル部 1 4 の両端部へ伝搬する。すなわち、スピン注入子 1 2 とスピン検出子 1 6 との間においては、第 1 方向 L 1 へスピンの伝搬する。このとき、第 1 方向 L 1 へ伝搬するスピンを打ち消す方向（第 2 方向 L 2）に、第 1 方向 L 1 へ伝搬するスピンとは反平行のスピンが流れる。即ち、例えば、図 1 に示すように、第 1 方向 L 1 へ上向きスピンが伝搬した場合、第 2 方向 L 2 に下向きスピンが流れる。このため、スピン注入子 1 2 とスピン検出子 1 6 との間においては、電荷の流れは存在しないが、第 1 方向 L 1 へのスピン流と、第 2 方向へのスピン流が生じる。言い換えれば、スピン注入子 1 2 とスピン検出子 1 6 との間には、電荷の流れを伴わないスピン流が発生する。

【 0 0 2 8 】

ここで、対比のために従来のスピバルブ素子のチャンネル部に発生するスピン流を概説する。従来のスピバルブ素子では、第 1 方向 L 1 へのスピン流と、第 2 方向 L 2 へのスピン流とは同一の伝搬の速度で流れ、両者はスピンの伝搬する距離に応じて指数関数的に減少する。上向きスピンの逆方向への移動は下向きスピンの順方向への移動とみなすことができるため、第 1 方向 L 1 へのスピン流と第 2 方向 L 2 へのスピン流との差で表される、トータルのスピン流としても、伝搬する距離に応じて指数関数的に減少する。

【 0 0 2 9 】

これに対して、チャンネル部 1 4 を伝搬するスピンは、第 1 方向及び第 2 方向に伝搬するだけでなく、スピン拡散部 3 0 によって幅方向へ拡散させられる。スピン拡散部 3 0 の形状は、第 1 方向 L 1 へのスピン流の拡散の度合いと、第 2 方向 L 2 へのスピン流の拡散の度合いが異なるように形成されている。ここでは、第 1 方向 L 1 へのスピン流の拡散の度合いの方が、第 2 方向 L 2 へのスピン流の拡散の度合いよりも大きくされている。すなわち、第 1 方向 L 1 のスピン抵抗が第 2 方向 L 2 のスピン抵抗よりも小さくされている。このため、第 2 方向 L 2 へのスピン流は、スピン拡散部 3 0 を設けない場合に比べて伝搬しにくくなり、他方、第 1 方向へのスピン流は、スピン拡散部 3 0 を設けない場合に比べて伝搬しやすくなる。すなわち、第 1 方向へのスピン流の減衰が抑制される。このため、本実施形態に係るスピバルブ素子 1 0 では、第 1 方向 L 1 へのスピン流と、第 2 方向 L 2 へのスピン流とはスピンが伝搬する距離に応じて指数関数的に減少するものの、第 1 方向 L 1 へのスピン流の減衰が抑制されていることから、第 1 方向 L 1 へのスピン流の方が第 2 方向 L 2 へのスピン流よりも相対的にスピン拡散長が長くなる。よって、トータルのスピン流としても減衰が抑制され、結果としてスピン流が増大する。

【 0 0 3 0 】

以上、本実施形態に係るスピバルブ素子 1 0 によれば、チャンネル部 1 4 の一部にスピン流に直交する方向の断面積が拡大されたスピン拡散部 3 0 が形成されており、該スピン拡散部 3 0 の形状は、スピン注入子 1 2 からスピン検出子 1 6 へ向かう第 1 方向 L 1 のスピン流の方が、スピン検出子 1 6 からスピン注入子 1 2 へ向かう第 2 方向 L 2 のスピン流よりも流れやすい形状とされているため、第 1 方向 L 1 のスピン流の減衰を抑制することができる。よって、チャンネル部 1 4 の全体のスピン流の減衰が抑制されることから、結果としてスピン流を増大することが可能となる。このため、スピン注入子とスピン検出子との間を拡大させることができるため、設計の自由度が向上する。また、スピン拡散長の制御をチャンネル部の材料によって制御するのではなく、形状によって制御することができる

ため、材料に捕らわれない素子設計が可能となる。また、基板 20 上に積層・エッチング等を行うことによりスピバルブ素子 10 を製造することができるため、従来の半導体技術で容易に製造可能である。

【0031】

上述した実施形態は、本発明に係るスピバルブ素子の一例を示すものである。本発明に係るスピバルブ素子は、実施形態に係るスピバルブ素子 10 に限られるものではなく、変形し、又は他のものに適用したものであってもよい。

【0032】

例えば、上述した実施形態では、スピン拡散部 30 の形状として、チャンネル部 14 の両側部が幅方向外側へ拡大され、該拡大された部分が基板 20 の上面からみて先端部 30a を頂点とした直角三角形形状（ラチェット形状）となる例を説明したが、先端部 30a を通る線 M2 を基準として非対象であれば、他の形状であってもよい。例えば、鋭角三角形や、鈍角三角形であってもよい（図 3 の（A）参照）。また、面内方向に限られず三次元的に非対称な形状を有していてもよい。

10

【0033】

また、上述した実施形態では、スピン拡散部 30 の形状として、チャンネル部 14 の軸線を基準として対称である例を説明したが、チャンネル部 14 の軸線を基準として非対称であってもよい。例えば、図 3 の（B）に示すように、チャンネル部 14 の両側部のうち一方の側部のみが幅方向外側へ拡大されていてもよい。

【0034】

また、上述した実施形態では、スピン拡散部 30 ~ 34 が 1 つのスピン拡散部を構成している例を説明したが、図 3 の（C）に示すようにスピン拡散部 30 のみであってもよいし、5 つ以外の複数のスピン拡散部 30 を有していてもよい。チャンネル部 14 は、両側部のうち一方の側部にスピン拡散部 30 を 1 つ以上有していてもよい。

20

【0035】

また、上述した実施形態では、スピン拡散部 30 ~ 34 は同一の形状を有する例を説明したが、図 3 の（D）、（E）に示すように同一でなくてもよい。例えば、図 3 の（D）に示すように、スピン拡散部 30 ~ 34 は、基板 20 の上面からみて、先端部 30a を頂点とする三角形形状が小さくなる傾向にあることを特徴としてもよい。また、例えば、図 3 の（E）に示すように、スピン拡散部 30 ~ 34 は、基板 20 の上面からみて、先端部 30a を頂点とする三角形形状が大きくなる傾向にあることを特徴としてもよい。

30

【0036】

また、スピバルブ素子 10 の各構成部材の大きさは、特に限定されず、マイクロオーダーの部材であってもよいし、ナノオーダーの部材であってもよい。

【0037】

さらに、上述した実施形態では、面内スピバルブ構造を有するスピバルブ素子 10 を例に説明したが、例えば積層方向にスピン注入子及びスピン検出子がチャンネル部を挟んだ構造であってもよい。

【実施例】

【0038】

以下図 4 から図 7 を用いて、上記効果を説明すべく本発明者が実施した実施例及び比較例について述べる。

40

【0039】

（減衰抑止効果の確認）

（実施例 1）

まず、図 4 の（A）及び図 5 の（A）に示すモデル 140 を用いてシミュレーションを行った。モデル 140 によりスピバルブ素子 10 のチャンネル部 14 を数値的に再現し、注入したスピンの拡散について有限要素法により計算した。なお、シミュレーションにおいては、スピンの拡散を電子の拡散と置き換え、電流密度を計算した。

【0040】

50

モデル140の一端I<sub>p</sub>は印加点とし、印加点I<sub>p</sub>から下向きスピンS<sub>d</sub>を注入した。モデル140は、図中左から右へ発生する下向きスピンS<sub>d</sub>のスピン流をシミュレーションするためのモデルである。長手軸方向の長さLを2500nmとし、長手軸方向と垂直な方向の幅Wを100nmとし、厚さを1nmとした。印加点I<sub>p</sub>からスピン拡散部300が形成される距離l<sub>i</sub>は100nmとした。各スピン拡散部300から340の幅bは100nmとし、高さhは50nmとした。印加点I<sub>p</sub>からスピン検出子側に最も遠いスピン拡散部の端点b<sub>0</sub>から測定点M<sub>p</sub>までの距離l<sub>m</sub>を50nmとした。また材料は銅を仮定し、スピンの緩和の時定数を12psとした。

#### 【0041】

上記モデル140において、印加点I<sub>p</sub>から、下向きスピンS<sub>d</sub>を注入した。結果を図6に示す。図6では、スピン流の変化を図6の(a)から(e)で時系列に示している。図6に示すように、下向きスピンS<sub>d</sub>は時間の経過に従い図中左から右へ伝搬するとともにスピン拡散部にて幅方向へ拡散することが確認された。そして、測定点M<sub>p</sub>で下向きスピンS<sub>d</sub>の個数を計算し、電流密度を求めた。

10

#### 【0042】

次に、図4の(B)及び図5の(B)に示すモデル142を用いてシミュレーションを行った。モデル142は、図中右から左へ発生する上向きスピンS<sub>u</sub>のスピン流をシミュレーションするためのモデルであり、モデル140と比較して、スピンの印加点I<sub>p</sub>と、測定点M<sub>p</sub>とが反対となっている点が相違する。なお、モデル140のスピン拡散部の形成位置とモデル142のスピン拡散部の形成位置とが異なっているが、これは測定点M<sub>p</sub>以降の経路においてスピン流の反射等が起こることによるノイズを無くすためのものであり、実質的な差異ではない。モデル142を用いて、スピンバルブ素子10のチャンネル部14に対して、スピンの印加点I<sub>p</sub>と、測定点M<sub>p</sub>とが反対側に配置した構造を数値的に再現した。

20

#### 【0043】

上記モデル142において、印加点I<sub>p</sub>から、上向きスピンS<sub>u</sub>を注入した。結果を図7に示す。図7では、スピン流の変化を図7の(a)から(e)で時系列に示している。図7に示すように、上向きスピンS<sub>u</sub>は時間の経過に従い図中右から左へ伝搬するとともにスピン拡散部にて幅方向へ拡散することが確認された。さらに、その拡散の程度は、モデル140でシミュレーションした場合と異なることが確認された。すなわち、上記実施形態で説明したスピン拡散部を備えることで、スピン注入子からスピン検出子へ向かうスピン流と、スピン検出子からスピン注入子へ向かうスピン流との拡散の程度に変化を付けることができることが確認された。そして、測定点M<sub>p</sub>で上向きスピンS<sub>u</sub>の個数を計算し、電流密度を求めた。

30

#### 【0044】

(比較例1)

高さhが0である点以外は、実施例と同一のシミュレーションを行った。

#### 【0045】

以上より、実施例1のシミュレーション結果及び比較例1のシミュレーション結果を得た。評価は、測定点M<sub>p</sub>で計測した上向きスピンと下向きスピンの個数との差から電流密度の値とした。図8に結果を示す。

40

#### 【0046】

図8において、実施例1のシミュレーション結果を示した。図8により、実施例1と比較例1の電流密度の時間変化をあらわした。図8の縦軸は、下向きスピンS<sub>d</sub>の個数から上向きスピンS<sub>u</sub>の個数を減算することで得られる電流密度の差を表した。図8の横軸は、シミュレーションにおける時間経過を示した。

#### 【0047】

図8に示すように、実施例1の電流密度の差は、有限の値を示した。すなわち、スピン注入子からスピン検出子へ向かうスピン流の伝搬と、スピン検出子からスピン注入子へ向かうスピン流の伝搬とに差が生じていることが確認された。さらに、比較例1の電流密度

50



の差は0であった。このことから、拡散部の形状を制御することで、スピンの減衰を抑制することが可能であることが確認された。

【0048】

(拡散部の最適値の検証)

(実施例2)

幅  $b$  が 300 nm、高さ  $h$  が、10 nm、20 nm、30 nm、40 nm、50 nm、60 nm、70 nm、75 nm、80 nm、90 nm、及び100 nmである点以外は、実施例1と同一のシミュレーションを行った。

【0049】

以上より、実施例2のシミュレーション結果を得た。評価は、測定点  $M_p$  で計測した上向きスピンと下向きスピンの個数との差から電流密度の値とした。図9に結果を示す。

10

【0050】

図9において、実施例2のシミュレーション結果を示した。図9により、実施例2の電流密度の時間変化をあらわした。図9の縦軸は、下向きスピン  $S_d$  の個数から上向きスピン  $S_u$  の個数を減算することで得られる電流密度の差を表した。図9の横軸は、シミュレーションにおける時間経過を示した。また、図9の挿入図は、時間が6.30 ps付近における拡大図である。

【0051】

図9に示すように、実施例2における各高さ  $h$  の電流密度差は、有限の値を示した。このため、幅  $b$  が幅  $W$  の3倍のとき、スピン拡散部の断面積は、スピン拡散部が形成されていないチャンネル部の部分のスピン流に直交する方向の断面積の1.2倍から3.0倍に形成されていてもよい。即ち、スピン拡散部がチャンネル部の上面からみて先端部を頂点とした直角三角形とした場合、直角三角形のチャンネル部と平行な一辺の長さが、チャンネル部のスピン流に直交する方向の長さの3倍のとき、スピン拡散部の断面積を1.2~3.0倍になるように上記スピン拡散部を拡大してもよいことが確認された。

20

【0052】

(実施例3)

幅  $b$  が 100 nm、150 nm、200 nm、250 nm、300 nm、350 nm、400 nm、450 nm、高さ  $h$  が、50 nm、60 nm、70 nm、75 nm、80 nmである点以外は、実施例1と同一のシミュレーションを行った。

30

【0053】

以上より、実施例3のシミュレーション結果を得た。評価は、測定点  $M_p$  で計測した上向きスピンと下向きスピンの個数との差から電流密度の値とした。図10に結果を示す。

【0054】

図10において、実施例3のシミュレーション結果を示した。図10の各軸は、軸  $b$  はスピン拡散部の幅を示し、軸  $h$  はスピン拡散部の高さを示し、軸  $Energy\ Difference$  は、下向きスピン  $S_d$  の個数から上向きスピン  $S_u$  の個数を減算することで得られる電流密度の差を示した。

【0055】

図10は、各高さ  $h$  と幅  $b$  において、電流密度の差が最大になる高さ  $h$  と幅  $b$  の組み合わせを示した。またその時の電流密度の差の値を示した。このことから、スピン拡散部の高さや底辺の長さを変化させた場合、スピンの拡大領域がチャンネル部に存在することにより、上向きスピン及び下向きスピンの流れに有意な差が生じることが確認できた。

40

【産業上の利用可能性】

【0056】

スピンバルブ素子10は、産業上、以下のような利用可能性を有している。例えば、ナノスケールの回路における抵抗素子として、MEMS (Micro Electro Mechanical Systems) や、NEMS (Nano Electro Mechanical Systems) などの分野で利用することができる。またスピンバルブ素子10は、電子・電気分野、医療関係分野等の機器部品、素子として使用できる。

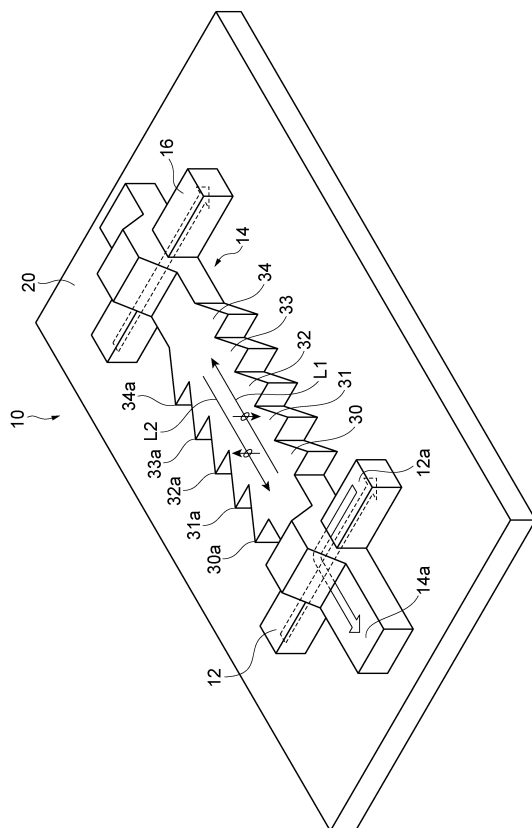
50

【符号の説明】

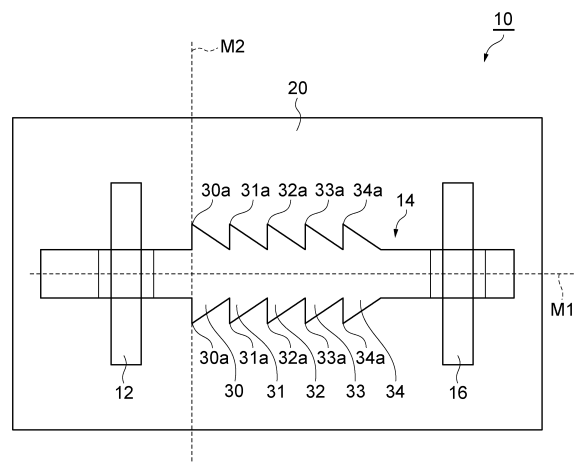
【0057】

10 ... スピンバルブ素子、12 ... スピン注入子、12a ... 端子部、14 ... チャンネル部、14a ... 端子部、16 ... スピン検出子、20 ... 基板、30、31、32、33、34 ... スピン拡散部、30a、31a、32a、33a、34a ... 先端部、140、142 ... モデル、300、310、320、330、340、302、312、322、332、342 ... スピン拡散部、Su ... 上向きスピ、Sd ... 下向きスピ。

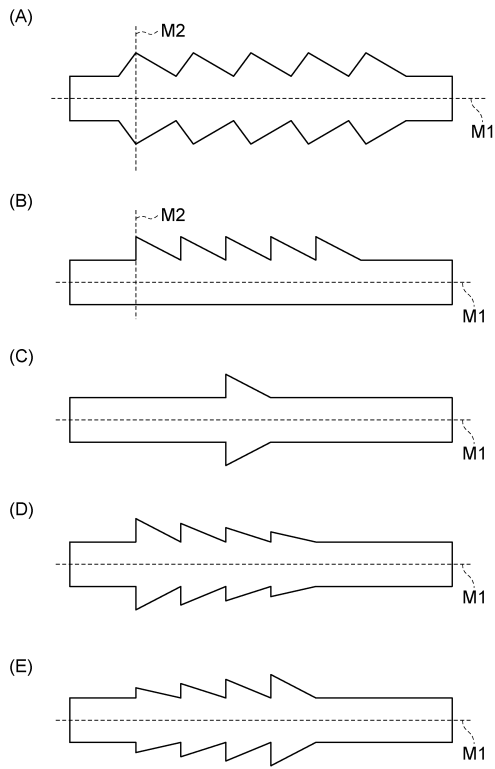
【図1】



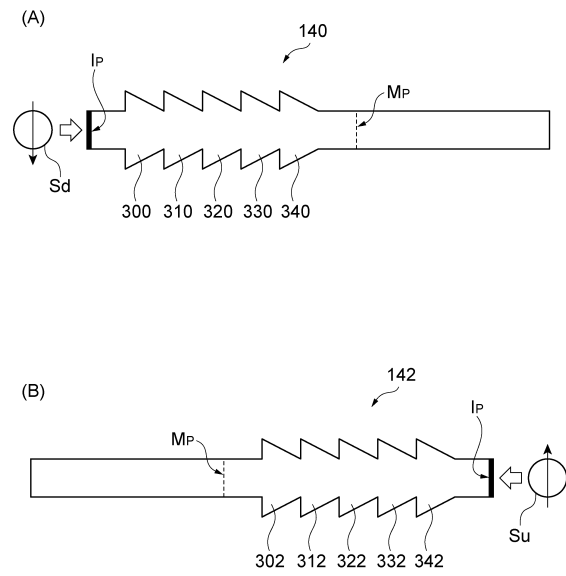
【図2】



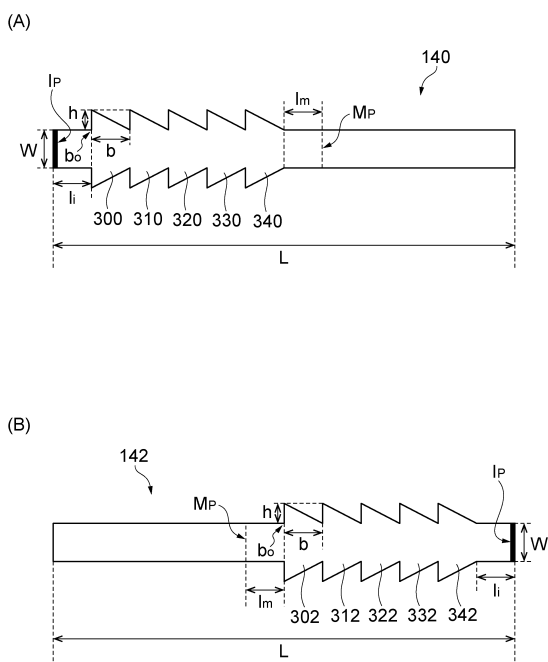
【 図 3 】



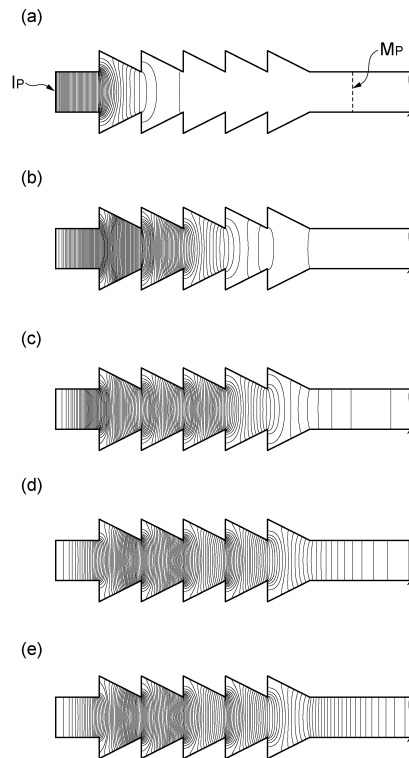
【 図 4 】



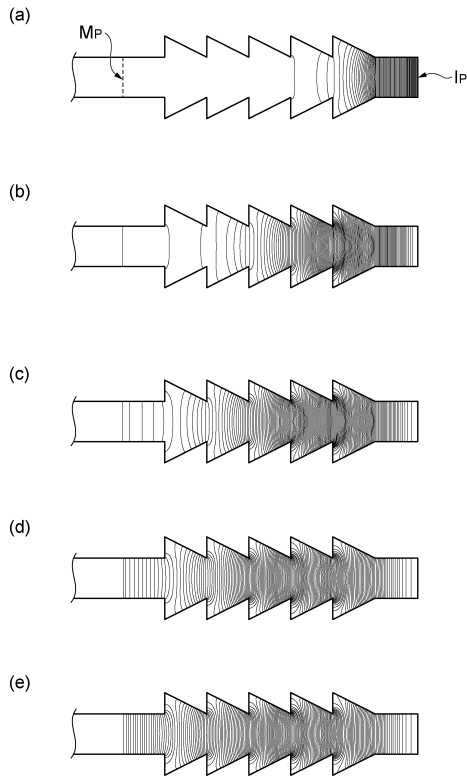
【 図 5 】



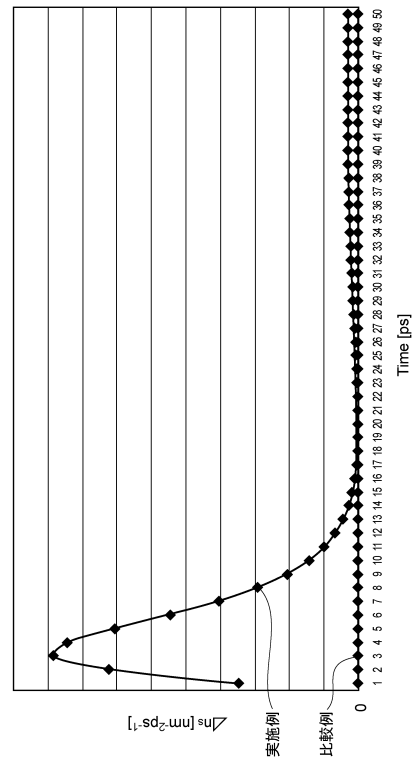
【 図 6 】



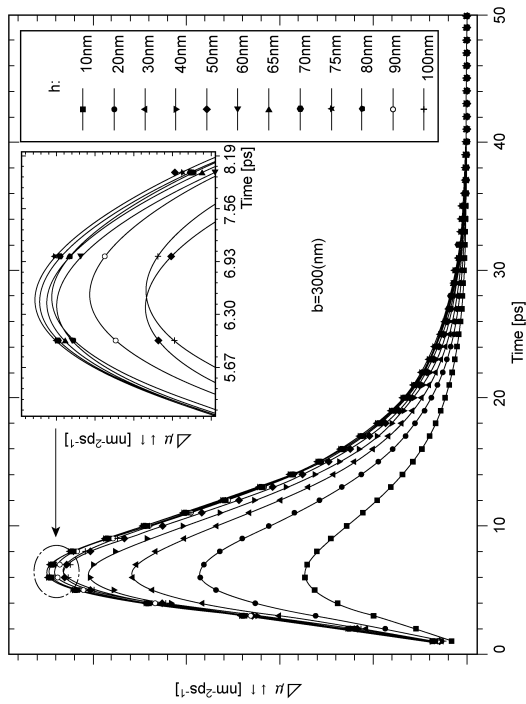
【 図 7 】



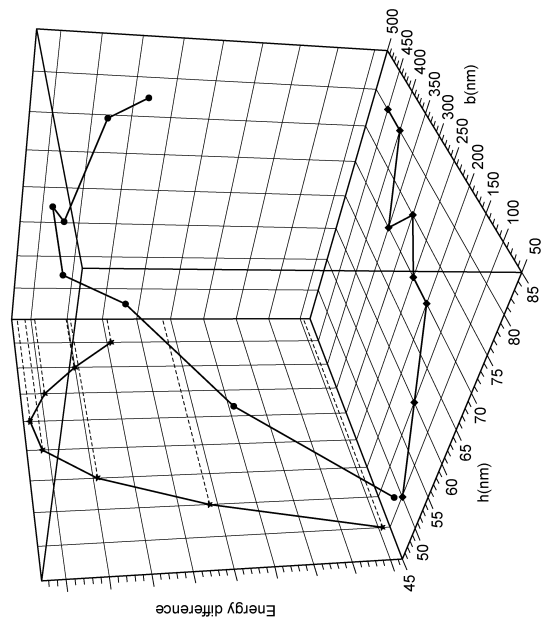
【 図 8 】



【 図 9 】



【 図 10 】



---

フロントページの続き

(72)発明者 廣畑 貴文

埼玉県川口市本町4丁目1番8号 独立行政法人科学技術振興機構内

審査官 小山 満

(56)参考文献 特開2012-174323(JP,A)  
特開2012-049403(JP,A)  
特開2010-113788(JP,A)  
国際公開第2011/118374(WO,A1)  
特開2012-227439(JP,A)  
特開2012-128899(JP,A)  
特開2012-069218(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01L 29/82

B81B 1/00