

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6436426号
(P6436426)

(45) 発行日 平成30年12月12日 (2018.12.12)

(24) 登録日 平成30年11月22日 (2018.11.22)

(51) Int.Cl.		F I			
HO 1 L 29/82	(2006.01)	HO 1 L 29/82		Z	
HO 1 L 43/08	(2006.01)	HO 1 L 43/08		Z	

請求項の数 7 (全 14 頁)

(21) 出願番号	特願2017-520688 (P2017-520688)	(73) 特許権者	503360115
(86) (22) 出願日	平成28年5月20日 (2016.5.20)		国立研究開発法人科学技術振興機構
(86) 国際出願番号	PCT/JP2016/065071		埼玉県川口市本町四丁目1番8号
(87) 国際公開番号	W02016/190255	(73) 特許権者	500116351
(87) 国際公開日	平成28年12月1日 (2016.12.1)		ユニヴァーシティー オブ ヨーク
審査請求日	平成29年11月17日 (2017.11.17)		UNIVERSITY OF YORK
(31) 優先権主張番号	特願2015-104335 (P2015-104335)		イギリス, ワイオー10 5ディーディー
(32) 優先日	平成27年5月22日 (2015.5.22)		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
		(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】 パルス生成装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

基板と、

前記基板上に設けられ、強磁性体からなるスピン注入子と、

前記基板上に設けられ、強磁性体からなり、第1軸の方向が磁化容易軸となる磁気異方性を有するスピン回転子と、

前記スピン注入子及び前記スピン回転子と直接又は絶縁層を介して接合された非磁性体からなるチャンネル部と、

前記スピン回転子の磁気モーメントが前記第1軸の一方を向いた状態から前記第1軸の他方を向いた状態へ反転する際に、前記スピン回転子の前記磁気モーメントが前記第1軸と直交する第2軸に沿って向いた状態を検出することによって、パルスを生成する生成部と、

を備えるパルス生成装置。

【請求項2】

前記スピン回転子の前記基板の面内方向の断面形状は、当該形状の外郭線における前記第2軸に交差する方向に最も離間した2点間の距離よりも、当該形状の外郭線における前記第2軸の方向に最も離間した2点間の距離の方が長い、請求項1に記載のパルス生成装置。

【請求項3】

前記スピン回転子は、前記基板の面内方向の断面形状が楕円形状であり、

前記第 2 軸は、前記楕円形状の長軸である、請求項 1 又は 2 に記載のパルス生成装置。

【請求項 4】

前記スピン注入子は、前記第 1 軸と平行な方向に磁化を有する、請求項 1 ~ 3 の何れか一項に記載のパルス生成装置。

【請求項 5】

前記第 1 軸は、前記基板の面直方向である、請求項 1 ~ 4 の何れか一項に記載のパルス生成装置。

【請求項 6】

前記生成部は、前記スピン回転子の磁気モーメントが前記第 2 軸に沿って向いた状態となったときの漏洩磁場を検出する請求項 1 ~ 5 の何れか一項に記載のパルス生成装置。

10

【請求項 7】

前記生成部は、

前記スピン回転子に接して設けられ、非強磁性金属又は絶縁体からなる中間層と、

前記中間層に接して設けられ、前記第 2 軸に沿った方向に磁気モーメントが固定された固定層と、

前記スピン回転子と前記固定層との間に流れる電流又は前記スピン回転子と前記固定層との間に生じる電圧を取得する取得部と、

を備える請求項 1 ~ 5 の何れか一項に記載のパルス生成装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

20

【0001】

本開示は、パルス生成装置に関する。

【背景技術】

【0002】

特許文献 1 には、信号源からの入力信号の波形を矩形波パルスに変換するパルス生成装置が記載されている。また、パルス幅の短い矩形波パルスは、通信装置やレーダ装置などに利用されている。例えば、特許文献 2 には、パルス幅が極めて短いインパルス状のパルス列を用いる通信方式が記載されている。また、特許文献 3 には、パルス幅が短い矩形波パルスを用いる高周波デバイスを備えるレーダ装置が記載されている。

【先行技術文献】

30

【特許文献】

【0003】

【特許文献 1】特開 2007 - 013441 号公報

【特許文献 2】特開 2013 - 192006 号公報

【特許文献 3】特開 2013 - 083541 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

従来のパルス生成装置において、パルス幅をより短くするためには、周波数をより高くした入力信号を用いる必要がある。しかしながら、周波数が高くなるほど、波形の立ち上がり成分又は立下り成分の幅が短くなるため、波形の立ち上がり又は立ち下がり精度良く検出することが困難となる。よって、従来のパルス生成装置では、生成可能なパルス幅の短さに限界がある。

40

【0005】

本技術分野では、パルス幅の短いパルスを生成可能なパルス生成装置が望まれている。

【課題を解決するための手段】

【0006】

本発明の一側面に係るパルス生成装置は、基板と、基板上に設けられ、強磁性体からなるスピン注入子と、基板上に設けられ、強磁性体からなり、第 1 軸の方向が磁化容易軸となる磁気異方性を有するスピン回転子と、スピン注入子及びスピン回転子と直接又は絶縁

50

層を介して接合された非磁性体からなるチャンネル部と、スピン回転子の磁気モーメントが第1軸の一方を向いた状態から第1軸の他方を向いた状態へ反転する際に、スピン回転子の磁気モーメントが第1軸と直交する第2軸に沿って向いた状態を検出することによって、パルスを生成する生成部と、を備える。

【0007】

このパルス生成装置では、局所手法又は非局所手法を用いることにより、チャンネル部においてスピン回転子へ向かうスピン流が生じる。例えば、スピン注入子とチャンネル部とに電流又は電圧が印加されると、チャンネル部にはスピン回転子へ向かうスピン流が生じる。チャンネル部に流れるスピン流は、スピン回転子の磁気モーメントに対してスピントランスファートルク (Spin-Transfer Torque) として作用する。すなわち、歳差運動している磁気モーメントはスピン流からスピン角運動量を受け取ると、磁気モーメントには回転力が加えられる。これにより磁気モーメントの歳差運動が増幅され、当該歳差運動が臨界に達すると、磁気モーメントの向きが第1軸の一方の側から他方の側へ反転する。磁気モーメントは、第1軸に沿って向いている状態が最も磁氣的に安定しているため、歳差運動が臨界に達した磁気モーメントは、第1軸の一方の側から他方の側へ高速で反転する。つまり、磁気モーメントは、反転過程において瞬間的に第2軸に沿って向く状態となる。このとき、生成部により、磁気モーメントが第2軸に沿って瞬間的に向いた状態が検出され、磁気モーメントが第2軸に沿って瞬間的に向いた状態のときに立ち上がるパルスが生成される。これにより、パルス幅の短いパルスを生成することができる。

【0008】

一実施形態においては、スピン回転子の基板の面内方向の断面形状は、当該形状の外郭線における第2軸に交差する方向に最も離間した2点間の距離よりも、当該形状の外郭線における第2軸方向に最も離間した2点間の距離の方が長くてもよい。あるいは、一実施形態においては、スピン回転子は、基板の面内方向の断面形状が楕円形状であり、第2軸は、楕円形状の長軸であってもよい。このように構成した場合、スピン回転子の磁気モーメントが反転するときの磁気モーメントの向きが制限される。つまり、第1軸に直交する第2軸を一方に特定することができるので、スピン回転子の磁気モーメントが第2軸に沿って向いた状態を容易に検知することができる。

【0009】

一実施形態においては、スピン注入子は、第1軸と平行な方向に磁化を有してもよい。このように構成した場合、スピン注入子からチャンネル部に流入するスピンの向きと、チャンネル部からスピン回転子に流入するスピンの向きとが同一になるため、スピン注入子の磁化方向と同じ向きのスピン状態を有するスピン流がスピン回転子に流入する。スピン回転子の磁気モーメントに対して角度を有して流入したスピンが作用する場合に比べて、スピン回転子の磁気モーメントに作用するスピントランスファートルクの寄与が大きくなる。よって、スピン回転子の磁気モーメントは、効率良くスピントランスファートルクを受け取ることができる。

【0010】

一実施形態においては、第1軸は、基板の面直方向であってもよい。例えば、複数のスピン回転子を基板に配列する場合、基板の面直方向に磁気モーメントを有するスピン回転子の方が、面内方向に磁気モーメントを有するスピン回転子よりも、高密度に磁気モーメントを配列させることができる。

【0011】

一実施形態においては、生成部は、スピン回転子の磁気モーメントが第2軸に沿って向いた状態となったときの漏洩磁場を検出してもよい。この場合、例えばGMR素子、TMR素子などを生成部として採用することができる。

【0012】

一実施形態においては、生成部は、スピン回転子に接して設けられ、非強磁性金属又は絶縁体からなる中間層と、中間層に接して設けられ、第2軸に沿った方向に磁気モーメントが固定された固定層と、スピン回転子及び固定層間に流れる電流又はスピン回転子及び

10

20

30

40

50

固定層間に生じる電圧を取得する取得部と、を備えてもよい。この場合、スピン回転子をいわゆるスピバルブ素子のフリー層として機能させることができるので、スピン回転子中の磁気モーメントの状態を検出することができる。

【発明の効果】

【0013】

本発明の側面及び種々の実施形態によれば、パルス幅の短いパルスを生成可能なパルス生成装置を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【0014】

【図1】一実施形態に係るパルス生成装置の斜視図である。

10

【図2】一実施形態に係るパルス生成装置の部分拡大図である。

【図3】一実施形態に係るスピン生成装置の動作原理を説明する概要図である。

【図4】一実施形態に係るスピン生成装置によって生成されるパルスを説明する概要図である。

【発明を実施するための形態】

【0015】

以下、添付図面を参照して本発明の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。

【0016】

20

本実施形態に係るパルス生成装置は、いわゆるスピバルブ構造を応用したパルス生成装置であって、例えばナノスケールのパルス生成装置として採用される。

【0017】

図1は、一実施形態に係るパルス生成装置の斜視図である。図2は、一実施形態に係るパルス生成装置の部分拡大図である。図1及び図2に示すように、パルス生成装置10は、例えば、基板24と、チャンネル部12、スピン注入子14、スピン回転制御部16、スピン回転子18及び生成部30を備えている。ここでは、基板24上に、強磁性体からなるスピン注入子14及び強磁性体からなるスピン回転子18を非磁性体からなるチャンネル部12によって橋渡ししたスピバルブ構造が形成されている。スピバルブ構造においては、スピン注入子14及びスピン回転子18は、基板24上に互いに離間して設けられ、チャンネル部12は、スピン注入子14とスピン回転子18との間に配置される。なお、パルス生成装置10は、スピン回転制御部16を備えていなくてもよい。

30

【0018】

基板24は、例えば半導体基板が用いられる。スピン注入子14及びスピン回転子18は、例えばFe、NiFeなどの磁性金属により形成され得る。チャンネル部12は、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などの非磁性金属により形成され得る。以下では、チャンネル部12が半導体材料で形成された場合を説明する。

【0019】

チャンネル部12は、基板24上に設けられている。チャンネル部12は、線形部材であって、その軸線方向が基板24の面内方向に向くように配置されている。チャンネル部12は、例えば基板24上に積層させた半導体層20をメサ状に加工することによって形成される。

40

【0020】

チャンネル部12の線幅は、例えば10 μ m以下とされる。また、チャンネル部12の線幅は、例えば、0.1 μ m以上であってもよい。なお、基板24と半導体層20との間に二次元電子ガス層22を形成した場合には、二次元電子ガス層22及び半導体層20をメサ状に加工することによってチャンネル部12を形成してもよい。例えば、基板24としてGaAs基板を用い、半導体層20を基板24に電子をドーピングして形成した場合には、半導体層20と基板24との間に二次元電子ガス層22が形成される。

50

【0021】

スピン注入子14は、基板24上に設けられている。より具体的な一例としては、スピン注入子14は、チャンネル部12の上面上に接触（直接的に接合）した状態で設けられている。スピン注入子14は、線形部材であって、略長方形形状を呈している。スピン注入子14は、その軸線方向が基板24の面内方向に向くように配置されている。より具体的な一例としては、スピン注入子14は、その軸線方向がチャンネル部12の軸線方向と交差するように配置されている。スピン注入子14とチャンネル部12とが接触する領域がスピン注入領域（スピン注入位置）となる。また、スピン注入子14は、基板24の面直方向（後述する第1軸L1と平行な方向）に向けた磁気モーメント（自発磁化）を有している。なお、本明細書において、特に明記されない限り、磁気モーメントとは、電子の磁気モーメントを巨視的に捉えた全体的な磁気モーメントを意味する。スピン注入子14の線幅は、例えば10 μ m以下とされる。また、スピン注入子14の線幅は、例えば、0.1 μ m以上であってもよい。

10

【0022】

スピン回転子18は、基板24上に設けられている。より具体的な一例としては、スピン回転子18は、チャンネル部12の上面上に接触（直接的に接合）した状態で設けられている。スピン回転子18は、スピン注入子14から離間して配置されている。スピン回転子18とスピン注入子14との距離（離間距離）は、例えば、スピン拡散長より短い距離である。スピン拡散長は構成される磁性材料に依存し、例えば1 μ m以下である。この場合、離間距離は、少なくとも1 μ mより短い距離となる。

20

【0023】

スピン回転子18は、例えば、基板24の面直方向に延びる柱状部材であって、基板24の面内方向の断面形状が楕円形状である。図2に示すように、以下では、基板24の面直方向に延びるスピン回転子18の軸線を第1軸L1（第1軸）、スピン回転子18の断面形状の楕円の長軸を第2軸L2（第2軸）として説明する。スピン回転子18は、例えば、第2軸L2がチャンネル部12の軸線方向に向くように配置されてもよい（図2参照）。

【0024】

スピン回転子18の断面形状は、長軸方向（第2軸L2方向）の長さが例えば0.1 μ m以上であってもよい。また、スピン回転子18の断面形状は、長軸方向の長さが例えば10 μ m以下であってもよい。また、スピン回転子18の断面形状は、短軸方向（第2軸L2と直交する方向）の長さが、長軸方向の長さよりも短く、かつ、例えば0.1 μ m以上であってもよい。スピン回転子18の断面形状は、短軸方向の長さがチャンネル部12の線幅より小さくなるように形成されていてもよい。

30

【0025】

スピン回転子18は、例えば、基板24の面直方向に延びる第1軸L1に沿って磁気モーメント（自発磁化）を有している（図2参照）。スピン回転子18は、第1軸L1の方向が磁化容易軸となる磁気異方性を有する。言い換えれば、スピン回転子18の磁気モーメントは、第1軸L1に沿って向いたときに磁氣的に最も安定したエネルギー状態となる（垂直磁気異方性）。スピン回転子18は、柱状形状による形状磁気異方性によって垂直磁気異方性を実現することができる。あるいは、スピン回転子18は、結晶磁気異方性によって垂直磁気異方性を実現してもよい。この場合、スピン回転子18は、例えば、FePtなどL1₀結晶構造を持つ磁性金属で形成されてもよいし、(Co/Pt)多層膜やCoFeB/MgOなどの多層構造を有する柱状部材として形成されてもよい。

40

【0026】

さらに、基板24の面内方向のスピン回転子18の断面形状が楕円形状である場合、楕円長軸である第2軸L2方向に形状磁気異方性が生じる。このため、スピン回転子18の磁気モーメントがその反転過程において基板24の面内方向に向く場合、磁気モーメントは、基板24の面内方向の中でも第2軸L2に沿って向いた場合に磁氣的に最も安定したエネルギー状態となる。つまり、第2軸L2は、基板24の面内方向における磁化容易軸

50

である。このように、基板 24 の面内方向において磁化容易軸を設定することで、後述する生成部 30 による磁気モーメントの向きを検出を容易にすることができる。なお、第 1 軸 L1 方向の磁気異方性は、第 2 軸 L2 方向の磁気異方性よりも大きい。このため、磁気モーメントが第 1 軸 L1 方向に向いた場合の磁気的なエネルギーは、磁気モーメントが第 2 軸 L2 方向に向いた場合の磁気的なエネルギーよりも小さい。

【0027】

スピン注入子 14 の一端部には、電流又は電圧印加用の端子部 14a が形成され、チャンネル部 12 の一端部（両端部のうちスピン注入子 14 に近い端部）には、電流又は電圧印加用の端子部 12a が形成されている。端子部 14a 及び端子部 12a 間に電流又は電圧が印加されることで、スピンが注入される。

10

【0028】

スピン回転制御部 16 は、例えば電圧制御部及び電圧印加用端子を備えている。スピン回転制御部 16 は、チャンネル部 12 に接続されている。例えば、スピン回転制御部 16 は、チャンネル部 12 の上面上の領域であって、スピン注入子 14 とスピン回転子 18 との間に位置する領域と直接接合されている。スピン回転制御部 16 は、チャンネル部 12 のスピンの回転方向を制御するために、チャンネル部 12 へ電場又は磁場を印加可能に構成されている。スピン回転制御部 16 は、例えば略直方体を呈し、チャンネル部 12 の長手方向に直交する方向の幅が例えば 10 μm 以下とされる。なお、ここでは、スピン回転制御部 16 は、チャンネル部 12 の長手方向に直交する方向の幅がチャンネル部 12 の線幅以下になるように形成されている。

20

【0029】

生成部 30 は、スピン回転子 18 の磁気モーメントが第 1 軸 L1 の一方を向いた状態から第 1 軸 L1 の他方を向いた状態へ反転する際に、スピン回転子 18 の磁気モーメントが第 1 軸 L1 と直交する第 2 軸 L2 に沿って向いた状態を検出する。生成部 30 は、例えば、スピン回転子 18 の磁気モーメントの向きによって変化する物理量又は物性値を検出する。例えば、生成部 30 は、巨大磁気抵抗 (GMR) 効果あるいはトンネル磁気抵抗 (TMR) 効果を用いて、磁気モーメントの向きに依存した電流値、電圧値又は抵抗値を検出する。

【0030】

具体的な一例としては、生成部 30 は、中間層 32、固定層 34 及び取得部 36 を備えている。中間層 32 は、スピン回転子 18 に接して設けられ、非強磁性金属又は絶縁体からなる。固定層 34 は、中間層 32 に接して設けられ、第 2 軸 L2 に沿った方向に磁気モーメントが固定されている。磁気モーメントは、例えば反強磁性体からなるピン留め層との交換結合により固定されている。つまり、スピン回転子 18 及び固定層 34 が中間層 32 を挟み込んだ強磁性トンネル接合が構成される。このため、スピン回転子 18 の磁気モーメントの向きと固定層 34 の磁気モーメントの向きとに依存して、スピン回転子 18 と固定層 34 との間の抵抗値が変化する。

30

【0031】

取得部 36 は、スピン回転子 18 及び固定層 34 間に流れる電流又はスピン回転子 18 及び固定層 34 間に生じる電圧を取得する。生成部 30 は、取得部 36 の取得結果（電流値、電圧値又は抵抗値）に基づいて、スピン回転子 18 の磁気モーメントと固定層 34 の磁気モーメントとが、平行又は反平行となった状態を検出する。言い換えれば、生成部 30 は、スピン回転子 18 の磁気モーメントが第 1 軸 L1 の一方を向いた状態から第 1 軸 L1 の他方を向いた状態へ反転する際に、スピン回転子 18 の磁気モーメントが第 2 軸 L2 に沿って向いた状態（平行又は反平行となった状態）を検出することができる。例えば、生成部 30 は、取得部 36 が取得する電流値、電圧値又は抵抗値の変化点あるいは特異点を検出することにより、磁気モーメントが平行又は反平行となった状態と検出する。これにより、生成部 30 は、スピン回転子 18 の磁気モーメントが第 2 軸 L2 に沿って瞬間的に向いた状態のときに立ち上がるパルスを生成する。

40

【0032】

50

上記構成を有するパルス生成装置 10 は、以下のように動作する。まず、スピン注入子 14 の端子部 14 a とチャンネル部 12 の端子部 12 a との間に電流が印加される。これにより、スピン注入子 14 の磁化方向と同じ方向となるスピン流がチャンネル部 12 へ注入される。チャンネル部 12 に注入されたスピンは、チャンネル部 12 の両端部へ拡散する。電荷を伴わないスピン流が、スピン注入子 14 側からスピン回転子 18 側へ向けて発生する。チャンネル部 12 に流れるスピン流は、スピン回転子 18 の磁気モーメントにスピン角運動量を運ぶ。なお、チャンネル部 12 にスピン流を注入する方法は、非局所手法に限定されない。

【0033】

なお、スピン回転制御部 16 の印加電圧によって、チャンネル部 12 に流れるスピンの向きを制御してもよい。例えば、チャンネル部 12 を流れるスピン流のスピンは、スピン軌道相互作用によって歳差運動しており、このスピン軌道相互作用がスピン回転制御部 16 によって印加された電圧による電界によって制御されてもよい。

【0034】

ここで、図 3 を参照して、スピン回転子 18 における磁気モーメントの反転について説明する。図 3 は、一実施形態のパルス生成装置 10 の動作原理を説明するための概略図である。図 3 の (a) から図 3 の (c) のそれぞれには、スピン回転子 18 及びスピン回転子 18 の磁気モーメント M (図中白矢印) が示されている。図 3 の (a) では、歳差運動が励起される前の磁気モーメント M の状態が示されている。図 3 の (b) では、磁気モーメント M の緩和過程において、第 2 軸 L_2 に沿って向いた状態が示されている。図 3 の (c) では、反転した磁気モーメント M が再び第 1 軸 L_1 に沿って向いた状態が示されている。

【0035】

スピン回転子 18 は、上述したように、第 1 軸 L_1 が磁化容易軸であり、磁気モーメント M は、第 1 軸 L_1 に沿った方向を向いている (図 3 の (a) 参照)。スピン流の注入により、スピン角運動量が伝達され、電子の磁気モーメントの歳差運動が励起される。なお、巨視的にみても、磁気モーメント M の歳差運動が励起されるといえる。磁気モーメント M の歳差運動が励起されると、磁気モーメント M は、第 1 軸 L_1 まわりに歳差運動をする。流入したスピンと磁気モーメント M とにおける角運動量保存則から、磁気モーメント M には、磁気モーメント M を反転させる方向に力が加えられる。磁気モーメント M の歳差運動が増幅し、歳差運動が臨界に達すると、スピン回転子 18 の磁気モーメント M が第 1 軸 L_1 の一方を向いた状態から第 1 軸 L_1 の他方を向いた状態へ高速で反転する。このとき、磁気モーメント M は、図 3 の (b) に示されるように、基板 24 の面内方向における磁化容易軸方向、つまり、第 2 軸 L_2 に沿って向いた状態となる。このように、磁気モーメント M は、第 1 軸 L_1 及び第 2 軸 L_2 を含む平面 S 内を回転する。そして、図 3 の (c) に示されるように、磁気モーメント M は、再び第 1 軸 L_1 に沿った状態となる。

【0036】

次に、生成部 30 によるスピン回転子 18 の磁気モーメント M の向き検出手法について詳細を説明する。図 4 は、一実施形態に係るスピン生成装置によって生成されるパルスを説明する概要図である。図 4 の (a) は、スピン回転子 18 における磁気モーメント M の磁化方向の時間変化を示すグラフである。図 4 の (a) の横軸は時間を示し、図 4 の (a) の縦軸は磁化の大きさを示している。図 4 の (a) では、基板 24 の面直方向上向き磁気モーメント M の磁化を正の値、面直方向下向き磁気モーメントの磁化を負の値として示している。つまり、図 4 の (a) では、測定時間 T_0 における磁化方向の時間変化が示されている。測定時間 T_0 は、スピン回転子 18 にスピンの流入し、磁気モーメント M が磁氣的に安定した状態から反転し、再び磁氣的に安定した状態に至るまでの時間である。測定時間 T_0 は、例えば数 n (ナノ) 秒である。図 4 の (b) は、取得部 36 により取得された検出値の時間変化を示すグラフである。図 4 の (b) の横軸は時間を示し、図 4 の (b) の縦軸は取得部 36 により取得された検出値を示している。つまり、図 4 の (b) では、図 4 の (a) と同じ測定時間 T_0 における検出値の時間変化が示されている。な

10

20

30

40

50

お、検出値は、一例として電流値である。

【 0 0 3 7 】

測定が開始されると、取得部 3 6 は、スピン回転子 1 8 の磁気モーメント M の向きを測定する。図 4 の (a) に示されるように、取得部 3 6 は、スピン回転子 1 8 の磁気モーメント M が第 1 軸 L 1 に沿って向いた状態を検出する。このとき、スピン回転子 1 8 の磁気モーメント M は、第 1 軸 L 1 に沿って向いた状態で磁氣的に安定している (図 3 の (a) 参照) 。そして、スピンの注入されると、磁気モーメント M がスピン角運動量を受け取り、磁気モーメント M の歳差運動が開始される。そして、スピン注入から所定時間が経過すると、磁気モーメント M の歳差運動が増幅する。磁気モーメント M の歳差運動が増幅するにつれ、検出される第 1 軸 L 1 方向の磁気モーメント M の成分が徐々に少なくなる。

10

【 0 0 3 8 】

歳差運動が臨界に達すると、スピン回転子 1 8 の磁気モーメント M は、時間 T 1 で反転し、第 2 軸 L 2 に沿って向いた状態を通過し、再び第 1 軸 L 1 に沿った方向に向いた状態となり磁氣的に安定する (図 3 の (b) 及び (c) 参照) 。反転過程において、磁気モーメント M は、第 1 軸 L 1 方向の一方から他方へ高速に反転する。時間 T 1 は例えば、数 p (ピコ) 秒である。このとき、図 4 の (b) に示されるように、取得部 3 6 により磁気モーメント M が第 2 軸 L 2 に沿って向いた状態が検出される。反転過程における磁気モーメント M の反転速度は、例えば強磁性材料のダンピング定数に依存する。磁気モーメント M が第 2 軸 L 2 に沿って向いた状態の時間 T 2 は、例えば数 p (ピコ) 秒である。このため、取得部 3 6 が検出する検出値は、波形の立ち上がり成分又は立ち下がり成分の幅が短いパルスとなる。このように取得部 3 6 が検出する検出値には、例えば、波形の立ち上がり成分又は立ち下がり成分が含まれていればよい。本実施形態では、取得部 3 6 が検出するパルスは、略矩形波であり、略 9 0 度に立ち上がる立ち上がり成分と、略 9 0 度に立ち下がる立ち下がり成分とを有する。よって、生成部 3 0 は、長方形又は正方形の形状の矩形波パルスを生成する。なお、取得部 3 6 が検出する検出値の波形は矩形波に限定されない。すなわち、取得部 3 6 が検出する検出値の波形は、三角波であってもよく、のこぎり波であってもよい。取得部 3 6 がスピン回転子 1 8 の磁気モーメントの向きによって変化する物理量又は物性値を検出することにより、生成部 3 0 は、スピン回転子 1 8 の磁気モーメントが第 2 軸 L 2 に沿って瞬間的に向いた状態のときに立ち上がるパルスを生成することができる。

20

30

【 0 0 3 9 】

以上、本実施形態に係るパルス生成装置 1 0 によれば、スピン注入子 1 4 とチャンネル部 1 2 とに電流又は電圧が印加されると、チャンネル部 1 2 にはスピン回転子 1 8 へ向かうスピン流が生じる。チャンネル部 1 2 に流れるスピン流は、スピン回転子 1 8 の磁気モーメント M に対してスピントランスファトルク (Spin - Transfer Torque) として作用する。すなわち、歳差運動している磁気モーメント M はスピン流からスピン角運動量を受け取ると、磁気モーメント M には回転力が加えられる。これにより磁気モーメント M の歳差運動が増幅され、当該歳差運動が臨界に達すると、磁気モーメント M の向きが第 1 軸 L 1 の一方の側から他方の側へ反転する。磁気モーメント M は、第 1 軸 L 1 に沿って向いている状態が最も磁氣的に安定しているため、歳差運動が臨界に達した磁気モーメント M は、第 1 軸 L 1 の一方の側から他方の側へ高速で反転する。つまり、磁気モーメント M は、反転過程において瞬間的に第 2 軸 L 2 に沿って向く状態となる。このとき、生成部 3 0 により、磁気モーメント M が第 2 軸 L 2 に沿って瞬間的に向いた状態が検出され、磁気モーメント M が第 2 軸 L 2 に沿って瞬間的に向いた状態のときに立ち上がるパルスが生成される。これにより、パルス幅の短いパルスを生成することができる。

40

【 0 0 4 0 】

また、一実施形態に係るパルス生成装置 1 0 によれば、スピン回転子 1 8 が基板 2 4 の面内方向の断面形状が楕円形状であり、第 2 軸 L 2 が楕円形状の長軸であるため、スピン回転子 1 8 の磁気モーメント M が反転するときの磁気モーメント M の向きが制限される。つまり、第 1 軸 L 1 に直交する第 2 軸 L 2 を一方向に特定することができるので、スピン

50

回転子 18 の磁気モーメント M が第 2 軸 L_2 に沿って向いた状態を容易に検知することができる。ただし、スピン回転子 18 はこれに限定されず、スピン回転子 18 はドット形状あるいは円柱形状であってもよい。この場合、外場で制御することにより、スピンの向きを制御し、緩和する面で検出することができる。

【 0 0 4 1 】

また、一実施形態に係るパルス生成装置 10 によれば、スピン注入子 14 は、第 1 軸 L_1 と平行な方向に磁化を有していることから、スピン注入子 14 からチャンネル部 12 に流入するスピンの向きと、チャンネル部 12 からスピン回転子 18 に流入するスピンの向きとが同一になるため、スピン注入子 14 の磁化方向と同じ向きのスピン状態を有するスピ
10
流がスピン回転子 18 に流入する。スピン回転子 18 の磁気モーメント M に対して角度を有して流入したスピンが作用する場合に比べて、スピン回転子 18 の磁気モーメント M に作用するスピントランスファートルクの寄与が大きくなる。よって、スピン回転子 18 の磁気モーメント M は、効率良くスピントランスファートルクを受け取ることができる。

【 0 0 4 2 】

また、一実施形態に係るパルス生成装置 10 によれば、基板 24 の面直方向に磁気モーメント M を有するスピン回転子 18 を備えるため、複数のスピン回転子を基板に配列する場合、基板 24 の面内方向に磁気モーメントを有するスピン回転子よりも、高密度に磁気モーメントを配列させることができる。

【 0 0 4 3 】

また、一実施形態に係るパルス生成装置 10 によれば、生成部 30 は、スピン回転子 18
20
をいわゆるスピンプルブ素子のフリー層として機能させることができる。これにより、スピン回転子 18 中の磁気モーメント M の状態を検出することができる。

【 0 0 4 4 】

また、一実施形態に係るパルス生成装置 10 によれば、チャンネル部 12 が二次元電子ガス層 22 及び半導体層 20 で形成されているため、二次元電子ガス層 22 からスピンが供給される。このため、チャンネル部 12 におけるスピン角運動量の伝搬を効率良く行うことができる。

【 0 0 4 5 】

また、一実施形態に係るパルス生成装置 10 によれば、スピン回転子 18 は、チャンネル部 12 の長手方向に直交する方向の幅がチャンネル部 12 の線幅以下になるように形成され
30
ているため、チャンネル部 12 のスピン角運動量をスピン回転子 18 へ効率良く伝搬させることができる。

【 0 0 4 6 】

さらに、一実施形態に係るパルス生成装置 10 によれば、スピン注入子 14 に近いチャンネル部 12 の端部に電流印加用の端子部 12 a が形成されていることから、電荷の流れを伴わないスピ
ン流を発生させてスピン回転子 18 の磁気モーメントを回転させることができる。このため、ジュール熱の発生を抑えることができるため、安定動作可能なパルス生成装置 10 とすることができる。

【 0 0 4 7 】

上述した実施形態は、本発明に係るパルス生成装置 10 の一例を示すものであり、実施
40
形態に係るパルス生成装置 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。

【 0 0 4 8 】

[変形例 1]

実施形態に係るパルス生成装置 10 として、スピン回転子 18 が形状磁気異方性により垂直磁気異方性を有する例を示したが、これに限定されない。スピン回転子 18 は、結晶磁気異方性によって垂直磁気異方性を
実現してもよい。この場合、スピン回転子 18 は、例えば、 L_1 型 $FeNi$ 規則合金や $FePt$ など L_1 結晶構造を持つ磁性材料をエピタキシャル成長させて形成されてもよいし、 (Co/Pt) 多層膜や $CoFeB/MgO$ などの多層構造をエピタキシャル成長させて形成されてもよい。これにより、結晶磁気異方
50

性により生じる磁化容易軸を第1軸L1とすることができる。このような場合でも、磁気モーメントMの反転を利用してパルス幅の短いパルスを生成することができる。

【0049】

[変形例2]

実施形態に係るパルス生成装置10として、基板24の面内方向のスピン回転子18の断面形状が楕円形状である例を示したが、これに限定されない。スピン回転子18の基板の面内方向の断面形状は、当該形状の外郭線における第2軸L2に交差する方向に最も離間した2点間の距離よりも、当該形状の外郭線における第2軸L2方向に最も離間した2点間の距離の方が長くてよい。なお、第2軸L2と交差する方向は、第2軸L2と直交する方向であってもよい。形状磁気異方性により、第2軸L2方向に磁気モーメントMが向きやすくなるため、反転過程の磁気モーメントMの向きを制御することができる。このため、第2軸L2を一方向に特定することができるので、スピン回転子18の磁気モーメントMが第2軸L2に沿って向いた状態を容易に検知することができる。

10

【0050】

[変形例3]

実施形態に係るパルス生成装置10として、単位体積あたりの磁気モーメントの総和である磁化として磁気モーメントMの反転を検出する場合を示したが、これに限定されない。例えば、スピン回転子18の局所的な磁気モーメントMを観測してもよい。この場合、例えば、スピン回転子18の局所磁化を用いて磁気モーメントMの反転を検出することができる。

20

【0051】

[変形例4]

実施形態に係るパルス生成装置10として、スピン回転子18が垂直磁気異方性を有する例を示したが、これに限定されない。例えば、スピン回転子18は、面内磁気異方性を有していてもよい。この場合、第1軸L1が基板24の面内方向となる。このとき、スピン注入子14は基板24の面内方向に向いた磁気モーメントを有している。また、スピン注入子14とスピン回転子18とが面内方向に磁化を有している場合、生成部30が備える固定層34は、面直方向と平行又は反平行に磁気モーメントが固定されている。このように構成すると、スピン回転子18の磁気モーメントの向きと固定層34の磁気モーメントの向きとに依存して、スピン回転子18と固定層34との間の抵抗値が変化する。よって、生成部30が備える取得部36は、スピン回転子18の磁気モーメントが第1軸L1の一方に向いた状態から第1軸L1の他方に向いた状態へ反転する際に、スピン回転子18の磁気モーメントが第2軸L2に沿って向いた状態を検出することができる。

30

【0052】

[変形例5]

実施形態に係るパルス生成装置10として、生成部30がスピン回転子18をいわゆるスピナルブ素子のフリー層として機能させることで、磁気モーメントMの向きを検出する例を示したが、これに限定されない。例えば、生成部30は、磁気光学効果を用いて磁気モーメントMの向きを検出してもよい。あるいは、スピン回転子18の磁気モーメントMが第2軸L2に沿って向いた状態となったときの漏洩磁場を検出してもよい。例えば、生成部30は、磁気ヘッドなどに用いられる周知の漏洩磁場検出部を有し、当該検出部をスピン回転子18の周囲に配置すればよい。当該検出部は、スピン回転子18の漏洩磁場が伝達される範囲に配置されればよく、例えば、スピン回転子18から数10nm以下の範囲に配置される。

40

【0053】

[変形例6]

実施形態に係るパルス生成装置10は、基板24上に積層・エッチングなどを行うことにより製造されてもよい。この場合、従来の半導体技術で容易に製造可能である。また、非磁性金属のスピン拡散長は、室温において数100nm程度であるのに対して、半導体はスピン拡散長が1桁以上長い。このため、チャンネル部12を半導体材料で形成すること

50

により、スピン注入子 14 とスピン回転子 18 とを他の非磁性体を採用した場合に比べて離間させて形成することができる。したがって、他の非磁性材料を採用した場合に比べて製造工程において厳密な加工精度が要求されることがなく、容易にパルス生成装置 10 を作成することが可能となる。

【 0 0 5 4 】

[変形例 7]

パルス生成装置 10 は、例えば、発振器の一部品（発振器用の部品）として利用することもできる。パルス生成装置 10 は、パルスの生成を連続的に行うことで発振器の一部品として利用され得る。パルス生成装置 10 を用いた発振器は、例えば、2つの磁気モーメントの向きが一致したときにだけ電流が流れる磁気抵抗効果を利用してよい。スピン回転子 18 と非磁性体部材を介して接触させた強磁性体の磁気モーメントの向きと、スピン回転子 18 の磁気モーメントとの向きとを利用した磁気抵抗効果により、スピン回転子 18 の回転数に応じて発振させる構造としてもよい。

10

【 0 0 5 5 】

[変形例 8]

実施形態に係るパルス生成装置 10 として、スピン注入子 14、スピン回転制御部 16 及びスピン回転子 18 は、チャンネル部 12 と直接接合されている例を示したが、スピン注入子 14、スピン回転制御部 16 及びスピン回転子 18 の少なくとも一つが、チャンネル部 12 と絶縁層を介して接合されていてもよい。このように構成した場合であっても、パルス生成装置 10 として機能させることができる。

20

【 0 0 5 6 】

[変形例 9]

実施形態に係るパルス生成装置 10 として、スピン注入子 14 及びスピン回転子 18 がチャンネル部 12 よりも上方に配置される例を示したが、スピン注入子 14 及びスピン回転子 18 は、チャンネル部 12 と少なくとも一部が接触した状態となっていれば、どのように配置されていてもよい。すなわち、スピン注入子 14 及びスピン回転子 18 は、チャンネル部 12 の側方に配置されてもよい。また、スピン回転子 18 の幅はチャンネル部 12 の線幅以上であってもよい。

【 0 0 5 7 】

[変形例 10]

実施形態に係るパルス生成装置 10 として、面内方向に流れるスピン流を用いて磁化反転を行う例を示したが、これに限定されない。例えば、面直方向に磁化を有する強磁性トンネル接合を構成した部材に対して面直方向に電流を流すことにより、スピントランスファートルクを用いた磁化反転を実現してもよい。

30

【 0 0 5 8 】

[変形例 11]

実施形態に係るパルス生成装置 10 として、いわゆる非局所手法によって電荷の流れを伴わないスピン流を発生させてスピン回転子 18 を回転させる例を示したが、これに限定されない。スピン回転子 18 に近いチャンネル部 12 の端部に電流印加用の端子部 12 a を形成し、端子部 14 a から端子部 12 a へ流れる電流を生じさせることにより、チャンネル部 12 にスピン流を発生させ、スピン回転子 18 を回転させてもよい。すなわち、いわゆる局所手法によって電荷の流れを伴うスピン流をチャンネル部 12 に発生させてスピン回転子 18 の磁気モーメントを回転させてもよい。この場合、非局所手法の場合に比べて電流密度を大きくすることができるため、スピントルクを大きくすることが可能となる。よって、効率良くスピン回転子 18 の磁気モーメントを回転させることができる。

40

【 0 0 5 9 】

[変形例 12]

実施形態に係るパルス生成装置 10 として、一つのパルス生成装置によりパルスが生成されることを示したが、これに限定されない。例えば、パルス生成装置 10 を複数配列し、連続してパルス波形が生成される構成を採用してもよい。この場合、連続したパルスは

50

、複数のパルス生成装置 10 が有する生成部 30 のそれぞれにより検出されてもよく、複数のパルス生成装置 10 が共通の生成部 30 により検出されてもよい。このように構成すると、連続するパルスを生成することができるため、電子回路の同期信号として用いることができる。

【 0 0 6 0 】

[変形例 1 3]

実施形態に係るパルス生成装置 10 として、パルス生成装置 10 の各構成部材の大きさがナノオーダーの部材である場合も含むように説明しているが、各構成部材の大きさをマイクロオーダーで形成し、マイクロスケールのパルス生成装置としてもよい。

【 産業上の利用可能性 】

10

【 0 0 6 1 】

パルス生成装置 10 は、産業上、以下のような利用可能性を有している。パルス生成装置 10 は、例えば、MEMS (Micro Electro Mechanical Systems) 又は、NEMS (Nano Electro Mechanical Systems) などの分野におけるパルス生成装置として利用することができる。また、パルス生成装置 10 は、例えば電子分野、電気分野、及び医療関係分野における機器部品として使用できる。パルス生成装置 10 は、半導体装置に内蔵することができる。

【 符号の説明 】

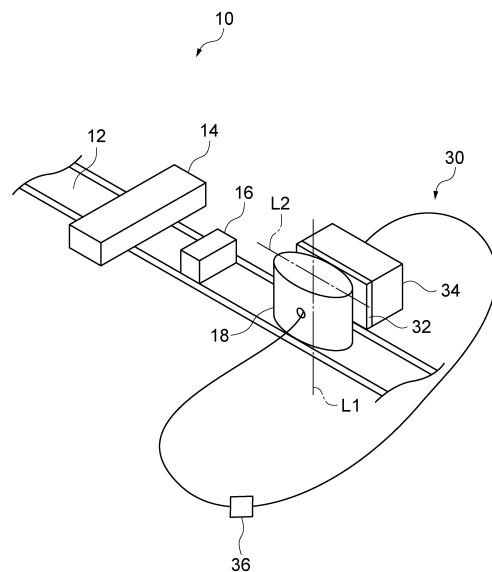
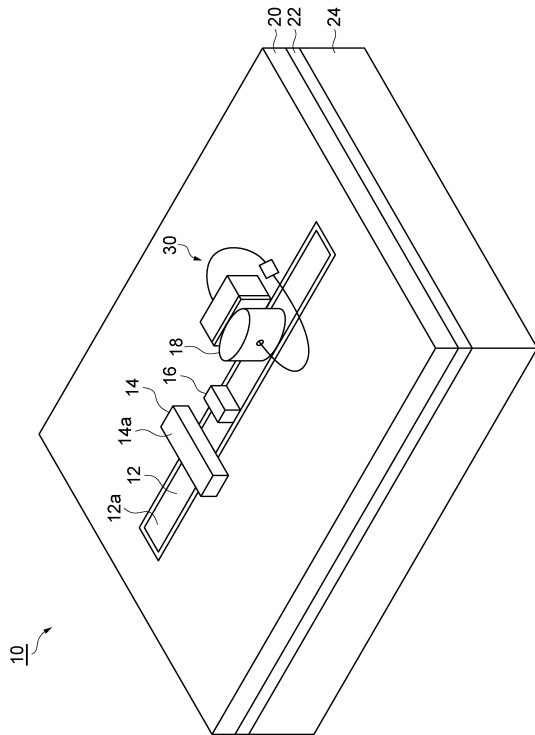
【 0 0 6 2 】

10 ... パルス生成装置、12 ... チャンネル部、14 ... スピン注入子、16 ... スピン回転制御部、18 ... スピン回転子、20 ... 半導体層、22 ... 二次元電子ガス層、24 ... 基板、30 ... 生成部、32 ... 中間層、34 ... 固定層、36 ... 取得部、L1 ... 第 1 軸、L2 ... 第 2 軸、M ... 磁気モーメント。

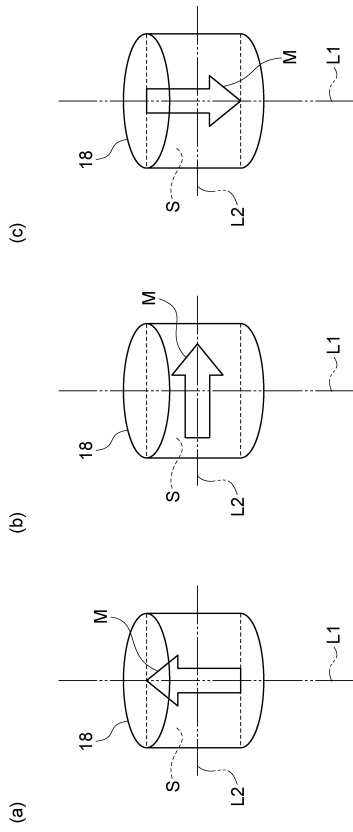
20

【 図 1 】

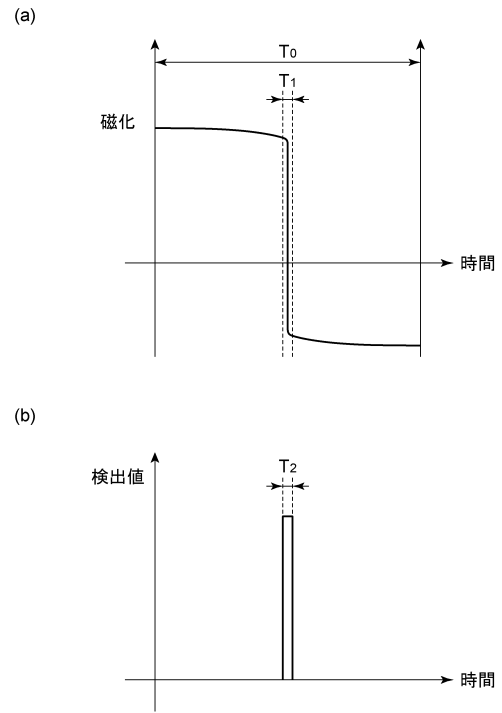
【 図 2 】



【 図 3 】



【 図 4 】



フロントページの続き

(72)発明者 廣畑 貴文

YO105DD グレート・ブリテン及び北部アイルランド連合王国 ヨーク, ヘスリントン,
ユニヴァーシティオブヨーク内

審査官 上田 智志

(56)参考文献 特許第5645181(JP, B2)

国際公開第2015/064663(WO, A1)

国際公開第2011/118374(WO, A1)

特開2012-49403(JP, A)

特開2005-19561(JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01L 29/82, 43/08

H03K 3/59

JSTPlus/JMEDPlus/JST7580(JDreamIII)