

(19) 日本国特許庁(JP)

再公表特許(A1)

(11) 国際公開番号

W02014/027555

発行日 平成28年7月25日 (2016. 7. 25)

(43) 国際公開日 平成26年2月20日 (2014. 2. 20)

(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	5 F 0 9 2
HO 1 L 29/66 (2006. 01)	HO 1 L 29/66 Z	5 F 1 0 2
HO 1 L 29/06 (2006. 01)	HO 1 L 29/06 G 0 1 Q	
HO 1 L 21/338 (2006. 01)	HO 1 L 29/80 H	
HO 1 L 29/778 (2006. 01)	HO 1 L 29/80 E	

審査請求 有 予備審査請求 未請求 (全 23 頁) 最終頁に続く

出願番号 特願2013-554508 (P2013-554508)
 (21) 国際出願番号 PCT/JP2013/070217
 (22) 国際出願日 平成25年7月25日 (2013. 7. 25)
 (11) 特許番号 特許第5569851号 (P5569851)
 (45) 特許公報発行日 平成26年8月13日 (2014. 8. 13)
 (31) 優先権主張番号 特願2012-179763 (P2012-179763)
 (32) 優先日 平成24年8月14日 (2012. 8. 14)
 (33) 優先権主張国 日本国 (JP)

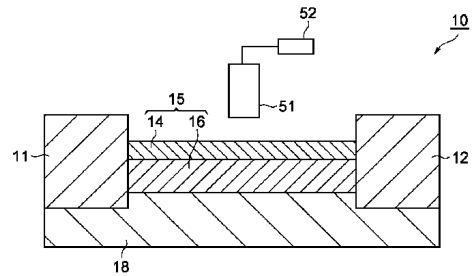
(71) 出願人 503360115
 国立研究開発法人科学技術振興機構
 埼玉県川口市本町四丁目1番8号
 (71) 出願人 500116351
 ユニヴァーシティー オブ ヨーク
 UNIVERSITY OF YORK
 イギリス, ワイオー10 5ディーデー
 ー ノース・ヨークシャー, ヨーク,
 ヘスリントン
 (74) 代理人 100088155
 弁理士 長谷川 芳樹
 (74) 代理人 100124291
 弁理士 石田 悟
 (74) 代理人 100161425
 弁理士 大森 鉄平

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 スピン偏極トランジスタ素子

(57) 【要約】

第1方向に磁化された強磁性体からなるソース部と、ソース部に離間して並設され、第1方向に磁化された強磁性体からなるドレイン部と、ソース部とドレイン部との間に配置され、ソース部及びドレイン部に直接又はトンネル層を介して接合されたチャンネル部と、チャンネル部のスピンの向きを制御するための円偏光をチャンネル部へ照射する円偏光照射部と、を備える。



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

第 1 方向に磁化された強磁性体からなるソース部と、
前記ソース部に離間して並設され、前記第 1 方向に磁化された強磁性体からなるドレイン部と、
前記ソース部と前記ドレイン部との間に配置され、前記ソース部及び前記ドレイン部に直接又はトンネル層を介して接合されたチャンネル部と、
前記チャンネル部のスピンの向きを制御するための円偏光を前記チャンネル部へ照射する円偏光照射部と、
を備えるスピン偏極トランジスタ素子。

10

【請求項 2】

前記チャンネル部は半導体材料により形成され、前記円偏光照射部は、前記チャンネル部のバンドギャップエネルギー以上のエネルギーに相当する波長を有する円偏光を前記チャンネル部へ照射する請求項 1 に記載のスピン偏極トランジスタ素子。

【請求項 3】

前記チャンネル部はヒ化ガリウム (GaAs) により形成される請求項 2 に記載のスピン偏極トランジスタ素子。

【請求項 4】

前記円偏光照射部は、前記第 1 方向に沿った方向に円偏光を照射する請求項 1 ~ 3 の何れか一項に記載のスピン偏極トランジスタ素子。

20

【請求項 5】

基板を備え、前記ソース部と前記ドレイン部とは前記基板上に形成され、前記第 1 方向は基板に垂直な方向であり、前記円偏光照射部は、前記第 1 方向に沿った方向に円偏光を照射する請求項 4 に記載のスピン偏極トランジスタ素子。

【請求項 6】

基板を備え、前記ソース部と前記ドレイン部とは前記基板上に形成され、前記第 1 方向は基板面内方向であり、前記円偏光照射部は、前記チャンネル部への円偏光の進入角度が 90 度より小さい角度となるように円偏光を照射する請求項 1 ~ 3 の何れか一項に記載のスピン偏極トランジスタ素子。

【請求項 7】

前記チャンネル部は、二次元電子ガス層を有する請求項 1 ~ 6 の何れか一項に記載のスピン偏極トランジスタ素子。

30

【請求項 8】

前記ソース部及び前記ドレイン部の厚さは、前記円偏光の進入長を超える厚さである請求項 1 ~ 7 の何れか一項に記載のスピン偏極トランジスタ素子。

【請求項 9】

前記ソース部及び前記ドレイン部の厚さは、前記チャンネル部の厚さよりも厚い請求項 8 に記載のスピン偏極トランジスタ素子。

【請求項 10】

第 1 方向に磁化された強磁性体からなる第 1 ソース部と、
前記第 1 ソース部に離間して並設され、前記第 1 方向に磁化された強磁性体からなる第 1 ドレイン部と、
前記第 1 ソース部と前記第 1 ドレイン部との間に配置され、前記第 1 ソース部及び前記第 1 ドレイン部に直接又はトンネル層を介して接合された第 1 チャンネル部と、
第 2 方向に磁化された強磁性体からなる第 2 ソース部と、
前記第 2 ソース部に離間して並設され、前記第 2 方向に磁化された強磁性体からなる第 2 ドレイン部と、
前記第 2 ソース部と前記第 2 ドレイン部との間に配置され、前記第 2 ソース部及び前記第 2 ドレイン部に直接又はトンネル層を介して接合された第 2 チャンネル部と、
前記第 1 チャンネル部及び前記第 2 チャンネル部のスピンの向きを制御するための円偏光を

40

50

前記第1チャンネル部及び前記第2チャンネル部へ照射する円偏光照射部と、
を備えるスピン偏極トランジスタ素子。

【請求項11】

前記第1チャンネル部を構成する物質内のスピンを制御するために円偏光を照射する第1
円偏光照射部と、

前記第2チャンネル部を構成する物質内のスピンを制御するために円偏光を照射する第2
円偏光照射部と、

を備える、請求項10に記載のスピン偏極トランジスタ素子。

【請求項12】

前記第1ソース部及び前記第2ソース部並びに前記第1ドレイン部及び前記第2ドレイ
ン部の厚さは、前記円偏光の進入長を超える厚さである請求項10又は11に記載のスピン
偏極トランジスタ素子。

10

【請求項13】

前記第1ソース部及び前記第1ドレイン部の厚さは、前記第1チャンネル部の厚さよりも
厚く、

前記第2ソース部及び前記第2ドレイン部の厚さは、前記第2チャンネル部の厚さよりも
厚い請求項12に記載のスピン偏極トランジスタ素子。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

20

本発明は、スピン偏極トランジスタ素子に関するものである。

【背景技術】

【0002】

従来、スピン偏極トランジスタ素子として、強磁性体からなるソース及びドレインと、
該ソース及び該ドレインと直接あるいはトンネル絶縁層を介して接合を成す非磁性体のチ
ャネル層と、該チャネル層上に直接又はゲート絶縁体層を介して設けられ、チャネル層の
電位を制御するゲート電極と、を備えるスピン偏極トランジスタ素子が知られている（例
えば、特許文献1、非特許文献1参照。）。特許文献1及び非特許文献1記載のトランジ
スタでは、ゲート電極を用いてチャネル層へ電界を印加し、チャネル層内の電子スピンを
回転制御することによって、ソースとドレインとの間の電流のオン・オフを制御する。

30

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【特許文献1】特開2011-187861号公報

【非特許文献】

【0004】

【非特許文献1】S. Datta and B. Das著、“Electronic analog of the electrooptic modulator”、App
lied Physics Letters、1990年2月12日、pp. 665～6
67

40

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

近年のハードウェアの小型化に伴い、トランジスタについても小型化が要求されている
。しかしながら、特許文献1及び非特許文献1記載のトランジスタにあっては、電圧印加
用のゲート電極を配置するためのスペースをソースとドレインとの間に確保する必要があ
るため、ソース及びドレインの配置の自由度に制限がある。よって、結果としてトランジ
スタの小型化が困難となるおそれがある。本技術分野では、小型化可能な構造を有するト
ランジスタが望まれている。

【課題を解決するための手段】

50

【 0 0 0 6 】

本発明の一側面に係るスピン偏極トランジスタ素子は、第1方向に磁化された強磁性体からなるソース部と、ソース部に離間して並設され、第1方向に磁化された強磁性体からなるドレイン部と、ソース部とドレイン部との間に配置され、ソース部及びドレイン部に直接又はトンネル層を介して接合されたチャンネル部と、チャンネル部のスピンの向きを制御するための円偏光をチャンネル部へ照射する円偏光照射部と、を備える。

【 0 0 0 7 】

このように構成することで、円偏光照射部により、チャンネル部に円偏光が照射され、チャンネル部においてスピンが偏極した電子が励起され、チャンネル部の電気抵抗が変化する。このように、円偏光を利用して非接触でスピンの向きを制御することができるため、例えば、円偏光照射のみでスピンの向きを制御することでゲート電極を不要とし、ソース部及びドレイン部の配置の自由度を向上させ、あるいは、電圧印加と円偏光照射とを併用することで、電圧を印加するための機構そのものを簡易にすることが可能となる。よって、トランジスタ素子を小型化することができ、該素子設計の自由度を向上させることが可能となる。

10

【 0 0 0 8 】

一実施形態では、チャンネル部は半導体材料により形成され、円偏光照射部は、チャンネル部のバンドギャップエネルギー以上のエネルギーに相当する波長を有する円偏光をチャンネル部へ照射してもよい。このように構成することで、チャンネル部に円偏光が照射されると、チャンネル部を形成する半導体材料中のスピンが価電子帯から伝導帯に遷移することができる。このため、より効率的にソース部から注入された電流をドレイン部に流すことが可能となる。

20

【 0 0 0 9 】

一実施形態では、チャンネル部はヒ化ガリウム (GaAs) により形成されていてもよい。このように構成することで、円偏光照射部がGaAsのバンドギャップエネルギーと同じか少し高いエネルギーに相当する波長を有する円偏光をチャンネル部へ照射することにより、チャンネル部のスピンが価電子帯から伝導帯に遷移することができる。このため、より効率的にソース部から注入された電流をドレイン部に流すことが可能となる。

【 0 0 1 0 】

一実施形態では、円偏光照射部は、第1方向に沿った方向に円偏光を照射してもよい。一実施形態では、基板を備え、ソース部とドレイン部とは基板上に形成され、第1方向は基板に垂直な方向であり、円偏光照射部は、第1方向に沿った方向に円偏光を照射してもよい。一実施形態では、基板を備え、ソース部とドレイン部とは基板上にされ、第1方向は基板面内方向であり、円偏光照射部は、チャンネル部への円偏光の進入角度が90度より小さい角度となるように円偏光を照射してもよい。

30

【 0 0 1 1 】

このように構成することで、円偏光を照射して、チャンネル部のスピンの向きが第1方向すなわちソース部及びドレイン部の磁化方向に揃えることができるため、ソース部から注入された電流をドレイン部に流すことが可能となる。

【 0 0 1 2 】

一実施形態では、チャンネル部は、二次元電子ガス層を有していてもよい。このように構成することで、二次元電子ガスよりスピンの供給されるため、チャンネル部におけるスピンの角運動量の伝搬を効率的に行うことが可能となる。

40

【 0 0 1 3 】

一実施形態では、ソース部及びドレイン部の厚さは、円偏光の進入長を超える厚さであってもよい。一実施形態では、ソース部及びドレイン部の厚さは、チャンネル部の厚さよりも厚くてもよい。

【 0 0 1 4 】

このように構成することで、ソース部及びドレイン部に光が照射された場合であっても、チャンネル部のスピンのみを制御することができる。

50

【0015】

また、本発明の他の側面に係るスピン偏極トランジスタ素子は、第1方向に磁化された強磁性体からなる第1ソース部と、第1ソース部に離間して並設され、第1方向に磁化された強磁性体からなる第1ドレイン部と、第1ソース部と第1ドレイン部との間に配置され、第1ソース部及び第1ドレイン部に直接又はトンネル層を介して接合された第1チャンネル部と、第2方向に磁化された強磁性体からなる第2ソース部と、第2ソース部に離間して並設され、第2方向に磁化された強磁性体からなる第2ドレイン部と、第2ソース部と第2ドレイン部との間に配置され、第2ソース部及び第2ドレイン部に直接又はトンネル層を介して接合された第2チャンネル部と、第1チャンネル部及び第2チャンネル部のスピンの向きを制御するための円偏光を第1チャンネル部及び第2チャンネル部へ照射する円偏光照射部と、を備える。

10

【0016】

このように構成することで、円偏光照射部により、第1チャンネル部及び第2チャンネル部に円偏光が照射され、第1チャンネル部及び第2チャンネル部においてスピンの偏極した電子が励起され、第1チャンネル部及び第2チャンネル部の電気抵抗が変化する。このため、ゲート電極を用いることなく、第1ソース部及び第2ソース部から注入された電流を第1ドレイン部及び第2ドレイン部へ流すことが可能となる。よって、トランジスタ素子を小型化することができる。さらに、複数のスピン偏極トランジスタに円偏光を照射することにより、複数のスピン偏極トランジスタを一括して制御することが可能となる。

20

【0017】

一実施形態では、第1チャンネル部を構成する物質内のスピンを制御するために円偏光を照射する第1円偏光照射部と、第2チャンネル部を構成する物質内のスピンを制御するために円偏光を照射する第2円偏光照射部と、を備えていてもよい。このように構成することで、複数のスピン偏極トランジスタの一括制御と個別制御とを実現することができる。

【0018】

一実施形態では、第1ソース部及び第2ソース部並びに第1ドレイン部及び第2ドレイン部の厚さは、円偏光の進入長を超える厚さであってもよい。一実施形態では、第1ソース部及び第1ドレイン部の厚さは、第1チャンネル部の厚さよりも厚く、第2ソース部及び第2ドレイン部の厚さは、第2チャンネル部の厚さよりも厚くてもよい。

【0019】

このように構成することで、ソース部及びドレイン部に光が照射された場合であっても、チャンネル部のスピンのみを制御することができる。

30

【発明の効果】

【0020】

以上説明したように、本発明の種々の側面及び実施形態によれば、小型化可能な構造を有するトランジスタ素子を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【0021】

【図1】第1実施形態に係るスピン偏極トランジスタ素子を説明する概略断面図である。

【図2】円偏光照射部によるスピン制御を説明する概略図である。

40

【図3】第1実施形態におけるスピン偏極トランジスタ素子がオフ状態のスピンの向きを説明する概略図である。

【図4】第1実施形態におけるスピン偏極トランジスタ素子がオン状態のスピンの向きを説明する概略図である。

【図5】第2実施形態におけるスピン偏極トランジスタ素子がオフ状態のスピンの向きを説明する概略図である。

【図6】第2実施形態におけるスピン偏極トランジスタ素子がオン状態のスピンの向きを説明する概略図である。

【図7】第3実施形態におけるスピン偏極トランジスタ素子を説明する概略図である。

【図8】第4実施形態におけるスピン偏極トランジスタ素子を説明する概略図である。

50

【図9】実施形態に係るスピン偏極トランジスタ素子の變形例を説明する概略図である。

【發明を実施するための形態】

【0022】

以下、添付図面を参照して本發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。

【0023】

(第1実施形態)

本実施形態に係るスピン偏極トランジスタ素子は、スピン偏極を応用したトランジスタ素子であって、例えばナノスケールのスイッチング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偏極トランジスタ素子10を説明する概略断面図である。図1に示すように、スピン偏極トランジスタ素子10は、例えば、ソース部11、ドレイン部12、チャンネル部15及び円偏光照射部51を備えている。

10

【0024】

ソース部11は、基板18上に形成されている。基板18として、例えば半導体基板が用いられる。ソース部11は、強磁性体材料により形成されている。強磁性体材料として、例えばFe、Co又はNi等が用いられる。ソース部11は、任意の第1方向に磁化され得る。第1方向は、例えば、基板面内方向(基板面に平行な任意の方向)又は基板垂直方向である。ソース部11には、電圧印加用の端子が設けられている。ソース部11の基板18からの厚さは、円偏光の進入長を超える厚さとされ、例えば数10nm以上とされる。

20

【0025】

ドレイン部12は、基板18上に形成されており、ソース部11に離間して並設されている。ドレイン部12は強磁性体材料により形成されている。強磁性体材料として、例えばFe、Co又はNi等が用いられる。ドレイン部12は、基板面内方向又は基板垂直方向(第1方向)に磁化され得る。ここでは、ドレイン部12は、任意の第1方向に磁化され得る。第1方向は、例えば、基板面内方向又は基板垂直方向である。ソース部11と同一方向に磁化されている。ドレイン部12には、電圧検出用の端子が設けられている。ドレイン部12の基板18からの厚さは、円偏光の進入長を超える厚さとされ、例えば数10nm以上とされる。

30

【0026】

チャンネル部15は、ソース部11とドレイン部12との間に配置され、ソース部11及びドレイン部12と直接接合されている。チャンネル部15は非磁性体材料で形成されている。非磁性体材料として、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等の非磁性金属が用いられる。なお、例えば、基板18としてGaAs基板を用い、基板18へ電子をドーピングすることにより、GaAsドーブ層14(半導体層14)を形成した場合には、GaAsドーブ層14と基板18との間に二次元電子ガス層16が形成される。この場合、GaAsドーブ層14及び二次元電子ガス層16がチャンネル部15として機能する。このように、チャンネル部15は、二層構造になっていてもよい。チャンネル部15のソース部11とドレイン部12との間の長さは、例えば数10nm程度である。またチャンネル部15の基板18からの厚さは、例えば数nm程度である。ソース部11又はドレイン部12の基板18からの厚さは、チャンネル部15の基板18からの厚さより厚ければよい。例えば、ソース部11又はドレイン部12の基板18からの厚さは、チャンネル部15の基板18からの厚さの1.05倍~20倍程度としてもよい。

40

【0027】

円偏光照射部51は、円偏光を照射する機能を有する。光源として、例えば半導体LEDが用いられる。光源は、チャンネル部15の材料に応じて選択された波長を有する。例えばチャンネル部15が半導体で形成される場合には可視光~赤外領域の波長の光源が用いられる。円偏光照射部51は、例えば直線偏光させたレーザ光を通過させる1/4波長板を

50

有している。あるいは、円偏光照射部 5 1 は、例えば直線偏光させたレーザ光を通過させるポッケルセル等の電場を印加可能な光学結晶を有している。円偏光照射部 5 1 は、集光レンズ等のスポット幅を調整する機構を有していてもよい。また、円偏光照射部 5 1 は、円偏光の波長や円偏光の回転方向を制御するための円偏光制御部 5 2 に接続されていてもよい。

【0028】

円偏光照射部 5 1 は、チャンネル部 1 5 のスピンの向きを制御するために円偏光をチャンネル部 1 5 へ照射する。円偏光照射部 5 1 は、第 1 方向すなわちソース部 1 1 及びドレイン部 1 2 の磁化方向に沿った方向へ円偏光を照射してもよい。チャンネル部 1 5 が半導体材料で形成されている場合には、円偏光照射部 5 1 は、チャンネル部 1 5 のバンドギャップエネルギー以上のエネルギーに相当する波長を有する円偏光をチャンネル部 1 5 に照射してもよい。

10

【0029】

ここで、図 2 を用いて円偏光照射部 5 1 によるスピン制御について説明する。図 2 は、一実施形態に係る円偏光照射部 5 1 によるスピン制御を説明する概略図である。なお、図 2 では、チャンネル部 1 5 が半導体材料を用いて形成された場合の例を模式的に示している。図 2 の (A) は、スピンの種類と円偏光の向きとの関係について、その一例を示している。また、図 2 の (A) において、ダウンスピン S_d は、下向きスピンを表し、アップスピン S_u は、上向きスピンを表す。また左円偏光 L は反時計回りの円偏光を表し、右円偏光 R は時計回りの円偏光を表す。

20

【0030】

図 2 の (A) で示すように、ダウンスピン S_d は、左円偏光 L が照射されると、左円偏光 L よりエネルギーを受けてスピンが反転し、アップスピン S_u となる。また一方、アップスピン S_u は、右円偏光 R が照射されると、右円偏光 R よりエネルギーを受けてスピンが反転し、ダウンスピン S_d となる。このように、左円偏光 L と右円偏光 R とを使い分けることで、チャンネル部 1 5 のスピンの向きを制御することができる。また、電子は円偏光が照射されると、エネルギー状態が高くなる。このため、価電子帯の電子は、円偏光を照射されることにより、エネルギーギャップを超えて伝導帯へ遷移する。このように、円偏光の回転方向だけでなく、波長 (エネルギー) を変更することで、特定のスピンの向きの電子だけを遷移させることができる。

30

【0031】

なお、図 2 の (A) で示したアップスピン S_u 及びダウンスピン S_d と、右円偏光 R 及び左円偏光 L との関係は一例であって、材料や物理的特性、あるいはその他の要因により、変化する。そしてこれらスピン反転と円偏光との関係は、物質ごとに決定される選択則によって与えられるものでよい。

【0032】

図 2 の (B) は、半導体で一般的にみられるバンドギャップについて、その一例を示している。図 2 の (B) に示すように、半導体材料のバンド構造は、一般的に、価電子帯 B_v と伝導帯 B_c とに分かれる。エネルギー軸を縦軸とし、横軸を波数又は運動量で表した場合、価電子帯 B_v は、伝導帯 B_c より低い値で示される。そして、 $GaAs$ など、直接遷移が起こる半導体においては、価電子帯 B_v が高くなる波数と、伝導帯 B_c が低くなる波数とは、同じ波数である。価電子帯 B_v と伝導帯 B_c とのエネルギー差が、バンドギャップエネルギー E_g である。

40

【0033】

よって、チャンネル部 1 5 を $GaAs$ で形成した場合、円偏光照射部 5 1 が $GaAs$ のバンドギャップエネルギー E_g と同じか少し高いエネルギーに相当する波長を有する円偏光をチャンネル部 1 5 へ照射することにより、チャンネル部 1 5 のスピンの価電子帯 B_v から伝導帯 B_c に遷移する。このため、直接遷移する半導体を採用することによって、効率的にソース部 1 1 から注入された電流をドレイン部 1 2 に流すことが可能となる。なお、 $GaAs$ のバンドギャップエネルギー E_g は、室温で $1.43 eV$ 程度となり、このエネルギ

50

ーに対応する波長が選択され得る。

【0034】

次に、スピン偏極トランジスタ素子10のオン・オフ状態を概説する。図3は、スピン偏極トランジスタ素子10がオフ状態のスピンの向きを説明する概略図である。図4は、スピン偏極トランジスタ素子10がオン状態のスピンの向きを説明する概略図である。

【0035】

図3に示すように、ソース部11は、基板18に対して垂直な方向(基板垂直方向)に磁化されており、磁気モーメントS21を有する。同様に、ドレイン部12は、基板18に対して垂直な方向に磁化されており、磁気モーメントS22を有する。磁気モーメントS21と磁気モーメントS22とは互いに平行である。チャンネル部15に円偏光が照射されていない場合、二次元電子ガス層16内のスピンS0の向きはバラバラである。従って、ソース部11からドレイン部12へ電流が流れない(オフ状態)。

10

【0036】

次に、図4に示すように、円偏光照射部51により、円偏光をチャンネル部15の上面へ照射する。円偏光照射部51は、基板18に対して垂直方向に円偏光を照射する。基板垂直方向にスピンの向きを揃える場合には、基板垂直方向へ円偏光を照射する方が効率的である。円偏光照射部51からチャンネル部15へ円偏光が照射されると、スピンS0は基板18に垂直な方向に揃う。(スピンS20)。すなわち、チャンネル部15のスピンの向きがソース部11及びドレイン部12の磁化方向に揃う。従って、ソース部11からドレイン部12へ電流が流れる(オン状態)。

20

【0037】

なお、ソース部11及びドレイン部12が、円偏光の進入長よりも十分に長い厚さを有している場合には、円偏光照射部51は、チャンネル部15の上面のみに正確に照射する必要はなく、ソース部11及びドレイン部12の上面にも照射してもよい。このように、ソース部11及びドレイン部12の膜厚を調整することで、光の照射範囲の精度を緩和させることができる。

【0038】

以上、第1実施形態に係るスピン偏極トランジスタ素子10によれば、円偏光照射部51により、チャンネル部15に円偏光が照射され、チャンネル部15においてスピンが偏極した電子が励起され、チャンネル部15の電気抵抗が変化する。このため、ソース部11から注入された電流をドレイン部12に流すことができる。また、ソース部11及びドレイン部12の磁化方向が基板垂直方向の場合において、円偏光照射部51が基板垂直方向に沿った方向に円偏光を照射することで、チャンネル部15のスピンの向きを基板垂直方向に揃えることができる。このため、スピン偏極トランジスタ素子10をオフ状態からオン状態へ切り替えることができる。このように、電流のスイッチングを、円偏光を用いて非接触で行うため、ゲート電極を素子に形成する必要がない。従って、ゲート電極のための微細加工が不要となり素子の製造が容易となるとともに、ゲート電極を形成するための領域を確保する必要がないことからソース部11とドレイン部12との間を狭くすることができる。例えば、1 μ m程度のゲート電極を設けるためには、ソース部11とドレイン部12との間隔を3 μ m程度空ける必要がある。これに対して、第1実施形態に係るスピン偏極トランジスタ素子10によれば、ソース部11とドレイン部12との間隔を数nmとすることができる。よって、トランジスタ構造を小型化することができる。さらに、円偏光のスイッチング速度がゲート変調速度にそのまま依存することから、現在のCOMS素子と同等以上の速度で動作可能である。

30

40

【0039】

また、チャンネル部15が半導体材料により形成されている場合、チャンネル部15に円偏光が照射されると、チャンネル部15を形成する半導体材料中のスピンの価電子帯から伝導帯に遷移することができるため、より効率的にソース部11から注入された電流をドレイン部12に流すことが可能となる。さらにチャンネル部15が二次元電子ガス層16を有している場合、チャンネル部15に二次元電子ガス層16よりスピンの供給されるため、チャ

50

ネル部 15 におけるスピンの角運動量の伝搬を効率的に行うことが可能となる。

【 0 0 4 0 】

(第 2 実施形態)

第 2 実施形態に係るスピン偏極トランジスタ素子 10 は、第 1 実施形態に係るスピン偏極トランジスタ素子 10 とほぼ同様に構成され、ソース部 11 の磁化の向き、ドレイン部 12 の磁化の向き、チャンネル部 15 を流れるスピンの向き、及び円偏光照射部 51 から照射される円偏光の照射方向が相違する。以下、説明理解の容易性を考慮して、第 1 実施形態に係るスピン偏極トランジスタ素子 10 と重複する説明は省略し、相違点を中心に説明する。

【 0 0 4 1 】

図 5 は、第 2 実施形態におけるスピン偏極トランジスタ素子がオフ状態のスピンの向きを説明する概略図である。図 6 は、第 2 実施形態におけるスピン偏極トランジスタ素子がオン状態のスピンの向きを説明する概略図である。

【 0 0 4 2 】

図 5 に示すように、ソース部 11 は、基板 18 の面内方向に磁化されており、磁気モーメント S_{11} を有する。また、ドレイン部 12 は、基板 18 の面内方向に磁化されており、磁気モーメント S_{12} を有する。磁気モーメント S_{11} と磁気モーメント S_{12} とは同一方向へ向いている。チャンネル部 15 に円偏光が照射されていない場合、二次元電子ガス層 16 内のスピン S_0 の向きはバラバラである。従って、ソース部 11 とドレイン部 12 との間には電流は流れない (オフ状態)。

【 0 0 4 3 】

次に、円偏光が照射された場合を図 6 に示す。図 6 に示すように、円偏光照射部 51 は、チャンネル部 15 への円偏光の進入角度 (チャンネル部 15 に対する入射角度であって、チャンネル部 15 の表面方向と平行な場合を 0 度とする) が 90 度より小さい角度となるように円偏光を照射する。基板面内方向にスピンの向きを揃える場合には、基板面内方向へ円偏光を照射する方が効率的である。つまりソース部 11 及びドレイン部が基板 18 の面内方向に磁化している場合、円偏光照射部 51 は、チャンネル部 15 への円偏光の進入角度ができるだけ低角、好ましくは 0 度に近い角度となるように、基板面内方向へ円偏光を照射する方が効率的である。円偏光照射部 51 からチャンネル部 15 へ円偏光が照射されると、スピン S_0 は、ソース部 11 及びドレイン部 12 を含む平面方向、言い換えれば基板 18 の面内方向に揃う (スピン S_{10})。すなわち、チャンネル部 15 のスピンの向きがソース部 11 及びドレイン部 12 の磁化方向に揃う。従って、ソース部 11 とドレイン部 12 との間には電流は流れる (オン状態)。

【 0 0 4 4 】

以上、第 2 実施形態に係るスピン偏極トランジスタ素子 10 によれば、第 1 実施形態に係るスピン偏極トランジスタ素子 10 と同様の作用効果を奏する。

【 0 0 4 5 】

(第 3 実施形態)

第 3 実施形態に係るスピン偏極トランジスタ素子 20 は、第 1 実施形態に係るスピン偏極トランジスタ素子 10 の一部構成要素を複数配列した素子である。以下、説明理解の容易性を考慮して、第 1 実施形態に係るスピン偏極トランジスタ素子 10 と重複する説明は省略し、相違点を中心に説明する。

【 0 0 4 6 】

図 7 は、第 3 実施形態におけるスピン偏極トランジスタ素子 20 を説明する概略図である。図 7 に示すように、スピン偏極トランジスタ素子 20 は、第 1 実施形態又は第 2 実施形態に係るスピン偏極トランジスタ素子 10 の一部構成要素を基板 B_0 上に複数配列させた構造を有する。すなわち、スピン偏極トランジスタ素子 20 は、第 1 実施形態又は第 2 実施形態に係るスピン偏極トランジスタ素子 10 の構成要素である第 1 ソース部 11、第 1 ドレイン部 12 及び第 1 チャンネル部 15 を備えている。また、スピン偏極トランジスタ素子 20 は、第 1 実施形態又は第 2 実施形態に係るスピン偏極トランジスタ素子 10 の構

10

20

30

40

50

成要素である第2ソース部21、第2ドレイン部22及び第2チャンネル部25を備えている。第1ソース部11、第1ドレイン部12、第2ソース部21及び第2ドレイン部22は第1方向にそれぞれ磁化されている。

【0047】

さらに、第1実施形態又は第2実施形態に係るスピン偏極トランジスタ素子10が備える円偏光照射部51とほぼ同様の円偏光照射部71を備えている。本実施形態に係る円偏光照射部71は、円偏光照射部51と比較して、照射先(照射領域)のみが相違し、構造は同一である。また、円偏光照射部71は、円偏光の波長や円偏光の回転方向を制御するための円偏光制御部72に接続されていてもよい。

【0048】

円偏光照射部71は、第1チャンネル部15及び第2チャンネル部25のスピン向きを制御するために円偏光を第1チャンネル部15及び第2チャンネル部25へ照射する。円偏光照射部71は、第1方向に沿った方向に円偏光を照射してもよい。

【0049】

以上、第3実施形態に係るスピン偏極トランジスタ素子20によれば、円偏光照射部71により、第1チャンネル部15及び第2チャンネル部25に円偏光が照射され、第1チャンネル部15内及び第2チャンネル部25内においてスピンの偏極した電子が励起され、第1チャンネル部15及び第2チャンネル部25の電気抵抗が変化する。従って、第1実施形態及び第2実施形態に係るスピン偏極トランジスタ素子10と同様に、トランジスタ構造を小型化することができる。

【0050】

また、第3実施形態に係るスピン偏極トランジスタ素子20によれば、トランジスタ構成要素間で共通となる円偏光照射部71を備え、複数のスピン偏極トランジスタに円偏光を照射することにより、複数のスピン偏極トランジスタを一括して制御することができる。

【0051】

(第4実施形態)

第4実施形態に係るスピン偏極トランジスタ素子30は、第3実施形態に係るスピン偏極トランジスタ素子20とほぼ同様に構成され、各トランジスタ素子単位で円偏光照射部をさらに備える点が相違する。以下、説明理解の容易性を考慮して、第3実施形態に係るスピン偏極トランジスタ素子20と重複する説明は省略し、相違点を中心に説明する。

【0052】

図8は、第4実施形態に係るスピン偏極トランジスタ素子30を説明する概略図である。図8に示すように、スピン偏極トランジスタ素子30は、第1実施形態又は第2実施形態に係るスピン偏極トランジスタ素子10を基板B₀上に複数配列させた構造を有する。すなわち、スピン偏極トランジスタ素子30は、第1実施形態又は第2実施形態に係るスピン偏極トランジスタ素子10と同一の構造を有するスピン偏極トランジスタ素子10A、10Bを備えている。スピン偏極トランジスタ素子10A、10Bは、それぞれ第1円偏光照射部51、第2円偏光照射部61を備えている。第1ソース部11、第1ドレイン部12、第2ソース部21及び第2ドレイン部22は第1方向にそれぞれ磁化されている。

【0053】

第1円偏光照射部51は、第1チャンネル部15を構成する物質内のスピンを制御するために円偏光を照射する。第2円偏光照射部61は、第2チャンネル部25を構成する物質内のスピンを制御するために円偏光を照射する。円偏光照射部71は、第3実施形態に係るスピン偏極トランジスタの円偏光照射部71と同一である。

【0054】

以上、第4実施形態に係るスピン偏極トランジスタ素子30によれば、円偏光照射部71により、第1チャンネル部15及び第2チャンネル部25に円偏光が照射され、第1チャンネル部15内及び第2チャンネル部25内においてスピンの偏極した電子が励起され、第1チ

10

20

30

40

50

チャンネル部 15 及び第 2 チャンネル部 25 の電気抵抗が変化する。従って、第 3 実施形態に係るスピン偏極トランジスタ素子 10 と同様に、トランジスタ構造を小型化することができる。

【0055】

また、第 4 実施形態に係るスピン偏極トランジスタ素子 30 によれば、トランジスタ構成要素間で共通となる円偏光照射部 71 を備え、複数のスピン偏極トランジスタに円偏光を照射することにより、複数のスピン偏極トランジスタを一括して制御することができる。

【0056】

さらに、第 4 実施形態に係るスピン偏極トランジスタ素子 30 によれば、トランジスタ構成要素間で独立した第 1 円偏光照射部 51 及び第 2 円偏光照射部 61 を備え、複数のスピン偏極トランジスタに個々に円偏光を照射することにより、複数のスピン偏極トランジスタを個別に制御することができる。

10

【0057】

上述した各実施形態は、本発明に係るスピン偏極トランジスタの一例を示すものである。本発明は、各実施形態に係るスピン偏極トランジスタ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。

【0058】

例えば、上述した実施形態では、チャンネル部 15 は、ソース部 11 及びドレイン部 12 と直接接合されているとしたが、チャンネル部 15 は、ソース部 11 及びドレイン部 12 とトンネル層など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、スピン偏極トランジスタ素子 10 を実現することが可能となる。

20

【0059】

また、上述した実施形態では、円偏光照射部 51 を、基板 18 上に配置されるチャンネル部 15 の上方に配置し、基板表面側から円偏光を照射する例を説明したが、円偏光照射部 51 を、基板 18 裏面側に配置し、基板 18 の裏面側から円偏光を照射してもよい。この際、チャンネル部 15 が積層された基板 18 を部分エッチングにより薄くしてもよい。このように構成した場合であっても、円偏光によってチャンネル部 15 のスピンの向きを制御することができる。

【0060】

30

また、上述した実施形態では、従来の電界効果トランジスタなどにみられるゲート電極を不要とする例を説明したが、ゲート電極をチャンネル部 15 上に設けるとともに、円偏光照射部 51 を備える構成としてもよい。すなわち、円偏光照射部 51 をゲート電極によるスピン制御のアシスト機構として動作させてもよい。アシスト機構として動作させる場合には、円偏光の効果を一層奏するために、例えば、ゲート電極を薄く形成したり、上述したように基板 18 の裏面側から円偏光を照射したりしてもよい。このように構成した場合であっても、例えば円偏光を照射する領域についてはゲート電極を設ける必要がなくなるため、ソース及びドレイン間の距離を小さくして小型化することができる。また、アシスト機構を備えることでゲート電極から印加すべき電圧を低減することができるので、ゲート電圧を印加させる機構そのものを簡易にすることが可能となり、結果として素子の小型化に寄与することができる。

40

【0061】

また、上述した実施形態では、円偏光照射部 51 が円偏光を照射したタイミングで、ソース部 11 からドレイン部 12 へ電流が流れトランジスタがオン状態となる例を説明したが、円偏光照射部 51 が円偏光を照射したタイミングで、トランジスタがオフ状態となるように、チャンネル部 15 のスピンを制御してもよい。

【0062】

また、図 7, 8 では、2 つの素子構成要素を配列させた例を示しているが、素子構成要素を 3 つ以上配列させてもよい。また、基板 18, 28 を共通化させて基板 B₀ を不要としてもよい。さらに、第 1 ソース部 11、第 1 ドレイン部 12、第 2 ソース部 21 及び第

50

2ドレイン部22が第1方向にそれぞれ磁化されている例を説明したが、第1ソース部11及び第1ドレイン部12の磁化方向(例えば第1方向)と、第2ソース部21及び第2ドレイン部22の磁化方向(例えば第2方向)が異なる方向であってもよい。

【0063】

また、上述した実施形態では、1つの素子構成要素がソース部、ドレイン部及びチャネル部を備えた例を説明したが、隣接する素子構成要素のソース部とドレイン部とを1つの部材で構成してもよい。例えば、図9に示すように、第1ドレイン部12及び第2ソース部21を共通化させ、端子41としてもよい。このように部材を兼用することができるため、トランジスタ素子を一層小型化することが可能となる。また、基板18、28を共通化させ、基板42としてもよい。

10

【産業上の利用可能性】

【0064】

スピン偏極トランジスタ素子10は、産業上、以下のような利用可能性を有している。スピン偏極トランジスタ素子10は、例えば、各産業分野における電気電子部品として使用することができる。例えば、面内スピントランジスタや縦型ナノピラー等の強磁性体/半導体ハイブリッド構造におけるゲート制御としても適用することができる。

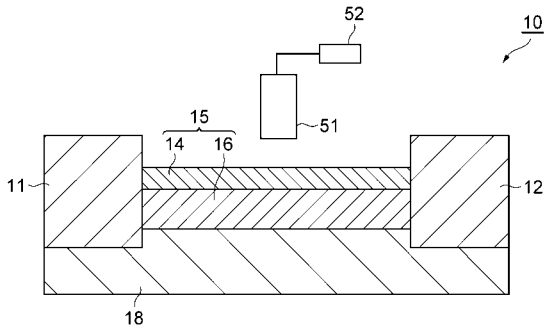
【符号の説明】

【0065】

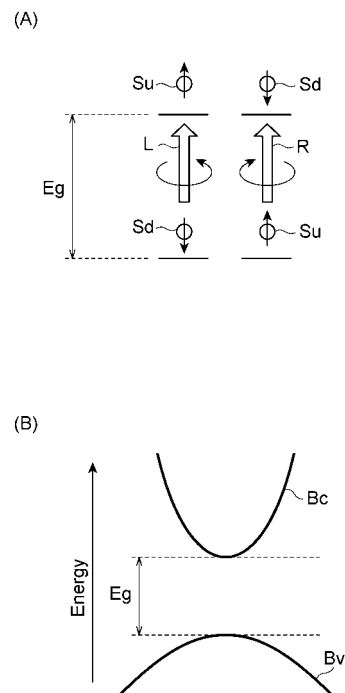
10...スピン偏極トランジスタ素子、11...ソース部、12...ドレイン部、14...GaAsドープ層(半導体層)、15...チャネル部、16...二次元電子ガス層、51...円偏光照射部。

20

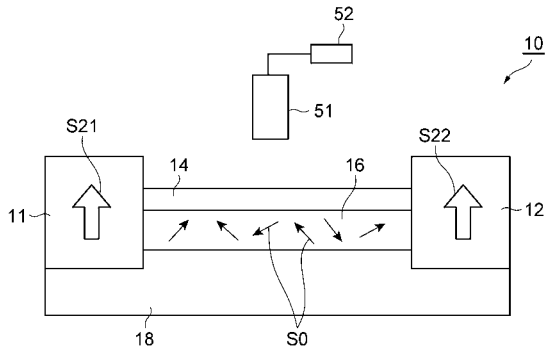
【図1】



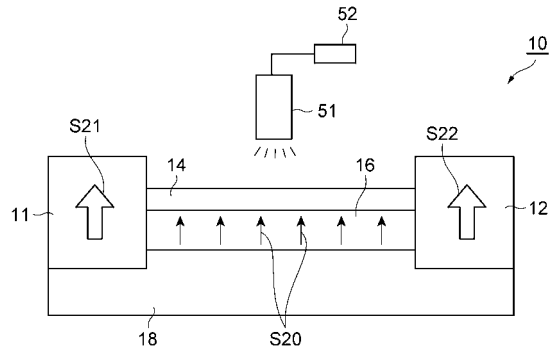
【図2】



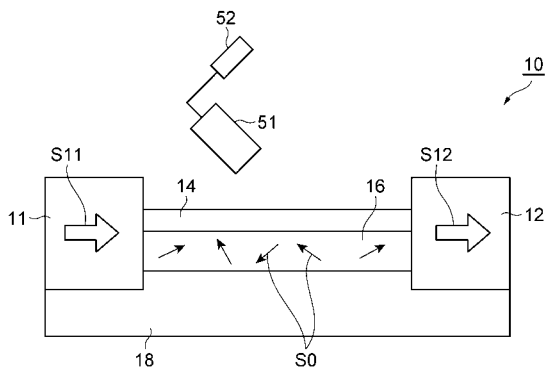
【 図 3 】



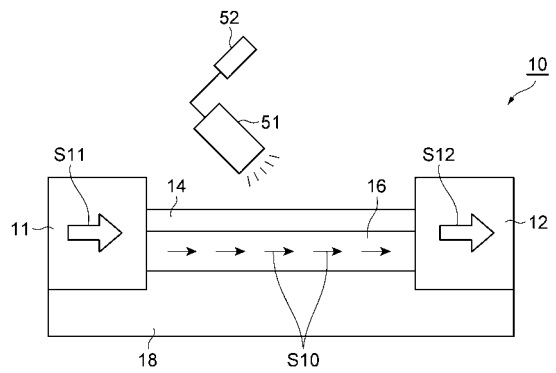
【 図 4 】



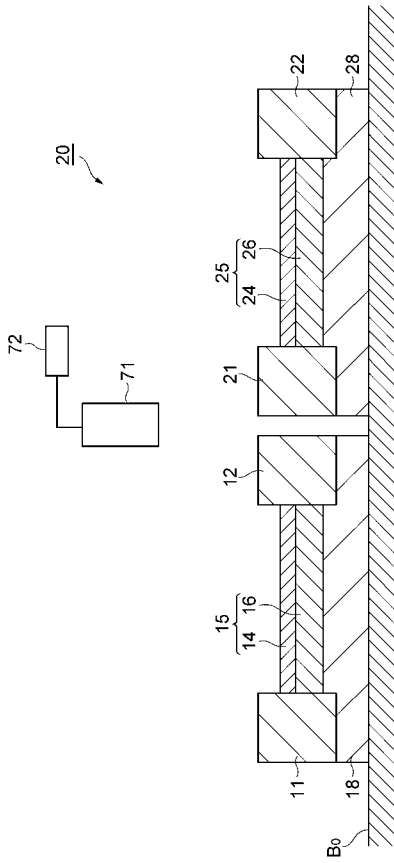
【 図 5 】



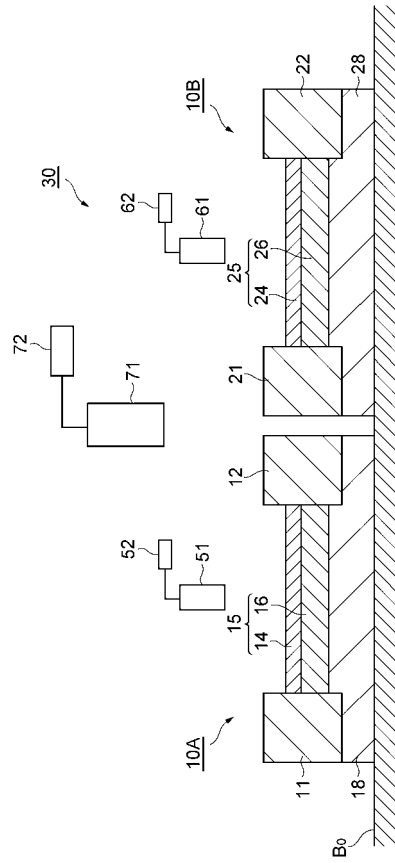
【 図 6 】



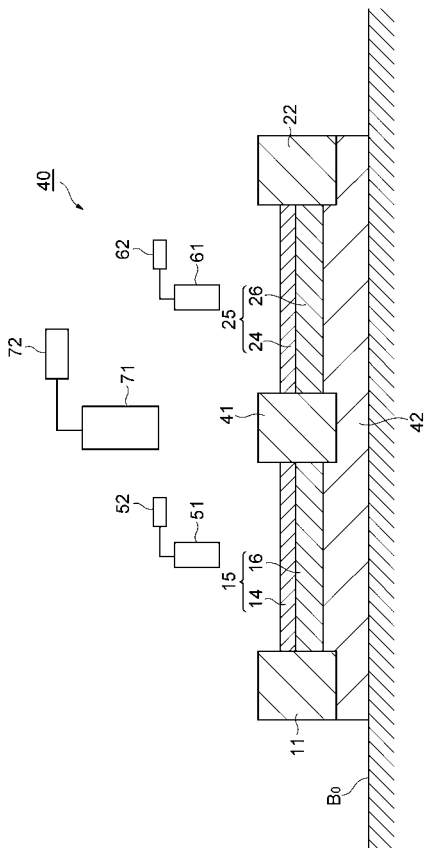
【 図 7 】



【 図 8 】



【 図 9 】



【手続補正書】

【提出日】平成26年4月24日(2014.4.24)

【手続補正1】

【補正対象書類名】特許請求の範囲

【補正対象項目名】全文

【補正方法】変更

【補正の内容】

【特許請求の範囲】

【請求項1】

第1方向に磁化された強磁性体からなるソース部と、
前記ソース部に離間して並設され、前記第1方向に磁化された強磁性体からなるドレイン部と、
前記ソース部と前記ドレイン部との間に配置され、前記ソース部及び前記ドレイン部に直接又はトンネル層を介して接合されたチャンネル部と、
前記チャンネル部のスピンの向きを前記第1方向に揃えるように制御するための円偏光を前記チャンネル部へ照射する円偏光照射部と、
を備え、
前記ソース部及び前記ドレイン部の厚さは、前記円偏光の侵入長を超える厚さである、
スピン偏極トランジスタ素子。

【請求項2】

前記チャンネル部は半導体材料により形成され、前記円偏光照射部は、前記チャンネル部のバンドギャップエネルギー以上のエネルギーに相当する波長を有する円偏光を前記チャンネル部へ照射する請求項1に記載のスピン偏極トランジスタ素子。

【請求項3】

前記チャンネル部はヒ化ガリウム(GaAs)により形成される請求項2に記載のスピン偏極トランジスタ素子。

【請求項4】

前記円偏光照射部は、前記第1方向に沿った方向に円偏光を照射する請求項1～3の何れか一項に記載のスピン偏極トランジスタ素子。

【請求項5】

基板を備え、前記ソース部と前記ドレイン部とは前記基板上に形成され、前記第1方向は基板に垂直な方向であり、前記円偏光照射部は、前記第1方向に沿った方向に円偏光を照射する請求項4に記載のスピン偏極トランジスタ素子。

【請求項6】

基板を備え、前記ソース部と前記ドレイン部とは前記基板上に形成され、前記第1方向は基板面内方向であり、前記円偏光照射部は、前記チャンネル部への円偏光の侵入角度が90度より小さい角度となるように円偏光を照射する請求項1～3の何れか一項に記載のスピン偏極トランジスタ素子。

【請求項7】

前記チャンネル部は、二次元電子ガス層を有する請求項1～6の何れか一項に記載のスピン偏極トランジスタ素子。

【請求項8】

前記ソース部及び前記ドレイン部の厚さは、前記チャンネル部の厚さよりも厚い請求項1～7の何れか一項に記載のスピン偏極トランジスタ素子。

【請求項9】

第1方向に磁化された強磁性体からなる第1ソース部と、
前記第1ソース部に離間して並設され、前記第1方向に磁化された強磁性体からなる第1ドレイン部と、
前記第1ソース部と前記第1ドレイン部との間に配置され、前記第1ソース部及び前記第1ドレイン部に直接又はトンネル層を介して接合された第1チャンネル部と、

第 2 方向に磁化された強磁性体からなる第 2 ソース部と、
前記第 2 ソース部に離間して並設され、前記第 2 方向に磁化された強磁性体からなる第 2 ドレイン部と、
前記第 2 ソース部と前記第 2 ドレイン部との間に配置され、前記第 2 ソース部及び前記第 2 ドレイン部に直接又はトンネル層を介して接合された第 2 チャンネル部と、
前記第 1 チャンネル部及び前記第 2 チャンネル部のスピンの向きを前記第 1 方向に揃えるように制御するための円偏光を前記第 1 チャンネル部及び前記第 2 チャンネル部へ照射する円偏光照射部と、
を備え、
前記第 1 ソース部の厚さ及び前記第 1 ドレイン部の厚さ並びに前記第 2 ソース部の厚さ及び前記第 2 ドレイン部の厚さは、前記円偏光の侵入長を超える厚さである、スピン偏極トランジスタ素子。

【請求項 10】

前記第 1 チャンネル部を構成する物質内のスピンを制御するために円偏光を照射する第 1 円偏光照射部と、
前記第 2 チャンネル部を構成する物質内のスピンを制御するために円偏光を照射する第 2 円偏光照射部と、
を備える、請求項 9 に記載のスピン偏極トランジスタ素子。

【請求項 11】

前記第 1 ソース部及び前記第 1 ドレイン部の厚さは、前記第 1 チャンネル部の厚さよりも厚く、
前記第 2 ソース部及び前記第 2 ドレイン部の厚さは、前記第 2 チャンネル部の厚さよりも厚い請求項 10 に記載のスピン偏極トランジスタ素子。

【手続補正 2】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0006

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0006】

本発明の一側面に係るスピン偏極トランジスタ素子は、第 1 方向に磁化された強磁性体からなるソース部と、ソース部に離間して並設され、第 1 方向に磁化された強磁性体からなるドレイン部と、ソース部とドレイン部との間に配置され、ソース部及びドレイン部に直接又はトンネル層を介して接合されたチャンネル部と、チャンネル部のスピンの向きを第 1 方向に揃えるように制御するための円偏光をチャンネル部へ照射する円偏光照射部と、を備え、ソース部及びドレイン部の厚さは、円偏光の侵入長を超える厚さである。

【手続補正 3】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0010

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0010】

一実施形態では、円偏光照射部は、第 1 方向に沿った方向に円偏光を照射してもよい。
一実施形態では、基板を備え、ソース部とドレイン部とは基板上に形成され、第 1 方向は基板に垂直な方向であり、円偏光照射部は、第 1 方向に沿った方向に円偏光を照射してもよい。
一実施形態では、基板を備え、ソース部とドレイン部とは基板上にされ、第 1 方向は基板面内方向であり、円偏光照射部は、チャンネル部への円偏光の侵入角度が 90 度より小さい角度となるように円偏光を照射してもよい。

【手続補正 4】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0013

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0013】

一実施形態では、ソース部及びドレイン部の厚さは、チャンネル部の厚さよりも厚くてもよい。

【手続補正5】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0015

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0015】

また、本発明の他の側面に係るスピン偏極トランジスタ素子は、第1方向に磁化された強磁性体からなる第1ソース部と、第1ソース部に離間して並設され、第1方向に磁化された強磁性体からなる第1ドレイン部と、第1ソース部と第1ドレイン部との間に配置され、第1ソース部及び第1ドレイン部に直接又はトンネル層を介して接合された第1チャンネル部と、第2方向に磁化された強磁性体からなる第2ソース部と、第2ソース部に離間して並設され、第2方向に磁化された強磁性体からなる第2ドレイン部と、第2ソース部と第2ドレイン部との間に配置され、第2ソース部及び第2ドレイン部に直接又はトンネル層を介して接合された第2チャンネル部と、第1チャンネル部及び第2チャンネル部のスピンの向きを第1方向に揃えるように制御するための円偏光を第1チャンネル部及び第2チャンネル部へ照射する円偏光照射部と、を備え、第1ソース部の厚さ及び第1ドレイン部の厚さ並びに第2ソース部の厚さ及び第2ドレイン部の厚さは、円偏光の侵入長を超える厚さである。

【手続補正6】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0018

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0018】

一実施形態では、第1ソース部及び第1ドレイン部の厚さは、第1チャンネル部の厚さよりも厚く、第2ソース部及び第2ドレイン部の厚さは、第2チャンネル部の厚さよりも厚くてもよい。

【手続補正7】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0024

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0024】

ソース部11は、基板18上に形成されている。基板18として、例えば半導体基板が用いられる。ソース部11は、強磁性体材料により形成されている。強磁性体材料として、例えばFe、Co又はNi等が用いられる。ソース部11は、任意の第1方向に磁化され得る。第1方向は、例えば、基板面内方向（基板面に平行な任意の方向）又は基板垂直方向である。ソース部11には、電圧印加用の端子が設けられている。ソース部11の基板18からの厚さは、円偏光の侵入長を超える厚さとされ、例えば数10nm以上とされる。

【手続補正8】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0025

【補正方法】変更

【補正の内容】

【 0 0 2 5 】

ドレイン部 1 2 は、基板 1 8 上に形成されており、ソース部 1 1 に離間して並設されている。ドレイン部 1 2 は強磁性体材料により形成されている。強磁性体材料として、例えば Fe、Co 又は Ni 等が用いられる。ドレイン部 1 2 は、基板面内方向又は基板垂直方向（第 1 方向）に磁化され得る。ここでは、ドレイン部 1 2 は、任意の第 1 方向に磁化され得る。第 1 方向は、例えば、基板面内方向又は基板垂直方向である。ソース部 1 1 と同一方向に磁化されている。ドレイン部 1 2 には、電圧検出用の端子が設けられている。ドレイン部 1 2 の基板 1 8 からの厚さは、円偏光の侵入長を超える厚さとされ、例えば数 10 nm 以上とされる。

【 手 続 補 正 9 】

【 補 正 対 象 書 類 名 】 明 細 書

【 補 正 対 象 項 目 名 】 0 0 3 7

【 補 正 方 法 】 変 更

【 補 正 の 内 容 】

【 0 0 3 7 】

なお、ソース部 1 1 及びドレイン部 1 2 が、円偏光の侵入長よりも十分に長い厚さを有している場合には、円偏光照射部 5 1 は、チャンネル部 1 5 の上面のみに正確に照射する必要はなく、ソース部 1 1 及びドレイン部 1 2 の上面にも照射してもよい。このように、ソース部 1 1 及びドレイン部 1 2 の膜厚を調整することで、光の照射範囲の精度を緩和させることができる。

【 手 続 補 正 1 0 】

【 補 正 対 象 書 類 名 】 明 細 書

【 補 正 対 象 項 目 名 】 0 0 4 3

【 補 正 方 法 】 変 更

【 補 正 の 内 容 】

【 0 0 4 3 】

次に、円偏光が照射された場合を図 6 に示す。図 6 に示すように、円偏光照射部 5 1 は、チャンネル部 1 5 への円偏光の侵入角度（チャンネル部 1 5 に対する入射角度であって、チャンネル部 1 5 の表面方向と平行な場合を 0 度とする）が 90 度より小さい角度となるように円偏光を照射する。基板面内方向にスピンの向きを揃える場合には、基板面内方向へ円偏光を照射する方が効率的である。つまりソース部 1 1 及びドレイン部が基板 1 8 の面内方向に磁化している場合、円偏光照射部 5 1 は、チャンネル部 1 5 への円偏光の侵入角度ができるだけ低角、好ましくは 0 度に近い角度となるように、基板面内方向へ円偏光を照射する方が効率的である。円偏光照射部 5 1 からチャンネル部 1 5 へ円偏光が照射されると、スピン S 0 は、ソース部 1 1 及びドレイン部 1 2 を含む平面方向、言い換えれば基板 1 8 の面内方向に揃う（スピン S 1 0）。すなわち、チャンネル部 1 5 のスピンの向きがソース部 1 1 及びドレイン部 1 2 の磁化方向に揃う。従って、ソース部 1 1 とドレイン部 1 2 との間には電流は流れる（オン状態）。

【 国際調査報告 】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT		International application No. PCT/JP2013/070217
A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER H01L29/82(2006.01) i 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) H01L29/82 Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2013 Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2013 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2013 Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2008-166689 A (Korea Institute of Science and Technology), 17 July 2008 (17.07.2008), paragraphs [0020] to [0075]; fig. 1 to 9 & US 2008/0169492 A1 & EP 1942527 A1 & WO 2008/082051 A1 & KR 10-0832583 B1	1-13
A	JP 2003-92412 A (Toshiba Corp.), 28 March 2003 (28.03.2003), paragraphs [0028] to [0103]; fig. 1 to 12 (Family: none)	1-13
A	JP 2009-141131 A (Nippon Telegraph and Telephone Corp.), 25 June 2009 (25.06.2009), paragraphs [0012] to [0022]; fig. 1 to 3 (Family: none)	1-13
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input type="checkbox"/> 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 02 September, 2013 (02.09.13)		Date of mailing of the international search report 17 September, 2013 (17.09.13)
Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office		Authorized officer
Facsimile No.		Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2013/070217

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2011-187861 A (National Institute of Advanced Industrial Science and Technology), 22 September 2011 (22.09.2011), paragraphs [0002] to [0022]; fig. 1 to 5 (Family: none)	1-13

国際調査報告		国際出願番号 PCT/J P 2013/070217									
A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC)) Int.Cl. H01L29/82 (2006.01) i											
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. H01L29/82											
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 <table border="0"> <tr> <td>日本国実用新案公報</td> <td>1922-1996年</td> </tr> <tr> <td>日本国公開実用新案公報</td> <td>1971-2013年</td> </tr> <tr> <td>日本国実用新案登録公報</td> <td>1996-2013年</td> </tr> <tr> <td>日本国登録実用新案公報</td> <td>1994-2013年</td> </tr> </table>				日本国実用新案公報	1922-1996年	日本国公開実用新案公報	1971-2013年	日本国実用新案登録公報	1996-2013年	日本国登録実用新案公報	1994-2013年
日本国実用新案公報	1922-1996年										
日本国公開実用新案公報	1971-2013年										
日本国実用新案登録公報	1996-2013年										
日本国登録実用新案公報	1994-2013年										
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)											
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 請求項の番号									
A	JP 2008-166689 A (韓国科学技術研究院) 2008.07.17, 段落 0020-0075, 第 1-9 図 & US 2008/0169492 A1 & EP 1942527 A1 & WO 2008/082051 A1 & KR 10-0832583 B1	1-13									
A	JP 2003-92412 A (株式会社東芝) 2003.03.28, 段落 0028-0103, 第 1-12 図 (ファミリーなし)	1-13									
<input checked="" type="checkbox"/> C欄の続きにも文献が列挙されている。		<input type="checkbox"/> 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		の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 02.09.2013		国際調査報告の発送日 17.09.2013									
国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁 (ISA/J P) 郵便番号 100-8915 東京都千代田区霞が関三丁目 4 番 3 号		特許庁審査官 (権限のある職員) 小山 満	50 9458								
		電話番号 03-3581-1101	内線 3559								

国際調査報告		国際出願番号 PCT/JP2013/070217
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 請求項の番号
A	JP 2009-141131 A (日本電信電話株式会社) 2009.06.25, 段落 0012-0022, 第 1-3 図 (ファミリーなし)	1-13
A	JP 2011-187861 A (独立行政法人産業技術総合研究所) 2011.09.22, 段落 0002-0022, 第 1-5 図 (ファミリーなし)	1-13

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 29/812 (2006.01)
H 0 1 L 27/095 (2006.01)

(81) 指定国 AP (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), EA (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), EP (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OA (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG), AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC

(72) 発明者 廣畑 貴文

イギリス国, ワイオー 1 0 5 ディーディー, ノース・ヨークシャー, ヨーク, ヘスリントン, ユニヴァーシティー オブ ヨーク内

F ターム (参考) 5F092 AA12 AC24 BD03 BD15 BD20 BD30
 5F102 GA01 GB01 GC10 GD10 GJ05 GL03 GL05 GL10

(注) この公表は、国際事務局 (W I P O) により国際公開された公報を基に作成したものである。なおこの公表に係る日本語特許出願 (日本語実用新案登録出願) の国際公開の効果は、特許法第 1 8 4 条の 1 0 第 1 項 (実用新案法第 4 8 条の 1 3 第 2 項) により生ずるものであり、本掲載とは関係ありません。