

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関  
国際事務局

(43) 国際公開日  
2014年2月20日(20.02.2014)



(10) 国際公開番号  
WO 2014/027555 A1

- (51) 国際特許分類:  
H01L 29/82 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2013/070217
- (22) 国際出願日: 2013年7月25日(25.07.2013)
- (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 2012-179763 2012年8月14日(14.08.2012) JP
- (71) 出願人: 独立行政法人科学技術振興機構(JAPAN SCIENCE AND TECHNOLOGY AGENCY) [JP/JP]; 〒3320012 埼玉県川口市本町四丁目1番8号 Saitama (JP). ユニヴァーシティー オブ ヨーク (UNIVERSITY OF YORK) [GB/GB]; YO105DD ノース・ヨークシャー, ヨーク, ヘスリントン North Yorkshire (GB).
- (72) 発明者: 廣畑 貴文 (HIROHATA Atsufumi); YO105DD 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 North Yorkshire (GB).
- (74) 代理人: 長谷川 芳樹, 外(HASEGAWA Yoshiki et al.); 〒1000005 東京都千代田区丸の内二丁目1番

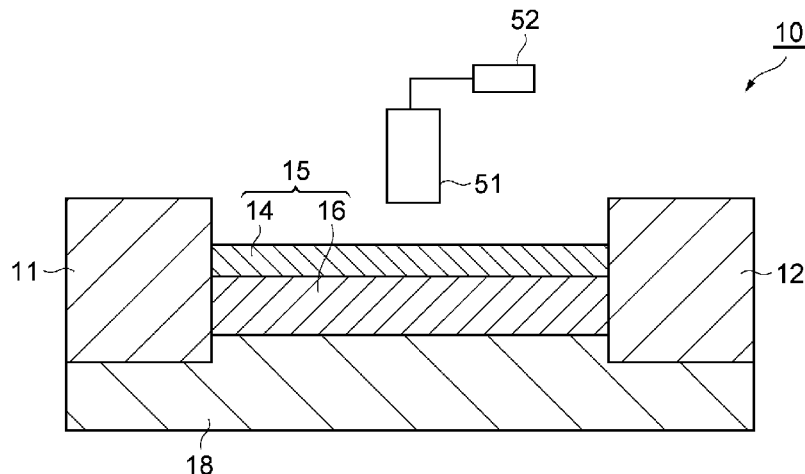
1号丸の内 MY PLAZA (明治安田生命ビル) 9階 創英国際特許法律事務所 Tokyo (JP).

- (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, 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, VN, ZA, ZM, ZW.
- (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, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (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), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

[続葉有]

(54) Title: SPIN POLARIZATION TRANSISTOR ELEMENT

(54) 発明の名称: スピン偏極トランジスタ素子



(57) Abstract: In the present invention, there are provided: a source section comprising a ferromagnetic body magnetized in a first direction; a drain section provided parallel to and away from the source section, the drain section comprising a ferromagnetic body magnetized in the first direction; a channel section disposed between the source section and the drain section and coupled directly, or indirectly via a tunnel layer, to the source section and the drain section; and a circular polarized light irradiation section for irradiating, toward the channel section, a circular polarized light for controlling a spin orientation of the channel section.

(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。

WO 2014/027555 A1

添付公開書類:

- 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

## 明 細 書

発明の名称： スピン偏極トランジスタ素子

### 技術分野

[0001] 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ンネル層と、該チャンネル層上に直接又はゲート絶縁体層を介して設けられ、チャン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ンネル層へ電界を印加し、チャン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。

### 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”、Applied Physics Letters、1990年2月12日、pp. 665～667

### 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

- [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。
- [0007] 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の向き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。
- [0008] 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の向き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。
- [0009] 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の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。

[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。

[0011] 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。

[0012] 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。

[0013] 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。

[0014] 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。

[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。

[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。

[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。

### 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。

[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。

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

### 発明を実施するための形態

[0022] 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。

[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。

[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。

[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。

[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 ドープ層 14（半導体層 14）を形成した場合には、GaAs ドープ層 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 ドープ層 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 10 nm 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。

[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  $1/4$  波長板を有している。あるいは、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 51 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 51 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 52 に接続されていてもよい。

[0028] 円偏光照射部 51 は、チャンネル部 15 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 15 へ照射する。円偏光照射部 51 は、第 1 方向すなわちソース部 11 及びドレイン部 12 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 15 が半導体材料で形成されている場合には、円偏光照射部 51 は、チャンネル部 15 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 15 に照射してもよい。

[0029] ここで、図 2 を用いて円偏光照射部 51 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51によるスピンの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15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。

[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の向きが反転し、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の向きが反転し、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15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に電子だけを遷移させることができる。

[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。

[0033] よって、チャンネル部 15 を GaAs で形成した場合、円偏光照射部 51 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 15 へ照射することにより、チャンネル部 15 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 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。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  $S_{21}$  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  $S_{22}$  を有する。磁気モーメント  $S_{21}$  と磁気モーメント  $S_{22}$  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  $S_0$  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）。

[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  $S_0$  は基板 18 に垂直な方向に揃う。（スピン  $S_{20}$ ）。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）。

[0037] なお、ソース部 1 1 及びドレイン部 1 2 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 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。

[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 1 0 によれば、円偏光照射部 5 1 により、チャンネル部 1 5 に円偏光が照射され、チャンネル部 1 5 においてスピンの向きが偏極した電子が励起され、チャンネル部 1 5 の電気抵抗が変化する。このため、ソース部 1 1 から注入された電流をドレイン部 1 2 に流すことができる。また、ソース部 1 1 及びドレイン部 1 2 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 5 1 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 1 5 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 1 0 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 1 1 とドレイン部 1 2 との間を狭くすることができる。例えば、 $1\ \mu\text{m}$  程度のゲート電極を設けるためには、ソース部 1 1 とドレイン部 1 2 との間隔を  $3\ \mu\text{m}$  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 1 0 によれば、ソース部 1 1 とドレイン部 1 2 との間隔を数  $\text{nm}$  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。

[0039] また、チャンネル部 1 5 が半導体材料により形成されている場合、チャンネル部 1 5 に円偏光が照射されると、チャンネル部 1 5 を形成する半導体材料中のスピンの向きが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 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。さらにチャンネル部 1 5 が二次元電子ガス層 1 6 を有している場合、チャンネル部 1 5 に二次元電子ガス層 1 6 よりスピンの供給されるため、チャンネル部 1 5 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。

[0040] (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 1 0 は、第 1 実施形態に係るスピン偏極トランジスタ素子 1 0 とほぼ同様に構成され、ソース部 1 1 の磁化の向き、ドレイン部 1 2 の磁化の向き、チャンネル部 1 5 を流れるスピンの向き、及び円偏光照射部 5 1 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 1 0 と重複する説明は省略し、相違点を中心に説明する。

[0041] 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。

[0042] 図 5 に示すように、ソース部 1 1 は、基板 1 8 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 1 2 は、基板 1 8 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 1 5 に円偏光が照射されていない場合、二次元電子ガス層 1 6 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 1 1 とドレイン部 1 2 との間には電流は流れない（オフ状態）。

[0043] 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 への円偏光の進入角度（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S0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S10）。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の間には電流は流れる（オン状態）。

[0044] 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。

[0045] (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。

[0046] 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<sub>0</sub>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 B<sub>0</sub> 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 チャネル部 15 及び第 2 チャネル部 25 に円偏光が照射され、第 1 チャネル部 15 内及び第 2 チャネル部 25 内においてスピスが偏極した電子が励起され、第 1 チャネル部 15 及び第 2 チャネル部 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。



。

[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。

[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のスピンを制御することができる。

[0060] 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。

- [0061] また、上述した実施形態では、円偏光照射部 5 1 が円偏光を照射したタイミングで、ソース部 1 1 からドレイン部 1 2 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 5 1 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 1 5 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 1 8, 2 8 を共通化させて基板 B<sub>0</sub> を不要としてもよい。さらに、第 1 ソース部 1 1、第 1 ドレイン部 1 2、第 2 ソース部 2 1 及び第 2 ドレイン部 2 2 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 1 1 及び第 1 ドレイン部 1 2 の磁化方向（例えば第 1 方向）と、第 2 ソース部 2 1 及び第 2 ドレイン部 2 2 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ン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 1 2 及び第 2 ソース部 2 1 を共通化させ、端子 4 1 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 1 8、2 8 を共通化させ、基板 4 2 としてもよい。

### 産業上の利用可能性

- [0064] スピン偏極トランジスタ素子 1 0 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 1 0 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] 1 0…スピン偏極トランジスタ素子、1 1…ソース部、1 2…ドレイン部

、 14…GaAsドープ層（半導体層）、15…チャンネル部、16…二次元電子ガス層、51…円偏光照射部。

## 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。
- [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の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の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に記載のスピンの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、  
を備えるスピンの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に記載のスピンの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

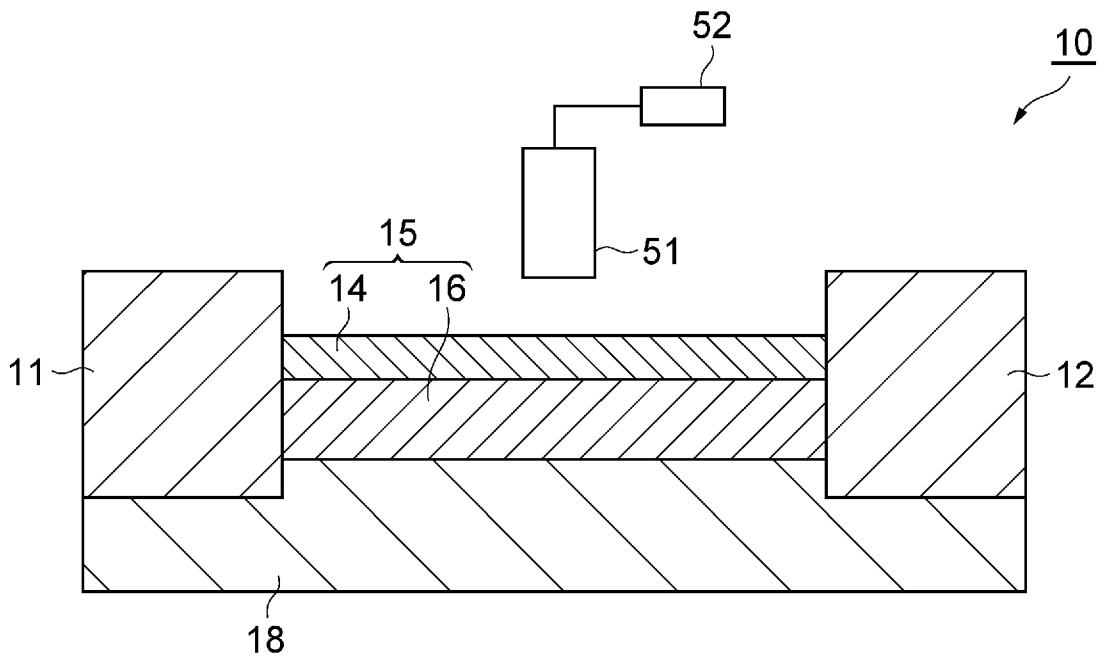
及び前記第2ドレイン部の厚さは、前記円偏光の進入長を超える厚さである請求項10又は11に記載のスピンプラズマ素子。

[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、

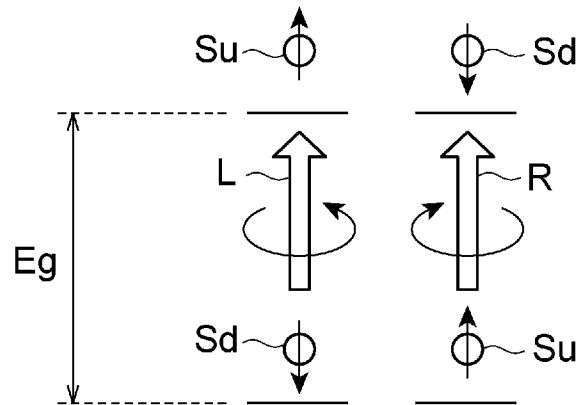
前記第2ソース部及び前記第2ドレイン部の厚さは、前記第2チャンネル部の厚さよりも厚い請求項12に記載のスピンプラズマ素子。

[図1]

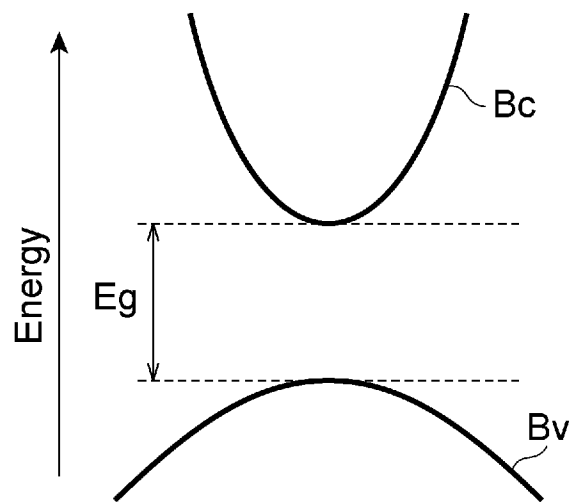


[圖2]

(A)

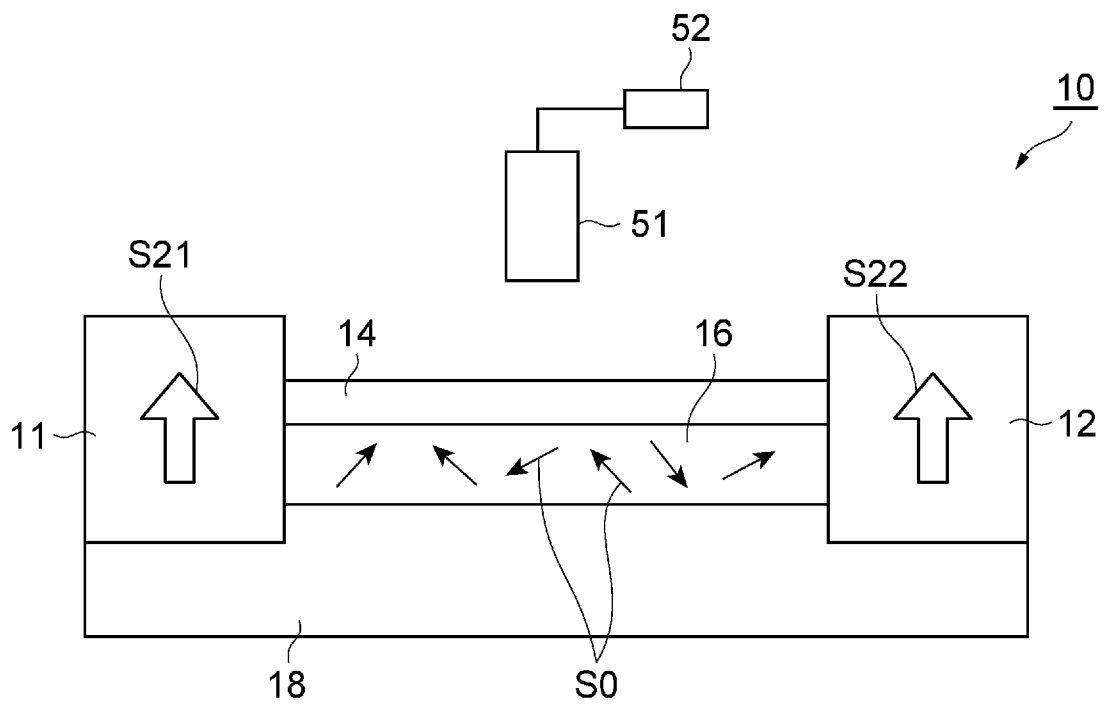


(B)

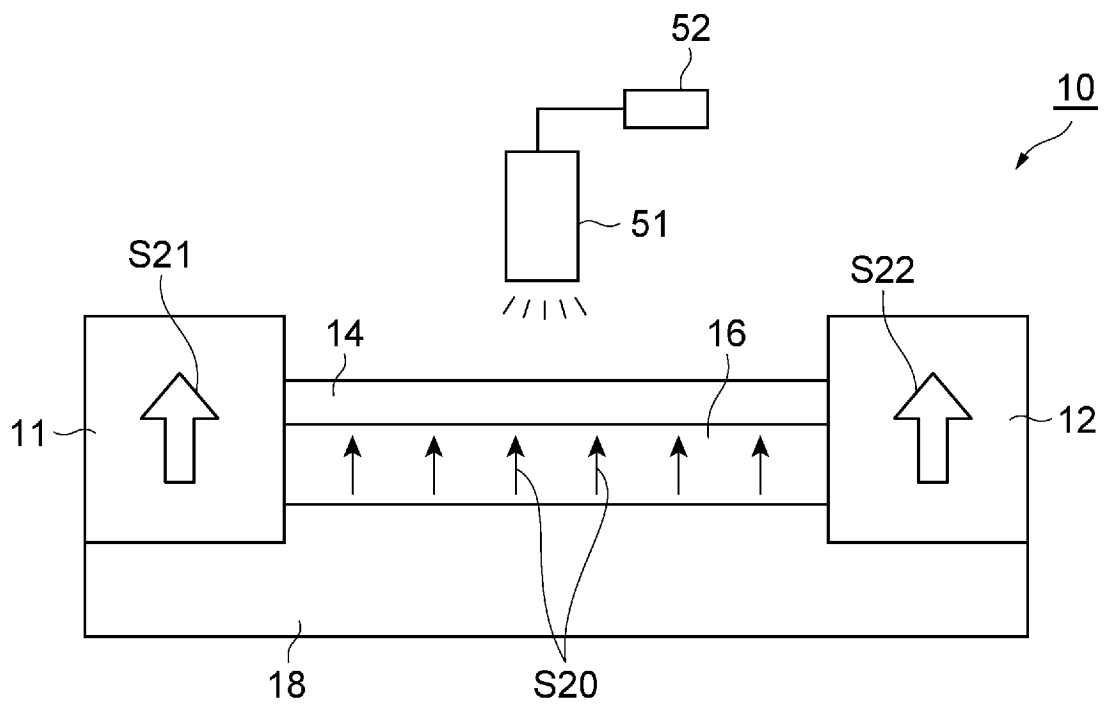




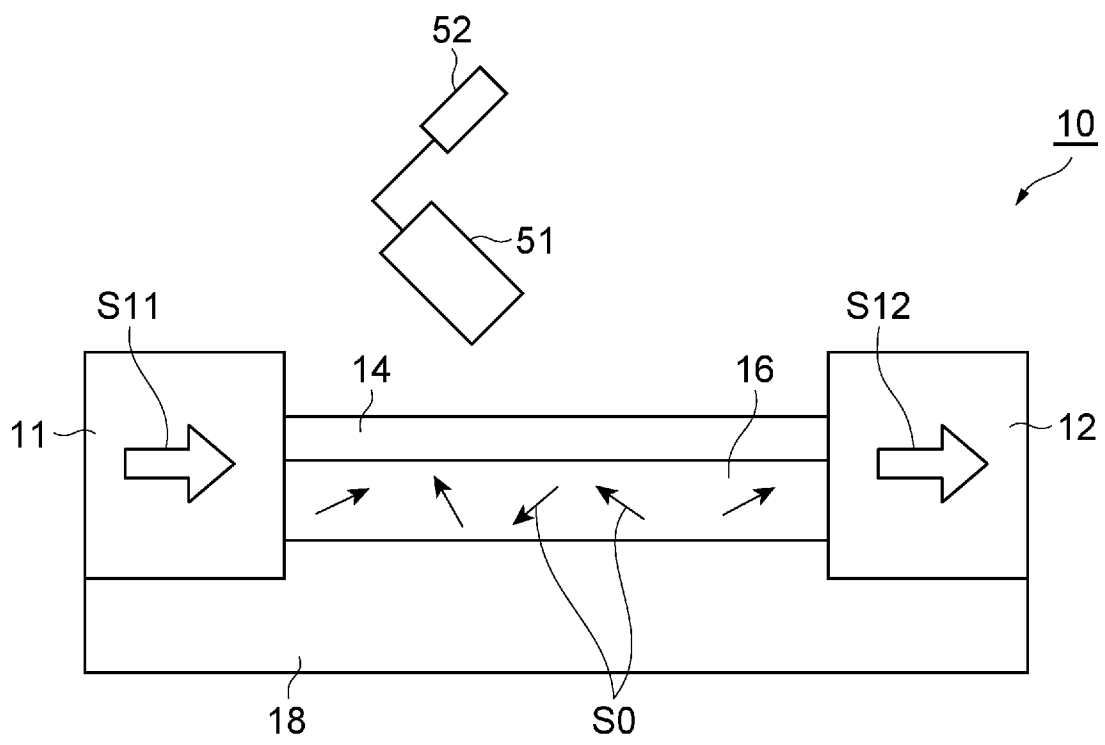
[図3]



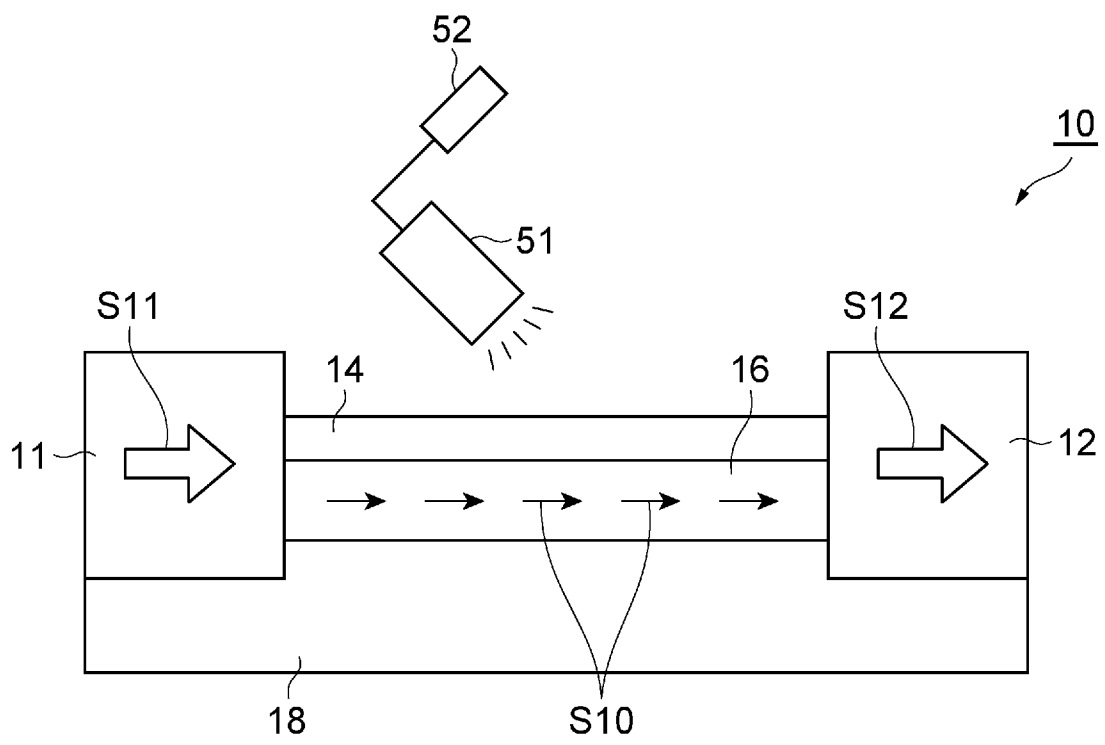
[図4]



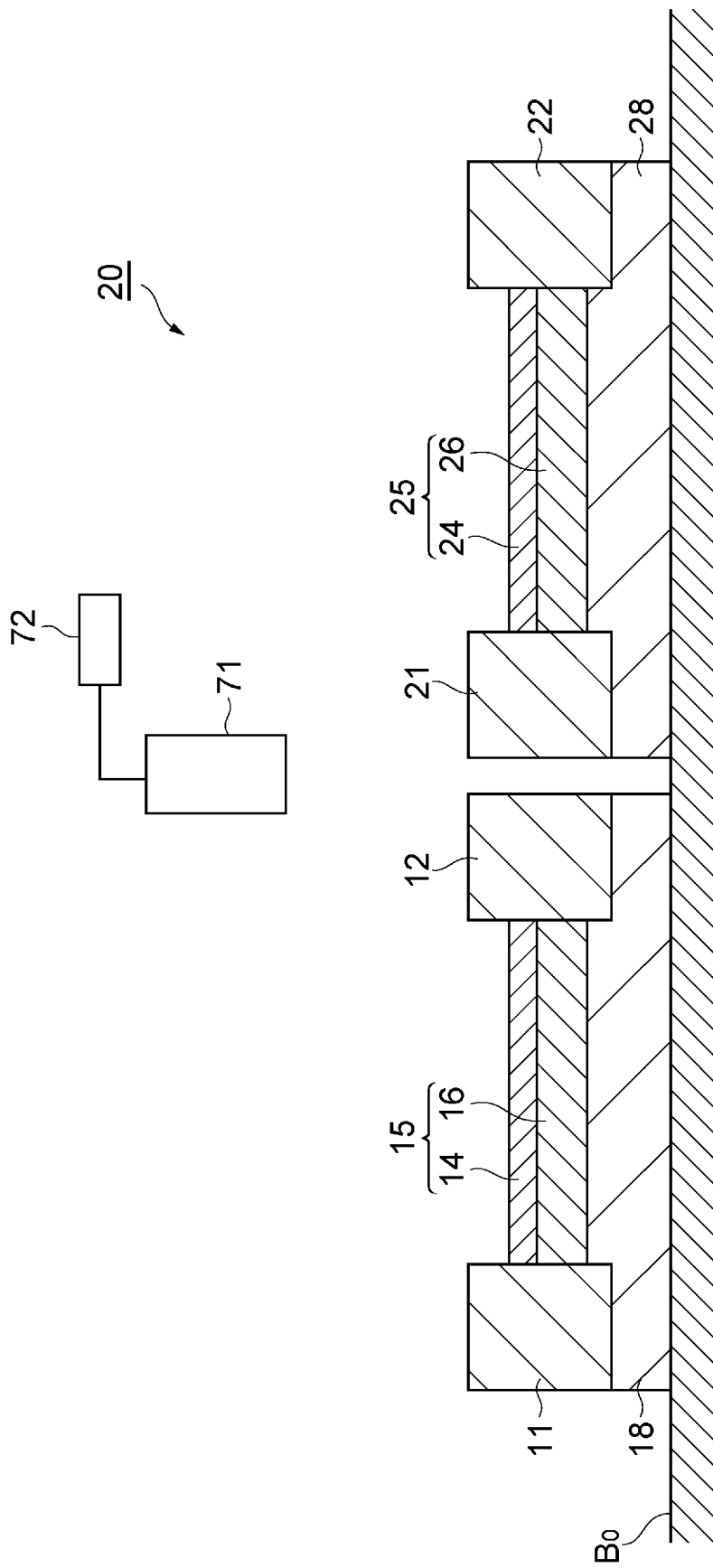
[図5]



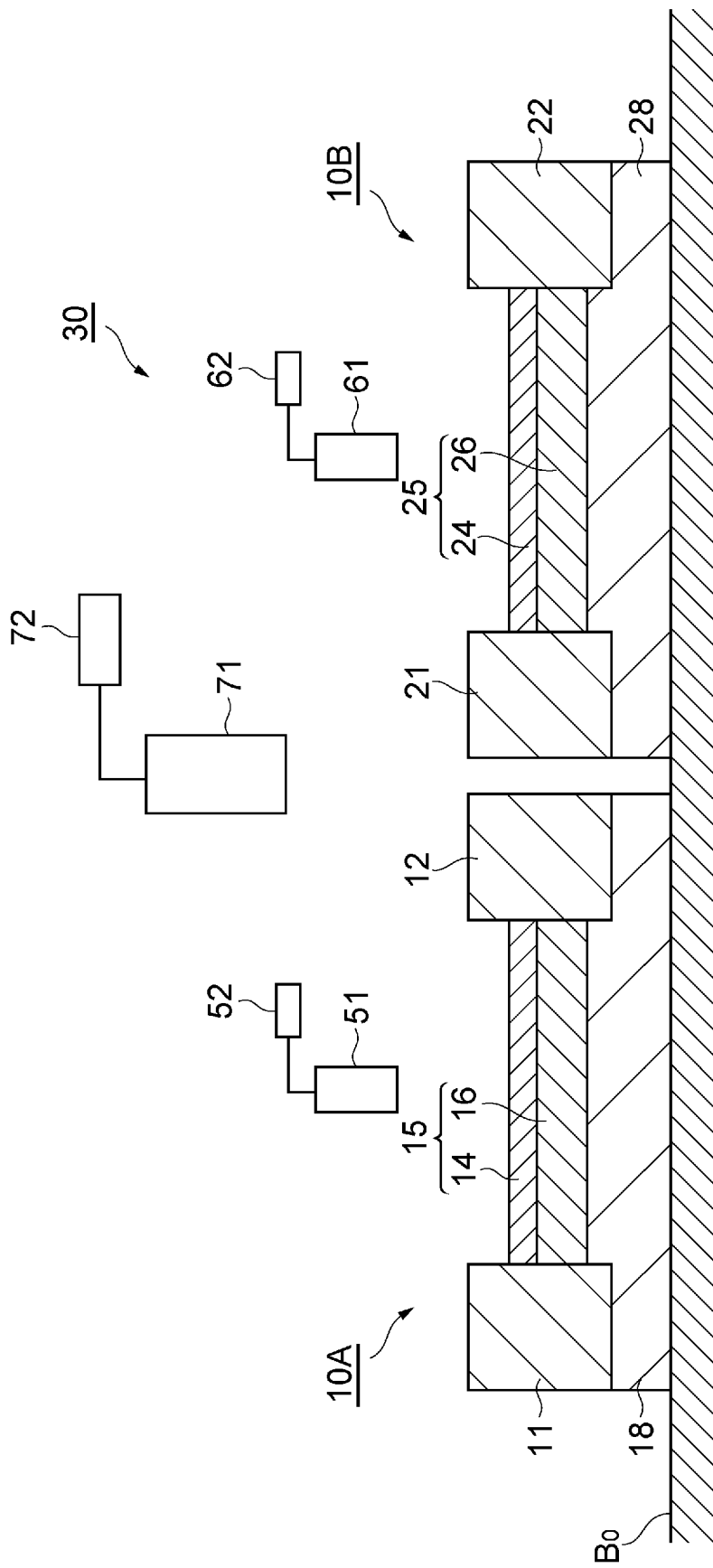
[図6]



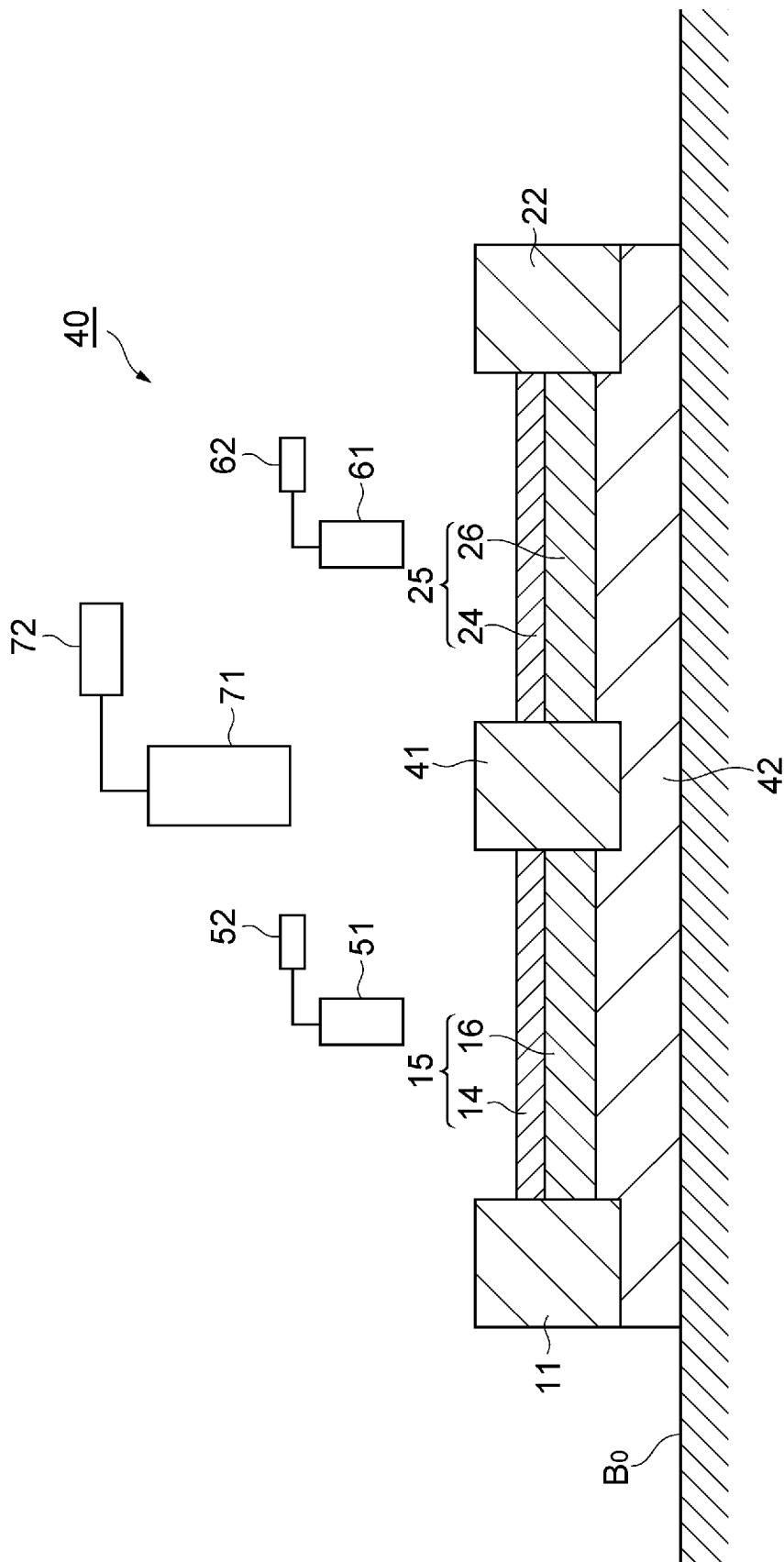
[図7]



[図8]



[図9]



**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

Further documents are listed in the continuation of Box C.  See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	"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
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"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
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date	"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
"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)	"&" document member of the same patent family
"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	

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

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  
 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

C 欄の続きにも文献が列挙されている。  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 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 電話番号 03-3581-1101 内線 3559	50	9458
--	---	----	------

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