

(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
2024年2月29日(29.02.2024)



(10) 国際公開番号

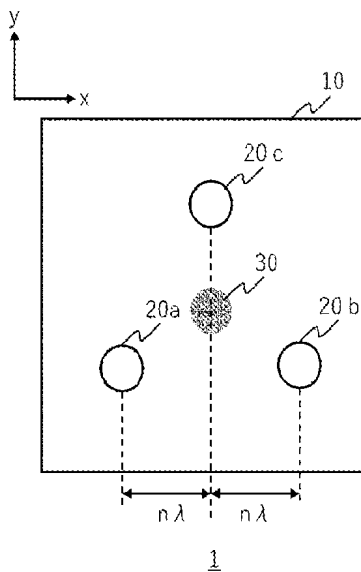
WO 2024/043234 A1

- (51) 国際特許分類:
G06E 1/00 (2006.01) H01L 29/66 (2006.01)
H03K 19/23 (2006.01) H01L 29/82 (2006.01)
G06N 10/00 (2022.01) H10N 50/10 (2023.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2023/030163
- (22) 国際出願日: 2023年8月22日(22.08.2023)
- (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 2022-133853 2022年8月25日(25.08.2022) JP
- (71) 出願人: 国立研究開発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).
- (72) 発明者: 好田 誠(KOHDA Makoto); 〒9808577 宮城県仙台市青葉区片平二丁目1番1号 国立

大学法人東北大学内 Miyagi (JP). 軽部 修太郎(KARUBE Shutaro); 〒9808577 宮城県仙台市青葉区片平二丁目1番1号 国立大学法人東北大学内 Miyagi (JP). 張 超亮(ZHANG Chaoliang); 〒9808577 宮城県仙台市青葉区片平二丁目1番1号 国立大学法人東北大学内 Miyagi (JP). 菊池 奎斗(KIKUCHI Keito); 〒9808577 宮城県仙台市青葉区片平二丁目1番1号 国立大学法人東北大学内 Miyagi (JP). 中島 快(NAKAJIMA Kai); 〒9808577 宮城県仙台市青葉区片平二丁目1番1号 国立大学法人東北大学内 Miyagi (JP). 古館 海生(FURUDATE Kaisai); 〒9808577 宮城県仙台市青葉区片平二丁目1番1号 国立大学法人東北大学内 Miyagi (JP). 檜山 末有(HIYAMA Miari); 〒9808577 宮城県仙台市青葉区片平二丁目1番1号 国立大学法人東北大学内 Miyagi (JP). 石原 淳(ISHIHARA Jun);

(54) Title: MAJORITY-DECISION LOGIC DEVICE, PHOTOELECTRIC CONVERSION DEVICE, OPTICAL COMMUNICATION LOGIC DEVICE, AND METHOD FOR CONTROLLING MAJORITY-DECISION LOGIC DEVICE

(54) 発明の名称: 多数決論理デバイス、光電変換デバイス、光通信論理デバイスおよび多数決論理デバイスの制御方法



(57) Abstract: A majority-decision logic device 1 comprises a non-magnetic semiconductor layer 10 made of a material that, when irradiated with light having at least two kinds of mutually different polarization states, generates electron spin waves having different phases corresponding to the polarization states. The non-magnetic semiconductor layer 10 comprises: three or more input portions to which a light signal is input; and at least one output portion that outputs a result of interference of the electron spin waves. The length of the distance between adjacent input portions as projected in the direction of vibration of the electron spin waves is an integer multiple of the wavelength of the electron spin waves.

(57) 要約: 多数決論理デバイス1は、少なくとも2種の互いに異なる偏光状態を有する光の照射により偏光状態に応じて異なる位相を有する電子スピン波を生成する材料からなる非磁性半導体層10を有する。非磁性半導体層10は、光信号を入力する3つ以上の入力部を備えるとともに、電子スピン波が干渉した結果を出力する出力部を少なくとも1つ備える。隣接する入力部間の距離を電子スピン波の振動方向に射影した長さは、電子スピン波の波長の整数倍である。

WO 2024/043234 A1

〒9808577 宮城県仙台市青葉区片平二丁目1番
1号 国立大学法人東北大学内 Miyagi (JP).

(74) 代理人: 森下 賢樹 (MORISHITA Sakaki);
〒1530061 東京都目黒区中目黒1-8-1 V
ORT中目黒13階 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, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC,
EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR,
HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG,
KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU,
LY, MA, MD, MG, MK, MN, MU, MW, MX, MY,
MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL,
PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK,
SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA,
UG, US, UZ, VC, VN, WS, 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, CV, GH, GM, KE, LR, LS,
MW, MZ, NA, RW, SC, SD, SL, ST, 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, ME, 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).

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：

多数決論理デバイス、光電変換デバイス、光通信論理デバイスおよび多数決論理デバイスの制御方法

技術分野

[0001] 本発明は、多数決論理デバイス、光電変換デバイス、光通信論理デバイスおよび多数決論理デバイスの制御方法に関する。

背景技術

[0002] 強磁性体の磁気秩序の連続的変化が生み出すスピン波（マグノン）を用いた多数決論理デバイスが開示されている（例えば、非特許文献1）。また、有効磁場による自由電子のスピン歳差運動が持続することで生み出されるスピン波（電子スピン波）を用いた多数決論理デバイスも知られており、2次元電子ガス中で発生する永久スピン旋回（PSH: Persistent Spin Helix）のスピン偏極情報を用いた多数決論理デバイスが開示されている（例えば、特許文献1）。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献1：特表2015-518267

非特許文献

[0004] 非特許文献1：“Reconfigurable submicrometer spin-wave majority gate with electrical transducers” Talmelli et al., Science Advances, vol. 6, issue 51, p. eabb4042, 18 December 2020

非特許文献2：“Gate-controlled switching between persistent and inverse persistent spin helix states”、K. Yoshiz

umi, A. Sasaki, M. Kohda and J. Nitta”,
APPLIED PHYSICS LETTERS 108, 132402
(2016)

非特許文献3:” Direct mapping of the formation of a persistent spin helix”, M. P. Walser, C. Reichl, W. Wegscheider, G. Salis, Nature Phys. advance online publication, 12 August 2012

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0005] 非特許文献1に記載された技術は、多数決論理デバイスの入力部および出力部を、直線的な強磁性体導波路に沿って直列配置する必要がある。この場合、多数決論理回路の構造が1次元的なものに限定されるため、配置の自由度が制限される。従って回路構成の自由度が低く、例えば2次元的構造などの多様な回路を実現することができない。さらにこの技術は、マグノンを生成するために高周波電気信号が生み出す磁場を利用する。このため、入力に電氣的なパルス磁場を使う必要があり、光通信などに使われる光信号との高度な融合が困難であるという課題がある。

[0006] 特許文献1に記載された技術は、マグノンではなく電子スピン波(PSH)を用いるが、やはり論理入力部を1次元的に配置している。さらに論理入力部における電子スピン波の混合を防ぐため、論理入力部の各々の間に所定の隙間を設ける必要がある。従ってこの技術にも、やはり回路構成の自由度が低いという課題がある。

[0007] 本発明はこうした課題に鑑みてなされたものであり、その目的は、回路構成の自由度が高く、光信号との整合性のよい多数決論理デバイスを実現することにある。

課題を解決するための手段

[0008] 上記課題を解決するために、本発明のある態様の多数決論理デバイスは、

少なくとも2種の互いに異なる偏光状態を有する光の照射により偏光状態に応じて異なる位相を有する電子スピン波を生成する材料からなる非磁性半導体層を有する。非磁性半導体層は、光信号を入力する3つ以上の入力部を備えるとともに、電子スピン波が干渉した結果を出力する出力部を少なくとも1つ備える。隣接する入力部間の距離を電子スピン波の振動方向に射影した長さの電子スピン波の波長の整数倍からのずれは、波長の25%以内である。

- [0009] ある実施の形態では、隣接する入力部間の距離を電子スピン波の振動方向に射影した長さは、電子スピン波の波長の整数倍であってもよい。
- [0010] ある実施の形態では、多数決論理デバイスは、非磁性半導体層に直接または他の層を介して積層された導波路層をさらに備えてもよい。この導波路層は、3つ以上の入力部の各々に直接または他の層を介して個別に接続された導波路を有してもよく、導波路が3つ以上の入力部の各々に直接又は他の層を介して個別に接続されている位置に、導波路を通った光を各々の入力部に導くためのミラー部を有してもよい。
- [0011] ある実施の形態では、導波路は、電子スピン波の振動方向と略直交する方向に配置されてもよい。
- [0012] ある実施の形態では、出力部は、3つ以上の入力部の各々から等しい距離に配置されてもよい。
- [0013] ある実施の形態では、電子スピン波は、2次元電子ガス中で発生した逆永久スピン旋回であってもよく、3つ以上の入力部は、非磁性半導体層上で2次元方向に配置されてもよい。
- [0014] ある実施の態様では、ラシュバスピ軌道相互作用係数を α 、ドレッセルハウスピ軌道相互作用係数を β としたとき、 α の絶対値と β の絶対値とのずれが15%以内であってもよい。
- [0015] ある実施の形態では、3つ以上の入力部は多角形の各頂点に配置されてもよい。
- [0016] ある実施の形態では、3つ以上の入力部は正三角形の各頂点に配置され、

出力部は正三角形の重心に配置されてもよい。

- [0017] ある実施の形態では、電子スピン波は、2次元電子ガスの1次元細線構造への閉じ込めによりヘリカルスピンモードに変化した電子スピン波であってもよく、3つ以上の入力部は、非磁性半導体層上で1次元方向に配置されてもよい。
- [0018] 本発明の別の実施の態様は、光電変換デバイスである。この光電変換デバイスは、前述の多数決論理デバイスと、出力部のスピン偏極を電気信号に変換する磁気抵抗素子と、を備える。
- [0019] 本発明のさらに別の実施の態様もまた、光通信デバイスである。この光通信デバイスは、前述の多数決論理デバイスと、光出力素子と、を備える。
- [0020] 本発明のさらに別の実施の態様もまた、光通信デバイスである。この光通信デバイスは、前述の多数決論理デバイスと、波長多重光入力素子と、を備える。
- [0021] 本発明の別の態様は、制御方法である。この方法は、少なくとも2種の互いに異なる偏光状態を有する光の照射により偏光状態に応じた位相を有する電子スピン波を生成する材料からなる非磁性半導体層を有し、非磁性半導体層は、光信号を入力する3つ以上の入力部を備えたとともに、電子スピン波が干渉した結果を出力する出力部を少なくとも1つ備え、隣接する入力部間の距離を電子スピン波の振動方向に射影した長さの電子スピン波の波長の整数倍からのずれが、電子スピン波の波長の25%以内である多数決論理デバイスの制御方法であって、光信号を右回り円偏光と左回り円偏光で変調された光信号とする、多数決論理デバイスの制御方法である。
- [0022] ある実施の形態では、多数決論理デバイスの制御方法は、3つ以上の入力部が第1の入力部と第2の入力部とを有し、第1の入力部と出力部との距離が、第2の入力部と出力部との距離よりも長い場合に、第1の入力部に入力する光信号の強度を第2の入力部に入力する光信号の強度よりも大きくなるように補償してもよい。
- [0023] ある実施の形態では、多数決論理デバイスの制御方法は、3つ以上の入力

部の少なくとも1つに、常時右回り円偏光または左回り円偏光である光信号を入力してもよい。

[0024] 本発明の別の態様は、多数決論理デバイスである。この多数決論理デバイスは、3本以上の奇数本の信号入力用1次元細線構造が、1つの合流点で合流するように構成された2次元細線構造を有する。信号入力用1次元細線構造の各々は、少なくとも2種の互いに異なる偏光状態を有する光の照射により偏光状態に応じて異なる位相を有する電子スピン波を生成する材料からなる非磁性半導体層を有する。信号入力用1次元細線構造の各々は、合流点の前に光信号を入力する入力部を備える。合流点には、電子スピン波が干渉した結果を出力する出力部が備えられている。合流点と、信号入力用1次元細線構造の各々の入力部との距離を電子スピン波の振動方向に射影した長さの、電子スピン波の波長の整数倍からのずれは、波長の25%以内である。

[0025] ある実施の形態では、電子スピン波が2次元電子ガス中で発生した逆永久スピン旋回である。

[0026] ある実施の態様では、ラシュバスピン軌道相互作用係数を α 、ドレッセルハウスピン軌道相互作用係数を β としたとき、 α の絶対値と β の絶対値とのずれが15%以内であってもよい。

[0027] ある実施の形態では、多数決論理デバイスは、合流点から延びる合流1次元細線構造をさらに備えてもよい。この場合は、合流点に代えて、合流1次元細線構造に出力部が備えられていてもよい。

[0028] ある実施の形態では、それぞれが前述の多数決論理デバイスで構成された複数の個別多数決論理デバイスを有してもよい。この場合、個別多数決論理デバイスの合流1次元細線構造は、1つの最終合流点で合流している。この最終合流点に、電子スピン波が干渉した結果を出力する出力部が備えられていてもよい。

[0029] 本発明の別の態様は、多数決論理デバイスである。この多数決論理デバイスは、3本以上の奇数本の信号入力用1次元細線構造が、1つの合流点で合流するように構成された2次元細線構造を有する。信号入力用1次元細線構

造の各々は、少なくとも2種の互いに異なる偏光状態を有する光の照射により偏光状態に応じて異なる位相を有する電子スピン波を生成する材料からなる非磁性半導体層を有する。信号入力用1次元細線構造の各々は、合流点の前に光信号を入力する入力部を備える。合流点には、電子スピン波が干渉した結果を出力する出力部が備えられている。合流点と、信号入力用1次元細線構造の各々の入力部との距離の、前記電子スピン波の波長の整数倍からのずれは、前記波長の25%以内である。

[0030] ある実施の形態では、電子スピン波に関するスピン軌道相互作用としては、ラシュバスピン軌道相互作用のみが働く状態である。

[0031] ある実施の形態では、多数決論理デバイスは、合流点から延びる合流1次元細線構造をさらに備えてもよい。この場合は、合流点に代えて、合流1次元細線構造に出力部が備えられていてもよい。

[0032] ある実施の形態では、それぞれが上記の多数決論理デバイスで構成された複数の細胞多数決論理デバイスを有してもよい。この場合、複数の細胞多数決論理デバイスの合流1次元細線構造は、1つの最終合流点で合流している。この最終合流点には、電子スピン波が干渉した結果を出力する出力部が備えられている。

[0033] なお、以上の構成要素の任意の組合せ、本開示の表現を方法、装置、システム、記録媒体、コンピュータプログラムなどの間で変換したものもまた、本開示の態様として有効である。

発明の効果

[0034] 本発明によれば、その目的は、回路構成の自由度が高く、光信号との整合性のよい多数決論理デバイスを実現することができる。

図面の簡単な説明

[0035] [図1]第1の実施の形態に係る多数決論理デバイスの模式図である。

[図2]3つの電子スピン波が干渉した結果が出力部で読み出された後、当該結果が出力される様子を示す模式図である。

[図3]入力部に照射される光の偏光状態と、干渉後の電子スピン波の位相の状

態を説明する模式図である。

[図4]入力部に照射される光の偏光状態と、干渉後の電子スピン波の位相の状態を説明する模式図である。

[図5]入力部に照射される光の偏光状態と、干渉後の電子スピン波の位相の状態を説明する模式図である。

[図6]入力部に照射される光の偏光状態と、干渉後の電子スピン波の位相の状態を説明する模式図である。

[図7]入力部を正六角形状に配置し、出力部をこの正六角形の重心に配置した非磁性半導体層を示す模式図である。

[図8]入力部および出力部を1次元方向に配置した非磁性半導体層を示す模式図である。

[図9]第4の実施の形態に係る、波長多重光入力素子に入力する波長多重光信号を生成する様子を示す模式図である。

[図10]第4の実施の形態で使われる波長多重光入力素子の模式図である。

[図11]第2の実施の形態に係わる多数決論理デバイスを示す模式図である。

[図12]入力部の1つをx方向にずらしたときの多数決論理デバイスの模式図である。

[図13]入力部の1つをx方向に変化させたときの、 $(x, y) = (0, 0)$ における電子スピン波の位相の時間発展のシミュレーション結果を示す図である。

[図14] $\Delta x = 0$ のときの、光の偏光状態と、干渉後の電子スピン波の位相の状態を示す図である。

[図15] $\Delta x = 0, 2\lambda$ のときの、光の偏光状態と、干渉後の電子スピン波の位相の状態を示す図である。

[図16] $\Delta x = 0, 4\lambda$ のときの、光の偏光状態と、干渉後の電子スピン波の位相の状態を示す図である。

[図17]入力部の1つをx方向およびy方向にずらしたときの、 $(x, y) = (0, 0)$ における電子スピン波の位相のシミュレーション結果を示す図で

ある。

[図18]入力部を正五角形状に配置し、出力部をこの正五角形の重心に配置した非磁性半導体層を示す模式図である。

[図19]第6の実施の形態に係る多数決論理デバイスの模式図である。

[図20]第7の実施の形態に係る多数決論理デバイスの模式図である。

[図21]第8の実施の形態に係る多数決論理デバイスの模式図である。

[図22]従来の多数決論理デバイスの回路図である。

[図23]第9の実施の形態に係る多数決論理デバイスの模式図である。

[図24]第10の実施の形態に係る多数決論理デバイスの模式図である。

発明を実施するための形態

[0036] 以下、本発明を好適な実施の形態を基に図面を参照しながら説明する。実施の形態は、発明を限定するものではなく例示である。実施の形態に記述されるすべての特徴やその組み合わせは、必ずしも発明に必須のものであるとは限らない。各図面に示される同一または同等の構成要素、部材、処理には、同一の符号を付すものとし、適宜重複した説明は省略する。また、各図に示す各部の縮尺や形状は、説明を容易にするために便宜的に設定したものであり、特に言及がない限り限定的に解釈すべきものではない。本明細書または請求項の中で「第1」、「第2」等の用語が用いられる場合、特に言及がない限り、こうした用語はいかなる順序や重要度を表すものでもなく、ある構成と他の構成とを区別するためだけのものである。また、各図面において実施の形態を説明する上で重要ではない部材の一部は省略して表示する。

[0037] [第1の実施の形態]

図1に、第1の実施の形態に係る多数決論理デバイス1を模式的に示す。多数決論理デバイス1は、非磁性半導体層10を備える。非磁性半導体層10は、入力部20a、20b、20cと、出力部30と、を備える。図1では、紙面に向かって右向きにx軸、上向きにy軸を取る（特に断りのない限り、以下同様）。ただしx軸は、後述する電子スピン波の振動方向であり、非磁性半導体層10が有する結晶方位によって定まる。

- [0038] 図1の例では、入力部20a、20b、20cは正三角形の各頂点に配置され、出力部30はこの正三角形の重心に配置されている。
- [0039] すなわち、出力部30は、入力部20a、20b、20cの各々から等しい距離に配置されている。
- [0040] 非磁性半導体層10は、少なくとも2種の互いに異なる偏光状態を有する光の照射により当該偏光状態に応じて異なる位相を有する電子スピン波を生成する材料からなる。入力部20a、20b、20cには、それぞれ光信号が入力される。出力部30は、この光信号によって生成された電子スピン波が干渉した結果を読み出して出力する。
- [0041] 以下、電子スピン波の波長を λ と表し、 n を整数とする。図1に示されるように、入力部20aと20cとの間の距離を、電子スピン波の振動方向（ x 軸方向）に射影した長さは $n\lambda$ である。同様に、入力部20bと20cとの間の距離を、電子スピン波の振動方向に射影した長さも $n\lambda$ である。さらに入力部20aと20bとの間の距離を、電子スピン波の振動方向に射影した長さは $2n\lambda$ である。このように、非磁性半導体層10において、隣接する入力部間の距離を電子スピン波の振動方向に射影した長さは、電子スピン波の波長の整数倍となっている。
- [0042] 非磁性半導体層10について、さらに詳しく説明する。以下の例では、照射する光の偏光状態に、右回り円偏光と左回り円偏光の2種類があるとする。このような光が入力部20a、20b、20cに照射されると、非磁性半導体層10は、右回り円偏光に対しては位相0の電子スピン波を、左回り円偏光に対しては位相 π の電子スピン波を、それぞれ生成する。以下、位相0の電子スピン波を論理値「0」（すなわち「偽」）に、位相 π の電子スピン波を論理値「1」（すなわち「真」）にそれぞれ対応付けることとする。従って、この場合、照射光の右回り円偏光は論理値0に対応し、左回り円偏光は論理値1に対応する。
- [0043] 入力部20a、20b、20cに照射された光によって生成された電子スピン波は、互いに干渉する。このとき、位相がともに0の電子スピン波同士

および位相がともに π の電子スピン波同士は、干渉により互いに強め合う。逆に、一方の位相が0で他方の位相が π の電子スピン波同士は、干渉により互いに弱め合う。3つの電子スピン波が干渉した結果は、出力部で読み出された後、その結果が出力される。図2に、このときの様子を模式的に示す。

[0044] 以下、入力部20a、20b、20cに照射される光の偏光状態に対応する論理値をベクトル(20a、20b、20c)で表現する。例えば(20a、20b、20c) = (0, 1, 0)は、入力部20aに照射される光が右回り円偏光(電子スピン波の位相0、論理値0)、入力部20bに照射される光が左回り円偏光(電子スピン波の位相 π 、論理値1)、入力部20cに照射される光が右回り円偏光(電子スピン波の位相0、論理値0)、であることを表す。

[0045] 図3～図6に示されるシミュレーション結果を用いて、入力部20a、20b、20cに照射される光の偏光状態と、干渉後の電子スピン波の位相の状態を説明する。図3～図6の上段は、入力部20a、20b、20cに照射される光の偏光状態を示す。黒い丸は、照射される光が右回り円偏光(電子スピン波の位相0、論理値0)であることを示す。白い丸は、照射される光が左回り円偏光(電子スピン波の位相 π 、論理値1)であることを示す。図3～図6の下段は干渉後(具体的には、照射から0.700ns後)の電子スピン波の位相を表す。中央付近に示される白い正方形は、出力部30の位置に相当する。

[0046] 図3は、(20a、20b、20c) = (0, 0, 0)の場合を示す。このとき下段の図に示されるように、干渉後の電子スピン波の出力部30での位相は0である。すなわち、出力部30は、論理値0を読み出す。この値は、(20a、20b、20c) = (0, 0, 0)に関する多数決値である。

[0047] 図4は、(20a、20b、20c) = (0, 0, 1)の場合を示す。このとき下段の図に示されるように、干渉後の電子スピン波の出力部30での位相は0である。すなわち、出力部30は、論理値0を読み出す。この値は、(20a、20b、20c) = (0, 0, 1)に関する多数決値である。

[0048] 図5は、 $(20a, 20b, 20c) = (0, 1, 1)$ の場合を示す。このとき下段の図に示されるように、干渉後の電子スピンの出力部30での位相は π である。すなわち、出力部30は、論理値1を読み出す。この値は、 $(20a, 20b, 20c) = (0, 1, 1)$ に関する多数決値である。

[0049] 図6は、 $(20a, 20b, 20c) = (1, 1, 1)$ の場合を示す。このとき下段の図に示されるように、干渉後の電子スピンの出力部30での位相は π である。すなわち、出力部30は、論理値1を読み出す。この値は、 $(20a, 20b, 20c) = (1, 1, 1)$ に関する多数決値である。

[0050] このように、図3～図6では、入力部20a、20b、20cに照射される光の偏光状態に応じて、当該偏光状態に相当する論理値の多数決値が出力部30によって読み出される。図示を省略するが、 $(20a, 20b, 20c) = (0, 1, 0)$ 、 $(1, 0, 0)$ 、 $(1, 0, 1)$ 、 $(1, 1, 0)$ などの場合も同様である。

[0051] 表1に、入力部20a、20b、20cに照射される3つの光の偏光状態（対応する論理値）と、電子スピンの干渉後に出力部30で観測される電子スピンの位相（対応する論理値）との関係をまとめる。

[表1]

		論理値							
入力部	20a	0	0	0	1	0	1	1	1
	20b	0	0	1	0	1	1	0	1
	20c	0	1	0	0	1	0	1	1
出力部	30	0	0	0	0	1	1	1	1

[0052] このように、隣接する入力部間の距離を電子スピンの振動方向に射影した長さが電子スピンの波長の整数倍となるように入力部を配置することにより、入力部20a、20b、20cに照射される3つの光の偏光状態に関する多数決論理デバイスを実現することができる。

[0053] 本実施の形態によれば、少なくとも2種の互いに異なる偏光状態を有する光の照射により偏光状態に応じて異なる位相を有する電子スピン波を生成する材料からなる非磁性半導体層を与えることにより、偏光状態で表される論理情報を持つ光信号を、スピン状態で表される論理情報を持つ電子スピン波に変換することができる。さらに、隣接する入力部間の距離を電子スピン波の振動方向に射影した長さを、電子スピン波の波長の整数倍とすることにより、上記論理信号の多数決論理回路を実現することができる。この多数決論理回路の入力部は、2次元方向に配置することができる。さらに、入力として、電気的なパルス磁場等でなく、光信号を使うため、光通信などとの整合性が高い。

[0054] 以上説明したように、本実施の形態によれば、回路構成の自由度が高く、特許文献1記載の技術のように論理入力部の各々の間に所定の間隔を設ける必要がなく、光信号との整合性のよい多数決論理デバイスを実現することができる。

[0055] (具体例1)

電子スピン波は、2次元電子ガス中で発生した逆永久スピン旋回 (iPSH) であってもよい。この場合、各入力部は、非磁性半導体層10上で2次元方向に配置されてもよい。

[0056] 例えばIII-V族半導体ヘテロ構造中において、起源の異なる2種類のスピン軌道相互作用、すなわちラシュバスピン軌道相互作用係数 α の絶対値とドレッセルハウススピン軌道相互作用係数 β の絶対値を等しくすることで、有効磁場の方向が一つに定まり、スピン緩和を抑制した永久スピン旋回 (広義) を発生させることができる。永久スピン旋回 (広義) 状態とは、電子スピン波の位相がストライプ状のパターンを示す状態をいい、電子スピン波の拡散を抑えつつ、電子スピン波の振動を効率よく利用することができる。ここで、 $\alpha = \beta$ の場合を永久スピン旋回 (狭義) といい、電子スピン波の進行方向では位相が一定で、進行方向と直交する方向で位相が変化する。また、 $\alpha = -\beta$ の場合を逆永久スピン旋回といい、電子スピン波の進行方向と直

交する方向では位相が一定で、進行方向で位相が変化する。

[0057] このとき、ラシュバスピ軌道相互作用係数 α の絶対値とドレッセルハウスピ軌道相互作用係数 β の絶対値のずれが、絶対値の平均値に対して15%以内であってもよい。好ましくは、 α の絶対値と β の絶対値とのずれが、絶対値の平均値に対して10%以内である。より好ましくは、 α の絶対値と β の絶対値とは等しい。

[0058] 表2は、過去に報告されたラシュバスピ軌道相互作用係数 α と電子スピンの波長 λ を示す。 λ は1 nm以上10 μ m以下が好ましい。いずれの材料も逆永久スピン旋回のための非磁性半導体材料の候補となり得るが、製造容易性からは λ の大きな材料が好ましく、微細化には λ の小さな材料が好ましい。例えば硫化スズ(SnS)が有用であると考えられる。

[表2]

Systems	α (eV Å)	λ (nm)
<i>MX</i> monolayer		
SnS	0.09	1.5×10^2
SnSe	0.74	44.85
SnTe	1.20	7.13
GeS	0.071	8.9×10^2
GeSe	0.57	91.84
GeTe	1.67	1.82
Interface		
GaAs/AlGaAs	$(3.5\text{--}4.9) \times 10^{-3}$	$(7.3\text{--}10) \times 10^3$
	2.77×10^{-3}	5.5×10^3
InAlAs/InGaAs	1.0×10^{-3}	
	2.0×10^{-3}	
LaAlO ₃ /SrTiO ₃	7.49×10^{-3}	0.098×10^2
Surface		
ZnO(10-10) surface	34.78×10^{-3}	1.9×10^2
Bulk		
BiInO ₃	1.91	2.0
2D monolayer		
Halogen-doped SnSe	1.6–1.76	1.2–1.41
WO ₂ Cl ₂	0.9	

[0059] (具体例2)

図1の例では、入力部20a、20b、20cは正三角形の各頂点に配置されていた。しかしこれに限られず、入力部は、正三角形以外の多角形状に配置されてもよい。図7に、入力部20d、20e、20f、20g、20h、20iを正六角形状に配置し、出力部31をこの正六角形の重心に配置した非磁性半導体層11を示す。非磁性半導体層11においても、隣接する

入力部間の距離を電子スピン波の振動方向（ x 軸方向）に射影した長さは、電子スピン波の波長の整数倍（ $n\lambda$ または $2n\lambda$ ）となっている。

[0060]（具体例3）

電子スピン波は、2次元電子ガスの1次元細線構造への閉じ込めによりヘリカルスピンモードに変化した電子スピン波であってもよい。ヘリカルスピンモードに変化した電子スピン波としては、逆永久スピン旋回状態と、ラシュバスピ軌道相互作用のみが働く状態とが挙げられる。ここで、ラシュバスピ軌道相互作用のみが働く状態とは、ラシュバスピ軌道相互作用係数 α の絶対値がドレッセルハウススピ軌道相互作用係数 β の絶対値の10倍以上である状態を意味する。この場合、各入力部は、非磁性半導体層上で1次元方向に配置されてもよい。逆永久スピン旋回状態の1次元細線構造としては、例えばGsAs/AIGsAs量子井戸やInGaAs/InAlAs量子井戸を用いることができる。また、ラシュバスピ軌道相互作用のみが働く状態の1次元細線構造としては、例えばInGaAs/InAlAs量子井戸を用いることができる。

[0061] 図8に、入力部20j、20k、20lおよび出力部32を1次元方向（ x 軸方向）に配置した非磁性半導体層12を示す。非磁性半導体層12においても、隣接する入力部間の距離を電子スピン波の振動方向（すなわち、 x 軸方向）に射影した長さは、電子スピン波の波長の整数倍（ $n\lambda$ ）となっている。

[0062] [第2の実施の形態]

多数決論理デバイスの別の実施の形態では、非磁性半導体層に直接または他の層を介して積層された導波路層をさらに備える。この導波路層は、3つ以上の入力部の各々に直接または他の層を介して個別に接続された導波路を有する。多数決論理デバイスは、導波路が3つ以上の入力部の各々に直接または他の層を介して個別に接続されている位置（以下「端部」ともいう）に、導波路を通った光を各々の入力部に導くためのミラー部を有する。

[0063] 図11に、導波路層が他の層を介して積層された非磁性半導体層を有する

デバイスを模式的に示す。このデバイスは、基板上に、非磁性半導体層、クラッド層、導波路層、クラッド層が順次積層された構造を取る。導波路の材料は使用する波長の光が透過するものを選択する。導波路層の導波路以外の部分、およびクラッド層の材料は導波路（コア）の材料よりも屈折率が低いものを選択する。導波路がSi導波路の場合は赤外レーザー光を使ってもよい。この場合、導波路層のSi導波路以外の部分、およびクラッド層はSiO₂を使ってもよく、非磁性半導体層はInGaAsを使ってもよい。非磁性半導体層にGaAsを使った場合は、Si導波路に代えて紫外線硬化樹脂で形成したポリマー導波路を使ってもよい。

[0064] 光信号（ポンプ光）は、導波路を通り、非磁性半導体層の入力部（例えば、正三角形の3頂点）に接する位置までくると、ミラー部、例えば45°ミラー部で偏向されて3つの入力部に注入される。非磁性半導体層においては、ポンプ光が右回り円偏光の場合は位相0の電子スピン波、左回り円偏光の場合は位相 π の電子スピン波を生成する。電子スピン波の波長 λ はポンプ光の波長には依存しない（表2の λ の値を参照）。Si導波路の場合は、側壁部分と45°ミラー部とを別々のエッチングプロセスで形成してもよい。Si導波路の端部の45°ミラー加工は、Si(001)面ではTMAH、Si(110)面ではKOHによる異方性エッチングを使用してもよい。

[0065] 本実施の形態において、導波路は、電子スピン波の振動方向と略直交する方向に配置されてもよい。後述するように、本発明の多数決論理デバイスにおいては、電子スピン波の振動方向（x方向）よりも直交する方向（y方向）が、位置ずれに対する許容量が大きい。45°ミラー加工の位置ずれは導波路の位置ずれよりも大きいので、導波路がy方向になるようにすることが好ましい。

[0066] [第3の実施の形態]

第3の実施の形態は、光電変換デバイスである。上記の多数決論理デバイスは、出力論理値として、出力部から電子スピン波のスピン偏極が出力されていた。これに対し、例えば磁気抵抗素子（MR素子）を用いて、このスピ

ン偏極を電気信号に変換することにより、多数決論理回路を備えた光電変換デバイスを実現することができる。すなわち、本実施の形態は、第1または第2の実施の形態の多数決論理デバイスと、当該多数決論理デバイスの出力部のスピン偏極を電気信号に変換する磁気抵抗素子と、を備えた光電変換デバイスである。

[0067] [第4の実施の形態]

第4の実施の形態は、光通信論理デバイスである。この光通信論理デバイスは、第1または第2の実施の形態の多数決論理デバイスと、光出力素子と、を備える。光出力素子は、例えばプローブ光として直線偏光を照射してファラデー効果／カー効果による透過光／反射光の偏光状態の変化を検出するものであってもよい。検出だけでなく、出力信号を利用したい場合は、例えば光磁気ディスクの読み取りなどと同様に、偏光ビームスプリッタ（PBS）で偏光分離し、フォトダイオード等で電気信号に変換した後に差動増幅を行ってもよい。

[0068] 本実施の形態において、光通信論理デバイスは、第1または第2の実施の形態の多数決論理デバイスと、波長多重光入力素子と、を備えるものであってもよい。このとき、波長多重光入力素子は、例えば図10に模式的に示される、入力導波路、スラブ導波路、光導波路アレイ、スラブ導波路、および出力導波路群からなるアレイ導波路回折格子（AWG）デバイスであってもよい。ここで、波長多重光入力素子は、波長多重光信号を複数の単波長光信号に分割する光デマルチプレクサとして機能する。

[0069] 図9に、AWGデバイスの入力導波路に入力する波長多重光信号を生成する様子を模式的に示す。先ず3つのレーザーダイオードLD1、LD2、LD3が、それぞれ波長 λ_1 、 λ_2 、 λ_3 の直線偏光したレーザー光を発振する。これらの直線偏光したレーザー光は、1/4波長板（Q）により、右回り円偏光化する。その後、これらの光は、それぞれEO変調器1、EO変調器2、EO変調器3で、電気信号1、電気信号2、電気信号3によって変調され、左右円偏光変調信号となる。左右円偏光変調信号の各々は光マルチプ

レクサで合波され、波長多重光信号として光ファイバを通り、図10のAWGデバイスの入力導波路に入力する。AWGデバイスに入力した波長多重光信号が波長分離されて出力されることによって、各EO変調器から出力された左右円偏光変調信号を再生したポンプ光となる。

[0070] 図10に、本実施の形態に使われるAWGデバイスを模式的に示す。AWGデバイス全体は、シリコン基板上に形成され、入力導波路、光導波路アレイ、2つのスラブ導波路、出力導波路群を含む。入力導波路に入力した光は、波長分離され、左右円偏光変調信号を再生して出力導波路群からポンプ光を出力する。多数決論理デバイスが第2の実施の形態である場合は、ポンプ光 λ_1 、 λ_2 、 λ_3 は、導波路を通り、非磁性半導体層の入力部（例えば、正三角形の3点）に接する位置までくると、 45° ミラー部で偏向されて3つの入力部に注入される。非磁性半導体層においては、ポンプ光が右回り円偏光の場合は位相0の電子スピン波、左回り円偏光の場合は位相 π の電子スピン波を生成する。電子スピン波の波長 λ はポンプ光の波長には依存しない（表2の λ の値を参照）。

[0071] [第5の実施の形態]

第5の実施の形態は、多数決論理デバイスの制御方法である。この多数決論理デバイスは、少なくとも2種の互いに異なる偏光状態を有する光の照射により偏光状態に応じた位相を有する電子スピン波を生成する材料からなる非磁性半導体層を有する。この非磁性半導体層は、光信号を入力する3つ以上の入力部を備えるとともに、電子スピン波が干渉した結果を出力する出力部を少なくとも1つ備える。隣接する入力部間の距離を電子スピン波の振動方向に射影した長さの電子スピン波の波長の整数倍からのずれが波長の25%以内である。この多数決論理デバイスは、光信号を右回り円偏光と左回り円偏光で変調された光信号とする。

[0072] 本実施の形態によれば、多数決論理デバイスを様々な仕方で制御することができる。

[0073] (制御例1)

上記の多数決論理デバイスの複数の入力部が第1の入力部と第2の入力部とを有し、第1の入力部と出力部との距離が、第2の入力部と出力部との距離よりも長い場合を考える。このとき、第1の入力部に入力する光信号の強度を第2の入力部に入力する光信号の強度よりも大きくなるように補償するように制御してもよい。このように多数決論理デバイスを制御することにより、入力部と出力部との距離の違いによる光信号の減衰の違いを補償することができる。

[0074] (制御例2)

上記の多数決論理デバイスの複数の入力部の少なくとも1つに、常時右回り円偏光または左回り円偏光である光信号を入力するように制御してもよい。例えば、3つの入力部の1つに常時右回り円偏光の光信号（すなわち、論理値0）を入力することにより、残る2入力のAND回路を実現することができる。あるいは、3つの入力部の1つに常時左回り円偏光の光信号（すなわち、論理値1）を入力することにより、残る2入力のOR回路を実現することができる。さらに、入力部の数が偶数であり、0と1の入力数が等しくない場合は入力数が多い方を出力し、0と1の入力数が等しい場合は0を出力する多数決論理回路を実現するには、入力部を1つ追加して常時右回り円偏光の光信号（すなわち、論理値0）を入力するように制御してもよい。

[0075] 本制御例によれば、様々なタイプの論理回路を実現することができる。

[0076] 以上、本発明を実施の形態に基づいて説明した。これらの実施の形態は例示であり、それらの各構成要素や各処理プロセスの組合せにいろいろな変形例が可能で、またそうした変形例も本発明の範囲にあることは当業者に理解されるところである。

[0077] (変形例1)

上記の実施の形態では、隣接する入力部間の距離を電子スピン波の振動方向に射影した長さは、電子スピン波の波長の整数倍であった。しかし、この長さは必ずしも正確に電子スピン波の波長の整数倍でなくてもよいと考えられる。これを検証するために、本発明者らは以下のシミュレーションを行っ

た。

[0078] 図12に、入力部20m、20n、20oと、出力部33と、を備えた非磁性半導体層13を示す（図1と同様）。入力部20m、20n、20oは正三角形の各頂点に配置され、出力部33はこの正三角形の重心に配置されている。入力部20mと20nとの間の距離および入力部20nと20oとの間の距離を電子スピン波の振動方向（x軸方向）に射影した長さは λ である。なお図12では、図1と上下を反転させた配置をしているが、両者に本質的な違いはない。黒い丸は、照射される光が右回り円偏光（電子スピン波の位相0、論理値0）であることを示す。白い丸は、照射される光が左回り円偏光（電子スピン波の位相 π 、論理値1）であることを示す。図12の初期状態（時刻 $t = 0, 000 \text{ ns}$ ）では、偏光状態は $(20m, 20n, 20o) = (0, 1, 1)$ である。

[0079] 以下、入力部20nをx方向に Δx ずらした場合を考える。このように、入力部20m、20n、20oの配置が正三角形からずれたときに、正しく多数決論理回路が実現できるかをシミュレーションにより確かめる。

[0080] 図13に、入力部20nをx方向に変化させたときの、 $(x, y) = (0, 0)$ における電子スピン波の位相の時間発展のシミュレーション結果を示す。横軸に入力部20nのずれ Δx と波長 λ との比 $\Delta x / \lambda$ を、縦軸に時間 $t \text{ (ns)}$ を取る。図示されるように、 $\Delta x / \lambda = 0, 1, 2$ では、電子スピン波の位相は π 、すなわち論理値は1である（この場合、多数決論理が正しく成立している）。 $\Delta x / \lambda = 0.5, 1.5$ では、電子スピン波の位相は0、すなわち論理値は0である（この場合、多数決論理は正しく成立していない）。

[0081] 図14に、 $\Delta x = 0$ のときの、入力部20m、20n、20oに照射される光の偏光状態と、干渉後の電子スピン波の位相の状態を示す。上段は、各入力部に照射される光の偏光状態を示す。下段は干渉後（時刻 $t = 1, 000 \text{ ns}$ ）の電子スピン波の位相を表す（中央付近に示される白い円は、出力部33の位置に相当する）。図示されるように、電子スピン波の干渉後は、

出力部33の位置での論理値は1である。これは、 $(20m, 20n, 20o) = (0, 1, 1)$ に対して多数決論理が実現されていることを示す。

[0082] 図15に、 $\Delta x = 0.2\lambda$ のときの、入力部20m、20n、20oに照射される光の偏光状態と、干渉後の電子スピン波の位相の状態を示す。図示されるように、電子スピン波の干渉後は、出力部33の位置での論理値は1である。従ってこの場合も、 $(20m, 20n, 20o) = (0, 1, 1)$ に対して多数決論理が実現されていることが分かる。

[0083] 図16に、 $\Delta x = 0.4\lambda$ のときの、入力部20m、20n、20oに照射される光の偏光状態と、干渉後の電子スピン波の位相の状態を示す。図示されるように、電子スピン波の干渉後は、出力部33の位置での論理値は0である。従ってこの場合は、 $(20m, 20n, 20o) = (0, 1, 1)$ に対して多数決論理が正しく実現されておらず、エラーが発生していることが分かる。

[0084] 以上のシミュレーション結果から分かる通り、このような正三角形配置の構成では、入力部の1つが例えば25%程度x方向にずれたとしても、正しく多数決論理回路が実現できることが期待される。

[0085] 次に図17に、入力部20nをx方向およびy方向にずらしたときの、 $(x, y) = (0, 0)$ における電子スピン波の位相のシミュレーション結果を示す。横軸にx方向のずれ Δx と波長 λ との比 $\Delta x/\lambda$ を、縦軸にy方向のずれ Δy と波長 λ との比 $\Delta y/\lambda$ を取る。

[0086] 図示されるように、x方向のずれに対しては位相が変化し、半波長ごとに位相が反転する。一方、y方向のずれに対しては位相は変化せず、振幅のみが変化する。従って、多数決論理回路の実現に関し、y方向のずれは、x方向のずれに比べて比較的許容度が高いと考えられる。

[0087] 図18に、5つの入力部20p、20q、20r、20s、20tを正五角形の各頂点に配置し、出力部34を当該正五角形の重心に配置した例を示す。ここでは、入力部20pと20sとの間の距離を電子スピン波の振動方向(x軸方向)に射影した長さは、電子スピン波の波長 λ の2倍(2λ)で

あるとする。ここで各入力部の中心（正五角形の各頂点）と出力部34の中心（正五角形の重心）との間の距離を r とすると、

$$2\lambda = r \cos 54^\circ$$

である。このとき、入力部20tと20sとの間の距離を電子スピンの振動方向（x軸方向）に射影した長さは、

$$r \cos 18^\circ \cong 3.23\lambda$$

となる。すなわち、入力部20tと20sとの間の距離を電子スピンの振動方向（x軸方向）に射影した長さは、最も近い波長の整数倍の値（ 3λ ）から、x方向に約 0.23λ ずれている。このずれ（波長 λ の約23%）は、波長 λ の25%以内に収まっている。従って、各入力部をこのように正五角形の各頂点に配置した場合も、正しく多数決論理回路が実現できると考えられる。

[0088]（変形例2）

ここまでの例では、出力部と入力部との距離を電子スピンの振動方向に射影した長さが、電子スピンの波長の整数倍となる位置に出力部を設定していた。これに対して、出力部と入力部との距離を電子スピンの振動方向に射影した長さが、電子スピンの波長の整数+1/2倍となる位置に出力部を設定することもできる。これにより、多数決論理にNOTを作用させた出力を得ることができる。このとき必要に応じて、制御例1に記載した、入力部と出力部との距離の違いによる光信号の減衰の違いを補償してもよい。

[0089] さらに、出力部を2つ以上として、多数決論理出力とそのNOT出力を同時に得ることや、2つ以上の出力を組み合わせることにより精度の向上をはかることも可能である。

[0090] [第6の実施の形態]

半導体量子井戸で形成した1次元細線構造において、該1次元細線構造内の電子に偏光を照射することで、位相状態の定まった電子スピンの波を生成することができる。また、位相状態の定まった電子スピンの波を隣接する1次元細線構造から入力することができる。生成または入力された電子スピンの波は

該1次元細線構造内を伝搬する。該電子スピン波は、作用するスピン軌道相互作用の種類と大きさにより、以下の状態を取ることができる。

- [0091] PSH（永久スピン旋回）状態は、ラシュバスピン軌道相互作用の強さ α とドレッセルハウススピン軌道相互作用の強さ β とが等しくなったとき（ $\alpha = \beta$ ）に実現される状態である。このとき、スピン軌道相互作用の作る有効磁界の方向が電子の運動方向によらず一定方向となる。このため、電子の散乱に対してもスピンの歳差運動は影響を受けず、スピン緩和の抑制された状態となる。具体的には、結晶の $[1 \ -1 \ 0]$ 方向にはスピンのコヒーレントな回転が持続し、これと垂直な $[1 \ 1 \ 0]$ 方向にはスピンの向きが回転せずに伝搬するスピン緩和が抑制された状態となる。
- [0092] i PSH（逆永久スピン旋回）状態は、ラシュバスピン軌道相互作用の強さの符号が反転し、ドレッセルハウススピン軌道相互作用の強さと等しくなったとき（ $\alpha = -\beta$ ）に実現される状態である。この i PSH状態は、PSH状態に対し有効磁界の向きが90度変化し、スピン歳差運動状態からスピン歳差運動しない状態に変化する。具体的には、結晶の $[1 \ -1 \ 0]$ 方向にはスピンの向きが回転せずに伝搬し、これと垂直な $[1 \ 1 \ 0]$ 方向にはスピンのコヒーレントな回転が持続された状態となる。
- [0093] 上記の説明では、PSH（永久スピン旋回）状態を $\alpha = \beta$ である状態、 i PSH状態を $\alpha = -\beta$ である状態とした。実際の実施の形態では、PSH状態および i PSH状態いずれにおいても、 α および β の絶対値が厳密に等しくなくてもよい。例えば非特許文献3のPSHを実現した実験例において、 α および β （ただし引用文献3では、 β は $\beta_1 - \beta_3$ で定義されている）はそれぞれ、 $\alpha = (1.6 _2.3) \times 10^{-13} \text{ eV m}$ 、 $\beta_1 - \beta_3 = (1.9 _2.6) \times 10^{-13} \text{ eV m}$ となっており、両者の絶対値の大きさは10%以上ずれている。しかしこの場合も、PSHの条件であるストライプ状のスピンパターンを形成できている。従って、 α および β の絶対値が10%程度ずれていても、PSH状態および i PSH状態が実現できる。さらに本発明者らの考察によれば、 α および β の絶対値のずれは、15%程度以内であれば許容

できることが分かった。

[0094] 他の特徴的な状態として、スピン軌道相互作用としてラシュバスピ軌道相互作用のみが働く状態 ($|\alpha| \geq 1 > |\beta|$) がある。

[0095] ここで、ドレセルハウススピン軌道相互作用の強さ β は材料によって定まる固有の値であるが、ラシュバスピ軌道相互作用の強さ α はキャリア濃度によって変化する値である。該キャリア濃度は、1次元細線構造への不純物ドーブ量によって制御することも可能であるし、1次元細線構造に電極を設け、該電極に電圧を印加することで制御することも可能である。以下に、2つの態様を例示する。

[0096] 第1の態様は、i P S H状態となるスピン軌道相互作用が働く状態とした1次元細線構造である。この場合は、内部を電子が伝搬する1次元細線構造を持つ量子井戸を、結晶の $[1 \ 1 \ 0]$ 方向を長軸 (x軸) 方向に取り、 $[1 \ -1 \ 0]$ 方向をx軸と直交するy軸方向に取る。1次元細線構造がi P S H状態のとき、電子は、スピンのコヒーレントな回転を継続しながら伝搬する。なお、第1の態様の場合、距離とはx方向に射影された距離をいうものとする。

[0097] 第2の態様は、ラシュバスピ軌道相互作用のみが働く状態とした1次元細線構造である。この場合は、結晶の方位によらずに長軸 (x軸) を定めることができ、y軸をx軸と直交する方向に取ればよい。1次元細線構造がラシュバスピ軌道相互作用のみが働く状態のとき、電子は、スピンのコヒーレントな回転を継続しながら伝搬する。なお、第2の態様の場合、距離とはx y平面上の距離をいうものとする。

[0098] このような1次元細線構造は、以下のようにして作製することができる (例えば、非特許文献2)。具体的には、非特許文献2の例では、有機金属気相成長 (MOCVD) 法を用いて、InP基板上でInAlAs/InGaAs/InAlAs量子井戸構造をエピタキシャル成長させた後に、 $[1 \ 1 \ 0]$ 方向の1次元細線構造をフォトリソグラフィとエッチングにより作製する。膜は、InP基板から順に以下のように積層される。

200 nm $\text{In}_{0.52}\text{Al}_{0.48}\text{As}$

6 nm $\text{In}_{0.52}\text{Al}_{0.48}\text{As}$ ($1.2 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ でSiドーピング)

6 nm $\text{In}_{0.52}\text{Al}_{0.48}\text{As}$

7 nm $\text{In}_{0.53}\text{Ga}_{0.47}\text{As}$ 量子井戸

6 nm $\text{In}_{0.52}\text{Al}_{0.48}\text{As}$

6 nm $\text{In}_{0.52}\text{Al}_{0.48}\text{As}$ ($3.2 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ でSiドーピング)

10 nm $\text{In}_{0.52}\text{Al}_{0.48}\text{As}$

ここでゲート絶縁層 (5 nm Al_2O_3 / 95 nm HfO_2)、ゲート電極 (10 nm Cr / 100 nm Au) を用いている。iPSH状態となるキャリア濃度は $1.23 \times 10^{16} \text{m}^{-2}$ である。

[0099] 第1の状態 (iPSH状態) の場合を説明する。図19に、この状態 (第6の実施の形態) の多数決論理デバイス2を模式的に示す。信号入力用1次元細線構造40a、40b、40cは、それぞれ合流点42の前に光信号を入力する入力部41a、41b、41cを備える。信号入力用1次元細線構造が合流点で合流することにより、2次元細線構造が構成される。

[0100] 合流点42には、電子スピン波が干渉した結果を出力する出力部43が備えられている。

[0101] 合流点42と、信号入力用1次元細線構造40a、40b、40cのそれぞれの入力部41a、41b、41cとの距離を電子スピン波の振動方向に射影した長さは、波長 λ の整数倍である。図19の例では、信号入力用1次元細線構造40a、40b、40cのそれぞれの入力部41a、41b、41cとの距離を電子スピン波の振動方向に射影した長さは、それぞれ、 $l\lambda$ 、 $m\lambda$ 、 $n\lambda$ になっている (l 、 m 、 n はそれぞれ自然数)。例えば、合流点42を中心とする半径 2λ の円周に対して、該合流点を通りX軸方向に延びる直線と該円周との交点を41a、該合流点を通りX軸と 60° の角をなす二直線と該円周との交点を41b、41cとすればよい。

- [0102] このように、合流点42と、信号入力用1次元細線構造40a、40b、40cの各入力部41a、41b、41cと、の距離を、電子スピン波の振動方向に射影した長さが電子スピン波の波長の整数倍であるとなるようにすることにより、入力部41a、41b、41cに照射される3つの光の偏光状態に関する多数決論理デバイスを実現することができる。
- [0103] この態様では、ラシュバスピン軌道相互作用係数 α の絶対値とドレッセルハウススピン軌道相互作用係数 β の絶対値のずれが、絶対値の平均値に対して15%以内であってもよい。好ましくは、 α の絶対値と β の絶対値とのずれが、絶対値の平均値に対して10%以内である。より好ましくは、 α の絶対値と β の絶対値とは等しい。
- [0104] 本実施の形態によれば、少なくとも2種の互いに異なる偏光状態を有する光の照射により前記偏光状態に応じて異なる位相を有する電子スピン波を生成する材料からなる非磁性半導体層を備えた1次元細線構造を用いて、多数決論理回路を実現することができる。
- [0105] 信号入力用1次元細線構造40a、40b、40cのそれぞれの入力部41a、41b、41cとの距離を電子スピン波の振動方向に射影した長さは、波長 λ の整数倍であることが望ましい。しかしこれは、波長の整数倍から若干ずれていてもよい。前述の変形例1でも示したように、この長さが波長の整数倍から25%程度ずれたとしても、正しく多数決論理回路が実現できることが期待される。
- [0106] 図19の例では、多数決論理デバイス2は3本の信号入力用1次元細線構造で構成されている。しかしこの本数は3本に限られず、3本以上の任意の奇数本であってもよい。
- [0107] [第7の実施の形態]
- 図20に、第7の実施の形態に係る多数決論理デバイス3を模式的に示す。多数決論理デバイス3は、3本の信号入力用1次元細線構造40a、40b、40cと、合流点42から延びる合流1次元細線構造44と、を備える。多数決論理デバイス3では、図19の多数決論理デバイス2の合流点42

に備えられた出力部43に代えて、合流1次元細線構造44に前記出力部431が備えられている。多数決論理デバイス3のその他の構成は、多数決論理デバイス2の構成と共通である。

[0108] 本実施の形態によれば、信号入力用1次元細線構造を用いた多数決論理回路において、出力位置の自由度を上げることができる。

[0109] [第8の実施の形態]

図21に、第8の実施の形態に係る多数決論理デバイス4を模式的に示す。多数決論理デバイス4は、第7の実施の形態に係る多数決論理デバイス3を複数備える。以下、本明細書では、本実施の形態を構成する複数の多数決論理デバイス3を「細胞多数決論理デバイス」と呼ぶ。すなわち、多数決論理デバイス4は、3つの細胞多数決論理デバイス45a、45b、45cを備える。

[0110] 3つの細胞多数決論理デバイスの合流1次元細線構造は、1つの合流点46で合流している。以下、本明細書では、本実施の形態におけるすべての細胞多数決論理デバイスが合流する点を「最終合流点」と呼ぶ。すなわち、細胞多数決論理デバイス45a、45b、45cの合流1次元細線構造は、1つの最終合流点46で合流している。

[0111] 最終合流点46に、電子スピン波が干渉した結果を出力する出力部432が備えられている。

[0112] 図21の例では、多数決論理デバイス4は3つの細胞多数決論理デバイスで構成されている。しかしこの数は3つに限られず、任意の複数の細胞多数決論理デバイスが用いられてもよい。

[0113] 本実施の形態によれば、それぞれの細胞多数決論理デバイスの入力部に照射される光の偏光状態に関し、多数決論理デバイスを実現することができる。

[0114] 比較のために、図22に、AND回路およびOR回路を用いて形成した従来の9入力多数決論理デバイスを示す。この9入力多数決論理デバイスは、4つの3入力多数決論理デバイスを組み合わせて構成されている。この構成

では、3つの1段目の3入力多数決論理デバイスから出力された演算結果（多数決結果）が2段目の3入力多数決論理デバイスに入力されて最終的な多数決結果が出力される。しかしこの場合、図示されるように、例えば、5個の0、4個の1を入力した場合、本来最終的な多数決結果として0が出力されるべきところ、誤った結果である1が出力されてしまう。これは、多段型のデジタル回路では避けられない課題である。

[0115] これに対し、本実施の形態によれば、例えば図21の多数決論理デバイス4のどの入力部に値を入力しても、正しい結果を得ることができる。これは、光信号によって生成された電子スピン波の干渉を用いたことによる利点であり、多段型のデジタル回路では実現できないものである。

[0116] [第9の実施の形態]

第2の態様（ラシュバスピン軌道相互作用のみが働く状態）の場合を説明する。図23にこの態様（第9の実施の形態）の多数決論理デバイス5を模式的に示す。多数決論理デバイス5は、3本の信号入力用1次元細線構造40d、40e、40f、を備える。信号入力用1次元細線構造40d、40e、40fは、それぞれ合流点42の前に光信号を入力する入力部41d、41e、41fを備える。

[0117] 合流点42には、電子スピン波が干渉した結果を出力する出力部43が備えられている。

[0118] 合流点42と、信号入力用1次元細線構造40d、40e、40fのそれぞれの入力部41d、41e、41fとのXY平面上の距離は、波長 λ の整数倍である。図23の例では、信号入力用1次元細線構造40d、40e、40fのそれぞれの入力部41d、41e、41fとのXY平面上の距離は、それぞれ、 $l\lambda$ 、 $m\lambda$ 、 $n\lambda$ になっている（ l 、 m 、 n はそれぞれ自然数）。例えば、合流点42を中心とする半径 2λ の円周に対して、該合流点を通り任意の直線と該円周との交点を入力点41d、41e、41fとすることができる。

[0119] 第2の態様の場合、第1の態様と比較して、電子スピン波の寿命（緩和時

間)は短くなるが、合流点に集合させる1次元細線構造の数を増加させることができる。したがって、第1の態様の場合、図21のように9入力は細胞多数決論理デバイスを用いて3入力2段で実施する必要があるが、第2の態様の場合には9入力を9入力1段で実施することも可能である。

[0120] [第10の実施の形態]

図24に、第10の実施の形態に係る多数決論理デバイス6を模式的に示す。多数決論理デバイス6は、3本の信号入力用1次元細線構造40d、40e、40fと、合流点42から延びる合流1次元細線構造44と、を備える。多数決論理デバイス6では、図23の多数決論理デバイス5の合流点42に備えられた出力部43に代えて、合流1次元細線構造44に前記出力部431が備えられている。多数決論理デバイス6のその他の構成は、多数決論理デバイス5の構成と共通である。

[0121] 本実施の形態によれば、信号入力用1次元細線構造を用いた多数決論理回路において、出力位置の自由度を上げることができる。

[0122] 上述した各実施の形態と変形例の任意の組み合わせもまた本発明の実施の形態として有用である。組み合わせによって生じる新たな実施の形態は、組み合わせられる各実施の形態及び変形例それぞれの効果をあわせもつ。

[0123] 以上、実施の形態及び変形例を説明した。実施の形態及び変形例を抽象化した技術的思想を理解するにあたり、その技術的思想を実施の形態及び変形例の内容に限定して解釈すべきではない。前述した実施の形態及び変形例は、いずれも具体例を示したものにすぎず、構成要素の変更、追加、削除等の多くの設計変更が可能である。実施の形態では、このような設計変更が可能な内容に関して、「実施の形態」との表記を付して強調している。しかしながら、そのような表記のない内容でも設計変更が許容される。

産業上の利用可能性

[0124] 本開示の技術は、光通信、光電変換システム、ネットワークコンピュータなどの分野に利用可能である。

符号の説明

- [0125] 1 . . . 多数決論理デバイス、
2 . . . 多数決論理デバイス、
3 . . . 多数決論理デバイス、
4 . . . 多数決論理デバイス、
5 . . . 多数決論理デバイス、
6 . . . 多数決論理デバイス、
10 . . . 非磁性半導体層、
11 . . . 非磁性半導体層、
12 . . . 非磁性半導体層、
13 . . . 非磁性半導体層、
20 a . . . 入力部、
20 b . . . 入力部、
20 c . . . 入力部、
20 d . . . 入力部、
20 e . . . 入力部、
20 f . . . 入力部、
20 g . . . 入力部、
20 h . . . 入力部、
20 i . . . 入力部、
20 j . . . 入力部、
20 k . . . 入力部、
20 l . . . 入力部、
20 m . . . 入力部、
20 n . . . 入力部、
20 o . . . 入力部、
20 p . . . 入力部、
20 q . . . 入力部、
20 r . . . 入力部、

- 20s・・・入力部、
- 20t・・・入力部、
- 30・・・出力部、
- 31・・・出力部、
- 32・・・出力部、
- 33・・・出力部、
- 34・・・出力部、
- 40a・・・信号入力用1次元細線構造、
- 40b・・・信号入力用1次元細線構造、
- 40c・・・信号入力用1次元細線構造、
- 40d・・・信号入力用1次元細線構造、
- 40e・・・信号入力用1次元細線構造、
- 40f・・・信号入力用1次元細線構造、
- 41a・・・入力部、
- 41b・・・入力部、
- 41c・・・入力部、
- 41d・・・入力部、
- 41e・・・入力部、
- 41f・・・入力部、
- 42・・・合流点、
- 43・・・出力部、
- 431・・・出力部、
- 432・・・出力部、
- 44・・・合流1次元細線構造、
- 45a・・・細胞多数決論理デバイス、
- 45b・・・細胞多数決論理デバイス、
- 45c・・・細胞多数決論理デバイス、
- 46・・・最終合流点。

請求の範囲

- [請求項1] 少なくとも2種の互いに異なる偏光状態を有する光の照射により前記偏光状態に応じて異なる位相を有する電子スピンを生成する材料からなる非磁性半導体層を有し、
- 前記非磁性半導体層は、光信号を入力する3つ以上の入力部を備え、るとともに、前記電子スピンの波が干渉した結果を出力する出力部を少なくとも1つ備え、
- 隣接する前記入力部間の距離を前記電子スピンの振動方向に射影した長さの前記電子スピンの波長の整数倍からのずれが、前記波長の25%以内であることを特徴とする多数決論理デバイス。
- [請求項2] 隣接する前記入力部間の距離を前記電子スピンの振動方向に射影した長さが、前記電子スピンの波長の整数倍であることを特徴とする請求項1に記載の多数決論理デバイス。
- [請求項3] 前記非磁性半導体層に直接または他の層を介して積層された導波路層をさらに備え、
- 前記導波路層は、前記3つ以上の入力部の各々に直接または他の層を介して個別に接続された導波路を有し、
- 前記導波路が前記3つ以上の入力部の各々に直接または他の層を介して個別に接続されている位置に、前記導波路を通った光を各々の入力部に導くためのミラー部を有する、請求項1または2に記載の多数決論理デバイス。
- [請求項4] 前記導波路は、前記電子スピンの振動方向と略直交する方向に配置されていることを特徴とする請求項3に記載の多数決論理デバイス。
- [請求項5] 前記出力部は、前記3つ以上の入力部の各々から等しい距離に配置されることを特徴とする請求項1または2に記載の多数決論理デバイス。
- [請求項6] 前記電子スピンの波が2次元電子ガス中で発生した逆永久スピン旋回

であり、

前記3つ以上の入力部は、前記非磁性半導体層上で2次元方向に配置されることを特徴とする請求項1または2に記載の多数決論理デバイス。

[請求項7] ラッシュバスピ軌道相互作用係数を α 、ドレッセルハウスピ軌道相互作用係数を β としたとき、

α の絶対値と β の絶対値とのずれが、絶対値の平均値に対して15%以内であることを特徴とする請求項6に記載の多数決論理デバイス。

[請求項8] 前記3つ以上の入力部は多角形の各頂点に配置されることを特徴とする請求項6に記載の多数決論理デバイス。

[請求項9] 前記3つ以上の入力部は正三角形の各頂点に配置され、
前記出力部は前記正三角形の重心に配置されることを特徴とする請求項8に記載の多数決論理デバイス。

[請求項10] 前記電子スピ波が2次元電子ガスの1次元細線構造への閉じ込めによりヘリカルスピモードに変化した電子スピ波であって、
前記3つ以上の入力部は、前記非磁性半導体層上で1次元方向に配置されることを特徴とする請求項1または2に記載の多数決論理デバイス。

[請求項11] 請求項1または2に記載の多数決論理デバイスと、
前記出力部のスピ偏極を電気信号に変換する磁気抵抗素子と、
を備えた光電変換デバイス。

[請求項12] 請求項1または2に記載の多数決論理デバイスと、
光出力素子と、
を備えた光通信論理デバイス。

[請求項13] 請求項1または2に記載の多数決論理デバイスと、
波長多重光入力素子と、
を備えた光通信論理デバイス。

[請求項14] 少なくとも2種の互いに異なる偏光状態を有する光の照射により前記偏光状態に応じた位相を有する電子スピン波を生成する材料からなる非磁性半導体層を有し、前記非磁性半導体層は、光信号を入力する3つ以上の入力部を備えるとともに、前記電子スピン波が干渉した結果を出力する出力部を少なくとも1つ備え、隣接する前記入力部間の距離を前記電子スピン波の振動方向に射影した長さの前記電子スピン波の波長の整数倍からのずれが、前記波長の25%以内である多数決論理デバイスの制御方法であって、

前記光信号を右回り円偏光と左回り円偏光で変調された光信号とする、多数決論理デバイスの制御方法。

[請求項15] 前記3つ以上の入力部が第1の入力部と第2の入力部とを有し、前記第1の入力部と前記出力部との距離が、前記第2の入力部と前記出力部との距離よりも長い場合に、前記第1の入力部に入力する光信号の強度を前記第2の入力部に入力する光信号の強度よりも大きくなるように補償することを特徴とする、請求項14に記載の制御方法。

[請求項16] 前記3つ以上の入力部の少なくとも1つに、常時右回り円偏光または左回り円偏光である光信号を入力することを特徴とする、請求項14に記載の制御方法。

[請求項17] 3本以上の奇数本の信号入力用1次元細線構造が、1つの合流点で合流するように構成された2次元細線構造を有し、

前記信号入力用1次元細線構造の各々は、少なくとも2種の互いに異なる偏光状態を有する光の照射により前記偏光状態に応じて異なる位相を有する電子スピン波を生成する材料からなる非磁性半導体層を有し、

前記信号入力用1次元細線構造の各々は、前記合流点の前に光信号を入力する入力部を備え、

前記合流点に前記電子スピン波が干渉した結果を出力する出力部が

備えられており、

前記合流点と、前記信号入力用 1 次元細線構造の各々の入力部との距離を前記電子スピンの振動方向に射影した長さの、前記電子スピンの波長の整数倍からのずれが、前記波長の 25%以内であることを特徴とする多数決論理デバイス。

[請求項18] 前記電子スピンの波が 2 次元電子ガス中で発生した逆永久スピン旋回であることを特徴とする請求項 17 に記載の多数決論理デバイス。

[請求項19] ラッシュバスピンの軌道相互作用係数を α 、ドレッセルハウスピンの軌道相互作用係数を β としたとき、

α の絶対値と β の絶対値とのずれが、絶対値の平均値に対して 15%以内であることを特徴とする請求項 18 に記載の多数決論理デバイス。

[請求項20] 3 本以上の奇数本の信号入力用 1 次元細線構造が、1 つの合流点で合流するように構成された 2 次元細線構造を有し、

前記信号入力用 1 次元細線構造の各々は、少なくとも 2 種の互いに異なる偏光状態を有する光の照射により前記偏光状態に応じて異なる位相を有する電子スピンの波を生成する材料からなる非磁性半導体層を有し、

前記信号入力用 1 次元細線構造の各々は、前記合流点の前に光信号を入力する入力部を備え、

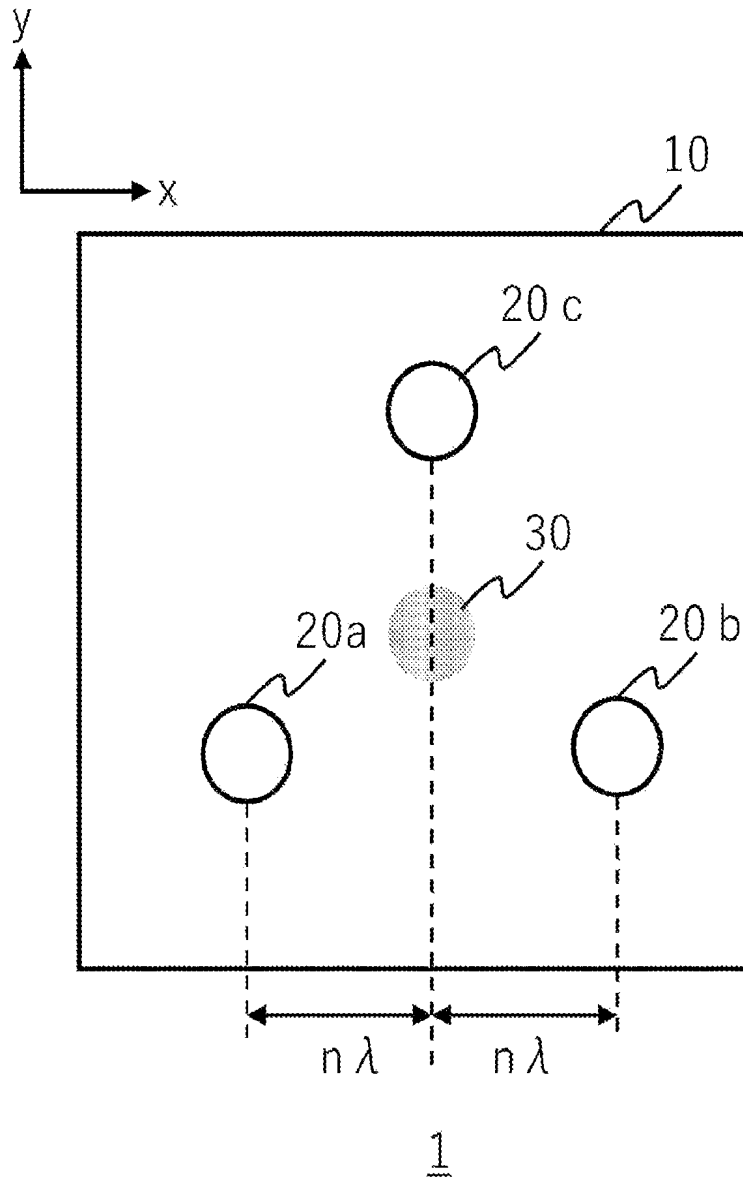
前記合流点に前記電子スピンの波が干渉した結果を出力する出力部が備えられており、

前記合流点と、前記信号入力用 1 次元細線構造の各々の入力部との距離の、前記電子スピンの波長の整数倍からのずれが、前記波長の 25%以内であることを特徴とする多数決論理デバイス。

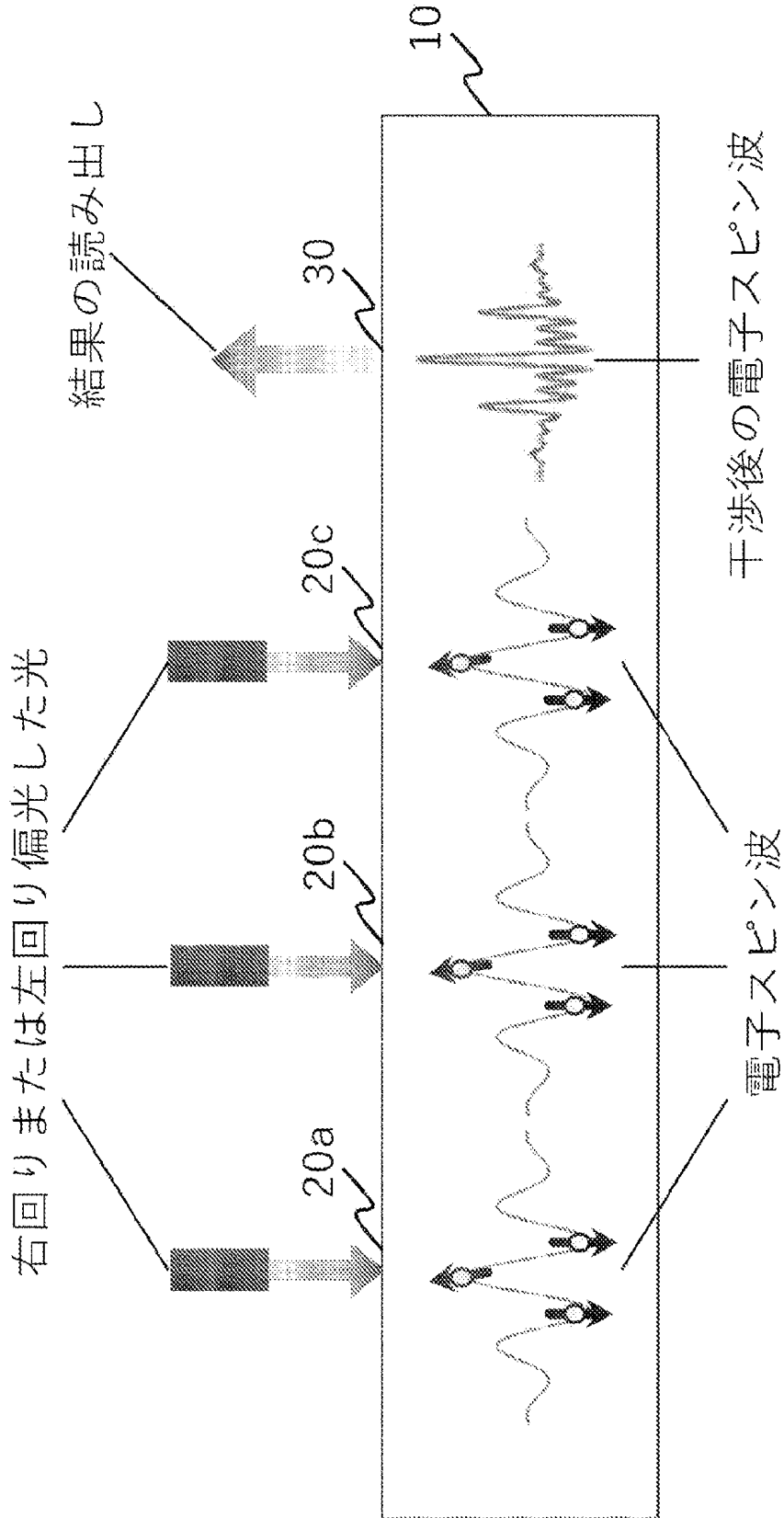
[請求項21] 前記電子スピンの波に関するスピンの軌道相互作用としてラッシュバスピンの軌道相互作用のみが働く状態であることを特徴とする請求項 20 に記載の多数決論理デバイス。

- [請求項22] 前記合流点から延びる合流1次元細線構造をさらに備え、
前記合流点に代えて、前記合流1次元細線構造に前記出力部が備えられていることを特徴とする請求項17から21のいずれかに記載の多数決論理デバイス。
- [請求項23] それぞれが請求項22に記載の多数決論理デバイスで構成された複数の細胞多数決論理デバイスを有し、
前記複数の細胞多数決論理デバイスの合流1次元細線構造が、1つの最終合流点で合流しており、
前記最終合流点に、前記電子スピン波が干渉した結果を出力する出力部が備えられていることを特徴とする多数決論理デバイス。

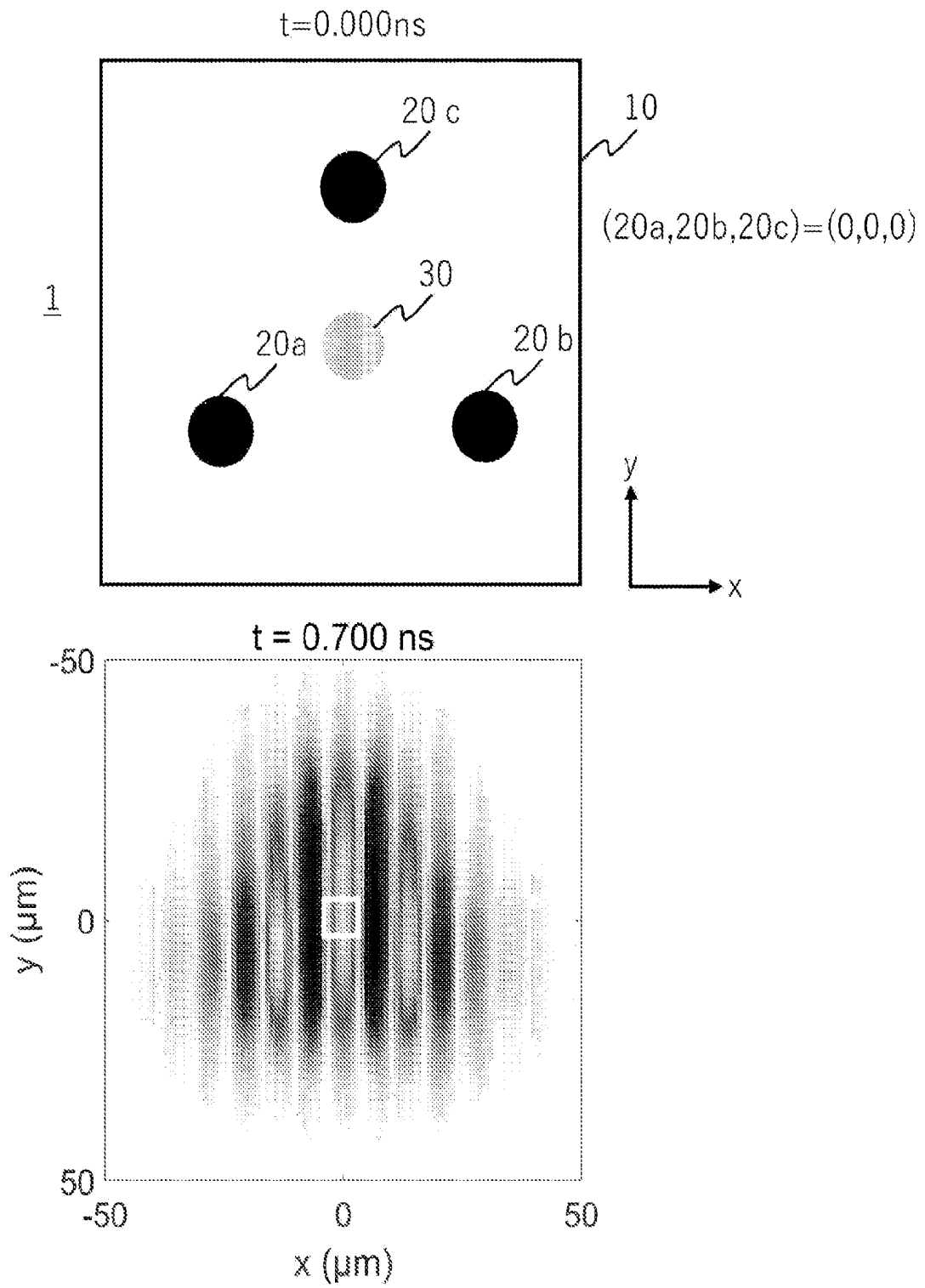
[図1]



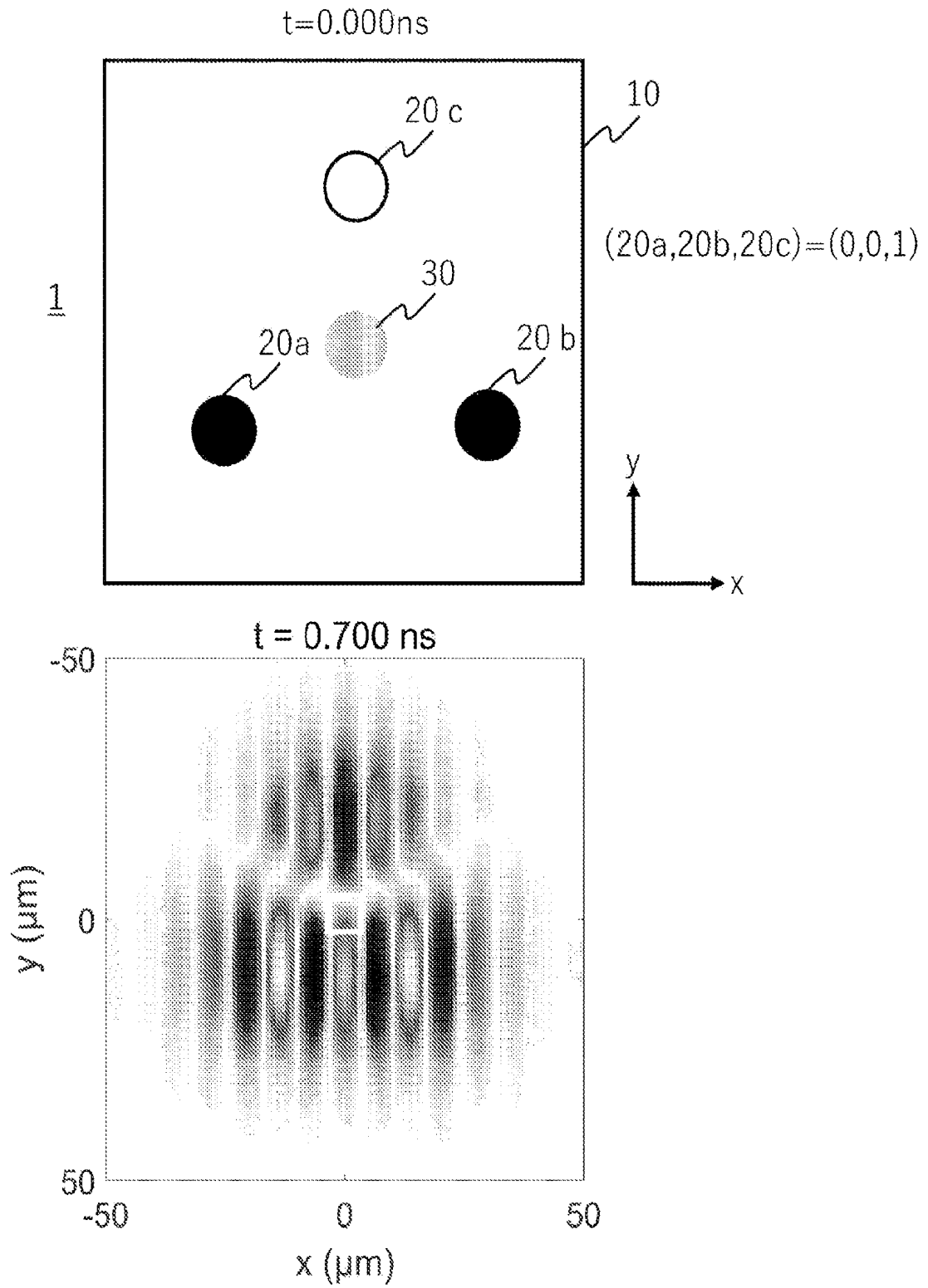
[図2]



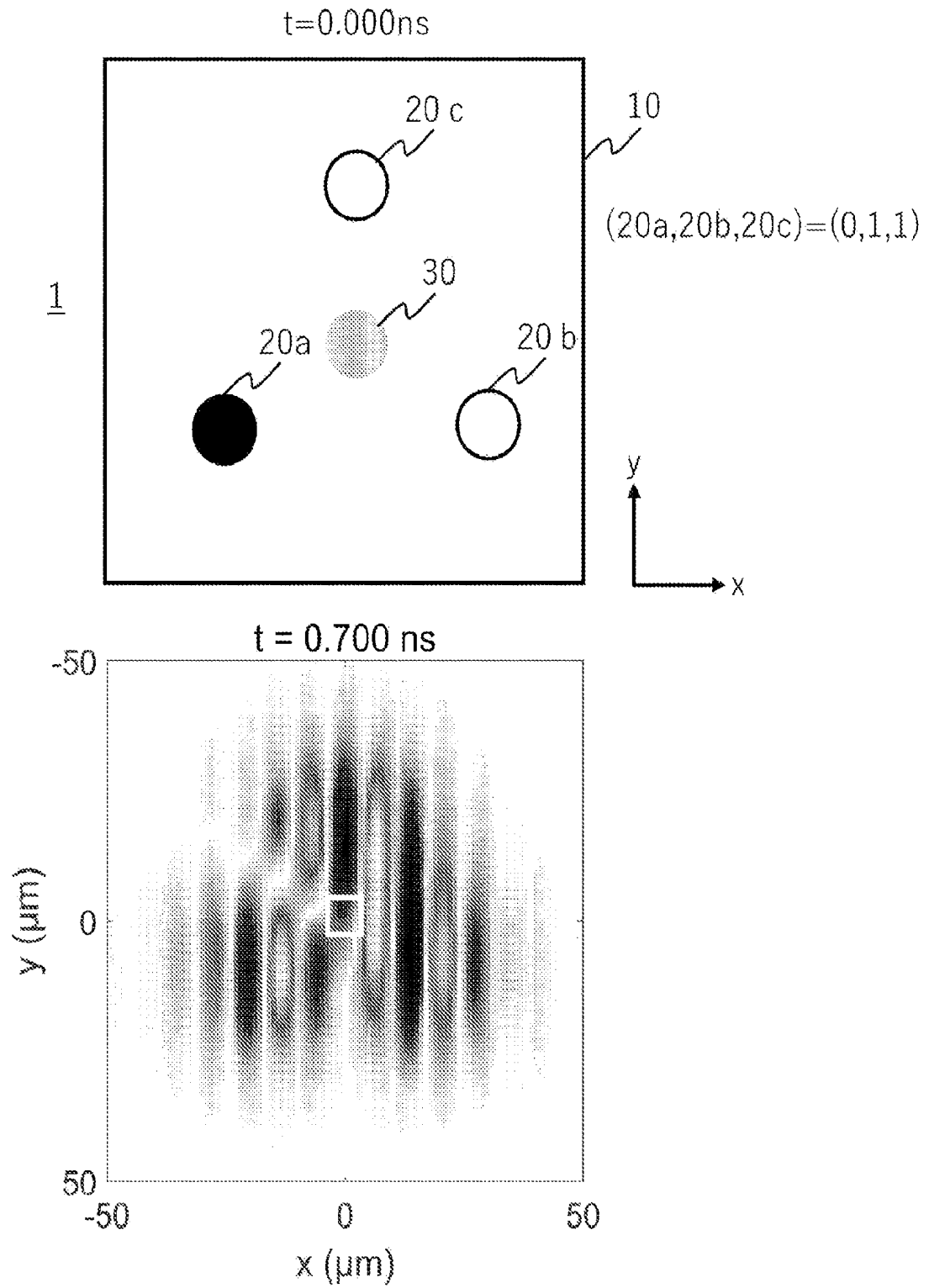
[図3]



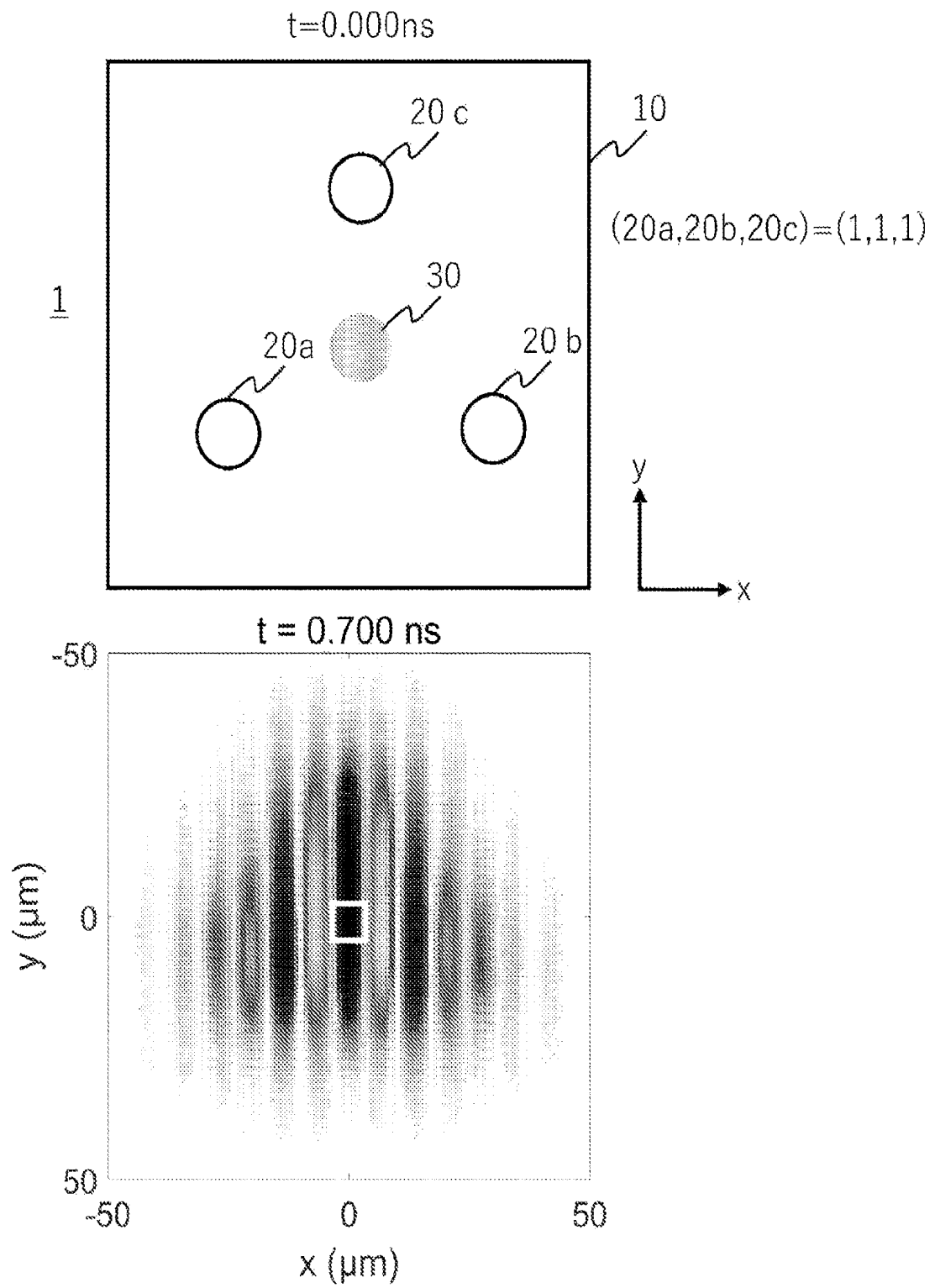
[図4]



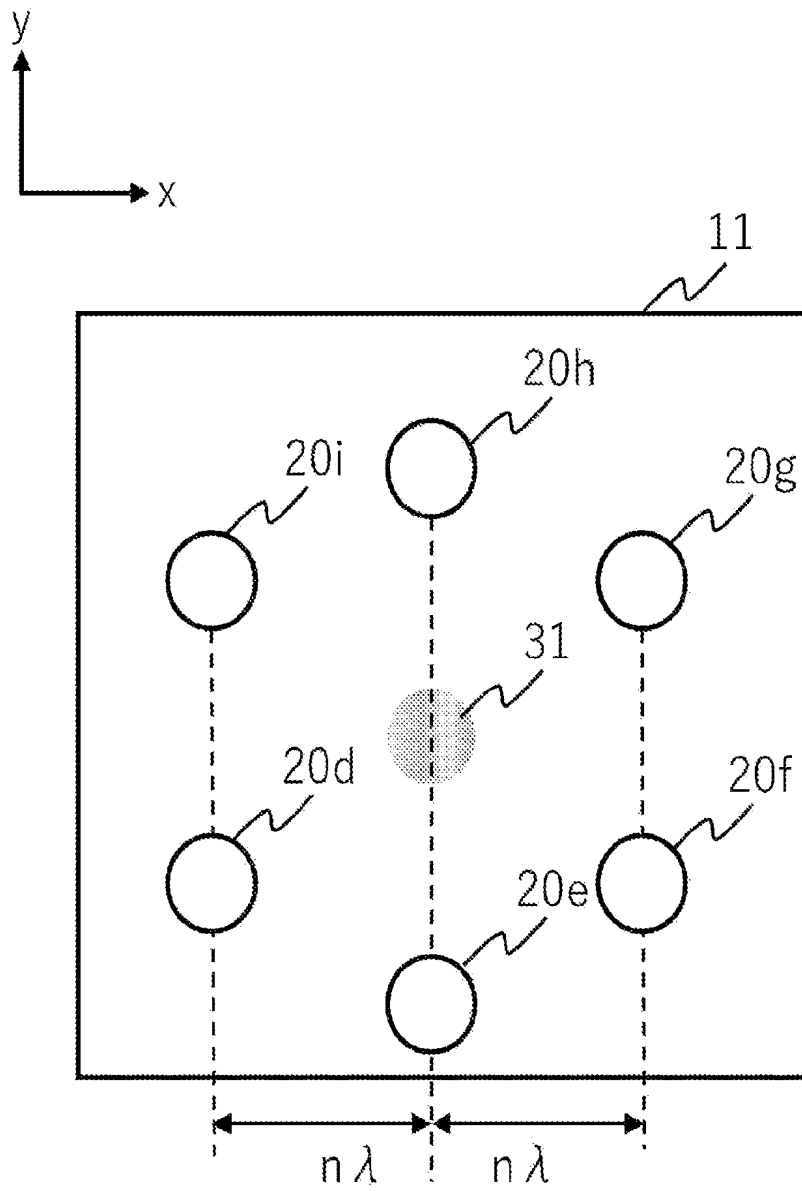
[図5]



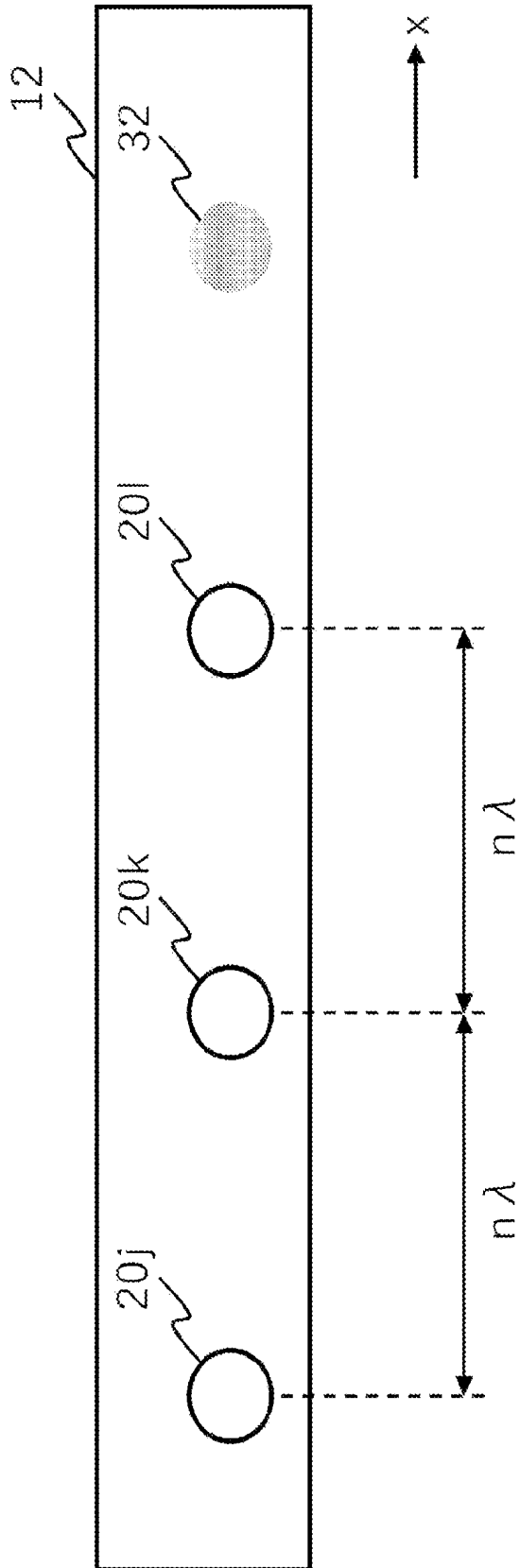
[図6]



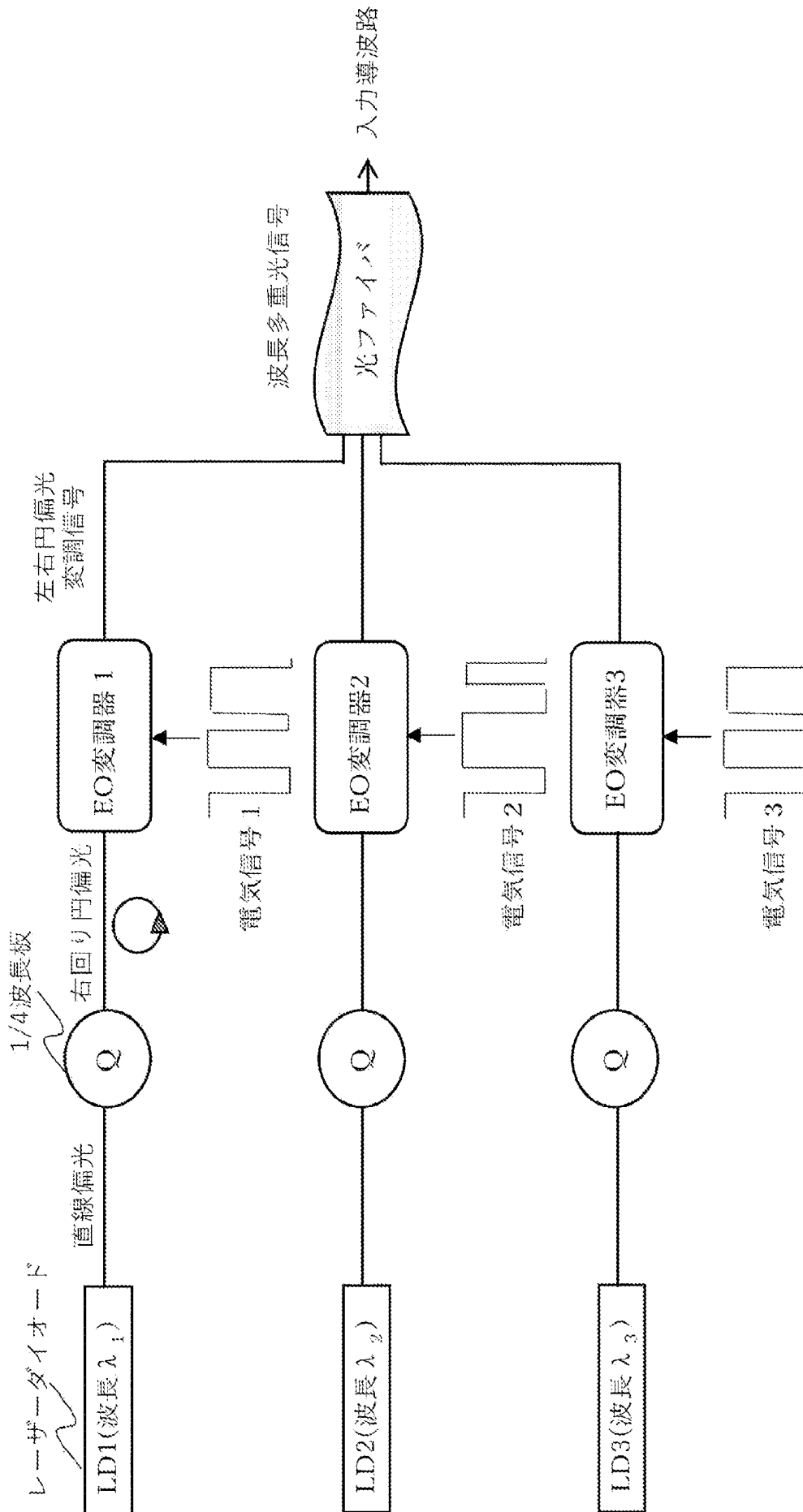
[図7]



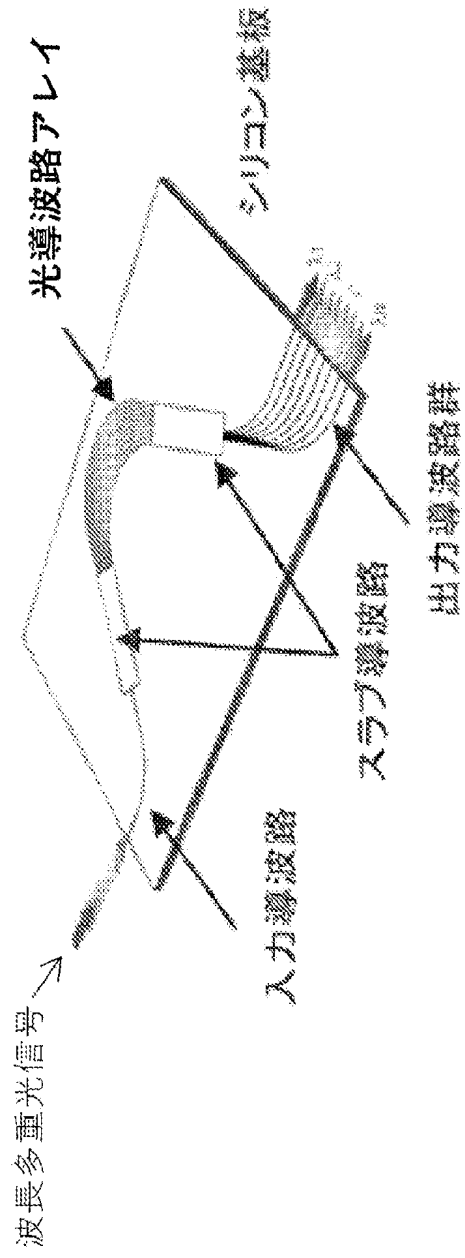
[8]



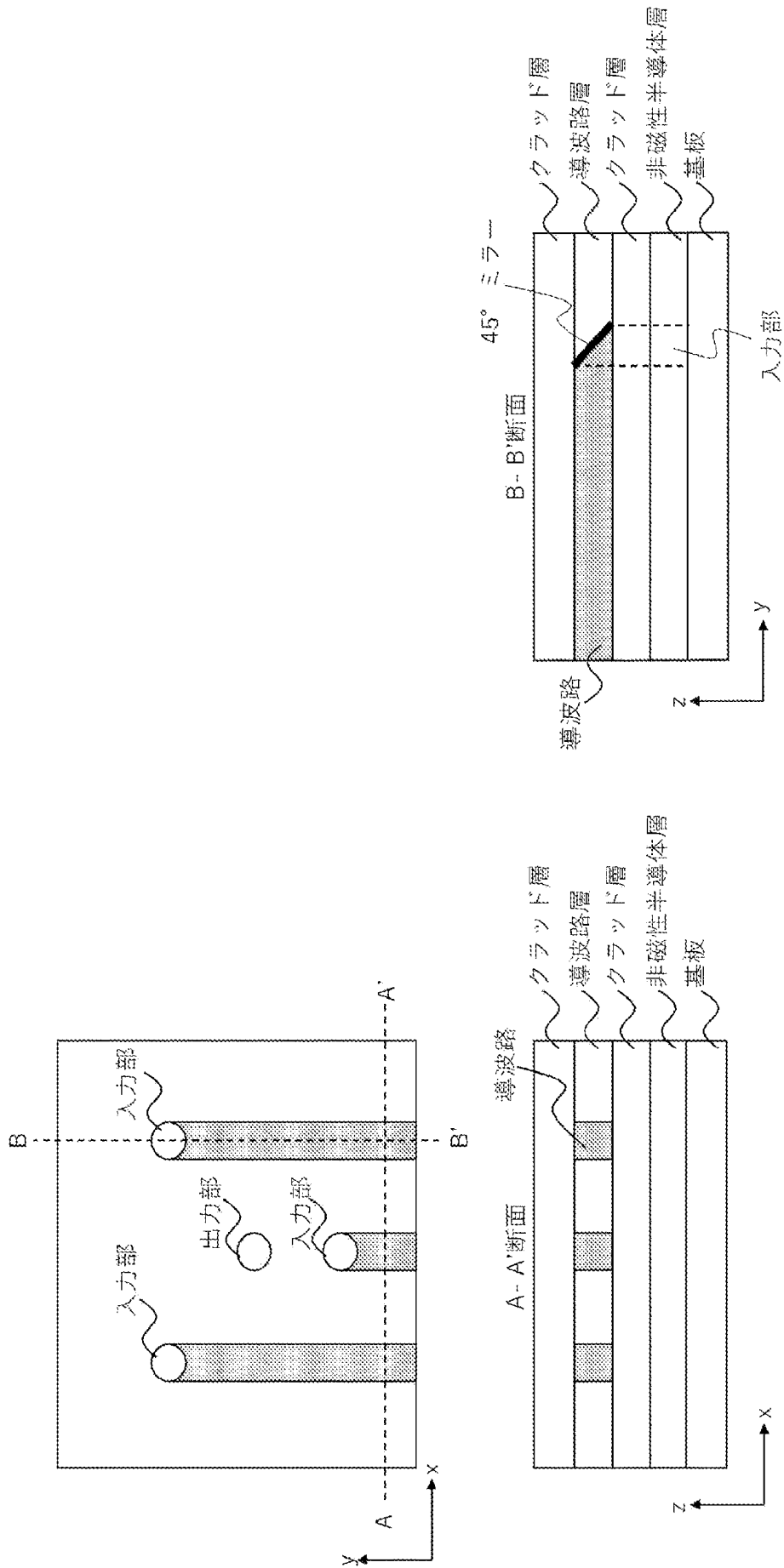
[図9]



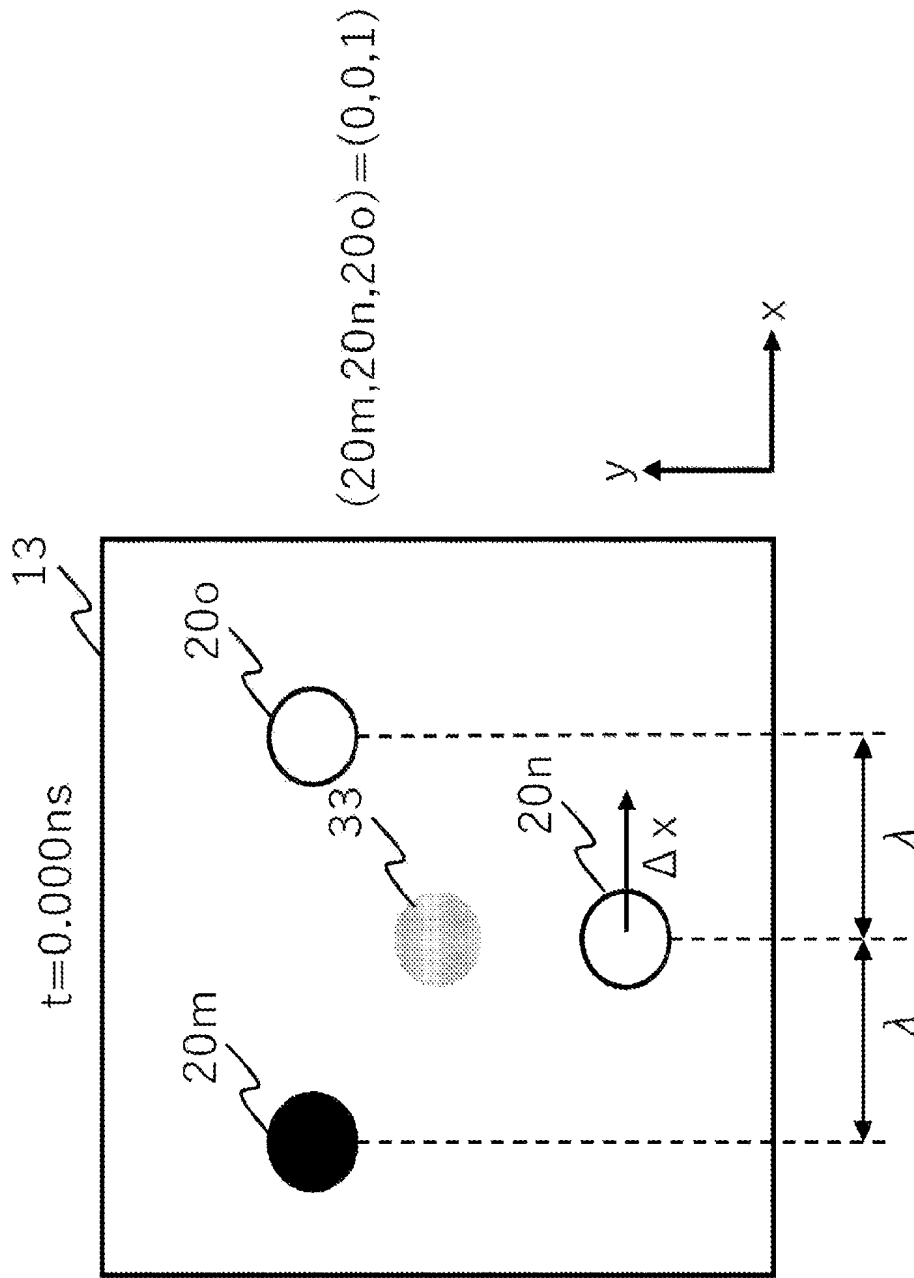
[図10]



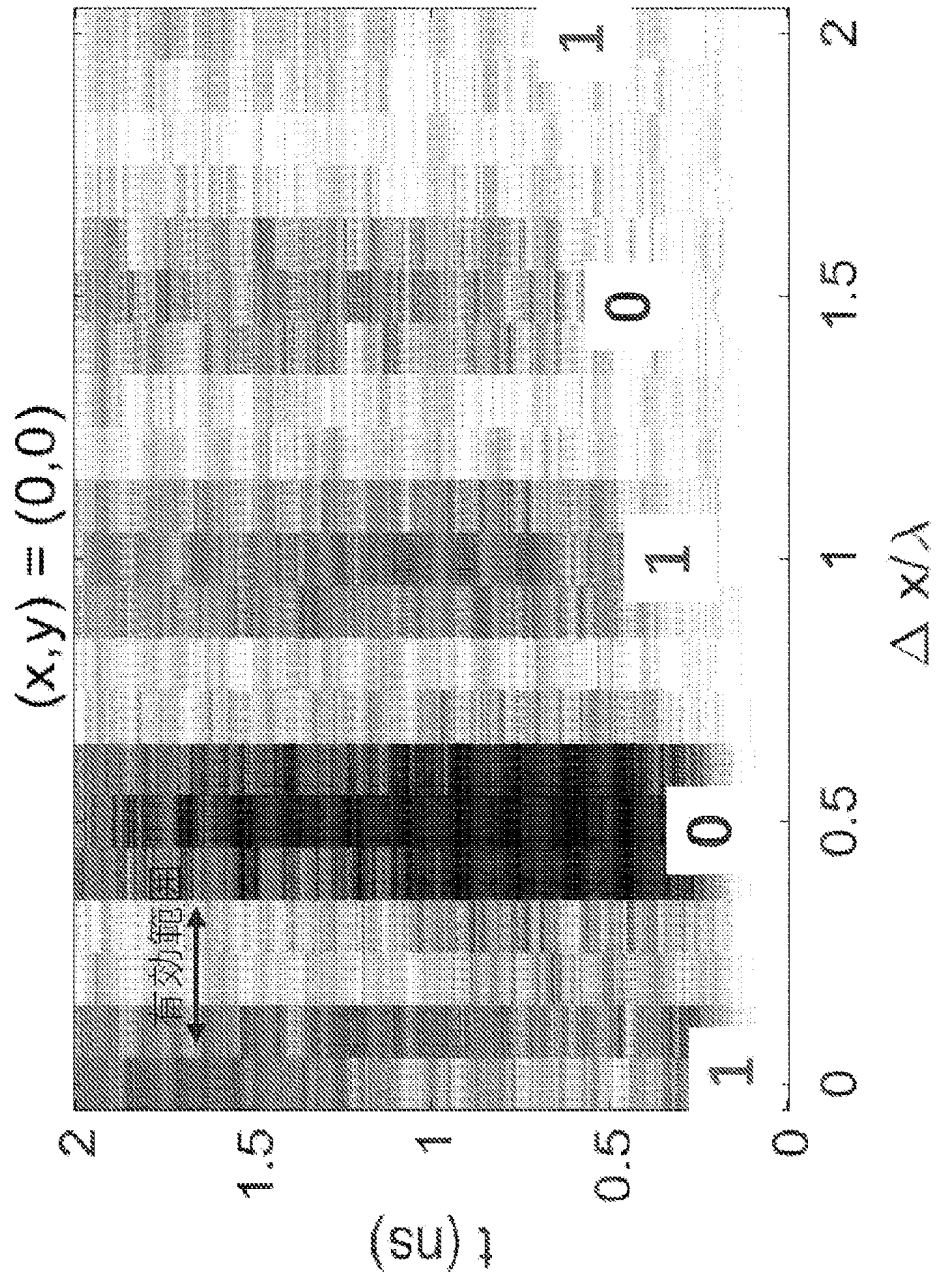
[図11]



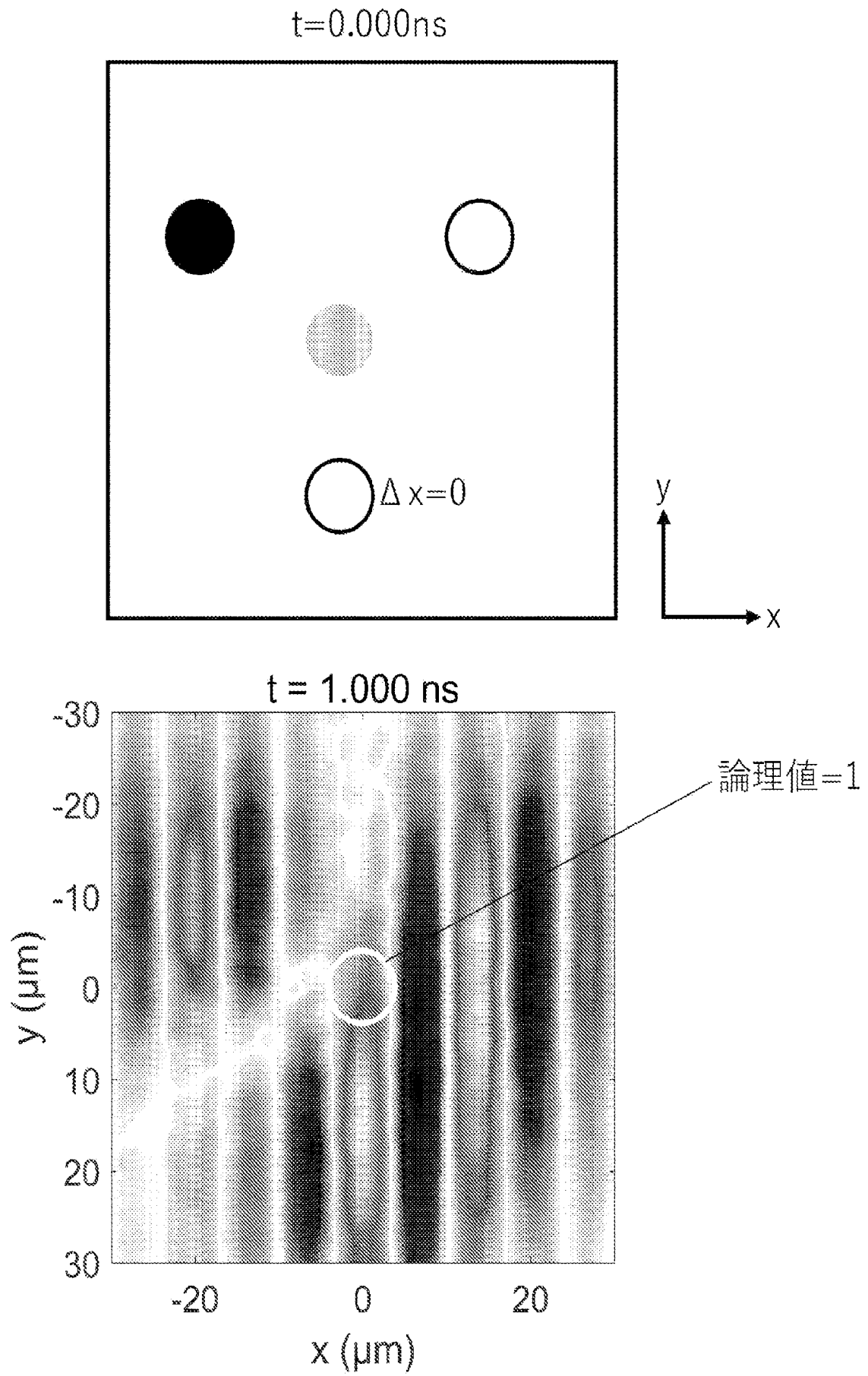
[12]



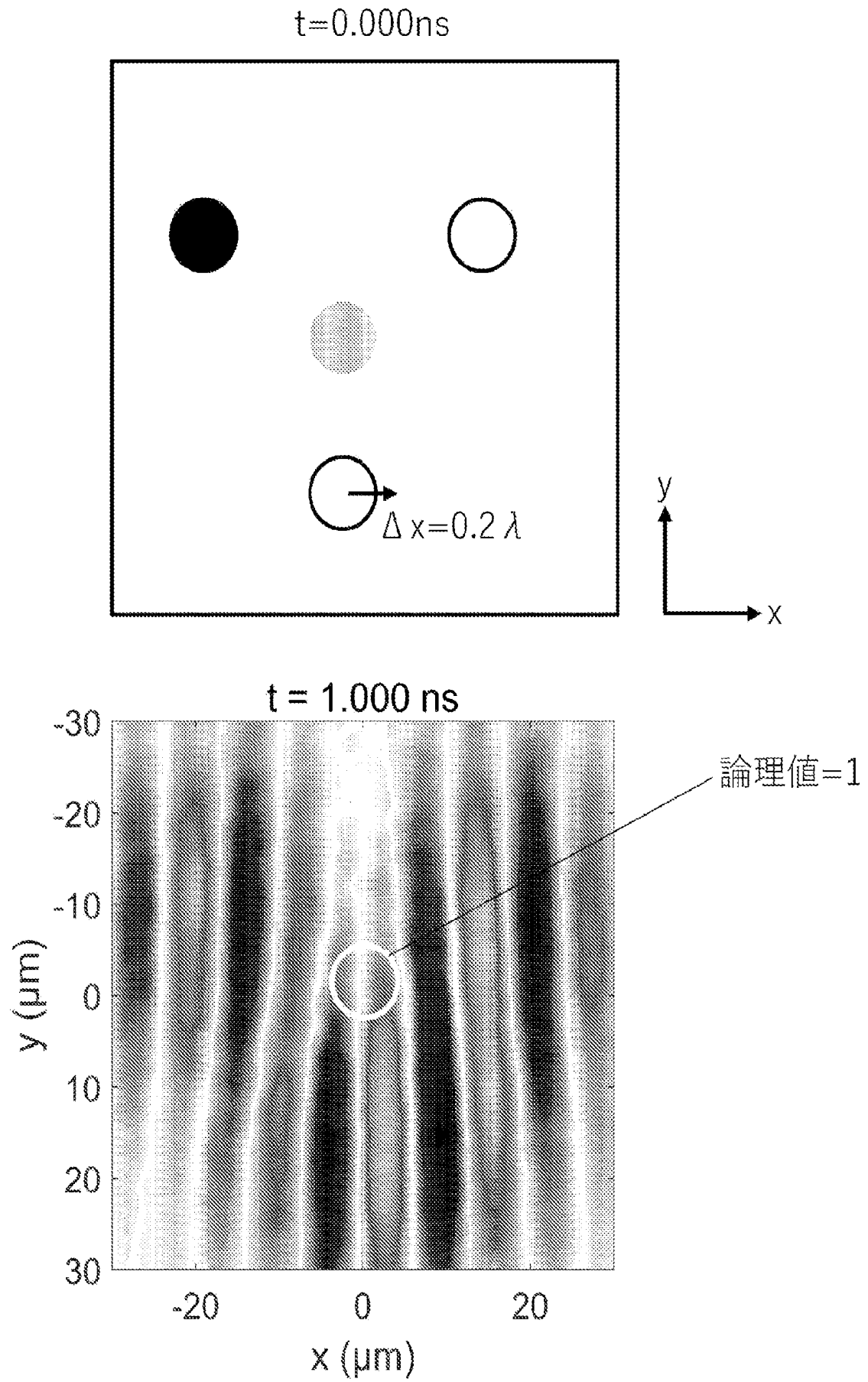
[図13]



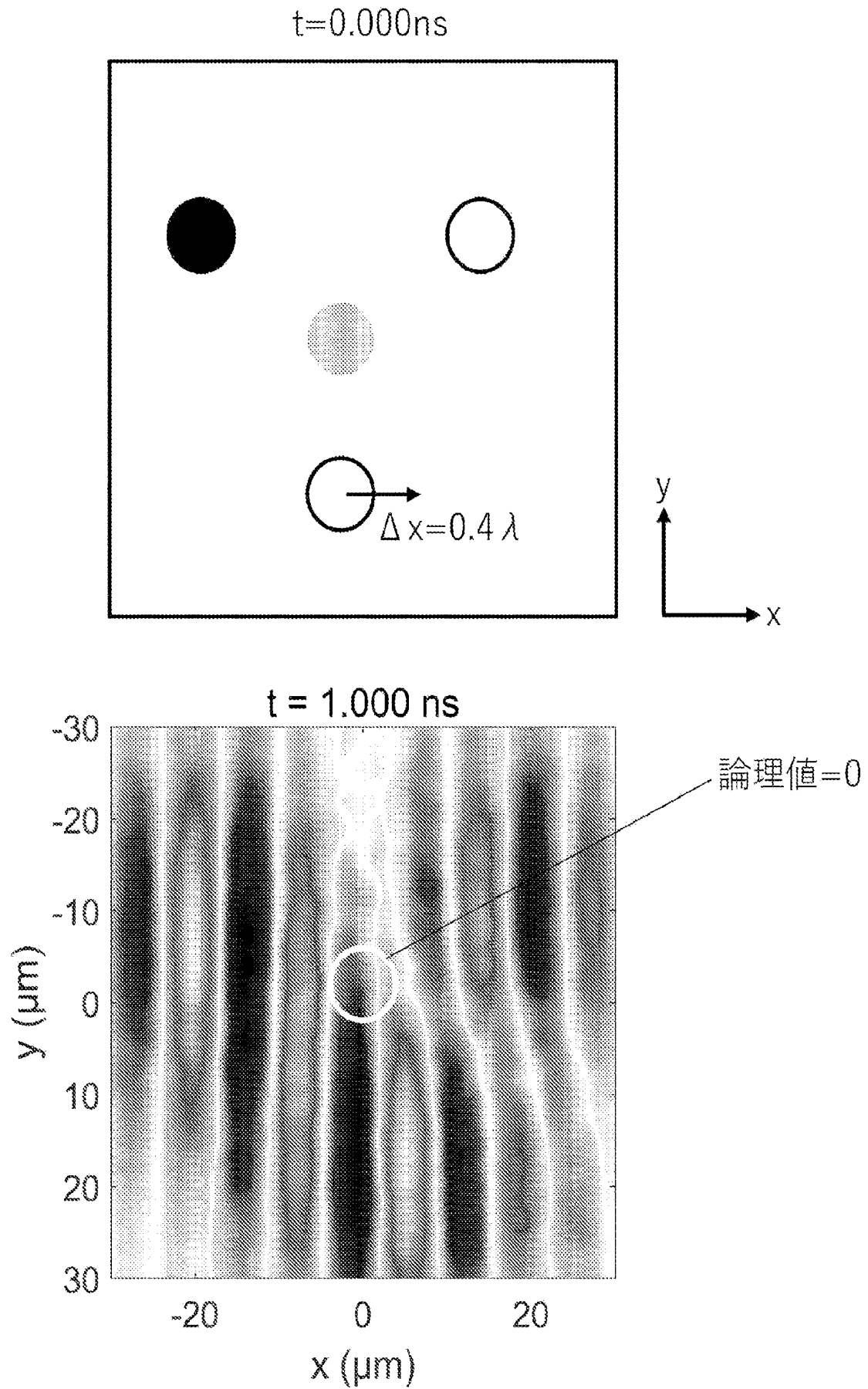
[図14]



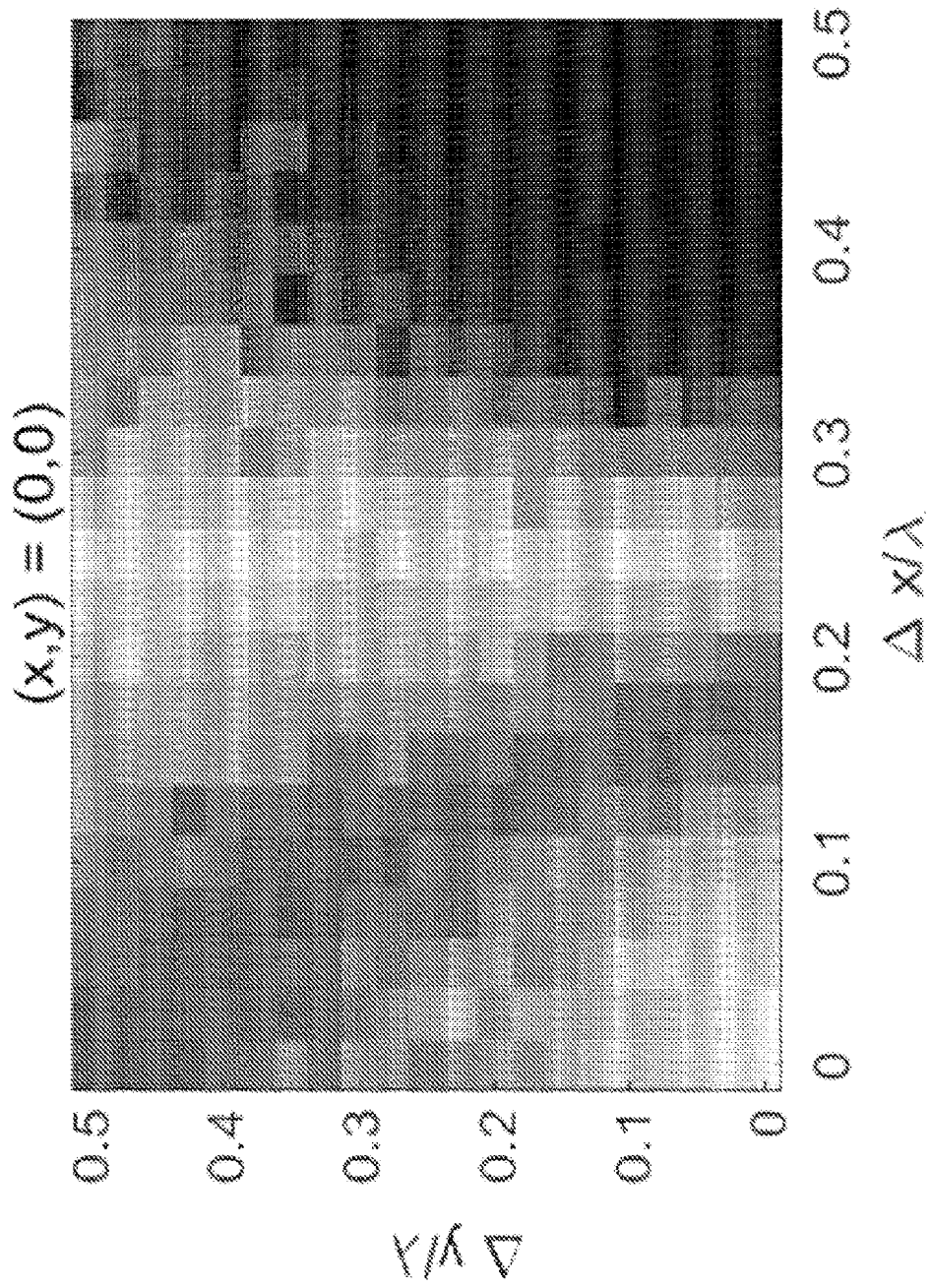
[図15]



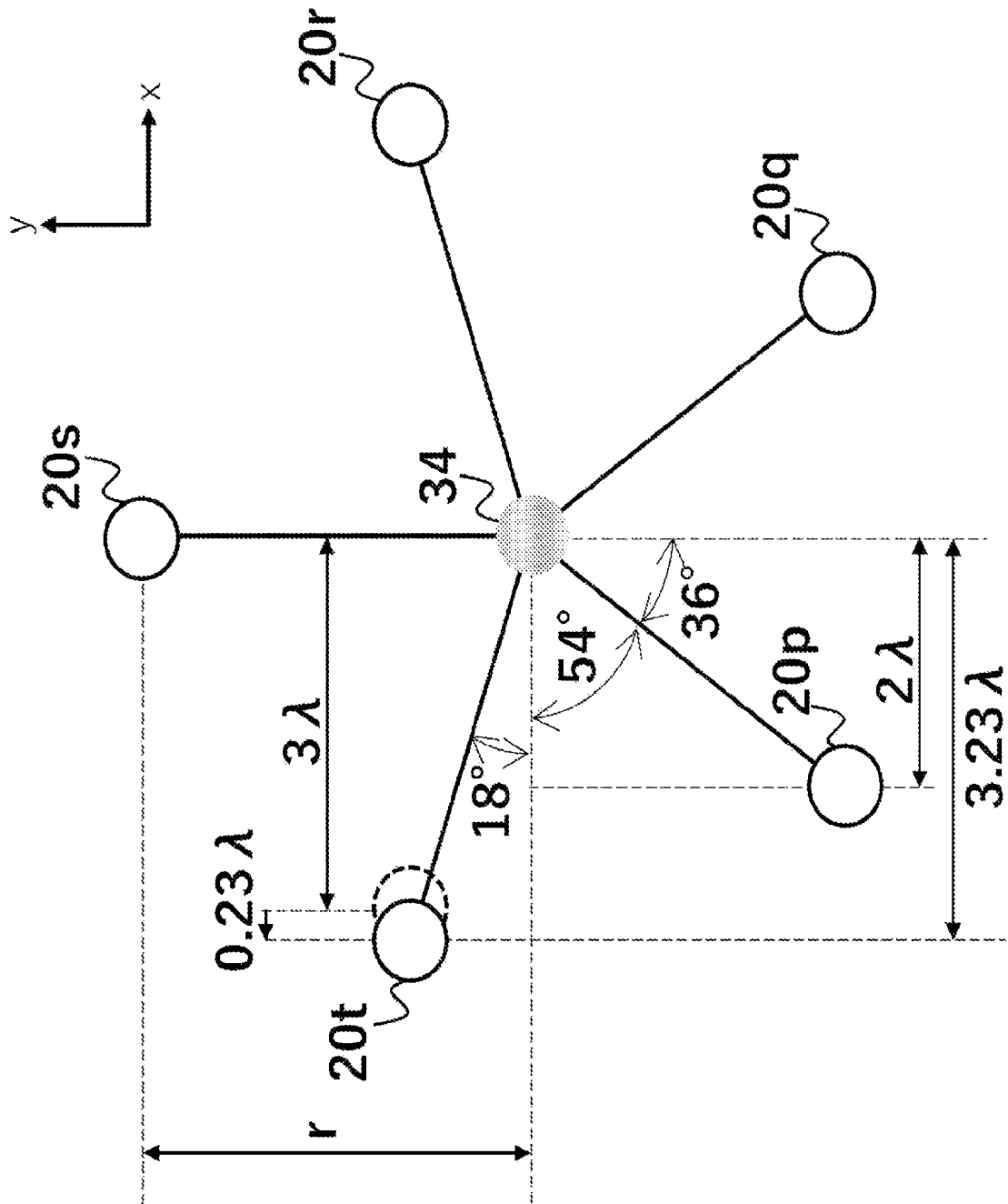
[図16]



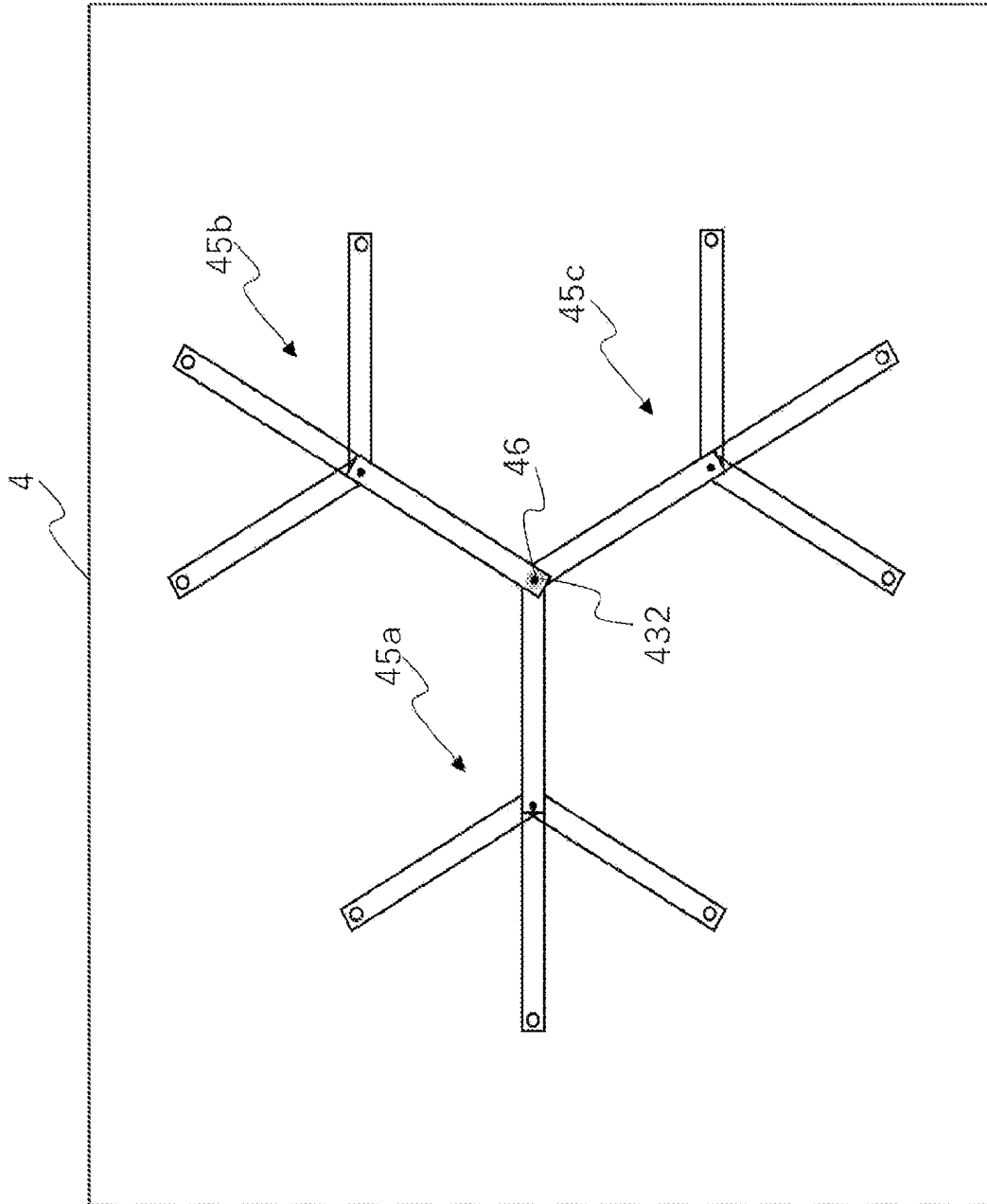
[図17]



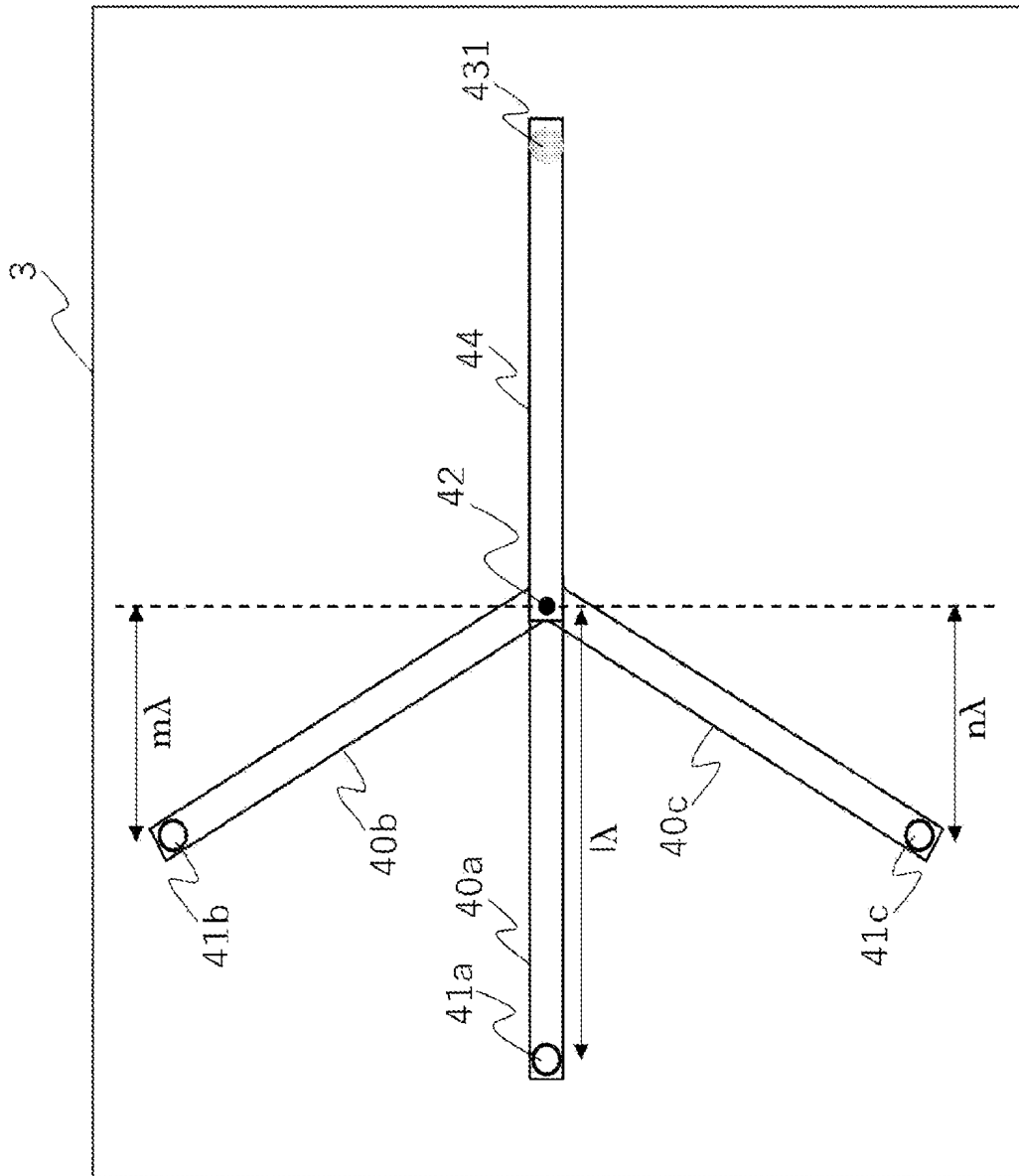
[18]



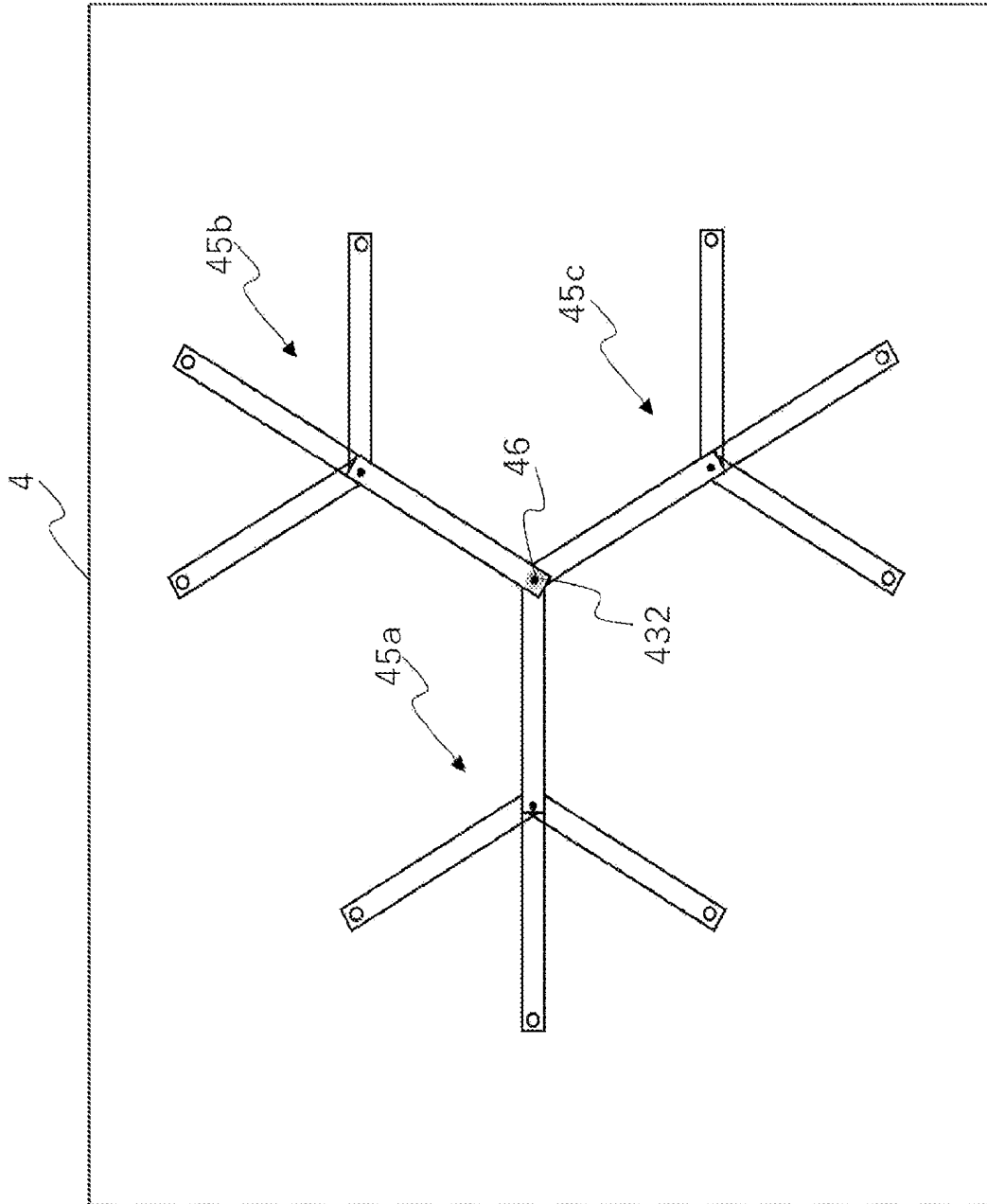
[19]



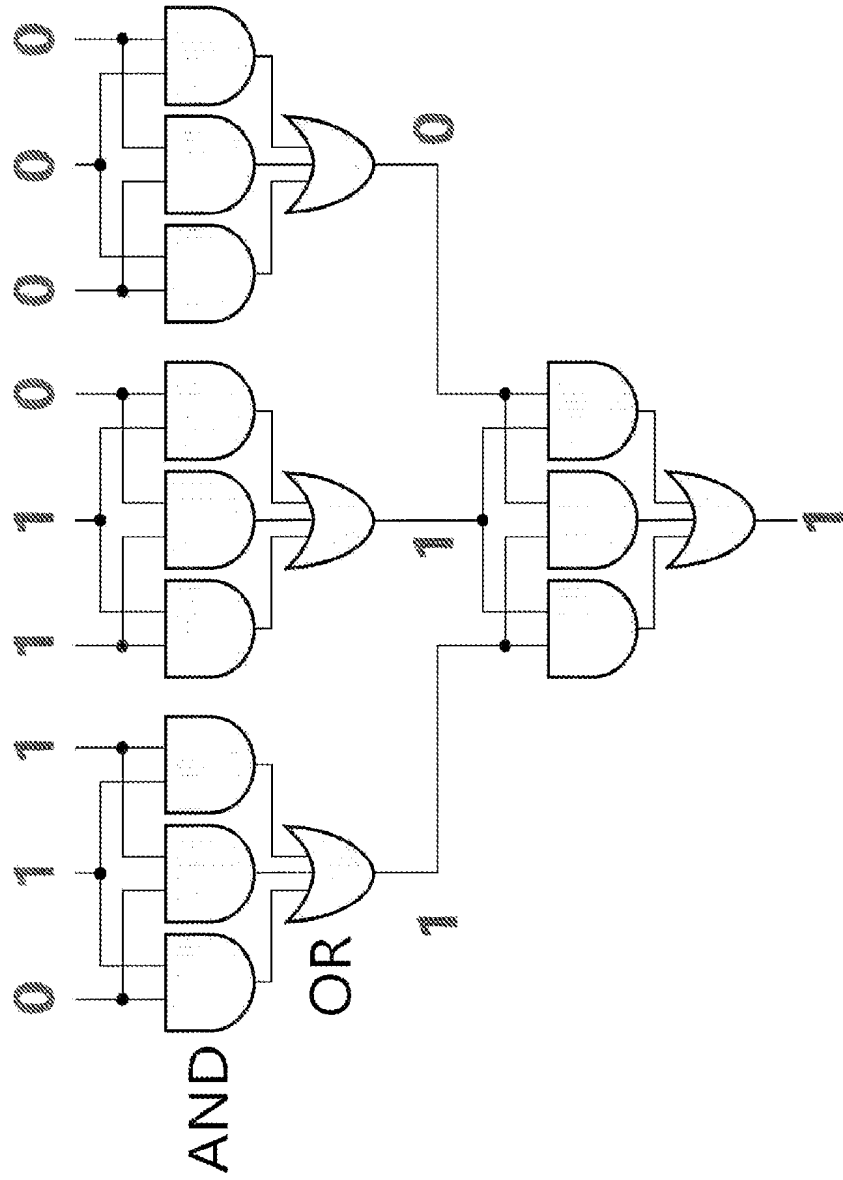
[20]



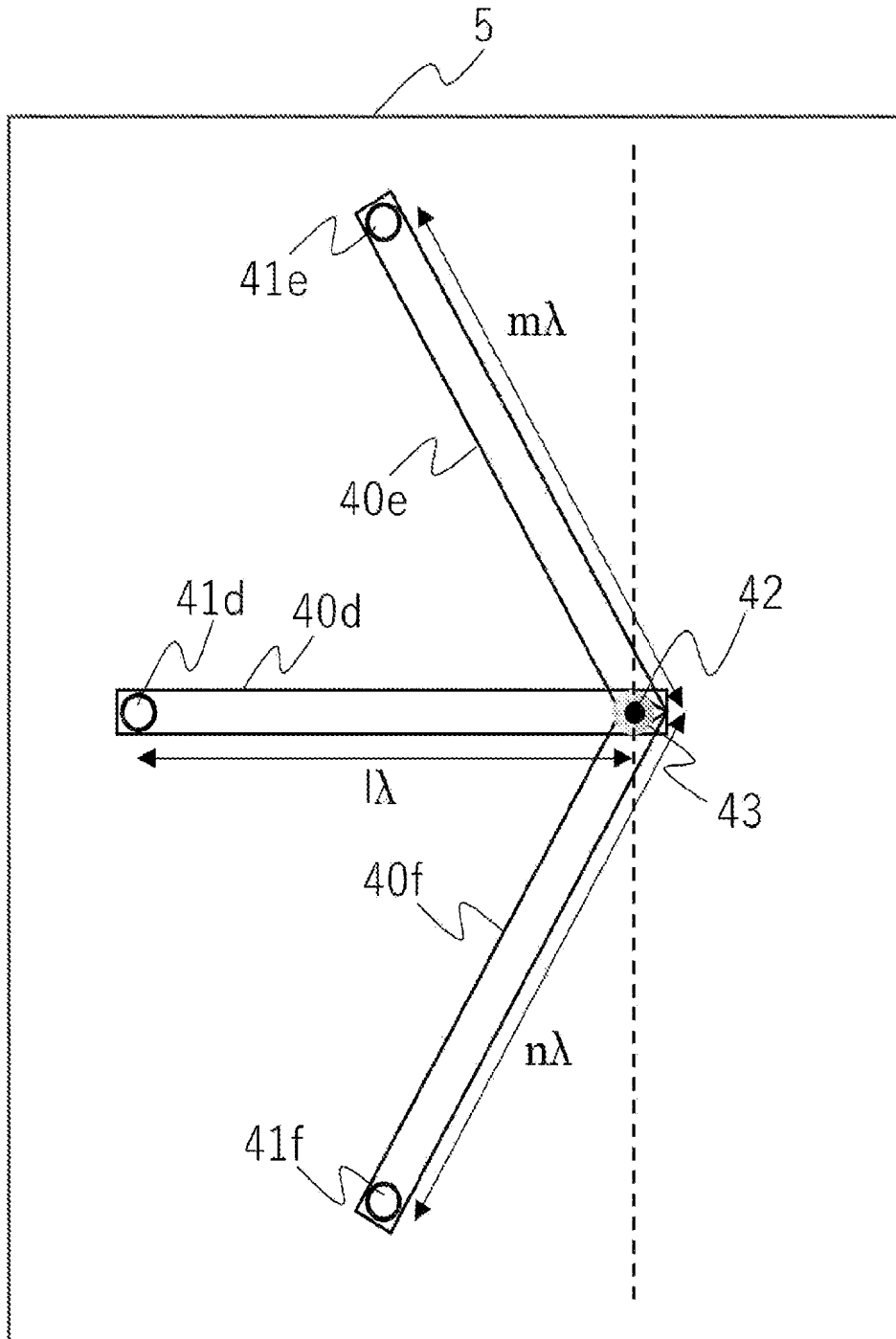
[21]



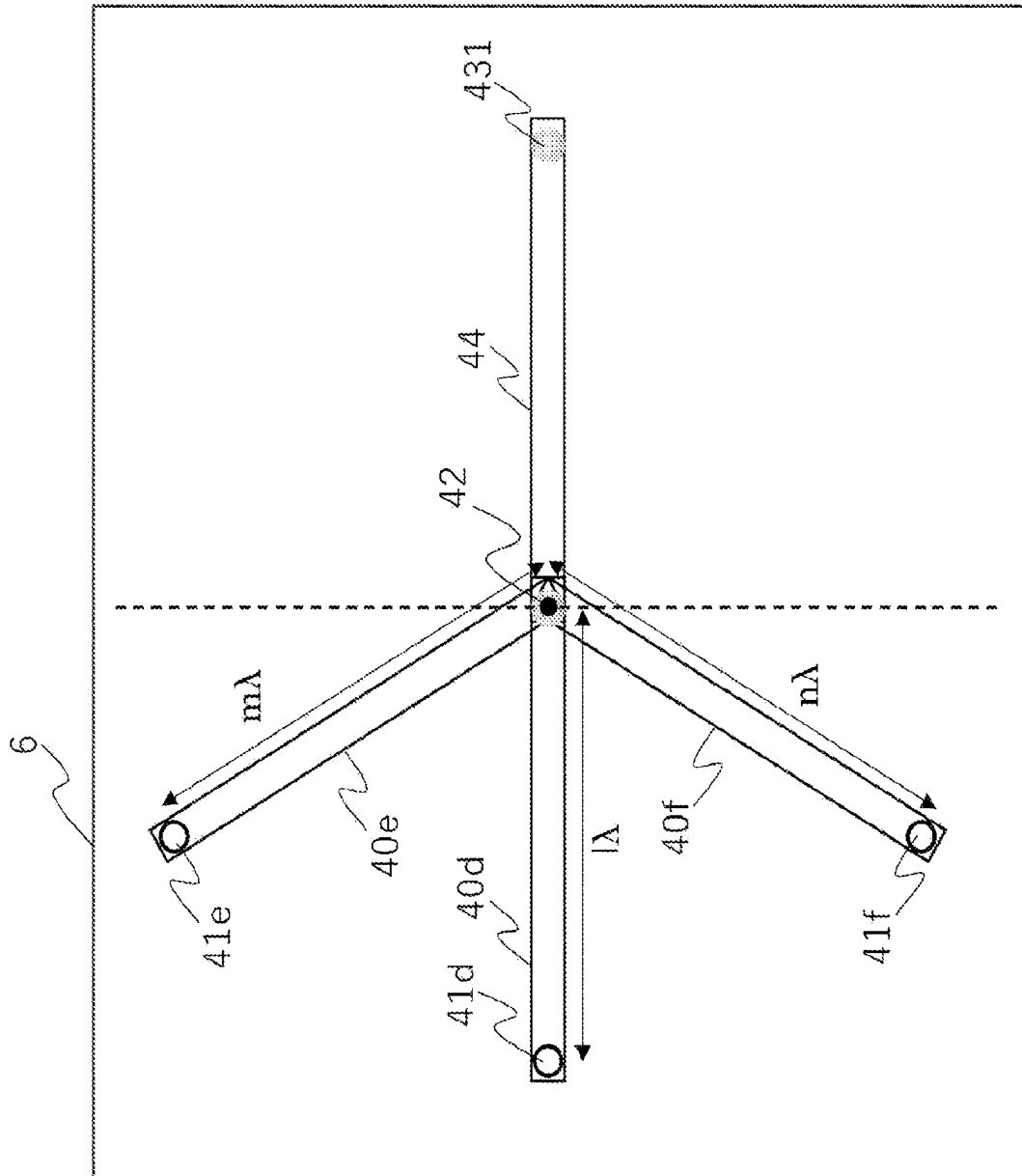
[22]



[図23]



[24]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2023/030163

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER		
<i>G06E 1/00</i> (2006.01); <i>H03K 19/23</i> (2006.01); <i>G06N 10/00</i> (2022.01); <i>H01L 29/66</i> (2006.01); <i>H01L 29/82</i> (2006.01); <i>H10N 50/10</i> (2023.01)		
FI: G06N10/00; G06E1/00; H01L29/66; H01L29/82; H03K19/23; H10N50/10		
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) G06E1/00; H03K19/23; G06N10/00; H01L29/66; H01L29/82; H10N50/10		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched Published examined utility model applications of Japan 1922-1996 Published unexamined utility model applications of Japan 1971-2023 Registered utility model specifications of Japan 1996-2023 Published registered utility model applications of Japan 1994-2023		
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	IP 2015-518267 A (INTERNATIONAL BUSINESS MACHINES CORPORATION) 25 June 2015 (2015-06-25) entire text	1-23
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input checked="" 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 19 September 2023		Date of mailing of the international search report 03 October 2023
Name and mailing address of the ISA/IP Japan Patent Office (ISA/JP) 3-4-3 Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915 Japan		Authorized officer Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/JP2023/030163

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
JP	2015-518267	A	25 June 2015	US	2013/0314985	A1	
				entire text			
				WO	2013/175326	A1	
				entire text			
				CA	2871822	A	
				entire text			
				CN	104335324	A	
				entire text			
				KR	10-2015-0034673	A	
				entire text			
				GB	2502312	A	
				entire text			

<p>A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC））</p> <p>G06E 1/00(2006.01)i; H03K 19/23(2006.01)i; G06N 10/00(2022.01)i; H01L 29/66(2006.01)i; H01L 29/82(2006.01)i; H10N 50/10(2023.01)i FI: G06N10/00; G06E1/00; H01L29/66; H01L29/82; H03K19/23; H10N50/10</p>										
<p>B. 調査を行った分野</p> <p>調査を行った最小限資料（国際特許分類（IPC））</p> <p>G06E1/00; H03K19/23; G06N10/00; H01L29/66; H01L29/82; H10N50/10</p> <p>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</p> <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 - 2023年</td> </tr> <tr> <td>日本国実用新案登録公報</td> <td>1996 - 2023年</td> </tr> <tr> <td>日本国登録実用新案公報</td> <td>1994 - 2023年</td> </tr> </table> <p>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）</p>			日本国実用新案公報	1922 - 1996年	日本国公開実用新案公報	1971 - 2023年	日本国実用新案登録公報	1996 - 2023年	日本国登録実用新案公報	1994 - 2023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 - 2023年									
日本国実用新案登録公報	1996 - 2023年									
日本国登録実用新案公報	1994 - 2023年									
<p>C. 関連すると認められる文献</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>引用文献の カテゴリー*</th> <th>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</th> <th>関連する 請求項の番号</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A</td> <td>JP 2015-518267 A（インターナショナル・ビジネス・マシーンス・コーポレーション）25.06.2015（2015-06-25） 全文</td> <td>1-23</td> </tr> </tbody> </table>			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 2015-518267 A（インターナショナル・ビジネス・マシーンス・コーポレーション）25.06.2015（2015-06-25） 全文	1-23		
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 2015-518267 A（インターナショナル・ビジネス・マシーンス・コーポレーション）25.06.2015（2015-06-25） 全文	1-23								
<p><input type="checkbox"/> C欄の続きにも文献が列挙されている。 <input checked="" type="checkbox"/> パテントファミリーに関する別紙を参照。</p>										
<p>* 引用文献のカテゴリー</p> <p>“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</p> <p>“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</p> <p>“P” 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）</p> <p>“O” 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献</p> <p>“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以後に公表された文献</p> <p>“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抵触するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの</p> <p>“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</p> <p>“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</p> <p>“&” 同一パテントファミリー文献</p>										
<p>国際調査を完了した日</p> <p>19.09.2023</p>	<p>国際調査報告の発送日</p> <p>03.10.2023</p>									
<p>名称及びあて先</p> <p>日本国特許庁(ISA/JP) 〒100-8915 日本国 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号</p>	<p>権限のある職員（特許庁審査官）</p> <p>牛丸 太希 53 6297</p> <p>電話番号 03-3581-1101 内線 3545</p>									

国際調査報告
 パテントファミリーに関する情報

国際出願番号
 PCT/JP2023/030163

引用文献	公表日	パテントファミリー文献	公表日
JP 2015-518267 A	25.06.2015	US 2013/0314985 A1 全文	
		WO 2013/175326 A1 全文	
		CA 2871822 A 全文	
		CN 104335324 A 全文	
		RR 10-2015-0034673 A 全文	
		GB 2502312 A 全文	
