(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
2025年4月3日(03.04.2025)

WIPO | PCT

(10) 国際公開番号
WO 2025/069381 A1

(51) 国際特許分類:
H10N 60/10 (2023.01) *H10N 69/00* (2023.01)
H10N 60/12 (2023.01)

(21) 国際出願番号： PCT/JP2023/035657

(22) 国際出願日： 2023年9月29日(29.09.2023)

(25) 国際出願の言語： 日本語

(26) 国際公開の言語： 日本語

(71) 出願人: 富士通株式会社(**FUJITSU LIMITED**) [JP/JP]; 〒2118588 神奈川県川崎市中原区上小田中４丁目１番１号 (JP).

(72) 発明者: 才田 大輔(**SAIDA, Daisuke**); 〒2118588 神奈川県川崎市中原区上小田中４丁目１番１号 富士通株式会社内 (JP). 芝 祥一(**SHIBA, Shoichi**); 〒2118588 神奈川県川崎市中原区上小田中４丁目１番１号 富士通株式会社内 (JP).

(74) 代理人: 伊東 忠重, 外(**ITOH, Tadashige** 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） １６階 (JP).

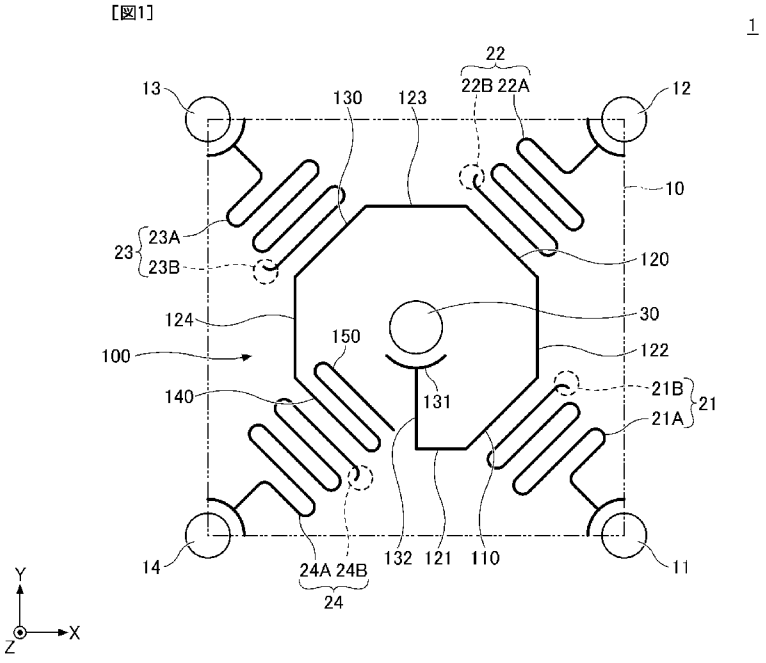
(81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, 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,

WO 2025/069381 A1

(54) **Title:** QUANTUM DEVICE

(54) 発明の名称： 量子デバイス

[図1]



(57) **Abstract:** A quantum device comprises a plurality of superconducting qubits, a plurality of resonators capacitively coupled to each of the plurality of the superconducting qubits, a filter coupled to the plurality of the resonators, and a port capacitively coupled to the filter, wherein the shortest distance between the port and the resonators is the same between the plurality of the resonators. The quantum device can be used in, for example, quantum computing.

［続葉有］

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:

一 国際調査報告(条約第21条(3))

(57) 要約:量子デバイスは、複数の超伝導量子ビットと、複数の前記超伝導量子ビットの各々に容量結合した複数の共振器と、複数の前記共振器に結合したフィルタと、前記フィルタに容量結合したポートと、を有し、前記ポートと前記共振器との間の最短距離は、複数の前記共振器の間で等しい。量子デバイスは、例えば量子コンピューティングに使用できる。

明　細　書

発明の名称 ： 量子デバイス

技術分野

[0001]　本開示は、量子デバイスに関する。

背景技術

[0002]　１つの読み出しポートに複数の量子ビットが共振器及びフィルタを介して結合された量子デバイスが提案されている。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献1：特表２０１８－５３３２５３号公報

特許文献2：特表２０１９－５３０３３６号公報

特許文献3：特開２０２２－１７２１８９号公報

特許文献4：米国特許出願第２０１６／０１１２０３１号明細書

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0004]　従来の量子デバイスでは、複数の共振器の間で寄生容量が相違しやすい。

[0005]　本開示の目的は、共振器の寄生容量のばらつきを抑制することができる量子デバイスを提供することにある。

課題を解決するための手段

[0006]　本開示の一形態によれば、複数の超伝導量子ビットと、複数の前記超伝導量子ビットの各々に容量結合した複数の共振器と、複数の前記共振器に結合したフィルタと、前記フィルタに容量結合したポートと、を有し、前記ポートと前記共振器との間の最短距離は、複数の前記共振器の間で等しい量子デバイスが提供される。

発明の効果

[0007]　本開示によれば、共振器の寄生容量のばらつきを抑制することができる。

図面の簡単な説明

[0008] [図1]図１は、第１実施形態に係る量子デバイスを示す平面図である。

[図2]図２は、参考例に係る量子デバイスを示す平面図である。

[図3]図３は、共鳴周波数の計算結果を示す図である。

[図4]図４は、第２実施形態に係る量子デバイスを示す平面図である。

[図5]図５は、第３実施形態に係る量子デバイスを示す平面図である。

[図6]図６は、第４実施形態に係る量子デバイスを示す平面図である。

[図7]図７は、第５実施形態に係る量子デバイスを示す平面図である。

[図8]図８は、第６実施形態に係る量子デバイスを示す平面図である。

[図9]図９は、第７実施形態に係る量子デバイスを示す平面図である。

[図10]図１０は、参考例に係る量子デバイスについてのシミュレーションの結果を示す図である。

[図11]図１１は、第４実施形態に係る量子デバイスについてのシミュレーションの結果を示す図である。

[図12]図１２は、第６実施形態に係る量子デバイスについてのシミュレーションの結果を示す図である。

発明を実施するための形態

[0009] 以下、本開示の実施形態について添付の図面を参照しながら具体的に説明する。なお、本明細書及び図面において、実質的に同一の機能構成を有する構成要素については、同一の符号を付することにより重複した説明を省くことがある。以下の説明では、ＸＹＺ直交座標系を用いるが、当該座標系は、説明のために定めるものであって、量子デバイスの姿勢について限定するものではない。また、任意の点からみて、＋Ｚ側を上方、上側または上ということがあり、－Ｚ側を下方、下側または下ということがある。また、平面視とは、＋Ｚ側から対象物を視ることをいい、平面形状とは、対象物を＋Ｚ側から視た形状のことをいう。

[0010] （第１実施形態）

まず、第１実施形態について説明する。第１実施形態は量子デバイスに関

する。図１は、第１実施形態に係る量子デバイスを示す平面図である。

[0011] 図１に示すように、第１実施形態に係る量子デバイス１は量子ビット１１、１２、１３及び１４を有する。量子ビット１１～１４は超伝導量子ビットであり、例えばジョセフソン接合を含む。量子ビット１１～１４は、平面視で正方形１０の頂点にある。量子ビット１１及び１２の各々のＸ座標は同一であり、量子ビット１３及び１４の各々のＸ座標は同一である。量子ビット１１及び１４の各々のＹ座標は同一であり、量子ビット１２及び１３の各々のＹ座標は同一である。量子ビット１１は量子ビット１４の＋Ｘ側にあり、量子ビット１２は量子ビット１３の＋Ｘ側にある。量子ビット１２は量子ビット１１の＋Ｙ側にあり、量子ビット１３は量子ビット１４の＋Ｙ側にある。量子ビット１１～１４は、例えば３－１０ＧＨｚの共鳴周波数を有する。

[0012] 量子デバイス１は読み出しポート３０を有する。読み出しポート３０は正方形１０の中心にある。読み出しポート３０は、例えば円形状の金属膜を有する。

[0013] 量子デバイス１は共振器２１、２２、２３及び２４を有する。共振器２１は、基部２１Ａと、基部２１Ａに繋がる共鳴周波数調整部２１Ｂとを有する。共振器２２は、基部２２Ａと、基部２２Ａに繋がる共鳴周波数調整部２２Ｂとを有する。共振器２３は、基部２３Ａと、基部２３Ａに繋がる共鳴周波数調整部２３Ｂとを有する。共振器２４は、基部２４Ａと、基部２４Ａに繋がる共鳴周波数調整部２４Ｂとを有する。

[0014] 基部２１Ａ、２２Ａ、２３Ａ及び２４Ａの形状及び大きさは互いに同一である。すなわち、平面視で基部２１Ａ、２２Ａ、２３Ａ及び２４Ａは合同である。基部２１Ａ、２２Ａ、２３Ａ及び２４Ａはミアンダ形状を有する線路を含む。基部２１Ａは、読み出しポート３０と量子ビット１１とを結ぶ線分に垂直に延びる部分を有する。基部２２Ａは、読み出しポート３０と量子ビット１２とを結ぶ線分に垂直に延びる部分を有する。基部２３Ａは、読み出しポート３０と量子ビット１３とを結ぶ線分に垂直に延びる部分を有する。基部２４Ａは、読み出しポート３０と量子ビット１４とを結ぶ線分に垂直に

延びる部分を有する。基部２１Ａは量子ビット１１に容量結合している。基部２２Ａは量子ビット１２に容量結合している。基部２３Ａは量子ビット１３に容量結合している。基部２４Ａは量子ビット１４に容量結合している。基部２１Ａ、２２Ａ、２３Ａ及び２４Ａは、読み出しポート３０を中心にして４回回転対称となるように配置されている。読み出しポート３０と基部２１Ａ、２２Ａ、２３Ａ及び２４Ａの各々との間の最短距離は、共振器２１～２４の間で等しい。

[0015] 共鳴周波数調整部２１Ｂ、２２Ｂ、２３Ｂ及び２４Ｂは、僅かに経路長が相違する線路を有する。この線路は接地線に短絡されている。共振器２１～２４の間で僅かに共鳴周波数が相違する。例えば、共振器２１の共鳴周波数は１０．１ＧＨｚであり、共振器２２の共鳴周波数は１０．２ＧＨｚであり、共振器２３の共鳴周波数は１０．３ＧＨｚであり、共振器２４の共鳴周波数は１０．４ＧＨｚである。共鳴周波数調整部２１Ｂ、２２Ｂ、２３Ｂ及び２４Ｂの各々は、基部２１Ａ、２２Ａ、２３Ａ及び２４Ａの各々の読み出しポート３０に最も近い部分から離れている。読み出しポート３０と共振器２１～２４の各々との間の最短距離は、共振器２１～２４の間で等しい。

[0016] 量子デバイス１はフィルタ１００を有する。フィルタ１００は共振器２１～２４に結合している。例えば、フィルタ１００は共振器２１～２４に容量結合している。また、読み出しポート３０はフィルタ１００に容量結合している。フィルタ１００は、線路１１０、１２０、１３０、１４０、１５０、１２１、１２２、１２３、１２４、１３１及び１３２を有する。

[0017] 線路１３１は読み出しポート３０の近傍に設けられ、読み出しポート３０の外縁に沿った平面形状を有する。線路１３１の平面形状は、例えば円弧状である。線路１３１は読み出しポート３０の－Ｙ側にある。線路１３２は線路１３１に繋がり、線路１３１から－Ｙ側にＹ軸に沿って延びる。

[0018] 線路１２１は線路１３２に繋がり、線路１３２の－Ｙ側の端部から＋Ｘ側にＸ軸に沿って延びる。線路１１０は線路１２１に繋がり、線路１２１の＋Ｘ側の端部から＋Ｘ側かつ＋Ｙ側に、読み出しポート３０と量子ビット１１

とを結ぶ線分に垂直に延び、読み出しポート３０と量子ビット１１とを結ぶ線分と交差する。線路１２２は線路１１０に繋がり、線路１１０の＋Ｘ側かつ＋Ｙ側の端部から＋Ｙ側にＹ軸に沿って延びる。線路１２０は線路１２２に繋がり、線路１２２の＋Ｙ側の端部から－Ｘ側かつ＋Ｙ側に、読み出しポート３０と量子ビット１２とを結ぶ線分に垂直に延び、読み出しポート３０と量子ビット１２とを結ぶ線分と交差する。線路１２３は線路１２０に繋がり、線路１２０の－Ｘ側かつ＋Ｙ側の端部から－Ｘ側にＸ軸に沿って延びる。線路１３０は線路１２３に繋がり、線路１２３の－Ｘ側の端部から－Ｘ側かつ－Ｙ側に、読み出しポート３０と量子ビット１３とを結ぶ線分に垂直に延び、読み出しポート３０と量子ビット１３とを結ぶ線分と交差する。線路１２４は線路１３０に繋がり、線路１３０の－Ｘ側かつ－Ｙ側の端部から－Ｙ側にＹ軸に沿って延びる。線路１４０は線路１２４に繋がり、線路１２４の－Ｙ側の端部から＋Ｘ側かつ－Ｙ側に、読み出しポート３０と量子ビット１４とを結ぶ線分に垂直に延び、読み出しポート３０と量子ビット１４とを結ぶ線分と交差する。線路１５０は線路１４０に繋がり、線路１４０の＋Ｘ側かつ－Ｙ側の端部から読み出しポート３０に向かって蛇行するミアンダ形状を有する。

[0019] フィルタ１００の経路長は、波長λの１倍程度であってもよい。例えば、量子ビットの共鳴周波数、６ＧＨｚにおいて、量子ビットから発された光子の伝搬を防ぐ目的として、その波長λに対して１／２程度である。一方で、このフィルタは共振器２１～２４の共鳴する周波数、例えば１０ＧＨｚの信号は伝搬を妨げない。フィルタ１００の経路長が波長λの１倍程度又は１／２倍程度である場合、フィルタ１００の読み出しポート３０側とは反対側の端部は開放される。

[0020] 線路１１０、１２０、１３０及び１４０は、読み出しポート３０を中心にして４回回転対称となるように配置されている。読み出しポート３０と線路１１０、１２０、１３０及び１４０の各々との間の最短距離は互いに等しい。また、線路１１０と基部２１Ａとの間の最短距離、線路１２０と基部２２

Ａとの間の最短距離、線路１３０と基部２３Ａとの間の最短距離及び線路１４０と基部２４Ａとの間の最短距離は互いに等しい。

[0021] 量子デバイス１においては、読み出しポート３０に１０ＧＨｚの信号を入力することで、量子ビット１１～１４の状態を同時に読み出すことができる。すなわち、共振器２１～２４の共鳴周波数が相違するため、読み出した信号を周波数分離することで量子ビット１１～１４の状態を同時に読み出すことができる。

[0022] また、読み出しポート３０と共振器２１～２４の各々との間の最短距離は、共振器２１～２４の間で等しい。このため、共振器２１～２４に寄生する容量の相違を小さくすることができる。寄生容量の相違が大きい場合、共振器２１～２４の共鳴周波数が設計値からずれやすくなるおそれがある。また、共振器２１～２４の間で共鳴周波数のずれ量が相違して、周波数分離しにくくなるおそれもある。本実施形態によれば、これらの支障を低減することができる。

[0023] また、共振器２１～２４は、例えば超伝導薄膜を含むが、超伝導薄膜の厚さにむらがある場合でも、上記最短距離が共振器２１～２４の間で等しいことで、厚さのむらの程度の均一性が高くなる。従って、厚さのむらに伴う共鳴周波数のずれ量の均一性も高く、超伝導薄膜の厚さにむらがある場合でも、確実に周波数分離することができる。

[0024] また、量子デバイス１に、チップモード又は不要モードの抑制等のためにビアホールが形成されてもよい。ビアホールは共振器２１～２４の前に形成されてもよく、共振器２１～２４の後に形成されてもよい。ビアホールが共振器２１～２４の前に形成される場合、共振器２１～２４の形成のためのレジストの厚さがビアホールの影響を受け得る。しかし、上記最短距離が共振器２１～２４の間で等しいことで、共振器２１～２４を形成する領域の周囲でのレジストの厚さに高い均一性を得やすい。また、ビアホールが共振器２１～２４の後に形成される場合、ビアホールの形成のためのレジストの厚さ及び露光時の干渉が共振器２１～２４の影響を受け得る。しかし、上記最短

距離が共振器２１～２４の間で等しいことで、共振器２１～２４を形成する領域の周囲でのレジストの厚さ及び露光時の干渉に高い均一性を得やすい。

[0025] なお、フィルタ１００が共振器２１～２４に磁気的に結合していてもよい。

[0026] ここで、第１実施形態の効果について、参考例と比較しながら更に説明する。図２は、参考例に係る量子デバイスを示す平面図である。

[0027] 図２に示すように、参考例に係る量子デバイス１Ｘは、フィルタ１００に代えてフィルタ１００Ｘを有し、共振器２４に代えて共振器２４Ｘを有する。量子デバイス１Ｘの他の構成は量子デバイス１と同様である。

[0028] フィルタ１００Ｘは、線路１２４に代えて線路１２４Ｘを有し、線路１４０に代えて線路１４０Ｘを有する。フィルタ１００Ｘの他の構成はフィルタ１００と同様である。線路１２４Ｘは線路１２４より短い。線路１４０Ｘは線路１２４Ｘの－Ｙ側の端部から－Ｘ側かつ－Ｙ側に若干延び、そこから線路１４０と同様に、＋Ｘ側かつ－Ｙ側に、読み出しポート３０と量子ビット１４とを結ぶ線分に垂直に延び、読み出しポート３０と量子ビット１４とを結ぶ線分と交差する。線路１５０は線路１４０Ｘに繋がり、線路１４０Ｘの＋Ｘ側かつ－Ｙ側の端部から読み出しポート３０に向かって蛇行するミアンダ形状を有する。

[0029] 量子デバイス１Ｘでは、読み出しポート３０と線路１４０Ｘとの間の最短距離が、読み出しポート３０と線路１１０、１２０及び１３０の各々との間の最短距離よりも長い。また、読み出しポート３０と線路１５０の間の最短距離が、読み出しポート３０と線路１１０、１２０及び１３０の各々との間の最短距離と等しい。

[0030] 共振器２４Ｘは、基部２４ＡＸと、基部２４Ａに繋がる共鳴周波数調整部２４Ｂとを有する。基部２４ＡＸは基部２４Ａよりも周期が短いミアンダ形状を有する線路を含む。読み出しポート３０と共振器２４Ｘとの間の最短距離は、読み出しポート３０と共振器２１、２２及び２３の各々との間の最短距離よりも長い。共振器２４Ｘの他の構成は共振器２４と同様である。

[0031] 本願発明者は、シミュレーションにより第１実施形態及び参考例に倣って量子デバイスを製造した場合の共鳴周波数を計算した。第１実施形態では、共振器２１及び２４の共鳴周波数を計算し、参考例では、共振器２１及び２４Ｘの共鳴周波数を計算した。この時、共振器２１の設計上の共鳴周波数Ｆ１は１０．１８ＧＨｚとし、共振器２４及び２４Ｘの共鳴周波数は１０．２７とした。共鳴周波数の計算結果を図３に示す。図３は、共鳴周波数の計算結果を示す図である。図３に示すように、第１実施形態に倣って製造する量子デバイスでは、共振器２１及び２４の共鳴周波数は設計値とほぼ一致していた。一方、参考例に倣って製造する量子デバイスでは、共振器２１及び２４Ｘの共鳴周波数は設計値よりも高くなった。

[0032] この結果から、第１実施形態によれば、共鳴周波数の変動を抑制する効果が得られることが裏付けられる。

[0033] （第２実施形態）

次に、第２実施形態について説明する。第２実施形態は、主としてフィルタの構成の点で第１実施形態と相違する。図４は、第２実施形態に係る量子デバイスを示す平面図である。

[0034] 図４に示すように、第２実施形態に係る量子デバイス２は、フィルタ１００に代えてフィルタ２００を有する。フィルタ２００は、線路１２２に代えて線路２２２Ａ、２２２Ｂ、２２２Ｃ、２２２Ｄ及び２２２Ｅを有し、線路１２３に代えて線路２２３Ａ、２２３Ｂ、２２３Ｃ、２２３Ｄ及び２２３Ｅを有し、線路１２４に代えて線路２２４Ａ、２２４Ｂ、２２４Ｃ、２２４Ｄ及び２２４Ｅを有する。

[0035] 線路２２２Ａは線路１１０に繋がり、線路１１０の＋Ｘ側かつ＋Ｙ側の端部から＋Ｙ側にＹ軸に沿って延びる。線路２２２Ｂは線路２２２Ａに繋がり、線路２２２Ａの＋Ｙ側の端部から＋Ｘ側にＸ軸に沿って延びる。線路２２２Ｃは線路２２２Ｂに繋がり、線路２２２Ｂの＋Ｘ側の端部から＋Ｙ側にＹ軸に沿って延びる。線路２２２Ｄは線路２２２Ｃに繋がり、線路２２２Ｃの＋Ｙ側の端部から－Ｘ側にＸ軸に沿って延びる。線路２２２Ｅは線路２２２

Ｄ及び１２０に繋がり、線路２２２Ｄの－Ｘ側の端部から＋Ｙ側にＹ軸に沿って延びる。正方形１０の中心を通るＸ軸に平行な直線を対称の軸にして、線路２２２Ａ及び２２２Ｅは互いに線対称に配置され、線路２２２Ｂ及び２２２Ｄは互いに線対称に配置されている。

[0036] 線路２２３Ａは線路１２０に繋がり、線路１２０の－Ｘ側かつ＋Ｙ側の端部から－Ｘ側にＸ軸に沿って延びる。線路２２３Ｂは線路２２３Ａに繋がり、線路２２３Ａの－Ｘ側の端部から＋Ｙ側にＹ軸に沿って延びる。線路２２３Ｃは線路２２３Ｂに繋がり、線路２２３Ｂの＋Ｙ側の端部から－Ｘ側にＸ軸に沿って延びる。線路２２３Ｄは線路２２３Ｃに繋がり、線路２２３Ｃの－Ｘ側の端部から－Ｙ側にＹ軸に沿って延びる。線路２２３Ｅは線路２２３Ｄ及び１３０に繋がり、線路２２３Ｄの－Ｙ側の端部から－Ｘ側にＸ軸に沿って延びる。正方形１０の中心を通るＹ軸に平行な直線を対称の軸にして、線路２２３Ａ及び２２３Ｅは互いに線対称に配置され、線路２２３Ｂ及び２２３Ｄは互いに線対称に配置されている。

[0037] 線路２２４Ａは線路１３０に繋がり、線路１３０の－Ｘ側かつ－Ｙ側の端部から－Ｙ側にＹ軸に沿って延びる。線路２２４Ｂは線路２２４Ａに繋がり、線路２２４Ａの－Ｙ側の端部から－Ｘ側にＸ軸に沿って延びる。線路２２４Ｃは線路２２４Ｂに繋がり、線路２２４Ｂの－Ｘ側の端部から－Ｙ側にＹ軸に沿って延びる。線路２２４Ｄは線路２２４Ｃに繋がり、線路２２４Ｃの－Ｙ側の端部から＋Ｘ側にＸ軸に沿って延びる。線路２２４Ｅは線路２２４Ｄ及び１４０に繋がり、線路２２４Ｄの＋Ｘ側の端部から－Ｙ側にＹ軸に沿って延びる。正方形１０の中心を通るＸ軸に平行な直線を対称の軸にして、線路２２４Ａ及び２２４Ｅは互いに線対称に配置され、線路２２４Ｂ及び２２４Ｄは互いに線対称に配置されている。

[0038] フィルタ２００の経路長は波長λの１／２倍程度又は１倍程度であってもよい。例えば、量子ビットの共鳴周波数が６ＧＨｚの場合において、量子ビットから発された光子の伝搬を防ぐ目的として、その波長λに対して１／２倍又は１倍程度である。一方で、このフィルタは共振器２１～２４の共鳴す

る周波数、例えば１０ＧＨｚの信号は伝搬を妨げない。また、フィルタ２００が共振器２１～２４に磁気的に結合していてもよい。

[0039] 量子デバイス２の他の構成は量子デバイス１と同様である。第２実施形態に係る量子デバイス２によっても第１実施形態と同様の効果を得ることができる。

[0040] （第３実施形態）

次に、第３実施形態について説明する。第３実施形態は、主としてフィルタの構成の点で第１実施形態と相違する。図５は、第３実施形態に係る量子デバイスを示す平面図である。

[0041] 図５に示すように、第３実施形態に係る量子デバイス３は、フィルタ１００に代えてフィルタ３００を有する。フィルタ３００は、線路１２１に代えて線路３２１Ａ、３２１Ｂ及び３２１Ｃを有し、線路１２２に代えて線路３２２Ａ及び３２２Ｂを有し、線路１２３に代えて線路３２３Ａ及び３２３Ｂを有し、線路１２４に代えて線路３２４Ａ及び３２４Ｂを有する。

[0042] 線路３２１Ｂは線路１３２に繋がり、線路１３２の－Ｙ側の端部から＋Ｘ側及び－Ｘ側にＸ軸に沿って延びる。線路３２１Ａは線路１４０に繋がり、線路１４０の＋Ｘ側かつ－Ｙ側の端部から＋Ｘ側にＸ軸に沿って延びる。線路３２１Ｃは線路１１０に繋がり、線路１１０の－Ｘ側かつ－Ｙ側の端部から－Ｘ側にＸ軸に沿って延びる。線路３２１Ａ及び３２１Ｃは線路３２１Ｂから離れている。線路３２１Ａ、３２１Ｂ及び３２１ＣのＹ座標は同一である。線路３２１Ａと線路３２１Ｂとは互いに容量結合し、線路３２１Ｃと線路３２１Ｂとは互いに容量結合している。線路３２１Ａの＋Ｘ側の端部、線路３２１Ｂの－Ｘ側の端部、線路３２１Ｂの＋Ｘ側の端部及び線路３２１Ｃの－Ｘ側の端部は開放端となっている。正方形１０の中心を通るＹ軸に平行な直線を対称の軸にして、線路３２１Ａ及び３２１Ｃは互いに線対称に配置されている。

[0043] 線路３２２Ａは線路１１０に繋がり、線路１１０の＋Ｘ側かつ＋Ｙ側の端部から＋Ｙ側にＹ軸に沿って延びる。線路３２２Ｂは線路１２０に繋がり、

線路１２０の＋Ｘ側かつ－Ｙ側の端部から－Ｙ側にＹ軸に沿って延びる。線路３２２Ａ及び３２２ＢのＸ座標は同一である。線路３２２Ａと線路３２２Ｂとは互いに容量結合している。線路３２２Ａの＋Ｙ側の端部及び線路３２２Ｂの－Ｙ側の端部は開放端となっている。正方形１０の中心を通るＸ軸に平行な直線を対称の軸にして、線路３２２Ａ及び３２２Ｂは互いに線対称に配置されている。

[0044] 線路３２３Ａは線路１２０に繋がり、線路１２０の－Ｘ側かつ＋Ｙ側の端部から－Ｘ側にＸ軸に沿って延びる。線路３２３Ｂは線路１３０に繋がり、線路１３０の＋Ｘ側かつ＋Ｙ側の端部から＋Ｘ側にＸ軸に沿って延びる。線路３２３Ａ及び３２３ＢのＹ座標は同一である。線路３２３Ａと線路３２３Ｂとは互いに容量結合している。線路３２３Ａの－Ｘ側の端部及び線路３２３Ｂの＋Ｘ側の端部は開放端となっている。正方形１０の中心を通るＹ軸に平行な直線を対称の軸にして、線路３２３Ａ及び３２３Ｂは互いに線対称に配置されている。

[0045] 線路３２４Ａは線路１３０に繋がり、線路１３０の－Ｘ側かつ－Ｙ側の端部から－Ｙ側にＹ軸に沿って延びる。線路３２４Ｂは線路１４０に繋がり、線路１４０の－Ｘ側かつ＋Ｙ側の端部から＋Ｙ側にＹ軸に沿って延びる。線路３２４Ａ及び３２４ＢのＸ座標は同一である。線路３２４Ａと線路３２４Ｂとは互いに容量結合している。線路３２４Ａの－Ｙ側の端部及び線路３２４Ｂの＋Ｙ側の端部は開放端となっている。正方形１０の中心を通るＸ軸に平行な直線を対称の軸にして、線路３２４Ａ及び３２４Ｂは互いに線対称に配置されている。

[0046] フィルタ３００の経路長は波長λの１／２倍程度又は１倍程度であってもよい。例えば、量子ビットの共鳴周波数が６ＧＨｚの場合において、量子ビットから発された光子の伝搬を防ぐ目的として、その波長λに対して１／２倍又は１倍程度である。一方で、このフィルタは共振器２１～２４の共鳴する周波数、例えば１０ＧＨｚの信号は伝搬を妨げない。また、フィルタ３００が共振器２１～２４に磁気的に結合していてもよい。

[0047] 量子デバイス３の他の構成は量子デバイス１と同様である。第３実施形態に係る量子デバイス３によっても第１実施形態と同様の効果を得ることができる。

[0048] また、量子デバイス３では、フィルタ３００が、互いに容量結合した複数の線路を有するため、アイソレーションを向上し、不要モードを低減することができる。

[0049] （第４実施形態）

次に、第４実施形態について説明する。第４実施形態は、主としてフィルタの構成の点で第１実施形態と相違する。図６は、第４実施形態に係る量子デバイスを示す平面図である。

[0050] 図６に示すように、第４実施形態に係る量子デバイス４は、フィルタ１００に代えてフィルタ４００を有する。フィルタ４００は、線路１２１に代えて線路４２１Ａ、４２１Ｂ及び４２１Ｃを有し、線路１２２に代えて線路４２２Ａ及び４２２Ｂを有し、線路１２３に代えて線路４２３Ａ及び４２３Ｂを有し、線路１２４に代えて線路４２４Ａ及び４２４Ｂを有する。

[0051] 線路４２１Ｂは線路１３２に繋がり、線路１３２の－Ｙ側の端部から＋Ｘ側にＸ軸に沿って延びる。線路４２１Ａは線路１４０に繋がり、線路１４０の＋Ｘ側かつ－Ｙ側の端部から＋Ｘ側にＸ軸に沿って延びる。線路４２１Ｃは線路１１０に繋がり、線路１１０の－Ｘ側かつ－Ｙ側の端部から－Ｘ側にＸ軸に沿って延びる。線路４２１Ａ及び４２１Ｃは線路４２１Ｂから離れている。線路４２１Ａ及び４２１ＣのＹ座標は同一である。線路４２１ＢのＹ座標は線路４２１Ａ及び４２１ＣのＹ座標よりも大きい。Ｙ軸方向から見たときに線路４２１Ｂの一部と線路４２１Ｃの一部とが重なっており、線路４２１Ｃと線路４２１Ｂとは互いに容量結合している。線路４２１Ａと線路４２１Ｂの容量結合の大きさは、線路４２１Ｂと線路４２１Ｃの容量結合の大きさより小さい。線路４２１Ａの＋Ｘ側の端部、線路４２１Ｂの＋Ｘ側の端部及び線路４２１Ｃの－Ｘ側の端部は開放端となっている。正方形１０の中心を通るＹ軸に平行な直線を対称の軸にして、線路４２１Ａ及び４２１Ｃは

互いに線対称に配置されている。

[0052] 線路４２２Ａは線路１１０に繋がり、線路１１０の＋Ｘ側かつ＋Ｙ側の端部から＋Ｙ側にＹ軸に沿って延びる。線路４２２Ｂは線路１２０に繋がり、線路１２０の＋Ｘ側かつ－Ｙ側の端部から－Ｙ側にＹ軸に沿って延びる。線路１１０の＋Ｘ側かつ＋Ｙ側の端部及び線路４２２ＡのＸ座標は、線路１２０の＋Ｘ側かつ－Ｙ側の端部及び線路４２２ＢのＸ座標よりも小さい。Ｘ軸方向から見たときに線路４２２Ａの一部と線路４２２Ｂの一部とが重なっており、線路４２２Ａと線路４２２Ｂとは互いに容量結合している。線路４２２Ａの＋Ｙ側の端部及び線路４２２Ｂの－Ｙ側の端部は開放端となっている。

[0053] 線路４２３Ａは線路１２０に繋がり、線路１２０の－Ｘ側かつ＋Ｙ側の端部から－Ｘ側にＸ軸に沿って延びる。線路４２３Ｂは線路１３０に繋がり、線路１３０の＋Ｘ側かつ＋Ｙ側の端部から＋Ｘ側にＸ軸に沿って延びる。線路１２０の－Ｘ側かつ＋Ｙ側の端部及び線路４２３ＡのＹ座標は、線路１３０の＋Ｘ側かつ＋Ｙ側の端部及び線路４２３ＢのＹ座標よりも小さい。Ｙ軸方向から見たときに線路４２３Ａの一部と線路４２３Ｂの一部とが重なっており、線路４２３Ａと線路４２３Ｂとは互いに容量結合している。線路４２３Ａの－Ｘ側の端部及び線路４２３Ｂの＋Ｘ側の端部は開放端となっている。

[0054] 線路４２４Ａは線路１３０に繋がり、線路１３０の－Ｘ側かつ－Ｙ側の端部から－Ｙ側にＹ軸に沿って延びる。線路４２４Ｂは線路１４０に繋がり、線路１４０の－Ｘ側かつ＋Ｙ側の端部から＋Ｙ側にＹ軸に沿って延びる。線路１３０の－Ｘ側かつ－Ｙ側の端部及び線路４２４ＡのＸ座標は、線路１４０の－Ｘ側かつ＋Ｙ側の端部及び線路４２４ＢのＸ座標よりも大きい。Ｘ軸方向から見たときに線路４２４Ａの一部と線路４２４Ｂの一部とが重なっており、線路４２４Ａと線路４２４Ｂとは互いに容量結合している。線路４２４Ａの－Ｙ側の端部及び線路４２４Ｂの＋Ｙ側の端部は開放端となっている。

[0055] フィルタ４００の経路長は波長λの１／２倍程度又は１倍程度であってもよい。例えば、量子ビットの共鳴周波数が６ＧＨｚの場合において、量子ビットから発された光子の伝搬を防ぐ目的として、その波長λに対して１／２倍又は１倍程度である。一方で、このフィルタは共振器２１～２４の共鳴する周波数、例えば１０ＧＨｚの信号は伝搬を妨げない。また、フィルタ４００が共振器２１～２４に磁気的に結合していてもよい。

[0056] 量子デバイス４の他の構成は量子デバイス１と同様である。第４実施形態に係る量子デバイス４によっても第３実施形態と同様の効果を得ることができる。

[0057] また、第４実施形態に係る量子デバイス４では、フィルタ４００内で容量結合する線路同士がＸ軸方向又はＹ軸方向から見たときに互いに重なる部分を有する。このため、フィルタ４００内で信号が伝わる向きを制御しやすい。

[0058] （第５実施形態）

次に、第５実施形態について説明する。第５実施形態は、主としてフィルタの構成の点で第４実施形態と相違する。図７は、第５実施形態に係る量子デバイスを示す平面図である。

[0059] 図７に示すように、第５実施形態に係る量子デバイス５は、フィルタ４００に代えてフィルタ５００を有する。フィルタ５００は、線路１３１から線路４２１Ａまでの経路長が第４実施形態よりも短く、更に、線路５２１Ｄを有する点でフィルタ４００と相違する。線路５２１Ｄは線路４２１Ａに容量結合している。線路５２１Ｄの両端は開放端となっている。そして、フィルタ５００の経路長は波長λの１／２倍程度又は１倍程度であってもよい。例えば、量子ビットの共鳴周波数が６ＧＨｚの場合において、量子ビットから発された光子の伝搬を防ぐ目的として、その波長λに対して１／２倍又は１倍程度である。一方で、このフィルタは共振器２１～２４の共鳴する周波数、例えば１０ＧＨｚの信号は伝搬を妨げない。

[0060] 量子デバイス５の他の構成は量子デバイス４と同様である。第５実施形態

に係る量子デバイス５によっても第４実施形態と同様の効果を得ることができる。

[0061] （第６実施形態）

次に、第６実施形態について説明する。第６実施形態は、主としてフィルタの構成の点で第１実施形態と相違する。図８は、第６実施形態に係る量子デバイスを示す平面図である。

[0062] 図８に示すように、第６実施形態に係る量子デバイス６は、フィルタ１００に代えてフィルタ６００を有する。フィルタ６００は、線路６２１に代えて線路６２１Ａ、６２１Ｂ、６２１Ｃ及び６２１Ｄを有し、線路１２２に代えて線路６２２Ａ、６２２Ｂ、６２２Ｃ及び６２２Ｄを有し、線路１２３に代えて線路６２３Ａ、６２３Ｂ、６２３Ｃ及び６２３Ｄを有し、線路１２４に代えて線路６２４Ａ、６２４Ｂ、６２４Ｃ及び６２４Ｄを有する。フィルタ６００は、更に、線路６３３および６４４を有する。

[0063] 線路６３３は読み出しポート３０の近傍に設けられ、読み出しポート３０の外縁に沿った平面形状を有する。線路６３３の平面形状は、例えば円弧状である。線路６３３は読み出しポート３０の＋Ｙ側にある。線路６３４は線路６３３に繋がり、線路６３３から＋Ｙ側にＹ軸に沿って延びる。

[0064] 線路６２１Ａは線路１４０に繋がり、線路１４０の＋Ｘ側かつ－Ｙ側の端部から＋Ｘ側にＸ軸に沿って延びる。線路６２１Ｂは線路６２１Ａに繋がり、線路６２１Ａの＋Ｘ側の端部から＋Ｙ側にＹ軸に沿って延びる。線路６２１Ｄは線路１１０に繋がり、線路１１０の－Ｘ側かつ－Ｙ側の端部から－Ｘ側にＸ軸に沿って延びる。線路６２１Ｃは線路６２１Ｄに繋がり、線路６２１Ｄの－Ｘ側の端部から＋Ｙ側にＹ軸に沿って延びる。線路６２１Ａ及び６２１ＤのＹ座標は同一である。線路６２１ＢのＸ座標は線路１３２のＸ座標よりも小さい。Ｘ軸方向から見たときに線路６２１Ｂと線路１３２の一部とが重なっており、線路６２１Ｂと線路１３２とは互いに容量結合している。線路６２１ＣのＸ座標は線路１３２のＸ座標よりも大きい。Ｘ軸方向から見たときに線路６２１Ｃと線路１３２の一部とが重なっており、線路６２１Ｃ

と線路１３２とは互いに容量結合している。線路６２１Ｂの＋Ｙ側の端部及び線路６２１Ｃの＋Ｙ側の端部は開放端となっている。正方形１０の中心を通るＹ軸に平行な直線を対称の軸にして、線路６２１Ａ及び６２１Ｄは互いに線対称に配置され、線路６２１Ｂ及び６２１Ｃは互いに線対称に配置されている。

[0065] 線路６２２Ａは線路１１０に繋がり、線路１１０の＋Ｘ側かつ＋Ｙ側の端部から＋Ｙ側にＹ軸に沿って延びる。線路６２２Ｂは線路６２２Ａに繋がり、線路６２２Ａの＋Ｙ側の端部から－Ｘ側にＸ軸に沿って延びる。線路６２２Ｄは線路１２０に繋がり、線路１２０の＋Ｘ側かつ－Ｙ側の端部から－Ｙ側にＹ軸に沿って延びる。線路６２２Ｃは線路６２２Ｄに繋がり、線路６２２Ｄの－Ｙ側の端部から－Ｘ側にＸ軸に沿って延びる。線路６２２Ａ及び６２２ＤのＸ座標は同一である。線路６２２ＢのＹ座標は線路６２２ＣのＸ座標よりも小さい。Ｙ軸方向から見たときに線路６２２Ｂと線路６２２Ｃとが重なっており、線路６２２Ｂと線路６２２Ｃとは互いに容量結合している。線路６２２Ｂの－Ｘ側の端部及び線路６２２Ｃの－Ｘ側の端部は開放端となっている。正方形１０の中心を通るＸ軸に平行な直線を対称の軸にして、線路６２２Ａ及び６２２Ｄは互いに線対称に配置され、線路６２２Ｂ及び６２２Ｃは互いに線対称に配置されている。

[0066] 線路６２３Ａは線路１２０に繋がり、線路１２０の－Ｘ側かつ＋Ｙ側の端部から－Ｘ側にＸ軸に沿って延びる。線路６２３Ｂは線路６２３Ａに繋がり、線路６２３Ａの－Ｘ側の端部から－Ｙ側にＹ軸に沿って延びる。線路６２３Ｄは線路１３０に繋がり、線路１３０の＋Ｘ側かつ＋Ｙ側の端部から＋Ｘ側にＸ軸に沿って延びる。線路６２３Ｃは線路６２３Ｄに繋がり、線路６２３Ｄの＋Ｘ側の端部から－Ｙ側にＹ軸に沿って延びる。線路６２３Ａ及び６２３ＤのＹ座標は同一である。線路６２３ＢのＸ座標は線路６３４のＸ座標よりも大きい。Ｘ軸方向から見たときに線路６２３Ｂと線路６３４の一部とが重なっており、線路６２３Ｂと線路６３４とは互いに容量結合している。線路６２３ＣのＸ座標は線路６３４のＸ座標よりも小さい。Ｘ軸方向から見

たときに線路６２３Ｃと線路６３４の一部とが重なっており、線路６２３Ｃと線路６３４とは互いに容量結合している。線路６２３Ｂの－Ｙ側の端部及び線路６２３Ｃの－Ｙ側の端部は開放端となっている。正方形１０の中心を通るＹ軸に平行な直線を対称の軸にして、線路６２３Ａ及び６２３Ｄは互いに線対称に配置され、線路６２３Ｂ及び６２３Ｃは互いに線対称に配置されている。

[0067] 線路６２４Ａは線路１３０に繋がり、線路１３０の－Ｘ側かつ－Ｙ側の端部から－Ｙ側にＹ軸に沿って延びる。線路６２４Ｂは線路６２４Ａに繋がり、線路６２４Ａの－Ｙ側の端部から＋Ｘ側にＸ軸に沿って延びる。線路６２４Ｄは線路１４０に繋がり、線路１４０の－Ｘ側かつ＋Ｙ側の端部から＋Ｙ側にＹ軸に沿って延びる。線路６２４Ｃは線路６２４Ｄに繋がり、線路６２４Ｄの＋Ｙ側の端部から＋Ｘ側にＸ軸に沿って延びる。線路６２４Ａ及び６２４ＤのＸ座標は同一である。線路６２４ＢのＹ座標は線路６２４ＣのＸ座標よりも大きい。Ｙ軸方向から見たときに線路６２４Ｂと線路６２４Ｃとが重なっており、線路６２４Ｂと線路６２４Ｃとは互いに容量結合している。線路６２４Ｂの＋Ｘ側の端部及び線路６２４Ｃの＋Ｘ側の端部は開放端となっている。正方形１０の中心を通るＸ軸に平行な直線を対称の軸にして、線路６２４Ａ及び６２４Ｄは互いに線対称に配置され、線路６２４Ｂ及び６２４Ｃは互いに線対称に配置されている。

[0068] 量子デバイス６の他の構成は量子デバイス１と同様である。第６実施形態に係る量子デバイス６によっても第３実施形態と同様の効果を得ることができる。また、量子デバイス６では、フィルタ６００の平面視での対称性がより高いため、共振器２１～２４の寄生容量の均一性を高めることができる。

[0069] （第７実施形態）

次に、第７実施形態について説明する。第７実施形態は、主としてフィルタの構成の点で第６実施形態と相違する。図９は、第７実施形態に係る量子デバイスを示す平面図である。

[0070] 図９に示すように、第７実施形態に係る量子デバイス７は、フィルタ６０

０に代えてフィルタ７００を有する。フィルタ７００は、更に、線路７３５、７３６、７３７及び７３８を有する点でフィルタ６００と相違する。

[0071] 線路７３５は読み出しポート３０の近傍に設けられ、読み出しポート３０の外縁に沿った平面形状を有する。線路７３５の平面形状は、例えば円弧状である。線路７３５は読み出しポート３０の＋Ｘ側にある。線路７３６は線路７３５に繋がり、線路７３５から＋Ｘ側にＸ軸に沿って延びる。Ｙ軸方向から見たときに線路６２２Ｂ及び６２２Ｃと線路７３６の一部とが重なっており、線路６２２Ｂ及び６２２Ｃと線路７３６とは互いに容量結合している。

[0072] 線路７３７は読み出しポート３０の近傍に設けられ、読み出しポート３０の外縁に沿った平面形状を有する。線路７３７の平面形状は、例えば円弧状である。線路７３７は読み出しポート３０の－Ｘ側にある。線路７３８は線路７３７に繋がり、線路７３７から－Ｘ側にＸ軸に沿って延びる。Ｙ軸方向から見たときに線路６２４Ｂ及び６２４Ｃと線路７３８の一部とが重なっており、線路６２４Ｂ及び６２４Ｃと線路７３８とは互いに容量結合している。

[0073] 量子デバイス７の他の構成は量子デバイス６と同様である。第７実施形態に係る量子デバイス７によっても第６実施形態と同様の効果を得ることができる。また、量子デバイス７では、フィルタ７００の平面視での対称性が更に高いため、共振器２１～２４の寄生容量の均一性を更に高めることができる。

[0074] ここで、本願発明者が行った量子デバイス１Ｘ、４及び６についてのシミュレーションについて説明する。このシミュレーションでは、量子デバイス１Ｘ、４及び６を模擬した超伝導回路について、読み出しポート３０を第１ポート、量子ビット１１を第２ポート、量子ビット１２を第３ポート、量子ビット１３を第４ポート、量子ビット１４を第５ポートとした場合の透過率をＳパラメータとして計算した。このシミュレーションでは、読み出しポート３０と各フィルタとの間の結合容量を５．５ｆＦとし、フィルタ４００及

び６００における線路間の結合容量は５０ｆＦとした。共振器２１～２４の特性インピーダンスは５０Ωとし、共振器２１～２４の経路長は、いずれも波長λの１／４倍とし、各フィルタの経路長は波長λの１／２倍とした。量子ビット１１～１４と共振器２１～２４との間の結合容量は１．２ｆＦとした。この結果を図１０～図１２に示す。図１０は、参考例に係る量子デバイス１Ｘについてのシミュレーションの結果を示す図である。図１１は、第４実施形態に係る量子デバイス４についてのシミュレーションの結果を示す図である。図１２は、第６実施形態に係る量子デバイス６についてのシミュレーションの結果を示す図である。図１０～図１２中の「ｄＢ（Ｓ（Ａ，１））」は、第１ポートから信号を入力したときの第Ａポートでの透過率を示している。

[0075] 図１０に示すように、量子デバイス１Ｘについてのシミュレーションでは、不要なモードが生じている。これは、共振器２１～２４の間でも結合が生じるためであると考えられる。

[0076] 図１１に示すように、量子デバイス４についてのシミュレーションでは、不要なモードが生じていない。これは、フィルタ４００が、互いに容量結合した複数の線路を有することで、共振器２１～２４の間のアイソレーションを向上したためであると考えられる。

[0077] 図１２に示すように、量子デバイス６についてのシミュレーションでは、第２ポート、第３ポート、第４ポート及び第５ポートでの特性が一致している。これは、フィルタ６００の平面視での対称性が高く、共振器２１～２４の間での信号伝送の特性の均一性が高いためであると考えられる。

[0078] この計算では、効果として特性の均一性が得られることをわかりやすく説明するために、量子ビット１１～１４の各固有モード周波数と、共振器２１～２４の各固有モード周波数とを揃えた。実際には共振器の固有モード周波数を多重化して状態を読み出すことから、量子ビット間及び共振器間で固有モード周波数は離調を設けて用いてよい。その場合も、同様の効果を期待することができる。

[0079] なお、本開示において、フィルタの経路長は特に限定されない。例えば、フィルタの経路長が、複数の共振器が共鳴する周波数に対応する波長の１／４倍程度であってもよく、フィルタはコプレーナ導波路フィルタであってもよい。この場合、フィルタの先端は接地線に短絡される。すなわち、フィルタのポート側とは反対側の端部は短絡される。フィルタは帯域通過フィルタ又は特定の周波数帯域の信号を減衰させるフィルタであってよい。また、コプレーナ導波路フィルタに限られず、マイクロストリップ導波路フィルタ等を用いてもよい。

[0080] また、１つのポートに結合される量子ビットの数は特に限定されない。１つのポートに結合される量子ビットは、ポートを中心とする正多角形の頂点にあることが好ましい。

[0081] また、本開示において、「等しい」とは完全に一致していることまでを要するものではない。例えば、製造ばらつきがあってもよい。また、共振器の基部とポートとの間の最短距離が等しく、寄生容量の低減等の効果が得られていれば、共鳴周波数調整部の配置等により、共振器とポートとの間の最短距離に若干の相違があってもよい。

[0082] 本開示に係る量子デバイスは、例えば量子コンピューティングに使用できる。

[0083] 以上、好ましい実施の形態等について詳説したが、本開示は上述した実施の形態等に制限されることはなく、請求の範囲に記載された範囲を逸脱することなく、上述した実施の形態等に種々の変形及び置換を加えることができる。

符号の説明

[0084] １、２、３、４、５、６、７：量子デバイス

１０：正方形

１１、１２、１３、１４：量子ビット

２１、２２、２３、２４：共振器

２１Ａ、２２Ａ、２３Ａ、２４Ａ：基部

２１Ｂ、２２Ｂ、２３Ｂ、２４Ｂ：共鳴周波数調整部

１００、２００、３００、４００、５００、６００、７００：フィルタ

請求の範囲

[請求項1] 複数の超伝導量子ビットと、

複数の前記超伝導量子ビットの各々に容量結合した複数の共振器と、

複数の前記共振器に結合したフィルタと、

前記フィルタに容量結合したポートと、

を有し、

前記ポートと前記共振器との間の最短距離は、複数の前記共振器の間で等しいことを特徴とする量子デバイス。

[請求項2] 前記フィルタの経路長は、複数の前記共振器が共鳴する周波数に対応する波長の１倍又は１／２倍であり、

前記フィルタの前記ポート側とは反対側の端部は開放されていることを特徴とする請求項１に記載の量子デバイス。

[請求項3] 前記フィルタは、コプレーナ導波路フィルタであることを特徴とする請求項２に記載の量子デバイス。

[請求項4] 前記フィルタの経路長は、複数の前記共振器が共鳴する周波数に対応する波長の１／４倍であり、

前記フィルタの前記ポート側とは反対側の端部は短絡されていることを特徴とする請求項１に記載の量子デバイス。

[請求項5] 前記フィルタは、互いに容量結合した複数の線路を有することを特徴とする請求項１乃至４のいずれか１項に記載の量子デバイス。

[請求項6] 複数の前記線路の少なくとも一部の線路は、複数の前記共振器の各々と前記ポートとの間で対称に配置されていることを特徴とする請求項５に記載の量子デバイス。

[請求項7] 前記超伝導量子ビット及び前記共振器の数は３個以上であり、

平面視で、

３個以上の前記超伝導量子ビットは、正多角形の頂点にあり、

前記ポートは、前記正多角形の中心にあることを特徴とする請求項

１乃至４のいずれか１項に記載の量子デバイス。

[請求項8] ３個以上の前記共振器の各々は、

基部と、

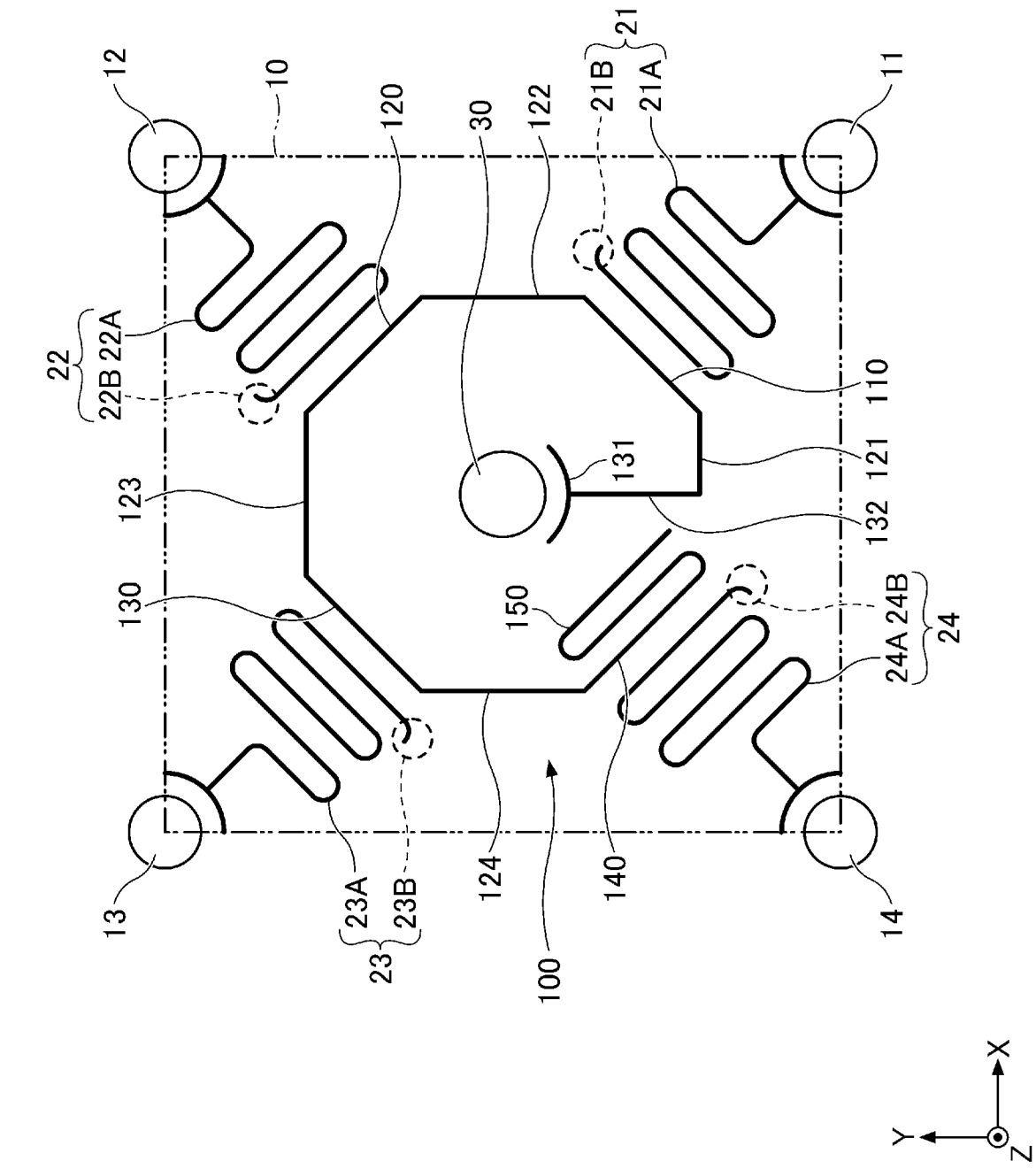
前記基部に繋がる共鳴周波数調整部と、

を有し、

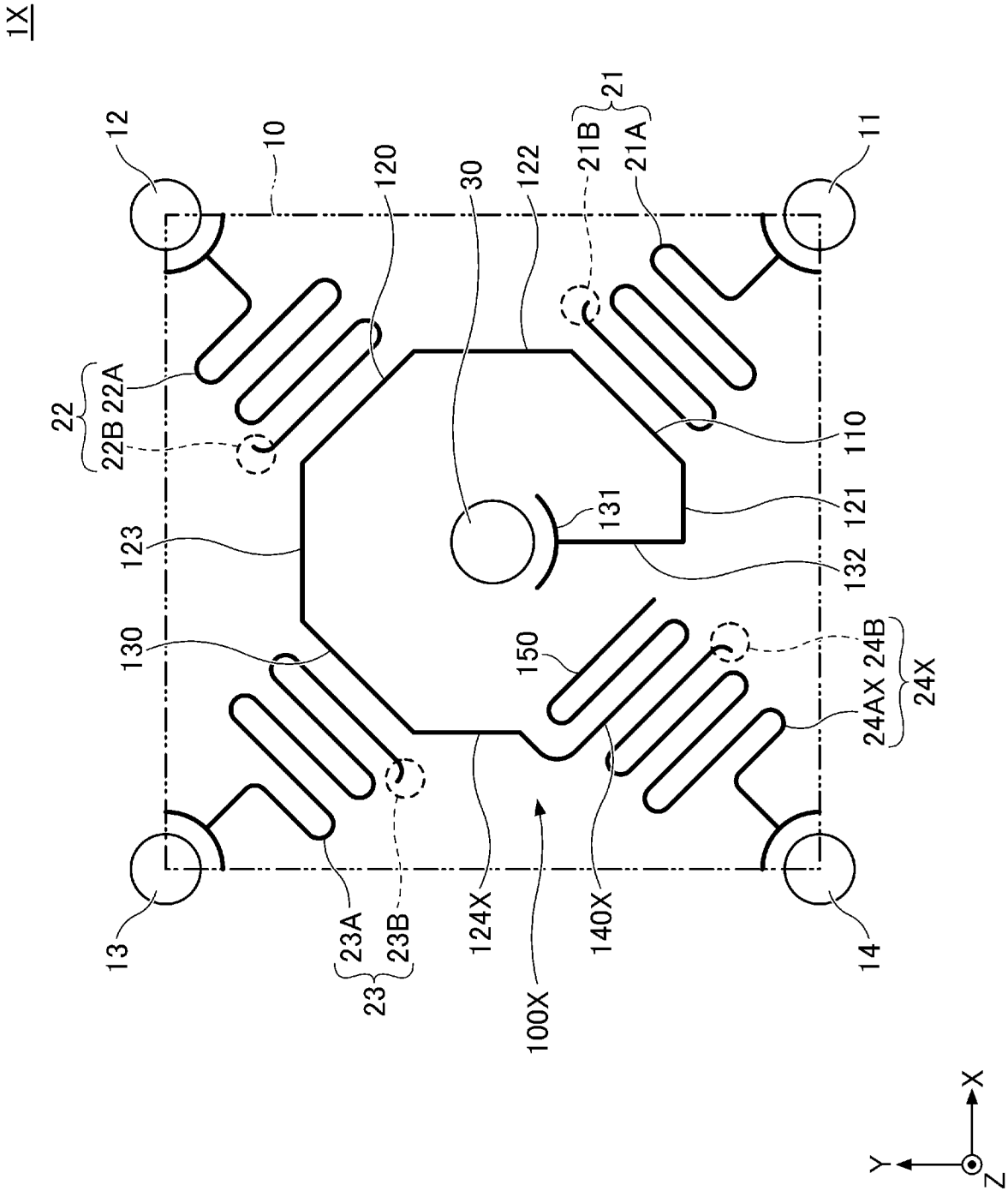
前記基部の平面形状は、３個以上の前記共振器の間で合同であることを特徴とする請求項７に記載の量子デバイス。

[請求項9] 前記フィルタは、前記複数の共振器に容量結合していることを特徴とする請求項１乃至４のいずれか１項に記載の量子デバイス。

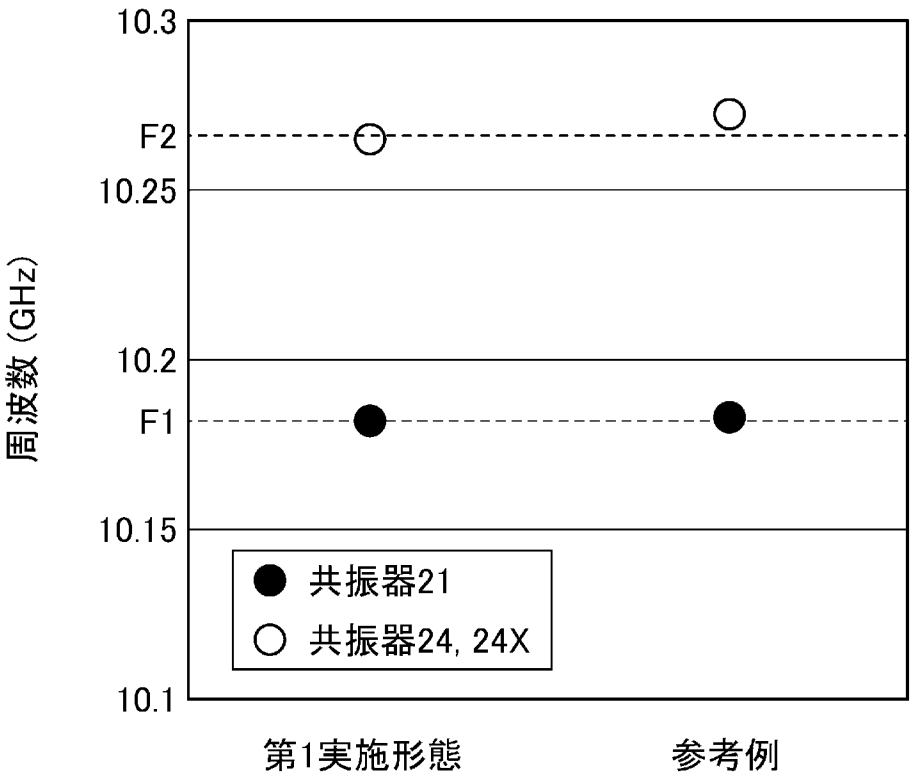
[図1]


1
12
10
120
30
122
21B
21A
21
11
22
22A
22B
110
131
121
123
132
130
150
24
24A
24B
13
23A
23B
23
124
140
100
14
X
Y
Z

[図2]

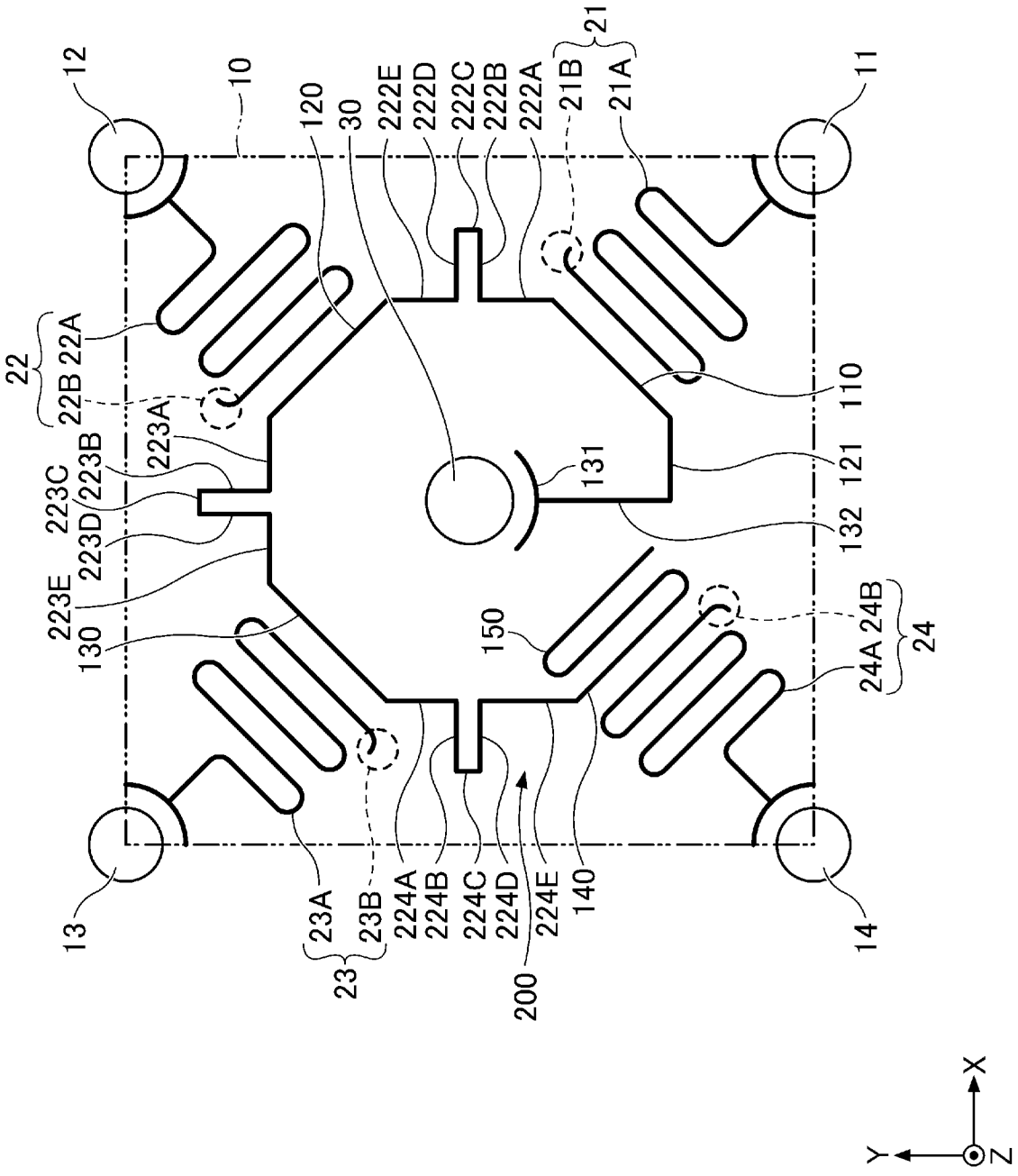

1X
12
10
120
30
122
21B
21A
21
11
22
22A
22B
110
131
121
123
132
130
150
24AX
24B
24X
13
23A
23B
23
124X
140X
100X
14
X
Y
Z

[図3]



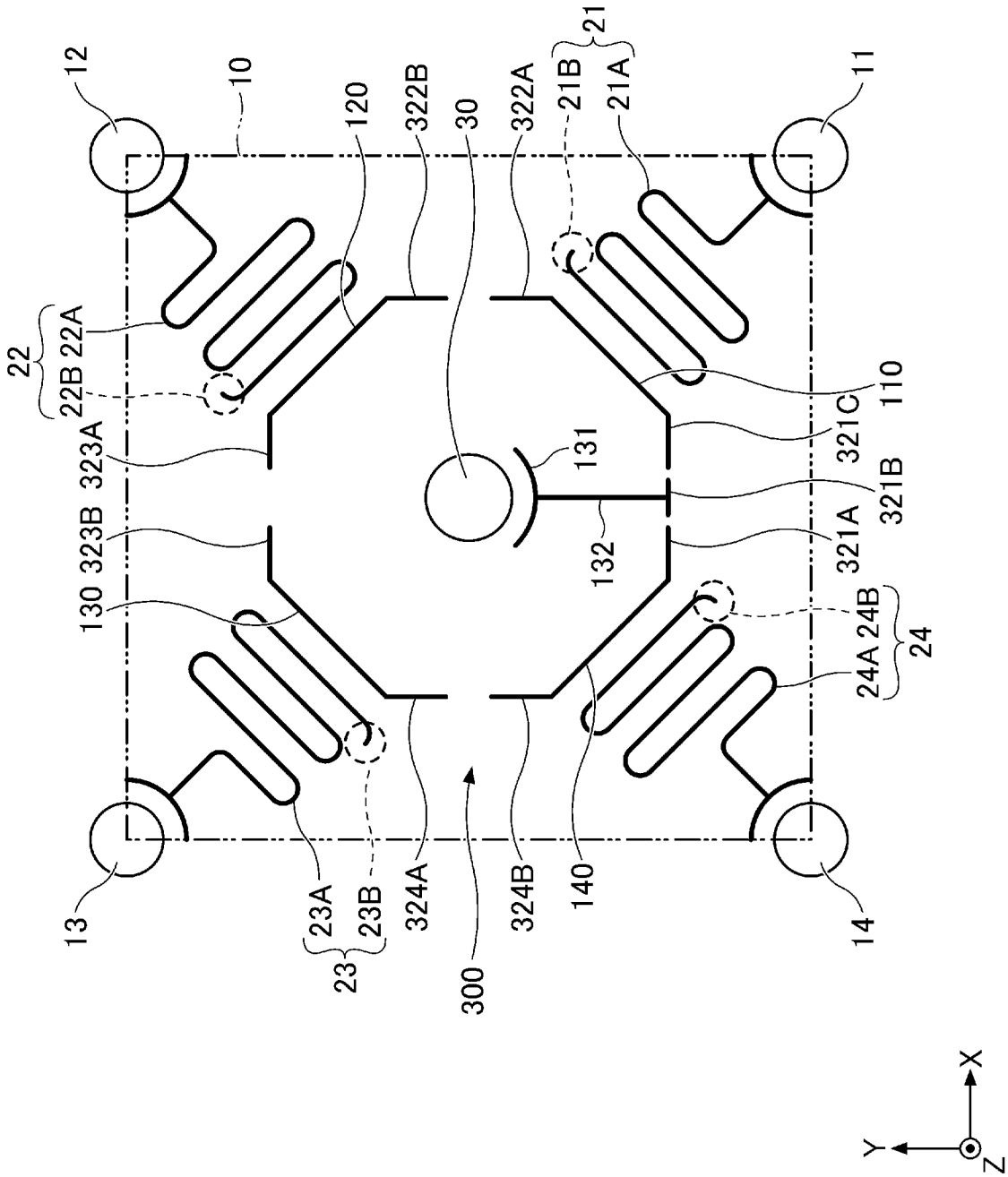
[図4]

2


12
10
120
30
222E
222D
222C
222B
222A
21B
21
21A
11
22
22A
22B
223A
223C
223B
223D
223E
130
131
110
121
132
150
24
24B
24A
140
224E
224D
224C
224B
224A
23B
23A
23
200
13
14
X
Y
Z

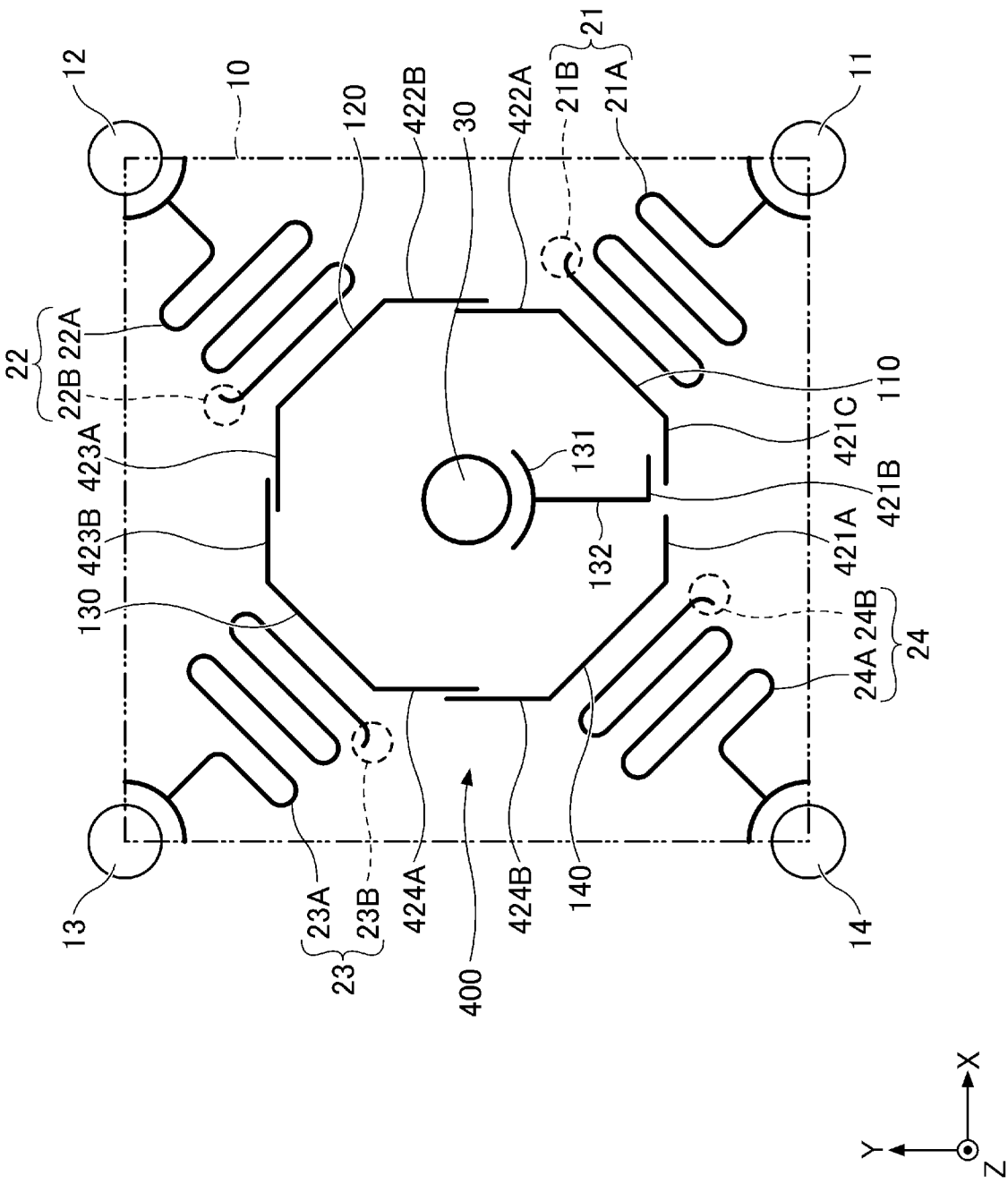
[図5]

3


12
10
120
322B
30
322A
21B
21A
21
11
22
22A
22B
323A
323B
130
131
132
321C
321B
321A
110
24
24A
24B
13
23
23A
23B
324A
324B
140
14
300
X
Y
Z

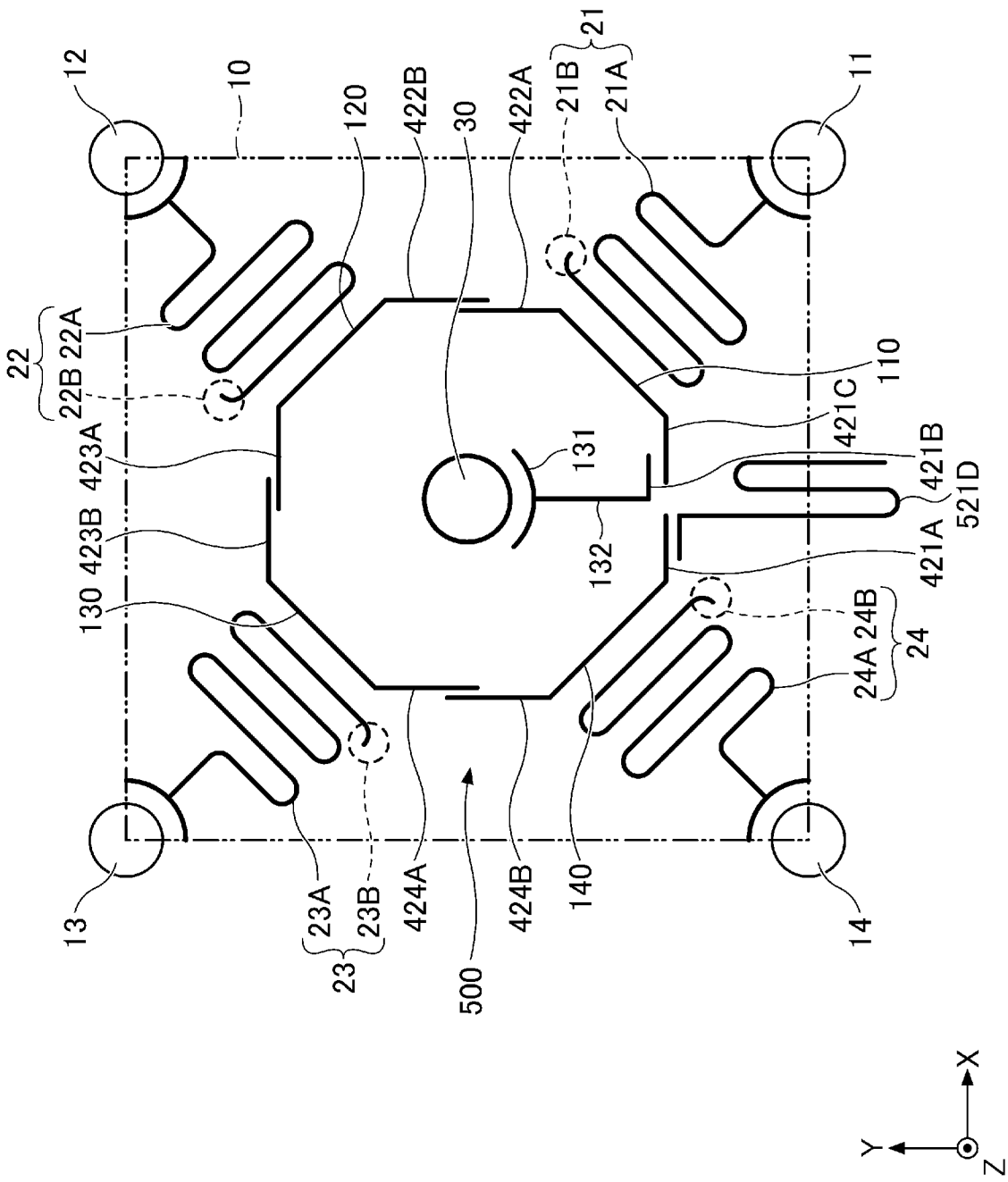
[図6]

4

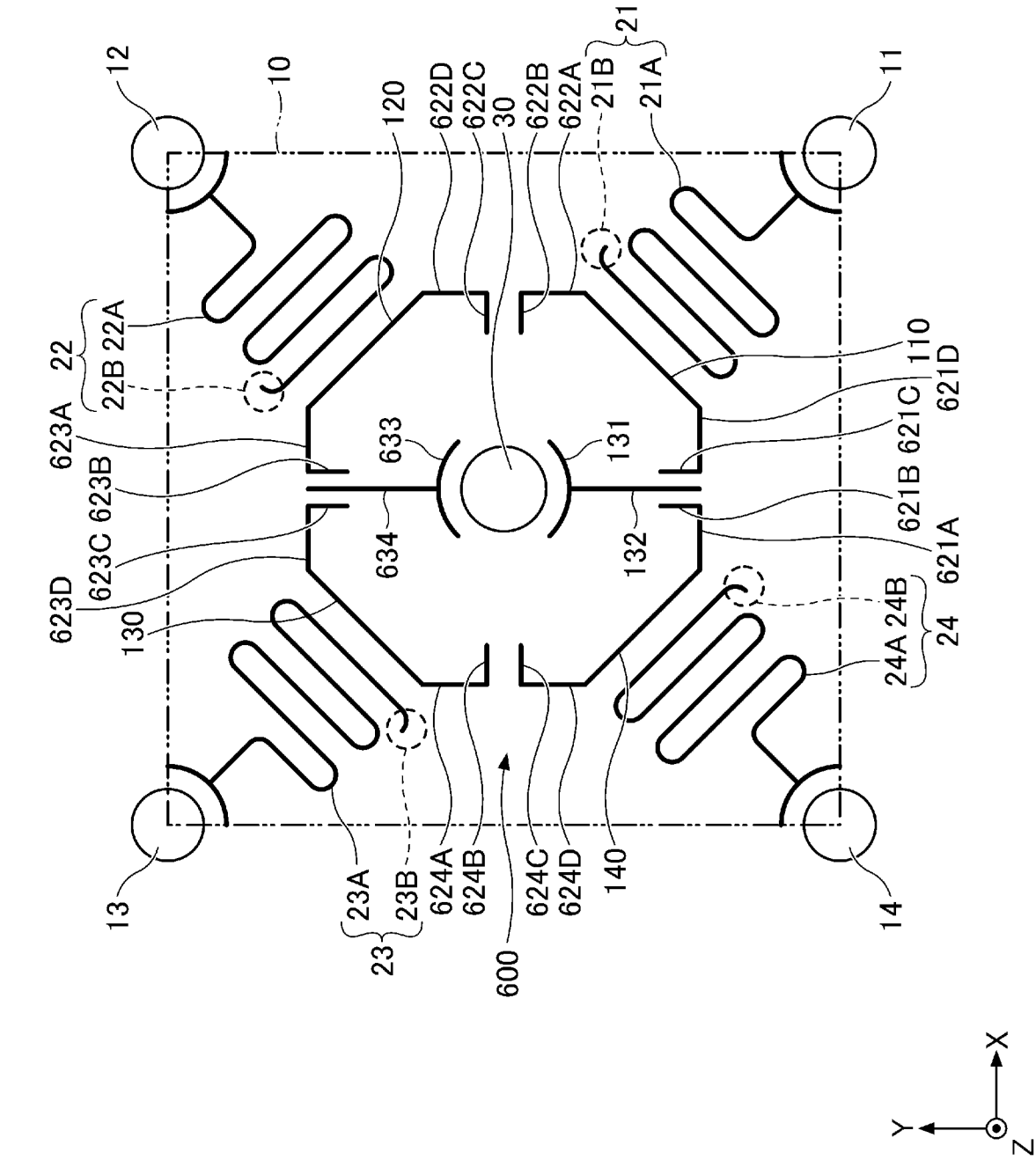

12
10
120
422B
30
422A
21B
21A
21
11
22
22A
22B
423A
423B
130
131
132
421C
421B
421A
110
24
24A
24B
140
13
23A
23B
23
424A
424B
400
14
X
Y
Z

[図7]

5

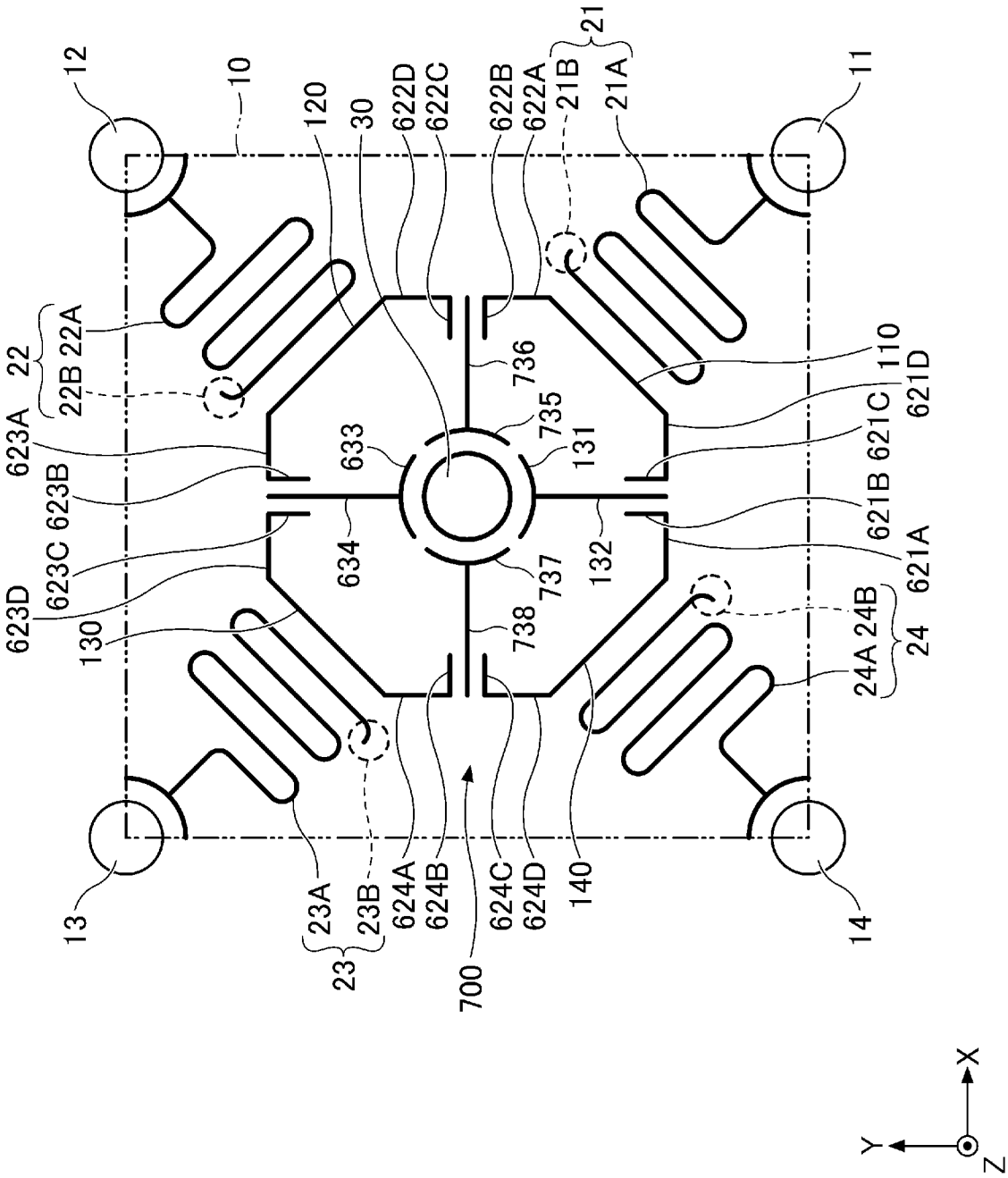

12
10
120
422B
30
422A
21B
21A
21
11
22
22A
22B
110
421C
423A
131
421B
521D
423B
132
421A
130
24
24B
24A
23A
23B
23
424A
424B
140
13
14
500
X
Y
Z

[図8]

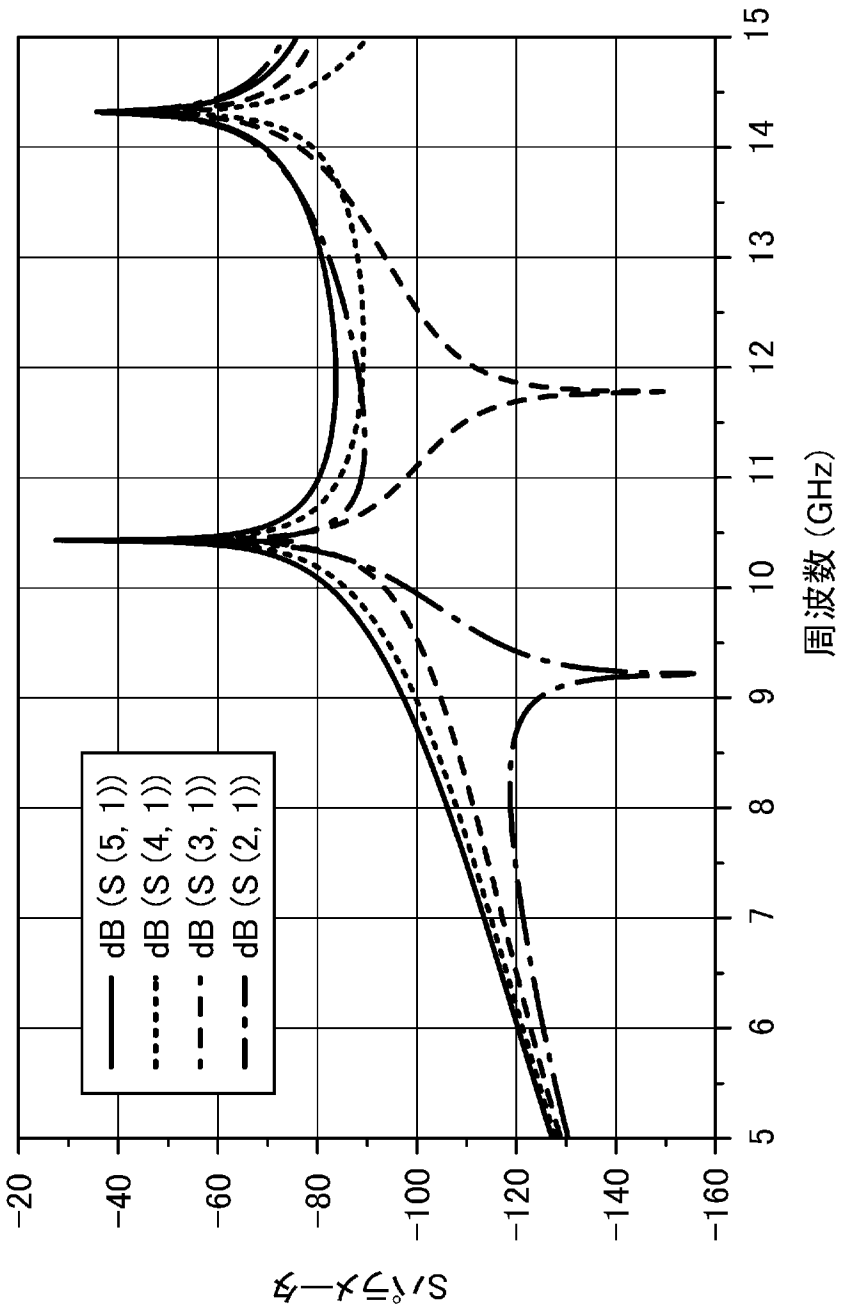

6
12
10
120
622D
622C
30
622B
622A
21B
21A
21
11
22
22A
22B
623A
623B
623C
623D
130
633
634
131
132
110
621D
621C
621B
621A
24
24A
24B
13
23
23A
23B
624A
624B
624C
624D
140
600
14
X
Y
Z

[図9]

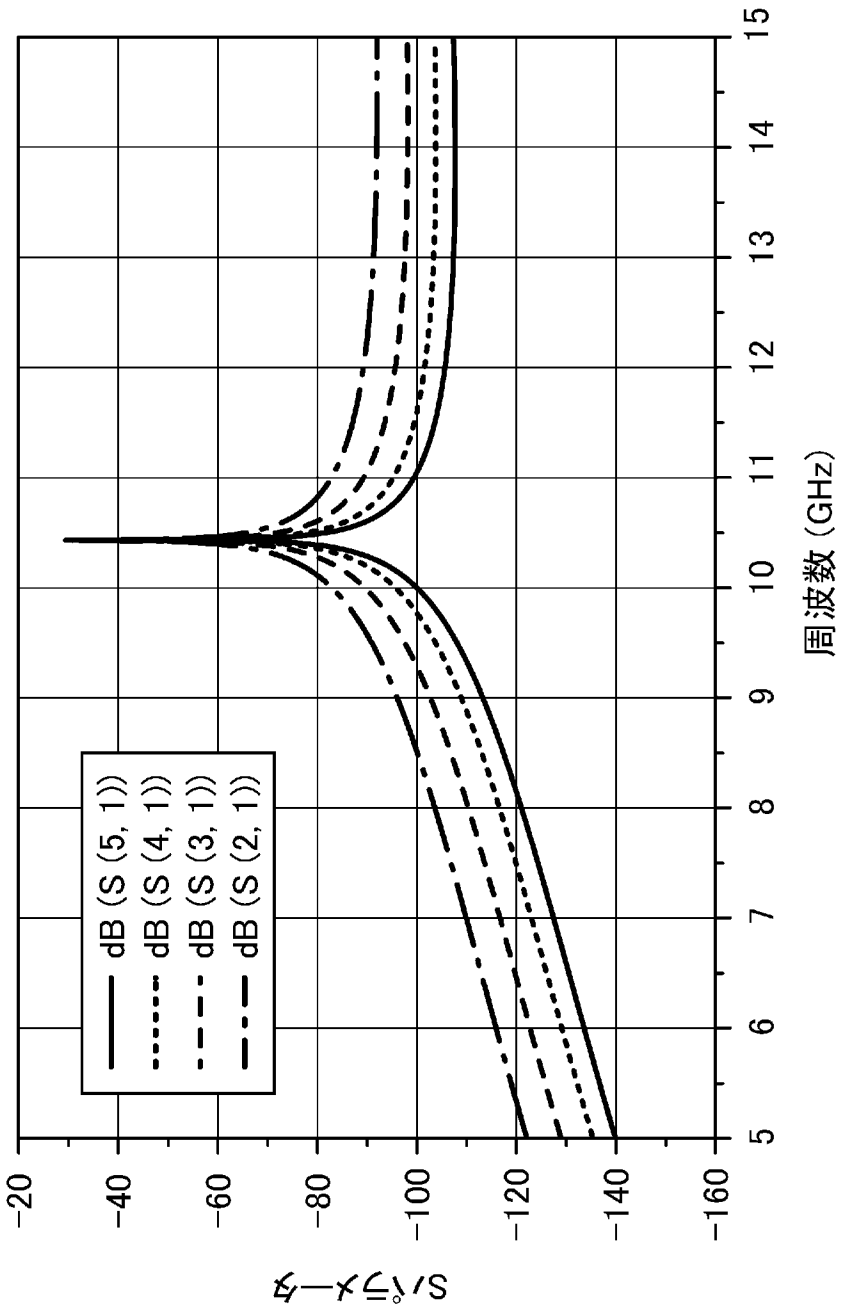
7


12
10
120
30
622D
622C
622B
622A
21B
21A
21
11
22
22A
22B
623A
623B
623C
623D
130
633
634
735
736
737
738
131
132
110
621D
621C
621B
621A
24
24A
24B
23
23A
23B
624A
624B
624C
624D
140
700
13
14
X
Y
Z

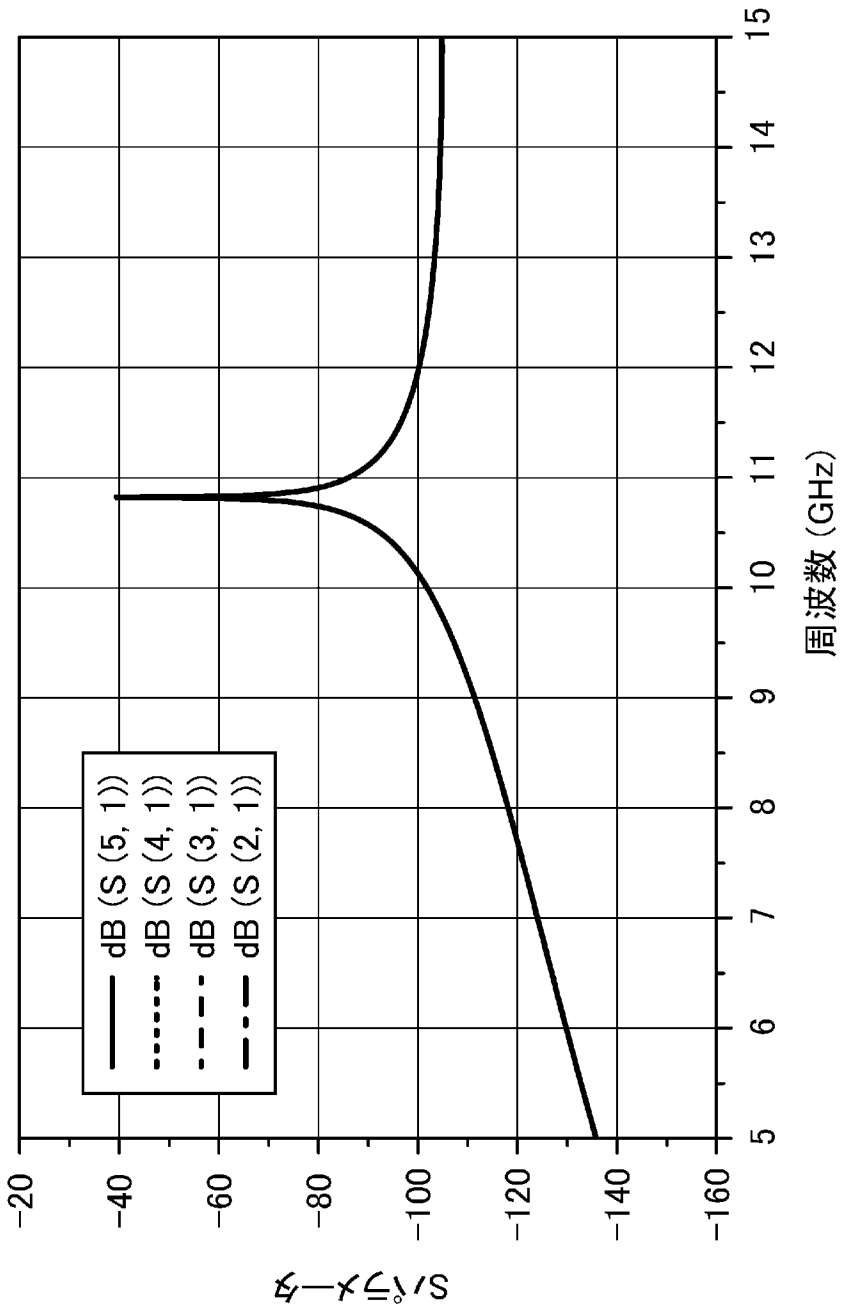
[図10]


dB (S (5, 1))
dB (S (4, 1))
dB (S (3, 1))
dB (S (2, 1))
-20
-40
-60
-80
-100
-120
-140
-160
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
周波数 (GHz)

[図11]


dB (S (5, 1))
dB (S (4, 1))
dB (S (3, 1))
dB (S (2, 1))
−20
−40
−60
−80
−100
−120
−140
−160
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
周波数 (GHz)

[図12]


dB (S (5, 1))
dB (S (4, 1))
dB (S (3, 1))
dB (S (2, 1))
-20
-40
-60
-80
-100
-120
-140
-160
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
周波数 (GHz)

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2023/035657

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H10N 60/10(2023.01)i; ***H10N 60/12***(2023.01)i; ***H10N 69/00***(2023.01)i
FI: H10N60/10 K; H10N60/12 A; H10N69/00

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)

H10N60/10; H10N60/12; H10N69/00

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)

JSTPlus/JMEDPlus/JST7580 (JDreamIII)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2018-530931 A (INTERNATIONAL BUSINESS MACHINES CORPORATION) 18 October 2018 (2018-10-18)	1-9
E, A	WO 2023/188391 A1 (FUJITSU LIMITED) 05 October 2023 (2023-10-05)	1-9

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☑ 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	Date of mailing of the international search report
30 November 2023	**12 December 2023**
Name and mailing address of the ISA/JP **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/JP2023/035657

Patent document cited in search report	Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
JP 2018-530931 A	18 October 2018	US 2017/0005255 A1	
		GB 2556251 A	
		WO 2017/001951 A1	
		DE 112016001721 T5	
		CN 107851876 A	
WO 2023/188391 A1	05 October 2023	(Family: none)	

国際調査報告

国際出願番号
PCT/JP2023/035657

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（ＩＰＣ））

H10N 60/10(2023.01)i; H10N 60/12(2023.01)i; H10N 69/00(2023.01)i
FI: H10N60/10 K; H10N60/12 A; H10N69/00

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））

H10N60/10; H10N60/12; H10N69/00

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	１９７１－２０２３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

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）

JSTPlus/JMEDPlus/JST7580 (JDreamIII)

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 2018-530931 A (インターナショナル・ビジネス・マシーンズ・コーポレーション) 18.10.2018 (2018-10-18)	1-9
E, A	WO 2023/188391 A1 (富士通株式会社) 05.10.2023 (2023-10-05)	1-9

☐ 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
“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	国際調査報告の発送日
30.11.2023	12.12.2023

名称及びあて先
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

権限のある職員（特許庁審査官）
岩本　勉 5F 9355
電話番号 03-3581-1101 内線 3516

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/JP2023/035657

引用文献	公表日	パテントファミリー文献	公表日
JP 2018-530931 A	18.10.2018	US 2017/0005255 A1	
		GB 2556251 A	
		WO 2017/001951 A1	
		DE 112016001721 T5	
		CN 107851876 A	
WO 2023/188391 A1	05.10.2023	（ファミリーなし）	