

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2005-50646
(P2005-50646A)

(43) 公開日 平成17年2月24日(2005.2.24)

(51) Int. Cl. ⁷	F I	テーマコード (参考)
H05H 7/18	H05H 7/18	2G085
H05H 7/08	H05H 7/08	5C030
// G21K 1/00	G21K 1/00	E
HO1J 37/06	HO1J 37/06	Z

審査請求 未請求 請求項の数 27 O L (全 23 頁)

(21) 出願番号	特願2003-281088 (P2003-281088)	(71) 出願人	000000099 石川島播磨重工業株式会社 東京都千代田区大手町2丁目2番1号
(22) 出願日	平成15年7月28日 (2003.7.28)	(71) 出願人	391012327 東京大学長 東京都文京区本郷7丁目3番1号
(出願人による申告) 平成14年度、文部科学省、「電源開発促進対策特別会計委託事業」を実施する「小型加速器実証制作・普及事業」委託研究、産業活力再生特別措置法第30条の適用を受ける特許出願		(71) 出願人	301032942 独立行政法人放射線医学総合研究所 千葉県千葉市稲毛区穴川四丁目9番1号
		(74) 代理人	100064908 弁理士 志賀 正武
		(74) 代理人	100089037 弁理士 渡邊 隆

最終頁に続く

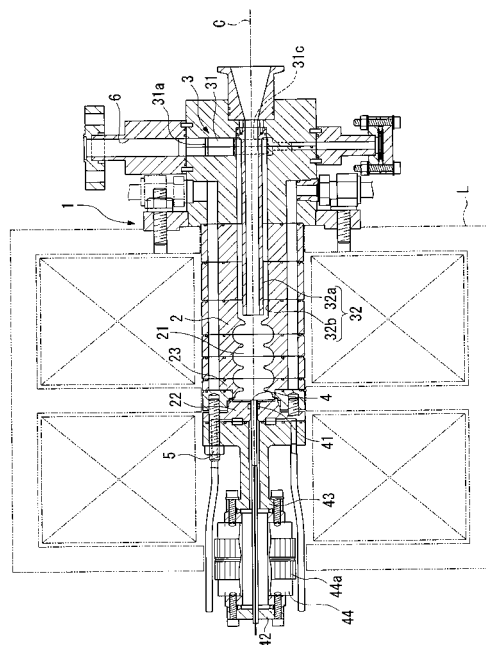
(54) 【発明の名称】 高周波電子銃

(57) 【要約】

【課題】 質の高い電子ビームを取り出すことのできる安定に動作可能な高周波電子銃を提供する。

【解決手段】 高周波導入部3のモードコンバータ31のアイリス31cを、同軸導波管32の中心軸に対して対称かつ対向位置に2つ配設した。そして、モードコンバータ31に、分岐された2つのフィード部を中心軸に対して対称に設けて、同軸導波管32側から見たアイリス31cにおける磁場の強さが等しくなりかつ磁場の向きが該同軸導波管32の中心軸線C周りに時計回りもしくは反時計回りのいずれかに揃えられるように構成した。また、加速空洞部2に対するカソード4の位置を調整して、これにより加速空洞部2の共振周波数を調整する直線導入器44を設けた。さらに、加速空洞部本体23とカソード取り付け部23との間の接続部分に画成される凹部の表面電界強度が放電を生じない程度に低く抑えられるように構成した。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

内部に空洞を画成する加速空洞部と、前記加速空洞部の内部の空洞に高周波を導入する高周波導入部と、前記加速空洞部内の前記空洞を臨む位置に取り付けられて電子を放出するカソードとを有し、

前記加速空洞部は、前記高周波導入部より導入される所定の周波数の電磁波に共振して前記空洞内に生成される電界によって前記カソードから放出される電子を加速するように構成され、

前記高周波導入部は、高周波を生成する高周波電源から導波管を通して送られる高周波のモードを変換するモードコンバータと、前記モードコンバータでモードが変換された高周波を導く同軸導波管とを有し、

前記モードコンバータには、前記同軸導波管内に高周波を導入するための高周波結合部が前記同軸導波管との間に設けられ、前記モードコンバータは、前記高周波電源から導波管を通して送られる T E モードの高周波を該モードコンバータ内で T M モードの高周波に変換し、該変換された高周波を前記高周波結合部を介して後続の前記同軸導波管に導入するときに、前記高周波のモードをさらに変換して前記同軸導波管内を T E M モードの高周波が伝達するように構成されている高周波電子銃において、

前記モードコンバータの前記高周波結合部は、前記同軸導波管の中心軸に対して対称に複数配設され、

前記モードコンバータは、前記同軸導波管側から見た前記高周波結合部における磁場の強さが等しくなりかつ磁場の向きが該同軸導波管の中心軸周りに時計回りもしくは反時計回りのいずれかに揃えられるように構成されていることを特徴とする高周波電子銃。

【請求項 2】

請求項 1 に記載の高周波電子銃において、

前記高周波結合部は、前記同軸導波管の中心軸に対して対称かつ対向位置に 2 つ設けられていることを特徴とする高周波電子銃。

【請求項 3】

請求項 2 に記載の高周波電子銃において、

前記モードコンバータは、前記高周波電源からの T E モードの高周波を伝える前記導波管との接続部を有し、前記導波管内を伝達する前記 T E モードの高周波が前記接続部を介して該モードコンバータ内に導入されるように構成され、

前記モードコンバータは、さらに、前記接続部から前記同軸導波管を跨ぐように延出して前記同軸導波管の中心軸に対して対称に形成された 2 つのフィード部を有して該フィード部内に生成される磁場が等しくなるように構成され、前記高周波結合部が前記フィード部と前記同軸導波管との間にそれぞれ設けられていることを特徴とする高周波電子銃。

【請求項 4】

内部に空洞を画成する加速空洞部と、

前記加速空洞部内の前記空洞を臨む位置に取り付けられて電子を放出するカソードとを有し、

前記加速空洞部は、所定の周波数の電磁波に共振して前記空洞内に生成される電界によって前記カソードから放出される電子を加速するように構成されている高周波電子銃において、

前記加速空洞部に対する前記カソードの位置を調整して、これにより前記加速空洞部の共振周波数を調整するカソード位置調整手段を有していることを特徴とする高周波電子銃。

【請求項 5】

請求項 4 に記載の高周波電子銃において、

前記カソードは、前記加速空洞部に対して着脱自在に設けられ、

前記カソード位置調整手段は、前記加速空洞部方向に進退可能に設けられ、前記カソードの着脱時の取り付け位置の変化を補正できるように構成されていることを特徴とする高

10

20

30

40

50

周波電子銃。

【請求項 6】

請求項 4 または請求項 5 に記載の高周波電子銃において、
前記カソードは、加熱されて熱電子を放出する熱陰極型のカソードとされ、
前記カソード位置調整手段は、前記カソードの熱による位置の変化を補正できるように構成されていることを特徴とする高周波電子銃。

【請求項 7】

内部に空洞を画成する加速空洞部と、
前記加速空洞部内の前記空洞を臨む位置に取り付けられて電子を放出するカソードとを有し、

前記加速空洞部は、前記カソードが取り付けられるカソード取り付け部と、加速空洞部本体とからなり、

前記加速空洞部本体と前記カソード取り付け部との間には、前記空洞内部を気密に保つための導電性を有するシール部材が介装され、前記シール部材は、前記カソード取り付け部に圧接される側の面と、前記加速空洞部本体に圧接される側の面との間に延在する内周面を有し、

前記加速空洞部本体と前記カソード取り付け部との間の接続部分には、前記空洞の内面が径方向外側に向かって膨出するようにして形成された空洞膨出部が画成され、前記シール部材の内周面は、前記空洞膨出部の内面の一周部を形成するように設けられ、

前記加速空洞部は、所定の周波数の電磁波に共振して前記空洞内に生成される電界によって前記カソードから放出される電子を加速するように構成されている高周波電子銃において、

前記空洞膨出部は、電子を加速する電界が前記空洞内に生成されるときに、該空洞膨出部の表面上に分布する電位によって該表面に生成される電界強度が、放電を引き起こす電界強度よりも低い値に保たれるように形成されていることを特徴とする高周波電子銃。

【請求項 8】

請求項 7 に記載の高周波電子銃において、

前記空洞膨出部は、前記シール部材が前記カソード取り付け部と前記加速空洞部本体との間に介装されたときに、前記シール部材の内周面が、前記カソードから放出される電子の軌道を臨む位置に配置されるように形成されていることを特徴とする高周波電子銃。

【請求項 9】

請求項 8 に記載の高周波電子銃において、

前記カソード取り付け部の前記空洞膨出部側の面と前記シール部材の内周面との間、および/または前記加速空洞部本体の前記空洞膨出部側の面と前記シール部材の内周面との間が、径方向に段差無く接続されていることを特徴とする高周波電子銃。

【請求項 10】

請求項 9 に記載の高周波電子銃において、

前記カソード取り付け部の前記空洞に臨む面は、前記加速空洞部本体の中心軸に対し略直交する略平坦な円形に形成され、

前記カソード取り付け部に隣接する前記加速空洞部本体の部分の前記空洞に臨む面は、前記中心軸回りに回転対称な略椀状に湾曲して形成され、

前記空洞膨出部は、径方向にやや拡径された凹部とされ、前記凹部の前記空洞の中心軸側を向いた内周面の少なくとも一周部が前記シール部材の内周面によって形成されていることを特徴とする高周波電子銃。

【請求項 11】

請求項 7 から請求項 10 のいずれか 1 項に記載の高周波電子銃において、

前記空洞膨出部は、該空洞膨出部の表面における電界強度が 100 MV/m 以下、より好ましくは 50 MV/m 以下となるように形成されていることを特徴とする高周波電子銃。

【請求項 12】

10

20

30

40

50

請求項 7 から請求項 1 1 のいずれか 1 項に記載の高周波電子銃において、

前記カソード取り付け部と前記加速空洞部本体との間の距離が前記シール部材の内周面の厚さを変更することによって変更可能とされ、前記加速空洞部の共振周波数が変更可能とされていることを特徴とする高周波電子銃。

【請求項 1 3】

請求項 7 から請求項 1 2 のいずれか 1 項に記載の高周波電子銃において、

前記シール部材の内周面の少なくとも一部に、銅メッキが施されていることを特徴とする高周波電子銃。

【請求項 1 4】

請求項 7 から請求項 1 3 のいずれか 1 項に記載の高周波電子銃において、

前記シール部材は、両側の端面が前記カソード取り付け部および前記加速空洞部本体にそれぞれ圧接されるように設けられた平坦な円筒形状の金属ガスケットとされ、円筒の内面が該シール部材の内周面とされていることを特徴とする高周波電子銃。

10

【請求項 1 5】

請求項 7 から請求項 1 4 のいずれか 1 項に記載の高周波電子銃において、

前記加速空洞部の内部の空洞に高周波を導入する高周波導入部を有し、

前記加速空洞部は、前記高周波導入部より導入される所定の周波数の電磁波に共振するように構成され、

前記高周波導入部は、高周波を生成する高周波電源から導波管を通して送られる高周波のモードを変換するモードコンバータと、前記モードコンバータでモードが変換された高周波を導く同軸導波管とを有し、

20

前記モードコンバータには、前記同軸導波管との間に前記同軸導波管内に高周波を導入するための高周波結合部が設けられ、前記モードコンバータは、前記高周波電源から導波管を通して送られる T E モードの高周波を該モードコンバータ内で T M モードの高周波に変換し、該変換された高周波を前記高周波結合部を介して後続の前記同軸導波管に導入するときに、前記高周波のモードをさらに変換して前記同軸導波管内を T E M モードの高周波が伝達するように構成され、

前記モードコンバータの前記高周波結合部は、前記同軸導波管の中心軸に対して対称かつ対向位置に複数配設され、

前記モードコンバータは、前記同軸導波管側から見た前記高周波結合部における磁場の強さが等しくなりかつ磁場の向きが該同軸導波管の中心軸周りに時計回りもしくは反時計回りのいずれかに揃えられるように構成されていることを特徴とする高周波電子銃。

30

【請求項 1 6】

請求項 1 5 に記載の高周波電子銃において、

前記高周波結合部は、前記同軸導波管の中心軸に対して対称かつ対向位置に 2 つ設けられていることを特徴とする高周波電子銃。

【請求項 1 7】

請求項 1 6 に記載の高周波電子銃において、

前記モードコンバータは、前記高周波電源からの T E モードの高周波を伝える前記導波管との接続部を有し、前記導波管内を伝達する前記 T E モードの高周波が前記接続部を介して前記同軸導波管の中心軸に対して垂直な一方向から該モードコンバータ内に導入されるように構成され、

40

前記モードコンバータは、さらに、前記接続部から前記同軸導波管を跨ぐように延出して前記同軸導波管の中心軸に対して対称に形成された 2 つのフィード部を有して該フィード部内に生成される磁場が等しくなるように構成され、前記高周波結合部が前記フィード部と前記同軸導波管との間にそれぞれ設けられていることを特徴とする高周波電子銃。

【請求項 1 8】

請求項 7 から請求項 1 4 のいずれか 1 項に記載の高周波電子銃において、

前記加速空洞部に対する前記カソードの位置を調整して、これにより前記加速空洞部の共振周波数を調整するカソード位置調整手段を有していることを特徴とする高周波電子銃

50

。

【請求項 19】

請求項 18 に記載の高周波電子銃において、

前記カソードは、前記加速空洞部に対して着脱自在に設けられ、

前記カソード位置調整手段は、前記加速空洞部方向に進退可能に設けられ、前記カソードの着脱時の取り付け位置の変化を補正できるように構成されていることを特徴とする高周波電子銃。

【請求項 20】

請求項 18 または請求項 19 に記載の高周波電子銃において、

前記カソードは、加熱されて熱電子を放出する熱陰極型のカソードとされ、

前記カソード位置調整手段は、前記カソードの熱による位置の変化を補正できるように構成されていることを特徴とする高周波電子銃。

【請求項 21】

請求項 18 から請求項 20 のいずれか 1 項に記載の高周波電子銃において、

前記加速空洞部の内部の空洞に高周波を導入する高周波導入部を有し、

前記加速空洞部は、前記高周波導入部より導入される所定の周波数の電磁波に共振するように構成され、

前記高周波導入部は、高周波を生成する高周波電源から導波管を通して送られる高周波のモードを変換するモードコンバータと、前記モードコンバータでモードが変換された高周波を導く同軸導波管とを有し、

前記モードコンバータには、前記同軸導波管との間に前記同軸導波管内に高周波を導入するための高周波結合部が設けられ、前記モードコンバータは、前記高周波電源から導波管を通して送られる T E モードの高周波を該モードコンバータ内で T M モードの高周波に変換し、該変換された高周波を前記高周波結合部を介して後続の前記同軸導波管に導入するときに、前記高周波のモードをさらに変換して前記同軸導波管内を T E M モードの高周波が伝達するように構成され、

前記モードコンバータの前記高周波結合部は、前記同軸導波管の中心軸に対して対称かつ対向位置に複数配設され、

前記モードコンバータは、前記同軸導波管側から見た前記高周波結合部における磁場の強さが等しくなりかつ磁場の向きが該同軸導波管の中心軸に対して時計回りもしくは反時計回りのいずれかに揃えられるように構成されていることを特徴とする高周波電子銃。

【請求項 22】

請求項 21 に記載の高周波電子銃において、

前記高周波結合部は、前記同軸導波管の中心軸に対して対称かつ対向位置に 2 つ設けられていることを特徴とする高周波電子銃。

【請求項 23】

請求項 22 に記載の高周波電子銃において、

前記モードコンバータは、前記高周波電源からの T E モードの高周波を伝える前記導波管との接続部を有し、前記導波管内を伝達する前記 T E モードの高周波が前記接続部を介して前記同軸導波管の中心軸に対して垂直な方向から該モードコンバータ内に導入されるように構成され、

前記モードコンバータは、さらに、前記接続部から前記同軸導波管を跨ぐように延出して前記同軸導波管の中心軸に対して対称に形成された 2 つのフィード部を有して該フィード部内に生成される磁場が等しくなるように構成され、前記高周波結合部が前記フィード部と前記同軸導波管との間にそれぞれ設けられていることを特徴とする高周波電子銃。

【請求項 24】

請求項 1 から請求項 3 のいずれか 1 項に記載の高周波電子銃において、

前記加速空洞部に対する前記カソードの位置を調整して、これにより前記加速空洞部の共振周波数を調整するカソード位置調整手段を有していることを特徴とする高周波電子銃。

。

10

20

30

40

50

【請求項 25】

請求項 24 に記載の高周波電子銃において、
前記カソードは、前記加速空洞部に対して着脱自在に設けられ、
前記カソード位置調整手段は、前記加速空洞部方向に進退可能に設けられ、前記カソードの着脱時の取り付け位置の変化を補正するように構成されていることを特徴とする高周波電子銃。

【請求項 26】

請求項 24 または請求項 25 に記載の高周波電子銃において、
前記カソードは、加熱されて熱電子を放出する熱陰極型のカソードとされ、
前記カソード位置調整手段は、前記加速空洞部方向に進退可能に設けられ、前記カソードの熱による位置の変化を補正できるように構成されていることを特徴とする高周波電子銃。 10

【請求項 27】

請求項 1 から請求項 26 のいずれか 1 項に記載の高周波電子銃において、
前記高周波の周波数は、Xバンド帯域の周波数とされていることを特徴とする高周波電子銃。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、内部に空洞を画成する加速空洞部と、この加速空洞部内に高周波を導入する高周波導入部と、加速空洞部内の空洞を臨む位置に取り付けられて電子を放出するカソードとを有し、高周波導入部より導入される所定の周波数の電磁波に上記加速空洞部が共振して空洞内に電磁波のエネルギーを蓄え、空洞内に生成される電界によってカソードから放出される電子を加速するように構成された高輝度な電子ビームを生成する高周波電子銃に関し、とりわけ、上記高周波の周波数がXバンド帯域の周波数とされた、硬X線源用の電子源に用いられて好適な小形のXバンド高周波電子銃に関する。 20

【背景技術】

【0002】

近年、小型の硬X線源等に用いるための高輝度な電子線源として、高周波電子銃の開発が進められている。高周波電子銃は、高周波によってカソードから放出される電子を高い電界で引き出し、極めて短い間に光速近くにまで加速するため、大電流で高品質の電子ビームを取り出すことができる。図11に、非特許文献1に記載された従来の高周波電子銃の一例を概略的に示す。高周波電子銃は、主として、加速空洞部100と、高周波導入部200と、カソード300とを有して構成されている。加速空洞部100の共振周波数に相当する周波数の高周波が高周波導入部200から加速空洞部100内に導入されると、加速空洞部100内にカソードから放出される電子ビームを加速する電界が生成される。 30

【0003】

カソードから引き出される電子ビームは、比較的低エネルギーのカソード付近で発散しやすいため、ソレノイドレンズといった集束レンズをカソードの近くに設けて、電子ビームを集束させなければならない。ところが図11に示すような高周波電子銃の場合、高周波導入部200からカソード300の近くに直接高周波が導入されるように構成されているため、高周波を導くための導波管がカソード付近の場所を占有して（例えば非特許文献2を参照）、集束レンズをカソードに近づけて設置することができず、導波管の位置よりも電子ビームの進行方向下流側か、もしくは導波管を取り囲むような径の大きなソレノイドレンズを設けるしかないという問題があった。これでは、カソードを離れた直後の電子ビームを集束させるための集束磁場を加えることが困難になってしまう。 40

【0004】

加えて、図11に示すような高周波電子銃の場合、高周波を加速空洞部100の片側から入力されるような構成とされているため、加速空洞100の軸線に対して非対称なモー 50

ドの電磁場が形成され、これが電子ビームの質を劣化させるといった問題もあった。

【0005】

これに対して、非特許文献3に記載されているような高周波電子銃の場合、図12に示すように、高周波導入部210は、高周波電子銃の最も下流側に設けられ、カソード付近に導波管が設けられない構成されている。そのため、非特許文献3に開示された高周波電子銃の高周波導入部210は、高周波を生成する高周波電源から導波管を通して送られるTEモードの高周波を変換する「ドアノブ(Door-knob)型」と呼ばれるモードコンバータ211と、このモードコンバータでモードが変換された高周波を導く同軸導波管212とを有している。高周波は、モードコンバータ内でTEモードからTMモードに変換され、高周波結合部213を介して後続の同軸導波管212に導入される際にさらにモードが変換されて、同軸導波管内をTEMモードで進行するように構成されている。このように、非特許文献3に開示された高周波電子銃では、カソードの近くに集束レンズを設けるスペースを十分確保することができ、しかも、軸対称な高周波を送ることができるため、電子ビームの質の劣化を招くような非対称な電磁波がカソード付近に発生することを防ぐことができる。

10

【非特許文献1】W. J. Brown, et. al. "A High Gradient 17 GHz RF Gun for the Production of High Brightness Electron Beams" Proc. of the 1999 Particle Accelerator Conference, New York, 1999, p. 81-83

【非特許文献2】C. H. Ho, et. al. "Results from the Second X-band RF Gun" Proc. of the 1999 Particle Accelerator Conference, New York, 1999, p. 2000-2002

20

【非特許文献3】F. B. Kiewiet, et. al. "A DC/RF Gun for Generating Ultra-Short High-Brightness Electron Bunches"

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

ところが、非特許文献3に記載されているドアノブ型モードコンバータの場合、モードコンバータの片方の側から高周波が入力される構成とされているため、モードコンバータ内の高周波結合部周囲に発生する軸非対称なTMモードによって、 $TM_{0,1,0}$ 以外の高次の電磁場のモードが発生してしまう。このような高次の電磁場のモードは、周波数を高くすることによって高周波電子銃の小形化を図る際には無視できない。例えば、Xバンド帯域の高周波のモードを変換する場合には、非特許文献3のように周波数がSバンド帯域の3GHzとされている場合と異なり、高次モードのカットオフ周波数が低くなり、必要とするTEMモード周波数の近くに高次のモードが発生しやすくなる。図13は、ドアノブ型と呼ばれるモードコンバータを概略的に示す図である。ドアノブ型のモードコンバータの場合、図13に示すように、導波管220を $TE_{1,0}$ モードの高周波が伝搬し、モードコンバータ211内に入力されてここでTMモードに変換される。高周波結合部は、図13には図示されていないが、基本的には図12と同様の構成とされており、ドラム状のモードコンバータ211内に同軸導波管の芯側の部分が突出して、モードコンバータ211の背面(同軸導波管内における高周波の進行方向に関して上流側の内面)に接続された構成とされている。図14は、図13に示すモードコンバータの高周波結合部周囲に発生するTMモードの周波数の反射応答特性を示す図である。図14から分かるように、必要とする $TM_{0,1,0}$ 以外の高次の $TM_{1,1,0}$ のモードが $TM_{0,1,0}$ のモードの近傍に存在して $TM_{0,1,0}$ モードと分離されず、 $TM_{0,1,0}$ モードがピークとなる周波数で $TM_{1,1,0}$ のモードが混在していることが分かる。この高次のTMモードによって同軸導波管内に高次のTEモードが発生してしまう。

30

40

【0007】

また、高周波導入部以外に関して言えば、カソードは、メンテナンス等を目的として着脱可能に設けられていることが多いが、カソード取り付け時のカソードの位置の変化によって、加速空洞部の共振周波数が変化してしまうという問題があった。また、カソードが熱電子を放出する熱陰極型のカソードとされている場合には、カソードの部分を加速空

50

洞部から熱的に絶縁するために、カソードだけ加速空洞部から切り離されて別体に設けられ、RFコンタクトを介してのみ加速空洞部と電氣的に接続されている構成とされている。このため、カソード部分の熱膨張によってカソードの部分だけが加速空洞内に突出するような位置の変化を起こし、やはり加速空洞部の共振周波数が変化してしまうという問題があった。

【0008】

ところで、周波数調整、カソードの交換、ならびにカソード周辺のメンテナンスを行うためには、加速空洞部がカソード取り付け部と、加速空洞部本体とから構成され、このうちカソード取り付け部にカソードが取り付けられていることが好ましい。上記加速空洞部本体とカソード取り付け部との間には、空洞内部を気密に保つための導電性を有するシール部材が介装されているが、従来より、このシール部材に用いられるヘリコフレックス（商標）と呼ばれるメタル中空のリングは、均等に締め付けられないと真空リークを引き起こし易いという問題を有していた。しかも、リングを加速空洞から隠す構造によって放電も起こり易いといった問題を有していた。例えば図15には、加速空洞部本体131と、カソード取り付け部132との間にシール部材としてのリング0が介装された加速空洞部の接続部分の断面が一例として示されている。ここで、加速空洞部は、中心軸134周りに回転対称であるため、図15には、上側の部分しか示されていない。また、カソードは、ここでは図示されていないが、中心軸134上の位置においてカソード取り付け部132に取り付けられており、カソード面とカソード取り付け部の空洞側の面とが面一となるように配置されている。なお、図15中、空洞内の曲線は、電気力線を表し、密であればあるほど電界強度が高いことを示している。図15に示されているように、加速空洞部本体131とカソード取り付け部132との間の接続部分には、加速空洞部の内面が径方向外側に向かって膨出するようにして形成された空洞膨出部133が、狭窄部135によって加速空洞から概ね隔離されるようにして画成されている。リング0は、この空洞膨出部133の入込んだ形状によって空洞膨出部133の最奥の位置に格納され、加速空洞側から隠されるようにして配置されている。こうして、加速空洞は、専ら加速空洞部本体の椀状の面と、カソード取り付け部の平面とによって画成されるようになっている。ところが、空洞膨出部が加速空洞から独立したような形状とされていても、加速空洞部本体と、カソード取り付け部とが最も近接して対向する狭窄部135は、依然として絶縁された構造とされているから、その両端には電位差が発生する。つまり、高周波が空洞内

10

20

30

【0009】

本発明は、上記の事情に鑑みてなされたものであって、質の高い電子ビームを取り出すことのできる安定に動作可能な高周波電子銃を提供することを目的とし、特に、カソード付近に集束レンズを設置する場所を確保することができると同時に、高周波導入部のモードコンバータ内における高次のTMモードの発生を抑えて、必要となるTEMモードだけを同軸導波管内に伝搬させ、加速空洞内に専ら軸対称な電磁場のモードだけを発生させることのできる高周波電子銃を提供することを第一の目的とする。

40

【0010】

また、本発明は、質の高い電子ビームを取り出すことのできる安定に動作可能な高周波電子銃を提供するため、加速空洞部の共振周波数を簡易に制御できる高周波電子銃を提供することを目的とする。本発明は、とりわけ、カソード部分がメンテナンス等を目的として着脱可能に設けられている場合に、カソードの位置の変化による加速空洞部の共振周波数の変化を容易に補正することができ、さらに、カソードが熱陰極型である場合に、熱膨張によるカソードの位置の変化と加速空洞部の共振周波数の変化を容易に補正すること

50

ができる高周波電子銃を提供することを第二の目的とする。

【0011】

本発明の第三の課題は、質の高い電子ビームを取り出すことのできる安定に動作可能な高周波電子銃を提供するために、放電や真空リークを引き起こしにくい高周波電子銃を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0012】

上記の第一の目的を達成するために、本発明は、以下の構成を採用した。すなわち、本願の第一の観点による発明は、高周波電子銃において、高周波導入部のモードコンバータに、同軸導波管内に高周波を導入するための高周波結合部が前記同軸導波管との間に設けられ、モードコンバータは、高周波電源から導波管を通して送られるTEモードの高周波を該モードコンバータ内でTMモードの高周波に変換し、該変換された高周波を前記高周波結合部を介して後続の前記同軸導波管に導入するときに、前記高周波のモードをさらに変換して前記同軸導波管内をTEMモードの高周波が伝達するように構成され、このとき、モードコンバータの前記高周波結合部は、前記同軸導波管の中心軸に対して対称に複数配設され、前記モードコンバータは、前記同軸導波管側から見た前記高周波結合部における磁場の強さが等しくなりかつ磁場の向きが該同軸導波管の中心軸周りに時計回りもしくは反時計回りのいずれかに揃えられるように構成されていることを特徴とする。

10

【0013】

本発明によれば、同軸導波管の内部導体の周りが全て開放された従来の高周波結合部と異なり、モードコンバータから同軸導波管への高周波結合部が同軸導波管の中心軸線の周りに対称に開口されるように配設されているだけであり、しかも、この高周波結合部に時計回りもしくは反時計回りの向きに揃った等しい大きさの磁場が生成されるように構成されているので、同軸導波管側から見たときに時計回りもしくは反時計回りの向きの軸対称の磁場が存在することになって、同軸導波管内にも中心軸線周りに軸対称の磁場だけが生成され、これによりTEMモードの高周波が同軸導波管内を伝搬して、その他の高次のモードが伝搬しない。とりわけ、高周波の周波数がXバンド帯域にある場合には、必要とするTEMモード周波数の近くに高次のモードが発生しやすくなるのを効果的に抑えることができる。

20

【0014】

本発明の好ましい一実施形態によれば、高周波結合部は、同軸導波管の中心軸に対して対称かつ対向位置に設けられ、さらに好ましくは、周方向を等分するように配設されていることが好ましい。

30

【0015】

特に、上記高周波結合部は、同軸導波管の中心軸に対して対称かつ対向位置に2つ設けられていることが好ましい。これにより、最も簡易な構成で、同軸導波管の周りに軸対称な磁場を生成し、TEMモードの高周波だけが同軸導波管内を伝搬するようにできる。

【0016】

このとき、上記モードコンバータは、高周波電源からのTEモードの高周波を伝える矩形導波管との接続部を有し、導波管内を伝達するTEモードの高周波が該接続部を介してモードコンバータ内に導入されるように構成され、さらに、接続部から同軸導波管を跨ぐように延出して同軸導波管の中心軸に対して対称に形成された2つのフィード部を有して該フィード部内に生成される磁場が等しくなるように構成され、高周波結合部がこれらのフィード部と同軸導波管との間にそれぞれ設けられていることが好ましい。これにより、最も簡易な構成で、同軸導波管の周りに軸対称な磁場を生成し、TEMモードの高周波だけが同軸導波管内を伝搬するようにできる。

40

【0017】

上記の第二の目的を達成するために、本発明は、以下の構成を採用した。すなわち、本願の第二の観点による発明は、高周波電子銃において、加速空洞部に対するカソードの位置を調整して、これにより加速空洞部の共振周波数を調整するカソード位置調整手段を有

50

していることを特徴とする。

【0018】

加速空洞部の共振周波数は、加速空洞の形状、大きさによって変更されるので、カソード位置調整手段によりカソード位置を前記加速空洞方向に進退可能に設けておくことで加速空洞部に対するカソードの位置を調整すれば、加速空洞部の共振周波数を調整することができる。このような構成としたことにより、加速空洞部の共振周波数を容易に調整することができる。特に、カソード位置調整手段は、加速空洞部に対するカソードの着脱時の取り付け位置の変化を補正するように構成されていることが好ましく、また、カソードの熱による位置の変化を補正するように構成されていることが好ましい。

【0019】

上記の第三の課題を解決するために、本発明は、以下の構成を採用した。すなわち、本願の第三の観点による発明は、高周波電子銃において、加速空洞部は、カソードが取り付けられるカソード取り付け部と、加速空洞部本体とからなり、これら加速空洞部本体とカソード取り付け部との間には、空洞内部を気密に保つための導電性を有するシール部材が介装され、このシール部材は、カソード取り付け部に圧接される側の面と、加速空洞部本体に圧接される側の面との間に延在する内周面を有し、加速空洞部本体とカソード取り付け部との間の接続部分には、加速空洞の内面が径方向外側に向かって膨出するようにして形成された空洞膨出部が画成され、シール部材の内周面は、空洞膨出部の内面の一周部を形成するように設けられ、空洞膨出部は、電子を加速する電界が加速空洞内に生成されるときに、該空洞膨出部の表面上に分布する電位によって該表面に生成される電界の強度が、放電を引き起こす電界強度よりも低い値に保たれるように形成されていることを特徴とする。

【0020】

本発明の構成によれば、空洞膨出部の表面上に分布する電位によって該表面に生成される電界の強度が、放電を引き起こす電界強度よりも低い値に保たれるように形成されているので、放電を防止することができる。特に、本発明による空洞膨出部は、表面電流が流れる径路ができるだけ短くなるように、外方に向かってあまり大きく膨出しないように形成される。そして、空洞膨出部の形状は、特に空洞膨出部の入口部分、すなわち、加速空洞と空洞膨出部との境界部分の表面電界強度が放電を起こさない程度に低く保たれるように設計される。一般に、空洞膨出部の入口部分には、互いに対向する加速空洞部本体側の表面とカソード取り付け部側の表面との間に電位差が生じるが、これらの表面の間隔が狭いときに表面電界強度が大きくなり、放電が発生しやすくなる。しかしながら、本発明によれば、空洞膨出部の加速空洞部本体側の表面からシール部材の内周面を介してカソード取り付け部側の表面に至る径路の長さが十分短くされてこれらの表面間の電位差が低減され、および/または表面間隔が十分大きくされて、表面電界強度が放電を起こさない程度に低減される。

【0021】

表面電界強度を低減する本発明に係る空洞膨出部の一実施形態として、空洞膨出部は、シール部材がカソード取り付け部と加速空洞部本体との間に介装されたときに、シール部材の内周面が、カソードから放出される電子の軌道を臨む位置に配置されるように形成されていることが好ましい。このような構成にすれば、従来のような、加速空洞からシール部材を隠すように外方に大きく膨出して、加速空洞との境界部分がくびれるように狭く形成された空洞膨出部の形状に比べて、加速空洞部本体からカソード取り付け部に至る径路も短くなり、空洞膨出部表面の電位差ならびに表面電界強度が著しく低減される。これにより、空洞膨出部における放電を確実に防止することができる。

【0022】

空洞膨出部をできるだけ小さく形成して、加速空洞部本体からカソード取り付け部に至る径路を短くするには、本発明により、カソード取り付け部の空洞膨出部側の面とシール部材の内周面との間、および/または加速空洞部本体の空洞膨出部側の面とシール部材の内周面との間が、外方に向かう段差が無いように接続されていることが好ましい。

【0023】

本発明の好ましい実施形態において、カソード取り付け部の空洞に臨む面は、前記加速空洞部本体の中心軸に対し略直交する略平坦な円形に形成され、カソード取り付け部に隣接する加速空洞部本体の部分の空洞に臨む面は、前記中心軸回りに回転対称な略椀状に湾曲して形成され、これにより、カソードが取り付けられる初段の1/2セルの加速空洞が画成されているが、このとき、上記空洞膨出部は、径方向にやや拡径された凹部とされ、この凹部の、空洞の中心軸線すなわち前記同軸導波管の中心線側を向いた内周面の少なくとも一周部がシール部材の内周面によって形成されている。このような構成にすれば、加速空洞からシール部材を隠すように径方向外方に大きく膨出して、加速空洞との境界部分がくびれるように狭く形成された従来の空洞膨出部に比べて、加速空洞部本体からカソード取り付け部に至る径路も短くなり、空洞膨出部表面の電位差ならびに表面電界強度が著しく低減される。これにより、空洞膨出部における放電を確実に防止することができる。

10

【0024】

放電を防止するための表面電界強度としては、100MV/m以下、より好ましくは50MV/m以下となるように形成されていることが好ましい。

【0025】

また、シール部材の内周面の少なくとも一部に、銅メッキが施されていると、抵抗が下がり、確実に放電を防止できてQ値も向上する。

【0026】

なお、本発明の構成によれば、カソード取り付け部と前記加速空洞部本体との間の隔たりが前記シール部材の軸線方向の厚さ、すなわちシール部材の内周面の厚さ（内周面の軸線方向の長さ）を変更することによって変更可能とされ、前記加速空洞部の共振周波数が変更可能とされている。また、シール部材は、両側の端面がカソード取り付け部および加速空洞部本体にそれぞれ圧接されるように設けられた平坦な円筒形状の金属ガasketとされ、円筒の内面が該シール部材の内周面とされている。

20

【0027】

このような構成としたことにより、真空リークを確実に防止できるとともに、加速空洞の共振周波数の調整もできる。

【0028】

高周波電子銃に用いる高周波の周波数は、Xバンド帯域とされていることが好ましい。これにより、高周波電子銃を小型化することが可能になる。

30

【発明の効果】

【0029】

本発明の高周波電子銃によれば、質の高い高輝度な電子ビームを取り出すことができ、電子線源として安定に動作させることができる。

【0030】

特に、本発明の第一の観点による構成によれば、高周波導入部が電子ビーム進行方向下流側に設けられることでカソード近くに集束レンズを設置できるスペースが確保され、しかも、高周波導入部のモードコンバータ内における高次のTMモードの発生を抑えて、必要となるTEMモードだけを同軸導波管内に伝搬させ、加速空洞内に専ら軸対称な TM_{01} モードだけを発生させることができる。

40

【0031】

また、本発明の第二の観点による構成によれば、加速空洞部の共振周波数を簡易に制御できる。とりわけ、カソード部分がメンテナンス等を目的として着脱可能に設けられている場合に、カソードの位置の変化による加速空洞部の共振周波数の変化を容易に補正することができる。さらに、カソードが熱陰極型である場合に、熱膨張によるカソードの位置の変化と加速空洞部の共振周波数の変化を容易に補正することができる。

【0032】

また、本発明の第三の観点による構成によれば、放電や真空リークを防止することができる。

50

【発明を実施するための最良の形態】

【0033】

以下、本発明による高周波電子銃を図面に基づき説明する。

【0034】

図1に、本発明に係る高周波電子銃の一実施形態を示す。図1は、高周波電子銃を示す縦断面図である。図において高周波電子銃1は、主として小型硬X線源に用いられる電子線源とされ、特にXバンド帯域の11.424GHzの周波数を用いる高周波電子銃とされている。この高周波電子銃1は、内部に加速空洞21（もしくは本明細書中、単に空洞と称する場合もある）を画成する加速空洞部2と、加速空洞部2内の加速空洞21に高周波を導入するための高周波導入部3と、加速空洞21を臨む位置に取り付けられて電子を放出するカソード4とを有して概略構成されている。

10

【0035】

高周波電子銃1は、加速空洞部2が高周波導入部3より導入される所定の周波数の電磁波に共振して、これにより空洞21内に生成される電界によってカソード4から放出される電子が加速されるように構成されている。

【0036】

以下に、各部の構成および動作を詳しく述べることにする。

【0037】

加速空洞部2は、内部に加速空洞21を画成している。この加速空洞21は、中心軸線C周りに回転対称に形成された断面略楕円形の3つの加速空洞セルと、カソード4が装着される初段に配置されて、他の加速空洞セルを中心軸線Cに垂直な面で半分に分けたような形状の1/2セルを一つ有して形成されており、これらのセルが互いに連通した3.5セル型の加速空洞とされている。上記加速空洞部2は、中心軸線Cに垂直な面で分割された複数の円板状の部材に超精密旋盤加工によって空洞表面が形成された後、拡散接合等によって互いに接合されることによって構成されている。この加速空洞部2は、冷却水を循環させるなどして略一定の温度に保たれるように構成されている。

20

【0038】

また、加速空洞部2は、カソード4が取り付けられるカソード取り付け部22と、断面略楕円形の3つの加速空洞セルを画成する加速空洞部本体23とから構成されている。カソード取り付け部22は、カソード4を交換し易くするために、フランジ接続によって加速空洞部本体23に着脱自在に装着されるように設けられている。そして、カソード取り付け部22の空洞21に臨む面は、前記加速空洞部本体の中心軸に対し略直交する略平坦な円形に形成され、カソード取り付け部22に隣接する加速空洞部本体23の空洞21に臨む面は、前記中心軸回りに回転対称な略碗状に湾曲して形成され、カソード取り付け部22が加速空洞部本体23に装着されたときに、全体で初段の1/2セルの加速空洞を画成するように設けられている。

30

【0039】

図2に、カソード4付近の拡大図を示す。加速空洞部本体23とカソード取り付け部22との間には、空洞21内部を真空に保つための導電性を有する金属ガスケット24（シール部材）が介装されている。ここで、カソード取り付け部22および加速空洞部本体23における加速空洞21を画成する表面部分は、いずれも銅によって形成されており、他方、ガスケット24を押しつぶすフランジ面は、SUSによって形成されている。ガスケット24は、使用前は、両側に平坦な面を有する薄い円筒形のリングとされており、これが、カソード取り付け部22のSUSからなるフランジ面と、加速空洞部本体23のSUSからなるフランジ面とに挟まれて押しつぶされ、これにより、ガスケット両側の端面がカソード取り付け部22および加速空洞部本体23にそれぞれ圧接されることによって各フランジ面に気密に密着し、加速空洞内の真空を保つように設けられている。

40

【0040】

図3は、加速空洞部本体23とカソード取り付け部22の接続部分の断面をさらに拡大して示す図である。図から、もともと断面矩形状であったガスケット24が、カソード取

50

り付け部 2 2 および加速空洞部本体 2 3 に挟まれて変形している様子が分かる。ガスケット 2 4 は、カソード取り付け部 2 2 に圧接される側の端面 2 4 b と、前記加速空洞部本体 2 3 に圧接される側の端面 2 4 c との間に延在する内周面 2 4 a を有している。この図 3 から分かるように、加速空洞部本体 2 3 とカソード取り付け部 2 2 との間の接続部分（図 2 中、A で示す部分ならびに図 3 で示す部分）には、加速空洞 2 1 の内面が径方向外側に向かって膨出するようにして形成された空洞膨出部 2 1 a が形成されている。図 3 の実施形態においては、上記空洞膨出部 2 1 a は、径方向に深さ $t = 1.5 \text{ mm}$ ほど外側に向かって拡径された軸線周りを一周する凹部として形成されている。このとき、凹部 2 1 a は、電子を加速する電界が空洞 2 1 内に生成されるときに、凹部 2 1 a の表面上に分布する電位によって該表面に生成される電界の強度が、放電を引き起こす電界強度よりも低い値に保たれるように形成されている。とりわけ、凹部 2 1 a の表面における電界強度が 100 MV/m 以下、より好ましくは 50 MV/m 以下となるように形成されていることが望ましい。凹部 2 1 a 上での表面の電界強度をできるだけ低くするために、ガスケット 2 4 の内周面 2 4 a は、カソード 4 から放出される電子の軌道を臨む位置に、空洞 2 1 の中心軸線 C 側を向いた凹部 2 1 a の内周面の一周部を形成するようにして配置されている。さらに、加速空洞部本体 2 3 の凹部 2 1 a 側の面 2 3 a とガスケット 2 4 の内周面 2 4 a との間は、径方向に段差の無い状態で滑らかに接続されている。また、表面電界強度を下げるために、凹部 2 1 a に隣接する加速空洞部本体 2 3 の角部には、曲率半径 0.5 mm の湾曲角部 2 3 b が設けられ、凹部 2 1 a に隣接するカソード取り付け部 2 2 の隅には、曲率半径 0.5 mm の湾曲隅部 2 2 b が設けられている。

10

20

【0041】

図 4 は、図 3 の凹部 2 1 a の表面のうち、カソード取り付け部 2 2 に対面して最も電界強度が高くなる表面部分 2 3 c（長さ 1 mm ）における最大表面電界強度を、カソード取り付け部 2 2 と加速空洞部本体 2 3 との間隔 D との関係において示す図である。この図から分かるように、間隔 D が 1 mm 程度するとき、表面 2 3 c 上の最大表面電界強度 E_{gap} と中心軸線 C 上での平均電界強度 E_{acc} との比 E_{gap} / E_{acc} は、 0.3 程度となる。カソードから取り出された電子を加速するために必要な 5.5 MW 程度の高周波を入力した場合にカソード 4 上で得られる電界強度は、 150 MV/m 程度であるので、この結果から、電子を加速する電界が空洞 2 1 内に生成されるときに表面部分 2 3 c 上での電界強度は 45 MV/m になると考えられる。このように、凹部 2 1 a の表面では、電界強度が、放電を起こさない程度に十分に低く抑えられていることが分かる。また、図 4 から、間隔 D をさらに狭くすれば、凹部 2 1 a の最大表面電界をさらに低下させることができることが分かる。間隔 D を狭くするには、加速空洞部本体 2 3 の凹部 2 1 a 側の面 2 3 a の長さを 0 に近づけ、および / またはガスケット 2 4 の厚さを薄くすればよい。面 2 3 a の長さが 0 のときは、図 5 に示すように、凹部 2 1 a の中心軸線 C 側を向いた内周面は、全てガスケット 2 4 の内周面 2 4 a になる。間隔 D をさらに狭くするには、ガスケット 2 4 の厚さを薄くすればよいが、真空フランジの締め付け具合との兼ね合いもあるため、ガスケット 2 4 の厚さは $0.4 \sim 0.6 \text{ mm}$ 程度とするのが好ましい。

30

【0042】

このように、空洞膨出部すなわち凹部 2 1 a の大きさをできるだけ小さくすることによって、加速空洞部本体 2 3 からガスケット内周面 2 4 a を介してカソード取り付け部 2 2 に至る表面長さとの抵抗とが少なくなるため、凹部 2 1 a の対向する面の間に大きな電位差が生じなくなる。このため、本発明によれば、凹部 2 1 a に高い表面電界が形成されず、放電を抑えることができる。従来のリングを用いた空洞膨出部の構成と異なり、ガスケット 2 4 は、その内周面 2 4 a がカソードから引き出される電子の軌道を臨む位置に配置され、しかも、内周面 2 4 a が加速空洞部本体側の面と面一となるようにして凹部 2 1 a の中心軸線 C 側を向いた内周面の少なくとも一部を形成するように設けられているため、凹部 2 1 a を従来の空洞膨出部に比べて小さくすることができる。このように、本発明によれば、凹部 2 1 a が小さく設けられているため、凹部 2 1 a の表面の電界強度を小さくすることができる。

40

50

【0043】

また、従来のリングと異なり、ガスケット24は、カソード取り付け部22と加速空洞部本体23との両側の端面における密着性が高いため、取り扱いが簡便ながらも真空リークを防止するのに効果的である。

【0044】

従来のリングの場合は、締め付け方を変えてリングの潰し方を調整すれば加速空洞の共振周波数を変えることができたが、本発明の好ましい実施形態によれば、ガスケットの厚さを変更することによって、加速空洞2の共振周波数を調整することができる。

【0045】

さらに、本願の好ましい実施形態では、ガスケット24の内周面24aの少なくとも一部に銅といった良導体が被覆され、これにより表面の抵抗が少しでも低減され、その結果、凹部21a内の表面電界強度が低減され、かつ加速空洞21のQ値の向上が図られていることが好ましい。

【0046】

なお、上述の実施形態においては、凹部21aの面のうち中心軸線C側を臨む面は、ガスケット24の内周面24aと、加速空洞部本体23の凹部21a側の面23aとから形成されていたが、より一般には、図6に示すように、内周面24aと加速空洞部本体23の凹部21a側の面23aとカソード取り付け部22の凹部21a側の面22aとから形成されていてもよいし、図示しないものの、内周面24aと上記の面22aだけから形成されていてもよい。この場合、いずれも、内周面24aと面23aとの間、および内周面24aと面22aとの間に径方向に段差がなく、面一に揃えられていることが抵抗を低減する上で好ましい。

【0047】

また、加速空洞部本体とカソード取り付け部との間の接続部分における放電を抑える本願発明に係る構成は、加速空洞部本体とカソード取り付け部との間の接続部分に画成される空洞膨出部ないし凹部をできるだけ小さくして、高周波特性の対象性を保持する理想的な1/2セルの形状に近づけることに特徴を有するものであるから、たとえリングを用いていたとしても、図15に示すような空洞膨出部を狭窄部の位置で短絡させて、例えば図7のようにリングを内封してしまうような構成であってもよい。ただし、この場合、電気的な接触を良くするために加速空洞部本体とカソード取り付け部との間を密着させてしまうと、リング周囲のガスを真空引きするための時間が長くなり、真空を形成する上で問題が多いし、締め圧を変えたりリングの径を変えたりすることによって共鳴周波数を調整することができない。また、図示しないが、本願発明のような円筒状リングのガスケットを、加速空洞部本体とカソード取り付け部との間に一部もしくは全部内封してしまう構成も可能であるが、ガスケットとフランジとの間のがたつきの無い安定な構成としては、本願の実施形態による構成が最も好ましい。

【0048】

表1～表4に、理想的な1/2セル、ガスケットを用いた本願発明による図6の空洞膨出部(凹部)、リングを用いた本願発明による図7の空洞膨出部(凹部)、そしてリングを用いた従来の空洞膨出部の場合における計算結果をそれぞれ示す。なお、これらの計算は、材質をSUS(SUS304、 $72\mu\text{-cm}$)ならびにリング(Al; $2.65\mu\text{-cm}$)として電磁場解析コードSUPERFISHを用いて行なった。また、以下の表において、場所を示す言葉として用いられるディスク部とはセルとセルを区切る部分、ギャップ部とは空洞膨出部を指し、また、符号 E_s はそれぞれの場所での表面電界強度、 $E_{s,c}$ は中心軸線C上の最大電界強度である。また、 df/dz は、カソードが設けられたカソード壁(カソード取り付け部の空洞側に面した平坦面)の位置を中心軸方向(z方向)に変えたときの共鳴周波数の変化、 df/dr は、空洞膨出部を径方向(r方向)に拡張した場合の共鳴周波数の変化を意味する。

【0049】

【表 1】

理想的な 1 / 2 セルの場合の計算結果

	場所	単位	計算値
周波数		GHz	11.424022
Q 値			5705
E_s / E_{acc}	ディスク部		1.584
df / dz	カソード壁	MHz/mm	-516

(理想的な 1 / 2 セルのカソード取り付け部の空洞側の面の最大半径は約 12.40 mm、ディスク部における空洞半径は 6.00 mm、カソードからディスク部の軸線方向中央までの中心軸線方向の長さ 6.56 mm とした。)

10

【0050】

【表 2】

ガスケットを用いた本願発明による図 6 の空洞膨出部 (凹部) の場合の計算結果

	場所	単位	計算値
周波数		GHz	11.423979
Q 値			3576.61
E_s / E_{acc}	ディスク部		1.602
	ギャップ部		0.438
df / dz	カソード壁	MHz/mm	620.6
df / dr	ガスケット/SUS部	MHz/mm	-443.7

20

(面 22a 及び面 23a の長さはそれぞれ 0.5 mm、およびガスケットの内周面 24a は 0.6 mm で凹部の間隔 $D = 1.1$ mm、凹部の深さ $t = 1.5$ mm とした。なお、湾曲角部 23b の曲率半径は 0.5 mm とした。)

【0051】

【表 3】

Oリングを用いた本願発明による図 7 の空洞膨出部 (凹部) の場合の計算結果

	場所	単位	計算値
周波数		GHz	11.423993
Q 値			3996.98
E_s / E_{acc}	ディスク部		1.61
	ギャップ部		0.28
df / dz	カソード壁	MHz/mm	788.0
df / dr	SUS部	MHz/mm	-138.7

30

(凹部の間隔 $D = 0.5$ mm、凹部の深さ $t = 1.5$ mm とした。なお、湾曲角部 23b の曲率半径は 0.5 mm とした。)

40

【0052】

【表 4】

リング（ヘリコフレックスV-34）を用いた従来の空洞膨出部の場合の計算結果

	場所	単位	計算値
周波数		GHz	11.424036
Q 値			2198.2
E_s / E_{acc}	ディスク部		1.63
	ギャップ部		2.02
df / dz	カソード壁	MHz/mm	646.4
df / dr	リング部	MHz/mm	-153.7

（リングの半径16.75mm、リングの断面直径3.9mm、空洞膨出部の狭窄部におけるギャップの間隔0.2mm、狭窄部の径方向の長さ約1.9mmとした。なお、空洞膨出部は、中心軸から半径13.5mmの位置までは銅で形成され、それよりも外側はSUSであるとした。）

10

【0053】

これらの計算結果から、従来の空洞膨出部の場合、空洞膨出部の表面電界強度が軸上の電界強度の2倍近くあるのに対し、本願発明の空洞膨出部（凹部）の構成の場合には、軸上の電界強度の半分に満たないほどに低減されていることが分かる。また、従来の空洞膨出部と比べて、本願発明の空洞膨出部（凹部）を用いる方がQ値が高くなっている。ガスカートを用いた場合の表2とリングを用いた場合の表3とを比較すると、一見して表3の方がギャップの表面電界強度ならびにQ値ともに良い結果が出ている。ただし、表3のQ値は、カソード取り付け部と加速空洞部本体のSUS同志の接触抵抗を無視した理想的な結果であって、実際には、SUSの部材同志の密着性はそれほど高くなく、僅かな隙間の表面に現れる電荷による高い表面電界が放電の原因となってQ値をさらに下げることが考えられるので、これらの表に示されたQ値だけで表2と表3の間の優劣を判断することは難しい。また、Q値を論じるのであれば、表に掲げられたQ値が、銅メッキなど良導体による被覆を行なって凹部における抵抗を少なくすれば改善できることも考慮に入れられるべきである。実際に、表2の場合に、ガスキットの内周面に銅メッキを施すことによって、理想的な1/2セルと比べた表2におけるQ値の38%の低下を、12%程度の低下にまで抑えられることが計算によって判明している。一方、電界強度の点から言っても、図4に示したように、ガスカートを用いた場合でも凹部の間隔Dを狭くすれば表面電界強度を下げるができる（ $D = 0.5 \text{ mm}$ にすると E_s / E_{acc} の値が0.25程度）ことを考えると、リングを用いた表3の場合に比べて、ガスカートを用いた表2の方が劣っているとは言えず、むしろ、ガスキットの厚さを変えることによって共振周波数を調整できることを考慮すれば、表2の構成も含めて、既に上述してきた本発明の実施形態による構成がリングを用いた構成よりも総体的に有利であるということが出来る。

20

30

【0054】

以上述べてきたように、本発明の構成によれば、カソード取り付け部22と加速空洞部本体23との間の接続部分での放電を抑えるとともに真空リークを防止することができ、質の高い電子ビームを取り出すことのできる安定に動作可能な高周波電子銃1を実現することができる。

40

【0055】

次に、カソード4について詳述する。カソード4は、カソード表面に熱電子を放出しやすい物質が装着され、背後から加熱されることによって熱電子を放出する熱陰極型のカソードとされている。カソード4は、高温となるため、図1及び図2に示したように、カソード取り付け部22とは別体に設けられ、カソード取り付け部22から熱的に絶縁されている。カソード4とカソード取り付け部22の間には、コイルバネ41が介装され、これがRFコンタクトとして機能するようになっている。カソード4は、背後（電子ビームの進行方向と逆の方向）に延出してカソード取り付けフランジ42に固定されている。一

50

方カソード取り付け部 2 2 も背後に延出して、その後端側に固定フランジ 4 3 を有している。上記カソード取り付けフランジ 4 2 と固定フランジ 4 3 との間には、直線導入器 4 4 (カソード位置調整手段) が挿入されている。この直線導入器 4 4 は、外周側の回転部 4 4 a を回転させることによって自身の軸線方向にすなわち加速空洞部方向に進退しその長さを変更するように設けられている。直線導入器 4 4 は、軸線方向の両端において、位置の固定された固定フランジ 4 3 と軸線方向に前後に動かされるカソード取り付けフランジ 4 2 とにそれぞれ気密に接続され、これにより、直線導入器 4 4 の回転部 4 4 a を回転させることによって、内部を気密に保ったまま固定フランジ 4 3 に対するカソード取り付けフランジ 4 2 の位置が数 μm の精度で軸線方向に調整されるように構成されている。カソード 4 とカソード取り付け部 2 2 とは、このように一体に組み立てられた状態で、ボルトやネジ等からなる複数の締結手段 5, 5... によって加速空洞部本体 2 3 に装着されるようになっている。

10

【0056】

カソード取り付け部 2 2 が着脱されたとき、あるいはカソード 4 が着脱されたときには、カソード取り付け部 2 2 の加速空洞部本体 2 3 に対する位置、あるいはカソード取り付け部 2 2 に対するカソード 4 の位置が変わるため、直線導入器 4 4 を用いてカソード 4 の位置を軸線方向に前後に動かして、所望の共振周波数が得られるように調整する。

【0057】

また、カソード 4 の温度が上昇し、熱膨張によってカソード 4 の位置に変化が生じたら、やはり直線導入器 4 4 を用いてカソード 4 の位置を軸線方向にすなわち加速空洞部方向に進退させて、カソード 4 の位置の変化による共振周波数のずれを補正するように調整を行なう。

20

【0058】

本発明の構成によれば、カソード 4 の位置を調整することによって、加速空洞部 2 の共振周波数を容易に制御することができる。そして、カソード 4 の着脱時における位置の変化、あるいは、熱膨張時の位置の変化による共振周波数の変化を補正することができる。

【0059】

また、直線導入器 4 4 には、図示されぬ駆動装置が設けられ、電子ビームの強度ならびにエネルギー、RF の反射をモニターしながら、これらの値の最適値が得られるようにカソード 4 の位置を調整できるようになっている。

30

【0060】

なお、上述の実施形態において、カソード 4 は熱陰極とされたが、レーザ光等の光が照射されて光電子を放出するフォトカソードとされていても構わない。カソード 4 の位置が調整可能とされることにより、加速空洞部 2 の共振周波数が容易に制御できるようになることには変わりがないからである。

【0061】

次に、本願発明による高周波導入部 3 について説明する。高周波導入部 3 は、加速空洞部 2 の電子ビーム進行方向下流側の位置に設けられ、高周波を生成する高周波電源から導波管 6 を通して送られる高周波のモードを変換するモードコンバータ 3 1 と、モードコンバータ 3 1 でモードが変換された高周波を軸線方向上流側に向かって加速空洞 2 1 まで導く同軸導波管 3 2 とを有して構成されている。

40

【0062】

ここで、同軸導波管 3 2 は、中心軸線 C と同心配置された円筒状の内部導体 3 2 a と、同じく中心軸線 C と同心配置されて内部導体 3 2 a を取り囲む円筒状の外部導体 3 2 b とを有して構成され、円筒形とされた内部導体 3 2 a の中心を電子ビーム EB が通過し、内部導体 3 2 a と外部導体 3 2 b の間の空間を高周波 RF が伝搬するように構成されている。図 8 に、斯かる構成とされた同軸導波管 3 2 の概略的な縦断面図が示されている。なお、同軸導波管 3 2 の軸線方向の長さは、十分長く形成され、カソード 4 の近くに集束用のソレノイドレンズ L が設置できるだけの十分なスペースが確保されるようになっている (図 1 参照)。

50

【0063】

図9は、モードコンバータ31の概略的な斜視図である。モードコンバータ31は、TEモードの高周波が伝搬する矩形導波管6との間に結合部31aを有し、さらに、この結合部31aから上記同軸導波管32を跨ぐように延出して同軸導波管32の中心軸線Cに対して対称に形成された2つのフィード部31b、31bを有している。これらフィード部31b、31bと上記同軸導波管32の間には、同軸導波管32の中心軸線Cに対して対称かつ対向位置に2つのアイリス31c、31c（高周波結合部）がそれぞれ形成されている。

【0064】

電場の向き（図中概略的に符号Eで示す）が中心軸線C方向と平行なTE₁₀モードの高周波が導波管6内を伝搬し、中心軸線C（図9には不図示）に対して略垂直な方向から上記結合部を介して該モードコンバータ31内に導入されると、導入されたTEモードの高周波は、該モードコンバータ31内においてH分岐して、各フィード部31b内に向きと大きさの等しい磁場（図中概略的に符号Bで示す）を形成するようなTMモードに変換される。このような磁場は、同軸導波管32側から見ると、アイリス31c、31cにおいて、いずれも同じ大きさでしかもその向きが中心軸線Cに対して時計回りもしくは反時計回り（電子ビームの進行方向から見て）に揃えられている。アイリス31cは、中心軸線Cに対して対称かつ対向位置に配置されているため、高周波が同軸導波管32にアイリス31cを介して結合される際には、同軸導波管32側から見たアイリス31cにおける軸対称な磁場が、同軸導波管32内に中心軸線C周りに周回する軸対称な磁場を形成して、これによって純粋なTEMモードの高周波が生成されるようになる。このようにして、モードコンバータ31内でTMモードに変換された高周波は、同軸導波管32内をTEMモードの高周波が伝達するようにさらにモードが変換されて後続の同軸導波管32にアイリス31cを介して導入される。同軸導波管32内をTEMモードで進行する高周波は、最終的に図8に示す同軸導波管32と加速空洞部2の接続部であるカップリング部32c、32cで加速空洞部2内に導入され、加速空洞部2内に電子ビームの加速に必要なTM₀₁モードの電磁場の定在波を生成する。

【0065】

図10は、本発明によるモードコンバータ31を用いた場合のSパラメータによる各モードの透過及び反射特性を示す図である。計算には、3次元電磁場解析コード（MW-Studio）を用いた。接続部31aにおける反射特性S₁₁は、使用周波数である11.424GHzにおいて鋭い谷を有しており、矩形導波管6を伝搬するTE₁₀のみがモードコンバータ31内に入力される様子が分かる。また、同軸導波管32側から見た透過特性S₂₁は、TEMモードだけが11.424GHzの位置にピークを有しており、その他の高次のモードTE₁₁₀やTE₂₁₀のモードは、-15dB以下に抑えられ、TEMモードのみが伝搬することが分かる。

【0066】

このように、本発明のモードコンバータ31によれば、アイリス31c、31cが、同軸導波管32の中心軸に対して対称かつ対向位置に2つ配設され、さらに該モードコンバータ31の内部における高次のTMモードの発生が抑えられて同軸導波管32側から見たアイリス31c、31cにおける磁場の強さが等しくなりかつ磁場の向きが中心軸線C周りに時計回りもしくは反時計回りのいずれかに揃えられるように構成されているため、同軸導波管32側から見た磁場が軸対称となつて、必要となるTEMモードだけを同軸導波管32内に伝搬させ、加速空洞21内に専ら軸対称な電磁場のモードだけを発生させることができる。

【産業上の利用可能性】

【0067】

本発明による高周波電子銃により、高輝度な電子ビームを安定に供給することができ、とりわけ、硬X線源に用いられる電子線源に利用することができる。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 6 8 】

【図 1】本発明に係る高周波電子銃の一実施形態を示す軸線方向の断面図である。

【図 2】図 1 の高周波電子銃のカソード付近を拡大して示す断面図である。

【図 3】加速空洞部本体とカソード取り付け部との接続部分を拡大して示す断面図である。

【図 4】本発明に係る空洞膨出部（凹部）の軸線方向のギャップ間隔と表面電界強度との関係を示す図である。

【図 5】空洞膨出部（凹部）の軸線方向の間隔を狭めた本発明による他の実施形態を、加速空洞部本体とカソード取り付け部との接続部分のみ拡大して示す断面図である。

【図 6】空洞膨出部の軸線方向の間隔を広げた本発明によるさらに他の一般的な実施形態を、加速空洞部本体とカソード取り付け部との接続部分のみ拡大して示す断面図である。 10

【図 7】リングを用いた場合の空洞膨出部の本発明による他の実施形態を、加速空洞部本体とカソード取り付け部との接続部分のみ拡大して示す断面図である。

【図 8】本発明に係る高周波導入部の同軸導波管を概略的に示す軸線方向の断面図である。

【図 9】本発明に係る高周波導入部のモードコンバータの斜視図である。

【図 10】本発明に係る高周波導入部のモードコンバータの反射特性ならびに透過特性を示す図である。

【図 11】従来の高周波電子銃の構成を概略的に示す図である。

【図 12】従来の高周波電子銃の高周波導入部を示す図である。 20

【図 13】従来の高周波電子銃の高周波導入部に用いられるドアノブ型のモードコンバータを示す概略斜視図である。

【図 14】従来の高周波電子銃の高周波導入部に用いられるドアノブ型のモードコンバータの反射特性を示す図である。

【図 15】従来の高周波電子銃の加速空洞部本体とカソード取り付け部との接続部分を拡大して示す断面図である。

【符号の説明】

【 0 0 6 9 】

1・・・高周波電子銃

2・・・加速空洞部 30

3・・・高周波導入部

4・・・カソード

5・・・締結手段

6・・・導波管

21・・・加速空洞（空洞）

21a・・・空洞膨出部（凹部）

22・・・カソード取り付け部

22b・・・湾曲隅部

23・・・加速空洞部本体

23a・・・凹部の中心軸線側を向いた内周面の一周部を形成する加速空洞部本体の面 40

23b・・・湾曲角部

24・・・ガスカート

24a・・・ガスカートの内周面

24b・・・ガスカートのカソード取り付け部側の端面

24c・・・ガスカートの加速空洞部本体側の端面

31・・・モードコンバータ

31a・・・接続部

31b・・・フィード部

31c・・・アイリス（高周波結合部）

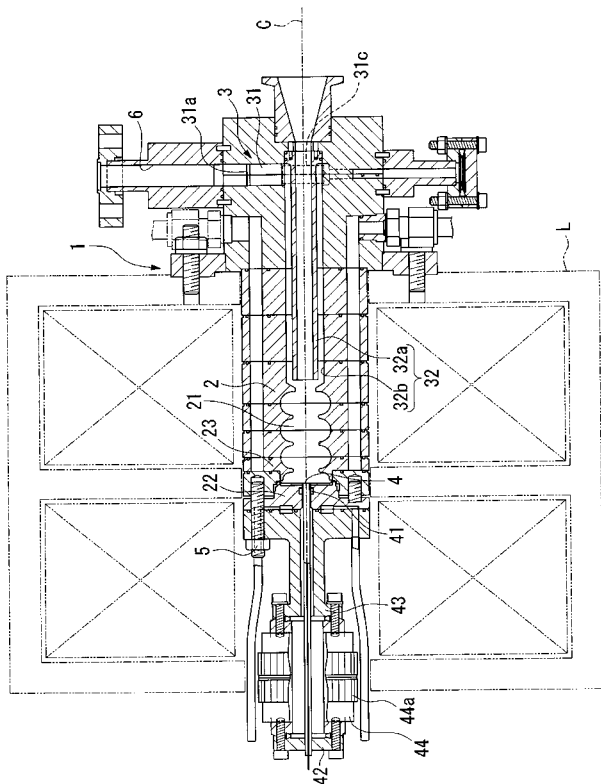
32・・・同軸導波管 50

- 3 2 a . . . 内部導体
- 3 2 b . . . 外部導体
- 3 2 c . . . カップリング部
- 4 1 . . . コイルパネ
- 4 2 . . . カソード取り付けフランジ
- 4 3 . . . 固定フランジ
- 4 4 . . . 直線導入器 (カソード位置調整手段)
- 4 4 a . . . 回転部
- 1 0 0 . . . 加速空洞部
- 1 3 1 . . . 加速空洞部本体
- 1 3 2 . . . カソード取り付け部
- 1 3 3 . . . 空洞膨出部
- 2 0 0 . . . 高周波導入部
- 2 1 0 . . . 高周波導入部
- 2 1 1 . . . モードコンバータ
- 2 1 2 . . . 同軸導波管
- 2 1 3 . . . 高周波結合部
- 2 2 0 . . . 導波管
- 3 0 0 . . . カソード
- C . . . 中心軸線
- L . . . ソレノイドレンズ
- O . . . Oリング
- E B . . . 電子ビーム

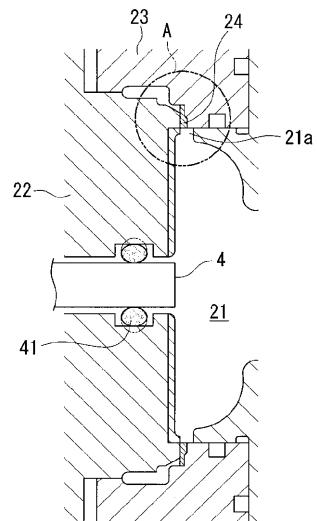
10

20

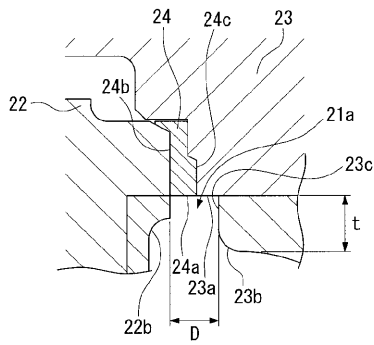
【 図 1 】



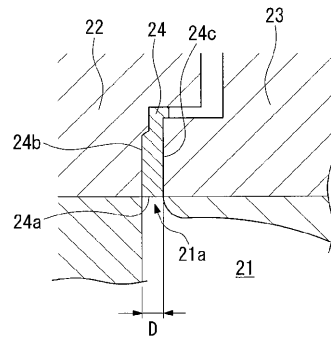
【 図 2 】



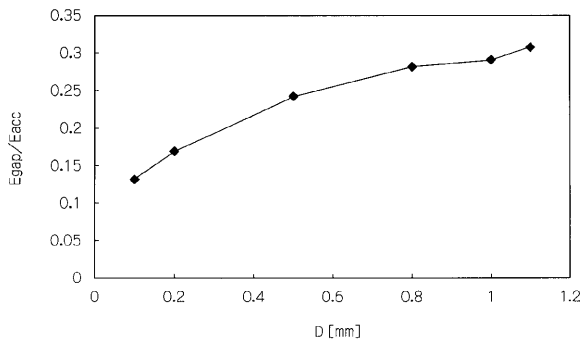
【 図 3 】



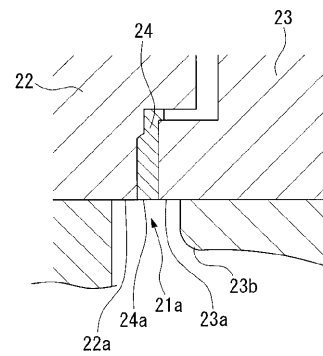
【 図 5 】



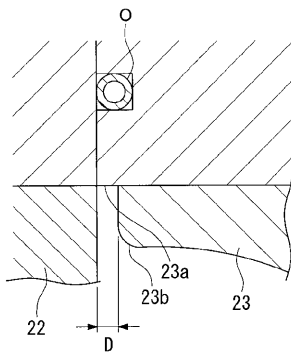
【 図 4 】



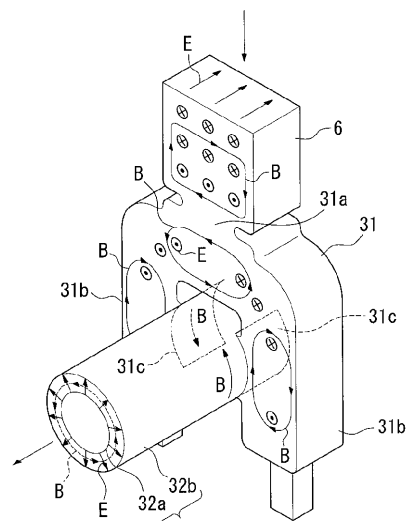
【 図 6 】



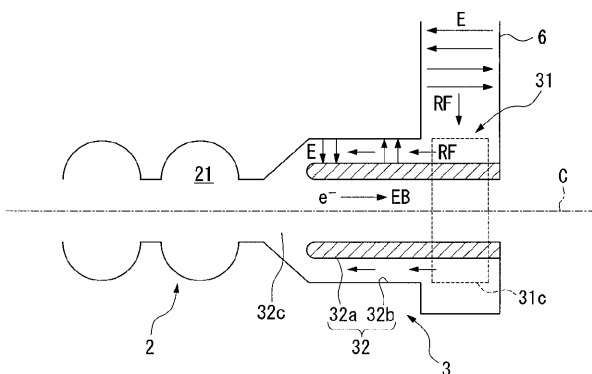
【 図 7 】



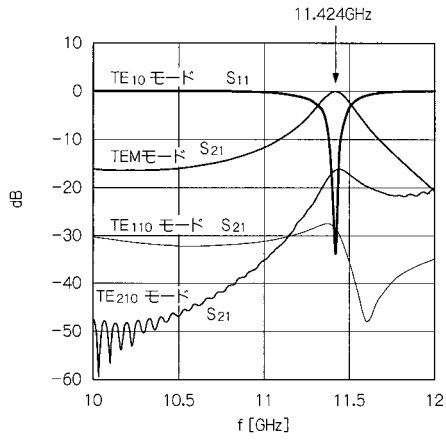
【 図 9 】



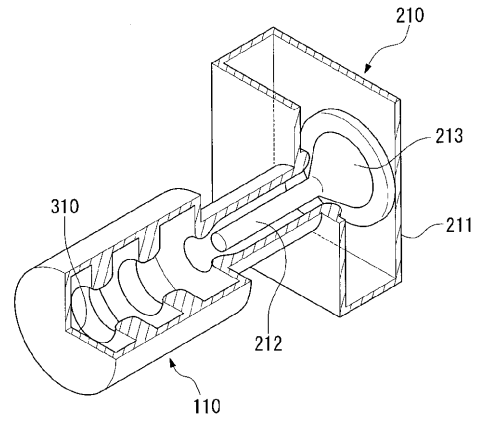
【 図 8 】



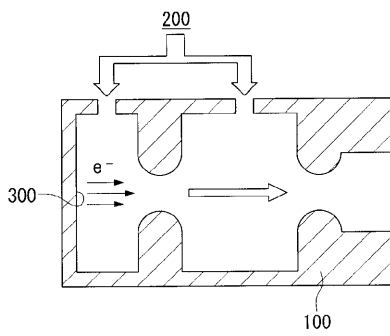
【図10】



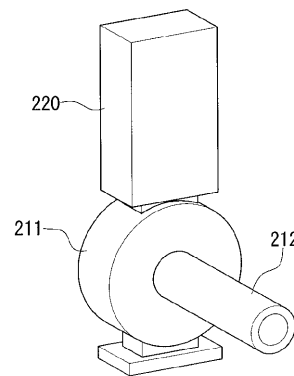
【図12】



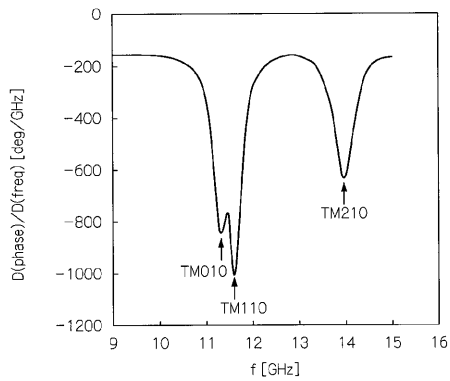
【図11】



【図13】

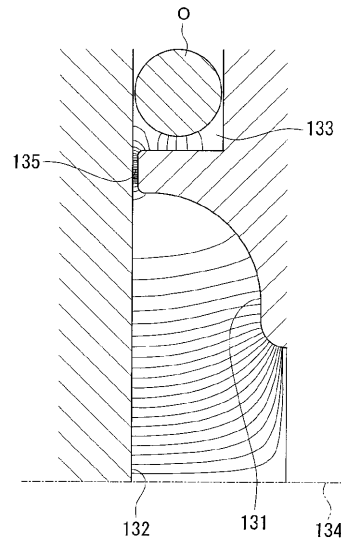


【図14】



TMモードの周波数応答(ほぼS₁₁反射特性に相当)
TM₀₁₀とTM₁₁₀の周波数が近い

【図15】



フロントページの続き

- (71)出願人 504151365
大学共同利用機関法人 高エネルギー加速器研究機構
茨城県つくば市大穂 1 番地 1
- (72)発明者 栄 久晴
神奈川県横浜市磯子区新中原町 1 番地 石川島播磨重工業株式会社横浜エンジニアリングセンター
内
- (72)発明者 松尾 健一
神奈川県横浜市磯子区新中原町 1 番地 石川島播磨重工業株式会社横浜エンジニアリングセンター
内
- (72)発明者 上坂 充
茨城県那珂郡東海村白方白根 2 番地の 2 2 東京大学大学院工学系研究科附属原子力工学研究施設
内
- (72)発明者 山田 聡
千葉県千葉市稲毛区穴川四丁目 9 番 1 号 独立行政法人放射線医学総合研究所内
- (72)発明者 浦川 順治
茨城県つくば市大穂 1 番地 1 高エネルギー加速器研究機構 加速器研究機構内
- (72)発明者 肥後 壽泰
茨城県つくば市大穂 1 番地 1 高エネルギー加速器研究機構 加速器研究機構内
- F ターム(参考) 2G085 AA03 BA01 BA07 BA08 BB17 BC08 BD04 BE05 CA11 EA01
5C030 BB02 BB06 BB17