(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2014-17231
(P2014-17231A)
(43)公開日　平成26年1月30日(2014.1.30)

(51)Int.Cl.			F I			テーマコード（参考）
H05H	9/00	(2006.01)	H05H	9/00	B	2G085
H05H	7/22	(2006.01)	H05H	7/22		

審査請求 未請求　請求項の数 15　ＯＬ　（全 20 頁）

(21)出願番号　特願2012-260545 (P2012-260545)
(22)出願日　平成24年11月29日 (2012.11.29)
(31)優先権主張番号　特願2012-132522 (P2012-132522)
(32)優先日　平成24年6月12日 (2012.6.12)
(33)優先権主張国　日本国 (JP)

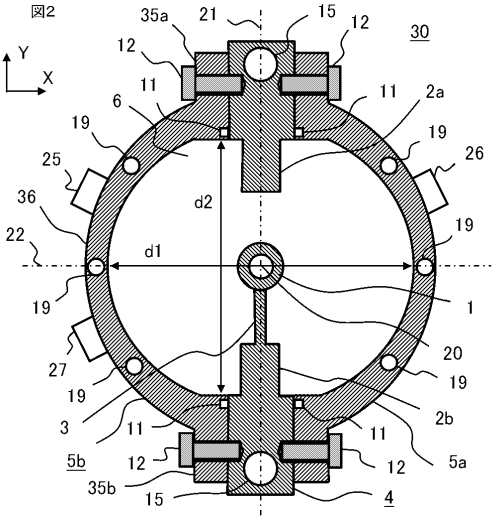
(71)出願人　000006013
三菱電機株式会社
東京都千代田区丸の内二丁目７番３号
(74)代理人　100073759
弁理士　大岩　増雄
(74)代理人　100088199
弁理士　竹中　岑生
(74)代理人　100094916
弁理士　村上　啓吾
(74)代理人　100127672
弁理士　吉澤　憲治
(72)発明者　山本　和男
東京都千代田区丸の内二丁目７番３号　三菱電機株式会社内

最終頁に続く

(54)【発明の名称】ドリフトチューブ線形加速器

(57)【要約】
【課題】ＩＨ型であっても外付けチューナを設けずに省電力化した入射器用ドリフトチューブ線形加速器を得ることを目的とする。
【解決手段】本発明のドリフトチューブ線形加速器３０によれば、加速空洞６は、中央板４と、一対の半筒管５ａ、５ｂとにより形成され、中央板４は、同一のブロックから製作された、リッジ２と、リッジ２とドリフトチューブ電極１を接続するステム３と、ドリフトチューブ電極１とを有し、加速空洞６は、ビーム加速中心軸２０に直交する断面において、中央板４におけるステム３が延伸する方向の面方向中心軸２１と直交し、ビーム加速中心軸２０を通過するＸ方向空洞内径ｄ１が、面方向中心軸２０に平行なＹ方向空洞内径ｄ２よりも長いことを特徴とする。
【選択図】図２

図2



【特許請求の範囲】
【請求項１】
加速空洞内に配置されたドリフトチューブ電極と、これに隣接する他の前記ドリフトチューブ電極との間に発生する電界により荷電粒子をビーム加速中心軸に沿って加速するドリフトチューブ線形加速器であって、
前記加速空洞は、中央板と、一対の半筒管とにより形成され、
前記中央板は、同一のブロックから製作された、リッジと、前記リッジと前記ドリフトチューブ電極を接続するステムと、前記ドリフトチューブ電極とを有し、
前記加速空洞は、前記ビーム加速中心軸に直交する断面において、前記中央板における前記ステムが延伸する方向の面方向中心軸と直交し、前記ビーム加速中心軸を通過するＸ方向空洞内径が、前記面方向中心軸に平行なＹ方向空洞内径よりも長いことを特徴とするドリフトチューブ線形加速器。
【請求項２】
前記半筒管は、前記中央板に接合する２つの接合部と前記２つの接合部間を連結する胴部を有し、
前記ビーム加速中心軸に直交する断面における前記胴部の内壁の形状は、円弧形状であることを特徴とする請求項１記載のドリフトチューブ線形加速器。
【請求項３】
前記一対の半筒管におけるそれぞれの前記半筒管は、前記ビーム加速中心軸に直交する断面において、前記胴部の内壁の形状が楕円形状であり、
前記楕円形状は、
前記中央板の前記面方向中心軸と直交し、前記ビーム加速中心軸を通過する板厚方向中心軸上であって、前記ビーム加速中心軸から当該半筒管の胴部までの距離が、前記ビーム加速中心軸から当該半筒管の前記接合部との境界までの距離よりも長いことを特徴とする請求項２記載のドリフトチューブ線形加速器。
【請求項４】
前記一対の半筒管における一の前記半筒管は、前記ビーム加速中心軸に直交する断面において、前記胴部の内壁の形状が楕円形状であり、
前記楕円形状は、
前記中央板の前記面方向中心軸と直交し、前記ビーム加速中心軸を通過する板厚方向中心軸上であって、前記ビーム加速中心軸から当該半筒管の胴部までの距離が、前記ビーム加速中心軸から当該半筒管の前記接合部との境界までの距離よりも長いことを特徴とする請求項２記載のドリフトチューブ線形加速器。
【請求項５】
前記加速空洞は、前記ビーム加速中心軸に直交する断面形状が、多角形であることを特徴とする請求項１記載のドリフトチューブ線形加速器。
【請求項６】
前記加速空洞は、前記ビーム加速中心軸に直交する断面形状が、長方形であることを特徴とする請求項５記載のドリフトチューブ線形加速器。
【請求項７】
前記中央板は、その最大板厚が、前記リッジの板厚以上であることを特徴とする請求項１乃至６のいずれか１項に記載のドリフトチューブ線形加速器。
【請求項８】
前記一対の半筒管における一の前記半筒管のみに、電力供給ポート、電力測定ポート、真空排気ポートのそれぞれが１つ以上設置されたことを特徴とする請求項１乃至７のいずれか１項に記載のドリフトチューブ線形加速器。
【請求項９】
前記一対の半筒管における一の前記半筒管であって、前記ビーム加速中心軸に直交する断面における前記胴部の内壁の形状が楕円形状でない前記半筒管のみに、電力供給ポート、電力測定ポート、真空排気ポートのそれぞれが１つ以上設置されたことを特徴とする請

求項４記載のドリフトチューブ線形加速器。
【請求項１０】
前記半筒管における前記真空排気ポートが設置される部分に、複数のスリットを用いて形成された真空排気孔を有することを特徴とした請求項８または９に記載のドリフトチューブ線形加速器。
【請求項１１】
前記ドリフトチューブ線形加速器は、ＩＨ型線形加速器であることを特徴とする請求項１乃至１０のいずれか１項に記載のドリフトチューブ線形加速器。
【請求項１２】
前記加速空洞を支持すると共に、前記加速空洞を密封状態に収納する断熱支持体と、前記加速空洞を低温に保持する低温保持装置と、前記加速空洞を少なくも０°Ｃ以下に冷却する冷却装置と、
前記冷却装置と前記加速空洞とを接続する伝熱性部材とを備えたことを特徴とする請求項１乃至１１のいずれか１項に記載のドリフトチューブ線形加速器。
【請求項１３】
前記ドリフトチューブ電極を接続する前記ステムの表面に、超電導線材を備えたことを特徴とする請求項１２記載のドリフトチューブ線形加速器。
【請求項１４】
前記加速空洞に、超電導線材を備えたことを特徴とする請求項１２または１３に記載のドリフトチューブ線形加速器。
【請求項１５】
前記超電導線材は、イットリウム系高温超電導線材であることを特徴とする請求項１３または１４に記載のドリフトチューブ線形加速器。
【発明の詳細な説明】
【技術分野】
【０００１】
本発明は、陽子や重粒子などの荷電粒子を加速するドリフトチューブ線形加速器に関する。
【背景技術】
【０００２】
陽子や重粒子などの荷電粒子を高エネルギまで加速するには、シンクロトロンが使用される。シンクロトロンには、予備加速されるための入射器が用いられる。一般的に入射器は、イオン源と前段加速器と後段加速器から構成される。後段加速器には、ドリフトチューブ線形加速器が採用される。
【０００３】
ドリフトチューブ線形加速器は、加速空洞の中にドリフトチューブと呼ばれる電極が加速ビーム軸方向に一方向に複数個から数十個配列される。加速空洞は共振周波数をもつ共振器である。加速空洞に、加速空洞の共振周波数に相当する高周波電力を供給すると、ドリフトチューブ電極間に高周波電界が発生する。加速空洞に入射された陽子等の荷電粒子は、ドリフトチューブ電極間に発生した上記高周波電界によりエネルギを付与され加速される。高周波電界が時間（位相）とともに変化し、加速方向と逆向きに電界が発生すると荷電粒子は減速されてしまう。そのため、ドリフトチューブ電極の配列は、荷電粒子が加速するように設計される。すなわち、加速電界発生時は荷電粒子がドリフトチューブ電極間に存在し、減速電界発生時は荷電粒子がドリフトチューブ電極内に存在するようにすることで、発生電界の影響を受けないように、ドリフトチューブ電極の配列が設計される。
【０００４】
ドリフトチューブ線形加速器には、アルバレ型線形加速器とＩＨ（Ｉｎｔｅｒｄｉｇｉｔａｌ－Ｈ）型線形加速器等の構造がある。アルバレ型線形加速器は２πモード加速が特徴であり、ひとつのドリフトチューブ間の中心から次のドリフトチューブ間の中心まで３６０度分位相が進む。したがって、荷電粒子が発散してしまうのに十分な長さを持つドリ

フトチューブ電極となるため、荷電粒子が発散しないように四重極電磁石等の荷電粒子の発散を抑える収束機器をドリフトチューブ電極に内蔵するのが一般的である。そのため、陽子などの軽い質量で容易に発散する荷電粒子を加速する入射器には、四重極電磁石等が追加可能なアルバレ型が採用される。

【０００５】

他方、ＩＨ型線形加速器はπモード加速が特徴であり、ひとつのドリフトチューブ間の中心から次のドリフトチューブ間の中心まで１８０度分位相が進む。したがって、ＩＨ型線形加速器は、アルバレ型線形加速器よりも加速頻度が２倍にできるので、アルバレ型線形加速器よりもドリフトチューブ電極の全長は短くでき、全長が短い場合は、荷電粒子が発散しないように四重極電磁石等の荷電粒子の収束機器をドリフトチューブ電極に内蔵することは困難である。そのため、炭素イオンなどの重い質量で容易に発散することが無い荷電粒子を加速する入射器には、全長が短くできることもあってＩＨ型が採用される。

【０００６】

入射器は、シンクロトロンが受け付けるエネルギにまで予備加速する装置であり、シンクロトロンの受け入れ要求を満たす必要がある。とくに、エネルギだけでなく、荷電粒子個々のエネルギの相違（運動量分散と呼ぶ）にもある特定の範囲内が要求される。その場合、ドリフトチューブ線形加速器では、設計どおりの加速電界分布を達成するために、従来は、製作後に複数台から数十台から構成される外付けのチューナブロックの加速空洞への挿入量を調整することで、共振周波数と加速電界分布を微調整するようにしていた（例えば、特許文献１、特許文献２）。

【先行技術文献】

【特許文献】

【０００７】

【特許文献１】特開２００７－１５７４００号公報（図１）

【特許文献２】特許第４１９４１０５号公報（図１～図３）

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【０００８】

ドリフトチューブ電極間に加速電界を発生させるために、加速空洞に供給する高周波電力量は、加速空洞での消費電力とビームローディング量で決まる。加速空洞での消費電力は、加速空洞内の表面抵抗と接触抵抗に分類される。一般的に、表面抵抗による消費電力を１とすると、表面抵抗と接触抵抗を合わせた消費電力は１００/８０～１００/６０である。したがって、接触抵抗を発生させる加速空洞内の機器点数の増加は加速空洞での消費電力を増加させ、加速空洞に供給する高周波電力を生成する高周波電源の容量が増加する。したがって、ドリフトチューブ線形加速器をシンクロトロンの入射器として使用する場合、共振周波数や電界分布の高精度な調整が必要となり、従来のように数多くの外付けチューナを設けると、さらに表面抵抗と接触抵抗を合わせた消費電力が増加してしまい、高周波電源の容量は増加することが問題であった。

【０００９】

本発明は、上記の問題を解決するためになされたものであり、ＩＨ型であっても外付けチューナを設けずに省電力化した入射器用ドリフトチューブ線形加速器を得ることを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【００１０】

本発明のドリフトチューブ線形加速器によれば、ドリフトチューブ電極及び他のドリフトチューブ電極が配置された加速空洞は、中央板と、一対の半筒管とにより形成され、この中央板は、同一のブロックから製作された、リッジと、リッジとドリフトチューブ電極を接続するステムと、ドリフトチューブ電極とを有し、加速空洞は、ビーム加速中心軸に直交する断面において、中央板におけるステムが延伸する方向の面方向中心軸と直交し、ビーム加速中心軸を通過するＸ方向空洞内径が、面方向中心軸に平行なＹ方向空洞内径よ

りも長いことを特徴とする。
【発明の効果】
【００１１】
本発明のドリフトチューブ線形加速器によれば、加速空洞を中央板と、一対の半筒管とにより形成し、加速空洞のビーム加速中心軸に直交する断面におけるＸ方向空洞内径がＹ方向空洞内径よりも長くなるように一対の半筒管を加工して、加速空洞の共振周波数と電界分布を調整するので、ＩＨ型であっても外付けチューナを設けずに省電力化することができる。
【図面の簡単な説明】
【００１２】
【図１】本発明の実施の形態１におけるドリフトチューブ線形加速器の構成図である。
【図２】図１のＡ－Ａにおける正面断面図である。
【図３】図１のＢ－Ｂにおける側面断面図である。
【図４】図１の真空排気ポートが設置される部分の真空排気孔を示す図である。
【図５】図１の真空排気ポートが設置される部分の他の真空排気孔を示す図である。
【図６】本発明のポートの取り付け構成を示す図である。
【図７】本発明の中央板と半筒管との接合部を示す図である。
【図８】本発明の半筒管における加工前と加工後を示す図である。
【図９】本発明の中央板を示す図である。
【図１０】本発明の実施の形態２におけるドリフトチューブ線形加速器の正面断面図である。
【図１１】本発明の実施の形態３におけるドリフトチューブ線形加速器の正面断面図である。
【図１２】本発明の実施の形態４におけるドリフトチューブ線形加速器の構成図である。
【図１３】図１２のＣ－Ｃにおける正面断面図である。
【図１４】図１２のＤ－Ｄにおける側面断面図である。
【図１５】本発明の実施の形態４におけるドリフトチューブ線形加速器基礎部の構成図である。
【図１６】図１５のＡ－Ａにおける正面断面図である。
【図１７】図１５のＢ－Ｂにおける側面断面図である。
【図１８】銅の低効率の温度依存関係を示す図である。
【図１９】規格化されたＱ値の温度依存関係を示す図である。
【図２０】本発明の実施の形態５におけるドリフトチューブ線形加速器の要部の側面断面図である。
【発明を実施するための形態】
【００１３】
実施の形態１．
図１は、この発明の実施の形態１におけるドリフトチューブ線形加速器の構成図である。図２は図１のＡ－Ａにおける正面断面図であり、図３は図１のＢ－Ｂにおける側面断面図である。ドリフトチューブ線形加速器３０は、加速ビーム軸方向に一対以上、すなわち２つ以上配列したドリフトチューブ電極１と、加速空洞６を形成する２つの半筒管５ａ、５ｂ及び中央板４と、電力供給ポート２５と、電力測定ポート２６と、真空排気ポート２７を備える。ドリフトチューブ電極１は、リッジ２と呼ばれる加速電界が空洞全体にわたり均等に発生させるための土台上に円柱形のステム３を介して、ビーム加速中心軸２０を内包するように位置する。ドリフトチューブ電極対２８は、ドリフトチューブ電極１と隣接する他のドリフトチューブ電極１で構成される。図２および図３において、上側にリッジ２ａと、下側にリッジ２ｂを備える例を示した。なお、リッジの符号は、総括的に２を用い、区別して説明する場合に２ａ、２ｂを用いる。また、半筒管の符号は、総括的に５を用い、区別して説明する場合に５ａ、５ｂを用いる。
【００１４】

ドリフトチューブ電極１のリッジ２に対する位置は、機差が生じないような製作を行う。実施の形態１では、リッジ２と、ステム３と、ドリフトチューブ電極１まですべて同じ材料のブロックからの切り出しにて製作し、中央板４とするものとする。一対の半筒管５ａ、５ｂにて中央板４をはさみ、加速空洞６を形成する。半筒管５は、中央板４に接合する２つの接合部３５ａ、３５ｂと、２つの接合部３５ａ、３５ｂの間を連結する胴部３６を有する。なお、図２では、半筒管５ｂにおいて接合部３５ａ、３５ｂと胴部３６を示した。

【００１５】

ここで、半筒管５ａ、５ｂは、中央板４を立てた状態で左右から挟んでも、中央板４を寝かして上下から挟む形状でも良い。実施の形態１では、ドリフトチューブ電極１の自重によりステム３が反り、ドリフトチューブ電極１の中心軸と加速空洞６の中心軸が異なることがないように、中央板４を立てて左右から一対の半筒管５ａ、５ｂを挟む構造とする例で説明する。また、一対の半筒管５ａ、５ｂは対照構造が好ましいが、必ずしも対照である必要は無い。また、半筒管５ａ、５ｂはアルミや鉄、ステンレスなどのブロックから削りだしで製作することが好ましい。

【００１６】

ここで、座標軸について定義する。ドリフトチューブ電極１が配列する方向をビーム加速軸（Ｚ軸)と呼ぶ。中央板４が立っている方向（中央板４の幅方向であり、図２及び図３において縦方向）をＹ軸、左右から一対の半筒管５ａ、５ｂが中央板４に取り付く方向（中央板４の厚み方向であり、図１において縦方向、図２において横方向）をＸ軸とする。図２の中心軸２１は中央板４の面方向中心軸２１であり、中心軸２２は中央板４の板厚方向中心軸２２である。面方向中心軸２１は加速空洞６のビーム加速中心軸２０から＋Ｙ方向及び－Ｙ方向に延伸する中心軸であり、板厚方向中心軸２２は加速空洞６のビーム加速中心軸２０から＋Ｘ方向及び－Ｘ方向に延伸する中心軸である。

【００１７】

図２に示すように、加速空洞６は、ビーム加速中心軸２０に直交する断面において、中央板４におけるステム３が延伸する方向の面方向中心軸２１と直交し、ビーム加速中心軸２０を通過するＸ方向空洞内径ｄ１が、面方向中心軸２１に平行なＹ方向空洞内径ｄ２よりも長くなっている。

【００１８】

半筒管５には、電力を供給するための電力供給ポート２５が１つ以上あり、また加速空洞６に供給された電力量を測定するためのピックアップアンテナを設置するためのポートである電力測定ポート２６が１つ以上、また加速空洞６を真空引きするための真空排気ポート２７が１つ以上設置される。図１では、電力供給ポート２５が２つあり、電力測定ポート２６及び真空排気ポート２７がそれぞれ１つある例を示した。真空排気ポート２７には、加速空洞６内に発生する電磁界がポート内にもれこまないように金属製の網（一般にＲＦ網８と呼ばれる）を設けることが好ましい。図４に半筒管５に設けられた真空排気ポート２７の真空排気孔７とＲＦ網８を示す。また、他の例として、金属製の網に相当する箇所も１個のブロックからの削りだしで製作し、別途ＲＦ網を設置しない例を示す。

【００１９】

図５に、金属製の網に相当する箇所も１個のブロックからの削りだしで製作した真空排気ポート２７の真空排気孔７を示す。図５に示した真空排気孔７は、複数のスリットを用いて形成した。また、電力供給ポート２５、電力測定ポート２６、真空排気ポート２７の各ポート管は半筒管５に溶接することなく、ＲＦコンタクトを介してねじ止めされることが好ましい。図６に、ねじ止めによるポート管９の一例を示す。電力供給ポート２５、電力測定ポート２６、真空排気ポート２７の各ポート管９は、半筒管５にねじ１２を用いて固定される。

【００２０】

中央板４と１対の半筒管５ａ、５ｂとの接続について説明する。図７は、本発明の中央板と半筒管との接合部を示す図である。中央板４と１対の半筒管５ａ、５ｂはＲＦコンタ

クト１０、真空封止用のＯリング１１を介して、複数のねじ１２（図１、図２参照）にて固定される。また、中央板４と１対の半筒管５ａ、５ｂの接合面は、係合部１３とピン１４により位置決めが行われる。例えば、中央板４に凹部３１が設けられ、半筒管５に凸部３２が設けられる。中央板４の凹部３１と半筒管５の凸部３２は、互いに係合する係合部１３、すなわち係合構造を構成する。

【００２１】

中央板４には、リッジ２部ではない縁部分に、水冷用の冷却路１５を掘る。また、半筒管５にも、同様に半筒管５の肉厚部に、冷却路１９を掘る（図２参照）。図２には、中央板４に２つの冷却路１５が設けられ、半筒管５ａ、５ｂのそれぞれに３つの冷却路１９が設けられた例を示した。

【００２２】

ドリフトチューブ線形加速器３０の製造方法を説明する。まず、中央板４は、一枚のブロックからドリフトチューブ電極１、ステム３、リッジ２以外を切り出して、ドリフトチューブ電極１、ステム３、リッジ２が残るように製作する。特に、ドリフトチューブ電極１の位置の精度は厳しく、ＮＣ（Ｎｕｍｅｒｉｃａｌ　Ｃｏｎｔｒｏｌ）加工により位置精度及び再製造の際の再現性を担保する。一般的に、ドリフトチューブ電極１のＺ軸方向の位置精度は±０．１ｍｍであり、ＮＣマシンの加工精度よりも十分に大きい。つぎに、半筒管５を１個のブロックから削りだしにて加工する。その際、ポート位置にはＲＦ網８に相当するよう、ポート面内の一部は図５のように残しておく。また、ポート部は溶接せず、図６に示すようにねじ止めにて取り付ける構造とする。中央板４と半筒管５ａ、５ｂとの接合面には、図７に示すように、中央板４の凹部３１と半筒管５の凸部３２とが係合される。中央板４と半筒管５ａ、５ｂは、ピン１４により位置決めされた後、ＲＦコンタクト１０、Ｏリング１１を介してねじ１２によりねじ止めされる。このように、加速空洞６は、中央板４と半筒管５ａ、５ｂとが接合されて形成される。

【００２３】

加速空洞６が形成された後、摂動法等を用いてドリフトチューブ電極１間に発生する電界分布と共振周波数を測定する。また、ドリフトチューブ電極１間に発生する電界分布をドリフトチューブ電極１の中心から他のドリフトチューブ電極１の中心までで積分して、電圧を算出する。各ドリフトチューブ電極１間にて得られる電圧と、加速空洞６の共振周波数を設計値と比較する。従来、実測値と設計値との差異を合わすためには、外付けのチューナを用いてきたが、ここではチューナレス構造を達成する構造を下記に説明する。

【００２４】

加速空洞６の共振周波数と電界分布は、おもにドリフトチューブ電極１同士による静電容量Ｃと、加速空洞６内のインダクタンスＬにより決定される。共振周波数Ｆに関する関係式を、（１）式に示す。

【００２５】

【数１】

数1

$$F = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \qquad \cdots(1)$$

【００２６】

インダクタンスＬは、コイルに電流を流した電流により発生するコイルに鎖交する磁束と電流に比例し、その比例定数を自己インダクタンスと呼ぶが、その関係式が加速空洞６にも適用できる。つまり、磁束が直交する面積Ｓ（加速空洞６の断面積に相当する）と、磁束密度Ｂ、加速空洞６の内壁面に流れる電流Ｉの関係は、（２）式の関係となる。

Ｌ＝ＢＳ／Ｉ　　・・・（２）

【００２７】

加速空洞６の内部にはドリフトチューブ電極１等の構造物があり、正確に（２）式の関

係式を求めることは困難であるが、基本的な考え方に違いはない。つまり、加速空洞６の内径を大きくすれば上記面積Ｓは大きくなり、（２）式よりＬも大きくなる。その結果、（１）式より加速空洞６の共振周波数Ｆは小さくなる。

【００２８】

また、静電容量Ｃも、平行平板導体の静電容量の関係式を適用できる。つまり、ドリフトチューブ電極１のＺ軸に直交する断面積ｓ、ドリフトチューブ電極１と隣接するドリフトチューブ電極１との間隔ｄ、誘電率εとすると、（３）式の関係式が成り立つ。

Ｃ＝εｓ／ｄ　　・・・（３）

【００２９】

したがって、ドリフトチューブ電極１の断面積ｓを大きくすると、（３）式よりＣが大きくなる。その結果、（１）式より加速空洞６の共振周波数Ｆは小さくなる。次に、ドリフトチューブ電極１間に発生する電界強度の関係式を、（４）式に示す。

【００３０】

【数２】

数2

$$\int_{c} E \cdot dl = -\int_{S} \dot{B} \cdot dS \qquad \cdots(4)$$

【００３１】

ここに、Ｂは加速空洞６内の磁束密度であり、（４）式のＢの上部に付したドットは時間微分を表す。Ｓは加速空洞の断面積である。そして、上記（４）式の左辺は、ドリフトチューブ電極対２８におけるドリフトチューブ電極１と他のドリフトチューブ電極１との間に発生する電圧となり、右辺はその領域での加速空洞６の断面積Ｓ内の磁場の時間変化である。

【００３２】

したがって、加速空洞６の内径を大きくすると（４）式の右辺が大きくなり、（４）式の左辺、つまりドリフトチューブ電極１と他のドリフトチューブ電極１との間に発生する電圧は増加する。

【００３３】

実施の形態１における加速空洞６は、インダクタンスＬを調整する構造である。以下にインダクタンスＬを調整する方法を説明する。まず、電界分布を設計値とあわす手法を説明する。

【００３４】

あるドリフトチューブ電極対２８におけるドリフトチューブ電極１と他のドリフトチューブ電極１との間に発生する電界強度を増加させる場合、（４）式よりドリフトチューブ電極１と他のドリフトチューブ電極１との間（ギャップ）のＺ方向の位置であるｚ位置における半筒管５の内径を拡大する。そのさい、Ｙ軸方向の半筒管５は中央板４との係合構造があるため、Ｙ軸方向の形状は加工せずに、Ｘ軸方向の形状を加工する。加速空洞６に発生する電界強度は、たとえば、入射側の電界強度を増加させるために入射側の半筒管５の内径を上記の方法でＸ軸方向のみ拡大すると、出射側の電界強度は逆に低下する。そのとき、共振周波数Ｆは（１）式より入射側の半筒管５の内径を拡大したことで低下する。したがって、設計段階において設計共振周波数より高めになるように半筒管５の内壁形状を決定し、実測値にあわせてＸ軸方向のみ拡大するように半筒管５の内壁を楕円形に削っていく。

【００３５】

図８に、半筒管５の内壁を楕円形に削っていく前後の加速空洞６を示す。点線で示した半筒管５の内壁１６は、本電界分布をあわす前の半筒管５の内壁である。実線で示した半筒管５は、加工後のものである。加工前における半筒管５において、中央板４との係合構造がある接合部３５ａ、３５ｂ以外の胴部３６は、ビーム加速中心軸２０から半筒管５の

内壁までの寸法がｒである。加工後おける半筒管５の胴部３６と接合部３５ａ、３５ｂとの境界では、ビーム加速中心軸２０から半筒管５の内壁までの寸法がｒであるが、Ｘ軸方向ではビーム加速中心軸２０から半筒管５の内壁までの寸法がｒよりも長いｒ１である。すなわち、加工後における半筒管５の胴部３６の形状は、ビーム加速中心軸２０から内壁までの寸法がｒからｒ１に変化し、またｒに戻るような楕円形状となる。

【００３６】

したがって、半筒管５の加工は、全長制限のあるＮＣマシンにて実施する必要があるため、アルバレ型ではなく、全長が短くなるＩＨ型を採用することが好ましい。また、ＮＣマシンにて加工できるように、中央に中央板４を挿入して加速空洞６を形成するための円筒管ではなく、２つの半筒管５を用いて加速空洞６を形成する構造が好ましい。また、ＮＣマシンにて加工ができるように、半筒管５に取り付けるポート管９は溶接ではなく、ＮＣマシンにて加工する際には取り外し可能なねじ止めであることが好ましい。加速空洞６を上記の半筒管５と中央板４で形成することにより、外付けチューナを使用することなく、電界分布が調整することができるようになる。

【００３７】

まず、電界分布が設計値と一致するように半筒管５の内径を、上記のようにＮＣマシンを用いてＸ軸方向のみを拡大するように、楕円形に加工する。上記楕円形に加工する楕円形加工により、電界分布が設計値と一致したとする。

【００３８】

つぎに、共振周波数を設計値にあわす。半筒管５は、設計値に対する加工しろのため意図的に内径が小さく製作されており、電界分布を達成するために上記のように加工した。上記の加工によりインダクタンスＬが変化し、共振周波数も変化する。仮に、それでも共振周波数が高い場合は、さらに上記の半筒管５を加工する方向で、電界分布が設計値と変化しないように削り続ければよい。

【００３９】

一方、電界分布を設計値にあわせた時点で共振周波数が設計値に対し低い場合、中央板４の板厚ｔ１（Ｘ軸方向の中央板４の幅）を加工する。図９は、本発明の中央板を示す図である。共振周波数を調整するため、中央板４の板厚ｔ１とリッジ２の板厚ｔ２は同一ではなく、中央板４の板厚ｔ１のほうがリッジ２の板厚ｔ２よりも大きくしておくことが好ましい。また、アルミや鉄、ステンレスで加工された半筒管５の内面には、銅めっきを施工するため、銅めっきの厚さによる共振周波数の変化分考慮しておく必要がある。中央板４には、ねじ１２を取付けるねじ穴３３が設けられる。図９において、破線で示した長方形は、中央板４に加工前の原板３４である。

【００４０】

加速空洞６を運転する場合、消費電力分の発熱が発生する。そのため、中央板４には縁部分に冷却路１５を設ける。中央板４におけるリッジ２とステム３とドリフトチューブ電極１は同一の材料でつながっているため、熱伝導率が良い。また、電界分布及び共振周波数の調整が終了した半筒管５において、半筒管５の余った肉厚部分に１つ以上の冷却路１９を設ける。この冷却路１５及び冷却路１９による冷却を行うことで、消費電力による加速空洞６の発熱による共振周波数の変化を小さくする。環境の変化により共振周波数が変化した場合、上記の冷却路１５、１９を積極的に使用し、チラー温度を高めたり、低くしたりすることにより、共振周波数を常に一定にとどめることができる。

【００４１】

以上のように、実施の形態１のドリフトチューブ線形加速器３０は、外付けチューナを取り付けることなく、加速空洞６の共振周波数と電界分布を調整することができる。共振周波数と電界分布が調整された加速空洞６は、リッジ２の板厚ｔ２が中央板４の板厚ｔ１より小さい中央板４と、半筒管５の内径がＸ軸方向に対し拡大された楕円形であり、かつＺ軸に対して、その内径は変化する構造であることが特徴である。前述したように、加速空洞６における一箇所、たとえば入射側の電界強度を増加させるために、入射側の半筒管５の内径を拡大すると、出射側の電界強度は逆に低下してしまう。そのため、出射側の半

筒管５の内径も拡大し、入射側と出射側が設計値になるように各ｚ位置に対する内径を調整する。つまり、ｒ１（ｚ）は一定ではなく、Ｚ軸に対して加速空洞６の内径は変化する構造となっている。また、実施の形態１のドリフトチューブ線形加速器３０は、当然外付けチューナは取り付けられておらず、ポート管９は取り外し可能なねじ止めにて取り付けであることが特徴である。

【００４２】

一度、半筒管５及び中央板４の形状が上記製造方法により実測値と設計値が一致したならば、中央板４はＮＣマシンにより加工されるため、ドリフトチューブ電極１の位置はＮＣマシンの加工精度にて担保される。したがって、実施の形態１のドリフトチューブ線形加速器３０は、従来、ドリフトチューブ電極１を手作業にて配列していた際に発生するドリフトチューブ電極１毎の誤差である機差が発生していたのとは異なり、この機差は生じず、そのまま半筒管５及び中央板４の形状を再現することが可能であり、そのまま製作すれば２台目以降はより低コストに製作することができる。

【００４３】

実施の形態１のドリフトチューブ線形加速器３０は、外付けチューナが不要であり、外付けチューナによる表面抵抗と接触抵抗の増加がないので、消費電力は低下する。また、外付けチューナによる表面抵抗と接触抵抗の増加がないので、高周波電源の容量を増やす必要がない。また、一度製作されたドリフトチューブ線形加速器３０を再製造する場合は、外付けチューナによる共振周波数と電界分布の調整が不要となり、ドリフトチューブ線形加速器３０の調整期間の短縮が可能となる。

【００４４】

実施の形態１のドリフトチューブ線形加速器３０は、中央板４の板厚ｔ１がリッジ２ａ、２ｂの板厚ｔ２以上であるので、共振周波数の調整範囲を拡大することができる。前述したように、電界分布を調整するために共振器（加速空洞６）は削られるので、この加工により加速空洞６の断面積Ｓは広くなる方向である。共振周波数にとっては、（１）式より、低下する方向で調整されることになる。そこで、中央板４の板厚ｔ１とリッジの板厚ｔ２の関係に関して、中央板４において（ｔ１－ｔ２）分の加工しろを設けておけば、共振周波数の調整範囲を拡大することができる。中央板４において、この加工しろを残しておくことは、事前に加速空洞６の断面積Ｓが狭くなる方向の調整を行っていることに相当する。つまり、この加工しろがあることで、共振周波数が（１）式より増加する方向にも調整が出きるようになる。これにより、共振周波数の調整範囲を拡大することができる。

【００４５】

実施の形態１のドリフトチューブ線形加速器３０は、ＩＨ型線形加速器であるので、全長が短くなることで既存のＮＣマシンにて加工することができる。したがって、実施の形態１のドリフトチューブ線形加速器３０は、ＮＣマシンにて加工することができるので、ドリフトチューブ電極１の位置精度が向上し、ドリフトチューブ電極１間に発生する電界分布と共振周波数も高精度に調整することができる。実施の形態１のドリフトチューブ線形加速器３０は、真空排気ポート２７の真空排気孔７を複数のスリットを用いて形成することにより、ＲＦ網を別途設けなくてもよい。実施の形態１のドリフトチューブ線形加速器３０はＲＦ網を別途設けることなく、真空排気ポート２７の真空排気孔７を複数のスリットを用いて形成することにより、ＲＦ網による表面抵抗と接触抵抗の増加がないので、ＲＦ網があるものに比べて消費電力を低下させることができる。

【００４６】

以上のように実施の形態１のドリフトチューブ線形加速器３０によれば、加速空洞６内に配置されたドリフトチューブ電極１と、これに隣接する他のドリフトチューブ電極１との間に発生する電界により荷電粒子をビーム加速中心軸２０に沿って加速するドリフトチューブ線形加速器であって、加速空洞６は、中央板４と、一対の半筒管５ａ、５ｂとにより形成され、中央板４は、同一のブロックから製作された、リッジ２と、リッジ２とドリフトチューブ電極１を接続するステム３と、ドリフトチューブ電極１とを有し、加速空洞６は、ビーム加速中心軸２０に直交する断面において、中央板４におけるステム３が延伸

する方向の面方向中心軸２１と直交し、ビーム加速中心軸２０を通過するＸ方向空洞内径ｄ１が、面方向中心軸２１に平行なＹ方向空洞内径ｄ２よりも長いことを特徴とするので、加速空洞６を中央板４と、一対の半筒管５ａ、５ｂとにより形成し、加速空洞６のビーム加速中心軸２０に直交する断面におけるＸ方向空洞内径ｄ１がＹ方向空洞内径ｄ２よりも長くなるように一対の半筒管５ａ、５ｂを加工して、加速空洞６の共振周波数と電界分布を調整することができ、ＩＨ型であっても外付けチューナを設けずに省電力化することができる。

【００４７】

実施の形態２．

図１０は、本発明の実施の形態２におけるドリフトチューブ線形加速器の正面断面図である。実施の形態１では、１対の半筒管５ａ、５ｂにて、左右の半筒管５ａ、５ｂそれぞれに対し、共振周波数と電界分布を設計値にあわせるために、Ｘ軸方向の内径を加工したが、左右どちらかの半筒管５のみにおいて、Ｘ軸方向の内径を加工してもよい。図１０は、半筒管５ｂに、電力供給ポート２５、電力測定ポート２６、真空排気ポート２７が１つ以上有し、半筒管５ａのみにおいてＸ軸方向の内径を加工した例である。その場合、共振周波数と電界分布を合わせる調整加工を１つの半筒管５ａのみに行うので、１対の半筒管５ａ、５ｂの加工時間の短縮につながる。この場合、１対の半筒管５ａ、５ｂの加工時間の短縮は、最大で半減させることができる。また、上記の例では、電力供給ポート２５、電力測定ポート２６、真空排気ポート２７を設置するためのポート用加工と、共振周波数と電界分布を合わせる調整加工とを並行して行うことができるので、ポート用加工及び調整加工の合計時間を短縮することができる。

【００４８】

なお、共振周波数と電界分布を合わせる調整加工は、電力供給ポート２５、電力測定ポート２６、真空排気ポート２７を設ける半筒管５ｂに対して行ってもよい。

【００４９】

実施の形態３．

実施の形態１では、ビーム加速中心軸２０に直交する断面における半筒管５ａ、５ｂの内壁及び外壁の形状は円弧形状である例で説明したが、ビーム加速中心軸２０からＹ軸近傍以外の内径を加工した多角形構造でもよい。図１１は、本発明の実施の形態３におけるドリフトチューブ線形加速器の正面断面図である。図１１は、加速空洞６が四角形になるように、半筒管５ａ、５ｂを製造した一例であり、具体的にはステム３と直交する方向におけるビーム加速中心軸２０から半筒管５ａ、５ｂの内壁までの距離が長い長方形の例である。多角形構造により加速空洞６の内壁を流れる電流の抵抗は若干増加するが、加工が容易である。実施の形態３のドリフトチューブ線形加速器３０は、加速空洞６の形状の製作容易性が向上し、ドリフトチューブ線形加速器３０の製造コストが安くなる。

【００５０】

実施の形態４．

実施の形態４では、ドリフトチューブ電極１及び加速空洞６を、水冷却等の一般的な冷却よりも低温で冷却する例を説明する。実施の形態４における冷却温度は、少なくとも０℃以下から０Ｋ（ケルビン）の間であり、その温度領域になっている状態を極低温状態とする。図１２は、本発明の実施の形態４におけるドリフトチューブ線形加速器の構成図である。図１３は図１２のＣ－Ｃにおける正面断面図であり、図１４は図１２のＤ－Ｄにおける側面断面図である。図１５は本発明の実施の形態４におけるドリフトチューブ線形加速器基礎部の構成図である。図１６は図１５のＡ－Ａにおける正面断面図であり、図１７は図１５のＢ－Ｂにおける側面断面図である。なお、図１２において、ドリフトチューブ線形加速器基礎部５０が見えるように一部を破断させている。図１４において、図を分かりやすくするために、中央板４、断熱支持体胴部４６、一部のねじ１２はビーム加速中心軸２０を含むＹＺ平面における断面を示した。

【００５１】

実施の形態４のドリフトチューブ線形加速器３０は、ドリフトチューブ線形加速器基礎

部５０と、ドリフトチューブ線形加速器基礎部５０を支持すると共に、ドリフトチューブ線形加速器基礎部５０を密封状態に収納する断熱支持体４０と、ドリフトチューブ線形加速器基礎部５０を低温に保持する低温保持装置４１と、ドリフトチューブ線形加速器基礎部５０をそのドリフトチューブ電極１及び加速空洞６を構成する部品である半筒管５の材質特性が変化する極低温状態まで冷却する冷却装置４２と、冷却装置４２とドリフトチューブ線形加速器基礎部５０とを接続する伝熱性部材４３とを備える。断熱支持体４０は、ドリフトチューブ線形加速器基礎部５０を密封状態に収納して、かつその重さと磁場により発生する力などに抗してドリフトチューブ線形加速器基礎部５０を支持する。断熱支持体４０は、断熱支持体胴部４６と、断熱支持体胴部４６におけるＺ方向の開口部を封止する封止板５１と、断熱支持体胴部４６の外周に設けられた開口部を封止する封止板５２を有する。封止板５１はねじ１２により断熱支持体胴部４６に固定され、封止板５２はボルト５３及びナット５４により断熱支持体胴部４６に固定される。冷却装置４２は、断熱支持体胴部４６の外周に設けられた開口部に挿入され、ねじ１２により断熱支持体胴部４６に固定される。断熱支持体４０は、その支持部５６が設置台５５にねじ１２により固定される。なお、断熱支持体４０は、図示しない真空封止用のＯリングを介して封止板５１、５２等が固定され、内部を真空にすることができる。

【００５２】

ドリフトチューブ線形加速器基礎部５０は、実施の形態１～３で説明したドリフトチューブ線形加速器３０の構造と同様である。ここでは、図１５～１７に示すように、ドリフトチューブ線形加速器基礎部５０の中央板４及び半筒管５において冷却路１５及び冷却路１９を設けない例を、最初に説明する。図１５～１７に示したドリフトチューブ線形加速器基礎部５０は、実施の形態１～３のドリフトチューブ線形加速器３０とは冷却路１５及び冷却路１９ない点で異なり、その他の構造は同じなので、説明は繰り返さない。

【００５３】

伝熱性部材４３は、伝熱性の高い材料で形成されており、ドリフトチューブ線形加速器基礎部５０の中央板４と冷却装置４２とを接続し、熱を移動させる。図１２～１４に示した伝熱性部材４３は、中央板４のＹ方向におえる両端を挟むように屈曲された屈曲板の例である。伝熱性部材４３は、図１４に示すようにねじ１２により中央板４に固定される。伝熱性部材４３には開口部４５が形成されており、この開口部４５においてボルト５３及びナット５４を用いて冷却装置４２と伝熱性部材４３とが接続される。本実施の形態４における伝熱性部材４３は、例えば銅である。

【００５４】

断熱支持体４０の断熱支持体胴部４６には、電力供給ポート２５ｂと電力測定ポート２６ｂと真空排気ポート２７ｂが設けられる。電力供給ポート２５ｂ、電力測定ポート２６ｂ、真空排気ポート２７ｂは、それぞれドリフトチューブ線形加速器基礎部５０における電力供給ポート２５、電力測定ポート２６、真空排気ポート２７に対応した位置、すなわち、電力供給ポート２５、電力測定ポート２６、真空排気ポート２７の位置がビーム加速中心軸２０から放射状に延長した外周領域に設けられる。ただし、真空排気ポート２７ｂは、必ずしも真空排気ポート２７に対応した位置に設ける必要は無い。図１２～１４では、真空排気ポート２７ｂは、真空排気ポート２７に対応した位置からずれた位置に配置されている。図１２～１４では、電力供給ポート２５ｂ及び電力測定ポート２６ｂが、それぞれ電力供給ポート２５及び電力測定ポート２６の位置がビーム加速中心軸２０から放射状に延長された外周領域に、配置されている。

【００５５】

ドリフトチューブ線形加速器基礎部５０は、その下部が低温保持装置４１に覆われ、そのＺ方向の両端において低温保持装置４１の固定部４７とねじ１２により固定される。図１２～１４では、固定部４７がドリフトチューブ線形加速器基礎部５０のＺ方向の両端を挟むように配置された例を示した。

【００５６】

実施の形態４におけるドリフトチューブ線形加速器３０は、真空排気ポート２７ｂを介

して断熱支持体４０の内部が真空状態される。さらに、ドリフトチューブ線形加速器３０は、真空排気ポート２７ｂ、真空排気ポート２７を介して、ドリフトチューブ線形加速器基礎部５０の内部及び低温保持装置４１の内部が真空状態にされる。ドリフトチューブ線形加速器基礎部５０と低温保持装置４１とは、図示しない連通孔で内部が繋がっている。

【００５７】

ドリフトチューブ線形加速器３０は、内部が真空状態にされた後に、冷却装置４２により伝熱性部材４３を経由してドリフトチューブ電極１及び半筒管５の材質特性が変化する極低温状態まで冷却される。その後、電力供給ポート２５、電力供給ポート２５ｂを経由して加速空洞６にビームを加速するための電力が供給され、ドリフトチューブ電極１間にビームを加速するための加速電界を発生させてビームを加速する。ビームを加速するための加速電界を発生させる電力供給量は、ドリフトチューブ電極１と加速空洞６の消費電力およびビームローディング分である。ドリフトチューブ電極１及び半筒管５は、冷却装置４２によりこれらの材質特性が変化する極低温状態まで冷却され、低温保持装置４１により冷却状態（極低温状態）が維持される。

【００５８】

実施の形態４のドリフトチューブ線形加速器３０は、ドリフトチューブ電極１及び半筒管５が、上記のように冷却状態（極低温状態）に維持されるため、ドリフトチューブ電極１と加速空洞６（半筒管５の内面）の表面抵抗が低下し、ドリフトチューブ電極１と加速空洞６の消費電力量を、冷却水で冷却するよりも低減することができる。

【００５９】

ここで、実施の形態４における極低温状態について定義する。消費電力量は空洞特性を表すＱ値に反比例の関係であるため、Ｑ値が高くなるほど消費電力量は低減する。Ｑ値と、加速空洞６を構成する半筒管５や中央板４の材質の抵抗率とには、平方根に逆比例の関係がある。例えば、図１８に銅の温度に対する抵抗率を示す。図１９は図１８を用いて、常温（２７３Ｋ）を１として規格化されたＱ値と温度の関係を示す。図１８の縦軸は抵抗率（Ω・ｃｍ）であり、図１９の縦軸は規格化されたＱ値である。図１８、図１９の横軸は、温度（Ｋ）である。図１９より、例えば、加速空洞６を構成する材質での消費電力量を１／２にする場合、すなわちＱ値を２倍にする場合には、２７３Ｋから冷却し、加速空洞６（ドリフトチューブ線形加速器基礎部５０）の温度を１００Ｋ程度にすれば良いことが分かる。したがって、実施の形態４にて極低温状態にする冷却とは、一般に加速空洞６での発熱を抑えるための水冷却等の一般的な冷却とは異なり、少なくとも０℃以下から０Ｋまで冷やすことを指し、その温度領域になっている状態を極低温状態と定義する。

【００６０】

なお、冷却装置４２の振動がドリフトチューブ電極１と加速空洞６に伝わりビーム軸が振動しないように、冷却装置４２と伝熱性部材４３との接合部に振動吸収材もしくは振動吸収構造を保有するほうが良い。

【００６１】

また、伝熱性部材４３は、図１２～１５で示した加速空洞６の片側に配置された片側配置ではなく、加速空洞６の両側に配置された両側配置であるほうが良い。伝熱性部材４３が両側配置である場合の方が、片側配置よりも常温状態と極低温状態との温度差によるビーム軸のずれを緩和することができる。

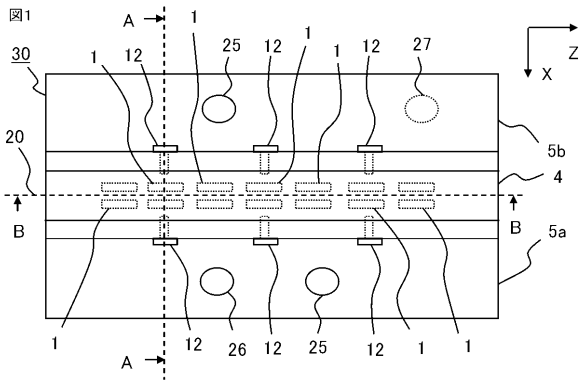
【００６２】

また、本実施の形態４では冷却装置４２と伝熱性部材４３を用いてドリフトチューブ電極１と加速空洞６を冷却する例を示したが、冷却装置４２と伝熱性部材４３を用いず、直接液体ヘリウムや液体窒素を用いてドリフトチューブ電極１及び半筒管５の材質特性が変化する極低温状態まで冷却しても良い。この場合、ドリフトチューブ線形加速器基礎部５０は、例えば、実施の形態１～３のドリフトチューブ線形加速器３０と同じにすれば良い。すなわち、ドリフトチューブ線形加速器基礎部５０における中央板４及び半筒管５に冷却路１５及び冷却路１９を設け、その冷却路１５及び冷却路１９に液体ヘリウムや液体窒素を流すようにすれば良い。

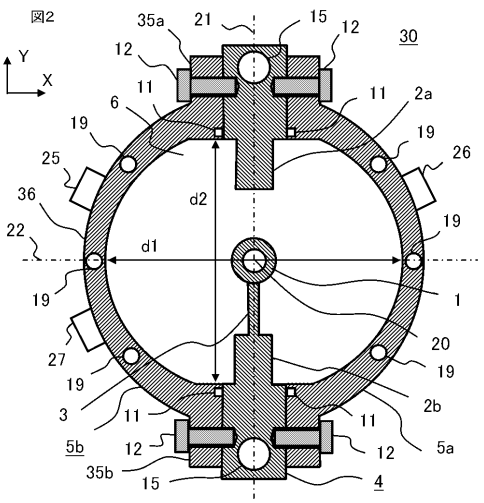
【００６３】
実施の形態５．
図２０は、本発明の実施の形態５におけるドリフトチューブ線形加速器の要部の側面断面図である。実施の形態５では、実施の形態４による構成に加え、電流密度が高いステム３に、超電導線材４４を備えた。具体的には、実施の形態５におけるドリフトチューブ線形加速器３０は、実施の形態４のドリフトチューブ線形加速器３０における中央板４のステム３の表面にテープ状の超電導線材４４を貼り付けたものである。超電導線材４４は、例えばイットリウム系高温超電導線材である。
【００６４】
実施の形態５におけるドリフトチューブ線形加速器３０は、実施の形態４同様に、真空排気ポート２７ｂを介して断熱支持体４０の内部が真空状態される。さらに、ドリフトチューブ線形加速器３０は、真空排気ポート２７ｂ、真空排気ポート２７を介して、ドリフトチューブ線形加速器基礎部５０の内部及び低温保持装置４１の内部が真空状態にされる。
【００６５】
ドリフトチューブ線形加速器３０は、真空状態にされた後に、冷却装置４２により伝熱性部材４３を経由してドリフトチューブ電極１及び半筒管５が、超電導線材４４が超電導特性を現す極低温状態まで冷却される。その後、電力供給ポート２５、電力供給ポート２５ｂを経由して加速空洞６にビームを加速するための電力が供給され、ドリフトチューブ電極１間にビームを加速するための加速電界を発生させてビームを加速する。ビームを加速するための加速電界を発生させる電力供給量は、ドリフトチューブ電極１と加速空洞６の消費電力およびビームローディング分である。ドリフトチューブ電極１及び半筒管５は、冷却装置４２によりこれらの材質特性が変化する極低温状態まで冷却され、低温保持装置４１により冷却状態（極低温状態）が維持される。
【００６６】
実施の形態５のドリフトチューブ線形加速器３０は、ドリフトチューブ電極１と加速空洞６が、上記のように冷却状態（極低温状態）に維持されるため、ドリフトチューブ電極１と加速空洞６（半筒管５の内面）の表面抵抗が低下し、さらにドリフトチューブ電極１に接続されたステム３における電流密度が高い領域での表面抵抗が超電導線材４４の超電導特性により低下するため、実施の形態４によりもドリフトチューブ電極１と加速空洞６の消費電力量を低減することができる。
【００６７】
なお、超電導線材４４はステム３における電流密度が高い領域のみに貼り付けた例を示したが、加速空洞６（半筒管５の内面や中央板４の表面）における電流密度が高い領域もしくは全面に超電導線材４４を貼り付けても良い。また、超電導線材４４の例としてイットリウム系高温超電導線材を用いたが、その他の超電導材料を用いても良い。
【００６８】
なお、実施の形態１～５ではＩＨ型線形加速器を例にして説明したが、アルバレ型線形加速器であっても、加速空洞６の共振周波数と加速電界分布を調整する必要があるので、本発明を適用することで、外付けチューナを設けずに高精度に調整することができる。アルバレ型線形加速器は、ＩＨ型線形加速器よりも全長が長くなるが、半筒管５をＮＣマシンにて加工可能な長さに分割して製造すればよい。また、本発明は、その発明の範囲内において、各実施の形態を組み合わせたり、各実施の形態を適宜、変形、省略することが可能である。
【符号の説明】
【００６９】
１…ドリフトチューブ電極、２、２ａ、２ｂ…リッジ、３…ステム、４…中央板、５、５ａ、５ｂ…半筒管、６…加速空洞、７…真空排気孔、２０…ビーム加速中心軸、２１…面方向中心軸、２２…板厚方向中心軸、２５…電力供給ポート、２６…電力測定ポート、２７…真空排気ポート、３０…ドリフトチューブ線形加速器、３５ａ、３５ｂ…接合部、３

６…胴部、４０…断熱支持体、４１…低温保持装置、４２…冷却装置、４３…伝熱性部材、４４…超電導線材、ｔ１…中央板の板厚、ｔ２…リッジの板厚、ｄ１…Ｘ方向空洞内径、ｄ２…Ｙ方向空洞内径。

【図１】

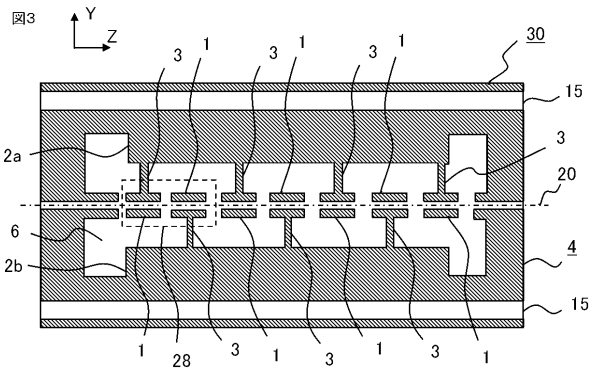


【図２】



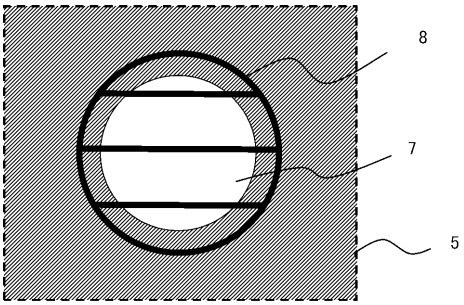
【図３】

図3



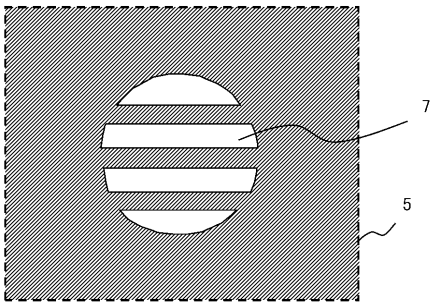
【図４】

図4



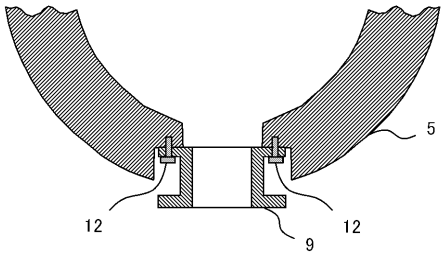
【図５】

図5



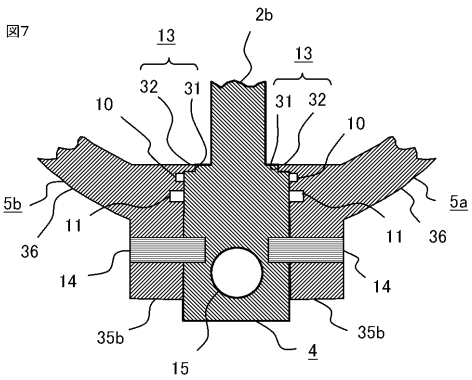
【図６】

図6



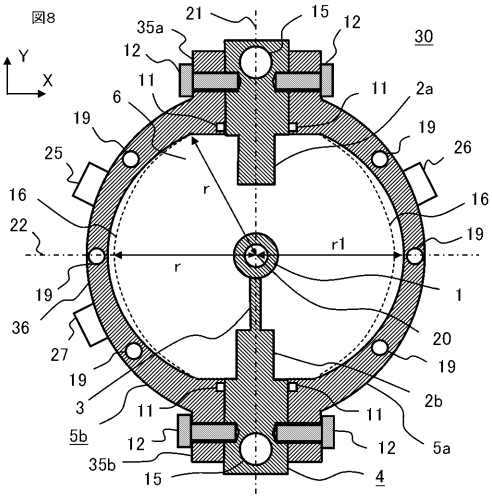
【図７】

図7



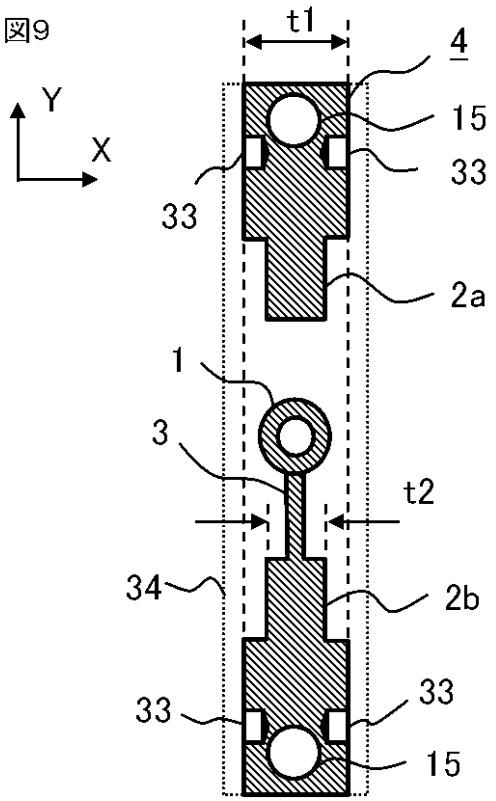
【図８】

図8



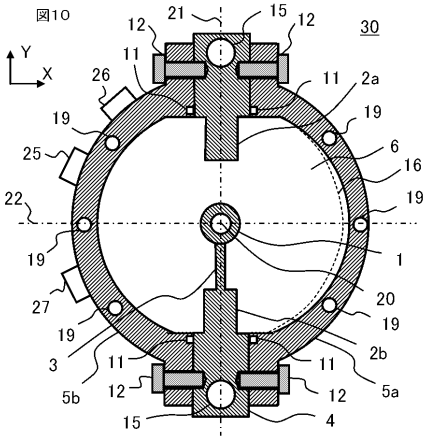
【図９】

図9



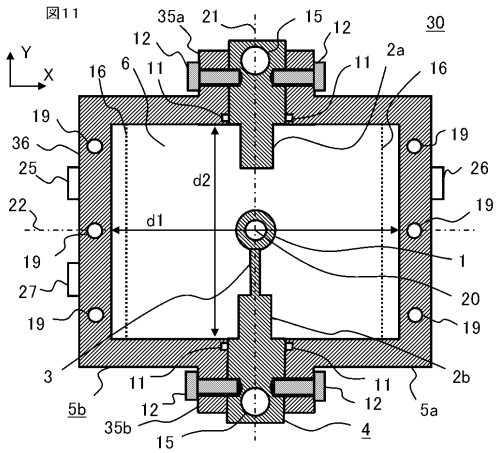
【図１０】

図10



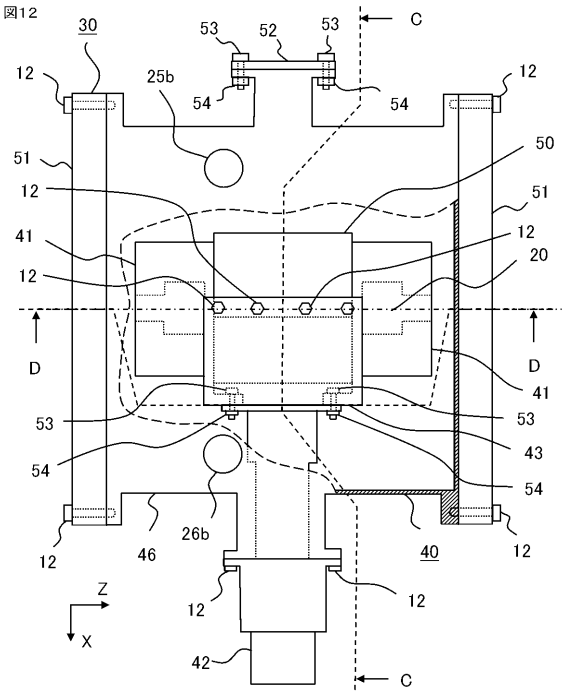
【図１１】

図11

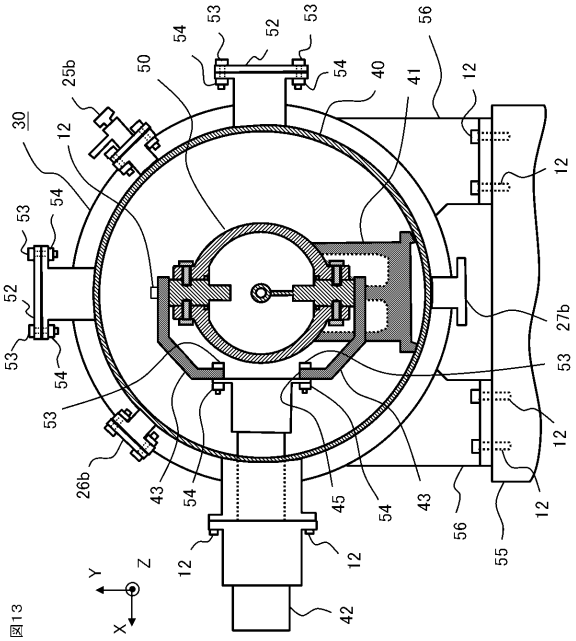


【図１２】

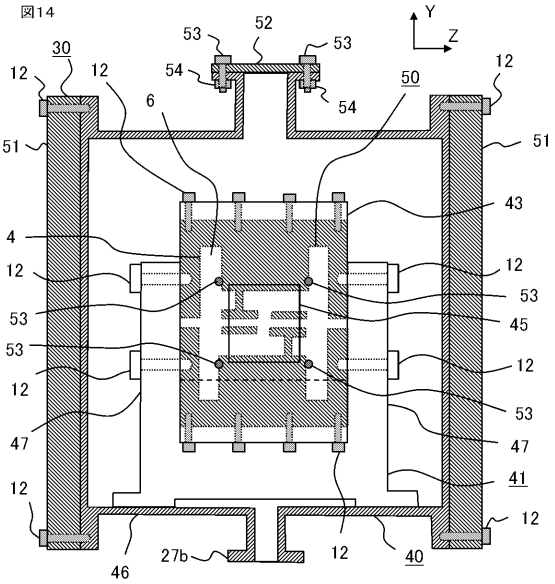
図12



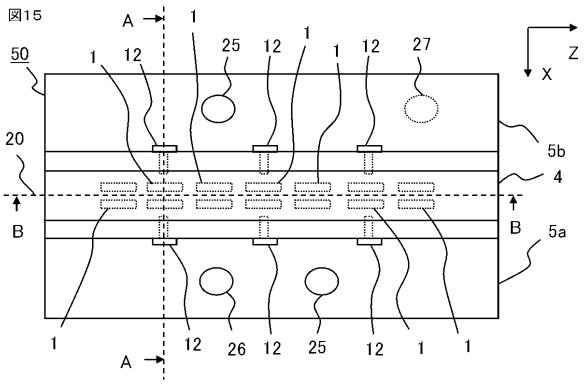
【図１３】



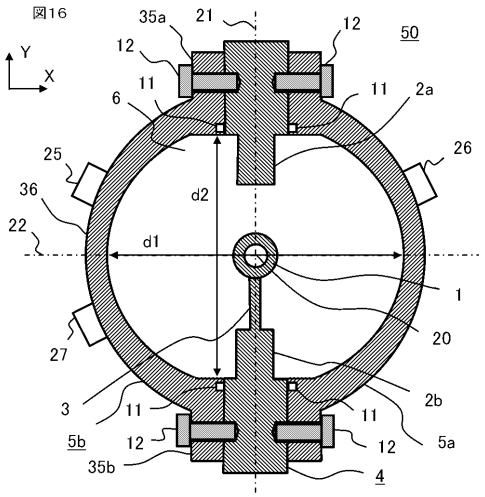
【図１４】



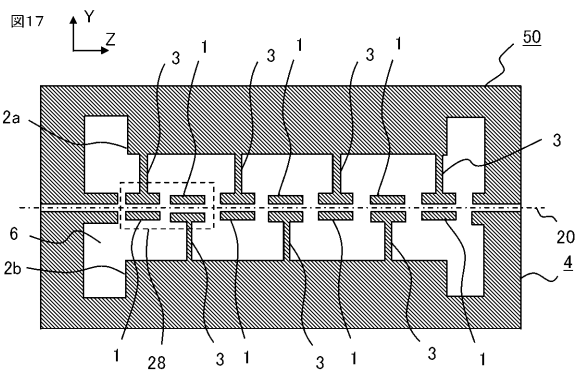
【図１５】



【図１６】



【図１７】



【図１８】

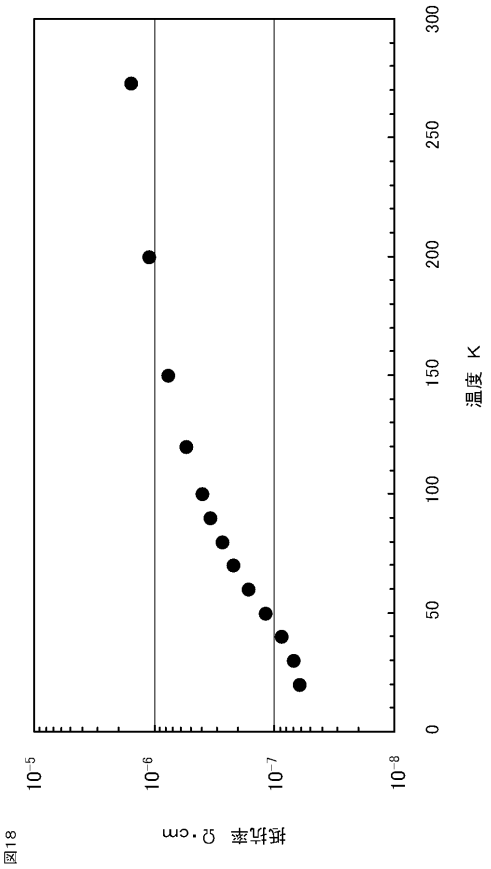


図18

【図１９】

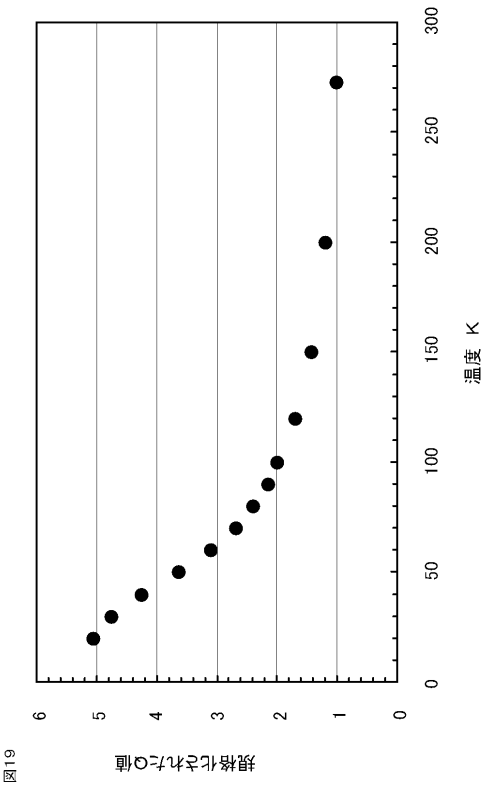


図19

【図２０】

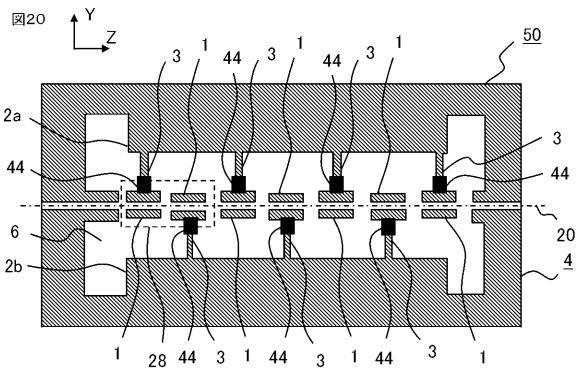


図20

フロントページの続き

(72)発明者　春名　延是
東京都千代田区丸の内二丁目７番３号　三菱電機株式会社内
(72)発明者　永山　貴久
東京都千代田区丸の内二丁目７番３号　三菱電機株式会社内
(72)発明者　井上　博光
東京都千代田区丸の内二丁目７番３号　三菱電機株式会社内
(72)発明者　加島　鷹之
東京都千代田区九段北一丁目１３番５号　三菱電機エンジニアリング株式会社内

Ｆターム(参考) 2G085 AA04　BA05　BA06　BA08　BD01　BD06　BE01　CA15　CA26　EA02