(19)日本国特許庁(JP)　(12)特　許　公　報(B2)　(11)特許番号
特許第3817715号
(P3817715)
(45)発行日　平成18年9月6日(2006.9.6)　(24)登録日　平成18年6月23日(2006.6.23)

(51)Int.Cl.		F I		
H02J 17/00	(2006.01)	H02J	17/00	A
H01J 25/00	(2006.01)	H01J	25/00	Z
H02M 7/06	(2006.01)	H02M	7/06	Z

請求項の数 5　(全 7 頁)

(21)出願番号　特願2001-346861(P2001-346861)
(22)出願日　平成13年11月13日(2001.11.13)
(65)公開番号　特開2002-223535(P2002-223535A)
(43)公開日　平成14年8月9日(2002.8.9)
審査請求日　平成16年7月27日(2004.7.27)
(31)優先権主張番号　特願2000-355358(P2000-355358)
(32)優先日　平成12年11月22日(2000.11.22)
(33)優先権主張国　日本国(JP)

(73)特許権者　899000046
関西ティー・エル・オー株式会社
京都府京都市下京区中堂寺南町１３４番地
(74)代理人　100095670
弁理士　小林　良平
(74)代理人　100077171
弁理士　竹内　尚恒
(72)発明者　松本　紘
京都府宇治市五ヶ庄　京都大学宙空電波科学研究センター内
(72)発明者　ウラジミル　アー　バンケ
京都府宇治市五ヶ庄　京都大学宙空電波科学研究センター内

最終頁に続く

(54)【発明の名称】マイクロ波／直流電力変換装置

(57)【特許請求の範囲】

【請求項１】

反応空間において、外部から供給されるマイクロ波により電子流に回転運動を与え、電流変換器においてその電子流の運動エネルギーを直流電流に変換して取り出すマイクロ波／直流電力変換装置において、前記反応空間が、中心軸の回りに平行且つ軸対称に配置された2・n（n=2,3,…）本の電極を備えることを特徴とするマイクロ波／直流電力変換装置。

【請求項２】

a) 電子を送出する電子源と、

b) 電子源から送出される電子に初期回転運動を与え、下記多重極反応器に送出する第１反応器と、

c) 中心軸の回りに平行且つ軸対称に配置された2・n（n=2,3,…）本の電極を備え、外部から供給されるマイクロ波のエネルギーにより上記電子にサイクロトロン運動を与える多重極反応器と、

d) 多重極反応器を出た電子の回転運動を軸方向運動に変換する運動変換器と、

e) 軸方向運動エネルギーを有する電子流から直流電流を取り出す電流変換器と、

を備えることを特徴とするマイクロ波／直流電力変換装置。

【請求項３】

多重極反応器に入る電子の上記電極の位置に関する位相を制御するための位相制御器が第１反応器に設けられていることを特徴とする請求項２に記載のマイクロ波／直流電力変換装置。

【請求項４】
電子源と第１反応器及び多重極反応器との間に、過電流防止用の抵抗が設けられていることを特徴とする請求項２又は３に記載のマイクロ波／直流電力変換装置。
【請求項５】
電流変換器から二次生成電子が外に出るのを防止するため、電流変換器よりもやや低い電圧が印加された付加電極が、電流変換器の直前に設けられていることを特徴とする請求項２～４のいずれかに記載のマイクロ波／直流電力変換装置。
【発明の詳細な説明】
【０００１】
【発明の属する技術分野】
本発明は、電子流の高速サイクロトロン波を利用したマイクロ波／直流電力（ＤＣ）変換装置に関する。このマイクロ波／直流電力変換装置は、マイクロ波エネルギー伝送システムにおける受電側装置として使用することができる。
【０００２】
【従来の技術】
この数十年間、無線送電（Wireless Power Transmission＝ＷＰＴ）を実現するにあたり、新しい問題が生じてきた。すなわち、高出力マイクロ波のエネルギーを直流電流エネルギーに逆変換することに関する問題である。しかし、この分野で将来、マイクロ波技術が広範囲の応用を見いだすことは間違いない。
【０００３】
ショットキーダイオードを備えた周知のレクテナ（rectifying antenna＝整流アンテナ）は、高効率のマイクロ波無線送電の可能性を実現するために主要な役割を果たしてきた。しかし将来、高出力無線送電システムを産業的規模で実施しようとすると、このレクテナは有効なものとは思えない。それは次のような問題があるからである。
・単一のレクテナ要素では出力レベルが低い。
・出力電圧が低く、そのため直列にダイオードを接続する必要がある。
・比較的低レベルのマイクロ波や直流に対しても過負荷となりやすく、損傷の可能性が高いという危険性がある。
【０００４】
産業的規模のエネルギーシステムでは、損失を低減し、信頼性を上げるために高出力・高電圧デバイスが常に要求される。
【０００５】
図３（Ａ）は従来のサイクロトロン・マイクロ波変換装置（ＣＷＣ）の概略構成図である（Vladimir A. Vanke, et al., "Cyclotron Wave Converter of Microwaves into DC", IEICE Trans. Electron., Vol. E81-C, No. 7, July, 1998, p. 1136）。ＣＷＣ３０はz軸に沿って配列された電子銃３１、マイクロ波空洞３２及びコレクタ３３から成る。通常クッチアカプラ（Cuccia coupler）と呼ばれるマイクロ波空洞３２は反応空間３５を内包しており、図示せぬ外部静磁場装置により、z方向の磁束密度B1を有する一様静磁場の中に置かれる。マイクロ波空洞３２とコレクタ３３の間の変換領域３４は-z方向の磁束密度B2を有する別の外部静磁場の中に置かれる（図３（Ｂ））。
【０００６】
周波数Fのマイクロ波電力Ｐがマイクロ波空洞３２に入力されると、マイクロ波電力Ｐはマイクロ波空洞３２の反応空間３５に周波数Fで変化する直交電場を誘起する。電子銃３１により電子流が生成され、電子レンズにより電子流が反応空間３５の中心に送り込まれると、電子流はマイクロ波により誘起された直交電場により周波数F（これはサイクロトロン周波数Fcに等しい）の高速サイクロトロン回転を行なう。
【０００７】
変換領域３４において、回転する電子流は反転する静磁場（図３（Ｂ）のz1<z<z2）の半径方向成分により付加ローレンツ力を受け、その速度ベクトルのピッチ角を回転方向からz軸方向に向け、z軸方向の速度成分を増す。こうして電子流はらせん運動に移行し、サイ

クロトロン波のエネルギーが同一極性の同期波のエネルギーに変換される。
【０００８】
加速された電子流３６はコレクタ３３に入り、ここでその運動エネルギーが負荷抵抗３７により直流電流のエネルギーとして取り出される。
【０００９】
サイクロトロン・マイクロ波変換装置は潜在的に高出力の能力を持ち、また、既に10kW程度の出力で試験もされている。このようなことは既に種々の発表で既に良く知られていることである。例えば、米国特許第3,462,636号やロシア特許2119691号を参照されたい。
【００１０】
【発明が解決しようとする課題】
しかし、このタイプのサイクロトロン・マイクロ波変換装置は、外部のマイクロ波源の周波数に等しい周波数のサイクロトロンに対応する高強度の静磁場を必要とする。このような要求は、特に短センチ波やミリ波帯で大きな技術的問題を引き起こす。
【００１１】
本発明は、大規模な静磁場装置を必要としないサイクロトロン・マイクロ波変換装置すなわちマイクロ波／直流電力変換装置を提供するものである。
【００１２】
【課題を解決するための手段】
本発明は、反応空間においてそれぞれ一様電場及び多重極電場を有するマイクロ波空洞を２つ用いることにより、この磁場強度を半減又はそれ以下に低減することを可能にしたものである。
【００１３】
【発明の実施の形態】
具体的には、本発明に係るマイクロ波／直流電力変換装置は、反応空間において、外部から供給されるマイクロ波により電子流に回転運動を与え、電流変換器においてその電子流の運動エネルギーを直流電流に変換して取り出すマイクロ波／直流電力変換装置において、前記反応空間が、中心軸の回りに平行且つ軸対称に配置された2・n（n=2,3,…）本の電極を備えることを特徴とするものである。
【００１４】
また、更に具体的には、
a) 電子を送出する電子源と、
b) 電子源から送出される電子に初期回転運動を与え、下記多重極反応器に送出する第１反応器と、
c) 中心軸の回りに平行且つ軸対称に配置された2・n（n=2,3,…）本の電極から成り、外部から供給されるマイクロ波のエネルギーにより上記電子にサイクロトロン運動を与える多重極反応器と、
d) 多重極反応器を出た電子の回転運動を軸方向運動に変換する運動変換器と、
e) 軸方向運動エネルギーを有する電子流から直流電流を取り出す電流変換器と、
を備えるものとする。
【００１５】
【実施例】
本発明に係るマイクロ波／直流電力変換装置の一実施例であるサイクロトロン・マイクロ波変換装置（ＣＷＣ）を図１及び図２により説明する。図１（Ａ）及び（Ｂ）はそれぞれ、本実施例のＣＷＣの概略構成図とz軸方向の磁場の強度分布図であり、両図のz軸方向の位置は対応している。図１（Ｂ）においてB(z)はz軸上の磁場誘導のz方向成分であり、FcはB(z)の値に対応するサイクロトロン周波数である。
【００１６】
電子銃１は断面円形の電子ビーム２を生成し、z軸に沿って第１マイクロ波空洞３に入射する。通常の動作モードではレジスタ（抵抗）１３には電流が流れないため、第１マイクロ波空洞３のポテンシャルは電圧源１２の電圧Ｕに等しい。

【００１７】
第１マイクロ波空洞３は、入射電力マイクロ波Ｐの周波数Fの1/2の共鳴周波数を有する。この入射マイクロ波Ｐの電力のうち、ごく一部（1%以下）が電力分離器６、周波数分割器５及び位相シフタ４を介して第１マイクロ波空洞３に供給される。第１マイクロ波空洞３の反応空間における直交電場は、共鳴一様静磁場（Fc=F/2。図１（Ｂ）参照）とともに電子ビーム２をz軸回りに初期小回転させる。
【００１８】
第２マイクロ波空洞７の反応空間には４本の棒状電極（四重極電極）が互いに平行に、且つz軸に関して軸対称に配置されている。これらの四重極電極の各電極はマイクロ波Ｐにより周波数Fで動作するが、電極が２組であるため、それらで囲まれた反応空間内で回転する電子ビームの回転周波数は、F/2となる。このため、第１マイクロ波空洞３の作動周波数がF/2となっている。同様に、第２マイクロ波空洞に2・n本の電極を設けると、電子ビームの回転周波数はF/nとなり、第１マイクロ波空洞の作動周波数もF/nとなる。
【００１９】
同じ磁場の下で、そのような四重極電場（Fc＝F/2）は、初期位相（入射時点での位相）によっては、電子ビーム２の直交回転を加速させることもあり、減速させることもある。位相シフタ４は、電子ビーム２の初期回転半径を増大させ、外部マイクロ波源のエネルギーが効率よく電子ビーム２のz軸回りの回転エネルギーに変換されるように、電子ビーム回転の位相が最適位置に来るようにする。
【００２０】
ドリフトチューブ８にも同じ電圧Ｕ（図１（Ａ）参照）が印加されているが、ここで静磁場は方向・強さとも変化される（図１（Ｂ）のREV領域）。回転電子ビームの軸方向速度は、このREV領域の発散磁場において増加する。静磁場のラジアル（径）方向成分は、電子ビームの回転エネルギーが軸方向運動の付加エネルギーに変換されたときに、そのようなプロセスを作り出す。同時に、電子ビームの運動形態も変化し、空間らせんの形状をとる（高速サイクロトロン波のエネルギーは、同一極性の同期波のエネルギーに変換される）。ここで、このREV領域における最適エネルギー変換は、ＣＷＣのパラメータをいかなる値に設定しても、常に非対称反転磁場中で生じることを強調しておきたい（図１（Ｂ）において、B2の値はB1の値よりも小さい）。
【００２１】
REV領域を通過した後、加速された電子ビームはコレクタ領域１１に入り、そこで電子ビームの運動エネルギーが取り出され、直流電流（ＤＣ）エネルギーに変換される。このエネルギーは負荷抵抗１４に現われる。ここにおける磁場分布はコレクタ１１の具体的構成に依存するが、通常、図１（Ｂ）に点線でその概略が示されるように、減少場の形をとる。付加電極９は電圧源１０により電圧が印加され、コレクタ１１のポテンシャルよりもやや低いポテンシャルを持つ。この付加電極９はコレクタ１１のオリフィス（小孔）の所に局所電場を生成し、二次生成電子が外に出るのを防止する。
【００２２】
レジスタ（抵抗）１３は、単純な電流制御システムを生成する。すなわち、（マイクロ波や直流電流の過負荷により引き起こされ）第１マイクロ波空洞３、第２マイクロ波空洞７或いはドリフトチューブ８の壁面に流れるいかなる小さな電流も、そのポテンシャルＵを大幅に低減し、電子銃１の電流を減少させる。
【００２３】
図２は第１及び第２マイクロ波空洞３、７の等価回路を示す。図２において、第１マイクロ波空洞３の反応空間はz軸（y=0面）に沿うように描かれ、第２マイクロ波空洞７の四重極反応空間は（紙面に垂直な）z軸に直交して（z＝一定値面内に）描かれている。両空洞３、７は異なる共鳴周波数を持ち、異なる電極配置を有し、異なる等価容量及び等価インダクタンスを持つ。第１マイクロ波空洞３は電子ビームに周波数F/2の小さな初期回転を与える。この初期回転は、四重極場の軸上において電場がゼロである第２マイクロ波空洞７において反応を引き起こすために必要なものである。図２は、電極のポテンシャル（電

圧）が+V、-Vである瞬間を示している。電子ビームの断面は、-eと書かれた黒点で表わされ、この位置は最適位相に対応している（この電子ビーム断面の中心においてy＝-x）。この電子ビームの最適位置への調整は、位相シフタ４により行なわれる。電子ビームの運動の断面投影は、図２において点線で示されるように、円形である。

【００２４】

最後に、本発明は、この技術分野において通常の知識を有する者が想到するいかなる実施例をも含むものであり、上記の一実施例から導き出されるいかなる変形例も含むものである。例えば、第２マイクロ波空洞に６本の電極が平行且つ軸対称に配置された六重極電場配置（すなわち、n=3）を持つようなサイクロトロン・マイクロ波変換装置も本発明の範囲内に含まれる。この場合、それに対応して第１マイクロ波空洞は第２マイクロ波空洞の1/3の周波数で動作し、磁場強度は1/3で済む。

【００２５】

【発明の効果】

本発明に係るマイクロ波／直流電力変換装置は、外部のマイクロ波源の周波数の1/nの周波数で動作するため、同一周波数で動作する従来のものよりも遙かに小規模な静磁場装置で済む。そのため、装置全体を小型化することができるとともに、エネルギー変換効率を向上させることができる。

【図面の簡単な説明】

【図１】　本発明に係るマイクロ波／直流電力変換装置の一実施例であるサイクロトロン・マイクロ波変換装置（ＣＷＣ）の概略構成図（Ａ）、及び磁束のz軸方向の強度分布図（Ｂ）。

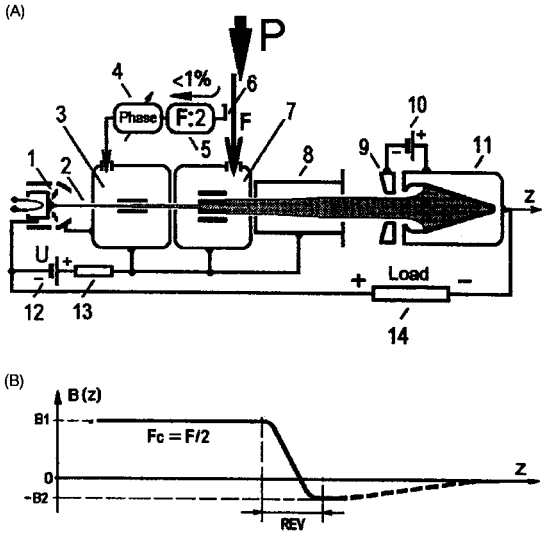
【図２】　実施例のＣＷＣの第１及び第２マイクロ波空洞の等価回路図。

【図３】　従来のＣＷＣの概略構成図（Ａ）、及び磁束のz軸方向の強度分布図（Ｂ）。

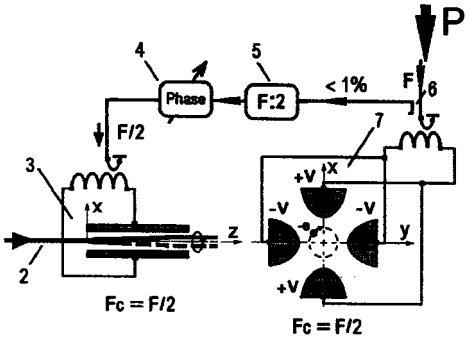
【符号の説明】

１…電子銃
２…電子ビーム
３…第１マイクロ波空洞
４…位相シフタ
５…周波数分割器
６…電力分離器
７…第２マイクロ波空洞
８…ドリフトチューブ
９…付加電極
１０…電圧源
１１…コレクタ
１２…電圧源
１４…負荷抵抗
３１…電子銃
３２…マイクロ波空洞
３３…コレクタ
３４…変換領域
３５…反応空間
３６…電子流
３７…負荷抵抗

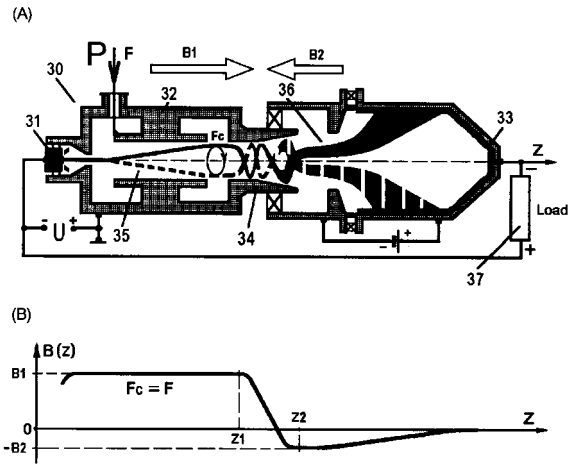
【図１】


(A)
P
<1%
Phase
F:2
F
U
Load
Z
(B)
B(z)
B1
Fc = F/2
0
-B2
REV
Z

【図２】


P
Phase
F:2
< 1%
F/2
+V
-V
-V
+V
Fc = F/2
Fc = F/2

【図３】


(A)
P
F
B1
B2
Fc
U
Load
(B)
B(z)
B1
Fc = F
0
-B2
Z1
Z2
Z

フロントページの続き

(72)発明者　篠原　真毅
京都府宇治市五ヶ庄　京都大学宙空電波科学研究センター内

審査官　小曳　満昭

(56)参考文献　特開２０００－３０６５１９（ＪＰ，Ａ）
米国特許第０３４６２６３６（ＵＳ，Ａ）
米国特許第３２２１２６４（ＵＳ，Ａ）

(58)調査した分野(Int.Cl.，ＤＢ名)
H02J 17/00
H01J 25/00
H02M 7/06