

(19) 日本国特許庁 ( J P )

(12) 公開特許公報 ( A )

(11) 特許出願公開番号

特開2003-272900

( P2003-272900A )

(43) 公開日 平成15年9月26日 (2003.9.26)

(51) Int.Cl.<sup>7</sup>

H 0 5 H 13/04

7/04

識別記号

F I

H 0 5 H 13/04

7/04

テーマコード\* (参考)

F 2 G 0 8 5

S

審査請求 未請求 請求項の数 6 O L (全 6 頁)

(21) 出願番号 特願2002-73362( P2002-73362)

(22) 出願日 平成14年3月15日 (2002.3.15)

(71) 出願人 391012707

高エネルギー加速器研究機構長

茨城県つくば市大穂1番地1

(71) 出願人 000000974

川崎重工業株式会社

兵庫県神戸市中央区東川崎町3丁目1番1

号

(72) 発明者 森 義治

茨城県つくば市大穂1番地1 高エネルギー

加速器研究機構内

(74) 代理人 100104341

弁理士 関 正治

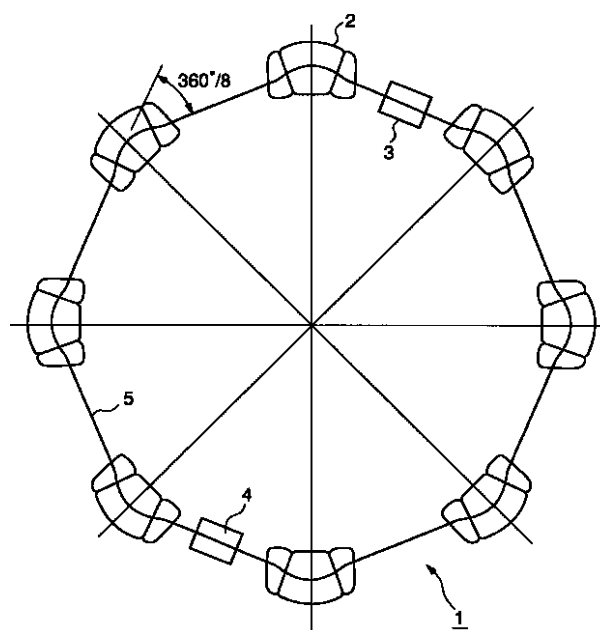
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 ウィグラリング

(57) 【要約】

【課題】 放射光の工業的な利用が可能になるような、蓄積リングの構成部品を削減した経済的な放射光発生用蓄積リングを提供する。

【解決手段】 構成磁石による荷電粒子ビームの偏向角の合計が所定の角度になるように構成した挿入光源2を偏向磁石の代わりに用いた蓄積リング1であって、挿入光源2の荷電粒子ビームの偏向角の合計が360°になるようにしたウィグラリング。さらに、挿入光源の構成磁石が形成する磁場領域における荷電粒子ビームの入射面と出射面が荷電粒子ビームに対して傾斜を持たせてエッジフォーカス効果により荷電粒子ビームを縦横方向に収束させるようにすることにより4極磁石の代替をさせることができる。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 N個の挿入光源を用いた蓄積リングにおいて、荷電粒子ビームの入射方向と出射方向の角度差の合計が360°になるように構成した挿入光源のにより放射光発生用蓄積リングを構成して偏向磁石を用いずに荷電粒子ビームを周回させることを特徴とするウィグラリング。

【請求項2】 前記N個の挿入光源が全て同じ構造を有し、該挿入光源を形成する磁石による荷電粒子ビームの偏向角の合計が360°/Nになるように構成することを特徴とする請求項1記載のウィグラリング。

【請求項3】 さらに、前記挿入光源構成磁石における荷電粒子ビームの入射面と出射面が荷電粒子ビームに対して傾斜を持つように構成しエッジフォーカス効果により4極電磁石を用いずに荷電粒子ビームを縦方向と横方向に収束させるようにしたことを特徴とする請求項1または2記載のウィグラリング。

【請求項4】 さらに、前記挿入光源を形成する磁石への荷電粒子ビームの入射角を調整することにより6極磁石を用いずに荷電粒子ビームのクロマチシティを零に近い値にすることを特徴とする請求項1から3のいずれかに記載のウィグラリング。

【請求項5】 1個の主コイルとこれを挟んで対称に配設される2個のサブコイルからなる挿入光源であって、該サブコイル同士が同じ構造を有し発生する磁場の向きが前記主コイルの磁場と逆であって、該挿入光源に入射する荷電粒子ビームが所定の偏向角をもって出射するように構成されることを特徴とする挿入光源。

【請求項6】 前記主コイルとサブコイルにおける荷電粒子ビームの入射面と出射面が荷電粒子ビームに対して傾斜を持ちエッジフォーカス効果を有するようにしたことを特徴とする請求項5記載の挿入光源。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、産業上利用しやすい小型の放射光発生用蓄積リングを挿入光源を主体として形成したウィグラリングとそれに用いられる挿入光源に関する。

## 【0002】

【従来の技術】従来の放射光発生用荷電粒子蓄積リングは、電子ビームを周回させるために偏向磁石を備え、電子ビームを収束させるために4極磁石を備え、さらに電子ビームのクロマチシティを小さな正の値に調整するために6極磁石を備えている。偏向磁石からも放射光が発生するが、放射光を利用する立場からはより強力な放射光やより波長の短いX線が要求されるので、放射光発生用蓄積リングでは一般にウィグラなど強い磁場を発生する挿入光源を設けて、強力な放射光を発生させて利用する。

【0003】図4は、従来の放射光発生用蓄積リングの

概念を示す構成図である。放射光は電子蓄積リングを周回する電子や陽電子のような荷電粒子ビームにより生成する。荷電粒子ビームの軌道は直線部と弧状部からなり、2極の偏向磁石が弧状部に配置されて荷電粒子ビームを偏向させて周回軌道を形成する。また、直線部には4極磁石、RFキャビティ、6極磁石、荷電粒子入射装置、挿入光源など色々な装置が配置される。4極磁石は縦横の収束力を交互に与え、荷電粒子ビームを発散させることなく封じ込めるレンズのような働きをする。RFキャビティは、放射光を発生して失ったエネルギーを荷電粒子ビームに補充する装置である。なお、荷電粒子ビームの軌道は真空ダクト内に設定されていて、ダクト内を $10^{-9}$  Torr以下の高真空に保持し走行中に残留ガス分子と衝突して分散するのを抑制し蓄積ビームが減衰しないようにしている。

【0004】図5は、挿入光源として使用される従来の3極ウィグラの1例を示す平面配置図、図6はその側面断面図である。挿入光源は、放射光を発生させるだけの目的で強い磁場を発生させるもので、偏向磁石の間に形成される直線部に配置され、電子ビームが挿入光源を通過した後は電子ビームが再び同じ方向に進行するように構成され、また磁石が調整される。図5および図6に示した従来のウィグラは、主コイルと2個のサブコイルを一直線上に配置して構成される。第1サブコイルは、入射するビームに対して垂直な入射面を有し入射面と平行な出射面を有する磁場を形成する。主コイルは、第1サブコイルの出射面と平行な入射面と入射面に平行な出射面を有しサブコイルの磁場と反対の方向の磁場を形成する。第2サブコイルは、第1サブコイルと同じものである。

【0005】ウィグラに入射するビームは、第1サブコイル中で偏向し、主コイルに入射して強い磁場で逆方向に偏向し、さらに第2サブコイルに入射して主コイルと反対の方向に偏向し、第2サブコイルから出射する。主コイルの磁場を強くすれば、強い放射光を得ることができる。主コイルの磁場に対してサブコイルの磁場を適当に選択して、ビームの軌道に沿った磁場の1回積分値および2回積分値がゼロになるようにする。すると、ビームの軌道が主コイルの中心面を挟んで対称になり、ウィグラの出射ビームの軸を入射ビームの軸の延長に合致するようになって、電子蓄積リングにおける荷電粒子ビームの周回運動を乱さないようになる。

【0006】このように、従来の放射光発生用蓄積リングでは、荷電粒子ビームを周回させる偏向磁石と放射光を発生させる挿入光源で役割を分担していた。蓄積リングの直線部は偏向磁石の間に存在するが、挿入光源は一部の直線部にしか設置されず、放射光を発生させる挿入光源より偏向磁石の方が多かった。蓄積する荷電粒子ビームをエネルギー1GeVの電子ビームとし、偏向磁石の強さを1.3T程度として、図4に示すような楕円配

置にしたときに、長辺部に約4mの直線部を形成して、挿入光源を設置するとすれば、対辺側の直線部には電子入射部やRFキャビティを設置することになる。この従来例では、偏向磁石を6式用い周長が約37mもある蓄積リングであるにもかかわらず挿入光源が1個しか設置できない。

【0007】また、4極磁石や6極磁石は電子ビームの質を維持して循環蓄積するために必須ではあるが、放射光を発生するわけではないので放射光を利用する上で直接に必要なものではない。放射光発生装置を産業上利用しようとする、装置の小型化と低コスト化が重要な要件になるが、4極磁石や6極磁石を多数設けることは電子蓄積リングの大型化と高コスト化を招き、装置の利用領域を拡大する上に障害になる。

【0008】

【発明が解決しようとする課題】そこで、本発明が解決しようとする課題は、蓄積リングの構成部品を削減した経済的な放射光発生用蓄積リングを提供して、放射光の工業的な利用を可能にすることである。

【0009】

【課題を解決するための手段】上記課題を解決するため、本発明の放射光発生用蓄積リングは、N個の挿入光源を用いた蓄積リングであって、挿入光源の荷電粒子ビームの入射方向と出射方向の角度差の合計が $360^\circ$ になるように構成することを特徴とする。このように構成することにより荷電粒子ビームを周回させることができる。したがって、蓄積リングに偏向磁石を用いる必要が無く、製作のコストが小さくなる。また、蓄積リングの構成部品が少なくなる分リングも小さくなるので、工業的な利用がより容易になる。また、N個の挿入光源は全て同じ構造を有し、挿入光源を形成する磁石による荷電粒子ビームの偏向角の合計が $360^\circ/N$ になるように構成することが好ましい。このように同じ構造の挿入光源を利用することにより蓄積リングの設計と製作がより容易になる。

【0010】さらに、挿入光源構成磁石が形成する磁場領域における荷電粒子ビームの入射面と出射面が荷電粒子ビームに対して傾斜を持つように構成しエッジフォーカス効果により荷電粒子ビームを縦方向と横方向に収束させるようにすることが好ましい。磁石のエッジフォーカス効果を利用することにより、4極電磁石と同じ作用を得ることができるので、蓄積リングの4極磁石を削減したり完全に省略したりすることが可能となる。またさらに、挿入光源を形成する磁石への荷電粒子ビームの入射角を調整することにより荷電粒子ビームのクロマティシティを調整することができる。入射角によりクロマティシティを調整することにより6極磁石を省略することができる。

【0011】また、本発明の挿入光源は、1個の主コイルとこれを挟んで対称に配設される2個のサブコイルか

らなり、サブコイル同士が同じ構造を有し発生する磁場の向きが主コイルの磁場と逆であって、挿入光源に入射する荷電粒子ビームが所定の偏向角をもって出射するように構成されることを特徴とする。挿入光源に対するビームの入射方向と出射方向の偏差を所定の値とすることにより、挿入光源を従来の偏向磁石の役割を兼ねさせることができるようになる。さらに、主コイルとサブコイルにおける荷電粒子ビームの入射面と出射面が荷電粒子ビームに対して傾斜を持ちエッジフォーカス効果を有するようにすることが好ましい。このような挿入光源を蓄積リングに使用することにより、4極磁石や6極磁石を省略することができる。

【0012】

【発明の実施の形態】以下、本発明の放射光発生用蓄積リングについて実施例に基づき図面を参照して詳細に説明する。図1は本発明の1実施例における放射光発生用蓄積リングの構成図、図2は使用されるウィグラの磁石配置図、図3は本実施例におけるリング1周に亘るビームパラメータを示す図面である。

【0013】本実施例の蓄積リング1は、電子ビームを $45^\circ$ ずつ偏向する能力を有する挿入光源2を正八角形の頂点位置に配備して電子の周回軌道を形成したものである。蓄積リング1の1個の直線部に電子入射装置3を配置し、その対偶に当たる直線部にRFキャビティ4を配置してある。電子ビームの軌道5は真空チャンバで真空状態に保持されている。放射光は各挿入光源2で発生しそれぞれ実験室に導かれて、そこで医療、化学反応、分析、微細加工など各種分野における放射光利用に供される。

【0014】挿入光源2は、1個の主コイル21とこれを挟んで対称に配設される2個のサブコイル22, 23からなるウィグラーである。主コイル21とサブコイル22, 23は発生する磁場の向きが逆になっている。従来の挿入光源は、電子ビーム5の軌道に沿った磁場の積分値がゼロでなければならなかった。しかし、本実施例の挿入光源2では磁場の積分値がゼロではなく、磁場積分値に対応する偏向角が所定の値になるように調整されている。

【0015】本実施例の主コイル21は、磁場強さを7Tとし、エネルギー1GeVの電子ビームに対して $67.5^\circ$ 偏向させるだけの幅を持たせてある。一方、サブコイル22, 23は、磁場強度3Tとし、同じ電子ビームをそれぞれ $-11.25^\circ$ 偏向させるようにする。サブコイル22, 23は対称形とし設計製作上の便宜を図っている。このように、挿入光源2の偏向角が $45^\circ$ になるようにしたので、8基の挿入光源の偏向角を合計すると $360^\circ$ となり、電子ビーム軌道は閉曲線を形成する。なお、3個のコイル21, 22, 23を組み合わせた外側面は互いに平行になっていて、挿入光源の長さはほぼ1mになる。

【0016】従来の挿入光源を用いるときは、外側コイルに対する電子ビームの入射角と出射角は共に0°とする。しかし、本実施例では、上流側のサブコイル22への入射角と下流側のサブコイル23からの出射角を偏向角の半分にするると共に、主コイルとの接続面の角度を適当な値に取っている。コイルが形成する磁場の端部には境界面に対して垂直の方向に円弧状に張り出した漏れ磁束が存在するため、境界面に対して斜めに運動する電子ビームに対して収束力や発散力を及ぼす、いわゆるエッジフォーカス効果が発生する。

【0017】このエッジフォーカス効果は、磁極が形成する磁場の端面に斜めに入射する電子ビームに磁極面に対して垂直方向と平行方向に収束力もしくは発散力を生じる。コイルの形成する磁場の片面から入射して反対の面から出射する電子ビームに対しては、縦方向と横方向の両方に収束力を持つようにすることができる。収束力は、磁場方向、磁束密度、電子ビームエネルギー、入射角度もしくは出射角度に対応して決まる。本実施例では、上流側のサブコイル22の形成する磁場の入射面に対する電子ビーム5の入射角と下流側のサブコイル23の磁場の出射面からの出射角を偏向角の半分である22.5°としている。さらに、サブコイル22, 23と主コイル21の接続面も電子ビームの進行方向に対してたとえば13.5°など適当な傾きを持つように構成して、電子ビームの縦横両方向に適当な収束力を与えている。

【0018】本実施例の挿入光源2を用いることにより、従来の蓄積リングで必須とされてきた4極磁石を省略して、良質な電子ビームを維持することができるようになった。図1に示した蓄積リングは、この挿入光源2を8個用い直線部の長さが1mになるように構成したもので、周長が16m、平均半径が約2.5mとなる。この蓄積リング1は、図4に示した従来例において電子ビームエネルギーとウィグラ磁場を同じ程度にしたものと比較すると、ほぼ4分の1の面積で設置が可能となる。しかも、従来型ではウィグラが1台しか設置されないのに対して、本実施例ではウィグラが8台設けられるので、同時に多数の放射光利用設備を稼働させることができる。

【0019】なお、図1の蓄積リングについて、高エネルギー加速器研究機構で開発された加速器設計コード(SAD)によりビームパラメータを計算した結果、自然エミッタンスが約 $1 \times 10^{-6}$  m-rad、モーメントコンパクションファクタが0.1244、クロマチシティが縦横それぞれ-1.9、-3.7となった。また、蓄積リング中のベータ関数 $x$ ,  $y$ と分散関数 $x$ の分布は図3に示すとおりになった。図3は、横軸に電子ビームの軌道に沿った距離、上段の縦軸にベータ関数の平方根、下段の縦軸に分散関数をとったものである。図の下に蓄積リング中のウィグラの位置を示した。

図3から分かるように、本実施例における条件では、ベータ関数と分散関数はそれぞれ発散することなく蓄積リング内で安定している。

【0020】なお、上記実施例の説明では、挿入光源を構成する磁石の側面の傾きを上記の通り選択したが、この他にも本発明の技術的思想に沿って偏向磁石の機能を兼用させることができる角度の組合せがあることはいうまでもない。また、図2ではサブコイルと主コイルの磁場領域の接続面が平行になっているが、サブコイル側の面と主コイル側の面の間に角度があっても良い。さらに、上記実施例の説明では、8台のウィグラで正8角形配置の蓄積リングを構成したが、正多角形でなくても良い。また、一部に長い直線部を形成してRFキャピティなどを配置してもよい。ウィグラにおける偏向角の合計が360°になるようにした3以上の適当な整数N台のウィグラによりN角形の蓄積リングを構成することもできる。なお、ウィグラの主コイルの数は1でない奇数nであって、その各コイルの磁場は交互に逆になっているものであってもかまわない。この場合、放射光の強さは1個の場合のn倍になる。さらに、従来の偏向磁石で構成する蓄積リングにおいて偏向磁石の一部のみを本実施例の挿入光源で置き換えた構成にしても良いことはいうまでもない。

【0021】

【発明の効果】以上説明した通り、本発明の挿入光源を偏向磁石の位置に配置して形成した蓄積リングは、構成部品が少ないため小型で経済的に製作することができ、しかも放射光が発生する場所が多いので、放射光を工業的に利用するとき有利である。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の1実施例における放射光発生用蓄積リングの構成図である。

【図2】本実施例に使用されるウィグラの磁石配置図である。

【図3】本実施例における蓄積リング1周に沿ったビームパラメータを示す図面である。

【図4】従来の放射光発生用蓄積リングの概念を示す構成図である。

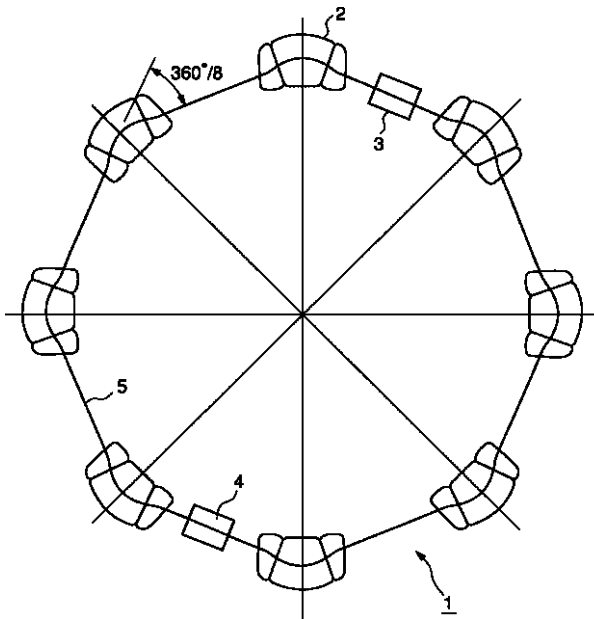
【図5】従来の3極ウィグラの1例を示す平面配置図である。

【図6】従来の3極ウィグラ例の側面断面図である。

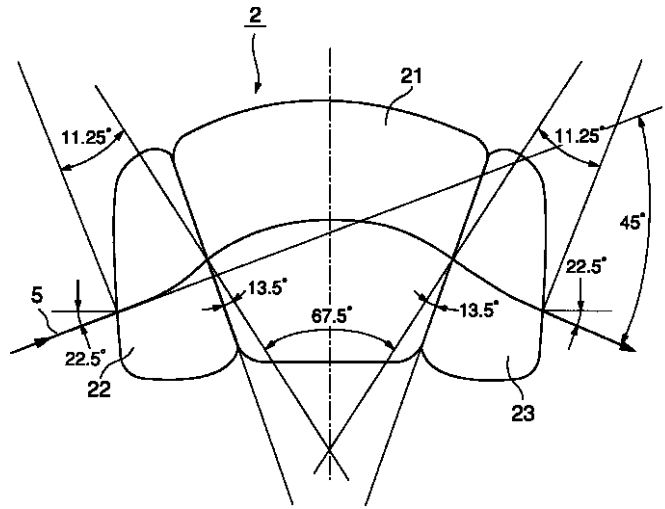
【符号の説明】

- 1 蓄積リング
- 2 挿入光源
- 3 電子入射装置
- 4 RFキャピティ
- 5 電子ビーム
- 21 主コイル
- 22, 23 サブコイル

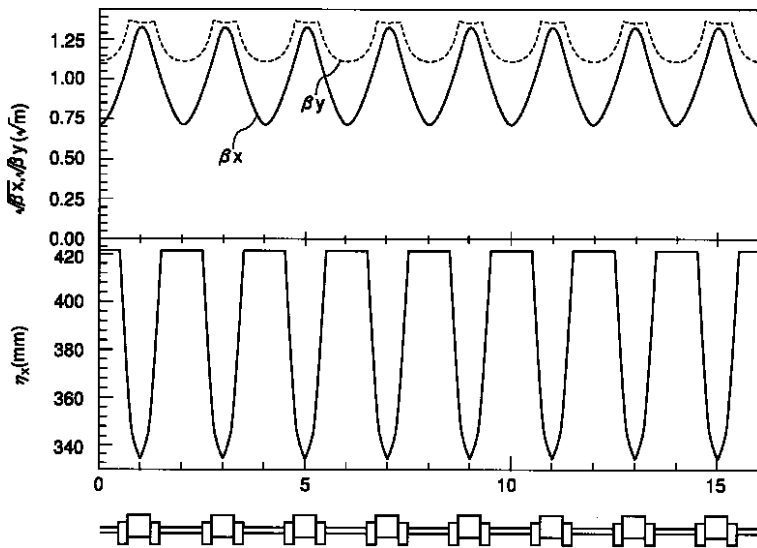
【図1】



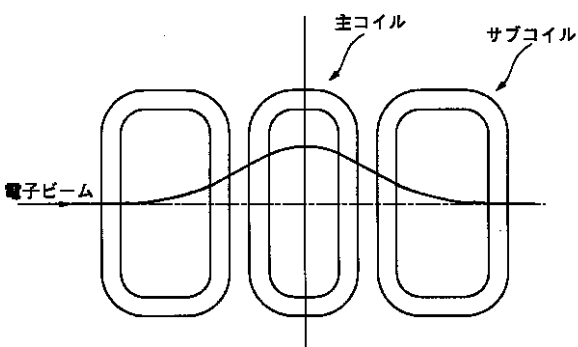
【図2】



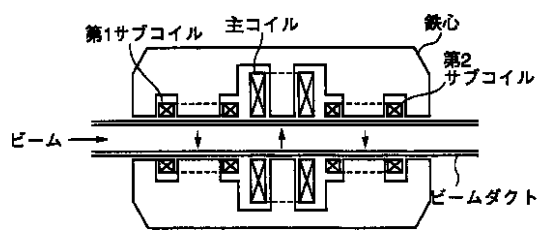
【図3】



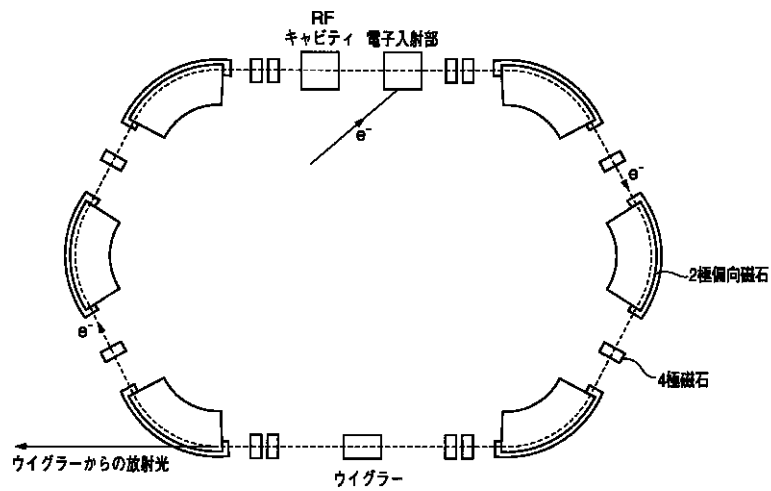
【図5】



【図6】



【図4】



フロントページの続き

(72)発明者 鎌田 進  
茨城県つくば市大穂1番地1 高エネルギー  
加速器研究機構内

(72)発明者 奥 康成  
千葉県野田市二ツ塚118番地 川崎重工業  
株式会社野田工場内

(72)発明者 湯浅 由将  
千葉県野田市二ツ塚118番地 川崎重工業  
株式会社野田工場内

Fターム(参考) 2G085 AA13 BA14 BA15 BC03 BC09  
BC11 DB08