

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4665117号
(P4665117)

(45) 発行日 平成23年4月6日(2011.4.6)

(24) 登録日 平成23年1月21日(2011.1.21)

(51) Int. Cl. F I
 HO 1 J 37/317 (2006.01) HO 1 J 37/317 D
 HO 1 J 37/12 (2006.01) HO 1 J 37/12

請求項の数 5 (全 7 頁)

(21) 出願番号	特願2005-245389 (P2005-245389)	(73) 特許権者	505374783
(22) 出願日	平成17年8月26日 (2005. 8. 26)		独立行政法人 日本原子力研究開発機構
(65) 公開番号	特開2007-59297 (P2007-59297A)		茨城県那珂郡東海村村松4番地49
(43) 公開日	平成19年3月8日 (2007. 3. 8)	(74) 代理人	100089705
審査請求日	平成19年11月8日 (2007. 11. 8)		弁理士 社本 一夫
		(74) 代理人	100140109
			弁理士 小野 新次郎
		(74) 代理人	100075270
			弁理士 小林 泰
		(74) 代理人	100080137
			弁理士 千葉 昭男
		(74) 代理人	100096013
			弁理士 富田 博行
		(74) 代理人	100092015
			弁理士 桜井 周矩

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 小型高エネルギー集束イオンビーム装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

高エネルギーの集束イオンビームを形成するために加速レンズ系と加速管とを組み合わせることで構成され、加速管をイオンビームの集束レンズの一部として使用することで、加速管に、イオンビームの加速系と集束レンズ系の両機能を持たせることにより、イオンビーム加速部と集束イオンビーム形成部とを一体化したことを特徴とする、小型高エネルギー集束イオンビーム形成装置。

【請求項 2】

加速管には単孔レンズ効果によるイオンビームの縮小率を持たせ、更に加速管の集束レンズ系をイオンビームの高縮小率化のために使用することを特徴とする請求項 1 記載の装置。

【請求項 3】

加速管に接続する前段の加速レンズ系における集束レンズ用の電極には、電極による電場の単孔レンズ効果を用いた加速レンズを使用し、このレンズを少なくとも二段に組み合わせた加速レンズ系を用いることを特徴とする、請求項 1 記載の装置。

【請求項 4】

加速管の入口部の電極は単孔レンズ効果を持つ形状とすることを特徴とする、請求項 1 記載の装置。

【請求項 5】

集束イオンビーム形成装置は縦型とし、イオン源から加速管のレンズ系まで一体化する

ことにより、振動に強い装置とすることができることを特徴とする、請求項1記載の装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、ガスイオンにより集束イオンビームを形成する発明である。微小径の水素、ヘリウムイオンによる軽ガスイオンの集束イオンビームは、スパッタリング効果が小さく、比較的重いイオンはスパッタリング効果が大きい、またガスイオン全般に於いてイオン物質の物質中への残留が少ないことからイオンビーム物質の残留が少ない状態での物質表面への元素分析から表面加工まで幅広い分野で使用が期待されている。しかし、ビームエネルギー幅が小さく、高安定なイオンビームの発生と、高縮小率を持つレンズ系の開発が困難であったため、サブマイクロメートル以下の集束イオンビームの形成に至っていない。本発明によりkeV領域からMeV領域の集束イオンビームの形成が可能となる。

10

【背景技術】

【0002】

従来、keV領域（数keVから数100keV領域）の集束イオンビームは、液体金属イオン源を用いた集束イオンビーム形成装置(FIB)により形成され、ビーム径は数nm径に達しており、主に物質の表面加工に使用されている。

【0003】

一方、MeV領域（数MeVから数10MeV領域）の集束イオンビームの場合には、独立した加速器と、磁気レンズ等の集束イオンビーム形成用のビームライン（以下、形成用ビームライン）との組み合わせにより実現している。

20

【特許文献1】特願2002-199727号

【非特許文献1】.Low-energy ion source characteristics for producing an ultra-fine microbeam,Y. Ishii, R. Tanaka and A. Isoya, Nucl. Instr. and Meth B113(1996)75-77

【非特許文献2】.Development of a sub-micron ion beam system in the keV range,Y. Ishii, A. Isoya, A. Arakawa, T. Kojima and T. Tanaka, Nucl. Instr. and Meth B181(2001)71-77

【非特許文献3】.Estimation of keV submicrom ion beam width using a knife-edge method,Y. Ishii, A. Isoya, T. Kojima and K. Arakawa, Nucl. Instr. and Meth B211(2003)415-424

30

【非特許文献4】Progress in ~0.1mm width ion beam system using double acceleration lens,Y. Ishii, A. Isoya, T. Kojima, Nucl. Instr. and Meth B210(2003)70-74

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

FIBでは、利用可能なイオン種が低温で液化する液体金属に限定されているため、物質に対して、金属イオン等の重いイオンの性質であるスパッタリング効果が大きく、また金属イオンは物質中の拡散効果が小さいため、液体金属が物質中に残留する。そこで、非破壊での物質表面の微量元素分析を行う場合や液体金属の物質中への残留が問題となる場合には限定的使用となっていた。一方、MeV領域の集束イオンビーム形成装置は、加速器とイオンビーム形成用ビームラインとが独立しているため、加速器本体の大きさに加えて10m程度の長尺の形成用ビームラインを必要としている。そこで、集束イオンビーム形成装置が大型化し、実験室レベルで集束イオンビーム形成装置を設置することは困難であった。形成されるビーム径は、イオンビーム形成用ビームラインの磁気四重極集束レンズ等の縮小率が数10~100程度であるため、サブマイクロメートルまでであり、更なるビーム径の縮小化にはレンズ系の物点の大きさを小さくすること、即ち物点スリットの開口の縮小化が必要であり、それに伴い、ビーム電流の減少が生ずる。ここで、物点とは、集束レンズ系の光源の意味で、イオン源のイオンビーム引き出し孔を指している。また、形成用ビ

40

50

ムラインは長尺であるため、装置周辺環境からの振動、ノイズ及び温度変化を受けやすい。

【課題を解決するための手段】

【0005】

本発明の小型化された高エネルギー集束イオンビーム形成装置は、高エネルギーの集束イオンビームを形成するために、加速レンズ系と加速管とを組み合わせることにより構成されるイオンビーム形成装置である。本発明の装置では、従来装置のように加速器と独立してイオンビーム形成用ビームラインを併設する必要がなく、加速管を集束レンズの一部として使用することで、イオンビーム加速系と集束レンズ系、即ち、イオンビーム加速部と集束イオンビーム形成部とが一体化できるため、小型でコンパクトな装置を構成することができる。

10

【発明の効果】

【0006】

本発明の加速管には、単孔レンズ効果による縮小率を持たせることで、集束レンズ系の一部として使用され、加速管を高縮小率化できる。そこで、これまでの高エネルギー集束イオンビーム形成装置では形成が困難であった数10nm径の高エネルギーナノビームの形成が可能となる。上記単孔レンズ効果とは、図3に示すように電極の入口部に発生する電場の歪みによる集束力（電場の凸レンズ的作用によるビームの集束力）を言い、従来の磁気四重極レンズと異なり、球面収差を小さく抑えることが可能であり、その結果として、集束点でpA (10^{-12} A) 以上のビーム電流を得ることができる。

20

【0007】

本発明のイオンビーム形成装置は、縦型とすることができ、又従来のイオンビーム形成用のビームラインを併設する必要がないので、イオン源から加速器のレンズ系まで一体化することにより、装置周辺からの振動に強い装置とすることができ、又、装置全体がコンパクト化されて小型化できるという、本発明に特有の顕著な効果を生ずるものである。

【0008】

また、イオン源から加速管のレンズ系まで一体でなく分割している場合、各々の機器が振動するため、振動がビームに与える影響が大きくなる。しかし、本発明のように一体の場合、全体として振動するため、ビームに与える振動の影響が小さいという、効果が生ずる。

30

【発明を実施するための最良の形態】

【0009】

本発明は、高エネルギーの集束イオンビームを形成するために加速レンズ系と加速管のみを組み合わせ設け、前記加速管をイオンビームの集束レンズの一部として使用することで、加速管に、イオンビームの加速機能とイオンビームの集束レンズ機能との両機能を持たせることで、加速管においてイオンビーム加速部と集束イオンビーム形成部とを形成し、それらを一体化することにより加速管をコンパクト化したことを特徴とする小型化された高エネルギー集束イオンビーム形成装置である。

【0010】

本発明の装置の操作を図1に基づいて説明すると、イオン源から発生されたガス状のイオンが、加速レンズ系を構成する中央に一つの孔を備えた多段電極に供給され、その孔を通過する際にその電極によって生ずる電場の作用により加速されると同時にそのガスイオンの径を順次集束化する。このように、加速レンズ系で加速され、且つ集束化されたガスイオンが、加速管を構成する多段電極の中央孔を通過する際に更に加速されると同時に、加速管電極の電場作用によりガスイオンを更に集束化させる。その結果、本発明の集束イオンビーム形成装置により、その集束点におけるガスイオンは、数nm単位までに集束されたイオンビームが得られる。

40

【実施例】

【0011】

以下、本発明を実施例に基づいて説明する。

50

(実施例1)

本発明では、図1に示すようにプラズマ型イオン源、加速レンズ系、及び加速管の構成によりkeV領域からMeV領域の集束イオンビームの形成を可能とする。加速レンズ系及び加速管も加速レンズの一部として使うことにより、実験室レベルの集束ガスイオンビーム形成装置の開発が可能であるとともに、ビーム径はナノメートル化が可能である。

【0012】

本発明の装置の加速レンズ系は、ガスイオンビームを加速しながら同時に、電場の単孔レンズ効果による集束力を応用することで、ガスイオンビームの加速及び集束を同時に行うことができる。

【0013】

この同時集束・加速型のレンズ系によりコンパクトな装置ながら、50keV程度で2000程度の高縮小率を得ることができる。更に、1MVまで加速する場合、加速管により3程度の縮小率が得られるので、全体の縮小率としては6000を超える。イオン源引き出し口での物点の大きさを、 2×10^{-4} mとすると、最終径は30nm程度となる。

【0014】

加速レンズ系及び加速管の配置に関しては、図中の加速レンズ系で高縮小率を得ると焦点が加速レンズの電極間となる。この焦点を電極外に出すため、加速管を低倍率の加速レンズとして使用し、ビーム径の縮小化を行うとともに、ビームエネルギーを上げる。

(実施例2)

実施例1での二段加速レンズ系に対して、更に数段の加速レンズを加えることで、レンズ系を高縮小率化する。この場合、加速レンズ系の各加速電極の入口部で絞り電極を用いるので、集束点でのビーム電流が減少するため、更なるイオン源の高輝度化を必要とする。加速管に入射するビームエネルギーも増加するため、実施例1よりも加速管の加速電圧をあげる必要がある。このため、実施例1の加速管より電圧勾配を大きくする、或は加速管を長くすることを必要とする。

【0015】

実施例においては、加速レンズ系における集束レンズである各加速電極には、球面収差を低減するため光学レンズと同様な絞りが必要であり、この絞りとして各加速電極に絞り電極が設けられている。即ち、図3に示されるように、加速イオン系の各電極は上下2層の電極から構成され、その前面の電極が絞り電極となっており、又加速管の一部の電極も同様の構造になっている。

【0016】

イオン源の輝度は光の輝度と同様にステラジアン当たりのビーム電流を表しており、その輝度が高いほど絞り電極でビームを絞っても、光学顕微鏡の様に試料を明るく見ることが出来る。即ち、試料上での単位面積当たりの電流量を稼ぐことができる。

【図面の簡単な説明】

【0017】

【図1】本発明の実施例の小型化された高エネルギー集束イオンビーム形成装置を示す図である。

【図2】本発明の他の実施例の小型化された高エネルギー集束イオンビーム形成装置を示す図である。

【図3】加速レンズ系における電極、及び加速管における一部の電極による電場の単孔レンズ効果を示す図である。

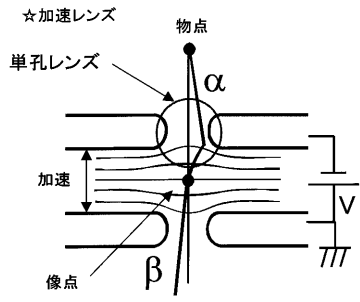
10

20

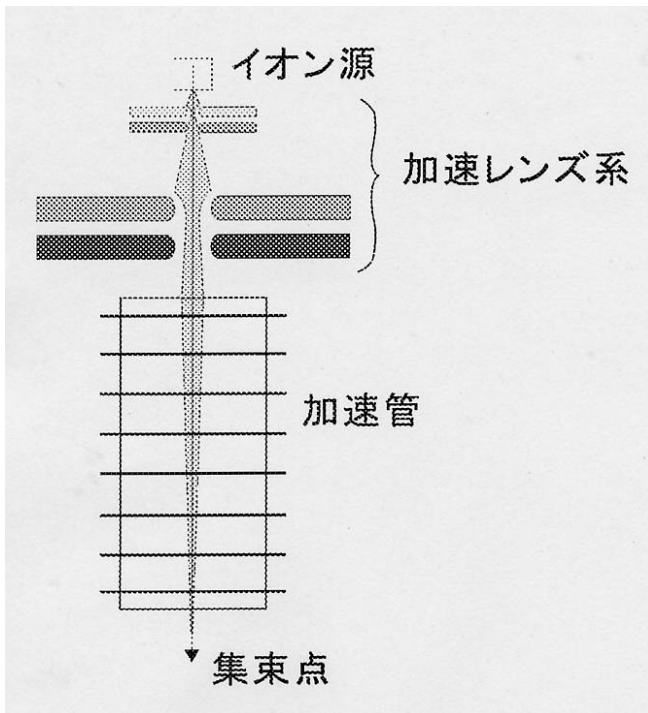
30

40

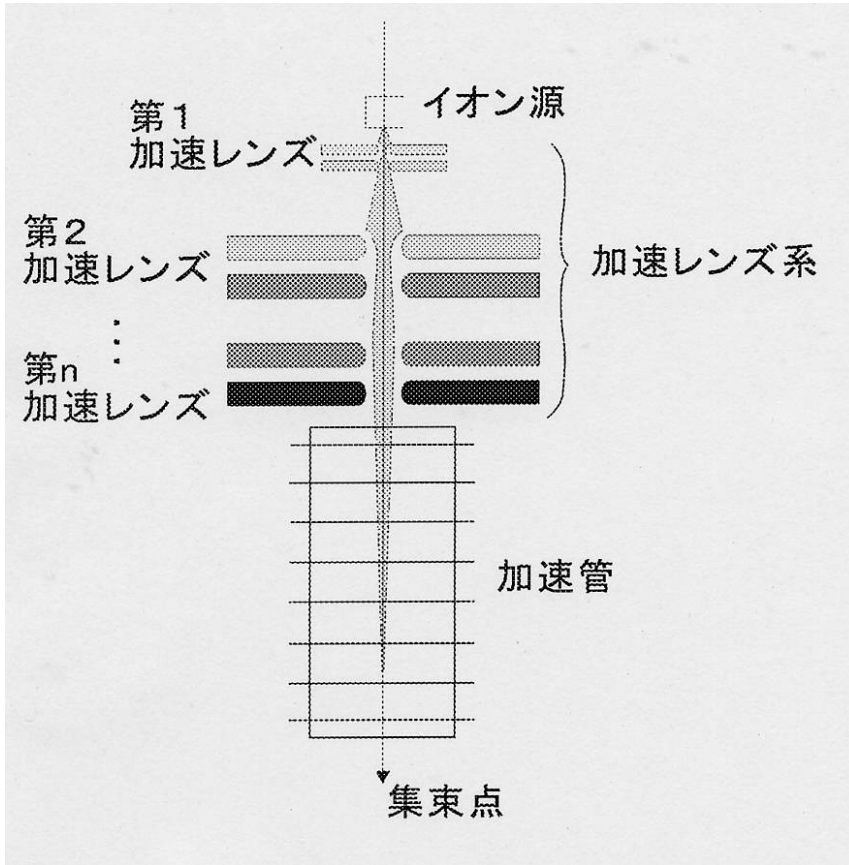
【図3】



【図1】



【図2】



フロントページの続き

- (74)代理人 100093713
弁理士 神田 藤博
- (74)代理人 100091063
弁理士 田中 英夫
- (74)代理人 100102727
弁理士 細川 伸哉
- (74)代理人 100117813
弁理士 深澤 憲広
- (74)代理人 100123548
弁理士 平山 晃二
- (72)発明者 石井 保行
群馬県高崎市綿貫町1 2 3 3 番地 日本原子力研究所 高崎研究所内
- (72)発明者 小澤 修一
群馬県高崎市綿貫町1 2 3 3 番地 日本原子力研究所 高崎研究所内
- (72)発明者 福田 光宏
群馬県高崎市綿貫町1 2 3 3 番地 日本原子力研究所 高崎研究所内
- (72)発明者 磯矢 彰
群馬県高崎市綿貫町1 2 3 3 番地 日本原子力研究所 高崎研究所内

審査官 遠藤 直恵

- (56)参考文献 特開平05 - 128985 (JP, A)
特開昭62 - 066551 (JP, A)
特開平06 - 215712 (JP, A)
特表2004 - 513477 (JP, A)
特開平10 - 149788 (JP, A)
特開平03 - 074037 (JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01J 37/00 - 37/36
G21K 1/00 - 3/00, 5/00 - 7/00
H05H 3/00 - 15/00