

(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2006-155906

(P2006-155906A)

(43) 公開日 平成18年6月15日(2006.6.15)

(51) Int. Cl.	F I	テーマコード (参考)
H05H 3/06 (2006.01)	H05H 3/06	2G085
G21K 5/08 (2006.01)	G21K 5/08	N
H05H 6/00 (2006.01)	H05H 6/00	
H05H 13/00 (2006.01)	H05H 13/00	

審査請求 有 請求項の数 34 O L (全 10 頁)

(21) 出願番号	特願2004-340109 (P2004-340109)	(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
(22) 出願日	平成16年11月25日(2004.11.25)	(74) 代理人	100072051 弁理士 杉村 興作
		(74) 代理人	100100125 弁理士 高見 和明
		(74) 代理人	100101096 弁理士 徳永 博
		(74) 代理人	100107227 弁理士 藤谷 史朗
		(74) 代理人	100114292 弁理士 来間 清志

最終頁に続く

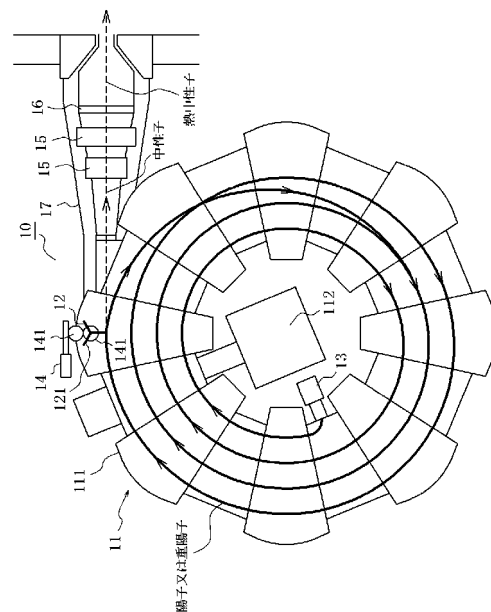
(54) 【発明の名称】 中性子発生方法、及び中性子発生装置

(57) 【要約】

【課題】安全で使用環境及び使用条件などに制限を加えることなく、熱中性子あるいは熱外中性子などの中性子を高強度に得る方法及び装置を提供する。

【解決手段】陽子又は重陽子をリング状の加速器により所定のエネルギーまで加速する。次いで、前記所定のエネルギーを有する前記陽子又は前記重陽子を所定のターゲットに衝突させ、原子核反応を通じて中性子を発生させる。

【選択図】図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

陽子又は重陽子をリング状の加速器により所定のエネルギーまで加速する工程と、前記所定のエネルギーを有する前記陽子又は前記重陽子を所定のターゲットに衝突させ、原子核反応を通じて中性子を発生させる工程と、を具えることを特徴とする、中性子発生方法。

【請求項 2】

前記陽子又は前記重陽子を前記ターゲットに衝突させた後のエネルギーロスを補償し、前記所定のエネルギーまで再加速し、再度前記所定のターゲットに衝突させ、原子核反応を通じて中性子を発生させる工程を具えることを特徴とする、中性子発生方法。

10

【請求項 3】

前記陽子又は前記重陽子を前記ターゲットに衝突させた後のエネルギーロスを補償し、前記所定のエネルギーまで再加速は、前記リング状の加速器を用いて行うことを特徴とする、請求項 1 又は 2 に記載の中性子発生方法。

【請求項 4】

前記リング状の加速器はイオン化冷却効果を有することを特徴とする、請求項 1 ~ 3 のいずれか一に記載の中性子発生方法。

【請求項 5】

前記リング状の加速器は、F F A G 加速器であることを特徴とする、請求項 4 に記載の中性子発生方法。

20

【請求項 6】

前記ターゲットは、前記リング状の加速器内に設けられた内部ターゲットであることを特徴とする、請求項 1 ~ 5 のいずれか一に記載の中性子発生方法。

【請求項 7】

前記ターゲットは、ベリリウム、リシウム、及びこれらの化合物で構成される薄膜からなることを特徴とする、請求項 1 ~ 6 のいずれか一に記載の中性子発生方法。

【請求項 8】

前記薄膜の厚さが $1 \mu\text{m} \sim 20 \mu\text{m}$ であることを特徴とする、請求項 7 に記載の中性子発生方法。

【請求項 9】

前記陽子又は前記重陽子の加速による前記所定のエネルギーが $2.5 \text{ MeV} \sim 10 \text{ MeV}$ の範囲であることを特徴とする、請求項 1 ~ 8 のいずれか一に記載の中性子発生方法。

30

【請求項 10】

前記陽子又は前記重陽子の再加速による前記所定のエネルギーが $2.5 \text{ MeV} \sim 10 \text{ MeV}$ の範囲であることを特徴とする、請求項 2 ~ 9 のいずれか一に記載の中性子発生方法。

【請求項 11】

前記中性子を所定のエネルギー範囲まで減速させる工程を具えることを特徴とする、請求項 1 ~ 10 のいずれか一に記載の中性子発生方法。

【請求項 12】

前記中性子の減速は、所定の減速部材を用いて行うことを特徴とする、請求項 11 に記載の中性子発生方法。

40

【請求項 13】

前記減速部材の厚さを制御することにより、前記中性子から熱中性子及び熱外中性子の少なくとも一方を得るようにしたことを特徴とする、請求項 12 に記載の中性子発生方法。

【請求項 14】

前記減速部材は、重水及びポリエチレンの少なくとも一方であることを特徴とする、請求項 12 又は 13 に記載の中性子発生方法。

【請求項 15】

50

前記熱中性子及び前記熱外中性子の強度が、 $1 \times 10^9 \text{ n / cm}^2 / \text{sec}$ 以上であることを特徴とする、請求項 13 又は 14 に記載の中性子発生方法。

【請求項 16】

前記ターゲットは複数のターゲット部材からなり、所定の時間の経過後に前記複数のターゲット部材を駆動させ、前記原子核反応に供する前記ターゲット部材を経時的に交換することを特徴とする、請求項 1 ~ 15 のいずれか一に記載の中性子発生方法。

【請求項 17】

前記複数のターゲット部材は回転駆動により、経時的に交換することを特徴とする、請求項 16 に記載の中性子発生方法。

【請求項 18】

陽子又は重陽子を所定のエネルギーまで加速するためのリング状の加速器と、
前記所定のエネルギーを有する前記陽子又は前記重陽子を衝突させ、原子核反応を通じて中性子を発生させるためのターゲットと、
を具えることを特徴とする、中性子発生装置。

【請求項 19】

前記陽子又は前記重陽子を前記ターゲットに衝突させた後のエネルギーロスを補償し、前記所定のエネルギーまで再加速するための再加速手段を具えることを特徴とする、中性子発生装置。

【請求項 20】

前記再加速手段は、前記リング状の加速器であることを特徴とする、請求項 18 又は 19 に記載の中性子発生装置。

【請求項 21】

前記リング状の加速器はイオン化冷却効果を有することを特徴とする、請求項 18 ~ 20 のいずれか一に記載の中性子発生装置。

【請求項 22】

前記リング状の加速器は、FFAG 加速器であることを特徴とする、請求項 21 に記載の中性子発生装置。

【請求項 23】

前記ターゲットは、前記リング状の加速器内に設けられた内部ターゲットであることを特徴とする、請求項 18 ~ 22 のいずれか一に記載の中性子発生装置。

【請求項 24】

前記ターゲットは、ベリリウム、リシウム、及びこれらの化合物で構成される薄膜からなることを特徴とする、請求項 18 ~ 23 のいずれか一に記載の中性子発生装置。

【請求項 25】

前記薄膜の厚さが $1 \mu\text{m} \sim 20 \mu\text{m}$ であることを特徴とする、請求項 24 に記載の中性子発生装置。

【請求項 26】

前記リング状加速器による前記陽子又は前記重陽子の加速による前記所定のエネルギーが $2.5 \text{ MeV} \sim 10 \text{ MeV}$ の範囲であることを特徴とする、請求項 18 ~ 25 のいずれか一に記載の中性子発生装置。

【請求項 27】

前記再加速手段による前記陽子又は前記重陽子の再加速による前記所定のエネルギーが $2.5 \text{ MeV} \sim 10 \text{ MeV}$ の範囲であることを特徴とする、請求項 19 ~ 26 のいずれか一に記載の中性子発生装置。

【請求項 28】

前記中性子を所定のエネルギー範囲まで減速させる減速手段を具えることを特徴とする、請求項 18 ~ 27 のいずれか一に記載の中性子発生装置。

【請求項 29】

前記減速手段は、所定の減速部材からなることを特徴とする、請求項 28 に記載の中性子発生装置。

10

20

30

40

50

【請求項 30】

前記減速部材の厚さを制御することにより、前記中性子から熱中性子及び熱外中性子の少なくとも一方を得るようにしたことを特徴とする、請求項 29 に記載の中性子発生装置。

【請求項 31】

前記減速部材は、重水及びポリエチレンの少なくとも一方であることを特徴とする、請求項 29 又は 30 に記載の中性子発生装置。

【請求項 32】

前記熱中性子及び前記熱外中性子の強度が、 $1 \times 10^9 \text{ n / cm}^2 / \text{sec}$ 以上であることを特徴とする、請求項 30 又は 31 に記載の中性子発生装置。

10

【請求項 33】

前記ターゲットは複数のターゲット部材からなり、所定の時間の経過後に前記複数のターゲット部材を駆動させ、前記原子核反応に供する前記ターゲット部材を経時的に交換するためのターゲット駆動交換手段を具えることを特徴とする、請求項 18 ~ 32 のいずれか一に記載の中性子発生装置。

【請求項 34】

前記ターゲット駆動交換手段は、複数のターゲット部材を回転駆動により、経時的に交換することを特徴とする、請求項 33 に記載の中性子発生装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

20

【0001】

本発明は、中性子発生方法、及び中性子発生装置に関する。

【背景技術】

【0002】

高強度の熱中性子源及び熱外中性子源が様々な方面で必要とされている。例えば、ホウ素捕獲中性子ががん治療、中性子ラジオグラフィ、及び半導体製造などの分野においては、前記熱中性子源及び前記熱外中性子源に対する要求が高い。しかしながら、従来の熱中性子源あるいは熱外中性子源においては、約 $1 \times 10^6 \text{ n / cm}^2 / \text{sec}$ 程度の強度しか得ることができず、上述分野において実用に供するには強度的に不十分であった。

【0003】

30

一方、原子炉を用いることにより、上述した分野で利用できるような十分な強度の熱中性子及び熱外中性子を得ることができるが、原子炉を用いることから、使用環境などについては十分に配慮する必要があり、上述した分野に使用するに際しても相当程度の制限が加えられていた。

【0004】

さらに、X線源などを用いた熱中性子源及び熱外中性子源など、種々の熱中性子源及び熱外中性子源が研究開発されているが、未だ上述した分野において十分な強度を有し、安定的に使用できるものは得られていない。

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

40

【0005】

本発明は、安全で使用環境及び使用条件などに制限を加えることなく、熱中性子あるいは熱外中性子などの中性子を高強度に得る方法及び装置を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0006】

上記目的を達成すべく、本発明は、陽子又は重陽子をリング状の加速器により所定のエネルギーまで加速する工程と、前記所定のエネルギーを有する前記陽子又は前記重陽子を所定のターゲットに衝突させ、原子核反応を通じて中性子を発生させる工程と、を具えることを特徴とする、中性子発生方法に関する。

50

【0007】

また、本発明は、
陽子又は重陽子を所定のエネルギーまで加速するためのリング状の加速器と、
前記所定のエネルギーを有する前記陽子又は前記重陽子を衝突させ、原子核反応を通じて中性子を発生させるためのターゲットと、
を具えることを特徴とする、中性子発生装置に関する。

【0008】

本発明によれば、リング状の加速器を用いて陽子又は重陽子を加速するようにしている。したがって、前記リング状の加速器として所定のものを用いるようにすれば、前記陽子又は前記重陽子が前記リング状の加速器内を所定の回数周回することにより、前記陽子又は前記重陽子は所定のエネルギーにまで加速されることになる。このとき、後のターゲットとの衝突における原子核反応（ (p, n) 反応）を通じて、十分高強度の中性子が得られるようなエネルギーにまで加速すれば、目的とする高強度の中性子を得ることができるようになる。

10

【0009】

本発明では、従来のような原子炉を用いずにリング状の加速器とターゲットという簡易な構成で目的とする高強度中性子を得ることができるので、使用環境や使用条件などの影響を受けることなく、簡易に高強度の中性子を得ることができる。

【0010】

また、所定の再加速手段を用いて、前記陽子又は前記重陽子を前記ターゲットに衝突させた後のエネルギーロスを補償し、前記所定のエネルギーまで再加速し、再度前記所定のターゲットに衝突させ、原子核反応を通じて中性子を発生させるようにすることもできる。この場合、前記加速器内に導入した前記陽子又は前記重陽子によって、繰り返し高強度中性子を生成することができるようになるので、前記高強度中性子の生成効率を増大させることができる。

20

【0011】

なお、前記再加速手段は、本発明におけるリング状加速器から構成することが好ましい。これによって、中性子発生装置の構成を簡易化することができるとともに、中性子発生方法の操作方法を簡易化することができる。

【0012】

また、前記リング状加速器はイオン化冷却効果を有することが好ましい。イオン化冷却効果を有することにより、陽子又は重陽子の加速又は再加速の際に、加速器内の横方向での加速が抑制され、長手方向での加速のみが促進されるようになる。したがって、前記ターゲットに衝突して中性子を生成するために必要な長手方向での加速のみが促進され、さらに前記ターゲットによる発散を抑制できるようになる。この結果、前述した高強度中性子の生成効率をより増大させることができるようになる。

30

【0013】

前述のようなイオン化冷却効果を有するリング状加速器としては、シンクロトロンやFFAG加速器などを用いることができるが、好ましくはFFAG加速器を用いる。

【0014】

また、陽子又は重陽子とターゲットとの衝突を通じて生成した中性子に対して例えば検束部材などを用い、前記中性子の速度を所定のエネルギー範囲にまで減速させるようにすることができる。これによって、前記中性子のエネルギー範囲を目的の範囲に簡易に設定することができるが、例えば、前記ターゲットとの衝突のみでは、得られた中性子のエネルギーが高すぎて、熱中性子あるいは熱外中性子を得ることができない場合、前記中性子を前述のように減速させることにより、前記熱中性子又は前記熱外中性子を得ることができるようになる。

40

【0015】

なお、前記減速部材の厚さは、減速させる度合いに応じて適宜に設定することができる。

50

【 0 0 1 6 】

さらに、前記ターゲットは装置構成や操作を簡易化するために、本発明で用いる加速器内に設けることができる。この際、同一のターゲットを用いていると、陽子又は重陽子の繰り返しの衝突により、前記ターゲットが劣化し、所定時間経過後は中性子の生成を行うことができなくなってしまう場合がある。このような場合には、前記ターゲットを複数のターゲット部材から構成し、これらのターゲット部材を例えば回転駆動のターゲット駆動交換手段に取り付け、所定の時間毎に陽子などの衝突による原子核反応に供するターゲット部材を交換するようにすれば、長期間安定的に中性子の生成を行うことができるようになる。

【 発明の効果 】

10

【 0 0 1 7 】

以上説明したように、本発明によれば、安全で使用環境及び使用条件などに制限を加えることなく、熱中性子あるいは熱外中性子などの中性子を高強度に得る方法及び装置を提供することができる。

【 発明を実施するための最良の形態 】

【 0 0 1 8 】

以下、本発明の詳細、並びにその他の特徴及び利点について、最良の形態に基づいて詳細に説明する。

【 0 0 1 9 】

図 1 は、本発明の中性子生成装置の好ましい態様を概略的に示す構成図である。図 1 に示す中性子生成装置 10 は、リング状の加速器としての F F A G 加速器 11 と、この加速器 11 の上部に設けられたターゲット 12 とを有している。

20

【 0 0 2 0 】

F F A G 加速器 11 は、F F A G セクターマグネット 111 と高周波加速装置 112 とから構成されており、加速器内を周回する所定の荷電粒子を高周波加速装置 112 から発せられる高周波電場で共振させるとともに、セクターマグネット 111 で生成される磁場で捕捉しながら加速するように構成されている。

【 0 0 2 1 】

また、ターゲット 12 は複数のターゲット部材 121 から構成されており、ローラ部材 141 を有するターゲット回転駆動装置 14 により、中性子生成の過程において所定の時間が経過した後、ターゲット部材 121 を回転移動させ、劣化したターゲット部材から新規なターゲット部材に連続的に交換できるように構成されている。したがって、目的とする中性子を長時間に亘って安定的に生成することができる。

30

【 0 0 2 2 】

ターゲット 12 (ターゲット部材 121) は、好ましくはベリリウム、リシウム、及びこれらの化合物などから構成する。これによって、中性子の生成効率を増大させることができる。

【 0 0 2 3 】

F F A G 加速器 11 の左下方には、この加速器内に陽子又は重陽子を導入するための陽子源 13 が設けられている。さらに、F F A G 加速器 11 の右上方には、ターゲット 12 と同レベルの一において、減速部材を構成する重水槽 15 が設けられているとともに、線遮蔽板 16 が設けられている。なお、これらの部材はポリエチレンシールド 17 で覆われている。また、ポリエチレンシールド 17 の代わりに、コンクリートを用いたシールドを用いることもできる。

40

【 0 0 2 4 】

なお、線遮蔽板 16 は、以下に説明する陽子などとターゲット 12 (ターゲット部材 121) とが衝突した際に、前記中性子に付随して生成される線を遮蔽するためのものである。

【 0 0 2 5 】

陽子源 13 から F F A G 加速器 11 内に導入された陽子又は重陽子は、図中の実線で示

50

されるように、加速器内で高周波加速装置 1 1 2 からの高周波電場により周回を重ねながら加速され、所定のエネルギーにまで加速される。この所定のエネルギーにまで加速された前記陽子又は前記重陽子は、その軌道半径が前記エネルギーに相当する大きさまで拡大し、その軌道上に配置されたターゲット 1 2 (ターゲット部材 1 2 1) と衝突する。このとき、前記陽子又は前記重陽子とターゲット 1 2 (ターゲット部材 1 2 1) とが原子核反応 ((p, n) 反応) を生ぜしめることにより、ターゲット 1 2 (ターゲット部材 1 2 1) からは、図中破線で示す方向に中性子が生成されて飛跳するようになる。

【 0 0 2 6 】

ターゲット 1 2 (ターゲット 1 2 1) から飛跳した前記中性子は、一般に高速である場合が多い。したがって、熱中性子や熱外中性子を得ようとする場合は、図 1 に示すように、重水槽 1 5 などの減速部材中を通過させて減速させ、目的とする前記熱中性子又は前記熱外中性子を得るようにする。なお、減速の度合いは、重水槽 1 5 の中性子の飛跳方向における厚さを調節することによって制御することができる。

10

【 0 0 2 7 】

なお、図 1 においては、減速部材として重水槽 1 5 を用いているが、同様の効果を得るものとしてポリエチレンなどを用いることもできる。ポリエチレンを用いる場合は、所定の厚さに薄膜化あるいは板状化したものを用いる。減速の度合いが、ポリエチレン薄膜あるいはポリエチレン板の厚さを適宜調節することによって制御する。

【 0 0 2 8 】

一方、ターゲット 1 2 (ターゲット部材 1 2 1) に衝突した前記陽子又は前記重陽子はエネルギーを失って減速するようになるが、図中実線で示すように、F F A G 加速器 1 1 内を周回することによって再度前述した所定のエネルギーまで加速されるようになる。そして、ターゲット 1 2 (ターゲット部材 1 2 1) と再度衝突し、原子核反応を通じて高速中性子を生成するとともに、重水槽 1 5 を経て熱中性子又は熱外中性子を生成するようになる。したがって、前記陽子又は前記重陽子の使用効率が増大し、その結果、目的とする中性子 (熱中性子、熱外中性子) の生成効率を増大させることができる。

20

【 0 0 2 9 】

なお、図 1 に示す中性子発生装置 1 0 は、F F A G 加速器 1 1 を有している。この F F A G 加速器 1 1 はイオン化冷却効果を有しているため、陽子又は重陽子を加速又は再加速する際に、加速器内の横方向での加速を抑制し、長手方向での加速のみを促進する。したがって、ターゲット 1 2 (ターゲット部材 1 2 1) に衝突して中性子を生成するために必要な長手方向での加速のみが促進され、さらに前記ターゲットによる発散を抑制できるようになる。この結果、前述した高強度中性子の生成効率をより増大させることができるようになり、目的とする中性子 (熱中性子、熱外中性子) の生成効率をより増大させることができるようになる。

30

【 0 0 3 0 】

また、特にターゲット 1 2 (ターゲット部材 1 2 1) として上述したベリリウムなどを用いた場合、その厚さは $1 \mu\text{m} \sim 20 \mu\text{m}$ に設定することが好ましい。さらに、陽子又は重陽子を加速又は再加速してターゲット 1 2 (ターゲット部材 1 2 1) に衝突させる際の前述したエネルギーが $2.5 \text{ MeV} \sim 10 \text{ MeV}$ であることが好ましい。これによって、前記陽子又は前記重陽子をターゲット 1 2 (ターゲット部材 1 2 1) に衝突させた場合の、原子核反応を通じた中性子の生成効率を増大させることができる。

40

【 0 0 3 1 】

図 1 に示すような装置を用いるとともに、上述した操作に基づいて中性子生成を行うことにより、従来の原子炉を用いて得た中性子と同程度の $1 \times 10^9 \text{ n/cm}^2/\text{sec}$ 以上の強度の中性子を簡易に得ることができるようになる。したがって、安全で使用環境及び使用条件などに制限を加えることなく、高強度の中性子を簡易に生成することができるようになる。

【 0 0 3 2 】

また、図 1 に示す装置 1 0 では、ターゲット 1 2 を複数のターゲット部材 1 2 1 をター

50

ゲット回転駆動装置 1 4 に取り付け、上述した操作に基づいた中性子生成過程において所定の時間が経過した後、ターゲット部材 1 2 1 を回転駆動させて陽子などに衝突により中性子の生成に供するターゲット部材を交換するようにしている。したがって、目的とする高強度の中性子を長期間安定して生成することができる。

【 0 0 3 3 】

以上、具体例を挙げながら発明の実施の形態に基づいて本発明を詳細に説明してきたが、本発明は上記内容に限定されるものではなく、本発明の範疇を逸脱しない限りにおいてあらゆる変形や変更が可能である。例えば、上記具体例では、F F A G 加速器を用いているが、イオン化冷却効果を有するその他の加速器、例えばシンクロトロンを用いることもできる。

10

【産業上の利用可能性】

【 0 0 3 4 】

本発明は、ホウ素捕獲中性子がん治療、中性子ラジオグラフィ、及び半導体製造などの分野において好適に用いることができる。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 3 5 】

【図 1】本発明の中性子生成装置の好ましい態様を概略的に示す構成図である。

【符号の説明】

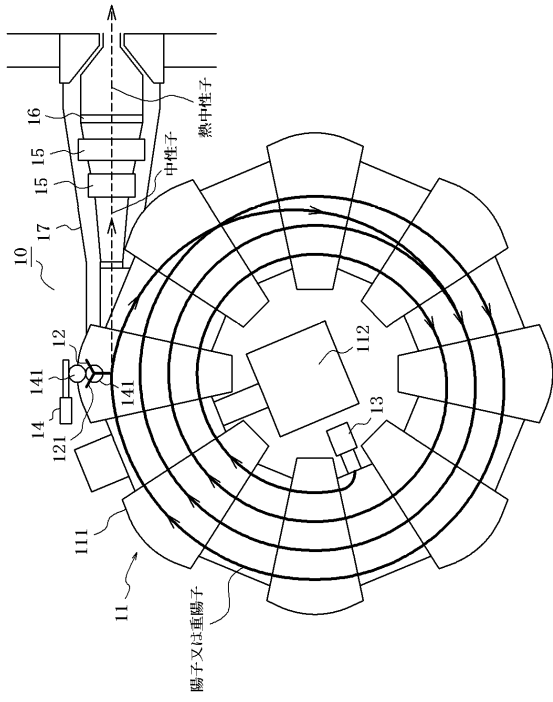
【 0 0 3 6 】

- 1 0 中性子生成装置
- 1 1 F F A G 加速器
- 1 1 1 F F A G セクターマグネット
- 1 1 2 高周波加速装置
- 1 2 ターゲット
- 1 2 1 ターゲット部材
- 1 3 陽子源
- 1 4 ターゲット回転駆動装置
- 1 4 1 ローラ部材
- 1 5 重水槽
- 1 6 線遮蔽板
- 1 7 ポリエチレンシールド

20

30

【図1】



フロントページの続き

(74)代理人 100119530

弁理士 富田 和幸

(74)代理人 100110180

弁理士 阿相 順一

(72)発明者 森 義治

茨城県土浦市板谷 2 - 3 3 2 2 - 3 2

Fターム(参考) 2G085 AA11 BA17 CA11 CA21 DA03 EA01 EA07 EA08