

(19) 日本国特許庁(JP)

再公表特許(A1)

(11) 国際公開番号

W02019/017233

発行日 令和2年5月28日(2020.5.28)

(43) 国際公開日 平成31年1月24日(2019.1.24)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
G 2 1 K 1/00 (2006.01)	G 2 1 K 1/00 N	
G 2 1 K 1/02 (2006.01)	G 2 1 K 1/02 G	
G 2 1 K 5/02 (2006.01)	G 2 1 K 5/02 N	

審査請求 未請求 予備審査請求 有 (全 23 頁)

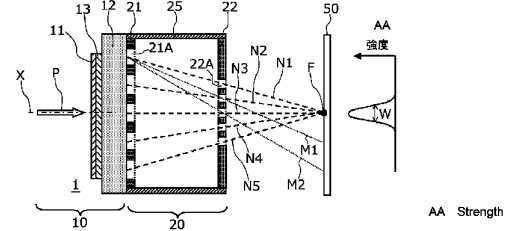
出願番号 特願2019-530972 (P2019-530972)	(71) 出願人 504203572 国立大学法人茨城大学 茨城県水戸市文京二丁目1番1号
(21) 国際出願番号 PCT/JP2018/025943	
(22) 国際出願日 平成30年7月10日(2018.7.10)	
(31) 優先権主張番号 特願2017-140192 (P2017-140192)	(74) 代理人 100097113 弁理士 堀 城之
(32) 優先日 平成29年7月19日(2017.7.19)	
(33) 優先権主張国・地域又は機関 日本国(JP)	(74) 代理人 100162363 弁理士 前島 幸彦
	(74) 代理人 100194283 弁理士 村上 大勇
	(72) 発明者 小泉 智 茨城県日立市中成沢町四丁目12番1号 国立大学法人茨城大学 工学部内
	(72) 発明者 能田 洋平 茨城県日立市中成沢町四丁目12番1号 国立大学法人茨城大学 工学部内 最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 中性子光学素子及び中性子源

(57) 【要約】

中性子線を高効率で集光する中性子光学素子、これを用いた高強度の中性子源を得る。

上流側の開口(21A)(上流側開口)の各々と、これに対応する下流側の開口(22A)(下流側開口)の各々との間を通る直線(中性子線に対応する図中の破線N1~N5)は、この中性子光学素子20の後方に設定された集光点Fを通るように構成される。中性子減速材(12)の全面から後方に拡散して放射される熱中性子のうち、集光点(F)に向かうもののみが抽出されるため、集光点(F)における中性子線強度を局所的に高めることができる。



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

一方向を法線とする面の一方の側の表面から発散するように発せられる中性子線を集光する中性子光学素子であって、

中性子吸収体で構成され前記一方向と交差する板状であり前記一方向に沿って貫通する複数の開口が配列されて形成された複数のコリメータを具備し、

前記一方の側と反対の他方の側に設けられた前記コリメータにおける前記開口である上流側開口と、前記一方の側に設けられた前記コリメータにおける前記開口である下流側開口は、同一構成の配列でそれぞれ複数設けられ、

他方の側に設けられた前記コリメータにおける前記上流側開口の各々と、当該上流側開口の各々に対応した前記配列における前記下流側開口の各々とを結ぶ直線が、前記一方の側に設けられた前記コリメータよりも前記一方の側に設定された集光点を通過するように構成されたことを特徴とする中性子光学素子。

10

【請求項 2】

前記コリメータにおいて、複数の前記開口は、並行に設けられた複数の第 1 の梁部と、前記第 1 の梁部と交差するように並行に設けられた第 2 の梁部と、の組み合わせにより形成されたことを特徴とする請求項 1 に記載の中性子光学素子。

【請求項 3】

前記コリメータは、前記一方向に沿って 3 つ以上離間して設けられ、

3 つ以上の前記コリメータの中における隣接する 2 つの前記コリメータからなる複数の組み合わせに対して、共通の前記集光点が設定されたことを特徴とする請求項 1 又は 2 に記載の中性子光学素子。

20

【請求項 4】

前記下流側開口の開口幅、前記配列において隣接する前記下流側開口の間隔は、それぞれ前記上流側開口の開口幅、前記配列において隣接する前記上流側開口の間隔よりも小さいことを特徴とする請求項 1 から請求項 3 までのいずれか 1 項に記載の中性子光学素子。

【請求項 5】

前記コリメータは、 B_4C 焼結体で構成されたことを特徴とする請求項 1 から請求項 4 までのいずれか 1 項に記載の中性子光学素子。

【請求項 6】

前記コリメータは、 B_4C 、 Gd 、 Cd のいずれかで構成されたことを特徴とする請求項 1 から請求項 3 までのいずれか 1 項に記載の中性子光学素子。

30

【請求項 7】

複数の前記コリメータを、前記一方向に沿った離間した箇所において、前記一方向に沿った間隔を固定して支持する支持部を具備し、

前記支持部が複数種類準備された中での前記支持部の選択により、あるいは前記コリメータの前記支持部に対する固定位置の調整により、前記一方向に沿って隣接する前記コリメータの間隔が調整可能とされたことを特徴とする請求項 1 から請求項 6 までのいずれか 1 項に記載の中性子光学素子。

40

【請求項 8】

前記開口を含んだ形態が同一であり異なる材料で構成された複数の前記コリメータが準備された中で、前記コリメータが選択されて用いられることを特徴とする請求項 1 から請求項 7 までのいずれか 1 項に記載の中性子光学素子。

【請求項 9】

表面から熱中性子線を発する板状の熱中性子発生部を具備する中性子面光源と、請求項 1 から請求項 8 までのいずれか 1 項に記載の中性子光学素子とが組み合わせられたことを特徴とする中性子源。

【請求項 10】

最も前記他方の側に設けられた前記コリメータと前記熱中性子発生部とが接する構成とされたことを特徴とする請求項 9 に記載の中性子源。

50

【請求項 1 1】

前記中性子光学素子が真空雰囲気中に配置されたことを特徴とする請求項 9 又は 9 に記載の中性子源。

【請求項 1 2】

前記中性子面光源において、前記熱中性子発生部は中性子減速材で構成され、

前記熱中性子発生部に対する前記他方の側に ^9Be で構成された高速中性子発生部が設けられ、前記高速中性子発生部は、前記一方の側に向かって発せられる陽子線で照射される構成とされたことを特徴とする請求項 9 から請求項 1 1 までのいずれか 1 項に記載の中性子源。

【発明の詳細な説明】

10

【技術分野】**【0001】**

本発明は、中性子線の進行方向を選別して調整するために用いられる中性子光学素子、及びこれが用いられた中性子源に関する。

【背景技術】**【0002】**

中性子線は、中性子回折等、中性子線を物質に対して照射してその散乱・回折等を調べることによって、この物質の構造を調べるために用いられている。中性子は電子等と異なり電荷をもたず、物質に対する透過性が高く原子核によって散乱される。このため、中性子線を用いた場合には、同様に散乱・回折によって物質の様々な構造特性を調べるために用いられる電子線や X 線を用いた場合とは異なる情報が得られる。特に、エネルギーの低い熱中性子の散乱によって各種の情報を得る中性子小角散乱は軽元素の分析において極めて有効である。

20

【0003】

一方で、中性子線を発する中性子源の構成、特性は、電子線源や X 線源等とは大きく異なる。電子線源や X 線源としては、エネルギーが調整された（準）単色で高強度の電子線や X 線を発するものが使用可能であるのに対して、このような性質をもつ中性子源を得ることは困難であり、実際に使用されている主な中性子源としては、例えば放射性同位体や、大型施設（原子炉や大型加速器）がある。前者においては非常に低強度の中性子線しか得られず、後者の場合は高強度の中性子線は得られるものの、核分裂や核破砕反応を行わせるための大規模の設備が必要となる。こうした原子炉の維持管理は容易ではないために、上記のような分析用に用いられる中性子源としては適さない。

30

【0004】

原子炉等よりも小規模であり高強度の中性子線が得られる中性子源としては、例えば非特許文献 1 に記載された RANS (Riken Accelerator-driven compact Neutron Source) がある。RANS においては、7 MeV 程度の陽子ビームが加速器で生成され、 ^9Be 薄膜に照射される。これによって、 ^9B と中性子（高速中性子）が生成されるが、この中性子のエネルギーは MeV 程度と高いために、例えば上記の中性子小角散乱の実験用には適さない。このため、RANS においては、高速中性子に対する減速材となるポリエチレンで構成されたブロックが ^9Be の薄膜よりも陽子ビーム側から見て後方に固定されている。これによって、高速中性子が減速されて散乱されたエネルギーが 50 meV 程度の熱中性子が、高強度で後方に発せられる。また、発せられる中性子線のオン・オフは加速器で生成される陽子ビームのオン・オフで制御されるため、制御されたパルス状の中性子線を得ることができる。

40

【0005】

一方、この構成において、加速器から発せられる陽子ビームは点源とみなせる程度に細く、高い指向性をもつが、その後発生した高速中性子はポリエチレンブロックで減速散乱される際に広がるため、最終的に生成される熱中性子はポリエチレンブロックの広い範囲から様々な方向に発散して発せられる。すなわち、この中性子源は、ポリエチレンブロックの広い範囲から中性子を発する面光源となる。

50

【先行技術文献】

【特許文献】

【0006】

【非特許文献1】「陽子線加速器駆動理研小型中性子源RANSによる中性子利用」、大竹淑恵、小林知洋、太田秀男、山田雅子、橋口孝夫、柳町信三、竹谷篤、高村正人、關義親、池田義雅、須長秀行、王盛、山形豊、加藤純一、第12回日本加速器学会年会プロシーディングス、1358頁、2015年8月6日

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

このような面光源となる中性子源から発せられた中性子線の全積分強度は高いものの、中性子線を各種の散乱実験等に用いるためには、空間上のある1点（例えば被分析試料上や検出器上の1点）に中性子線を集中させ、この1点で中性子線の強度を局所的に高める（集光する）ことが特に好ましい。電子線に対しては静磁場や静電場を利用して、X線に対しては反射鏡を利用して、これらを高効率で集光する光学素子を得ることが可能であるのに対して、中性子線に対しては、これを同様に高効率で集光することが困難であった。

【0008】

このため、中性子線を高効率で集光する中性子光学素子、これを用いた高強度の中性子源が求められた。

【0009】

本発明は、かかる問題点を鑑みてなされたものであり、上記問題点を解決する発明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】

【0010】

本発明は、上記課題を解決すべく、以下に掲げる構成とした。

本発明の中性子光学素子は、一方向を法線とする面の一方の側の表面から発散するように発せられる中性子線を集光する中性子光学素子であって、中性子吸収体で構成され前記一方向と交差する板状であり前記一方向に沿って貫通する複数の開口が配列されて形成された複数のコリメータを具備し、前記一方の側と反対の他方の側に設けられた前記コリメータにおける前記開口である上流側開口と、前記一方の側に設けられた前記コリメータにおける前記開口である下流側開口は、同一構成の配列でそれぞれ複数設けられ、他方の側に設けられた前記コリメータにおける前記上流側開口の各々と、当該上流側開口の各々に対応した前記配列における前記下流側開口の各々とを結ぶ直線が、前記一方の側に設けられた前記コリメータよりも前記一方の側に設定された集光点を通過するように構成されたことを特徴とする。

本発明の中性子光学素子は、前記コリメータにおいて、複数の前記開口は、並行に設けられた複数の第1の梁部と、前記第1の梁部と交差するように並行に設けられた第2の梁部と、の組み合わせにより形成されたことを特徴とする。

本発明の中性子光学素子において、前記コリメータは、前記一方向に沿って3つ以上離間して設けられ、3つ以上の前記コリメータの中における隣接する2つの前記コリメータからなる複数の組み合わせに対して、共通の前記集光点が設定されたことを特徴とする。

本発明の中性子光学素子は、前記下流側開口の開口幅、前記配列において隣接する前記下流側開口の間隔は、それぞれ前記上流側開口の開口幅、前記配列において隣接する前記上流側開口の間隔よりも小さいことを特徴とする。

本発明の中性子光学素子において、前記コリメータは、 B_4C 焼結体で構成されたことを特徴とする。

本発明の中性子光学素子において、前記コリメータは、 B_4C 、 Gd 、 Cd のいずれかで構成されたことを特徴とする。

本発明の中性子光学素子は、複数の前記コリメータを、前記一方向に沿った離間した箇所において、前記一方向に沿った間隔を固定して支持する支持部を具備し、前記支持部が

10

20

30

40

50

複数種類準備された中での前記支持部の選択により、あるいは前記コリメータの前記支持部に対する固定位置の調整により、前記一方向に沿って隣接する前記コリメータの間隔が調整可能とされたことを特徴とする。

本発明の中性子光学素子は、前記開口を含んだ形態が同一であり異なる材料で構成された複数の前記コリメータが準備された中で、前記コリメータが選択されて用いられることを特徴とする。

本発明の中性子源は、表面から熱中性子線を発する板状の熱中性子発生部を具備する中性子面光源と、前記中性子光学素子とが組み合わされたことを特徴とする。

本発明の中性子源は、最も前記他方の側に設けられた前記コリメータと前記熱中性子発生部とが接する構成とされたことを特徴とする。

本発明の中性子源は、前記中性子光学素子が真空雰囲気中に配置されたことを特徴とする。

本発明の中性子源は、前記中性子面光源において、前記熱中性子発生部は中性子減速材で構成され、前記熱中性子発生部に対する前記他方の側に⁹Beで構成された高速中性子発生部が設けられ、前記高速中性子発生部は、前記一方の側に向かって発せられる陽子線で照射される構成とされたことを特徴とする。

【発明の効果】

【0011】

本発明は以上のように構成されているので、中性子線を高効率で集光する中性子光学素子、これを用いた高強度の中性子源を得ることができる。

【図面の簡単な説明】

【0012】

【図1】本発明の実施の形態に係る中性子光学素子が用いられた中性子源の構成を示す図である。

【図2A】本発明の実施の形態に係る中性子光学素子において用いられるコリメータの構成を示す斜視図(その1)である。

【図2B】本発明の実施の形態に係る中性子光学素子において用いられるコリメータの構成を示す斜視図(その2)である。

【図3】本発明の実施の形態に係る中性子光学素子の変形例が用いられた中性子源の構成を示す図である。

【図4】本発明の実施の形態に係る中性子光学素子において、コリメータが薄い場合における中性子源の通過状況を示す図である。

【図5】本発明の実施の形態に係る中性子光学素子において、コリメータが厚い場合における中性子源の通過状況を示す図である。

【図6】本発明の実施の形態に係る中性子光学素子を試料の分析に用いる際の形態を示す第1の例である。

【図7】本発明の実施の形態に係る中性子光学素子を試料の分析に用いる際の形態を示す第2の例である。

【図8】本願発明の実施例において、コリメータの開口面積を変えてビーム形状(中性子線強度分布)を測定した結果である。

【図9】本願発明の実施例において、コリメータの開口面積を変えて中性子の飛行時間を測定した結果である。

【図10A】本発明の実施の形態に係る中性子光学素子において用いられるコリメータの第1の変形例の構成を示す斜視図である。

【図10B】本発明の実施の形態に係る中性子光学素子において用いられるコリメータの第2の変形例の構成を示す斜視図である。

【発明を実施するための形態】

【0013】

本発明の実施の形態に係る中性子光学素子が用いられる中性子源について説明する。図1は、この中性子源1の構造を示す断面図である。この中性子源1は、中性子面光源10

10

20

30

40

50

と、中性子光学素子 20 とが組み合わせて構成される。中性子面光源 10 は、非特許文献 1 に記載された RANS であり、ここでは、RANS において使用される陽子ビームの進行方向に沿った断面が示されている。

【0014】

この中性子面光源 10 においては、 ^9Be （ベリリウム）で構成され図 1 中の上下方向及び紙面垂直方向に広がる面状の Be 箔 11 が用いられる。Be 箔 11 に対して垂直に、加速器で生成されたエネルギーが 7 MeV の陽子ビーム（陽子線）P が後方（図中右側：一方の側）に向かって入射する。陽子ビーム P は、前後方向（図中左右方向：一方向）となる中心軸 X に沿って放射されるように加速器で生成されて前方より照射され、陽子ビーム P の中心軸 X 周りの空間的広がり例えば 10 mm 以下と十分に小さい。これによって、 ^9Be の核反応により Be 箔 11 から MeV 程度のエネルギーをもつ高速中性子が発せられる。

10

【0015】

Be 箔 11 の後方には、Be 箔 11 よりも厚い板状とされた中性子減速材（熱中性子発生部）12 が、接合材 13 を介して接合されている。中性子減速材 12 の大きさ（図 1 における上下方向の長さ）は例えば 150 mm 程度、厚さ（図における左右方向の厚さ）は 40 mm 程度とされ、Be 箔 11、中性子減速材 12 は共に中心軸 X と垂直に設置されるものとする。中性子減速材 12 は、高速中性子を減速、散乱させる材料として、例えばポリエチレンで構成される。接合材 13 は、逆に高速中性子の散乱能、吸収能が低く高速中性子を透過させやすい V（バナジウム）等で構成される。この高速中性子が中性子減速材 12 中で減速、散乱されて 50 meV 程度のエネルギーとされた熱中性子となって中性子減速材 12 の後方の表面から発せられる。陽子ビーム P の中心軸 X 周りの広がり中性子減速材 12 よりも十分に小さいが、この構成によって、熱中性子は中性子減速材 12 の面内（図 1 における上下方向）にわたり広い範囲から散乱して後方に発せられる。上記の点については、非特許文献 1 に記載されたものと同様である。

20

【0016】

この中性子光学素子 20 は、この中性子面光源 10 の図中右側（下流側）に装着されて用いられ、上流側の第 1 コリメータ（コリメータ）21、下流側の第 2 コリメータ（コリメータ）22 が、筐体（支持部）25 中で固定されて構成されている。図 1 に示された部分は、全て真空排気された雰囲気中に設置されるため、中性子光学素子 20 中における中性子の空気による散乱は無視できる。また、中性子の漏れを抑制し、かつ得られる中性子線の強度を高めるためには、上流側の第 1 コリメータ 21 と中性子減速材（熱中性子発生部）12 を密着させることが好ましい。

30

【0017】

第 1 コリメータ 21、第 2 コリメータ 22 は共に熱中性子に対する吸収能の高い中性子吸収体で構成される。第 1 コリメータ 21、第 2 コリメータ 22 には、それぞれこれらを前後方向（厚さ方向）で貫通する開口 21A、22A が配列されて設けられる。第 1 コリメータ 21、第 2 コリメータ 22 の基本的構成は同様であり、各開口の大きさ、間隔が異なる。図 2A は第 1 コリメータ 21、図 2B は第 2 コリメータ 22 の構成を示す斜視図である。第 1 コリメータ 21、第 2 コリメータ 22 は共に矩形の板状とされる。また、矩形形状の開口 21A、22A は同一の配列構成（縦横奇数個ずつの 2 次元配列）でそれぞれに設けられている。図 1 ではこの個数は 5 個であり、この個数は一般には奇数である。

40

【0018】

図 2A、図 2B に示されるように、第 2 コリメータ 22 における開口 22A が配列した構造は、第 1 コリメータ 21 における開口 21A が配列した構造を縮小した形態とされている。このため、図 2A における開口 21A の 1 辺の長さを D_1 、図 2B における開口 22A の 1 辺の長さを D_2 として、 $D_1 > D_2$ とされる。また、第 1 コリメータ 21 の厚さ、第 2 コリメータ 22 の厚さは等しく、共に T とされる。図 1 においては、第 1 コリメータ 21 における左右方向における中央において上下方向に並んだ開口 21A、また、第 1 コリメータ 21 における配列の中心にある開口 21A と、第 2 コリメータ 22 における配

50

列の中心にある開口 2 2 A とは、中心軸 X 上にある。このため、第 1 コリメータ 2 1 における一つの開口 2 1 A と、第 2 コリメータ 2 2 においてこの一つの開口 2 1 A と配列中において同じ位置にある開口 2 2 A とを対応付けることができる。図 1 においては、左右方向における中央にそれぞれ 5 つ配列した開口 2 1 A、開口 2 2 A がある箇所断面が示されている。この断面は前記の通り、陽子ビーム P、中心軸 X に沿っている。

【 0 0 1 9 】

図 1 において、上流側の開口 2 1 A (上流側開口)の各々と、これに対応する下流側の開口 2 2 A (下流側開口)の各々との間を通る直線(中性子線に対応する図中の破線 N 1 ~ N 5)は、この中性子光学素子 2 0 の後方に設定された集光点 F を通るように構成される。ここでは、集光点 F は、中性子線強度の 2 次元分布を検出可能な検出器 5 0 上に設けられているものとする。中性子減速材 1 2 の全面から後方に拡散して放射される熱中性子のうち、集光点 F に向かうもののみが抽出されるため、集光点 F における中性子線強度を局所的に高めることができる。図 1 中右側には、検出器 5 0 で検出されるこのような中性子強度分布が模式的に示されている。

10

【 0 0 2 0 】

図 1 の中性子光学素子 2 0 においては、2 つのコリメータ(第 1 コリメータ 2 1、第 2 コリメータ 2 2)が用いられたが、さらに多くのコリメータを用いて、中性子線の交差を禁じて、強度分布を更に急峻にすることができる。図 3 は、こうした構成を具備し上記の中性子光学素子 2 0 の変形例となる中性子光学素子 3 0 が用いられた中性子源 2 の構造を示す。ここでは、前記の第 1 コリメータ 2 1、第 2 コリメータ 2 2 の間に、同様の構成を具備する第 3 コリメータ(コリメータ) 2 3 が設けられている。第 3 コリメータ 2 3 においても、開口 2 3 A が、第 1 コリメータ 2 1 における開口 2 1 A、第 2 コリメータ 2 2 における開口 2 2 A と同一の配列(縦横 5 個ずつの 2 次元配列)で形成されている。

20

【 0 0 2 1 】

前記の通り、第 1 コリメータ 2 1 における各開口 2 1 A (上流側開口)と第 2 コリメータ 2 2 における各開口 2 2 A (下流側開口)の位置関係は、これらの間を通過する直線が集光点 F を通るように構成されている。図 3 の構成においては、第 1 コリメータ 2 1 における各開口 2 1 A と第 3 コリメータ 2 3 における各開口 2 3 A の位置関係、第 3 コリメータ 2 3 における各開口 2 3 A と第 2 コリメータ 2 2 における各開口 2 2 A の位置関係も、共に同様とされ、対応する開口間を通過する直線が集光点 F を通過するように設定される。

30

【 0 0 2 2 】

このため、図 1 の構成と同様に、中性子線 N 1 ~ N 5 はそれぞれ対応する開口 2 1 A、2 3 A、2 2 A を順次通過し、集光点 F に達する。一方、図 1 においては、例えば 1 番上の開口 2 1 A を通過した後上から 2 番目の開口 2 2 A を通過する中性子線 M 1、1 番上の開口 2 1 A を通過した後上から 3 番目の開口 2 2 A を通過する中性子線 M 2 も検出器 5 0 に達する。このため、図 1 の構成においては、検出器 5 0 において集光点 F から離間した箇所にも中性子線が到達し、これによって、集光点 F から離間した箇所における中性子線強度を十分に低減できない場合がある。

【 0 0 2 3 】

これに対して、図 3 の構成においては、第 3 コリメータ 2 3 における開口 2 3 A 以外の部分を中性子線 M 1、M 2 が通過するように設定し、中性子線 M 1、M 2 が第 3 コリメータ 2 3 よりも後方に通過することを抑制することができる。厳密には、各開口 2 1 A を通過する中性子線は広がりをもち、上記の中性子線 N 1 ~ N 5、M 1、M 2 も広がりをもつために、実際の状況はより複雑であるが、第 3 コリメータ 2 3 を用いることによって、中性子線 M 1、M 2 に対応する中性子線の強度を低下させることができる。

40

【 0 0 2 4 】

図 3 の構成においては、3 つのコリメータ(第 1 コリメータ 2 1、第 2 コリメータ 2 2、第 3 コリメータ 2 3)が用いられたが、同様にして、4 つ以上のコリメータを用いることによって、試料 S において集光点 F 以外の点における中性子線強度を低下させることができる。すなわち、集光点 F における中性子線強度を周囲と比べて相対的に高くし、中性

50

子線の強度のコントラストを高めることができる。

【0025】

例えばこのような中性子線を試料に照射して分析を行う際には、その位置分解能は、図1の構成における集光点F付近での中性子線の強度分布の広がり(図1におけるW)に依存し、位置分解能を高めるためには、Wを小さくすることが好ましい。Wは、図2A、図2Bにおける開口21A、22Aの開口幅D1、D2に依存し、この開口幅を狭くすることによって、Wを小さくすることができる。一方、この開口幅を狭くした場合には開口を通過する中性子線の積分強度が低下するため、集光点Fにおける中性子線強度は低下する。このため、上記の構成においては、試料S上で要求される中性子線強度と実験における位置分解能等を考慮して、各コリメータにおける開口幅が設定される。

10

【0026】

また、図4は、図1の構成において最も上側の開口21A(上流側開口)、開口22A(下流側開口)を通過する中性子線の状況を示す図である。ここで、開口21A、22Aを構成する第1コリメータ21、第2コリメータ22の内面における中性子線の反射や回折は無視できるものとする。この場合において、一番上の開口21A及び一番上の開口22Aを通過する中性子線は破線N11とN12の間の範囲のものとなる。

【0027】

これに対して、図5は、第1コリメータ21、第2コリメータ22の厚さTを図4の場合よりも大きくした以外の点については図4と同様とした場合の状況を示す。この場合には、一番上の開口21A及び一番上の開口22Aを通過する中性子線は破線N21とN22の間の範囲のものとなる。この場合には、厚い第1コリメータ21、第2コリメータ22によって遮られる中性子線の成分が増えるため、図4の場合と比べて、この範囲が大幅に狭まる。このため、図2A、図2Bにおける第1コリメータ31、第2コリメータ32の厚さTは、薄いことが好ましく、これらに挿入されるコリメータについても同様である。一方、これらが薄い場合には、これらを開口以外の箇所を透過する中性子線の成分が発生する。このため、各コリメータは、中性子線の吸収能が高く、かつ機械的強度が高い材料で薄く構成することが好ましい。

20

【0028】

具体的には、各コリメータを構成する材料として、中性子吸収能の高いホウ素(B)を含むB₄Cを好ましく用いることができる。この場合には、B₄C粉体を成形、焼結した焼結体として各コリメータを製造することができる。また、同様に中性子吸収能が高い金属であるCd(カドミウム)、Gd(ガドリニウム)等も用いることができる。こうした金属材料を用いた場合には、特に各コリメータを薄く形成して、透過率を高めることができる。

30

【0029】

また、図3に示されたようにコリメータの数を多くした場合(第1コリメータ21、第2コリメータ22の間に他のコリメータを挿入した場合)には、前記の通り、集光点F以外の中性子線強度を低下させることによってWを小さくすることができるが、図4、5に示されたように、挿入されたコリメータによって遮蔽される中性子線の成分が大きくなるために、挿入されるコリメータが増えるに従って、やはり集光点Fにおける中性子線の広がりが低下する。このため、使用するコリメータの数(層数)も、上記の開口幅と同様に、要求される中性子線強度と実験における位置分解能等を考慮して設定される。

40

【0030】

次に、上記の中性子光学素子あるいは中性子源を用いて中性子小角散乱実験を行う際の形態について説明する。この場合には、試料は中性子光学素子と検出器50の間に設置される。図1、3等においては、検出器50上に集光点Fが設定されるものとしたが、集光点Fの位置は、適宜設定することができる。

【0031】

図1の構成においては、前記の通り、上流側の第1コリメータ21と中性子減速材12とは密着させることが好ましい。同様に、試料Sも、下流側のコリメータに近接させるこ

50

とが好ましい。図 6、7 は、このように試料 S と検出器 5 0 が配置された場合の構成を示す図である。ここでは、図 3 と同様のコリメータが 3 層構造とされた中性子光学素子が用いられるものとする。

【0032】

図 6 の構成においては、試料 S が第 2 コリメータ 2 2 の直後に第 2 コリメータ 2 2 と接するように設置され、集光点 F が検出器 5 0 上に設定された中性子光学素子 3 1 が用いられる。このため、検出器 5 0 において、試料 S による散乱がない場合（試料 S が設置されない場合）における中性子線、試料 S による散乱後の中性子線を高強度で検出することができる。ここで、試料 S が存在しない場合には、前記の通り、図中の中性子線 N 1~N 5 は検出器 5 0 上の集光点 F に集光する。一方、試料 S で散乱された中性子線は図中の散乱中性子線 S 1、S 2 のように方向が変化するため、集光点 F から外れた箇所で検出されるため、結局、試料 S が存在する場合に検出器 5 0 で検出される強度分布は、試料 S が存在しない場合と比べて広がる。この強度分布の差を解析することによって、試料 S に関する情報を得ることができる。

10

【0033】

この場合においては、図 1 の強度分布（実線）における W を小さくすることによって、よりこの解析における位置分解能が高まる。この際、検出器 5 0 上に集光点 F を設定することによって、検出器 5 0 で検出される信号の強度を高めることによって S / N 比を高め、測定を高精度で行うことができる。

【0034】

図 7 の構成においては、試料 S が第 2 コリメータ 2 2 の直後に設置される点は上記と同様であるが、集光点 F が試料 S 上（第 2 コリメータ 2 2 の直後）に設定された中性子光学素子 3 2 が用いられる。このため、試料 S を透過あるいは試料 S で回折された中性子線は検出器 5 0 上では中性子線 N 1~N 5 に対応して再び 5 つに分離して検出される。一方で、試料 S 上における中性子線強度及びこのコントラスト、試料 S において中性子線が照射される箇所の位置分解能を高めることができる。

20

【0035】

すなわち、検出器 5 0 における中性子線強度及びその分解能を高めるか、試料 S における中性子線強度及びその分解能を高めるかを、中性子光学素子におけるコリメータの相互の距離を変えることによって、同一の素子で集光点を可変にすることもできる。この場合においては、最も上流側のコリメータとしては、共通のものを用いることができ、これよりも下流側のコリメータの相互位置を変更する移動機構を設けることによって、この設定をすることができる。また、集光点 F を試料 S、検出器 5 0 以外の箇所に設定することもできる。

30

【0036】

実際に B₄C 焼結体で構成された 3 種類のコリメータを用いた図 6 の構成における検出器 5 0 で検出された結果について説明する。図 8 は図 6 における 3 つのコリメータの開口を共通（70 mm × 70 mm、40 mm × 40 mm、10 mm × 10 mm の 3 種類の矩形形状）として共通の集光点 F（熱中性子発生部 1 2 から集光点 F までの距離を 1500 m）が得られるようにした場合における、中性子線強度（カウント数）の光軸中心（集光点 F）からの距離依存性を測定した結果である。この形状は、上記の中性子光学素子によって得られた中性子線のビーム形状を反映する。開口面積によらずに、指向性が高められたビーム形状が得られ、開口面積を大きくとることにより、高い中性子線強度が得られることが確認できる。図 9 は、図 8 に対応して中性子の飛行時間（中性子の波長に対応）を測定した結果であり、開口面積によらずに、共通のピーク（最も頻度の高い飛行時間）が得られている。このため、上記の中性子光学素子を用いて、指向性の高い中性子線を得ることができ、これを用いて中性子小角散乱等、各種の測定を行うことができる。

40

【0037】

図 1、3 等の構成において、隣接するコリメータの間隔は、コリメータを機械的に支持して固定する筐体（支持部）2 5 で定まる。このため、使用される各コリメータは同一と

50

した場合でも、筐体 25 を複数種類設け、その選択によって、集光点 F の位置（焦点距離）を調整することができる。また、単体の筐体 25 に対する各コリメータの装着位置が複数に設定可能とすることもでき、これによって集光点 F の位置を調整可能とすることもできる。

【0038】

こうした構成は、各コリメータと筐体 25 を別体として製造することによって容易に実現することができる。また、上記のような中性子吸収能が高くコリメータに適した材料は、装置全体の機械的強度等を確保する筐体 25 を構成する材料としては好ましいとは限らない。更に、コリメータが上記のような平板に開口を形成しただけの単純な構造であれば、コリメータを容易かつ安価に容易に製造することができるのに対して、筐体 25 をこの

10

【0039】

一方、集光点 F 付近で得られる中性子線強度あるいは強度分布（ビーム形状）は、コリメータにおける開口以外の部分の中性子透過率等にも影響を受ける。このため、中性子線強度やビーム形状は、上記のようなコリメータの位置（間隔）設定だけでなく、コリメータを構成する材料の設定や厚さによっても調整することが可能である。このため、上記のように各コリメータと筐体 25 を異なる材料で別体として製造する場合には、開口部の配置や大きさを含んだ形状が同一であり材料が異なる複数のコリメータを製造し、この中からコリメータを選択可能としてもよい。この際、コリメータの厚さの異なるものを設けてもよい。

20

【0040】

このように、上記の中性子光学素子における仕様の変更（集光点 F の位置の設定）は容易であり、かつ、上記の中性子光学素子の基本構造は、図 2 A、図 2 B に示された形状のコリメータを組み合わせることによって得られるため、非常に単純である。このため、この中性子光学素子を安価とすることができる。

【0041】

なお、上記の例においては、コリメータにおいて開口は縦横 5 個ずつに 2 次元配列された。しかしながら、この構成、個数は適宜設定することができる。前記の通り、分析の位置分解能を高めるためには開口を小さくすることが好ましく、この場合に中性子線強度を高めるためには、開口の個数をより多く設定し、広い範囲からの中性子線を集光させることが好ましい。また、上記の例においては、図 2 A、図 2 B に示されたように、各コリメータに矩形形状の開口が配列して設定された。この場合には、コリメータにおいて無駄な領域を設けずに開口を効率的に配列させることができ、かつ、コリメータの製造が容易である。しかしながら、開口の形状は任意であり、例えばハニカム形状等のものを用いることができる。また、上記の例では開口が 2 次元配列されたが、開口を 1 次元配列してその配列方向のみで集光をしてもよい。

30

【0042】

また、図 2 A、2 B に示されたような、格子状のコリメータは、焼結体をこのような形状として製造することができる。一方で、こうした形状は、他の製造方法によっても容易に製造することができる。図 10 A、図 10 B は、こうしたコリメータ 120、130 の構造を図 2 A、図 2 B に対応させて示す図である。

40

【0043】

図 10 A において、コリメータ 120 は、図における縦方向に延伸し横方向において並行に複数設けられた複数の柱状の第 1 の梁部 120 A と、横方向に延伸し縦方向において並行に複数設けられた複数の第 2 の梁部 120 B とが、組み合わせられて構成される。この場合には、複数の柱状の第 1 の梁部 120 A と、複数の第 2 の梁部 120 B を製造し、その組み合わせの型を変えるだけで、大きさの異なる開口部を具備する複数のコリメータを容易に製造することができる。図 10 においては単純化して記載されているが、第 1 の梁

50

部 1 2 0 A と第 2 の梁部 1 2 0 B とが交差する箇所の構造は、適宜設定が可能である。

【 0 0 4 4 】

図 2 A、2 B のような形状のコリメータを安価に製造することが困難である材料を用いた場合でも、上記のような単純な形状の第 1 の梁部 1 2 0 A、第 2 の梁部 1 2 0 B は容易に製造できるために、このコリメータ 1 2 0 を容易かつ安価に製造することができる。上記のように、同一の第 1 の梁部 1 2 0 A、第 2 の梁部 1 2 0 B をそれぞれ多数製造した上でその組み合わせの形態を変えてコリメータ 1 2 0 を製造することにより、開口部の大きさの異なる複数のコリメータ 1 2 0 を特に安価に得ることができる。

【 0 0 4 5 】

図 1 0 B においては、コリメータ 1 3 0 は、複数の薄板状の第 1 の梁部 1 3 0 A と、複数の薄板状の第 2 の梁部 1 3 0 B とが図 1 0 A の場合と同様に組み合わせて構成されている。上記のような柱状の第 1 の梁部 1 2 0 A、第 2 の梁部 1 2 0 B を製造することが困難な場合においても、薄板状の第 1 の梁部 1 3 0 A、第 2 の梁部 1 3 0 B は特に容易に製造することができる。このため、このコリメータ 1 3 0 は特に安価に得ることができ、特に加工の難しい材料を用いた場合でもこのコリメータ 1 3 0 を得ることができる。

10

【 0 0 4 6 】

また、上記の例では、この中性子光学素子が R A N S と組み合わせられるものとしたが、同様に、大強度陽子加速器 J - P A R C (J a p a n P r o t o n A c c e l e r a t o r R e s e a r c h C o m p l e x) による陽子線が照射されて中性子を発するターゲットである面光源等に対しても、この中性子光学素子を同様に用いることによって、同様の効果を奏することは明らかである。特に、熱中性子を発する面光源に関しては、この中性子光学素子は有効である。

20

【 符号の説明 】

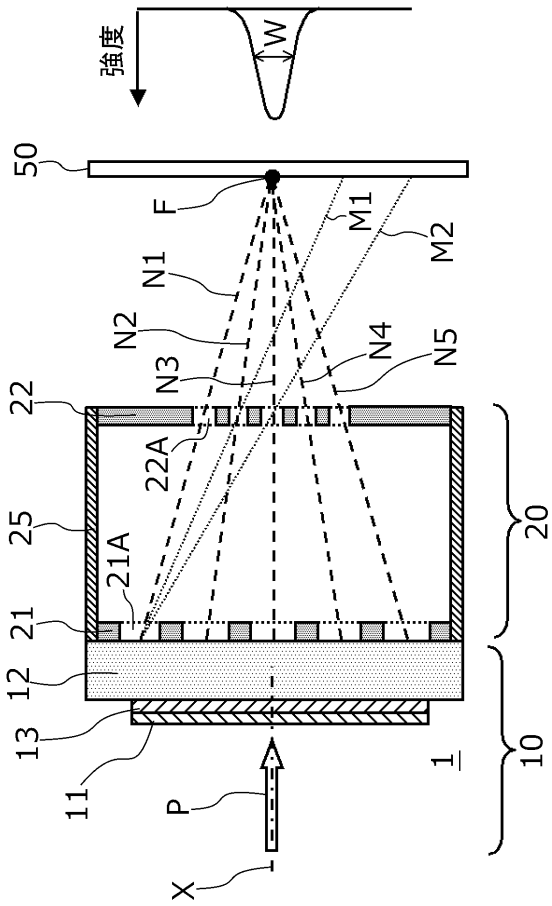
【 0 0 4 7 】

- 1、2 中性子源
- 1 0 中性子面光源
- 1 1 B e 箔
- 1 2 中性子減速材 (熱中性子発生部)
- 1 3 接合材
- 2 0、3 0、3 1、3 2 中性子光学素子
- 2 1 第 1 コリメータ (コリメータ)
- 2 1 A 開口 (上流側開口)
- 2 2 第 2 コリメータ (コリメータ)
- 2 2 A 開口 (下流側開口)
- 2 3 第 3 コリメータ (コリメータ)
- 2 3 A 開口
- 2 5 筐体 (支持部)
- 5 0 検出器
- 1 2 0、1 3 0 コリメータ
- 1 2 0 A、1 3 0 A 第 1 の梁部
- 1 2 0 B、1 3 0 B 第 2 の梁部
- F 集光点
- N 1 ~ N 5、N 1 1、N 1 1、N 1 2、N 2 1、N 2 2、M 1、M 2 中性子線
- S 1、S 2 散乱中性子線
- P 陽子ビーム (陽子線)
- S 試料

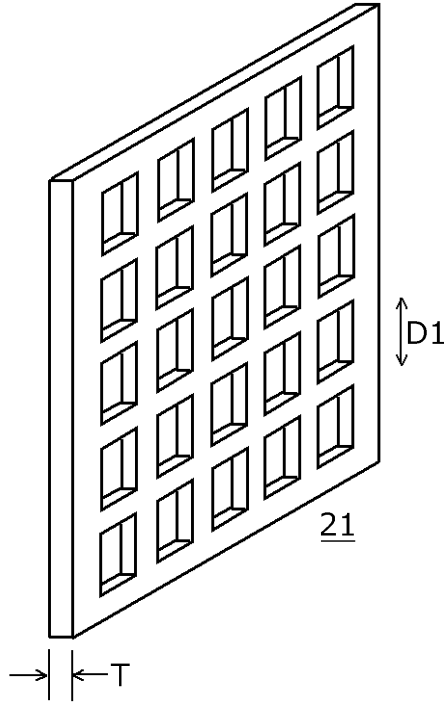
30

40

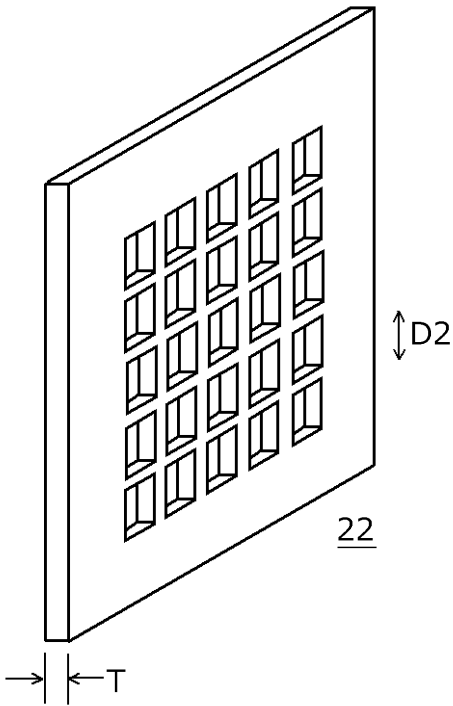
【図 1】



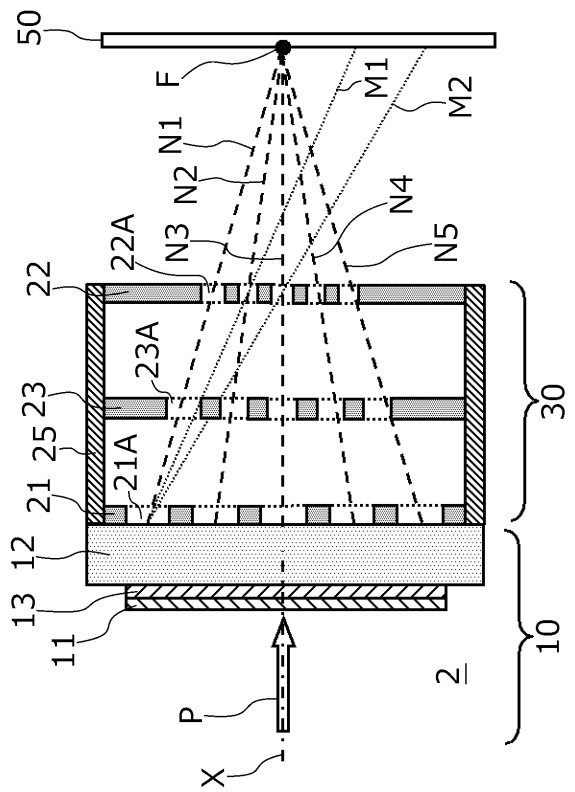
【図 2 A】

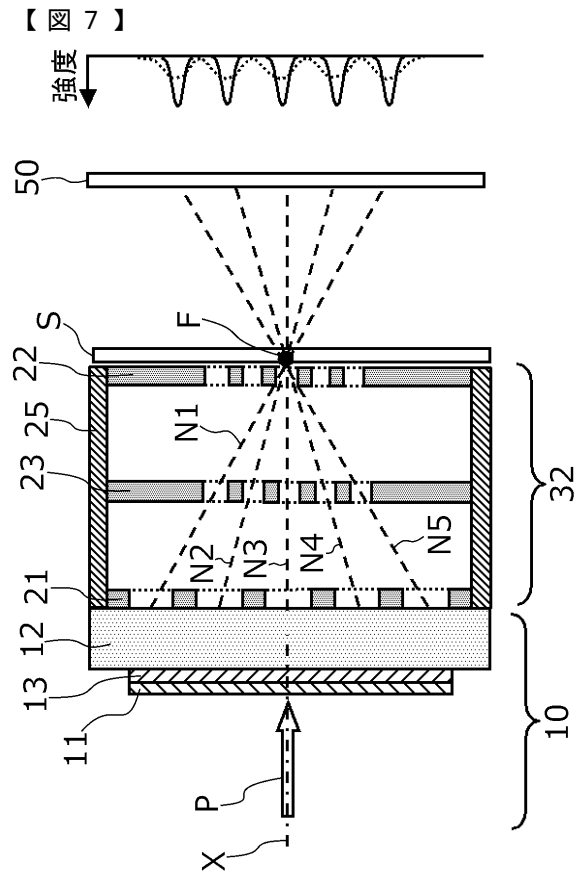
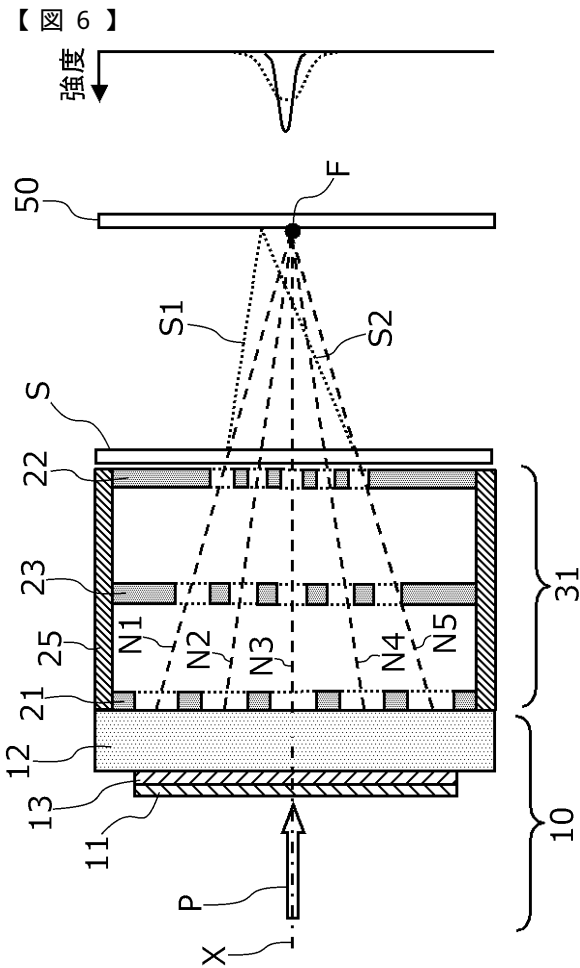
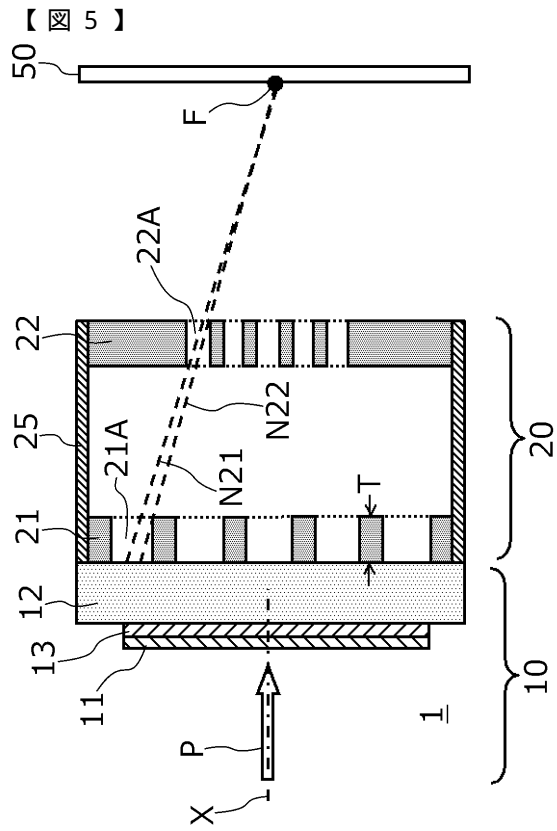
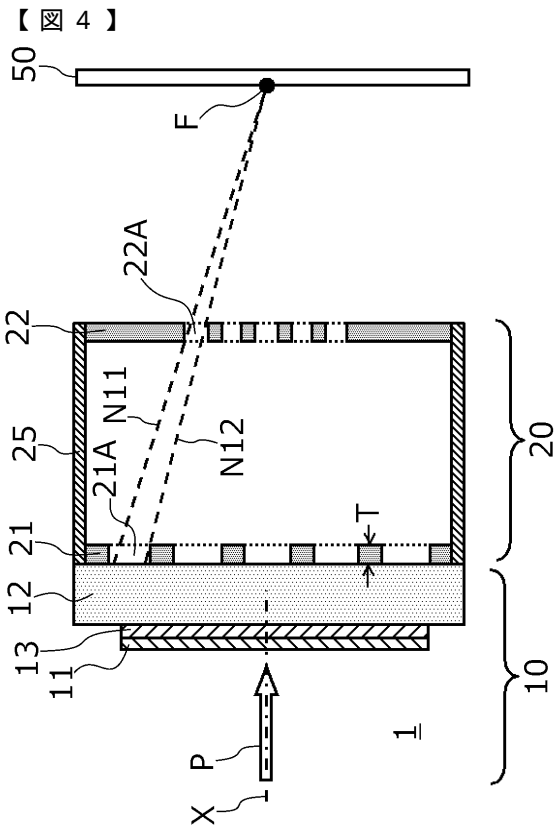


【図 2 B】

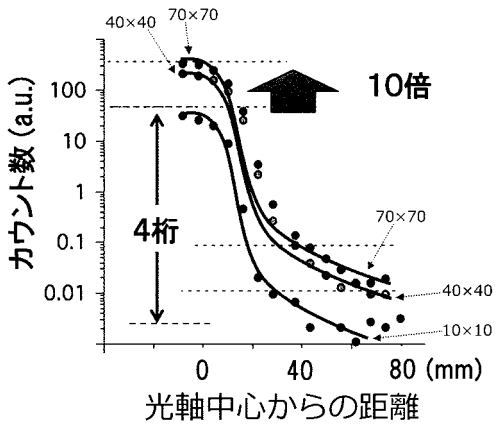


【図 3】

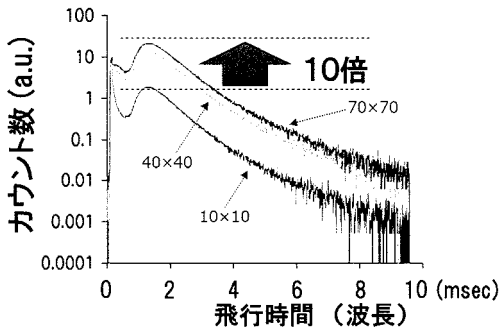




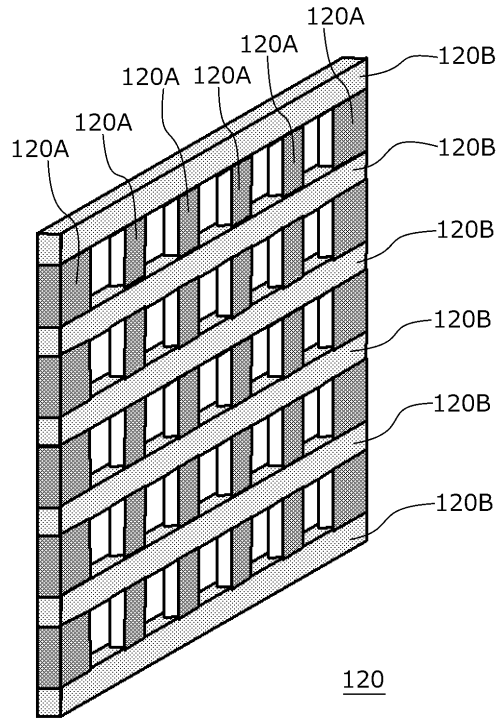
【 図 8 】



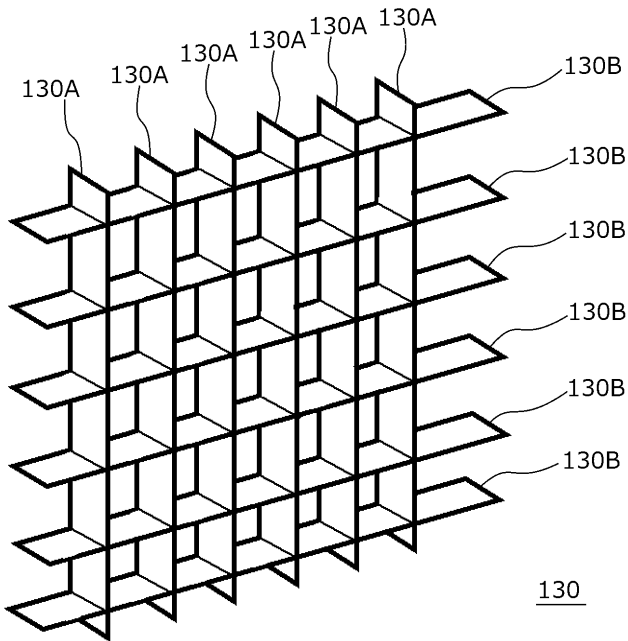
【 図 9 】



【 図 1 0 A 】



【 図 1 0 B 】



【手続補正書】

【提出日】令和1年5月10日(2019.5.10)

【手続補正1】

【補正対象書類名】特許請求の範囲

【補正対象項目名】全文

【補正方法】変更

【補正の内容】

【特許請求の範囲】

【請求項1】

ビーム状の中性を発する中性子源であって、

表面から熱中性子線を発する板状の熱中性子発生部を具備する中性子面光源と、前記熱中性子発生部の一方の側の表面から発散するように発せられる中性子線を集光するように前記熱中性子発生部の前記一方の側に固定された中性子光学素子と、を具備し、前記中性子光学素子は、

中性子吸収体からなる複数の薄板で構成され前記熱中性子発生部の法線方向に沿って貫通する複数の開口が配列されて形成され、前記法線方向に沿った異なる位置に設けられた複数のコリメータと、

複数の前記コリメータを前記法線方向の周囲で固定する筐体と、

を具備し、

複数の前記コリメータの中で前記一方の側と反対の他方の側に設けられた前記コリメータにおける前記開口である上流側開口と、前記一方の側に設けられた前記コリメータにおける前記開口である下流側開口は、同一構成の配列でそれぞれ複数設けられ、

他方の側に設けられた前記コリメータにおける前記上流側開口の各々と、当該上流側開口の各々に対応した前記配列における前記下流側開口の各々とを結ぶ直線が、前記一方の側に設けられた前記コリメータよりも前記一方の側に設定された集光点を通過するように構成され、

最も前記他方の側にある前記コリメータが、前記熱中性子発生部の前記一方の側の表面に当接するように固定されたことを特徴とする中性子源。

【請求項2】

前記コリメータにおいて、複数の前記開口は、並行に設けられた複数の前記薄板からなる第1の梁部と、前記第1の梁部と交差するように並行に設けられた複数の前記薄板からなる第2の梁部と、の組み合わせにより形成されたことを特徴とする請求項1に記載の中性子源。

【請求項3】

前記コリメータは、前記法線方向に沿って3つ以上離間して設けられ、

3つ以上の前記コリメータの中における隣接する2つの前記コリメータからなる複数の組み合わせに対して、共通の前記集光点が設定されたことを特徴とする請求項1又は2に記載の中性子源。

【請求項4】

前記下流側開口の開口幅、前記配列において隣接する前記下流側開口の間隔は、それぞれ前記上流側開口の開口幅、前記配列において隣接する前記上流側開口の間隔よりも小さいことを特徴とする請求項1から請求項3までのいずれか1項に記載の中性子源。

【請求項5】

前記コリメータは、 B_4C 焼結体で構成されたことを特徴とする請求項1から請求項4までのいずれか1項に記載の中性子源。

【請求項6】

前記コリメータは、 B_4C 、 Gd 、 Cd のいずれかで構成されたことを特徴とする請求項1から請求項3までのいずれか1項に記載の中性子源。

【請求項7】

前記筐体は、

複数の前記コリメータを、前記法線方向に沿った離間した箇所において、前記法線方向に沿った間隔を固定して支持する支持部を具備し、
前記支持部が複数種類準備された中での前記支持部の選択により、あるいは前記コリメータの前記支持部に対する固定位置の調整により、前記法線方向に沿って隣接する前記コリメータの間隔が調整可能とされたことを特徴とする請求項 1 から請求項 6 までのいずれか 1 項に記載の中性子源。

【請求項 8】

前記開口を含んだ形態が同一であり異なる材料で構成された複数の前記コリメータが準備された中で、前記コリメータが選択されて用いられることを特徴とする請求項 1 から請求項 7 までのいずれか 1 項に記載の中性子源。

【請求項 9】

(削除)

【請求項 10】

(削除)

【請求項 11】

前記中性子光学素子が真空雰囲気中に配置されたことを特徴とする請求項 1 から請求項 8 までのいずれか 1 項に記載の中性子源。

【請求項 12】

前記中性子面光源において、前記熱中性子発生部は中性子減速材で構成され、
前記熱中性子発生部に対する前記他方の側に ^9Be で構成された高速中性子発生部が設けられ、前記高速中性子発生部は、前記一方の側に向かって発せられる陽子線で照射される構成とされたことを特徴とする請求項 1 から請求項 8 までのいずれか 1 項又は請求項 11 に記載の中性子源。

【手続補正 2】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0003

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0003】

1 点（例えば被分析試料上や検出器上の 1 点）に中性子線を集中させ、この 1 点で中性子線の強度を局所的に高める（集光する）ことが特に好ましい。電子線に対しては静磁場や静電場を利用して、X 線に対しては反射鏡を利用して、これらを高効率で集光する光学素子を得ることが可能であるのに対して、中性子線に対しては、これを同様に高効率で集光することが困難であった。

【0008】

このため、中性子線を高効率で集光する中性子光学素子、これを用いた高強度の中性子源が求められた。

【0009】

本発明は、かかる問題点に鑑みてなされたものであり、上記問題点を解決する発明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

【0010】

本発明は、上記課題を解決すべく、以下に掲げる構成とした。

本発明の中性子源は、ビーム状の中性子を発する中性子源であって、表面から熱中性子線を発する板状の熱中性子発生部を具備する中性子面光源と、前記熱中性子発生部の一方の側の表面から発散するように発せられる中性子線を集光するように前記熱中性子発生部の前記一方の側に固定された中性子光学素子と、を具備し、前記中性子光学素子は、中性子吸収体からなる複数の薄板で構成され前記熱中性子発生部の法線方向に沿って貫通する複数の開口が配列されて形成され、前記法線方向に沿った異なる位置に設けられた複数のコリメータと、複数の前記コリメータを前記法線方向の周囲で固定する筐体と、を具備し

、複数の前記コリメータの中で前記一方の側と反対の他方の側に設けられた前記コリメータにおける前記開口である上流側開口と、前記一方の側に設けられた前記コリメータにおける前記開口である下流側開口は、同一構成の配列でそれぞれ複数設けられ、他方の側に設けられた前記コリメータにおける前記上流側開口の各々と、当該上流側開口の各々に対応した前記配列における前記下流側開口の各々とを結ぶ直線が、前記一方の側に設けられた前記コリメータよりも前記一方の側に設定された集光点を通過するように構成され、最も前記他方の側にある前記コリメータが、前記熱中性子発生部の前記一方の側の表面に当接するように固定されたことを特徴とする。

【手続補正3】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0004

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0004】

本発明の中性子源は、前記コリメータにおいて、複数の前記開口は、並行に設けられた複数の前記薄板からなる第1の梁部と、前記第1の梁部と交差するように並行に設けられた複数の前記薄板からなる第2の梁部と、の組み合わせにより形成されたことを特徴とする。

本発明の中性子源において、前記コリメータは、前記一方向に沿って3つ以上離間して設けられ、3つ以上の前記コリメータの中における隣接する2つの前記コリメータからなる複数の組み合わせに対して、共通の前記集光点が設定されたことを特徴とする。

本発明の中性子源は、前記下流側開口の開口幅、前記配列において隣接する前記下流側開口の間隔は、それぞれ前記上流側開口の開口幅、前記配列において隣接する前記上流側開口の間隔よりも小さいことを特徴とする。

本発明の中性子源において、前記コリメータは、 B_4C 焼結体で構成されたことを特徴とする。

本発明の中性子源において、前記コリメータは、 B_4C 、 Gd 、 Cd のいずれかで構成されたことを特徴とする。

本発明の中性子源において、前記筐体は、複数の前記コリメータを、前記法線方向に沿った離間した箇所において、前記法線方向に沿った間隔を固定して支持する支持部を具備し、前記支持部が複数種類準備された中での前記支持部の選択により、あるいは前記コリメータの前記支持部に対する固定位置の調整により、前記法線方向に沿って隣接する前記コリメータの間隔が調整可能とされたことを特徴とする。

本発明の中性子源は、前記開口を含んだ形態が同一であり異なる材料で構成された複数の前記コリメータが準備された中で、前記コリメータが選択されて用いられることを特徴とする。

本発明の中性子源は、前記中性子光学素子が真空雰囲気中に配置されたことを特徴とする。

本発明の中性子源は、前記中性子面光源において、前記熱中性子発生部は中性子減速材で構成され、前記熱中性子発生部に対する前記他方の側に 9Be で構成

【手続補正4】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0005

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0005】

された高速中性子発生部が設けられ、前記高速中性子発生部は、前記一方の側に向かって発せられる陽子線で照射される構成とされたことを特徴とする。

発明の効果

[0011]

本発明は以上のように構成されているので、中性子線を高効率で集光する中性子光学素子、これを用いた高強度の中性子源を得ることができる。

図面の詳細な説明

[0 0 1 2]

[図 1] 本発明の実施の形態に係る中性子光学素子が用いられた中性子源の構成を示す図である。

[図 2 A] 本発明の実施の形態に係る中性子光学素子において用いられるコリメータの構成を示す斜視図（その 1）である。

[図 2 B] 本発明の実施の形態に係る中性子光学素子において用いられるコリメータの構成を示す斜視図（その 2）である。

[図 3] 本発明の実施の形態に係る中性子光学素子の変形例が用いられた中性子源の構成を示す図である。

[図 4] 本発明の実施の形態に係る中性子光学素子において、コリメータが薄い場合における中性子源の通過状況を示す図である。

[図 5] 本発明の実施の形態に係る中性子光学素子において、コリメータが厚い場合における中性子源の通過状況を示す図である。

[図 6] 本発明の実施の形態に係る中性子光学素子を試料の分析に用いる際の形態を示す第 1 の例である。

[図 7] 本発明の実施の形態に係る中性子光学素子を試料の分析に用いる際の形態を示す第 2 の例である。

[図 8] 本願発明の実施例において、コリメータの開口面積を変えてビーム形状（中性子線強度分布）を測定した結果である。

[図 9] 本願発明の実施例において、コリメータの開口面積を変えて中性子の飛行時間を測定した結果である。

【国際調査報告】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT		International application No. PCT/JP2018/025943
A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER Int.Cl. G21K1/00 (2006.01) i, G01N23/202 (2006.01) i, G21K1/02 (2006.01) i, G21K5/02 (2006.01) i According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) Int.Cl. G21K1/00, G01N23/202, G21K1/02, G21K5/02 Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched Published examined utility model applications of Japan 1922-1996 Published unexamined utility model applications of Japan 1971-2018 Registered utility model specifications of Japan 1996-2018 Published registered utility model applications of Japan 1994-2018 Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X Y	JP 2005-536757 A (HAHN-MEITNER-INSTITUT BERLIN GMBH) 02 December 2005, paragraphs [0001], [0009], [0018]-[0023], fig. 1-4 & US 2005/0178972 A1, paragraphs [0001], [0009], [0024]-[0029], fig. 1-4 & WO 2004/021365 A2 & EP 1535288 A2	1-4, 7 5-6, 8-12
Y	JP 2010-230328 A (TOSHIBA CORP.) 14 October 2010, paragraph [0040] (Family: none)	5-6, 8
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input type="checkbox"/> See patent family annex.		
* Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "&" document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search 25 September 2018 (25.09.2018)		Date of mailing of the international search report 09 October 2018 (09.10.2018)
Name and mailing address of the ISA/ Japan Patent Office 3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915, Japan		Authorized officer Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2018/025943

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2008-22920 A (HITACHI, LTD.) 07 February 2008, paragraphs [0007]-[0019], fig. 1 (Family: none)	9-12
Y	JP 4-22899 A (NKK CORP.) 27 January 1992, page 2, lower right column, line 1 to page 4, upper right column, line 2, fig. 1 (Family: none)	11
A	JP 2013-88265 A (DOBASHI, Katsuhiko) 13 May 2013, entire text, all drawings (Family: none)	1-12
A	CN 102332318 A (CHINA INSTITUTE OF ATOMIC ENERGY) 25 January 2012, entire text, all drawings (Family: none)	1-12

国際調査報告		国際出願番号 PCT/J P 2 0 1 8 / 0 2 5 9 4 3									
A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC)) Int.Cl. G21K1/00(2006.01)i, G01N23/202(2006.01)i, G21K1/02(2006.01)i, G21K5/02(2006.01)i											
B. 調査を行った分野 調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC)) Int.Cl. G21K1/00, G01N23/202, G21K1/02, G21K5/02											
最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの <table border="0"> <tr> <td>日本国実用新案公報</td> <td>1922-1996年</td> </tr> <tr> <td>日本国公開実用新案公報</td> <td>1971-2018年</td> </tr> <tr> <td>日本国実用新案登録公報</td> <td>1996-2018年</td> </tr> <tr> <td>日本国登録実用新案公報</td> <td>1994-2018年</td> </tr> </table>				日本国実用新案公報	1922-1996年	日本国公開実用新案公報	1971-2018年	日本国実用新案登録公報	1996-2018年	日本国登録実用新案公報	1994-2018年
日本国実用新案公報	1922-1996年										
日本国公開実用新案公報	1971-2018年										
日本国実用新案登録公報	1996-2018年										
日本国登録実用新案公報	1994-2018年										
国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)											
C. 関連すると認められる文献											
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号									
X Y	JP 2005-536757 A (ハーソーマイトネルーインスチット) 2005.12.02, 段落[0001], [0009], [0018]-[0023], 図1-4 & US 2005/0178972 A1, 段落[0001], [0009], [0024]-[0029], 図1-4 & WO 2004/021365 A2 & EP 1535288 A2	1-4, 7 5-6, 8-12									
Y	JP 2010-230328 A (株式会社東芝) 2010.10.14, 段落[0040] (ファミリーなし)	5-6, 8									
<input checked="" type="checkbox"/> C欄の続きにも文献が列挙されている。 <input type="checkbox"/> パテントファミリーに関する別紙を参照。											
* 引用文献のカテゴリー 「A」特に関連のある文献ではなく、一般的な技術水準を示すもの 「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの 「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す) 「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献 「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願		の日の後に公表された文献 「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの 「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの 「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの 「&」同一パテントファミリー文献									
国際調査を完了した日 25.09.2018		国際調査報告の発送日 09.10.2018									
国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁 (ISA/J P) 郵便番号100-8915 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号		特許庁審査官 (権限のある職員) 大門 清	2G 8355								
		電話番号 03-3581-1101 内線 3224									

国際調査報告		国際出願番号 PCT/J P 2 0 1 8 / 0 2 5 9 4 3
C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
Y	JP 2008-22920 A (株式会社日立製作所) 2008.02.07, 段落[0007]-[0019], 図1 (ファミリーなし)	9-12
Y	JP 4-22899 A (日本鋼管株式会社) 1992.01.27, 2頁右下欄1行-4頁右上欄2行, 図1 (ファミリーなし)	11
A	JP 2013-88265 A (土橋 克広) 2013.05.13, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-12
A	CN 102332318 A (中国原子能科学研究院) 2012.01.25, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-12

フロントページの続き

(81)指定国・地域 AP(BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), EA(AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), EP(AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OA(BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG), AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT

(注) この公表は、国際事務局(WIPO)により国際公開された公報を基に作成したものである。なおこの公表に係る日本語特許出願(日本語実用新案登録出願)の国際公開の効果は、特許法第184条の10第1項(実用新案法第48条の13第2項)により生ずるものであり、本掲載とは関係ありません。