

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4391019号
(P4391019)

(45) 発行日 平成21年12月24日(2009.12.24)

(24) 登録日 平成21年10月16日(2009.10.16)

(51) Int.Cl.

F I

G 2 1 K 1/06 (2006.01)

G 2 1 K 1/06

A

G 2 1 K 1/06

B

請求項の数 15 (全 8 頁)

(21) 出願番号	特願2000-532855 (P2000-532855)	(73) 特許権者	500391110
(86) (22) 出願日	平成11年2月18日 (1999.2.18)		オスミック, インコーポレイテッド
(65) 公表番号	特表2002-504692 (P2002-504692A)		アメリカ合衆国48084 ミシガン州,
(43) 公表日	平成14年2月12日 (2002.2.12)		トロイ, ノースウッド ドライブ 178
(86) 国際出願番号	PCT/US1999/003304		8
(87) 国際公開番号	W01999/043008	(74) 代理人	100066692
(87) 国際公開日	平成11年8月26日 (1999.8.26)		弁理士 浅村 皓
審査請求日	平成17年2月28日 (2005.2.28)	(74) 代理人	100072040
(31) 優先権主張番号	09/026, 391		弁理士 浅村 肇
(32) 優先日	平成10年2月19日 (1998.2.19)	(74) 代理人	100080263
(33) 優先権主張国	米国 (US)		弁理士 岩本 行夫
		(74) 代理人	100087217
			弁理士 吉田 裕

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 並列カークパトリック・バエズ光学素子を備えた、X線方向付けシステム、X線反射システム及びX線光学素子

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

X線ビームを方向付けするためのX線方向付けシステムであって、

X線を方向転換する複数の並列カークパトリック・バエズ光学素子にして、各並列カークパトリック・バエズ光学素子が互いに90度の角度で隣接した第1の反射面と第2の反射面とを有していて、前記第1の反射面の端部と第2の反射面の端部がX線の進行方向の光軸に垂直な面においてL字状になるように隣接している、複数の並列カークパトリック・バエズ光学素子と、

前記複数の並列カークパトリック・バエズ光学素子を囲むハウジングを含み、

前記ハウジングが多角形断面並びにX線ビームの入口領域および出口領域を有する筒形構成であるシステム。

【請求項 2】

請求項 1 に記載のX線方向付けシステムにおいて、前記複数の並列カークパトリック・バエズ光学素子が多層ブラッグ・ミラーを有するシステム。

【請求項 3】

請求項 2 に記載のX線方向付けシステムにおいて、前記多層ブラッグ・ミラーが光軸に垂直方向に層厚分布を有するシステム。

【請求項 4】

請求項 2 に記載のX線方向付けシステムにおいて、前記多層ブラッグ・ミラーが異なる周波数のX線を反射するように構成されたシステム。

10

20

【請求項 5】

請求項 1 に記載の X 線方向付けシステムにおいて、前記並列カークパトリック・バエズ光学素子が長円反射面を有するシステム。

【請求項 6】

請求項 1 に記載の X 線方向付けシステムにおいて、前記並列カークパトリック・バエズ光学素子が放物反射面を有するシステム。

【請求項 7】

請求項 1 に記載の X 線方向付けシステムであって、更に X 線開口組立体を含み、前記組立体がその内部に結合されたフィルタ媒体を有し、前記組立体が前記 X 線の一部を掩蔽し、および前記フィルタ媒体が前記 X 線方向付けシステムに入る前記 X 線の一部を通すシステム。

10

【請求項 8】

X 線反射システムであって、
複数の X 線反射器を含み、
前記複数の X 線反射器が多層ブラッグ X 線反射器であり、
前記複数の X 線反射器が、互いの間に 90 度の角度をなすように、隣接配置されて、X 線入口領域および X 線出口領域を有する筒形構成を作っていて、
隣接した X 線反射器が、それらの端部と端部が X 線の進行方向の光軸に垂直な面において L 字状になるように隣接している並列カークパトリック・バエズ光学素子を形成している、X 線反射システム。

20

【請求項 9】

X 線光学素子であって、
4 つの X 線反射器を含み、
前記 4 つの X 線反射器が多層ブラッグ X 線反射器であり、
前記 4 つの X 線反射器が、互いの間に 90 度の角度をなすように、隣接配置されて、X 線入口および X 線出口と 4 角形断面を有する筒形構成を作っていて、
隣接した X 線反射器が、それらの端部と端部が X 線の進行方向の光軸に垂直な面において L 字状になるように隣接している並列カークパトリック・バエズ光学素子を形成している、X 線光学素子。

【請求項 10】

30

X 線光学素子であって、
2 つの並列カークパトリック・バエズ反射器にして、各並列カークパトリック・バエズ反射器が互いの間に 90 度の角度をなすように隣接配置された第 1 の多層ブラッグ・ミラーと第 2 の多層ブラッグ・ミラーを有しており、前記第 1 の多層ブラッグ・ミラーの端部と第 2 の多層ブラッグ・ミラーの端部が X 線の進行方向の光軸に垂直な面において L 字状になるように隣接していて、
前記 2 つの並列カークパトリック・バエズ反射器が隣接配置されて、4 角形断面並びに X 線入口開口および X 線出口開口を有する筒形構成を作っている、X 線光学素子。

【請求項 11】

請求項 10 に記載の X 線光学素子において、前記多層ブラッグ・ミラーが光軸に垂直方向に層厚分布を有する、X 線光学素子。

40

【請求項 12】

請求項 10 に記載の X 線光学素子において、前記多層ブラッグ・ミラーが異なる周波数の X 線を反射するように構成されている、X 線光学素子。

【請求項 13】

請求項 10 に記載の X 線光学素子において、前記並列カークパトリック・バエズ反射器が長円反射面を有する、X 線光学素子。

【請求項 14】

請求項 10 に記載の X 線光学素子において、前記並列カークパトリック・バエズ反射器が放物反射面を有する、X 線光学素子。

50

【請求項 15】

請求項 10 に記載の X 線光学素子であって、更に X 線開口組立体を含み、前記組立体がその内部に結合されたフィルタ媒体を有し、前記組立体が前記 X 線の一部を掩蔽し、および前記フィルタ媒体が前記 X 線光学素子に入る前記 X 線の一部を通す、X 線光学素子。

【発明の詳細な説明】

【0001】

(発明の背景)

本発明は、X 線光学素子に関する。更に詳しくは、本発明は、X 線ビームを調整し、方向付けし、焦点に集め、または平行にするための改良したカークパトリック・バエズ(Kirkpatrick-Baez)の光学装置に関する。

10

【0002】

調整し、方向付けし、焦点に集め、または平行にした X 線を利用する種々の用途がある。例えば、放射線治療システムは、悪性組織を破壊するために X 線を利用し、X 線回折またはマイクロ回折システムは、試料結晶にその格子構造に対応する回折パターンを作るために X 線放射を向け、および X 線蛍光分光システムは、指向性 X 線ビームを使用する。

【0003】

多くの用途で、ビームを 2 次元で導くのが望ましい。ビームを 2 次元で平行にするために、伝統的カークパトリック・バエズの光学方式が使われることがある。直列に配列した 2 つの交差ミラーが発散 X 線ビームを 2 つの方向に沿って独立に平行にする。点光源では、2 つの放物面ミラーを備えるこの直列のシステムが平行なビームを形成する。有限光源では、このシステムが 2 方向に発散の異なるビームを形成する。2 つの長円ミラーを備えるこの直列のシステムは、点光源がその焦点にある状態で、完全な実点像を生み出すことができる。視野物体に対しては、この像がこのシステムによって拡大または縮小される。2 つのミラーが物体から異なる距離にあるので、この倍率は、両方向で異なる。

20

【0004】

本発明は、並列方式を使うカークパトリック・バエズのシステムの革新的変形を使用する。この並列システムは、直列システムに関連する問題に対する解を与えると共に、他の利点をもたらす。並列システムのミラーは、線束を増し、X 線検出装置によるデータ収集に要する時間を短縮するために最適化した光学性能のために最も適切な位置に配設できる。この並列システムは、面不完全性の難点が少なく、それで整合誤差を防ぐために予備整合して接着されている。この並列光学素子は、また直列方式のそれより遙かにコンパクトで、スペースが貴重な用途に使えるようにする。並列光学素子の性能は、多層ブラッグ(Bragg) X 線反射器を組み込むことによって更に改良しうる。この多層反射器は、高い収集効率を生じる大きな反射角を有し、反射した X 線の周波数を選択する能力を与える。

30

【0005】

(発明の概要)

本発明は、カークパトリック・バエズの並列方式に基づく、新しい型式の X 線光学素子である。本発明は、カークパトリック・バエズ方式で予備整合しかつ互いに接着した多層ブラッグ反射器を組み込む。これらの反射器は、小さい試料上に焦点を合わせたとき大きい線束密度を生じ、多層構造がこの X 線光学素子に反射した周波数帯域を制御させる。この X 線光学素子は、X 線を広帯域、狭帯域、または単色、または周波数選択可能多色状態で反射する能力を有する。

40

【0006】

本発明の目的は、試料上の線束を増すことである。

本発明の他の目的は、X 線光学素子の収差を減らすことである。

本発明の他の目的は、容易に操作できるコンパクトな X 線光学素子を創ることである。

本発明の更なる目的は、容易に整合する X 線光学素子を提供することである。

本発明のその上更なる目的は、狭周波数帯域、単色、または周波数選択可能多色 X 線ビームを提供することである。

【0007】

50

(好適実施例の詳細な説明)

図1は、伝統的な直列配列したカークパトリック・バエズ・ミラーシステムの模式図である。この直列配列したミラーシステムは、発散X線ビームを2つの方向に沿って独立に反射することによって、X線ビームを焦点に集めまたは平行にすることができる。ミラー12aおよび12bは、直列に配列され、放物面または長円面で構成されてもよい。点線源10では、2つの放物面ミラーを備えるこの直列システムが平行なビームを形成する。有限光源では、この放物面システムが2方向に異なる発散を有する、焦点に集めたビームを形成する。長円ミラーが放物面ミラーに置き換わるとき、この直列配列したシステムは、点光源がその焦点にある状態で、完全な実点像を生み出すだろう。視野物体に対しては、この像はこのシステムによって拡大または縮小される。2つのミラーが物体から異なる距離にあるので、この倍率は、これらのミラーと物体を隔てる距離で変る。

10

【0008】

直列のカークパトリック・バエズ・システムの性能に大きく影響する幾つかの制限がある。両ミラーを最も最適化した位置に設置する方法がなく、それが線束が少なく、収差が大きい結果になる。反射面の理想的曲率からの象徴的ずれ $\Delta\alpha$ を考えると、像面における理想的位置からのX線のずれは、 $2\Delta\alpha l$ に等しい。ここで、 l は、入射点と像面の間の距離である。連続システムに対して、物体近くのミラー上の象徴的誤差が大きなずれになる。これらのミラーが反射器から異なる距離にあるとき、両ミラーが同じ角度ずれを有する場合、光源に最も近いミラーからの収差が大きい。直列のカークパトリック・バエズ・システムは、ミラーが視野物体距離に関して異なる位置にあるので、種々の倍率を有する。最後に、直列のカークパトリック・バエズ・ミラー用整合装置は、嵩張り、かつ複雑で、この整合手続は、これらの調整がビームに対する整合と両ミラーに対する整合を含むので、困難かつ時間が掛る。

20

【0009】

並列カークパトリック・バエズ・システムは、直列システムに関連する問題に解を与えると共に、他の利点をもたらす。図2に、並列システムを全体を16で示す。反射面18aおよび18bを90°の角度に隣接して取付ける。この並列システムは、直列システムが有するように、反射面間に距離オフセットがなく、起こり得る収差問題を減らす。

【0010】

図3aと図3bは、ミラー面上の第1作動領域20aおよび第2作動領域20bを示す、並列カークパトリック・バエズ・ミラーシステムの模式図である。これらの作動領域20aおよび20bは、反射面18aおよび18bの結合によって作られたコーナー上およびそれに隣接して位置する。

30

【0011】

図4は、入射および反射X線ビーム経路を示す、並列カークパトリック・バエズ・システムの更に詳しい模式図である。個々のX線ビーム26aおよび26bは、X線源10から放射され、このX線ビームの断面22で最初に検査されてもよい。このビームの断面22は、X線源10から出るX線ビームの多くの発散方向を示す。個々のX線ビーム26aは、全体として反射面18aと18bの接合部上にある作動領域20aに入射する。個々のX線ビーム26bも作動領域20aに入射する。ビーム26aおよび26bは、作動領域20aによって反射され、図3aおよび図3bに示すように、やはり全体として反射面18aと18bの接合部上に作動領域20aと対抗して一部それと重複して位置する作動領域20bへ方向転換される。ビーム26aおよび26bは、次にこのシステム16を出て、反射面18aと18bの形状およびX線源の形に応じて、発散、平行または焦点に集める形でもよい。この構成は、一般的に単一コーナー構成として知られている。

40

【0012】

本発明に対して、放物面または長円ミラー面の如何なる組合せを使ってもよい。例えば、一つの反射面が長円面を有し、第2の反射面が放物反射面を有してもよい。

【0013】

好適実施例の反射面は、全反射ミラー、結晶またはその他のX線反射構造を使ってもよ

50

いが、光軸に垂直方向に層厚分布 (g r a d e d d - s p a c i n g)を有する多層ブラッグミラーとして構成されている。ブラッグ構造は、次のブラッグの式を満足するときだけ X 線放射を反射する：

$$n \lambda = 2 d \sin (\theta)$$

ここで、

- n = 反射次数
- λ = 入射放射線の波長
- d = ブラッグ構造の層設定間隔または
結晶の格子面間隔
- θ = 入射角。

10

【 0 0 1 4 】

光軸に垂直方向に層厚分布 (g r a d e d d - s p a c i n g)を有する多層ブラッグミラーは、単色 X 線放射を反射するためにそれら固有のブラッグ構造を利用する、固定焦点を有する光学素子である。反射した X 線放射の帯域幅は、この光学および多層パラメータを操作することによってカスタマイズできる。この多層ミラーの層設定間隔は、この多層ミラー上のあらゆる点でブラッグの条件を満足するような仕方で作ることができる。この層設定間隔は、多層ミラーのバンドパスを制御するために側方または深さ方向に変えることができる。

【 0 0 1 5 】

この多層ミラーは、大きな反射角を有し、入射 X 線に対して高い収集効率を生じる。これらの多層ミラーは、全反射ミラーに比べて、微小焦点 X 線管で線束を 1 桁以上増すことができる。多層ミラーは、それらの単色出力のために、回折解析中に試料から出る望ましくない特性の放射線を数千倍減少することもできる。

20

【 0 0 1 6 】

図 5 a および図 5 b は、全体を 3 0 で示す、4 角形断面カークパトリック・バエズ光学素子の実例である。2 つの並列カークパトリック・バエズシステムを予備整合しかつ互いに結合して、4 つのコーナー 3 6 並びに入口領域 3 2 および出口領域 (図示せず) を有する X 線反射器を作る。図 5 a および図 5 b に 4 角形断面光学素子 3 0 を示すが、任意の数の並列システムを一緒に構成してもよいので、如何なる多角形断面構成も本発明の範囲内である。多角形断面を加えたので、本発明は、星形または多面構成をとる。各コーナーは、個々の焦点および解像度のために構成してもよい。

30

【 0 0 1 7 】

この 4 角形断面光学素子 3 0 は、入口領域および出口領域を備えた実質的に囲われた内面を有する任意の 3 次元物体として形成される、対称または筒形形態を有する。この 4 角形断面光学素子 3 0 は、結合した反射器表面のコーナー 3 6 に隣接する表面を利用して X 線を方向転換する点で、並列単一コーナー・システムに類似する。この 4 角形断面 X 線光学素子 3 0 の利点は、追加のコーナー 3 6 故に、反射領域が多く、反射したビームがこの 4 角形断面 X 線光学素子 3 0 を出るときに、その線束密度を増すことである。コーナーの間にある反射器表面のセグメント 3 8 も、図 5 b に示すように、X 線を所望の仕方で導く。単一コーナー形態におけるように、これらのミラーは、放物面、長円面、または放物面または長円面の任意の組合せを備えて構成してもよいが、それに限定されない。

40

【 0 0 1 8 】

長円ミラーを使う 4 角形断面光学素子 3 0 は、反射したビームを試料要素または X 線検出器上に焦点合わせされてもよい。従って、測定の解像度および角度範囲を同時に改良できる。収束方式で線束密度が増し、次にそれが良いコントラストを生じる。先に議論したように、多角形断面光学素子の各個々のコーナーは、異なる焦点距離を備えて構成してもよい。

【 0 0 1 9 】

4 角形断面カークパトリック・バエズ光学素子 3 0 の性能は、X 線反射面として光軸に垂直方向に層厚分布 (g r a d e d d - s p a c i n g)を有する多層ブラッグミラー

50

を利用することによってかなり向上することがある。先に議論したように、多層の線束出力は、他のX線反射技術の5倍も大きいことがあり、X線の選択した周波数帯域を反射する能力を有する。それでこの角形断面光学素子30の出力を狭周波数帯域、単色、または周波数選択可能多色出力に構成してもよい。層厚分布および曲率は、異なるコーナーまたはセグメントについて異なる波長を反射するように構成することができる。

【0020】

この種の光学素子30は、ビーム調整光学素子として使うとき、反射X線の周波数を制御することによって、異なるエネルギーレベルで光子を放出することができる。アナライザとして使用するとき、光学素子30は、試料またはその他の手段によって伝えられた関心のあるX線周波数を分析用に選択することができる。本発明の他の実施例では、反射したX線周波数の数は柔軟なビーム調整または分析用途を作るために増すことができる。

10

【0021】

図5aで分るように、この新しい4角形断面光学素子30を使うとき、X線開口組立体50を入口領域32、出口領域(図示せず)または両方に配置してもよい。この開口組立体は、この光学素子30の焦点に収束しない、望ましくないX線ビームのある周波数帯域を除去することができ、およびこの光学素子30は、同軸のX線ビームを通すフィルタ媒体54を有する。このフィルタ媒体54は、入口領域32から出口領域へこの4角形断面光学素子30を真っ直ぐに通過する同軸のX線ビームを通すように構成されている。このフィルタ媒体は、バンドパスフィルタ、ハイパスフィルタ、またはローパスフィルタでもよいがそれに限定されない。

20

【0022】

X線開口組立体50は、2次元に反射されるまたは反射されたX線を通過させるように構成された入口開口53を有する。X線開口組立体50は、図5bに示すように、セグメント38からの選択した単一反射X線を通過させる入口開口52も備えてよい。

【0023】

この発明は、上に図示しかつ説明した厳密な構造には限定されず、請求項で定義するこの発明の精神および範囲から逸脱することなく、種々の変更および修正をなすことができることを理解すべきである。

【図面の簡単な説明】

【図1】 伝統的な直列カークパトリック・バエズ・ミラーシステムの模式図である。

30

【図2】 並列カークパトリック・バエズ・ミラーシステムの模式図である。

【図3a】 並列カークパトリック・バエズ・ミラーシステムの作動領域を示す模式図である。

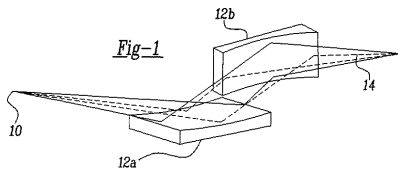
【図3b】 並列カークパトリック・バエズ・ミラーシステムの作動領域を示す模式図である。

【図4】 並列カークパトリック・バエズシステムのX線ビーム経路を示す更に詳しい模式図である。

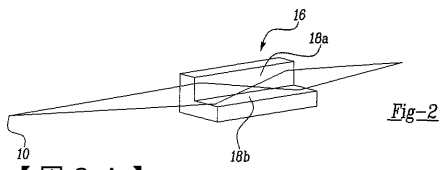
【図5a】 本発明の第2実施例の透視図である。

【図5b】 本発明の第2実施例の断面図である。

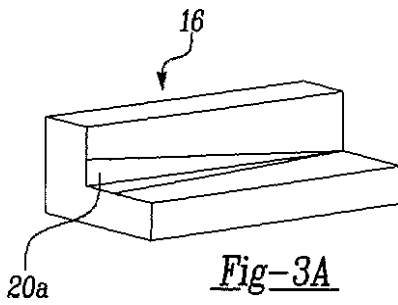
【図 1】



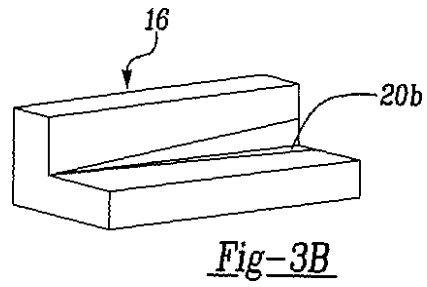
【図 2】



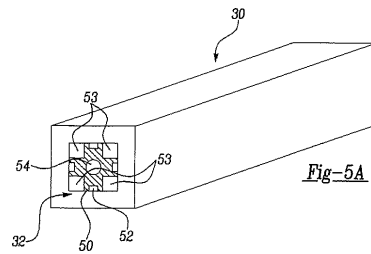
【図 3 A】



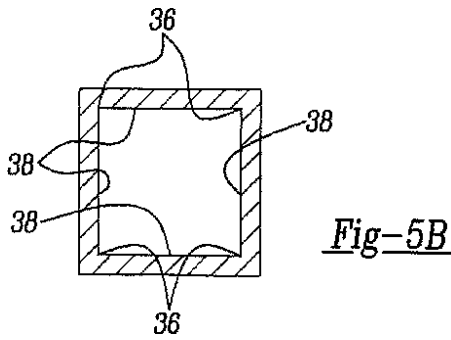
【図 3 B】



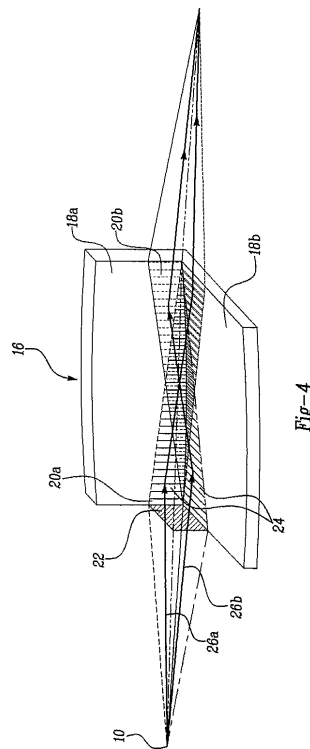
【図 5 A】



【図 5 B】



【図 4】



フロントページの続き

(72)発明者 ガットマン、ジョージ

アメリカ合衆国 ミシガン、バーミンガム、 ヨークシャー ドライブ 1109

(72)発明者 ジアン、リカイ

アメリカ合衆国 ミシガン、トロイ、チャーター 2848、 アpartment 206

(72)発明者 バーマン、ボリス

アメリカ合衆国 ミシガン、トロイ、クロックス ロード ナンバー67 2200

審査官 村川 雄一

(56)参考文献 特開平08-271697(JP,A)

特表平09-500453(JP,A)

特開平10-170699(JP,A)

特開平05-288898(JP,A)

James H.Underwood et al, "X-ray microscope with multilayer mirrors", Applied Optics
, 米国, 1986年 6月 1日, Vol.25, No.11, p.1730-1732

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G21K 1/00 - 3/00

G21K 5/00 - 7/00