

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公表特許公報(A)

(11) 特許出願公表番号

特表2005-530168
(P2005-530168A)

(43) 公表日 平成17年10月6日(2005.10.6)

(51) Int. Cl. ⁷ G 2 1 K 1/06	F I G 2 1 K 1/06 G 2 1 K 1/06	M B	テーマコード (参考)
---	-------------------------------------	--------	-------------

審査請求 未請求 予備審査請求 未請求 (全 22 頁)

(21) 出願番号 特願2004-514950 (P2004-514950)	(71) 出願人 504466258 グズノク XENOC S フランス国サスナーージュ、リュ、フランソワ、プリュメ、19
(86) (22) 出願日 平成15年6月19日 (2003.6.19)	(74) 代理人 100075812 弁理士 吉武 賢次
(85) 翻訳文提出日 平成17年2月15日 (2005.2.15)	(74) 代理人 100088889 弁理士 橋谷 英俊
(86) 国際出願番号 PCT/FR2003/001879	(74) 代理人 100082991 弁理士 佐藤 泰和
(87) 国際公開番号 W02004/001769	(74) 代理人 100096921 弁理士 吉元 弘
(87) 国際公開日 平成15年12月31日 (2003.12.31)	(74) 代理人 100103263 弁理士 川崎 康
(31) 優先権主張番号 02/07546	
(32) 優先日 平成14年6月19日 (2002.6.19)	
(33) 優先権主張国 フランス (FR)	
(31) 優先権主張番号 03/00623	
(32) 優先日 平成15年1月21日 (2003.1.21)	
(33) 優先権主張国 フランス (FR)	

最終頁に続く

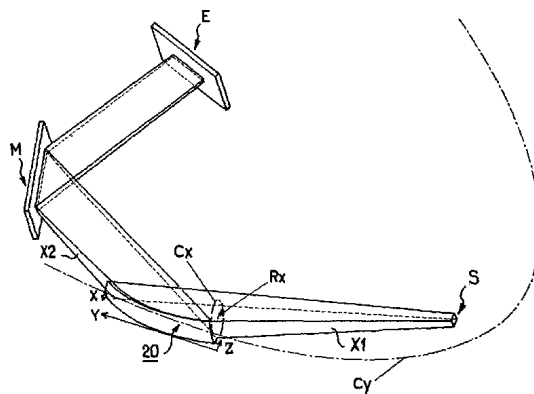
(54) 【発明の名称】 X線用光学装置

(57) 【要約】

本発明は、入射X線ビームを扱うことを意図した光学装置であって、

- ・モノクロメータ (M) と、
 - ・前記モノクロメータの目標にビームを適合させるために、反射面が2次元光学効果を生み出すことの可能な入射ビームを調整する光学要素 (20) と、
- を具備してなり、前記光学要素が多層構造タイプのX線に対する反射型の面を含んでおり、

前記反射面が単一面で構成され、前記反射面が2つの異なる方向に対応する2つの曲率に従って形成されていることを特徴とする光学装置に関する。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

入射 X 線ビームを扱うことを意図した光学装置であって、
モノクロメータ (M) と、

前記モノクロメータの目標にビームを適合させるために、反射面が 2 次元光学効果を生み出すことの可能な入射ビームを調整する光学要素 (20) と、

を具備し、前記光学要素が多層構造タイプの X 線に対する反射型の面を含んでおり、

前記反射面が単一面で構成され、前記反射面が 2 つの異なる方向に対応する 2 つの曲率に従って形成されていることを特徴とする光学装置。

【請求項 2】

10

前記単一の反射面が、横方向の勾配を有する多層タイプであることを特徴とする請求項 1 に記載の装置。

【請求項 3】

前記単一の反射面が深さ勾配を含んでいることを特徴とする請求項 1 および 2 のいずれかに記載の装置。

【請求項 4】

前記反射面が、2 つのそれぞれの二次元効果を生み出すために、前記 2 つの異なる方向のそれぞれにおいて形成されることを特徴とする請求項 1 ないし 3 のいずれかに記載の装置。

【請求項 5】

20

前記反射面が、第 1 の方向においてほぼ円形でありかつ第 2 の方向においてほぼ放物線形である幾何学形状を有していることを特徴とする請求項 1 ないし 4 のいずれかに記載の装置。

【請求項 6】

前記第 1 の方向が前記光学要素のサジタル方向であり、また前記第 2 の方向が前記光学要素のメリジオナル方向であることを特徴とする請求項 1 ないし 5 のいずれかに記載の装置。

【請求項 7】

前記反射面がほぼドーナツ型の幾何学形状を有していることを特徴とする請求項 1 ないし 4 のいずれかに記載の装置。

30

【請求項 8】

前記反射面が、ほぼ放物面状の幾何学形状を有していることを特徴とする請求項 1 ないし 4 のいずれかに記載の装置。

【請求項 9】

前記反射面がほぼ楕円体状の幾何学形状を有していることを特徴とする請求項 1 ないし 4 のいずれかに記載の装置。

【請求項 10】

前記反射面が線 Cu - K または Mo - K の光線を反射することが可能であることを特徴とする請求項 1 ないし 9 のいずれかに記載の装置。

【請求項 11】

40

前記モノクロメータがゲルマニウム結晶であり、また前記光学調整要素が横方向の勾配を有する W / Si 多層被覆を含むことを特徴とする請求項 1 ないし 10 のいずれかに記載の装置。

【請求項 12】

前記装置の前記光学要素が約 2 cm の長さを有しており、約 300 * 300 ミクロンのサンプル点を生成するために、前記装置が約数十ミクロン x 数十ミクロンの大きさの X 線源で使用可能であることを特徴とする請求項 1 ないし 11 のいずれかに記載の装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

50

本発明は、波長の分解能が高いX線計測用光学装置に関する。

【0002】

より正確には、本発明は、入射X線ビームを扱うことを意図された光学装置であって、
 ・モノクロメータ [monochromator 単色光分光器] と、
 ・前記モノクロメータの目標にビームを適合させるために、反射面が2次元光学効果を生み出すことの可能な入射ビームを処理する光学要素と、
 を具備してなり、前記光学要素が多層構造タイプのX線を反射する面を含んでいる光学装置に関する。

【背景技術】

【0003】

使用される単一または複数の反射面は、特に横方向の勾配を有する多層タイプとすることができる。

従って、本発明は、モノクロメータを使用する全てのX線計測分野に適用される。

【0004】

一例として、以下の用途を限定することなく挙げることができる。

- ・高分解能X線回折計測、
- ・X線蛍光、
- ・マイクロエレクトロニクス用のX線マイクロマッピング(またはマイクロ地図作成)応用。

本発明は、優れたスペクトル純度を必要とするため、モノクロメータを使用しなければならないX線計測分野に適用される。

【0005】

モノクロメータの基本的構成要素は、波長の面から見て、非常に高い分解能を達成でき、角度のある結晶である。モノクロメータは、結晶または幾つかの配列結晶から形成できる。

【0006】

上記タイプのモノクロメータの場合、入射X線の回折はブラッグの法則に従って行われる。

【0007】

結晶に対するブラッグの条件は、 $n = 2d \sin$ の形式であり、ここでnは反射順序(order)、は回折が生じる入射放射線の波長、dは回折に関連する結晶の原子面間の間隔周期、または回折現象が生じるのに必要なこれらの同じ原子面上の入射角である。

【0008】

X線の入射ビームを考慮する場合、結晶の特定の原子面群に対して非常に正確な入射角で結晶に入射する波長の光線は、上述したブラッグの条件が満たされるのであれば、これらの同じ原子面によって回折される。

【0009】

単色ビームのこの回折現象は、基準角に関する特定の角度容認で生じる。

【0010】

従って、この角度容認は以下によって定義される。

【0011】

・モノクロメータの回折光線の基準入射角に対応する角度(はブラッグ角という用語により既知である)であって、は結晶および波長の関数であり、特定の波長に対する反射率ピーク $R = f$ の最大値に相当する。

・この基準入射角に関する許容値。許容値は、角度容認に相当する入射角の範囲幅を規定する。

【0012】

上記タイプの装置で使用されるモノクロメータの角度容認は、非常に小さい。一例として、X線源がK銅源(=1.54オングストローム)である用途で使用されるゲルマ

10

20

30

40

50

ニウム結晶モノクロメータの場合、角度容認は（約 20° の基準入射角に関して） 0.00336° である。

【0013】

従って、特定のX線源（この光源は例えば回転陽極、X線管またはマイクロソースタイプであってよい）から、光源から発せられるX線を適切に調整することなく、放射状に発せられる多数の光線が、モノクロメータの角度容認からかなり離れた入射角でモノクロメータに達することが理解されるであろう。

【0014】

これらの光子はモノクロメータによって反射されることはないので、光束の損失が大きくなってしまふ。

10

【発明の開示】

【0015】

この欠点を緩和させるために、モノクロメータの上流に、入射ビームを調整する手段を設けることが知られている。

【0016】

このような調整手段の主要な機能は、基準入射角 についてのあるモノクロメータの角度容認によって定義される入射範囲に含まれる（モノクロメータの面に対する）入射角で、入射X線の可能な最大部分の方向合わせを行うことである。

【0017】

従って、光源から発せられる発散初期ビームを全反射で集光するガラス毛管の形でこれら調整手段を生成し、またモノクロメータに向かうビームに平行化することが知られている。

20

【0018】

しかし、このような調整手段に関する1つの制限は、このタイプの光学構成要素が、非常に小さな入射角（一般に 0.1° 未満）でX線を反射できることである。

【0019】

従って、光学系で実現される光束は、一般に小さい。

【0020】

また、一次元の光学的効果を生じさせる多層光学要素の形で調整手段を生成することも知られている。これらの光学要素は発散入射ビームを平行化することの可能な放物線形状と、入射X線をブラッグの法則に従って回折する多層被覆とを有している。

30

【0021】

この既知の構成図を図1に示すが、同図は調整手段31の目標に特定の発散（これら調整手段の面が適合する放物線を破線で示す）を有する初期ビームX1を生成するX線源Sを示している。

【0022】

ここでまた、調整手段は、モノクロメータMに向かうビームX2として初期ビームX1を反射する。

このタイプの一次元光学要素は、G o u b e lミラーという用語で知られている。

G o u b e lミラーのような曲線状基板の場合、多層は、ミラーの大きな面でブラッグの条件を維持するためにミラーに沿って変化する層構造（従って多層の周期dを意味する）を有している。

40

従って、横方向の勾配を有する多層ミラーは、入射光線が可変局所入射角を有するミラーの異なる領域によって、波長が所定の範囲に属するX線の反射を可能にする。

【0023】

このような調整手段は、入射ビームを、X線の伝播方向が、モノクロメータの角度容認範囲内にあるモノクロメータの値 に相当するモノクロメータに対する入射方向にほぼ平行になっているビームX2に平行化することが可能である。

【0024】

しかし、このような調整手段は、単一面（上述した例における図1の面）においてのみ

50

初期ビーム X 1 を平行化させることができる。

【0025】

従って、この面に鉛直な面の発散は処理されないため、その結果、多くの X 線を使用することができない。

【0026】

従って、一次元の効果を有するこれら既知の調整手段の 1 つの制限は、ある初期ビーム X 1 に対して、モノクロメータの角度容認に適合する方向における平行 X 線の光束が制限されたままになっていることである。

【0027】

なお、この点に関して、モノクロメータからの出力で、本発明の応用分野における小さなサイズのビーム（一般に 2 mm 未満）を得る必要がある。

【0028】

実際、モノクロメータから発するビームは、その寸法がこのオーダーでなければならぬ「像点」を生成する。

【0029】

像点は、「像平面」として知られる面に含まれる。

【0030】

マイクロメータに達する「有益な」光束を増加させるために、反射面が横方向の勾配を示す 2 次元光学系の形で、初期ビームを調整する手段を生成する方法が知られている。

【0031】

このような光学系は、図 2 に示すように、「隣接カークパトリック - バエズ」装置の形で製造される。

本文の残り部分において、「カークパトリック - バエズ」構造を「KB」と称する。

従って、この図は、平行して対応する 2 つのミラー 331 および 332 を含む要素 33（ミラー 331 の方向 Z と、ミラー 332 の方向 X とに平行な軸）。

【0032】

これら 2 つのミラーの面は、互いに鉛直な 2 つの軸上に中心を置く曲率を有している。

【0033】

このタイプの光学系の場合、所望の調整は二重反射によって行われ、各ミラー 331、332 は 1 つの軸に沿って一次元の光学効果を生み出す。

【0034】

従って、2 つのミラーのそれぞれは、平行化または集束化を行うことができる。

【0035】

モノクロメータ M は、要素 33 で反射された光束 X 2 を受ける。

【0036】

このタイプの光学要素 33 の説明は、米国特許 US 第 6,041,099 号公報に記載されている。

【0037】

なお、調整手段は、2 つのミラーが平行に設けられていない「KB」装置の形で製造されうる。

【0038】

Goubel ミラータイプの調整手段と比較してみると、このような二次元効果を有する調整手段は、モノクロメータの角度容認に対応する入射角の範囲内で、発散初期ビーム X 1 から発する光線の大部分を回収することができる。

【0039】

本発明の 1 つの目的は、このような装置の性能を更に改善することにある。

【0040】

特に、本発明は、発散初期ビームから最大光束量を集め、また上記のように調整手段を含む装置によって生成されるものよりも優れた単色光束を出力で生成することを目的としている。

10

20

30

40

50

【0041】

従って、特定の目的における本発明は、このような装置の出力での光束を増加させるために、サイズの大きいX線源を活用可能にすることを目的としている。

【0042】

本発明はまた、このような装置のコンパクト性を改善可能にすることを目的としている。

【0043】

これらの目的を達成するために、本発明は、入射X線ビームを扱うことを意図した光学装置であって、

- ・モノクロメータ(M)と、
- ・モノクロメータの目標にビームを適合させるために、反射面が2次元光学効果を生み出すことの可能な入射ビームを調整する光学要素(20)とを具備してなり、前記光学要素が多層構造タイプのX線を反射する面を含んでおり、前記反射面が単一面で構成され、前記反射面が2つの異なる方向に対応する2つの曲率に従って形成されていることを特徴とする光学装置を提案している。

10

【0044】

この装置の好適ではあるが、限定されない側面は以下の通りである。

【0045】

- ・前記単一の反射面が、横方向の勾配を有する多層タイプである。
- ・前記単一の反射面が深さ勾配を含んでいる。
- ・前記反射面が、2つのそれぞれの一次元効果を生み出すために、前記2つの異なる方向のそれぞれにおいて形成される。
- ・前記反射面が、第1の方向においてほぼ円形であり、かつ第2の方向においてほぼ放物線形である幾何学形状を有している。
- ・前記第1の方向が前記光学要素のサジタル[sagittal 矢状方向・球欠]方向であり、また前記第2の方向が前記光学要素のメリジナル[meridional 子午線・経線]方向である。
- ・前記反射面は、ほぼドーナツ型の幾何学形状[トロイダル形状(troidal geometry)]を有している。
- ・前記反射面は、ほぼ放物面状の幾何学形状[パラボラ形状(paraboloidal geometry)]を有している。
- ・前記反射面は、ほぼ楕円形状(ellipsoidal geometry)の幾何学形状を有している。
- ・前記反射面は、線Cu-K(銅カリウム)またはMo-K(モリブデンカリウム)の光線を反射することが可能である。
- ・前記モノクロメータがゲルマニウム結晶であり、また前記光学調整要素が横方向の勾配を有するW/Si(タングステン/シリコン)多層被覆から構成される。
- ・前記装置の前記光学要素が約2cmの長さを有しており、約300*300ミクロンのサンプル点を生成するために、前記装置が約数十ミクロン×数十ミクロンの大きさのX線源で使用可能である。

20

30

40

【0046】

本発明の他の態様、目的、および効果は、従来技術を参照して述べた図1および2を除く添付図面を参照して、本発明の以下の説明を読むことにより、更に明瞭に明らかとなるであろう。

【0047】

なお、この説明の序文として、図面は本発明の原理を図解することを目的としており、必ずしも寸法および尺度を写實的にあらわしていない。

【0048】

このことは、特にX線の入射(あるいは反射でさえも)の角度に対しても真実である。

【0049】

50

実際に、これら X 線は 10° 未満の入射角で本発明による反射面に到達する。

メリジオナルおよびサジタル方向も、X 線ビームの一般的な伝播方向に対して規定される。

・メリジオナル方向は、このビームの平均伝播方向（更に正確には、関連する光学アセンブリ上の反射の前後におけるビームの平均伝播方向間の平均方向）に相当する。

・サジタル方向は、このメリジオナル方向の水平横方向（ここで、垂直は、後に説明されかつ入射 X 線ビームを反射させるのに実際に使用される光学アセンブリの反射面の一部に対する平均法線によって定義される）に相当する。

【発明を実施するための最良の形態】

【0050】

図3を参照すると、本発明による装置が、サンプルEの上流に配置されているのが示されている。

この装置は、

- ・ある発散を有する X1 で示す初期 X 線ビームを調整する手段と、
- ・ある角度容認に関連するモノクロメータ M とを含んでいる。

【0051】

調整手段は、本発明のこの実施例においては、X 線源 S から発せられる初期ビーム X1 の光線を反射することを目的とする光学要素 20 の形で製造される。

【0052】

図3の場合、光学要素 30 は、第1の次元において平行化を行い、かつ第2の異なる次元において焦束を行う。

光源 S は特に、X 線管、回転陽極、またはマイクロフォーカスタイプの X 線源であってよい。

光学要素 20 は、（例えばガラス製の）基板上に形成された多層構造体を含んでおり、これはビーム X1 の X 線に対する反射面を規定する。

この光学要素の単一の反射面は、特殊な幾何学形状を有している。

更に正確には、この反射面は、2つの異なる方向に相当する2つの曲率に従って形成されている。

【0053】

従って、この反射面は、米国特許 US 第 6,041,099 号公報に開示されているような光学アセンブリで使用されている種類の反射面に対して著しい違いを有している。

・2つの異なる基本ミラーが取り付けられている光学アセンブリの場合とは異なり、反射面が単一の反射面になっている。

・この反射面は一定である（この用語は、本文では、反射面がいずれの二次不連続部、すなわち角度点または縁部 - 凸部または凹部 - などを示していないことを意味する）。

・更に、重要である違いは、本発明の場合、必要な二次元光学効果を生成するために、入射光線が単一の反射を受けるのみである一方、例えば米国特許 US 6,041,099 号公報の教示を再現する調整手段を使用する光学アセンブリの場合、2回の反射が必要である。

【0054】

本発明において考慮される光学調整要素の説明

図3に示す実施例を詳細に述べる前に、本発明の一般的な特徴を開示する。

【0055】

本発明による光学要素の反射面は、サジタル方向 X において曲率 C_x を有し、またメリジオナル方向 Y において曲率 C_y を有している。

【0056】

図3はこれらの曲率を示しており、2つの曲率 C_x および C_y を破線で示している。

【0057】

曲線 C_x 、 C_y のそれぞれは円であってよいが、楕円、放物線、または他の曲線（開または閉）であってよい。

10

20

30

40

50

【0058】

いずれの場合も、光学調整要素の反射面は、単純な球状を有していない。

【0059】

従って、曲線 C_x 、 C_y のそれぞれは、空間における異なる方向（ここで述べる例では、2つの鉛直方向）に関連している。

また、これら曲線のそれぞれは、反射面で反射された X 線の一次元光学効果を生み出す。

・曲線 C_x は、方向 X において一次元光学効果を生み出す。

・曲線 C_y は、方向 Y において一次元光学効果を生み出す。

また、これら次元効果のそれぞれは、曲線に関連する曲率と、この曲線に沿った変化の法則とに依存している。 10

従って、集束や一次元平行化などの関連する一次元効果を選択的に得るために、曲線 C_x および C_y をパラメータ化することが可能となる。

【0060】

図3は、本発明の一実施例を示している。

本実施例において、曲線 C_x により一次元集束が行われ、また曲線 C_y によって一次元平行化が行われる。

図3の光学要素20の多層の反射面は、この目的のために、それぞれ円形および放物線形である2つの曲線 C_x および C_y における各方向 X および Y において形成されており、これら曲線のそれぞれは、面 XY および面 YZ においてそれぞれ特定の面内で一次元効果を生み出している。 20

従って、発散ビーム X1 からは、空間における一次元において平行化がおこなわれ、別の次元では集束が行われる。

【0061】

本発明の変形例によれば、モノクロメータ上で入射ビームを調整する手段は、2つの次元において平行化を行う光学要素でありうる。

この場合、曲線 C_x および C_y は共に、放物線として形成される。

図3における本発明の実施例に戻ると、モノクロメータ M は、ビーム X2 の平均方向がモノクロメータの入射角に相当するか、あるいはこのモノクロメータの角度容認に対応可能な角度に相当するよう位置している。 30

このように、このモノクロの角度容認によって規定される許容範囲内でモノクロメータに到達する X 線光束は、垂直方向（方向 Z）において最大化されるが、サジタル方向においても最大化される。

【0062】

ここで述べるべきことは、本発明によれば、（本明細書の後で説明するように、横方向の勾配、また可能であれば深さ勾配も有している）多層ミラーから構成される光学要素を備える調整手段を生成することが可能であり、この多層ミラーの反射面は、反射ビーム X2 をモノクロメータに再び方向付けるのに必要な機能を満たすことのできる様々な非球面の複雑な形状の中の1つを保有することができる、ということである。

従って、特に、この反射面に以下の幾何学形状のいずれかを与えることができる。 40

【0063】

・ほぼドーナツ型の幾何学形状。

・ほぼ放物面状の幾何学形状。

・ほぼ楕円面状の幾何学形状。

・第1の方向（特にサジタル方向において）においてほぼ円形でありかつ第2の方向（特にメリジオナル方向において）ほぼ放物線形である幾何学形状。

横方向の勾配は、特に入射 X 線のメリジオナル方向に拡張可能である。

【0064】

また、多層の周期を適合させて、特に線 $Cu - K$ または $Mo - K$ の光線を反射することができる。

サジタル面（すなわち、図3における面XY）において集束を行う本発明の実施例の場合、曲率半径 R_x （サジタル曲率半径）は、本発明の好適な一応用例による90cm未満の短い距離（光源-点集束距離）で集束を行うのに必要な20mm未満の値を有することができる。

【0065】

なお、本発明による装置におけるビーム調整手段として使用される光学要素は、KPタイプの光学アセンブリの欠点と制限を無くすものである。特に、

- ・この光学アセンブリは（扱いにくいアセンブリを必要としない）単一部に存在する。
- ・入射X線は、その反射面上で単一の反射を受けるのみである。

光学要素20の反射面が多層によって規定されることは上述した。

10

実際に全ての場合における（本文で扱う全ての多層のように）この多層は、最小の1つの「横方向の勾配」で成り立っている。

この特徴により、要素20の反射面に対して異なる局所入射角を有するX線を効果的に反射することができる。

【0066】

実際に、この反射面上の様々な点が、（入射ビームの発散と、この反射面の幾何学形状のために）同一の局所入射角を有する入射X線を受けることはない。

横方向の勾配を有する多層は、ここでは、ブラッグの条件がミラーの通常の面上のあらゆる点で満たされるように層構造が適合された多層を意味している。

従って、例えば銅のK線（0.154nmに近い波長を有するCu-K線）を含む狭波長帯域における入射X線の放射の場合、横方向に勾配を有する多層ミラーにより、ミラーの通常の面全体でブラッグの条件を維持することが可能である。

20

これにより、入射光線が可変局所入射角を有するミラーの異なる領域によって、所定の波長（上記例では、銅K線を含む）を有する帯域の反射が行われる。

従って、実際に使用されるミラーの面領域を大きくすることができる。

【0067】

勾配は、ミラー上の位置に応じて多層の周期を変化させることにより得られる。

従って、このタイプの横方向勾配多層構造により、光学アセンブリの立体集光角を大きくすることができるので、全反射において機能する単層ミラーと比較して、同一の幾何学形状に対してより高い反射光束を得ることができる。

30

しかし、ちなみに、極端な場合、特に光学要素の曲率が小さく、このタイプの勾配を必要としない場合、多層は横方向の勾配を有していなくてもよい。

【0068】

本発明の様々な実施例の多層は、深さ勾配も有してよい。

このような深さ勾配により、固定入射角および可変波長、あるいは可変入射角および固定波長に対してブラッグの条件を満たすことが可能である。

従って、1つの同一の特定の像平面（固定幾何学形状の場合-つまり、入射光線源と、光学アセンブリと、像平面との相対位置が一定である構造）で、例えば、光学アセンブリの多層の波長帯域幅を広げ、また異なる波長を有するX線を集束あるいは平行化することが可能である。

40

【0069】

このように、光学アセンブリに対して光源および/または単一あるいは複数の像平面を新たに位置合わせする必要なく、異なる波長を有するX線源を使用して、同一の光学アセンブリで様々な光源から発せられるX線を反射させることができる。

この場合、光学アセンブリの波長における許容範囲（ θ における許容範囲）が使用される。

同様に、この θ における許容範囲を θ' における許容範囲に変換することも可能であり、 θ' は要素20の入射角である。

実際、波長の許容範囲は、ブラッグの条件に照らして、入射角の許容範囲に対応するので、入射ビームの一定波長の場合、同一波長の光線が異なる局所入射角を有する入射光束

50

を集光および反射することが可能である。

特に、このように、大きなサイズ（光学構成要素の角度容認の増大）のX線源を使用することができる。

従って、多層において深さ勾配を有する調整手段を生成することにより、本発明を実施する1つの選択が得られる。

【0070】

二次元調整手段の情報

モノクロメータ上の入射放射を調整する二次元光学系を使用することにより、モノクロメータの基準面上で固定入射角を維持するために第1の次元で平行化を行い、また一方で最大入射光束を集めるために（サジタル面XYで規定される）第2の次元で第2の次元効果を生み出すことが可能である。

10

【0071】

第2の次元における調整は、集束または平行化である。

例として、このような機能を図3に示す。（調整手段20によって反射される）ビームX2に対して、モノクロメータの角度容認における約 の入射角を維持するために、面YZにおいて面YZの発散光線が平行化される。

光学要素20によって行われる第1の次元による平行化機能により、回折面におけるビームの角発散を制限することができる（各反射X線の場合、回折面は、入射ビームと反射ビームとを含む反射面に垂直な面として定義される）。

サンプルで集められるX線光束を増加させる目的で、例えば、図3の場合のXY面（サジタル面）上において、第2の次元の調整を行うことは効果的である。

20

【0072】

これにより、この面における発散を制限することができるので、光源から集められ、モノクロメータでの反射後にサンプルで投射されるX線光束を最大化することが可能になる。

【0073】

（やはり図3を参照して）第2の次元におけるこの調整が行われる一方で、モノクロメータの動作状態を確実にする（回折面における角発散を制限する）。上述したように、第2の次元における調整は集束または平行化であってよい。

【0074】

集束を行うことによる第2の方向（サジタル）における光束の増加が可能となることは、当該応用例の場合にモノクロメータでのサジタル面において容認された角発散 が大きくなるので、とりわけ有利である。

30

これは、（直面する集束条件および当該モノクロメータの種類に対して）本発明の応用分野の場合、モノクロメータ上の入射X線の入射角に対して、第2の次元（サジタル次元）における発散 はあまり影響を持たないためである。

【0075】

図4を参照すると、サジタル面における発散 は、（例えば光学系の中心で決まる）同一面における調整光学系X_Iの有用幅と、集束距離d_{FOC}（光学系-像点距離）とによって与えられる。従って、方向Xにおける発散 は以下の式によって近似させることが可能である。

40

$\tan(\theta) = ((X_I / 2 - L / 2) / (d_{FOC}))$ 、ここでLはサジタル面における像点の幅である。

サジタル面における発散 （ と呼ぶ）のモノクロメータの角度許容範囲が、ブラッグ角 とこのモノクロメータの角度容認 との関数であることが知られている。M. SchusterおよびH. Goubelによる文書、J. Phys. D: 応用物理 28 (1995) A270~A275「テーラード多層を使用したチャンネルカットモノクロメータに結合される平行ビーム」を参照すると、この角度許容範囲 は以下のように表される。

【0076】

50

$((\theta / \tan \theta) * 2)^{1/2} =$ 、この式において、 θ および θ_0 はラジアンで表される。

【0077】

従って、サジタル面における角発散の許容範囲は、例えばCu-K 応用例のゲルマニウム結晶に対して決定される ($\theta = 22.65^\circ$ 、 $\theta_0 = 0.00336^\circ$)。

従って、1°オーダーの制限発散(ビームX2の発散の角度許容範囲)が計算され、これは本発明の応用分野に必要な収束よりもかなり上である。

その結果、モノクロメータは、当該第2の方向(図3における方向X)における入射ビームX2の更に多くの発散を受けることができる。

そのため、当該第2の方向(サジタル方向)に対して、光源からの最大光束量を集めることは有利である。 10

この一般的な目的は、本発明による装置と、調整手段、KBタイプの光学アセンブリを機知の方法で使用する装置とに関連している。

KBタイプの調整手段を含む装置と比較したときの特定の利点についての別の主要部分
当該第2の方向において、つまり、モノクロメータが更に多くの発散を許容する方向(図3の場合、方向X)において、多層被覆を有する「KBタイプ」(隣接している、あるいはしていない)の二次元光学アセンブリによって、初期ビーム調整を実施する装置と比較すると、本発明は光源から更に多くの光束を集めることができる。

【0078】

2つの現象によりこのゲインを光束に生じさせるが、これら現象について以下に説明する。 20

・まず、(メリジオナル方向における)特定の長さを有する要素20などの光学要素を有する本発明の場合、サジタル方向において捕獲角度が得られるが、これはKB光学系によって調整を実施する従来の構造で得られる角度よりも大きい。

・第二に、本発明で使用されているような二次元光学要素20はサジタル方向において初期ビームX1のより多くの発散を受けることができるので、この要素20上の何れの点においても大きな光源面を得ることができる。

これは、上述した第1のタイプも参照すると、KBタイプの光学アセンブリで行われる調整の場合、光学アセンブリ上のビームの平均伝播方向を横切る方向において立体集光角を大きくするために、この光学アセンブリの長さを大きくする必要があるからである。 30

これは、KB構造による二次元効果を得ることは、二重反射と密接な関係にあるためである。

実例として、また図2を考察すると、装置をXまたはZ方向に拡張する場合、ミラーをY方向に拡張する必要がある。

【0079】

この現象を、図5aおよび5bに示す。

実際、KBタイプの光学要素の場合、二重反射されるためには、何れの入射光線も(図5aおよび5bにおけるハッチングを施した領域に相当する)特定の領域の光学系に入射しなければならない。

従って、その結果として、このような既知のタイプの光学調整要素の場合(ミラーは連続または不連続である)、集められる立体角は、水平横断方向と垂直横断方向(方向Zまたは方向X)の両者に対する構成要素の長さによって制限される。 40

【0080】

KBタイプの光学アセンブリの場合、従って、(メリジオナル方向における)構成要素の長さは、立体集光角の横方向の構成要素と縦方向の構成要素の両方に影響を及ぼす。

本発明の場合、装置の長さを大きくすることなく、サジタル方向における立体集光角を大きくすることができる。

これは特に、光学系の体積と寸法を制限したい場合に重要である。

使用する光源が数十マイクロン×数十マイクロン(例えば40マイクロン×40マイクロン)のサイズを有するX線マイクロ光源であり、また分析するサンプル点が100マイクロン×1 50

00マイクロンオーダー（例えば300マイクロン×300マイクロン）であるマイクロエレクトロニクス用のX線マイクロマッピングの応用例としては、これは特に当てはまる。

【0081】

この場合、光学調整要素の長さを約2cmに制限することが望ましい。

また、大まかに言えば、装置の長さを制限することが求められる応用例の場合、本発明で使用する光学系の組み合わせは特に有利となり、またモノクロメータによって反射される光束を最大化する一方で、装置のサイズを最小に抑えることができる。

また、（光学系上のX線の平均伝播方向である）メリジナル方向における調整ミラーの拡張は、横方向の勾配が与えられる多層面を広げるという効果を有する。

このタイプの勾配は、光学構成要素の面の曲率を補償するために与えられる。

10

【0082】

図5aおよび5bにおいて、多層の勾配は、光学アセンブリの2つのミラーに対するY軸に沿って与えられる。

その結果、構成要素の長さを大きくすると、勾配が与えられる面が大きくなり、これにより、装置の製造が更に複雑になる。

本発明で考察されているような単一の反射を行う調整光学系の場合、例えば光学系の入口と出口に位置される取外し可能スロットのサイズを単に大きくすることによって、立体集光角をサジタル方向において大きくすることができる。

【0083】

本発明の別の利点は、光学調整アセンブリ上の何れの点においてもより大きな光源面を得ることができ、そのため像点における光束を最大化できることにある。

図6aおよび6b、および図2は、これらの図において規定される面XZに面が平行であるX線源を考察する場合のこの現象を示している。

図6aおよび6bは、本発明で使用されているような光学調整要素20を示している。

20

【0084】

図6aおよび6b、および図2による様々な光学系の配置を考慮すると、本発明で考察するような光学調整要素の場合、光学系上の何れかの点でサジタル方向において許容されている入射X線の角発散は、同一方向（すなわち方向X）におけるKBタイプの調整光学要素の許容されている角発散と比べると、比較的大きい。

光源の別の次元（すなわち方向Z）に沿って、2種類の二次元効果光学系上の何れかの点で許容される角発散は非常に近接しており、多層の角度容認によって制限される。

光源の中心SからのX線放射源点のZ方向への移動は、当該光学系の種類が何れであっても（KBタイプまたは本発明で考察されているような単一反射の光学系）、二次元光学要素上の何れの点でのこれらX線の入射角に直接的かつ著しく影響を及ぼす。

本発明で考察されているような光学調整要素の場合、図6aおよび6bを参照すると、光源の中心からの直接ビームと比較される（サジタル方向に相当する）方向Xにおける放射ビームの開きにより、光学系上の何れの点においても入射角がわずかに変化するのみである。

これら図6aおよび6bを参照すると、調整光学要素の中心Cでの入射X線の許容角発散を決定することができる。

30

40

【0085】

光学系の中心で効果的に反射可能な方向Zにおける光源サイズは、以下の式によって与えられる。

$ZI = (\cos \theta_s * p) (\tan \theta_{I1} - \tan \theta_{I2})$ 、ここでpは光源の中心と光学系の中心との間の距離、 θ_s は光源の中心Sから発せられる光線の光学系上の入射角、また θ_{I1} および θ_{I2} は多層の角度容認によって与えられる限界入射角である（ $\theta_{I1} - \theta_{I2}$ ）。

【0086】

図6aおよび6bを参照すると、方向Xの場合、光学系の中心Cで反射可能な光源サイズは、以下の式で与えられる。

50

$$X_I = 2 \left((p \sin \theta_s / \tan \theta_I)^2 - (p \cos \theta_s)^2 \right)^{1/2}$$

上記で与えられている数値 X_I および Z_I は、多層の角度容認の制限内で決定される光源サイズである。

例として、銅 K α 応用例で使用されている W/Si 被覆の場合、(光学調整要素 20 の) 多層の角度容認は、 1.26° の角度に関しては 0.052° である。

また、光源の中心から発せられるビームの光学系上での入射角 θ_s が多層のブラッグ角で与えられるよう、光学系と光源を配置することも考えられる。

12 cm の標準光源 - 光学系距離の場合、本発明で考慮されているように光学系の中心でサジタル方向において集光可能な光源サイズは 5 cm オーダーであり、また方向 Z に対しては約 110 ミクロンである。 10

【0087】

また、例として、多層のタイプと光源 - 光学系距離が同一の KB 光学アセンブリの場合、特定の点において効果的に集光可能な光源サイズは、考慮する 2 つの方向 (図 2 を参照して X および Z) に対して約 110 ミクロンに制限される。これを説明する理由については後に述べる。

上記の数値は、比較した光学調整要素によって許容されうる入射ビームの角発散の (W/S 多層の上記場合における) 理論上の制限を構成している。

しかし、本発明による装置の場合、像点で集められる光束を最終的に最大化するために、サジタル方向におけるモノクロメータによって許容される発散の他に、得ようとする像に関連する仕様 (サイズ、距離) も考慮しなければならない。 20

これらを考慮すると、本発明で考察される光学調整要素の光源から獲得される光束の潜在的ゲインは重要である。

【0088】

実際、光学調整アセンブリ上のある点において、例えば X 線源とこの光学調整アセンブリとの間の距離が 12 cm で、300 ミクロン \times 300 ミクロンのサイズの標準 X 線源について考慮してみると、KB 光学アセンブリの調整による既知の装置の場合よりも、サジタル方向における光源の面積が大きくなっているのが分かる。

従って、本発明の場合、光学系上の何れの点においてもサジタル方向において 300 ミクロンの光源を集めることができ、これは、例えば光学系から 40 cm の所に位置する 1 mm 幅の像点など、必要な像点がサジタル方向において比較的幅広い場合に確かな利点であることを表している。 30

従って、本発明による装置が、特定の方向において、光源から発せられるビーム X1 の比較的大きな発散を許容していることが理解されよう。これは、KB タイプの調整要素を使用する既知の装置には当てはまらない。

【0089】

図 2 および KB 光学系を参照すると、第 1 の水平ミラー 332 の光学系上のある点で効果的に反射される入射ビームの発散に特定の自由度を与える方向は、垂直ミラー 331 である第 2 の光学系の中心に鉛直な方向である。

しかし、2 つのミラーを有するこの既知の構成の場合、ミラーの面に垂直またはほぼ垂直な方向は、入射ビームの発散によって入射角が著しく変化する方向に相当する。 40

従って、KB タイプのアセンブリ上のある点で制御可能な光源サイズは、二重反射現象により、光源の 2 つの次元に対する多層の角度容認によって制限される。本発明はまた、この制限も無くすものである。

【図面の簡単な説明】

【0090】

【図 1】公知の X 線用光学装置における初期ビームを生成する X 線源を示す構成図である。

【図 2】従来の光学系としての隣接カークパトリック - バエズ装置を示す説明図である。

【図 3】本発明の一実施例による光学装置の全体図を示す。

【図4】同装置の上面図である。

【図5 a】非常にコンパクトである本発明による装置に匹敵する性能を達成するために、既知のタイプの装置を適合させる場合に必要となる拡張を示す。

【図5 b】非常にコンパクトである本発明による装置に匹敵する性能を達成するために、既知のタイプの装置を適合させる場合に必要となる拡張を示す。

【図6 a】本発明で考慮されるような二次元効果光学調整要素のある点で許容される角発散を決定することを可能にする図である。

【図6 b】本発明で考慮されるような二次元効果光学調整要素のある点で許容される角発散を決定することを可能にする図である。

【図1】

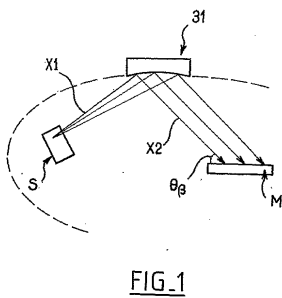


FIG.1

【図3】

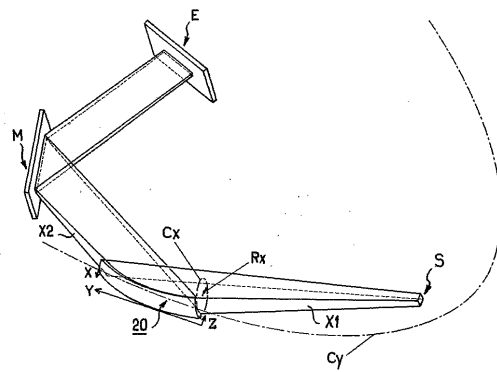


FIG.3

【図2】

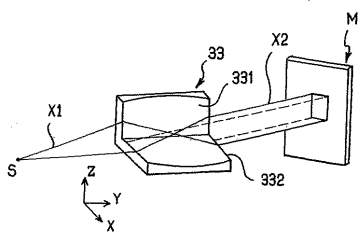


FIG.2

【図4】

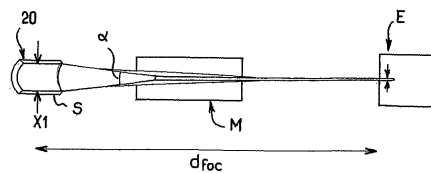


FIG.4

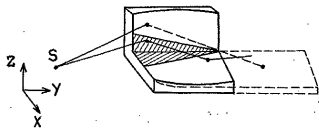


FIG. 5a

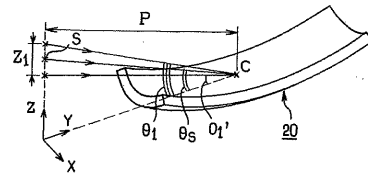


FIG. 6a

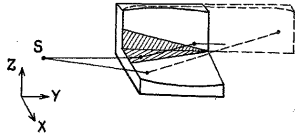


FIG. 5b

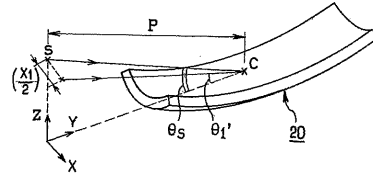


FIG. 6b

【 国際調査報告 】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT		International Application No. PCT/FR 03/01879
A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER IPC 7 G21K1/06		
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) IPC 7 G21K		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used) EPO-Internal, WPI Data, PAJ, INSPEC		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	SASANUMA Y ET AL: "A point-focusing small-angle x-ray scattering camera using a doubly curved monochromator of a W/Si multilayer" REVIEW OF SCIENTIFIC INSTRUMENTS, AMERICAN INSTITUTE OF PHYSICS, NEW YORK, US, vol. 67, no. 3, 1 March 1996 (1996-03-01), pages 688-692, XP002079328 ISSN: 0034-6748	1,4,10
A	page 688, right-hand column, paragraph 1 - page 689, left-hand column, paragraph 1	11
Y	US 5 999 262 A (DOBSCHAL HANS-JUERGEN ET AL) 7 December 1999 (1999-12-07) column 5, line 62 - column 6, line 3; figure 2	1,4,10
	----- -/--	
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of box C. <input checked="" type="checkbox"/> Patent family members are listed in 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 document 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. "Z" document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search 5 November 2003		Date of mailing of the international search report 13/11/2003
Name and mailing address of the ISA European Patent Office, P. B. 5618 Patentlaan 2 NL - 2260 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl, Fax: (+31-70) 340-3016		Authorized officer Capostagno, E

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No
PCT/FR 03/01879

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 6 317 483 B1 (CHEN ZEWU) 13 November 2001 (2001-11-13) the whole document -----	2,7-9,11
A	US 5 799 056 A (GUTMAN GEORGE) 25 August 1998 (1998-08-25) column 3, line 64 - column 4, line 7; figures 2,3 -----	2,3,11

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/FR 03/01879

Patent document cited in search report		Publication date		Patent family member(s)	Publication date
US 5999262	A	07-12-1999	DE	19615366 A1	23-10-1997
			WO	9740366 A1	30-10-1997
			EP	0834066 A1	08-04-1998
US 6317483	B1	13-11-2001	AU	1802101 A	04-06-2001
			EP	1234310 A1	28-08-2002
			JP	2003515729 T	07-05-2003
			WO	0139211 A1	31-05-2001
US 5799056	A	25-08-1998	US	5646976 A	08-07-1997
			DE	69514810 D1	02-03-2000
			DE	69514810 T2	06-07-2000
			EP	0774156 A1	21-05-1997
			WO	9604665 A1	15-02-1996

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale No

PCT/FR 03/01879

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE CIB 7 621K1/06		
Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB		
B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE		
Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement) CIB 7 621K		
Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche		
Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si réalisable, termes de recherche utilisés) EPO-Internal, WPI Data, PAJ, INSPEC		
C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		
Catégorie *	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
Y	SASANUMA Y ET AL: "A point-focusing small-angle x-ray scattering camera using a doubly curved monochromator of a W/Si multilayer" REVIEW OF SCIENTIFIC INSTRUMENTS, AMERICAN INSTITUTE OF PHYSICS. NEW YORK, US, vol. 67, no. 3, 1 mars 1996 (1996-03-01), pages 688-692, XP002079328 ISSN: 0034-6748	1,4,10
A	page 688, colonne de droite, alinéa 1 - page 689, colonne de gauche, alinéa 1	11
Y	US 5 999 262 A (DOBSCHAL HANS-JUERGEN ET AL) 7 décembre 1999 (1999-12-07) colonne 5, ligne 62 - colonne 6, ligne 3; figure 2	1,4,10
-/-		
<input checked="" type="checkbox"/> Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents		
<input checked="" type="checkbox"/> Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe		
* Catégories spéciales de documents cités:		
<p>*A* document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent</p> <p>*E* document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date</p> <p>*L* document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée)</p> <p>*O* document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens</p> <p>*P* document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée</p> <p>*T* document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention</p> <p>*X* document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément</p> <p>*Y* document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier</p> <p>*Z* document qui fait partie de la même famille de brevets</p>		
Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée		Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale
5 novembre 2003		13/11/2003
Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale Office Européen des Brevets, P.B. 5618 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl, Fax (+31-70) 340-3016		Fonctionnaire autorisé Capostagno, E

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale No

PCT/FR 03/01879

C. (suite) DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
A	US 6 317 483 B1 (CHEN ZEWU) 13 novembre 2001 (2001-11-13) le document en entier -----	2, 7-9, 11
A	US 5 799 056 A (GUTMAN GEORGE) 25 août 1998 (1998-08-25) colonne 3, ligne 64 - colonne 4, ligne 7; figures 2,3 -----	2, 3, 11

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande internationale No

PCT/FR 03/01879

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 5999262	A	07-12-1999	DE 19615366 A1	23-10-1997
			WO 9740366 A1	30-10-1997
			EP 0834066 A1	08-04-1998
US 6317483	B1	13-11-2001	AU 1802101 A	04-06-2001
			EP 1234310 A1	28-08-2002
			JP 2003515729 T	07-05-2003
			WO 0139211 A1	31-05-2001
US 5799056	A	25-08-1998	US 5646976 A	08-07-1997
			DE 69514810 D1	02-03-2000
			DE 69514810 T2	06-07-2000
			EP 0774156 A1	21-05-1997
			WO 9604665 A1	15-02-1996

フロントページの続き

(81)指定国 AP(GH,GM,KE,LS,MW,MZ,SD,SL,SZ,TZ,UG,ZM,ZW),EA(AM,AZ,BY,KG,KZ,MD,RU,TJ,TM),EP(AT, BE,BG,CH,CY,CZ,DE,DK,EE,ES,FI,FR,GB,GR,HU,IE,IT,LU,MC,NL,PT,RO,SE,SI,SK,TR),OA(BF,BJ,CF,CG,CI,CM,GA, GN,GQ,GW,ML,MR,NE,SN,TD,TG),AE,AG,AL,AM,AT,AU,AZ,BA,BB,BG,BR,BY,BZ,CA,CH,CN,CO,CR,CU,CZ,DE,DK,DM,DZ, EC,EE,ES,FI,GB,GD,GE,GH,GM,HR,HU,ID,IL,IN,IS,JP,KE,KG,KP,KR,KZ,LC,LK,LR,LS,LT,LU,LV,MA,MD,MG,MK,MN, MW,MX,MZ,NI,NO,NZ,OM,PG,PH,PL,PT,RO,RU,SC,SD,SE,SG,SK,SL,TJ,TM,TN,TR,TT,TZ,UA,UG,US,UZ,VC,VN,YU,ZA,ZM ,ZW

- (72)発明者 ベテル、ホーゴ
フランス国サン、マルタン、ル、ピノー、クロ、サン、マルタン、2 3
- (72)発明者 オーレリアン、ダリエ
フランス国サン、ニジエ、デュ、ムシュロト、ル、ピラージュ、ル、ルフージュ
- (72)発明者 セルジオ、ロドリゲス
フランス国ボルペ、リュ、デュ、ポール、3 5 6