

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第4220170号
(P4220170)

(45) 発行日 平成21年2月4日(2009.2.4)

(24) 登録日 平成20年11月21日(2008.11.21)

(51) Int. Cl.		F I			
G 2 1 K	1/06	(2006.01)	G 2 1 K	1/06	B
G 0 1 N	23/04	(2006.01)	G 2 1 K	1/06	K
G 2 1 K	7/00	(2006.01)	G 0 1 N	23/04	
			G 2 1 K	7/00	

請求項の数 2 (全 9 頁)

(21) 出願番号	特願2002-80947 (P2002-80947)	(73) 特許権者	000236436
(22) 出願日	平成14年3月22日 (2002.3.22)		浜松ホトニクス株式会社
(65) 公開番号	特開2003-279693 (P2003-279693A)		静岡県浜松市東区市野町1126番地の1
(43) 公開日	平成15年10月2日 (2003.10.2)	(74) 代理人	100088155
審査請求日	平成17年3月8日 (2005.3.8)		弁理士 長谷川 芳樹
		(74) 代理人	100089978
			弁理士 塩田 辰也
		(74) 代理人	100092657
			弁理士 寺崎 史朗
		(72) 発明者	大庭 昌
			静岡県浜松市市野町1126番地の1 浜
			松ホトニクス株式会社内
		(72) 発明者	杉山 優
			静岡県浜松市市野町1126番地の1 浜
			松ホトニクス株式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 X線像拡大装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

線源から発したX線を試料に照射する照明光学系と、
 回転双曲面と回転楕円面から成る斜入射ミラーにより構成され、前記試料を透過したX線を所定の位置に拡大結像させる対物レンズと、
 前記対物レンズにより結像したX線像を検出するX線像検出手段と、
 前記X線像検出手段、前記試料、及び前記照明光学系の少なくとも1つを光軸方向に沿って移動させることで、前記X線像の結像倍率を調整する結像倍率調整手段と、
 を備えたX線像拡大装置。

【請求項2】

可視光又は紫外光のいずれかの光を前記試料に照射する光照射手段と、
 前記試料を透過し前記対物レンズで反射した光による像を検出する光検出手段と、
 をさらに備えた請求項1記載のX線像拡大装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、X線を利用して試料を観察することが可能なX線像拡大装置に関する。

【0002】

【従来の技術】

従来、生体観察や半導体検査等においては、試料を未処理で観察することができるX線顕

微鏡が利用されている。例えば結像型X線顕微鏡は、試料にX線を照射し、そのX線像を結像光学系により検出器上に拡大結像させて試料を観察するように構成されている。

【0003】

上記結像型X線顕微鏡の結像光学系としては、回折を利用したゾンプレート光学系（特開平9-251100号公報など）、特定波長のX線に対して高い反射率を有する多層膜を積層してなるシュバルツシルト光学系（特開平6-300900号公報など）などが用いられている。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、特開平9-251100号公報には、検出器を光軸方向に移動させて検出器とゾンプレート型対物レンズとの距離を変化させることによりフォーカシングを行う軟X線顕微鏡が開示されているが、この技術による結像倍率の変化は、波長選択性の高いゾンプレートを使用するため、波長を僅かに変化させる必要がある。また、X線光量の損失が大きく、単色性が必要で放射光の利用が必要とされる。また、同じ倍率でも異なる波長で観察する場合には、試料及び検出器を移動させる必要があり、シュバルツシルト型の対物レンズを用いた場合でも、観察する波長が決まってしまう。

【0005】

また、特開平6-300900号公報には、シュバルツシルト型多層膜ミラーで拡大した像を蛍光面等で可視光に変換した後、低倍率から高倍率までの複数のレンズを備えた光学顕微鏡で、拡大率を変えながら上記変換後の像を観察する技術が記載されているが、この技術では、多層膜ミラーを用いるため、観察可能な波長が限られるとともに、一旦可視光に変換するため、作業効率が低くなってしまう。

【0006】

このため、実験室規模のX線顕微鏡では、光学素子として、利用効率が高く、波長選択性が無い斜入射ミラーが適している。

【0007】

本発明は、上記課題を解決するために成されたものであり、波長選択性が無い斜入射ミラーを用いて結像倍率を変更することができるX線像拡大装置を提供することを目的とする。

【0008】

【課題を解決するための手段】

上記目的を達成するために、本発明に係るX線像拡大装置は、線源から発したX線を試料に照射する照明光学系と、回転双曲面と回転楕円面から成る斜入射ミラーにより構成され、前記試料を透過したX線を所定の位置に拡大結像させる対物レンズと、前記対物レンズにより結像したX線像を検出するX線像検出手段と、前記X線像検出手段、前記試料、及び前記照明光学系の少なくとも1つを光軸方向に沿って移動させることで、前記X線像の結像倍率を調整する結像倍率調整手段と、を備えたことを特徴とする。

【0009】

ここで、図1において本発明の原理を説明する。試料を置く位置を物点O、斜入射ミラーWは回転双曲面と回転楕円面からなり、その接合部の位置をS、結像面の位置をIとし、物点Oから斜入射ミラーの接合部Sまでの距離をa、位置Sから位置Iまでの距離をbとする。また、この斜入射ミラーの焦点距離をf、結像倍率をMとすると、以下の式が成立する。

【0010】

$$(1/a) + (1/b) = 1/f \quad \dots \text{式(1)}$$

$$b = aM \quad \dots \text{式(2)}$$

【0011】

斜入射ミラーの場合、本来、その設計により、距離a、bは固定値であり、従って、倍率Mも固定値となる。ところが、光線追跡シミュレーションによれば、分解能は悪くなるものの、距離a、bを調整し結像倍率Mを変化させても結像可能であることが確認された。

10

20

30

40

50

【 0 0 1 2 】

一例として、距離 a を 20 mm、距離 b を 2000 mm、倍率 M を 100 で設計した斜入射ミラーにおいて、倍率 M を変えた場合の分解能の変化（シミュレーション結果）を図 2 に示す。この図 2 から、設計倍率 M が 100 のとき、最も分解能が高いがそれ以外の倍率でも分解能は低いものの、結像することが解る。分解能を 0.05 μm まで許容する場合には、このミラーでは、倍率 60 倍から 300 倍まで使用できることがわかる。このとき、距離 a は 20.1 ~ 19.9 mm の範囲で、距離 b は、約 1200 mm ~ 6000 mm の範囲で変化する。なお、低倍率側での観察で試料探査が主な目的の場合には、高分解能はあまり必要とされないため、30 倍程度でも十分使用することができる。

【 0 0 1 3 】

従って、距離 a、b を上記のような範囲で変化させることができれば、斜入射ミラーを交換することなく、結像倍率を変更させることができる。

【 0 0 1 4 】

本発明では、対物レンズに斜入射ミラーを用いることにより、対物レンズとしてゾンプレート光学系やシュバルツシルト型多層膜ミラーを用いた従来例に比べ、以下の利点がある。

【 0 0 1 5 】

即ち、対物レンズとしてゾンプレート光学系を用いた場合に比べ、1 照明する X 線を単一波長にする必要がなく照明光学系の構成が簡単になること、2 同一倍率なら X 線波長が変化しても f 値が変わらないため、距離 a、b の値は変わらないこと、3 X 線の利用効率が高いことが挙げられる。また、対物レンズとしてシュバルツシルト型多層膜ミラーを用いた従来例に比べ、観察できる波長が単一波長に制限されず、広範囲の波長域で観察可能であることが挙げられる。

【 0 0 1 6 】

また、本発明の X 線像拡大装置は、可視光又は紫外光のいずれかの光を前記試料に照射する光照射手段と、前記試料を透過し前記対物レンズで反射した光による像を検出する光検出手段と、をさらに備えたことを特徴としてもよい。これにより、X 線のみを用いる場合に比べ、装置の取り扱いや観察が容易となり、試料の放射線損傷が軽減される、という利点がある。

【 0 0 1 7 】

【発明の実施の形態】

以下、図面と共に本発明の好適な実施形態について詳細に説明する。なお、図面の説明においては同一要素には同一符号を付し、重複する説明を省略する。また、図面の寸法比率は、説明のものとは必ずしも一致していない。

【 0 0 1 8 】

[第 1 実施形態]

図 3 は、本発明の第 1 実施形態に係る X 線顕微鏡の概略構成を示す断面図である。図 1 に示した装置は、X 線源 1、フィルター 2、全反射を利用した回転楕円面形状からなる照明用斜入射ミラー 3、試料 4、対物レンズの回転双曲面と回転楕円面からなる斜入射ミラー 5、及び X 線検出器 6 を含んで構成されている。X 線源 1 としては、例えば、ガスパフ型プラズマ X 線源を用いる。

【 0 0 1 9 】

図 3 を用いて、第 1 実施形態に係る X 線顕微鏡の動作を説明する。ガスパフ型プラズマ X 線源 1 から発生した X 線をフィルター 2 によって、観察する X 線の波長領域に制限し、照明用斜入射ミラー 3 により試料 4 に照射する。試料 4 を透過した X 線は斜入射ミラー 5 に入射し、X 線検出器 6 の受光面において、拡大された X 線像が検出される。拡大率を変更する場合は、所望する倍率になるように X 線検出器 6 を矢印 Q の光軸方向に沿って移動させることで斜入射ミラー 5 から検出器 6 までの距離 b を調整する。その後、X 線検出器 6 で検出された画像を見ながら、フォーカスが合うように試料 4 を、図示しない移動機構によって矢印 P の光軸方向に移動させ、試料 4 と斜入射ミラー 5 間の距離 a を調整する。ま

10

20

30

40

50

たは、試料 4 を移動させた後、フォーカスが合うように X 線検出器 6 を移動させても良い。そして最後に、最適な照明が得られるように照明用斜入射ミラー 3 を移動させる。

【 0 0 2 0 】

なお、図 8 には照明光学系の配置を示す。O が光源、I が集光点（光源 O の像）であり、前述した式（1）が成り立つ。上記の図 3 の試料 4 の位置が決まれば、試料 4 の位置と集光点 I とが一致するように照明用斜入射ミラー 3 を移動させる。

【 0 0 2 1 】

このとき、図 3 の試料 4 及び照明用斜入射ミラー 3 は、矢印 P の光軸方向に沿って数 mm 移動でき、X 線検出器 6 は数 m 移動できる機構を有する必要がある。X 線として波長 1 nm 以上の比較的長い軟 X 線を用いる場合、この領域の X 線は空気の吸収が大きく、その光路は真空に保つ必要があり、斜入射ミラー 3、試料 4、斜入射ミラー 5、X 線検出器 6 は真空容器の中に設置される。従って、斜入射ミラー 3、試料 4、斜入射ミラー 5、X 線検出器 6 の移動は真空容器の外から移動できれば作業効率が向上する。なお、試料 4 のみ真空中に設置する構成も採用することができる。

【 0 0 2 2 】

試料 4、斜入射ミラー 3、斜入射ミラー 5 の移動範囲は数 mm と小さいため、これらの移動機構は市販の移動ステージやマニピュレータ等で構成することができる。一方、X 線検出器 6 の移動機構については、図 4 に示すような真空ベローズ 14 を用いることにより、数 m 程度の大きい範囲の移動も可能となる。真空ベローズ 14 は真空フランジ 12 a、12 b と各真空配管 11 によって連結されている。真空フランジ 12 a は図 3 の斜入射ミラー 5 を有する真空配管に連結され、真空フランジ 12 b は X 線検出器 6 との接続を行う真空フランジ 15 に連結される。真空配管 11 と真空フランジ 12 a、12 b には、それぞれ支柱 16 が取り付けられており、その先にボルト 17 を貫通させる穴が設けられている。真空フランジ 12 a、12 b の支柱の先には、ボルト 17 をその長さ方向において固定するナット 13 a ~ 13 d が設けられている。X 線検出器 6 の位置を調整するときは、ナット 13 c、13 d を緩め、真空ベローズ 14 を伸縮して目的の長さに調節し、再びナット 13 c、13 d を締めることにより、真空ベローズ 14 の長さを固定する。

【 0 0 2 3 】

次に、図 5、図 6 を用いて具体的な操作を説明する。ここでは、例として式（1）、式（2）において、設計倍率 M を 100、試料 4 と斜入射ミラー 5 間の距離 a を 20 mm、斜入射ミラー 5 と X 線検出器 6 間の距離 b を 2000 mm と設定された斜入射ミラー 5 を用い、低倍率側で約 40 倍、高倍率側で約 200 倍の観察を行うものとする。また、照明用斜入射ミラー 3、試料 4、斜入射ミラー 5 は、それぞれ独立に移動ステージ 7、8、9 によって、その位置および傾き等が調整可能とされている。

【 0 0 2 4 】

低倍率（例えば倍率 M = 約 40 倍）で観察する場合は、図 5 に示すように斜入射ミラー 5 と X 線検出器 6 との距離 b が約 800 mm になるように上述のベローズ付真空配管 10 の真空ベローズ 14 を縮め、X 線検出器 6 の画像を観察しながら、フォーカスが合うように移動ステージ 8 によって試料 4 を移動させることで試料 4 と斜入射ミラー 5 間の距離 a を調整し、最適な照明が得られるように移動ステージ 7 によって照明用斜入射ミラー 3 を移動させる。

【 0 0 2 5 】

一方、高倍率（例えば倍率 M = 約 200 倍）で観察する場合は、図 6 に示すように斜入射ミラー 5 と X 線検出器 6 との距離 b が約 4000 mm になるようにベローズ付真空配管 10 の真空ベローズ 14 を伸ばし、X 線検出器 6 の画像を観察しながら、フォーカスが合うように移動ステージ 8 によって試料 4 を移動させることで試料 4 と斜入射ミラー 5 間の距離 a を調整し、最適な照明が得られるように移動ステージ 7 によって照明用斜入射ミラー 3 を移動させる。

【 0 0 2 6 】

このような第 1 実施形態によれば、斜入射ミラー 5 を対物レンズとして用いる X 線顕微鏡

10

20

30

40

50

において、試料 4 と斜入射ミラー 5 間の距離 a 、斜入射ミラー 5 と X 線検出器 6 間の距離 b を調整することにより、斜入射ミラー 5 を交換することなく、結像倍率を変更することができる。

【 0 0 2 7 】

なお、斜入射ミラー 3、5、試料 4、X 線検出器 6 を移動させる方法は、上記の方法に限定されず、目的の位置に移動可能な機構を持つものであれば、種々の変更や変形を加えることができる。

【 0 0 2 8 】

[第 2 実施形態]

次に、図 7 を用いて本発明に係る第 2 実施形態を説明する。この第 2 実施形態は、試料探査のため、低倍率の観測を可視光等で簡単に行うように構成したものである。

【 0 0 2 9 】

図 7 に示すように、第 2 実施形態の構成は、第 1 実施形態の構成に加え、可視光源 2 1、光路上に挿入及び退避可能なミラー 2 2、2 3、これらミラーの矢印 R、S 方向の挿入・退避動作を駆動する直線導入端子 2 5、2 6、並びに、可視光に感度がある検出器 2 4 が設けられている。図 7 において実線で示すミラー 2 2 a、2 3 a は光路から退避した状態を示し、破線で示すミラー 2 2 b、2 3 b は光路上に挿入した状態を示している。

【 0 0 3 0 】

ここでは、例として式 (1)、式 (2) において、設計倍率 M を 1 0 0、試料 4 と斜入射ミラー 5 間の距離 a を 2 0 mm、斜入射ミラー 5 と X 線検出器 6 間の距離 b を 2 0 0 0 m m と設定された斜入射ミラー 5 を用い、可視光により低倍率 (約 4 0 倍) の観察を行い、X 線により高倍率 (約 1 0 0 ~ 2 0 0 倍) の観察を行うものとする。

【 0 0 3 1 】

試料探査のための可視光による低倍率 (例えば倍率 $M =$ 約 4 0 倍) での観察は、直線導入端子 2 5、2 6 を駆動することでミラー 2 2 a、2 3 a を、それぞれ光軸上の位置 2 2 b、2 3 b に挿入する。次に、可視光源 2 1 を点灯させる。この可視光は、ミラー 2 2 により反射し、照明用斜入射ミラー 3 により試料 4 に照射する。この試料 4 を透過した可視光は、斜入射ミラー 5 により反射して、ミラー 2 3 により反射し、検出器 2 4 に入射する。ミラー 2 3 を介した斜入射ミラー 5 と検出器 2 4 との距離は約 8 0 0 mm に設定する。検出器 2 4 で検出された画像を見ながら、フォーカスが合うように移動ステージ 8 によって試料 4 を移動させることで試料 4 と斜入射ミラー 5 間の距離 a を調整し、最適な照明が得られるように移動ステージ 7 によって照明用斜入射ミラー 3 を光軸方向に移動させる。なお、照明に関しては、可視光源 2 1 を光軸方向に移動させても同様の結果が得られる。

【 0 0 3 2 】

試料 4 の所望の位置を探査した後、X 線を用いて高倍率の詳細な観察を行う場合、ミラー 2 2、2 3 を直線導入端子 2 5、2 6 により、それぞれ位置 2 2 a、2 3 a に退避させ、倍率 M が約 1 0 0 倍の場合は、斜入射ミラー 5 と X 線検出器 6 間の距離 b を約 2 0 0 0 m m にし、倍率 $M =$ 約 2 0 0 倍の場合は、斜入射ミラー 5 と X 線検出器 6 間の距離 b を約 4 0 0 0 m m になるように X 線検出器 6 を移動させる。X 線源 1 から X 線を照射し、X 線検出器 6 において画像を観察しながら、フォーカスが合うように移動ステージ 8 によって試料 4 を移動させることで試料 4 と斜入射ミラー 5 間の距離 a を調整し、最適な照明が得られるように移動ステージ 7 によって照明用斜入射ミラー 3 を光軸方向に移動させる。

【 0 0 3 3 】

このような第 2 実施形態によれば、X 線に加え可視光も用いるため、X 線のみを用いる場合に比べ、取り扱いや観察が容易である。また、可視光で行うため、試料の放射線損傷を低減することができる。さらに、X 線での観察は高倍率側だけであるため、X 線検出器 6 の移動距離を削減することができる。

【 0 0 3 4 】

なお、本発明は、種々の変形態様が可能である。例えば、上記の例では高倍率での観察において、ペローズ付真空配管 1 0 により X 線検出器 6 を移動させて倍率を調整できるよう

10

20

30

40

50

にしてあるが、高倍率側で倍率を調整する必要がない場合には、ベローズ付配管 10 を用いず、長さが一定とされた配管によって X 線検出器 6 の位置を固定しても良い。この場合、照明用斜入射ミラー 3 を高倍率の観察で最適な照明が得られる位置に設置し、可視光を用いた低倍率の観察では、可視光源 21 の位置を式 (1) によって最適な照明位置が得られる位置に設定しておけば、低倍率、高倍率で照明光の調整が必要なくなり、より簡便な手順で観察を行うことができる。

【0035】

また、可視光源に代わり、紫外線光源を用いても良く、その場合、ミラー 22、23 は紫外線用ミラーを用い、検出器 24 は紫外線に感度がある検出器を用いる。また、X 線源 1 とは別の X 線光源を可視光源 21 の位置に設置しても良く、その場合、ミラー 22、23 は X 線用多層膜ミラーを用い、検出器 24 は X 線に感度がある検出器を用いる。

10

【0036】

さらに、第 1、第 2 実施形態においては、種々の変形、変更が可能である。例えば、X 線源としては、ガスパフ型プラズマ X 線源の他に、レーザープラズマ X 線源あるいは放射光を採用しても良い。また、照明光学系を、全反射を利用した回転楕円面形状からなる照明用斜入射ミラー 3 としたが、回転双曲面及び回転楕円面を有する斜入射ミラーを採用しても良い。

【0037】

【発明の効果】

以上説明したように、本発明によれば、斜入射ミラーを対物レンズとして用いる X 線像拡大装置において、試料と斜入射ミラー間の距離、斜入射ミラーと検出器間の距離を変更することにより、斜入射ミラーを交換することなく、結像倍率を変更することができる。

20

【0038】

また、本発明は、対物レンズとして斜入射ミラーを用いたことで、ゾンプレート光学系を用いた場合に比べ、照明する X 線を単一波長にする必要がなく照明光学系の構成を簡素化できること、同一倍率なら X 線波長が変化しても焦点距離 f が変わらないため、試料、検出器を移動させる必要がないこと、X 線の利用効率が高いことの 3 点において優れており、シュバルツシルト型多層膜ミラーを用いた場合に比べ、観察できる波長が単一波長に制限されず広範囲の波長域（可視～X 線）で観察が可能である点で優れている。

【図面の簡単な説明】

30

【図 1】本発明の原理を説明するための図である。

【図 2】斜入射ミラーにおいて倍率を変えた場合の分解能の変化を示すグラフである。

【図 3】第 1 実施形態に係る X 線顕微鏡の概略構成を示す断面図である。

【図 4】X 線検出器の移動機構の一例を示す図である。

【図 5】低倍率で観察する場合の操作を説明するための図である。

【図 6】高倍率で観察する場合の操作を説明するための図である。

【図 7】第 2 実施形態に係る X 線顕微鏡の概略構成を示す断面図である。

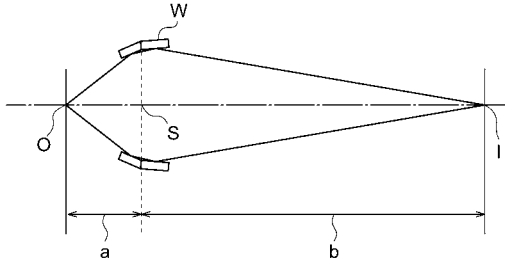
【図 8】照明光学系の配置を示す図である。

【符号の説明】

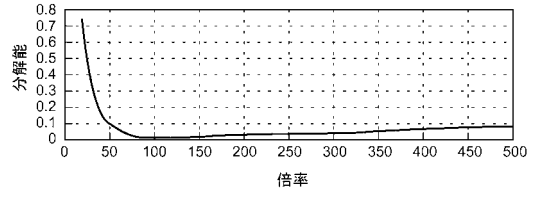
1 ... 線源、2 ... フィルター、3 ... 照明用斜入射ミラー、4 ... 試料、5 ... 斜入射ミラー、6 ... X 線検出器、7、8、9 ... 移動ステージ、10 ... ベローズ付真空配管、11 ... 真空配管、12 a、12 b ... 真空フランジ、13 a、13 b、13 c ... ナット、14 ... 真空ベローズ、15 ... 真空フランジ、16 ... 支柱、17 ... ボルト、21 ... 可視光源、22、23 ... ミラー、24 ... 検出器、25 ... 直線導入端子。

40

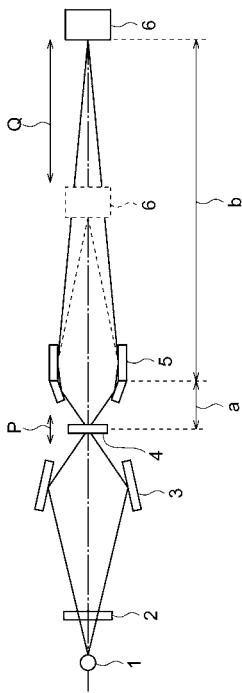
【図 1】



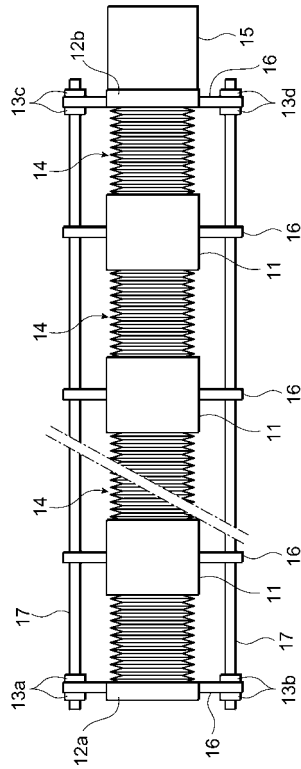
【図 2】



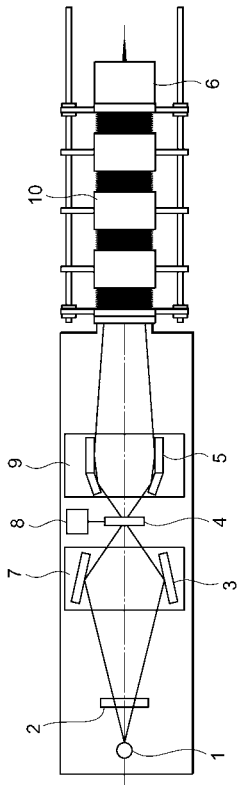
【図 3】



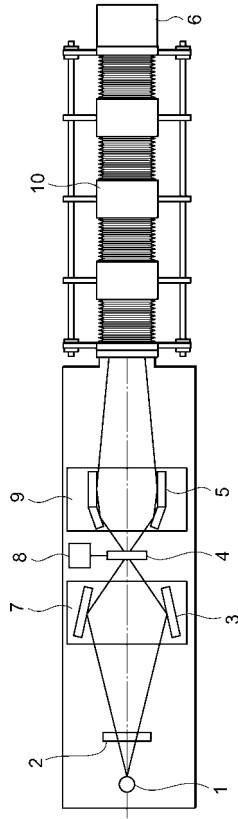
【図 4】



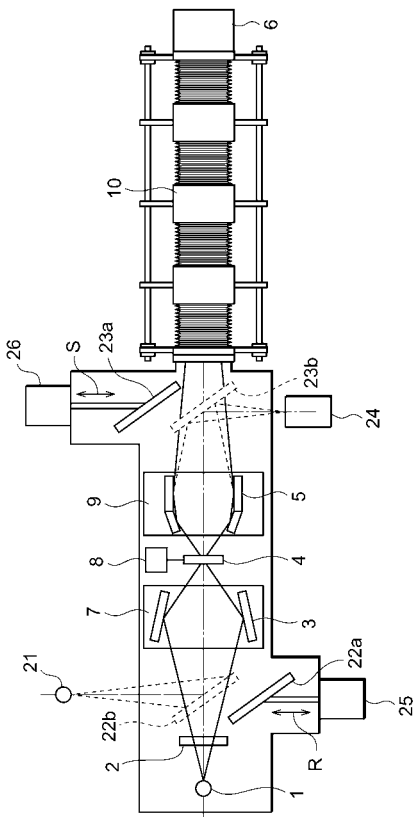
【図5】



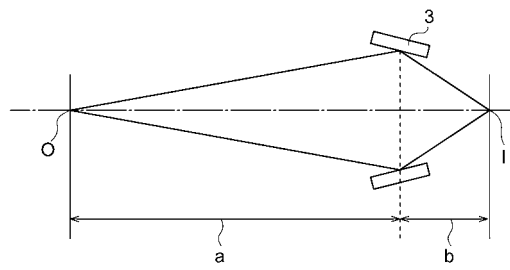
【図6】



【図7】



【図8】



フロントページの続き

(72)発明者 小野田 忍
静岡県浜松市市野町1126番地の1 浜松ホトニクス株式会社内

審査官 山口 敦司

(56)参考文献 特開平09-304598(JP,A)
特開平09-251100(JP,A)
特開平06-230200(JP,A)
特開平04-265900(JP,A)
特開平09-178900(JP,A)
特開平07-243993(JP,A)
R.C.Chase et al, "Ellipsoid-hyperboloid x-ray imaging instrument for laser-pellet diagnostics", Applied Optics, 1975年 9月, 第14巻第9号, 第2096-2098頁

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G21K 1/00 - 5/00

G01N 23/04

G21K 7/00