

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第4169219号

(P4169219)

(45) 発行日 平成20年10月22日 (2008.10.22)

(24) 登録日 平成20年8月15日 (2008.8.15)

(51) Int. Cl.	F I	
HO 1 J 35/14 (2006.01)	HO 1 J 35/14	
HO 1 J 35/08 (2006.01)	HO 1 J 35/08	B
HO 1 J 35/18 (2006.01)	HO 1 J 35/18	

請求項の数 20 (全 9 頁)

(21) 出願番号	特願平10-515382	(73) 特許権者	ビード サイエнтиフィック インスト ルメンツ リミテッド
(86) (22) 出願日	平成9年9月23日 (1997.9.23)		英国、DH6 5AD ダーアム、ボウバ ーン、ボウバーン サウス インダストリ アル エステート (番地無し)
(65) 公表番号	特表2001-501023 (P2001-501023A)	(74) 代理人	弁理士 好宮 幹夫
(43) 公表日	平成13年1月23日 (2001.1.23)	(72) 発明者	アルント ウルリッヒ ウォルフガング
(86) 国際出願番号	PCT/GB1997/002580		英国、CB2 2AS ケンブリッジ、バ ロー ロード 28
(87) 国際公開番号	W01998/013853		
(87) 国際公開日	平成10年4月2日 (1998.4.2)		
審査請求日	平成16年8月11日 (2004.8.11)		
(31) 優先権主張番号	9620160.3		
(32) 優先日	平成8年9月27日 (1996.9.27)		
(33) 優先権主張国	英国 (GB)		

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 X線発生装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

電子銃、X線管、電子集束手段、及びスチグマツールを含み、前記X線管が、その上にX線源が形成されるように適合されたターゲットと、低X線吸収性の材料からなるX線射出窓を含むX線発生装置であって、

前記X線管が、排気されかつ封止され、

前記スチグマツールが、前記電子集束手段と前記ターゲットとの間に位置され、

前記電子集束手段が、前記X線管の一部の周りに前記X線管の外側に配置され、かつそれぞれ1～100μmの範囲の直径または幅の点状または線状焦点を有するターゲット上のX線源を生じさせるように前記電子銃からの電子を焦束するように適合され、

前記X線射出窓が、前記窓に隣接する封止された前記X線管の外側のX線集束デバイスとの結合を可能にするように前記ターゲットに隣接して位置されていることを特徴とするX線発生装置。

【請求項 2】

前記X線射出窓がターゲットの中心から20mm未満にある、請求項1に記載のX線発生装置。

【請求項 3】

前記窓に隣接する前記X線管の外側に、前記ターゲットと結合した前記X線集束手段をさらに含む、請求項1または2に記載のX線発生装置。

【請求項 4】

10

20

前記 X 線集束手段が、前記 X 線鏡を含み、その鏡の縦方向の整合軸が前記 X 線管の軸にある角度となるように配置されている、請求項 3 に記載の X 線発生装置。

【請求項 5】

前記角度が  $80^{\circ}$  と  $90^{\circ}$  の間である、請求項 4 に記載の X 線発生装置。

【請求項 6】

前記角度が  $84^{\circ}$  である、請求項 4 に記載の X 線発生装置。

【請求項 7】

前記ターゲット上の前記 X 線源が、 $1 \sim 100 \mu\text{m}$  の範囲の直径の点から  $1 \sim 100 \mu\text{m}$  の範囲の幅の線まで変化できる、請求項 1 ないし請求項 6 のいずれか 1 項に記載の X 線発生装置。

10

【請求項 8】

前記射出窓の材料がベリリウムである、請求項 1 ないし請求項 7 のいずれか 1 項に記載の X 線発生装置。

【請求項 9】

前記射出窓が前記 X 線管と前記ターゲットを接続する、請求項 1 ないし請求項 8 のいずれか 1 項に記載の X 線発生装置。

【請求項 10】

前記電子集束手段が、前記 X 線管中の電子ビームを集中させるための x - y 偏向システムを含む、請求項 1 ないし請求項 9 のいずれか 1 項に記載の X 線発生装置。

【請求項 11】

20

前記電子ビーム集束手段がさらに、少なくとも 1 つの電子レンズと、電子ビームを線状焦点に集中させるための少なくとも 1 つの四極子形または多極レンズを含む、請求項 10 に記載の X 線発生装置。

【請求項 12】

前記少なくとも 1 つの電子レンズが、軸対称または丸型レンズである請求項 11 に記載の X 線発生装置。

【請求項 13】

前記ターゲットが、金属箔ターゲットであり、その前記金属が Cu、Ag、Mo、Rh、Al、Ti、Cr、Co、Fe、W、及び Au の群から選ばれる、請求項 1 ないし請求項 12 のいずれか 1 項に記載の X 線発生装置。

30

【請求項 14】

電子ビームに射られる前記ターゲットの表面が、該ターゲット表面の面が前記 X 線管の軸に垂直またはある角度となるように向けられる、請求項 1 ないし請求項 13 のいずれか 1 項に記載の X 線発生装置。

【請求項 15】

前記ターゲットが、基板上に堆積した前記基板に比べ薄い金属層を含む、請求項 1 ないし請求項 14 のいずれか 1 項に記載の X 線発生装置。

【請求項 16】

前記基板が、ダイヤモンドである請求項 15 に記載の X 線発生装置。

【請求項 17】

40

前記 X 線発生装置が、さらにターゲット冷却手段を含む、請求項 1 ないし請求項 16 のいずれか 1 項に記載の X 線発生装置。

【請求項 18】

前記電子ビームの焦点を整合するように適合されたアパーチャを有する電子マスクをさらに含む、請求項 1 ないし請求項 17 のいずれか 1 項に記載の X 線発生装置。

【請求項 19】

前記ステグマトールが、四極子形磁石を含む、請求項 1 ないし請求項 18 のいずれか 1 項に記載の X 線発生装置。

【請求項 20】

前記電子銃が、ディスペンサー陰極を含む、請求項 1 ないし請求項 19 のいずれか 1 項に

50

記載の X 線発生装置。

【発明の詳細な説明】

本発明は、X 線発生装置、及び特に集束 X 線デバイスに接結合するのに適した X 線発生装置に関する。

X 線発生装置は、一般的に密封減圧内に電子銃、X 線ターゲット及び X 線射出窓を含んでいる。従来技術の発生装置は、比較的大きい焦点または焦線を有する X 線ビームを生じさせる。広く適用するには正確に平行した X 線ビームが要求される。これを達成するために、比較的小さなアパーチャ (aperture) が、ビーム径とビーム広がりを制限する発生装置と結びつけられているが、このことが、結果的に X 線強度を大きく損失させている。

広く適用するために、X 線管のターゲットから放出された X 線を使用する最も効果的な方法は、試料上にソース、すなわちターゲット上に電子焦点の像を形成することである。結晶学的な適用に関しては、サンプルに投じるその線の集中または分散が非常に小さいことが、通常不可欠である。サンプルにおける X 線強度を最大にするには、ソースにおける集合の角度をできるだけ大きくすべきである。これらの 2 つの要求の組み合わせは、像光学が重要であることを意味している。サンプルの大きさが最大限に有用な像の大きさを決定する (図 3 を参照)。図 3 は、像 I におけるビーム集中角  $\theta_i$  に対するソース S における集合角  $\theta_s$  の比が、集束コリメータまたは集束鏡 F の倍率に等しいことを示している。単結晶回折法においては、例えばその試料結晶の直径が約  $300\text{ }\mu\text{m}$  であることがよくある。それゆえ X 線源は、 $300\text{ }\mu\text{m}$  よりはるかに小さくすべきである。

ターゲットの表面に損傷を与えることのない最大負荷は、そのソースが小さい取り出し角で線状焦点となつて約 10 倍の短縮法を与えるときに最大になる。

非常に小さい寸法の焦点または焦線を有する X 線源を生じる X 線発生装置を提供することが本発明の目的である。低い運転電力を用いて比較的小さな作用点で高強度 X 線ビームを生じることができる X 線発生装置を提供することが本発明のさらなる目的である。

発明の第 1 の側面によれば、電子銃、電子集束手段、及びターゲットを含み、前記ターゲット上の X 線源の大きさ及び / または形状及び / または位置を変えられるように電子集束手段が配置されている X 線発生装置が提供される。

好ましくは、前記ターゲット上の X 線源は、小径の点から細い幅の線まで変化できる。

好ましくは、その発生装置は、X 線集束デバイスを近接して結合できる、低い X 線吸収性を有する材料の小径の管からなる X 線射出窓をさらに含んでいる。

好ましくは、電子集束手段は、X 線管の周りに設けられた電子ビーム集束手段を含んでいる。その電子ビーム集束手段は、X 線管中の電子ビームを集中させるための x - y 偏向システムを含むことができる。電子ビーム集束手段は、さらに少なくとも 1 つの電子レンズ、好ましくは軸対象レンズまたは丸型レンズ (round lens) と、電子ビームを線状焦点に集中させるための少なくとも 1 つの四極子形または多極レンズを含んでいる。その線状焦点は好ましくは 1 : 1 から 1 : 20 の範囲のアスペクト比を有する。

電子ビームレンズは、磁気または静電のものでよく、好ましくは電子的に制御される。

好ましくは、射出窓の材料は高い機械的強度を有し、好ましくはベリリウムである。射出窓は、X 線管の機械的構造の一部を形成でき、好ましくは X 線管とターゲットを接続している。

好ましくは、ターゲットは金属であり、最も好ましくは Cu、Ag、Mo、Rh、Al、Ti、Cr、Co、Fe、W、Au の群から選ばれる金属である。好ましい態様では、ターゲットは銅である。ターゲットの表面が、そのターゲット表面の面が X 線管の軸に垂直またはある角度となるように向けることもできる。

ターゲットは、高い熱伝導性を有する材料からなる厚い基板上に堆積した薄い金属層を含むことができる。好ましくはその基板はダイヤモンドである。

好ましくは、発生装置が、さらにターゲット冷却手段を含んでいる。第 1 の態様によれば、その冷却手段は、噴出流体をターゲット上に、電子ビームが射る側のターゲットの反対側に向ける手段を含むことができる。その流体は好ましくは空気または水である。第 2 の態様によれば、冷却手段は、ターゲットからの伝導または対流により熱伝達を行うための

手段を含んでよい。

好ましくは、その発生装置は、ターゲットの面上の電子ビームの位置を空間的に走査する偏向手段をさらに含んでいる。

好ましくは、電子ビームの焦点を整合するように適合されたアパーチャを有する電子マスクをさらに含んでいる。

本発明の第2の側面によれば、電子銃、X線管、ターゲット、及び低X線吸収性を有する材料から成り、X線集束デバイスを近接して結合させる小径の管からなるX線射出窓を含むX線発生装置が提供される。

本発明の第3の側面によれば、第1または第2の側面による発生装置がX線集束手段と結合されている。そのX線集束手段は好ましくは鏡を含んでいる。

本発明によるX線源は、集束X線デバイスと特に密接に結合されるように設計されている。非常に小さい寸法の焦点または焦線を生じ、それゆえ集束法の利点を最大限に活用することができる。

電子焦点から射出窓外面までの距離は非常に小さく、また反射型ターゲットについては7 mm以下、あるいは箔透過型ターゲットについては1 mm未満とすることができる。

本発明によるX線発生装置は、コンパクトであり、また封管を提供している。

本発明によるX線発生装置は、集合の効率及びそれに続く試料へのX線の放出のため、ほんのわずかな電力を要するだけである。

発生装置は、ステラジアンあたりの単位面積あたりのX線能として定義される高い輝度を達成する。

添付図面を参照しながら本発明の態様が単なる例として以下に説明されるが、ここで

図1は、本発明によるX線発生装置の縦断面図を示しており、

図2は、図1に示されるX線発生装置の部分拡大尺の詳細図を示しており、

図3は、X線源の大きさ及びサンプルにおける像との関係を示し、そして

図4は、電子ビームがターゲット前方のアパーチャを横切って走査されるときX線強度の変化を示している。

図1及び2に関しては、X線発生装置1は、排気され、かつ封止されたX線管2を含み、以下の要素

- 電子銃3
- X線ターゲット4
- 内部電子マスク5
- 低いX線吸収性及び高い機械的強度を有する材料、例えばベリリウムの細い管からなるX線窓6を含んでいる。この窓は、ターゲット4を含むターゲットアセンブリ12に管2を接続もしている。

X線管2はハウジング13の内部に含まれている。発生装置1は、ターゲット上に電子ビームを集めて導くためのシステム7、ターゲット材料を冷却するための冷却システム15、16、17、X線ビームを集束するためのX線デバイスを正確かつ繰り返し設置できるようにする運動学的マウント9、及び相対的配置及び方法を変えるX線集束デバイス10も含んでいる。X線鏡10は、交換後の再整合が必要ないように、予め整合されたユニットで供給されている。

X線管2は、ターゲット材料4上に衝突する電子のよく集束されたビームを生じる。電子ビームは点または線状に集束されることができ、またその点及び線の大きさ並びにその位置は、電子的に変化され得る。1から100  $\mu\text{m}$ の範囲、一般的には5  $\mu\text{m}$ 以上となる直径を有する点状焦点が達成され得る。選択的に、幅が同様の範囲にあり、20:1までの長さとの比を有する線状焦点が達成され得る。

適度な寸法、例えば線状焦点用の矩形のスロットを有し、内部電子ビームアパーチャ11の形をした金属(例えばタンゲステン)からなる5の電子ビームマスクは、例えばアパーチャ11上で電子ビームを走査したり、現れるX線強度を測定することにより焦点を自動的に整合し、またターゲット上でその位置を保つための適切なフィードバック及び制御メカニズムと共に使用できる。

電子ビームはウェーネルト電極及び陰極からなる電子銃 3 により発生される。陰極は、

- ヘアピン形またはステーブル形のいずれかを有するタングステン、または例えばタングステン-レニウムの合金のフィラメント、または
- 平坦または他の形態、例えばドーム形の端を有する棒状となるような間接的に加熱活性化されたディスペンサー陰極の何れかとしてよい。

ディスペンサー陰極は、長期に及ぶ寿命と機械的強度が大きいという利点がある。平坦表面については、ディスペンサー陰極は、ウェーネルト電極における大体の整合度だけが必要であるというさらなる利点を有する。

1 次焦点は、電子銃からの適切な距離における陽極により達成される。

ベリリウムのような、高い機械的強度と安定性のほかに低い X 線吸収性を有する材料からなる細い管を用いて、出現する X 線用の射出窓 6 が形成される。その管は、優れた真空シール特性を示さなければならない。この管はまた X 線管 2 とターゲットアセンブリ 1 2 との間に機械的強度を形成する。そのような配置により、X 線窓を形成する場合の空間と複雑さが省かれる。

銃からの電子ビームは、心立てコイル 1 4 または四極子形レンズの組により X 線管 2 で集中される。選択的にそれは多極レンズにより集中されてもよい。電子ビームは直径が変化する点へと集束される。5  $\mu$ m 未満、またはそれより良い直径までの集中が、四極子形レンズ、多極レンズまたはソレノイドタイプの何れかからなる軸レンズ 7 により達成される。

点状焦点は、さらに四極子形または多極レンズのさらなる組を用いて線状焦点に変えることができる。10 : 1 以上のアスペクト比を有する線が可能である。線状焦点はターゲット上に負荷を分散する。適切な角度で見られたとき、その線は点のように見える。

レンズは好ましくは磁気であるが、静電でもよい。全てのレンズは電子的に制御され、自動的及び連続的な整合を可能にし、焦点の走査を行う。点から線への変化もビーム直径の変化と同じように自動である。

ターゲット 4 は金属、例えば Cu であるが、要求される特性放射の波長次第で別の材料、例えば、Ag、Mo、Al、Ti、Rh、Cr、Co、Fe、W、または Au とすることもできる。ターゲット 4 は衝突する電子ビームに垂直か、あるいは放出される X 線の吸収を減らすように斜めになってもよい。

ターゲットは、

- 冷却ノズル 1 5 によりターゲット領域の裏面上に向けられた（水、空気または他の流体）噴射冷却流体、または
- ターゲット 4 の裏側から伝導または対流した熱伝達の何れかにより冷却される。

冷却流体は入り口 1 6 及び出口 1 7 を通じてよどみ無く流される。

冷却効率の増加（それゆえ許容し得るターゲット負荷の増加）は、高い熱伝導性を有する材料（例えばダイヤモンド）から作られたより厚い基板の上に堆積したターゲット材料の薄い金属膜を用いることにより達成できる。ターゲットは、単一材料の薄い固体を含むこともでき、あるいはそれは高い熱伝導性の別の材料と積層できるだろう。これらのターゲットは異なる冷却形態、例えば高いまたは低い水圧、あるいは強制または自然対流を使用したものと共に使用してもよい。

箔透過型及び反射型の両方のターゲットがターゲット 4 として使用できる。

組織化された機械的シャッター 1 8 が窓 6 と X 線集束要素 1 0 との間に位置し、出現する X 線ビームをさえぎる。

集束要素 1 0 の前にシャッター 1 8 を配置すると、広範囲にわたる放射線損傷から鏡の表面を保護する。

コンパクトな X 線検出器が含まれるようにし、電子焦点の位置を検査し、連続的に最適化することもできる。これは小さいな半導体検出器または他の X 線検出器であってよい。

そのシステムは、ソースの近くに位置した X 線集束デバイス 1 0 を取り囲み、ソースからの制御された様々な距離における焦点の拡大像を提供する。X 線集束システムに対する選

10

20

30

40

50

扱は、

- 1 超小型鏡：環状に対称の外形の、金または高度に制御された滑らかさ（約  $10 \text{ nm rms}$ ）の同様のコーティングの鏡面反射率を使用
  - 楕円状の外形：X線の集中したビームを与える（一般的に焦点から  $600 \text{ mm}$   $300 \text{ }\mu\text{m}$ の直径）。測定された挿入利得（insertion gain） $> 150$ （ $250 +$  となることもできるだろう）。近接した結合の理由は、放射の大きな立体角が集められるようにするためであるが、集束要素はまた、サンプルにおける焦点の増強された像を形成もする（低いビームの広がりであるが、高い挿入利得）
  - 放物面状の外形：ほぼ平行なビームを与える（予測利得約  $200 +$ ）
- 2 キルクパトリック - バエツ（Kirkpatrick-Baez）タイプ：
  - 楕円または放物面、あるいは結合したものの組み合わせで配置された湾曲板
  - 様々な適用に合うように鏡の外形を容易に変えることができる。
- 3 他の可能性：
  - 輪帯回折板（Zone plates）
  - ブラッグフレネル（Bragg Fresnel）光学
  - 多層光学

10

集束鏡 10 とターゲット 4 上のソースとの間の距離  $X$  は小さく、近接した結合を確実にするために、大抵  $20 \text{ mm}$  未満、好ましくは約  $11 \text{ mm}$  である。

#### 実施例

集束コリメータを持つ数多くの銅 - ターゲット X 線管が、下表に示される同様の基本的な仕様で組み立てられた。

20

#### 仕様表

X 線管ターゲット	銅、水または押込み空気により冷却
ソースの大きさ	$6^\circ$ で見たとき $15 \text{ }\mu\text{m} \times 150 \text{ }\mu\text{m}$
目下の管電流	$30 \text{ kV}$ で $0.2 \text{ mA}$
X 線集束	楕円面鏡、金表面
ソースから鏡までの距離	$11 \text{ mm}$
集合の立体角	$8.0 \times 10^{-4} \text{ Sterad}$
サンプルにおけるビーム集中	$10^{-3} \text{ rad}$

陰極は負の高電圧であり、また電子銃は、フィラメントに関して負にバイアスをかけられたウェーネルトグリッドのアーチャーのちょうど内側のフィラメントからなる。電子は大地電位にある陽極に向かって加速され、後者の孔を通り、その後銅ターゲット 4 に向かって長いパイプ（管 2）を通過する。電子クロスオーバーはウェーネルトと陽極アーチャーとの間に形成され、真空管を囲む鉄心軸ソレノイド 7 により、ターゲット上にこの像が映し出される。ビームがソレノイドの軸に沿って非常に正確に通るとき、最もよい電子焦点が得られる。鉄心にできる 2 組のビーム偏向コイル 14 が、 $30 \text{ mm}$  ほど離れた 2 枚の板で使用され、電子銃 3 の陽極と軸ソレノイド 7 の間に設けられてビームを中央に集中させる。ソレノイド 7 とターゲット 4 間には、ビームの円形断面を細長いものとするスチグマトール（stigmator）19 として作用する空心四極子形磁石がある。この四極子 19 は、線状焦点の方位を調整するために管の軸のまわりを回転できる。ビームは四極子 19 の 4 つのコイル内の電流を制御することによりターゲット表面 4 上のまわりを動かすることができる。

30

2 ワット未満の管電力のため、その箔ターゲットは発散だけで十分冷却されるが、より高い電力では、押込み空気または水冷が必要である。管は 6 ワットで連続的に運転できるが、ターゲット表面 4 への損傷を低く抑えるのに適した最小電力は、さらに確立されることになっている。

水冷される銅ターゲットと  $15 \text{ }\mu\text{m} \times 300 \text{ }\mu\text{m}$  の焦点の負荷限度は約 20 ワットであることが、コンピュータシミュレーションにより示されている。この形態は冷却液の流れの中の乱流を増加させることでいくらか改善され得ることが実験により示唆されている。もう 1 つの方法としては、非常に高い熱伝導性を有する一層の材料を、非常に薄い銅ターゲ

40

50

ット層と冷却される銅ブロックとの間に挟むことである。その挟まれる層は、タイプ I I のダイヤモンド層とすることができ、また 5  $\mu$  m 厚さの銅ターゲット層と水冷される銅ブロックとの間に挟まれることができる。ダイヤモンドは銅の 4 倍の熱伝導性を有しており、我々が計算したところ、それを使用すれば許容できる電力消費をほぼ 2 倍とすることが可能となるはずであることが示されている。

微小焦点 X 線管の電子源は、1 m A の水準の銃電流を生じる高い輝度を有しなければならない。

数百マイクロメータの直径の間接的に加熱された陰極を使用してもよい。ビームの断面は、ビームがスチグマトール四極子に達するまで円形のままであるが、10  $\mu$  m から 30  $\mu$  m の間の幅であって、20 : 1 までの長さ対幅を有する線に引き伸ばすことができる。そのような電子源は、低電力印加用の通常のヘアピン型タングステンフィラメントよりはるかに低いフィラメント電力を消費する。すなわち、それはより低い温度で作動するので、数千時間の寿命を有することができる。

電流はフィラメントの温度とはほとんど無関係であるが、フィラメントとウェーネルト電極との間のバイアス電圧により決められる飽和状態で、管が運転される。このバイアス電圧は、高い抵抗器を伝って流れる管電流により生じる電位降下であり、この自動バイアスの形成により、そのバイアス抵抗を変えることで容易に制御される非常に安定した管電流を生じる。

管の電子 - 光学的性能は、それらのいくつかに厚さ 20  $\mu$  m の透過形ターゲットを備えることで調査された。これにより焦点のピンホール写真を作ることができた。その焦点を分析する素早い方法は、200 または 400 メッシュグリッドにより拡大された影の形を観察することであった。電子ビームはまたターゲットの直前の矩形のアパーチャを横切って走査することもできた。その結果が図 4 に示されており、電子ビームがターゲットの前のアパーチャを横切って走査されるとき、X 線強度がどのように変化するかがわかる。その強度は、60 から 220 マイクロメートル間の距離の範囲にわたり約 4000 cps のピークに達していることがわかる。

楕円面鏡の挿入利得が測定された。この利得は、ソースから 600 mm の距離において形成された X 線源の 0.3 mm の直径像内への Cu K X 線放射量の、鏡のない同じ領域内への放射量の比として定義された。これらの条件下では、サンプルの位置におけるクロスファイヤー (cross-fire) は、約 1 ミリラジアンである。最もよい鏡に関しては、挿入利得は 110 だった。

上記のように得られた X 線強度は、2 kW で運転されるエリオット (Elliot) GX - 21 回転陽極 X 線発生装置と共に使用される標準ダブルフランク (Franks) 鏡装置の焦点で得られたものとの比較もされた。(これは X 線管とたんぱく質結晶学用のコリオメータの従来の組み合わせである。) 本発明による管が 1 ワット未満で運転されたとき、その強度は、2000 倍も大きい電源で運転される回転陽極からのものよりほんの 25 倍だけ小さかった。X 線管電力及び鏡性能の両方において、さらなる改良が可能である。ソースから集められた放射の光錘の立体角に基づき、かつ測定された X 線反射率の最高値で単に計算された挿入利得は、今まで達成されたものよりほぼ 5 倍も大きいことが注目されるべきである。

これらの及び他の変形及び改良は、発明の範囲から逸脱することなく組み込むことができる。

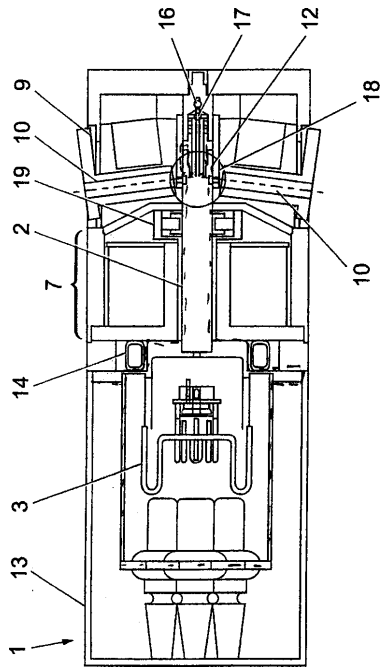
10

20

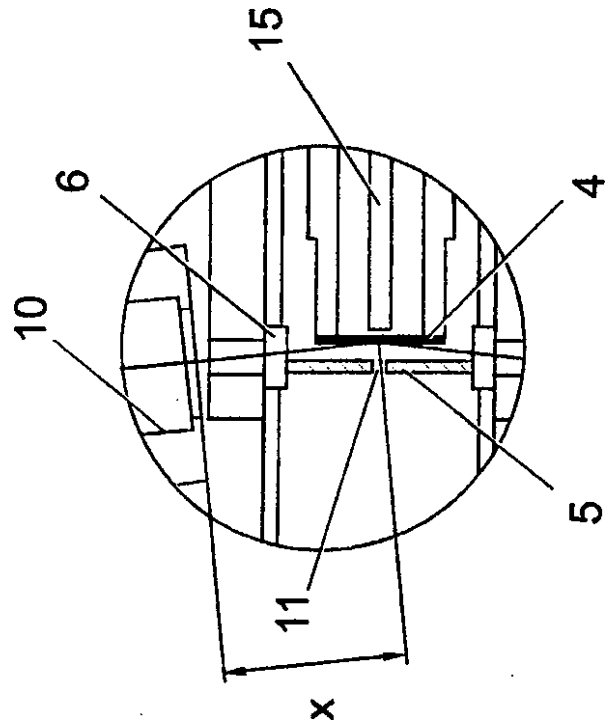
30

40

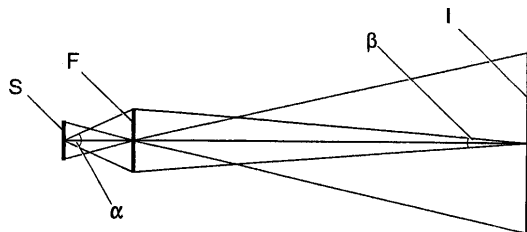
【図 1】



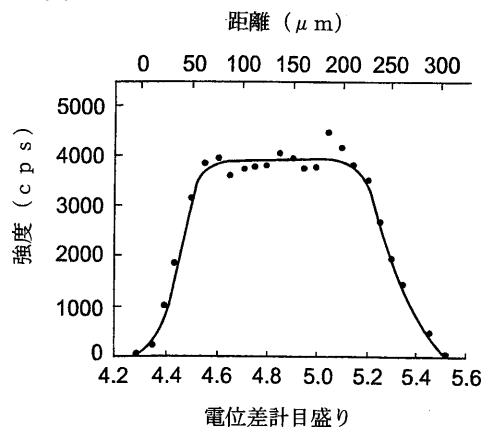
【図 2】



【図 3】



【図 4】





---

フロントページの続き

(72)発明者 ロング ジェームス ヴィクター パーシバル  
英国、C B 3 0 E Z ケンブリッジ、マディングリーリンス、ケンブリッジ大学、地球科学科、  
ピュラード ラボラトリー (番地無し)

(72)発明者 ダンカム ピーター  
C B 2 5 L Z ケンブリッジ、グレート シェルフォード、ウーラーズ レーン 5 A

審査官 松岡 智也

(56)参考文献 特開平 0 5 - 0 1 3 1 9 3 ( J P , A )  
特開平 0 4 - 0 3 6 9 4 3 ( J P , A )  
特開平 0 2 - 2 1 6 7 4 4 ( J P , A )  
特開平 0 4 - 1 4 4 0 4 5 ( J P , A )  
特開平 0 4 - 3 6 8 7 6 1 ( J P , A )  
特公昭 5 4 - 0 3 5 0 7 8 ( J P , B 1 )

(58)調査した分野(Int.Cl. , D B 名)

H01J 35/00 - 35/32

H05G 1/00

G21K 5/02