

(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2008-535183
(P2008-535183A)

(43) 公表日 平成20年8月28日 (2008. 8. 28)

(51) Int.Cl.

F I

テーマコード (参考)

HO 1 J 35/14 (2006. 01)

HO 1 J 35/18 (2006. 01)

HO 1 J 35/16 (2006. 01)

HO 1 J 35/14

HO 1 J 35/18

HO 1 J 35/16

審査請求 未請求 予備審査請求 未請求 (全 15 頁)

(21) 出願番号	特願2008-504383 (P2008-504383)	(71) 出願人	501218636
(86) (22) 出願日	平成18年3月31日 (2006. 3. 31)		モックステック・インコーポレーテッド
(85) 翻訳文提出日	平成19年12月3日 (2007. 12. 3)		アメリカ合衆国ユタ州84057, オレム
(86) 国際出願番号	PCT/US2006/011744		, ウェスト 1260 ノース 452
(87) 国際公開番号	W02006/105332	(74) 代理人	100089705
(87) 国際公開日	平成18年10月5日 (2006. 10. 5)		弁理士 社本 一夫
(31) 優先権主張番号	60/667, 250	(74) 代理人	100140109
(32) 優先日	平成17年3月31日 (2005. 3. 31)		弁理士 小野 新次郎
(33) 優先権主張国	米国 (US)	(74) 代理人	100075270
(31) 優先権主張番号	11/395, 531		弁理士 小林 泰
(32) 優先日	平成18年3月30日 (2006. 3. 30)	(74) 代理人	100080137
(33) 優先権主張国	米国 (US)		弁理士 千葉 昭男
		(74) 代理人	100096013
			弁理士 富田 博行

最終頁に続く

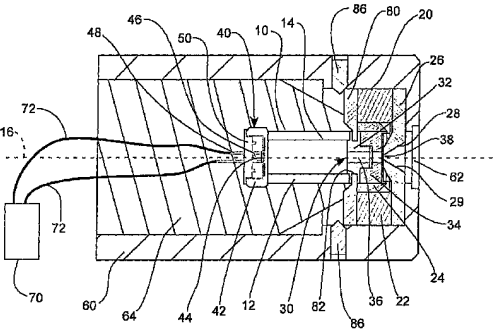
(54) 【発明の名称】 X線源のための磁気ヘッド

(57) 【要約】

【解決手段】

X線源（10）は、電子ビームの合焦機構を提供するため磁気装置（20）を備える。磁気装置は、可変合焦機構及び非合焦機構を提供することができる。磁気装置は、1つ以上の電磁石及び／又は永久磁石（22）を備えることができる。真空管（12）の両側に配置された、アノード（30）及びカソード（40）に電位差が印加される。カソードは、アノードとカソードとの間に形成された電場に応答してアノードに向かって加速される電子を生成するためのカソード要素（44）を備える。アノードは、電子の衝突に応答してX線を生成するためのターゲット材料（38）を備える。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

電子ビームを合焦させるためアノードに連結された磁気装置を備える X 線源装置であって、

(a) 真空管と、

(b) 前記真空管に連結されたアノードであって、電子の衝突に応答して X 線を生成するように構成された材料を含む、前記アノードと、

(c) 前記アノードと反対側に前記真空管に連結されたカソードであって、前記アノードと前記カソードとの間の電場に応答して前記アノードに向かって加速される電子を生成するように構成されたカソード要素を備える、前記カソードと、

(d) 電子ビームを合焦させるため前記アノードを取り囲む、環状磁気装置と、
を備える、X 線源装置。

【請求項 2】

前記真空管は、約 7.6 cm (約 3 インチ) より小さい長さ、約 2.5 cm (約 1 インチ) よりも小さい直径若しくは幅とを有し、

前記カソードは、約 1 ワットよりも低い電力消費量を有する低電力消費カソード要素を備え、

前記 X 線源装置は、前記カソード要素のための電力を提供して前記アノード及び前記カソードの間で電場を提供するため、前記アノード、前記カソード及び前記カソード要素に電氣的に接続された、バッテリー電源を更に備える、請求項 1 に記載の X 線源装置。

【請求項 3】

前記バッテリー電源は、バッテリー作動式の高電圧電源を備え、前記アノードと前記カソードとの間で約 4 乃至 80 キロボルトの電場を提供する、請求項 2 に記載の X 線源装置。

【請求項 4】

前記環状磁気装置は、前記 X 線源装置内で電子ビームを合焦させ、その結果生成された合焦電子ビームは、前記環状磁気装置無しに生成された合焦していない電子ビームと比べて、約 1/2 から約 1/50 のサイズにまで減少した断面直径を有する、請求項 1 に記載の X 線源装置。

【請求項 5】

前記環状磁気装置は、

前記アノードを取り囲み、且つ、前記環状磁石及び前記真空管の長さ方向軸と平行に向き付けられた磁石極を有する、環状磁石と、

前記環状磁石の軸方向直前に配置され、且つ、前記真空管の長さ方向軸と同軸の長さ方向軸を有する環状極部品と、

前記環状磁石の軸方向直後に配置され、且つ、前記真空管の長さ方向軸と同軸の長さ方向軸を有する環状シャントと、

を更に備える、請求項 1 に記載の X 線源装置。

【請求項 6】

前記アノードは、

強磁性材料から形成され、前記真空管に取り付けられた管延長部と、

前記管延長部に取り付けられ、ターゲットを有する窓取り付け部と、

前記管延長部及び前記窓取り付け部を通して延在し、前記管延長部及び前記窓取り付け部により画定されて前記ターゲットのところで終わっている、ドリフト管と、

を更に備える、請求項 5 に記載の X 線源装置。

【請求項 7】

前記窓取り付け部は、約 1 の比透磁率を有し、前記環状磁石は、約 10 から 50 メガガウスエルステッドの磁気エネルギー積 (最大エネルギー積) を有する、請求項 6 に記載の X 線源装置。

【請求項 8】

前記シャント及び前記極部品は、約 10 の比透磁率を有する、請求項 6 に記載の X 線源

10

20

30

40

50

装置。

【請求項 9】

前記シャント及び前記極部品は、1 より大きい比透磁率を有する、請求項 6 に記載の X 線源装置。

【請求項 10】

前記極部品は、X 線を透過させるための出口アパーチャを備える、請求項 6 に記載の X 線源装置。

【請求項 11】

前記極部品のアパーチャは、前記アノードにおける X 線生成箇所にもっと近いところに位置する最小の後方開口部と、前記 X 線生成箇所から最も遠いところに位置する最大の前方開口部とを有するように、円錐状に形成される、請求項 10 に記載の X 線源装置。

10

【請求項 12】

前記極部品は、前記窓取り付け部又はアノードのところへと後方に延在する中央突起部を備える、請求項 6 に記載の X 線源装置。

【請求項 13】

前記シャントは、2 つの部品へと分割され、前記真空管の直径より小さい直径を備える中央アパーチャを有する、請求項 6 に記載の X 線源装置。

【請求項 14】

前記真空管、前記アノード、前記環状磁石、前記シャント、及び、前記極部品は、シールドエンクロージャ内に配置可能である、請求項 6 に記載の X 線源装置。

20

【請求項 15】

少なくとも前記環状磁石は、前記アノードに取り外し可能に配置される、請求項 6 に記載の X 線源装置。

【請求項 16】

前記環状磁気装置の少なくとも一部分は、移動可能である、請求項 1 に記載の X 線源装置。

【請求項 17】

前記磁気装置は、電磁石を備える、請求項 1 に記載の X 線源装置。

【請求項 18】

前記真空管の端部に配置され、且つ、X 線を解放するように構成された窓を更に備え、該窓は、実質的に前記長さ方向軸に沿って X 線を解放するように構成された前記真空管の長さ方向軸と整列している、請求項 1 に記載の X 線源装置。

30

【請求項 19】

電子ビーム合焦のための磁気ヘッドを備える X 線源装置であって、

(a) セラミック材料から形成された真空管と、

(b) 前記真空管の一端部に配置されたアノードであって、

(i) 強磁性材料から形成され、前記真空管にブレード溶接された管延長部と、

(ii) 前記管延長部に取り付けられ、且つ、電子の衝突に応答して X 線を生成するように構成された材料を有するターゲットを備える、窓取り付け部と、

(iii) 前記管延長部及び前記窓取り付け部を通して延在し、前記管延長部及び前記窓取り付け部により画定された、ドリフト管と、

40

を備える、前記アノードと、

(c) 前記アノードと反対側に前記真空管の別の端部に配置されたカソードであって、前記アノードと前記カソードとの間の電場に応答して前記アノードに向かって加速される電子を生成するように構成されたカソード要素を備える、前記カソードと、

(d) 前記アノードを取り囲む、環状磁石と、

(e) 前記環状磁石の直前に配置され、且つ、前記窓取り付け部へと延在する環状出口極部品と、

(f) 前記環状磁石の直後に配置され、且つ、前記管延長部へと延在する環状シャントと、

50

を備える、X線源装置。

【請求項20】

前記真空管は、約7.6cm（約3インチ）より小さい長さ、約2.5cm（約1インチ）よりも小さい直径若しくは幅とを有し、

前記カソードは、約1ワットよりも低い電力消費量を有する低電力消費カソード要素を備え、

前記X線源装置は、前記カソード要素のための電力を提供して前記アノード及び前記カソードの間で電場を提供するため、前記アノード、前記カソード及び前記カソード要素に電氣的に接続された、バッテリー電源を更に備える、請求項19に記載のX線源装置。

【請求項21】

X線の電子ビームを合焦させるための磁気ヘッド装置であって、

アノードを取り囲むように構成された環状磁石と、

前記環状磁石の直前に配置された環状極部品と、

前記環状磁石の軸方向直後に配置されて第2の極部品を画定する環状シャントと、

を備える、磁気ヘッド装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本出願は、2005年3月31日に出願された米国仮出願番号60/667,250号の利益を請求する。該出願は、全ての目的のために参照により本願に組み込まれる。

【0002】

本発明は、概して、合焦された電子ビームを備えるX線源に関する。より詳しくは、本発明は、小型で可搬式のX線管のアノードターゲットと電子ビームとのその交差部における電子ビーム断面を減少し、これによりそのX線放射領域のサイズを減少して、そのX線出力の局所的強度を増大させるための小型磁気電子レンズアセンブリに関する。

【背景技術】

【0003】

X線管では、カソードから放射された電子は、2つの電極の間に維持されたバイアス電圧により生成された電場によりアノードに向かって加速される。介在された空間は、ガスとの衝突を通じた電子エネルギー損失及び散乱を回避するため並びに汚染ガスのイオン化とそれに引き続いて正イオンがカソードに向かって加速されて電子線源に損傷を及ぼして管の寿命を制限することを防止するため、真空引きされていなければならない。特性X線及び制動放射のX線は、アノードターゲット材料と衝突した電子により発生される。あらゆる材料は、それ自身の特性X線放射に対して比較的透過性を有し、その結果、ターゲットが十分に薄い場合には、ターゲット材料を通過して、電子衝突箇所とは反対側のターゲット表面から出て行く強力なX線放射が存在し得る。この構成の装置は、トランスミッション形式又は「エンドウィンドウ」X線管と称される。これと比較すると、バルクアノード管又は「サイドウィンドウ」管は、真空空間内に厚い非透過性のターゲットを有し、そのX線放射は、あたかも電子入射表面から反射されたかのように、管から真空チャンバーの側部に配置されたX線透過窓を介して出て行く。各々の形式のアノードは、意図した用途に応じて、その利点及び欠点を有する。

【0004】

典型的な高出力X線管は、幾分嵩張っており、壊れ易い。そのようなX線管は、装置の可搬性を制限する大型の高電圧出力電源により付勢されなければならない。一般に、標本が集められ、該標本を分析用の固定式X線管にまで持って行かなければならない。これは、多くのX線用途にとって不便である。サンプルを機器まで持ってくるというよりも機器をサンプルまで持って行くことが有利となる幾つかの「フィールドアプリケーション」には、土壌、水、金属、鉱石、鉱泉等の蛍光X線分析法（XRF）、並びに、X線回折及び材料厚測定法などが挙げられる。

【0005】

X R F等の低電力X線用途に対しては、装置の可搬性に関する一つの人気のあるアプローチは、X線源として、 ^{109}Cd を使用することである。カドミウムのこの放射性同位元素は、核崩壊の結果としてX線を放射する。現在使用中の放射性カドミウムを組み込む多数の機器、並びに、同位体により放射されたエネルギーを用いたX R F分析を感度が高く信頼性のあるものにするため開発された方法が存在している。残念ながら、 ^{109}Cd からの放射強度は、約1.2年の半減期で指数関数的に崩壊する。これは、同位体源の頻繁な再校正及び事実上の廃棄を必要としている。加えて、X R Fにとって適切なアノードカドミウム源の放射能は、約1~2キュリーであり、その結果、要求される量及び活動度レベルの同位体の輸送及び所有にはライセンスが必要となる。

【0006】

小型で非同位体を用いるX線管が医療目的のために実証された。例えば、米国特許番号5,729,583号及び6,134,300を参照せよ。しかし、参照された装置の形状は、小型で機動性のあるX R F分析にとって理想的ではない。これらの医療X線管は、放射線を少なくともπステラジアン範囲に送り、検出器により容易にアクセスされるビーム又はスポットへと集中させるのではなく、治療理由のために比較的大きな標本領域を放射するように設計されている。かくして、医療X線管は、それらのX線出力の発散性の故に、ほとんどの原位置X R F分析にとっては不適切である。別の種類の医療管は、X線が診断目的のために使用される組み合わせ装置であり、X線源が患者の身体内部に配置されるものである。放射されたX線は、組織を通して身体の外にある膜に到達し、腫瘍又は解剖組織上の欠陥の位置を暴露する。例えば、米国特許番号5,010,562号及び5,117,829号を参照せよ。‘562号特許に関しては、フォイルが透過型アノードではないが、電子窓であることを記すことが重要である。‘829特許に関しては、興味深いノズルが示されているが、装置の残りの部分が大型で機動性を求めるフィールドワークでは不適切である。

【0007】

別の種類のX線管は、パイプ内に挿入するため使用されるロッドアノードと、X線検査のためのボイラーとを備えている。真空引きアノードは、電子ビームが反対側端部でターゲット表面に入る位置から中空となっている。ロッドの側部にある窓は、X線が装置内部から放射されることを可能にしている。カソードから最も離れたロッドの端部でターゲット上で電子ビームを合焦させるため、外部磁気コイルは、その全長に沿ってロッドと同軸に配置されている。電磁石は、重く、それが機動性があるべき場合には、大型バッテリーからのかなりの電力を要求する。更には、この構成の長いアノードは、典型的な分析用途にとって利点を提供しない。

【0008】

X線管のアノードとしてX線の集中源を得るため、レンズ及びアパーチャを備える光学系が通常用いられる。これらの光学素子は、電子ビームを、ターゲット上の小さな直径へと合焦させるように設計され、X線源の外見サイズを減少させる。そのような光学素子の一例が電子顕微鏡のカソード近傍でしばしば使用されている、ウェーネルトアパーチャである。ウェーネルトアパーチャの欠点は、それがカソードから出る電子フラックスを有意に制限するということである。X R Fにとって、アノードが検体の（好ましくは）小さい部分に差し向けられたX線の発生のための箇所である故に、それがカソードというよりもアノードを打つところの電子ビームの直径を制限することがより重要となる。アノードにおける小ビーム断面の要求は、典型的には、他の電極がビーム合焦素子として機能することを求めている。そのような素子の一例は、カソードからアノードへの距離のおおよそ半分を占める中空の円柱合焦電極である。この種の構成は、電子レンズとみなすことができる。しかし、場形成電極は、実際に、アノードとカソードとの間の距離を減少させ、X線管の内部における絶縁破壊のリスクを増大させかねない。

【0009】

素子分析のためにX線蛍光物質を励起させるため使用される任意装置の重要な特徴は、X線が発生される位置が照射されるサンプルに可能な限り近いところにあるべきであると

10

20

30

40

50

いうことである。これは、X線の強度がターゲットからの距離の自乗の逆数に比例して減少するが故に必要となる。空間分解能の理由のため、X線フラックスがサンプル上の小さいスポットに合焦される場合にはXRF分析にとって更に有利となる。小さいX線源は、複雑なサンプルの個別の小部分の分析を可能にする。

【0010】

XRFでは、X線ビームは、サンプル内の元素を励起させるために使用される。当該元素は、ランバートン空間分布において特性放射を蛍光し、その結果、機器の形状が検体を照明するビームと検出器内へと至る蛍光X線との間で約45°の角度を可能にする場合に、XRF感度が最大となる。一般的なX線管に関しては、X線源の大きな外観サイズは、入射放射に対して所望の45°の代わりに90°以上となる角度で、検出器が一方の側部に配置されなければならないことを要求する。

10

【0011】

トレセーダ特許（米国特許番号6,075,839号）の目的は、ターゲットをサンプルにアクセス可能とすることであるが、本発明の出口窓端部は、必然的に幅広くなっている（20mmより大きい）。更には、アノードは窓から非常に凹んでいる。管の電子銃がアノードの背後の代わりにアノードの側部に配置されているからである。その上、この外形上の欠点を救済するためトレセーダの設計を修正することは不可能である。当該ターゲットは、電子ビームの曲率のための余地を作るためX線窓から十分に分離されていなければならないからである。その結果が、当該特許の図3に示されているように、ターゲットとサンプルとの間の大きな距離である。

20

【0012】

高感度XRFのための別の要求事項は、当該サンプルが、検査下にある材料の正確な1つ以上の波長のX線で放射されるべきであるということである。より高いバイアス電圧は、X線フラックスを増大させるだけではなく、出力のエネルギー分布即ちスペクトルを変化させる。好ましくは、アノードからカソードへのバイアス電圧はオペレータにより選択可能とするべきであり、アノードからカソードへの電流設定から独立に制御されるべきである。一般に、X線フラックス（及びこれに対応してビーム電流）が高くなればなるほど、XRF、材料厚さ測定、X線回折のいずれの方法が用いられたとしても、当該装置を用いて測定がより高精度に正確になされる。一旦、検出器が飽和するようになった場合にのみ、追加のX線は、何らの利点をもたらさない。従って、電子ビームの電流は、適切であるが過度ではないX線強度を提供するため、加速電圧から独立に調整されるべきである。

30

【0013】

一般的なX線管に対しては、実質的な冷却が要求される。電子衝突によるX線の発生は、非常にエネルギーが非効率なプロセスであるからである。電子ビームの運動エネルギーの1%未満は、実際には、X線に変換される。エネルギーの残りの部分は、ターゲット内で熱に変換される。熱は、もし存在するならば熱イオン源（即ち、フィラメント）によっても発生される。X線管内で発生した熱は、しかし、装置の温度を実質的に上昇させることを可能にするべきではない。幾つかの管の構成部品の寿命が温度の上昇と共に減少してしまうからである。温度の急激な変化に伴う熱的衝撃も、特別の懸念事項である。熱を考慮すると、ほとんどのX線管は、作動中に、流れる液体又は強制流れ空気冷却される必要がある。冷却の効率は、主要には、管のバルク（例えば、特にアノード）の熱伝導度により制限される。小型化は、この問題をある程度まで緩和させるが、米国特許番号6,075,839号（オイル、SF6又は強制流れ空気により冷却）の発明と、強制流れ空気により冷却を援助するための外側突起部を有する米国特許番号6,044,130号の発明にとっては、冷却がなおも必要とされる。十分なX線フラックスを達成するため、従来のX線管は、非常に大きくなければならず、これによって能動的な冷却を要求する。周囲の空気だけとの熱交換により冷却される十分に強力な管は、あらゆる用途にとって共通ではない。

40

【0014】

更には、多数のX線管のX線出力は、一般に、アノードターゲットで、電子ビーム断面

50

、即ち「スポット」のサイズ、形状及び位置において、ばらつきを被るおそれがある。電子ビームは、焦点が合わず、形状が歪み、正確に位置決めされていない（即ち、軸外し）か、又は、ターゲットに対して運動し、その結果、集中していない、低いレベルの、又は、不安定な出力をもたらし得る。これは、X線放射の安定した適切なレベルを必要とする例えばXRF等の分析的応用に関する明らかな欠点となる。

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0015】

X線源又は可搬式の小型X線源内部の電子ビームの合焦及び安定性を改善するように装置を開発することが有利となることが認識された。また、X線装置の幾つかの物理的態様を実質的に変更すること無く、固定焦点、可変焦点又は非焦点の構成で利用することができるX線源を開発することも有利となることが認識された。

【課題を解決するための手段】

【0016】

本発明は、電子ビームの合焦機構を備えたX線源装置を提供する。X線源は、アノード、カソード及び絶縁装置を有して真空領域を覆う真空管を備える。アノードアセンブリは、電子の衝突に応答してX線を生成するための材料を備える。カソードアセンブリは、アノードと反対側に管内に配置される。電子差を、アノードとカソードとの間に印加することができる。印加された電子差の結果は、所望の運動エネルギーまで電子を加速するのに十分となる管の真空領域内に形成された電場である。カソードアセンブリは、印加された電場に応答してアノードに向かって加速される電子を生成するための、電子エミッター、即ちカソード要素を備える。環状磁気装置が、電子ビームを合焦させるためアノードを取り囲んでいてもよい。

【0017】

本発明のより詳細な態様によれば、X線源装置を、小型及び可搬式の両方の性質を具備するように構成することができる。カソードアセンブリは、約1ワット以下の電力消費量の低電力消費カソード要素を備えることができる。アノード、カソード及び電子エミッターに電源を電氣的に接続することができる。

【0018】

本発明のより詳細な別の態様によれば、X線透過窓を、装置のアノード端部で真空管内に配置することができる。当該窓は、実質的に長さ方向軸に沿ってX線を透過させるように、真空管の長さ方向軸と同軸とすることができる。

【0019】

本発明のより詳細な別の態様によれば、X線源装置は、1つ以上の永久磁石、又は、1つ以上の電磁石、又は、1つ以上の永久磁石と1つ以上の電磁石との組み合わせを有する磁気合焦アセンブリを備えることができる。更には、磁気合焦アセンブリは、小型の可搬式X線源内の空間の幾つかの領域で磁場を形成し、強化させるための要素から構成することができる。

【0020】

本発明の更なる特徴及び利点は、本発明の特徴を例を挙げて示している添付図面を参照して次の詳細な説明から明らかとなる。

【実施例】

【0021】

以下、図面に示された一例としての実施例を参照する。当該実施例を説明するため特定の言語が使用される。しかし、本発明の範囲を当該実施例に限定するものではないことが理解されよう。本開示内容に触れた当業者によって想到される、本明細書で示された本発明の特徴の変更及び更なる変形並びに本発明の原理の追加の応用は、本発明の範囲内にあるとみなされるべきである。

【0022】

図1には、10で示された本発明に係る可搬式小型X線源又は管が示されている。様々

10

20

30

40

50

な態様の可搬式小型X線源は、米国特許番号6,661,876号に開示されており、ここで参照したことにより本願に組み込まれる。X線源10は、電子ビーム合焦を提供するためX線源10に連結された、全体として20で示された磁気装置を有利に備えている。磁気装置20又はその一部分は、可変の電子ビーム合焦機構を提供するため移動可能であってもよい。更には、合焦機構及び非合焦機構の両方を提供するため、磁気装置20をX線源10に移動可能に連結することができる。材料の詳細及び寸法を始めとする、磁気装置20の構成は、特定の用途にとって適切であるとみなされるように、電子ビームの合焦度合いの変化を提供するように様々に変えることができる。土壌、水、金属、鉱石、鉱泉等の蛍光X線分析法(XRF)、並びに、回折及びメッキ厚さ測定法等の「フィールドアプリケーション」は、X線源10等からの利益を享受することができる用途である。

10

【0023】

X線源10は、真空管12を備える。X線源10は、透過型X線源であってもよく、当該管は、図示のように、透過型X線管であってもよい。当該管12は、細長い誘電シリンダーを備えることができ、一態様では、例えば酸化アルミニウム等のセラミック材料から形成される。セラミックは、その寸法的な安定性及びより高い電圧に耐えるその能力の故に、従来から使用されているガラスよりも優れていると考えられている。ベリリア、石英、又は、マコール(R)等の他の誘電材料も使用することができる。アノード及びカソードの一部分を形成する延長部を、誘電管の両端部に直接的且つ永久的に取り付けることができる。当該延長部は、金属材料から形成され、セラミックにブレード溶接することができる。

20

【0024】

上記したように、X線源10は、小型で可搬性を有し、フィールドアプリケーションに適している。X線管12は、可搬性及びフィールドアプリケーションでの使用方法を促進するため、約7.6インチ(約3インチ)より小さい長さ、約2.5cm(約1インチ)より小さい幅と、を有することができる。

【0025】

概して30で指し示されたアノードと、概して40で指し示されたカソードとは、真空管12の一部に配置され、その一部を形成する。アノード30及びカソード40は、真空管12の両端部に配置されている。電位差は、アノード30とカソード40との間に印加される。後述されるように、アノード30を電氣的に接地し、カソード40を印加された電圧を有するようにすることができる。カソード40を、接地されたアノード30に対して負の高電圧で保持することができる。一態様では、アノード30を正の高電圧で保持し、カソード40が接地されてもよい。別の態様では、いずれの電極も接地されず、カソード40がより負に偏倚された要素となり、カソード30がより正に偏倚された要素となる。

30

【0026】

カソード40は、低電力消費カソードであってもよく、低質量で低電力消費カソード要素44、即ちフィラメントを備えることができる。カソード要素44は、例えば小型でコイル巻きされたタングステンフィラメント等の熱イオンエミッターであってもよい。カソード要素44は、電子を生成する。放出された電子は、アノード30とカソード40との間の電場に応答してアノード30に向かって加速される。カソード要素44は、本明細書では約1ワットより小さい電力消費量を意味することが意図された低電力消費量を持ち得る。カソード要素44のより低い電力消費量は、X線源10をバッテリーで電力供給することを可能にし、かくして、可搬性を有するものにする。更には、カソード要素44は、約100マイクログラムより小さい質量を持つことができる。

40

【0027】

カソード要素44を支持するため、ヘッダー即ちエンドキャップ50を延長部に取り付けてカソードアッセンブリ内に設けることができる。ピン又はポート46が、ヘッダー即ちエンドキャップを通して延在することができ、それらの間でカソード要素を支持することができる。高電圧ワイヤ48を、ピン46に、かくしてカソード要素44に電氣的に接

50

続することができる。

【0028】

カソード要素44が熱イオン型エミッターであるとき、フィラメントに亘る約1ボルトの電位は、フィラメントを通して約200mAの電流を流し、フィラメント温度を約2300℃に上昇させる。この温度は、ほとんどの熱イオン源と比較して低温であるが、X線管の意図された用途のために十分な電子放出を提供する。例えば、半導体検出器を飽和させるため合金から十分な蛍光を発生させるため僅か20μAのみしか要求されない。タングステンカソードがアルカリ土類金属（例えば、Cs、Ca又はBa）の混合された酸化物で被覆され、1000K程度の温度での作動を可能とするならば、より高い放射効率さえも得られる。そのような被覆されたカソードは、上述されたように、低い質量及び電力消費量を持つことができる。

10

【0029】

従来の高温ヘアピン型式と比較して比較的低温のコイル巻きされたタングステンエミッターには多数の利点が存在している。より低温のワイヤは、全体としてX線装置にあまり熱を追加せず、これにより冷却機構を設けるという不便な要求が無くて済むことになる。より低い温度は、タングステンの蒸発を減少させ、その結果、タングステンはアノード上に堆積せず、ワイヤは、腐食に起因して急激に薄くなり破壊されるようになることはなくなる。しかし、低温タングステンコイルは、ラングミュア限界以下に低下することはない、その結果、該コイルと、ウェーネルト光学系即ち後述されるカソード光学系との間で、空間電荷が蓄積し得る。

20

【0030】

代替例として、X線源10は、電圧を約80kVまで、放出電流を約0.2mAまで加速上昇させ、（後述されるように）ビームスポットサイズをアノードターゲットにおいて約50から100ミクロンまで増大させる。

【0031】

アノード30は、真空管12にブレード溶接された延長部32を備えることができる。延長部32は、真空管12のセラミック材料にCTE合致されたコパル等の強磁性材料を用いることができる。端部部品即ち窓取り付け部34は、延長部32に配置することができる。窓取り付け部34は、窓支持構造を形成し得る。窓取り付け部34は、モネルメタル（R）から形成することができる。ボア36を、管の延長部32及び電子が通過し電子ドリフト経路即ち「ドリフト管」を形成するところの窓取り付け部34を貫通して形成することができる。

30

【0032】

ターゲット窓38は、電子の衝突に応答してX線を生成するため、アノード30又は窓取り付け部34に配置されている。ターゲット窓38は、要求されたエネルギーのX線を発生させるため例えば銀等の適切な材料を含んでいてもよい。窓即ちターゲット窓38は、アノード30の端部に配置されたシート又は材料層であってもよい。例えば、ターゲット窓38は、250μm厚のベリリウムディスク上に配置された2μm厚の銀層とすることができる。カソード40からの電子が銀のターゲットに衝突したとき、特性X線放出は、人気のある¹⁰⁹Cd放射性X線源とほとんど同じ波長となる。ターゲット窓38を、窓取り付け部34にブレード溶接することができる。ターゲット材料はターゲット窓38の真空側にスパッタリングで蒸着することができる。ターゲット窓38は、ベリリウム又は他の十分にX線が透過可能な材料から作ることもできる。

40

【0033】

低エネルギー制動放射を除去するためフィルターを使用することができる。当該フィルターは、ターゲット窓38上でアノード30に配置することができる。当該フィルターは、ベリリウム等のフィルター材料を含むことができる。当該フィルターは、ベリリウムの薄い層又はシートであってもよい。当該フィルター又はその材料が、ターゲット窓38を被覆してもよい。そのような構成では、例えば銀のLライン等の一定エネルギーのX線が放射され得るが、当該X線は空気中の非常に短い距離を移動した後に吸収され得る。追加

50

のフィルター処理が本明細書で更に後述されるように、ベリリウムの後段又はベリリウムの代わりに追加されてもよいことが理解されよう。例えば、当業者は、1966年、ニューヨーク、ケンブリッジ大学発行のU. W. アルンツ及びB. T. M. ウィリスによる「単一結晶回折学」の301頁で説明された種類のバランスフィルターを使用することができる。

【0034】

真空管12、管延長部32及び42、カソードアッセンブリ40、窓取り付け部34、並びに、ターゲット窓38を始めとする上述された様々な構成要素は、真空X線源10を形成する。電氣的遮蔽及び軸外しX線からの遮蔽を提供するためX線源装置10の周りに、シールド60が配置されていてもよい。シールド60は、アノード30のための電氣的バイアス経路を提供するためアノード30に電氣的に接続することができる。加えて、シールド60は、電氣的伝導度及びX線不透明度のため選択された材料を含むことができる。シールド60は、アノード30と接触しながらX線源装置10とシールド60との間の絶縁を可能にするため、中空の管状又は円錐シェルであってもよい。シールドは、X線源装置10からのX線の透過のため、開口部即ち出口アパーチャを備えることができる。

10

【0035】

シールド60は、出口アパーチャ62のところで追加のX線フィルター又は窓を取り付けるための特徴を備えていてもよい。フィルター又はターゲット窓38は、環境堆積物がX線装置10に到達することを防止するため物理的バリアを提供することもできる。シールド60は、外部ハードウェアへのその取り付けのため、例えばピン、穴、ねじ切り突起部又はねじ穴等の特徴を備えることができる。更には、シールド60は、高温環境又は高いデューティサイクル用途においてX線源10の冷却を容易にするため、例えば内部チャンネル、又は、外側突起部即ち「フィン」等の特徴を備えることができる。シールド60と管12との間の領域64は、例えばシリコンゴム等の誘電注入組成物で充填されていてもよい。一態様では、注入材料は、高い熱伝導度を持っていてもよく、熱分散及び冷却を援助するため高い熱伝導度の材料、例えば窒化ボロンを含むことができる。注入材料は、例えばビスマス、鉛、アルミニウム、又は、それらの酸化物等のX線に不透明な材料を含むことができる。

20

【0036】

X線源装置10は、アノード30、カソード40及びカソード要素44に電氣的に接続されたバッテリー駆動の高電圧電源70を備え、該電源により作動することができる。バッテリー電源70は、カソード要素44のための電力と、アノード30及びカソード40の間の電場とを提供することができる。バッテリー電源70と低電力消費カソード要素44とは、X線源10を、フィールドアプリケーションのために可搬式にすることを可能にすることができる。

30

【0037】

分析的な用途のためには、一定レベルのX線放出を維持することが重要となる。従って、電源70の特徴は、放出電流に比例するフィードバックを使用して出力の安定性が維持されるということである。管の抵抗におけるあらゆるドリフトは、この手段によって、迅速に補償され、これにより管電流が一定に維持される。電源70は、米国特許番号5,400,385号で説明された電源と類似しているが、本発明では、電源は小型でバッテリー駆動式である。

40

【0038】

上述されたように、カソード要素44は、熱イオンエミッターとすることができる。他の種類のエミッターも使用することができる。例えば、フィールドエミッターを使用することができる。電子エミッターの別の例として、電子を放出するため強誘電体を提供することができる。再び、電源のカソード部分を適合させることができる。この場合には、電源70は、強誘電性カソードに適切な電圧のパルスを提供することができる。

【0039】

金属チップアレイ、アレイ若しくは電界放出表面のいずれかの態様のゲート調整エミッ

50

ター、調整ゲート付き又は調整ゲート無しのカーボンナノチューブ、加熱された六硼化ランタン（LaB6）等を始めとする、他の電子エミッターを使用することができる。

【0040】

上述されたように、X線源装置10は、16で破線により示された、その長さ方向軸に沿ってX線を放出するように構成されている。カソード要素44及びターゲット窓38は、X線管の長さ方向軸と同軸に整列することができる。

【0041】

真空管12は、装置10を操作し位置決めすることを可能にするため、並びに、当該装置を、長く狭い空間へと適合させることを可能にするため、可撓性電気ケーブル72により電源70に接続することができる。電気ケーブル72は、誘電領域64の内部のカソードヘッダー50上のピン48及びアノード30又はシールドエンクロージャ60に接続することができる。代替手段は、X線源を電源と一体の部品として構築することであり、該一体部品は露出ケーブル無しの単一ユニットを形成する。X線源と電源との組み合わせは、適切なサイズの空間のために十分に小さくすることができる。

【0042】

更には、X線源装置10は、ターゲットとの衝突箇所で電子ビームを合焦させるため、全体として20で指し示された磁気装置を有利に備えている。磁気装置20は、X線源のアノード30を取り囲む環状磁石22を備えている。環状磁石22は、アノード30又は窓取り付け部34を受け入れるようにサイズが定められた中央アパーチャを有することができる。代替例として、アルミニウム等、約1の比透磁率を有する材料でできた環状スペーサ24を、磁石22とアノード30との間に配置することができる。

【0043】

一態様では、磁石22は、1つ以上の永久磁石から構成することができる。有利なことに、永久磁石は、電力を消費せず、電氣的接続も電源も必要としない。別の態様では、磁石22は、1つ以上の電磁石、又は、1つ以上の永久磁石と1つ以上の電磁石との組み合わせから構成することができる。有利なことに、電磁石、又は、永久磁石及び電磁石の組み合わせは、装置又はその構成の物理的変更無しに、電子ビーム合焦度合いの調整が可能となるということである。例えば、電磁石内のコイル電流を変化させることによって可変焦点を達成することができる。

【0044】

当該磁石は、様々なサイズ、形状及び強度を持ち得る。例えば、磁石は、約10から50メガガウスエルステッド（MG Oe）の最大エネルギー積を備える永久磁石とすることができる。別の態様では、当該磁石は、約30から40メガガウスエルステッド（MG Oe）の最大エネルギー積を備える永久磁石とすることができる。環状磁石23は、後述されるように、アノードの周りに取り外し可能に配置することができる。

【0045】

磁気装置20は、（カソードから離れて）環状磁石22の直前に配置された環状出口極部品26を更に備えることができる。環状出口極部品26は、例えば鋼鉄又はニッケル等の強磁性材料から形成することができる。環状出口極部品26は、ターゲット窓38で生成されたX線の装置10外部への軸方向透過を可能にするためアパーチャ28を備えることができる。アパーチャ28は、円錐状に形成されてもよく、ターゲット窓38の近傍のより小さい後方開口部から、アノードターゲット窓38から離れるにつれてより大きくなる前方開口部に向って延在する。更には、極部品26は、後方で窓取り付け部34又はアノード30へと延在する環状中央突起部29を備えることができる。極部品26は、アノード30、ターゲット窓38又は窓取り付け部34と接触することができる。

【0046】

環状出口極部品26は、強磁性材料でできた2つ以上の別個の同心部品から形成することもできる。これらの同心部品は、機械的手段により磁気レンズの合焦作用において変化を達成するため、互いに対して移動させることができる。同心部品の組み合わせは、単一の調整可能な複合極部品を形成することができる。これらの部品は、中央極部品の外側径

10

20

30

40

50

方向表面及び外側部品の内側径方向表面上の螺旋ねじにより、固定され、互いに対して位置決めすることができる。アパーチャ 28 及び中央突起部 29 を備える中央部品は、外側部品及び X 線装置 10 の残りの部分に対して、長さ方向軸 16 の回りを回転することができ、装置 10 の長さ方向軸 16 に沿って極部品の中央部の並進をもたらす。複合極部品の中央部の並進は、アノードターゲット窓 38 の近傍の磁場強度における変化、並びに、それに引き続く、X 線管 12 の内部で電子ビームの断面がターゲット窓 38 で減少する度合いの変化をもたらす。この調整の効果は、X 線放射又は装置により生成された X 線の「スポット」のサイズ、形状及び位置における変化とすることができる。

【0047】

環状出口極部品 26 又はその中央部品は、X 線源 10 の一体部分ではない、X 線窓又はフィルターを収容するための特徴を備えることもできる。X 線フィルターは、当該装置からの全体としての X 線放射のスペクトルの内容又はエネルギー分布を選択的に変更するため選定された材料から作ることができる。フィルター又は窓は、環境上の堆積物がターゲット窓に到達することを防止するため物理的バリアを提供することもできる。特に、磁気装置 29 の近傍における磁場に引き付けられ得る、金属堆積物が、装置 10 のターゲット窓に到達することを防止することができる。これらの金属堆積物は、アノードターゲット窓 38 で発生した X 線放射をぼやけさせるか、さもなくば該 X 線放射を変化させてしまうものである。加えて、環状出口極部品 26、又は、その中央部は、X 線毛細管光学系又は他のハードウェアに当該装置を物理的に連結することが必要となる特徴を備えることもできる。

【0048】

環状出口極部品 26 又はその中央部は、その X 線蛍光特性のために選定された材料の層で被覆することもできる。当該コーティングは、アノードターゲット窓 38 のスペクトル特性、又は、当該装置からの全体としての X 線放射のスペクトルの内容又はエネルギー分布を選択的に変更するため選定された材料のスペクトル特性と合致するように選定された材料から作ることができる。

【0049】

磁気装置 20 は、（カソードにより近い側に）環状磁石 22 の直後に配置されたシャントと、管延長部 32 とから構成された、第 2 の複合環状極部品 80 を備えることもできる。シャント 80 は、アノード 30 又は管延長部 32 を取り囲むことができる。シャント 80 は、真空管 12 の直径よりも小さい直径を有するアパーチャ 82 を持つことができる。シャント 80 は、管 12 又は延長部 32 の周りで該シャントを組み立てることができるように、2 つの部品へと分割することができる。シャント 80 は延長部 32 と接触することができる。シャント 80 は、確実な物理的配置及び良好な磁気結合のため、環状溝等の、延長部上の特徴と嵌合することができる。シャント 80 は、鋼鉄又はニッケル等の強磁性材料から形成することができる。

【0050】

アノード構成部品、延長部 32 及び窓取り付け部 34、環状磁石 22、シャント 80、並びに、極部品 26 は、磁気レンズを形成することができる。延長部 32 は、コバール等の強磁性材料から形成することができ、窓取り付け部 34 は、例えばモネル（R）等、約 1 の比透磁率を有する材料から形成することができる。レンズ構成部品同士の幾何学的関係並びに材料組成は、アノードターゲット窓 38 の近傍の X 線装置 10 内部で電子ビームを合焦させる結合効果を有する。磁気レンズは、磁気装置 20 が無い場合に生成される合焦していない電子ビームと比べて、当該ビームの断面直径を、少なくとも $1/2$ から $1/50$ のサイズにまで減少させて当該ビームを合焦させる。例えば、合焦したビームスポットサイズは、幾つかの実施例では、約 $50 \sim 100 \mu\text{m}$ で測定された。

【0051】

アノード 30 と、環状磁石 22 と、シャント 80 と、極部品 26 とは、アノード電位へと電氣的にバイアスすることができる。

【0052】

更には、真空管 12、誘電領域 64 を占める誘電体、及び、磁気装置 20 を、シールドエンクロージャ 60 内に取り外し可能に配置することができる。例えば、セットねじ 86 は、当該アッセンブリをシールドエンクロージャ 60 内に保持することができる。X 線源装置 10 及び磁気装置 20 を、シールドエンクロージャ 60 の内部から取り外すことができるように、セットねじ 86 を取り外すことができる。

【0053】

合焦していない電子ビームを可能にするため、磁石 22 をレンズアッセンブリから取り外すことができる。代替例として、磁石 22 が電磁石である場合、電磁石は、ゼロ電流で作動することができ、又は、合焦していない電子ビームを可能にするため電磁石と一緒に物理的に除去することができる。磁気装置 20 の有無に関わらず、管 12 を、異なるシールドエンクロージャ 60 又は同じシールドエンクロージャ 60 内に配置することができる。かくして、装置 10 は、環状磁石 22 がアノード 30 の周りに配置される合焦構成と、環状磁石 22 がアノード 30 から取り外されている非合焦構成と、を有することができる。

10

【0054】

磁気装置 20 が、ビームのスポットサイズを減少し、ビームスポットの位置安定性を改善し、電子ビームの後方散乱及びその結果を減少させることが実験的に発見されている。

【0055】

2005 年 3 月 31 日に出願された米国仮出願 60 / 667, 250 号は、参照によりその全体的な内容が本願に組み込まれる。

20

【0056】

上述した構成は、本発明の原理を説明するための用途を示していることが理解されるべきである。本発明は、本発明の例としての実施例に関して図面に示され、上述されたが、多数の変更及び代替構成を、本発明の精神及び範囲から逸脱すること無く工夫することができる。多数の変更を、請求の範囲に記載された本発明の原理及びコンセプトから逸脱すること無く、なし得ることは当業者には明らかである。

【図面の簡単な説明】

【0057】

【図 1】図 1 は、本発明の実施例に係る磁気合焦要素を備えた、可搬式小型 X 線管の側断面図である。

30

FIG. 1

フロントページの続き

(81)指定国 AP(BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, 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, IS, IT, LT, LU, LV, MC, NL, PL, 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, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW

(74)代理人 100106208

弁理士 宮前 徹

(72)発明者 バード, エリック

アメリカ合衆国ユタ州84057, オーレム, ノース85イースト 191

(72)発明者 ジェンセン, チャールズ

アメリカ合衆国ユタ州84003, アメリカン・フォーク, ノース210ウエスト 1209

(72)発明者 レイズ, アートゥロー

アメリカ合衆国ユタ州84057, オーレム, ノース500イースト 453

(72)発明者 オグデン, シャウン

アメリカ合衆国ユタ州84062, プレザント・グローブ, サウス・プレザント・グローブ・ブルヴァード・ナンバー4 151

(72)発明者 リディアード, スティーブン

アメリカ合衆国ユタ州84601, プロボ, ウェスト430サウス 1368