

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5997153号
(P5997153)

(45) 発行日 平成28年9月28日(2016.9.28)

(24) 登録日 平成28年9月2日(2016.9.2)

(51) Int.Cl.	F 1
HO 1 J 37/244 (2006.01)	HO 1 J 37/244
HO 1 J 37/26 (2006.01)	HO 1 J 37/26
HO 1 J 37/28 (2006.01)	HO 1 J 37/28 C
HO 1 J 37/317 (2006.01)	HO 1 J 37/28 B
	HO 1 J 37/317 D

請求項の数 12 (全 24 頁)

(21) 出願番号	特願2013-524216 (P2013-524216)
(86) (22) 出願日	平成23年8月10日 (2011.8.10)
(65) 公表番号	特表2013-535800 (P2013-535800A)
(43) 公表日	平成25年9月12日 (2013.9.12)
(86) 國際出願番号	PCT/US2011/047294
(87) 國際公開番号	W02012/021652
(87) 國際公開日	平成24年2月16日 (2012.2.16)
審査請求日	平成26年8月3日 (2014.8.3)
(31) 優先権主張番号	12/854,008
(32) 優先日	平成22年8月10日 (2010.8.10)
(33) 優先権主張国	米国(US)

前置審査

(73) 特許権者	501419107 エフ・イー・アイ・カンパニー アメリカ合衆国オレゴン州97124, ヒ ルズバラ, ノースイースト・ドーソンクリ ーク・ドライブ5350
(74) 代理人	100103171 弁理士 雨貝 正彦
(72) 発明者	エリック・ニードラー アメリカ合衆国 オレゴン州 97229 ポートランド エヌダブリュー メイフ ィールド・ロード 1512
(72) 発明者	ジョナサン・エイチ・オルロフ アメリカ合衆国 オレゴン州 97136 ロカウェイ・ビーチ ノース・スロープ ・ウェイ 340

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】荷電粒子検出器

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

1 次荷電粒子ビームをターゲットの表面に集束させる荷電粒子カラムであり、前記1次荷電粒子ビームと前記ターゲットとの衝突が前記ターゲットからの2次荷電粒子の放出を引き起こす荷電粒子カラムと、

荷電粒子検出器アセンブリと

を備え、前記荷電粒子検出器アセンブリが、

電気信号を生成する検出器であり、前記電気信号が前記検出器に衝突した荷電粒子の数に対応する検出器と、

前記検出器と前記ターゲットの表面との間に配置された少なくとも1つの抵抗格子であり、前記ターゲットから前記検出器へ2次荷電粒子を移動させ、動作中に、異なる電位が前記少なくとも1つの抵抗格子の異なる部位において維持されて、前記衝突する粒子をより均一に前記検出器全体にわたって分散されることにより、前記2次荷電粒子を偏向させて、前記検出器に衝突する前記2次荷電粒子の最大電流密度を低減させる放射状の場を提供し、それによって前記検出器の耐用寿命を延ばす少なくとも1つの抵抗格子とを含む

荷電粒子システム。

【請求項 2】

前記少なくとも1つの抵抗格子は、前記荷電粒子カラムの軸から遠ざかる方向へ前記2次荷電粒子を偏向させるように構成された、請求項1に記載の荷電粒子システム。

10

20

【請求項 3】

前記荷電粒子検出器が、マルチチャンネル・プレートおよび捕集陽極；PINダイオード；またはシンチレータによって放出された光を光電子増倍管内へ伝送するように構成された光学的光結合手段が前記シンチレータと前記光電子増倍管の間に配置されたシンチレータ-光電子増倍管を含む、請求項1に記載の荷電粒子システム。

【請求項 4】

前記荷電粒子ビームが電子ビームまたは集束イオン・ビームであり、前記少なくとも1つの抵抗格子の電圧および前記荷電粒子検出器の電圧が、2次電子を捕集するように構成された、請求項1に記載の荷電粒子システム。

【請求項 5】

前記荷電粒子ビームが集束イオン・ビームであり、前記少なくとも1つの抵抗格子の電圧および前記荷電粒子検出器の電圧が、2次イオンを捕集するように構成された、請求項1に記載の荷電粒子システム。

【請求項 6】

前記荷電粒子ビームが集束イオン・ビームであり、前記少なくとも1つの抵抗格子は、2次イオンの捕集を容易にするように構成された、請求項1に記載の荷電粒子システム。

【請求項 7】

前記少なくとも1つの抵抗格子は、前記カラムの光軸からの前記2次荷電粒子の相対位置が維持されるような態様で前記2次荷電粒子を偏向するように構成された、請求項1に記載の荷電粒子システム。

【請求項 8】

荷電粒子システム内の2次粒子検出器の損傷または汚染の速度を低下させる方法であつて、

荷電粒子ビームをターゲットの表面に集束させる荷電粒子カラムであり、前記荷電粒子ビームと前記ターゲットとの衝突が前記ターゲットからの2次荷電粒子の放出を引き起こす荷電粒子カラムを提供すること、

前記ターゲットから放出された前記2次荷電粒子の一部を捕集する2次粒子検出器を提供すること、

前記2次粒子検出器と前記ターゲットの表面との間に配置された少なくとも1つの抵抗格子であり、前記ターゲットから前記2次粒子検出器へ2次荷電粒子を移動させ、動作中に、異なる電位が前記少なくとも1つの抵抗格子の異なる部位において維持されて、前記衝突する粒子をより均一に前記検出器全体にわたって分散させることにより、前記2次荷電粒子を偏向させて、前記2次粒子検出器に衝突する前記2次荷電粒子の最大電流密度を低減させる放射状の場を提供し、それによって前記2次粒子検出器の耐用寿命を延ばす、少なくとも1つの抵抗格子を提供すること

を含む方法。

【請求項 9】

少なくとも1つの抵抗格子を提供することが抵抗格子を提供することを含み、放射状の場を提供することが、前記抵抗格子の1つの部分に対する第1の電圧および前記抵抗格子の第2の部分に対する第2の電圧を提供することを含み、前記第1の電圧と前記第2の電圧とが等しくない、請求項8に記載の方法。

【請求項 10】

2次荷電粒子検出器を提供することが、マルチチャンネル・プレートおよび捕集陽極；PINダイオード；またはシンチレータによって放出された光を光電子増倍管内へ伝送するように構成された光学的光結合手段が前記シンチレータと前記光電子増倍管の間に配置されたシンチレータ-光電子増倍管を提供することを含む、請求項8に記載の方法。

【請求項 11】

荷電粒子カラムを提供することが、電子ビームまたは集束イオン・ビームを提供することを含み、前記2次粒子捕集器が2次電子を捕集する、請求項8に記載の方法。

【請求項 12】

10

20

30

40

50

荷電粒子カラムを提供することが集束イオン・ビームを提供することを含み、前記2次粒子捕集器が2次イオンを捕集する、請求項8に記載の方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は一般に集束荷電粒子システムに関し、具体的には、2次粒子用の検出器の損傷および汚染を低減させることに関する。

【背景技術】

【0002】

電子顕微鏡と集束イオン・ビーム・システムの両方を備える荷電粒子システムでは一般に、カラムを使用して、荷電粒子ビームを、そのビームを使用して画像化し（任意選択で）処理するターゲットの表面に集束させる。ターゲットの画像を形成するためには、ターゲット表面にわたって荷電粒子ビームを、通常はあるラスター・パターンに従って偏向させる必要がある。荷電粒子ビームがターゲットに衝突することにより2次粒子が放出され、それらの2次粒子を捕集して画像化信号を形成することができる。一例として、電子ビームは、ターゲットからの2次電子の放出を刺激する。集束イオン・ビームは、2次電子および2次イオン（通常は正電荷を有するイオン）の放出を刺激する。これらのシステムでは、必要な画像化信号を生み出すために2次粒子検出器が使用される。それらの検出器は、検出器の捕集効率、すなわち放出された2次粒子のうち検出器によって実際に捕集された2次粒子の割合によって特徴づけることができる。この捕集効率を高めるため、ターゲットと検出器の間にしばしば「捕集」格子が配置される。この格子に印加された電圧が、2次粒子を引き寄せる電場をターゲットと格子の間に生み出し、引き寄せられた2次粒子は次いでこの格子（粗い網目構造物またはほぼ透過性の他の構造物）を通り抜け、検出器に達する。

【0003】

残念なことに、検出器の損傷および／または検出器表面への汚染物質の蓄積のため、時間が経過するにつれて2次検出器の効率が低下することがあることがあることが分かっている。この損傷は、検出器材料を粉碎しうる入来2次粒子による検出器の高エネルギーの衝撃によって生じる。汚染物質は、荷電粒子ビームと真空システム内の微量のガスとの間の相互作用によって生じた重合炭化水素などの薄い膜で検出器を覆う。このガスはしばしば、荷電粒子ビームとターゲットとの間の相互作用によって生じ、したがってベース圧力が非常に低いシステムであってもその発生を防ぐことは難しい。この損傷は一般に検出器表面にわたって不均一に生じる。この不均一性が生じるのは、ターゲットからの2次粒子の放出パターンがターゲットから上方向に（余弦法則に従って）集中するためである。検出器が、1次荷電粒子ビームを取り巻く環形である場合、捕集された2次粒子の大部分は検出器の中心付近に衝突する。したがって、検出器上における損傷および／または汚染物質の蓄積も中心付近に集中する。検出器の寿命は、（たとえ検出器エリアの大部分がまだ機能する場合であっても）最も損傷したエリアまたは最も汚染されたエリアによって決まり、そのため、損傷および／または汚染物質によって検出器の中心部が使用不能になったときには、検出器全体を交換し、修復し、または清浄化しなければならない。したがって、荷電粒子システムでは、荷電粒子検出器の全エリアにわたって損傷速度および／または汚染速度をより均一にすることにより検出器の寿命を延ばして、検出器全体の寿命を延ばすことが有利となる。

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

本発明の目的は、荷電粒子システム内の2次粒子検出器の寿命を延ばすことにある。

【課題を解決するための手段】

【0005】

本発明は、検出器全体にわたって2次粒子をより均一に分散させる検出器アセンブリを

10

20

30

40

50

提供し、それによって不均一に多数の2次粒子が衝突するため通常ならばより速く劣化するであろう検出器の部分の損傷を低減させることにより、2次粒子検出器の耐用寿命を延ばす。いくつかの実施形態では、ターゲットと検出器の間に配置された格子が、検出器全体にわたって2次粒子をより均一に分散させる電場を提供する。この格子は、それぞれが異なる電位にある複数の部分を含むことができ、または抵抗格子(*resistive grid*)が、単一の格子部分にわたって異なる電位を提供することができる。

【0006】

以上では、以下の本発明の詳細な説明をより十分に理解できるように、本発明の特徴および技術上の利点をかなり広く概説した。以下では、本発明の追加の特徴および利点を説明する。開示される着想および特定の実施形態を、本発明の同じ目的を達成するために他の構造を変更しましたは設計するベースとして容易に利用することができることを当業者は理解すべきである。さらに、このような等価の構造は、添付の特許請求の範囲に記載された本発明の趣旨および範囲を逸脱しないことを当業者は理解すべきである。10

【0007】

次に、本発明および本発明の利点のより完全な理解のため、添付図面に関して書かれた以下の説明を参照する。

【図面の簡単な説明】

【0008】

【図1A】荷電粒子システム内の先行技術の荷電粒子検出器を示す図である。

【図1B】図1Aの先行技術の荷電粒子検出器の一部分を示す図であり、検出器出力電流の時間積分に対する検出器利得のグラフを示す図である。20

【図2A】複数の環状捕集格子を備える本発明の第1の実施形態を示す図である。

【図2B】図1Aの本発明の第1の実施形態の一部分を示す図であり、検出器出力電流の時間積分に対する検出器利得のグラフを示す図である。

【図3】単一の抵抗環状捕集格子を備える本発明の第2の実施形態を示す図である。

【図4】荷電粒子を引き寄せる複数の偏向電極を備える本発明の第3の実施形態を示す図である。

【図5】複数の捕集格子を有する軸外れ荷電粒子検出器を備える本発明の第4の実施形態を示す図である。

【図6】複数の格子に対する第1のバイアス回路の電気接続図である。30

【図7】複数の格子に対する第2のバイアス回路の電気接続図である。

【図8】シンチレータ、光パイプおよび光電子増倍管を備える本発明の第1の実施形態の異型を示す図である。

【図9】透過型電子顕微鏡(TEM)に対して使用された本発明の他の実施形態を示す図である。

【図10】透過型走査電子顕微鏡(STEM)に対して使用された本発明の他の実施形態を示す図である。

【図11】磁石を使用して2次粒子を検出器にわたって分配する本発明の他の実施形態を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0009】

本発明は、2次荷電粒子が検出器に衝突する前に2次荷電粒子を偏向させて、荷電粒子検出器に衝突する荷電粒子の最大電流密度を低減させ、それによって荷電粒子検出器の耐用寿命を延ばす場(*field*)を提供する。「最大電流密度」は、検出器の全エリア上の最も高い電流密度を意味する。2次荷電粒子の分布は、場が提供されない場合よりも均一になる。

【0010】

一実施形態において、本発明は、ターゲットと2次粒子検出器の間に複数の2次粒子捕集格子を配置する。軸から遠ざかる方向へ2次粒子を偏向させる電場をターゲットと捕集格子のアレイとの間に生み出すため、それぞれの格子の電圧は独立して制御可能である。50

2次粒子のこの偏向は、検出器に到達する2次粒子の分布を、単一の捕集格子を用いた場合よりも空間的に均一にする。本明細書で使用する用語「2次粒子」は、1次ビームの後方散乱粒子を含む。

【0011】

第2の実施形態では、格子のアレイの代わりに抵抗格子が使用される。この抵抗格子にわたって電圧を印加して、別個の複数の格子を使用する第1の実施形態で誘導される電場とほぼ同じ電場を生み出す。

【0012】

第3の実施形態では、捕集格子とターゲットの間に複数の偏向電極が配置される。この場合も目的は、検出器位置における2次粒子の分布をより均一にするのに必要な電場を生み出すことである。

【0013】

本発明の実施形態は、検出器が画像化モードで使用される場合にも使用することができ、本明細書ではこれを、透過型電子顕微鏡（TEM - 図9）および透過型走査電子顕微鏡（STEM - 図10）に関して例示する。これらの用途では、カラムの光学設計における考慮事項のため、検出器のエリア全体を画像化に使用することができないことがしばしばある。したがって、検出器位置における粒子の分布はやはり不均一である（しばしばカラムの対称軸付近により集中する）。本発明の実施形態は、検出器のより多くのエリア（一般にカラムの対称軸からより遠いエリア）を画像化に使用することを可能にし、それによつて検出器の寿命を延ばすことができる。検出器に衝突した粒子の空間分布が画像情報を伝達するため、これらの画像化用途では、検出器位置において信号電流を完全に均一にすることができないことがある。位置情報は、2次荷電粒子の空間分布を拡張することによつて、すなわちカラムの光軸からの2次粒子の相対位置を維持することによって維持される。画像化検出器に対する更なる利点は、画像化分解能を向上させることができることである。この利点は、検出器のより広いエリアにわたって画像化信号を分散させると、検出器アレイ内に多くの検出素子を使用して画像を形成することによって生じる。

【0014】

本発明のいくつかの実施形態の他の利点は、普通ならば検出器利得の局所的な飽和が起こると考えられる場合にもより高い信号利得が得られる潜在性である。例えば、マルチチャンネル・プレート（MCP）が入力信号電流を $10^6 \sim 10^7$ 倍にも増幅することはよく知られている。この増幅はMCPの多数のチャンネル内で起こる。大きな入力信号電流がMCPの小さなエリアにだけ衝突する場合には、MCPのその領域において利得が局所的に飽和し、その一方で（より低い入力電流を受け取る）MCPの他のエリアは依然としてその当初の（より高い）利得を維持しているといったことが起こる可能性がある。MCPのこの飽和は、MCPの飽和したエリアに十分な供給電流が到達して通常の信号増幅レベルを提供することをMCPの固有抵抗率が妨げる「電流ローディング（current loading）」効果によって起こる。本発明は、検出器のより広いより均一なエリアにわたって入力電流を分散させるため、この局所的な飽和の影響は低減されまたは排除されるはずである。このことは、検出器の全般的な応答において線形性（すなわち飽和前のより高い利得）を示す範囲の幅がより広いことに対応する。

【0015】

当業者は、特に本明細書に提供された例に照らして、多くの代替実施形態を容易に認識するであろうが、この詳細な説明は、本発明の好ましい実施形態を例示するものであり、本発明の範囲は、添付の特許請求の範囲によってのみ限定される。

【0016】

本発明は、荷電粒子システム内の2次粒子検出器の寿命は以下の2つの因子によって不利な影響を受けることがあるという認識に基づく：

1) 2次粒子による衝撃に起因する検出器の損傷、および

2) 2次粒子による衝撃によって起こる検出器上の材料の重合および検出器上への材

10

20

30

40

50

料の付着に起因する検出器の汚染。

一般的なタイプの2次電子検出器には以下のようなものがある。

【0017】

1) マルチチャンネル・プレート (MCP) - このタイプの検出器は、検出器の捕集エリアにわたって並列に動作する非常に小さなチャンネルを多数有する。それらのチャンネルはそれぞれ他のチャンネルから独立して動作し、それぞれのチャンネル内でのカスケード増倍過程において、入来2次粒子電流を $10^6 \sim 10^7$ 倍にも増幅する。この増幅された電流は次いで、MCPの遠い方の側（すなわち入力信号電流を受け取る側の反対側）に配置された1つまたは複数の陽極で捕集される。「イオン・フィードバック」を防ぐためにしばしば2段構造が使用され、この2段構造では、第1段のチャンネルの角度が第2段のチャンネルの角度とは異なり、それによってMCPの出口から入口への陽イオンの「見通し (line-of-sight)」の移動を防ぐ。10

【0018】

2) PINダイオード - このタイプの検出器は本質的に、その内部で入来2次粒子が電子-正孔対のカスケードを生成するダイオードである。PINダイオード検出器の利得は入来2次粒子のエネルギーに比例する。

【0019】

3) シンチレータ + 光パイプ + PMT - この一般的なタイプの検出器は、最初に、2次粒子の衝突によってシンチレータ材料（一般に結晶またはプラスチック）内で光が生み出されることによって動作する。この光は次いで光パイプを介して光電子増倍管 (PMT) へ伝送される。PMTは通常、2次粒子検出器を含む荷電粒子システムの真空外囲器の外側に位置する。20

【0020】

これらの3つのタイプの検出器は全て、検出器のいずれかの部分が使用不能になった場合には検出器全体が使用不能になるという特性を共通して有する。検出器のそれぞれの特定のエリアの損傷および／または汚染の速度は一般に、その特定のエリアへの入力信号の積分された全照射量に比例するため、検出器の寿命が最大になる（すなわち検出器全体がほぼ同時に使用不能になる）ことを保証するためには、検出器の全てのエリアが同等に照射を受けることを保証することが有利であることは明らかである。検出器の小さなエリアだけが2次粒子束全体の不釣合いに大きな部分を受けるとき、そのエリアは明らかに、検出器の捕集エリア全体にわたって2次粒子束がより均一に分配される場合よりも速く損傷しあり／または汚染される。さらに、MCPに関して、MCP検出器の小さなエリアが入力信号電流の不釣合いに大きな部分を受ける場合には、利得の局所的な飽和が起こり、その結果として検出器エリア全体にわたる線形性が得られない可能性がある。30

【0021】

図1Aは、先行技術の荷電粒子検出器100を示し、この図では、荷電粒子カラム102が、ターゲット108の表面の位置106に荷電粒子ビーム104を集束させる。荷電粒子ビーム104がターゲット108に衝突することにより、ターゲットから2次粒子118、119、120および152が放出されることがある。荷電粒子ビーム104が電子ビームである場合、それらの2次粒子は2次電子である。荷電粒子ビーム104が集束イオン・ビーム (FIB) である場合には、ターゲット108から2次電子と2次イオン（主に正イオン）の両方が放出されることがある。（1次ビーム104が垂直に入射する場合、）2次粒子の放出パターンは一般に、1次荷電粒子ビーム104とターゲット108との衝突点106を通るターゲット108の表面に垂直な軸の周囲に集中する、ランバート (Lambert) の法則または余弦法則の角度分布に従う傾向を有する。先行技術では一般に、図1に示すように、電流利得を提供する環状検出器110（この図では2段式マルチチャンネル・プレートとして示されている）および捕集陽極111が荷電粒子カラム102の底に取り付けられる。2次粒子の捕集を向上させるため、内リング114および外リング116によって支持された捕集格子112が使用されることがある。捕集格子112に単一の電圧を印加して、2次粒子を格子112に向かって引き寄せる。格子14050

12は2次粒子に対して概ね透過性であり、引き寄せられた2次粒子の大部分は格子112を通り抜け、その後に検出器110および捕集陽極111によって捕集される。示されているように、検出器110はマルチチャンネル・プレート(MCP)を含むことができ、その場合、信号電流は陽極111上で捕集される。あるいは、検出器110は、PINダイオード検出器、光パイプと光電子増倍管とに接続されたシンチレータ(図8参照)、または他のタイプの荷電粒子検出器を含むこともでき、これらの場合には、検出器110自体によって信号が取り出されるため陽極111が必要ないことがある。検出器110および陽極設計111の詳細は当技術分野ではよく知られている。

【0022】

2次粒子の余弦放出パターンにより、一部の粒子152は、カラム102の軸のあまり近くに放出されるために格子112によって捕集されず、したがってそれらの粒子152は、荷電粒子カラム102の穴を上方へ通り抜け、検出されない。示されているように、粒子152よりもわずかに大きな角度でターゲット108から放出された2次粒子118は格子112を通り抜け、検出器110の中心付近で捕集される。はるかに大きな角度で放出された2次粒子のより小さな部分120は、軸から大きく離れた位置で捕集格子112を通り抜け、検出器110の外縁付近で捕集される。マルチチャンネル・プレート、PINダイオード、シンチレータなどの多くのタイプの検出器は、検出器のそれぞれのエリア内への積分された全信号電流の関数である損傷のメカニズムを示すことが当技術分野ではよく知られている。したがって、MCP検出器110では、中心穴(1次ビーム104がターゲット108に到達することを可能にするために必要である)の近くの領域が、MCP110の外側領域よりも前に損傷する。同様の状況がPINダイオードおよびシンチレータにも当てはまる。損傷に加えて、検出器は、ターゲットと検出器の間の不十分な真空による重合炭化水素によって汚染されることもある。この汚染は、ベースとなる真空レベルが汚染を防ぐのに十分であったと考えられる場合であっても、ビームとターゲットの間の相互作用によって起こりうることに留意されたい。いずれにせよ、検出器全体の寿命は、あるレベルの損傷および/または汚染が検出器上のどこかに生じたときには決まり、それは、検出器の残りの部分がまだ使用不能な程度まで損傷しておらずおよび/または汚染されていない場合であっても変わらない。図1に示した先行技術の構成における検出器110の寿命は、検出器110の表面全体にわたって2次粒子がより均一に分配された場合に比べてかなり短い可能性がある。

【0023】

図1Bは、図1Aの先行技術の荷電粒子検出器100の一部分を示している。入力信号捕集面(図1Aの検出器110の下面)を下から見た検出器110が示されている。検出器110の中心付近に入力信号電流が集中していることが、検出器110の縁から中心に向かって次第に濃くなる交差平行線による陰影を使用して示されている。それ故に中心、中間および縁にある検出器110の3つの領域140、142および144が、対応する下段のグラフへ延びる矢印が付いた円によって示されている。

【0024】

検出器110の中心穴の内縁140(ここには図1Aのリング114が取り付けられている)から始めると、グラフ170は、領域140からの出力(すなわち增幅)信号電流の時間積分171に対する局所信号利得172を、検出器110の全寿命にわたって示している。示されているように、利得曲線174は初め高いレベル176を有し、この高いレベル176は、出力信号電流のある全時間積分にわたって(すなわちある全出力信号電荷に達するまで)維持され、利得曲線174は次いで、グラフ170の右側で、より低いレベル178まで降下する。領域140における入力信号電流は比較的に高いため、出力信号電流の時間積分を表す交差平行線による陰影は、利得曲線174が降下し始める点にほぼ位置する線179まで延びている。したがって検出器110の耐用寿命はほぼ尽きていている。

【0025】

検出器110の中間領域142では、入力信号電流が中間レベルにある。グラフ160

10

20

30

40

50

は、領域 142 からの出力信号電流の時間積分 161 に対する局所信号利得 162 を、検出器 110 の全寿命にわたって示している。示されているように、利得曲線 164 は初め高いレベル 166 を有し、この高いレベル 166 は、出力信号電流のある全時間積分にわたって維持され、利得曲線 164 は次いで、グラフ 160 の右側で、より低いレベル 168 まで降下する。グラフ 170 との主たる相違点は、交差平行線による陰影が、利得 164 が低下する点からかなり離れた線 169 までしか延びていないことであり、したがって領域 142 では検出器 110 の耐用寿命がまだ相当に残っている。言うまでもなく、検出器の寿命は、全てのエリアが使用可能であるかどうかによって決まる。領域 140 の寿命は実質的に残っていないため、領域 142 のこの局所的な残りの寿命を使用することはできない。

10

【0026】

同様の考察が、検出器 110 の外側領域 144 にも当てはまる。グラフ 150 は、領域 144 からの出力信号電流の時間積分 151 に対する局所信号利得 152 を、検出器 110 の全寿命にわたって示している。示されているように、利得曲線 154 は初め高いレベル 156 を有し、この高いレベル 156 は、出力信号電流のある全時間積分にわたって維持され、利得曲線 154 は次いで、グラフ 150 の右側で、より低いレベル 158 まで降下する。領域 144 における入力信号電流は領域 142 および 140 における入力信号電流に比べて相対的に低いため、交差平行線が引かれたエリアの縁 159 がより左側に寄つてあり、このことは、エリア 140 が使用不能になる間際でも、検出器 110 の縁の領域 144 における検出器の寿命の大部分は使用されていないことを示している。グラフ 150、160 および 170 の比較は、領域 140、142 および 144 間で入力信号電流が等しくないときに、どのようにして検出器 110 の寿命が実質的に短くなるのかを例示している。

20

【0027】

図 2A は、内リング 214 および外リング 216 によって支持された複数の環状捕集格子 222、224、226 および 228 を備える本発明の第 1 の実施形態 200 を示す。格子の正確な数は、所望の電場均一性の程度によって決定されることになる。格子の数は 2 から約 20 の間であることが好ましく、それはより好ましくは 2 から 8 の間であり、3 から 5 の間であることが最も好ましい。荷電粒子カラム 202 は、ターゲット 208 の表面の位置 206 に荷電粒子ビーム 204 を集束させる。ビーム 204 がターゲット 208 に衝突することにより、ターゲット 208 から 2 次粒子が放出されることがある。後に説明する図 6 および 7 は、内リング 214、環状格子 222、224、226、228 および外リング 216 に異なるバイアス電圧を印加する目的に使用することができる 2 つの電気回路について論じている。それらのバイアス電圧は、カラム 202、検出器 210 および捕集陽極 211 の対称軸から 2 次粒子を引き離す電場を生み出すように設定される。したがって、この電場の影響下で、2 次粒子 232 は格子 222 を通り抜け、2 次粒子 234 は格子 224 を通り抜け、2 次粒子 236 は格子 226 を通り抜け、2 次粒子 238 は格子 228 を通り抜ける。対称軸の近くに放出された 2 次粒子 252 は捕集されない。図 1A と図 2A を比較すると、格子 222、224、226 および 228 に入射する 2 次粒子の半径方向の分布が、検出器 210 および捕集陽極 211 の対称軸の近くに集中していない。正味の結果は、信号利得を提供するのに検出器 210 の捕集エリアのうちより大きな部分が有效地に利用され、このことが、上で論じたように、信号利得飽和の影響を潜在的に低減させまたは排除することである。検出器 210 内への電流の分配がより均一であるため、図 1A で論じた損傷機構および / または汚染のメカニズムも、検出器 210 の捕集エリア全体にわたってより均一に生じる。したがって、損傷および / または汚染に関して検出器 210 の寿命は延びるはずであり、それによりこの検出システム 200 を備えるシステムの維持費は低減するはずである。

30

【0028】

図 2B は、図 2A の本発明の第 1 の実施形態の荷電粒子検出器 200 の一部分を示している。入力信号捕集面（図 2A の検出器 210 の下面）を下から見た検出器 210 が示さ

40

50

れている。本発明によって可能になる検出器 210 の捕集エリア全体にわたる入信号電流の相対的な均一性が、検出器 110 の捕集エリア全体に描かれた交差平行線による均一な陰影を使用して示されている（図 1B と比較されたい）。それぞれ中心、中間および縁にある検出器 210 の 3 つの領域 240、242 および 244 が強調されている。

【0029】

検出器 210 の中心穴の内縁 240（ここには図 2A のリング 214 が取り付けられている）から始めると、グラフ 270 は、領域 240 からの出力（すなわち増幅）信号電流の時間積分 271 に対する局所信号利得 272 を、検出器 210 の全寿命にわたって示している。示されているように、利得曲線 274 は初め高いレベル 276 を有し、この高いレベル 276 は、出力信号電流のある全時間積分にわたって（すなわちある全出力信号電荷に達するまで）維持され、利得曲線 274 は次いで、グラフ 270 の右側で、より低いレベル 278 まで降下する。領域 240 における入力信号電流は図 1B の対応するグラフ 170 のそれよりも低いため、出力信号電流の時間積分を表す交差平行線による陰影は、利得曲線 274 が降下し始める点までの距離の約半分でしかない線 279 まで延びている。したがって、図 1B の場合とは対照的に、検出器 210 の耐用寿命は約半分残っている。

【0030】

検出器 210 の中間領域 242 では、入力信号電流が領域 240 とだいたい同じレベルにある。グラフ 260 は、領域 242 からの出力信号電流の時間積分 261 に対する局所信号利得 262 を、検出器 210 の全寿命にわたって示している。示されているように、利得曲線 264 は初め高いレベル 266 を有し、この高いレベル 266 は、出力信号電流のある全時間積分にわたって維持され、利得曲線 264 は次いで、グラフ 260 の右側で、より低いレベル 268 まで降下する。交差平行線による陰影が、グラフ 270 の軸 271 に沿った線 279 とだいたい同じ位置にある軸 261 に沿った線 269 まで延びていることに注目されたい。したがって、領域 242 において、検出器 210 の耐用寿命はまだ、領域 240 とほぼ同じだけ残っている。

【0031】

同様の考察が、検出器 210 の外側領域 244 にも当てはまる。グラフ 250 は、領域 244 からの出力信号電流の時間積分 251 に対する局所信号利得 252 を、検出器 210 の全寿命にわたって示している。示されているように、利得曲線 254 は初め高いレベル 256 を有し、この高いレベル 256 は、出力信号電流のある全時間積分にわたって維持され、利得曲線 254 は次いで、グラフ 250 の右側で、より低いレベル 258 まで降下する。領域 244 における入力信号電流は領域 240 および 242 における入力信号電流と同様であるため、交差平行線が引かれたエリアの軸 251 に沿った縁 259 は、それぞれ軸 261 および 271 に沿った線 269 および 279 の位置とだいたい同じ位置にある。グラフ 250、260 および 270 の交差平行線が引かれたエリアの比較は、本発明によって入力信号電流が領域 240、242 および 244 間で等しくなったときに、どのようにして検出器 210 の寿命が実質的に延びるのかを例示している。

【0032】

図 3 は、内リング 314 および外リング 316 によって支持された単一の抵抗環状捕集格子 312 を備える本発明の第 2 の実施形態 300 を示す。荷電粒子カラム 302 は、ターゲット 308 の表面の位置 306 に荷電粒子ビーム 304 を集束させる。図 1 および 2 と同様に、荷電粒子ビーム 304 とターゲット 308 との衝突が 2 次粒子の放出を引き起こすことがある。図 2 の第 1 の実施形態は、一連の同心環状格子を利用して、軸から遠ざかる方向へ 2 次粒子を引っ張り、通常ならばより低い 2 次粒子電流を受け取るであろう検出器の外側の領域へ 2 次粒子を引き寄せる電場を生み出すものであった。図 3 に示す本発明の第 2 の実施形態は抵抗格子 312 を利用し、内リング 314 と外リング 316 の間の電圧差によって生じる半径方向の電圧勾配を抵抗格子 312 に与える。検出器 310 によって 2 次電子を捕集する場合、半径方向の力ベクトル 324 は、より高い正電圧を外リング 316 に印加し、より低い正電圧を内リング 314 に印加することに対応する。検出器

10

20

30

40

50

310によって(正の)2次イオンを捕集する場合には、内リング314および外リング316に対するこの相対的な電圧を逆にする。一部の2次粒子(電子またはイオン)は抵抗格子312に衝突するので、検出器310および捕集陽極311に到達する2次粒子の半径方向の分布を等しくするのに必要な適切な電場を確立するためには、その結果として格子312内に生じる電流が、格子312の半径方向の所望の電圧勾配に影響を及ぼさないことを保証する必要がある。これは、光電子増倍管(PMT)で見られる状況と同様の状況であり、PMTの場合には一般に、ダイノード上の電圧を生み出すために使用される一連の抵抗器を流れる電流がPMT内の最大内部電流の少なくとも10倍となるように指定される。この条件が満たされないときには、抵抗格子312内の電圧分布が、図3に示された抵抗格子312を通り抜ける軌道332、334、336および338の所望の分布を生み出さない可能性がある。検出器310(この図では電流利得を提供する環状2段式マルチチャンネル・プレートとして示されている)および捕集陽極311は一般に荷電粒子カラム302の底に取り付けられる。図1および2と同様に、カラム302、検出器310および捕集陽極311の対称軸の近くに放出された2次粒子の小さな部分352は、荷電粒子カラム302の穴を上方へ通り抜け、検出されない。

【0033】

図4は、カラム404の対称軸、検出器410および捕集陽極411から遠ざかる方向へ2次粒子を引っ張る複数の偏向電極424を備える本発明の第3の実施形態400を示す。荷電粒子カラム402は、ターゲット408の表面の位置406に荷電粒子ビーム404を集束させる。図1から3と同様に、荷電粒子ビーム404とターゲット408との衝突が、2次電子および/または2次イオンである2次粒子の放出を引き起こすことがある。内リング414および外リング416によって捕集格子412が支持されている。この第3の実施形態の一異型では、内リング414、格子412および外リング416が同じ電圧を有し、その場合には、偏向電極424が、検出器510および捕集陽極511における2次粒子の分布をより均一にする。第3の実施形態の他の異型では、導電性格子412の代わりに第1の実施形態の複数の格子が使用され、それにより偏向電極424と図2の格子222、224、226、228などの複数の同心環状捕集格子の両方によって半径方向の電場を生み出すことができる。第3の実施形態の他の異型では、導電性格子412の代わりに第2の実施形態の抵抗捕集格子312(図3参照)が使用され、それにより、追加された偏向電極424と抵抗格子312の両方によって半径方向の電場を生み出すことができる。2次電子を捕集する場合、偏向電極424には、カベクトル460によって示されているように2次電子を半径方向外側へ引っ張るように、したがって偏向電極424がない場合よりも大きな半径で2次電子が格子412を通り抜け検出器410に達するように、正バイアスが印加されることになる。(正の)2次イオンについては、偏向電極424に負バイアスが印加されることになる。この場合もカベクトル460は半径方向外側を指す。対称軸の近くに放出された2次粒子452は捕集されない。検出器410(この図では電流利得を提供する環状2段式マルチチャンネル・プレートとして示されている)および捕集陽極411は一般に荷電粒子カラム402の底に取り付けられる。

【0034】

図5は、内電極514および外電極516によって支持された複数の捕集格子522、524、526および528を含む軸外れ荷電粒子検出器を備える本発明の第4の実施形態500を示す。格子522、524、526および528の機械的支持の詳細は本発明の部分ではなく、これをここで示すことはしない。この第4の実施形態に対しては円対称が想定されず、または円対称である必要がないことに留意されたい。荷電粒子カラム502は、ターゲット508の表面の位置506に荷電粒子ビーム504を集束させる。図1から4と同様に、ビーム504がターゲット508に衝突することにより、ターゲット508から2次粒子が放出されることがある。格子522、524、526および528上の異なるバイアス電圧は、カラム502の対称軸(この実施形態に関しては検出器が対称である必要はないが、それでもカラム502は一般にビーム形成光学系に関する円対称性を保持する)から遠ざかる方向へ、この例では図5の右側へ向かって2次粒子を引っ張る

10

20

30

40

50

電場を生み出すように調整される。したがって、この電場の影響下で、2次粒子532は格子522を通り抜け、2次粒子534は格子524を通り抜け、2次粒子536は格子526を通り抜け、2次粒子538は格子528を通り抜ける。最初の3つの実施形態の円対称の検出器に対する図2から4で適用された考慮事項と同じ考慮事項が、この非円対称検出システムにも当てはまる。すなわち、検出器510および捕集陽極511に入射する2次粒子の分布を分散させるように格子522、524、526および528の電圧を調整することができ、それによって損傷のメカニズムおよび/または汚染のメカニズムもより均一にすることができます。対称軸の近くに放出された2次粒子552は捕集されない。検出器510（この図では電流利得を提供する2段式マルチチャンネル・プレートとして示されている）および捕集陽極511は一般に荷電粒子カラム502の底に取り付けられる。

【0035】

図6は、内電極614（図2の内リング214または図5の内電極514に対応する）および外電極616（図2の外リング216または図5の外電極516に対応する）によって支持された複数の格子622、624、626および628用の第1のバイアス回路の電気接続図600を示す。回路600は、図2および5に示した検出システムに対して使用可能であり、図4の検出システムに図2の分割された格子構造体を組み合わせた場合には図4の検出システムにも使用可能であろう。検出器610は例えば、図2の検出器210などの環状検出器の片側または図5の検出器510などの軸外れ検出器を表す。いずれの場合も、対称軸640は、検出器610および捕集陽極611に入射する2次粒子を生み出す荷電粒子カラムの光軸を表す。dc電源602が、第1の導線604によって電極614に接続されており、第2の導線606によって電極616に接続されている。検出器610および捕集陽極611に対する電圧バイアス接続は本発明の部分ではなく、これをここで示すことはしない。この捕集格子アセンブリは、抵抗器632、634、636、638および640によって電極614と電極616の間に直列に接続された4つの格子622、624、626および628を備える。格子の正確な数は、所望の電場均一性の程度によって決定されることになる。格子の正確な数は本発明の部分ではない。図3で論じた考慮事項と同じ考慮事項がこの例にも当てはまる。すなわち、ターゲット（図示せず）と検出器610の間の電場分布の不必要な偏りを引き起こす「電流ローディング」が生じないことを保証するために、dc電源602から電極614、616、格子622、624、626、628および抵抗器632、634、636、638、640を通って流れる電流が、格子622、624、626および628のうちのいずれかに衝突する可能性がある予想される2次粒子電流よりも相当に高い（一般に10倍）ことを保証することが好ましい。回路600に関する潜在的な問題は、抵抗器634、636および638（抵抗器632および640は必ずしもそうではない）を、それらの抵抗器が接続する連続する格子間に取り付ける必要があることである。そうした場合には抵抗器634、636および638がターゲットからの2次粒子束の一部にさらされることになるため、このことは望ましくないことがある。これによって抵抗器の外面が帯電する可能性があり、この帯電が所望の電場分布を乱す可能性がある。2次粒子束が抵抗器を損傷し、それによって抵抗値が不正確になったりまたは近隣の捕集格子間に短絡が生じたりする可能性もある。

【0036】

図7は、内電極714（図2の内リング214に対応する）および外電極716（図2の外リング216に対応する）によって支持された複数の格子722、724、726および728用の第2のバイアス回路の電気接続図700を示す。回路700は、図2に示した検出システムに対して使用可能であり、図4の検出システムに図2の分割された格子構造体を組み合わせた場合には図4の検出システムにも使用可能であろう。非円対称の検出システムは、この図に示す遮蔽ケーブル構成を必要としない傾斜抵抗器を使用する余地を有するため、図5に示した軸外れ検出システムでは回路700が必要ない場合がある。検出器710は例えば、図2の検出器210などの環状検出器の片側を表す。対称軸74

10

20

30

40

50

0は、検出器710および捕集陽極711に入射する2次粒子を生み出す荷電粒子カラムの光軸を表す。dc電源702が、第1の導線704によって電極714に接続されており、第2の導線706によって電極716に接続されている。検出器710および捕集陽極711に対する電圧バイアス接続は本発明の部分ではなく、これをここで示すことはしない。この捕集格子アセンブリは、抵抗器732、734、736、738および740によって電極714と電極716の間に直列に接続された4つの格子722、724、726および728を備える。格子の正確な数は、所望の電場均一性の程度によって決定されることになる。格子の正確な数は本発明の部分ではない。電気的には図7は図6と同じであることに留意されたい。相違点は、5つの分圧抵抗器732、734、736、738および740の物理的な位置ならびに同軸遮蔽体752、754、756、758、760および762の追加である。図6で論じたとおり、格子アセンブリ内の連続する格子間に分圧抵抗器を配置すると問題になることがある。図7は、格子アセンブリの外側に抵抗器732、734、736、738および740を配置することができ、それによって図6で論じた問題を回避することができる代替構成を示す。しかしながら、遮蔽されてない導線をそれぞれの格子に単純に接続すると新たな問題が生じることになる。すなわち、これらの導線は必ずそれぞれの環状格子から外側へ延びなければならないため、内側の環状格子(722、724、726など)からの導線と、接続されている特定の環状格子の外側にある全ての環状格子(格子722に対する格子724、726、728など)との間に重なりが生じる。この図には、この問題に対する可能な1つの解決策が示されている。すなわち、内側の環状格子722に接続する導線は、一連の同軸遮蔽体752、754および756を通り、次いで、dc電源702の出力導線704と706の間に接続された抵抗器732、734、736、738および740を備える分圧器内の抵抗器732および734に接続する。同様に、環状格子724に接続する導線は、同軸遮蔽体758および760を通り、次いで分圧器内の抵抗器734および736に接続する。同様に、格子726からの導線は、同軸遮蔽体762を通り、次いで分圧器内の抵抗器736および738に接続する。外側の環状格子728に接続する導線は、分圧器内の抵抗器738および740に直接に接続することができる。環状格子722と内リング714の間の電気接続は、示されているように、抵抗器732によって外側で完成される。遮蔽体752、754、756、758、760および762は全て実質的に同軸ケーブルの短い部分を表す。それぞれの導線が環状格子を横切るときに中心導線によって電場が誘起されないように、それぞれの遮蔽体の外側導体は、対応するそれぞれの格子に電気的に(任意選択でさらに機械的にも)接続される(例えば遮蔽体752は格子724に接続される)。格子電圧はそれぞれ荷電粒子の捕集を最適にする所望の値に設定されているため、言うまでもなく中心導線は異なる電圧を有する。露出した絶縁体上に集積した2次粒子によって起こる可能性がある帯電の影響を回避するため、おそらくは、連続する遮蔽体間(例えば遮蔽体752と754の間)の短い導線部分から同軸ケーブルの絶縁体をはぎとる(したがって中心導線の短い部分を露出させる、例えば格子722からの導線を遮蔽体752と754の間で露出させる)必要がある。

【0037】

図8は、シンチレータ860、光パイプ862および光電子増倍管864を備え、内リング814および外リング816によって支持された複数の環状捕集格子822、824、826および828をさらに備える本発明の第1の実施形態の異型800を示す。格子822、824、826および828に対する機械的支持の詳細は本発明の部分ではなく、これをここで示すことはしない。荷電粒子カラム802は、ターゲット808の表面の位置806に荷電粒子ビーム804を集束させる。上述の図6および7では、内リング814、環状格子822、824、826、828および外リング816に異なるバイアス電圧を印加する目的に使用することができる2つの電気回路について論じた。2次粒子832は格子822を通り抜け、2次粒子834は格子824を通り抜け、2次粒子836は格子826を通り抜け、2次粒子838は格子828を通り抜ける。図2に対する図8の主たる相違点は、図2に示したマルチチャンネル・プレート(MCP)検出器210お

10

20

30

40

50

および捕集陽極 211 の代わりにシンチレータ 860、光パイプ 862 および光電子増倍管 864 が使用されていることである。マルチチャンネル・プレートと同様に、シンチレータも、荷電粒子による衝撃の結果であるシンチレータの分子構造または結晶構造の変化に起因する長期的な損傷を示す。重合炭化水素などによってシンチレータが汚染される可能性もある。したがって、上で論じたものと同じ損傷および / または汚染の問題がこの構成にも当てはまる。シンチレータ 860 は、高エネルギーの荷電粒子 832、834、836 および 838 によって衝撃されたときに光 866 を放出する。光 866 は、光パイプ 862 内を通り、光パイプ 862 の壁で内部全反射を受け、次いで光電子増倍管 864 へ入射する。対称軸の近くに放出された 2 次粒子 852 は捕集されない。

【0038】

10

さまざまな検出器タイプと格子の幾何学的構成のいくつかの組合せを図 2 から 5 および 図 8 に示した。表 I に、いくつかの検出システム構成を示す。本発明の範囲内において他の検出器タイプおよび電気バイアス回路も可能である。

表 I . さまざまな検出システム構成ならびに対応する検出器および電気接続

【0039】

【表 1】

検出器システム構成	検出器のタイプ			電気接続	
	MCP	PINダイオード	シンチレータ+PMT	図6	図7
実施形態1- 複数の同心環状格子	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
実施形態2- 環状抵抗格子	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
実施形態3- 複数の偏方向電極追加	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
実施形態1+3- 複数の環状格子 + 複数の偏方向電極	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
実施形態2+3- 抵抗格子 + 複数の偏方向電極	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
実施形態1- 複数の格子 (非円対称)	Yes	Yes	Yes	Yes	おそらく 不要
実施形態2- 抵抗格子 (非円対称)	Yes	Yes	Yes	Yes	おそらく 不要
実施形態3- 複数の偏方向電極追加 (非円対称)	Yes	Yes	Yes	Yes	おそらく 不要
実施形態1+3- 複数の格子 + 複数の 偏方向電極 (非円対称)	Yes	Yes	Yes	Yes	おそらく 不要
実施形態2+3- 抵抗格子 + 複数の偏方向電極 (非円対称)	Yes	Yes	Yes	Yes	おそらく 不要

図2から5で論じた本発明のさまざまな実施形態は、非画像化検出器、すなわち検出器に到達し、次いで捕集陽極（検出器がマルチチャンネル・プレートである場合）へ伝達される画像化信号が位置情報を含まない検出器に適合する。これらの実施形態の検出器は全体として、（画像化情報を保持している）2次粒子が検出器および捕集陽極の表面のどこに衝突しようとも単一の画像化信号を生成する。したがって、複数の格子、抵抗格子または偏方向電極の設計は、検出器および捕集陽極内へ入射する電流をより均一にすることだけを考えて最適化すればよかつた。本発明の実施形態は、強度情報と位置情報の両方を画像化粒子が保持している代替状況に対しても使用可能である。この場合、2次粒子が衝突した検出器上の位置を無視することはできず、捕集陽極は一般に、マルチチャンネル・プレートの小領域からの（増幅された）電流をそれぞれが捕集する個別の複数の検出器を備える。このことは、原初の2次粒子が検出器210のどこに到達したのかに関わらず検出器210が生み出した増幅された信号電流の全てを単一の捕集陽極211が受け取る図2の検出システム200とは対照的である。図9および10では、本発明を画像化検出器に対

10

20

30

40

50

して使用する 2 つの例について論じる。ただし、本発明の範囲にはその他の例も含まれる。

【 0 0 4 0 】

図 9 は、透過型電子顕微鏡（TEM）の検出システム 900 に対する本発明の使用を示す。TEM では、集光および投射光学系が、画像化する試料 904 の表面に 1 次電子ビーム 902 を投射する。図 9 に示すように、試料 904 内のさまざまな位置から電子 906 および 907 が散乱する。簡単にするために、電子 906 および 907 は、電子 906 および 907 が偏向せずにレンズ 908 を通過するような角度で試料 904 内において偏向した特定の電子軌道を表すものとし、それらの電子軌道は次いで、リング電極 930 によって支持された複数の環状格子（最も外側の格子 932 および最も内側の格子 933 を含む）を備える検出システムまで下方へと移動し、次いで 2 段式マルチチャンネル・プレート 934 に入射し、最後に（素子 914 および 924 を含む）複数の捕集素子を備える捕集陽極アセンブリ 936 に入射する。試料 904 から出現した全ての電子がレンズ 908 の中心を通るわけではない。電子 904 および 942 は、対物レンズ 908 を通過し次いでレンズ 908 によって環状格子 932 上で集束する散乱電子の典型的な包絡線を示す。環状格子に印加された電圧のため、レンズ 908 と複数の環状格子との間に位置する 2 次粒子に作用する半径方向外側への力 950 が生じる。一例として、試料 904 の下面から出現した軌道 906 はレンズ 908 を通過して軌道 910 となり、軌道 910 は次いで力 950 によって外側へ偏向して、最も外側の環状格子 932 に入射する軌道 912 となる。試料 904 上の同じ位置から出現した軌道 940 および 942 は、レンズ 908 によって集束した後にそれぞれ軌道 944 および 946 となり、軌道 912 とほぼ同じ格子 932 上の位置に到達する。2 段式マルチチャンネル・プレート 934 による電流增幅の後、格子 932 を通り抜けた電流に比例したある電流が、捕集陽極アセンブリ 936 の素子 914 上で捕集される。（図 2 の捕集陽極 211 などの）単一の捕集陽極の代わりに捕集陽極アセンブリ 936 を使用することによって、格子 932 を通り抜けた入力信号が保持している位置情報は維持されることに留意されたい。

【 0 0 4 1 】

軸にとても近い電子軌道 907 はレンズ 908 を通過して軌道 920 となり、軌道 920 は次いでカベクトル 950 によって外側へ偏向して、最も内側の環状格子 933 に入射する軌道 922 となり、電流增幅の後、この信号電流は、捕集陽極アセンブリ 936 の素子 924 によって捕集される。この場合も、格子に到達した入力信号に含まれる位置情報は維持される（このときその位置情報は、前もって較正しましたは計算しておくことができる 1 : 1 マッピングで半径方向外側へ引き伸ばされている）。図 9 は、本発明の画像化検出器実施形態を示す。分割された捕集格子アセンブリがない場合、マルチチャンネル・プレート 934 および捕集陽極アセンブリ 936 に到達する電子軌道は、MCP 934 の中心付近により集中するであろう。これは、半径方向外側へのカベクトル 950 がないものとして、軌道 910 および 920 を格子アセンブリの入射面まで延長することによって知ることができる。この場合、明らかに、捕集陽極アセンブリ 936 から生じる画像化信号は素子 924 の近くのより少数の捕集素子から生じ、捕集陽極アセンブリの外縁の素子 914 は電流を全く受け取らないであろう。したがって、画像化検出器用途の本発明の一部の実施形態には以下ののような潜在的な 2 つの利点があることが分かる。

【 0 0 4 2 】

1) 検出器 934 の損傷および / または汚染がより均一である。これにより検出器の寿命がより長くなる。この利点は、非画像化検出器に関して上で説明した利点と同じである。

【 0 0 4 3 】

2) 画像化分解能が潜在的に向上する。これは、検出器アセンブリ 934 および捕集陽極アセンブリ 936 の中心付近により集中するビームの場合よりも多くの捕集素子（外側の素子 914 など）が使用されるためである。

【 0 0 4 4 】

10

20

30

40

50

図10は、透過型走査電子顕微鏡(STEM)の検出システム1000に対して使用された本発明の一実施形態を示す。STEMでは、走査電子顕微鏡(SEM)における画像化プロセスと同様に、試料1004の表面に電子ビーム1002を集束させ、その電子ビーム1002を偏向系によってラスタ・パターンに従って走査して、画像を生み出す。電子ビーム1002が試料1004を透過するときに、ビーム中の電子が、試料1004中の核(「弹性散乱」を引き起こす)および試料1004中の電子(「非弹性散乱」を引き起こす)によって散乱する。一例として、電子1008は、弹性散乱電子の特性であるより大きな角度で散乱する。電子1011は小さな散乱角を有し、非弹性散乱したものである可能性がある。これらのタイプの電子はともに、試料1004についての重要な構造情報および組成情報を含み、検出システム1000は、これらの両方の画像化信号を同時に捕集するように構成されることが好ましい。当技術分野では、弹性信号と非弹性信号の比が試料の局所的な原子番号に比例することがよく知られている。STEMの検出光学系は一般に試料1004の下方にレンズ1010を備える(このレンズはしばしば対物レンズの磁場の試料平面よりも下方の部分によって形成されるが、追加のレンズの助けを借りて、図10の単一のレンズ1010によって示されている正味の集束効果を得ることもできる)。軸から離れた軌道1008はレンズ1010によって集束して軌道1009となる。同様に、軸に近い軌道1011はレンズ1010によって集束して軌道1012となる(ここではレンズ1010の収差を無視する)。半径方向外側への力1050がなければ、軌道1009および1012は、(中心に位置する)軸の近くの捕集格子に到達する。捕集格子アセンブリ内の(格子1032、1033などの)環状格子に電圧を印加することによって半径方向外側への力1050が生じると、2段式マルチチャンネル・プレート1034に到達し次いで捕集陽極アセンブリ1036に到達する入力信号電流は、利用可能な対応するそれぞれの検出エリアおよび捕集エリアのより大きな部分に広がる。例えば、軌道1009は外側へ偏向して軌道1014となり、軌道1014は最も外側の環状格子1032を通り抜け、次いで、対応する(増幅された)電流が最も外側の捕集素子1016に到達する。同様に、軌道1012は外側へ偏向して軌道1024となり、軌道1024は最も内側の環状格子1033を通り抜け、次いで、対応する(増幅された)電流が最も内側の捕集素子1026に到達する。この場合も、信号1008および1011が保持している散乱角情報は、信号1008および1011中の相対的な電流として保持されている像強度情報とともに維持されることに留意されたい。(SEM、STEMなどの)全ての走査システムと同様に、位置情報は、信号が捕集された時点でのラスタ走査中のビームの(既知の)位置と相關されている。この実施形態にも、図9に関して論じた利点と同じ2つの利点、すなわち検出器寿命の延長および画像化分解能の潜在的向上が当てはまる。

【0045】

さらに、小さな変更を加えることによって、図10を、STEMでの電子回折のケースに適合させることができる。1次ビーム1002をほぼ平行にし、その1次ビーム1002を試料1004のやや大きなエリアに照射し、その間、試料1004を横切るラスタ走査をしなければ、電子回折像を得ることが可能である。この場合、さまざまな軌道1008および1010が異なる散乱角に対応することになる。上で論じたこの他の考慮事項も全てこの例に当てはまるであろう。

【0046】

いくつかの実施形態は、磁場を使用して、検出器全体にわたって2次電子または2次イオンをより均一に分散させる。図11は、1次ビーム軸1104に沿って導かれた1次ビームが試料1106に衝突し、マルチチャンネル・プレートなどの検出器1110によって2次粒子1108が検出され、検出器1110が、1次ビームが通過する開口1112を有する、荷電粒子ビーム・システム1102を示す。開口1112の周囲に配置された磁石1114が磁場を生み出す。磁場は磁力線1116によって表されている。この磁場は、2次粒子1108を再分配し、検出器1110の表面エリア全体にわたって2次粒子1108を分散させて、検出器1110の位置における最大電流密度を低減させる。

【0047】

この磁石は、1次ビームに対する影響が最小限であり、同時に2次粒子を分散させる磁場を生み出すように選択される。好ましい磁場の強さは、全てではないが、2次粒子のエネルギーおよび質量ならびに1次ビーム中の粒子のエネルギーおよび質量から決定される。例えば、1次ビームが30keVのガリウム・イオンのビームであり、検出する2次粒子が2次電子を含むとき、検出器1110は一般に約90Vにバイアスされる。軌道の終点における2次電子のエネルギーは100eV未満であるため、弱い磁場で十分である。2次粒子のエネルギーが低いほど、粒子を偏向させるのに必要な磁場は小さくて済む。例えば、2次粒子が、200eV未満のエネルギーに加速された電子である場合、磁場は一般に100ガウス未満である。1次ガリウム・イオン・ビーム中のガリウム・イオンのエネルギーは電子のエネルギーの約300倍、イオンの質量は電子の質量の約105倍であるため、1次ガリウム・イオン・ビームに対するこの磁場の影響はおよそ 10^{-4} 分の1である。

【0048】

好ましい磁場は、1次ビーム軸を中心とする円対称性を有し、それによって1次ビームに対する磁場の影響は低減する。例えば、反対の極性の磁極を円の上面および下面に有する円形磁石は、円対称のフィールド磁場を生み出す。検出器の開口内に配置された磁石が示されているが、本発明はこの位置にある磁石だけに限定されない。例えば、試料1106と検出器1110の間に磁場が広がるような形で、試料1106の下方または検出器1110の上方に磁石を配置することができる。磁石が試料1106と検出器1110の間に磁場を提供する限りにおいて、試料1106と検出器1110の間またはどこか別の位置に磁石を配置することもできる。荷電粒子ビーム・システム1102は試料を高真空、例えば 10^{-5} ミリバール以下の圧力に維持することが好ましく、ガス増幅によって2次粒子信号を増幅しないことが好ましい。検出器1110は金属電極検出器でないことが好ましく、例えばマルチチャンネル・プレートおよび捕集陽極；PINダイオード；またはシンチレータによって放出された光を光電子増倍管内へ伝送するように構成された光学的光結合手段がシンチレータと光電子増倍管の間に配置されたシンチレータ-光電子増倍管であることが好ましい。以上に示した全ての実施形態において静電場偏向の代わりに磁場偏向を使用することができる。

【0049】

30

本発明のいくつかの実施形態は、

1次荷電粒子ビームをターゲットの表面に集束させる荷電粒子カラムであり、この荷電粒子ビームとターゲットとの衝突がターゲットからの2次粒子の放出を引き起こす荷電粒子カラムと、

荷電粒子検出器アセンブリと

を備え、荷電粒子検出器アセンブリが、

電気信号を生成する検出器であり、この電気信号が検出器に衝突した荷電粒子の数に対応する検出器と、

荷電粒子検出器とターゲットの表面との間に配置された少なくとも1つの格子であり、ターゲットから検出器へ荷電粒子を移動させる少なくとも1つの格子と、

40

2次荷電粒子を偏向させて、荷電粒子検出器に衝突する荷電粒子の最大電流密度を低減させ、それによって荷電粒子検出器の耐用寿命を延ばす場の源と
を含む荷電粒子システムを含む。

【0050】

いくつかの実施形態では、前記少なくとも1つの格子が少なくとも2つの格子を含み、2次荷電粒子を偏向させて、荷電粒子検出器に衝突する荷電粒子の最大電流密度を低減させる場の源が、前記少なくとも2つの格子の異なる格子の異なる電位を含む。

【0051】

いくつかの実施形態では、前記少なくとも1つの格子が少なくとも1つの抵抗格子を含み、2次荷電粒子を偏向させて、荷電粒子検出器に衝突する荷電粒子の最大電流密度を低

50

減させる場の源が、前記少なくとも 1 つの抵抗格子の異なる部分の異なる電位を含む。

【 0 0 5 2 】

いくつかの実施形態では、2 次荷電粒子を偏向させて、荷電粒子検出器に衝突する荷電粒子の最大電流密度を低減させる場の源が、前記少なくとも 1 つの格子とターゲットの間に配置された偏向電極を含む。

【 0 0 5 3 】

いくつかの実施形態では、2 次荷電粒子を偏向させて、荷電粒子検出器に衝突する荷電粒子の最大電流密度を低減させる場の源が、荷電粒子カラムの軸から遠ざかる方向へ 2 次荷電粒子を偏向させる場の源を含む。

【 0 0 5 4 】

いくつかの実施形態では、荷電粒子検出器が、マルチチャンネル・プレートおよび捕集陽極；PINダイオード；またはシンチレータによって放出された光を光電子増倍管内へ伝送するように構成された光学的光結合手段がシンチレータと光電子増倍管の間に配置されたシンチレータ・光電子増倍管を含む。

【 0 0 5 5 】

いくつかの実施形態では、荷電粒子ビームが電子ビームまたは集束イオン・ビームであり、前記少なくとも 1 つの格子の電圧および荷電粒子検出器の電圧が、2 次電子を捕集するように構成される。

【 0 0 5 6 】

いくつかの実施形態では、荷電粒子ビームが集束イオン・ビームであり、前記少なくとも 1 つの格子の電圧および荷電粒子検出器の電圧が、2 次イオンを捕集するように構成される。

【 0 0 5 7 】

いくつかの実施形態では、荷電粒子ビームが集束イオン・ビームであり、2 次荷電粒子を偏向させて、荷電粒子検出器に衝突する荷電粒子の最大電流密度を低減させる場の源が、2 次イオンを捕集するように構成される。

【 0 0 5 8 】

いくつかの実施形態では、2 次荷電粒子を偏向させて、荷電粒子検出器に衝突する荷電粒子の最大電流密度を低減させる場の源が、カラムの光軸からの 2 次粒子の相対位置が維持されるような態様で 2 次粒子を偏向させる。

【 0 0 5 9 】

本発明の他の実施形態は、荷電粒子システム内の 2 次粒子検出器の損傷または汚染の速度を低下させる方法であって、

荷電粒子ビームをターゲットの表面に集束させる荷電粒子カラムであり、荷電粒子ビームとターゲットとの衝突がターゲットからの 2 次粒子の放出を引き起こす荷電粒子カラムを提供すること、

ターゲットから放出された 2 次粒子の一部を捕集する 2 次粒子検出器を提供すること、
2 次荷電粒子を偏向させて、荷電粒子検出器に衝突する荷電粒子の最大電流密度を低減させ、それによって荷電粒子検出器の耐用寿命を延ばす場を提供すること
を含む方法を含む。

【 0 0 6 0 】

いくつかの実施形態では、この方法が、表面からの 2 次粒子を 2 次粒子検出器に向かって加速する少なくとも 1 つの格子を提供することをさらに含む。

【 0 0 6 1 】

いくつかの実施形態では、2 次粒子検出器を提供することが、カラムとターゲットの間に 2 次粒子検出器を提供することを含む。

【 0 0 6 2 】

いくつかの実施形態では、少なくとも 1 つの格子を提供することが抵抗格子を提供することを含み、この方法が、抵抗格子の 1 つの部分に対する第 1 の電圧および抵抗格子の第 2 の部分に対する第 2 の電圧をさらに含み、この第 1 の電圧と第 2 の電圧とが等しくない

10

20

30

40

50

。

【0063】

いくつかの実施形態では、少なくとも1つの格子を提供することが2つの格子を提供することを含み、2次荷電粒子を偏向させて、荷電粒子検出器に衝突する荷電粒子の最大電流密度を低減させる場を提供することが、前記少なくとも2つの格子の異なる格子に異なる電位を与えることを含む。

【0064】

いくつかの実施形態では、少なくとも1つの格子を提供することが少なくとも1つの抵抗格子を提供することを含み、2次荷電粒子を偏向させて、荷電粒子検出器に衝突する荷電粒子の最大電流密度を低減させる場を提供することが、少なくとも1つの抵抗格子の異なる部分に異なる電位を与えることを含む。 10

【0065】

いくつかの実施形態では、2次荷電粒子を偏向させて、荷電粒子検出器に衝突する荷電粒子の最大電流密度を低減させる場を提供することが、前記少なくとも1つの格子とターゲットの間に偏向電極を配置することを含む。

【0066】

いくつかの実施形態では、2次荷電粒子を偏向させて、荷電粒子検出器に衝突する荷電粒子の最大電流密度を低減させる場を提供することが、荷電粒子カラムの軸から遠ざかる方向へ2次粒子を偏向させる場を提供することを含む。

【0067】

いくつかの実施形態では、2次荷電粒子検出器を提供することが、マルチチャンネル・プレートおよび捕集陽極；PINダイオード；またはシンチレータによって放出された光を光電子増倍管内へ伝送するように構成された光学的光結合手段がシンチレータと光電子増倍管の間に配置されたシンチレータ-光電子増倍管を提供することを含む。 20

【0068】

いくつかの実施形態では、荷電粒子カラムを提供することが、電子ビームまたは集束イオン・ビームを提供することを含み、2次粒子捕集器が2次電子を捕集する。

【0069】

いくつかの実施形態では、荷電粒子カラムを提供することが集束イオン・ビームを提供することを含み、2次粒子捕集器が2次イオンを捕集する。 30

【0070】

いくつかの実施形態では、2次荷電粒子を偏向させる場を提供することが磁場を提供することを含む。

【0071】

いくつかの実施形態では、磁場を提供することが、2次粒子検出器の開口内に磁石を配置することを含む。

【0072】

本発明の他の態様は、

1次荷電粒子ビームをターゲットの表面に集束させる荷電粒子カラムと、

荷電粒子検出器アセンブリと

を備え、荷電粒子検出器アセンブリが、

電気信号を生成する検出器であり、この電気信号が検出器に衝突した荷電粒子の数に対応する検出器と、

2次荷電粒子を偏向させて、荷電粒子検出器に衝突する荷電粒子の最大電流密度を低減させ、それによって荷電粒子検出器の耐用寿命を延ばす場の源と

を含む荷電粒子システムを含む。 40

【0073】

いくつかの実施形態では、場の源が、電場を提供する1つまたは複数の格子を含む。

【0074】

いくつかの実施形態では、場の源が、磁場を提供する1つまたは複数の磁石を含む。 50

【0075】

いくつかの実施形態では、荷電粒子ビーム・システムが光軸を含み、前記磁場が、この光軸を中心に対称である。

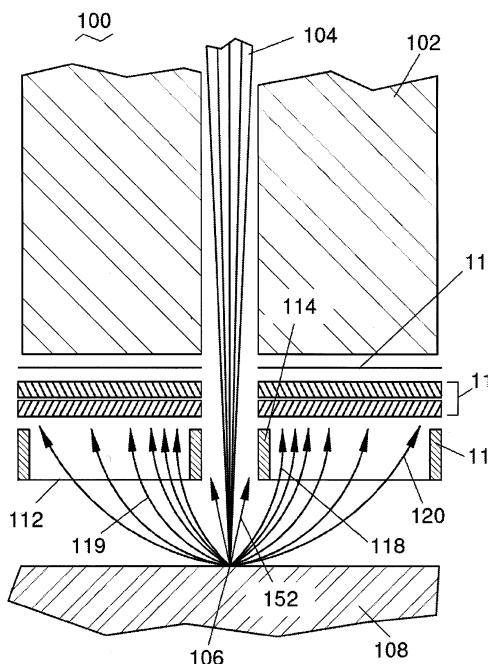
【0076】

いくつかの実施形態では、検出器が、1次ビームを通す開口を含み、磁石の少なくとも一部がこの開口内に配置される。

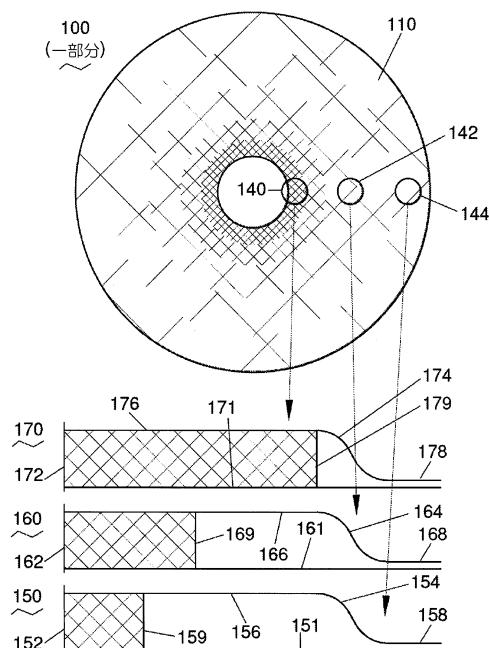
【0077】

本発明の実施形態およびそれらの利点を詳細に説明したが、添付の特許請求の範囲によって定義された本発明の趣旨および範囲から逸脱することなく、本明細書に記載された実施形態に、さまざまな変更、置換および改変を加えることができるこ¹⁰とを理解すべきである。格子用の電圧源は単一の電源から得、分圧器を使用することができ、または格子ごとに別個の電源を使用することができ、または電圧ドライバと電源のある組合せを使用することができる。記載した例は、2次粒子の軌道を変更するために電場を提供するが、磁場を使用することもできる。ただし、その場合には1次ビームに対する磁場の影響を考慮しなければならない。さらに、本出願の範囲が、本明細書に記載されたプロセス、機械、製造、組成物、手段、方法およびステップの特定の実施形態に限定されることは意図されていない。当業者なら本発明の開示から容易に理解するように、本明細書に記載された対応する実施形態と実質的に同じ機能を実行し、または実質的に同じ結果を達成する既存のま²⁰たは今後開発されるプロセス、機械、製造、組成物、手段、方法またはステップを、本発明に従って利用することができる。したがって、添付の特許請求の範囲は、その範囲内に、このようなプロセス、機械、製造、組成物、手段、方法またはステップを含むことが意図されている。

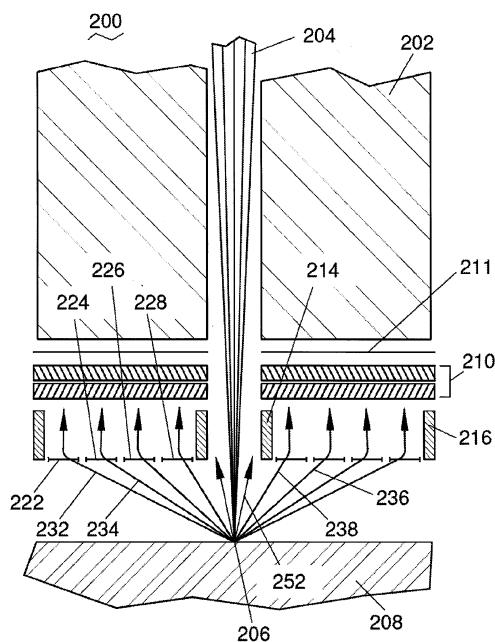
【図1A】



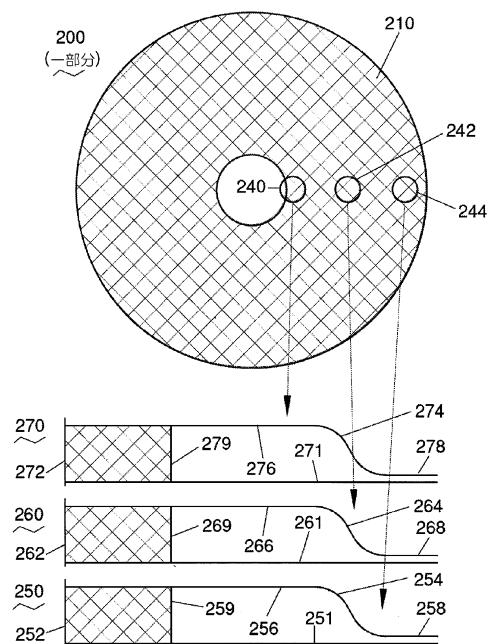
【図1B】



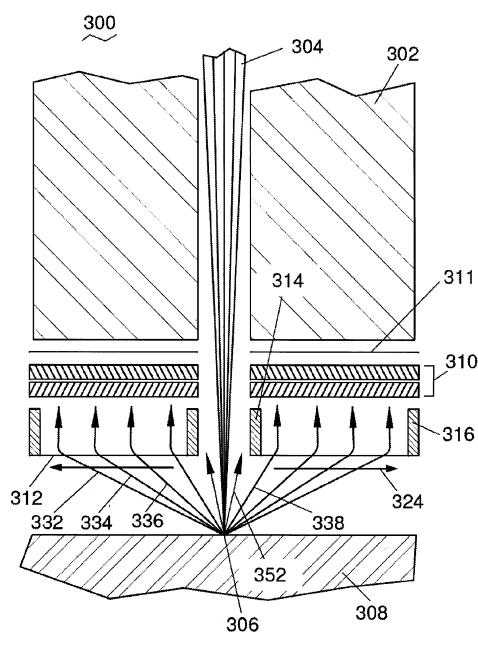
【図2A】



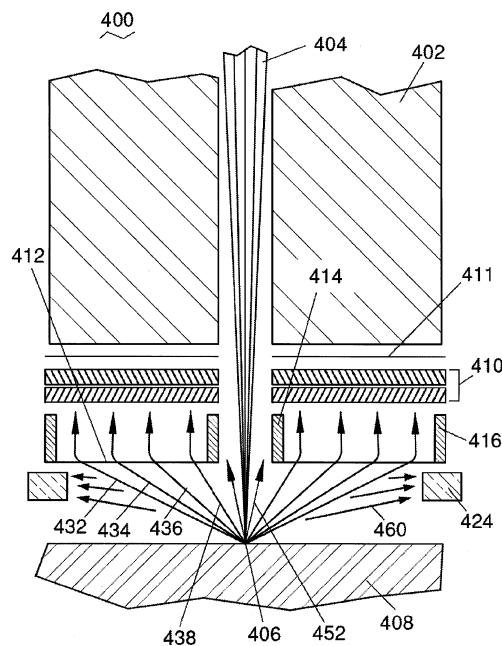
【図2B】



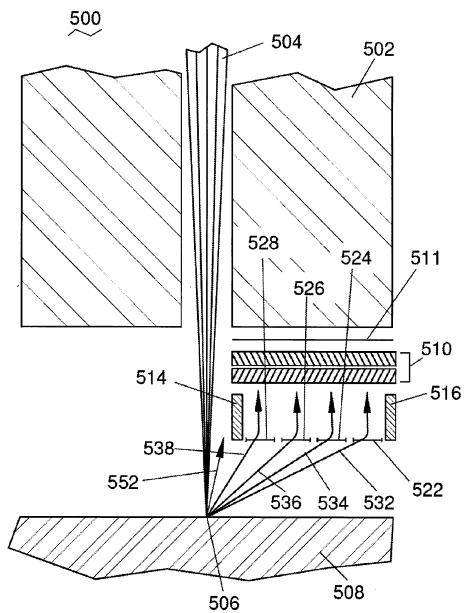
【図3】



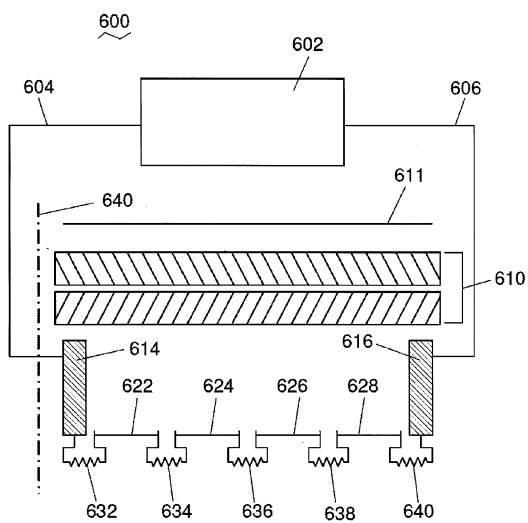
【図4】



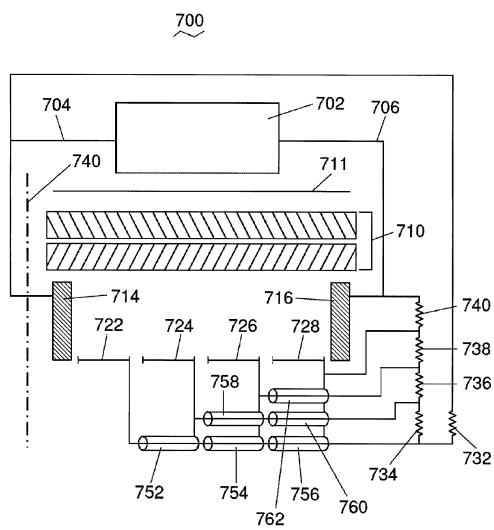
【 図 5 】



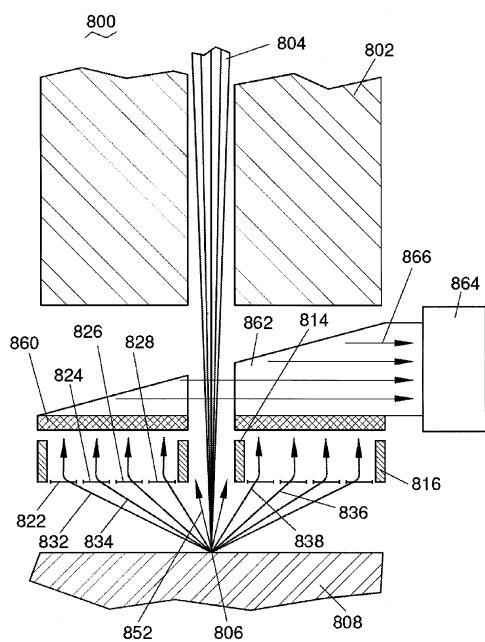
【 四 6 】



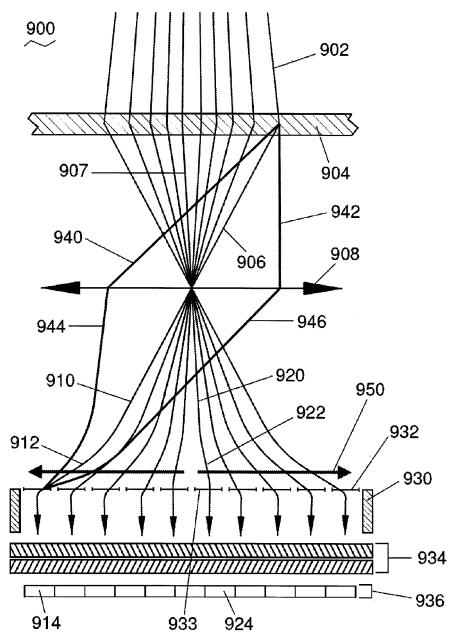
【図7】



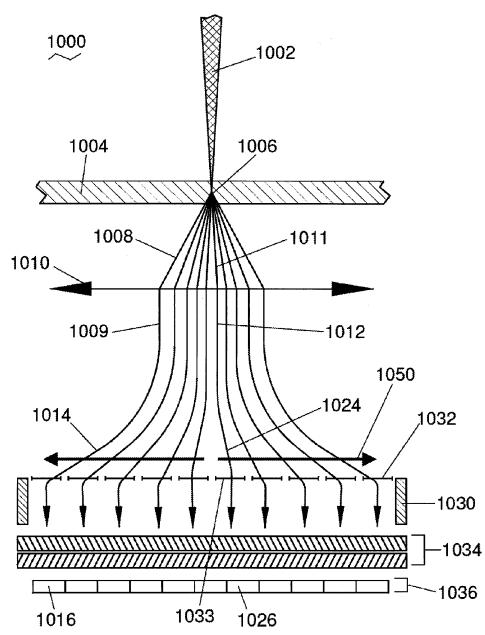
【図8】



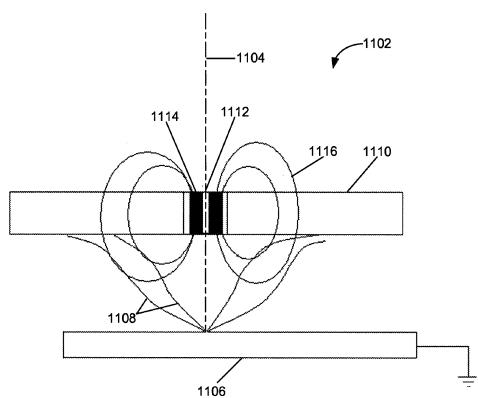
【図9】



【図10】



【図11】



フロントページの続き

審査官 遠藤 直恵

(56)参考文献 特開平09-283072(JP,A)

特開2003-031178(JP,A)

特開2005-166373(JP,A)

特開2008-140723(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01J 37/00 - 37/02, 37/05, 37/09 - 37/18, 38/21, 37/24, 37/244, 37/252 - 37/295, 49/00 - 49/48