

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第6012191号  
(P6012191)

(45) 発行日 平成28年10月25日 (2016. 10. 25)

(24) 登録日 平成28年9月30日 (2016. 9. 30)

(51) Int. Cl.

F I

H O 1 J 37/244 (2006.01)

H O 1 J 37/244

請求項の数 8 (全 17 頁)

|              |                               |           |                     |
|--------------|-------------------------------|-----------|---------------------|
| (21) 出願番号    | 特願2012-24871 (P2012-24871)    | (73) 特許権者 | 501233536           |
| (22) 出願日     | 平成24年2月8日 (2012. 2. 8)        |           | エフ イー アイ カンパニ       |
| (65) 公開番号    | 特開2012-169269 (P2012-169269A) |           | F E I C O M P A N Y |
| (43) 公開日     | 平成24年9月6日 (2012. 9. 6)        |           | アメリカ合衆国 オレゴン 97124- |
| 審査請求日        | 平成26年9月3日 (2014. 9. 3)        |           | 5793 ヒルズボロ ドーソン・クリー |
| (31) 優先権主張番号 | 11154322.9                    |           | ク・ドライブ 5350 エヌイー    |
| (32) 優先日     | 平成23年2月14日 (2011. 2. 14)      |           | 7451 NW Evergreen P |
| (33) 優先権主張国  | 欧州特許庁 (EP)                    |           | arkway, Hillsboro,  |
|              |                               |           | OR 97124-5830 USA   |
|              |                               | (74) 代理人  | 100070150           |
|              |                               |           | 弁理士 伊東 忠彦           |
|              |                               | (74) 代理人  | 100091214           |
|              |                               |           | 弁理士 大貫 進介           |
|              |                               | (74) 代理人  | 100107766           |
|              |                               |           | 弁理士 伊東 忠重           |

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 荷電粒子顕微鏡に用いられる検出方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

荷電粒子顕微鏡を用いた試料の調査方法であって：

粒子光学鏡筒を有する荷電粒子顕微鏡を供する手順；

前記粒子光学鏡筒を用いて、荷電粒子の結像ビームを前記試料へ案内する手順；

前記結像ビームを前記試料へ照射することで、前記試料から出力放射線の放射線束を放出させる手順；

検出器を用いて前記出力放射線の少なくとも一部を検査する手順；

調節可能な電気バイアスを供する電源と接続する固体光電子増倍管を有するように前記検出器を実装する手順；

前記固体光電子増倍管の利得値を調節するように前記バイアスを調節する手順とを有しており、

前記利得値の調整は、前記固体光電子増倍管が該固体光電子増倍管の飽和閾値未満で動作するように、前記放射線束の値に応じて行なわれる、方法。

【請求項 2】

前記出力放射線の少なくとも一部が粒子放射線を有し、

シンチレータが、前記出力放射線の少なくとも一部を光放射線に変換するのに用いられ、かつ

前記光放射線は、前記固体光電子増倍管へ導光される、

請求項1に記載の方法。

【請求項3】

前記シンチレータ及び固体光電子増倍管が、介装された光学的に透明な分離層と共に、積層構造中においてサンドイッチ状態で設けられ、かつ、

前記積層構造が、絶縁材料のジャケット内で部分的に封止されることで、前記シンチレータの少なくとも一部が曝露される、

請求項2に記載の方法。

【請求項4】

前記検出器が、前記結像ビーム及び試料の交差点の周りに設けられた複数の固体光電子増倍管を有する空間的に分布した構造である、請求項1乃至3のいずれかに記載の方法。

10

【請求項5】

前記検出器が、前記粒子光学鏡筒内部に設けられている、請求項1乃至4のいずれかに記載の方法。

【請求項6】

試料ホルダが、前記粒子光学鏡筒の電磁場内部に前記試料を設けるように実装される、請求項5に記載の方法。

【請求項7】

前記荷電粒子顕微鏡が、走査型電子顕微鏡、透過型電子顕微鏡、走査型透過電子顕微鏡、集束イオンビーム装置、電子ビーム誘起堆積装置、イオンビーム誘起堆積装置、デュアルビーム荷電粒子顕微鏡、限界寸法顕微鏡、及び/又はリソグラフィ装置からなる群から選ばれる、請求項1乃至6のいずれかに記載の方法。

20

【請求項8】

請求項1乃至7のいずれかに記載の方法を実行するように構築及び配備された荷電粒子顕微鏡。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、荷電粒子顕微鏡を用いた試料の調査方法であって、粒子光学鏡筒を有する荷電粒子顕微鏡を供する手順、前記粒子光学鏡筒を用いて、荷電粒子の結像ビームを前記試料へ案内する手順、前記結像ビームを前記試料へ照射することで、前記試料から出力放射線束を放出させる手順、検出器を用いて前記出力放射線の少なくとも一部を検査する手順を有する方法に関する。

30

【背景技術】

【0002】

本明細書全体を通じて用いられているように、以下の語句は次のように解されなければならない。

【0003】

— 「荷電粒子」という語は、電子又はイオンを指称する（一般的には、たとえばガリウムイオン又はヘリウムイオンのような正のイオン）。

40

【0004】

— 「顕微鏡」という語は、一般に裸眼で満足できるように詳細を見るには小さすぎる対象物、特徴部位、又は部材の拡大像を生成するのに用いられる装置を指称する。撮像機能を有することに加えて、係る装置はまた、加工機能をも有して良い。たとえば係る装置は、試料から材料を除去すること（「ミリング」又は「アブレーション」）により、又は前記試料に材料を加えること（「堆積」）により、前記試料を局所的に改質するのに用いられて良い。前記撮像機能及び加工機能は、同一種類の荷電粒子によって供されても良いし、又は、異なる種類の荷電粒子によって供されても良い。たとえば集束イオンビーム(FIB)顕微鏡は、加工目的で（集束された）イオンビームを用い、かつ撮像目的で電子ビームを用いる（所謂「デュアルビーム」顕微鏡）。あるいはFIB顕微鏡は、相対的に高いエ

50

エネルギーのイオンビームによって加工を行い、かつ、相対的に低いエネルギーのイオンビームによって撮像を行って良い。この解釈に基づいて、FIB装置、EBID及びIBID装置（EBID：電子ビーム誘起堆積、IBID：イオンビーム誘起堆積）、限界寸法(CD)測定装置、リソグラフィ装置、スモールデュアルビーム(SDB)等は、本発明の技術的範囲内に属すると解すべきである。

**【0005】**

－ 「粒子光学鏡筒」という語は、荷電粒子ビームを操作することで、その荷電粒子ビームにある程度の集束若しくは偏向を与え、たとえば、かつ/又はその荷電粒子ビーム内の収差を緩和するのに用いることのできる静電レンズ及び/又は磁気レンズの集まりを指称する。

10

**【0006】**

－ 「出力放射線」という語は、撮像ビームによって照射された結果、試料から放出される任意の放射線を含む。係る出力放射線は、実在する粒子状及び/又は光子状であって良い。例には、2次電子、後方散乱電子、X線、可視蛍光、及びこれらの結合が含まれる。当該出力放射線は単純に、試料を透過する又は試料から反射される撮像ビームの一部であって良い。あるいは当該出力放射線は、たとえば散乱又は電離のような効果によって発生しても良い。

**【0007】**

－ 「検出器」という語は、荷電粒子顕微鏡内のどこかの少なくとも1つの検出器を指称する。異なる種類の複数の係る検出器及び/又は異なる位置に複数の係る検出器が存在しても良い。本発明は、特定の形態/機能に従って少なくとも1つの係る検出器を実装することを目的とする。

20

**【0008】**

－ 「電磁」という語は、電磁気学の様々な現象を含むものとして解されなければならない。たとえば、「電磁」場は、本質的に静電的若しくは磁気的であっても良いし、又は電氣的態様と磁氣的態様の混合状態を含んでも良い。

**【0009】**

以降では、例示として、電子顕微鏡の特定の状況で本発明を説明する。しかしそのような単純化は、単に簡明を期すため/例示目的を意図したものでしかなく、限定と解されてはならない。

30

**【0010】**

電子顕微鏡は、ミクロな対象物を撮像する周知の技術である。電子顕微鏡の基本概念は、たとえば透過型電子顕微鏡(TEM)、走査型電子顕微鏡(SEM)、及び走査型透過電子顕微鏡(STEM)のような多数の種類の周知装置、並びに、たとえば「デュアルビーム」装置（さらに「加工用」イオンビームを用いることで、たとえばイオンビームミリング又はイオンビーム誘起堆積の支援を可能にする）様々な改良装置に進化してきた。従来の電子顕微鏡では、撮像ビームは、所与の撮像期間中での所定時間「オン」状態である。しかし、比較的短い電子の「フラッシュ」又は「バースト」に基づいて撮像する電子顕微鏡もまた利用可能である。そのような方法は、たとえば動く試料又は放射感受性を有する試料の撮像を試みるときに利点となる可能性を秘めている。

40

**【0011】**

現在の電子顕微鏡（及び他の荷電粒子顕微鏡）では、シンチレータと共に排気された光電子増倍管(PMT)を用いる検出器がよく用いられる。そのような設定では、試料から放出される出力電子は、前進し、かつシンチレータ（通常は試料に対して数kVのオーダーの加速電位に維持される）に衝突する。その結果、1つ以上の光電子の放出を引き起こすPMTの光放出カソードへ（たとえば導波路によって）導光される光放射線（つまり可視光のような電磁放射線）が生成される。係る光電子の各々は、一連の高電圧ダイノードを横切る。各高電圧ダイノードは各衝突電子につき複数の電子を放出する（カスケード効果）ので、各光電子が一連の高電圧ダイノードを横切ることで、数が大幅に増大した電子が、最終的に最後のダイノードを飛び出し、検出アノードに衝突することによって、測定可能な電流

50

又はパルスが生成される。カソード、ダイノード、及びアノードはすべて、排気されたガラス管内に設けられている。

#### 【0012】

この既知の検出器の構成（通常はEverhart-Thornley型検出器と呼ばれる）は、ある課題を有している。たとえばPMTのガラス管は、特定の相互に関連する構成に多数の電子を収容し、かつ高い内部真空度を支援しなければならないため、PMTのガラス管は、必然的にかなり大きくなってしまふ。そのように大きくなってしまふことは、各電極が、ガラス管の壁を介してその管の外部—ここでは電気ケーブルを介して高圧電源（典型的にはkV範囲で動作する）と接続する—と電氣的に接続する必要があるために、さらに促進される。それに加えて、（たとえばPMT内での設置における空間的制約に起因して）シンチレータとPMTとの間の導波路は必然的にかなり長くしまい、このため一般的には、ある程度の信号損失が生じてしまふ。しかもまさにPMTの動作原理の結果として、シンチレータに衝突する各電子の電流は最終的に比較的大きくなる。その結果、撮像ビームによる試料の照射が、その試料から相対的に大きな出力放射線束を生成するシナリオでは、結果として、PMTのアノードに過剰な電流が流れてしまふ恐れがある。この効果を緩和するため、たとえば用いられたシンチレータの感度を弱めることによって、PMTへの入力を減衰させることが可能である。しかしそのような行為は概して検出器の構成をさらに複雑にしがちである。

10

#### 【発明の概要】

#### 【発明が解決しようとする課題】

20

#### 【0013】

本発明の目的は、これらの問題を解決することである。より詳細には、本発明の目的は、上述した問題に対する根本的な代替検出方法を提供することである。それに加えて、本発明の目的は、様々な新たな型の荷電粒子顕微鏡の実現を可能にするように、荷電粒子顕微鏡の検出器の構成を根本的に再設計することである。

#### 【課題を解決するための手段】

#### 【0014】

上記及び他の目的並びに効果は、第1段落で特定された方法によって実現される。当該方法は、

- 調節可能な電気バイアスを供する電源と接続する固体光電子増倍管を有するように前記検出器を実装する手順、
  - 前記固体光電子増倍管の利得値を調節するように前記バイアスを調節する手順、
  - 前記固体光電子増倍管が、該固体光電子増倍管の飽和閾値未満で動作するように、前記利得値を、前記放射線束の大きさに一致させる手順、
- によって特徴付けられる。

30

#### 【0015】

「固体光電子増倍管」の概念は以降で詳述する。

#### 【0016】

本発明に至る研究において、本願発明者等は、排気されたPMTに基づいて検出器が大きくなってしまふことが、より小型かつ/又は先進的な型の電子顕微鏡（及び他の種類の荷電粒子顕微鏡）を開発するという現在も継続している欲求に対する障壁であったと認識していた。従って本願発明者等は、前記障壁によって課された一見克服できないハードルを克服することを目的として、電子顕微鏡に用いられる全く新たな型の検出器を開発するための系統的な設計計画に着手した。

40

#### 【0017】

まず始めに、本願発明者等は、小型で相対的に低動作電圧しか要求されないという利点を有し、さらに比較的安価であるという利点をも有するフォトダイオード(PD)に着目した。しかしPDの課題は、満足行く増幅効果を有していないため、弱い信号の検出には相対的に適さないことである。この課題を解決するため、本願発明者等は、所与のトリガとなる光子について、電子の「なだれ」を起こす電気バイアスを用いる所謂アバランシェフォト

50

ダイオード (APD) の利用を考えた。しかしこれらの装置は増幅効果を起こさなかったものの、電子顕微鏡における多くの用途にとって弱すぎると考えられた。

#### 【0018】

次に本願発明者等は、所謂ガイガーモードで動作するAPDであるガイガーAPD（又はGAPD）で実験を行った。用いられた動作バイアスは、実験で用いられたダイオードの降伏電圧よりも大きく、その結果、所与のトリガ光子について、降伏電子のシャワーが起こった（自己持続放電）。しかし発射後に再度まき直す必要のあるカタバルトのように、GAPDは、各トリガ事象後に「放電停止( quench )」及び「再充電」を必要とし、この過程は、装置の「回復時間」又は「不感時間」と呼ばれる典型的にはナノ秒範囲の期間を必要とする。光子がこの不感時間の間に装置に衝突する場合、その装置は、光子の衝突に応答した所望の放電ができない。その結果問題となっている光子は検出されない。従って係る構成は、相対的に高い光束の検出には適さない。

10

#### 【0019】

次に本願発明者等は、検出器ダイオードのアレイを用いれば、上述した不感時間に係る不利な効果を阻止できると予想した。その理由は、所与の時間で、係るアレイ中の一部のダイオードは不感時間を迎えるが、他のダイオードはトリガの準備ができています。従って一般的には、アレイに到達する任意の光子は常に、少なくとも一部のトリガ可能なように準備ができていますダイオードに衝突する。それにより係る光子が検出される確率は増大する。本願発明者等は、最適な設置の多様性を実現するため、係るアレイが、相対的に小型であって、好適には集積された（つまりオンチップの）装置の形態をとる必要があると認識していた。しかし、そのような集積装置の設計及び製造について議論するために半導体ファウンドリと接触する段階の前に、本願発明者等は、偶然に、高エネルギー素粒子物理学実験（たとえばCERN、フェルミラボ等で行われているような）の分野において、研究者達が、多画素光子計測器（固体光電子増倍管(SSPM)、シリコン光電子増倍管(SiPM)、オンチップの画素化されたAPDアレイ等としても知られている）と呼ばれる非常に高感度のパルス計測器を用いて検出困難でかつ興味深い亜原子粒子を捕らえたことを知った。多画素光子計測器は、基本的には共有された/共通の検出回路を備える約 $10^3 \sim 10^4$ のオーダーのAPDのオンチップアレイで、かつ、たとえば浜松フォトリクスからMPPC（登録商標）の名称で市販されていることが分かった。

20

#### 【0020】

また10～1000のAPDを備える多画素光子計測器も利用可能であることに留意して欲しい。

30

#### 【0021】

実施前は、電子顕微鏡技術者の要求と比較すると、高エネルギー素粒子物理学者の要求は本質的に異なることを考えると、係る多画素光子計測器は、電子顕微鏡では満足行く性能を出さないと考えていた。しかし係る多画素光子計測器による調査目的の実験を行うことは有益な経験になると考えていた。

#### 【0022】

予想通り、予備実験は、多画素光子計測器が、電子顕微鏡における検出器としての利用に適さないことを示唆した。まさにその「光子計測器」という名前が示す通り、光子計測器は低光束の検出を行うことを意図したものであり、たとえば電子顕微鏡において一般的に起こるような中程度の光束では深刻な飽和を示すことが分かった。

40

#### 【0023】

しかし偶然、本願発明者等は、試験用多画素光子計測器が、製造者が要求する仕様未満のバイアスレベルで動作したとき、その試験用多画素光子計測器が、かなり低い利得を示したことを発見した。この現象は本願発明者等の興味を引いた。そして本願発明者等は、そのことをさらに調べるため、測定範囲を全範囲にまで広げた上で一連の実験に取りかかった。その結果本願発明者等は、多画素光子計測器が、仕様の範囲外である相対的に狭い電圧帯で動作したとき、その計測器の利得は、飽和効果を示すことなく、弱い「S字」応答曲線に従って、数桁のオーダーで再現可能なように変化した。たとえば74Vよりも高い

50

特定の動作電圧を有する特定のMPPC部については、利得は、69～73Vの範囲での印加電圧の関数として、4桁のオーダーで変化したことを発見した。

【0024】

本願発明者等は、上記を理解し、かつ本発明に従って、電子顕微鏡用（及び最終的には他の型の荷電粒子顕微鏡）の検出器として多画素光子計測器の実装を成功させた。この実装によると、多画素光子計測器（つまりオンチップの画素化されたガイガーモードのアバランシェフォトダイオードアレイ、固体光電子増倍管(SSPM)等）の動作バイアスは、特別な検出状況に適合する利得値が与えられるように注意深く調節される。たとえば、試料から放出される出力放射線束が低いことが予想される状況では、相対的に大きなバイアスが、多画素光子計測器に印加されて良い（それにより、その多画素光子計測器には相対的に高い利得が与えられる）。他方、試料から放出される出力放射線束が高いことが予想される状況では、その多画素光子計測器の利得は、その多画素光子計測器を相対的に低いバイアスで動作させることによって、適切に「抑制(choked)」されて良い。所望の利得を実現するように多画素光子計測器へ印加される厳密なバイアスは、電子顕微鏡（及び他の荷電粒子顕微鏡）でその多画素光子計測器を用いる前に描かれたバイアス/利得校正曲線に基づいて決定されて良い。

10

【0025】

このように使用される多画素光子計測器が、その製造者によって規定された仕様の範囲外で動作するにもかかわらず、本願発明者等は、多画素光子計測器が概ね許容可能な温度安定性、信号対雑音比(SNR)、及び再現性を示すことを発見した。SNRは、排気されたPMT又は仕様の範囲内で動作する多画素光子計測器から一般的に実現される値よりもはるかに低い（雑音ははるかに大きい）傾向を示しているが、このことは、測定精度を全く阻害しない。

20

【0026】

本発明に従って本願発明者等によって開発された新規検出器は、排気されたPMT（又は荷電粒子顕微鏡において用いられた他の従来型の検出器）よりもはるかに小さく、かつはるかに低い電圧で動作する。従って、当該新規検出器は、（とりわけ）排気されたPMTに基づく検出器の場合で可能ではなかった場所での設置、及び、可能ではなかった状況での利用が可能である。よってこのことは、新たな型の荷電粒子顕微鏡の全領域への扉が開かれた。たとえばその領域について以降で説明する。

30

【0027】

本発明による荷電粒子顕微鏡では、新規の検出器は、調査される試料に非常に近接させて設けることができる。その理由は、その検出器が、従来の排気されたPMTよりもはるかに小型だからである。そのような構成の利点は、概して検出器が、試料から放出される出力放射線をより効率的に捕獲することを可能にすることである。特に、多画素光子計測器は、（試料に隣接して設けられる）係るシンチレータに対して非常に近接して設けられて良いので、当該多画素光子計測器とシンチレータとの間に相対的に長い導波路を設ける必要がなくなることで、信号損失を減少させることができる。

【0028】

本発明による検出器は、荷電粒子顕微鏡の粒子光学鏡筒（対物レンズ）内部に全てが設けられて良い。そのような構成はこれまででは、排気されたPMTに基づく検出の場合では難しかった。その理由は主として、排気されたPMTが大きいことに起因するが、排気されたPMTに係る電場にも起因する。「レンズ内(in-lens)」の検出器構成は、所謂顕微鏡の「作動距離」に関しての大きな選択の自由度を許容するという利点を有する。特に、短い作動距離が実現されても良いので、レンズ収差（作動距離に比例する）の効果を緩和させることができる。

40

【0029】

これまでの例に加えて、所謂「浸漬レンズ」つまり試料がレンズの電磁場内に存在する構成において本発明が含まれても良い。係る試料から放出される出力放射線が、レンズから外部検出器へ飛び出すことができないので、検出器は、その代わりにレンズ内部に

50

設けられなければならない、かつ電磁場内で満足に動作できなければならない。本発明による検出器の配置は、これらの要求に適合する。

#### 【0030】

上述したように、排気されたPMTは、試料から放出される高い放射線束の測定に用いられるとき、「過剰負担」となる傾向にある。しかし本発明による検出器は、予想された検出束に従って調節された利得を有するので、この問題に悩まされない。

#### 【0031】

本発明は、所謂カソードルミネッセンス(CL)が測定された荷電粒子顕微鏡での用途に適する。本発明による検出器は、非常に小型で、それゆえ試料に近接して設けることができるので、CL光子を捕獲するのに大きな角度の開口部にする余裕がある。

10

#### 【0032】

本発明による荷電粒子顕微鏡に係る所与の実施例では、検出器はさらにシンチレータを有する。係るシナリオでは、上述の多画素光子計測器は測定素子として機能し、かつ、シンチレータは変換素子として機能することで、試料から放出される出力電子を光子に変換し、その後前記測定素子に衝突する。

#### 【0033】

代替シナリオ（たとえばCL放射線を測定するとき）では、上述の多画素光子計測器は、試料から放出される出力光子を直接検出するのに用いられる。この直接検出は、中間の変換シンチレータなしでも実行可能である。

#### 【図面の簡単な説明】

20

#### 【0034】

【図1】荷電粒子顕微鏡において利用可能な、本発明による多画素光子計測器を有する特別な実施例の断面図を表している。

【図2】本発明の基礎となる考え方を用いることによって得られ、かつ、本発明による荷電粒子顕微鏡で用いられる検出器で利用可能な、特別な多画素光子計測器についての利得とバイアスとの関係を表すグラフである。

【図3】本発明による荷電粒子顕微鏡—この特別な場合ではTEM—に係る特別な実施例の断面図を表している。

【図4】本発明による荷電粒子顕微鏡—この特別な場合ではSEM—に係る特別な実施例の断面図を表している。

30

【図5】本発明による荷電粒子顕微鏡—この特別な場合ではFIB装置—に係る特別な実施例の断面図を表している。

#### 【発明を実施するための形態】

#### 【0035】

ここで本発明について、典型的実施例及び添付の概略図に基づいてより詳細に説明する。

#### 【0036】

図中、対応する部材は、対応する参照符号を用いて表される。

#### 【0037】

多画素光子計測器は、たとえば浜松フォトニクスから市販されている。多画素光子計測器は一般的に、小さなチップ上に集積された数百又は数千の各独立したガイガーAPDの2次元アレイを有する。係るチップは典型的には、約 $3 \times 3 \text{ mm}^2$ のオーダーの横方向寸法を有する。場合によっては、係るチップは、電気接続リード線が供された（金属、セラミックス、又はプラスチック製）キャニスター内に格納されて良い。しかしキャニスターは必要ではない。「裸の」多画素光子計測器チップも市販されている。

40

#### 【0038】

係る多画素光子計測器の縮尺を評価するため、以下の比較が必要となる。参考に、（典型的な）直径が約2.5cmのオーダーで、かつ（典型的な）長さが約10cmのオーダーの排気されたPMT（光電子増倍管）は、約 $80 \text{ cm}^3$ のオーダーの体積を有する。対照的に、上で述べたキャニスターは典型的には、約 $1 \text{ cm}^3$ 以下のオーダーの体積を有する。つまり前記キャニ

50

スターの体積は、前記排気されたPMTの体積の約1/100となる。他方、薄い基板（たとえばガラスシート）上に載置された「裸の」多画素光子計測器チップは典型的には、約 $3 \times 3 \times 1\text{mm}^3 = 9\text{mm}^3 = 0.009\text{cm}^3$ のオーダーの体積を有する。つまり前記「裸の」多画素光子計測器チップの体積は、排気されたPMTの体積の約1/10000となる。

#### 【0039】

この縮尺の差異は、排気されたPMT（又は従来の固体検出器のような他の型の検出器）と比較して、検出器のサイズを顕著に減少させることを可能にする。よって排気されたPMT（又は他の既知の検出器の型）にとっては狭すぎる閉じこめ空間内に、多画素光子計測器に基づく検出器を設けることが可能となる。しかも多画素光子計測器は、非常に小さく、かつ、従来技術に係る検出器よりもはるかに安価なので、複数の多画素光子計測器を一つにまとめて使用することも可能である。これにより、大きな検出器を単独で使用する場合と比較して、多目的な検出が可能となる。たとえば、係る多画素光子計測器の「一群」によって試料を取り囲むことによって、その試料から放出される出力放射線の検出だけではなく、その出力放射線を角度/方向で分解することも可能となる。

#### 【0040】

そのような多数の検出器は、完全に分離したチップから構成されても良いが、好適には荷電粒子ビームが試料へ向かって通り抜けるように中央に穴を有した状態で一のダイ上に集積されても良いことに留意して欲しい。

#### 【0041】

サイズ、コスト、及び新規の測定配置に関するこれらの利点に加えて、本発明による検出器はさらなる利点を有する。多画素光子計測器は複数のAPDを有するので、その動作は、周辺の磁場によっては全く妨害されない。他方、（たとえば）排気されたPMTの動作は、電極対間に生成された加速静電場の利用に依拠するので、その排気されたPMTの機能は、周辺の大きな磁場によって有害な影響を受ける恐れがある。多画素光子計測器は、電磁場の影響を相対的に受けないので、排気されたPMTが排除された場所にうまく設けることができる。たとえば多画素光子計測器は、粒子光学レンズ内部に設けることができる。

#### 【0042】

驚くべきことに、多画素光子計測器が、製造者の仕様の範囲外の特別な方法で動作するときに、約50倍にもわたる入射放射線束を、飽和効果により妨害されることなく、満足行く再現性及び信号対雑音比でうまく測定するのに用いることができることを、本願発明者等は示した。この目的のため、多画素光子計測器は、調節可能な電気バイアスを供する電源と接続し、かつ、このバイアスは、その多画素光子計測器の利得値を調節するように変化する。用いられるバイアス値を適切に選ぶことによって、測定される入射放射線束の（予想又は観測された）大きさに、装置の利得を合わせることができる。それにより、多画素光子計測器が一貫して、その装置の飽和閾値未満（つまり許容可能な飽和レベル）で動作するシナリオが生成される。

#### 【0043】

一般的には、このように動作する多画素光子計測器の熱感度は、許容可能なものであることが本願発明者等によって発見された。しかし、特別な用途において、熱感度がより重要な問題だと考えられる場合には、以下の手順のうちの少なくとも1つに訴えることができる。それは、

- 多画素光子計測器の温度を可能な限り安定に保つ努力をすることによる予防；
  - 多画素光子計測器（で）の温度を連続的に監視し、かつ、その変化を、印加されたバイアス値への適切な（微）調整によって補償する補正；
- である。

#### 【0044】

このような荷電粒子顕微鏡内の検出器としての多画素光子計測器の新規な用途に関して、以下の事項に留意すべきである。

- 多画素光子計測器は、本発明に従って、入射光放射線—たとえばCL放射線—を直接測定するのに用いられて良い。係る測定は、シンチレータのような中間変換素子を必要とし

10

20

30

40

50

ない。

ー 多画素光子計測器は、本発明に従って、粒子束（たとえば2次若しくは後方散乱電子又はイオン）を光子に変換するシンチレータを用いることによって、入射粒子放射線を間接的に測定するのに用いられて良い。変換された光子はその後多画素光子計測器に衝突する。

#### 【0045】

次の実施例では、そのような間接測定に適した特定の構成について説明する。

#### 【実施例1】

#### 【0046】

図1は、本発明に従って荷電粒子顕微鏡で用いることが可能な、複合多画素光子計測器に基づく検出器の特定実施例に係る断面図を表している。図1は、光学的に透明な材料—たとえばガラス又は適切な型—の介装層5を介してシンチレータ3から分離する（裸の）多画素光子計測器チップ1を図示している。シンチレータ3はたとえばYAG（イットリウム・アルミニウム・ガーネット）結晶を有して良い。

#### 【0047】

介装（導光）層5は、シンチレータ3の屈折率と多画素光子計測器1の屈折率を（部分的に）一致させ、かつ、多画素光子計測器1とシンチレータ3とを互いに電氣的に隔離する役割を果たす。使用時には、多画素光子計測器1は相対的に低電圧で動作する一方で、シンチレータ3は通常、相対的に高い電位（典型的にはkVのオーダー）に維持される。弧絡を防止するため、サンドイッチ状の集合体3,5,1は、鋳型成型された絶縁ジャケット7内で部分的に封止される。サンドイッチ状の集合体3,5,1は、（真空との相性が良い）物質—たとえばシリコンゴム又はエポキシ樹脂—を有しても良い。このジャケット7は、シンチレータ3の面のかなりの部分を入射粒子放射線に曝露されたままにする形態/形状を有する。必要な場合には、（多画素光子計測器1から離れた）シンチレータ3のこの曝露面は、シンチレータ3内で生成された光子を、多画素光子計測器1へ向かうように反射させるように薄くメタライズされて良い。そのようなメタライゼーションは通常、（通常は絶縁性である）シンチレータ上に導電性表面を形成することも望まれる。さもなければ帯電が起こる恐れがあるからである。

#### 【0048】

図1には信号ケーブル9も図示されている。信号ケーブル9は、多画素光子計測器1からの出力信号を制御装置（図示されていない）へ運ぶ。

#### 【実施例2】

#### 【0049】

図2は、本発明の基礎となる考え方を用いることによって得られ、かつ、本発明による荷電粒子顕微鏡で用いられる検出器で利用可能な、特別な多画素光子計測器についての利得とバイアスとの関係を表すグラフである。この特別な場合では、多画素光子計測器は、浜松フォトリクスから入手可能なS10931-25P型で、 $3 \times 3\text{mm}^2$ のダイ（チップ）面積中に14400個のガイガーAPDの2次元アレイを有する。この特別な多画素光子計測器について、製造者は、動作電圧は約74Vであるとした。しかし他の多画素光子計測器については、製造者は、（とりわけ問題となっているMPPCにおける集積回路設計の詳細に依存して）様々な動作電圧を指定することができる。

#### 【0050】

本発明に係る試験では、問題となっている多画素光子計測器には、仕様範囲外の動作電圧が印加された。図2のグラフは、驚くべき結果を図示している。それは、多画素光子計測器が相対的に狭い仕様未満の電圧帯の範囲内で動作するとき、その利得が、再現可能なように、弱い「S形状の」応答曲線に従って、飽和効果を示すことなく、数桁のオーダーにわたって変化することが観測されたことである。

#### 【0051】

本願発明者等は、多画素光子計測器の観測された挙動を以下のように説明できると考えている。

- ー バイアス/利得曲線における様々な地点で、多画素光子計測器が生成する利得の機構が変化する。
- ー 74V以上のバイアス値では、当該装置は、製造者が開発したように、公称光子計数モードをとる。
- ー 74V以下一たとえば70~74Vーのバイアス値では、アバランシェ放出の確率が減少し、アバランシェは低い利得を有し、かつ、回復時間は短くなる。その結果当該装置は、飽和することなく、低利得で高い入射放射線量を処理することができる。
- ー さらに低い一たとえば40~70Vのーバイアス値では、当該装置は、もはやガイガーモードでは動作せず、その代わりに通常のAPD特性を示す。つまり飽和効果を示さず、内部利得は10~100である（2次電子は生成されるが、降伏効果からは電子は生成されない）。
- ー またさらに低い一たとえば0~40Vのーバイアス値では、内部利得は存在しない。当該装置は通常のフォトダイオードとして機能する。つまり1つの光子が1つの電子正孔対を生成する。

10

#### 【0052】

図示されたグラフでは、描画されたデータ点に対してスプラインフィッティングが行われた。従って、このフィッティングは、多画素光子計測器の利得を所与の値に最適設定するためには、どのバイアス値を用いるべきなのかを予測するのに利用することができる。それにより、許容可能な飽和レベルを超えることなく、測定又は予想された入射放射線束で、多画素光子計測器を処理することが可能となる。係る入射放射線束が非常に弱いと予想される場合、多画素光子計測器は、パルス計測器として振る舞うように、製造者が要求する動作電圧（付近）で使用して良い。他方係る入射放射線束が非常に強いと予想される場合、多画素光子計測器は、非常に低いバイアスで動作させ、必要な場合には、ガイガーモードではなく、APD又はPDモードで動作させて良い（前段落参照のこと）。

20

#### 【実施例3】

#### 【0053】

図3は、本発明によるTEMに係る特別な実施例の断面図を表している。

#### 【0054】

図示されたTEMは、真空ポンプ122と接続した管121を介して排気される真空筐体120を有する。電子銃101の形態をとる粒子源は、粒子光学軸（結像軸）100に沿った電子ビームを生成する。電子銃101はたとえば、電界放出銃、ショットキーエミッタ、又は熱電子エミッタであって良い。粒子源101によって生成される電子は、典型的には80~300keVの調節可能なエネルギーにまで加速される（ただし、たとえば調節可能なエネルギーが50~500keVの電子を用いたTEMも知られている）。続いて加速された電子ビームは、プラチナのシート内に供されたビームを制限するアパーチャ/ダイアフラム103を通過する。電子ビームをアパーチャ103に対して適切に合わせるため、ビームは、偏向器102の助けを借りることで移動及び傾斜されて良い。それによりビームの中心部は、軸100に沿ってアパーチャ103を通過する。ビームの集束は、対物レンズ105（の一部）と共に、コンデンサシステムの磁気レンズ104を用いることによって実現される。偏向器（図示されていない）は、試料11の関心領域上の中心に入射するようにビームを合わせる、及び/又は試料表面全体をビームで走査するのに用いられて良い。

30

40

#### 【0055】

試料111は、対物レンズ（粒子光学鏡筒）105の対象物面内に位置するように、試料ホルダ112によって保持される。試料ホルダ112は、容器面内で静的な試料を保持する従来型の試料ホルダであって良い。あるいはその代わりに、試料ホルダ112は、水流又は他の溶液流を含むことのできる流れ面/チャンネル内に、動く試料を収容する特別な型であっても良い。

#### 【0056】

試料111は、レンズ106を有する投影系によって、蛍光スクリーン107上で結像され、かつ窓108を介して視認することができる。スクリーン上に生成された拡大像は典型的には、 $10^3 \sim 10^6 \times$ の倍率を有し、かつ、たとえば0.1mm以下の小さい詳細を示すことができる

50

。蛍光スクリーン107は、蝶番109と接続し、かつ、投影系106によって生成される像が1次検出器151に衝突するように引っ込められて良い。そのような場合では、投影系106は、蛍光スクリーン107の代わりに1次検出器151上に像を生成するように再集束される必要があることに留意して欲しい。投影系106は概して、中間画像面（図示されていない）にて中間像をさらに生成することにも留意して欲しい。

#### 【0057】

1次検出器151はたとえば、衝突する電子を検出する電荷結合素子(CCD)を有して良い。電子を検出する代替手法として、たとえばCCDと結合する又はCCDを光ファイバによって接続するイットリウム・アルミニウム・ガーネット(YAG)結晶（図示されていない）が放出する光を、そのCCDが検出しても良い。係るシンチレータは、単結晶であって良いが、粉末状でシンチレータが結合したスクリーンで構成されても良いことに留意して欲しい。そのような間接型の検出器では、YAG結晶は、電子がその結晶に衝突するときに、ある数の光子を放出し、かつ、これらの光子の一部はCCDカメラによって検出される。直接型の検出器では、電子はCCDの半導体チップに衝突して電子正孔対を生成することによって、そのCCDチップによって検出される電荷を生成する。

#### 【0058】

蛍光スクリーン107上及び1次検出器151上に生成される像は概して、レンズ106による歪みによって収差を有する。係る歪みを補正するため、多重極152が用いられる。各極は、磁極、静電極、又はこれらの組み合わせであって良い。本実施例では、3つのレベル/組の多重極が図示されている。しかしそれよりも少ない数で十分なこともあれば、より高い精度で歪みを補正するため、より多くの数が必要となることもありうる。

#### 【0059】

図3は、典型的なTEMの概略図しか表しておらず、かつ、実際には、TEMは一般的に、より多くの偏向器、アパーチャ等を有していることに留意して欲しい。多重極及び環状レンズを用いて対物レンズ105の収差を補正する補正器を有するTEMもまた図示されている。

#### 【0060】

結像ビームが試料111に衝突する場合、2次電子、可視（蛍）光、X線等として2次放射線が発生する。この2次放射線を検出及び解析することで、試料111に関する有用な情報を得ることができる。しかし図3から明らかなように、試料111の付近はかなり雑然としているので、ここに従来型の検出器を設置することは困難である。本発明はこの問題を解決する。なぜなら本発明による検出器は、非常に小さく、また相対的に電磁場に対する影響を受けないからである。従って図3は補助検出器130を図示している。補助検出器130は、集積された多画素光子計測器として実装され、可変電源132と接続し、かつ、許容可能な（閾値未満の）飽和レベルで動作することが保証されるように、本発明に従ってバイアス印加される。

#### 【0061】

図3に図示されているように、検出器130は、銃101に対向する試料111の面に設けられる。しかしこれは設計選択の問題である。その代わりに検出器130は、銃101から離れた試料111の面に設けられても良い。さらに本願発明に係る検出器130のサイズが小さいため、必要であれば、試料111の付近に複数の検出器130を設けることが可能である。そのような場合、たとえば様々な種類の2次放射線を調査するために様々な検出器が指定されて良いし、かつ/あるいは、検出された2次放射線の角度/方向を分解することも可能である。他の可能性は、試料111の上方及び/又は下方により直接的に1つ以上の検出器130を設けることである。それにより、たとえば対物レンズ105及び/又は投影系106の境界範囲内（又は少なくとも非常に近く）に検出器130を設けられる。

#### 【0062】

本発明による1つ以上の検出器130はまた、試料111から放出される他の種類の放射線—たとえば後方散乱電子—を検出するのに用いられても良い。上述したように、本発明による検出器130は、光放射線を直接測定するのに用いられても良いし、又は（中間シンチレータの助けを借りることで）粒子放射線を間接的に測定するのに用いられても良い。

## 【実施例4】

## 【0063】

図4は、本発明によるSEMに係る特別な実施例の断面図を表している。

## 【0064】

図4では、SEM400には、電子源412及びSEM鏡筒（粒子光学鏡筒）402が備えられている。このSEM鏡筒402は、電磁レンズ414と416を用いて、試料410上に電子を集束させ、かつ、偏向ユニット418をも用いて、最終的には電子ビーム（結像ビーム）404を生成する。SEM鏡筒402は真空チャンバ406上に載置される。真空チャンバ406は、試料410を保持する試料台408を有し、かつ真空ポンプ（図示されていない）によって排気される。試料台408又は少なくとも試料410には、電源422を用いることによって、グラウンドに対する電位が設定されて良い。

10

## 【0065】

当該装置には、結像ビーム404が照射された試料410から放出される2次電子を検出する検出器420がさらに備えられている。従来技術に係るSEMでは、役割を満たすために大抵の場合は、大きなEverhart-Thornely型検出器を用いている。しかし本発明によると、検出器420は、適切にバイアス印加された多画素光子計測器として、又は、試料410の周辺に分布するように配置された複数の多画素光子計測器として、有利に実装されて良い。本発明に係る検出器420は、SEM鏡筒402の内部、及び/又は、必要な場合には試料410に非常に近接させて設けるのに十分な程度小さい。小型シンチレータは、入射2次電子を光放射線に変換するため、多画素光子計測器と併用されて良い。

20

## 【0066】

検出器420に加えて、この特別な構成は、（任意で）センサ430を有する。センサ430は、本実施例では結像ビーム404が通過可能な中心アパーチャ432が備えられたプレートの形態をとる。当該装置は、とりわけ偏向ユニット418、レンズ414と416、検出器420、及びセンサ430を制御し、かつ、ディスプレイユニット426上に得られた情報を表示する制御装置424をさらに有する。

## 【0067】

試料410全体を結像ビーム404で走査した結果、出力放射線—たとえば2次電子及後方散乱電子—が試料410から放出される。図示された構成では、2次電子が、検出器420によって捕獲及び登録される一方で、後方散乱電子は、センサ430によって検出される。放出された出力放射線が位置に敏感である（前記走査運動に起因する）ため、得られた（検出/検知）情報もまた位置依存性を有する。検出器420/センサ430からの信号は、個別的又は一緒に、制御装置424によって処理され、かつ表示される。係る処理は、結合、積分、減算、偽輪郭、輪郭強調処理（edge enhancing）及び当業者に知られた他の処理が含まれて良い。それに加えて、自動認識処理—たとえば粒子解析で用いられる—も係る処理に含まれて良い。

30

## 【0068】

代替構成では、電源422は、粒子光学鏡筒402に対する電位を試料410へ印加するのに用いられて良い。ここで、2次電子は、センサ430によって検出されるのに十分なエネルギーを有した状態で、センサ430へ向かって加速される。そのようなシナリオでは、検出器420は不要となりうる。あるいはその代わりに、センサ430を本発明の検出器420に置き換えることによって、これらの検出器420は、後方散乱電子を検出する役割を担うと推定できる。その場合、専用センサ430の使用も不要になりうる。

40

## 【0069】

必要な場合には、試料410での（真空ではない）制御された環境が実現されても良い。たとえば、所謂環境制御型SEM(ESEM)として用いられるように、数mbarの圧力が生成されて良い。かつ/あるいは試料410の周辺に気体—たとえばエッチング用気体又は前駆体気体—が意図的に収容されても良い。同様の考え方は、たとえば実施例3で説明したTEMの場合にも適用されることに留意して欲しい。必要であれば、所謂ETEM（環境制御型TEM）が実現されても良い。

50

## 【実施例 5】

## 【0070】

図5は、本発明によるFIB顕微鏡に係る特別な実施例の断面図を表している。

## 【0071】

図5はFIB装置500を図示している。FIB装置500は、真空チャンバ502、光軸514に沿ったイオンビームを生成するイオン源512、及び、FIB鏡筒（粒子光学鏡筒）510を有する。FIB鏡筒510は、電磁（たとえば静電）レンズ516aと516b及び偏向器518をさらに有する。FIB鏡筒510は、集束イオンビーム（結像ビーム）508を生成する役割を果たす。

## 【0072】

加工片（試料）504は、加工片ホルダ（試料ホルダ）506上に設けられる。加工片ホルダ506は、FIB鏡筒502によって生成される集束イオンビーム508に対する加工片504の位置を設定するように実施される。

## 【0073】

FIB装置500には、気体注入システム(GIS)520がさらに備えられる。GIS520は、気体を通り抜けることで加工片504へ導かれうるキャピラリ522及び気体（又は気体を生成するのに用いられる前駆体物質）を含む貯蔵室524を有する。バルブ526は、加工片504へ導かれる気体の量を制御することができる。係る気体はたとえば、加工片504上での（保護）膜の堆積又は加工片504上で実行されるミリング操作の促進に用いられて良い。必要な場合には、複数のGIS装置520が、選択/要求に従って複数の種類の気体を供給するように用いられて良い。

## 【0074】

FIB装置500には、検出器530がさらに備えられる。検出器530は、本実施例で実施されているように、イオンビーム508を試料504に照射した結果、試料504から放出される2次放射線を検出するのに用いられる。検出器530からの信号は制御装置532へ供給される。この制御装置532には、この信号から得られたデータを記憶するコンピュータメモリが備えられる。制御装置532はまたFIBの他の部品をも制御する。他の部品とはたとえば、レンズ516a/b、偏向器518、加工片ホルダ506、GIS520の流れ、及びチャンバ502を排気する役割を果たす真空ポンプ（図示されていない）である。任意の場合において、制御装置532は、イオンビーム508を加工片504上で正確に位置設定するように実施される。必要な場合には、制御装置532は、モニタ534上に検出/処理されたデータの像を生成して良い。

## 【0075】

上述の実施例の類推で、この検出器530の機能は、本発明によると、検出される放射線の性質に依存して、1つ以上の小型シンチレータと共に設けられる1つ以上の適切にバイアス印加された多画素光子計測器によって実現されて良い。

いくつかの態様を記載しておく。

## 〔態様1〕

荷電粒子顕微鏡を用いた試料の調査方法であって：

粒子光学鏡筒を有する荷電粒子顕微鏡を供する手順；

前記粒子光学鏡筒を用いて、荷電粒子の結像ビームを前記試料へ案内する手順；

前記結像ビームを前記試料へ照射することで、前記試料から出力放射線束を放出させる手順；

検出器を用いて前記出力放射線の少なくとも一部を検査する手順；

調節可能な電気バイアスを供する電源と接続する固体光電子増倍管を有するように前記検出器を実装する手順；

前記固体光電子増倍管の利得値を調節するように前記バイアスを調節する手順；

前記固体光電子増倍管が、該固体光電子増倍管の飽和閾値未満で動作するように、前記利得値を、前記放射線束の大きさにマッチさせる手順；

を有する方法。

## 〔態様2〕

前記出力放射線の少なくとも一部が粒子放射線を有し、

10

20

30

40

50

シンチレータが、前記出力放射線の少なくとも一部を光放射線に変換するのに用いられ、かつ

前記光放射線は、前記固体光電子増倍管へ導光される、  
態様1に記載の方法。

〔態様3〕

前記シンチレータ及び固体光電子増倍管が、介装された光学的に透明な分離層と共に、  
積層構造中においてサンドイッチ状態で設けられ、かつ、

前記積層構造が、絶縁材料のジャケット内で部分的に封止されることで、前記シンチレータの少なくとも一部が曝露される、

態様2に記載の方法。

10

〔態様4〕

前記検出器が、前記結像ビーム及び試料の交差点の周りに設けられた複数の固体光電子増倍管を有する空間的に分布した構造である、態様1乃至3のいずれかに記載の方法。

〔態様5〕

前記検出器が、前記粒子光学鏡筒内部に設けられている、態様1乃至4のいずれかに記載の方法。

〔態様6〕

前記試料ホルダが、前記粒子光学鏡筒の電磁場内部に前記試料を設けるように実装される、態様5に記載の方法。

〔態様7〕

20

前記荷電粒子顕微鏡が、走査型電子顕微鏡、透過型電子顕微鏡、走査型透過電子顕微鏡、集束イオンビーム装置、電子ビーム誘起堆積装置、イオンビーム誘起堆積装置、デュアルビーム荷電粒子顕微鏡、限界寸法顕微鏡、及び/又はリソグラフィ装置からなる群から選ばれる、態様1乃至6のいずれかに記載の方法。

〔態様8〕

前記検出器が、固体光電子増倍管、オンチップの画素化されたアバランシェフォトダイオードアレイ、多画素光子計測器からなる群から選ばれる、態様1乃至7のいずれかに記載の方法。

〔態様9〕

態様1乃至7のいずれかに記載の方法を実行するように構築及び配備された荷電粒子顕微鏡。

30

**【符号の説明】**

**【0076】**

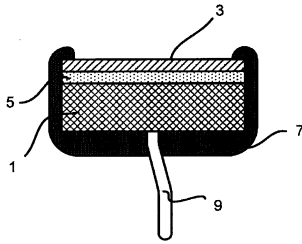
- 1 多画素光子計測器チップ
- 3 シンチレータ
- 5 介装層
- 7 絶縁ジャケット
- 9 信号ケーブル
- 100 粒子光学軸
- 101 電子銃
- 102 偏向器
- 103 アパーチャ
- 104 磁気レンズ
- 105 対物レンズ
- 106 レンズ
- 107 蛍光スクリーン
- 108 窓
- 109 蝶番
- 111 試料
- 112 試料ホルダ

40

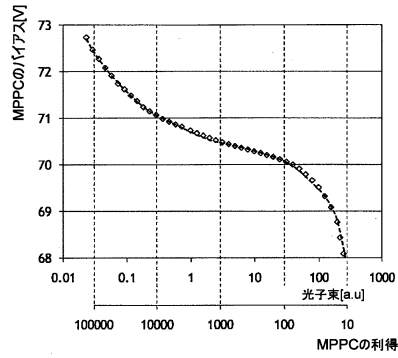
50

|        |                 |    |
|--------|-----------------|----|
| 120    | 真空筐体            |    |
| 121    | 管               |    |
| 122    | 真空ポンプ           |    |
| 130    | 補助検出器           |    |
| 151    | 1次検出器           |    |
| 400    | SEM             |    |
| 402    | SEM鏡筒           |    |
| 404    | 結像ビーム           |    |
| 406    | 真空チャンバ          |    |
| 408    | 試料台             | 10 |
| 410    | 試料              |    |
| 412    | 電子源             |    |
| 414    | 電磁レンズ           |    |
| 416    | 電磁レンズ           |    |
| 418    | 偏向ユニット          |    |
| 420    | 検出器             |    |
| 422    | 電源              |    |
| 424    | 制御装置            |    |
| 426    | ディスプレイ          |    |
| 430    | センサ             | 20 |
| 432    | 中心アパーチャ         |    |
| 500    | 集束イオンビーム(FIB)装置 |    |
| 502    | 真空チャンバ          |    |
| 504    | 加工片(試料)         |    |
| 506    | 加工片(試料)ホルダ      |    |
| 508    | FIB             |    |
| 510    | FIB鏡筒           |    |
| 512    | イオン源            |    |
| 514    | 光軸              |    |
| 516a,b | 電磁レンズ           | 30 |
| 518    | 偏向器             |    |
| 520    | 気体注入システム(GIS)   |    |
| 522    | キャピラリ           |    |
| 524    | 貯蔵室             |    |
| 526    | バルブ             |    |
| 530    | 検出器             |    |
| 532    | 制御装置            |    |
| 534    | モニタ             |    |

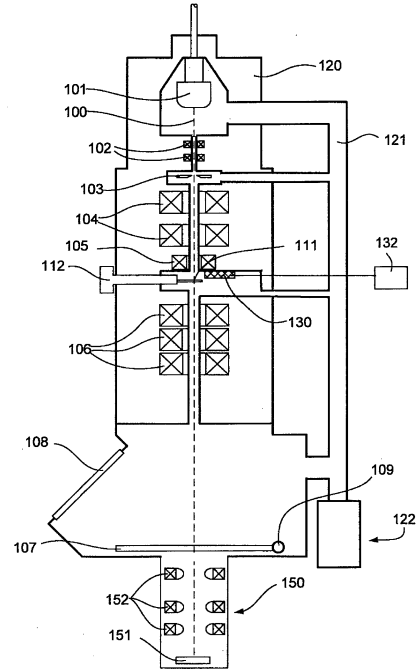
【図 1】



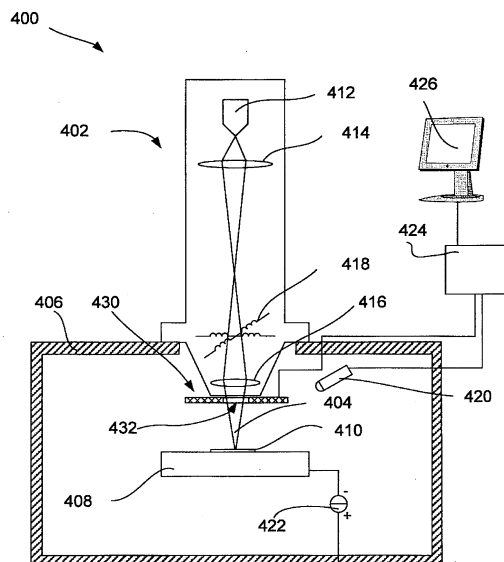
【図 2】



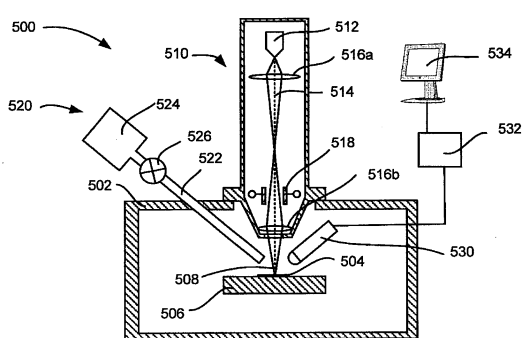
【図 3】



【図 4】



【図 5】



---

フロントページの続き

- (72)発明者 ペトル ハラヴェンカ  
チェコ共和国, 61200 ブルノ, プキノヴァ 92  
(72)発明者 マレク ウンコフスキー  
チェコ共和国, 61300 ブルノ, デモルヴァ 19

審査官 佐藤 仁美

- (56)参考文献 特開平03-295141 (JP, A)  
特開2009-099468 (JP, A)  
特開2005-298603 (JP, A)  
特開平09-283072 (JP, A)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)  
H01J 37/00-37/02、37/05、37/09-37/18、  
37/21、37/24-37/244、  
37/252-37/295、40/00-49/48