

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6162187号
(P6162187)

(45) 発行日 平成29年7月12日(2017.7.12)

(24) 登録日 平成29年6月23日(2017.6.23)

(51) Int.Cl.

G O 1 N 23/02 (2006.01)

F 1

G O 1 N 23/02

請求項の数 16 (全 17 頁)

(21) 出願番号 特願2015-173596 (P2015-173596)
 (22) 出願日 平成27年9月3日 (2015.9.3)
 (65) 公開番号 特開2016-57294 (P2016-57294A)
 (43) 公開日 平成28年4月21日 (2016.4.21)
 審査請求日 平成29年1月17日 (2017.1.17)
 (31) 優先権主張番号 14183576.9
 (32) 優先日 平成26年9月4日 (2014.9.4)
 (33) 優先権主張国 欧州特許庁 (EP)

早期審査対象出願

(73) 特許権者 501233536
 エフ イー アイ カンパニ
 F E I C O M P A N Y
 アメリカ合衆国 オレゴン 97124-
 5793 ヒルズボロ ドーソン・クリー
 ク・ドライヴ 5350 エヌイー
 7451 NW Evergreen P
 arkway, Hillsboro,
 OR 97124-5830 USA
 (74) 代理人 100107766
 弁理士 伊東 忠重
 (74) 代理人 100070150
 弁理士 伊東 忠彦
 (74) 代理人 100091214
 弁理士 大貫 進介

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】透過型荷電粒子顕微鏡内で分光を実行する方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

試料を保持する試料ホルダと、
 荷電粒子ビームを生成する荷電粒子ビーム源と、
 前記試料へ照射するように前記荷電粒子ビームを案内する照射体と、
 前記試料を透過する荷電粒子束を、前記荷電粒子束をエネルギー分解されたスペクトル
 サブビームの群へ分散する分散素子を有する分光装置へ案内する結像系と、
 を有する透過型荷電粒子顕微鏡内で分光を実行する方法であって、
 - 前記群の第2部分を阻止する一方、前記群の第1部分を検出器へ向かわせることを許
 容するために調節可能なアーチャ素子を用いる段階と、
 - 前記荷電粒子束内であって前記アーチャ素子の上流に放射線センサを供する段階と
 、
 - 前記検出器によって前記第1部分を検出するのと同時に、前記群の第2部分の選ばれ
 た領域内の局在化された放射線センシングを実行する、前記放射線センサを用いる段階
 と、
 - 前記検出器からの検出結果を調節するために前記放射線センサからのセンシング結果
 を用いる段階と、
 を有し、

前記検出結果の調節が、前記センシング結果を用いた前記検出結果と、数学的デコンボリューション処理への入

10

20

力としての前記検出結果とのデコンボリューションを行う段階、
前記検出結果における装置関連伝達関数の寄与を補正する段階、
前記検出結果の絶対エネルギー スケールを決定する段階、及び
前記検出結果の絶対強度スケールを決定する段階、
のうちの少なくとも 1 つを有する、
ことを特徴とする方法。

【請求項 2】

前記分光装置が電子エネルギー損失分光 (EELS) 装置で、
前記第 1 部分は EELS コアロスピーカーを有し、
前記の選ばれた領域は、EELS ゼロロスピーカーと EELS プラズモン共鳴ピークを有する群から選ばれる特徴を有する、
請求項 1 に記載の方法。

【請求項 3】

前記放射線センサが、少なくとも前記分散素子の分散方向に対して平行な方向で可動である、請求項 1 又は 2 に記載の方法。

【請求項 4】

前記調節可能なアパー チャ素子が、第 1 端部を有する第 1 プレート及び第 2 端部を有する第 2 プレートを含み、前記第 1 端部と第 2 端部は介在ギャップ (アパー チャ) を超えて互いに対向し、少なくとも前記第 1 プレートは、前記ギャップを調節するように前記第 1 プレートを前記第 2 プレートに対して動かすのに用いられ得るアクチュエータに接続される、請求項 1 乃至 3 のうちいずれか一項に記載の方法。

【請求項 5】

前記放射線センサが、前記検出器から離れ、かつ、前記第 1 端部に隣接する前記第 1 プレートの面に取り付けられる、請求項 4 に記載の方法。

【請求項 6】

前記放射線センサが、前記分散素子の分散方向に対して実質的に垂直な横方向に延びるように配置される、請求項 1 乃至 5 のうちいずれか一項に記載の方法。

【請求項 7】

前記センシング結果が、前記荷電粒子ビーム源、照射体、結像系、及び分散素子のうちの少なくとも 1 つに接続される電源の出力を調節するためのフィードバックループとして用いられる、請求項 1 乃至 6 のうちいずれか一項に記載の方法。

【請求項 8】

前記検出結果の積分強度が、前記センシング結果の積分強度と比較されることで、前記試料の厚さの値が導かれる、請求項 1 乃至 7 のうちいずれか一項に記載の方法。

【請求項 9】

試料を保持する試料ホルダと、
荷電粒子ビームを生成する荷電粒子ビーム源と、
前記試料へ照射するように前記荷電粒子ビームを案内する照射体と、
前記試料を透過する荷電粒子束を、前記荷電粒子束をエネルギー分解されたスペクトルサブビームの群へ分散する分散素子と検出器とを有する分光装置へ案内する結像系と、
制御命令を実行する制御装置と、を有する透過型荷電粒子顕微鏡であって、
前記分光装置が、
前記群の第 1 部分を検出器へ向かわせることを許容する一方、前記群の第 2 部分を阻止する調節可能なアパー チャ素子と、
前記アパー チャ素子の上流に供される放射線センサと、を有し、
前記制御装置が、
前記検出器によって前記第 1 部分を検出するのと同時に、前記群の第 2 部分の選ばれた領域内での局在化された放射線センシングを実行するために前記放射線センサを用いる段階と、
前記検出器からの検出結果を調節するために前記放射線センサからのセンシング結果を

用いる段階であって、

前記センシング結果を用いた前記検出結果と、数学的デコンボリューション処理への入力としての前記検出結果とのデコンボリューションを実行する段階、

前記検出結果における装置関連伝達関数の寄与を補正する段階、

前記検出結果の絶対エネルギー スケールを決定する段階、及び

前記検出結果の絶対強度スケールを決定する段階、

のうちの少なくとも 1 つを含む段階と、

を実行するように構成されている、

ことを特徴とする透過型荷電粒子顕微鏡。

【請求項 10】

10

前記分光装置が電子エネルギー損失分光 (EELS) 装置をさらに有し、

前記第 1 部分は EELS コアロスピーカーを有し、

前記の選ばれた領域は、EELS ゼロロスピーカーと EELS プラズモン共鳴ピークを有する群から選ばれる特徴を有する、

請求項 9 に記載の透過型荷電粒子顕微鏡。

【請求項 11】

前記放射線センサが、少なくとも前記分散素子の分散方向に対して平行な方向で可動である、請求項 9 に記載の透過型荷電粒子顕微鏡。

【請求項 12】

20

前記調節可能なアパーチャ素子が、第 1 端部を有する第 1 プレート及び第 2 端部を有する第 2 プレートを含み、前記第 1 端部と第 2 端部は介在ギャップ (アパーチャ) を超えて互いに対向し、少なくとも前記第 1 プレートは、前記ギャップを調節するように前記第 1 プレートを前記第 2 プレートに対して動かすのに用いられ得るアクチュエータに接続される、請求項 9 に記載の透過型荷電粒子顕微鏡。

【請求項 13】

前記放射線センサが、前記検出器から離れ、かつ、前記第 1 端部に隣接する前記第 1 プレートの面に取り付けられる、請求項 12 に記載の透過型荷電粒子顕微鏡。

【請求項 14】

前記放射線センサが、前記分散素子の分散方向に対して実質的に垂直な横方向に延びるように配置される、請求項 9 に記載の透過型荷電粒子顕微鏡。

30

【請求項 15】

前記検出器からの検出結果を調節するために前記放射線センサからのセンシング結果を用いるようにプログラムされた前記制御装置が、

前記荷電粒子ビーム源、照射体、結像系、及び分散素子のうちの少なくとも 1 つに接続される電源の出力を調節するためのフィードバックループとして用いるようにプログラムされた制御装置を含む、

請求項 9 に記載の透過型荷電粒子顕微鏡。

【請求項 16】

前記制御装置が、さらに、

前記試料の厚さの値を導くように、前記検出結果の積分強度を前記センシング結果の積分強度と比較するようにプログラムされている、請求項 9 に記載の透過型荷電粒子顕微鏡

40

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、透過型荷電粒子顕微鏡内で分光を実行する方法に関する。当該透過型荷電粒子顕微鏡は：

- 試料を保持する試料ホルダ；
- 荷電粒子ビームを生成する荷電粒子ビーム源；
- 前記試料へ照射するように前記ビームを案内する照射体；

50

- 前記試料を透過する荷電粒子束を、前記束をエネルギー分解されたスペクトルサブピームの群へ分散する分散素子を有する分光装置へ案内する結像系、を有する。

【0002】

本発明はまた、当該方法が実行可能な透過型荷電粒子顕微鏡にも関する。

【背景技術】

【0003】

荷電粒子顕微鏡 - 具体的には電子顕微鏡 - は、微小な対象物を撮像する周知で重要性を増している方法である。歴史的には、電子顕微鏡の基本的性質は、多数の周知の装置 - たとえば透過電子顕微鏡 (TEM) 、走査電子顕微鏡 (SEM) 、及び走査透過電子顕微鏡 (STEM) - 及び様々な派生型装置 - たとえば支援活動 (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 (IBID)) を可能にするように「加工用」集束イオンビーム (FIB) をさらに用いることのできる所謂「デュアルビーム」装置 (たとえばFIB-SEM) - へ発展してきた。

より詳細には以下の通りである。

- SEMでは、試料への走査電子ビームの照射が、2次電子、後方散乱電子、X線、及びフォトルミネッセンス (赤外、可視、及び/又は紫外の光子) として、試料からの「補助」放射線の放出を引き起こす。続いてこの放出放射線束の1つ以上の成分が、画像蓄積目的及び/又は (たとえばEDX (エネルギー分散X線分光) の場合には) 分光解析で検出及び利用される。

- TEMでは、試料への照射に用いられる電子ビームは、試料 (この目的のため、一般的にはSEM用試料の場合よりも薄くなる) へ侵入するのに十分高いエネルギーとなるよう選ばれる。よって試料から放出される透過電子束は、画像の生成又は (たとえばEELS (電子エネルギー損失分光) の場合には) スペクトルの生成に用いられて良い。係るTEMが走査モード (よってSTEMとなる) で動作する場合、問題となる画像 / スペクトルは、照射電子ビームの走査運動中に蓄積される。

【0004】

ここで述べた話題の一部に関するさらなる情報はたとえば、以下のWikipediaのリンクから収集することができる。

http://en.wikipedia.org/wiki/Electron_microscope

http://en.wikipedia.org/wiki/Scanning_electron_microscope

http://en.wikipedia.org/wiki/Transmission_electron_microscopy

http://en.wikipedia.org/wiki/Scanning_transmission_electron_microscopy

照射ビームとして電子ビームを用いる代わりとして、荷電粒子顕微鏡観察もまた、他の種類の荷電粒子を用いて実行されて良い。この点では、「荷電粒子」という語句は、たとえば電子、正イオン (たとえばGaイオン又はHeイオン) 、負イオン、陽子、及び陽電子を含むものとして広義に解釈されなければならない。イオン系顕微鏡に関しては、さらなる情報は、たとえば以下のリンクと非特許文献1から収集することができる。

http://en.wikipedia.org/wiki/Scanning_Helium_Ion_Microscope

撮像及び/又は分光に加えて、荷電粒子顕微鏡 (CPM) はまた、他の機能 - たとえばディフラクトグラムの検査、(局在化した)表面改質 (たとえばミリング、エッティング、堆積) 等の実行 - をも有して良いことに留意して欲しい。

【0005】

すべての場合において、透過型荷電粒子顕微鏡 (TCPM) は少なくとも以下の構成要素を有する。

- 放射線源 (たとえばショットキー電子源若しくはイオン銃)
- 照射体。線源からの「生の」放射線ビームを操作し、かつ、その放射線に対してある作用 - 集束、収差の緩和、(アパーチャによる)トリミング、フィルタリング等 - を実行するように機能する。照射体は一般的に、1つ以上の荷電粒子レンズを有し、かつ、他の種類の粒子光学部品をも有して良い。望ましい場合には、照射体には、調査中の試料にわたる走査運動を出力ビームに実行させることのできる偏向器システムが供されて良い。

10

20

30

40

50

- 上に調査中の試料が保持及び位置設定（たとえば傾斜、回転）され得る試料ホルダ。望ましい場合には、このホルダは、試料に対するビームの走査運動を実現するように動かされて良い。一般的には、係る試料ホルダは、たとえば機械ステージのような位置設定システムに接続される。

- 結像系。基本的には、試料（面）を透過する荷電粒子を捕らえ、かつ、その荷電粒子を使用される解析装置 - たとえば偏向 / 撮像装置、分光装置等 - へ案内（集束）する。上述の照射体と共に、結像系もまた、他の機能 - たとえば収差の緩和、トリミング、フィルタリング等 - を実行して良い。そして結像系は一般的に、1つ以上の荷電粒子レンズ及び / 又は他の種類の粒子光学部品を有する。

【0006】

10

本願でいう分光装置が存在するとき、その分光装置は以下を有する。

- （結像系からの）荷電粒子の入射束を、エネルギー分解されたスペクトルサブビームの群に分散する分散素子。エネルギー分解されたスペクトルサブビームの群は、前記最終的にはスペクトルを生成するように検出表面へ案内され得る。基本的には、前記入射束は様々なエネルギーの電子を含み、かつ、分散素子は、（分散方向に沿って）「これらを広げて」、所与のエネルギーの個々のサブビームからなる群にする（質量分析計を思い出させるような方法で）。

【0007】

T C P M はまた以下をも利用する。

- 検出器。前記検出器は、単体であって良いし又は事実上複合体/分配されても良く、かつ、検出される放射線 / 実体に依存して多くの異なる形態をとって良い。上述したように、係る検出器はたとえば、強度値の記録、像の取り込み、又はスペクトルの記録に用いられて良い。例には、光電子増倍管（固体光電子増倍管SSPMを含む）、フォトダイオード、（画素化された）C M O S 検出器、（画素化された）C C D 検出器、光電池等が含まれる。これらはたとえば、シンチレータ膜と併用されて良い。

20

【0008】

以降では、本発明は、例示によって、電子顕微鏡の具体的文脈で説明される。しかし係る単純化は、単に簡明を期す / 例示目的であり、限定と解されてはならない。

【0009】

上述したT C P M の例は、E E L S モジュールが供された（S）T E M である。電子エネルギー損失分光（E E L S）は、所与の試料に関する化学情報を得るために（S）T E M で用いられる方法である。（（S）T E M の照射体からの）照射ビーム中の移動する電子は、試料中の原子のコアシェル内の束縛電子へエネルギーを移行し、かつ、このコア電子を外殻へ進めることができる（非弾性散乱）。このような移動する電子からのエネルギーの移行によって、E E L S スペクトル中に所謂「コアロスピーカー」が生じる。C L P の（粗い位置）（エネルギーの単位）は元素に固有で、かつ、その厳密な位置と形状は、元素の化学環境と結合に固有である。典型的には、E E L S モジュールはまた、エネルギー選択結像装置（E F T E M：エネルギーでフィルタリングするT E M）として用いられても良い。これを実現するため、E E L S モジュールは、（基本）スペクトル面（の付近）にスリット（「郵便受け」）を用いる。モジュールが純粋な分光計として用いられるとき、このスリットは引っ込められ、かつ、スペクトル面は、スリット後方の光学系を用いることによって用いられた検出器（カメラ）上で拡大及び結像されて良い。他方、モジュールがエネルギー選択結像装置として用いられるとき、スリットは、特定のエネルギー窓（典型的には10 - 50 e V 幅のオーダー）しか通過させないように作用して良い。その場合、スリット後方の光学系は、検出器上に前記スペクトル面のフーリエ変換面を結像する。

30

E E L S 及びE F T E M に関するさらなる情報については、以下のW i k i p e d i a リンクと非特許文献2を参照のこと。

http://en.wikipedia.org/wiki/Electron_energy_loss_spectroscopy

http://en.wikipedia.org/wiki/Energy_filtered_transmission_electron_microscopy

40

50

照射体、結像系、荷電粒子ビーム源、及び / 又は EELS モジュールへ供給される（高圧）電力には不安定性 / 摆らぎが生じ得るため、CLP の位置の厳密な測定では、CLP と照射電子ビームの非散乱成分（所謂「ゼロロスピーク」（ZLP））の（略）同時記録が必要となる。これは従来、「ZLP の追跡」と呼ばれている。これは、CLP のノイズレベルの指標と絶対エネルギー・スケールの参照値としての役割を果たす。ZLP と CLP を同時に記録することは一般的に簡単なことではない。その理由はとりわけ、ZLP と CLP との間には概して大きな強度差（容易に 1000 のオーダーになり得る）が存在し、かつ、ZLP と CLP との間には概して大きな（エネルギーの）間隔（0.2 eV の分解能が必要とされる / 望ましいところ、容易に 500 eV のオーダーになり得る）が存在するためである。現在のところ、ほぼ同時の記録は、所謂「デュアル EELS 法」 - たとえば特許文献 1 に記載されている - を用いて実現され得る。デュアル EELS では、使用される検出器（たとえば画素化された CCD カメラ）上での 1 回の取得で 2 回露光が行われる。前記 2 回露光では、一の相対的に短い露光（~1 μs であるため、超高速ビームブランカ / 露光シャッターが必要となる）は ZLP を記録するためで、かつ、長い露光（~10 ms）は CLP（より一般的には複数の CLP の組 / スペクトル）を記録するためである。これら 2 回の露光の間、超高速偏向器が、スペクトルの各異なる部分を検出器上での各異なる位置へ切り換えるのに用いられる。現在のデュアル EELS 装置はたとえば、毎秒で最大 1000 のデュアルスペクトルを記録できる。

【0010】

上述の ZLP と CLP に加えて、EELS スペクトルは概して、所謂「プラズモン共鳴ピーク（PRP）」 - つまり試料中のプラズモンとの 1 回又は複数回の散乱に係る相対的に広い一連のピーク / ショルダー - をも含む。これらの PRP は、ZLP と CLP との間で生じ、かつ、典型的には 0 ~ 50 eV のエネルギー範囲に属する。照射ビーム中での所与の入射電子は（最終的に）多数の散乱事象を起こし得るので、CLP スペクトル（内殻の事象）は一般的には、PRP スペクトル（外殻の事象）が重ね合わせられて一緒になってしまう（コンボリューションの発生）。従って CLP スペクトルを適切に解釈及び定量化するためには、PRP 成分が測定され、かつ、CLP 成分からデコンボリューションされなければならない。前の段落で述べたとの同様の理由（つまり大きな強度差とエネルギー間隔）で、PRP スペクトル成分は概して、ZLP 成分及び CLP 成分と共に 1 回の露光で記録することができない。従って、たとえば 2 回露光ではなく 3 回露光が行われる（1 回の露光が ZLP、PRP、及び CLP のスペクトル部分のために行われる）上述のデュアル EELS 法の改良版のような異なる方法が採用されなければならない。

【0011】

上述したように、（標準的又は改良された）デュアル EELS 法は、超高速偏向器及びビームブランカの利用を必要とする。超高速偏向器及びビームブランカは、相対的に高価で、（利用可能な空間が典型的には非常に限られている装置内において）かさばり、かつ、故障しやすい。しかも、係る方法は、様々なスペクトル成分を真に同時記録するのではなく略同時記録しかできず、原則として、成分露光の間で揺らぎが生じる恐れがある。そのため、結果には本質的な不確実性 / 誤差のマージンが生じてしまう。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0012】

【特許文献 1】米国特許第 7 642513 号明細書

【非特許文献】

【0013】

【非特許文献 1】W.H. Escovitz, T.R. Fox and R. Levi-Setti, Scanning Transmission Ion Microscope with a Field Ion Source, Proc. Nat. Acad. Sci. USA 72(5), pp 1826-1828 (1975)

【非特許文献 2】Ray Egerton, Electron Energy-Loss Spectroscopy in the Electron Microscope, third edition, 2011, ISBN 978-1-4419-9583-4, Springer Science & Business

10

20

30

40

50

s Media (pub.).

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0014】

本発明の目的は、これらの問題を解決することである。具体的には、本発明の目的は、超高速部材 - たとえば偏向器及びビームプランカ - の利用を必要としない方法を供することである。しかも本発明の目的は、当該方法が、様々なスペクトル成分を連続的に測定するのではなく真に同時測定することを可能にすることによって、従来技術よりも正確なスペクトル解析を容易にすることである。

【課題を解決するための手段】

10

【0015】

上記及び他の目的は、「技術分野」で述べた方法によって実現される。当該方法は以下の段階を有することを特徴とする。

- 調節可能なアーチャ素子を用いて、前記群の第1部分を検出器へ向かわせることを許容する一方、前記群の第2部分を阻止する段階
 - 前記束内であって前記アーチャ素子の上流に放射線センサを供する段階
 - 前記検出器によって前記第1部分を検出するのと同時に、前記センサを用いて前記群の第2部分の選ばれた領域内での局在化された放射線センシングを実行する段階
 - 前記センサからのセンシング結果を用いて前記検出器からの検出結果を調節する段階
- 本願で用いられている「上流」という用語は、前記放射線センサが前記分散素子と前記調節可能なアーチャ素子との間に設けられていることを示唆すると解されなければならない。そのような前記放射線センサの配置には、前記センサが前記アーチャ素子に直接抗した状態で設けられる（隣接する）のも可能な配置として含まれる。

20

【0016】

本発明の方法は従来技術とは本質的に異なる。具体的な違いとは、前記検出器と共に本発明の放射線センサを用い、かつ、これら2つの記録装置を前記調節可能なアーチャ素子（「スペクトル選択器」又は「スペクトルフィルタ」として機能する）の各異なる面に設けることによって、これら2つの記録装置は、2つの異なる強度／エネルギー閾値に同時に設定され得る。それにより前記スペクトルの2つの大きく異なる成分を同時に記録することが可能となる点である。

30

たとえば上述のEELSスペクトルの場合であれば、以下のようになる。

- 前記調節可能なアーチャ素子は、相対的にエネルギー損失の大きなCLP成分（第1スペクトル部分）を前記検出器へ向かうことを許容する一方で、（前記ZLP／PRP成分を含む）エネルギー損失の小さな成分のスペクトルサブビームを阻止する。

- （主要な）前記検出器が相対的に弱くてエネルギー損失の大きなCLP成分にしか露光されないので、前記検出器の感度／露光時間は、これを記録するために最適化され得る。

他方、（補助的な）前記センサは、前記アーチャ素子の前に設けられ、かつ、（たとえばサイズが制限されているため）局在化されたセンシングを実行することが可能であるため、前記センサは、前記第2スペクトル部分の（うちの1つ以上の選ばれた領域）を独立（かつ同時に）探索するのに用いることができる。感度／露光時間は、この部分内の相対的に明るくてエネルギー損失の小さなZLP／PRP部分に調節されている。

40

【0017】

上述の方法は、真に同時であり、かつ、前記デュアルEELS法の超高速切り換え素子（偏向器／プランカ）を必要としないことは明らかである。しかも前記放射線センサは、相対的に単純で、頑丈で、かつ、安価な素子である。そのため本発明の装置は、デュアルEELSモジュールよりも一般的に安価で、より小型で、かつ、耐久性を有することが可能となる。

【0018】

本発明の具体的実施例では、前記放射線センサは、少なくとも前記分散素子の分散方向

50

と平行な方向において可動である。前の2段落で述べたように、本発明のセンサは、相対的に限定された「選ばれた領域」内での局在化されたセンシングを実行することができる。この効果を利用するため、関心対象である前記選ばれた領域を選ぶ／調節することを可能にすることが有利であり、かつ、これを実現するための有効な方法は、たとえばアクチュエータ（たとえば、ピエゾモータ、ステッパモータ、ボイスコイルモータ、ニューマティック／静水圧ドライブ等）によって駆動／位置設定されるアームに前記センサを取り付けることによって、前記センサを可動となるように実施することである。

- 前記分散素子を飛び出す前記荷電粒子束がZ方向に沿って伝播する

- 前記分散素子がこの束をX方向に広げる／分散させる

10

ように座標系（XYZ）が定義される場合、本実施例では、前記センサは、少なくとも前記X方向において可動でなければならないが、当然のこととして、他の方向においても可動であって良い。センサの面積が相対的に小さな（たとえば数mm²のオーダー）ことで、前記センサの移動度は、たとえばEELSスペクトルにおける前記ZLP又はPRPスペクトル成分（の特定の領域）からの信号のみを記録することが可能となる。

【0019】

可動センサを用いる代わりに（又は可動センサを補うように）、たとえば、XY平面内に分配される複数の画素からなるマトリックスを有する、画素化された前記センサが実装されて良い。係るシナリオでは、単純に前記画素のマトリックスの関係する部分集合を始動／読み出すことによって、前記「選ばれた領域」が選択されて良い。前述したように画素化される可動センサを含むハイブリッドな実施例もまた可能である。前記センサの可能な移動度の性質／程度にかかわらず、前記センサは、様々な種類のセンサ - たとえばSSPM, フォトダイオード、（画素化された）CMOS検出器、（画素化された）CCD検出器、光電池等 - からなる群から選ばれて良い。これらはたとえば、シンチレータ膜と併用されて良い。

20

【0020】

原則的には、前記調節可能なアパーチャ素子は様々な形態をとり得る。しかし本発明の具体的実施例では、前記調節可能なアパーチャ素子は、第1端部を有する第1プレート及び第2端部を有する第2プレートを含む。前記第1端部と第2端部は介在ギャップ（アパーチャ）を超えて互いに対向し、少なくとも前記第1プレートは、前記ギャップを調節するように前記第1プレートを前記第2プレートに対して動かすのに用いられ得るアクチュエータに接続される。係る実施例では、前記第1プレートと前記第2プレートは協働するあご（くちばし）のように振る舞う。前記あご（くちばし）の端部は中間ギャップ（口）を画定し、前記ギャップの幅は、前記あごのうちの少なくとも一を他に対して動かすことによって調節される。特別な構成では、前記ギャップは細長く、かつ、前記分散方向に対して実質的に垂直に延びる（つまり、前記ギャップは上で定義した直交座標系のY方向に平行に延び、X方向に平行な調節可能な幅を有する）。対向するプレートの（ナイフ）エッジは、希望に応じて真っ直ぐであって良いし、あるいは、曲率を有しても良い。前記アクチュエータはたとえば、ピエゾモータ、ステッパモータ、ボイスコイルモータ、ニューマティック／静水圧ドライブ等であって良い。特に、ピエゾモータは良い選択である。なぜならピエゾモータは概して相対的に小さく、安価で、かつ、非常に正確だからである。

30

【0021】

必要であれば、たとえば前記分散素子（への電気信号）及び／又は前記分散素子とアパーチャ素子との間に供されるドリフト管／偏向器を適切に調節することによって、前記アパーチャ素子に衝突するようにスペクトルサブビームの群をシフトさせる／向けることが可能である。より詳細には、望ましい第1スペクトル部分の幅に対応するように前記アパーチャ（ギャップ）の幅を調節し、かつ、前記第1スペクトル部分が正確にこのアパーチャ（ギャップ）の範囲内に収まる一方で、前記スペクトルの他の部分が（前記ギャップに隣接する前記第1プレートと第2プレートによって）覆い隠されることを保証するように前記スペクトルのねらい／位置が調節されて良い。当業者は、前記調節可能なアパーチャ

40

50

素子が有利となるように、前記分光装置の分散面（に隣接する）位置に設けられることを理解する。同様に、本発明の放射線センサもまた有利となるように、係る面（に隣接して）設けられる。

【0022】

本発明の先述した実施例に関連する実施例では、前記放射線センサは、前記検出器から離れ、かつ、前記第1端部に隣接する前記第1プレートの面に取り付けられる。換言すると、前記センサは、前記入射束に対向し、かつ、前記第1端部（付近）に設けられる前記（の可動式）第1プレートの面上に「ピギーバック」のように乗っている。これは、既に論じたように前記センサの移動度を実現する便利な方法である。（前記調節可能なアパー10 チャ素子の）アパー・チャと放射線センサが実質的に同一面となることを保証する便利な方法でもある。しかも前記センサが取り付けられるプレートは、たとえば電気的接地、廃熱等の点で、前記センサの「質量体」として便利に機能し得る。

【0023】

本発明の他の実施例では、前記放射線センサは、前記分散方向に対して実質的に垂直な横方向に延びるように配置される。上で紹介した直交座標を用いれば、これは、前記センサが（少なくとも）前記Y方向に延びることを意味する。係る配置の利点は、前記横方向において最適な位置合わせがなされていない前記スペクトルサブビームの群／束を対処することが可能であることである。しかもこの横方向において本質的にある程度の放射線の広がりが存在する場合、この実施例は、前記放射線が前記センサによって捕獲されることを可能にすることで、良好な感度／信号対雑音比を与える。20

【0024】

本発明の重要な態様は、前記の使用された検出器（関心対象である前記スペクトルの第1部分を「見る」）からの検出結果が、前記の使用された放射線センサ（関心対象である前記スペクトルの第2部分の選ばれた領域を「見る」）からのセンシング結果を用いて調節されることである。前記検出結果の調節はたとえば、以下の行為のうちの少なくとも1つを有して良い。

(i) 前記センシング結果を用いた前記検出結果と、数学的デコンボリューション処理への入力としての前記検出結果のデコンボリューションを行う段階

(ii) 前記検出結果における装置関連伝達関数の寄与を補正する段階

(iii) 前記検出結果の絶対エネルギー・スケールを決定する段階

(iv) 前記検出結果の絶対強度スケールを決定する段階

これらの行為について以下により詳細に説明する。

(I) 既にEELSスペクトルのところで述べたように、前記EELSモジュールへ入射する所与の電子は一般的に、調査中の前記試料内で（内殻の）CLP「イベント」と（外殻の）PRP「イベント」との混合を引き起こすため、前記CLP及びPRPスペクトル成分は重ね合わせられて一緒になる。前記CLP及びPRP成分が分離して測定される場合、前記CLP及びPRP成分は、たとえばベイズ法、フーリエログ法、又はフーリエ比法に基づく数学的処理を用いてデコンボリューションされて（「もつれがほぐされて」）良い。これらの数学的処理については以降の実施例2を参照のこと。

(II) 前記検出結果及びセンシング結果は、様々な装置関連効果 - たとえば暗信号、応答時間効果、ヒステリシス、アーティファクト、ノイズ等 - の結果歪む／変形する。係る効果もまた、前記センシング結果の助けを借りて - たとえば上の(I)で説明した方法で - 前記検出結果からデコンボリューションによって取り出されて良い。40

(III) 上述したEELSの例に戻ると、前記ZLPは、スペクトルのPRP/CLP部分の絶対エネルギーの参照値として機能し得る。なぜなら前記入射束中のエネルギーは（前記の使用された（結果としての）加速電位に基づいて）既知であり、かつ、前記スペクトルのZLP部分はこのエネルギーを「保存」するからである。前記CLP/PRP成分中のピーク位置と前記ZLPピーク位置とを比較することによって、（相対ではない）絶対エネルギー・スケールをこれらに関連づけることができる。

(IV) CLP/PRPピークの位置（横座標）が前記ZLPピークの位置との比較に

10

20

30

40

50

よって校正可能な方法に関連する方法では、本発明を用いてピーク高さ（強度）を校正／規格化することも可能である。ここで前記ZLPピーク高さは、前記CLP／PRPスペクトル部分でのピーク高さの校正用参照値として用いられる。その際、前記入射荷電粒子束の強度変化、前記試料の厚さのばらつき等の効果を考慮することが可能となる。

【0025】

係る作用に加えて、前記放射線センサからのデータはまた、他の目的に用いられても良い。たとえば、前記PRP成分の積分強度に対する前記（ZLP+PRP）成分の積分強度の比較によって、調査中の前記試料の厚さを導くことが可能となる。係る問題に関するさらなる情報はたとえば非特許文献2（たとえばChapter4）から収集できる。

【0026】

特別な実施例では、前記放射線センサからのデータは、前記荷電粒子ビーム源、照射体、結像系、及び分散素子のうちの少なくとも1つに接続される電源の出力を調節するためのフィードバックループとして用いられて良い。係るモジュールへ供給される（高圧）電力の不安定性／ゆらぎは、前記ZLP（のエネルギー）位置のゆらぎを明らかにし得る。よって（本発明の放射線センサによる）この位置の追跡によって、前記の供給された電力のフィードバック安定化が可能となり得る。

【0027】

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

【図面の簡単な説明】

【0028】

【図1】本発明が実施される荷電粒子顕微鏡の長手方向断面図を示している。

【図2】図1の対象物 - 具体的には本発明の実施例が実施される分光装置 - の拡大された長手方向断面図を示している。

【図3】EELSスペクトルの例を示している。

【発明を実施するための形態】

【0029】

図中、適切な場合には、対応する部材は対応する参照符号を用いて示される。一般的には、図は正しい縮尺で描かれていないことに留意して欲しい。

【0030】

図1は、本発明との併用に役立つTCPMの実施例の概略図である。図示された顕微鏡はTEM/STEM（つまり走査機能を備えるTEM）であるが、本発明の文脈では、たとえば有効なものとしてイオン系顕微鏡であっても良い。図中、真空筐体2内部では、電子源4（たとえばショットキー銃）が、電子光学照射体6を通り抜ける電子ビームを生成する。電子光学照射体6は、（たとえば（局所的に）薄く／平坦化されて良い）試料Pの選ばれた領域に電子ビームを案内／集束する役割を果たす。この照射体6は、電子光学軸8を有し、かつ、一般的には様々な静電/磁気レンズ、（走査）偏向子、補正器（たとえばスティグメータ）等を有する。典型的には照射体6は収束系をも有して良い（6の全体が「収束系」と呼ばれることがある）。

【0031】

試料Pは、設置装置（台）12によって多重自由度で位置設定可能な試料ホルダ10上に保持されている。たとえば試料ホルダ10は、（とりわけ）XY平面で移動可能な指部を有して良い（図示された直交座標系を参照のこと。Z軸に平行な運動とX/Yに関する傾斜も可能である）。係る移動は、軸8に沿って（Z方向に）進行する電子ビームによる試料Pの様々な領域の照射／撮像／検査（及び／又はビーム走査の代わりに走査運動を実行すること）を可能にする。任意の冷却装置14は、試料ホルダ10と緊密に熱的接触をし、かつ、たとえば循環極低温冷媒を用いて所望の低温を実現及び維持することによって試料ホルダ10を極低温に維持することが可能である。

【0032】

軸8に沿って進行する集束電子ビームは、様々な種類の「誘導」放射線 - （たとえば）2次電子、後方散乱電子、X線、及び光放射線（カソードルミネッセンス）を含む - が試

10

20

30

40

50

料 P から放出されるように試料 P と相互作用する。望ましい場合には、これらの放射線の種類のうちの 1 種類以上が解析装置 22 によって検出されて良い。解析装置 22 はたとえば、結合されたシンチレータ / 光電子増倍管又は E D X (エネルギー分散型 X 線分光) モジュールであって良い。そのような場合、画像は、S E M と基本的には同一の原理を用いて構築されて良い。しかし、代わりに又はそれに加えて、試料 P を通り抜け (通過し)、試料から放出され、かつ、(実質的には多少偏向 / 散乱するが) 軸 8 に沿って伝播し続ける電子が調査されて良い。係る透過電子は結像系 (組み合わせられた対物 / 投影レンズ) 24 へ入射する。結像系 24 は一般的に、様々な静電 / 磁気レンズ、偏向子、補正器 (たとえばスティグメータ) 等を有する。通常の (非走査) T E M モードでは、この結像系 24 は、透過電子を蛍光スクリーン 26 へ集束させて良い。蛍光スクリーン 26 は、望ましい場合には、(矢印 28 によって概略的に示されているように) 軸 8 から外れるように引き出され / 引き込められてよい。試料 P (の一部) の画像 (又はディフラクトグラム) は結像系 24 によってスクリーン 26 上に生成される。これは、壁 2 の適切な部分に設けられたビューポート 30 を介して見ることができる。スクリーン 26 用の引き込み機構はたとえば、基本的には機械及び / 又は電気によるものであって良い (ここでは図示されていない)。

【 0 0 3 3 】

スクリーン 26 上で画像を閲覧する代わりとして、結像系 24 から放出される電子束の焦点深度は一般的に非常に大きい (たとえば 1 m のオーダー) ということが利用されて良い。従って、たとえば以下に述べるような様々な他の種類の解析装置が、スクリーン 26 の下流で用いられて良い。

- T E M カメラ C。カメラ C では、電子束は、制御装置 50 によって処理され、かつ、たとえばフラットパネルディスプレイのような表示装置 (図示されていない) 上に表示可能な静的画像 (ディフラクトグラム) を生成し得る。必要ないときには、カメラ C は、(矢印 28 によって概略的に示されているように) 軸 8 から外れるように引き出され / 引き込められてよい。

- S T E M 偏向素子 C'。素子 C' からの出力は、試料 P 上の走査ビームの位置 (X, Y) の関数として記録され、かつ、X, Y の関数としての C' からの出力の「マップ」である画像が構築されて良い。素子 C' は、カメラ C 内に特徴として存在する複数の画素からなるマトリックスとは対照的に、たとえば 20 mm の直径を有する単一画素を有して良い。しかも素子 C' は一般的に、カメラ C の取得速度 (たとえば 10² 点 / 秒) よりもはあるかに高い取得速度 (たとえば 10⁶ 点 / 秒) を有する。繰り返しになるが、必要ないときには、カメラ C は、(矢印 28 によって概略的に示されているように) 軸 8 から外れるように引き出され / 引き込められてよい。

- カメラ C 又は素子 C' を用いた撮像の代わりに、分光装置 A - この例では E E L S モジュール - 用いられて良い。分光装置 A のさらなる構造及び動作については、以降の図 2 を参照しながら説明する。

C、C'、及び A の順序 / 位置は厳密ではなく、多くの可能な変化型が考えられることに留意して欲しい。たとえば分光装置 A は、結像系 24 に組み込まれても良い。

【 0 0 3 4 】

制御装置 (コンピュータプロセッサ) 50 は、制御ライン (バス) 50' を介して様々な図示された部品に接続されることに留意して欲しい。この制御装置 50 は、様々な機能 - たとえば作用の同期、設定点の提供、信号処理、計算の実行、及び表示装置 (図示されていない) 上でのメッセージ / 情報の表示 - を供して良い。言うまでもないことだが、(概略的に図示された) 制御装置 50 は、(部分的に) 筐体 2 の内部又は外部に存在し、かつ、希望に応じて単一構造又は複合構造を有して良い。当業者は、筐体 2 の内部が厳密な真空状態に維持される必要がないことを理解する。たとえば所謂「環境制御型 T E M / S T E M」では、所与の気体のバックグラウンド環境圧力が、故意に筐体 2 の内部に導入 / 維持される。当業者はまた、原則的には、筐体 2 の容積を制限することが有利であることを理解する。それにより、可能な場合には、筐体 2 は基本的に軸 8 を中に抱えた状態をと

10

20

30

40

50

る。その結果筐体 2 は、使用された電子ビームが通過するような小さな管の形態となるが、荷電粒子ビーム源 4、試料ホルダ 10、スクリーン 26、カメラ C、検出装置 C'、分光装置 A 等のような構造物を収容する程度には広がっている。

【0035】

ここで図 2 に移ると、図 2 は、図 1 の分光装置 A の拡大された、より詳細な図を示している。図中、電子光学軸 8 に沿って伝播する電子束 1 が示されている。この束 1 は分散素子 3（「電子プリズム」）へ入射する。ここでこの束 1 は、（図 2 で破線を用いて概略的に示されているように）エネルギー分解された（エネルギーで識別された）スペクトルサブビームの群 5 に分散される（広げられる）。このサブビームの群 5 は調節可能なアーチャ素子 7 に衝突する。調節可能なアーチャ素子 7 は以下を有する。

- 第 1（ナイフ）エッジ 7 a' を有する第 1 プレート 7 a
- 第 2（ナイフ）エッジ 7 b' を有して、第 1 プレート 7 a と実質的に同一面内に配置される第 2 プレート 7 b
- プレート 7 b へ向かって又は遠ざかるようにプレート 7 a を動かすことで、2つのエッジ 7 a' と 7 b' との間の介在ギャップの幅（高さ）を調節するのに用いられ得るアクチュエータ 7 c

アーチャ素子 7 は、空間フィルタ / スペクトル選択器として用いられ、かつ、群 5 の第 1 部分 5 a が検出器 D（たとえば画素化された CMOS 又は CCD 検出器）へ向かうのを許容する一方で、群 5 の第 2 部分 5 b が検出器 D へ到達することを阻止するように調節される。検出器 D へ到達する前、前記の許容された第 1 部分 5 a は、たとえば第 1 部分 5 a を拡大 / 集束させるアーチャ後方の電子光学系 9 を介して進む。第 1 部分 5 a と第 2 部分 5 b の各々は一般的にゼロではないサブビームの帯域幅を有する。

【0036】

アーチャ素子 7 の上流 - たとえば入射サブビーム群 5 の方を向く / 検出器 D から離れたアーチャ素子 7 の面 - に設けられる放射線センサ S も図示されている。この特別な場合には、センサ S は、第 1 エッジ 7 a' に隣接する第 1 プレート 7 a に取り付けられるので、第 1 プレート 7 a と共に可動である。センサ S は、相対的に小さく - たとえば数 mm² のセンシング面積を有する - 、かつ、たとえばフォトダイオード、SSPM、又は（小さな）CMOS / CCD センサとして実装される。本発明によると、センサ S は、検出器 D による前記第 1 部分 5 a の検出と同時に、群 5 の前記第 2 部分 5 b の選ばれた領域 5 b 1 内での局在化された放射線センシングを実行するのに用いられる。この選ばれた領域は、その名前が示す通り、選択可能である。たとえば図 2 においてブレード 7 a をブレード 7 b へ向かってわずかに動かすことによって、選ばれた領域 5 b 2 を検査するのにセンサ S を用いることができる。とはいえてこれは、許容された第 1 部分 5 a のわずかな周辺領域を覆い隠してしまう恐れがある。

【0037】

さらに本発明によると、センサ S からのセンシング結果は、検出器 D からの検出結果を調節するのに用いられる。ここで以下のような具体例が与えられる。

- 第 1 部分 5 a は、検出器 D によって検出される CLP スペクトル成分を有する。
- 第 2 部分 5 b は、ZLP スペクトル成分 5 b 1 と PRP スペクトル成分 5 b 2 を有する。
- 図 2 に図示されているように、選ばれた領域 5 b 1 はセンサ S によってセンシングされる。しかし代わりに（又は同時に）、ブレード 7 a を適切に動かすことによって、選ばれる領域 5 b 2 がセンサ S によってセンシングされるように配置されても良い。
- 領域 5 b 1 (~ZLP) からのセンシング結果は、検出器 D からの検出結果 (~CLP) の絶対エネルギー・スケールを校正するのに用いられて良い。領域 5 b 2 (~PRP) からのセンシング結果と組み合わせられるとき、領域 5 b 1 (~ZLP) からのセンシング結果は、検出器 D からの検出結果のデコンボリューションを行うのに用いられて良い。

【0038】

図 2 の右下に示されている直交座標系は、図の左上での座標系と比較して 90° 反時計

10

20

30

40

50

回りに回転されていることに留意して欲しい。なぜなら従来 Z 軸は、分散素子 3 によって偏向される（局所的な）電子光学軸 8 の方向を示すからである。

【実施例 1】

【0039】

図 3 は、EELS スペクトルの例を示している。図は、炭素とチタンを含む試料を通過した電子のエネルギー損失（単位 eV）の関数としての強度 I（任意単位 a.u.）を示している。左から右へ、スペクトルの主な特徴は以下の通りである。

- 非弾性散乱を起こすことなく試料を通過する電子を表すゼロ損失ピーク。
 - プラズモン共鳴ピーク成分 / 部分 PRP（価電子損失成分と呼ばれることもある）。これは一般的には約 0 ~ 50 eV から延びる。とはいえた限には厳密な定義が存在しない。PRP は、試料中の外殻散乱事象の結果生じるピーク / ショルダー - たとえばピーク 31 - によって特徴付けられる。PRP 成分は通常、ZLP よりも顕著に小さな強度を有することに留意して欲しい。

- コアロスペーク成分 / 部分 CLP。これは典型的には、約 50 eV (PRP 成分後) に始まる。とはいえた限の厳密な定義は存在しない。CLP 成分は一般的に、図 3 に示されているように ZLP / PRP 成分よりも強度が小さいので、図 3 では、細部の視認性を向上させるために 100 に拡大されている。図からわかるように、CLP 成分は、実質的なバックグラウンドの寄与 33 の上に存在する、ある元素（本発明であればたとえば C 及び Ti）に係るピーク / ショルダー（の群）を含む。

【実施例 2】

【0040】

EELS の分解能は、多くの効果によって制限され得る。前記多くの効果とはたとえば、電子ビーム中でのポアソンノイズ（又は「ショットノイズ」）、検出器の読み取りノイズ、電子源のエネルギー広がり、EELS モジュール内の光学収差、EELS モジュール内の検出器の有限の空間分解能、使用された電源の電気的不安定性、機械的振動等である。その結果、「理想的」又は「実際の」EELS スペクトル $S_{real}(E)$ は、実験から得られたスペクトル $S_{exp}(E)$ として、EELS モジュールによって記録される。 $S_{exp}(E)$ は次式のように表される。

$$S_{exp}(E) = R(E) * S_{real}(E) + N(E)$$

ここで、R(E) は（累積的な）広がり効果を表し、N(E) は（累積的な）ノイズを表し、かつ、“*”は畳み込みを表す。R(E) * $S_{real}(E)$ は次式のように表される。

$$R(E) * S_{real}(E) = R(F) S_{real}(E - F) dF$$

試料が存在しなければ、理想的なスペクトルは ZLP ピークしか含まないので、理想的なスペクトルはデルタ関数 $S_{real}(E) = \delta(E)$ と書くことができる。その場合、記録されたスペクトルは次式のように単純化される。

$$S_{exp}(E) = R(E) + N(E)$$

試料が存在する場合、ビーム中の電子は、試料中でプラズモンと 1 回以上の散乱をし得る。P(E) が EELS スペクトルへの PRP の寄与を表すとする。その場合、理想的なスペクトルは次式のように表される。

$$S_{real}(E) = \delta(E) + P(E)$$

また EELS モジュールは、これを次式で表されるものとして記録する。

$$S_{exp}(E) = R(E) + R(E) * P(E) + N(E)$$

ビーム中の電子は試料中でコア電子とも散乱する結果、コアロスの寄与が生成される。C(E)は、EELSスペクトルへのCLPの寄与を表すとする。PRPの寄与が存在しない場合、理想的なスペクトルは次式のように表される。

$$S_{real}(E) = R(E) + C(E)$$

またEELSモジュールは、これを次式で表されるものとして記録する。

$$S_{exp}(E) = R(E) + R(E) * C(E) + N(E)$$

10

PRPの寄与とCLPの両方がスペクトルに寄与するとき、理想的なスペクトルは次式のようになる。

$$S_{real}(E) = ((E) + P(E)) * ((E) + C(E)) \\ (E) + P(E) + C(E) + P(E) * C(E)$$

またEELSモジュールはこれを次式で表されるものとして記録する。

$$S_{exp}(E) = R(E) + R(E) * P(E) + R(E) * C(E) + R(E) * P(E) * C(E) + N(E)$$

20

ここで、畳み込み $P(E) * C(E)$ は、コア電子の散乱前又は後にプラズモンと散乱するビーム中の電子の寄与を表す。

【0041】

寄与 $R(E) * P(E) * C(E)$ は、CLPスペクトルの定量的な解析を複雑にするので、実験により得られたスペクトルからこの寄与を取り出すことが望ましい。これはデコンボリューションを用いて行われて良い。EELSモジュールは(たとえば)、上述の検出器がスペクトルのCLP部分を記録するように構成されて良い。

30

$$S_{CLP}(E) = R(E) * C(E) + R(E) * P(E) * C(E) + N(E)$$

他方、上述の放射線センサはスペクトルのPRP部分を記録する。

$$S_{PRP}(E) = R(E) + R(E) * P(E) + N(E)$$

検出器とセンサで記録されたスペクトルはいずれも、次式に従ってエネルギーイン E から周波数ドメイン w へフーリエ変換される。

$$S(w) = S(E) \exp(-2\pi w d E)$$

40

周知であるように、フーリエ変換は、エネルギーインでのコンボリューションを、周波数ドメインにおいて単純な積に変換する。フーリエ変換の結果、次式が得られる。

$$S_{CLP}(w) = R(w) * C(w) + R(w) * P(w) * C(w) + N(w) \\ S_{PRP}(w) = R(w) + R(w) * P(w) + N(w)$$

よって「裸の」コアロススペクトルは、検出器信号 $S_{CLP}(w)$ を号センサ信号 $S_{PRP}(w)$ で除することによって得ることができる。

50

$$\begin{aligned}
 & S_{C L P}(w) / S_{P R P}(w) \\
 &= [R(w) * C(w) + R(w) * P(w) * C(w) + N(w)] / [R(w) + R(w) * P(w) + N(w)] \\
 &= C(w) + N(w) [1 - C(w)] / [R(w) + R(w) * P(w) + N(w)]
 \end{aligned}$$

最後の式の第1項は理想的な裸のコアロススペクトルを表す。第2項は、測定でのノイズに起因するこのコアロススペクトルの不確実性を表す。周波数 w が低い場合、ノイズ $N(w)$ は一般的に、ZLP 信号 $R(w)$ よりもはるかに小さい。つまり $N(w) \ll R(w)$ である。そのためこの第2項の寄与は無視できる。周波数 w が高い場合、ノイズ $N(w)$ は顕著になる。そのためある種の正則化がこの項に適用されなければならない。そのような正則化法は、当業者には既知である。既知の正則化法の一例は、系の（推定）エネルギー分解能に対応する周波数 w_0 を超えた周波数で（滑らかに）ゼロになるローパスフィルタ関数 $f(w)$ を $S_{C L P}(w) / S_{P R P}(w)$ に乗じることである。既知の正則化法の他の例は、「ベイズデコンボリューション」である。「ベイズデコンボリューション」では、既知の（又は推定された）サイズのノイズが与えられ、かつ、フィッティング関数が可能な限り滑らかであるという条件が与えられた場合にデータを最適にフィッティングさせるフィッティング関数が反復的に $S_{C L P}(w) / S_{P R P}(w)$ に接近する。

10

【符号の説明】

【0042】

| | | |
|-----|------------|----|
| 2 | 真空筐体 | 20 |
| 4 | 荷電粒子ビーム源 | |
| 6 | 電子光学照射体 | |
| P | 試料 | |
| 8 | 電子光学軸 | |
| 10 | 試料ホルダ | |
| 12 | 設置装置（台） | |
| 14 | 冷却装置 | |
| 22 | 解析装置 | |
| 24 | 結像系 | |
| 26 | 蛍光スクリーン | 30 |
| 28 | 矢印 | |
| D | 検出器 | |
| 50 | 制御装置 | |
| 50' | 制御ライン（バス） | |
| 7 | アパー チャ 素子 | |
| 7a | プレート | |
| 7a' | エッジ | |
| 7b | プレート | |
| 7b' | エッジ | |
| 9 | 電子光学系 | 40 |
| 7c | アクチュエータ | |
| S | 放射線センサ | |
| 5 | サブビーム群 | |
| 3 | 分散素子 | |
| 1 | 電子束 | |
| 5b1 | 電子束の選ばれた領域 | |
| 5b2 | 電子束の選ばれた領域 | |
| 31 | プラズモン共鳴ピーク | |
| 33 | バックグラウンド | |

50

【図1】

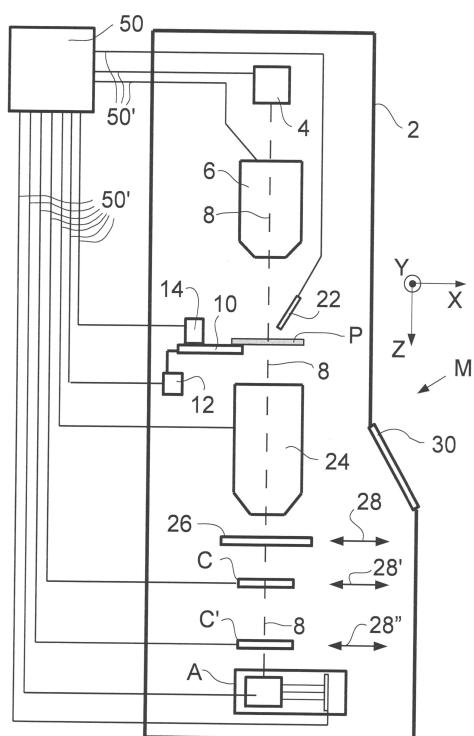


Fig. 1

【図2】

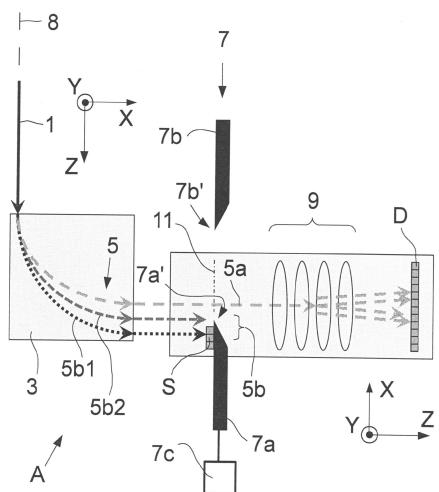


Fig. 2

【図3】

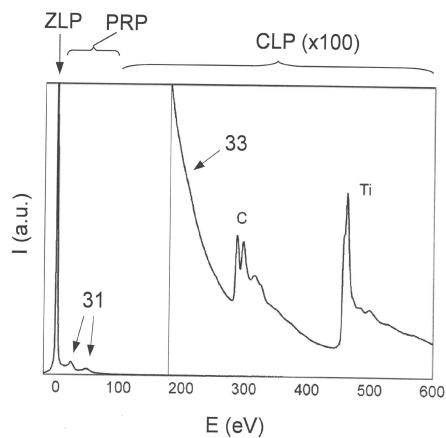


Fig. 3

フロントページの続き

(72)発明者 エーウィン フェルナンデ デ ヨング
オランダ国, 5685 エーハー ベスト, ザーファイント 29
(72)発明者 ソリン ラザー
オランダ国, 5629 エムカー エイントホーフェン, キップリングラーン 57
(72)発明者 ピーター クリスチャン ティエメイエール
オランダ国, 5615 エーエー エイントホーフェン, ブルーレーラーン 12
(72)発明者 ルドルフ ヘウリンク
オランダ国, 5211 テーエー セルトーヘンボス, ヤン ハインスストラート 40

審査官 越柴 洋哉

(56)参考文献 特開2000-348670(JP, A)
実開昭59-005869(JP, U)
特開2003-114204(JP, A)
特開2011-238615(JP, A)
特開2004-214057(JP, A)
特開平09-330681(JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01N 23/00 - 23/227
H01J 37/00 - 37/295