

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第4763191号
(P4763191)

(45) 発行日 平成23年8月31日 (2011. 8. 31)

(24) 登録日 平成23年6月17日 (2011. 6. 17)

(51) Int. Cl.	F I
HO 1 J 49/48 (2006. 01)	HO 1 J 49/48
GO 1 N 23/227 (2006. 01)	GO 1 N 23/227
HO 1 J 37/05 (2006. 01)	HO 1 J 37/05

請求項の数 60 (全 23 頁)

(21) 出願番号	特願2001-503512 (P2001-503512)	(73) 特許権者	500344585
(86) (22) 出願日	平成11年10月28日 (1999. 10. 28)		シマヅ リサーチ ラボラトリー (ヨーロ ッパ) リミティド
(65) 公表番号	特表2003-502807 (P2003-502807A)		イギリス国, マンチェスター エム 1 7
(43) 公表日	平成15年1月21日 (2003. 1. 21)		1 ジーピー, トラッフォード ワーフ ロ ード, ワーフサイド
(86) 国際出願番号	PCT/GB1999/003556	(74) 代理人	100077517
(87) 国際公開番号	W02000/077504		弁理士 石田 敬
(87) 国際公開日	平成12年12月21日 (2000. 12. 21)	(74) 代理人	100092624
審査請求日	平成18年10月27日 (2006. 10. 27)		弁理士 鶴田 準一
(31) 優先権主張番号	9914082. 4	(74) 代理人	100108383
(32) 優先日	平成11年6月16日 (1999. 6. 16)		弁理士 下道 晶久
(33) 優先権主張国	英国 (GB)	(74) 代理人	100082898
(31) 優先権主張番号	9916654. 8		弁理士 西山 雅也
(32) 優先日	平成11年7月15日 (1999. 7. 15)		
(33) 優先権主張国	英国 (GB)		

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 荷電粒子エネルギー分析装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

一定範囲のエネルギーを有する荷電粒子を分析するように設けられた荷電粒子エネルギー分析装置において、

予め定められた方位角範囲全体において静電集束手段の長手方向軸のまわりに延びる内部及び外部規定手段を含む静電集束手段、

前記内部及び外部規定手段の間で前記静電集束手段によって使用中に生成された静電集束電界内へと前記荷電粒子を誘導するための荷電粒子源、及び

前記静電集束手段により集束された荷電粒子を受け取り、かつ検出するために位置づけられた検出手段、を含み、

前記静電集束電界は、前記長手方向軸のまわりで延びる等電位線によって規定され、前記等電位線は、前記長手方向軸の方向において単調な直線の変動を有し、前記長手方向軸に直交する半径方向において単調な対数的変動を有し、

異なるエネルギーをもつ荷電粒子は、前記静電集束電界により、前記検出手段の表面上の異なる各々の離散的位置の焦点に導かれる、
ことを特徴とする荷電粒子エネルギー分析装置。

【請求項 2】

前記検出手段の表面が、前記長手方向軸を横断する方向に在り、前記異なるエネルギーをもつ荷電粒子は、前記長手方向軸を横断する前記表面上の異なる各々の離散的位置の焦点に導かれる、請求項 1 に記載の分析装置。

【請求項 3】

前記表面が前記長手方向軸に直交している、請求項 2 に記載の分析装置。

【請求項 4】

前記表面が平面である、請求項 2 に記載の分析装置。

【請求項 5】

前記表面が曲面である、請求項 2 に記載の分析装置。

【請求項 6】

前記表面が円錐状である、請求項 5 に記載の分析装置。

【請求項 7】

前記表面が、静電集束電界を超えて零電界領域内にある、請求項 2 ～ 6 のいずれか 1 項
に記載の分析装置。 10

【請求項 8】

異なるエネルギーをもつ前記荷電粒子が、前記軸の方向で互いから離隔した離散的位
置で静電集束電界によって焦点まで導かれる、請求項 1 に記載の分析装置。

【請求項 9】

前記荷電粒子源が、前記荷電粒子を前記軸に対して予め定められた仰角範囲全体にわた
り前記静電集束電界に導びかれ、
かつ、前記予め定められた仰角範囲及び / 又は前記荷電粒子源の軸方向の位置及び / 又は
前記静電集束電界の軸方向の位置が、前記荷電粒子の 2 次集束のために設定されるか又は
調整可能である、請求項 1 に記載の分析装置。 20

【請求項 10】

前記等電位線が前記長手方向軸のまわりで対称的である、請求項 1 ～ 9 のいずれか 1 項
に記載の分析装置。

【請求項 11】

前記静電集束手段が、前記長手方向軸のまわりの予め定められた方位角範囲にまたがる
内部及び外部電界規定手段を含んで成り、前記外部電界規定手段が使用中、前記内部電界
規定手段との関係において一定の電位に維持されている、請求項 1 ～ 10 のいずれか 1 項
に記載の分析装置。

【請求項 12】

前記内部電界規定手段及び前記外部電界規定手段がそれぞれ内部シリンダ及び外部シリ
ンダを含んで成り、前記内部シリンダは使用中均一の電位に維持され、前記外部シリンダ
は使用中、前記軸方向に単調に変動する電位に維持されている、請求項 1 ～ 11 のいずれ
か 1 項に記載の分析装置。 30

【請求項 13】

前記電位が長手方向に直線的に変動する、請求項 12 に記載の分析装置。

【請求項 14】

前記外部シリンダが電気抵抗性の材料で作られている、請求項 13 に記載の分析装置。

【請求項 15】

前記外部電界規定手段が複数の離散的電界規定要素を含んで成り、各々の前記要素が使
用中、前記内部電界規定手段との関係において異なるそれぞれの電位に維持されている、
請求項 11 又は 12 に記載の分析装置。 40

【請求項 16】

各々の前記電界規定要素がリング又はフープの形をしている、請求項 15 に記載の分析
装置。

【請求項 17】

各々の前記電界規定要素が中空の円錐台の形をしている、請求項 15 に記載の分析装置
。

【請求項 18】

前記外部電界規定手段が、各々電気抵抗性材料で作られ使用中長手方向に単調に増大す
るそれぞれの電位に維持されている複数の離散的電界規定要素を含んで成る、請求項 11 50

又は 1 2 に記載の分析装置。

【請求項 1 9】

各々の前記要素がシリンダの形状を有する、請求項 1 8 に記載の分析装置。

【請求項 2 0】

各々の前記要素が中空の円錐台の形状を有する請求項 1 8 に記載の分析装置。

【請求項 2 1】

前記軸に対して直交するそれぞれの平面内で前記内部及び外部電界規定手段の相対する端部にある第 1 及び第 2 の端部要素を内含し、前記第 1 及び第 2 の端部要素の各々が使用中、半径方向に対数的に変動する前記内部電界規定手段との関係において一定の電位に維持されている、請求項 1 ~ 2 0 のいずれか 1 項に記載の分析装置。

10

【請求項 2 2】

各々の前記端部要素が電気抵抗性材料で作られている、請求項 2 1 に記載の分析装置。

【請求項 2 3】

各々の前記端部要素が、使用中各々異なるそれぞれの電位に維持される、複数の同心の導電性リングを含んで成る、請求項 2 1 に記載の分析装置。

【請求項 2 4】

異なるエネルギーをもつ荷電粒子が、前記第 1 及び第 2 の端部要素のうちの 1 つの平面内の異なるそれぞれの離散的な位置において静電集束電界によって焦点まで導かれる、請求項 2 1 ~ 2 3 のいずれか 1 項に記載の分析装置。

【請求項 2 5】

前記静電集束手段は、その中の電位の分布が前記軸のまわりの方位角の一関数として均等であるような形で構成されている、請求項 1 ~ 9 のいずれか 1 項に記載の分析装置。

20

【請求項 2 6】

前記静電集束手段は、その中の電位の分布が、 n を整数とした場合前記長手方向軸を中心として n 倍の回転対称をもつような形で構成されている、請求項 1 ~ 9 のいずれか 1 項に記載の分析装置。

【請求項 2 7】

前記内部電界規定手段及び / 又は前記外部電界規定手段は、 n を整数とした場合前記軸を中心として n 倍の回転対称をもつ、請求項 1 1 又は 1 2 に記載の分析装置。

【請求項 2 8】

前記内部電界規定手段が、 n をその表面の数とした場合、前記長手方向軸を中心として n 倍の回転対称をもつ複数の平坦な側面を含んで成る、請求項 2 7 に記載の分析装置。

30

【請求項 2 9】

前記荷電粒子が、前記側面のうちの単数又は複数のものに沿って互いから離隔した離散的な位置で焦点まで導かれ、前記検出手段の表面は、集束された荷電粒子を検出するため前記単数又は複数の側面に位置設定されている、請求項 2 8 に記載の分析装置。

【請求項 3 0】

前記荷電粒子が、前記内部電界規定手段に沿って互いから離隔した離散的な位置で焦点まで導かれ、前記検出手段の表面は、集束された荷電粒子を検出するため前記内部電界規定手段に位置設定されかつこれに適合し、請求項 1 ~ 2 7 のいずれか 1 項に記載の分析装置。

40

【請求項 3 1】

前記荷電粒子が前記軸において焦点まで導かれ、前記検出手段の表面は、集束された荷電粒子を検出するため前記軸上に位置設定されている請求項 1 ~ 1 4 のいずれか 1 項に記載の分析装置。

【請求項 3 2】

前記荷電粒子源が前記長手方向軸上に位置設定されている、請求項 1 ~ 3 1 のいずれか 1 項に記載の分析装置。

【請求項 3 3】

前記荷電粒子源が、前記長手方向軸上に位置設定された標的及び該標的上に放射線を誘

50

導しかくして前記荷電粒子を生成するための手段を含んで成る、請求項 3 2 に記載の分析装置。

【請求項 3 4】

前記荷電粒子源が前記軸上に位置設定された標的及び該標的上に放射線を誘導しかくして前記荷電粒子を生成するための手段を含んで成り、前記標的及び放射線を誘導するための前記手段が前記内部電界規定手段内に位置設定されている、請求項 1 ~ 2 3 のいずれか 1 項に記載の分析装置。

【請求項 3 5】

前記放射線誘導手段が電子銃である、請求項 3 3 又は 3 4 に記載の分析装置。

【請求項 3 6】

前記荷電粒子源が、前記軸を中心として予め定められた方位角範囲全体にわたり前記静電集束電界内に荷電粒子を誘導する、請求項 1 ~ 3 5 のいずれか 1 項に記載の分析装置。

【請求項 3 7】

前記荷電粒子源が、全方位角範囲にわたり前記静電集束電界内に前記荷電粒子を誘導する、請求項 3 6 に記載の分析装置。

【請求項 3 8】

前記荷電粒子源が、前記軸を中心にして 2 つ以上の離散的方位角範囲にわたり前記静電集束電界内に荷電粒子を誘導する、請求項 1 ~ 3 5 のいずれか 1 項に記載の分析装置。

【請求項 3 9】

前記荷電粒子源が、前記長手方向軸を中心にして単数又は複数の予め定められた方位角範囲にわたり前記静電集束電界内に荷電粒子を誘導し、前記荷電粒子が内部電界規定手段内の単数又は複数のウィンドウを通して静電集束電界に導き入れられる、請求項 1 ~ 1 1 のいずれか 1 項に記載の分析装置。

【請求項 4 0】

前記ウィンドウ又はその各々が導電グリッド又はメッシュの形状を有する、請求項 3 9 に記載の分析装置。

【請求項 4 1】

前記荷電粒子源が、前記軸を中心にして 2 つ以上の予め定められた方位角範囲にわたり前記静電集束電界内に荷電粒子を誘導し、前記検出手段が各々の前記角範囲から誘導された荷電粒子を検出するべく構成され配置されている請求項 1 ~ 3 5 のいずれか 1 項に記載の分析装置。

【請求項 4 2】

前記検出手段には、多重チャンネルアレイ検出器、微小球アレイ検出器及び位置敏感抵抗プレート検出器が含まれている、請求項 1 ~ 4 1 のいずれか 1 項に記載の分析装置。

【請求項 4 3】

前記単数又は複数の検出器がリン被覆検出プレートを内蔵する、請求項 4 2 に記載の分析装置。

【請求項 4 4】

前記荷電粒子源の軸方向位置を調整するための手段を内含する、請求項 1 ~ 4 3 のいずれか 1 項に記載の分析装置。

【請求項 4 5】

前記荷電粒子源との関係における静電集束電界の軸方向位置を変動させるべく前記電位を調整するための手段を内含する請求項 1 1 に記載の分析装置。

【請求項 4 6】

前記荷電粒子源が、前記長手方向軸との関係における予め定められた仰角範囲にわたり前記静電集束電界上に荷電粒子を誘導するためにアパーチャ手段を内含している、請求項 1 ~ 4 5 のいずれか 1 項に記載の分析装置。

【請求項 4 7】

前記荷電粒子源の前記予め定められた仰角範囲及び / 又は軸方向位置及び / 又は静電集束電界の軸方向位置が、荷電粒子の 2 次集束用として設定されているか又はそれ用に調節

10

20

30

40

50

可能である、請求項 4 6 に記載の分析装置。

【請求項 4 8】

前記荷電粒子源が、前記軸からオフセットされた単数又は複数の場所から前記荷電粒子を誘導する、請求項 1 ~ 4 7 のいずれか 1 項に記載の分析装置。

【請求項 4 9】

前記荷電粒子源が、前記単数又は複数の場所において荷電粒子を集束するための手段を内含する、請求項 4 8 に記載の分析装置。

【請求項 5 0】

前記荷電粒子源及び前記検出手段が、両方共前記軸と前記内部電界規定手段の間に位置設定されている、請求項 1 ~ 2 3 のいずれか 1 項に記載の分析装置。

10

【請求項 5 1】

前記荷電粒子が、前記内部電界規定手段に沿って互いから離隔された離散的位置において焦点まで導かれ、前記検出手段には、内部電界規定手段の半径方向内側又は半径方向外側に位置設定された検出器及び前記集束された荷電粒子を前記検出器の表面上に集束させるための手段が含まれている、請求項 1 ~ 2 3 のいずれか 1 項に記載の分析装置。

【請求項 5 2】

前記荷電粒子電源は、第 1 位置における実電源と、該第 1 位置と異なる第 2 位置で前記実電源により生成された荷電粒子の集束手段と、を有し、
前記荷電粒子源が、そこから前記荷電粒子が前記静電集束電界に誘導される前記第 2 位置に仮想電源を生成する、請求項 1 ~ 2 3 のいずれか 1 項に記載の分析装置。

20

【請求項 5 3】

前記外部電界規定手段が前記長手方向軸を中心とする回転対称を有する曲面プレートを含んで成る、請求項 1 ~ 5 2 のいずれか 1 項に記載の分析装置。

【請求項 5 4】

前記曲面プレートが均等な電位に維持されている請求項 5 3 に記載の分析装置。

【請求項 5 5】

前記 1 つの要素がゼロ電位に維持される、請求項 2 4 に記載の分析装置。

【請求項 5 6】

請求項 1 ~ 5 5 のいずれか 1 項に記載の荷電粒子エネルギー分析装置を動作させる方法において、予め定められたエネルギー範囲内で一次集束モードでの動作のため前記静電集束手段に対し電圧を印加する段階及び、前記予め定められたエネルギー範囲内で選択されたより狭いエネルギー範囲での 2 次集束モードでの動作のため印加電圧を増減させる段階を、
含んで成ることを特徴とする方法。

30

【請求項 5 7】

前記予め定められた方位角範囲が全方位角範囲である、請求項 1 ~ 1 0 のいずれか 1 項に記載の分析装置。

【請求項 5 8】

前記内部及び外部電界規定手段にはそれぞれ内部円筒形セグメントと外部円筒形セグメントが含まれ、前記内部及び外部円筒形セグメントが予め定められた方位角範囲にわたって延びており、前記外部円筒形セグメントが使用中、長手方向に単調に変動する電位に維持されている、請求項 1 ~ 1 1 のいずれか 1 項に記載の分析装置。

40

【請求項 5 9】

内部及び外部円筒形セグメントの長手方向側縁部が側壁により接合されている、請求項 5 8 に記載の分析装置。

【請求項 6 0】

前記側壁がその内向き表面全体にわたり予め定められた電位分布を規定するように適合されている、請求項 5 9 に記載の分析装置。

【発明の詳細な説明】

【0 0 0 1】

50

〔 発明の分野 〕

本発明は、荷電粒子エネルギー分析装置、特に、ただし専用的ではなく、広範囲のエネルギーをもつ同時に荷電された粒子を分析する能力をもつ荷電粒子エネルギー分析装置に関する。

〔 発明の背景 〕

荷電粒子光学系では、荷電粒子ビームのエネルギースペクトルを分析するために、さまざまなデバイスが利用可能であり、これらのデバイスは、荷電粒子光学という主題でさまざまな研究作業の中で広範に記述されていき。例えば P.H. Hawkes及びE.Kasper 著「電子光学の原理」(Academic Press, New York) 1989, 及びD.Roy 及び D.Tremblay による論文、Rep Prog Phys. 53, 1621 (1990) を参照のこと。オージェ電子表面分光光学といったような数多くの応用分野において、単一のスペクトル内の有利なエネルギー範囲は、複数次数を網羅することができる。かかるスペクトルを得る従来の方法は、単一の検出器を用いてエネルギー範囲を通して走査することであった。より迅速な技術は、拡大された範囲のエネルギーを網羅するべく多重検出器及又は一連の検出器を使用し、次に連続的に又は段階的にスペクトルの全範囲を走査することにある。双曲電界分析装置を除く全ての既知の静電荷電粒子エネルギー分析装置において、任意の1時点に分析できるエネルギー範囲は小さく、エネルギー範囲対平均エネルギーの比率は標準的に0.1未満であると思われる。従って、段階的方法が使用される場合、所要段階数は少なくとも約10である。

10

【 0002 】

20

エネルギースペクトル全体を同時に分析できるようになれば有利であることは明白である。Rev. Sci. Instrum. 70, 2282 (1999) 内でM.Jacka, M.Kirk, K.El Gomati及びM. Pruttonによって記述されている双曲電界分析装置は、これを行なうことができる。しかしながら、双曲電界分析装置は、実質的に平面の幾何形状をもち、従って、狭い方位角範囲にわたり入射する荷電粒子を分析することしかできないという欠点に苦しんでいる。

〔 発明の概要 〕

本発明の第1の態様に従うと、一定範囲のエネルギーを有する荷電粒子を分析するための荷電粒子エネルギー分析装置において、長手方向軸をもつ静電集束手段、前記静電集束手段によって使用中に生成された静電集束電界内へと荷電粒子を誘導するための荷電粒子源、及び前記静電集束手段により集束された荷電粒子を検出するための検出手段を含んで成り、前記静電集束電界が、予め定められた方位角範囲全体にわたり前記長手方向軸のまわりに延びる等電位線によって規定され、異なるエネルギーをもつ荷電粒子が異なるそれぞれの離散的な位置で静電集束電界により焦点まで導かれる、荷電粒子エネルギー分析装置が提供されている。

30

【 0003 】

本発明のこの態様に従った荷電粒子エネルギー分析装置は、長手方向軸を中心にして全方位角範囲にわたり入射するか又は単数又は複数のより小さな方位角範囲にわたり入射する広範囲のエネルギーをもつ同時に荷電された粒子を分析する能力を有する。この特長の組合せにより、荷電粒子のエネルギースペクトルは、既知の分析装置を用いて可能であった速度よりもさらに迅速に測定できるようになり、又、角度情報を獲得することも可能となる。

40

【 0004 】

本発明に従った荷電粒子エネルギー分析装置は同様に、比較的狭いエネルギー範囲をもつものの長手方向軸との関係において比較的広い仰角範囲の入射粒子である荷電粒子を集束できる2次集束モードにおいても使用することができる。

【 0005 】

本発明のもう1つの態様に従うと、荷電粒子を分析するための荷電粒子エネルギー分析装置において、長手方向軸をもつ静電集束手段、前記静電集束手段によって使用中に生成された静電集束電界内へと荷電粒子を誘導するための荷電粒子源、及び前記静電集束手段に

50

より集束された荷電粒子を検出するための検出手段を含んで成り、前記静電集束電界が、予め定められた方位角範囲全体にわたり前記長手方向軸のまわりに延びる等電位線によって規定され、前記荷電粒子源は、前記長手方向軸との関係において予め定められた仰角範囲全体にわたり前記静電集束電界内に前記荷電粒子を誘導し、前記予め定められた仰角範囲及び／又は荷電粒子の軸方向位置及び／又は静電集束電界の軸方向位置は荷電粒子の２次集束のために設定されているか又は調整可能である、荷電粒子エネルギー分析装置が提供される。

【 0 0 0 6 】

ここで添付図面を参考にして、単なる一例として、本発明の実施形態を記述する。

〔 好ましい実施形態の説明 〕

以下の記述では、負の荷電粒子を分析するために印加電位の極性が選択され、図 1 ~ 1 0 の実施形態では、荷電粒子は電子であると仮定されている。当然のことながら印加電位の極性を反転させることによって、正の荷電粒子を分析することもできる、ということがわかるだろう。

【 0 0 0 7 】

ここで図面の図 1 及び 2 を参照すると、荷電粒子エネルギー分析装置は、長手方向軸 $z - z$ を中心にして円筒形対称形である。分析装置は、その軸上にある局在化された電子源 1 , 大地電位にある半径 R_1 の内部シリンダ 2 , それぞれ左端部及び右端部で $+ 1 0 3 9 . 7 \text{ V} \sim - 5 1 9 8 . 6 \text{ V}$ まで直線的に変動する電位降下が適用される $z = - 3 R_1$ 及び $1 5 R_1$ の軸座標を有する端部をもつ半径 $R_2 = 4 R_1$ の外部シリンダ 3 , そして外縁部の $+ 1 0 3 9 . 7 \text{ V}$ からその内縁部の大地電位まで変動する電位降下が適用される第 1 の環状端部ディスク 4 , その外縁部の $- 5 2 9 8 . 6 \text{ V}$ からその内縁部の大地電位まで変動する電位降下が適用される第 2 の環状ディスク 5 及び、内部シリンダ 2 の外表面の一部を形成するか又はその表面の一部に適合する電子検出器 6 を含んで成る。図 1 は同様に、局在化された供給源 1 を起源とし内部シリンダと外部シリンダ 2 , 3 の間に作り出された静電集束電界によって検出器 6 上に集束される電子のいくつかの代表的曲線軌道 7 をも示している。この例示では、初期エネルギー $1 2 5 , 2 0 0 , 3 0 0 , 5 0 0 , 8 0 0 , 1 2 5 0 , 2 0 0 0$ 及び $3 0 0 0 \text{ e V}$ をもつ電子は、長手方向で連続軸方向位置 $z_1 , z_2 \dots z_8$ において集束される。

【 0 0 0 8 】

この例においては、シリンダ 2 , 3 に加えられる電位は、 $W = 3 4 6 . 5 7 \text{ V} (= 2 5 0 1 n 4)$ として以下の方程式 (1) から求められる。環状端部ディスク 4 , 5 に加えられる電位も同様に方程式 (1) から求められ、非直線的である。方程式 (1) から、シリンダ 2 , 3 間の等電位線が長手方向に単調に (この場合直線的に) かつ半径方向に対数的に変動することがわかる。

【 0 0 0 9 】

実際には、環状端部ディスク 4 , 5 は、電気抵抗の高い材料で作ることができる。代替的には、ディスクを使用する代りに、各々異なる均等な電位に維持されている複数の同心環状リングを用いて、所要電位降下を実現することもできる。供給源 1 の軸方向位置は $z_s = 1 . 8 5 R_1$ であり、電子ビーム B の中間発射仰角 θ_x (上付きバー) は、長手方向軸 $z - z$ に対し $0 . 4 7 2 \text{ rad} (2 7 . 0 4 ^\circ)$ であり、ビームの半角は、 $0 . 0 1 6 \text{ rad} (0 . 9 1 ^\circ)$ である。ビームの仰角範囲は、供給源 1 と内部シリンダ 2 の間に位置設定されたマスク (図示せず) の中に設けられた単数又は複数のアパーチャによって制御されうる。内部シリンダ 2 の電位は 0 V であり、この実施形態において、ビームは、内部シリンダ 2 の入口領域を網羅する細かいメッシュ又はグリッドを通過すると仮定されている。

【 0 0 1 0 】

分析装置の特性は、加えられる電位及びエネルギーが合わせて直線的に増減する場合、変化しない。

【 0 0 1 1 】

すでに記述したとおり、外部シリンダ 3 に加えられる電位は、左端部の $+ 1 0 3 9 . 7 \text{ V}$

10

20

30

40

50

から右端部の -5198.6 V まで直線的に変動する。この直線的電位変動は、高抵抗率の材料から作られたシリンダ 3 を用いて実現することもできるし、或いは又代替的に、各々異なる均等な電位に維持された複数の導電性ループ又はリングを用いて、所要電位をシミュレートすることもできる。大地電位に維持される内部シリンダ 2 は導電性材料で作ることができる。シリンダ 2, 3 間の領域内の電位の分布は、長手方向軸 $z - z$ を中心とした方位角の関数として均等である。電位 $\varphi(r, z)$ は、以下の式により半径方向及び軸方向座標 (r, z) で表現できる。

【0012】

$$\varphi(r, z) = -Wz - \ln r / \ln R_2 \dots \dots (1)$$

なお式中、 z , r 及び R_2 は全て R_1 の単位で表現されている。

10

【0013】

静電界内の運動方程式に対する分析的解は存在しないように思われることから、さまざまな実用的システムのためのラプラスの方程式を解くため及び粒子の軌道を得るための運動方程式を積分するため、ウェブサイト <http://cpo.ph.man.uk> 上で利用可能な正確な C P O - 2 D プログラムが使用された。

【0014】

ここで再び図 1 及び 2 を参照すると、長手方向軸 $z - z$ 上で供給源 1 から発出される電子は、エネルギー分析の後内部シリンダ 2 の表面上で集束し、電子は、内部シリンダ 2 の表面に適合するかその一部を成す湾曲した検出器アレイ 6 によってそこで検出される。

【0015】

20

以下でより詳細に記述するように、電子ビーム B は、長手方向軸 $z - z$ を中心にして予め定められた方位角範囲にまたがっている。この角範囲は、全方位角範囲であっても、単数又は複数のより小さな方位角範囲にあってもよく、検出器 6 は、これらの角範囲のうちの単数又は複数のもののうちの電子について検出するべく構成されている。検出器 6 は、多重チャンネルアレイ検出器又は微小球プレート検出器又は位置感应性抵抗プレート検出器の形をとっていてもよいし又はその他の任意の適切な検出器形態であってもよい。

【0016】

特定の一実施形態においては、荷電粒子源 1 は、長手方向軸 $z - z$ 上に位置設定された標的及び、荷電粒子を生成するべく標的上に放射線を誘導するための照射デバイスを含んで成る。照射デバイスは例えば電子銃であってよく。内部シリンダ 2 内に位置設定され得る。

30

【0017】

実際には、同じエネルギーをもつものの異なる仰角をもつ荷電粒子の軌道は、内部及び外部シリンダ 2, 3 の間の領域内のわずかに異なる電界強度に対するその露呈によって引き起こされる分散を受ける可能性があり、これは集束された画像の鮮明度を低下させる。しかしながら、供給源 1 の軸方向位置 z 及び荷電粒子ビームの中間発射仰角 θ_x (上付きバー) は、問題の全エネルギー範囲にわたる静電界の分散効果を最小限におさえるべく最適化され得る。

【0018】

エネルギー E_i の荷電粒子により形成される画像の軸方向位置 z_i は、以下の式により表現できる：

40

$$z_i = c_0 + c_2 (\theta_s - \theta_0)^2 \dots \dots (2)$$

なお式中、 c_0 は、分散が全く無い場合の画像の軸方向位置であり、 c_2 は定数、 θ_0 は、分散が存在する場合に軸方向位置 c_0 で焦点まで荷電粒子を導くのに必要とされる発進仰角であり、 θ_s は、ビーム内の荷電粒子の軌道の発進角である。

【0019】

最適な条件は、 θ_0 が問題の全エネルギー範囲にわたり一定であるときに存在し、図 1 を参考にして記述されている実施形態においては、この条件は、 z_s が $-1.85 R_1$ に設定されたときにほぼ満たされる。表 1 は、8 つの異なるエネルギーすなわち 125 eV , 200 eV , 300 eV , 500 eV , 800 eV , 1250 eV , 2000 eV 及び 30

50

0 0 e Vについてこの設定値を用いて得られる、 θ_0 及び z_i の結果として値を列挙している。適切な中間発射角 θ_s （上付きバー）はこのとき0.472 rad（27.04°）である。

【0020】

この表からわかるように、 θ_0 の値は、エネルギー範囲全体にわたり一定であり、 θ_0 のわずかな不整合性は、供給源から受入れられる標準的角範囲よりも小さいものである。

【0021】

図1には、軌道例のプロットが示されており、これらと同じ軌道が、選択された等電位線の輪郭と合わせて拡大された形で図2に示されている。

【0022】

表1は同様に、相対エネルギー E_{dz}/dE （ R_1 との関係において正規化されたもの）及び一組のエネルギー分解能 ΔE （ w との関係において正規化されたもの）の値も内含しており、これらのパラメータについてここで定義づけする。

【0023】

上述の方程式（2）から、各エネルギー E_i における画像の軸方向位置の広がり Δz_i が式（3）によって与えられることが明白となるだろう：

$$\Delta z_i = |c_2| (\theta_{\max})^2 \dots \dots (3)$$

なお式中 $\theta_{\max}$ は、そのエネルギーについての θ_0 からの（一定の与えられた範囲内の）軌道の最大角偏差である。軸位置のこの広がり、以下の式によって与えられるエネルギーの広がり E とほぼ同等である：

$$E = 0.5 \quad z_i / (dz/dE) \dots \dots (4)$$

なお式中、係数0.5は、基本エネルギー幅をピークの半分の高さでの幅に変換するための近似として使用される。表1の最後の欄に列挙された E の値から明白であるように、この例の中の有用なエネルギー範囲は、少なくとも10という係数を網羅する。

【0024】

使用された供給源位置 z_s （-1.85 R_1 ）について、 θ_0 は、初期エネルギー E がおおよそ1000 e Vであるとき定常である（実際には最大）。実際には、 E_s を移動させることによって、 θ_0 が定常である E の値を変化させることが有用であるかもしれない。こうして E に対する E の依存性を幾分か制御できることになる。実際には、供給源1の軸方向位置を物理的に調整することによってか又は実際に外部シリンダに対してゼロ電位が適用される軸方向位置を変えることによって供給源との関係において静電界を軸方向に並進運動させることによって z_s の調整を容易にすることができる。

【0025】

θ_0 をより恒常のものにするためその他のパラメータを変動させることが可能である。特に、外部シリンダ上の電圧の直線的変動を、わずかに非直線的な（ただし単調な）変動によって置換することができ、 θ の変動を最小限におさえるためにこの非直線的変動のパラメータを調整することになる。代替的には、電極の形状を、例えば、ディスク及びシリンダの代わりに円錐形の電極を使用することによって変えることもできる。

【0026】

図1及び2を参考にして記述した分析装置は、長手方向軸を中心にした方位角の関数として均等である静電集束電界を生成する。しかしながら、これが必ずしもあてはまる必要はない。代替的には、電界は、 n を整数として、長手方向軸を中心にして n 倍の回転対称を有することができる。多角形の横断面をもつ平坦な側面をもつ電極といったような n 倍対称をもつ管状部材で内部シリンダを置換することによって、かかる電界を生成することができる。この構成には、平坦な側面のうちの単数又は複数のものの上に検出器を容易に位置設定できるという利点がある。

【0027】

本発明のもう1つの実現においては、外部シリンダは、（場合によって均等な）電位が適用されかつ図1及び2を参照して記述された実施形態の内部及び外部シリンダ2, 3によって生成される直線的に変動する等電位線といったような長手方向に単調に変動する等電

10

20

30

40

50

位線を作り出すように適切に整形された湾曲した軸対称プレートによって、置換される。

【0028】

図1の実施形態においては、内部シリンダ2は、電子が静電集束電界に導き入れられるときに通る単数又は複数のウインドウを有する。該ウインドウ又はその各々は、所要方位角範囲をもつビームを限定するような形で寸法決定され整形され、縁効果を除去する一助となるよう、細かいメッシュ又はグリッドによりカバーされている。例えば、メッシュは、穴の正方形アレイで構成されていてもよいし或いは又ウインドウを横断して張り渡された長手 z 方向に延びる平行なワイヤで作られていてもよい。これらの両方のタイプのメッシュの遮へい特性は、メッシュが生成する集束ずれ効果と同様に既知のものである。集束ずれは実際には、供給源のサイズの増大と同等である。

10

【0029】

代替的には、供給源1と内部シリンダ2の間に位置設定されたマスク（図示せず）の中に具備された単数又は複数のアパーチャによって方位角範囲を限定することもできる。

【0030】

一部の実用的利用分野では、方位角方向にスロットの形をした開放ウインドウを使用することがより適切である場合もある。図3で示されているもう1つの実施形態においては、電子は、軸座標 $z = 0.05 R_1$ 及び $0.24 R_1$ の間に延びる内部シリンダ2'内の開放スロット7'を通して静電集束電界に入る。外部シリンダ3'は、（内部シリンダの半径単位で） $3 R_1$ の半径をもち、軸座標 $z = 0$ 及び $z = 1.0 R_1$ の間に延びる。左側端部は、大地電位でディスクにより閉じられている。前述のように、外部シリンダ及び右側端部ディスクに加えられる電位は方程式（1）により求められるが、ここでは $W = 274.65 V$ （ $250 \ln 3$ ）である。上述の方程式（2）に基づく上述の分析を適用することにより、供給源1の最適な軸方向位置は $-1.8 R_1$ であることがわかり、最適な中間発進仰角 θ_s （上付きバー）は 0.476 rad （ 27.25° ）であることがわかっている。この分析の結果は表2に示されており、いくつかの軌道例が図3に示され、ここでは、 125 eV 、 200 eV 、 300 eV 、 800 eV 、 1250 eV 及び 2000 eV の初期エネルギーをもつ電子が、長手方向に連続する軸位置 z_1 、 $z_2 \dots z_6$ で集束している。表1及び2のデータを比較することにより、入口アパーチャが開放したときに θ の値がさらに少なく変動することがわかる。しかしながら、この形の分析装置は、以下に記述するように、2次集束が必要とされる場合にはさほど適していない。

20

30

【0031】

電子源及び画像のその他の位置も考慮される。供給源及び画像は共に内部シリンダ2の表面（表面对表面集束）に位置設定されてよく、そうでなければ代替的に、供給源及び画像を共に長手方向軸 $z - z$ 上（軸対軸）に位置設定されていてもよい。代替的には、供給源を、長手方向軸 $z - z$ の間の零電界（電界の影響を受けない）領域内に位置設定することができ、画像を長手方向軸と内部シリンダ2の間又は内部シリンダから半径方向外向きに位置設定することもできる。

【0032】

実際には、電子源は、仮想供給源であってもよい。この場合、該供給源は電子を長手方向軸からオフセットした単数又は複数の場所から静電集束電界内に誘導し、例えば前記単数又は複数の場所で（軸上に位置設定されうる）実際の供給源から発出された電子を集束させるため、単数又は複数の円錐レンズの形をとり得る適切な集束手段を内含している。

40

【0033】

同様にして、画像から離隔された単数又は複数の検出器上に画像を形成する電子を集束させるためにかかる集束手段を使用することもできる。

【0034】

もう1つの動作モードでは、本発明に従った荷電粒子エネルギー分析装置を、比較的広い仰角範囲にわたり入射する比較的狭いエネルギーバンド内で荷電粒子を分析するように配置することができる。

【0035】

50

例えばJ.S.Risley によりRev. Sci. Instrum, 43, 95 (1972) 内で記述されているような従来の円筒形ミラー分析装置(CMA)の主たる利点の1つは、2次集束で動作可能であるということにある。すなわち、2次項がゼロであるものとして、

$$z_i = c_0 + c_2 (\theta_s - \theta_0)^2 + c_3 (\theta_s - \theta_0)^3 + \dots \quad (5)$$

という形の荷電粒子の発射仰角 θ_s に対する依存性を焦点の軸方向位置 z_i が有するような条件を見い出すことが可能である。通常の2次項が無いということはすなわち、係数 c_3 が大きすぎないことを条件として分析装置の一定の与えられたエネルギー分解能について広範囲の角度 θ_s を受容できるということを意味する。

【0036】

図4は、この2次集束モードで動作する本発明に従った荷電粒子エネルギー分析装置の実施形態を示している。

10

【0037】

ここでは、分析装置の寸法及び印加電圧は、図3を参考にして記述されている分析装置の場合と全く同じであるが、内部シリンダ2'内に入口ウィンドウを横断して細かいメッシュが設置されていることを及び供給源1'の軸方向位置 z_s が $2R_1$ である、という点で異なっている。方程式(5)の2次項は、 $E = 854 \text{ eV}$ であるとき及び中間発射角 θ_s (上付きバー) $= 0.622 \text{ rad} (35.6^\circ)$ であるときにゼロとなることが分析により見い出される。この実施形態においては、ビームの半角は $0.05 \text{ rad} (2.86^\circ)$ である。

【0038】

20

実際には、かかる条件の連続的スペクトルが存在する。(一部の範囲内の)任意の供給源位置について、2次軸対表面集束を与える E 及び θ_s (上付きバー)の値を発見することが可能である。表3にはいくつかの結果が示されている。

【0039】

2次集束は、軸対軸モードでも実施でき、これは図5に示されている。分析装置の寸法及び印加電圧は、図4を参考にして記述した分析装置と全く同じであるが供給源の軸方向位置が $-R_1$ であるという点がそれと異なっている。ここでも又、内部シリンダ2'内の入口ウィンドウを横断して、細かいメッシュが設置されている。方程式(5)の2次項は、 $E = 1345.5 \text{ eV}$ であるとき及び中間発射仰角 θ_s (上付きバー) $= 0.444 \text{ rad} (25.46^\circ)$ であるときにゼロとなることが分析により発見されている。この実施形態においては、ビームの半角は $0.05 \text{ rad} (2.86^\circ)$ である。ここでも又、表4に示されているように、かかる条件の連続的スペクトルが存在する。

30

【0040】

従来のCMAの場合と同様、その他の動作モードの連続的スペクトルが可能であり、入口ウィンドウが開放しているときに2次集束も達成可能であるということが考慮されている。同じく、特定の狭いエネルギー範囲についてエネルギー分解能が最適化される条件を発見することも可能である。

【0041】

図面の図6は、本発明に従った荷電粒子エネルギー分析装置のもう1つの実施形態を示す。前述のものと同様、適用された電位の極性は、この実施形態では電子であると仮定されている負の荷電粒子の分析のために選択されている。しかしながら、加えられる電位の極性を逆転することによって正の荷電粒子を分析することも可能である。

40

【0042】

図1~3を参照して記述した実施形態とは対照的に、図6の荷電粒子分析装置は、長手方向軸 $z-z$ に対し横方向の平面内の異なるそれぞれの半径方向位置 r_i で異なるエネルギー E_i をもつ電子を集束させるために有効である。この配置は、ディスク形状をしていてよい平坦な検出器を使用できるという利点をもつ。

【0043】

図6の分析装置は、内部シリンダ及び外部シリンダ2'', 3''及び一対の環状端部ディスク4'', 5''を含む、図1~3を参考にして記述された分析装置と実質的に同じ幾何的

50

構成をもつ。前述の通り、 R_2 を外部シリンダの半径として外部シリンダ3"に加えられる電位 $\phi(R_2, z)$ は、

$$\phi(R_2, z) = -Wz$$

という式に従って軸座標 z の一関数として直線的に変動する（なお式中 z は内部シリンダ2"の半径 R_1 の単位で表現されている）。前述の通り、シリンダ2"、3"の間の電位 $\phi(r, z)$ の分布は、方程式(1)により半径方向及び軸方向座標 (r, z) の形で表現でき、この式からシリンダ2"、3"の間の等電位が長手方向に単調に（この場合直線的に）又半径方向には対数的に変動することがわかる。ここでも又、電位 $\phi(r, z)$ の分布は、長手方向軸 $z-z$ を中心にして方位角の関数として均等である。

【0044】

図1～3を参考にして記述された分析装置の場合、長手方向軸 $z-z$ との関係における電子ビームBの中間発射仰角 θ_s （上付きバー）は、標準的に 25° 前後である。しかしながら、図6の分析装置の場合、中間発射仰角 θ_s （上付きバー）ははるかに大きく、標準的に 60° 前後であるが、例えば $50^\circ \sim 70^\circ$ の範囲内のその他の角度を使用することも可能である。

【0045】

図6に示されているように、比較的大きい中間発射仰角 θ_s （上付きバー）で静電集束電界に入る電子ビームBが長手方向軸 $z-z$ から離れるように偏向させられ、この実施形態では、左側端部ディスク4"の平面内で焦点まで導かれ、ここに単数又は複数の平坦な検出器を位置づけることができる。

【0046】

電子ビームBは、全方位角範囲又は単数又は複数のより小さな方位角範囲でありうる長手方向軸 $z-z$ のまわりの予め定められた方位角範囲にまたがる可能性がある。前述のとおり、所要方位角範囲は、内部シリンダ2"及び/又は端部ディスク4"内の単数又は複数の適切に寸法決定され整形されたウィンドウ又は、供給源と内部シリンダの間に位置設定された単数又は複数のマスクによって限定され得る。一定の与えられたエネルギーについて、電子は、焦平面内にそれぞれの単数又は複数の円弧上の焦点まで導かれ、全方位角範囲にまたがるビームの場合、電子は円上の焦点まで導かれる。単数又は複数の適切な検出器が、該方位角範囲又は各々の方位角範囲内の集束された電子について検出するような形で位置づけられ構成されている。

【0047】

この実施形態においては、外部シリンダ3"の半径 R_2 は $10R_1$ であり、内部及び外部シリンダの端部は、軸座標 $z=0$ 及び $z=3R_1$ を有する。上述の方程式(1)及び(6)の W の値は、 $333.3V$ に設定され、内部シリンダ2"及び左側端部ディスク4"に加えられる電位は $0V$ に設定され、一方外部シリンダ3"に加えられる電位は左側端部の $0V$ から右側端部の $-1000V$ まで直線的に変動する。

【0048】

この実施形態においては、電子ビームは、軸位置 $Z_s = -0.6R_1$ で零電界領域内で長手方向軸 $z-z$ 上に位置づけされた局在化された電子源1"により生成される。

【0049】

図6は、左側端部ディスク4"の横方向平面内で集束された電子のいくつかの代表的湾曲軌道を示している。この例では、初期エネルギー $40, 80, 160, 320$ 及び $640 eV$ をもつ電子が全て、横方向焦平面内の連続的半径方向位置 r_1, r_2, r_3, r_4, r_5 にほぼ集束されている。この実施形態においては、電子ビームBの中間発射仰角は 61.8° であり、ビームの半角は 3.8° であり、ビームは、内部シリンダ2"と左側端部ディスク4"が導電グリッド又はメッシュの形をしたウィンドウを介して遭遇する静電集束電界の中に入る。

【0050】

すでに記述した通り、外部シリンダ3'に加えられる電位は、左側端部の $0V$ から右側端部の $-1000V$ まで直線的に変動する。この直線的電位変動は、電位降下が横断して適

10

20

30

40

50

用される高い電気抵抗をもつ材料で作られたシリンダ 3 " を用いて実現され得る。代替的には、各々が異なる均等な電位に維持されている複数の導電性ループ又はリングを用いて所要電位をシミュレートすることができる。大地電位に維持されている内部シリンダ 2 " は、導電性材料から作ることができる。

【 0 0 5 1 】

右側ディスク 5 " 上の不均等電位は、電気抵抗の高い材料で作られたディスクを横断して電位降下を適用することによって作り出すことができる。代替的には、ディスクを使用する代りに、所要電位変動は、異なる均等な電位に各々が維持されている複数の同心リングを用いてシミュレートすることができる。もう 1 つの代替的アプローチでは、半径方向に等間隔で置かれたディスクの上の一定数（例えば 3 0 ）の位置に所要電位を加え、隣接する位置の間で直線的にその電位が変動するように配慮することによって、前述の C P O - 2 D プログラムを用いて区分的に所要電位をシミュレートすることができる。

10

【 0 0 5 2 】

図 7 は、図 6 の軌道を異なる縦横比で拡大して示し、同様に、5 0 V の段階で - 5 0 V ~ - 9 5 0 V の範囲内で等電位線輪郭も示している。

【 0 0 5 3 】

図 7 から、高い方のエネルギーが検出器のわずかに後方で焦点まで導かれているのに対して、低い方のエネルギーの電子が、左側端部ディスク 4 " の平面内に位置設定された検出器のわずかに前方で焦点まで導かれていることが明白である。

20

【 0 0 5 4 】

供給源の軸方向位置 Z_s は、得られる焦点の質に対しいかなる有意な効果も及ぼさないことが発見された。しかしながら、焦点の質の有意な改善は、以上の方程式 (1) により定義づけられた電位分布 $\phi(r, z)$ をわずかに修正することによって達成可能である。

【 0 0 5 5 】

これは、左側端部ディスク 4 " を 0 V に維持しながら内部シリンダ及び外部シリンダ 2 " , 3 " 上及び右側端部ディスク 5 " 上の選択された位置で適用される電子を最適化し、それぞれ軸方向及び半径方向距離の一つの関数としてこれらの選択された位置の間で電位が直線的に変動するように配慮することによって経験的に達成できる。

【 0 0 5 6 】

この特定の例において、右側端部ディスク 5 " 上の選択された位置は、半径方向座標 $r = 1, 3, 6$ 及び 9 を有し、内部及び外部シリンダ 2 " , 3 " 上の選択された位置は、軸座標 $z = 0, 1, 5$ 及び 3 を有する。なおここでこれらの座標は、 R_1 の単位で表現されている。

30

【 0 0 5 7 】

選択された位置の半径方向及び軸方向座標は、それぞれ表 5 の 1 行目及び 2 行目にまとめられており、各々の選択された位置において印加されたそれぞれの電圧 $V_1, V_2 \dots V_7$ は表の 3 行目に示されている。これらの電圧は、同様に図 6 にも示されている。

【 0 0 5 8 】

各シリンダの左側端部における電位 V_1 は 0 V であり、外部シリンダ 3 " の右側端部で電位 V_3 を（この例では - 1 0 0 0 V に）固定することが望ましいことがわかる。

40

【 0 0 5 9 】

残りの 5 つの電位 V_2, V_4, V_5, V_6 及び V_7 は変数として処理され、焦点の半径方向位置が変化できるようにしながら検出器の平面内で焦点のサイズを最適化（すなわち最小化）するべく、「自動自由焦点反復」モードで前述の C P O - 2 D プログラムを用いて自動的に調整される。

【 0 0 6 0 】

表 5 の 4 行目は、上述の方程式 (1) から導びかれた電圧値を示し、一方表の 5 行目は、経験的調整により最適化された修正値を示す。

【 0 0 6 1 】

この最適化手順は同様に、図 1 ~ 5 を参照して記述された分析装置にも適用され得るとい

50

うことがわかるだろう。

【 0 0 6 2 】

図 8 は、最適化された電圧値を用いて得られる電子の軌道を示す。この例示においては、電子は、2 という倍率で等比数列を形成する初期エネルギー 40, 80, 160 及び 320 eV をもち、1 : 8 というエネルギー範囲を網羅する。この場合、中間発射仰角 θ_s (上付きバー) は 60.8° であり、ビームの半角は 2.05° である。前述のものと同様、供給源の最適軸方向位置は、 $z_s = -0.6 R_1$ である。

【 0 0 6 3 】

図 9 は、図 8 の軌道を異なる縦横比で拡大して示し、同様に、50 V の段階で -50 V ~ -800 V の範囲内で等電位線輪郭も示している。

10

【 0 0 6 4 】

図 7 及び 9 を比較すると、経験的に調整された電圧値を用いてはるかに小さい焦点サイズが達成されるということが明確に示されている。同様に等電位線輪郭は、幾分か異なる形状を有している。

【 0 0 6 5 】

焦点の質に対するさらなる改善は、より多く数の電圧を最適化することによって行なうことができる。代替的又は付加的には、異なる電極形状を用いて改善を行なうことができる；例えば、外部シリンダ 3 " を、適切な形状の軸対称の曲面プレートで置換し、このプレートに（場合によっては均等な）電位を適用することができる。かかるプレートは同様に、方程式 (1) により定義された形状の電位分布 $\phi(z, r)$ を生成するのに使用することもできる。

20

【 0 0 6 6 】

代替的には、電位分布 $\phi(z, r)$ を修正する代りに、検出器を、電子が集束する表面に適合するように適切に整形し位置づけすることもできる。さらに、電子は、端部ディスクの平面内に集束する必要はなく、端部ディスク 4 " を超えた零電界領域内にありうる一部のその他の横方向に延びる表面上に集束してもよく、又必ずしも平坦である必要もない。表面は例えば円錐形の表面をもつことができる。上述の最適化手順は、望ましい表面で焦点の質を改善するために使用することができる。

【 0 0 6 7 】

上述の方程式 (2) に対する類推により、エネルギー E_i の電子の軌道が焦平面と交差する半径方向位置 r_i を以下のように表わすことができる。

30

【 0 0 6 8 】

$$r_i = c_0 + c_2 (\theta_s - \theta_0)^2 + \dots$$

なお式中、 c_0 及び c_2 は、エネルギーの関数である係数であり、 θ_s はビーム内の電子の発射仰角であり、 θ_0 はエネルギー分散が存在するときに焦点まで電子を導くのに必要な発射仰角である。 θ_0 に近い θ_s の値について、 $r_i = c_0$ で一次焦点が存在する。

【 0 0 6 9 】

表 6 は、56.6、80、113.1、160、226.3、320、452.5 及び 640 eV のエネルギーをもつ電子及び軸方向位置 $z_s = 0.6 R_1$ をもつ 5 R について図 8 の分析装置を用いて得られた θ_0 、 r_i 及び c_2 の値をまとめている。表 6 には又、相対的エネルギー分散 $E \, dr_i / dE$ 及び次の式から求められる無次元の性能指数 g_2 の計算上の値も示されている。

40

【 0 0 7 0 】

$$g_2 = c_2^{-1} E (dr_i / dE)$$

この表中の r_i 、 c_2 及び $E (dr / dE)$ の値は R_1 の単位で表わされている。

【 0 0 7 1 】

θ_0 がエネルギー範囲全体にわたり一定であるときに最適な条件が存在し、表 6 に列挙された θ_0 の値から、この条件がほぼ満たされていることがわかる。 θ_0 の値の変動は、ビームの標準的半角よりも小さく、この変動は、より狭いエネルギー範囲全体にわたり、さらに小さいものである。変動は、約 100 eV ~ 450 eV のエネルギー範囲内で特に小さ

50

い(0.2°)。

【0072】

表6に示されているように、 θ_0 の値は、エネルギーEが増大するにつれて単調に低減する。この挙動は、供給源の軸方向位置を変更することによって改変可能である。例えば、軸方向供給源位置 $z_s = 0.7 R_1$ であるときに θ_0 の浅い最小値が存在する(すなわち、それぞれエネルギーE = 80、226及び640 eVで $\theta_0 = 1.081$ 、 1.069 及び 1.071 である)。しかしながら、この場合、係数 c_2 は、エネルギーE < 80 eVで r_1 の最大値を可能にするには小さすぎるが、このエネルギー値ではほぼ2次的集束が存在し、そのため焦点サイズはなおも比較的小さいものである。従って、供給源位置を調整する上で幾分かの利点が存在するかもしれないが、実際には、最適な位置は、分析装置が利用さ

10

【0073】

供給源位置 $z_s = 0.6 R_1$ については、以下の式により r_1 の値をパラメータ化することが可能である。

【0074】

$$\ln r_1 = a + b \ln E + c (\ln E)^2$$

なお式中、a、b及びcはそれぞれ0.02353、0.06433及び0.03643である。

【0075】

図6～9を参照して記述された荷電粒子エネルギー分析装置は同様に、2次集束モードでも動作でき、かくして、改善されたエネルギー分解能で比較的狭いエネルギーバンドを分析することができる。

20

【0076】

2次集束は、上述の方程式(7)中の2次項がゼロであるときに起こり、この条件下で、電子の軌道が焦平面と交差する半径方向位置 r_1 は、以下のように表わすことができる：

$$r_1 = c_0 + c_3 (\theta_s - \theta_0)^3 + \dots$$

なお式中係数 c_0 及び c_3 は、エネルギーにより左右される。この状況下で、許容可能な仰角範囲は、一定の与えられたエネルギー分解能についてより大きなものである。

【0077】

図10は、2次集束モードにて動作する分析装置を示す。分析装置の幾何学的構成及び印加される電位は、図8を参考にして記述されたものと全く同じである。ただし、供給源の軸方向位置は、 $z_s = -0.8 R_1$ に設定されている。エネルギーE = 97.02 eVで発射仰角 $\theta_0 = 62.6^\circ$ であるときに、2次項がゼロとなり2次集束が起こるということがわかる。図10の分析装置においては、電子ビームの中間発射仰角 θ_s (上付きバー)は 62.2° 、ビームの半角は 3.7° であり、ビームは、導電グリッド又はメッシュの形をした左側端部ディスク2"内のウィンドウを介して静電界領域の中に入る。

30

【0078】

2次集束向け条件の連続的スペクトルが存在する。かくして一定の与えられた供給源位置 z_s (或る限定された範囲内の)について、2次集束向け条件を満たすE及び θ_0 の値を発見することが可能であり、いくつかの値が表7に列挙されている。この表に同様に示されているのは、相対的ED分散 $E dr_1 / dE$ と性能指数 g_2 の値である。

40

【0079】

表7から、供給源位置 $z_s = -0.6 R_1$ である場合、図6～8に例示されている「広エネルギー」1次集束モードで動作している場合の図6～8を参考にして記述された分析装置のエネルギー下限(40 eV)のすぐ下である38.4 eVにエネルギーがあるのであるときに、2次集束が起こることが分る。

【0080】

従って、軸方向供給源位置が固定されているこの状況下で、2次集束モードと組合わせて1次「広エネルギー」集束モードを使用することが可能である。

【0081】

50

最初、一次広エネルギー集束モードは、ビーム中の荷電粒子の比較的広いエネルギースペクトルを生成するために使用されることになり、加えられた電位は、このとき、スペクトル内の選択された狭いエネルギー範囲内に高分解能 2 次集束を生成するために適切に増減させることになる。

【 0 0 8 2 】

表 7 から明らかとなるように、2 次集束は、 r_i の比較的小さい値で発生する。従って、1 次及び 2 次動作モードが組合わせた形で使用されたとき、分析装置の内部半径方向部分は 2 次集束用に優位に使用されることになり、一方検出器の外部部分は、図 6 及び 8 に示されたように広エネルギー 1 次集束のためのみに使用されることになる。

【 0 0 8 3 】

図 1 ~ 1 0 を参照して記述された実施形態においては、内部及び外部電界規定要素は、長手方向軸 $z - z$ を中心として全方位角範囲にわたり延びている。

【 0 0 8 4 】

しかしながら、代替的には、内部及び外部電界規定要素は、より小さな方位角範囲にわたり広がっていてよい。この一例が図 1 1 a に示されている。この図は、この例では約 60° である長手方向軸における 1 つの角度 ψ を規定する円筒形セグメントの形をした内部及び外部電界規定要素 2'', 3'' を通して横断面図を示している。円筒形セグメントの弓形端縁部は環状セクターの形をした端壁によって接合され、円筒形セグメントの長手方向に延びる側縁部は、平坦な側壁 S_1 , S_2 によって接合されている。

【 0 0 8 5 】

この構造の内部に作り出される静電集束電界は、側壁における電位分布が（例えば上述の方程式（1）により定義される通りで）正しいことを条件として、図 1 ~ 1 0 を参照して記述されたものと全く同じ形状を有する可能性がある。必要とされる電位分布は、さまざまな異なるやり方で達成できる。例えば、側壁を電気抵抗の高い材料で作ることもでき、所要電位は、側壁の縁部に沿った異なる点で加えられる。

【 0 0 8 6 】

代替的には、側壁と交差する等電位線輪郭に適合するように整形されその各々に対し所要電位が適用される一連の導電性ライン又はストリップが表面上に被着させられた電気絶縁材料で側壁を作ることできる。このことは、図 1 1 b に示されている。

【 0 0 8 7 】

さらにもう 1 つの代替的アプローチでは、電気絶縁基板を使用する代りに、導電性ライン又はストリップを自己支持型でありうる。図 1 ~ 1 0 のいずれかを参照して記述された電界規定要素は、例えば図 1 1 を参照して記述された要領で比較的狭い方位角範囲にわたり使用するように修正可能であるということがわかるだろう。

【 0 0 8 8 】

【表 1】

10

20

30

Table 1

E	θ_0	Z_i/R_1	Edz_i/dE	ΔE
125	0.4674	1.455	0.855	0.22
200	0.4691	1.876	1.102	0.23
300	0.4703	2.349	1.380	0.23
500	0.4715	3.140	1.845	0.24
800	0.4722	4.136	2.430	0.37
1250	0.4719	5.416	3.182	0.51
2000	0.4704	7.262	4.267	1.41
3000	0.4679	9.429	5.540	4.34

10

【 0 0 8 9 】

20

【 表 2 】

Table 2

E	θ_0	z_i/R_1	Edz_i/dE
125	0.4760	1.46	0.780
200	0.4758	1.882	1.028
300	0.4762	2.354	1.318
500	0.4766	3.146	1.812
800	0.4766	4.142	2.460
1250	0.4758	5.422	3.329
2000	0.4740	7.267	4.622

30

【 0 0 9 0 】

40

【 表 3 】

Table 3

z_s/R_1	E	θ_0	z_t/R_1	
-2	43.5	0.435	1.136	
-1.5	123	0.471	1.483	
-1	201	0.519	2.001	10
0	410	0.574	3.144	
1	630	0.606	4.230	
2	854	0.622	5.287	
3	1082	0.635	6.328	
4	1315	0.642	7.367	
【 0 0 9 1 】				20
【 表 4 】				

Table 4

z_s/R_1	E	θ_0	z_t/R_1	
-2.5	1206	0.359	5.886	
-2.0	1223	0.386	5.988	
-1.0	1356	0.441	6.448	30
0.0	1556	0.494	7.102	
1.0	1763	0.538	7.807	
2.0	2009	0.573	8.630	
3.0	2281	0.598	9.471	
5.0	2862	0.631	11.35	
【 0 0 9 2 】				40
【 表 5 】				

Table 5

r	1	10	10	10	6	3	1	1	
z	0	0	1.5	3	3	3	3	1.5	
V	V_1	V_1	V_2	V_3	V_4	V_5	V_6	V_7	
Eqn(2)	0	0	-500	-1000	-778	-477	0	0	10
Emp	0	0	-291	-1000	-869	-455	69	-31	

【 0 0 9 3 】

【表 6】

Table 6

E	θ_0	r_i	c_2	Edr/dE	g_2	
56.6	1.0825	2.403	-5.51	0.861	0.156	20
80	1.0744	2.731	-7.61	1.048	0.138	
113.1	1.0711	3.134	-10.12	1.281	0.127	
160	1.0700	3.629	-12.92	1.575	0.122	
226.3	1.0698	4.236	-16.15	1.946	0.121	
320	1.0695	4.985	-19.73	2.416	0.123	30
452.5	1.0682	5.919	-23.69	3.018	0.127	
640	1.0653	7.103	-28.49	3.801	0.133	

【 0 0 9 4 】

【表 7】

Table 7

Z_s	E	θ_0	r_i	c_3	$E dr_i/dE$	g_3
-0.6	38.4	1.112	2.173	55.1	0.643	0.012
-0.7	66.5	1.104	2.657	44.0	0.915	0.021
-0.8	97.0	1.093	3.106	41.1	1.151	0.028
-0.9	133.3	1.089	3.571	38.4	1.392	0.036
-1.0	172.6	1.087	4.025	38.5	3.178	0.083

10

【図面の簡単な説明】

【図 1】 本発明に従った荷電粒子エネルギー分析装置の第 1 の実施形態の概略的縦断面図である。

【図 2】 200V 毎の段階で 0 ~ 3200V の範囲内の等電位線輪郭を示す図 1 の荷電粒子エネルギー分析装置の一部分の拡大図である。

20

【図 3】 本発明に従った荷電粒子エネルギー分析装置の第 2 の実施形態の概略的縦断面図である。

【図 4】 2 次軸対表面集束モードで動作する本発明に従った荷電粒子エネルギー分析装置の第 3 の実施形態の概略的縦断面図である。

【図 5】 2 次軸対表面集束モードで動作する本発明に従った荷電粒子エネルギー分析装置の第 4 の実施形態の概略的縦断面図である。

【図 6】 本発明に従った荷電粒子エネルギー分析装置の第 5 の実施形態の概略的縦断面図である。

【図 7】 50V 毎の段階での、-50 ~ -950V の範囲内の等電位線輪郭を示す、図 6 の荷電粒子エネルギー分析装置の一部分の拡大図である。

30

【図 8】 本発明に従った荷電粒子エネルギー分析装置の第 6 の実施形態の概略的縦断面図である。

【図 9】 50V 毎の段階で -50 ~ -800V の範囲内の等電位線輪郭を示す図 8 の荷電粒子エネルギー分析装置の一部分の拡大図である。

【図 10】 2 次集束モードで動作する本発明に従った荷電粒子エネルギー分析装置の第 7 の実施形態の概略的縦断面図である。

【図 11a】 本発明に従った荷電粒子エネルギー分析装置の第 8 の実施形態を通した横断面図である。

【図 11b】 図 11a の分析装置の側壁上の一定数の等電位線輪郭を示す図である。

40

【図 1】

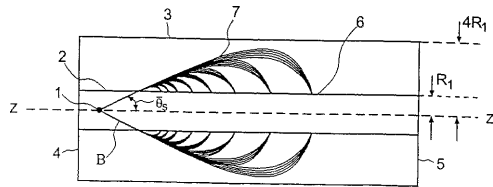


Figure 1

【図 2】

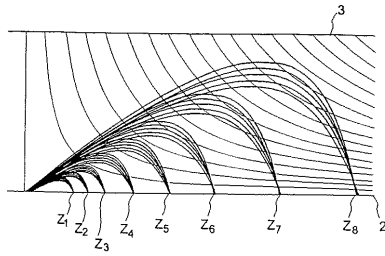


Figure 2

【図 3】

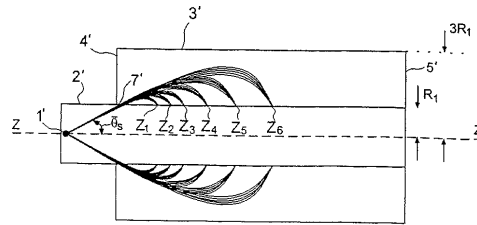


Figure 3

【図 4】

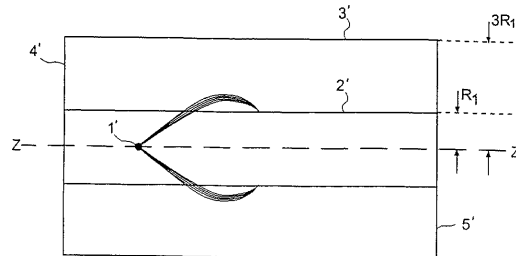


Figure 4

【図 5】

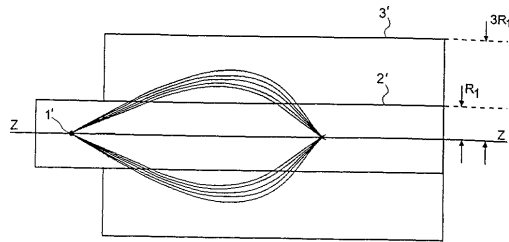


Figure 5

【図 7】

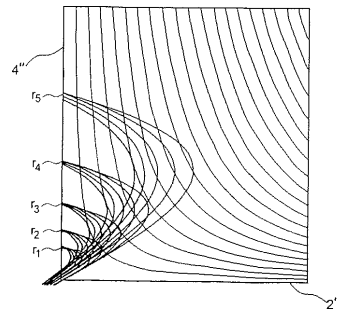


Figure 7

【図 6】

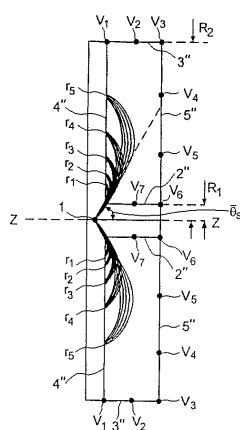


Figure 6

【図 8】

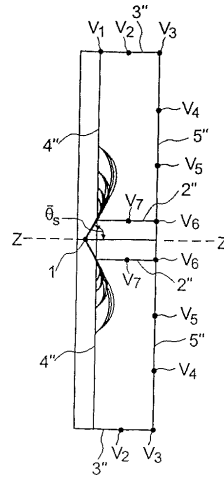


Figure 8

【図 9】

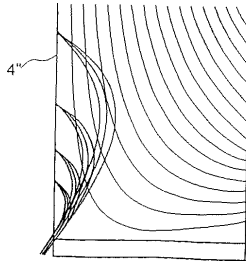


Figure 9

【図 10】

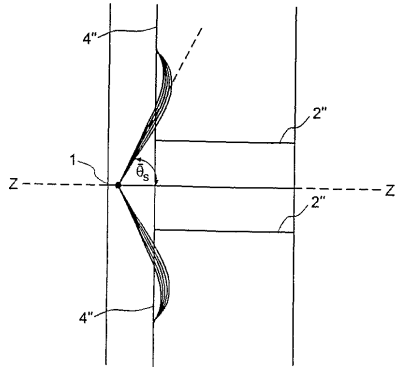


Figure 10

【図 11 a】

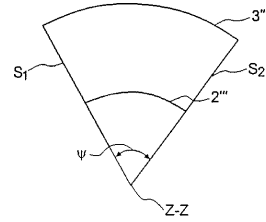


Figure 11 a

【図 11 b】

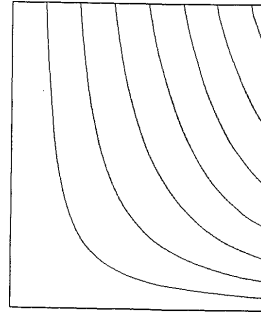


Figure 11 b

フロントページの続き

(74)代理人 100081330

弁理士 樋口 外治

(72)発明者 リード, フランク ヘンリー

イギリス国, チェシャー エスケー 1 1 0 エヌディー, マックレスフィールド フォレスト, ハーディングランド ファーム

審査官 佐藤 仁美

(56)参考文献 特開昭 4 8 - 0 3 2 5 8 8 (J P , A)

特表平 0 8 - 5 0 6 4 4 7 (J P , A)

(58)調査した分野(Int.Cl. , D B 名)

G01N23/227、H01J 40/00-49/48