

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2017年1月19日(19.01.2017)



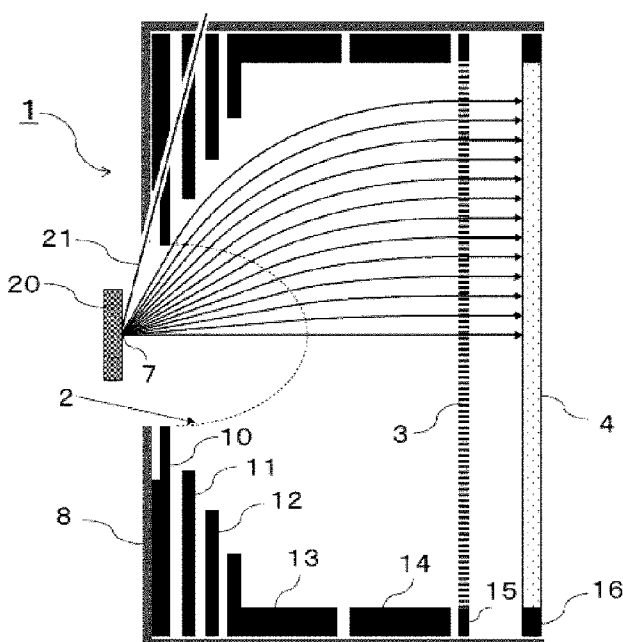
(10) 国際公開番号
WO 2017/010529 A1

- (51) 国際特許分類:
H01J 37/12 (2006.01) H01J 37/244 (2006.01)
H01J 37/05 (2006.01) H01J 37/252 (2006.01)
H01J 37/075 (2006.01) H01J 37/305 (2006.01)
H01J 37/09 (2006.01) H01J 43/24 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2016/070744
- (22) 国際出願日: 2016年7月13日(13.07.2016)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2015-141687 2015年7月15日(15.07.2015) JP
- (71) 出願人: 国立大学法人奈良先端科学技術大学院大学 (NATIONAL UNIVERSITY CORPORATION NARA INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY) [JP/JP]; 〒6300192 奈良県生駒市高山町 8 9 1 6 番地の 5 Nara (JP).
- (72) 発明者: 松井 文彦 (MATSUI, Fumihiko); 〒6300192 奈良県生駒市高山町 8 9 1 6 番地の 5 国立大学法人奈良先端科学技術大学院大学内 Nara (JP). 松田 博之 (MATSUDA, Hiroyuki); 〒6300192 奈良県生駒市高山町 8 9 1 6 番地の 5 国立大学法人奈良先端科学技術大学院大学内 Nara (JP).
- (74) 代理人: 特許業務法人グローバル知財 (THE PATENT CORPORATE BODY GLOBAL INTELLECTUAL PROPERTY); 〒6500024 兵庫県神戸市中央区海岸通 4 番地 新明海ビル 3 F Hyogo (JP).
- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW,

[続葉有]

(54) Title: ELECTROSTATIC LENS, AND PARALLEL BEAM GENERATION DEVICE AND PARALLEL BEAM CONVERGENCE DEVICE WHICH USE ELECTROSTATIC LENS AND COLLIMATOR

(54) 発明の名称: 静電レンズ、並びに、該レンズとコリメータを用いた平行ビーム発生装置及び平行ビーム収束装置



(57) Abstract: Provided is a compact device which captures, over a wide solid angle range, electrically charged particles emitted from a point source and parallelizes the trajectories of said charged particles. The present invention is configured from: an electrostatic lens comprising a plurality of axisymmetric electrodes (10-14) and an axisymmetric aspherical mesh (2) which has a surface that is concave away from the point source; and a flat collimator plate (3) positioned coaxially with the electrostatic lens. The acceptance angle for the electrically charged particles generated from a point source (7) is $\pm 30^\circ$ or greater. The shape of the aspherical mesh (2), and the potentials and the positions of a ground electrode (10) and application electrodes (11-15) are adjusted so that the trajectories of the electrically charged particles are substantially parallelized by the electrostatic lens. The electrostatic lens and the flat collimator plate are positioned on a common axis so that after the trajectories of the electrically charged particles have been substantially parallelized with respect to the axis, the charged particles enter the flat collimator plate (3) at an angle of incidence substantially perpendicular thereto.

(57) 要約:

[続葉有]

WO 2017/010529 A1



MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユー
ラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨー
ロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE,
ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV,
MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK,

SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ,
GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

点源から放出される荷電粒子を広立体角範囲にわたり取り込み、荷電粒子の軌跡を平行化するコンパクトな装置を提供する。点源に対し凹面状を有する軸対称な非球面メッシュ (2) および軸対称な複数の電極 (10 ~ 14) から成る静電レンズと、静電レンズと同軸に配置される平面コリメータプレート (3) とから構成される。点源 (7) から発生した荷電粒子の取り込み角が $\pm 30^\circ$ 以上で、荷電粒子の軌跡が静電レンズにより略平行化されるように、非球面メッシュ (2) の形状とアース電極 (10) と印加電極 (11 ~ 15) の電位及び配置が調整されている。荷電粒子の軌跡が軸に対して略平行化された後で、荷電粒子が平面コリメータプレート (3) に対して略垂直に入射するように、静電レンズと平面コリメータプレートが共軸に配置されている。

明 細 書

発明の名称：

静電レンズ、並びに、該レンズとコリメータを用いた平行ビーム発生装置
及び平行ビーム収束装置

技術分野

[0001] 本発明は、静電レンズとその静電レンズとコリメータを用いた平行ビーム発生装置及び平行ビーム収束装置に関するものであり、具体的には、XPS（光電子分光装置）、AES（オージェ電子分光装置）などの電子分光装置やLEED（電子回折）やPED（光電子回折）などの電子回折装置やイオン脱離角度分布測定装置に関する。

背景技術

[0002] 従来の同心球状の複数枚のグリッドと蛍光スクリーンを組み合わせた阻止電位型エネルギー分析器は、低速電子線回折観察やオージェ電子分光測定に広く用いられている。しかし、同心球状のグリッドを用いていることから荷電粒子を球面へ投影するため、平面のマイクロチャンネルプレートを用いて信号増幅することができないといった問題があった。また、阻止電位型エネルギー分析器は、ハイパスフィルター作用のため、シグナル対バックグラウンド比が悪く、光電子回折などの2次元角度分布測定には不向きであるといった問題もあった。そこで、軸対称の電極を用いて、2次元角度分布を平面に投影する阻止電位型エネルギー分析器が開発されている（特許文献1，2を参照）が、点源から発生した荷電粒子の取り込み角は $\pm 10^\circ$ と限られたものであった。

また、阻止電位型エネルギー分析器を、光電子回折測定に利用する際に障害となるのが蛍光X線である。阻止電位ではX線が除去できず、荷電粒子の取り込み角を大きくするほど蛍光X線の量が増え、バックグラウンドとなってしまうといった問題があった。

[0003] 一方で、電子分光装置では、エネルギーアナライザの入射部分に静電レン

ズが用いられることが多く、この静電レンズは、試料から放出される電子をできるだけ多く取り込み、その電子を減速させてからアナライザに入射させることにより、エネルギー分解能を向上させることができる。電子分光装置に限らず、材料表面分析および固体物性学基礎研究などにおいて、結晶表面から放出される電子による電子分光測定、電子回折、放出イオン角度分布測定などは、どれだけ大きな開き角の荷電粒子を取り込めるかで感度が決まるため、荷電粒子の取り込み角を大きくし、広立体角範囲にわたり測定できる技術が求められている。

また、荷電粒子の取り込み角が $\pm 30^\circ$ 未満であると、光電子回折や光電子ホログラフィーといった原子配列構造解析が困難であるが、取り込み角が $\pm 30^\circ$ 以上の広立体角の測定ができると原子配列構造解析が可能になる。

[0004] 通常の静電レンズでは、球面収差によって、大きな開き角のビームを一点に集束させることが困難であり、取り込み角は $\pm 20^\circ$ 程度が限界であったが、球面メッシュを用いることで感度を上げることが可能であり、取り込み角は $\pm 30^\circ$ 程度まで改善された（特許文献3を参照）。

また、非球面メッシュの負の球面収差補正作用を応用し、複数の電極を用いて最適な電場を作り出すことで、球面メッシュを用いるよりも広い取り込み角を実現できる球面収差補正静電型レンズが知られている（特許文献4を参照）。

[0005] しかし、図21に示すように、特許文献4に開示された球面収差補正静電型レンズ100では、負の球面収差を有する拡大虚像を形成するように配置された、試料プレート110に対して凹面形状を有する光軸対称な回転楕円面とした非球面メッシュ106と、その像面側に光軸に同軸に配置され、拡大虚像の実像を形成し正の球面収差を生じる収束電場を形成する同心面からなる複数の電極（101～105）を備える構成のため、レンズ自体が大掛かりなものとなり、試料プレート110から出射口107までの距離が大きく（ $L=0.5\text{ m}$ 程度）、試料プレート110および球面収差補正静電型レンズ100全体を格納する磁場遮蔽超高真空真空槽（図示せず）が大きくな

っていた。また、正の球面収差を生じる収束電場によって出射ビームは狭立体角の点源ビームとなり、出射口107から出射するため、例えば、エネルギー分析のために蛍光スクリーンに投射する場合は、出射口107から放出される電子を阻止電位または偏向電場（図示せず）で分析し、蛍光スクリーン（図示せず）に角度分布を投影する際に、一度、出口スリットに収束させる必要があるため、装置全体のコンパクト化が困難であった。

先行技術文献

特許文献

[0006] 特許文献1：米国特許公報US6492644

特許文献2：米国特許公報US6198095

特許文献3：特開平8-111199号公報

特許文献4：特許公報第4802340号

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0007] 上述の如く、通常の静電レンズでは、球面収差によって取り込み角は $\pm 20^\circ$ 程度が限界であったが、球面メッシュを用いることで感度を上げることが可能であり、さらに、非球面メッシュの負の球面収差補正作用を応用したレンズでは、複数の電極を用いて最適な電場を作り出すことで、より広い取り込み角を実現できている。

しかし、非球面メッシュの負の球面収差補正作用を応用し、正の球面収差を生じる収束電場によってビームを集束させるレンズはサイズが大きく、電子分光装置など装置に組み込む際に大きなスペースを必要とするといった不都合がある。

[0008] かかる状況に鑑みて、本発明は、点源から放出される荷電粒子を広立体角範囲にわたり取り込み、荷電粒子の軌跡を平行化できる静電レンズ並びにコンパクトな平行ビーム発生装置を提供することを目的とする。

また、本発明は、広い立体角の放射ビームを平行化して、光電子回折角度

分布の高感度および高エネルギー分解能を実現する装置を提供することを目的とする。

また、本発明は、上記の静電レンズを用いて、特定の運動エネルギーの平行荷電粒子流を一点に集光できるコンパクトな平行ビーム収束装置を提供することを目的とする。

課題を解決するための手段

[0009] 上記課題を解決すべく、本発明の静電レンズは、点源又は集光点に対し凹面状を有する軸対称または実質的に軸対称な非球面メッシュおよび軸対称または実質的に軸対称な単一乃至は複数の電極から成る静電レンズであって、下記（a）～（d）の特徴を備える。かかる特徴を備えることにより、点源から放出される荷電粒子を広立体角範囲にわたり取り込み、荷電粒子の軌跡を平行化できる。

（a）非球面メッシュは、メッシュ開口部の中心近傍からメッシュ中心の位置までを長軸とする回転楕円体、又は、メッシュ開口部近傍が内側に凸の曲率で広がる形状の実質的回転楕円体である。

（b）メッシュに接続されるメッシュ電極の開口部半径と、単一乃至は複数の電極の内、メッシュ電極に隣接する第一電極の開口部半径の比は、1.2以上1.6以下である。

（c）回転楕円体における長軸半径と短軸半径との比は、1.0より大きく2.0以下である。

（d）点源から発生した荷電粒子の取り込み角が $\pm 60^\circ$ で、荷電粒子の軌跡を光軸からのズレ角が $\pm 1^\circ$ 以下に平行化する。

[0010] 本発明の静電レンズにおいて、電極数はメッシュ電極を除いたものとし、減速比は荷電粒子の発生時の運動エネルギーに対する終端電極での運動エネルギーの比として、下記1)～5)の何れかを満たす。

1) 電極数が1で、減速比が0.1以上0.3以下の場合には、

回転楕円体における長軸半径と短軸半径との比が1.69以上1.89以下である。

2) 電極数が2で、減速比が0.1以上0.3以下の場合には、

回転楕円体における長軸半径と短軸半径との比が1.56以上1.76以下である。

3) 電極数が3で、減速比が0.1以上0.3以下の場合には、

回転楕円体における長軸半径と短軸半径との比が1.52以上1.72以下である。

4) 電極数が4で、減速比が0.1以上0.3以下の場合には、

回転楕円体における長軸半径と短軸半径との比が1.49以上1.69以下である。

5) 電極数が5以上で、減速比が0.1以上0.3以下の場合には、

回転楕円体における長軸半径と短軸半径との比が1.39以上1.59以下である。

[0011] さらに、本発明の静電レンズは、電極数によらず、上記の減速比が0.01以上0.1未満の場合には、回転楕円体における長軸半径と短軸半径との比が1.0より大きく1.5未満であることが好ましい。

[0012] 本発明の静電レンズにおいて、実質的回転楕円体のメッシュ形状は、同じ長軸半径と短軸半径の回転楕円体の形状と比べ、長軸からの半径方向のズレが半径距離の5%以下であり、点源とメッシュ形状表面とを結ぶ軸と長軸との成す角度が 40° より大きい位置に、上記半径方向のズレを角度について一階微分しプロットしたものの変曲点が存在する。

[0013] さらに、本発明の静電レンズにおいて、実質的回転楕円体のメッシュ形状は、多項式関数である下記の数式1で表されるd meshにより表されることが好ましい。ここで、下記数式1中、d meshは点源からメッシュ表面位置までの距離、距離 d_1 は点源から光軸上のメッシュ先端位置までの距離、距離 d_2 は点源からメッシュのエッジ位置までの距離、角度 θ と $\theta_{\max}$ はそれぞれメッシュ表面とメッシュのエッジ位置を決めるための光軸からのズレ角、 α は角度 θ の関数、 n は関数の次元数で、 w はパラメータ $a_1 \sim a_n$ によって決定されるパラメータである。

[0014] [数1]

$$d_{\text{mesh}} = d_2 + (d_1 - d_2) \sum_{i=1}^n (a_i/w) \cos^{(i)} \alpha \quad \dots (1)$$

$$\left(\alpha = \frac{\pi}{2} \theta / \theta_{\text{max}} , \quad w = a_1 + a_2 + \dots + a_n \right)$$

[0015] 次に、本発明の平行ビーム発生装置について説明する。

本発明の平行ビーム発生装置は、上述の本発明の静電レンズと、該レンズと同軸に配置される平面コリメータプレートとから構成される。そして、点源から発生した荷電粒子の取り込み角が $\pm 60^\circ$ で、荷電粒子の軌跡を光軸からのズレ角が $\pm 1^\circ$ 以下に平行化している。そして、荷電粒子の軌跡が軸に対して平行化された後で、荷電粒子が平面コリメータプレートに対して略垂直に入射するように、静電レンズと平面コリメータプレートが共軸に配置されている。

[0016] 上記構成によれば、点源から放出される荷電粒子を広立体角範囲にわたり取り込み、荷電粒子の軌跡を高い平行度で平行化するコンパクトな装置を実現することができる。本発明の平行ビーム発生装置は、小型化が可能であり、装置を取り囲む磁場遮蔽超高真空真空槽も小さくでき、装置コストも抑えることができる。

本発明の静電レンズによって、点源から放出される荷電粒子を広立体角範囲にわたり取り込み、荷電粒子の軌跡を高い平行度で平行化する。平行化された荷電粒子は、平面コリメータプレートに略垂直に入射することにより、さらに平行化の度合いが向上する。

[0017] ここで、平面コリメータプレートは、平板に設けられた細いスリットや小さい細孔からビームをとり入れて、平行なビームのみを選別するものである。

本発明の平行ビーム発生装置は、電極に負電位を印加すれば電子の分析を、正電位を印加すれば陽イオンの分析ができる。電極電位は、直流電源 1 k

Vに対して50mV以下の精度で安定した制御を行う。

[0018] 上記の平面コリメータプレートは、特定の運動エネルギーの荷電粒子のみを選別するバンドパスフィルターとして機能することが特徴である。

バンドパスフィルターとして機能することで、蛍光スクリーンを用いてスクリーンに投影される強度分布をそのまま特定のエネルギーの角度分布模様のデータとして取り扱うことができる。バンドパスフィルターの分解能としては、 $\Delta E / E = 0.5 \sim 1\%$ 程度である。

平面コリメータプレートが、バンドパスフィルターとして機能するためには、上述の静電レンズによって、特定のエネルギーの荷電粒子の軌跡のみが平行化され、平面コリメータプレートに入射することが必要である。

[0019] 本発明の平行ビーム発生装置において、平板に微小な光電子増倍管を束ねた平面マイクロチャネルプレートが更に設けられ、上述の平面コリメータプレートから出射する特定の運動エネルギーの荷電粒子をアバランシェ電流により増幅することでも良い。

アバランシェ電流により増幅することにより、高感度測定が可能である。

[0020] 本発明の平行ビーム発生装置における平面コリメータプレートは、アスペクト比（孔径と孔長の比）1：5乃至1：20である細孔が開口率50%以上で設けられたことが好ましい。

アスペクト比が大きいほど、平面コリメータプレートから出射するビームの平行度が増すことになる。また、開口率が透過率に影響するため、開口率は大きく方が良い。

例えば、アスペクト比が1：10で、開口率50%以上の場合において、コリメータ径50mmに対して、孔径50 μ mの場合は、角度分解能の上限が、0.1°となる（角度分解能が約0.1°となる）。コリメータの半径25mmが出射角度50°に対応し、角度分解能の上限は50° / (25mm / 50 μ m) = 50° / 500 = 0.1°となる。

[0021] 本発明の平行ビーム発生装置において、上記の電極および平面コリメータプレートの電位を掃引する掃引手段が更に設けられたことでも良い。

電極および平面コリメータプレートの電位を掃引することにより、荷電粒子の角度分布のスペクトルを効率的に測定できる。

[0022] 上述の本発明の平行ビーム発生装置において、蛍光スクリーンとカメラ手段が更に設けられ、上述の平面コリメータプレートから出射する特定の運動エネルギーの荷電粒子を、蛍光スクリーン上で輝点に変換してカメラ手段で画像計測することでも良い。

特定の運動エネルギーの荷電粒子が蛍光スクリーン上で輝点に変換され、カメラにより2次元分布模様として画像計測できる。また、平面コリメータプレートは、蛍光スクリーンに角度分布を投影する際の出口スリットの役割を担うことになる。小型で簡便な高エネルギー分解能の投影型分析器を実現でき、様々な分析に応用できる。これにより角度分布測定分析装置として用いることができる。

角度分布測定分析装置において、ディレイライン検出器 (delay line detector) が更に設けられ、上述の平面コリメータプレートから出射する特定の運動エネルギーの個々の荷電粒子の出射角方向と到達時間を、ディレイライン検出器で個別に計測して時間分解画像計測することでも良い。

[0023] パルス励起源とそれに同期したディレイライン検出器を設けることで、平面コリメータプレートから出射する特定の運動エネルギーの個々の荷電粒子の出射角方向と到達時間を、ディレイライン検出器で個別に計測して時間分解画像計測することができる。これにより、荷電粒子の出射角度分布の計測と同時に、各粒子が励起後、いつ放出されたかという時間情報が得られるといった利点がある。

[0024] 上述の角度分布測定分析装置において、グリッドに印加する直流電圧を変化させて、グリッドを通過する荷電粒子による電流の変化をロックイン検出する平面阻止電位グリッドが更に設けられ、平面コリメータプレートから出射する特定の運動エネルギーの荷電粒子を検出することでも良い。

平面阻止電位グリッドと組み合わせ、ロックイン検出することにより、更に高エネルギー分解能 ($\Delta E / E = 0.01 \sim 0.1\%$) の測定が実現でき

る。平面コリメータプレートによるバンドパスフィルターのエネルギー分解能は相対値となり、1%のエネルギー分解能の場合、100 eVに対して1 eV、1 keVに対して10 eVの分解能となる。また、ロックイン検出による測定のエネギー分解能は変調電場で決まる絶対値となり、100 mVの変調電場の場合、100 eVに対して0.1%、1 keVに対して0.01%の分解能となる。従来の阻止電場型の装置では、S/B比 (Signal/Background ratio) が悪いのと平面のマイクロチャンネルプレートによる増幅ができないため、ロックイン検出では、変調電場は1 Vから10 Vを使用する。本発明における平面コリメータプレートによるバンドパス方式では、高S/B比、高増幅が可能となるため、変調電場を100 mVまで小さくすることが可能である。

[0025] 上述の角度分布測定分析装置は、上述の本発明の平行ビーム発生装置が、荷電粒子エネルギーの放出角度分布分析装置として組み込まれた電子分光装置、電子回折装置、光電子分光装置、光電子回折装置、陽電子分光装置、陽電子回折装置、イオン脱離角度分布測定装置、結晶構造分析装置、材料表面分析装置、及び固体物性分析装置の何れかである。

[0026] 本発明の精密イオンエッチング装置は、上述の本発明の平行ビーム発生装置が、単一エネルギーの大口径平行イオンビーム源として組み込まれ、イオンエッチングもしくはイオンスパッタリングを行う。

従来、大面積の試料表面をイオンスパッタする際、集束イオンビームを2次元走査するか、或は、非集束させビーム径を大きくしていたが、いずれの場合も、中心から離れた場所ではビームが試料表面に垂直に当たらないため、例えば、マスクを用いたパターン加工の際、端部がだれてしまい、高アスペクト比の成型は困難であった。本発明の平行ビーム発生装置では、広立体角範囲でイオンを取り込み、単一の運動エネルギーの大口径平行イオンビームを生成することが可能であり、生成された大口径平行イオンビームによる表面照射によって、マスクを用いたパターン加工の際に、端部がだれることなく、高アスペクト比の成型ができ、形状の精密制御エッチングを可能とす

る。

[0027] 本発明の広立体角X線検出器は、蛍光スクリーンとカメラ手段が設けられた本発明の平行ビーム発生装置において、平面コリメータプレートを負電位、蛍光スクリーンを正電位として、平面コリメータプレートで発生する電子を増幅するものである。

かかる構成によれば、広立体角のX線検出器を実現できる。

[0028] 本発明の他の観点によれば平行ビーム収束装置が提供される。平行ビーム収束装置は、上述の本発明の静電レンズと、静電レンズと同軸に配置される平面コリメータプレートとから構成され、平面コリメータプレートに対して略垂直に入射する特定の運動エネルギー荷電粒子の出射後の軌跡が、静電レンズにより集光点に集光するように、静電レンズと平面コリメータプレートが共軸に配置されている。

上述の本発明の平行ビーム発生装置において、入口と出口を逆にすると、コリメータプレートにより特定の方向の荷電粒子流を取り出して、特定のエネルギーの粒子だけを静電レンズで一点に集光し強度を計測する平行ビーム収束装置として利用することができるのである。

[0029] 本発明の他の観点の平行ビーム収束装置における平面コリメータプレートは、アスペクト比（孔径と孔長の比）1：5乃至1：20である細孔が開口率50%以上で設けられたことでも良い。

[0030] 本発明の荷電粒子流方位・エネルギー計測装置は、上述の本発明の他の観点の平行ビーム収束装置が複数配置され、平面コリメータプレートが、特定の運動エネルギーの荷電粒子のみを選別するバンドパスフィルタとして機能し、平面コリメータプレートにより特定方向の荷電粒子流を取り出し、特定のエネルギーの粒子だけを静電レンズにより一点に集光させてエネルギー強度を計測するものである。

発明の効果

[0031] 本発明の平行ビーム発生装置によれば、試料から放出される特定の運動エネルギーの荷電粒子の強度角度分布を立体角 $\pm 60^\circ$ 程度まで平面に投影で

きるといった効果がある。感度は取り込み立体角に比例するので、大幅な感度と機能の向上を図ることができる。すなわち、広い立体角の放射ビームを平行化できるようになり、光電子回折角度分布の高感度・高エネルギー分解能が達成できるといった効果がある。

[0032] 本発明の平行ビーム発生装置によれば、平面コリメータプレートでのエネルギー分解能は、励起ビームを微小にすることで向上でき、例えば、 $100\mu\text{m}$ 以下の収束ビームを励起ビームとして用いた場合、エネルギー分解能 $1.0\sim 0.5\%$ を達成できるという効果がある。

また、本発明の平行ビーム発生装置は、小型化が可能であり、他の分析器に組み込むのが容易であり、例えば、SEM（走査電子顕微鏡）と組み合わせると特定のエネルギーのみ選別する元素選択的な結晶構造観察を実現できる。

[0033] また、上記の平行ビーム発生装置において、入口と出口を逆にした本発明の平行ビーム収束装置によれば、コリメータプレートにより特定の方向の荷電粒子流を取り出して、特定のエネルギーの粒子だけを静電レンズで一点に集光し強度を計測できる。

図面の簡単な説明

[0034] [図1]実施例1の平行ビーム発生装置の構成図

[図2]点源からの取り込み角と荷電粒子の軌跡の角度の説明図

[図3]電極配置の説明図

[図4]非球面メッシュの形状説明図

[図5]異なるエネルギーの電子の軌跡の説明図（1）

[図6]異なるエネルギーの電子の軌跡の説明図（2）

[図7]平面コリメータプレートの透過率を示す図

[図8]異なる出射位置の電子の軌跡の説明図

[図9]静電レンズにおける電極数の違いについての説明図

[図10]実施例4の角度分布測定分析器の構成図

[図11]実施例5の広立体角X線検出器の構成図

- [図12]実施例7の静電レンズ（電極数1）の荷電粒子の軌跡と平行度
[図13]実施例7の静電レンズ（電極数2）の荷電粒子の軌跡と平行度
[図14]実施例7の静電レンズ（電極数3）の荷電粒子の軌跡と平行度
[図15]実施例7の静電レンズ（電極数4）の荷電粒子の軌跡と平行度
[図16]実施例7の静電レンズ（電極数5）の荷電粒子の軌跡と平行度（1）
[図17]実施例7の静電レンズ（電極数5）の荷電粒子の軌跡と平行度（2）
[図18]実施例8の静電レンズ（電極数2）の荷電粒子の軌跡と平行度
[図19]実施例8の静電レンズ（電極数2）の非球状メッシュ形状の説明図
[図20]実施例8の静電レンズ（電極数2）の非球状メッシュ形状の特徴説明図
[図21]先行技術の球面収差補正静電型レンズの構成図

発明を実施するための最良の形態

- [0035] 以下、本発明の実施形態の一例を、図面を参照しながら詳細に説明していく。なお、本発明の範囲は、以下の実施例や図示例に限定されるものではなく、幾多の変更及び変形が可能である。

実施例 1

- [0036] 図1は、本発明の平行ビーム発生装置の一実施形態を示している。本発明の平行ビーム発生装置は、点源7に対し凹面状を有する軸対称な非球面メッシュ2および軸対称な5つの電極（10～14）から成る本発明の静電レンズと、この静電レンズと同軸に配置される平面コリメータプレート3と、蛍光スクリーン4と、それらを格納する磁気遮蔽カバー8から構成されている。

試料プレート20に対して励起ビームを照射すると、照射点となる点源7から一定の開き角をもって、荷電粒子（電子あるいはイオン）が放出される。

本実施例の平行ビーム発生装置では、点源7から発生した荷電粒子の取り込み角は $\pm 58^\circ$ 程度まで、荷電粒子の軌跡が静電レンズにより平行化されるように、非球面メッシュ2のメッシュ形状と5つの電極（10～14）の

電位及び配置が調整されている。そして、荷電粒子の軌跡が軸に対して平行化された後で、荷電粒子が平面コリメータプレート 3 に対して垂直に入射するように、静電レンズと平面コリメータプレート 3 とが共軸に配置される。

[0037] 励起ビームは、励起ビーム誘導管 21 によって試料プレート 20 に照射されることで、点源 7 から発生した荷電粒子との干渉がないようにしている。点源 7 から発生した荷電粒子の取り込み角は $\pm 58^\circ$ 程度の場合、励起ビーム誘導管 21 は、試料プレート 20 に対して、励起ビームの入射角が 75° 以上になるように配置される。

図 1 に示すように、蛍光スクリーン 4 を設けて、平面コリメータプレート 3 から出射する特定の運動エネルギーの荷電粒子を、蛍光スクリーン 4 によって輝点に変換し、それをカメラで画像化しエネルギー分布を計測することができる。

[0038] 図 2 を参照して、点源からの取り込み角と荷電粒子の軌跡の角度について説明する。図 2 (1) (2) の横軸 (Initial angle) は、点源から放出される荷電粒子の取り込み角 (立体角) を示しており、図 2 (1) の縦軸はコリメータ中心からの距離 (Xf)、図 2 (2) の縦軸 (Final angle) は、平面コリメータプレート 3 に入射する荷電粒子の軌跡の角度を示している。角度は、共に、試料プレートに対して垂直な軸からの角度である。本実施例の平行ビーム発生装置では、平行化できる取り込み角の範囲が $0 \sim \pm 58^\circ$ であり、点源から放出される荷電粒子に対して、横軸 (Initial angle) が $0 \sim 60^\circ$ までの荷電粒子の内、平面コリメータプレート 3 に入射する荷電粒子の軌跡の角度は 58° 程度までは 0° (すなわち軸と平行) であるが、 58° より大きくなると角度が 0° から外れ、平行でないことが示されている。

[0039] 例えば、試料プレート 20 として単結晶表面、励起ビームとして X 線を用いて、点源 7 から電子を放出する場合について説明する。本実施例の平行ビーム発生装置では、点源 7 から放出される電子のエネルギーが 1000 eV で、取り込み角の範囲が $0 \sim \pm 58^\circ$ までは電子ビームを平行化できる。

[0040] 電極の配置と電位について一例を説明する。それぞれの電極 10 ~ 15 は

、同軸のリング状の電極である。静電レンズを構成する5つの電極（10～14）の内、図3に示すように、電極10は、非球面メッシュ2と接続されており、0Vとなるようにアースに繋がれている。これは、試料プレート20と同電位とするためである。3つの電極11～13は、順番に、点源7から遠ざかるように配置され、かつ、電子ビームの外周の外側に電極の先端部が配置されるように、電極の長さが短くなっている。電極14は、最も離れた位置に配置され、軸方向に長く伸びた形状となっている。また、電極15は、平面コリメータプレート3に接続されている。

[0041] エネルギーが $x \text{ keV}$ の電子ビームを平行化するケースにおける各々の電極の電位は、電極10が0V、電極11が $-520x \text{ V}$ 、電極12が $-780x \text{ V}$ 、電極13が $-888x \text{ V}$ 、電極14が $-914.5x \text{ V}$ 、電極15が $-950x \text{ V}$ である。

[0042] 次に、図4を参照して、非球面メッシュの形状について説明する。非球面メッシュ2は、メッシュ開口部の中心付近からメッシュ中心の位置までを長軸とする略回転楕円体（図中のA）で、メッシュ開口部付近（図中のB）は内側に凸の曲率で広がる形状である。

点源から放出する荷電粒子に対して、相対的に中心軸方向の力が増大するように電場を生成すべく、メッシュの形状は球面ではなく、軸方向に長軸をもつ回転楕円面に近い形状としている。

[0043] 図5、図6を参照して、図1に示す平行ビーム発生装置において、電極の配置および電位が同じで、 1000 eV とは異なるエネルギーの電子の軌跡について説明する。

図5は 1030 eV のエネルギーの電子の軌跡であり、図6は 970 eV のエネルギーの電子の軌跡である。

各々の電極の電位は、図1の場合と同じで、電極10が0V、電極11が -520 V 、電極12が -780 V 、電極13が -888 V 、電極14が -914.5 V 、電極15が -950 V である。

図5（1）及び図6（1）に示す電子の軌跡と、図5（3）及び図6（3）

）に示すグラフからわかるように、電子のエネルギーが大きくなれば、平行よりも広がるビームになっており、反対に、電子のエネルギーが小さくなれば、平行よりも収束するビームになっている。

[0044] 図7を参照して、平面コリメータプレートの透過率について説明する。図7(1)は、アスペクト比(孔径と孔長の比)1:5である細孔が設けられた平面コリメータプレートの透過率(点源の場合)を示している。また、図7(2)～(6)は、それぞれアスペクト比(孔径と孔長の比)1:10、1:20、1:30、1:40、1:50である細孔が設けられた平面コリメータプレートの透過率(点源の場合)を示している。特に出射角(極角)が大きくなると特定のエネルギー以外に対する透過率が抑制され、平面コリメータプレートだけで十分なエネルギー分解能を有するバンドパスフィルターの機能が得られることを示している。

[0045] 図8は、図1に示す平行ビーム発生装置において、1000 eVの電子のエネルギー、電極の配置および電位が同じで、試料プレートに励起ビームを照射する範囲を拡げて、電子の出射位置を異なられた場合(点源の位置を0として、 $\pm 0.5\text{ mm}$ 、 $\pm 1.0\text{ mm}$)の電子の軌跡を示している。この場合、平面コリメータプレートに入射する電子の回折面は平面でなく曲面となる。軸上の電子ビームの収束角は、 $\pm 9.7^\circ$ となり、エネルギーだけでなく位置も選択することがわかる。本実施例の平行ビーム発生装置によれば、 $100\text{ }\mu\text{m}$ 以下の収束ビームを励起ビームとして用いた場合、エネルギー分解能1.0～0.5%を達成できる。逆に弾性散乱成分が主となる電子回折では、ビーム径が大きくても $100\text{ }\mu\text{m}$ 以下の領域の電子回折模様を選択的に計測することができる。

実施例 2

[0046] 次に、実施例1の平行ビーム発生装置において、静電レンズの電極数が異なる場合について図9を参照して説明する。

図9(1)～(5)は、同一形状の非球面メッシュを用いた静電レンズにおいて、入射角 75° の入射光による点源から出射する電子の軌跡を示して

いる。入射角 75° の入射光は、出射電子の通路と干渉しないようにするためである。図 9 (1) ~ (5) は、静電レンズの電極数がそれぞれ異なっている。非球面メッシュに接続されるメッシュ電極はアース電位に固定され、マイナス電位の電極が単一あるいは複数配置されている。すなわち、メッシュ電極以外の電極は、マイナス電位になっている。図 9 (1) は電極数が 1、図 9 (2) は電極数が 2、図 9 (3) は電極数が 3、図 9 (4) は電極数が 5、図 9 (5) は電極数が 6 である。なお、図 9 において、アース電位に固定されているメッシュ電極は電極数から除いている。

シミュレーションの結果、点源からの出射角度 60° 付近までを確実に平行化するためには、図 9 (4) 又は図 9 (5) の 5 電極以上が必要である。しかしながら、汎用の用途であれば、図 9 (1) の単一の電極でも略平行化できており、十分に実用化可能であることを確認した。

[0047] 次に、平行ビーム発生装置において、電極数の異なる実施例に応じて非球面メッシュの形状の最適化を行った。

電極数が多くなるにつれ、長軸対短軸の比が小さくなり、球面に近づく。メッシュ開口部付近の内側に凸の曲率で広がる形状を導入することにより、点源からの出射角度 60° 付近までを確実に平行化することができる。

実施例 3

[0048] 図 1 に示す平行ビーム発生装置を、単一エネルギーの大口径平行イオンビーム源として組み込んだイオンエッチング装置について説明する。

イオンエッチング (Ion Etching) 装置は、半導体微細素子製作、切削工具、部品等のコーティング皮膜除去、微細バリ除去、先端形状加工、金属材料表面に付着した汚れ除去、金属材料表面の活性化を行うものであり、イオンビーム源から出射したイオンビームを、エッチング材料表面の原子と化学反応させ、或は、エッチング材料表面を物理化学的に削り、材料表面の形状をエッチングする。

[0049] 上述の如く、実施例 1 又は実施例 2 の平行ビーム発生装置を用いることにより、広立体角範囲でイオンを取り込み、単一の運動エネルギーの大口径平

行イオンビームを生成することができる。すなわち、実施例 1 又は実施例 2 の平行ビーム発生装置を用いることにより、イオンエッチング装置のイオンビーム源を、単一エネルギーの大口径平行イオンビーム源にすることが可能になる。これにより、イオンビームの中心から離れた場所でも、イオンビームが試料表面に垂直に当たるため、マスクを用いたパターン加工の際にも端部がだれることがなく、高アスペクト比の成型ができ、形状の精密制御エッチングが可能である。また単一エネルギーのイオンを用いるとエッチングの速度を制御することが容易になり、エッチングする薄膜の厚さを制御することも可能となる。

実施例 4

[0050] 図 10 は角度分布測定分析器の構成図を示している。本実施例の角度分布測定分析器は、実施例 1 の平行ビーム発生装置において、平面コリメータプレート 3 と蛍光スクリーン 4 の間に、阻止電位グリッド 32 と平面マイクロチャンネルプレート 31 を設け、グリッド 32 に印加する直流電圧を変化させて、グリッド 32 を通過する荷電粒子による電流の変化をロックイン変調電場 30 によってロックイン検出するものである。ロックイン検出することにより、平面コリメータプレート 3 から出射する特定の運動エネルギー荷電粒子のエネルギー分解能 ($\Delta E/E$) を 0.1 ~ 0.01 % に向上することができる。

[0051] 従来の阻止電場型の装置では、S/B 比 (Signal/Background ratio) が悪く、平面のマイクロチャンネルプレートによる増幅が困難であり、ロックイン検出では、変調電場は 1 V から 10 V を使用しているのに対して、図 10 は角度分布測定分析器では、平面コリメータプレート 3 によるバンドパスフィルター機能により、高 S/B 比、高増幅が可能となり、変調電場を 100 mV まで小さくすることができる。また、平面のマイクロチャンネルプレートを用いて信号増幅することができる。なお、平面コリメータプレート 3 によるバンドパスフィルターのエネルギー分解能は相対値であり、1% のエネルギー分解能の場合、100 eV に対して 1 eV、1 keV に対して 10 e

Vの分解能となる。また、ロックイン検出による測定のエネルギ分解能は変調電場で決まる絶対値となるので、100 mVの変調電場の場合、100 eVに対して0.1%、1 keVに対して0.01%の分解能となるのである。

実施例 5

[0052] 図11は広立体角X線検出器の構成図を示している。本実施例の広立体角X線検出器は、実施例1の平行ビーム発生装置において、平面コリメータプレート3を負電位、蛍光スクリーン4を正電位とし、平面コリメータプレート3で発生する電子を増幅するX線検出器について説明する。

X線や電子線で内殻準位を励起すると、生成された内殻空孔に価電子などが緩和し、その余剰のエネルギーを得てオージェ電子や蛍光X線が放出される。平均自由行程の短いオージェ電子は試料表面付近から、平均自由行程の長い蛍光X線は結晶内部からも放出される。X線吸収分光測定では、X線の吸収強度に比例してオージェ電子と蛍光X線が同時に放出されるが、これまで別の検出器を用いてオージェ電子収量法X線吸収測定と蛍光X線収量法X線吸収測定が行われてきた。蛍光X線は、電場に関わらず直線状に進むので、従来の球面メッシュを用いた阻止電位型電子分析器ではすべて蛍光スクリーンに到達し除去することはできない。

[0053] 上述の実施例4では、平面コリメータプレート3と阻止電位グリッド32を組み合わせることにより、直線状に進む蛍光X線の進路を妨げることで、オージェ電子の分析時に蛍光X線を除去することを可能にする。逆に、本実施例5では、平面コリメータプレート3に負電位を印加してオージェ電子を阻止し、阻止電位グリッド32と蛍光スクリーン4に正電位を印加することにより、蛍光X線の信号強度を平面コリメータプレート3で電子に変換することができ、広い立体角のX線検出器として用いることを可能にする。

このように、本発明では印加する電場を反転させるだけで同じ検出器でオージェ電子と蛍光X線を計測することができ、表面と結晶内部の深さに依存したX線吸収分光の情報が得られる検出器となるのである。

[0054] ここで、X線検出の際には、X線を平面コリメータプレート3で電子に変換した後に増幅する必要があるため、平面マイクロチャンネルプレート31を設けて電子を増幅している。一方、X線除去の際には、逆にX線から発生した電子を跳ね返すために必要であり、阻止電位グリッド32を設けている。なお、図11の構成では、電極11～14をアースに接続し、電極15を負電位にしているが、電極11～15の全てを負電位にしても構わない。

実施例 6

[0055] 図1に示す平行ビーム発生装置の出入口を逆にして、平面コリメータプレート3により特定の方向の荷電粒子流を取り出して、特定のエネルギーの粒子だけを静電レンズで一点に集光し強度を計測できる平行ビーム収束装置について説明する。

平行ビーム収束装置は、図1に示す構成と同様に、集光点に対し凹面状を有する軸対称な非球面メッシュ2および軸対称な単一乃至は複数の電極から成る静電レンズと、静電レンズと同軸に配置される平面コリメータプレート3とから構成され、平面コリメータプレート3に対して略垂直に入射する特定の運動エネルギー荷電粒子の出射後の軌跡が、静電レンズにより集光点に集光するように、非球面メッシュ2の形状とアース電極10と印加電極（11～15）の電位及び配置が調整されている。

[0056] 但し、平行ビーム収束装置では、平行ビーム発生装置の場合と比べて出入口が逆になる。また、平行ビーム収束装置では、平行ビーム発生装置の場合と比べて、蛍光スクリーン4及び励起ビーム誘導管21は不要である。

各電極10～15の電位は、実施例1の場合と同じで、電極10が0V（アース電位に固定）、電極11が-520V、電極12が-780V、電極13が-888V、電極14が-914.5V、電極15が-950Vである。

[0057] ここで、平面コリメータプレート3が、特定の運動エネルギーの荷電粒子のみを選別するバンドパスフィルターとして機能し、平面コリメータプレートに入射する特定方向の荷電粒子流を取り出す。平面コリメータプレート3

は、アスペクト比（孔径と孔長の比）1 : 10の細孔が開口率50%以上設けられている。

非球面メッシュの形状は、メッシュ開口部の中心付近からメッシュ中心の位置までを長軸とする略回転楕円体で、メッシュ開口部付近は内側に凸の曲率で広がる形状である。

実施例 7

[0058] 実施例7, 8では、静電レンズの実施態様について説明する。

本発明の静電レンズでは、光学系は複数の電極からなり、そのうち少なくとも1つに、物面に対して凹面形状を有する非球面メッシュが設けられる。この非球面メッシュは、点源から出た荷電粒子を広い立体角度にわたって取り込み、取り込んだ荷電粒子の軌道を高い平行度で平行化する。

[0059] 非球面メッシュの形状は、点源から発生した荷電粒子の取り込み角が $\pm 60^\circ$ で、荷電粒子の軌跡を光軸からのズレ角が $\pm 1^\circ$ 以下に平行化する場合であって、それほど高い平行度を必要としない場合は、メッシュ形状を回転楕円面によって設計することができる。

また、アース電位に固定されたメッシュ電極を除く電極数について、平行化する取り込み角が $\pm 50^\circ$ 程度以下でよい場合や、あまり高い平行度を必要としない場合は、最少で1つでも構わない。

以下では、非球面メッシュの形状を回転楕円面で設計されるもので、電極数が1～5の静電レンズについて、それらの荷電粒子の軌跡と平行度について説明する。

[0060] 図12は、電極数1の静電レンズの一例である。非球面メッシュの形状は、回転楕円体によって設計され、その回転楕円体における長軸半径と短軸半径との比（以下、長軸短軸比と略する）は、1.79である。各電極の印加電圧は、1 keVの電子に対して、メッシュ電極（G）が0V、第一電極（EL1）が-775Vである。

図12（1）は光軸を含む断面図であり、太い実線によって電極および非球面メッシュの内面形状を表している。点線は等電位線、細い実線は荷電粒

子の軌道を表している。入射角は 5° ステップで $-55^\circ \sim 55^\circ$ まで描いている。

メッシュ電極 (G) には、回転楕円面形状のメッシュが接続されている。回転楕円面の長軸短軸比は 1.79 としている。第一電極 (EL1) の終端部は、平面コリメータに対応する。メッシュ電極 (G) と第一電極 (EL1) に印加される電圧は、 1 keV の電子に対して、それぞれ、 0 V と -775 V である。

図12(2)は、図12(1)に示した荷電粒子の軌道の終点での角度(光軸からの角度)を、非球面メッシュへの入射角(Initial angle)に対してプロットしたものである。入射角 $-55^\circ \sim 55^\circ$ の荷電粒子が、光軸とのなす角度が 0.8° 程度まで平行化されることがわかる。

[0061] 平行化のためには、メッシュの形状とともに、電極をどのように配置するかが重要である。特に、メッシュ電極 (G) と第一電極 (EL1) の位置関係が重要になる。計算によると、メッシュ電極 (G) と第一電極 (EL1) の開口部半径をそれぞれ $R1$ 、 $R2$ とすると(図12(1)参照)、 $R2/R1$ は、 $1.2 \sim 1.6$ 程度が好ましい態様である。図12に示す静電レンズの場合は、 $R2/R1 = 1.42$ である。後述する図13~18に示す静電レンズは、いずれも $R2/R1 = 1.42$ である。

[0062] 図13は、電極数2の静電レンズの一例である。非球面メッシュの形状は、回転楕円体によって設計され、その回転楕円体における長軸短軸比は、 1.66 である。各電極の印加電圧は、 1 keV の電子に対して、メッシュ電極 (G) が 0 V 、第一電極 (EL1) が -680 V 、第二電極 (EL2) が -820 V である。

図13(1)に示す電極数2の静電レンズは、図12(1)における第一電極 (EL1) をメッシュ電極 (G) の側で2つに分割したものである。荷電粒子の軌跡ついて、図13(1)と図12(1)とを比較すると、図12(1)では、平行化の結果、軌道間隔が広角度側でかなり狭くなっているのに対し、図13(1)では、平行化の結果、軌道間隔がほぼ等間隔の軌道に

なっていることがわかる。

また、図13(2)は、図13(1)に示した軌道の終点での角度(光軸からの角度)を入射角に対してプロットしたものであるが、入射角 -5.5° ～ 5.5° の荷電粒子が、光軸とのなす角度が 0.6° 程度まで平行化されることがわかる。

[0063] 図14は、電極数3の静電レンズの一例である。非球面メッシュの形状は、回転楕円体によって設計され、その回転楕円体における長軸短軸比は、1.62である。各電極の印加電圧は、1keVの電子に対して、メッシュ電極(G)が0V、第一電極(EL1)が -625 V、第二電極(EL2) -745 V、第三電極(EL3)が -832 Vである。

図14(1)に示す電極数3の静電レンズは、図12(1)における第一電極(EL1)をメッシュ電極(G)の側で3つに分割したものである。荷電粒子の軌跡について、図14(1)と図12(1)とを比較すると、図12(1)では、平行化の結果、軌道間隔が広角度側でかなり狭くなっているのに対し、図14(1)では、平行化の結果、軌道間隔がほぼ等間隔の軌道になっていることがわかる。

また、図14(2)は、図14(1)に示した軌道の終点での角度(光軸からの角度)を入射角に対してプロットしたものであるが、入射角 -5.5° ～ 5.5° の荷電粒子が、光軸とのなす角度が 0.6° 程度まで平行化されることがわかる。

[0064] このように、電極数2の静電レンズ(図13)と電極数3の静電レンズ(図14)の場合では、電極数1の静電レンズ(図12)の場合と比べて、荷電粒子の軌道の平行度について改善が認められる。

非球面メッシュの形状に注目すると、電極数が増えることによって、適切な非球面メッシュの形状が、長軸短軸比のより小さい回転楕円面に変化する。図13(1)と図14(1)の例では、回転楕円面の長軸短軸比は、それぞれ1.66と1.62である。一般に、メッシュへの入射が垂直に近いほど透過率は高くなる。したがって、長軸短軸比のより小さいメッシュの方が

高い透過率を実現する上で有利である。また、メッシュ電極を高い精度で作製する上でも長軸短軸比は小さい方が望ましい。

[0065] 図15は、電極数4の静電レンズの一例である。非球面メッシュの形状は、回転楕円体によって設計され、その回転楕円体における長軸短軸比は、1.59である。各電極の印加電圧は、1 keVの電子に対して、メッシュ電極(G)が0V、第一電極(EL1)が-620V、第二電極(EL2)が-750V、第三電極(EL3)が-830V、第四電極(EL4)が-850Vである。

図15(1)に示す電極数4の静電レンズは、図14(1)における第三電極(EL3)を円筒部で2つに分割したものである。

[0066] 図16は、電極数5の静電レンズの一例である。非球面メッシュの形状は、回転楕円体によって設計され、その回転楕円体における長軸短軸比は、1.49である。各電極の印加電圧は、1 keVの電子に対して、メッシュ電極(G)が0V、第一電極(EL1)が-590V、第二電極(EL2)が-730V、第三電極(EL3)が-860V、第四電極(EL4)が-880V、第五電極(EL5)が-900Vである。

図16(1)に示す電極数5の静電レンズは、図14(1)における第三電極(EL3)を円筒部で2つに分割し、さらに終端部を円筒部から分割し、第五電極(EL5)としたものである。

[0067] 図17は、図16と同様、電極数6の静電レンズの一例である。但し、非球面メッシュの形状は、回転楕円体によって設計され、その回転楕円体における長軸短軸比は、1.37であり、また、各電極の印加電圧は、1 keVの電子に対して、メッシュ電極(G)が0V、第一電極(EL1)が-580V、第二電極(EL2)が-730V、第三電極(EL3)が-870V、第四電極(EL4)が-919V、第五電極(EL5)が-950Vである。

[0068] 図16と図17の静電レンズでは、電極数は同じであるが、減速の比率が異なっている。ここで、終端部での運動エネルギー(E_f)と入射時の運動

エネルギー (E_i) の比 (E_f / E_i) を減速比とする。

図 15～図 17 における減速比は、それぞれ、0.15, 0.1, 0.05 である。低い減速比を達成するには、円筒部は 1 個の電極ではなく、図 15～図 17 のように複数の電極によって構成されることが好ましい。図 15～図 17 において、回転楕円面の長軸短軸比は、それぞれ、1.59, 1.49, 1.37 である。減速比が低くなると、適切なメッシュの形状は、長軸短軸比のより小さい回転楕円面になることがわかる。

図 12～17 において、得られる荷電粒子の軌道の光軸とのなす角度は $0.3 \sim 0.8^\circ$ 程度であるが、この平行度は、非球面メッシュ形状を回転楕円面ではなく、適切な多項式関数によって表すことにより大幅に改善できる。これについては、次の実施例 8 で説明する。

実施例 8

[0069] 次に、本発明の静電レンズにおいて、点源から発生した荷電粒子の取り込み角が $\pm 60^\circ$ で、荷電粒子の軌跡を光軸からのズレ角が $\pm 1^\circ$ 以下に平行化する場合であって、上述の実施例 7 で示した静電レンズと比べて、より高い平行度を必要とする場合には、メッシュ形状を回転楕円面によって設計するのではなく、回転楕円面とは異なる形状の非球面メッシュを用いる。

より詳しくは、非球面メッシュ形状は、同じ長軸半径と短軸半径の回転楕円体の形状と比べ、長軸からの半径方向のズレが半径距離の 5% 以下であり、また、点源とメッシュ形状表面とを結ぶ軸と長軸との成す角度が 40° より大きい位置に、上記半径方向のズレを角度について一階微分しプロットしたものの変曲点が存在する。

具体的には、非球面メッシュ形状は、下記の多項式関数の数式で表される d_{mesh} により表すことができる。

[0070]

[数2]

$$d_{mesh} = d_2 + (d_1 - d_2) \sum_{i=1}^n (a_i/w) \cos^{(i)} \alpha \quad \dots (1)$$

$$\left(\alpha = \frac{\pi}{2} \theta / \theta_{max}, \quad w = a_1 + a_2 + \dots + a_n \right)$$

[0071] 上記の多項式関数の数式において、図19(1)に示すように、 d_{mesh} は点源からメッシュ表面位置までの距離、距離 d_1 は点源から光軸上のメッシュ先端位置までの距離、距離 d_2 は点源からメッシュのエッジ位置までの距離である。また、角度 θ と θ_{max} はそれぞれメッシュ表面とメッシュのエッジ位置を決めるための光軸からのズレ角を示す。また、 α は角度 θ の関数、 n は関数の次元数で、 w はパラメータ $a_1 \sim a_n$ によって決定されるパラメータである。

[0072] 図18は、非球面メッシュの形状が上記の多項式関数を用いて設計された静電レンズの一例である。図18(1)に示すように、本実施例の静電レンズにおける電極の構成は、図13に示した電極数2の静電レンズと同じであり、各電極の印加電圧は、1keVの電子に対して、メッシュ電極(G)が0V、第一電極(EL1)が-772V、第二電極(EL2)が-796Vである。

多項式関数の次元 n は5とし、各パラメータの値は下記表1の通りである。

[0073]

[表1]

パラメータ	値
d 1	27.1 (mm)
d 2	14.3 (mm)
θ_{max}	65.2 ($^{\circ}$)
a 1	0.012
a 2	0.365
a 3	0.38
a 4	0.307
a 5	-0.008

[0074] 図18(2)は、図18(1)に示した軌道の終点での角度（光軸からの角度）を入射角に対してプロットしたものである。図13(2)に示した電極数3の静電レンズの場合は、荷電粒子の軌道の光軸とのなす角度は0.5°程度の平行度であるに対して、図18(2)では、入射角-45°～45°の取り込み角にわたって、荷電粒子の起動と光軸とのなす角度は±0.01°程度の非常に高い平行度であることがわかる。

[0075] 図19(2)は、図18に示した非球面メッシュ形状と図12に示した非球面メッシュ形状（回転楕円面）の比較である。前者を実線で、後者を点線で表している。両者の形状を光軸からの半径方向の距離xで比較した場合、ズレは5%程度以下である。しかしながら、両者の形状には決定的な違いがある。この違いをさらに分かりやすく示すために、xの角度 θ についての一階微分を各形状に対して計算した結果を図20に示す。

[0076] 図20は、本実施例の静電レンズの非球状メッシュ形状の特徴を説明する図である。図20(1)は、図12に示した非球面メッシュ形状（図19の点線）に、図20(2)は図18に示した非球面メッシュ形状（図19の実線）にそれぞれ対応している。図12に示した非球面メッシュ形状の回転楕円面の場合は、変曲点が存在せず、図20(1)では単調な減少関数となっている。これに対して、図18に示した非球面メッシュ形状の場合は、変曲

点が存在し、図20(2)では、 θ の増加とともに減少した後、増加に転じる関数となっている。図18に示した非球面メッシュ形状では、変曲点は、 $\theta = 54^\circ$ の辺りの位置に存在している。

[0077] 以上から、実施例7, 8の静電レンズでは、電極数、取り込み角、減速比の異なる様々な設計において、より適切なメッシュ形状は、回転楕円面からのズレが5%程度以下で、高角度側に変曲点を有する滑らかな曲線であることが確認できた。但し、変曲点の位置や回転楕円面からのズレ量は、電極数、長軸短軸比、或は、多項式関数のパラメータなどの設計によって変化する。実施例7, 8の静電レンズにおける設計の要点を纏めると次のとおりである。

[0078] (1) 取り込み角が $\pm 50^\circ$ 程度以下でよい場合、または、あまり高い平行度を必要としない場合、具体的には $\pm 0.5^\circ$ 程度の平行度でよい場合、非球面メッシュ形状は、回転楕円面とすることができる。

(2) 非球面メッシュに接続されアース電位に固定されたメッシュ電極の開口部半径 R_1 と、メッシュ電極に隣接する第一電極の開口部半径 R_1 との比(R_2/R_1)は、1.2以上1.6以下が好ましい。

(3) メッシュ電極を除く電極数(以下、同じ)が1で、減速比が0.1以上0.3以下の場合、回転楕円面の長軸短軸比は1.69以上1.89以下が好ましい。

(4) 電極数が2で、減速比が0.1以上0.3以下の場合、回転楕円面の長軸短軸比は1.56以上1.76以下が好ましい。

(5) 電極数が3で、減速比が0.1以上0.3以下の場合、回転楕円面の長軸短軸比は1.52以上1.72以下が好ましい。

(6) 電極数が4で、減速比が0.1以上0.3以下の場合、回転楕円面の長軸短軸比は1.49以上1.69以下が好ましい。

(7) 電極数が5以上で、減速比が0.1以上0.3以下の場合、回転楕円面の長軸短軸比は1.39以上1.59以下が好ましい。

(8) 電極数によらず、減速比が0.01以上0.1未満の場合、回転楕円

面の長軸短軸比は1.0より大きく1.5未満が好ましい。

(9)より高い平行度、具体的には $\pm 0.3^\circ$ 程度以下の平行度が必要な場合、非球面メッシュ形状は、回転楕円面ではなく、回転楕円面からのズレが5%程度以下で、高角度側に変曲点をもつ滑らかな曲線によって設計されることが好ましい。

産業上の利用可能性

[0079] 本発明の静電レンズ及びそれを用いた平行ビーム発生装置は、角度分解光電子分光による結晶表面のバンド分散測定やフェルミ面マッピング、深さ方向の組成分析、電子回折、光電子回折による原子構造分析、放出イオン角度分布による吸着分子構造の解析に有用である。

また、本発明の平行ビーム収束装置は、特定のエネルギーの粒子だけを静電レンズにより一点に集光させてエネルギー強度を計測する荷電粒子流方位・エネルギー計測に有用である。

符号の説明

- [0080]
- 1 平行ビーム装置
 - 2 非球面メッシュ
 - 3 平面コリメータプレート
 - 4 蛍光スクリーン
 - 5 軸
 - 6 軌跡
 - 7 点源
 - 8 磁気遮蔽カバー
 - 10～17 電極
 - 20 試料プレート
 - 21 励起ビーム誘導管
 - 30 ロックイン変調電場
 - 31 平面マイクロチャンネルプレート
 - 32 阻止電位グリッド

請求の範囲

[請求項1]

点源又は集光点に対し凹面状を有する軸対称または実質的に軸対称な非球面メッシュおよび軸対称または実質的に軸対称な単一乃至は複数の電極から成る静電レンズであって、

前記非球面メッシュは、メッシュ開口部の中心近傍からメッシュ中心の位置までを長軸とする回転楕円体、又は、メッシュ開口部近傍が内側に凸の曲率で拡がる形状の実質的回転楕円体であり、

メッシュに接続されるメッシュ電極の開口部半径と、前記単一乃至は複数の電極の内、前記メッシュ電極に隣接する第一電極の開口部半径の比は、 1.2 以上 1.6 以下であり、

前記回転楕円体における長軸半径と短軸半径との比は、 1.0 より大きく 2.0 以下であり、

点源から発生した荷電粒子の取り込み角が $\pm 60^\circ$ で、荷電粒子の軌跡を光軸からのズレ角が $\pm 1^\circ$ 以下に平行化することを特徴とする静電レンズ。

[請求項2]

電極数は前記メッシュ電極を除いたものとし、減速比は荷電粒子の発生時の運動エネルギーに対する終端電極での運動エネルギーの比として、下記1)～5)の何れかを満たすことを特徴とする請求項1に記載の静電レンズ：

1) 電極数が1で、減速比が 0.1 以上 0.3 以下の場合には、

前記回転楕円体における長軸半径と短軸半径との比が 1.69 以上 1.89 以下である、

2) 電極数が2で、減速比が 0.1 以上 0.3 以下の場合には、

前記回転楕円体における長軸半径と短軸半径との比が 1.56 以上 1.76 以下である、

3) 電極数が3で、減速比が 0.1 以上 0.3 以下の場合には、

前記回転楕円体における長軸半径と短軸半径との比が 1.52 以上 1.72 以下である、

4) 電極数が4で、減速比が0.1以上0.3以下の場合には、

前記回転楕円体における長軸半径と短軸半径との比が1.49以上1.69以下である、

5) 電極数が5以上で、減速比が0.1以上0.3以下の場合には、

前記回転楕円体における長軸半径と短軸半径との比が1.39以上1.59以下である。

[請求項3] 前記減速比が0.01以上0.1未満の場合には、

前記回転楕円体における長軸半径と短軸半径との比が1.0より大きく1.5未満であることを特徴とする請求項2に記載の静電レンズ。

[請求項4] 前記実質的回転楕円体のメッシュ形状は、

同じ長軸半径と短軸半径の回転楕円体の形状と比べ、長軸からの半径方向のズレが半径距離の5%以下であり、

点源とメッシュ形状表面とを結ぶ軸と長軸との成す角度が40°より大きい位置に、上記半径方向のズレを角度について一階微分しプロットしたものの変曲点が存在する、

ことを特徴とする請求項1に記載の静電レンズ。

[請求項5] 前記実質的回転楕円体のメッシュ形状は、多項式関数である下記数式で表されるd_{mesh}により表されることを特徴とする請求項1又は4に記載の静電レンズ：

[数1]

$$d_{\text{mesh}} = d_2 + (d_1 - d_2) \sum_{i=1}^n (a_i/w) \cos^{(i)} \alpha \quad \dots (1)$$

$$\left(\alpha = \frac{\pi}{2} \theta / \theta_{\text{max}}, \quad w = a_1 + a_2 + \dots + a_n \right)$$

(式1中、d_{mesh}は点源からメッシュ表面位置までの距離、距離d₁は点源から光軸上のメッシュ先端位置までの距離、距離d₂は点源か

らメッシュのエッジ位置までの距離、角度 θ と $\theta_{\max}$ はそれぞれメッシュ表面とメッシュのエッジ位置を決めるための光軸からのズレ角、 α は角度 θ の関数、 n は関数の次元数で、 w はパラメータ $a_1 \sim a_n$ によって決定される。) 。

[請求項6] 請求項1～5の何れかの静電レンズと、前記静電レンズと同軸に配置される平面コリメータプレートとから構成され、

点源から発生した荷電粒子の取り込み角が $\pm 60^\circ$ で、荷電粒子の軌跡を光軸からのズレ角が $\pm 1^\circ$ 以下に平行化した後で、荷電粒子が平面コリメータプレートに対して略垂直に入射するように、前記静電レンズと前記平面コリメータプレートが共軸に配置されたことを特徴とする平行ビーム発生装置。

[請求項7] 前記平面コリメータプレートが、特定の運動エネルギーの荷電粒子のみを選別するバンドパスフィルターとして機能することを特徴とする請求項6に記載の平行ビーム発生装置。

[請求項8] 平板に微小な光電子増倍管を束ねた平面マイクロチャネルプレートが更に設けられ、前記平面コリメータプレートから出射する特定の運動エネルギーの荷電粒子をアバランシェ電流により増幅することを特徴とする請求項7に記載の平行ビーム発生装置。

[請求項9] 前記平面コリメータプレートは、アスペクト比（孔径と孔長の比）1：5乃至1：20である細孔が開口率50%以上で設けられたことを特徴とする請求項6～8の何れかに記載の平行ビーム発生装置。

[請求項10] 前記電極および前記平面コリメータプレートの電位を掃引する掃引手段が更に設けられたことを特徴とする請求項6～9の何れかに記載の平行ビーム発生装置。

[請求項11] 請求項6～10の何れかに記載の平行ビーム発生装置に、蛍光スクリーンとカメラ手段が更に設けられ、前記平面コリメータプレートから出射する特定の運動エネルギーの荷電粒子の角度分布を、前記蛍光スクリーン上で輝点に変換して前記カメラ手段で画像計測することを

特徴とする角度分布測定分析装置。

[請求項12] グリッドに印加する直流電圧を変化させて、グリッドを通過する荷電粒子による電流の変化をロックイン検出する平面阻止電位グリッドが更に設けられ、前記平面コリメータプレートから出射する特定の運動エネルギーの荷電粒子を検出することを特徴とする請求項 1 1 に記載の角度分布測定分析装置。

[請求項13] ディレイライン検出器 (delay line detector) が更に設けられ、前記コリメータプレートから出射する特定の運動エネルギーの個々の荷電粒子の出射角方向と到達時間を、前記ディレイライン検出器で個別に計測して時間分解画像計測することを特徴とする請求項 1 1 に記載の角度分布測定分析装置。

[請求項14] 請求項 1 1 ～ 1 3 の何れかの荷電粒子エネルギーの角度分布測定分析装置が組み込まれた電子分光装置、電子回折装置、光電子分光装置、光電子回折装置、陽電子分光装置、陽電子回折装置、イオン脱離角度分布測定装置、結晶構造分析装置、材料表面分析装置、及び固体物性分析装置の群から選択される装置。

[請求項15] 請求項 6 ～ 1 0 の何れかの平行ビーム発生装置が、単一エネルギーの大口径平行イオンビーム源として組み込まれたイオンエッチングもしくはイオンスパッタリングを行う精密イオンエッチング装置。

[請求項16] 請求項 1 1 の角度分布測定分析装置において、前記平面コリメータプレートを負電位、前記蛍光スクリーンを正電位とし、前記平面コリメータプレートで発生する電子を増幅することを特徴とする広立体角 X 線検出器。

[請求項17] 請求項 1 ～ 5 の何れかの静電レンズと、前記静電レンズと同軸に配置される平面コリメータプレートとから構成され、

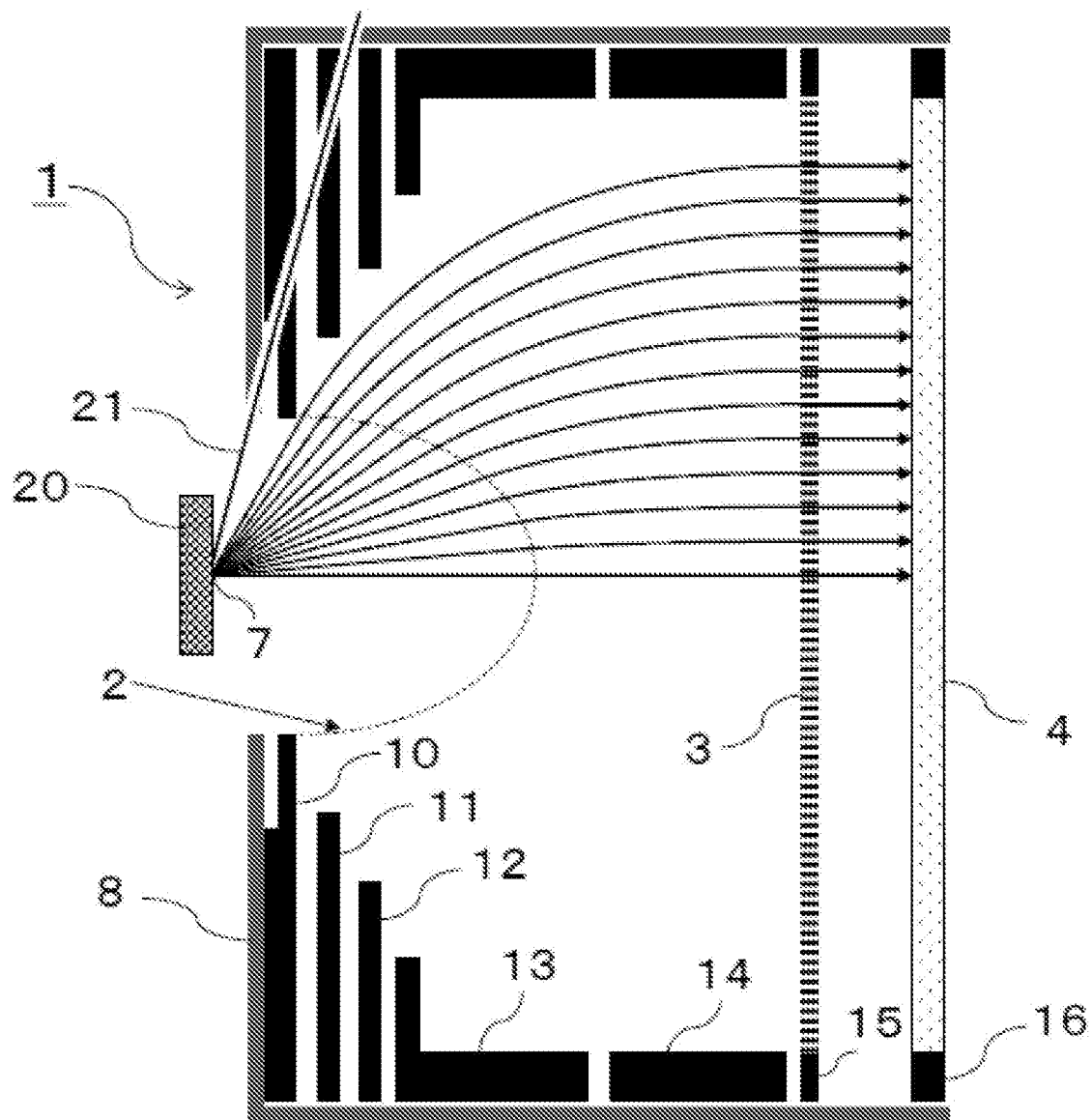
前記平面コリメータプレートに対して略垂直に入射する特定の運動エネルギー荷電粒子の出射後の軌跡が、前記静電レンズにより前記集光点に集光するように、前記静電レンズと前記平面コリメータプレー

トが共軸に配置されたことを特徴とする平行ビーム収束装置。

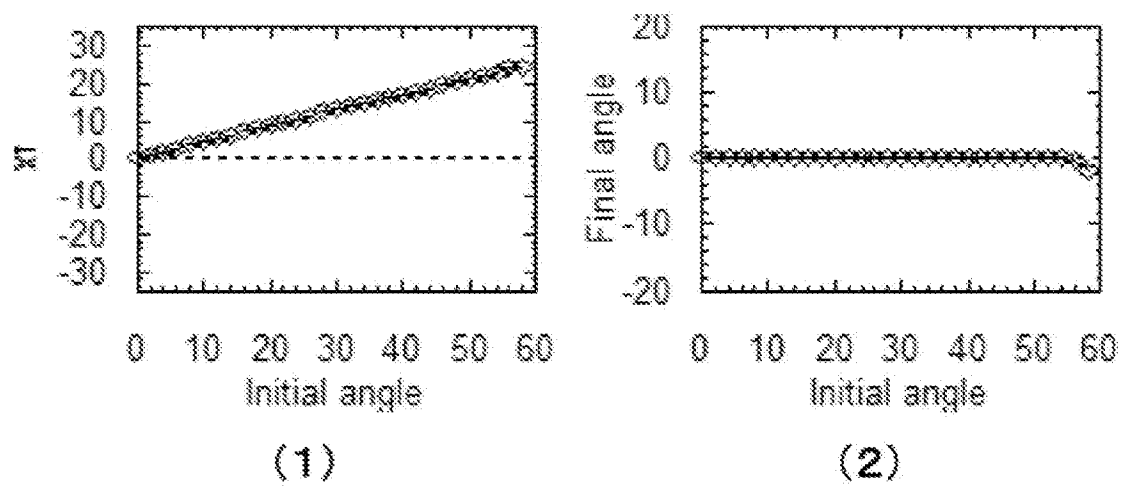
[請求項18] 前記平面コリメータプレートは、アスペクト比（孔径と孔長の比） $1:5$ 乃至 $1:20$ である細孔が開口率 50% 以上で設けられたことを特徴とする請求項17に記載の平行ビーム収束装置。

[請求項19] 請求項17又は18の平行ビーム収束装置が複数配置され、前記平面コリメータプレートが、特定の運動エネルギーの荷電粒子のみを選別するバンドパスフィルターとして機能し、前記平面コリメータプレートにより特定方向の荷電粒子流を取り出し、特定のエネルギーの粒子だけを前記静電レンズにより一点に集光させてエネルギー強度を計測する荷電粒子流方位・エネルギー計測装置。

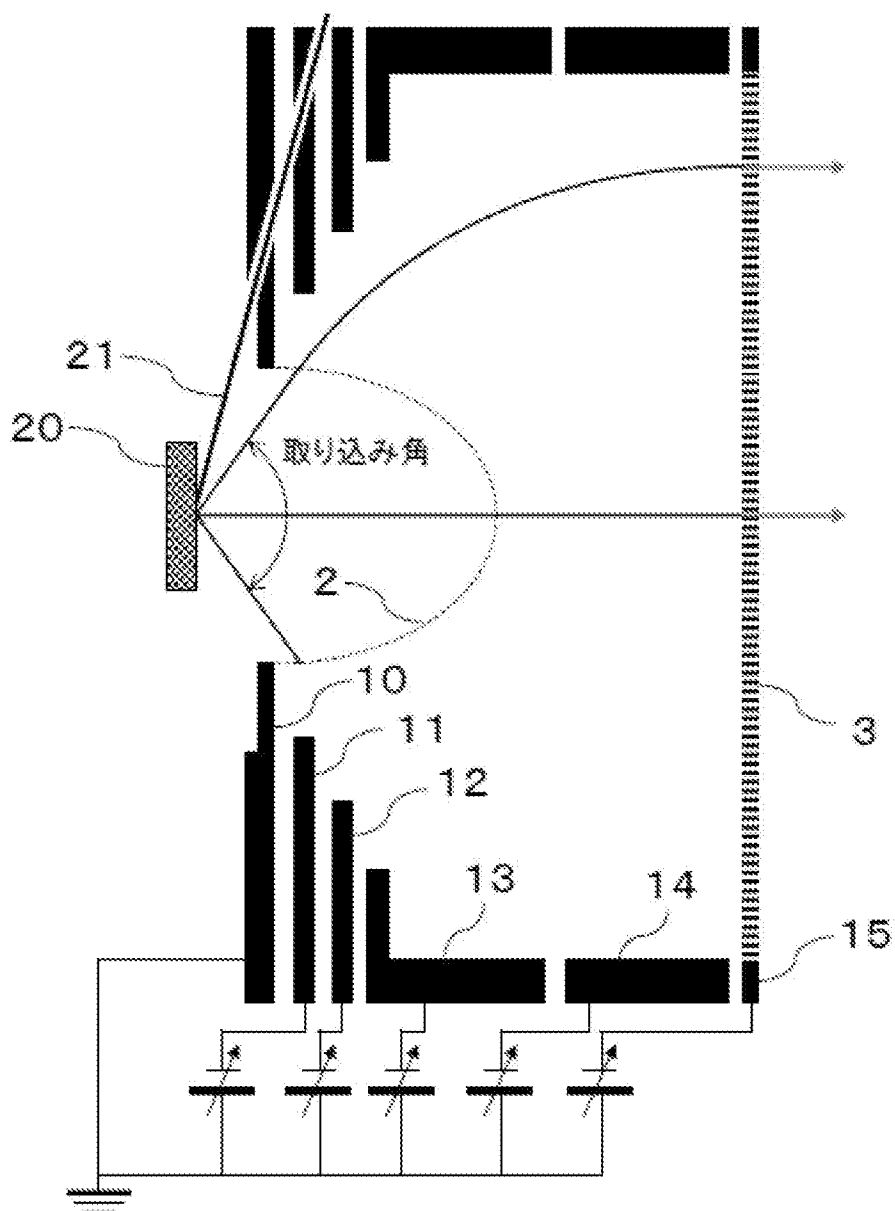
[図1]



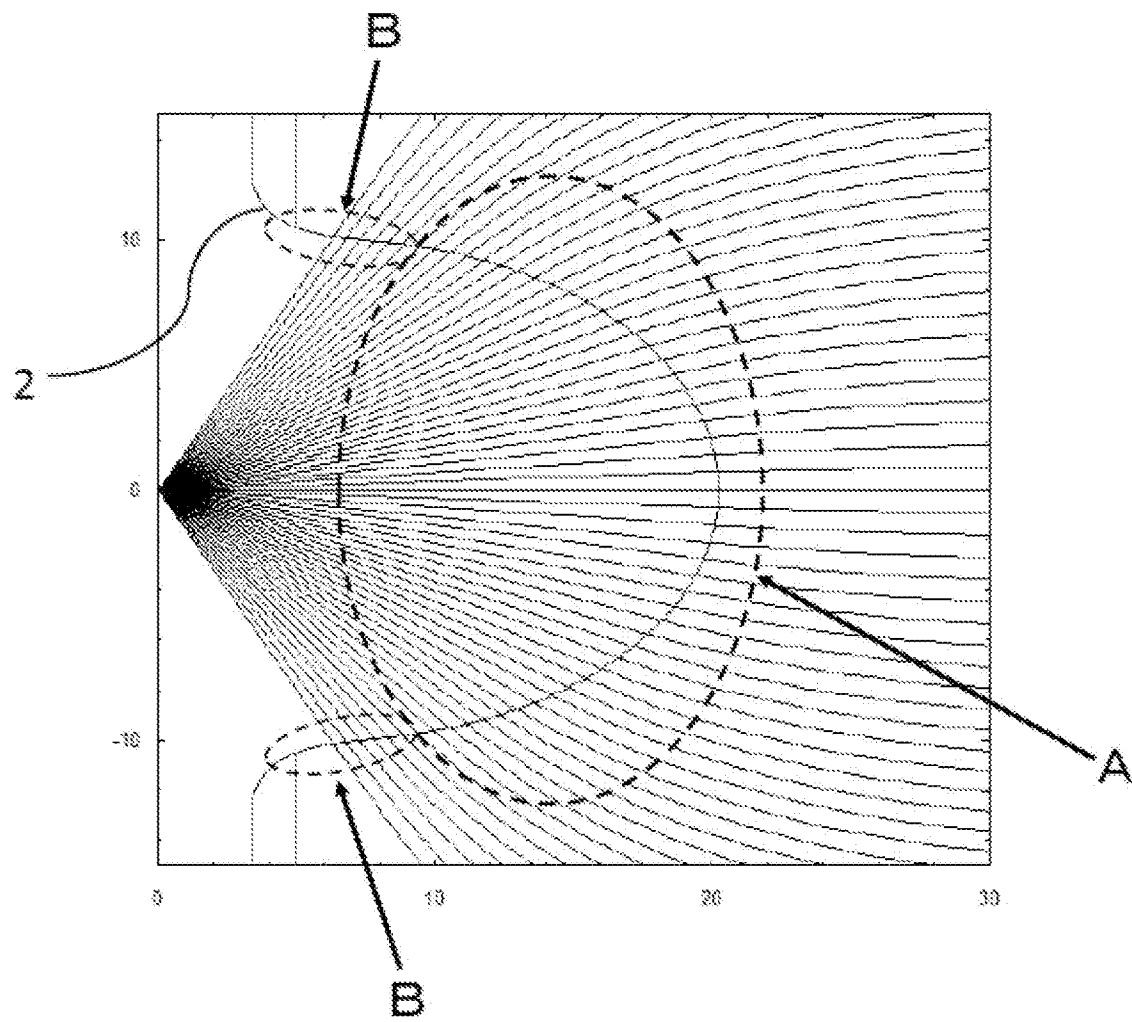
[図2]



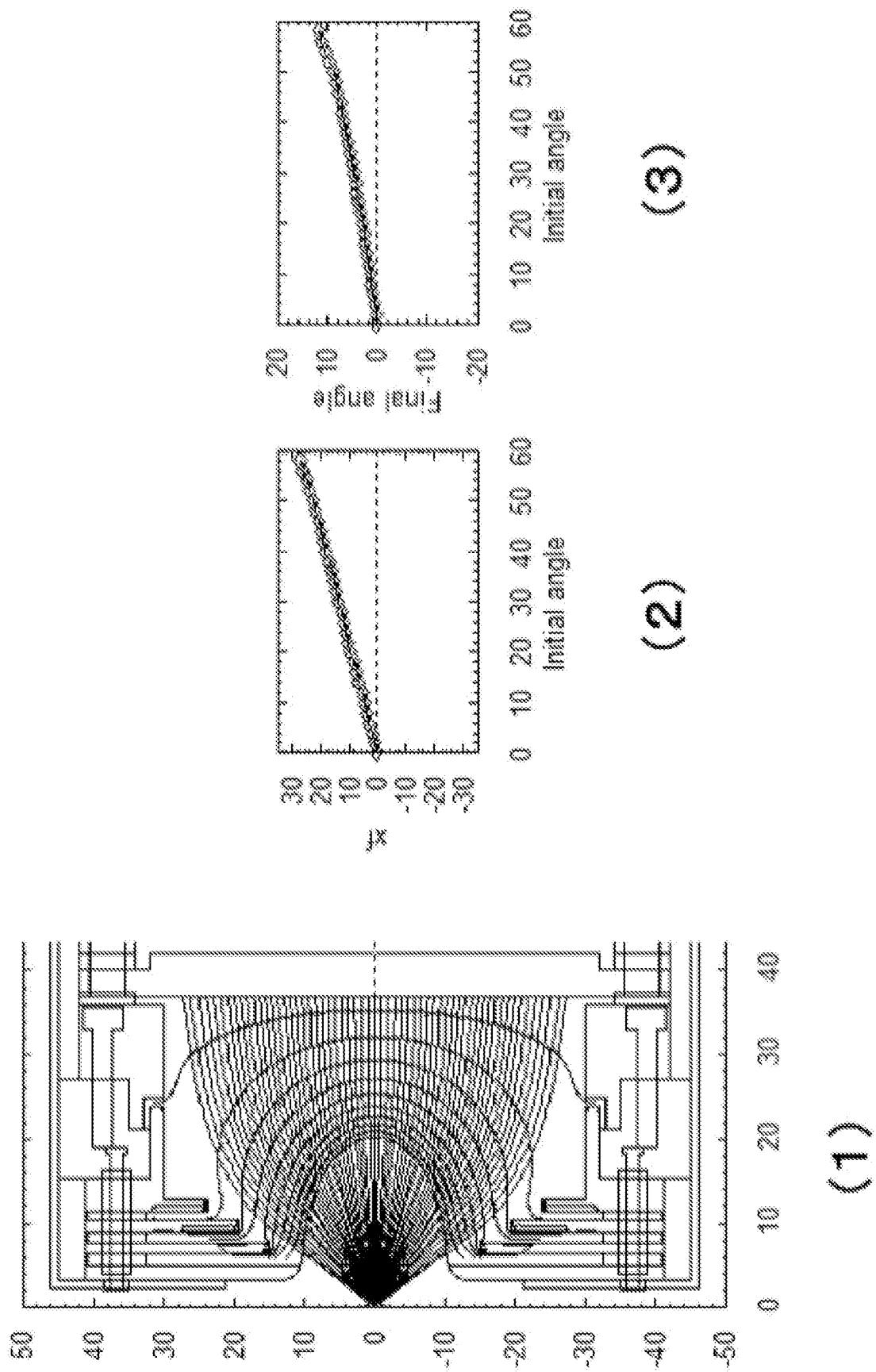
[図3]



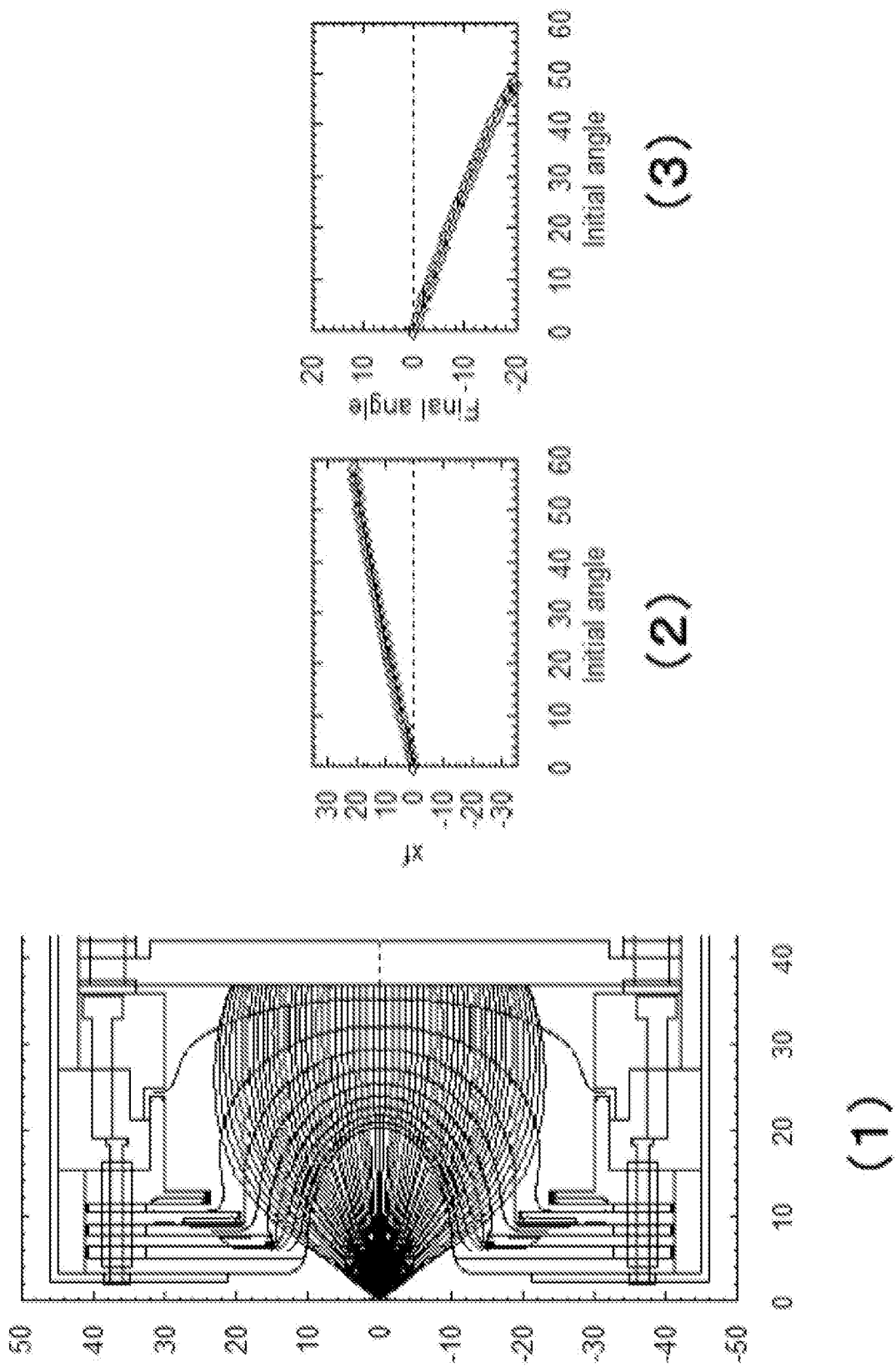
[図4]



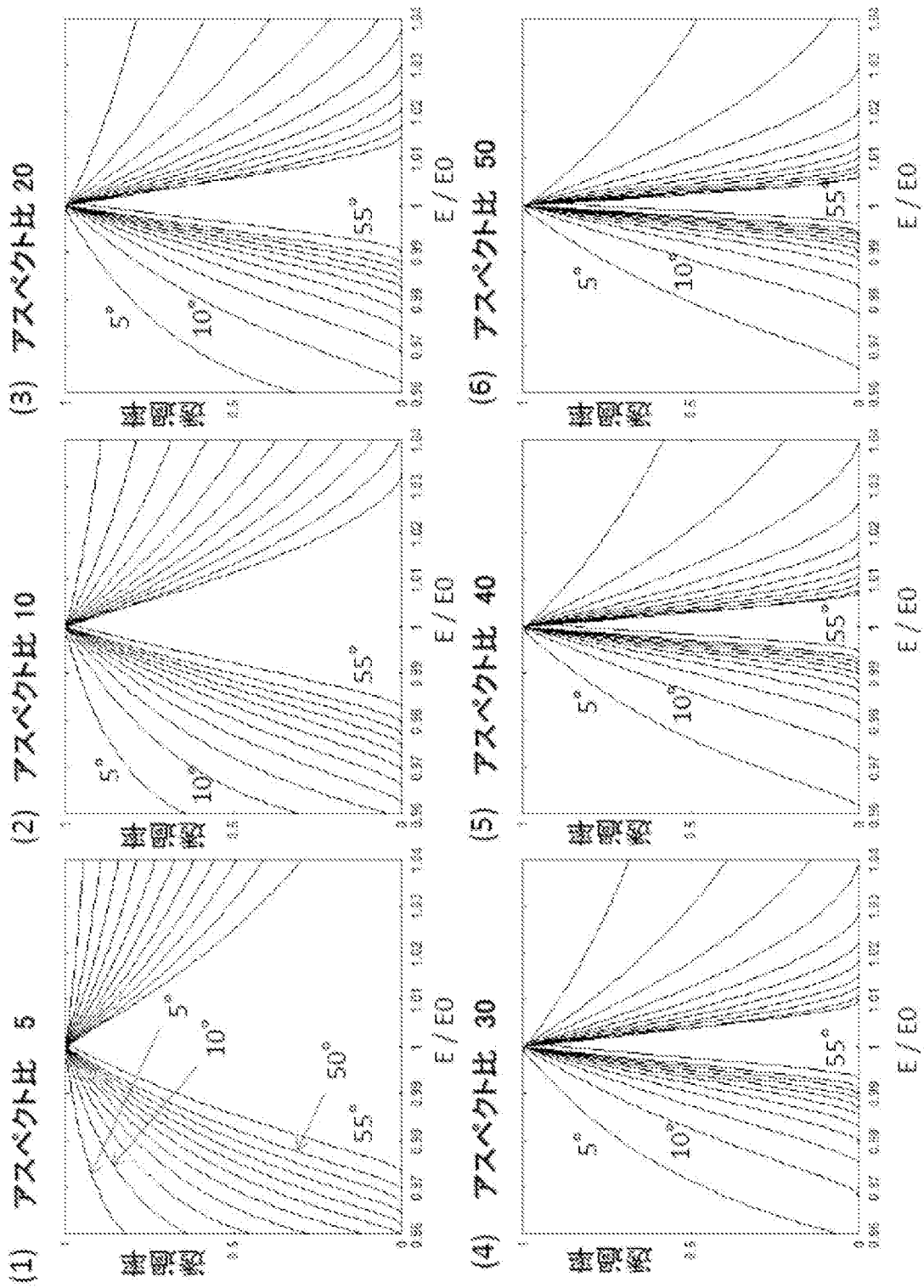
[図5]



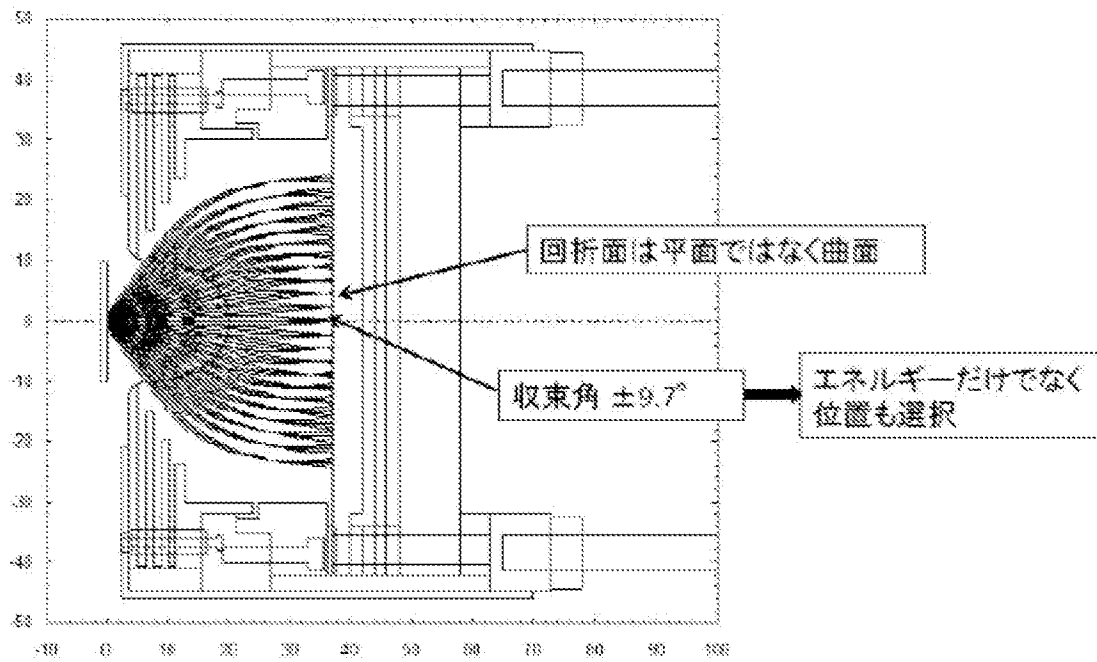
[図6]



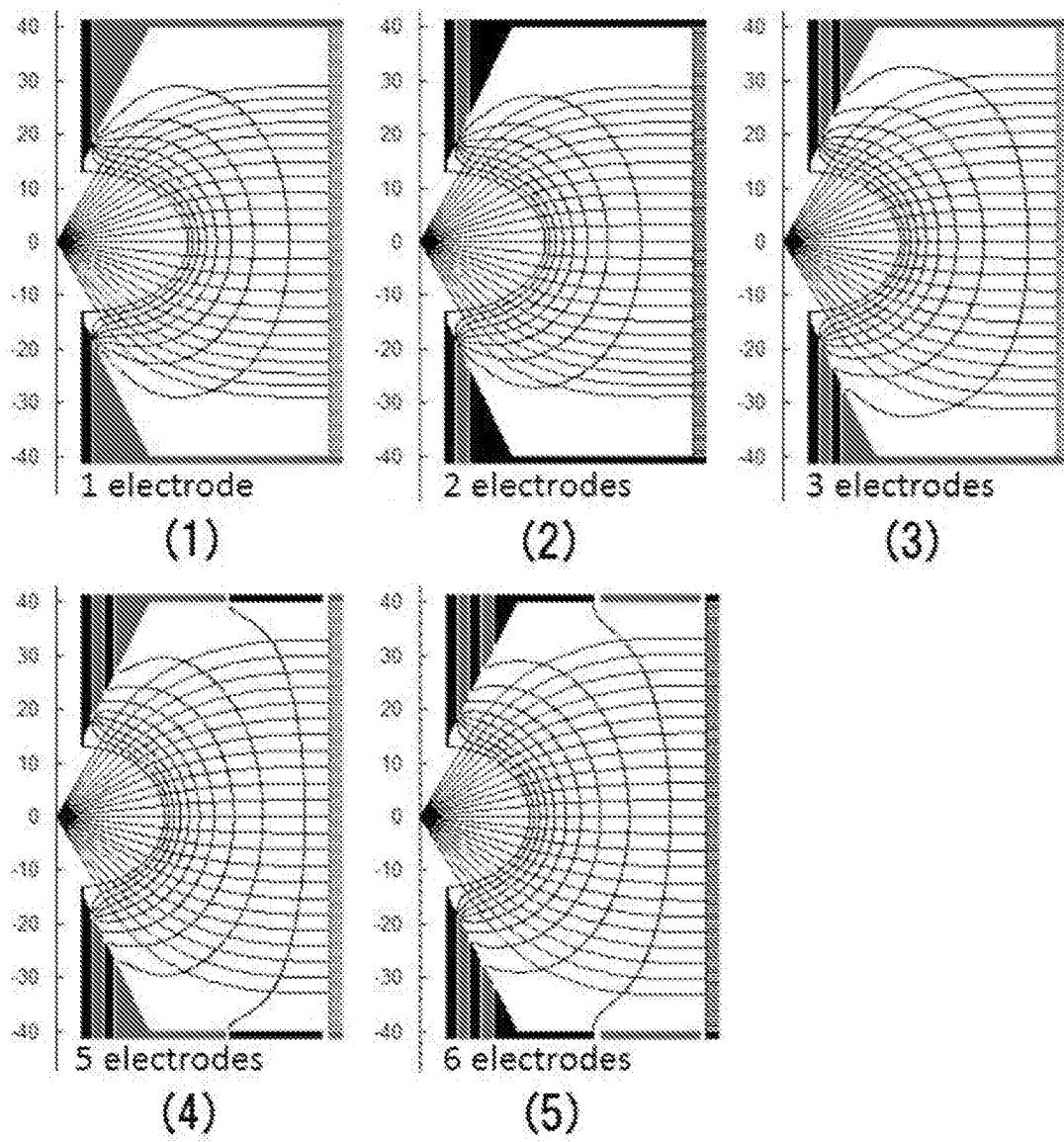
[図7]



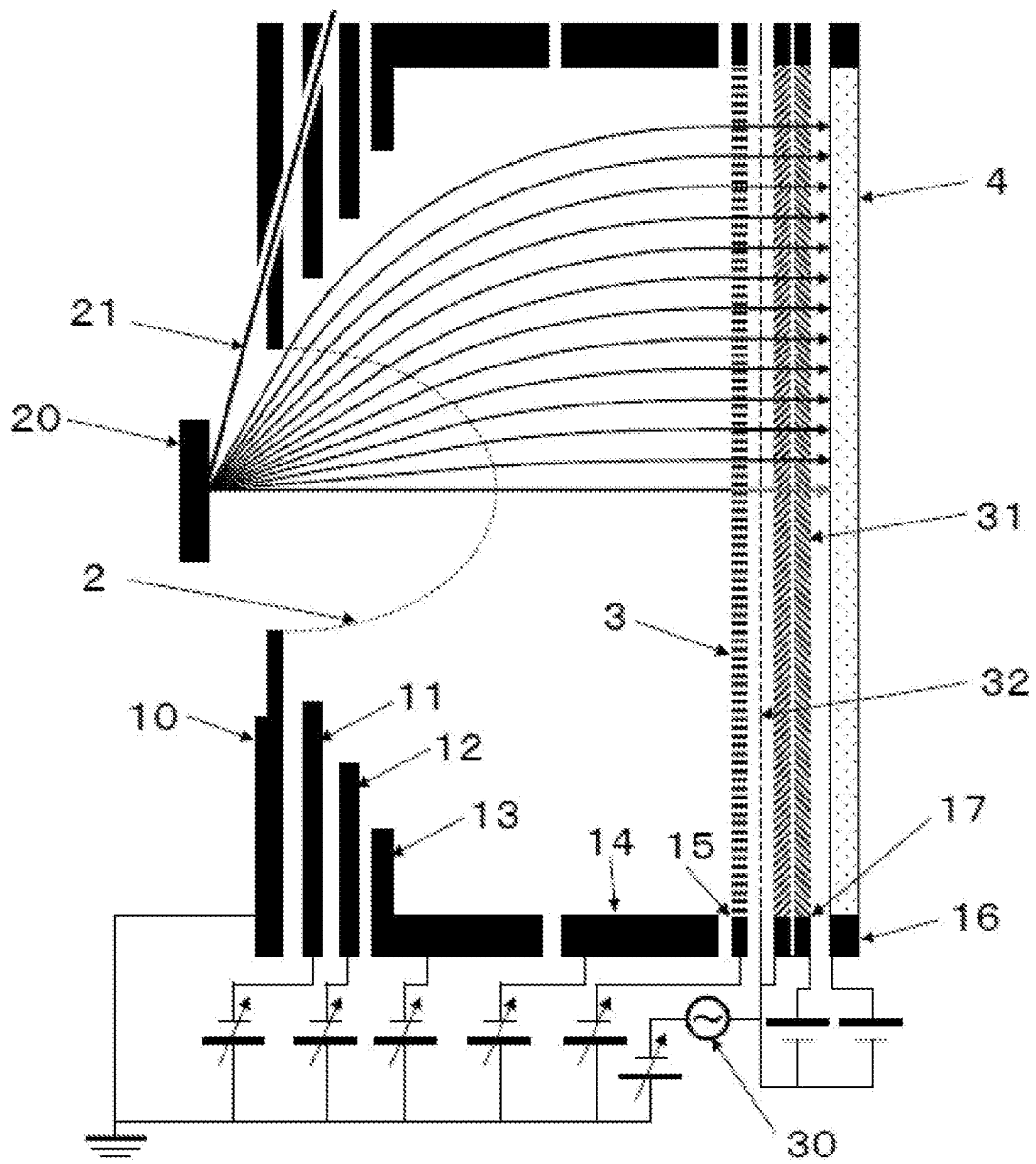
[図8]



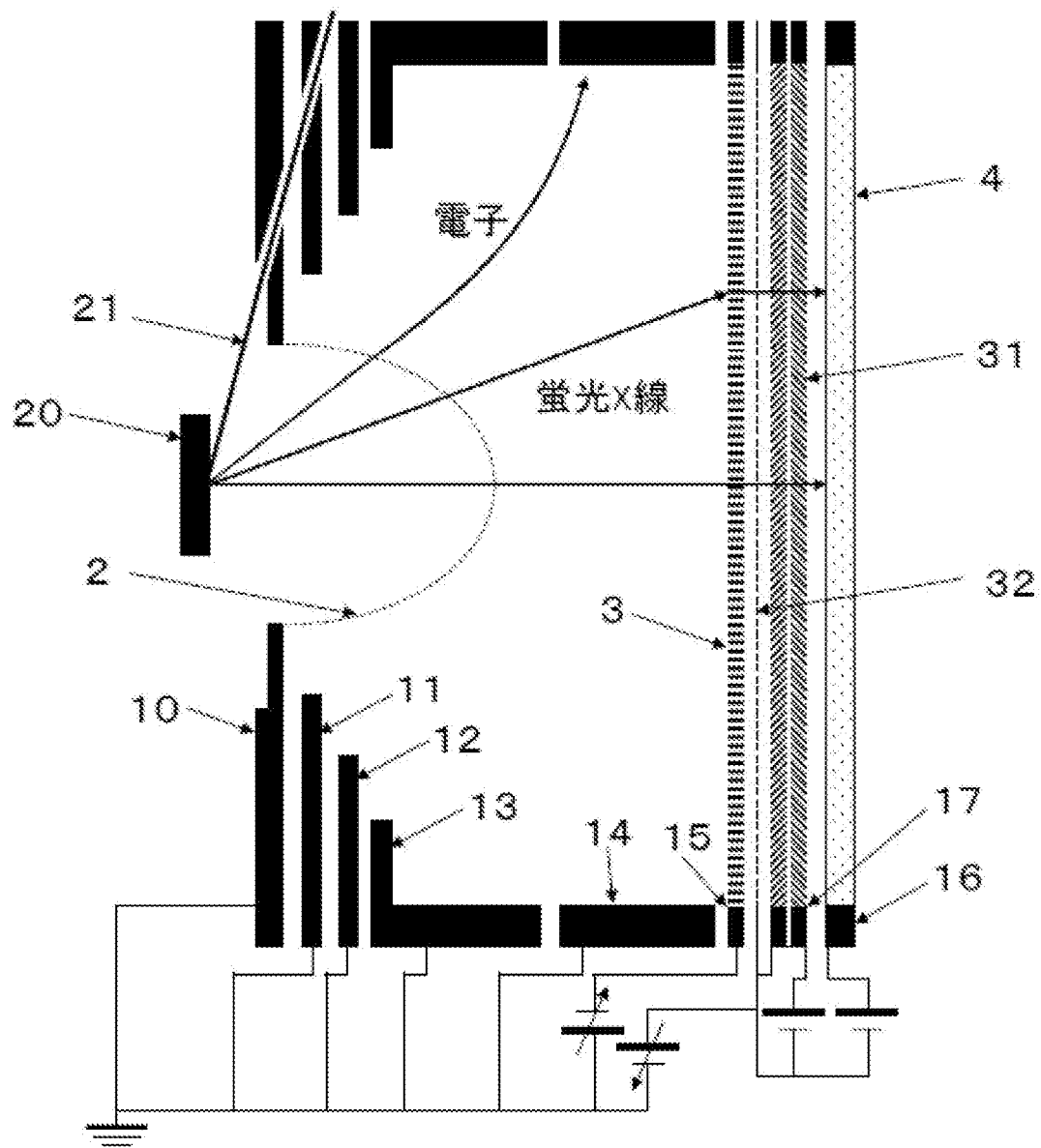
[図9]



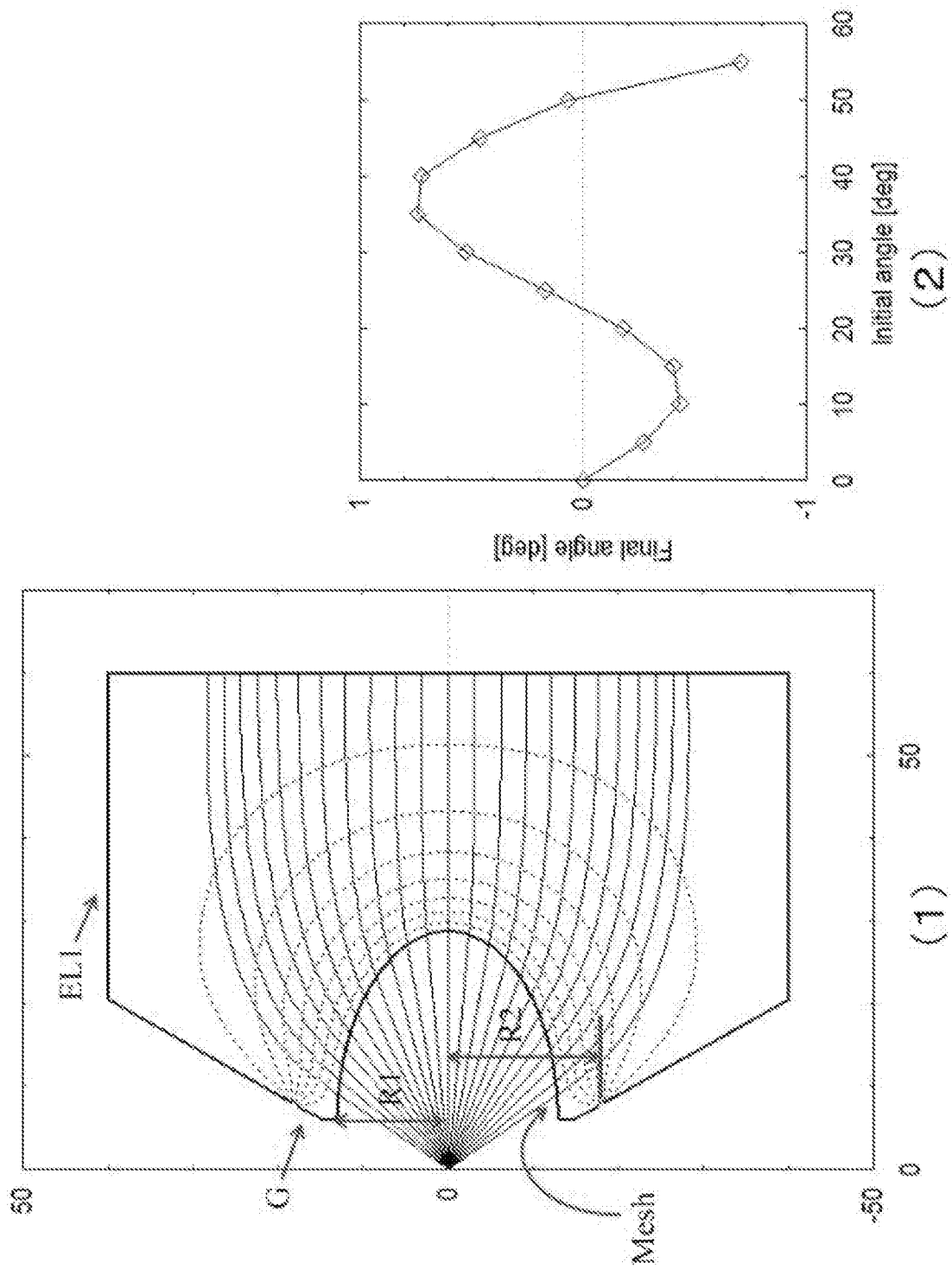
[図10]



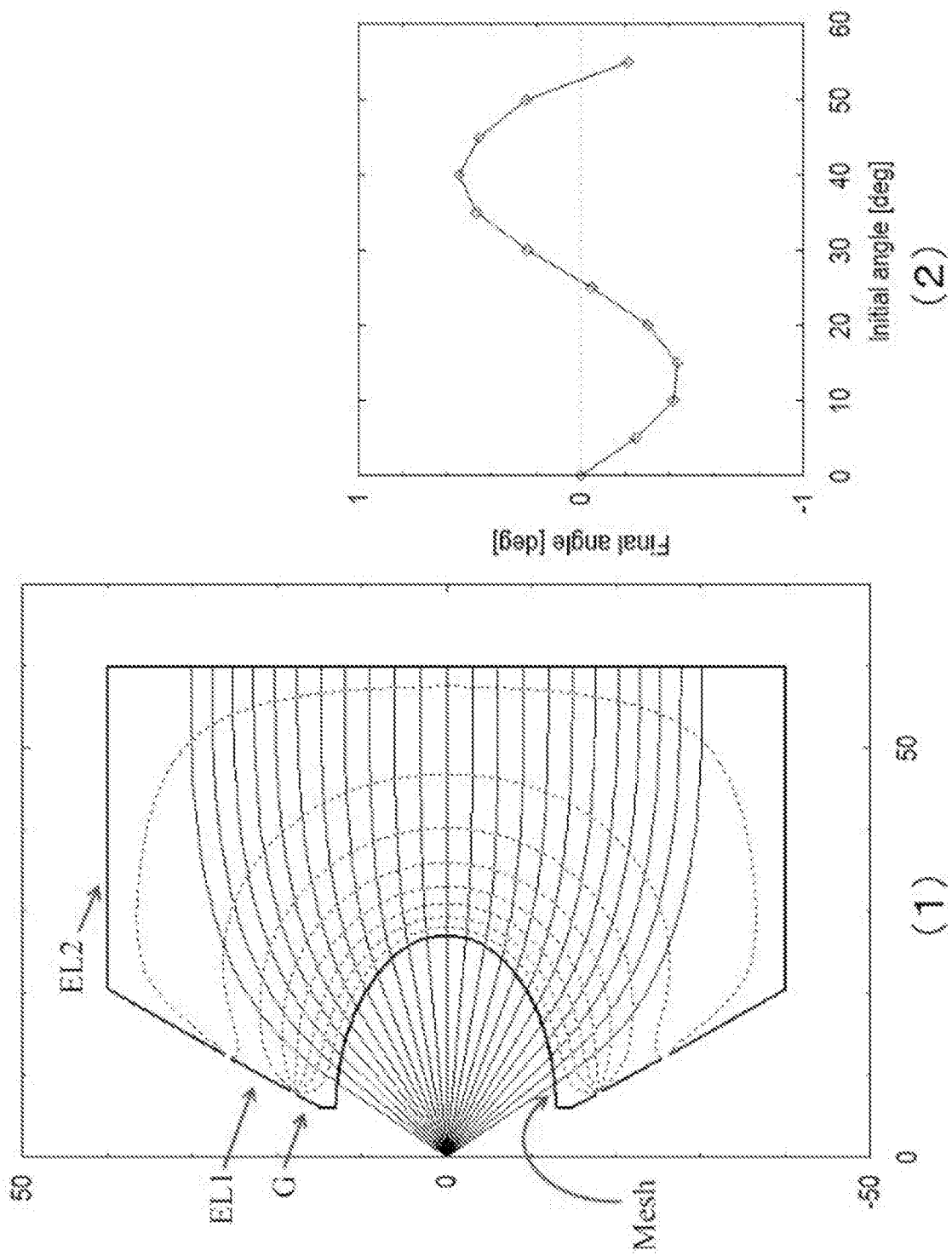
[図11]



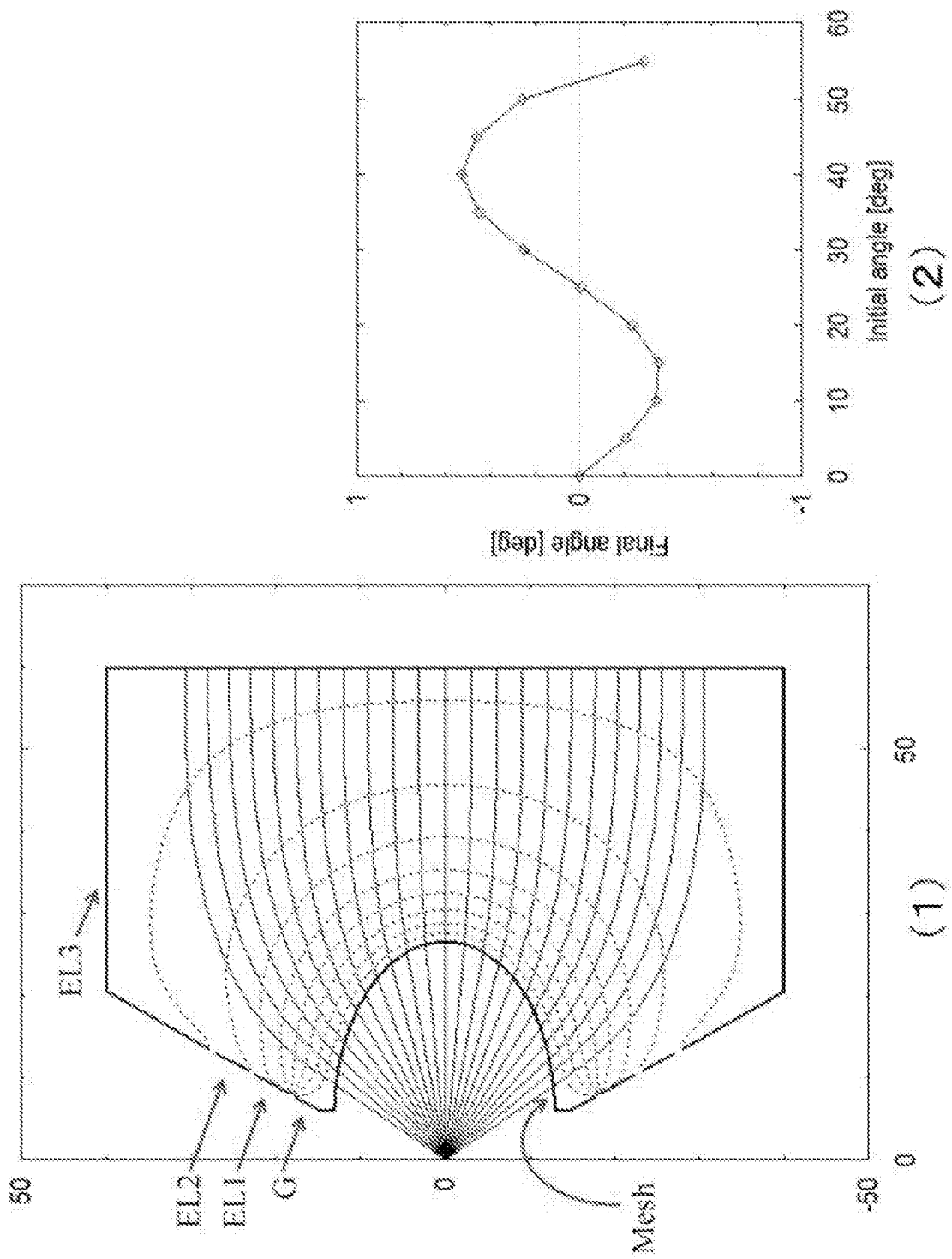
[図12]



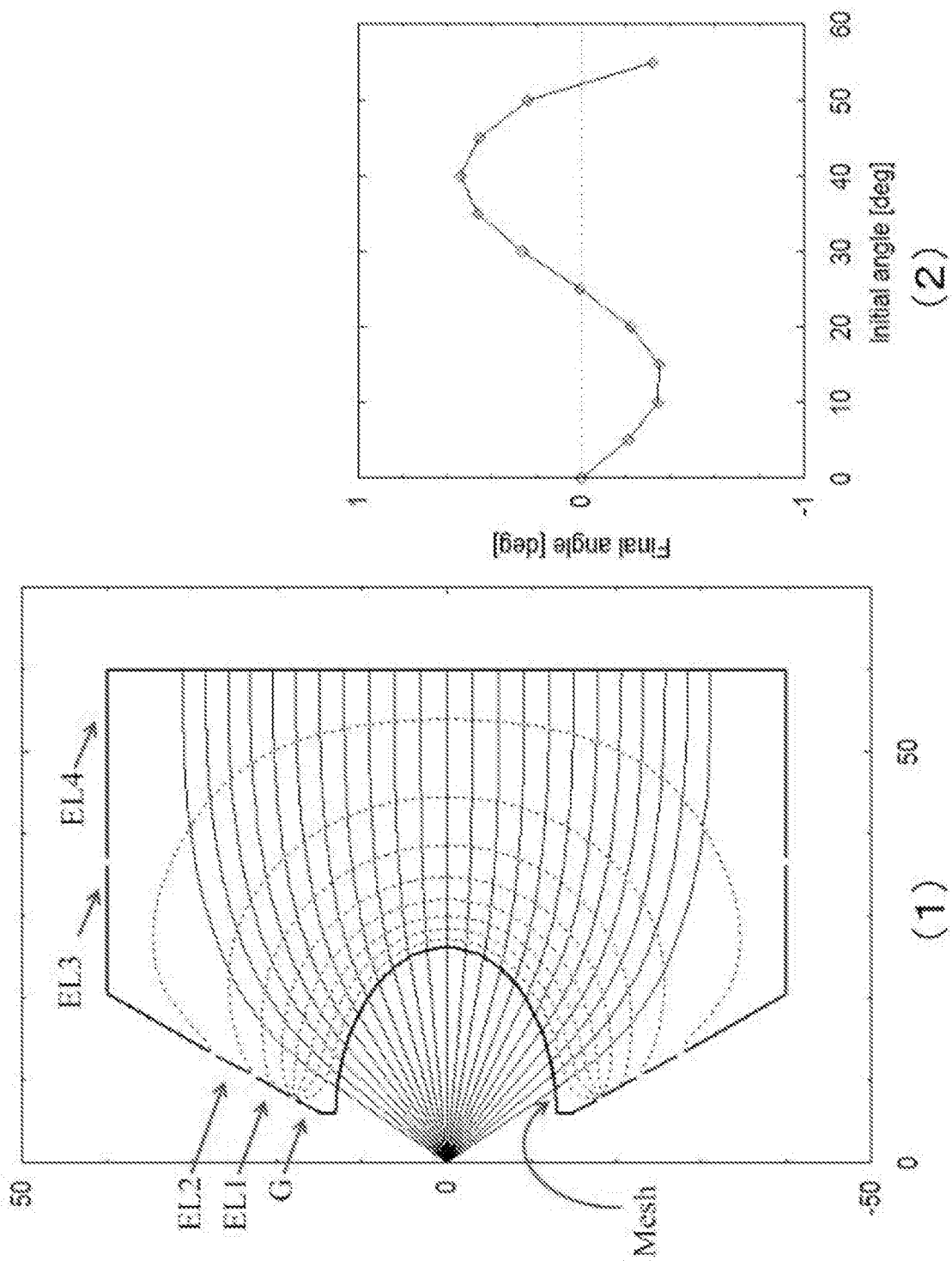
[図13]



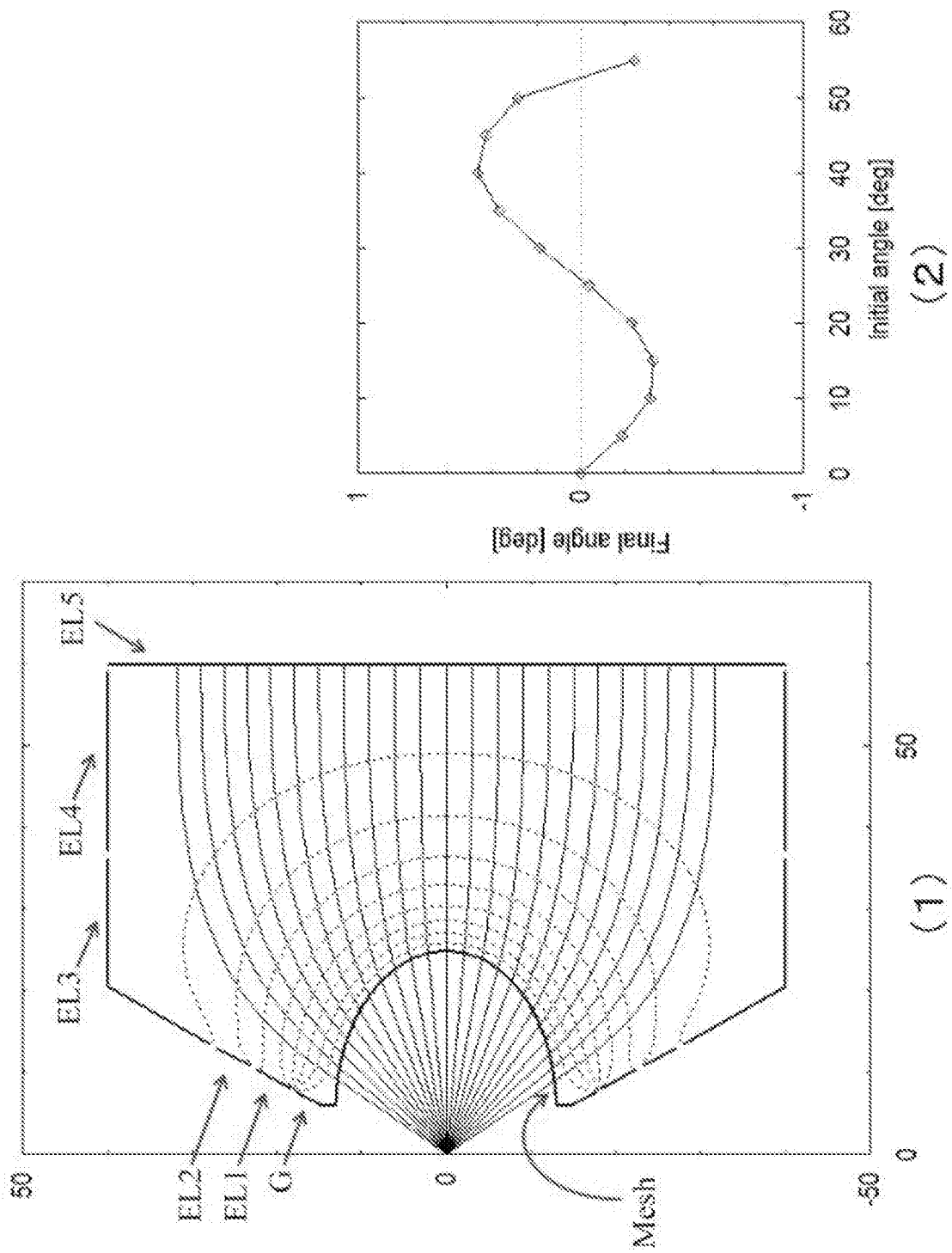
[図14]



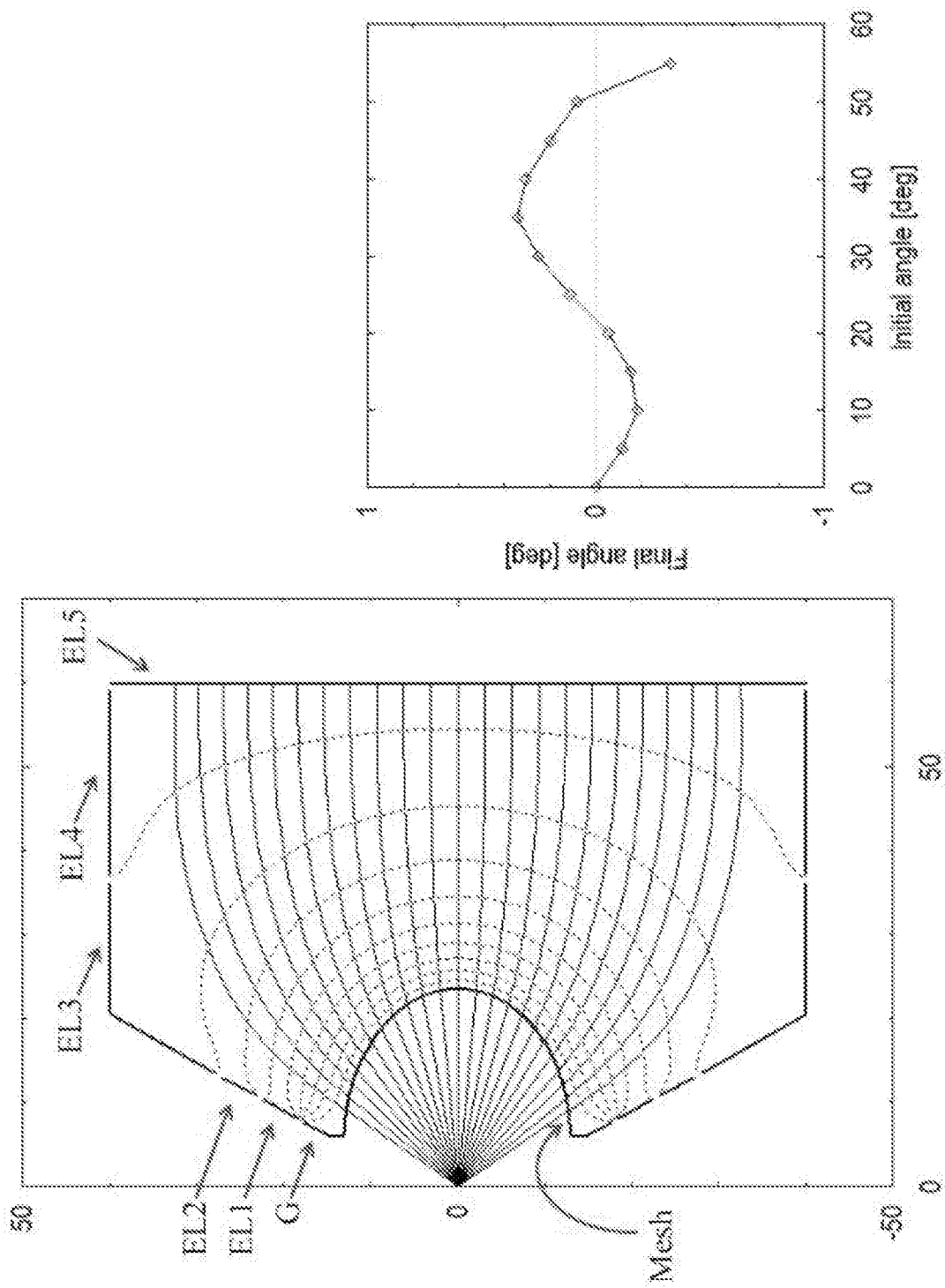
[図15]



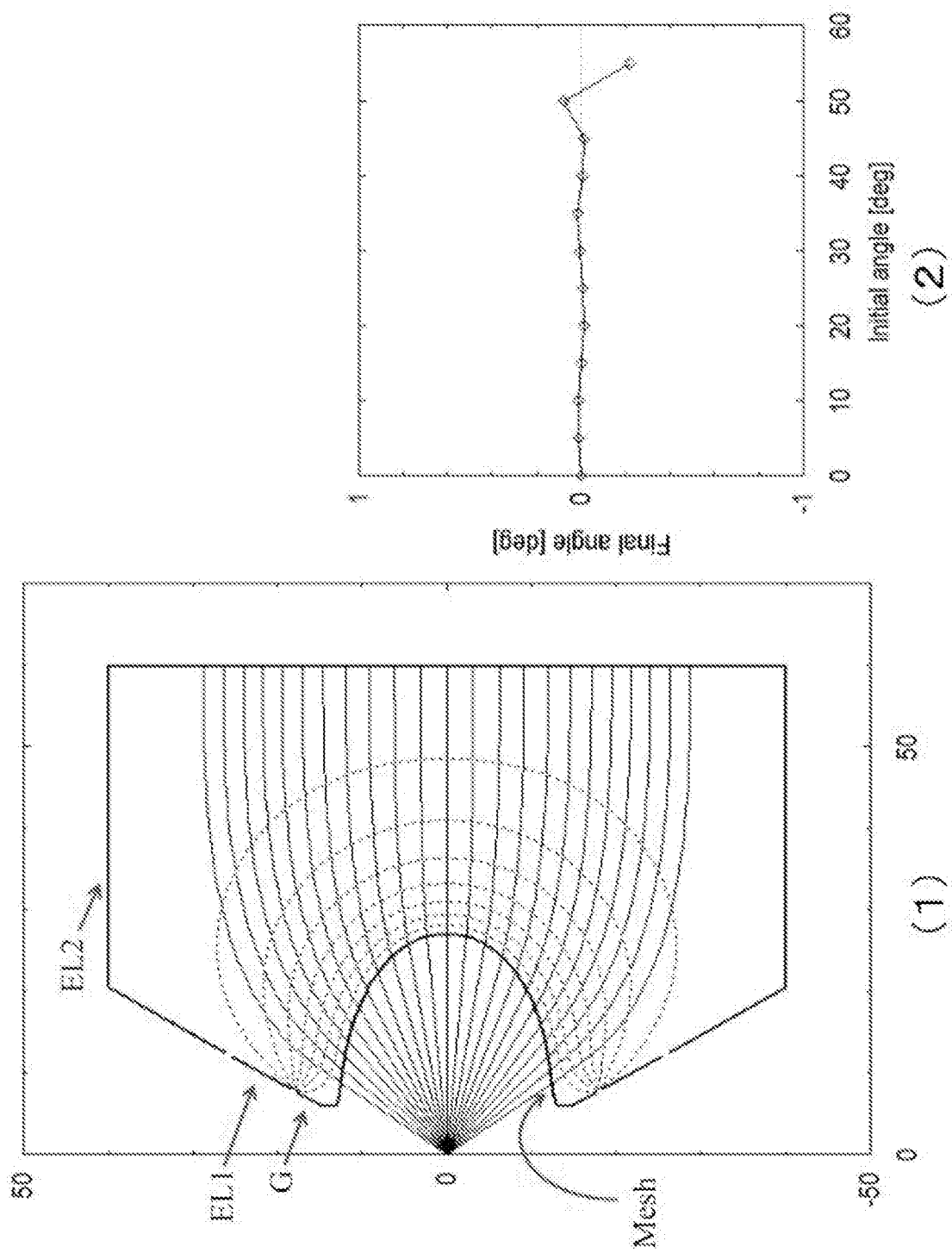
[図16]



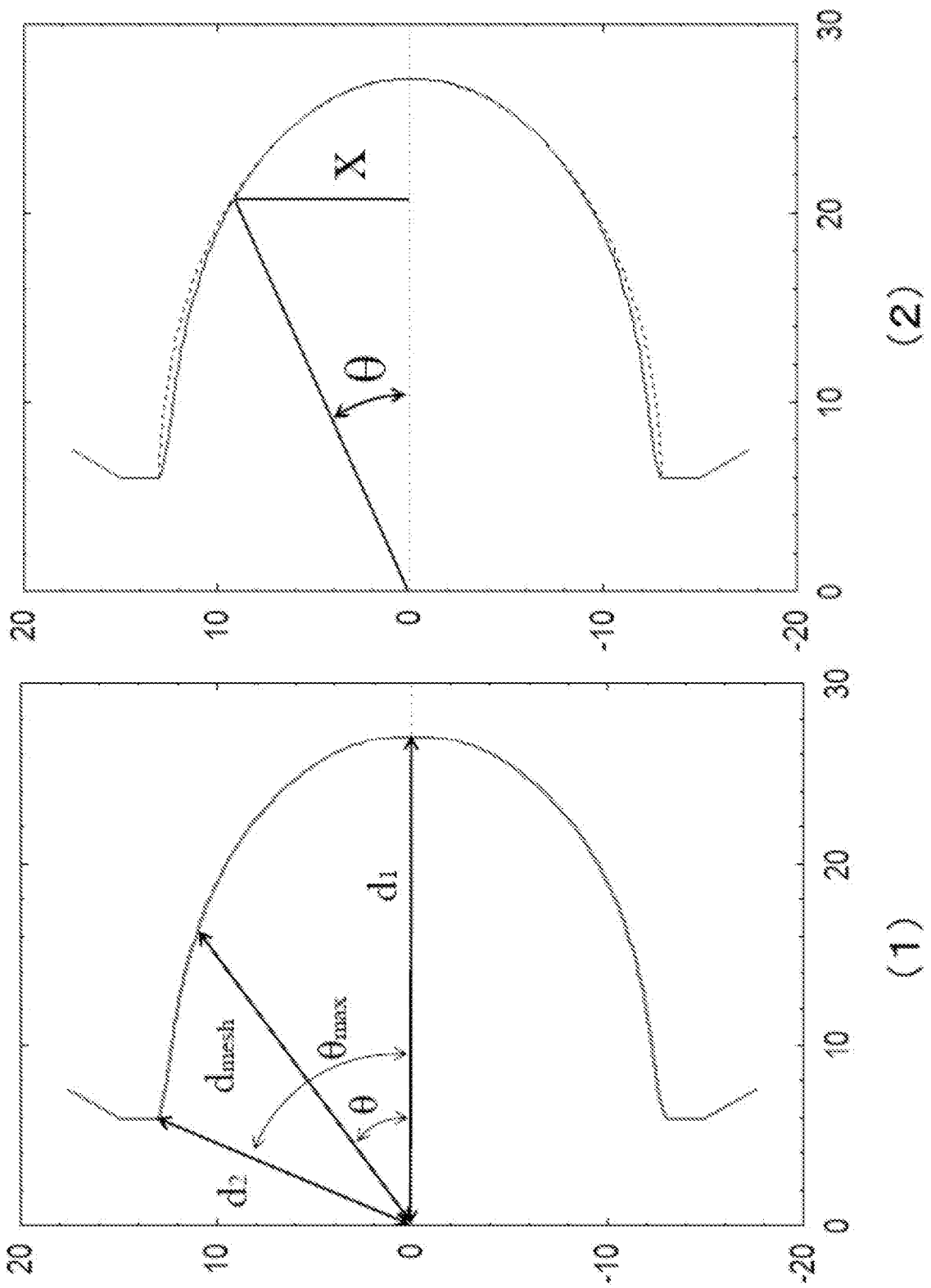
[図17]



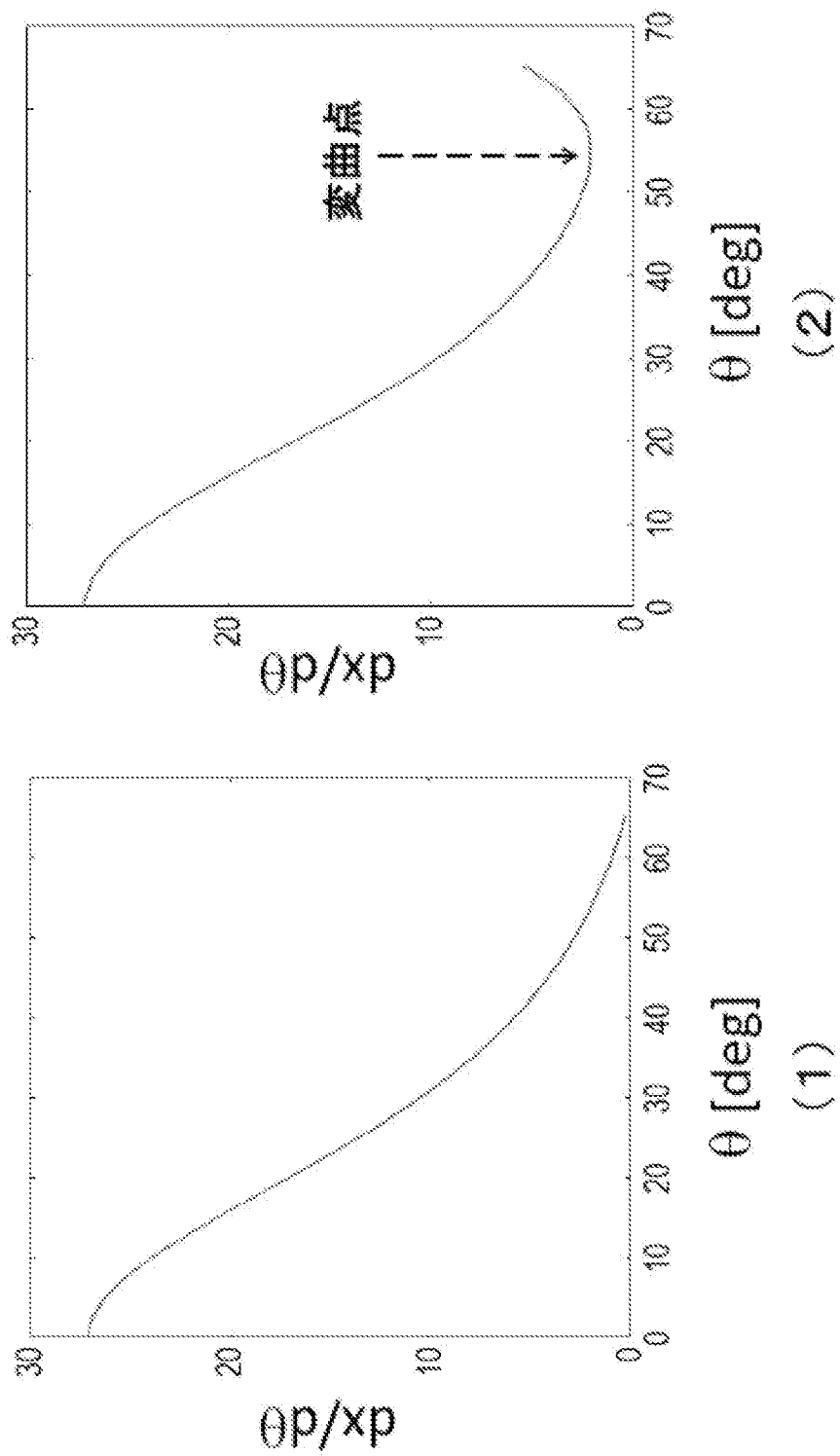
[図18]



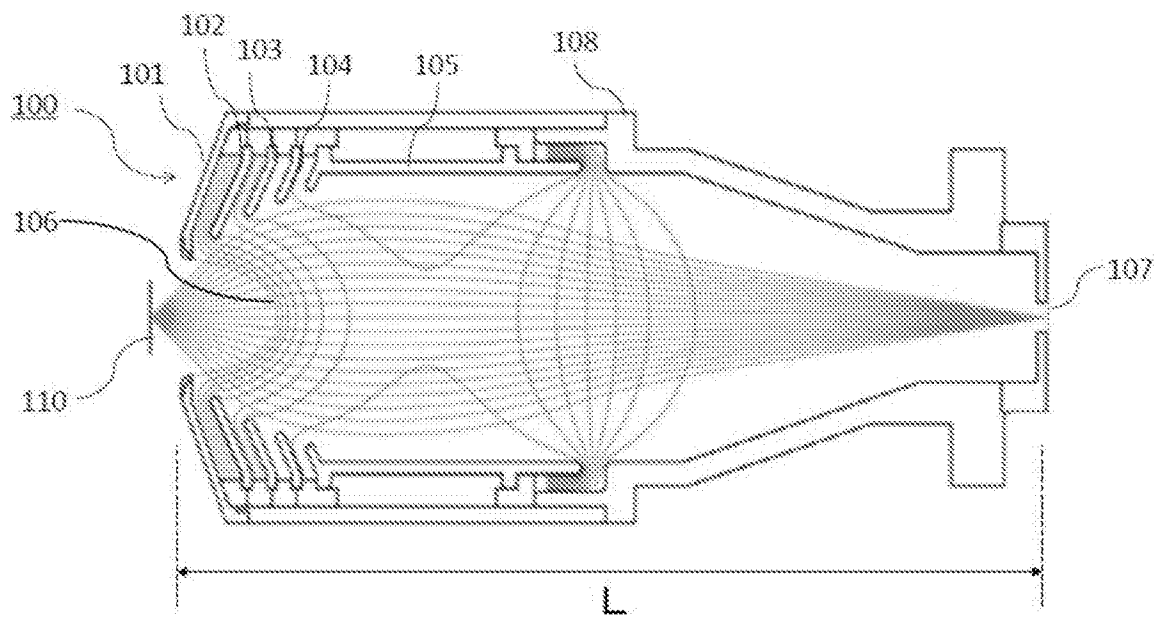
[図19]



[図20]



[図21]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2016/070744

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER H01J37/12(2006.01)i, H01J37/05(2006.01)i, H01J37/075(2006.01)i, H01J37/09(2006.01)i, H01J37/244(2006.01)i, H01J37/252(2006.01)i, H01J37/305(2006.01)i, H01J43/24(2006.01)i According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) H01J27/00-27/26, 37/00-37/36, G21K1/08-1/093 Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2016 Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2016 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2016 Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) JSTPlus/JST7580(JDreamIII), CiNii		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2001-35434 A (Staib Instrumente GmbH), 09 February 2001 (09.02.2001), paragraphs [0020] to [0022], [0035] to [0041]; fig. 7 & US 6492644 B1 column 5, line 36 to column 6, line 22; column 7, line 53 to column 8, line 51; fig. 7 & EP 1063676 A2 & DE 19929185 A & DE 50014031 D	1-19
☒ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☐ See patent family annex.		
* Special categories of cited documents: “A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance “E” earlier application or patent but published on or after the international filing date “L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) “O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means “P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed “T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention “X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone “Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art “&” document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search 06 October 2016 (06.10.16)		Date of mailing of the international search report 18 October 2016 (18.10.16)
Name and mailing address of the ISA/ Japan Patent Office 3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915, Japan		Authorized officer Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2016/070744

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	WO 2008/013232 A1 (Nara Institute of Science and Technology), 31 January 2008 (31.01.2008), paragraphs [0011] to [0012]; claims 1 to 4; fig. 1 to 4 & US 2010/0001202 A1 paragraphs [0011] to [0014]; claims 1 to 4; fig. 1 to 4 & EP 2058834 A1	1-19
A	TÓTH, László et al., Details of 1π sr wide acceptance angle electrostatic lens for electron energy and two-dimensional angular distribution analysis combined with real space imaging, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A, 2011.09.21, Volume 661, Issue 1, pp.98-105	1-19
A	MATSUDA, H. et al., Development of display-type ellipsoidal mesh analyzer: Computational evaluation and experimental validation, Journal of Electron Spectroscopy and Related Phenomena, 2014.05.13, Volume 195, pp.382-398	1-19
A	MATSUDA, H. et al., Approach for simultaneous measurement of two-dimensional angular distribution of charged particles: Spherical aberration correction using an ellipsoidal mesh, PHYSICAL REVIEW E, 2005.06.28, vol.71, 066503	1-19
A	US 2010/0163725 A1 (BARKSHIRE, Ian Richard), 01 July 2010 (01.07.2010), abstract; fig. 2 & GB 700754 D & WO 2008/087384 A2 & WO 2008/087386 A1	1-19
A	JP 2004-507861 A (Semequip, Inc.), 11 March 2004 (11.03.2004), paragraphs [0141] to [0142]; fig. 11 & US 2003/0230986 A1 paragraphs [0213] to [0214]; fig. 11 & WO 2001/043157 A1 & EP 1538655 A2	1-19

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC））

Int.Cl. H01J37/12(2006.01)i, H01J37/05(2006.01)i, H01J37/075(2006.01)i, H01J37/09(2006.01)i,
H01J37/244(2006.01)i, H01J37/252(2006.01)i, H01J37/305(2006.01)i, H01J43/24(2006.01)i

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（IPC））

Int.Cl. H01J27/00-27/26, 37/00-37/36
G21K1/08-1/093

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2016年
日本国実用新案登録公報	1996-2016年
日本国登録実用新案公報	1994-2016年

国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）

JSTPlus/JST7580 (JDreamIII)
CiNii

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
A	JP 2001-35434 A（シュタイプ・インストルメンテ・ゲーエムベーハー）2001.02.09, 段落0020～0022、0035～0041、図7 & US 6492644 B1, 第5欄第36行～第6欄第22行、第7欄第53行～第8欄第51行、図7 & EP 1063676 A2 & DE 19929185 A & DE 50014031 D	1-19

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。

☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日後に公表されたもの
「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）
「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

06.10.2016

国際調査報告の発送日

18.10.2016

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁（ISA/J P）
郵便番号100-8915
東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官（権限のある職員）

杉田 翠

電話番号 03-3581-1101 内線 3226

2G

3811

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリ*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
A	WO 2008/013232 A1 (国立大学法人奈良先端科学技術大学院大学) 2008.01.31, [0011]-[0012]、特許請求の範囲[1]-[4]、図1-4 & US 2010/0001202 A1, [0011]-[0014]、特許請求の範囲1-4、図1-4 & EP 2058834 A1	1-19
A	TÓTH, László et al., Details of 1π sr wide acceptance angle electrostatic lens for electron energy and two-dimensional angular distribution analysis combined with real space imaging, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A, 2011.09.21, Volume 661, Issue 1, pp.98-105	1-19
A	MATSUDA, H. et al., Development of display-type ellipsoidal mesh analyzer: Computational evaluation and experimental validation, Journal of Electron Spectroscopy and Related Phenomena, 2014.05.13, Volume 195, pp.382-398	1-19
A	MATSUDA, H. et al., Approach for simultaneous measurement of two-dimensional angular distribution of charged particles: Spherical aberration correction using an ellipsoidal mesh, PHYSICAL REVIEW E, 2005.06.28, vol.71, 066503	1-19
A	US 2010/0163725 A1 (BARKSHIRE, Ian Richard) 2010.07.01, ABSTRACT、FIG.2 & GB 700754 D & WO 2008/087384 A2 & WO 2008/087386 A1	1-19
A	JP 2004-507861 A (セメクイップ, インコーポレイテッド) 2004.03.11, 段落0141～0142、図11 & US 2003/0230986 A1, [0213]-[0214]、図11 & WO 2001/043157 A1 & EP 1538655 A2	1-19