

(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6月29日(29.06.2017)



(10) 国際公開番号

WO 2017/109948 A1

- (51) 国際特許分類:
H01J 37/295 (2006.01) H01J 37/26 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2015/086277
- (22) 国際出願日: 2015年12月25日(25.12.2015)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (71) 出願人: 株式会社日立ハイテクノロジーズ(HITACHI HIGH-TECHNOLOGIES CORPORATION)
[JP/JP]; 〒1058717 東京都港区西新橋一丁目2番14号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: ブラックバーン アーサー マルコム (BLACKBURN Arthur Malcolm); SL68YA パーク
シャー州 メイドンヘッド ロウワークックハム
ロード ホワイトブルックパーク 日立ヨー
ロッパリミテッド内 Berkshire (GB).
- (74) 代理人: 平木 祐輔, 外(HIRAKI Yusuke et al.); 〒
1056232 東京都港区愛宕2丁目5番1号 愛宕

グリーンヒルズMORIタワー32階 Tokyo (JP).

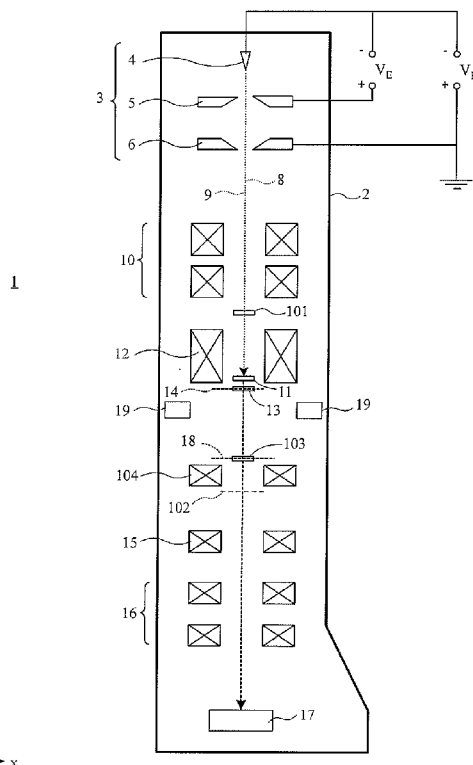
- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, 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, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユー
ロシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ユー
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),

[続葉有]

(54) Title: CHARGED PARTICLE BEAM APPARATUS AND PHASE PLATE

(54) 発明の名称: 荷電粒子線装置及び位相板

図2



(57) Abstract: Provided is a technology for improving controllability and stability of phase shifting. A charged particle beam apparatus (1) has: a first charged particle source (3) that generates and emits first charged particles onto a sample (11); a phase plate (13) that alters the phase of the first charged particles depending on the state of charge of a part through which the particles pass; and a phase plate control device (19) that controls the charge of the phase plate (13).

(57) 要約: 位相シフトの制御性と安定性を改善する技術を提供する。荷電粒子線装置(1)は、第1の荷電粒子を発生して試料(11)に照射する第1の荷電粒子源(3)と、透過する部位の帯電の状態に応じ、前記第1の荷電粒子の位相に変化を与える位相板(13)と、前記位相板(13)の前記帯電を制御する位相板制御装置(19)と、を有する。

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))

明 細 書

発明の名称：荷電粒子線装置及び位相板

技術分野

[0001] 本発明は、荷電粒子線装置及び当該装置で使用する位相板に関する。

背景技術

[0002] 従来、透過型電子顕微鏡（TEM：Transmission Electron Microscope）によって、生物学試料のような弱位相物体を撮像する場合、観察する物体の低空間周波数成分のため、取得される像のコントラストが弱くなる。低空間周波数成分から良好なコントラストを得ることは、生物学的に重要な有機体や構造（細胞内組成やウイルス等）における蛋白質コーティングの範囲を迅速に同定する上で重要である。

[0003] 従来、透過型電子顕微鏡の分野では、コントラストを改善するために、電子ビームの通路に挿入される位相板の開発が進められてきた。移相板は、典型的には、透過型電子顕微鏡の後焦点面又は後焦点面と共役な位置に配置され、位相板のある領域を通過する電子波の位相と他の領域を通過する電子波の位相とを変化させることで位相差を生じさせる。現在、移相板には様々な種類があるが、その一つに、薄膜フィルム透過型の位相板がある。

[0004] 薄膜フィルム透過型の位相板は、像全体の強度を低下させると共に電子ビームの通路内に追加的な散乱を導入する。このため、像ノイズが誘引される。この種の位相板は、所望の位相シフトを達成するために、製造時において、高精度（約1 nm）の厚さ制御を要求する。また、この種の位相板は、使用中のカーボン汚染や電子ビームによる励起化学変化によって容易に起こり得る厚み変化に敏感である。

[0005] 初期の薄膜フィルム透過型の位相板は、位相板の中心領域に開口を有するものであった。しかし、この構造の位相板は、製造中に生じた薄膜表面の汚染や欠陥によって位相シフトが変化しやすい欠陥がある。また、位相シフトの大きさは、入射する電子の強度と時間に依存するため、位相板の実用上で

の使用を複雑にする。これらの現象の幾つかは、位相板の支持フレームと位相板の表面をカーボン皮膜で覆い、更に、位相板を加熱することで軽減することができる。ただし、この対策をもってしても、位相シフトの時間安定性を改善することはできない。

[0006] そこで最近では、図1に示すように、中心部分に開口を有しない位相板が提案されている（非特許文献1～3）。この位相板は、透過型電子顕微鏡の後方焦点面に結像する非散乱電子ビームが、位相板の薄膜に位相シフトを生成することを原理とする。導電性位相板薄膜の上下面を覆う絶縁表面層のうち非散乱電子ビームで照射された部分は、二次電子の放出により電子が不足した状態になる。このため、絶縁表面層には、直下に負電荷領域を伴う正帯電の領域が生成される。この中心領域の正味の電荷は、これらの領域を透過する電子に対し、周辺領域とは異なる局所的な正味の静電ポテンシャルを生成する。その結果、中心部分とその周辺部分を透過する電子に異なる位相差を生成する。

先行技術文献

非特許文献

[0007] 非特許文献1：M. Malac, M. Beleggia, M. Kawasaki, P. Li, R.F. Egerton, Convenient contrast enhancement by a hole-free phase plate, Ultramicroscopy, 118 (2012) 77-89.

非特許文献2：M. Malac, M. Beleggia, M. Kawasaki, R.F. Egerton, Charging of a hole-free thin film phase plate, Application, US 8785850 B2, National Research Council Of Canada & JEOL Ltd., 2014.

非特許文献3：B. Buijsse, R.S. Danev, Method of using a phase plate in a transmission electron microscope, Application US20140326876 A1, FEI Inc, 2014.

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0008] しかし、図1に示すタイプの位相板において、位相シフトの制御と安定性に制限がある。本発明は、かかる技術課題を考慮してなされたものであり、位相シフトの制御性と安定性を改善する技術を提供する。

課題を解決するための手段

[0009] 上記課題を解決するために、本発明は、例えば特許請求の範囲に記載の構成を採用する。本明細書は上記課題を解決する手段を複数含んでいるが、その一例を挙げるならば、「(1) 第1の荷電粒子を発生して試料に照射する第1の荷電粒子源と、(2) 透過する部位の帯電の状態に応じ、前記第1の荷電粒子の位相に変化を与える位相板と、(3) 前記位相板の前記帯電を制御する位相板制御装置と、を有する荷電粒子線装置。」を特徴とする。

発明の効果

[0010] 本発明によれば、位相シフトの制御性と安定性を従来に比して改善することができる。前述した以外の課題、構成及び効果は、以下の実施の形態の説明により明らかにされる。

図面の簡単な説明

[0011] [図1]表面を絶縁層（低導電率層）で覆った位相板を説明する図（従来技術）。

[図2]実施例1に係る電子顕微鏡の構成を示す図。

[図3]実施例1に係る位相板（構成1）と位相板制御装置の配置例を示す図。

[図4]実施例1に係る位相板（構成2）と位相板制御装置の配置例を示す図。

[図5]一般的な材料の入射電子エネルギーに対する二次電子収率を示す図。

[図6]実施例2に係る位相板の構成を示す図。

[図7A]実施例3に係る位相板の構成を示す図。

[図7B]実施例3に係る位相板の外観構成を示す図。

[図7C]実施例3に係る位相板の断面構成を示す図。

[図8]中央領域A2の想定表面電位 V_d で正規化した $r-z$ 面の静電等電位線を示す図（境界要素としての接地された導電部材A12が存在しない場合）。

[図9]中央領域A 2の想定表面電位 V_d で正規化した $r-z$ 面の静電等電位線を示す図（境界要素として接地された導電部材A 1 2が存在する場合）。

[図10]位相板面の半径方向の位相シフトを示す図（接地されたリング状の導電部材A 1 2が存在しない場合）。

[図11]位相板面の半径方向の位相シフトを示す図（接地されたリング状の導電部材A 1 2が存在する場合）。

[図12]接地されたリング状の導電部材A 1 2を有しない位相板のP C T FとZ e r n i k e位相板のT E M特性を示す図。

[図13]接地されたリング状の導電部材A 1 2を有する位相板のP C T FとZ e r n i k e位相板のT E M特性を示す図。

[図14A]実施例4に係る位相板の外観構成を示す図。

[図14B]実施例4に係る位相板の断面構成を示す図。

[図15A]実施例5に係る位相板の外観構成を示す図。

[図15B]実施例5に係る位相板の部分断面構成を示す図。

[図16]実施例5に係る位相板のS E M画像を示す図。

[図17A]位相板の中央領域上の位相シフトを説明する図。

[図17B]位相シフトのラインプロファイルを説明する図。

[図18A]位相板を用いずにアンダーフォーカス状態で撮像した透過電子顕微鏡像を示す図。

[図18B]位相板を用いずにフォーカス状態で撮像した透過電子顕微鏡像を示す図。

[図18C]位相板を用いてフォーカス状態で撮像した透過電子顕微鏡像を示す図。

[図19A]U V照射無しで撮像した位相画像を示す図。

[図19B]U V照射有で撮像した位相画像を示す図。

[図19C]位相シフトのプロファイルを示す図。

[図20]位相板にU V光子と低エネルギー電子を導入するための方法を説明する図。

[図21]対物レンズの磁場に電子を導入する電子源を対物絞りより下に配置する例を示す図。

発明を実施するための形態

[0012] 以下、添付の図面に基づいて、本発明の実施の形態を説明する。ただし、本発明の実施の態様は、本発明の一例に過ぎず、本発明の技術的範囲を限定するものではない。

[0013] (1) 実施例 1

図 2 に、電子顕微鏡 1 の構成を示す。本実施例では、電子顕微鏡 1 として、透過型電子顕微鏡 (TEM)、走査透過型電子顕微鏡 (STEM: Scanning Transmission Electron Microscope)、走査電子顕微鏡 (SEM: Scanning Electron Microscope) 等を想定する。電子顕微鏡 1 は、不図示の高真空ポンプ系又は極高真空ポンプ系に接続されたハウジング 2 (一般に「カラム」とも呼ぶ。) を有している。ハウジング 2 は、カソード 4、引き出し電極 5、アノード 6 を含む電子源 3 を収容している。カソード 4 と引き出し電極 5 の間にはバイアス電圧 V_E が印加されている。カソード 4 は、電子ビーム 8 を発生させる。カソード 4 とアノード 6 の間にはバイアス電圧 V_B (以下、「ビーム電圧」という。) が印加されている。ビーム電圧 V_B は、電子ビーム 8 を加速する。ビーム電圧 V_B は、およそ 10 kV から 1 MV の範囲、典型的には 60 kV から 300 kV の範囲で使用される。

[0014] 電子ビーム 8 は、光軸 9 に沿って移動し、照射レンズ 10、照射絞り 101、試料 11、対物レンズ 12、対物レンズ 12 の後焦点面 14 の近傍又は共役面 102 の近傍に置かれた位相板 13、選択された回折絞り 103、回折レンズ 104、中間レンズ 15、投射レンズ 16 を順番に通過する。最終的に、電子ビーム 8 は検出器 17 に入射し、試料 11 の透過像が検出される。測定対象である試料 11 は、電子顕微鏡 1 に対して着脱可能である。図 2 では、作図上の制約から、幾つかの要素 (特に、偏向コイルや補正コイル) を省いている。

[0015] 位相板 13 の周辺には、電子源及び光子源の一方又は両方で構成される位

相板制御装置 19 が配置される。図では、2つの位相板制御装置 19 を配置しているが、その個数は任意である。位相板制御装置 19 は、電子ビーム及び光子束の一方又は両方を位相板 13 に照射し、位相板 13 を通過する電子ビーム 8 に所望の位相差を発生させる。以下では、位相板制御装置 19 が発生する電子ビームや光子束を「位相板制御ビーム」と呼び、電子源 3 が発生する電子ビーム 8 を「画像化ビーム」と区別する。位相板制御ビームのエネルギーは、画像化ビームのエネルギーよりもかなり低い値に設定する。また、位相板制御装置 19 が発生する光子束のエネルギー幅は、典型的には 0.5 ~ 10 eV に設定する。

[0016] 本実施例の位相板 13 は、少なくとも 2つの領域を含み、当該 2つの領域は、位相板制御ビームのエネルギー変化（電子収率の変化又は光子束の仕事関数の変化）により異なる率で帯電する、及び／又は、位相板制御ビームの通過若しくは入射によって半導体材料のバンドギャップより上にキャリアー励起されて導電性が変化する特徴を有している。

[0017] 位相板制御装置 19 は、位相板 13 に照射する位相板制御ビームのエネルギー又は強度を変えることにより、前記 2つの領域の帯電を制御する。位相板制御ビームのエネルギー又は強度の変化は、例えば電子源又は光子源の時間変調（例えばパルス幅変調した連続パルス列）により可能である。時間変調した位相板制御ビームを 2つの領域に照射することにより各領域の平均帯電レベルが変化し（電氣的ポテンシャルが変化し）、その結果、2つの領域を通過する画像化ビームの間に位相差が発生する。位相板制御ビームは、検出器 17 の検出にはほとんど影響せず、専ら 2つの領域間の位相差の調整にのみ作用する。すなわち、位相板制御ビームは、専ら像コントラストの変化又は強調に作用する。

[0018] 図 3 及び図 4 に、位相板 13 の代表的な構成と位相板制御装置 19 の位置関係を示す。位相板 13 は平板状の本体部材を有する。位相板 13 は、例えば透過型電子顕微鏡の後焦点面、又は、走査透過型電子顕微鏡若しくは走査電子顕微鏡の照射絞り位置、又は、それらの等価位置に配置される。本体部

材には、位相の制御に用いられる領域 A 1 が設けられる。領域 A 1 は、第 1 の領域（中央領域 A 2 又は B 2）と第 2 の領域（周辺領域 A 3 又は B 3）で構成される。第 1 の領域と第 2 の領域は、少なくとも材料の成分や種類が異なる部材で構成される。もっとも、第 1 の領域と第 2 の領域のうちのいずれか一方は開口であってもよい。図 3 及び図 4 に示す位相板 1 3 の場合、周辺領域 A 3 及び B 3 は、本体部材の中央付近に開口として形成される。開口であるので構成部材は存在しないが、中央領域 A 2（又は B 2）と周辺領域 A 3（又は B 3）との間で異なる帯電状態を生じさせるという機能を備えている。換言すると、位相板 1 3 の面内に帯電状態が異なる 2 つの領域を発生させる。第 1 の領域と第 2 の領域では、画像化ビーム（電子ビーム 8）の電子強度又は蓄積した照射量が異なる。

[0019] 位相板 1 3 を後焦点面に配置する場合、電子ビーム 8 は、対物レンズ A 6（対物レンズ 1 2）を通過して後焦点面に結像される外軌道 A 5 で挟まれた空間を進み、位相板 1 3 の下流に位置する結像面 A 8 に物点 A 7 の像を形成する。この場合、周辺領域 A 3（又は B 3）の外縁を規定する平板状の本体部材は不要である。例えば図 3 の場合、位相板 1 3 は、画像化ビーム（電子ビーム 8）の通路上に配置する中央領域 A 2 と、当該中央領域 A 2 に「場を閉じ込める」リング状の導電部材 A 1 2 と、導電部材 A 1 2 を支持する支持部材 A 1 3 のみで構成されてもよい。また、位相板 1 3 を上側開口位置に配置すれば、試料面の周辺を走査する電子プローブの強度と位相分布を制御することができる。

[0020] 図 3 及び図 4 に示す位相板制御装置 1 9 は、電子源 A 9、A 1 0 と光子源 A 1 1、A 1 4 の両方を有している。このため、位相板制御装置 1 9 は、比較的低エネルギーをもつ第 2 の電子ビームと光子束の両方を位相板 1 3 上に照射する。試料 1 1 と位相板 1 3 には、画像化ビーム（電子ビーム 8）と位相板制御ビーム（第 2 の電子ビームと光子束）を連続的に照射してもよいし、連続的に照射される画像化ビーム（電子ビーム 8）に対してパルスシーケンス変調又はパルスシーケンス変調された位相板制御ビームを重疊的に照射

してもよい。

[0021] 以下では、位相板 13 が、試料 11 内の位相変化の強度を強調した像を形成するのに役立つことを説明する。図 3 の場合、少なくとも中央領域 A2 又は周辺領域 A3 の一方に位相板制御ビームを照射し、電子顕微鏡 1 の接地電位に対して相対的な静電ポテンシャルを発生させる。この目的のため、中央領域 A2 及び周辺領域 A3 の一方又は両方の材料は完全導体ではない。すなわち、中央領域 A2 及び周辺領域 A3 の一方又は両方を薄い絶縁体、半絶縁体又は半導体材料で構成する。勿論、中央領域 A2 及び周辺領域 A3 は帯電特性が異なる材料で構成される。

[0022] 電子顕微鏡 1 において、画像化ビーム（電子ビーム 8）は、結像面 A8 で対物 A7 の像を形成する。このため、対物レンズ A6（対物レンズ 12）を通過した画像化ビーム（電子ビーム 8）は外軌道 A5 によって束ねられる。位相板制御装置 19 は、位相板 13 の単一領域（中央領域 A2 及び周辺領域 A3 の一方）又は両方の領域（中央領域 A2 及び周辺領域 A3 の両方）に位相板制御ビームを照射する。1 つ又は複数個の電子源 A9 及び A10 は、位相板 13 の上側のみ又は下側のみ又は両方に配置しても良い。電子源 A9、A10 は、電子源 3 よりも低い運動エネルギーを持った電子を提供する。位相板制御装置 19 は、フィラメントの加熱や電圧 V_1 により強度を制御し、電圧 V_2 によりエネルギーを制御する。

[0023] 図 3 の場合、中央領域 A2 と周辺領域 A3 は、導電部材 A12 によって電気的に分離されている。リング状の導電部材 A12 で囲まれた中央領域 A2 が「場の閉じ込め」領域となる。導電部材 A12 は、支持部材 A13 によって位相板 13 の本体部材に取り付けられている。棒状の支持部材 A13 は導電性を有し、電子顕微鏡 1 の接地電位に接続されてもよい。支持部材 A13 が接地電位に接続されることで、導電部材 A12 による「場の閉じ込め」の保持にも役立つ。

[0024] 図 4 における中央領域 B2 と周辺領域 B3 は、前述の中央領域 A2 及び周辺領域 A3 と等価である。ただし、中央領域 A2 は領域 A1 の中央付近に配

置していたが、周辺領域 B 2 は領域 A 1 の範囲を超えて広がっている。図 4 の場合、中央領域 B 2 は、断面コ字状（C 字形状）の棒状の導電部材 A 1 2 の内側に埋め込まれた矩形状の部材として規定される。因みに、導電部材 A 1 2 の一端部は、導電コーティングが無い支持部材 A 1 3 により一体的に保持されている。この場合も、導電部材 A 1 2 で囲まれた領域が「場の閉じ込め」領域となる。また、図 4 の場合、周辺領域 B 3 は領域 A 1 のうち導電部材 A 1 2 と中央領域 B 2 を除く部分として規定される。

[0025] 電子源 A 9 及び／又は A 1 0 は、画像化ビーム（電子ビーム 8）のエネルギー E_p （一般に $E_p > 10 \text{ keV}$ である）よりもはるかに低いエネルギー E_s を有するように設定されている。このため、電子源 A 9 及び／又は A 1 0 から発せられた電子が、検出器 1 7 に直接到達したとしても、そのエネルギーは、結像面 A 8 の周囲に配置された検出器 1 7 の検出閾値以下になる。

[0026] 位相板制御装置 1 9 を用いると、主光学系とレンズ A 6 の撮像条件を変更することなく、中央領域 A 2 と周辺領域 A 3 の一方又は両方が受け取る電子の流れを変更することができる（すなわち、位相差を設けることができる）。従って、磁気レンズの電流励起によって設定された撮影条件を変更することなく、中央領域 A 2 及び周辺領域 A 3（又は中央領域 B 2 及び周辺領域 B 3）上に保持される相対的な電荷量（すなわち帯電）を変えることができる。

[0027] 図 5 を用いて説明する。図 5 は横軸がエネルギーであり、縦軸が電子収率 σ である。図 5 より、 $E_1 < E < E_2$ のとき、電子収率 σ が 1 より大きくなることが分かる。このことは、位相板制御ビームのエネルギー E_s が $E_1 < E_s < E_2$ を満たせば、位相板 1 3 の一部領域の帯電極性を可変できる可能性を示す。すなわち、静電荷によって生成される位相シフトの符号を変えられることを示す。また、エネルギー E_2 の近傍又はそれより下の領域では材料間で電子収率に大きな差があるため、相対的な表面電荷の制御が可能である。なお、 E_1 及び E_2 の値は、材料毎に異なる。

[0028] 以上説明したように、本実施例の位相板 1 3 の構成は、図 3 や図 4 に示す

ようにシンプルであり、製造も簡単である。また、位相板 13 には、接地用以外に電氣的な接点を設ける必要がない。その上、本実施例では、位相板制御装置 19 によって位相板 13 の表面に位相板制御ビームを照射するだけで、広範囲かつ安定的に 2 つの領域間の位相差を制御することができる。

[0029] (2) 実施例 2

続いて、位相板 13 の構成例を説明する。図 6 に、本実施例で使用する位相板 13 の構成を示す。本実施例の位相板 13 は、中央ディスク 201 (中央領域 A2 に相当する) を、光導電性部材 202 を介して支持部材 A13 に接続した構成を有している。この場合、中央ディスク 201 の周囲の空間が第 2 の領域 (周辺領域 A3) として用いられる。

[0030] 中央ディスク 201 は、円板部と棒状の腕部とを有し、前記腕部によって光導電性部材 202 に接続されている。光導電性を有する材料としては、 $\text{Mo}(\text{Co})_2$ と酸素の混合物から形成された MoO_x の電子ビーム誘起堆積物が知られている。この他、光導電性を有する材料は、他の物理的又は化学的蒸着法による材料層 (例えば原子層堆積法により堆積された ZnO) であってもよい。ここで、光導電性部材 202 は、支持部材 A13 のうち画像化ビーム (電子ビーム 8) が届かない部分に装着する。例えば、光導電性部材 202 は、支持部材 A13 のうち画像化ビーム (電子ビーム 8) が入射する面とは反対側の面に設ける。この構成により、光導電性部材 202 を、画像化ビーム (電子ビーム 8) からある程度遮蔽することができる。

[0031] 支持部材 A13 の厚さ t_2 は、画像化ビーム (電子ビーム 8) の照射時に、照射面から無視できる又は非常に少数の電子が放出される値に設定する。例えば、画像化ビーム (電子ビーム 8) が 60 keV のエネルギーをもつ場合、W または Mo で構成される支持部材 A13 の厚さ t_2 を $10\text{ }\mu\text{m}$ とする。 $10\text{ }\mu\text{m}$ の厚みは、光導電性部材 202 を、画像化ビーム (電子ビーム 8) から遮蔽するのに十分である。

[0032] 光導電性部材 202 が配置される遮蔽領域では、画像化ビーム (電子ビーム 8) の照射によって引き起こされる電子衝撃誘導導電率の増分が低減され

、当該領域の導電率は、飽和伝導率よりも十分に小さくなる。これにより、光導電性部材 202 の少なくとも一部が、画像化ビーム（電子ビーム 8）から遮蔽されなかった場合よりも、位相板制御装置 19 から出力される位相板制御ビームの強度を強めることができる。

[0033] （３）実施例 3

引き続き、位相板 13 の他の構成例を説明する。図 7 A～図 7 C に、本実施例で使用する位相板 13 の構成を示す。本実施例の位相板 13 は、中央ディスク 201（中央領域 A2 に相当する）の表面を、光導電性部材 204 で被覆する構成を有している。支持部材 A13 は、導体及び絶縁体（例えば電子ビーム誘起蒸着による Pt や SiO₂）のいずれかで構成される部材 203 を含んでもよい。図 7 A～図 7 C では、光導電性部材 204 は、中央ディスク 201 の全体を覆っているが、中央ディスク 201 を部分的に覆っても良い。すなわち、光導電性部材 204 は、中央ディスク 201 を画像化ビーム（電子ビーム 8）から部分的に遮光しても良い。例えば厚さ t_2 の支持部材 A13 によって画像化ビーム（電子ビーム 8）を吸収することにより画像化ビーム（電子ビーム 8）を遮蔽し、画像化ビーム（電子ビーム 8）の照射を直接受けない支持部材 A13 の側に遮蔽領域 207 を設けてもよい。ここで、膜厚が厚い遮蔽領域 207 は、散乱した画像化ビーム（電子ビーム 8）が通過し、中央ディスク 201 の領域は散乱されていない画像化ビーム（電子ビーム 8）が通過する。

[0034] 光導電性材料は、例えば原子層堆積（ALD）によって堆積された ZnO 等を含んでよい。典型的には、光導電性材料の厚さは、0.5～5 nm の間になる。もっとも、位相板 13 に求められる動作レンジに応じて厚みを決定すれば良い。更に、図 7 C に示すように、光導電性材料 204 の表面には、皮膜 205 及び 206 を形成しても良い。被覆 205 及び 206 は、熱又は電子ビーム蒸着により非晶質材料（例えばカーボン等の導電性材料や同様に小さな電子散乱断面積を有する材料）を堆積して形成する。なお、この導電性材料による被覆 205 及び 206 は、必ずしも全体を被覆する必要は無く

、一方の側だけ被覆してもよい。

[0035] (4) 位相シフトが実現される原理的な説明

位相板 1 3 を構成する領域（例えば中央領域 A 2）の厚さと、各領域の内側と外側における静電ポテンシャルが、位相板 1 3 を通過する電子の位相シフトに関与する。位相板 1 3 を十分に薄くすると、位相板 1 3 を構成する材料の平均内部電位 Φ_I と中央ディスク 2 0 1 近傍の静電ポテンシャル Φ_E が位相シフトに寄与する。すなわち、平均内部電位 Φ_I と静電ポテンシャル Φ_E が、構造体を通過する電子波が受ける位相シフト ϕ に対する原理的な影響を与える。ここで、位相シフト ϕ は、以下で与えられる。

$$\phi = \sigma \Phi_I t_I + \sigma \int_{z_l}^{z_u} \Phi_E dz, \quad \dots (式 1)$$

z は画像化ビーム（電子ビーム 8）と平行な方向であり、一般に位相板 1 3 に対して垂直である。 z_u と z_l は、 z 座標の上側と下側に対応する。ここでは、ある Φ_E からの寄与は無視できると考える。 σ は電子間の相互作用係数であり、以下で与えられる。

$$\sigma = \frac{2\pi m e \lambda}{h^2}. \quad \dots (式 2)$$

ここで、 m は電子の質量、 e は電子の電荷、 h はプランク定数、 λ は電子波長である。 λ は、以下で与えられる。

$$\lambda = h / \sqrt{2meV(1 + eV/2mc^2)} \quad \dots (式 3)$$

ここで V は電子線に供給される加速電圧である。

[0036] この静電モデルは、前述した各実施例の中央ディスク 2 0 1 近傍の静電ポテンシャル Φ_E の推定に用いることができる。例えば図 3 に示す位相板 1 3 において、中央領域 A 2 がアモルファスシリコンで構成され、その直径が 2μ

m、厚さが5 nmである場合を考える。また、リング状の導電部材A 1 2を構成する導電性材料（例えば電子誘起堆積（EBID）による堆積Pt）が中央領域A 2を取り囲むように形成されている。また、領域A 1は静電モデルに含まれ、周辺領域A 3は真空であるものとする。導電性材料で構成される位相板1 3の本体部材は接地電位に保持されており、例えば厚さが1 μ m以上のシリコン板で構成する。この静電モデルにおける領域A 1の直径は50 μ mである。

[0037] この場合、アモルファスシリコンで構成された中央領域A 2は、13.5 Vの平均内部電位 Φ_1 を持っていると推定され、（式1）の第1項に当たる平均内部電位 Φ_1 による位相シフト成分は、200 keVの電子ビームに対して 0.16π ラジアンとなる。

[0038] ここで、位相板制御装置1 9の出力する位相板制御ビームのエネルギーと強度は、中央領域A 2の静電電位が電位V d（位相シフト ϕ の中心値が $\pi/2$ ）に設定されるように調整される。前記形状を想定する静電モデリングにおいて、境界要素として接地電位に保持された導電部材A 1 2が存在しない場合のr-z面での静電等電位線を図8に、接地電位に保持された導電部材A 1 2が存在する場合のr-z面での静電等電位線を図9に示す。

[0039] 図8及び図9に示す特性を参照しつつ、図10及び図11に示される各状況について位相シフト ϕ を計算する。ただし、 $r=0$ では常に $\phi=0$ を与えるように、位相シフト ϕ をオフセットする。これらの図において、プロット特性を得るべき中央領域A 2の表面電位V dもまた与えられている。一般に、中央領域A 2のエッジ（外縁）に対応する $r=1 \mu$ mの位置で位相の小さなジャンプがあり、半径rが $r=25 \mu$ m（領域A 1の外縁）に近づくにつれて位相シフトの大きさが $|\phi|=\pi/2$ へと緩やかに下降又は上昇する。図10及び図11では、比較のために中心領域A 2の厚さがゼロ（ $t_z=0$ ）となる場合についても、同じ切り出し半径で理想的なZernike位相板の特性と共に表した。

[0040] 以下では、空間周波数に対する位相板1 3のコントラストを記述する位相

コントラスト伝達関数（PCTF）の近似を、球面収差を表す位相シフト ϕ と透過型電子顕微鏡に存在するデフォーカスの組み合わせで表現すると、以下ようになる。

$$\gamma(k) = 2\pi \left(\frac{1}{4} C_s \lambda^3 k^4 - \frac{1}{2} \Delta z \lambda k^2 \right) + \phi(k), \quad \dots \text{(式4)}$$

これにより、PCTFは、以下により与えられる。

$$G_c(k) = \sin(\gamma(k)) \quad \dots \text{(式5)}$$

ここで、 k は空間周波数であり、 $k = r / f \lambda$ を通じて、後焦点面における半径方向の位置 r に関連する。 f は対物レンズの焦点距離、 C_s は球面収差係数である。 $C_s = 0.7 \text{ mm}$ とし、加速電圧 200 keV で動作する透過型電子顕微鏡に対してPCTFを計算すると、図12及び図13にプロットして示す特性が得られる。図12及び図13では、式6を通じ、透過型電子顕微鏡の点位相物体のコントラストが最大となる値として定義されるScherzer条件で透過型電子顕微鏡が運転される場合のPCTFもプロットした。

$$\Delta z_{Sch} = 1.21 \sqrt{C_s \lambda}, \quad \dots \text{(式6)}$$

[0041] また、図12及び図13には、中央領域A2の半径と同等な遮断周波数を有する理想的なZernike位相板のPCTFもプロットした。

[0042] これらの図から、実施例に係る位相板13を用いると、位相板13を用いない場合に比して低空間周波数（ $1.5 \sim 2 \text{ nm}^{-1}$ 未満）でコントラストの有用な改善が提供されることが分かる。低い空間周波数領域における幾つかの構成について、最も一般的なZernike位相板を実装する場合と比較して、コントラストが反転する低空間周波数の領域において、ある設定でコントラストが負になるのは、より大きな位相シフトを有する試料11の厚い

領域では暗い背景に対して明るく表示され、明るい背景が暗くなることに対応していることを意味する。

[0043] (5) 実施例 4

前述の実施例では、画像化ビーム（電子ビーム 8）とは別に照射する位相板制御ビームによって変調された静電表面電位を有する中央領域 A 2 及び周辺領域 A 3 を少なくとも有する電子顕微鏡 1 について説明した。これらの実施例では、中央領域 A 2 及び周辺領域 A 3 の表面が真空中に保たれているハウジング 2 内に位置し、その表面電位は電界ひいては位相板機構の周囲の空間に伝播する静電ポテンシャルを引き起こす。

[0044] 一方で、これらの領域を炭素のような薄い導電層で被覆すれば、静電ポテンシャルの変調を、中央領域 A 2 と周辺領域 A 3（又は、中央領域 B 2 と周辺領域 B 3）の内側に制限することができる。既に指摘したように、これらの領域は半導体又は部分的な絶縁体であり、位相板制御装置 19 から出力される位相板制御ビームが照射されることにより帯電分布が変調され、内部電界及び電荷分布を維持することが可能となる。そこで、本実施例では、位相板 13 を、材料が異なる 2 つの領域の表面を薄い導電層で覆うことにより構成し、これら材料の異なる領域間で相対的な位相シフトを変調することを考える。

[0045] 図 14 A 及び図 14 B に、本実施例に係る位相板 13 の構成例を示す。ここでの位相板 13 は、厚さ 5 nm のアモルファスシリコン膜 220 の両面に、薄い導電層 222 及び 223 を熱蒸着で順次に堆積させた構成を有する。導電層 222 及び 223 は、例えば厚さ 5 nm の炭素を含む。アモルファスシリコン膜 220 は、前述した実施例の位相板 13 と同様、例えば後焦点面に配置される。

[0046] アモルファスシリコン膜 220 は、領域 A 1（図 3）と同等の面積を有する連続的な膜である。アモルファスシリコン膜 220 の上面の一部（例えば中央付近）には、アモルファスシリコンとは異なる材料で形成されたアイランド部 221 が形成されている。アイランド部 221 は、例えばガス状前

駆体から誘導された堆積集束電子ビームを用いて堆積される。アイランド部 221 は、例えば直径 $1 \sim 2 \mu\text{m}$ 、厚みが $2 \sim 50 \text{nm}$ であり、EBID により酸素と $\text{Mo}(\text{Co})_2$ の混合物から形成された MoO_x 、又は、EBID による TEOS から形成された SiO_x を含むことができる。 MoO_x は可視範囲内で非常に大きな光導電性を有する。一方、 SiO_x の光導電性は限定的である。アイランド部 221 は、中央領域 A2 に相当する。いずれにしても、画像化ビーム（電子ビーム 8）と位相板制御ビームを同時に照射することで、アイランド部 221 とその周囲に位置するアモルファスシリコン膜 220 とを異なる電位に帯電させることができる。EBID 堆積プロセスについては、堆積中に受けた電子線量、強度と電子ビームのエネルギーは、アイランド状堆積物の厚さを決定する。

[0047] (6) 実施例 5

前述の実施例 1 では、図 3 及び図 4 に示したように、1 本の支持部材 A13 で中央領域 A2（部材 A12）を支持する場合について説明したが、複数の支持部材が存在してもよい。図 15A 及び図 15B は、支持部材が 3 本の場合を示している。この 3 本の支持部材は、例えばフォトリソグラフィで露光された酸素プラズマ除去マスクを介して、弱導電性材料 231 を反応性イオンエッチングすることにより最初に形成することができる。その後、弱導電性材料 231 のうち残った部分（3 本の支持部材に相当する。）を導電性材料 232 で被覆する（例えば金をスパッタ蒸着する。）。続いて、中央領域 230（中央領域 A2 に相当する。）に当たる部分の被覆を、集束イオンビームの選択パターニングにより取り除く。結果的に、中央領域 230 には、弱導電性材料 231 が露出する。

[0048] 図 16 に、位相板 13 の中央領域 230 付近を走査型電子顕微鏡で観察した像を示す。図 16 の場合、中央領域 230 の形状は略三角形状である。図 17A 及び図 17B は、中央領域 230 の電子線ホログラフィー像である。この像は、中央領域 230 を取り囲む領域における位相シフトが図 11 に示した静電モデルの結果から予想されるものと同様の形状になることを示して

いる。このことは、フェリチンのような弱位相物体を撮影する際にコントラストを強調できることを示している。フェリチンの撮像例を図 18 A～図 18 C に示す。

[0049] 図 18 A は、位相板無し、かつ、アンダーフォーカス条件で撮影した画像である。図 18 A の画像の場合、フェリチンは誤った見かけ上のコアサイズを示し、蛋白のシェル境界は不明瞭である。図 18 B は、位相板無し、かつ、合焦点条件で撮影した画像である。図 18 B の画像の場合、蛋白質のシェルは見えない。図 18 C は、実施例に係る位相板 13 を使用し、かつ、合焦点状態で撮影した画像である。図 18 C の画像の場合、コアと蛋白質のシェル（黒点周りの白い部分）にコントラストが与えられている。なお、図 18 A～図 18 C のいずれの場合も、左上隅に示す F F T 像には、支持構造体と非回転かつ不変の帯電により生じるスター型のアーチファクトが発生している。図 3 や図 15 A に示す構造の位相板 13 を用いる場合には、支持部材 A 13 の本数に合わせて対称配列を減らすことができ、T F T 像に現れるアーチファクトの性質を変えることができる。

[0050] 図 19 A～図 19 C に、UV 光照射による絶縁物の帯電を実証する実験結果を示す。これらの図は、観察フィールドの中央付近にある小さな絶縁性粒子に起因する位相画像を示す。図 19 A は、UV 照射無しで撮像した位相画像を示し、図 19 B は、UV 照射有りで撮像した位相画像である。図 19 C は、位相シフトのプロファイルを表している。プロファイルは、位相画像における位相シフトのピーク領域で取得している。図 19 C は、UV 照射により、位相シフトが変調（この例では減少）することを示している。

[0051] （7）実施例 6

本実施例では、位相板制御装置 19 の実装例について説明する。図 20 に、3 つの実装例（オプション 1 A～1 C）を示す。図中に示すオプション 1 A は、試料ホルダー 20 に光導管 22 A（光ファイバを含む。）を埋め込み、当該光導管 22 A を通じて伝搬された光子を位相板ホルダー 21 で保持されている位相板 13 に導く方法である。オプション 1 B は、試料ホルダー 2

0にバイアスされたドリフト管22Bを埋め込み、当該ドリフト管22Bをドリフトする低エネルギー電子（典型的には5 keV未満）を位相板13に向けて放出させ、試料11と位相板13の空間を低エネルギー電子で充填させる方法である。光導管22Aやドリフト管22Bを用いることで光源や電子源の配置位置の自由度を高めることができる。ただし、これらの方法は、対物レンズ12が離れているかその磁場が非常に低い場合に限られる。多くの場合、対物レンズ12の磁場により、電子の後焦点面14へのドリフトは妨げられる。オプション1Cは、試料ホルダー20の背面側に真空電界放出電子エミッタ23を配置し、位相板13に向かって電子を放出させる方法である。この構成は、より近距離から位相板13に電子を放出することができる。

[0052] この他、図21に示す実装例も考えられる。図21では、対物レンズ12の下流側に位相板制御装置19としての電子源を配置し、光軸上又は付近で電子が雲状若しくは発散状ビームになるように電子を放射させる。この図21に示す方法は、図20に示す方法に対して幾つかの利点を有している。まず、図21に示す方法は、低エネルギー電子の放出源として比較的大きな従来型の放出源を使用できる利点がある。この放出源から放出された低エネルギー電子は、磁場フリー領域内を光軸方向に伝送される。対物レンズ12の強磁場領域（約2 T以上）に達した低エネルギー電子は、螺旋状軌道を描きながら実質的に磁場方向に平行移動し、位相板13に到達する。図20に示す方法では、磁場が十分に低い場合に限り、低エネルギー電子が位相板13に到達させることができるが、図21に示す方法では、非常に強い磁場が存在しても低エネルギー電子を位相板13に到達させることができる。

[0053] （8）他の実施例

本発明は、上述した実施例に限定されるものでなく、様々な変形例を含んでいる。例えば、前述の実施例では、電子顕微鏡について説明したが、集束イオンビーム(FIB)加工装置であってもよい。当該装置の場合には電子源3の代わりにイオン源が用いられる。また、前述の電子顕微鏡は集束イオンビー

ムとの複合装置であってもよい。いずれにしても、前述の実施例は、発明を分かりやすく説明するために詳細に説明したものであり、必ずしも説明した全ての構成を備える必要はない。また、ある実施例の一部を他の実施例の構成に置き換えることができる。また、ある実施例の構成に他の実施例の構成を加えることもできる。また、各実施例の構成の一部について、他の実施例の構成の一部を追加、削除又は置換することもできる。

符号の説明

- [0054] 1…電子顕微鏡、
2…ハウジング（カラム）、
3…電子源、
4…カソード、
5…引き出し電極、
6…アノード、
8…電子ビーム（画像化ビーム）
9…光軸、
10…照射レンズ、
11…試料、
12…対物レンズ、
13…位相板、
14…後焦点面
15…中間レンズ、
16…投射レンズ、
17…検出器、
18…対物焦点面、
19…位相板制御装置、
20…試料ホルダー、
21…位相板ホルダー、
22A…光導管

2 2 B …ドリフト管、
2 3 …真空電界放出電子エミッタ、
1 0 1 …照射絞り、
1 0 2 …共役面、
1 0 3 …回折絞り、
1 0 4 …回折レンズ、
2 0 1 …中央ディスク、
2 0 2、2 0 4 …光導電性部材、
2 0 3 …部材、
2 0 5、2 0 6 …被覆、
2 0 7 …遮蔽領域、
2 2 0 …アモルファスシリコン膜、
2 2 1 …アイランド部、
2 2 2、2 2 3 …導電層、
2 3 0 …中央領域、
2 3 1 …弱導電性材料、
2 3 2 …導電性材料、
A 1 …領域、
A 2、B 2 …中央領域、
A 3、B 3 …周辺領域、
A 5 …外軌道、
A 6 …対物レンズ
A 7 …物点、
A 8 …結像面、
A 9、A 1 0 …電子源、
A 1 1、A 1 4 …光子源
A 1 2 …導電部材、
A 1 3 …支持部材。

請求の範囲

- [請求項1] 第1の荷電粒子を発生して試料に照射する第1の荷電粒子源と、
透過する部位の帯電の状態に応じ、前記第1の荷電粒子の位相に変化を与える位相板と、
前記位相板の前記帯電を制御する位相板制御装置と、
を有する荷電粒子線装置。
- [請求項2] 請求項1に記載の荷電粒子線装置において、
前記位相板は、帯電率が互いに異なる第1の領域と第2の領域を有し、前記第1の領域を通過する前記第1の荷電粒子と前記第2の領域を通過する前記第1の荷電粒子との間に位相差を生じさせる
ことを特徴とする荷電粒子装置。
- [請求項3] 請求項1に記載の荷電粒子線装置において、
前記位相板制御装置は、第2の荷電粒子を発生する第2の荷電粒子源及び光子束を発生する光子源の一方又は両方を有し、前記第2の荷電粒子及び前記光子束の一方又は両方の照射により前記位相板の帯電を制御する、
ことを特徴とする荷電粒子線装置。
- [請求項4] 請求項3に記載の荷電粒子線装置において、
前記第2の荷電粒子及び前記光子束のエネルギーは、前記第1の荷電粒子源から照射される前記第1の荷電粒子のエネルギーより低い
ことを特徴とする透過型荷電粒子線装置。
- [請求項5] 請求項1に記載の荷電粒子線装置において、
前記位相板制御装置は、UV光を発生する光子源を有し、前記UV光の照射により前記位相板の帯電を制御する
ことを特徴とする荷電粒子線装置。
- [請求項6] 請求項1に記載の荷電粒子線装置において、
前記位相板のうち、散乱していない前記第1の荷電粒子が通過する部分の厚みと、散乱した前記第1の荷電粒子が通過する部分の厚みが

異なる

ことを特徴とする荷電粒子線装置。

[請求項7]

請求項1に記載の荷電粒子線装置において、

前記位相板は、後焦点面、照射絞り位置、又は、これらの等価位置に配置される

ことを特徴とする荷電粒子線装置。

[請求項8]

請求項1に記載の荷電粒子線装置において、

前記位相板制御装置は、第2の荷電粒子を前記位相板に導くドリフト管と光子束を前記位相板に導く光導管の一方又は両方を有する

ことを特徴とする荷電粒子線装置。

[請求項9]

請求項1に記載の荷電粒子線装置において、

前記位相板制御装置は、前記試料を保持する試料ホルダーの背面側に取り付けられた真空電界放出電子エミッタである

ことを特徴とする荷電粒子線装置。

[請求項10]

請求項1に記載の荷電粒子線装置において、

前記位相板制御装置は、対物レンズの下流側に配置されている

ことを特徴とする荷電粒子線装置。

[請求項11]

透過する部位の帯電の状態に応じ、荷電粒子源から試料に照射される第1の荷電粒子の位相に変化を与える位相板。

[請求項12]

請求項11に記載の位相板において、

帯電率が互いに異なる第1の領域と第2の領域を有する

ことを特徴とする位相板。

[請求項13]

請求項11に記載の位相板において、

導電部材によって囲まれた非完全導体の部材を有する

ことを特徴とする位相板。

[請求項14]

請求項12に記載の位相板において、

前記第1の領域は導電部材によって囲まれた非完全導体の部材で構成され、前記第2の領域は前記導電部材を挟んで前記第1の領域の周

囲を取り囲む部材で構成される

ことを特徴とする位相板。

[請求項15]

請求項 1 1 に記載の位相板において、

光導電性部材を通じて支持部材に接続された非完全導体の部材を有する

ことを特徴とする位相板。

[請求項16]

請求項 1 1 に記載の位相板において、

少なくとも一部分が光導電性部材によって被覆された非完全導体の部材を有する

ことを特徴とする位相板。

[請求項17]

請求項 1 1 に記載の位相板において、

第 1 の材料で形成された基板と、

前記第 1 の材料とは異なる第 2 の材料によって前記基板の一部分に形成されたアイランド部と、

前記基板及び前記アイランド部の表面を覆う導電層と

を有することを特徴とする位相板。

[図1]

図 1

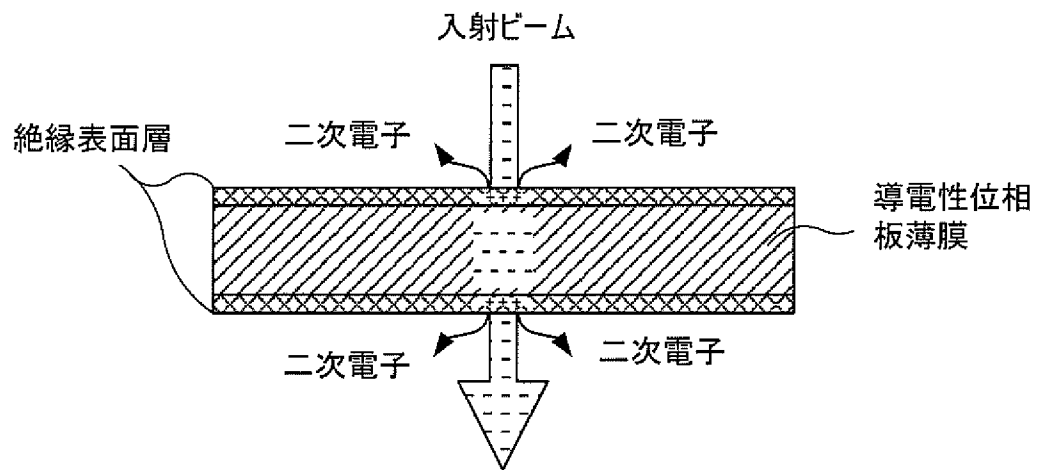
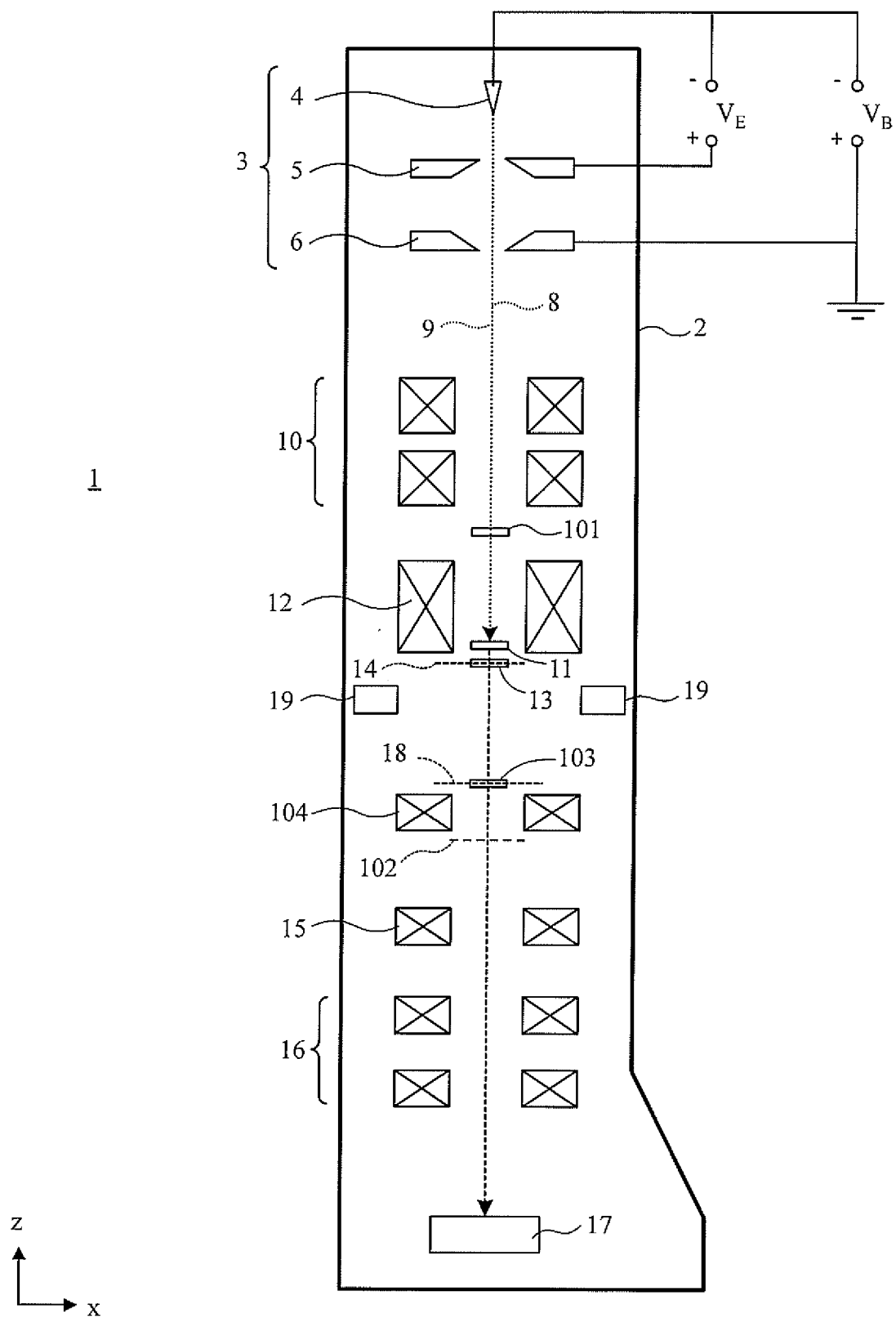
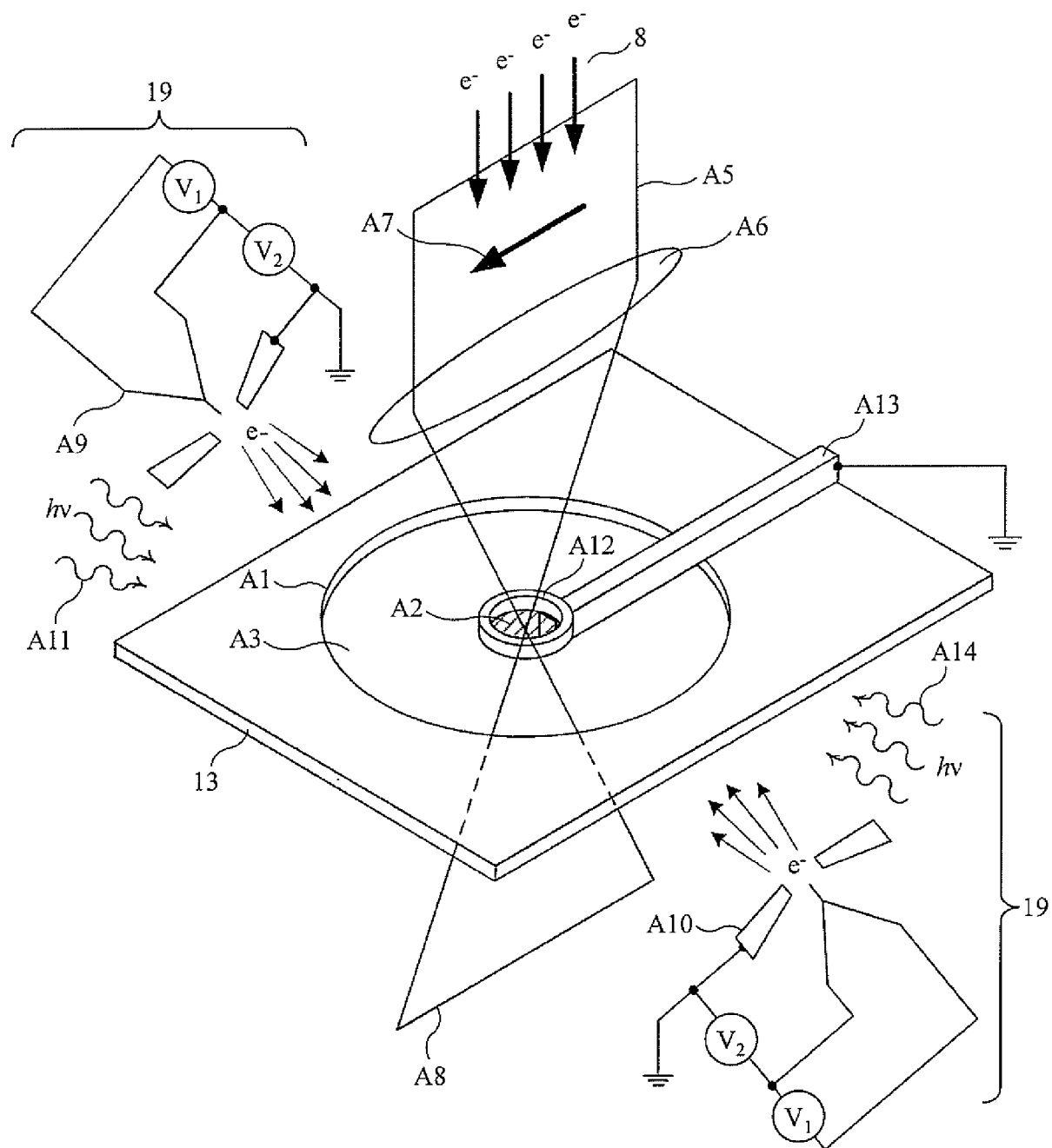


图 2



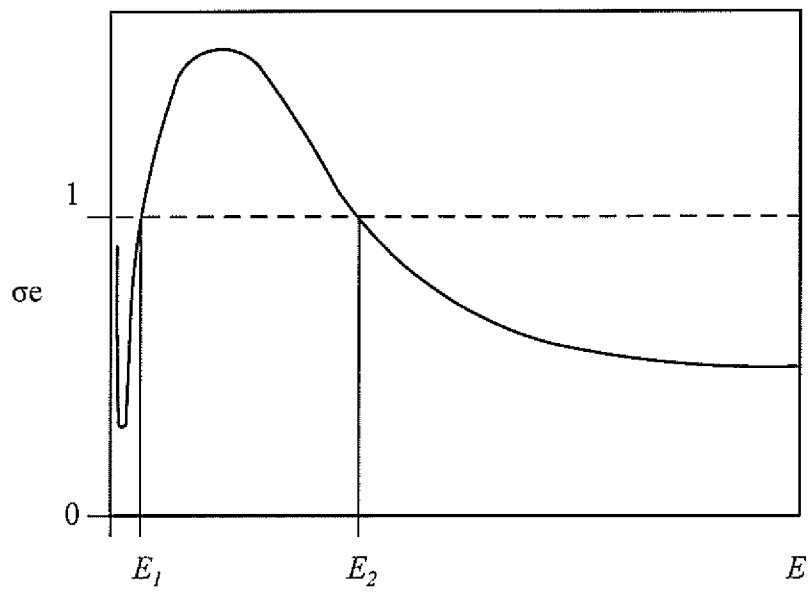
[図3]

図 3



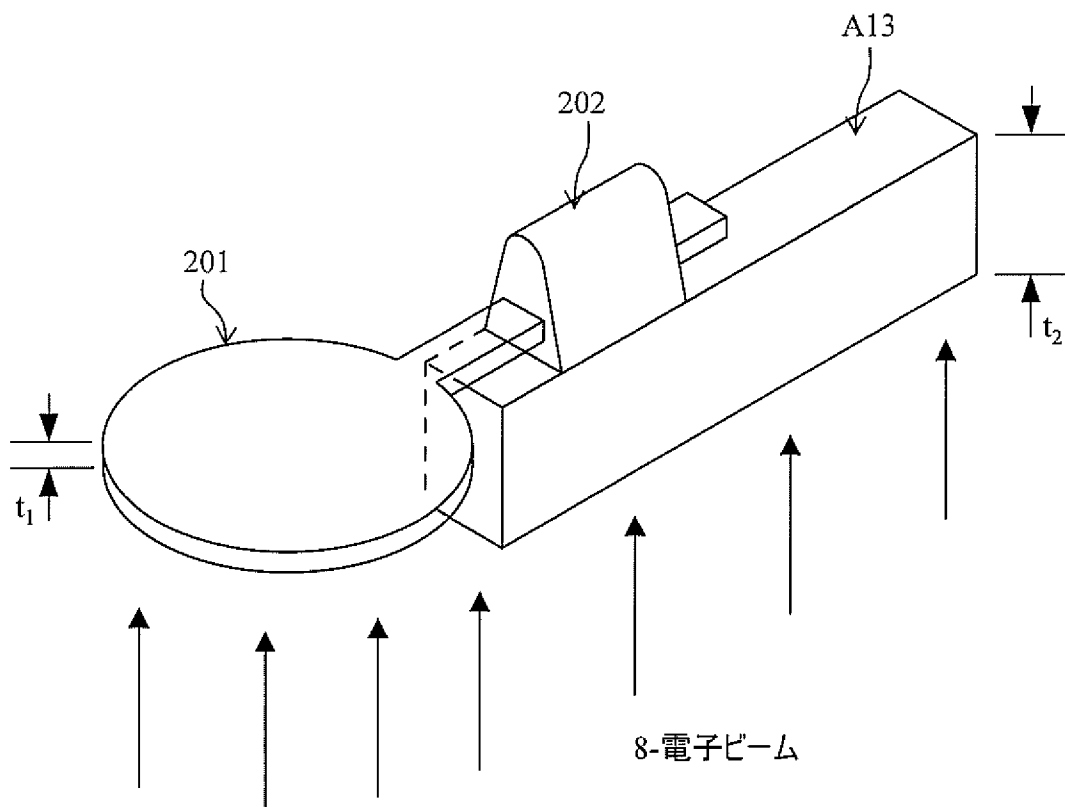
[図5]

図 5



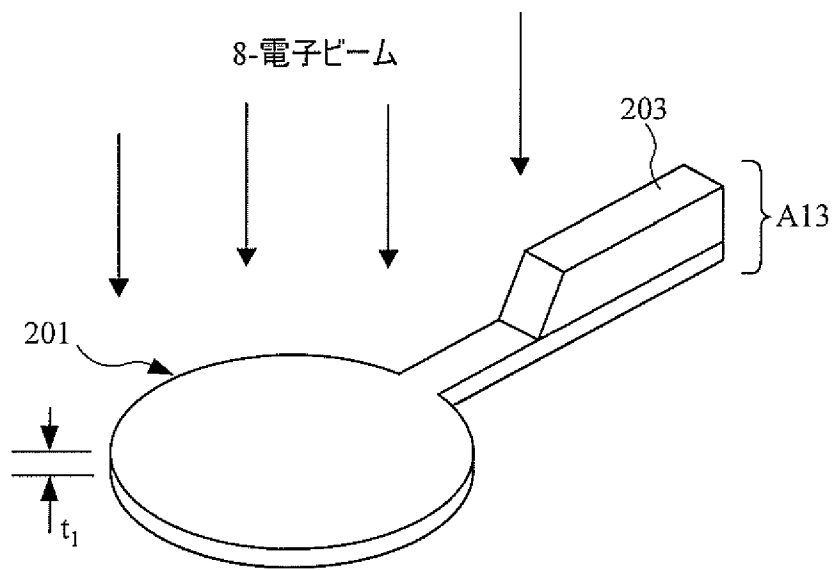
[図6]

図 6



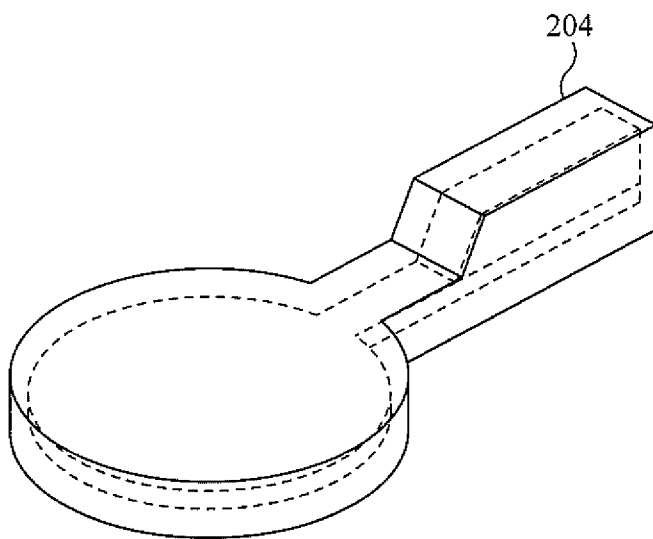
[図7A]

図 7 A



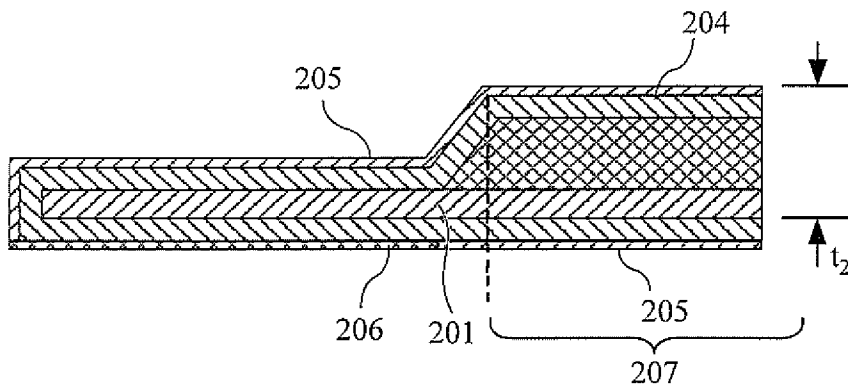
[図7B]

図 7 B



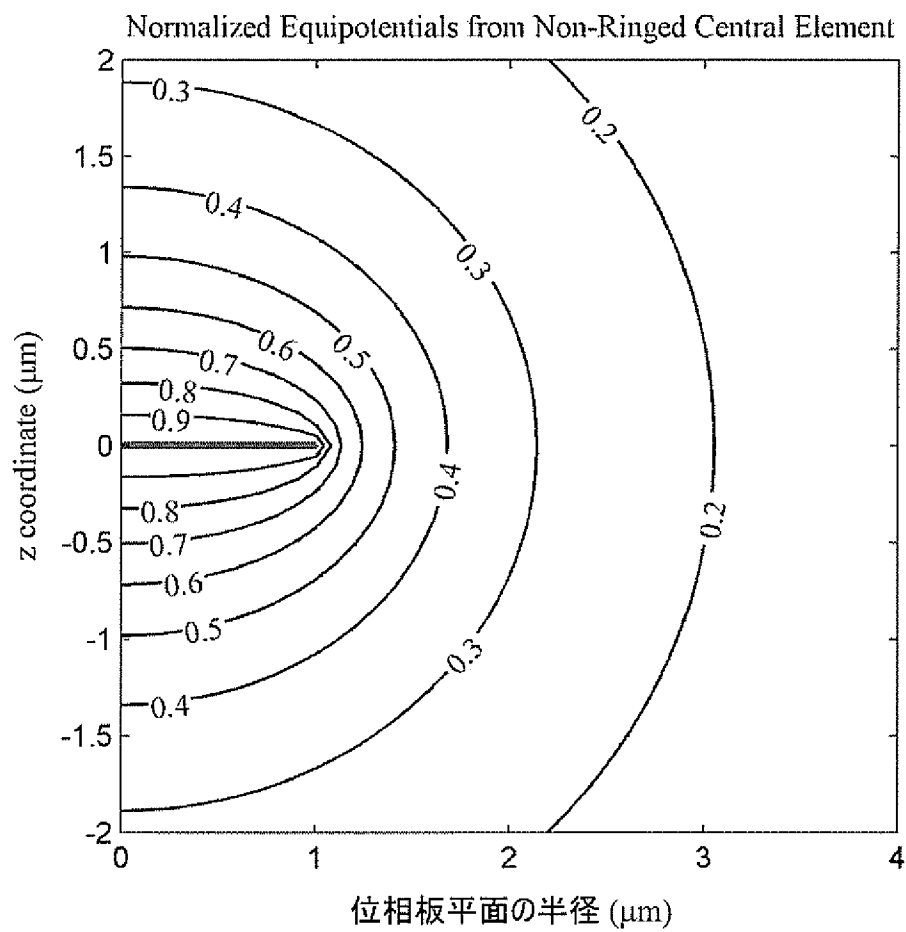
[図7C]

図 7 C



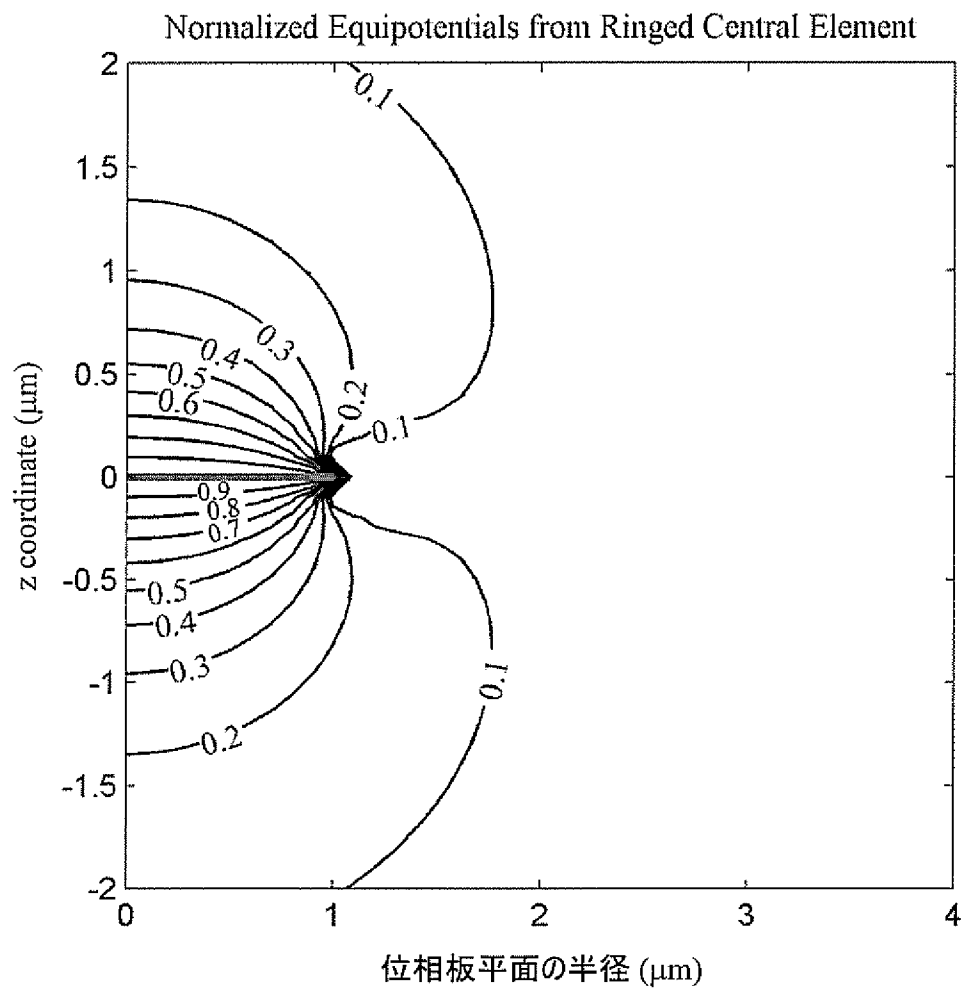
[図8]

図 8



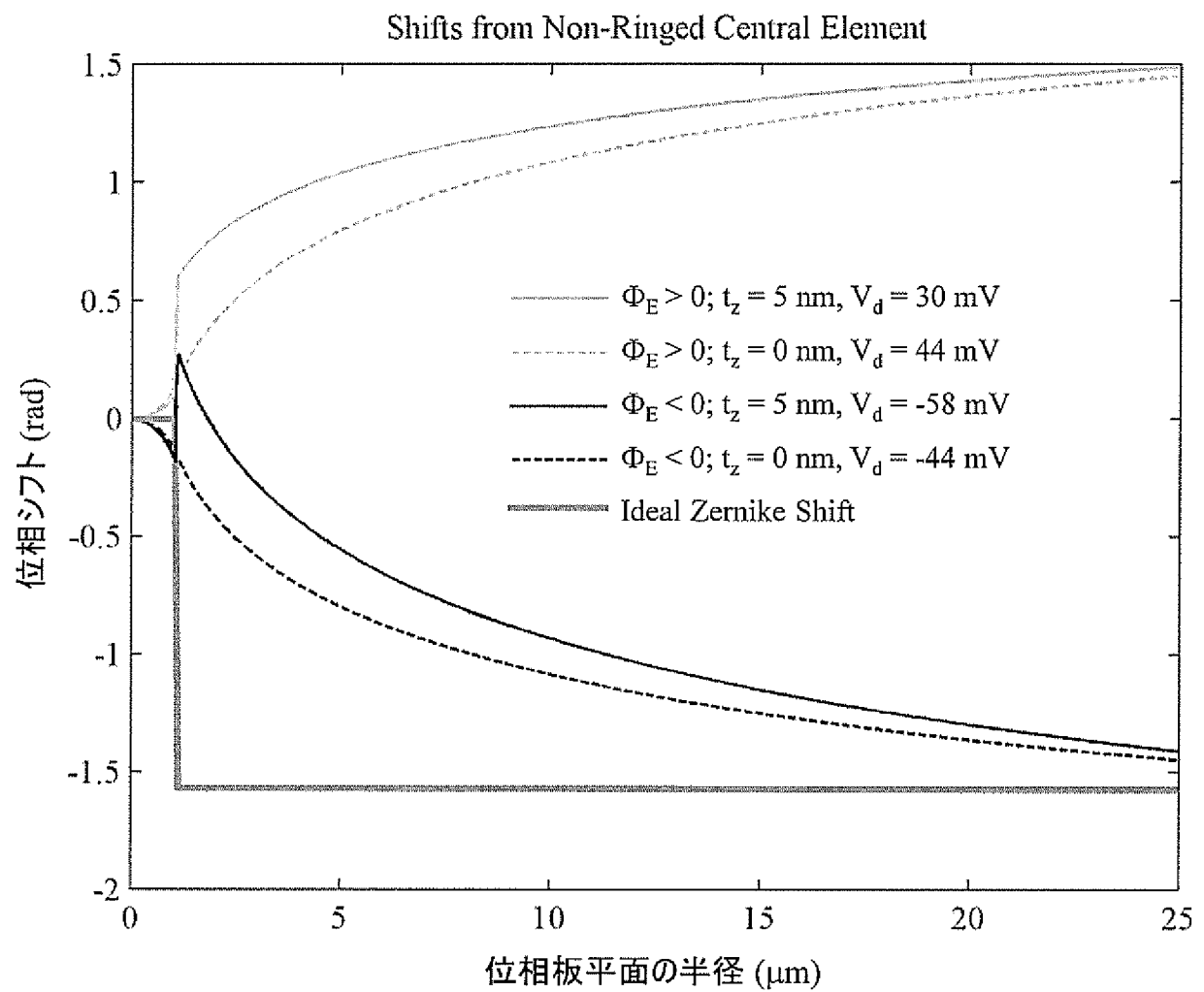
[図9]

図 9



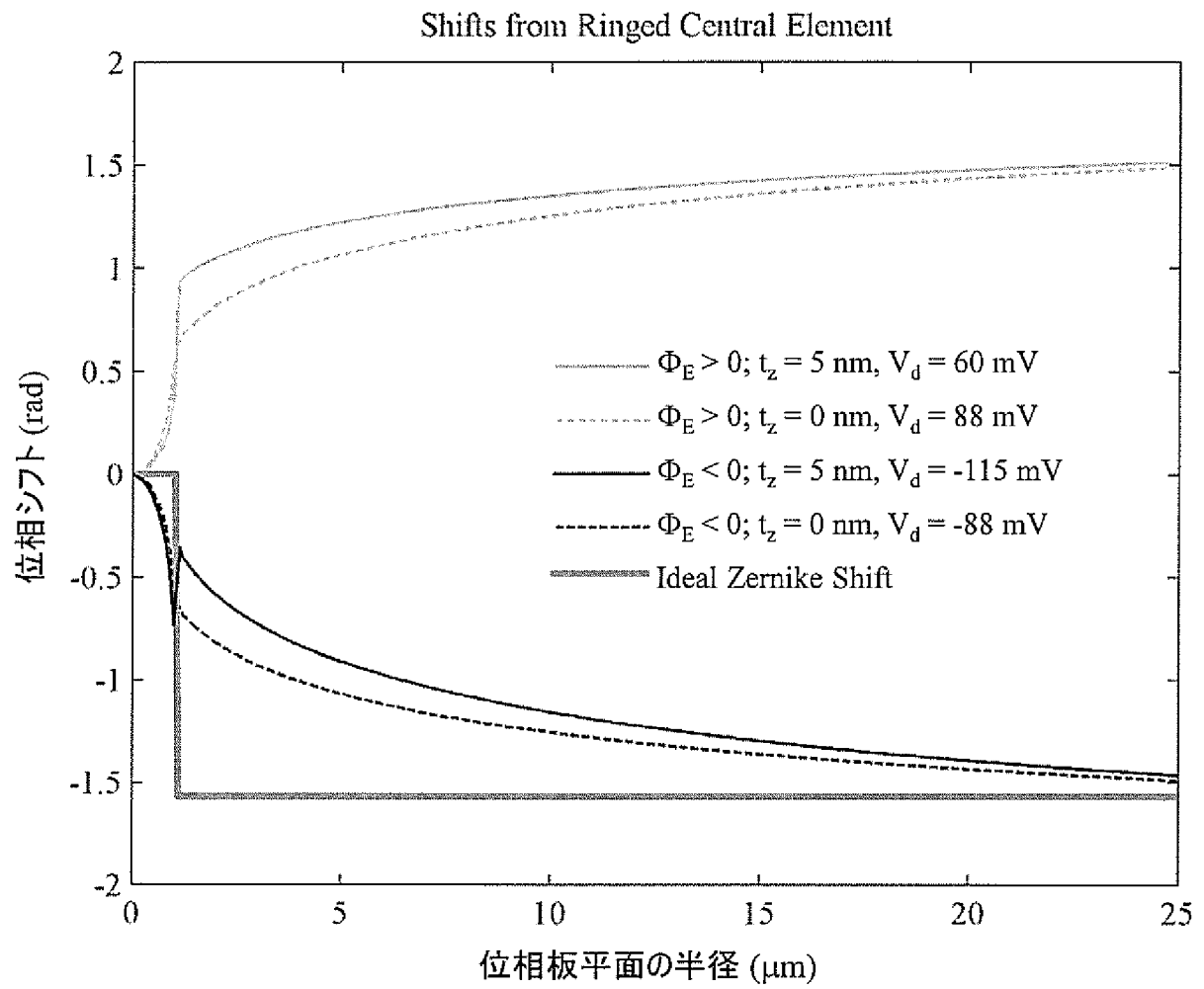
[図10]

図 10



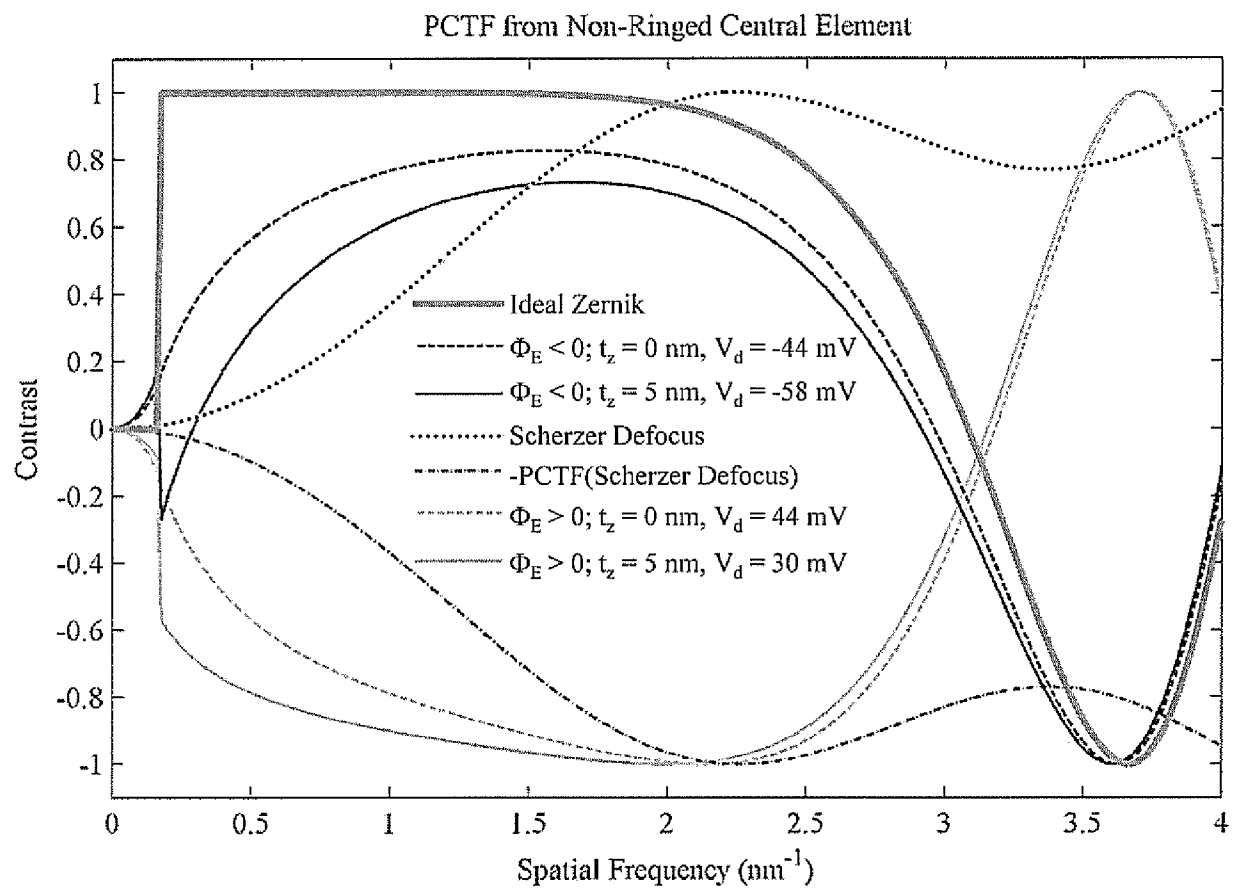
[図11]

図 1 1



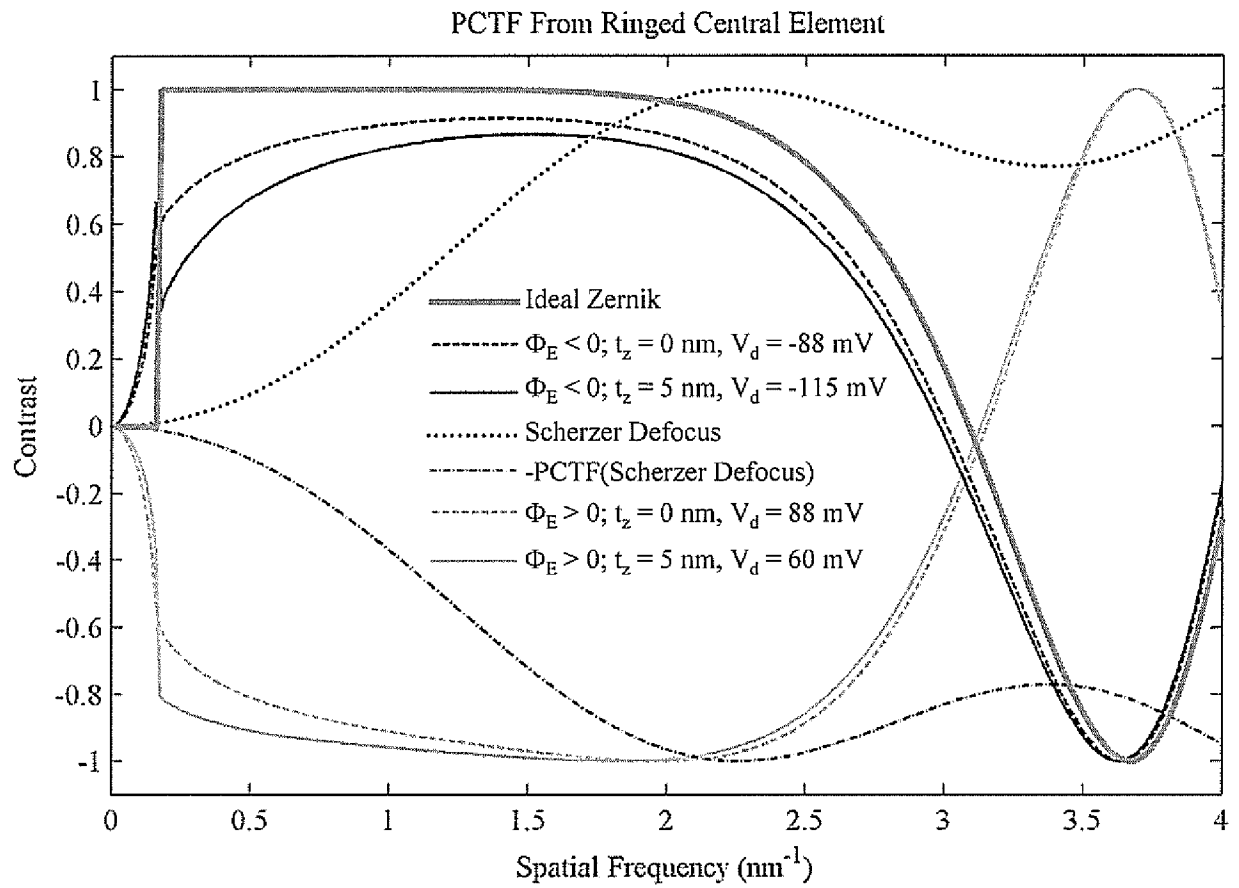
[図12]

図 1 2



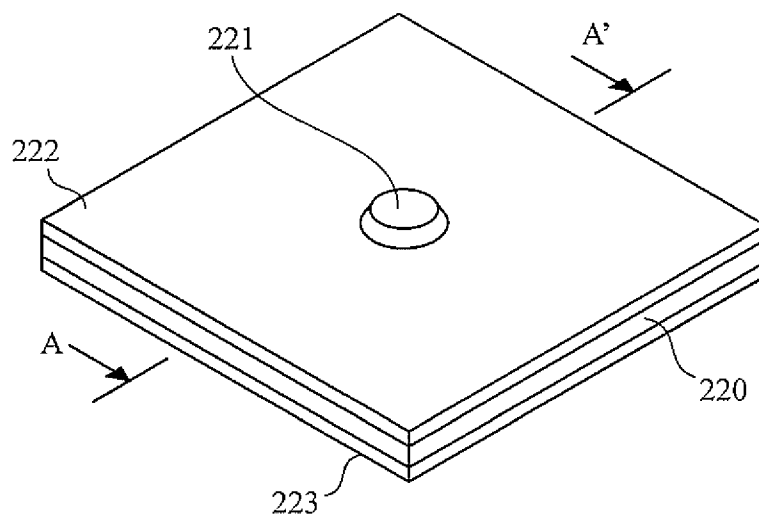
[図13]

図 1 3



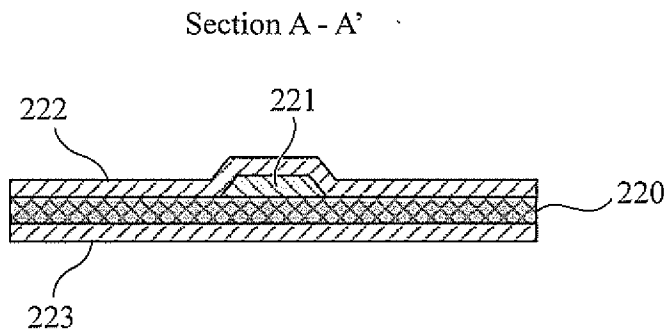
[図14A]

図 1 4 A



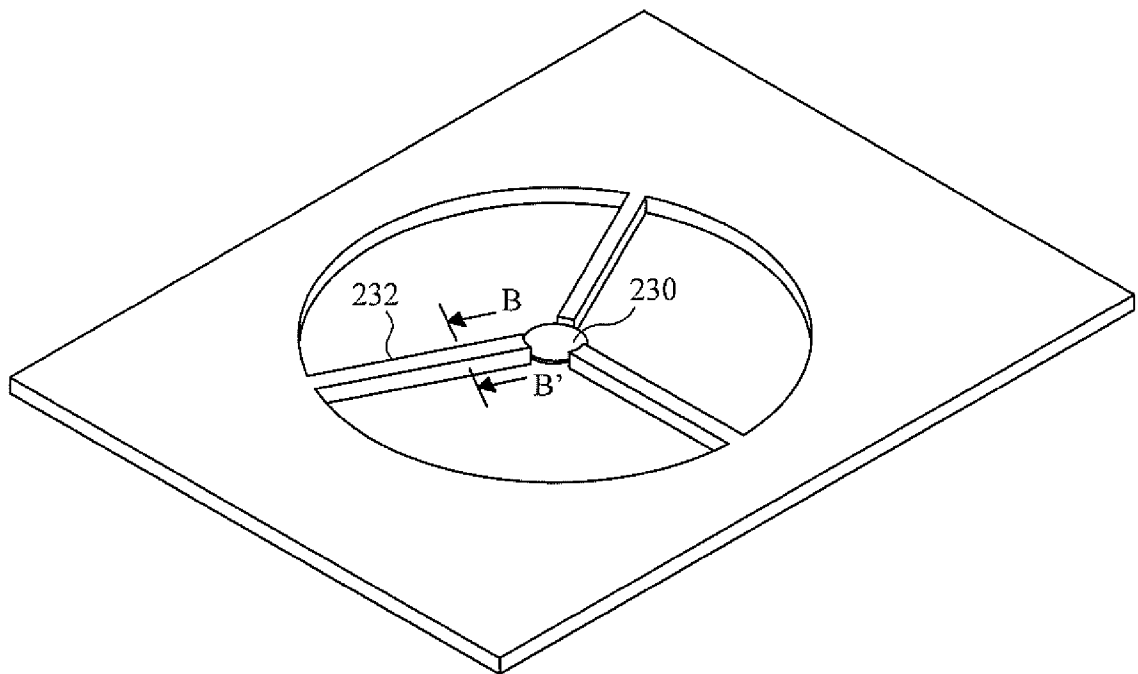
[図14B]

図 1 4 B



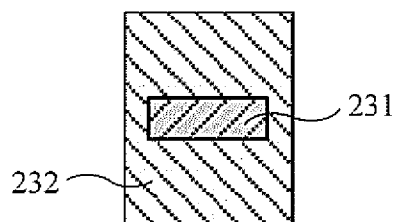
[図15A]

図 1 5 A



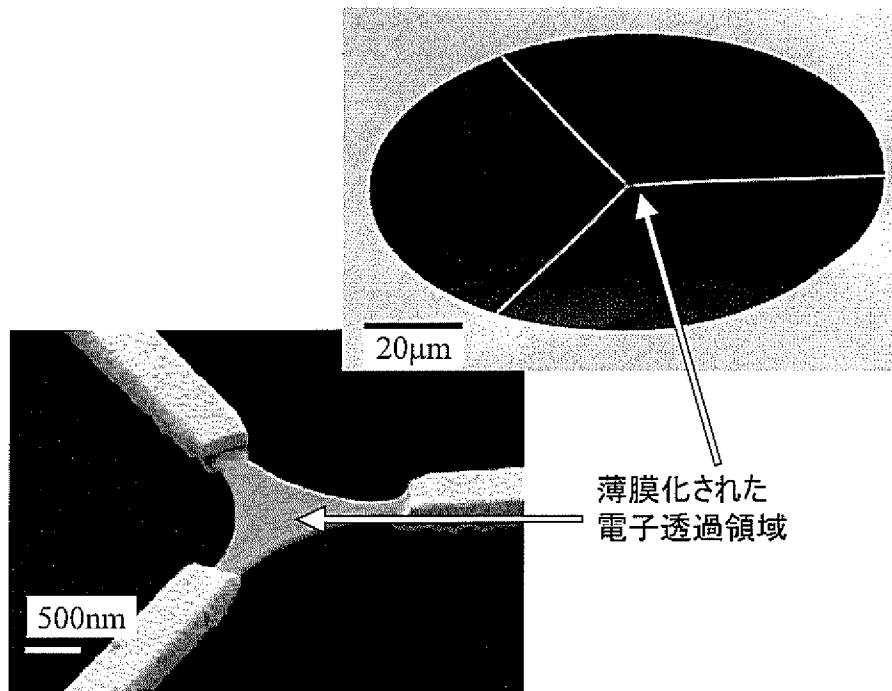
[図15B]

図 1 5 B



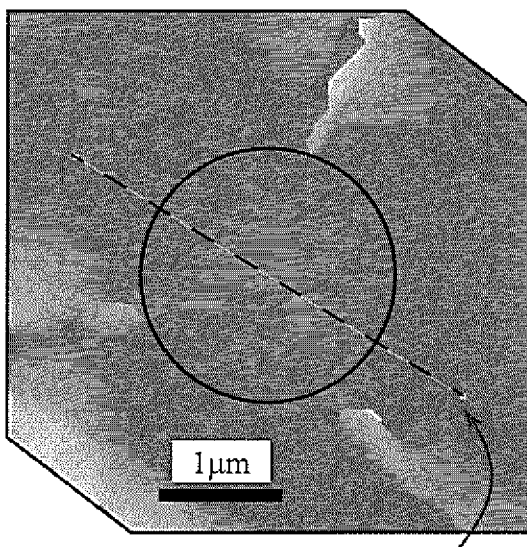
[図16]

図 1 6



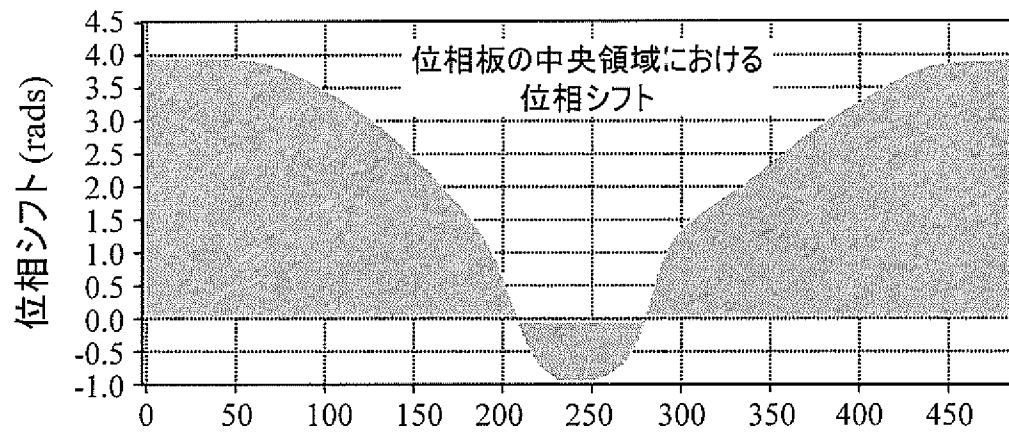
[図17A]

図 1 7 A



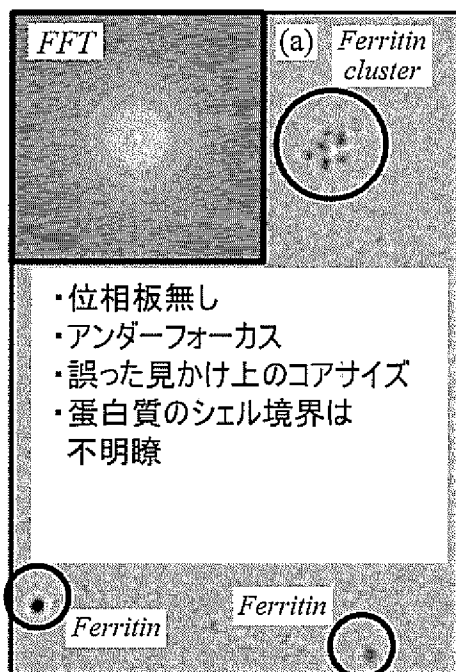
[図17B]

図 1 7 B



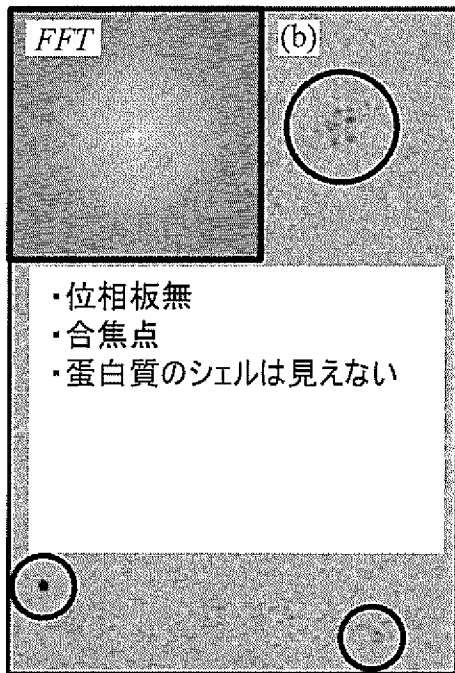
[図18A]

図 1 8 A



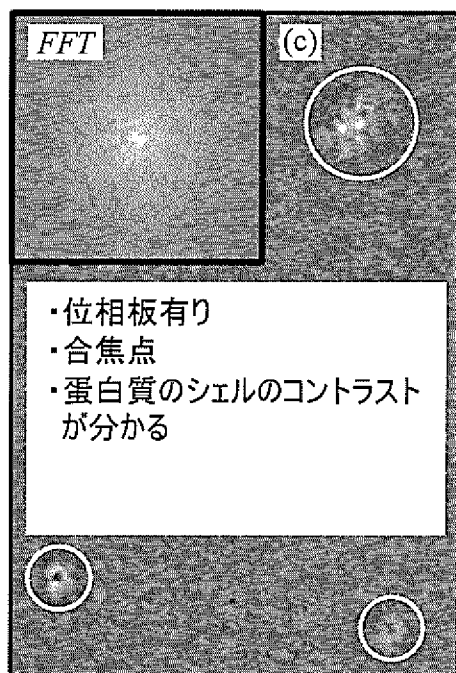
[図18B]

図 1 8 B



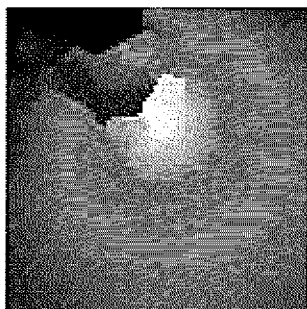
[図18C]

図 1 8 C



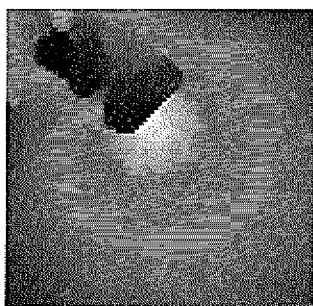
[図19A]

図 1 9 A



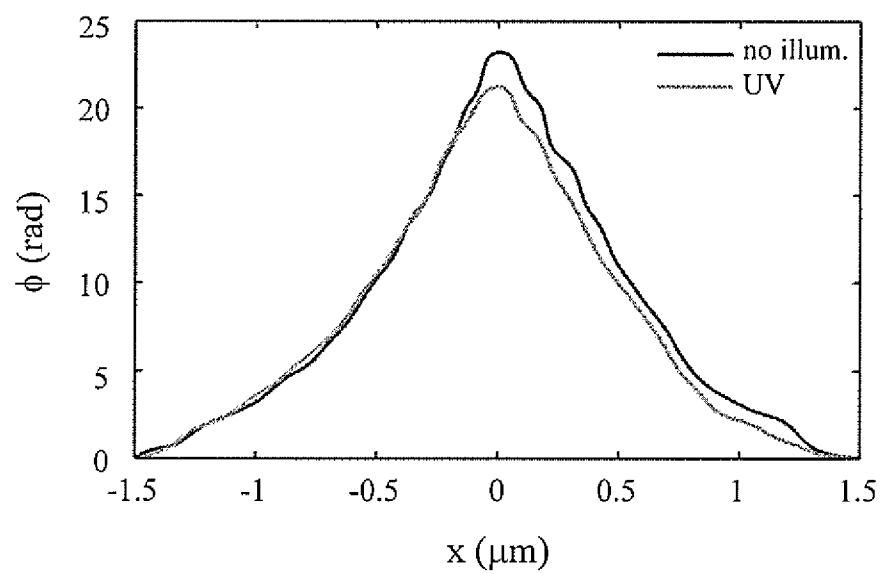
[図19B]

図 1 9 B



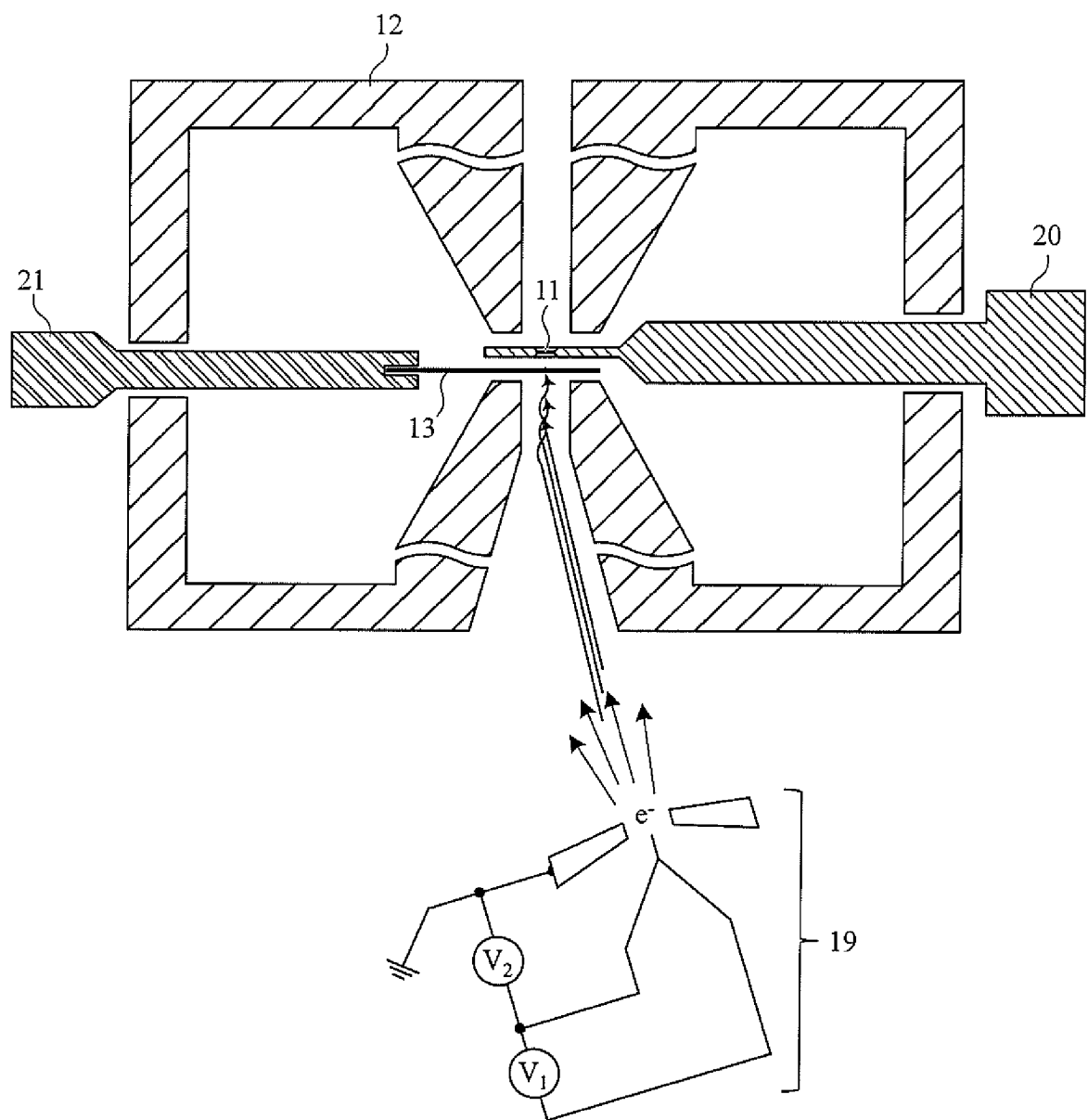
[図19C]

図 1 9 C



[図21]

図 2 1



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2015/086277

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H01J37/295(2006.01)i, H01J37/26(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)

H01J37/295, H01J37/26

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)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X Y A	JP 2010-86691 A (Hitachi High-Technologies Corp.), 15 April 2010 (15.04.2010), paragraphs [0051] to [0115]; fig. 5 & US 2011/0133084 A1 paragraphs [0062] to [0124]; fig. 5 & WO 2010/038534 A1 & EP 2333809 A1	1-2, 7, 10-13 6 3-5, 8-9, 14-17
X A	JP 2014-216319 A (FEI Co.), 17 November 2014 (17.11.2014), paragraphs [0040] to [0064]; fig. 1 to 2 & US 2014/0326876 A1 paragraphs [0041] to [0065]; fig. 1 to 2 & EP 2797100 A1 & EP 2797101 A1 & CN 104217910 A	11, 13 1-10, 12, 14-17

☒ 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
14 March 2016 (14.03.16)

Date of mailing of the international search report
22 March 2016 (22.03.16)

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/JP2015/086277

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2011-151019 A (National Research Council of Canada), 04 August 2011 (04.08.2011), paragraph [0036]; fig. 4 & US 2011/0174971 A1 paragraph [0043]; fig. 4 & JP 2015-149303 A	6

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC））

Int.Cl. H01J37/295(2006.01)i, H01J37/26(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. H01J37/295, H01J37/26

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）

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
X Y A	JP 2010-86691 A（株式会社日立ハイテクノロジーズ）2010.04.15, [0051] - [0115], 図5 & US 2011/0133084 A1 ([0062]-[0124], FIG. 5) & WO 2010/038534 A1 & EP 2333809 A1	1-2, 7, 10-13 6 3-5, 8-9, 14-17
X A	JP 2014-216319 A（エフ イー アイ カンパニ）2014.11.17, [0040] - [0064], 図1-図2 & US 2014/0326876 A1 ([0041]-[0065], FIG. 1-FIG. 2) & EP 2797100 A1 & EP 2797101 A1 & CN 104217910 A	11, 13 1-10, 12, 14-17

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、国際出願日以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

14.03.2016

国際調査報告の発送日

22.03.2016

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）

小野 健二

2G

5061

電話番号 03-3581-1101 内線 3226

C (続き) . 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
Y	JP 2011-151019 A (ナショナル・リサーチ・カウンシル・オブ・カナダ) 2011.08.04, [0036], 図4 & US 2011/0174971 A1 ([0043], FIG. 4) & JP 2015-149303 A	6