

(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
2024年12月12日(12.12.2024)



(10) 国際公開番号
WO 2024/253022 A1

(51) 国際特許分類:
H01L 29/00 (2006.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2024/019935

(22) 国際出願日: 2024年5月30日(30.05.2024)

(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 2023-092643 2023年6月5日(05.06.2023) JP

(71) 出願人: ソニーセミコンダクタソリューションズ株式会社(SONY SEMICONDUCTOR SOLUTIONS CORPORATION) [JP/JP]; 〒2430014 神奈川県厚木市旭町四丁目14番1号 Kanagawa (JP).

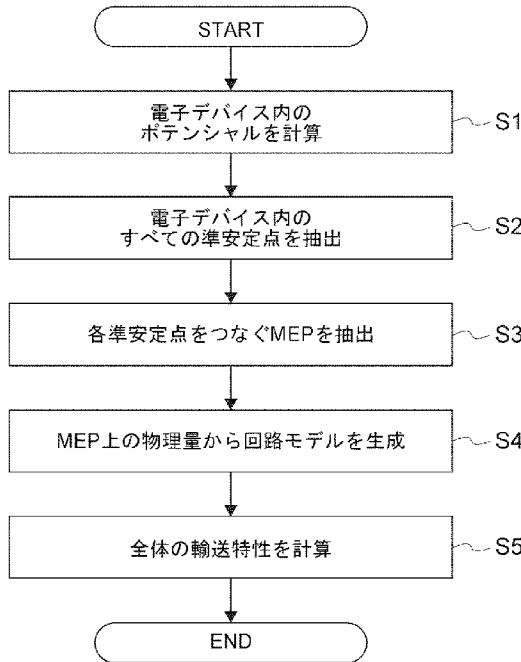
(72) 発明者: 橋本 風渡 (HASHIMOTO Futo); 〒2430014 神奈川県厚木市旭町四丁目14番1号 ソニーセミコンダクタソリューションズ株式会社内 Kanagawa (JP). 小町潤(KOMACHI Jun); 〒2430014 神奈川県厚木市旭町四丁目14番1号 ソニーセミコンダクタソリューションズ株式会社内 Kanagawa (JP).

(74) 代理人: 宮嶋 学 (MIYAJIMA Manabu); 〒1000005 東京都千代田区丸の内1丁目6番6号 日本生命丸の内ビル 協和特許法律事務所 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, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC,

(54) Title: CHARGE TRANSPORT CHARACTERISTIC CALCULATION METHOD AND CHARGE TRANSPORT CHARACTERISTIC CALCULATION DEVICE

(54) 発明の名称: 電荷輸送特性計算方法及び電荷輸送特性計算装置



- S1 Calculate potential in electronic device
S2 Extract all metastable points in electronic device
S3 Extract MEP connecting each metastable point
S4 Generate circuit model from physical quantity on MEP
S5 Calculate overall transport characteristic

(57) Abstract: [Problem] To accurately calculate a charge transport characteristic with a small amount of calculation. [Solution] A charge transport characteristic calculation method comprises: calculating an electrostatic potential of an electronic device; extracting a plurality of metastable points in an electrostatic potential field of the electronic device; extracting a plurality of paths for transporting charges from a charge generation position to a charge readout position of the electronic device via the plurality of metastable points in the electrostatic potential field; calculating a physical quantity of the electrostatic potential field in each of the plurality of paths; and calculating a charge transport characteristic from the

EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR,
HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG,
KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU,
LY, MA, MD, MG, MK, MN, MU, 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, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA,
UG, US, UZ, VC, VN, WS, 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, CV, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SC, 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, ME, 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:

一 国際調査報告 (条約第21条(3))

charge generation position to the charge readout position on the basis of the physical quantity of the electrostatic potential field in each of the plurality of paths.

(57) 要約: [課題] 少ない計算量で精度よく電荷輸送特性を計算する。 [解決手段] 電荷輸送特性計算方法は、電子デバイスの静電ポテンシャルを計算する手順と、前記電子デバイスの静電ポテンシャル場における複数の準安定点を抽出する手順と、前記電子デバイスの電荷生成位置から電荷読出位置まで、前記静電ポテンシャル場における前記複数の準安定点を経由して電荷を輸送する複数の経路を抽出する手順と、前記複数の経路のそれぞれにおける前記静電ポテンシャル場の物理量を計算する手順と、前記複数の経路のそれぞれにおける前記静電ポテンシャル場の物理量に基づいて、前記電荷生成位置から前記電荷読出位置までの電荷輸送特性を計算する手順と、を備える。

明 細 書

発明の名称：電荷輸送特性計算方法及び電荷輸送特性計算装置

技術分野

[0001] 本開示は、電荷輸送特性計算方法及び電荷輸送特性計算装置に関する。

背景技術

[0002] 最近の電子デバイスの開発コストの増大に伴い、電子デバイスの設計及び開発における開発効率化のためのシミュレーションの重要度が高まっている。電子デバイスの設計及び開発におけるシミュレーションの1つに、電子デバイスの電氣的な特性をシミュレーションするデバイスシミュレーションがある。このデバイスシミュレーションにおいては電子デバイス内の静電ポテンシャル場での電荷の振舞い、すなわち電荷輸送特性を解析する必要がある（特許文献1、2参照）。例えば、特許文献1は、電荷の粒子の存在確率が低い領域ではモンテカルロ法を適用し、存在確率が高い領域では繰り返し法を適用することで、高速な計算を可能にしたシミュレーション方法を提案している。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献1：特開平9－245018号公報

特許文献2：特開平11－204383号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0004] しかしながら、特許文献1及び2のシミュレーション方法では、電子デバイスの静電ポテンシャル場の全経路での電荷輸送特性を解析するため、計算量が増大し、短時間で精度よく電荷輸送特性を計算できないという課題がある。

[0005] そこで、本開示では、少ない計算量で精度よく電荷輸送特性を計算可能な電荷輸送特性計算方法及び電荷輸送特性計算装置を提供するものである。

課題を解決するための手段

[0006] 上記の課題を解決するために、本開示によれば、電子デバイスの静電ポテンシャルを計算する手順と、

前記電子デバイスの静電ポテンシャル場における複数の準安定点を抽出する手順と、

前記電子デバイスの電荷生成位置から電荷読出位置まで、前記静電ポテンシャル場における前記複数の準安定点を經由して電荷を輸送する複数の経路を抽出する手順と、

前記複数の経路のそれぞれにおける前記静電ポテンシャル場の物理量を計算する手順と、

前記複数の経路のそれぞれにおける前記静電ポテンシャル場の物理量に基づいて、前記電荷生成位置から前記電荷読出位置までの電荷輸送特性を計算する手順と、を備える、

電荷輸送特性計算方法が提供される。

[0007] 前記準安定点は、前記静電ポテンシャル場の極小点であってもよい。

[0008] 前記電子デバイスが輸送する電荷は、正の電荷又は負の電荷であり、

前記準安定点は、前記電子デバイスが前記負の電荷を輸送する場合、前記電子デバイスの静電ポテンシャルの極小点であり、前記電子デバイスが前記正の電荷を輸送する場合、前記電子デバイスの静電ポテンシャルの符号反転後の極小点であってもよい。

[0009] 前記電荷輸送特性を計算する対象の前記電荷は、正孔、陽イオン、電子、又は陰イオンの少なくとも一つであってもよい。

[0010] 前記複数の準安定点を抽出する手順は、前記静電ポテンシャル場の電界の勾配に従って複数の前記極小点を抽出してもよい。

[0011] 前記複数の準安定点を抽出する手順は、前記静電ポテンシャル場に複数の初期点を設定し、前記複数の初期点での電界に基づいて前記静電ポテンシャル場におけるすべての前記極小点を抽出してもよい。

[0012] 前記複数の準安定点を抽出する手順は、前記静電ポテンシャル場をメッシ

ユ分割して、メッシュの各格子点の電界がゼロで、かつ前記電界の微分値が正の点を前記準安定点として抽出してもよい。

[0013] 前記複数の準安定点を抽出する手順は、前記電子デバイスの静電ポテンシャル場において、ポテンシャルが等しい等ポテンシャル面をポテンシャルを変えながら移動させて、前記等ポテンシャル面の少なくとも一部が消失する箇所を前記準安定点として抽出してもよい。

[0014] 前記複数の準安定点を抽出する手順は、前記電子デバイスで生成された電荷が移動可能な所定の空間領域において、前記等ポテンシャル面を移動させて前記準安定点を抽出してもよい。

[0015] 前記複数の準安定点を抽出する手順は、前記静電ポテンシャル場における所定のポテンシャル範囲内で前記等ポテンシャル面を移動させて前記準安定点を抽出してもよい。

[0016] 前記複数の準安定点を抽出する手順は、前記等ポテンシャル面に複数の前記箇所が存在する場合に、前記複数の箇所の間から、電荷転送の障害の大きさを表すバリアを抽出してもよい。

[0017] 前記複数の準安定点を抽出する手順は、所定の高さ以下の前記バリアの周囲に位置する複数の前記準安定点を合体させてもよい。

[0018] 前記複数の経路を抽出する手順は、前記バリアのピーク位置から、勾配法に基づいて前記複数の経路を抽出してもよい。

[0019] 前記複数の経路を抽出する手順は、所定の高さ以下の前記バリアのピーク位置から、勾配法に基づいて前記複数の経路を抽出してもよい。

[0020] 前記複数の経路を抽出する手順は、N E B (Nudged Elastic Band) 法、ストリング法、C P R (Conjugate Peak Refinement) 法、R i d g e 法、又は D H S (Dewar, Healy and Stewart) 法を用いて、前記複数の経路を抽出してもよい。

[0021] 前記複数の経路を抽出する手順は、ドラッグ法を用いて前記複数の経路を抽出してもよい。

[0022] 前記複数の経路を抽出する手順は、前記複数の準安定点に含まれる任意の

2つの準安定点の間の経路のうち、より静電ポテンシャルの小さい経路を優先的に選択して前記複数の経路を抽出してもよい。

[0023] 前記物理量を計算する手順は、抽出された前記複数の経路のそれぞれにおける電荷転送の障害の大きさを表すバリアを前記物理量として計算してもよい。

[0024] 前記物理量を計算する手順は、前記静電ポテンシャル場に対応する回路モデルにおける前記複数の経路の抵抗値を前記バリアとして計算してもよい。

[0025] 前記電荷輸送特性を計算する手順は、前記回路モデルにおける前記複数の経路のそれぞれの前記抵抗値を合成した合成抵抗値を計算してもよい。

[0026] 前記電荷輸送特性を計算する手順は、所定の閾値以上の前記抵抗値を考慮に入れず、前記所定の閾値未満の前記抵抗値を考慮に入れて、前記合成抵抗値を計算してもよい。

[0027] 前記電荷輸送特性を計算する手順は、前記複数の経路の物理量と、前記複数の経路を選択する確率とを乗じた値に基づいて、前記電荷輸送特性を計算してもよい。

[0028] 前記複数の経路を抽出する手順は、前記電子デバイスが固体撮像装置の場合、光電変換領域内の電荷生成分布から前記電荷生成位置を求めてもよい。

[0029] 前記複数の経路を抽出する手順は、転送電極の位置に合わせて前記電荷読出位置を設定してもよい。

[0030] また、本開示によれば、電子デバイスの静電ポテンシャルを計算する第1計算部と、

前記電子デバイスの静電ポテンシャル場における複数の準安定点を抽出する第1抽出部と、

前記電子デバイスの電荷生成位置から電荷読出位置まで、前記静電ポテンシャル場における前記複数の準安定点を經由して電荷を輸送する複数の経路を抽出する第2抽出部と、

前記複数の経路のそれぞれにおける前記静電ポテンシャル場の物理量を計算する第2計算部と、

前記複数の経路のそれぞれにおける前記静電ポテンシャル場の物理量に基づいて、前記電荷生成位置から前記電荷読出位置までの電荷輸送特性を計算する第3計算部と、を備える、

電荷輸送特性計算装置が提供される。

図面の簡単な説明

[0031] [図1]本開示の第1の実施形態に係る電荷輸送特性計算方法を説明する図である。

[図2]本開示の第1の実施形態に係る電荷輸送特性計算方法のフローチャートである。

[図3A]本開示の第1の実施形態に係る静電ポテンシャル計算を説明する図である。

[図3B]本開示の第1の実施形態に係る準安定点の抽出の初期状態を説明する図である。

[図3C]本開示の第1の実施形態に係る準安定点の抽出の完了状態を説明する図である。

[図3D]本開示の第1の実施形態に係る主要輸送経路の抽出を説明する図である。

[図3E]本開示の第1の実施形態に係る回路モデル生成を説明する図である。

[図4A]本開示の第1の実施形態に係る主要輸送経路の抽出を説明する図である。

[図4B]図4Aを上方から見た平面図である。

[図4C]主要輸送経路の抽出の変形例を示す平面図である。

[図5]一比較例に係る電荷輸送特性計算方法を示す図である。

[図6]本開示の第1の実施形態に係る電荷輸送特性計算装置の構成を示すブロック図である。

[図7]本開示の第1の実施形態に係る電荷輸送特性計算方法が適用されうる電子デバイスの一例を示す図である。

[図8A]本開示の第2の実施形態に係る準安定点の抽出の初期状態を説明する

図である。

[図8B]谷及びメッシュの拡大図である。

[図8C]本開示の第2の実施形態に係る準安定点の抽出の完了状態を説明する図である。

[図9]本開示の第3の実施形態に係る回路モデルを示す図である。

[図10A]本開示の第4の実施形態に係る電荷輸送特性計算を説明する図である。

[図10B]本開示の第4の実施形態に係る移動先の準安定点の抽出を示す模式図である。

[図10C]主要輸送経路の選択確率を示す円グラフである。

[図11]本開示の第5の実施形態に係る準安定点の抽出を示す図である。

[図12A]本開示の第6の実施形態に係る電荷生成位置の抽出を示す図である。

[図12B]本開示の第6の実施形態に係る回路モデルを示す図である。

[図13]本開示の第7の実施形態に係る電荷輸送特性計算方法が適用されうる電子デバイスの一例を示す図である。

[図14]本開示の第7の実施形態に係る準安定点の抽出手法を説明する図である。

[図15A]V G領域における第1の等ポテンシャル面を示す図である。

[図15B]V G領域における第2の等ポテンシャル面を示す図である。

[図16]本開示の第8の実施形態に係る電荷輸送特性計算方法が適用されうる電子デバイスの一例を示す図である。

[図17]本開示の第9の実施形態に係る準安定点の抽出手法を説明する図である。

[図18A]本開示の第10の実施形態に係る谷群を示す図である。

[図18B]本開示の第10の実施形態に係る準安定点の合体手法を示す図である。

[図19A]本開示の第11の実施形態に係る主要輸送経路の抽出手法を示す第1図である。

[図19B]本開示の第11の実施形態に係る主要輸送経路の抽出手法を示す第2図である。

[図20]本開示の第12の実施形態に係る主要輸送経路の抽出手法を示す図である。

[図21]内視鏡手術システムの概略的な構成の一例を示す図である。

[図22]カメラヘッド及びCCUの機能構成の一例を示すブロック図である。

発明を実施するための形態

[0032] 以下、図面を参照して、電荷輸送特性計算方法及び電荷輸送特性計算装置の実施形態について説明する。以下では、電荷輸送特性計算方法及び電荷輸送特性計算装置の主要な構成部分を中心に説明するが、電荷輸送特性計算方法及び電荷輸送特性計算装置には、図示又は説明されていない構成部分や機能が存在しうる。以下の説明は、図示又は説明されていない構成部分や機能を除外するものではない。

[0033] (第1の実施形態)

図1は、本開示の第1の実施形態に係る電荷輸送特性計算方法を説明する図である。図1の電子デバイス1は、電荷（例えば、電子 e ）を生成するとともに、生成した電荷を後段の装置等に伝達するものであり、静電ポテンシャル場2、電荷生成位置3及び電荷読出位置4を備える。なお、本明細書では、電荷が電子である例を主に説明するが、輸送特性を計算する対象の電荷は、正孔、陽イオン、又は陰イオンを含んでもよい。

[0034] 本開示の第1の実施形態に係る電荷輸送特性計算方法は、静電ポテンシャル場2における電子 e の輸送特性を計算する。

[0035] 図1の電子デバイス1は、フォトダイオード等の電荷生成位置3と電荷読出位置4を有する半導体デバイスである。図1の電子デバイス1は、電荷生成位置3と電荷読出位置4の間に配置される静電ポテンシャル場2を有する。静電ポテンシャル場2は、場所によってポテンシャルが変化するポテンシャル分布を有する。電荷生成位置3で生成された電子 e は、静電ポテンシャル場2を通して電荷読出位置4まで輸送される。電荷読出位置4の近傍には

、電子 e を転送するための転送電極が配置される。

[0036] 静電ポテンシャル場 2 における電子 e が通過する経路は、輸送経路と呼ばれる。輸送経路は、静電ポテンシャル場 2 内に複数存在し、輸送経路ごとに電子 e が通過する際に要するポテンシャルエネルギーが異なる。電子 e は、ポテンシャルエネルギーが高い輸送経路よりも、ポテンシャルエネルギーが低い輸送経路を通る確率が高いことが知られている。

[0037] 静電ポテンシャル場 2 は、周囲よりもポテンシャル値が高い山 5 と、周囲よりもポテンシャル値が低い谷 6 とを、それぞれ複数有する。谷 6 はそれぞれ、電子 e が安定的に存在しうる準安定点 7 を有する。準安定点 7 は、静電ポテンシャル場 2 の極小点でありうる。静電ポテンシャル場 2 には、通常、複数の準安定点 7 が存在する。

[0038] 2 つの準安定点 7 を繋ぐ輸送経路のうち、通過に要するポテンシャルエネルギーが最小となる経路は、MEP (Minimum Energy Path) あるいは主要輸送経路 8 とも呼ばれる。主要輸送経路 8 は、電子 e が通る可能性が最も高い輸送経路である。静電ポテンシャル場 2 には、準安定点 7 同士を接続する複数の主要輸送経路 8 が存在しうる。同様に、電荷生成位置 3 と準安定点 7 との間、及び準安定点 7 と電荷読出位置 4 との間においても、主要輸送経路 8 が存在しうる。

[0039] 複数の主要輸送経路 8 は、それぞれバリア 9 を有する。バリア 9 は、電子 e の通りにくさ、すなわち複数の主要輸送経路 8 のそれぞれにおける電荷転送の障害の大きさを表す指標であり、ポテンシャルバリアとも呼ばれる。より具体的には、バリア 9 は、電子 e が主要輸送経路 8 を通過するために必要なポテンシャルエネルギーを決定する。バリア 9 の高さは、個々の主要輸送経路 8 上のポテンシャル変化の度合いによって決まる。ポテンシャル変化が大きいほど、バリア 9 はより高くなる。バリア 9 が高い主要輸送経路 8 ほど、電子 e は通過しにくくなる。

[0040] 本実施形態に係る電荷輸送特性計算方法は、静電ポテンシャル場 2 内に存在する全ての輸送経路を考慮せずに、複数の準安定点 7、複数の主要輸送経

路 8 及びバリア 9 によって、静電ポテンシャル場 2 の電荷輸送特性を計算することを特徴する。

- [0041] 図 2 は、本開示の第 1 の実施形態に係る電荷輸送特性計算方法のフローチャートである。図 2 のフローチャートの処理は、後述するように、例えば、電荷輸送特性計算装置によって実行される。まず、電子デバイス 1 内における静電ポテンシャルが計算される（ステップ S 1）。静電ポテンシャルは、対象とする半導体デバイスのモデル式を用いて計算することができる。ステップ S 1 では、計算された静電ポテンシャルを用いて、複数の山 5 と複数の谷 6 を有する静電ポテンシャル場 2 が生成される。
- [0042] 続いて、静電ポテンシャル場 2 において、複数の準安定点 7 が抽出される（ステップ S 2）。ステップ S 2 における準安定点 7 の抽出には、例えば勾配法が用いられる。
- [0043] 続いて、電子デバイス 1 の電荷生成位置 3 から電荷読出位置 4 まで、静電ポテンシャル場 2 における複数の準安定点 7 を経由して電子 e を輸送する複数の経路が抽出される（ステップ S 3）。より具体的には、電荷生成位置 3、電荷読出位置 4、及び複数の準安定点 7 を繋ぐ複数の主要輸送経路 8 が抽出される。ステップ S 3 における主要輸送経路 8 の抽出には、例えば N E B (Nudged Elastic Band) 法が用いられる。
- [0044] 最後に、複数の主要輸送経路 8 のそれぞれにおける静電ポテンシャル場 2 の物理量に基づいて回路モデルが生成される（ステップ S 4）。物理量とは、例えばバリア 9 の高さである。この回路モデルから電子デバイス 1 の全体の電荷輸送特性、より具体的には、電荷生成位置 3 から電荷読出位置 4 までの電荷輸送特性が計算される（ステップ S 5）。
- [0045] 図 3 A ～図 3 E は、図 2 の電荷輸送特性計算方法を説明する図である。図 3 A は、ステップ S 1 を説明する図である。図 3 A における電子デバイス 1 は、転送電極 1 1 を備える。電子デバイス 1 は、電荷生成位置 3 において電子 e を生成し、転送電極 1 1 に電圧が印加されることにより、電荷読出位置 4 から電子 e が読み出される。なお、電荷読出位置 4 は、転送電極 1 1 の位

置に合わせて設定される。ステップS 1によって、電子デバイス 1 内に複数の山 5 と谷 6 を有する静電ポテンシャル場 2 が生成される。図 3 A の例では、電荷生成位置 3 及び電荷読出位置 4 は静電ポテンシャル場 2 の内部に配置される。

[0046] 図 3 B は、ステップS 2 の初期状態を説明する図である。上述のように、ステップS 2 においては、例えば勾配法で準安定点 7 が抽出される。勾配法の初期状態として、静電ポテンシャル場 2 に複数の初期点（初期電子）2 1 が設定される。複数の初期点 2 1 は、例えば静電ポテンシャル場 2 に一定間隔で設定される。

[0047] 複数の初期点 2 1 の数及び配置場所は任意であるが、複数の初期点 2 1 での電界に基づいて静電ポテンシャル場 2 におけるすべての極小点が抽出されるため、初期点 2 1 の設定に応じて勾配法の計算精度が変化し、場合によっては準安定点 7 の抽出漏れなどが生じうる。計算精度向上のためには、より多くの初期点 2 1 を設定することが望ましい。図 3 B では、複数の初期点 2 1 を静電ポテンシャル場 2 の全体に、均一に設定する例を示すが、準安定点 7 が多数抽出される場所に、より多くの初期点 2 1 を設定してもよい。

[0048] ステップS 2 の勾配法においては、複数の初期点 2 1 が、静電ポテンシャル場 2 の電界の勾配に従って、より静電ポテンシャルの小さい位置へと少しずつ移動する。初期点 2 1 の移動は、静電ポテンシャル場の谷である極小点となる位置（すなわち、準安定点 7）において収束する。このような、仮想的に配置した初期点の移動が収束する位置を求める処理は、最適化とも呼ばれる。図 3 C は、ステップS 2 の最適化が完了した状態を説明する図である。図 3 C に示すように、静電ポテンシャル場における複数の谷 6 が、それぞれ準安定点 7 として抽出される。

[0049] 図 3 D は、ステップS 3 を説明する図である。ステップS 3 においては電荷生成位置 3 と準安定点 7 の間、準安定点 7 と電荷読出位置 4 の間、及び 2 つの準安定点 7 の間に、それぞれ主要輸送経路 8 が抽出される。主要輸送経路 8 の抽出処理の詳細については、後述する。

[0050] 複数の主要輸送経路 8 のそれぞれは、ポテンシャルが一定ではなく、経路途中でポテンシャルが変化する。経路途中のポテンシャル変化の度合いがバリア 9 である。図 3 D では、各主要輸送経路 8 のバリア 9 を「X」で表記している。バリア 9 は、複数の主要輸送経路 8 のそれぞれにおける静電ポテンシャル場 2 の電荷転送の障害の大きさを表している。バリア 9 の高さは、複数の主要輸送経路 8 のそれぞれごとに異なる。

[0051] 図 3 E は、ステップ S 4 及び S 5 を説明する図である。ステップ S 4 においては、例えば、図 3 E に示すような回路モデル 2 2 が生成される。回路モデル 2 2 は、複数の主要輸送経路 8 に対応する複数の配線 2 3 と、複数の準安定点 7 に対応する複数の接続ノード 2 4 と、複数の主要輸送経路 8 のバリア 9 に対応する複数の抵抗 2 5 とを有する。また、複数の配線 2 3 に、それぞれ抵抗 2 5 が配置される。抵抗 2 5 は、複数の主要輸送経路 8 のそれぞれにおける静電ポテンシャル場 2 の物理量に応じた抵抗値を有する。より具体的には、抵抗 2 5 は、対応する主要輸送経路 8 のバリア 9 の高さに応じた抵抗値を有する。このように、各主要輸送経路 8 のバリア 9 の高さを抵抗 2 5 の抵抗値で表現することで、各主要輸送経路 8 のバリア 9 を考慮に入れることが容易になる。

[0052] ステップ S 5 では、回路モデル 2 2 における複数の抵抗 2 5 のそれぞれの抵抗値を合成した合成抵抗値が計算される。この合成抵抗値が、電子デバイス 1 の電荷生成位置 3 から電荷読出位置 4 までの電荷転送の障害の大きさを表す。回路モデル 2 2 と、計算された合成抵抗値とを用いて、電子デバイス 1 の全体の電荷輸送特性が計算される。

[0053] 図 4 A 及び図 4 B は、図 2 のステップ S 3 の処理をより具体的に説明する図である。図 4 A は、本開示の第 1 の実施形態に係る主要輸送経路 8 の抽出を説明する図である。図 4 B は、図 4 A を上方から見た平面図である。図 4 A 及び図 4 B は、始点となる準安定点 7 a と、終点となる準安定点 7 b との間の主要輸送経路 8 を、NEB 法で抽出する例を示している。

[0054] NEB 法においては、図 4 A 及び図 4 B に示すように、まず準安定点 7 a

と準安定点 7 b との間を繋ぐ初期の輸送経路 3 1 が設定される。初期の輸送経路 3 1 は、例えば図 4 B で示すような、準安定点 7 a 及び 7 b を直線でつなぐ経路で表すことができる。初期の輸送経路 3 1 は、複数の鞍点 3 2 a を有し、各鞍点 3 2 a は、輸送経路 3 1 上に、例えば等間隔に設定される。

[0055] NEB 法は、隣り合う鞍点 3 2 a 同士に作用するばね力 F_1 と、このばね力 F_1 に対し垂直方向に作用するばね力 F_2 を想定する。NEB 法は、ばね力 F_1 とばね力 F_2 とが最小となる鞍点 3 2 b を抽出する。NEB 法により、複数の鞍点 3 2 b を繋ぐ輸送経路を、主要輸送経路 8 として抽出することができる。

[0056] また、変形例として、主要輸送経路 8 の抽出にドラッグ法が用いられてもよい。図 4 C は、ドラッグ法による主要輸送経路 8 の抽出を説明する平面図である。ドラッグ法は、準安定点 7 a と準安定点 7 b との間を繋ぐ直線 3 3 に対し垂直な面 3 4 を複数配置する。これらの面 3 4 のそれぞれで、ポテンシャルが極小となる鞍点 3 2 c が抽出される。ドラッグ法は、抽出された複数の鞍点 3 2 c を繋ぐ輸送経路を、主要輸送経路 8 a として抽出する。

[0057] ドラッグ法は、NEB 法と比較してアルゴリズムが簡単であり、計算量が少ないという特徴がある。一方、ドラッグ法は、単に静電ポテンシャルが極小となる鞍点 3 2 c をそれぞれ求めているにすぎず、隣り合う鞍点の間の電界の勾配などを考慮しないため、抽出精度が低いという課題がある。このため、真の主要輸送経路 8 b とは異なる主要輸送経路 8 a が抽出される可能性があるとともに、準安定点 7 a と準安定点 7 b との間のバリアが正確に抽出できない可能性がある。

[0058] 図 4 A ～図 4 C で説明するように、図 2 のステップ S 3 においては、より静電ポテンシャルの小さい経路を優先的に選択することで、複数の主要輸送経路 8 が抽出される。複数の主要輸送経路 8 の抽出には、NEB 法及びドラッグ法のほか、ストリング法、CPR (Conjugate Peak Refinement) 法、Ridge 法、DHS (Dewar, Healy and Stewart) 法などが用いられてもよい。

- [0059] 図5は、一比較例に係る電荷輸送特性計算方法を示す図である。図5の電荷輸送特性計算方法は、静電ポテンシャル場2の状態及び複数の電子eの位置を細かい時間刻みで更新し、静電ポテンシャル場2の全域において複数の電子eの移動を詳細に解析する。
- [0060] 一比較例に係る電荷輸送特性計算方法では、静電ポテンシャル場2内の、主要な輸送経路以外の輸送経路も、細かい時間刻みで計算されるため、計算量が増大してしまう上に、無駄な計算も多くなる。
- [0061] これに対して、本開示の第1の実施形態に係る電荷輸送特性計算方法は、主要輸送経路8のみを対象として解析を行うため、計算量が少なく効率的である。
- [0062] 図6は、本開示の第1の実施形態に係る電荷輸送特性計算装置40の構成を示すブロック図である。電荷輸送特性計算装置40は、例えば半導体チップなどのハードウェアにより実現可能である。あるいは、電荷輸送特性計算装置40は、コンピュータがソフトウェア（プログラム）を実行することにより実現可能である。
- [0063] 電荷輸送特性計算装置40は、静電ポテンシャル計算部（第1計算部）41、準安定点抽出部（第1抽出部）42、主要輸送経路抽出部（第2抽出部）43、回路モデル生成部（第2計算部）44、電荷輸送特性計算部（第3計算部）45を備える。
- [0064] 静電ポテンシャル計算部41は、電子デバイス1の静電ポテンシャルを計算し、静電ポテンシャル場2を生成する。準安定点抽出部42は、静電ポテンシャル場2における複数の準安定点7を抽出する。主要輸送経路抽出部43は、電荷生成位置3、電荷読出位置4、及び複数の準安定点7を繋ぐ複数の主要輸送経路8を抽出する。回路モデル生成部44は、複数の主要輸送経路8のそれぞれにおける静電ポテンシャル場2の物理量に基づいて回路モデル22を生成する。電荷輸送特性計算部45は、回路モデル22から電子デバイス1の全体の電荷輸送特性を計算する。
- [0065] 図7は、本開示の第1の実施形態に係る電荷輸送特性計算方法が適用され

うる電子デバイス 1 の一例を示す図である。図 7 の電子デバイスは固体撮像装置 50 である。図 7 に示す固体撮像装置 50 は、本開示の第 1 の実施形態に係る電荷輸送特性計算方法によって、電荷（例えば、電子 e ）の輸送特性を計算することができる。以下では、固体撮像装置 50 が光電変換により生じた電子 e を転送する例を説明するが、光電変換により生じた正孔を転送する場合にも適用可能である。

[0066] 固体撮像装置 50 において、光電変換により生じた電子 e が転送電極を介して画素回路に転送され、画素信号が生成される。各画素の画素信号により、画像データが生成される。固体撮像装置 50 は、二元方向に配置された複数の画素を備え、各画素は、レンズ 52、カラーフィルタ 53、光電変換領域 54 及び転送電極 11 を備える。図 7 は、1 画素分の断面構造を示す。

[0067] レンズ 52 は、固体撮像装置 50 への入射光 51 を集光する。カラーフィルタ 53 は、入射光 51 を波長ごとに分離する。光電変換領域 54 は、レンズ 52 及びカラーフィルタ 53 を介して入射光 51 を受光する。光電変換領域 54 は、例えばフォトダイオードであり、光電変換により入射光の光量に応じた電子 e を生成する。光電変換領域 54 は、不純物イオン濃度が場所によって異なっており、静電ポテンシャル場 2 が形成されている。光電変換により生じた電子 e は、静電ポテンシャル場 2 を通過して転送電極 11 まで転送される。転送電極 11 は、例えば、ゲート電極である。

[0068] 第 1 の実施形態に係る電荷輸送特性計算方法及び電荷輸送特性計算装置は、図 7 の固体撮像装置 50 の光電変換領域 54 での電子 e の輸送経路を解析することができる。この場合、光電変換領域 54 において光電変換により電子 e が生じる箇所が電荷生成位置 3 であり、光電変換領域 54 から転送電極に電子 e が転送される箇所が電荷読出位置 4 である。

[0069] 本実施形態によれば、光電変換領域 54 での電子の輸送経路を短時間で精度よく解析できるため、光電変換領域 54 の不純物イオンの分布の設計、遮光部材の配置場所、及び転送電極の配置場所などを最適化することができる。

[0070] このように、本開示の第1の実施形態では、静電ポテンシャル場におけるポテンシャルの山と谷を結ぶすべての経路を解析するのではなく、主要輸送経路のみを抽出して、各主要輸送経路のバリアに基づいて、電荷生成位置から電荷読出位置までの電荷輸送特性を計算する。これにより、第1の実施形態によれば、図5の一比較例と比べて少ない計算量で精度よく電荷輸送特性を計算できる。また、第1の実施形態によれば、複雑な電界の勾配を有する静電ポテンシャル場を回路モデルとして単純化できるため、電荷輸送のボトルネックとなる領域の抽出などの解析が容易である。これにより、電子デバイスの性能及び評価を効率的かつ精度よく行うことができるとともに、電子デバイスの設計を効率化でき、電子デバイスの品質を向上できる。

[0071] (第2の実施形態)

本開示に係る電荷輸送特性計算方法には、様々な変形例が考えられる。例えば、図2のステップS2における準安定点7の抽出に、探索法が用いられてもよい。図8A～図8Cは、本開示の第2の実施形態に係る準安定点7の抽出を説明する図である。図8A～図8Cは、本開示の第1の実施形態で説明する図3B及び図3Cに対応している。

[0072] 図8Aは、探索法の初期状態を示す図である。探索法は、静電ポテンシャル場2の全体を、メッシュ60によりメッシュ分割する。図8Bは、谷6及びメッシュ60の拡大図である。メッシュ60は、メッシュ分割された要素同士の接点に配置される格子点61を有する。なお、本明細書では静電ポテンシャル場2が、複数の四角形の要素にメッシュ分割される例を示すが、これに限られない。例えば、静電ポテンシャル場2は複数の三角形の要素にメッシュ分割されてもよいし、四角形と三角形が混在する形でメッシュ分割されてもよい。

[0073] 格子点61では、それぞれの位置における静電ポテンシャル場2の電界が設定される。探索法は、格子点61を移動させて電界がゼロかつ電界の微分値が正の値を探索し、探索により発見された位置を準安定点7とする。図8Cは、探索法の完了状態を示す図である。図8Cに示すように、探索法によ

っても、図3Cと同様に複数の準安定点7が抽出できる。

[0074] 探索法では、静電ポテンシャル場2の全体が計算されるため、準安定点7の抽出漏れが生じにくい。一方、計算精度及び計算量はメッシュ幅に依存して変化する。メッシュ幅が細かい方が計算精度は向上するが、計算量は増大する。したがって、探索法においては要求される計算精度に応じたメッシュ幅が設定されることが望ましい。

[0075] (第3の実施形態)

図2のステップS4及びS5における回路モデル22の計算は、一部の回路の計算が省略されてもよい。図9は、本開示の第3の実施形態に係る回路モデル22aを示す図である。回路モデル22aは、回路モデル22の各抵抗25のうち、抵抗値が所定の閾値以上となる抵抗25を抽出し、抽出された抵抗25を有する配線23を除去したものである。

[0076] 本開示の第3の実施形態は、上述した回路モデル22aの合成抵抗値を計算する。すなわち、本開示の第3の実施形態に係る電荷輸送特性計算は、所定の閾値以上の抵抗値を有する配線を考慮に入れず、所定の閾値未満の抵抗値を有する配線のみを考慮に入れて、合成抵抗値を計算する。

[0077] このように、第3の実施形態によれば、抵抗値が所定の閾値以上の抵抗25を有する配線23が無視されることにより、バリアが高くて、電子eが通過する可能性が低い主要輸送経路8が計算対象から除外される。これにより、無駄な計算を省略して、電子eが通過する確率の高い主要な経路のみを考慮した電荷輸送特性計算を行える。

[0078] 本開示の第3の実施形態に係る電荷輸送特性計算は、第1の実施形態に係る電荷輸送特性計算と比較してさらに計算量を削減できる。また、本開示の第3の実施形態では、より電子eが通過する確率の高い主要輸送経路8のみを抽出して電荷輸送特性を計算するため、計算精度を維持できる。本開示の第3の実施形態は、第1の実施形態及び第2の実施形態のいずれにも適用できる。

[0079] (第4の実施形態)

図2のステップS4及びS5における電子デバイス1の全体の電荷輸送特性計算に、モンテカルロ法が用いられてもよい。図10Aは、本開示の第4の実施形態に係る電荷輸送特性計算を説明する図である。モンテカルロ法は、図10Aに示すように、電子eが電荷生成位置3から電荷読出位置4まで移動する過程において、電子eが1つの準安定点7に到達するごとに、電子eが次に通過する主要輸送経路8を選択する。

[0080] 図10Bは、本開示の第4の実施形態に係る移動先の準安定点7の抽出を示す模式図である。図10Bは、電子eが1つの準安定点70に存在している例を示している。図10Bの例では、準安定点71a、71b、71cがそれぞれ準安定点70に隣接して配置されている。準安定点70からは準安定点71a、71b、71cのそれぞれに対して主要輸送経路72a、72b、72cが延びている。また、主要輸送経路72a、72b、72cは、それぞれバリア73a、73b、73cを有する。

[0081] 準安定点70に存在する電子eは、次に通過する主要輸送経路8として、主要輸送経路72a、72b、72cのいずれかを選択する。主要輸送経路72a、72b、72cが選択される確率は、それぞれ確率R1、R2、R3で表される。

[0082] 図10Cは、主要輸送経路72a、72b、72cの選択確率を示す円グラフである。バリア73a、73b、73cのバリアの高さがそれぞれ Δa 、 Δb 、 Δc とすると、所定の変数 k_B およびTを用いて、確率R1、R2、R3はそれぞれ $\exp(-\Delta a/k_B T)$ 、 $\exp(-\Delta b/k_B T)$ 、 $\exp(-\Delta c/k_B T)$ で表される。すなわち、バリアの高さが高いほど、主要輸送経路8として選択される確率が下がる。また、確率R1、R2、R3の総和は100%である。図10B及び図10Cは、準安定点70から3つの主要輸送経路8が延びている例を示しているが、主要輸送経路8が2つ以下の場合、あるいは4つ以上の場合も同様に主要輸送経路8の選択確率を算出できる。

[0083] 本開示の第4の実施形態では、複数の主要輸送経路8の物理量と、複数の主要輸送経路8を選択する確率とを乗じた値に基づいて、電荷輸送特性を計

算する。より具体的には、本開示の第4の実施形態では、新たな準安定点7が抽出されるたびに、その準安定点7に接続されるすべての主要輸送経路8について選択確率を計算して、次の準安定点7を抽出する処理を繰り返し行う。これにより、少ない計算量で、かつ漏れなく最適な準安定点7を抽出できる。また、本開示の第4の実施形態では、過渡計算が行われるため、電子eが輸送される中途の状態を解析できる。また、本開示の第4の実施形態によって、電子eが輸送されるための所要時間などを算出してもよい。

[0084] 本開示の第4の実施形態は、図5の一比較例と比較して、全ての輸送経路について計算する必要はなく、主要輸送経路8に関する計算のみでよい。また、図5の一比較例は細かい時間刻みの計算が必要であるのに対し、本開示の第4の実施形態は、電子eが準安定点7に到達するごとの計算でよい。また、図5の一比較例よりも計算量が少ない。本開示の第4の実施形態は、第1の実施形態及び第2の実施形態のいずれにも適用できる。

[0085] (第5の実施形態)

本開示の第1～4の実施形態では、負の電荷（すなわち、電子e）の輸送特性を計算する例を主に説明したが、本開示の電荷輸送特性計算は、正の電荷（例えば、正孔h）に対しても適用できる。この場合、図2のステップS2において、静電ポテンシャルの符号反転後の極小点が、準安定点7として抽出される。図11は、本開示の第5の実施形態に係る準安定点7cの抽出を示す図である。

[0086] 図11における静電ポテンシャル場2aは、静電ポテンシャルが符号反転されている。静電ポテンシャル場2aは、図3Aの谷6に対応する複数のポテンシャルの山5aと、山5に対応する複数のポテンシャルの谷6aを有する。準安定点7cは、谷6aからそれぞれ抽出される。

[0087] 準安定点7cの抽出には、図3B及び図3Cの勾配法、図8A～8Cの探索法のどちらが用いられてもよい。図2のステップS3及びS4については、第1の実施形態と同様に、準安定点7cに対して主要輸送経路8が抽出され、回路モデル22が生成される。

[0088] このように、本開示の第5の実施形態においては、静電ポテンシャルの符号反転後の極小点が準安定点7cとして抽出されることにより、正の電荷に対しても本開示の第1～4の実施形態に係る電荷輸送特性計算が適用できる。

[0089] (第6の実施形態)

第1～第5の実施形態に係る電荷輸送特性計算方法及び電荷輸送特性計算装置は、例えば図7の固体撮像装置50などの光電変換により電荷を発生させる電子デバイスに適用可能である。図12Aは、本開示の第6の実施形態に係る電荷輸送特性計算方法及び電荷輸送特性計算装置が計算対象とする電子デバイスの静電ポテンシャル場を示す図である。図12Aの電子デバイス1aは、静電ポテンシャル場2bが生成される光電変換領域54aを有する。

[0090] 静電ポテンシャル場2bは、電荷生成分布80を有する。電荷生成分布80は、光電変換により電子を発生させる位置を示す分布である。第6の実施形態は、電荷生成分布80のうち、最も高い頻度で電子eを発生させる位置を、電荷生成位置3aとする。

[0091] 図12Bは、本開示の第6の実施形態に係る電荷輸送特性計算方法及び電荷輸送特性計算装置により生成される回路モデル22bを示す図である。回路モデル22bは、図12Aの電荷生成分布80により求められる電荷生成位置3aを始点とする。なお、回路モデル22bは、第1～3の実施形態と同様の手法で生成することができる。また、本開示の第6の実施形態に係る電荷輸送特性計算においては、第4の実施形態と同様のモンテカルロ法を用いてもよい。

[0092] 光電変換を行う場所ごとに、電子と正孔の対が発生される。このため、第6の実施形態では、第5の実施形態と同様に、最も多く正孔が発生される場所を電荷生成位置3aとして、正孔の輸送特性を計算することも可能である。

[0093] このように、本開示の第6の実施形態は、光電変換により生成される電荷

の電荷生成分布 80 を用いて、回路モデル 22b の始点となる電荷生成位置 3a を始点として、電荷輸送特性を計算できる。このため、固体撮像装置の光電変換領域内での電荷の移動経路を精度よく解析でき、固体撮像装置の設計に利用できるとともに、固体撮像装置の品質向上を図れる。

[0094] (第 7 の実施形態)

図 2 のステップ S2 における準安定点 7 の抽出に、勾配法及び探索法以外の手法が用いられてもよい。本開示の第 7 の実施形態に係る電荷輸送特性計算方法では、ポテンシャルが等しい等ポテンシャル面をスキャンして、準安定点 7 を抽出する手法（ポテンシャルスキャン法、とも呼ぶ）が用いられる。

[0095] 図 13 は、本開示の第 7 の実施形態に係る電荷輸送特性計算方法が適用されうる電子デバイス 1（固体撮像装置 50）の一例を示す図である。図 13 に示す固体撮像装置 50 には、静電ポテンシャル場 2 に、等ポテンシャル面をスキャンさせるスキャン領域（空間領域）90 が設定される。図 13 の例では、スキャン領域 90 は、静電ポテンシャル場 2 の全域に設定される。また、図 13 には、転送電極 11 から静電ポテンシャル場 2 に延びる V G（Vertical Gate）領域 91 が図示される。

[0096] 図 14 は、本開示の第 7 の実施形態に係る準安定点 7 の抽出手法を示す図である。図 14 には、スキャン領域 90 の、一次元方向のポテンシャル分布が図示される。図 14 の横軸は、スキャン領域 90 における一次元方向の座標位置を示し、縦軸は、ポテンシャルの大きさを示す。実際には、スキャン領域 90 のポテンシャル分布は、二次元方向に広がっているが、図 14 では、簡略化のために一次元方向のポテンシャル分布を示す。以下では、二次元方向に広がるポテンシャル分布の最上面をポテンシャル曲面と呼ぶ。

[0097] 図 14 に示すように、ポテンシャル曲面は、複数の山 5 及び複数の谷 6 を有する。図 14 の例では、ポテンシャル曲面は、位置 X_0 及び X_2 に極小点（すなわち、準安定点 7）を有し、位置 X_1 及び X_3 に極大点（すなわち、バリア 9a のピーク位置）を有する。位置 X_0 、 X_1 、 X_2 、及び X_3 におけるポテンシ

ルは、それぞれ P_0 、 P_1 、 P_2 、及び P_3 である。以下、本明細書では、バリア 9 a のピーク位置を、単にバリア 9 a の位置とも呼ぶ。

[0098] 本開示の第 7 の実施形態に係る準安定点 7 の抽出手法では、ポテンシャルが等しい等ポテンシャル面 9 2 を、ポテンシャルを変えながら移動させて、等ポテンシャル面 9 2 の少なくとも一部が消失する箇所を準安定点 7 として抽出する。

[0099] 等ポテンシャル面 9 2 は、ポテンシャル曲面の上方の空間領域に配置されるポテンシャルが等しい面領域である。ポテンシャルを変えながら等ポテンシャル面 9 2 を移動させると、等ポテンシャル面 9 2 がポテンシャル曲面と交差する。これにより、等ポテンシャル面 9 2 には、ポテンシャル曲面との交差領域の大きさに応じた孔が形成される。ポテンシャル曲面は、上述したように複数の山 5 と複数の谷 6 を有するため、等ポテンシャル面 9 2 のポテンシャルを低くするに従って、上述した孔の数と面積が大きくなり、やがて等ポテンシャル面 9 2 が部分的に消失する。等ポテンシャル面 9 2 のうち、部分的に消失した箇所が谷 6 の底であり、すなわち、準安定点 7 である。

[0100] 図 1 4 の例で説明すると、等ポテンシャル面 9 2 を次第に小さくすると、等ポテンシャル面 9 2 が位置 X_1 で最初にポテンシャル曲面と交差するため、位置 X_1 で山 5 のピーク位置（バリア 9 a）が抽出される。さらに、等ポテンシャル面 9 2 を小さくしていくと、等ポテンシャル面 9 2 の一部（等ポテンシャル面 9 2 a）が位置 X_0 で消失する。これにより、位置 X_0 が谷 6 の底（準安定点 7）として抽出される。

[0101] さらに、等ポテンシャル面 9 2 を小さくしていくと、等ポテンシャル面 9 2 の残る一部（等ポテンシャル面 9 2 b）において位置 X_3 でバリア 9 a が抽出される。さらに、等ポテンシャル面 9 2 を小さくしていくと、等ポテンシャル面 9 2 の一部（等ポテンシャル面 9 2 c）が位置 X_2 で消失する。これにより、位置 X_2 が準安定点 7 として抽出される。

[0102] 同様に、等ポテンシャル面 9 2 の残る一部（等ポテンシャル面 9 2 d）においても、等ポテンシャル面 9 2 を次第に小さくし、等ポテンシャル面 9 2

の少なくとも一部が消失する位置を探索することで、準安定点 7 を抽出する。

[0103] ポテンシャルスキャン法では、例えば、等ポテンシャル面 9 2 が一定のポテンシャル間隔 ΔE 小さくなるごとに、等ポテンシャル面 9 2 をスキャンし、等ポテンシャル面 9 2 の少なくとも一部が消失しているか否かを判定する。

[0104] 準安定点 7 は、必ずしも、等ポテンシャル面 9 2 の消失位置に基づいて抽出されなくてもよい。例えば、等ポテンシャル面 9 2 をスキャンして、等ポテンシャル面 9 2 の少なくとも一部の面積が十分に小さくなった（例えば、所定の閾値以下となった）場合に、当該一部が消失したとみなして、準安定点 7 を抽出してもよい。あるいは、十分に小さい面積を持つ等ポテンシャル面 9 2 の少なくとも一部の重心等を、準安定点 7 として抽出してもよい。

[0105] 図 1 4 の抽出手法では、準安定点 7 だけではなく、電荷転送の障害の大きさを表すバリア 9 a の高さ、バリア 9 a のピーク位置を同時に抽出することもできる。例えば、等ポテンシャル面 9 2 が消失する位置と、その周囲の山 5 のピーク位置から、バリア 9 a を抽出することができる。

[0106] 図 1 5 A は、V G 領域 9 1 における、等ポテンシャル面 9 2 e を示す図である。図 1 5 B は、図 1 5 A よりもポテンシャルの低い等ポテンシャル面 9 2 f を示す図である。図 1 5 A 及び図 1 5 B に示すように、等ポテンシャル面 9 2 のポテンシャルを小さくすることにより、等ポテンシャル面 9 2 の面積が小さくなり、その一部が消失していく箇所から、準安定点 7 の位置が抽出される。

[0107] 上記のように、本開示の第 7 の実施形態に係る準安定点 7 の抽出手法では、ポテンシャルの高い側（ポテンシャルの上面側）から、等ポテンシャル面 9 2 を次第に小さくしながら、等ポテンシャル面 9 2 をスキャンする。なお、等ポテンシャル面 9 2 のスキャンは、スキャン領域 9 0 におけるポテンシャルの低い側（ポテンシャルの下面側）から行われてもよい。この場合、等ポテンシャル面 9 2 が消失している箇所から等ポテンシャル面 9 2 が発生し

た場合に、その箇所を準安定点 7 として抽出すればよい。

[0108] このように、本開示の第 7 の実施形態に係る準安定点 7 の抽出手法では、ポテンシャルスキャン法によって準安定点 7 を抽出する。ポテンシャルスキャン法は、静電ポテンシャル場 2 における静的なポテンシャルから準安定点 7 を抽出できるため、計算コストが小さくて済む。

[0109] 具体的には、ポテンシャルスキャン法は、第 1 の実施形態に係る勾配法と比較すると、多数の初期点 2 1 の移動を計算する必要がないため、計算コストが小さくなる。また、ポテンシャルスキャン法は、第 2 の実施形態に係る探索法（全メッシュ探索法、とも呼ぶ）と比較して、静電ポテンシャル場 2 の界面における計算処理が容易であるため、計算コストが小さくなる。

[0110] また、ポテンシャルスキャン法は、パラメータ依存性が小さく、抽出精度が高いという特徴がある。パラメータとは、例えば、等ポテンシャル面 9 2 をスキャンさせる際のポテンシャル間隔 ΔE などである。ポテンシャルスキャン法は、第 1 の実施形態に係る勾配法と比較して、初期点 2 1 の初期配置により準安定点 7 の抽出漏れが発生するおそれがない。また、第 2 の実施形態に係る探索法と比較して、メッシュ幅の大きさによっては、精度が著しく減少するか又は計算コストが著しく上昇するといった問題が起きない。また、第 2 の実施形態に係る探索法と比較して、メッシュに由来する人工的な谷 6 が抽出されるおそれがなく、準安定点 7 の抽出速度及び抽出精度を向上できる。

[0111] ポテンシャルスキャン法は、ポテンシャル間隔 ΔE に応じて等ポテンシャル面 9 2 のスキャン頻度の変動する。ポテンシャルスキャン法では、スキャン頻度が小さくなっても、谷の等ポテンシャル面 9 2 が一度でも抽出できれば、抽出された等ポテンシャル面 9 2 内から準安定点 7 を抽出できるため、上記の勾配法及び探索法と比較して、準安定点 7 の抽出漏れが生じにくい。

[0112] 本開示の第 7 の実施形態には、第 3 ～ 第 6 実施形態のいずれかに係る電荷輸送特性計算方法を適用可能である。

[0113] （第 8 の実施形態）

上述した第7の実施形態では、静電ポテンシャル場2の全域をスキャン領域90としたが、静電ポテンシャル場2の一部、より具体的には、電子デバイス1で生成される電荷が移動可能な所定の空間領域をスキャン領域90としてもよい。

[0114] 図16は、本開示の第8の実施形態に係る電荷輸送特性計算方法が適用される電子デバイス1の一例を示す図である。図16の例では、静電ポテンシャル場2のうち、例えば、P-Well領域93と、FD (Floating Diffusion) 拡散層94と、を除く領域に、スキャン領域（空間領域）90aが設定される。

[0115] P-Well領域93はポテンシャルが高く、電子eの転送経路にはならないため、電子eの輸送特性への影響が少ない。FD拡散層94は、電子eの転送経路の終着点であるため、輸送特性への影響が少ない。そこで、第8の実施形態におけるスキャン領域90aは、静電ポテンシャル場2から、上記のような輸送特性への影響が少ない領域を除外した領域に設定される。

[0116] 等ポテンシャル面92を抽出するスキャン領域90aの範囲を、静電ポテンシャル場2の一部に制限することで、計算量を削減でき、準安定点7の抽出を高速化できる。

[0117] （第9の実施形態）

上述した第8の実施形態では、静電ポテンシャル場2におけるスキャン領域90aの範囲を制限することで、準安定点7の抽出を高速化している。これに対して、本開示の第9の実施形態では、等ポテンシャル面92を抽出するポテンシャル範囲を制限することで、準安定点7の抽出を高速化することに特徴がある。

[0118] 図17は、本開示の第9の実施形態に係る準安定点7の抽出手法を示す図である。図17では、電子デバイス1が取りうるポテンシャルを、3つのポテンシャル範囲90b、93a、及び94aに分ける。ポテンシャル範囲93aは、P-Well領域93のポテンシャル範囲である。ポテンシャル範囲94aは、FD拡散層94のポテンシャル範囲である。ポテンシャル範囲

93a及び94aは、電子eの輸送経路に影響しないため、本実施形態では、ポテンシャル範囲93a及び94aを省略して、ポテンシャル範囲90bの範囲内で、等ポテンシャル面92を抽出する。これにより、準安定点7の抽出を高速化できる。

[0119] 図17のように、等ポテンシャル面92を抽出するポテンシャル範囲を、輸送に影響する範囲に制限することでも、準安定点7の抽出を高速化できる。

[0120] (第10の実施形態)

図18A及び図18Bは、本開示の第10の実施形態に係る準安定点7の抽出手法を示す図である。電子デバイス1の静電ポテンシャル場2におけるポテンシャルを計算する際、静電ポテンシャル場2をメッシュに分割して、メッシュ分割された要素ごとにポテンシャルを計算する場合がある。この場合、メッシュ由来の複数の小さな谷6が生成される。図18Aでは、複数の小さな谷6を谷群6bと呼ぶ。谷群6b内の複数の谷6は、それぞれ準安定点7を有する。本開示の第10の実施形態では、図18Bに示すように、複数の準安定点7の間に存在するバリア9aを1つ以上抽出し、抽出されたバリア9aのうち、所定の高さ以下のバリア9aの周囲に位置する複数の準安定点7を合体させて、新たな準安定点7dを生成する。

[0121] これにより、準安定点7の数を削減できる。実際には、メッシュ由来の複数の準安定点7を合体させて、準安定点7の数を減らすことができる。よって、図3Eのように回路モデル22を生成する際に、抽出する配線23の数を削減でき、計算が高速化できる。また、ノイズとなる配線23を削減できるため、転送特性の予測精度を向上できる。

[0122] 第10の実施形態に係る準安定点7の削減手法は、第2の実施形態に係る全メッシュ探索法等に適用されてもよい。例えば、第2の実施形態の直交メッシュに由来して形成される人工的な谷6から構成される谷群6bに対して、本実施形態に係る準安定点7の削減手法が適用できる。

[0123] (第11の実施形態)

第1の実施形態等においては、準安定点7に基づいて、NEB法等により主要輸送経路8を抽出する。上述のようにポテンシャルスキャン法等では、準安定点7と同時にバリア9aを抽出することができる。本開示の第11の実施形態では、このバリア9aに基づいて、主要輸送経路8を抽出することに特徴がある。

[0124] 図19A及び図19Bは、本開示の第11の実施形態に係る主要輸送経路8cの抽出手法を示す図である。図19Aの例では、静電ポテンシャル場2の全域、又は静電ポテンシャル場2の一部の範囲をスキャン領域90として等ポテンシャル面92をスキャンし、静電ポテンシャル場2の全域又は一部の範囲における複数の準安定点7（例えば、図14の位置 X_0 及び X_2 ）を抽出するとともに、複数の準安定点7の間から、バリア9aのピーク位置（例えば、図14の位置 X_1 及び X_3 ）を抽出する。

[0125] 図19Bの例では、図19Aで抽出された全てのバリア9aを用いて、主要輸送経路8cを抽出する。主要輸送経路8cの抽出には、例えば、勾配法が用いられる。

[0126] 勾配法では、例えば、バリア9aのピーク位置に初期点を配置し、電荷転送の障害がより小さくなる方向へと初期点を少しずつ移動させることにより、複数の準安定点7の間における電子eが通る可能性が最も高い位置を抽出できる。勾配法により抽出された位置に基づいて、主要輸送経路8cが抽出できる。

[0127] 本開示の第11の実施形態では、抽出された主要輸送経路8cに基づいて、図3E等のように回路モデル22を生成できる。回路モデル22に基づいて、合成抵抗値が算出できる。

[0128] 本開示の第11の実施形態では、主要輸送経路8cを、勾配法を用いて抽出することにより、NEB法等を用いる場合よりも計算を高速化できる。

[0129] 第11の実施形態に係る主要輸送経路8cの抽出手法は、第2の実施形態に係る全メッシュ探索法等に適用されてもよい。

[0130] （第12の実施形態）

第 1 1 の実施形態に係る主要輸送経路 8 c の抽出手法では、準安定点 7 と同時に抽出される全てのバリア 9 a から、主要輸送経路 8 c を抽出したが、主要輸送経路 8 c は、バリア 9 a の一部から抽出されてもよい。例えば、主要輸送経路 8 c は、抽出されたバリア 9 a のうち、所定の高さ以下のバリア 9 a から抽出されてもよい。

[0131] 図 2 0 は、本開示の第 1 2 の実施形態に係る主要輸送経路 8 c の抽出手法を示す図である。図 2 0 では、高いバリア 9 a のピーク位置からは、主要輸送経路 8 c を抽出しない。高いバリア 9 a のピーク位置及びその近傍は、電子 e が通過する可能性が低く、輸送特性への影響が少ない。本開示の第 1 2 の実施形態では、輸送特性への影響が少ない転送パスの抽出を省略でき、第 1 1 の実施形態からさらに計算量を削減できる。

[0132] 本実施形態に係る電荷輸送特性計算装置の少なくとも一部は、ハードウェア又はソフトウェアで構成されてもよい。ソフトウェアで構成される場合には、電荷輸送特性計算装置の少なくとも一部の機能を実現するプログラムをフレキシブルディスクや C D - R O M 等の記録媒体に収納し、コンピュータに読み込ませて実行させてもよい。記録媒体は、磁気ディスクや光ディスク等の着脱可能なものに限定されず、ハードディスク装置やメモリなどの固定型の記録媒体でもよい。

[0133] また、本実施形態に係る電荷輸送特性計算方法の少なくとも一部の機能を実現するプログラムを、インターネット等の通信回線（無線通信も含む）を介して頒布してもよい。さらに、同プログラムを暗号化したり、変調をかけたり、圧縮した状態で、インターネット等の有線回線や無線回線を介して、あるいは記録媒体に収納して頒布してもよい。

[0134] （応用例）

本開示に係る技術（本技術）は、様々な製品へ応用することができる。例えば、本開示に係る技術は、内視鏡手術システムに適用されてもよい。

[0135] 図 2 1 は、本開示に係る技術（本技術）が適用され得る内視鏡手術システムの概略的な構成の一例を示す図である。

[0136] 図21では、術者（医師）11131が、内視鏡手術システム11000を用いて、患者ベッド11133上の患者11132に手術を行っている様子が図示されている。図示するように、内視鏡手術システム11000は、内視鏡11100と、気腹チューブ11111やエネルギー処置具11112等の、その他の術具11110と、内視鏡11100を支持する支持アーム装置11120と、内視鏡下手術のための各種の装置が搭載されたカート11200と、から構成される。

[0137] 内視鏡11100は、先端から所定の長さの領域が患者11132の体腔内に挿入される鏡筒11101と、鏡筒11101の基端に接続されるカメラヘッド11102と、から構成される。図示する例では、硬性の鏡筒11101を有するいわゆる硬性鏡として構成される内視鏡11100を図示しているが、内視鏡11100は、軟性の鏡筒を有するいわゆる軟性鏡として構成されてもよい。

[0138] 鏡筒11101の先端には、対物レンズが嵌め込まれた開口部が設けられている。内視鏡11100には光源装置11203が接続されており、当該光源装置11203によって生成された光が、鏡筒11101の内部に延設されるライトガイドによって当該鏡筒の先端まで導光され、対物レンズを介して患者11132の体腔内の観察対象に向かって照射される。なお、内視鏡11100は、直視鏡であってもよいし、斜視鏡又は側視鏡であってもよい。

[0139] カメラヘッド11102の内部には光学系及び撮像素子が設けられており、観察対象からの反射光（観察光）は当該光学系によって当該撮像素子に集光される。当該撮像素子によって観察光が光電変換され、観察光に対応する電気信号、すなわち観察像に対応する画像信号が生成される。当該画像信号は、RAWデータとしてカメラコントロールユニット（CCU: Camera Control Unit）11201に送信される。

[0140] CCU11201は、CPU（Central Processing Unit）やGPU（Graphics Processing Unit）等によって構成され、内視鏡11100及び表示装

置 1 1 2 0 2 の動作を統括的に制御する。さらに、CCU 1 1 2 0 1 は、カメラヘッド 1 1 1 0 2 から画像信号を受け取り、その画像信号に対して、例えば現像処理（デモザイク処理）等の、当該画像信号に基づく画像を表示するための各種の画像処理を施す。

[0141] 表示装置 1 1 2 0 2 は、CCU 1 1 2 0 1 からの制御により、当該 CCU 1 1 2 0 1 によって画像処理が施された画像信号に基づく画像を表示する。

[0142] 光源装置 1 1 2 0 3 は、例えば LED（light emitting diode）等の光源から構成され、術部等を撮影する際の照射光を内視鏡 1 1 1 0 0 に供給する。

[0143] 入力装置 1 1 2 0 4 は、内視鏡手術システム 1 1 0 0 0 に対する入力インタフェースである。ユーザは、入力装置 1 1 2 0 4 を介して、内視鏡手術システム 1 1 0 0 0 に対して各種の情報の入力や指示入力を行うことができる。例えば、ユーザは、内視鏡 1 1 1 0 0 による撮像条件（照射光の種類、倍率及び焦点距離等）を変更する旨の指示等を入力する。

[0144] 処置具制御装置 1 1 2 0 5 は、組織の焼灼、切開又は血管の封止等のためのエネルギー処置具 1 1 1 1 2 の駆動を制御する。気腹装置 1 1 2 0 6 は、内視鏡 1 1 1 0 0 による視野の確保及び術者の作業空間の確保の目的で、患者 1 1 1 3 2 の体腔を膨らめるために、気腹チューブ 1 1 1 1 1 を介して当該体腔内にガスを送り込む。レコーダ 1 1 2 0 7 は、手術に関する各種の情報を記録可能な装置である。プリンタ 1 1 2 0 8 は、手術に関する各種の情報を、テキスト、画像又はグラフ等各種の形式で印刷可能な装置である。

[0145] なお、内視鏡 1 1 1 0 0 に術部を撮影する際の照射光を供給する光源装置 1 1 2 0 3 は、例えば LED、レーザ光源又はこれらの組み合わせによって構成される白色光源から構成することができる。RGB レーザ光源の組み合わせにより白色光源が構成される場合には、各色（各波長）の出力強度及び出力タイミングを高精度に制御することができるため、光源装置 1 1 2 0 3 において撮像画像のホワイトバランスの調整を行うことができる。また、この場合には、RGB レーザ光源それぞれからのレーザ光を時分割で観察対象

に照射し、その照射タイミングに同期してカメラヘッド 11102 の撮像素子の駆動を制御することにより、RGB それぞれに対応した画像を時分割で撮像することも可能である。当該方法によれば、当該撮像素子にカラーフィルタを設けなくても、カラー画像を得ることができる。

[0146] また、光源装置 11203 は、出力する光の強度を所定の時間ごとに変更するようにその駆動が制御されてもよい。その光の強度の変更のタイミングに同期してカメラヘッド 11102 の撮像素子の駆動を制御して時分割で画像を取得し、その画像を合成することにより、いわゆる黒つぶれ及び白とびのない高ダイナミックレンジの画像を生成することができる。

[0147] また、光源装置 11203 は、特殊光観察に対応した所定の波長帯域の光を供給可能に構成されてもよい。特殊光観察では、例えば、体組織における光の吸収の波長依存性を利用して、通常の観察時における照射光（すなわち、白色光）に比べて狭帯域の光を照射することにより、粘膜表層の血管等の所定の組織を高コントラストで撮影する、いわゆる狭帯域光観察（Narrow Band Imaging）が行われる。あるいは、特殊光観察では、励起光を照射することにより発生する蛍光により画像を得る蛍光観察が行われてもよい。蛍光観察では、体組織に励起光を照射し当該体組織からの蛍光を観察すること（自家蛍光観察）、又はインドシアニンググリーン（ICG）等の試薬を体組織に局注するとともに当該体組織にその試薬の蛍光波長に対応した励起光を照射し蛍光像を得ること等を行うことができる。光源装置 11203 は、このような特殊光観察に対応した狭帯域光及び／又は励起光を供給可能に構成され得る。

[0148] 図 22 は、図 21 に示すカメラヘッド 11102 及び CCU 11201 の機能構成の一例を示すブロック図である。

[0149] カメラヘッド 11102 は、レンズユニット 11401 と、撮像部 11402 と、駆動部 11403 と、通信部 11404 と、カメラヘッド制御部 11405 と、を有する。CCU 11201 は、通信部 11411 と、画像処理部 11412 と、制御部 11413 と、を有する。カメラヘッド 1110

2とCCU11201とは、伝送ケーブル11400によって互いに通信可能に接続されている。

[0150] レンズユニット11401は、鏡筒11101との接続部に設けられる光学系である。鏡筒11101の先端から取り込まれた観察光は、カメラヘッド11102まで導光され、当該レンズユニット11401に入射する。レンズユニット11401は、ズームレンズ及びフォーカスレンズを含む複数のレンズが組み合わされて構成される。

[0151] 撮像部11402を構成する撮像素子は、1つ（いわゆる単板式）であってもよいし、複数（いわゆる多板式）であってもよい。撮像部11402が多板式で構成される場合には、例えば各撮像素子によってRGBそれぞれに対応する画像信号が生成され、それらが合成されることによりカラー画像が得られてもよい。あるいは、撮像部11402は、3D（dimensional）表示に対応する右目用及び左目用の画像信号をそれぞれ取得するための1対の撮像素子を有するように構成されてもよい。3D表示が行われることにより、術者11131は術部における生体組織の奥行きをより正確に把握することが可能になる。なお、撮像部11402が多板式で構成される場合には、各撮像素子に対応して、レンズユニット11401も複数系統設けられ得る。

[0152] また、撮像部11402は、必ずしもカメラヘッド11102に設けられなくてもよい。例えば、撮像部11402は、鏡筒11101の内部に、対物レンズの直後に設けられてもよい。

[0153] 駆動部11403は、アクチュエータによって構成され、カメラヘッド制御部11405からの制御により、レンズユニット11401のズームレンズ及びフォーカスレンズを光軸に沿って所定の距離だけ移動させる。これにより、撮像部11402による撮像画像の倍率及び焦点が適宜調整され得る。

[0154] 通信部11404は、CCU11201との間で各種の情報を送受信するための通信装置によって構成される。通信部11404は、撮像部11402から得た画像信号をRAWデータとして伝送ケーブル11400を介して

CCU11201に送信する。

- [0155] また、通信部11404は、CCU11201から、カメラヘッド11102の駆動を制御するための制御信号を受信し、カメラヘッド制御部11405に供給する。当該制御信号には、例えば、撮像画像のフレームレートを指定する旨の情報、撮像時の露出値を指定する旨の情報、並びに／又は撮像画像の倍率及び焦点を指定する旨の情報等、撮像条件に関する情報が含まれる。
- [0156] なお、上記のフレームレートや露出値、倍率、焦点等の撮像条件は、ユーザによって適宜指定されてもよいし、取得された画像信号に基づいてCCU11201の制御部11413によって自動的に設定されてもよい。後者の場合には、いわゆるAE（Auto Exposure）機能、AF（Auto Focus）機能及びAWB（Auto White Balance）機能が内視鏡11100に搭載されていることになる。
- [0157] カメラヘッド制御部11405は、通信部11404を介して受信したCCU11201からの制御信号に基づいて、カメラヘッド11102の駆動を制御する。
- [0158] 通信部11411は、カメラヘッド11102との間で各種の情報を送受信するための通信装置によって構成される。通信部11411は、カメラヘッド11102から、伝送ケーブル11400を介して送信される画像信号を受信する。
- [0159] また、通信部11411は、カメラヘッド11102に対して、カメラヘッド11102の駆動を制御するための制御信号を送信する。画像信号や制御信号は、電気通信や光通信等によって送信することができる。
- [0160] 画像処理部11412は、カメラヘッド11102から送信されたRAWデータである画像信号に対して各種の画像処理を施す。
- [0161] 制御部11413は、内視鏡11100による術部等の撮像、及び、術部等の撮像により得られる撮像画像の表示に関する各種の制御を行う。例えば、制御部11413は、カメラヘッド11102の駆動を制御するための制

御信号を生成する。

- [0162] また、制御部 11413 は、画像処理部 11412 によって画像処理が施された画像信号に基づいて、術部等が映った撮像画像を表示装置 11202 に表示させる。この際、制御部 11413 は、各種の画像認識技術を用いて撮像画像内における各種の物体を認識してもよい。例えば、制御部 11413 は、撮像画像に含まれる物体のエッジの形状や色等を検出することにより、鉗子等の術具、特定の生体部位、出血、エネルギー処置具 11112 の使用時のミスト等を認識することができる。制御部 11413 は、表示装置 11202 に撮像画像を表示させる際に、その認識結果を用いて、各種の手術支援情報を当該術部の画像に重畳表示させてもよい。手術支援情報が重畳表示され、術者 11131 に提示されることにより、術者 11131 の負担を軽減することや、術者 11131 が確実に手術を進めることが可能になる。
- [0163] カメラヘッド 11102 及び CCU 11201 を接続する伝送ケーブル 11400 は、電気信号の通信に対応した電気信号ケーブル、光通信に対応した光ファイバ、又はこれらの複合ケーブルである。
- [0164] ここで、図示する例では、伝送ケーブル 11400 を用いて有線で通信が行われていたが、カメラヘッド 11102 と CCU 11201 との間の通信は無線で行われてもよい。
- [0165] 以上、本開示に係る技術が適用され得る内視鏡手術システムの一例について説明した。本開示に係る技術は、以上説明した構成のうち、カメラヘッド 11102 の撮像部 11402 に適用され得る。具体的には、本開示に係る電荷輸送特性計算方法によって品質が改善された図 7 の固体撮像装置 50 を、撮像部 11402 に適用することができる。撮像部 11402 に本開示に係る技術を適用することにより、より鮮明な術部画像を得ることができるため、術者が術部を確実に確認することが可能になる。
- [0166] なお、ここでは、一例として内視鏡手術システムについて説明したが、本開示に係る技術は、その他、例えば、顕微鏡手術システム等に適用されてもよい。

[0167] なお、本技術は以下のような構成を取ることができる。

(1) 電子デバイスの静電ポテンシャルを計算する手順と、

前記電子デバイスの静電ポテンシャル場における複数の準安定点を抽出する手順と、

前記電子デバイスの電荷生成位置から電荷読出位置まで、前記静電ポテンシャル場における前記複数の準安定点を經由して電荷を輸送する複数の経路を抽出する手順と、

前記複数の経路のそれぞれにおける前記静電ポテンシャル場の物理量を計算する手順と、

前記複数の経路のそれぞれにおける前記静電ポテンシャル場の物理量に基づいて、前記電荷生成位置から前記電荷読出位置までの電荷輸送特性を計算する手順と、を備える、

電荷輸送特性計算方法。

(2) 前記準安定点は、前記静電ポテンシャル場の極小点である、

(1) に記載の電荷輸送特性計算方法。

(3) 前記電子デバイスが輸送する電荷は、正の電荷又は負の電荷であり、

前記準安定点は、前記電子デバイスが前記負の電荷を輸送する場合、前記電子デバイスの静電ポテンシャルの極小点であり、前記電子デバイスが前記正の電荷を輸送する場合、前記電子デバイスの静電ポテンシャルの符号反転後の極小点である、

(2) に記載の電荷輸送特性計算方法。

(4) 前記電荷輸送特性を計算する対象の前記電荷は、正孔、陽イオン、電子、又は陰イオンの少なくとも一つである、

(3) に記載の電荷輸送特性計算方法。

(5) 前記複数の準安定点を抽出する手順は、前記静電ポテンシャル場の電界の勾配に従って複数の前記極小点を抽出する、

(2) 乃至 (4) のいずれか一項に記載の電荷輸送特性計算方法。

(6) 前記複数の準安定点を抽出する手順は、前記静電ポテンシャル場に複

数の初期点を設定し、前記複数の初期点での電界に基づいて前記静電ポテンシャル場におけるすべての前記極小点を抽出する、

(5) に記載の電荷輸送特性計算方法。

(7) 前記複数の準安定点を抽出する手順は、前記静電ポテンシャル場をメッシュ分割して、メッシュの各格子点の電界がゼロで、かつ前記電界の微分値が正の点を前記準安定点として抽出する、

(2) 乃至 (4) のいずれか一項に記載の電荷輸送特性計算方法。

(8) 前記複数の準安定点を抽出する手順は、前記電子デバイスの静電ポテンシャル場において、ポテンシャルが等しい等ポテンシャル面をポテンシャルを変えながら移動させて、前記等ポテンシャル面の少なくとも一部が消失する箇所を前記準安定点として抽出する、

(2) 乃至 (4) のいずれか一項に記載の電荷輸送特性計算方法。

(9) 前記複数の準安定点を抽出する手順は、前記電子デバイスで生成された電荷が移動可能な所定の空間領域において、前記等ポテンシャル面を移動させて前記準安定点を抽出する、

(8) に記載の電荷輸送特性計算方法。

(10) 前記複数の準安定点を抽出する手順は、前記静電ポテンシャル場における所定のポテンシャル範囲内で前記等ポテンシャル面を移動させて前記準安定点を抽出する、

(8) 又は (9) に記載の電荷輸送特性計算方法。

(11) 前記複数の準安定点を抽出する手順は、前記等ポテンシャル面に複数の前記箇所が存在する場合に、前記複数の箇所の間から、電荷転送の障害の大きさを表すバリアを抽出する、

(8) 乃至 (10) のいずれか一項に記載の電荷輸送特性計算方法。

(12) 前記複数の準安定点を抽出する手順は、所定の高さ以下の前記バリアの周囲に位置する複数の前記準安定点を合体させる、

(11) に記載の電荷輸送特性計算方法。

(13) 前記複数の経路を抽出する手順は、前記バリアのピーク位置から、

勾配法に基づいて前記複数の経路を抽出する、

(11) 又は (12) に記載の電荷輸送特性計算方法。

(14) 前記複数の経路を抽出する手順は、所定の高さ以下の前記バリアのピーク位置から、勾配法に基づいて前記複数の経路を抽出する、

(13) に記載の電荷輸送特性計算方法。

(15) 前記複数の経路を抽出する手順は、NEB (Nudged Elastic Band) 法、ストリング法、CPR (Conjugate Peak Refinement) 法、Ridge法、又はDHS (Dewar, Healy and Stewart) 法を用いて、前記複数の経路を抽出する、

(1) 乃至 (11) のいずれか一項に記載の電荷輸送特性計算方法。

(16) 前記複数の経路を抽出する手順は、ドラッグ法を用いて前記複数の経路を抽出する、

(1) 乃至 (11) のいずれか一項に記載の電荷輸送特性計算方法。

(17) 前記複数の経路を抽出する手順は、前記複数の準安定点に含まれる任意の2つの準安定点の間の経路のうち、より静電ポテンシャルの小さい経路を優先的に選択して前記複数の経路を抽出する、

(15) 又は (16) に記載の電荷輸送特性計算方法。

(18) 前記物理量を計算する手順は、抽出された前記複数の経路のそれぞれにおける電荷転送の障害の大きさを表すバリアを前記物理量として計算する、

(1) 乃至 (17) のいずれか一項に記載の電荷輸送特性計算方法。

(19) 前記物理量を計算する手順は、前記静電ポテンシャル場に対応する回路モデルにおける前記複数の経路の抵抗値を前記バリアとして計算する、

(18) に記載の電荷輸送特性計算方法。

(20) 前記電荷輸送特性を計算する手順は、前記回路モデルにおける前記複数の経路のそれぞれの前記抵抗値を合成した合成抵抗値を計算する、

(19) に記載の電荷輸送特性計算方法。

(21) 前記電荷輸送特性を計算する手順は、所定の閾値以上の前記抵抗値

を考慮に入れず、前記所定の閾値未満の前記抵抗値を考慮に入れて、前記合成抵抗値を計算する、

(20) に記載の電荷輸送特性計算方法。

(22) 前記電荷輸送特性を計算する手順は、前記複数の経路の物理量と、前記複数の経路を選択する確率とを乗じた値に基づいて、前記電荷輸送特性を計算する、

(1) 乃至 (21) のいずれか一項に記載の電荷輸送特性計算方法。

(23) 前記複数の経路を抽出する手順は、前記電子デバイスが固体撮像装置の場合、光電変換領域内の電荷生成分布から前記電荷生成位置を求める、

(1) 乃至 (22) のいずれか一項に記載の電荷輸送特性計算方法。

(24) 前記複数の経路を抽出する手順は、転送電極の位置に合わせて前記電荷読出位置を設定する、

(23) に記載の電荷輸送特性計算方法。

(25) 電子デバイスの静電ポテンシャルを計算する第1計算部と、

前記電子デバイスの静電ポテンシャル場における複数の準安定点を抽出する第1抽出部と、

前記電子デバイスの電荷生成位置から電荷読出位置まで、前記静電ポテンシャル場における前記複数の準安定点を經由して電荷を輸送する複数の経路を抽出する第2抽出部と、

前記複数の経路のそれぞれにおける前記静電ポテンシャル場の物理量を計算する第2計算部と、

前記複数の経路のそれぞれにおける前記静電ポテンシャル場の物理量に基づいて、前記電荷生成位置から前記電荷読出位置までの電荷輸送特性を計算する第3計算部と、を備える、

電荷輸送特性計算装置。

[0168] 本開示の態様は、上述した個々の実施形態に限定されるものではなく、当業者が想到しうる種々の変形も含むものであり、本開示の効果も上述した内容に限定されない。すなわち、特許請求の範囲に規定された内容およびその

均等物から導き出される本開示の概念的な思想と趣旨を逸脱しない範囲で種々の追加、変更および部分的削除が可能である。

符号の説明

[0169] 1、1 a 電子デバイス、2、2 a、2 b 静電ポテンシャル場、3、3 a 電荷生成位置、4 電荷読出位置、5、5 a 山、6、6 a 谷、6 b 谷群、7、7 a、7 b、7 c、7 d、7 0、7 1 a、7 1 b、7 1 c 準安定点、8、8 a、8 b、8 c、7 2 a、7 2 b、7 2 c 主要輸送経路、9、9 a、7 3 a、7 3 b、7 3 c バリア、1 1 転送電極、2 1 初期点、2 2、2 2 a、2 2 b 回路モデル、2 3 配線、2 4 接続ノード、2 5 抵抗、3 1 輸送経路、3 2 a、3 2 b、3 2 c 鞍点、3 3 直線、3 4 面、4 0 電荷輸送特性計算装置、4 1 静電ポテンシャル計算部、4 2 準安定点抽出部、4 3 主要輸送経路抽出部、4 4 回路モデル生成部、4 5 電荷輸送特性計算部、5 0 固体撮像装置、5 1 入射光、5 2 レンズ、5 3 カラーフィルタ、5 4、5 4 a 光電変換領域、6 0 メッシュ、6 1 格子点、8 0 電荷生成分布、9 0、9 0 a スキャン領域、9 0 b、9 3 a、9 4 a ポテンシャル範囲、9 1 V G領域、9 2、9 2 a、9 2 b、9 2 c、9 2 d、9 2 e、9 2 f 等ポテンシャル面、9 3 P-W e l l領域、9 4 F D拡散層

請求の範囲

- [請求項1] 電子デバイスの静電ポテンシャルを計算する手順と、
前記電子デバイスの静電ポテンシャル場における複数の準安定点を抽出する手順と、
前記電子デバイスの電荷生成位置から電荷読出位置まで、前記静電ポテンシャル場における前記複数の準安定点を經由して電荷を輸送する複数の経路を抽出する手順と、
前記複数の経路のそれぞれにおける前記静電ポテンシャル場の物理量を計算する手順と、
前記複数の経路のそれぞれにおける前記静電ポテンシャル場の物理量に基づいて、前記電荷生成位置から前記電荷読出位置までの電荷輸送特性を計算する手順と、を備える、
電荷輸送特性計算方法。
- [請求項2] 前記準安定点は、前記静電ポテンシャル場の極小点である、
請求項1に記載の電荷輸送特性計算方法。
- [請求項3] 前記電子デバイスが輸送する電荷は、正の電荷又は負の電荷であり、
、
前記準安定点は、前記電子デバイスが前記負の電荷を輸送する場合、前記電子デバイスの静電ポテンシャルの極小点であり、前記電子デバイスが前記正の電荷を輸送する場合、前記電子デバイスの静電ポテンシャルの符号反転後の極小点である、
請求項2に記載の電荷輸送特性計算方法。
- [請求項4] 前記電荷輸送特性を計算する対象の前記電荷は、正孔、陽イオン、電子、又は陰イオンの少なくとも一つである、
請求項3に記載の電荷輸送特性計算方法。
- [請求項5] 前記複数の準安定点を抽出する手順は、前記静電ポテンシャル場の電界の勾配に従って複数の前記極小点を抽出する、
請求項2に記載の電荷輸送特性計算方法。

- [請求項6] 前記複数の準安定点を抽出する手順は、前記静電ポテンシャル場に複数の初期点を設定し、前記複数の初期点での電界に基づいて前記静電ポテンシャル場におけるすべての前記極小点を抽出する、
請求項5に記載の電荷輸送特性計算方法。
- [請求項7] 前記複数の準安定点を抽出する手順は、前記静電ポテンシャル場をメッシュ分割して、メッシュの各格子点の電界がゼロで、かつ前記電界の微分値が正の点を前記準安定点として抽出する、
請求項2に記載の電荷輸送特性計算方法。
- [請求項8] 前記複数の準安定点を抽出する手順は、前記電子デバイスの静電ポテンシャル場において、ポテンシャルが等しい等ポテンシャル面をポテンシャルを変えながら移動させて、前記等ポテンシャル面の少なくとも一部が消失する箇所を前記準安定点として抽出する、
請求項2に記載の電荷輸送特性計算方法。
- [請求項9] 前記複数の準安定点を抽出する手順は、前記電子デバイスで生成された電荷が移動可能な所定の空間領域において、前記等ポテンシャル面を移動させて前記準安定点を抽出する、
請求項8に記載の電荷輸送特性計算方法。
- [請求項10] 前記複数の準安定点を抽出する手順は、前記静電ポテンシャル場における所定のポテンシャル範囲内で前記等ポテンシャル面を移動させて前記準安定点を抽出する、
請求項8に記載の電荷輸送特性計算方法。
- [請求項11] 前記複数の準安定点を抽出する手順は、前記等ポテンシャル面に複数の前記箇所が存在する場合に、前記複数の箇所の間から、電荷転送の障害の大きさを表すバリアを抽出する、
請求項8に記載の電荷輸送特性計算方法。
- [請求項12] 前記複数の準安定点を抽出する手順は、所定の高さ以下の前記バリアの周囲に位置する複数の前記準安定点を合体させる、
請求項11に記載の電荷輸送特性計算方法。

- [請求項13] 前記複数の経路を抽出する手順は、前記バリアのピーク位置から、勾配法に基づいて前記複数の経路を抽出する、
請求項 1 1 に記載の電荷輸送特性計算方法。
- [請求項14] 前記複数の経路を抽出する手順は、所定の高さ以下の前記バリアのピーク位置から、勾配法に基づいて前記複数の経路を抽出する、
請求項 1 3 に記載の電荷輸送特性計算方法。
- [請求項15] 前記複数の経路を抽出する手順は、N E B (Nudged Elastic Band) 法、ストリング法、C P R (Conjugate Peak Refinement) 法、R i d g e 法、又はD H S (Dewar, Healy and Stewart) 法を用いて、前記複数の経路を抽出する、
請求項 1 に記載の電荷輸送特性計算方法。
- [請求項16] 前記複数の経路を抽出する手順は、ドラッグ法を用いて前記複数の経路を抽出する、
請求項 1 に記載の電荷輸送特性計算方法。
- [請求項17] 前記複数の経路を抽出する手順は、前記複数の準安定点に含まれる任意の2つの準安定点の間の経路のうち、より静電ポテンシャルの小さい経路を優先的に選択して前記複数の経路を抽出する、
請求項 1 5 に記載の電荷輸送特性計算方法。
- [請求項18] 前記物理量を計算する手順は、抽出された前記複数の経路のそれぞれにおける電荷転送の障害の大きさを表すバリアを前記物理量として計算する、
請求項 1 に記載の電荷輸送特性計算方法。
- [請求項19] 前記物理量を計算する手順は、前記静電ポテンシャル場に対応する回路モデルにおける前記複数の経路の抵抗値を前記バリアとして計算する、
請求項 1 8 に記載の電荷輸送特性計算方法。
- [請求項20] 前記電荷輸送特性を計算する手順は、前記回路モデルにおける前記複数の経路のそれぞれの前記抵抗値を合成した合成抵抗値を計算する

、

請求項 19 に記載の電荷輸送特性計算方法。

[請求項21] 前記電荷輸送特性を計算する手順は、所定の閾値以上の前記抵抗値を考慮に入れず、前記所定の閾値未満の前記抵抗値を考慮に入れて、前記合成抵抗値を計算する、

請求項 20 に記載の電荷輸送特性計算方法。

[請求項22] 前記電荷輸送特性を計算する手順は、前記複数の経路の物理量と、前記複数の経路を選択する確率とを乗じた値に基づいて、前記電荷輸送特性を計算する、

請求項 1 に記載の電荷輸送特性計算方法。

[請求項23] 前記複数の経路を抽出する手順は、前記電子デバイスが固体撮像装置の場合、光電変換領域内の電荷生成分布から前記電荷生成位置を求める、

請求項 1 に記載の電荷輸送特性計算方法。

[請求項24] 前記複数の経路を抽出する手順は、転送電極の位置に合わせて前記電荷読出位置を設定する、

請求項 23 に記載の電荷輸送特性計算方法。

[請求項25] 電子デバイスの静電ポテンシャルを計算する第 1 計算部と、
前記電子デバイスの静電ポテンシャル場における複数の準安定点を抽出する第 1 抽出部と、

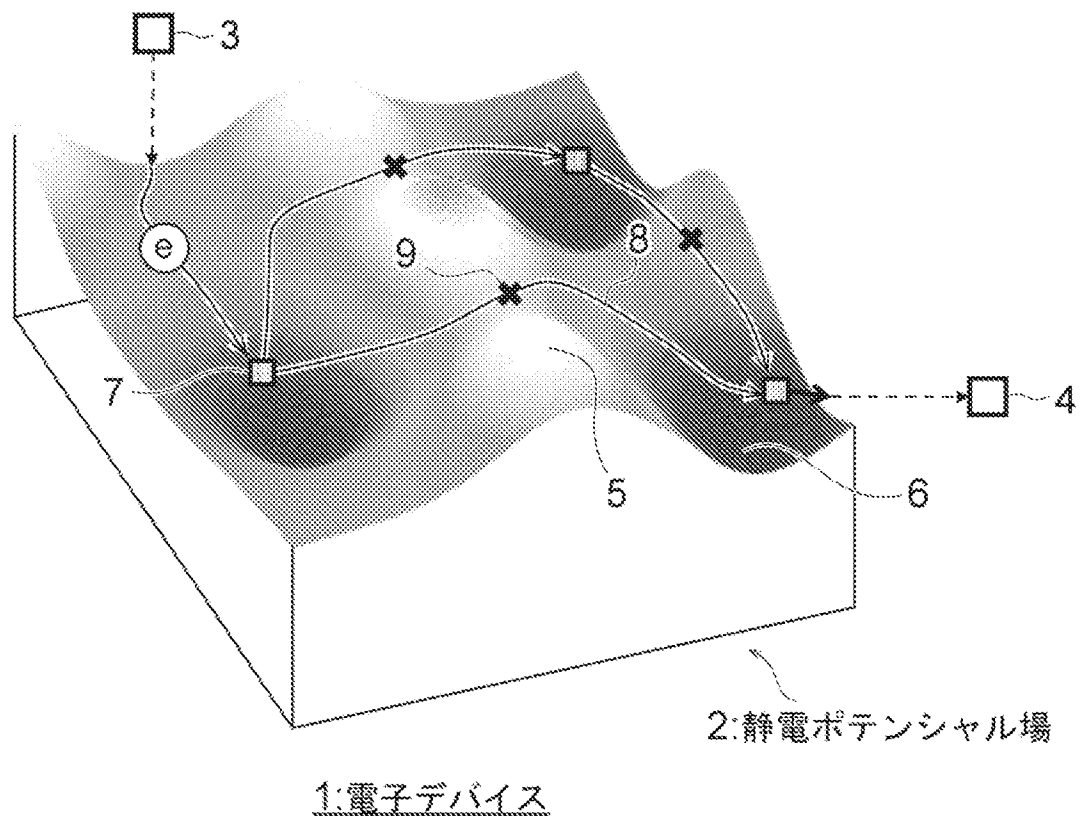
前記電子デバイスの電荷生成位置から電荷読出位置まで、前記静電ポテンシャル場における前記複数の準安定点を經由して電荷を輸送する複数の経路を抽出する第 2 抽出部と、

前記複数の経路のそれぞれにおける前記静電ポテンシャル場の物理量を計算する第 2 計算部と、

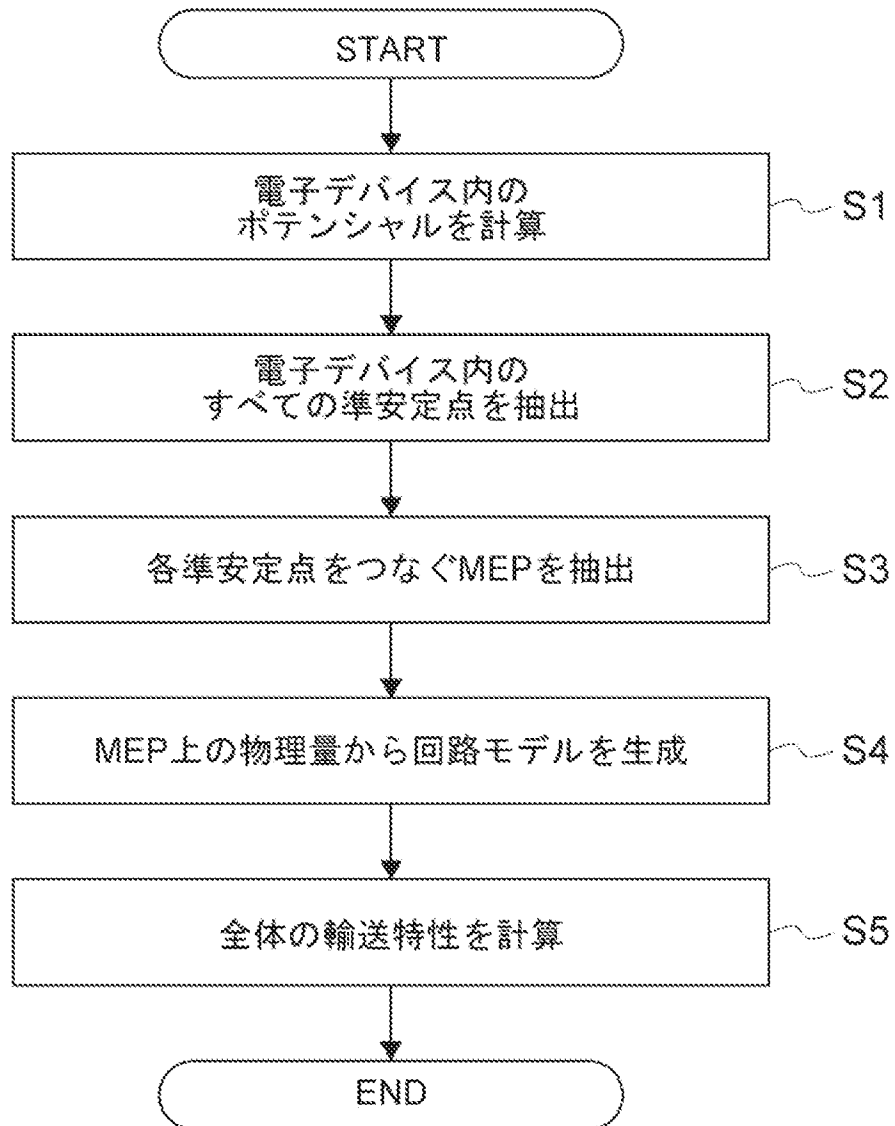
前記複数の経路のそれぞれにおける前記静電ポテンシャル場の物理量に基づいて、前記電荷生成位置から前記電荷読出位置までの電荷輸送特性を計算する第 3 計算部と、を備える、

電荷輸送特性計算装置。

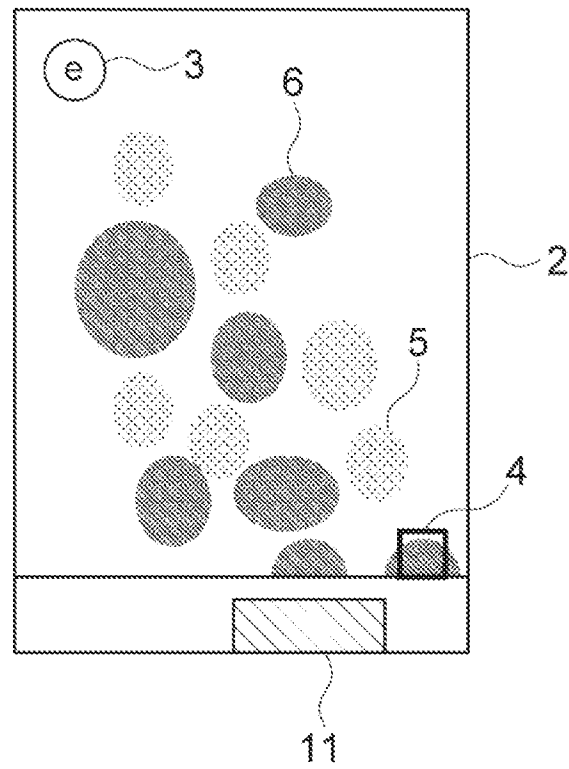
[図1]



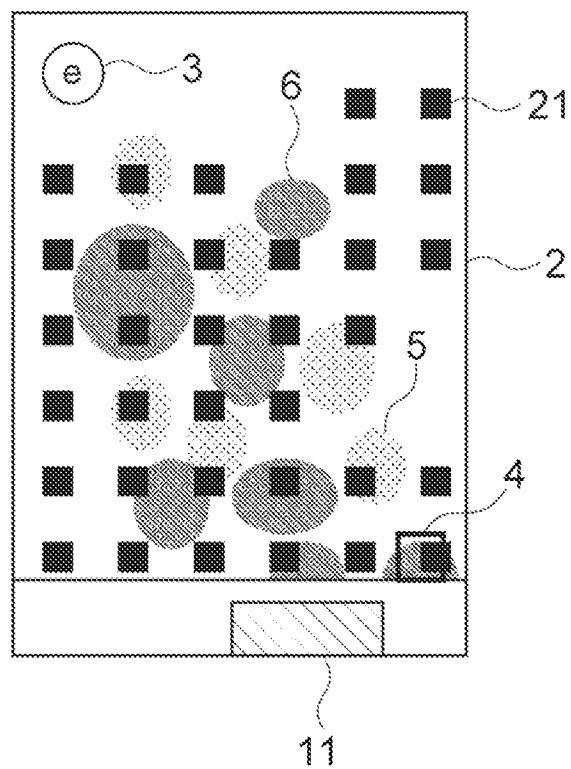
[図2]



[図3A]

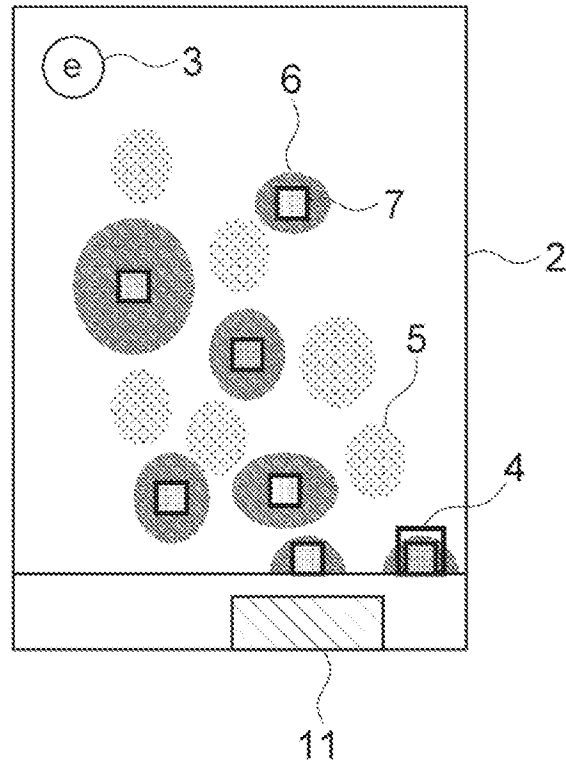
1:電子デバイス

[図3B]

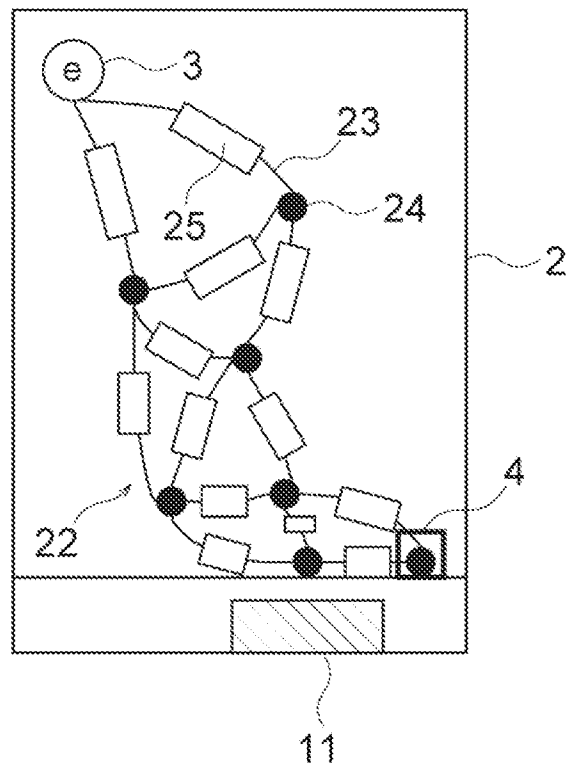


1:電子デバイス

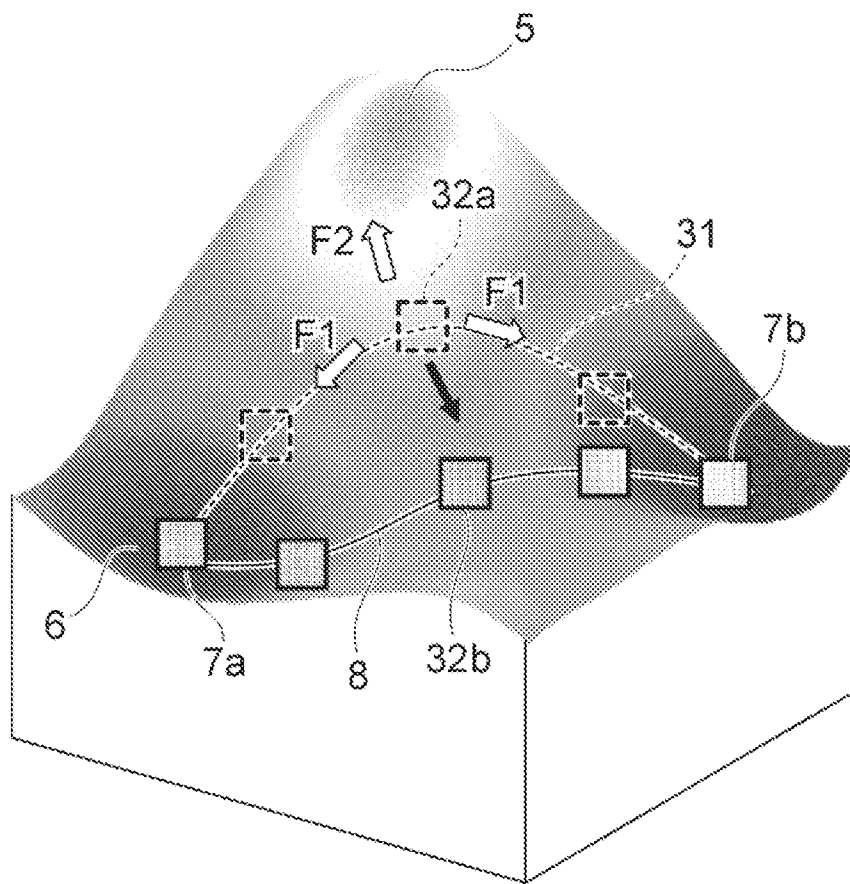
[図3C]

1: 電子デバイス

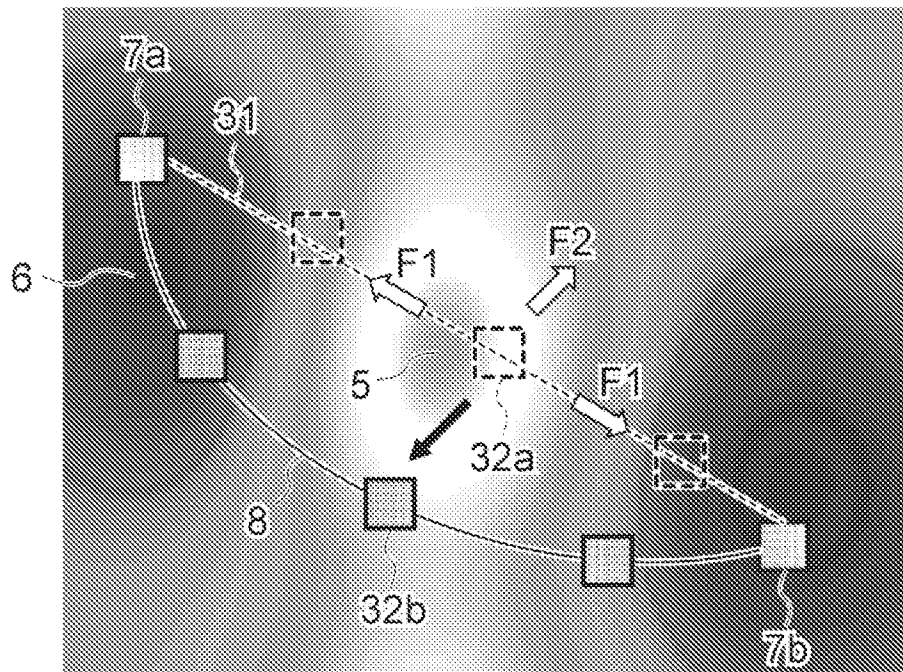
[図3E]

1:電子デバイス

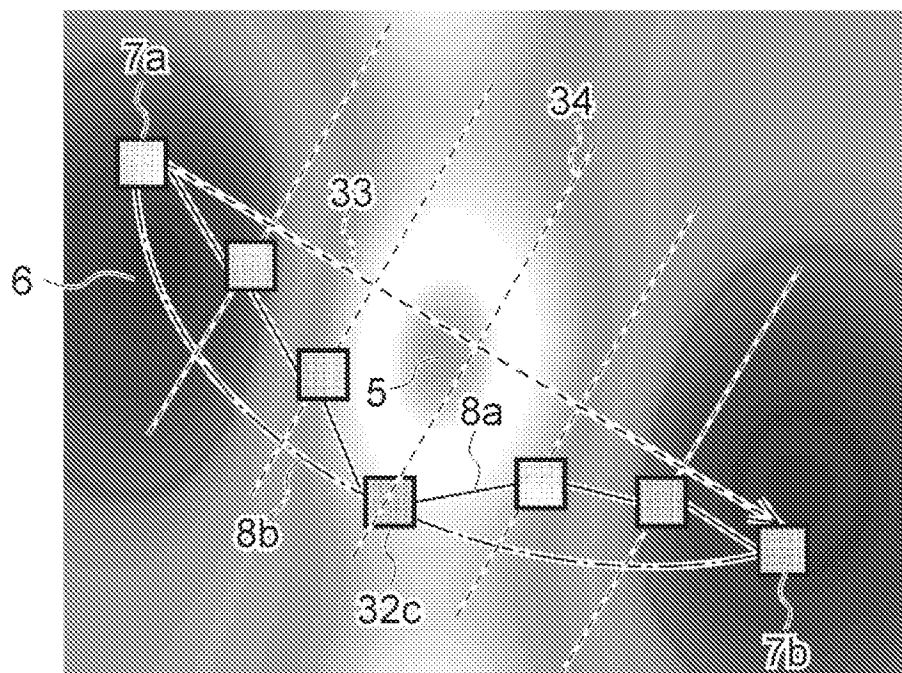
[図4A]

2: 静電ポテンシャル場

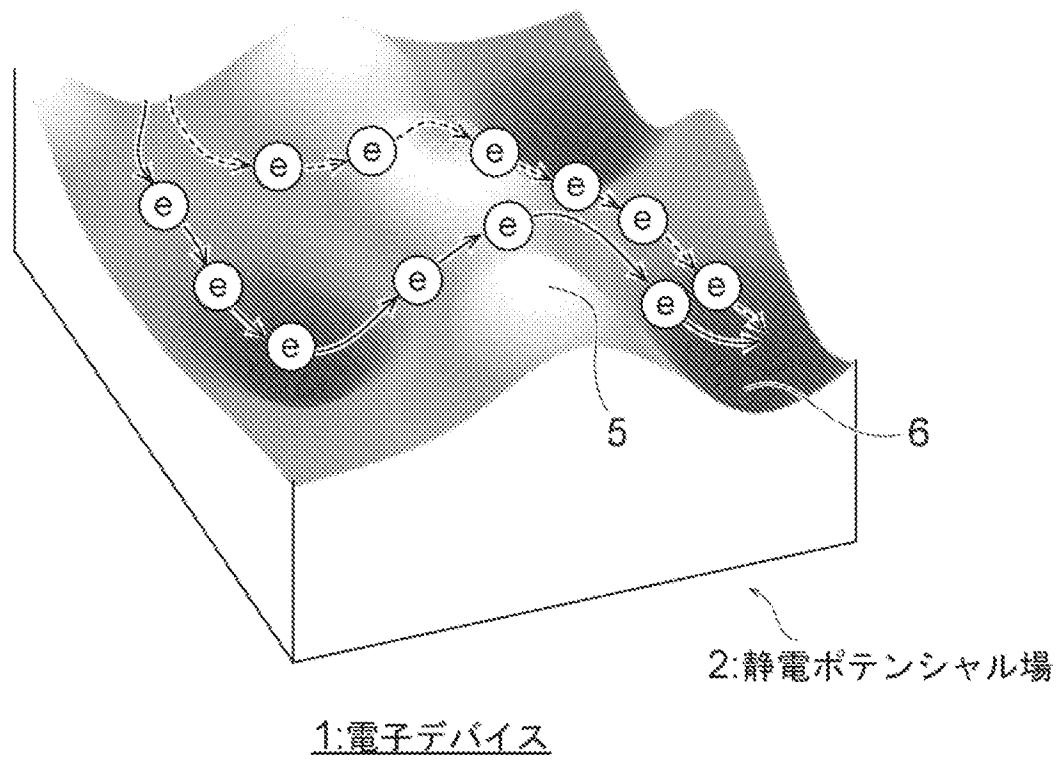
[図4B]

2: 静電ポテンシャル場

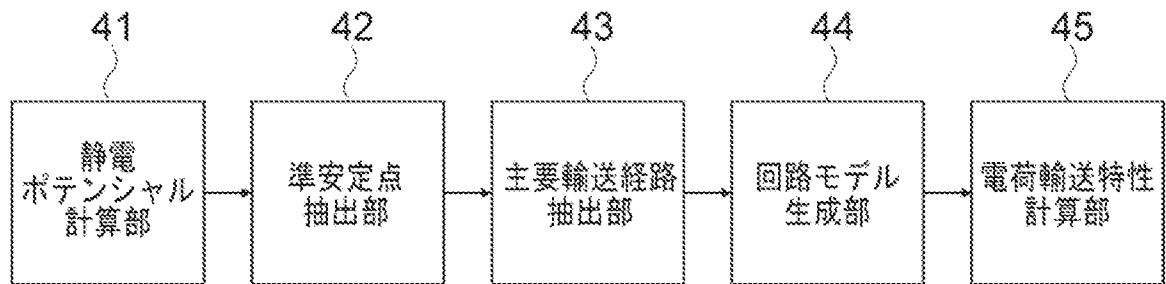
[図4C]

2: 静電ポテンシャル場

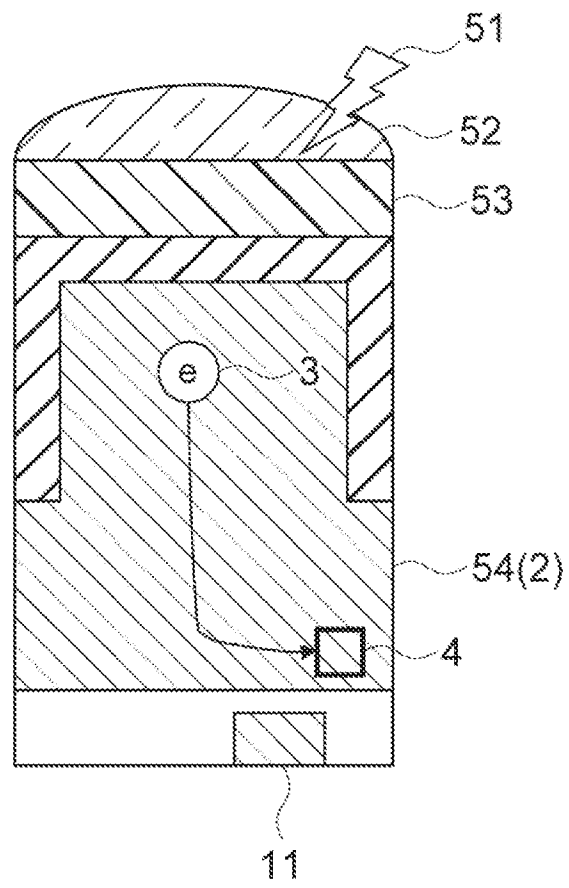
[図5]



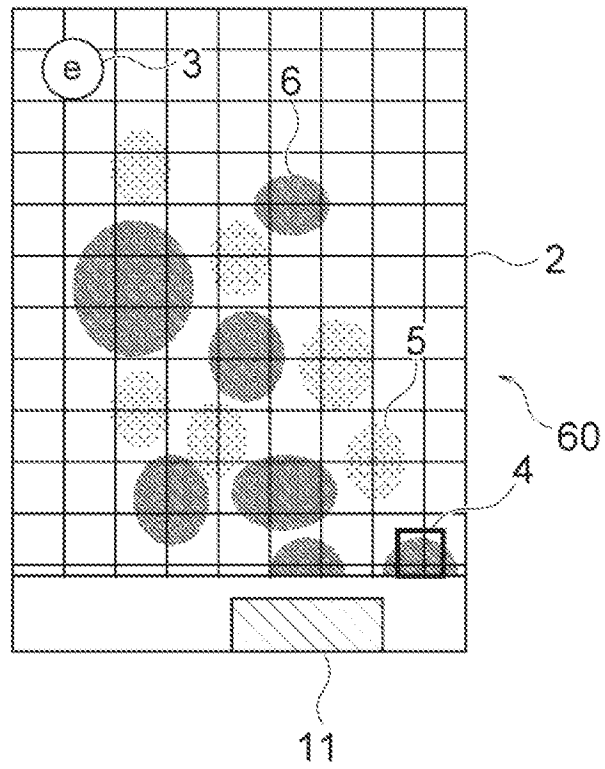
[図6]

40:電荷輸送特性計算装置

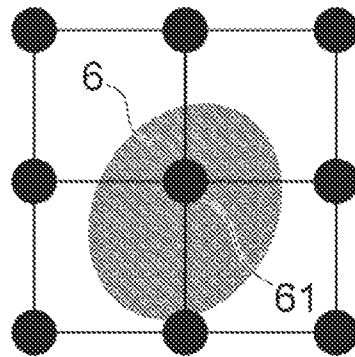
[図7]

50: 固体撮像装置

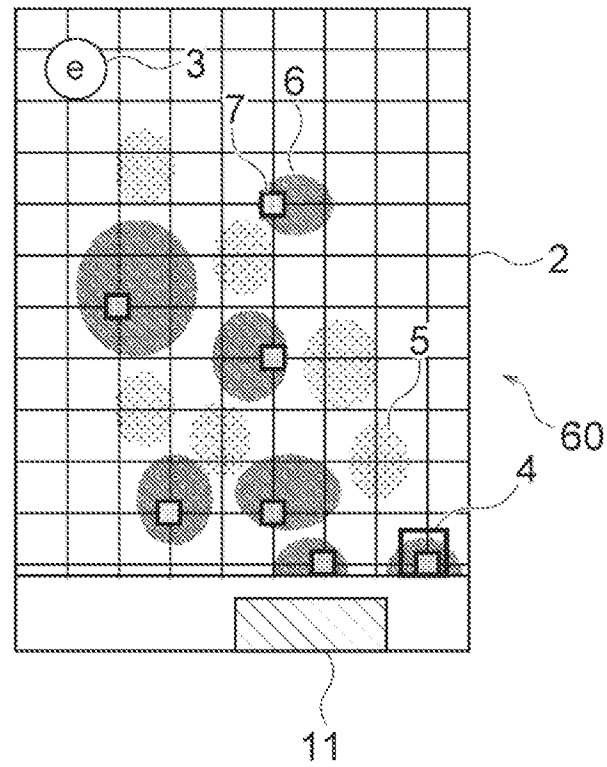
[図8A]

1:電子デバイス

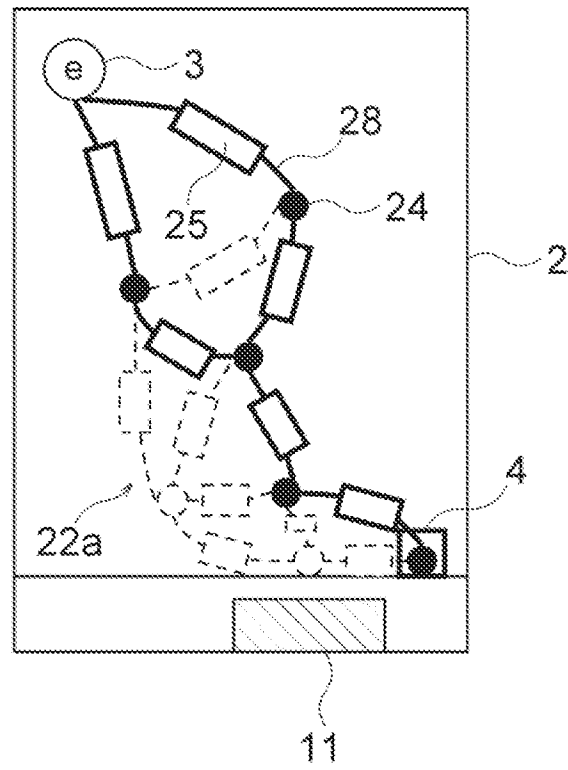
[図8B]

60:メッシュ

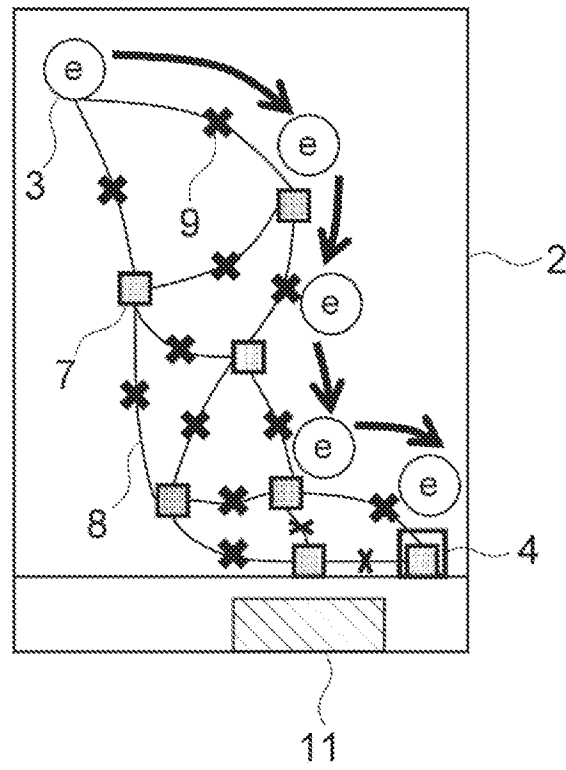
[図8C]

1:電子デバイス

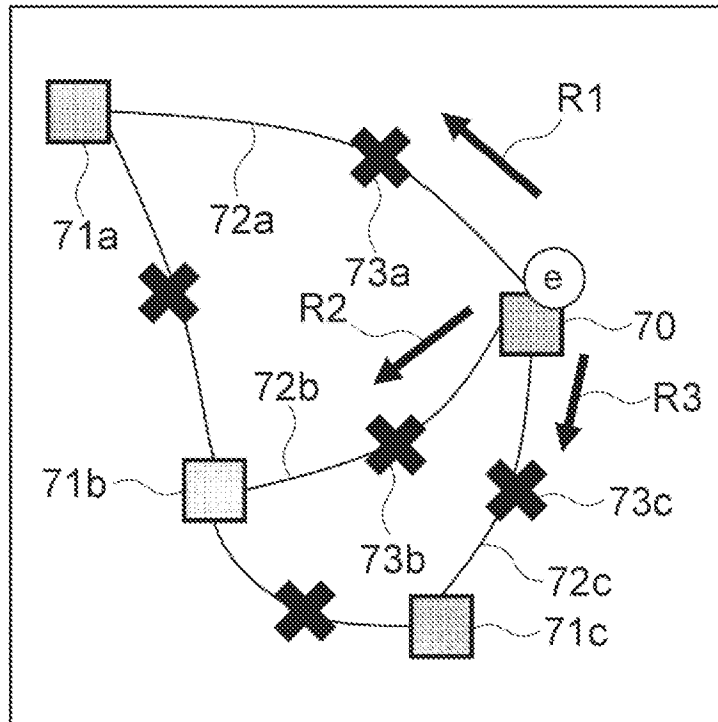
[図9]

1:電子デバイス

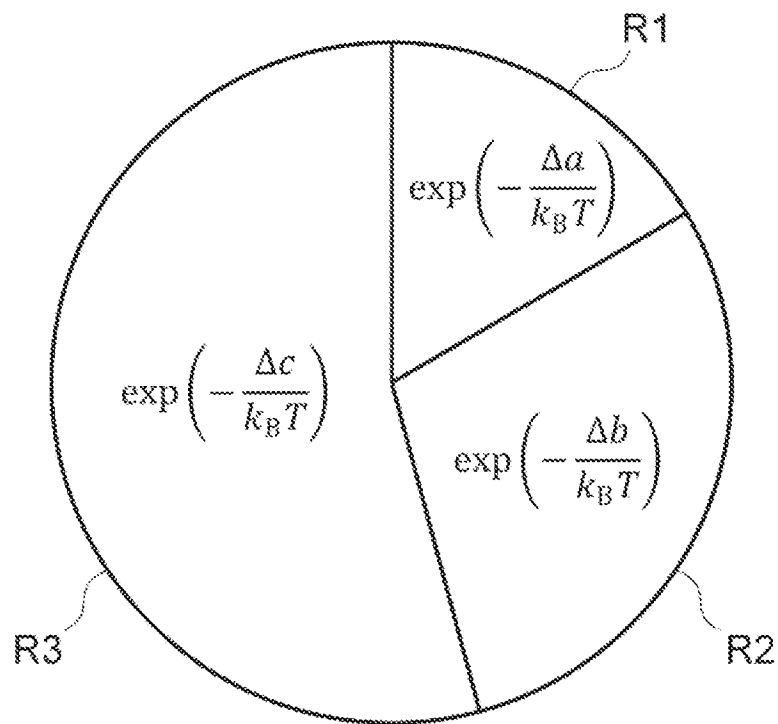
[図10A]

1: 電子デバイス

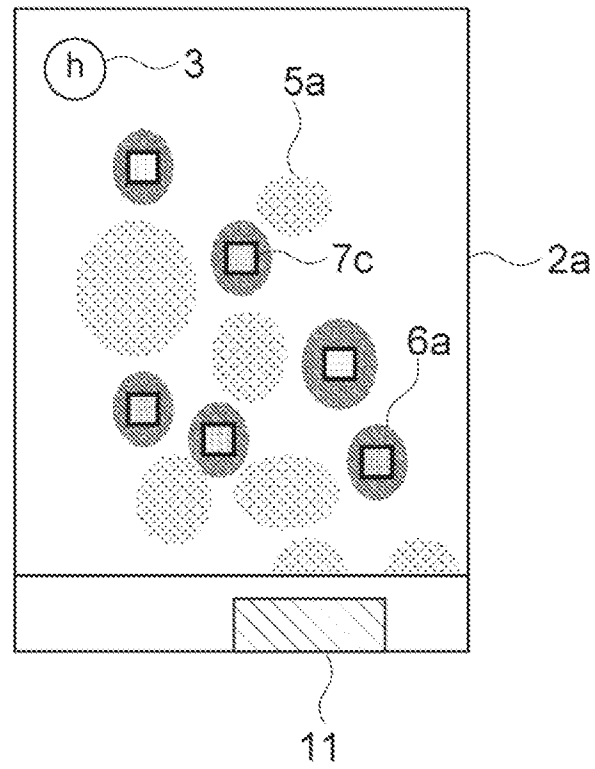
[図10B]



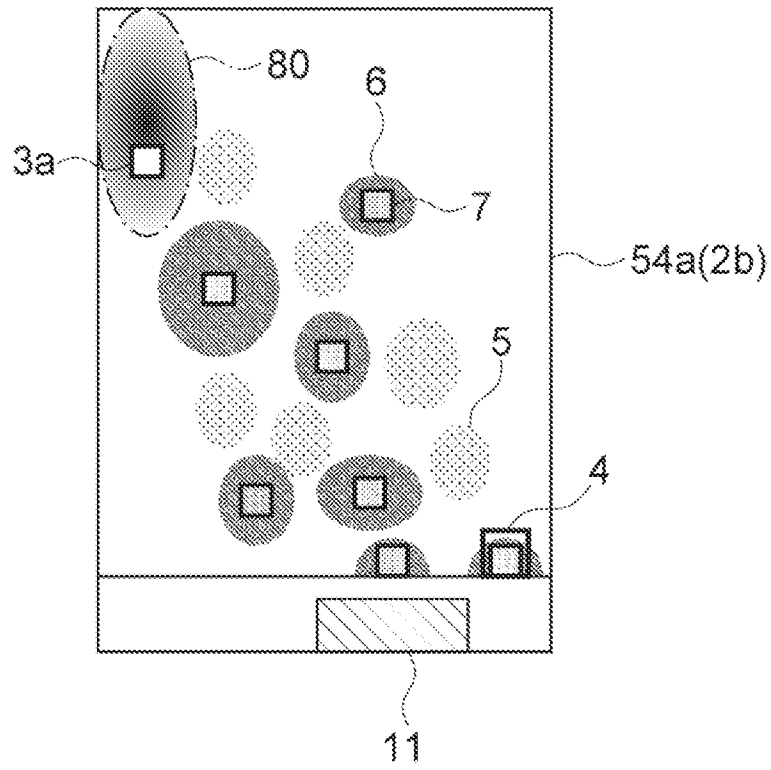
[図10C]



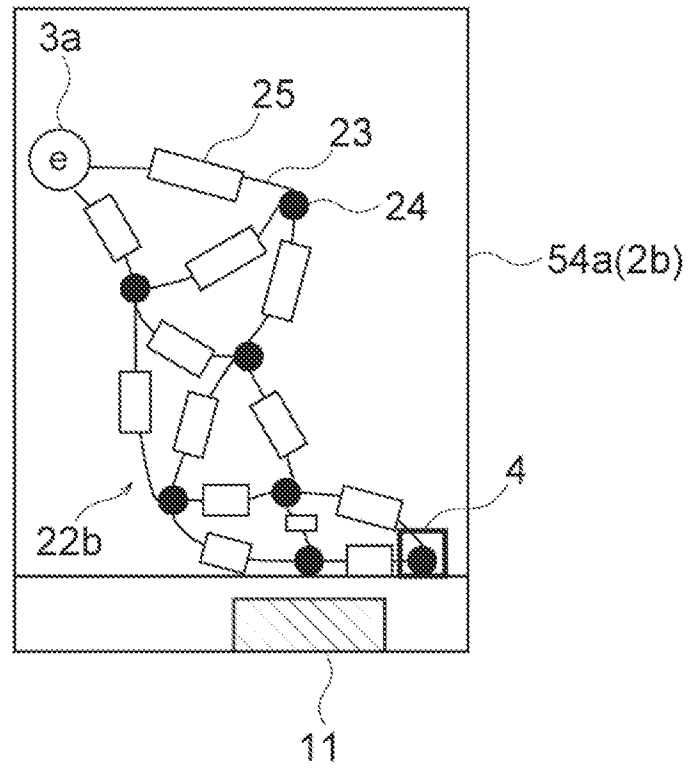
[図11]

1:電子デバイス

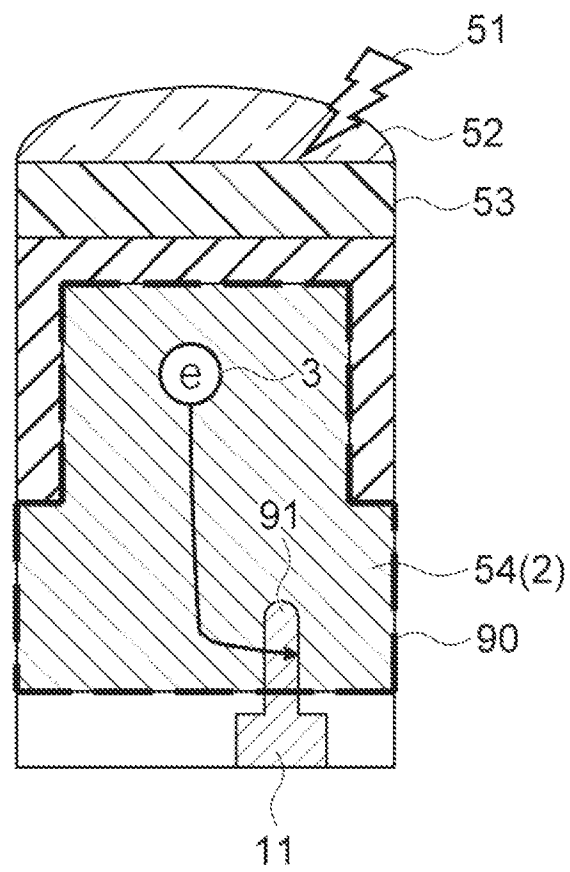
[図12A]

1a:電子デバイス

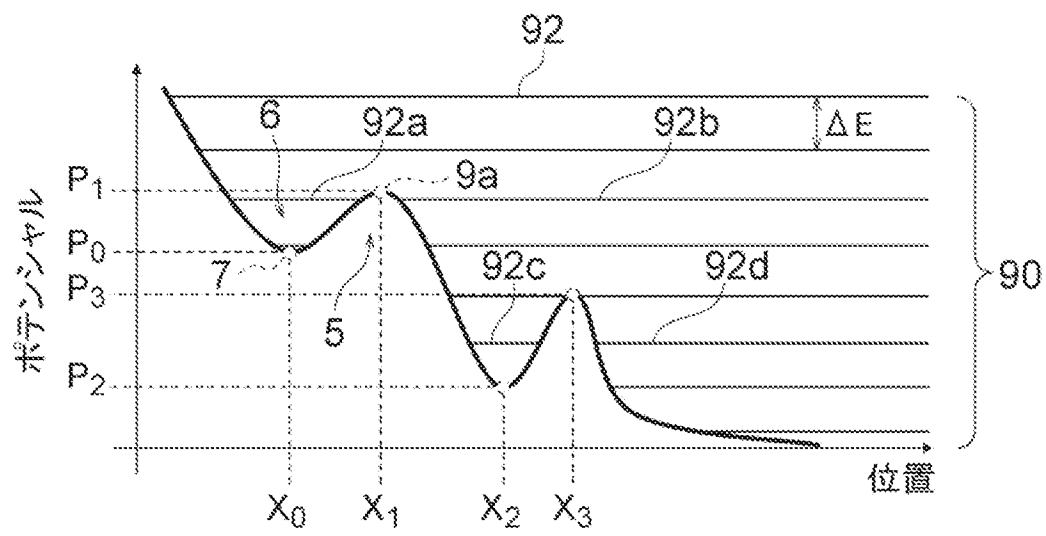
[図12B]

1a:電子デバイス

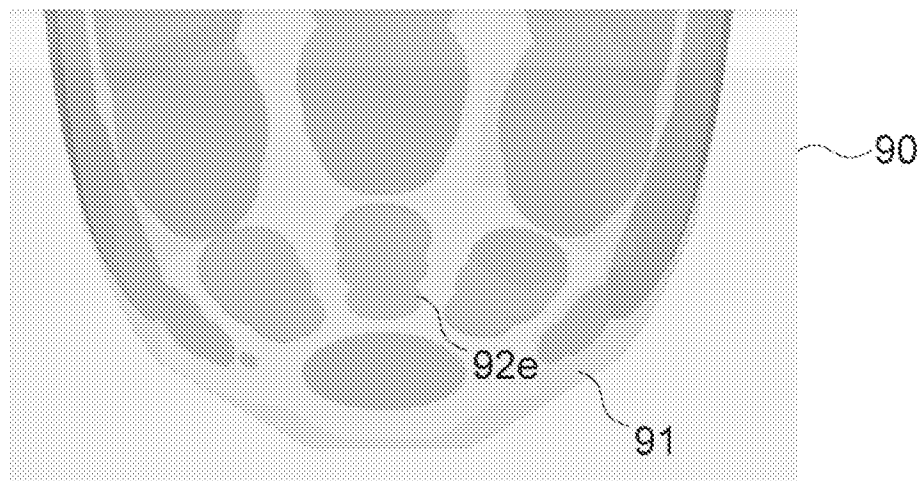
[図13]

50: 固体撮像装置

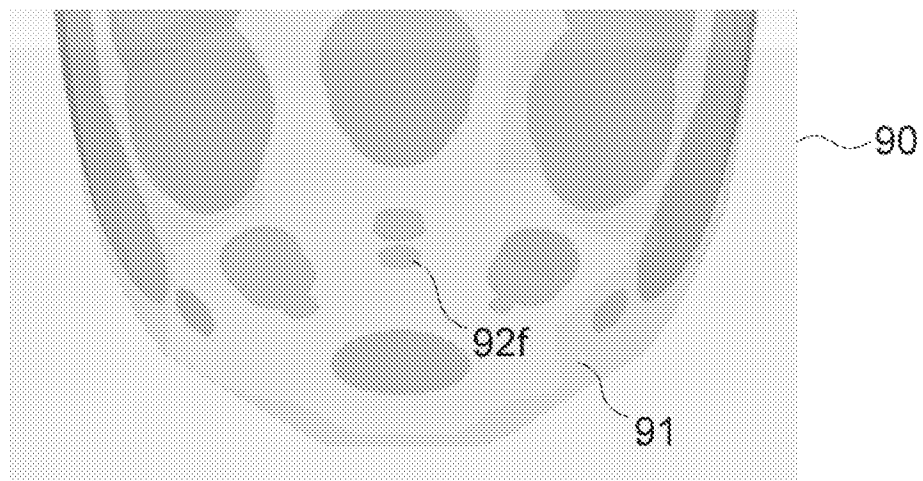
[図14]



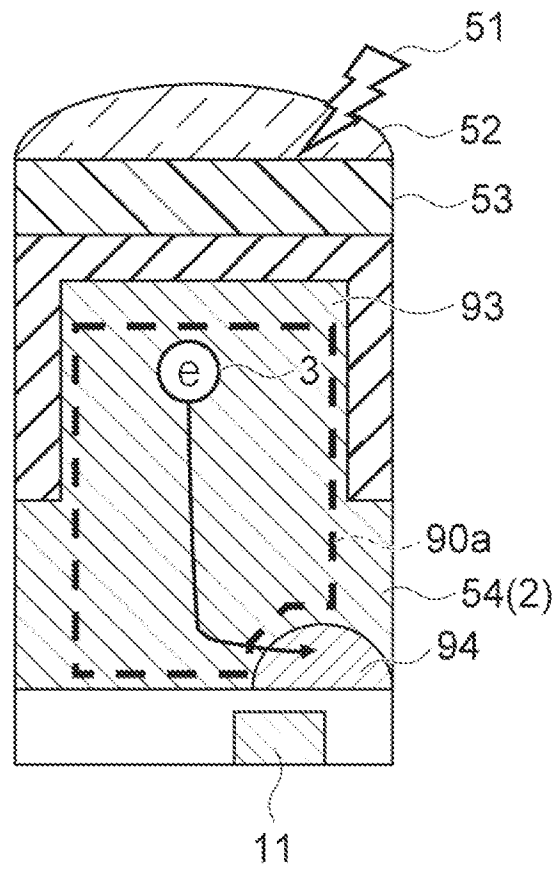
[図15A]



[図15B]

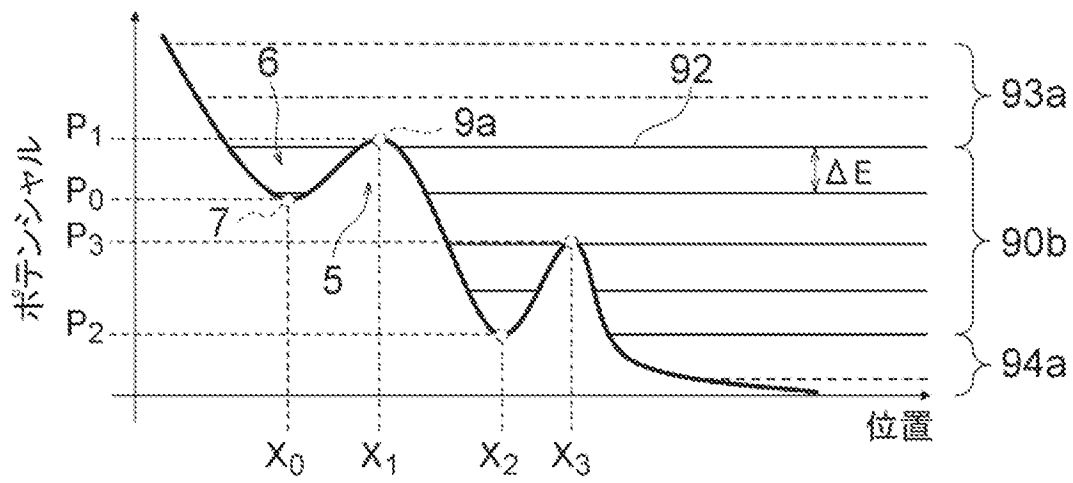


[図16]

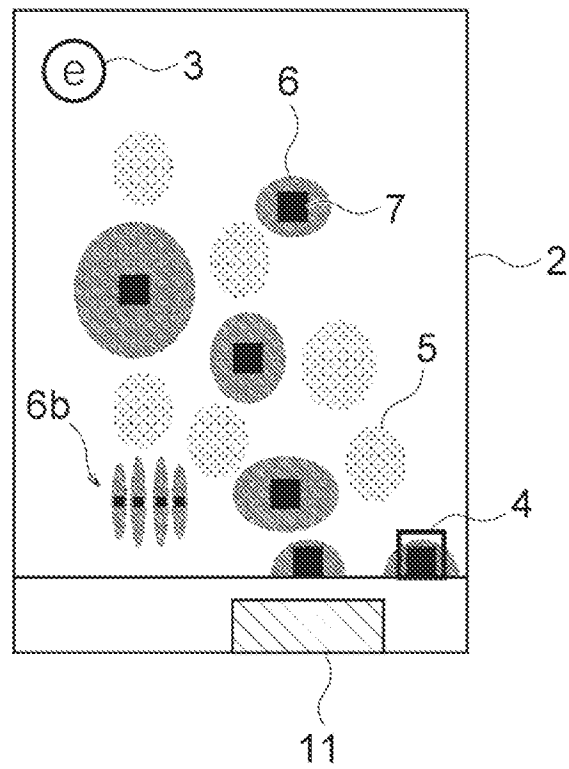


50: 固体撮像装置

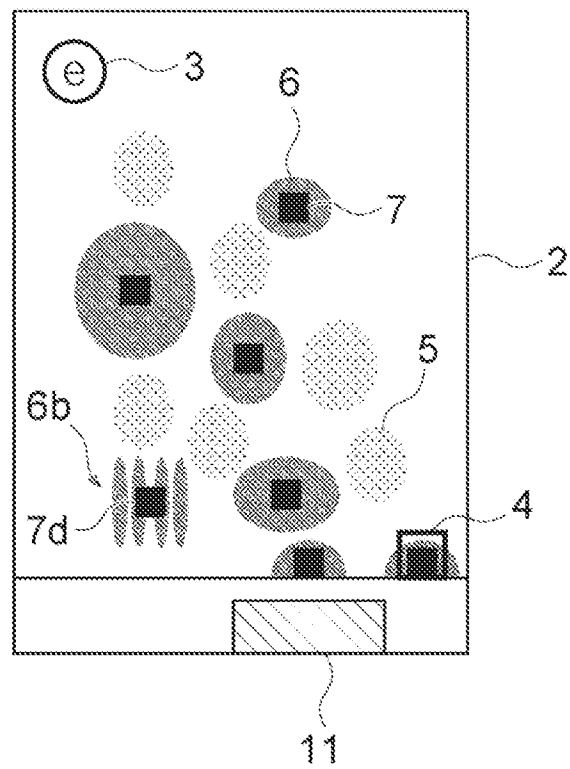
[図17]



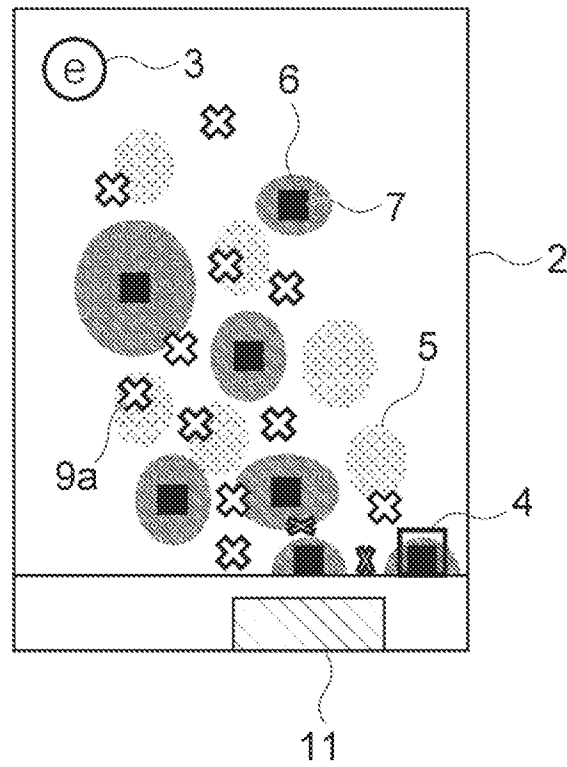
[図18A]

1:電子デバイス

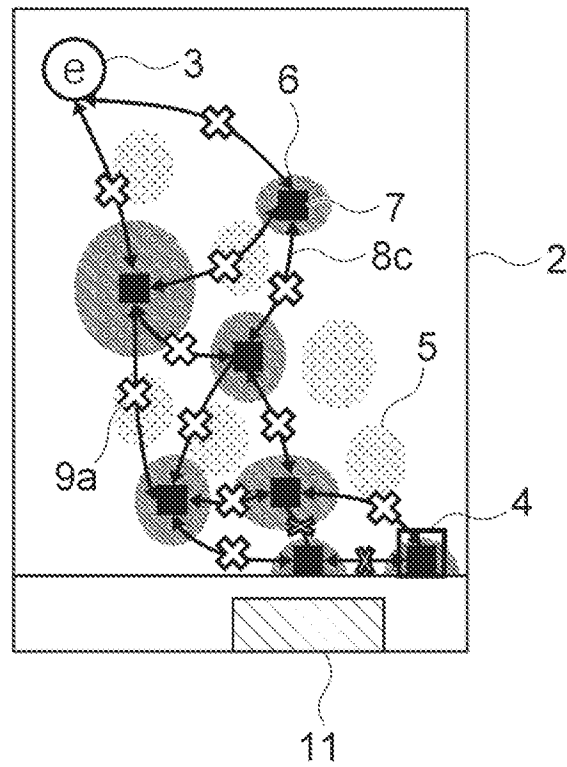
[図18B]

1:電子デバイス

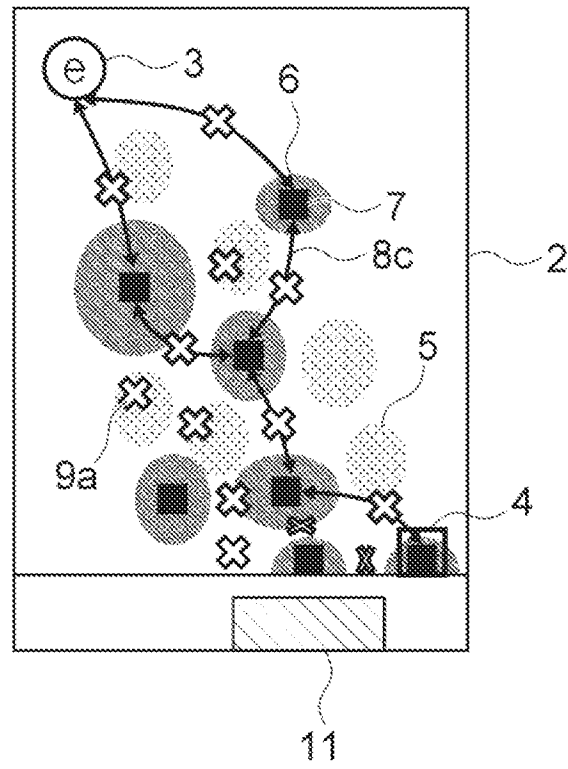
[図19A]

1:電子デバイス

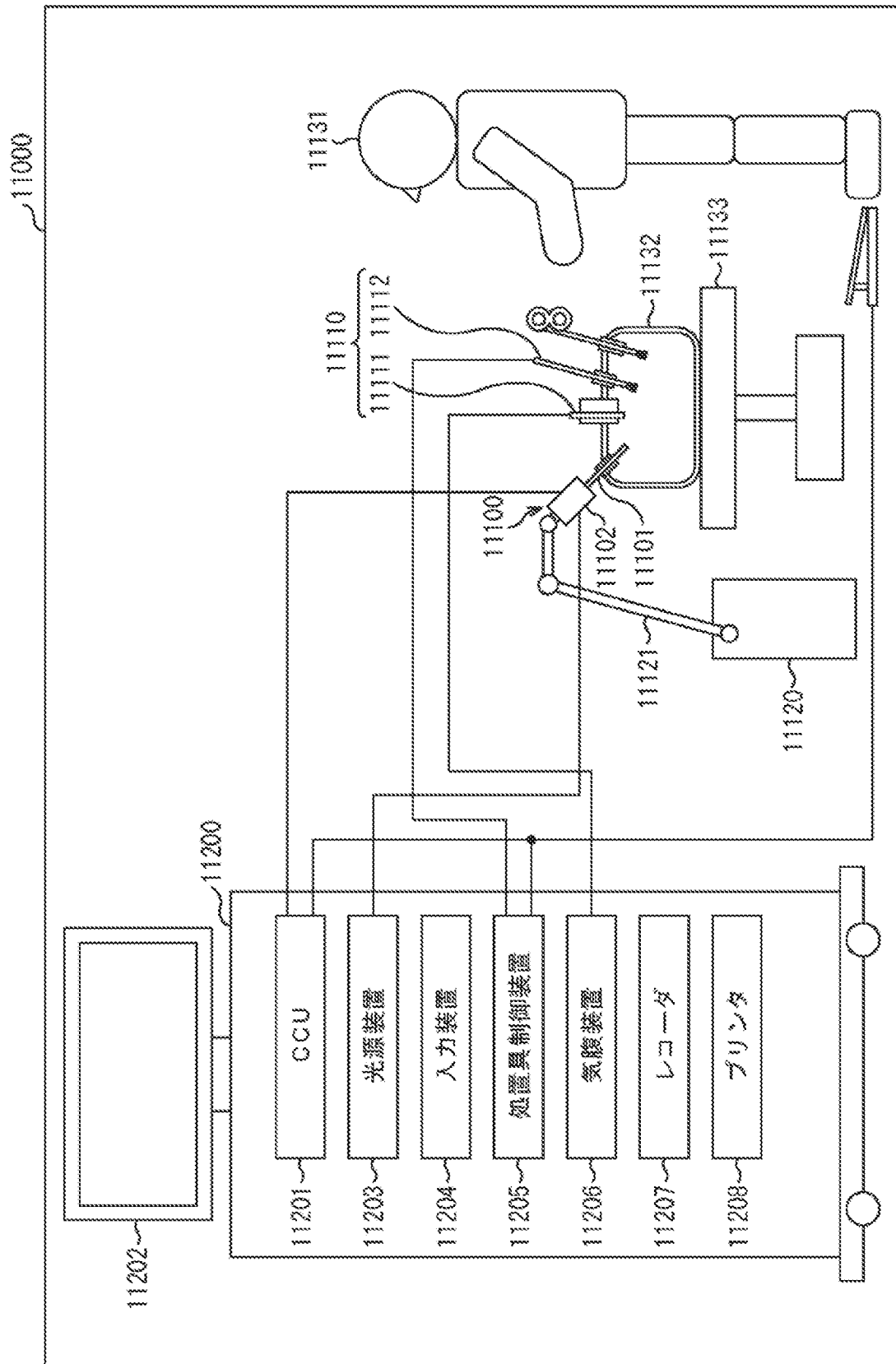
[図19B]

1: 電子デバイス

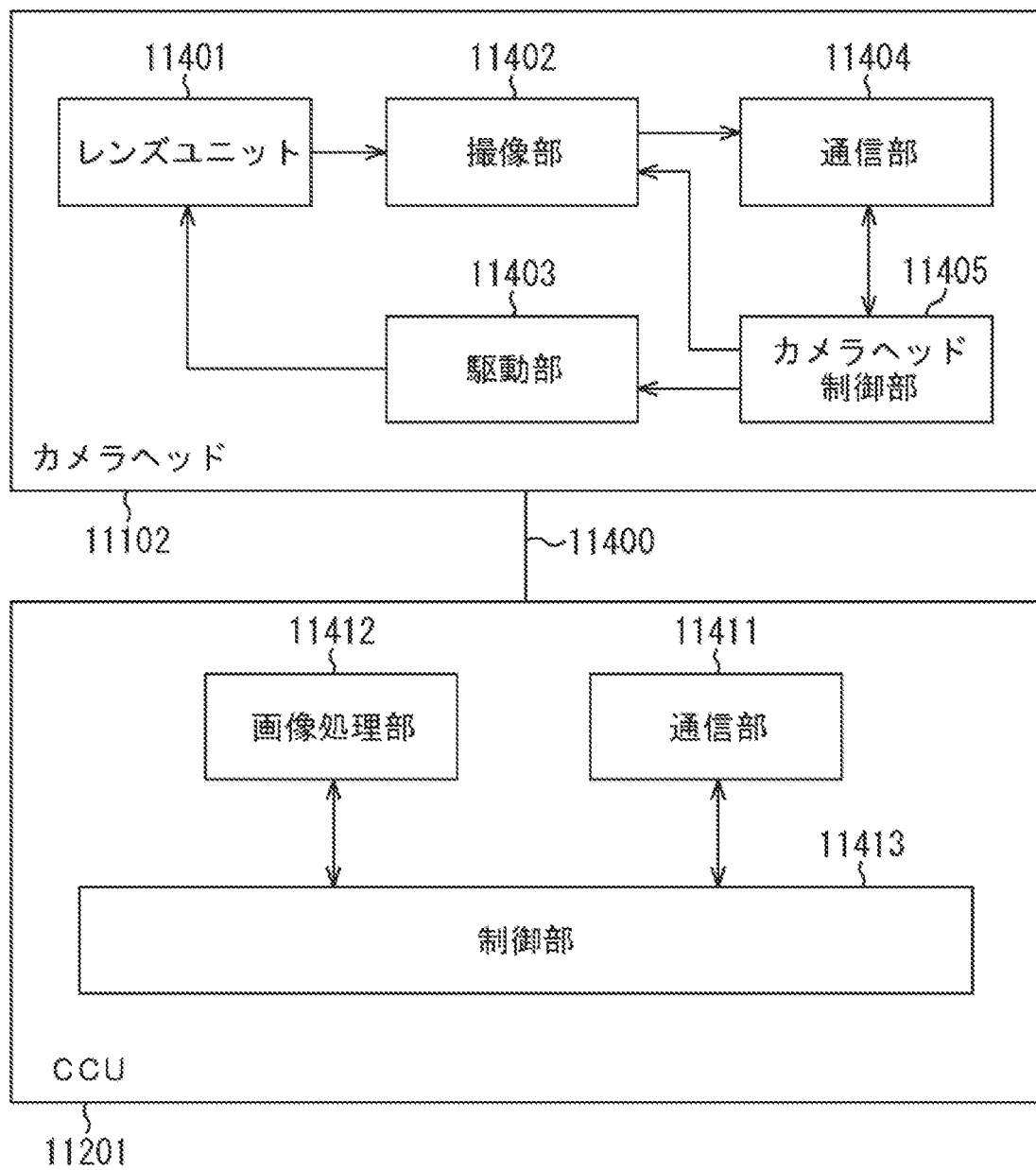
[図20]

1:電子デバイス

[図21]



[図22]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2024/019935

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER H01L 29/00 (2006.01)i FI: H01L29/00 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) H01L29/00 Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched Published examined utility model applications of Japan 1922-1996 Published unexamined utility model applications of Japan 1971-2024 Registered utility model specifications of Japan 1996-2024 Published registered utility model applications of Japan 1994-2024 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.
A	JP 2011-171375 A (RENESAS ELECTRONICS CORPORATION) 01 September 2011 (2011-09-01) entire text, all drawings	1-25
A	JP 9-18010 A (NEC CORPORATION) 17 January 1997 (1997-01-17) entire text, all drawings	1-25
A	JP 2010-165924 A (RENESAS ELECTRONICS CORPORATION) 29 July 2010 (2010-07-29) entire text, all drawings	1-25
A	JP 11-265371 A (NEC CORPORATION) 28 September 1999 (1999-09-28) entire text, all drawings	1-25
☐ 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 “D” document cited by the applicant in the international application “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 30 July 2024		Date of mailing of the international search report 13 August 2024
Name and mailing address of the ISA/JP Japan Patent Office (ISA/JP) 3-4-3 Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915 Japan		Authorized officer Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/JP2024/019935

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
JP	2011-171375	A	01 September 2011	(Family: none)			
JP	9-18010	A	17 January 1997	(Family: none)			
JP	2010-165924	A	29 July 2010	(Family: none)			
JP	11-265371	A	28 September 1999	US	6360190	B1	
				EP	919939	A2	
				TW	388921	B	
				CN	1218981	A	
				KR	10-1999-0045640	A	

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC））

H01L 29/00(2006.01)i

FI: H01L29/00

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））

H01L29/00

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 - 2024年

日本国実用新案登録公報

1996 - 2024年

日本国登録実用新案公報

1994 - 2024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
A	JP 2011-171375 A（ルネサスエレクトロニクス株式会社）01.09.2011（2011 - 09 - 01） 全文，全図	1-25
A	JP 9-18010 A（日本電気株式会社）17.01.1997（1997 - 01 - 17） 全文，全図	1-25
A	JP 2010-165924 A（ルネサスエレクトロニクス株式会社）29.07.2010（2010 - 07 - 29） 全文，全図	1-25
A	JP 11-265371 A（日本電気株式会社）28.09.1999（1999 - 09 - 28） 全文，全図	1-25

☐ 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

“D” 国際出願で出願人が先行技術文献として記載した文献

“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

“I” 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抵触するものではなく、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

30.07.2024

国際調査報告の発送日

13.08.2024

名称及びあて先

日本国特許庁(ISA/JP)

〒100-8915

日本国

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

権限のある職員（特許庁審査官）

市川 武宜 5F 4056

電話番号 03-3581-1101 内線 3514

様式 PCT/ISA/210（第2ページ）（2022年7月）

国際調査報告
パテントファミリーに関する情報

国際出願番号
PCT/JP2024/019935

引用文献			公表日	パテントファミリー文献			公表日
JP	2011-171375	A	01.09.2011	(ファミリーなし)			
JP	9-18010	A	17.01.1997	(ファミリーなし)			
JP	2010-165924	A	29.07.2010	(ファミリーなし)			
JP	11-265371	A	28.09.1999	US	6360190	B1	
				EP	919939	A2	
				TW	388921	B	
				CN	1218981	A	
				KR	10-1999-0045640	A	