

(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
2016 年 5 月 6 日(06.05.2016)



(10) 国際公開番号

WO 2016/067508 A1

- (51) 国際特許分類:
H04N 5/225 (2006.01) H04N 5/238 (2006.01)
G06T 1/00 (2006.01) H04N 5/357 (2011.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2015/004719
- (22) 国際出願日: 2015 年 9 月 16 日(16.09.2015)
- (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 2014-218151 2014 年 10 月 27 日(27.10.2014) JP
特願 2015-144005 2015 年 7 月 21 日(21.07.2015) JP
- (71) 出願人: パナソニック IP マネジメント株式会社 (PANASONIC INTELLECTUAL PROPERTY MANAGEMENT CO., LTD.) [JP/JP]; 〒5406207 大阪府大阪市中央区城見 2 丁目 1 番 6 1 号 Osaka (JP).
- (72) 発明者: 足立 安比古(ADACHI, Yasuhiko). 佐藤 佳州(SATO, Yoshikuni). 本村 秀人(MOTOMURA, Hideto).
- (74) 代理人: 藤井 兼太郎, 外(FUJII, Kentaro et al.); 〒5406207 大阪府大阪市中央区城見 2 丁目 1 番

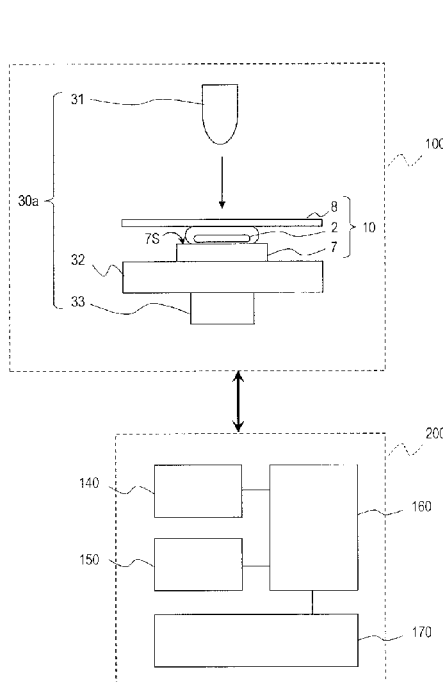
6 1 号パナソニック IP マネジメント株式会社
内 Osaka (JP).

- (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).

[続葉有]

(54) Title: IMAGE FORMATION SYSTEM, IMAGE FORMATION METHOD, IMAGING ELEMENT, AND PROGRAM

(54) 発明の名称: 画像形成システム、画像形成方法、撮像素子、およびプログラム



(57) Abstract: This image formation system (1000) comprises an image acquisition device (100), an image formation circuit (140), and an image processing circuit (150). The image acquisition device (100) comprises a lighting system (30a) that sequentially illuminates a subject from a plurality of differing illumination directions in a module in which the subject and an imaging element are integrated. The image acquisition device (100) acquires a plurality of images that correspond to the plurality of differing illumination directions. The image formation circuit (140) combines the plurality of images in order to form a high-resolution image of the subject having a higher resolution than each of the plurality of images. The image processing circuit (150) detects noise caused by foreign matter that is located farther from the imaging surface of the imaging element than the subject and removes the noise.

(57) 要約: 本開示の画像形成システム(1000)は、画像取得装置(100)と、画像形成回路(140)と、画像処理回路(150)とを有する。画像取得装置(100)は、被写体と撮像素子とが一体化されたモジュールにおける被写体を複数の異なる照射方向から順次照射する照明システム(30a)を有する。画像取得装置(100)は、複数の異なる照射方向に応じた複数の画像を取得する。画像形成回路(140)は、複数の画像を合成することにより、複数の画像の各々よりも分解能の高い被写体の高分解能画像を形成する。画像処理回路(150)は、被写体よりも撮像素子の撮像面から遠い位置にある異物に起因するノイズを検出し、ノイズを除去する。

WO 2016/067508 A1

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：

画像形成システム、画像形成方法、撮像素子、およびプログラム

技術分野

[0001] 本開示は、画像形成システム、画像形成方法、撮像素子、およびプログラムに関する。

背景技術

[0002] 従来、生体組織などにおけるミクロ構造を観察するために光学顕微鏡が用いられてきた。光学顕微鏡は、観察対象を透過した光、あるいは反射した光を利用する。観察者は、レンズによって拡大された像を観察する。

[0003] 一方、レンズを使用しない画像化システムが提案されている。特許文献1は、細胞試料を画像化するためのレンズフリーの画像化システムを開示している（図1）。このシステムでは、試料が保持されたホルダが画像化センサアレイ上に配置される。ホルダ上の試料の上方からの照射により、試料を透過した光が画像化センサアレイに入射する。

[0004] 近年、CIS（Contact Image Sensing）方式によってミクロ構造を観察する技術が注目されている。CIS方式による場合、観察対象は、イメージセンサの撮像面に近接して配置される。イメージセンサとしては、一般に、多数の光電変換部が撮像面内に行および列状に配列された2次元イメージセンサが用いられる。光電変換部は、典型的には、半導体層または半導体基板に形成されたフォトダイオードであり、入射光を受けて電荷を生成する。

[0005] イメージセンサは、それぞれが1つの光電変換部を含む多数の単位領域（単位画素セル）を含む。イメージセンサによって取得された画像は、各単位画素セルの光電変換部によって取得される画素値を提示する多数の画素から構成される。したがって、2次元イメージセンサにおける分解能（解像度）は、通常、撮像面上における光電変換部の配列ピッチに依存する。本明細書では、光電変換部の配列ピッチによって決まる分解能を、イメージセンサの

「固有分解能」と呼ぶことがある。個々の光電変換部の配列ピッチは、可視光の波長程度まで短くなっているため、固有分解能をさらに向上させることは困難である。

[0006] イメージセンサの固有分解能を超える分解能を実現する技術が提案されている。特許文献2は、被写体の結像位置をシフトさせて得られる複数の画像を用いて当該被写体の画像を形成する技術を開示している。

先行技術文献

特許文献

[0007] 特許文献1：特表2013-508775号公報

特許文献2：特開昭62-137037号公報

特許文献3：特開2003-304395号公報

発明の概要

[0008] 本開示の非限定的で例示的な一態様は、イメージセンサの固有分解能を超える分解能を実現する高分解能化技術の実用性を向上させ得る画像形成システムである。本開示の一態様の付加的な恩恵及び有利な点は本明細書及び図面から明らかとなる。この恩恵及び／又は有利な点は、本明細書及び図面に開示した様々な態様及び特徴により個別に提供され得るものであり、その1以上を得るために全てが必要ではない。

[0009] 本開示の一態様に係る画像形成システムは、被写体と撮像素子とが一体化されたモジュールにおける前記被写体を、前記被写体を基準として複数の異なる照射方向から順次照射するように構成された照明システムを有し、前記複数の異なる照射方向に応じた複数の画像を取得する画像取得装置と、前記複数の画像を合成することにより、前記複数の画像の各々よりも分解能の高い前記被写体の高分解能画像を形成する画像形成装置と、前記被写体よりも前記撮像素子の撮像面から遠い位置にある異物に起因するノイズを検出し、前記ノイズを除去するように構成された画像処理装置を備える。

[0010] なお、これらの包括的または具体的な態様は、装置、方法、集積回路、コンピュータプログラムまたはコンピュータ読み取り可能な記録媒体で実現さ

れてもよく、装置、システム、方法、集積回路、コンピュータプログラムおよびコンピュータ読み取り可能な記録媒体の任意な組み合わせで実現されてもよい。コンピュータ読み取り可能な記録媒体は、例えばCD-ROM (Compact Disc-Read Only Memory) などの不揮発性の記録媒体を含む。

[0011] 本開示によれば、イメージセンサの固有分解能を超える分解能を実現する高分解能化技術の実用性が向上する。

図面の簡単な説明

[0012] [図1A]図1Aは、被写体2の一部を模式的に示す平面図

[図1B]図1Bは、図1Aに示されている領域の撮像に関わるフォトダイオードを抽出して模式的に示す平面図

[図2A]図2Aは、被写体2を透過してフォトダイオード4pに入射する光線の方法を模式的に示す断面図

[図2B]図2Bは、被写体2を透過してフォトダイオード4pに入射する光線の方法を模式的に示す断面図

[図2C]図2Cは、6個のフォトダイオード4pによって取得される6個の画素Paを模式的に示す図

[図3A]図3Aは、第1照射方向とは異なる照射方向から光線を入射させた状態を模式的に示す断面図

[図3B]図3Bは、第1照射方向とは異なる照射方向から光線を入射させた状態を模式的に示す断面図

[図3C]図3Cは、照明光が第2照射方向から照射された場合に取得される6個の画素Pbを模式的に示す図

[図4A]図4Aは、第1照射方向および第2照射方向とは異なる照射方向から光線を入射させた状態を模式的に示す断面図

[図4B]図4Bは、第1照射方向および第2照射方向とは異なる照射方向から光線を入射させた状態を模式的に示す断面図

[図4C]図4Cは、照明光が第3照射方向から照射された場合に取得される6

個の画素 P_c を模式的に示す図

[図5A]図5Aは、第1照射方向、第2照射方向および第3照射方向とは異なる照射方向から光線を入射させた状態を模式的に示す断面図

[図5B]図5Bは、照明光が第4照射方向から照射された場合に取得される6個の画素 P_d を模式的に示す図

[図6]図6は、4枚のサブ画像 S_a 、 S_b 、 S_c および S_d から合成される高分解能画像 H_R を示す図

[図7A]図7Aは、イメージセンサ4の撮像面にたてた法線 N とフォトダイオード 4_p に向かって進行する光線とのなす角の算出方法を説明するための模式的な断面図

[図7B]図7Bは、被写体2の隣接する2つの領域を通過した光線がそれぞれ異なるフォトダイオードに入射するように調整された照射方向を模式的に示す断面図

[図8A]図8Aは、モジュールの断面構造の一例を模式的に示す図

[図8B]図8Bは、図8Aに示すモジュール10をイメージセンサ4側から見たときの外観の一例を示す平面図

[図9]図9は、モジュールの作製方法の一例を説明するための図

[図10A]図10Aは、サブ画像の取得時における照射角度の例を示す断面図

[図10B]図10Bは、図10Aに示す照射角度とは異なる照射角度で被写体を照射する方法の例を示す断面図

[図11]図11は、本開示の実施形態による画像形成システム1000の構成の一例を示す概略図

[図12A]図12Aは、画像取得装置100の例示的な外観を示す斜視図

[図12B]図12Bは、図12Aに示す画像取得装置100において蓋部120を閉じた状態を示す斜視図

[図12C]図12Cは、画像取得装置100のステージ32に対するソケット130の装填方法の一例を模式的に示す図

[図13A]図13Aは、照射方向を変更する方法の一例を模式的に示す図

[図13B]図 1 3 Bは、基準面に対してステージ 3 2 を角度 θ 傾斜させたときの、被写体に入射する光線の変化を模式的に示す図

[図14A]図 1 4 Aは、照明システムの構成の他の例を模式的に示す図

[図14B]図 1 4 Bは、照明システムの構成のさらに他の例を模式的に示す図

[図14C]図 1 4 Cは、照明システムの構成のさらに他の例を模式的に示す図

[図15A]図 1 5 Aは、本開示の実施形態による例示的な画像形成方法の概略を示す図

[図15B]図 1 5 Bは、本開示の実施形態による他の例示的な画像形成方法の概略を示す図

[図16]図 1 6 は、本開示の実施形態による画像形成方法の一例における詳細を示すフローチャート

[図17A]図 1 7 Aは、第 1 照射方向から照射したときにおける、被写体 2 において照明光が透過する領域と、イメージセンサ 4 によって取得される像との間の関係を模式的に示す図

[図17B]図 1 7 Bは、第 2 照射方向から照射したときにおける、被写体 2 において照明光が透過する領域と、イメージセンサ 4 によって取得される像との間の関係を模式的に示す図

[図17C]図 1 7 Cは、図 1 7 Aに示すサブ画像 $S_{a d}$ と、図 1 7 Bに示すサブ画像 $S_{b d}$ とを合成した状態を模式的に示す図

[図17D]図 1 7 Dは、4 方向からの照射によって得られる 4 つのサブ画像を合成して形成された高分解能画像 $H R d$ における、ノイズの現れ方を模式的に示す図

[図18A]図 1 8 Aは、フォトダイオード 4 p の表面に対して被写体 2 とは異なる距離にゴミ D が存在するときに取得されるサブ画像の例を模式的に示す図

[図18B]図 1 8 Bは、図 1 8 Aに示すサブ画像の取得時とは異なる照射方向から照明光が照射された場合に取得されるサブ画像の例を模式的に示す図

[図19A]図 1 9 Aは、ゴミ D に起因する暗画素のパターンの検出に適用可能なフィルタの例を模式的に示す図

[図19B]図19Bは、ゴミDに起因する暗画素のパターンの検出に適用可能なフィルタの例を模式的に示す図

[図20A]図20Aは、フィルタF aを用いて抽出される5つの画素の画素値の範囲の例と、フィルタF bを用いて抽出される4つの画素の画素値の範囲の例とを模式的に示す図

[図20B]図20Bは、フィルタF aを用いて抽出される5つの画素の画素値の範囲の他の例と、フィルタF bを用いて抽出される4つの画素の画素値の範囲の他の例とを模式的に示す図

[図21]図21は、第1～第4照射方向とはさらに異なる第5照射方向R 5から照射したときにおける、被写体2において照明光が透過する領域と、イメージセンサ4によって取得される像との間の関係を模式的に示す図

[図22]図22は、ノイズが除去された高分解能画像の例を模式的に示す図

[図23A]図23Aは、照明光が第1照射方向から照射された場合に得られるサブ画像S fと、そのサブ画像S fに含まれる画素の画素値B rを模式的に示す棒グラフとをあわせて示す図

[図23B]図23Bは、図23Aに示す状態から、第2照射方向に照射方向を変更したときに得られるサブ画像S gと、そのサブ画像S gに含まれる画素の画素値B rを模式的に示す棒グラフとをあわせて示す図

[図23C]図23Cは、図23Aを参照して説明した画素P f 5およびP f 6の画素値V f 5およびV f 6と、図23Bを参照して説明した画素P g 1～P g 3の画素値V g 1～V g 3とをあわせて示す図

[図24A]図24Aは、フィルタを利用したノイズ検出処理とノイズ除去処理との組み合わせの一例を示すフローチャート

[図24B]図24Bは、フィルタを利用したノイズ検出処理とノイズ除去処理との組み合わせの他の一例を示すフローチャート

[図24C]図24Cは、フィルタを利用したノイズ検出処理とノイズ除去処理との組み合わせのさらに他の一例を示すフローチャート

[図24D]図24Dは、フィルタを利用したノイズ検出処理とノイズ除去処理と

の組み合わせのさらに他の一例を示すフローチャート

[図25]図25は、CCDイメージセンサの断面構造と、被写体の相対的な透過率 T_d の分布の例とを示す図

[図26]図26は、裏面照射型CMOSイメージセンサの断面構造と、被写体の相対的な透過率 T_d の分布の例とを示す図

[図27]図27は、裏面照射型CMOSイメージセンサの断面構造と、被写体の相対的な透過率 T_d の分布の例とを示す図

[図28]図28は、光電変換膜積層型イメージセンサの断面構造と、被写体の相対的な透過率 T_d の分布の例とを示す図

発明を実施するための形態

[0013] <高分解能画像形成の原理>

本開示の実施形態では、照明光の照射方向を変えて複数回の撮影を実行することにより得られる複数の画像を用いて、それら複数の画像の各々よりも分解能の高い画像（以下、「高分解能画像」と呼ぶ。）を形成する。まず、図1A～図6を参照して、高分解能画像形成の原理を説明する。ここでは、CCD（Charge Coupled Device）イメージセンサを例示して説明を行う。なお、以下の説明において、実質的に同じ機能を有する構成要素は共通の参照符号で示し、説明を省略することがある。

[0014] 図1Aおよび図1Bを参照する。図1Aは、被写体の一部を模式的に示す平面図である。図1Aに示す被写体2は、例えば、生物組織の薄片（典型的には、数十 μm 以下の厚さを有する。）である。被写体2の画像の取得時、被写体2は、イメージセンサの撮像面に近接して配置されている。イメージセンサの光電変換部（ここではフォトダイオード）の表面から被写体2までの距離は、典型的には1mm以下であり、例えば1 μm 程度に設定され得る。

[0015] 図1Bは、イメージセンサのフォトダイオードのうち、図1Aに示されている領域の撮像に関わるフォトダイオードを抽出して模式的に示す平面図である。ここで説明する例では、イメージセンサ4に形成されたフォトダイオ

ード4 pのうち、6個のフォトダイオードが示されている。なお、参考のために、図1 Bでは、互いに直交するx方向、y方向およびz方向を示す矢印が図示されている。z方向は、撮像面の法線方向を示している。図1 Bでは、x y面内においてx軸からy軸に向かって45°回転した方向であるu方向を示す矢印も図示されている。他の図面においても、x方向、y方向、z方向またはu方向を示す矢印を図示することがある。

[0016] イメージセンサ4におけるフォトダイオード4 p以外の構成要素は、遮光層によって覆われている。図1 B中、ハッチングされた領域は、遮光層によって覆われている領域を示している。CCDイメージセンサの撮像面上における1つのフォトダイオードの受光面の面積(S2)は、そのフォトダイオードを含む単位領域、すなわち単位画素セルの面積(S1)よりも小さい。単位画素セルの面積S1に対する受光面積S2の比率(S2/S1)は、「開口率」と呼ばれている。ここでは、開口率が25%であるとして説明を行う。

[0017] 図2 Aおよび図2 Bは、被写体2を透過してフォトダイオード4 pに入射する光線の方法を模式的に示す。図2 Aおよび図2 Bは、撮像面に対して垂直な方向(第1照射方向)から光線を入射させた状態を示している。図2 Aおよび図2 Bにおいて模式的に示すように、ここでは、被写体2とイメージセンサ4との間に結像のためのレンズは配置されておらず、被写体2の画像は、被写体2を透過する実質的に平行な光線を用いて取得される。ただし、被写体2とイメージセンサ4との間にレンズが配置されていてもよい。

[0018] 図2 Cは、照明光が第1照射方向から照射された場合に取得される画像S_a(第1のサブ画像S_a)を模式的に示す。図2 Cに示すように、第1のサブ画像S_aは、6個のフォトダイオード4 pによって取得される6個の画素P_aから構成される。画素P_aの各々は、個々のフォトダイオード4 pに入射した光の量を示す値(画素値)を持つ。

[0019] 図2 Aおよび図2 Bに示すように、撮像面に垂直な方向から被写体2を照射したときには、被写体2の全体のうち、フォトダイオード4 pの直上に位

置する領域を透過した光がフォトダイオード4 pに入射する。この例では、第1のサブ画像S aは、被写体2の全体のうち、領域A 1、A 2、A 3、A 4、A 5およびA 6（図1 A参照）の情報を有している。なお、フォトダイオード4 pの直上に位置しない領域を透過した光は、フォトダイオード4 pには入射しない。したがって、第1のサブ画像S aでは、被写体2の全体のうち、領域A 1、A 2、A 3、A 4、A 5およびA 6以外の領域の情報が欠落している。

[0020] 図3 Aおよび図3 Bは、第1照射方向とは異なる照射方向から光線を入射させた状態を示している。図3 Aおよび図3 Bに示す光線は、z方向に対してx方向に傾斜している。このとき、被写体2の全体のうち、フォトダイオード4 pの直上に位置する領域とは異なる領域を透過した光がフォトダイオード4 pに入射する。

[0021] 図3 Cは、図3 Aおよび図3 Bに示す照射方向（第2照射方向）から照明光が照射された場合に取得される画像S b（第2のサブ画像S b）を模式的に示す。図3 Cに示すように、第2のサブ画像S bも、6個のフォトダイオード4 pによって取得される6個の画素から構成されている。ただし、第2のサブ画像S bを構成する画素P bは、被写体2の全体のうち、領域A 1、A 2、A 3、A 4、A 5およびA 6とは異なる領域B 1、B 2、B 3、B 4、B 5およびB 6（図1 A参照）に関する画素値を持つ。言い換えれば、第2のサブ画像S bは、被写体2の全体のうち、領域A 1、A 2、A 3、A 4、A 5およびA 6の情報は有しておらず、代わりに、領域B 1、B 2、B 3、B 4、B 5およびB 6の情報を有している。ここでは、例えば領域B 1は、被写体2において領域A 1の右側に隣接する領域である（図1 A参照）。

[0022] 図2 Aおよび図2 Bと、図3 Aおよび図3 Bとを比較することによって理解されるように、照射方向を適切に変更することにより、被写体2の異なる領域を透過した光線をフォトダイオード4 pに入射させることができる。その結果、第1のサブ画像S aと第2のサブ画像S bは、被写体2において異なる位置に対応する画素情報を含むことができる。

[0023] 図4 Aおよび図4 Bは、第1照射方向および第2照射方向とは異なる照射方向から光線を入射させた状態を示している。図4 Aおよび図4 Bに示す光線は、z方向に対してy方向に傾斜している。

[0024] 図4 Cは、図4 Aおよび図4 Bに示す照射方向（第3照射方向）から照明光が照射された場合に取得される画像S c（第3のサブ画像S c）を模式的に示す。図4 Cに示すように、第3のサブ画像S cは、6個のフォトダイオード4 pによって取得される6個の画素P cから構成されている。図示するように、第3のサブ画像S cは、被写体2の全体のうち、図1 Aに示す領域C 1、C 2、C 3、C 4、C 5およびC 6の情報を有している。ここでは、例えば領域C 1は、被写体2において領域A 1の上側に隣接する領域である（図1 A参照）。

[0025] 図5 Aは、第1照射方向、第2照射方向および第3照射方向とは異なる照射方向から光線を入射させた状態を示している。図5 Aに示す光線は、z方向に対して、x y面内においてx軸と45°の角をなす方向に傾斜している。

[0026] 図5 Bは、図5 Aに示す照射方向（第4照射方向）から照明光が照射された場合に取得される画像S d（第4のサブ画像S d）を模式的に示す。図5 Bに示すように、第4のサブ画像S dは、6個のフォトダイオード4 pによって取得される6個の画素P dから構成されている。第4のサブ画像S dは、被写体2の全体のうち、図1 Aに示す領域D 1、D 2、D 3、D 4、D 5およびD 6の情報を有している。ここでは、例えば領域D 1は、領域C 1の右側に隣接する領域である（図1 A参照）。このように、サブ画像S a、S b、S cおよびS dの各々は、被写体2の異なる部分から構成される像を含んでいる。

[0027] 図6は、4枚のサブ画像S a、S b、S cおよびS dから合成される高分解能画像H Rを示している。図6に示すように、高分解能画像H Rの画素数または画素密度は、4枚のサブ画像S a、S b、S cおよびS dの各々の画素数または画素密度の4倍である。

[0028] 例えば、被写体 2 における、図 1 A に示す領域 A 1、B 1、C 1 および D 1 のブロックに着目する。これまでの説明からわかるように、図 6 に示すサブ画像 S a の画素 P a 1 は、上述のブロック全体ではなく、領域 A 1 の情報を有している。したがって、サブ画像 S a は、領域 B 1、C 1 および D 1 の情報が欠落した画像であるといえることができる。

[0029] しかしながら、被写体 2 において異なる位置に対応する画素情報を有するサブ画像 S b、S c および S d を用いることにより、図 6 に示すように、サブ画像 S a において欠落した情報を補完し、ブロック全体の情報を有する高分解能画像 H R を形成することが可能である。個々のサブ画像の分解能がイメージセンサ 4 の固有分解能に等しいことに対し、この例では、イメージセンサ 4 の固有分解能の 4 倍の分解能が得られている。高分解能化（超解像）の程度は、イメージセンサの開口径に依存する。この例では、イメージセンサ 4 の開口径が 25% であるため、異なる 4 方向からの光照射によって最大 4 倍の高分解能化が達成されている。N を 2 以上の整数するとき、イメージセンサ 4 の開口径が近似的に $1/N$ に等しければ、最大 N 倍の高分解能化が可能である。

[0030] このように、被写体を基準にして複数の異なる照射方向から、順次、平行光を照射して被写体の撮像を行うことにより、被写体から「空間的」にサンプリングされる画素情報を増加させることができる。得られた複数のサブ画像を合成することにより、複数のサブ画像の各々よりも分解能の高い高分解能画像を形成することが可能である。もちろん、照射方向は、図 2 A～図 5 B を参照して説明した照射方向に限定されない。

[0031] なお、上記の例において、図 6 に示すサブ画像 S a、S b、S c および S d は、被写体 2 における互いに異なる領域の画素情報を有しており、重なりを有していない。しかしながら、異なるサブ画像間において重なりを有していてもよい。

[0032] 上記の例では、被写体 2 において隣接する 2 つの領域を通過した光線は、いずれも、同一のフォトダイオードに入射している。以下、図 7 A を参照し

ながら、このような照射方向の算出方法の一例を説明する。

[0033] 図7Aは、イメージセンサ4の撮像面にたてた法線Nとフォトダイオード4pに向かって進行する光線とのなす角の算出方法を説明するための模式的な断面図である。ここでは、イメージセンサ4が有するフォトダイオード4pのうち、x方向に沿って並ぶ3つのフォトダイオード4pb、4paおよび4pcが図示されている。図7Aに例示する構成において、イメージセンサ4は、これらのフォトダイオードを覆う透明層4Tを有しており、被写体2は、この透明層4T上に配置されている。典型的には、透明層4Tの表面は、フォトダイオード4pの表面と平行である。

[0034] 図示するように、撮像面4Aに垂直な方向から被写体2を照明光で照射した場合、被写体2における領域2aを通過した光は、領域2aの直下にあるフォトダイオード4paに入射する。領域2aのx方向における幅と、フォトダイオード4pのx方向における幅とは、同一である。

[0035] 図7Aでは、照射方向を角度 θ 傾けた状態において被写体2を透過した光もあわせて図示している。以下では、照明光が被写体を通過することによって得られる光を「変換光」と呼ぶことがある。図示する例において、照射方向を角度 θ 傾けた場合、被写体2のうち、領域2aに隣接する領域2bを通過した光がフォトダイオード4paに入射している。照射方向を表す角度 θ は、以下のようにして算出可能である。ここでは、簡単のため、2つのフォトダイオード間に位置する部分（遮光層で覆われた部分）のx方向における幅が、各フォトダイオードのx方向における幅と同一であるとする。言い換えれば、ここでは、x方向に沿って隣接する2つのフォトダイオードの中心同士を結ぶ配列ピッチ P_{tc} は、フォトダイオードのx方向における幅の2倍である。なお、領域2bのx方向における幅と、フォトダイオード4pのx方向における幅とは、同一である。

[0036] 図7Aにおいて黒丸で示す3つの点A、BおよびCによって形成される三角形ABCに注目する。ここで、点A、BおよびCは、それぞれ、領域2bの中心、フォトダイオード4paの中心、および、フォトダイオード4pa

とフォトダイオード4 p cとの中間点である。透明層4 Tの厚さを T_t とし、被写体2およびフォトダイオード4 pの厚さを無視すれば、角 θ は、辺ABと辺ACとがなす角として、 $\theta = \arctan((P_{tc}/2)/T_t)$ と求められる。このように、サブ画像の取得時に用いる照射方向は、例えば幾何学的な計算によって決定することが可能である。

[0037] 照射方向は、被写体2において隣接する2つの領域を通過した光線がいずれも同一のフォトダイオードに入射するような方向に限定されない。例えば、図7 Bに示すように、被写体2の隣接する2つの領域を通過した光線が、それぞれ、異なるフォトダイオードに入射するように照射方向が調整されていてもよい。

[0038] 図7 Bに示す例では、照射方向を、撮像面4 Aに垂直な方向から角度 θ' 傾けたときに、被写体2の領域2 bを通過した光が、フォトダイオード4 p aに隣接するフォトダイオード4 p bに入射している。上述の点AおよびCと、フォトダイオード4 p bの中心点B'とから形成される三角形AB'Cに注目すれば、 $\theta' = \arctan((3P_{tc}/2)/T_t)$ の関係から角 θ' を求めることが可能である。

[0039] 図7 Aおよび図7 Bからわかるように、注目したフォトダイオードに入射する光が、被写体2におけるどの領域を通過した光であるのかは、注目したフォトダイオード、被写体および光源などの配置によって決まる。したがって、イメージセンサ4（あるいは後述するモジュール）、後述する画像取得装置の構造に基づいて、各フォトダイオードの出力と、被写体2における各領域の配置との間の対応を知ることが可能である。

[0040] 本開示の画像形成システムでは、例えば、異なる2つの照射方向の間で同一のフォトダイオードによって取得される画素値を利用して、ノイズの検出が実行される。あるいは、異なる2つの照射方向の一方において、あるフォトダイオードが取得する画素値と、他方において、そのフォトダイオードに隣接する他のフォトダイオードが取得する画素値とを利用して、ノイズの検出が実行され得る。ノイズの検出に利用する画素値の対応は、典型的には、

複数のサブ画像の取得の間で固定されている。すなわち、画像形成システムは、典型的には、異なる2つの照射方向の間で同一のフォトダイオードによって取得される画素値を利用するか、あるいは、隣接する2つのフォトダイオードによって取得される画素値を利用するかが設定された状態で動作する。すなわち、どのような画素値の組を利用するかに応じて適切な照射方向が用いられる。後述する具体例では、異なる2つの照射方向の間で同一のフォトダイオードによって取得される画素値を利用して、ノイズの検出を実行する。このとき、被写体2において隣接する2つの領域を通過した光線がいずれも同一のフォトダイオードに入射するような照射方向が選択される。後述するその具体例では、照射方向を示す情報と、ノイズ検出に用いるべき画素値の対応とが記述されたテーブルが利用される。

[0041] <モジュール>

図1A～図6を参照して説明した原理に基づく高分解能画像の形成において、サブ画像の取得は、被写体2がイメージセンサ4の撮像面に近接して配置された状態で実行される。本開示の実施形態では、被写体2およびイメージセンサ4が一体化された構造を有するモジュールを用いてサブ画像の取得を行う。以下、図面を参照して、モジュールの構成の一例およびモジュールの作製方法の一例を説明する。

[0042] 図8Aは、モジュールの断面構造の一例を模式的に示す。図8Aに示すモジュール10では、封入剤6によって覆われた被写体2がイメージセンサ4の撮像面4A上に配置されている。なお、図8Aに示す模式的な断面では、撮像面4Aに被写体2が接触しているが、撮像面4Aと被写体2との間に封入剤6が介在していてもよい。

[0043] 図示する例では、透明プレート（典型的にはガラス板）8が被写体2上に配置されている。すなわち、図8Aに例示する構成では、被写体2は、イメージセンサ4と透明プレート8との間に挟まれている。モジュール10が透明プレート8を有すると、作業性が向上するので有益である。透明プレート8としては、例えば、一般的なスライドガラスを使用することができる。な

お、図中においては各要素が模式的に表されており、各要素における実際の大きさおよび形状は、図中に現された大きさおよび形状と必ずしも一致しない。以下において参照する他の図面においても同様である。

[0044] 図8Aに例示する構成において、イメージセンサ4は、1以上の電極を有するパッケージ5に固定されている。図8Bは、図8Aに示すモジュール10をイメージセンサ4側から見たときの外観の一例を示す。図8Aおよび図8Bに示すように、パッケージ5は、透明プレート8とは反対側の面に裏面電極5Bを有する。この裏面電極5Bは、パッケージ5に形成された不図示の配線パターンを介してイメージセンサ4と電氣的に接続されている。すなわち、裏面電極5Bを介して、イメージセンサ4の出力を取り出すことができる。本明細書では、パッケージとイメージセンサとが一体化された構造物を便宜的に「センサユニット」と呼ぶことがある。

[0045] 図9を参照して、モジュール10の作製方法の一例を説明する。ここでは、被写体2として生物組織の薄片（組織切片）を例示する。生物組織の薄片を被写体2として有するモジュール10は、病理診断に利用され得る。

[0046] まず、図9に示すように、組織切片A02を透明プレート8に載せる。透明プレート8は、光学顕微鏡による試料の観察に用いられるスライドガラスであり得る。以下では、透明プレート8としてスライドガラスを例示する。スライドガラスは、典型的には、厚さが1mm、長辺方向の長さが76mm、短辺方向の長さが26mmのサイズを有する。次に、組織切片A02を透明プレート8ごと染色液Ssに漬けることにより、組織切片A02を染色する。次に、透明プレート8上に封入剤6を付与することにより、組織切片A02を染色することによって得られた被写体2を封入剤6によって覆う。封入剤6は、被写体2を保護する機能を有する。次に、センサユニット7を、イメージセンサ4の撮像面が被写体2に対向するようにして被写体2上に配置する。このようにして、モジュール10が得られる。

[0047] モジュール10は、撮像の対象ごとに作製される。例えば病理診断の場面では、1つの検体から複数（例えば5～20枚）の組織切片が用意される。

そのため、同一の検体から得られた組織切片を被写体 2 として有するモジュール 10 が複数個作製され得る。これらの複数のモジュール 10 のそれぞれについて複数のサブ画像の取得を行えば、複数のモジュール 10 のそれぞれに対応した高分解能画像の形成が可能である。

[0048] 図 8 A に示すように、モジュール 10 は、光学顕微鏡による観察に用いられるプレパラートとは異なり、被写体 2 の画像を取得するイメージセンサ 4 を備えている。このようなモジュールを「電子プレパラート」と呼んでもよい。図 8 A に示すように被写体 2 およびセンサユニット 7 が一体化された構造を有するモジュール 10 を用いることにより、被写体 2 とイメージセンサ 4 との間の配置を固定できるという利点が得られる。なお、センサユニット 7 におけるパッケージ 5 は、必要に応じて設けられればよく、被写体 2 とイメージセンサ 4 とを一体化することによってモジュールを作製してもよい。換言すれば、被写体 2 の撮像に使用するモジュールは、パッケージ 5 を有しない構成であり得る。

[0049] モジュール 10 を用いて被写体 2 の画像の取得を実行するとき、透明プレート 8 を介して被写体 2 に照明光を照射する。被写体 2 を透過した光がイメージセンサ 4 に入射する。これにより、被写体 2 の画像が得られる。光源と被写体との相対的な配置を変えながら、順次、撮像を実行することにより、照射時において角度を変えて複数の異なる画像を取得することができる。例えば、図 10 A に示すように、イメージセンサ 4 の直上に光源 310 を配置する。そして、コリメートされた光 CL をイメージセンサ 4 の撮像面 4 A の法線方向から被写体 2 に照射した状態で撮像を行えば、図 2 C に示すサブ画像 S a と同様のサブ画像が得られる。また、図 10 B に示すように、モジュール 10 を傾けた状態でコリメートされた光 CL を被写体 2 に照射して撮像を行えば、図 3 C に示すサブ画像 S b（あるいは図 4 C に示すサブ画像 S c）と同様のサブ画像が得られる。このように、光源に対するモジュール 10 の姿勢を変化させながら、順次、撮像を実行することにより、図 1 A～図 6 を参照して説明した原理を適用して高分解能画像を得ることが可能である。

[0050] <本発明者が見出した課題>

イメージセンサに近接するようにして被写体を配置して撮像を行う場合、被写体と光源との間に透明な構造物が配置されることがある。例えば、モジュール10を利用する場合であれば、撮像時、被写体2と光源との間に透明プレート8が存在し得る。透明プレート8は、モジュール10のハンドリングを容易にし、撮像時の作業性の向上に貢献する。その一方で、例えば、モジュール10の透明プレート8において照明光が入射する側の面上に、髪の毛、埃、被写体の断片（例えば組織切片の断片）などのゴミが付着することがあり得る。透明な構造物における、被写体とは反対側の表面に、このようなゴミもしくは汚れ、または、傷などが存在していると、これらによって照射光の一部が散乱されたり、回折されたりする。本明細書では、ゴミもしくは汚れ、または、傷などを総称して「異物」と呼ぶことがある。

[0051] 例えば透明な構造物の表面上にゴミが存在すると、被写体の像を取得すべきイメージセンサの光電変換部に対する光量が不足することがある。結果として、形成される高分解能画像に、ゴミの存在に起因するノイズが生じる。言い換えれば、透明な構造物の表面上にゴミなどが存在すると、被写体の正確な像を高分解能画像において再現することが困難である。

[0052] このような場合、ゴミを取り除いた後にサブ画像の撮像を再度実行すれば、被写体の正確な像が再現された高分解能画像を得ることは可能である。しかしながら、図1A～図6を参照して説明した原理を適用するには、複数の照射方向に応じた複数回の撮像を再度実行する必要がある。したがって、撮像のやり直しは現実的ではない。

[0053] なお、特許文献3には、赤外線を用いて画像の取得を行い、得られた画像を利用してフィルム上のゴミを検出するフィルムスキャナが開示されている。しかしながら、特許文献3に開示の技術は、可視光を用いた画像の取得のための光源に加えて赤外線光源を必要とするので、装置が複雑化する。

[0054] 本発明者は、上記に鑑み検討を重ね、イメージセンサの固有分解能を超える分解能を実現する高分解能化技術の実用性を向上させ得る画像形成システ

ムを見出した。

[0055] 本開示の実施形態を詳細に説明する前に、まず、本開示の実施形態の概要を説明する。

[0056] 本開示の一態様である画像形成システムは、画像取得装置と、画像形成装置と、画像処理装置とを備える。画像取得装置は、被写体と撮像素子とが一体化されたモジュールにおける被写体を、被写体を基準として複数の異なる照射方向から順次照射するように構成された照明システムを有する。画像取得装置は、複数の異なる照射方向に応じた複数の画像を取得する。画像形成装置は、複数の画像を合成することにより、複数の画像の各々よりも分解能の高い被写体の高分解能画像を形成する。画像処理装置は、被写体よりも撮像素子の撮像面から遠い位置にある異物に起因するノイズを検出し、ノイズを除去するように構成されている。ノイズは、複数の画像のうちの1つを構成する画素のうちのある画素における画素値と、複数の画像のうちの他の1つを構成する画素のうち、ある画素に対応する画素における画素値との差に基づいて検出され得る。

[0057] ある態様において、画像処理装置は、複数の画像のうちの1つと、複数の画像のうちの他の1つとを比較することによってノイズを検出する。例えば、複数の画像のうちの1つを構成する各画素の画素値と、それらの各画素に対応する、複数の画像のうちの他の1つを構成する各画素の画素値とをそれぞれ比較することによってノイズの検出が実行されてもよい。

[0058] ある態様において、画像処理装置は、高分解能画像において近接する複数の画素から構成される画素ブロックにおける画素間の画素値の変化の大きさに基づいてノイズを検出する。

[0059] ある態様において、画像処理装置は、ノイズを含む画素の画素値を、ノイズを含む画素以外の画素の画素値から算出される画素値で置き換えることによってノイズを除去する。

[0060] ある態様において、ノイズを含む画素以外の画素の画素値から算出される画素値は、高分解能画像における、ノイズを含む画素の近傍の画素の画素値

を用いて算出される画素値である。

- [0061] ある態様において、画像処理装置は、ノイズを含む画素を、高分解能画像を構成する複数の画像の各々に対応する複数の異なる照射方向とはさらに異なる照射方向からの照射のもとで取得された画像の画素で置き換えることによってノイズを除去する。
- [0062] ある態様において、画像処理装置は、ノイズを含む画素の画素値に、異物の像および被写体の像のいずれも含まない画素の画素値と、異物の像を含み、かつ、被写体の像を含まない画素の画素値との差を加算することによってノイズを除去する。
- [0063] ある態様において、照明システムは、1以上の光源、モジュールが着脱自在に装填されるように構成されたステージ、および、ステージの姿勢を変更可能に構成されたステージ駆動機構を有する。
- [0064] ある態様において、照明システムは、互いに異なる波長域の光を出射する複数の光源を有する。
- [0065] ある態様において、照明システムは、複数の異なる照射方向に対応した異なる位置に配置され、順次、照明光を出射する複数の光源を有する。
- [0066] ある態様において、照明システムは、ステージの姿勢および1以上の光源の向きの少なくとも一方を変化させるゴニオ機構を含んでいる。
- [0067] 本開示の他の一態様である画像形成方法は、複数の画像を取得する工程と、被写体の高分解能画像を形成する工程と、ノイズを検出する工程と、ノイズを除去する工程とを含む。複数の画像を取得する工程では、被写体を透過した照明光が撮像素子に入射するように被写体と撮像素子とが一体化されたモジュールを、複数の異なる照射方向から、順次、照明光で照射することにより、複数の異なる照射方向に応じた複数の画像を取得する。モジュールにおける撮像素子は、被写体を透過した照明光が入射する位置に配置され得る。被写体の高分解能画像を形成する工程では、複数の画像を合成することにより、複数の画像の各々よりも分解能の高い被写体の高分解能画像を形成する。ノイズを検出する工程では、被写体よりも撮像素子の撮像面から遠い位

置にある異物に起因するノイズを検出する。ノイズは、複数の画像のうちの1つを構成する画素のうちのある画素における画素値と、複数の画像のうちの他の1つを構成する画素のうち、ある画素に対応する画素における画素値との差に基づいて検出され得る。ノイズの検出は、高分解能画像の形成前に実行されてもよいし、高分解能画像の形成後に実行されてもよい。ノイズを除去する工程では、ノイズを含む画素の画素値を他の画素値で置き換えることによってノイズを除去する。

[0068] ある態様では、ノイズを検出する工程において、複数の画像のうちの1つと、複数の画像のうちの他の1つとを比較することによってノイズを検出する。例えば、複数の画像のうちの1つを構成する各画素の画素値と、それらの各画素に対応する、複数の画像のうちの他の1つを構成する各画素の画素値とをそれぞれ比較することによってノイズの検出が実行されてもよい。

[0069] ある態様では、ノイズを検出する工程において、高分解能画像において近接する複数の画素から構成される画素ブロックにおける画素間の画素値の変化の大きさに基づいてノイズを検出する。

[0070] ある態様において、他の画素値は、ノイズを含む画素以外の画素の画素値から算出される画素値である。

[0071] ある態様において、ノイズを含む画素以外の画素の画素値から算出される画素値は、高分解能画像における、ノイズを含む画素の近傍の画素の画素値を用いて算出される画素値である。

[0072] ある態様において、他の画素値は、高分解能画像を構成する複数の画像の各々に対応する複数の異なる照射方向とはさらに異なる照射方向からの照射のもとで取得された画像に含まれる画素の画素値である。

[0073] ある態様において、他の画素値は、ノイズを含む画素の画素値に、異物の像および被写体の像のいずれも含まない画素の画素値と、異物の像を含み、かつ、被写体の像を含まない画素の画素値との差を加算することによって得られる画素値である。

[0074] 本開示のさらに他の一態様であるプログラムは、被写体の高分解能画像を

形成する工程と、ノイズを除去する工程とを含む処理を1以上のプロセッサに実行させるための命令を含む。被写体の高分解能画像を形成する工程では、複数の異なる照射方向から、順次、被写体を照射することによって取得される、各々が被写体の異なる部分から構成される像を含む複数の画像を合成することにより、複数の画像の各々よりも分解能の高い被写体の高分解能画像を形成する。ノイズを除去する工程では、高分解能画像から、被写体よりも撮像素子の撮像面から遠い位置にある異物に起因するノイズを除去する。

[0075] 本開示のさらに他の一態様である撮像素子は、画像取得装置と、画像形成装置と、画像処理装置とを備える画像形成システムに用いられる撮像素子である。画像取得装置は、被写体を基準として複数の異なる照射方向から被写体を順次照射する照明システムを有し、被写体を透過した照明光が入射する位置に配置される撮像素子によって複数の異なる照射方向に応じた複数の画像を取得する。画像形成装置は、複数の画像を合成することにより、複数の画像の各々よりも分解能の高い被写体の高分解能画像を形成する。画像処理装置は、被写体よりも撮像素子の撮像面から遠い位置にある異物に起因するノイズを検出し、ノイズを除去する。ノイズは、複数の画像のうちの1つを構成する画素のうちのある画素における画素値と、複数の画像のうちの他の1つを構成する画素のうち、ある画素に対応する画素における画素値との差に基づいて検出され得る。撮像素子は、画像取得装置に対して着脱可能であり、画像取得装置に装着された状態において照明光が入射する側の面に、被写体を配置可能な被写体支持部を備える。

[0076] 以下、図面を参照しながら、本開示の実施形態を詳細に説明する。なお、以下で説明する実施形態は、いずれも包括的または具体的な例を示す。以下の実施形態で示される数値、形状、材料、構成要素、構成要素の配置および接続形態、ステップ、ステップの順序などは、一例であり、本開示を限定する主旨ではない。また、以下の実施形態における構成要素のうち、最上位概念を示す独立請求項に記載されていない構成要素については、任意の構成要素として説明される。

[0077] <画像形成システム>

図 1 1 は、本開示の実施形態による画像形成システムの構成の一例の概略を示す。図 1 1 に示す画像形成システム 1 0 0 0 は、画像取得装置（デジタイザ）1 0 0 と、画像形成装置 1 4 0 と、画像処理装置 1 5 0 とを有している。後に詳しく説明するように、画像形成装置 1 4 0 は、画像取得装置 1 0 0 によって取得された複数の画像（サブ画像）を合成することにより、被写体 2 の高分解能画像を形成する。画像処理装置 1 5 0 は、被写体 2 よりもイメージセンサ 4 の撮像面から遠い位置にある異物に起因するノイズを検出し、ノイズを除去する。画像処理装置 1 5 0 は、例えば、高分解能画像中のノイズを検出し、検出されたノイズを高分解能画像から除去する。

[0078] 図 1 1 に示す例では、画像形成装置 1 4 0 および画像処理装置 1 5 0 は、情報処理装置 2 0 0 の一部を構成している。また、図示する例では、情報処理装置 2 0 0 は、画像取得装置 1 0 0 の動作の制御を行う制御装置 1 7 0 と、メモリ 1 6 0 とを含んでいる。画像形成装置 1 4 0 および画像処理装置 1 5 0 の動作の例は、後述する。

[0079] 情報処理装置 2 0 0 は、汎用または専用のコンピュータによって実現され得る。情報処理装置 2 0 0 は、画像取得装置 1 0 0 と一体であってもよいし、画像取得装置 1 0 0 とは異なる別個の装置であってもよい。情報処理装置 2 0 0 は、画像取得装置 1 0 0 と同じ場所に配置されている必要はない。例えば、画像取得装置 1 0 0 とは異なる場所に情報処理装置 2 0 0 を配置し、インターネットなどのネットワークを介してこれらを接続してもよい。

[0080] 画像形成装置 1 4 0、画像処理装置 1 5 0 および制御装置 1 7 0 は、それぞれが独立した装置であってもよい。画像形成装置 1 4 0、画像処理装置 1 5 0 および制御装置 1 7 0 のうちの少なくとも 1 つが、インターネットなどのネットワークを介して情報処理装置 2 0 0 および／または画像取得装置 1 0 0 に接続される構成も可能である。

[0081] あるいは、画像形成装置 1 4 0、画像処理装置 1 5 0 および制御装置 1 7 0 のそれぞれにおける一部または全体が、1 以上のプロセッサ（コンピュー

タ)によって実現されてもよい。例えば、画像形成装置140および画像処理装置150の少なくとも一方は、DSP (digital signal processor) またはFPGA (Field Programmable Gate Array) のような処理回路によって実現され得る。画像形成装置140、画像処理装置150および制御装置170のうちの2以上が、単一のプロセッサ(コンピュータ)によって実現されてもよい。

[0082] 図11に例示する構成において、メモリ160には、画像取得装置100、画像形成装置140および画像処理装置150のうちの少なくとも1つの制御のためのコンピュータプログラムなどが格納され得る。例えば、画像形成装置140が汎用のプロセッサ(コンピュータ)である場合、画像形成装置140は、メモリ160からコンピュータプログラムを読み出す。プログラムに記述された処理を画像形成装置140が実行することにより、高分解能画像が形成される。同様に、画像処理装置150が汎用のプロセッサ(コンピュータ)である場合、メモリ160に格納されたコンピュータプログラムの読み出しおよびそのプログラムの実行により、画像処理装置150は、ノイズを検出および除去することが可能である。コンピュータプログラムは、情報処理装置に接続可能な公知の外部記憶装置または公知の記憶媒体に格納されていてもよい。メモリ160に、複数の照射方向に関する情報のリストが保存されていてもよい。

[0083] メモリ160の例は、RAMである。メモリ160は、RAMに限定されず、公知の記憶装置を用いることができる。画像形成装置140、画像処理装置150および制御装置170の少なくともいずれかがメモリを含み、そのメモリによってメモリ160の機能が実現されてもよい。

[0084] 図11に示す画像取得装置100は、照明光を生成する光源31、モジュール10が着脱自在に装填されるように構成されたステージ32、および、ステージ32の姿勢を変更可能に構成されたステージ駆動機構33を含む照明システム30aを有している。図11は、ステージ32にモジュール10が装填された状態を模式的に示している。モジュール10は、画像取得装置

100に必須の構成要素ではない。

[0085] 図示するように、モジュール10は、センサユニット7が有するイメージセンサ4の撮像面4A（例えば図10A参照）が光源31に対向するようにしてステージ32に装填される。このとき、被写体2は、光源31とイメージセンサ4との間に位置する。換言すれば、モジュール10がステージ32に接続された状態において、センサユニット7（イメージセンサ4といってもよい）は、被写体2を透過した光が入射する位置に配置される。この例では、光源31から発せられ、被写体を通過した光を受ける撮像面4Aに被写体2が載せられており、イメージセンサ4の撮像面4Aが、被写体支持部7Sとして機能している。もちろん、モジュール10がステージ32に接続された状態における、センサユニット7および被写体2の配置は、図11に示す例に限定されない。例えば、センサユニット7および被写体2の配置を、図11に示す配置から逆転させてもよい。すなわち、光源31とイメージセンサ4の撮像面4Aとが対向するようにして、光源31の上方にモジュール10を配置してもよい。センサユニット7におけるイメージセンサ4が、被写体2を透過した光が入射する位置に配置されていれば、高分解能画像を形成するための複数の画像の取得は可能である。本明細書における「支持」は、下方からの支持に限定されない。

[0086] 照明システム30aは、例えばステージ32の姿勢を変化させることにより、被写体2を基準とする照射方向を変化させる。照明システム30aの構成の詳細および動作の例は後述する。本明細書における「姿勢」の変化は、基準面に対する傾斜の変化、基準方位に対する回転角度の変化、および、基準点に対する位置の変化などを広く含む。

[0087] 被写体2を基準とする複数の異なる照射方向から、順次、光源31によって生成された照明光で被写体2を照射する。照射方向を変えて被写体2を照射することにより、複数の異なる照射方向に応じて異なる複数の画像が、センサユニット7のイメージセンサ4によって取得される。なお、各照射方向に応じてセンサユニット7から取得される情報は、画像（サブ画像）自体で

なくてもよい。すなわち、各照射方向ごとに、イメージセンサ4に含まれる各フォトダイオードに対応した画素値が得られていればよく、各照射方向ごとに、サブ画像を形成する必要はない。得られた複数の画像に含まれる画素値を用いて、高分解能画像の形成が可能である。

[0088] 次に、図12A～図13Bを参照して、被写体を基準とする照明光の照射方向を変更する方法の一例を説明する。

[0089] 図12Aおよび図12Bは、画像取得装置100の例示的な外観を示す。図12Aに例示する構成において、画像取得装置100は、光源31およびステージ32を含む本体110と、本体110に開閉可能に連結された蓋部120とを有している。蓋部120を閉じることにより、画像取得装置100の内部に暗室を形成することができる（図12B参照）。

[0090] 図示する例では、ステージ32上にモジュール10を保持するためのソケット130が接続されている。ソケット130は、ステージ32に固定されていてもよいし、ステージ32に着脱可能に構成されていてもよい。ここでは、ソケット130がステージ32に着脱可能とされた構成を例示する。ソケット130は、例えば、モジュール10が着脱可能に構成された下部基材132と、開口部Apが形成された上部基材134とを含む。図12Aに例示する構成では、ソケット130は、下部基材132と上部基材134との間にモジュール10を挟むことにより、モジュール10を保持する。

[0091] 下部基材132は、モジュール10のセンサユニット7との電氣的接続のための電氣的接点を有する電気接続部を有し得る。被写体の画像の取得時、センサユニット7におけるイメージセンサ4の撮像面が光源31に対向するようにしてモジュール10が下部基材132に載せられる。このとき、電気接続部の電氣的接点とセンサユニット7の裏面電極5B（図8Aおよび図8B参照）とが接触することにより、モジュール10のセンサユニット7と下部基材132の電気接続部とが電氣的に接続される。

[0092] 図12Cは、画像取得装置100のステージ32に対するソケット130の装填方法の一例を示す。図12Cに例示する構成において、ソケット13

0は、底面から突出する電極136を有している。この電極136は、下部基材132の電気接続部の一部であり得る。また、図12Cに示す例では、画像取得装置100のステージ32は、ジャック36が設けられた取付部34を有している。図12Cに示すように、例えばモジュール10を保持した状態のソケット130は、ジャック36にソケット130の電極136が挿入されるようにしてステージ32に装填される。これにより、ソケット130に保持されたモジュール10中のセンサユニット7と、画像取得装置100との間の電氣的接続が確立される。

[0093] ステージ32は、モジュール10を保持するソケット130が装填された状態において、センサユニット7の出力、すなわち、イメージセンサ4の出力を受け取る回路を有し得る。本開示の実施形態では、画像取得装置100は、ソケット130が有する電気接続部を仲立ちとして被写体2の画像を示す情報（画像信号あるいは画像データ（各画素の画素値））をモジュール10におけるイメージセンサ4から取得する。つまり、画像取得装置100は、ある照射方向から照射が行われたときにイメージセンサ4のフォトダイオードから出力される第1の複数の画素値を取得し、他のある照射方向から照射が行われたときにイメージセンサ4のフォトダイオードから出力される第2の複数の画素値を取得する。

[0094] なお、複数のモジュール10を用いて複数の被写体の撮像を行う場合、モジュール10と同数のソケット130を用意し、モジュール10を保持した状態のソケット130を換装することによって撮像の対象を変更してもよい。あるいは、ステージ32に1つのソケット130を取り付けた状態のままモジュール10を換装することにより、撮像の対象を変更してもよい。このように、本開示の実施形態において、画像取得装置100に対するモジュール10の固定は、永久的ではない。換言すれば、本開示の実施形態において、被写体を撮像するセンサユニット7（イメージセンサ4といってもよい）は、画像取得装置100に対して着脱可能である。

[0095] 図12Cに示すように、ソケット130をステージ32に装填することに

より、ソケット１３０の底面と、取付部３４の上面とを密着させ得る。これにより、ステージ３２に対するソケット１３０の配置が固定される。したがって、ステージ３２と、ソケット１３０に保持されたモジュール１０との配置をステージ３２の姿勢の変化の前後において一定に保つことができる。典型的には、ステージ３２にソケット１３０が装填された状態において、モジュール１０の透明プレート８の主面とステージ３２とは、ほぼ平行である。

[0096] 図１３Ａは、照射方向を変更する方法の一例を示す。図示するように、ソケット１３０に保持されたモジュール１０に、光源３１から出射された照明光ＣＬが照射される。照明光ＣＬは、ソケット１３０に設けられた開口部Ａｐを介して、モジュール１０の被写体２に入射する。被写体２を透過した光が、モジュール１０のセンサユニット７の撮像面に入射する。光源３１から出射される光は、典型的には、コリメートされた光である。ただし、被写体に入射する光が実質的に平行光であるとみなせる場合には、光源３１から出射される光はコリメートされた光でなくてもよい。

[0097] 図１１を参照して説明したように、画像取得装置１００は、ステージ駆動機構３３を有している。ステージ駆動機構３３は、ゴニオ機構、回転機構などを含み、本体１１０に対するステージ３２の傾斜および／またはステージ３２の中心を通る軸に関する回転角を変化させる。図１３Ａに例示する構成では、ステージ駆動機構３３は、ステージ３２の姿勢を変化させるゴニオ機構３３ｇを有している。ステージ駆動機構３３が、ステージ３２を基準面（典型的には水平面）内において平行移動させることが可能なスライド機構を有していてもよい。

[0098] ステージ駆動機構３３を動作させることにより、ステージ３２の姿勢を変化させることができる。ここでは、モジュール１０を保持した状態のソケット１３０がステージ３２に取り付けられているので、ステージ３２の姿勢を変化させることにより、モジュール１０の姿勢を変化させることができる。例えば、ステージ３２が基準面に対して傾斜していない時における照明光の入射方向が、イメージセンサの撮像面の法線方向であるとする。ここでは、

基準面に対するステージ 32 の傾斜と基準面に対するモジュール 10 の傾斜（透明プレート 8 の傾斜といってもよい。）との間の関係（例えば、平行）が、ステージ 32 の姿勢の変化の前後において一定に保たれている。そのため、図 13B に示すように、基準面に対してステージ 32 を角度 θ 傾斜させると、被写体に入射する光線の方法も角度 θ 傾斜する。なお、図 13B 中、破線 N は、イメージセンサの撮像面の法線を示している。

[0099] このように、ステージ 32 とともにモジュール 10 の姿勢を変化させることにより、被写体 2 を基準として複数の異なる照射方向から、順次、照明光を被写体に照射することが可能である。したがって、被写体 2 を基準とする複数の異なる照射方向に応じた複数の画像をモジュール 10 のセンサユニット 7 によって取得することができる。被写体 2 を基準とする照射方向は、例えば、イメージセンサの撮像面の法線 N と被写体 2 への入射光線とがなす角（図 13B に示す天頂角 θ ）、および撮像面上に設定した基準方位と入射光線の撮像面への射影とがなす角（方位角）の組によって表すことができる。

[0100] 図 14A は、照明システムの構成の他の例を示す。図 14A に例示する構成において、照明システム 30b の光源 31 は、複数の光源 31x、31y および 31z から構成されている。光源 31x、31y および 31z は、互いに異なる照射方向に対応した位置に配置されている。光源 31x、31y および 31z から順次に照明光を出射することにより、被写体 2 を基準とする複数の異なる照射方向から、順次、被写体 2 を照射することができる。なお、図 14A に示す構成はあくまでも例であり、照明システムが有する光源の数は、3 個に限定されない。

[0101] 図 14B は、照明システムの構成のさらに他の例を示す。図 14B に例示する構成において、照明システム 30c は、光源 31 における発光部の向きを変化させるゴニオ機構 31g を含んでいる。図示するように、光源 31 の向きを変化させることによっても、被写体 2 を基準とする複数の異なる照射方向から、順次、被写体 2 を照射することができる。照明システム 30c が、ゴニオ機構 31g とともに、あるいは、ゴニオ機構 31g に代えて、ステ

ージ32の中心を通る軸に関する光源31の回転角を変化させる回転機構、光源31を平行移動させることが可能なスライド機構などを含んでいてもよい。ステージ32の姿勢の変化と光源31の移動とを組み合わせることによって照射方向を変化させてもよい。

[0102] 光源31は、例えばLEDチップを含む。光源31は、各々が異なる波長帯域にピークを有する複数のLEDチップを含んでいてもよい。例えば、図14Cに例示する照明システム30dでは、光源31が、青色の光を出射するLEDチップ31B、赤色の光を出射するLEDチップ31R、および緑色の光を出射するLEDチップ31Gを含んでいる。複数の発光素子を近接（例えば100 μ m程度）して配置した場合には、これらの一群を点光源とみなし得る。

[0103] 互いに異なる色の光を出射する複数の発光素子を使用し、例えば、異なる色の光を照射方向ごとにタイムシーケンシャルに照射することにより、それぞれの色についての複数のサブ画像を取得することができる。例えば、青色サブ画像のセット、赤色サブ画像のセット、および緑色サブ画像のセットを取得してもよい。取得されたサブ画像のセットを用いれば、カラーの高分解能画像を形成することができる。例えば病理診断の場面では、カラーの高分解能画像を利用することにより、病変の有無などに関するより多くの有益な情報を得ることができる。光源31として白色LEDチップを用い、かつ、光路上にカラーフィルタを配置することによって、互いに異なる色の照明光をタイムシーケンシャルに得てもよい。また、イメージセンサ4としてカラー撮像用のイメージセンサを用いてもよい。ただし、イメージセンサ4の光電変換部に入射する光量の低減を抑制する観点からは、カラーフィルタを配置しない構成の方が有利である。

[0104] 光源31は、LEDに限定されず、白熱電球、レーザ素子、ファイバーレーザ、放電管などであってもよい。光源31から出射される光は、可視光に限定されず、紫外線、赤外線などであってもよい。光源31が有する発光素子の数および配置も任意に設定可能である。

[0105] <画像形成方法>

図15Aは、本開示の実施形態による例示的な画像形成方法の概略を示す。本開示の実施形態による画像形成方法は、概略的には、複数の画像（サブ画像）を取得する工程と、被写体の高分解能画像を形成する工程と、ノイズを検出する工程とを含む。本開示の実施形態による画像形成方法は、ノイズを除去する工程をさらに含んでもよい。図15Aに示す例では、ステップS10において、複数の異なる照射方向から、順次、モジュールを照明光で照射することによって複数の異なる照射方向に応じた複数の画像を取得する。ステップS10における複数の画像の取得は、サブ画像を示す複数の画素値の取得を意味し、サブ画像の形成のステップを必ずしも含んでいなくてもよい。

[0106] 本開示の実施形態では、被写体を透過した光がイメージセンサに入射するように被写体とセンサユニットとが一体化されたモジュールを使用する。ステップS12では、複数の画像を合成することによって被写体の高分解能画像を形成する。ステップS14では、このときに得られた高分解能画像中のノイズを検出する。本開示の実施形態では、被写体よりもセンサユニットの撮像面から遠い位置にある異物に起因するノイズの検出を実行する。ステップS16では、検出したノイズを除去する。詳細には、ノイズを含む画素の画素値を他の画素値で置き換えることにより、高分解能画像中のノイズを除去する。これらの各工程を実行するためのプログラムは、例えばメモリ160に格納されている。

[0107] 図15Aに示す工程およびそれらの順序は、あくまでも一例である。図15Bに示すように、ノイズの検出およびノイズの除去が、高分解能画像の形成前に実行されてもよい。つまり、複数の異なる照射方向に応じて取得される複数の画像の各々においてノイズの検出および除去を実行し、ノイズ除去後の複数の画像を合成することによって高分解能画像を得てもよい。図15Bに示す例では、ステップS11において、複数の異なる照射方向に応じた複数の画像（サブ画像）を取得し、ステップS13およびステップS15に

において、それぞれ、各サブ画像中のノイズの検出および検出したノイズの除去を実行する。ステップS 1 0と同様に、ステップS 1 1における複数の画像の取得は、サブ画像を示す複数の画素値の取得を意味し、サブ画像の形成のステップを必ずしも含んでいなくてもよい。その後、ステップS 1 7において、複数の画像を合成することにより、被写体の高分解能画像を形成する。

[0108] なお、上述の各工程は、連続して実行される必要はなく、例えば、2つの工程間に他の工程が介在してもよい。上述の各工程のうち、2以上の工程が並列的に実行されてもよい。

[0109] 図16は、本開示の実施形態による画像形成方法の一例における詳細を示す。まず、ステップS 1 8において、画像取得装置100（例えば図11を参照）内に被写体2を配置する。ここでは、画像取得装置100のステージ32に装填されたソケット130に、モジュール10を固定する。

[0110] 次に、ステップS 2 0において、初期化を行う。例えば、照射方向およびサブ画像を識別するためのインデックス i （ i は整数）に1を代入する。

[0111] 次に、ステップS 2 2において、被写体2を基準とする、1番目（ $i = 1$ ）の照射方向の情報を取得する。照射方向を示す情報は、画像形成システム1000（図11参照）における動作を制御するためのプログラム中に記述されていてもよいし、メモリ160に例えばリスト（またはテーブル）の形式で格納されていてもよい。後に詳しく説明するように、照射方向が分かっているならば、ノイズの検出において用いるべき画素値の組を適切に決定することができる。したがって、ある態様において、メモリ160（図11参照）は、照射方向に関する情報と、画素値の差を取るべき画素の組とが関連付けられたテーブルを保存している。

[0112] 照射方向を示す情報は、センサユニット7の撮像面の法線方向を基準とする照射角度（例えば、図7Aに示す角度 θ あるいは図7Bに示す角度 θ' ）の値であり得る。以下では、図1A～図6を参照して説明した原理に基づいて、4方向からの照射により4倍の高分解能化を行う例を説明する。ここで

説明する例では、１番目の照射方向が、図２Ａおよび図２Ｂを参照して説明した第１照射方向に設定されている。すなわち、この例では、ステップＳ２２において、センサユニット７の撮像面に対する照射角度が０°であることを示す情報が取得される。

[0113] もちろん、１番目の照射方向は、図２Ａおよび図２Ｂを参照して説明した第１照射方向に限定されない。１番目の照射方向は、センサユニット７の撮像面に対して垂直な方向とは異なる方向であり得る。このときに取得された照射方向に関する情報は、上述のインデックスｉの値とともにテーブルの形式で例えばメモリ１６０のワークエリアに一時的に保存される。

[0114] 次に、ステップＳ２４において、１番目のサブ画像の取得を実行する。照射に先立ち、制御装置１７０がステージ駆動機構３３を動作させることにより、被写体２に対する照射方向が変更される。その後、所定の照射方向からの照明光で被写体２を照射することにより、１番目のサブ画像を示す複数の画素値を取得する。取得されたサブ画像のデータ（典型的には画素値）は、例えば、インデックスｉの値と関連付けられた状態でメモリ１６０に一時的に保存される。

[0115] 次に、必要に応じて、ステップＳ２６において、取得したサブ画像の各画素の輝度の正規化を実行する。センサユニット７の撮像面に対して傾斜した方向から被写体２を照射したとき、被写体２を透過した光が撮像面に達するまでに進む距離は、撮像面の法線方向から被写体２を照射した場合と比較して大きい。そのため、モジュール内における吸収、散乱などの影響により、撮像面の法線方向から被写体２を照射したときに得られるサブ画像と比較して、撮像面に対して傾斜した方向から被写体２を照射したときに得られるサブ画像が全体として暗くなることがある。取得したサブ画像に輝度の正規化を施すことにより、サブ画像間の全体的な輝度のばらつきを低減し得る。本明細書において、「正規化」は、正規化の対象の画像に含まれる複数の画素の画素値の和が、基準となる画像に含まれる複数の画素の画素値の和と等しくなるように、各画素の画素値を定数倍する処理を意味する。

- [0116] 次に、ステップS 2 8において、インデックス i の値を更新する。典型的には、 i をインクリメントする。
- [0117] 次に、ステップS 3 0において、所定の枚数のサブ画像の取得が完了したか否かを判定する。例えば、 $i > N$ (N は2以上の整数)であるか否かの判定を実行する。ここで説明する例では、4方向からの照射により4倍の高分解能化を行うので、 $i > 4$ ($N = 4$)であるか否かが判定される。 i が N 以下であれば処理はステップS 2 2に戻され、照射方向を変えてサブ画像の取得が再度実行される。
- [0118] 処理がステップS 2 2に戻されると、2番目 ($i = 2$) の照射方向の情報が取得される。2番目の照射方向は、例えば、図3 Aおよび図3 Bを参照して説明した第2照射方向である。すなわち、この例では、ステップS 2 2に続くステップS 2 4において、撮像面4 Aの法線 N に対して x 方向に沿って傾斜した方向に照射方向が変更される。具体的には、2番目のサブ画像の取得時、図7 Aに示すような角度 θ の方向からの照射が実行される。
- [0119] ステップS 2 2において取得された、照射方向に関する情報（例えば角度 θ の値と傾斜の方向）は、インデックス i の値（つまり、 $i = 2$ ）とともにテーブルの形式で例えばメモリ1 6 0のワークエリアに一時的に保存される。また、ステップS 2 4において取得されたサブ画像のデータ（典型的には画素値）が、インデックス i の値と関連付けられた状態でメモリ1 6 0に一時的に保存される。照射方向の情報は、センサユニット7の撮像面の法線方向を基準とする角度の大きさであってもよいし、 i の値が1小さい照射方向の情報に対応する照射角度との差分であってもよい。
- [0120] なお、異なる2つの照射方向の間の関係（例えば、一方の照射方向が他方に対してどの方向に沿ってどの程度傾いているか）が分かれば、一方のサブ画像中のどの画素値と、他方のサブ画像中のどの画素値とを対応付けてノイズ検出に用いればよいかが決まる。したがって、照射方向に関する情報に加えて、ノイズ検出に用いるべき画素値の対応をテーブルにさらに追加してもよい。

[0121] ステップS 2 4の実行後は、上述したステップS 2 6～S 3 0が実行される。処理が再びステップS 2 2に戻されると、3番目 ($i = 3$) の照射方向の情報が取得される。3番目の照射方向は、例えば、図4 Aおよび図4 Bを参照して説明した第3照射方向である。この場合、撮像面4 Aの法線Nに対してy方向に沿って傾斜した方向に照射方向が変更された状態で3番目のサブ画像の取得が実行される。ここでは、3番目の照射方向に関する情報、3番目のサブ画像のデータ、および、ノイズ検出に用いるべき画素値の対応をテーブルの形式でメモリ1 6 0のワークエリアに一時的に保存する。ノイズ検出に用いるべき画素値の対応は、1番目のサブ画像と3番目のサブ画像との間における対応であってもよいし、2番目のサブ画像と3番目のサブ画像との間における対応であってもよい。

[0122] その後、上述したステップS 2 6～S 3 0が再び実行される。この時点では、まだ $i > N$ ではないので、処理がステップS 2 2に戻される。ステップS 2 2において、4番目 ($i = 4$) の照射方向の情報が取得される。4番目の照射方向は、例えば、図5 Aおよび図5 Bを参照して説明した第4照射方向である。この場合、撮像面4 Aの法線Nに対してu方向に沿って傾斜した方向に照射方向が変更された状態で4番目のサブ画像の取得が実行され、4番目の照射方向に関する情報、4番目のサブ画像のデータ、および、ノイズ検出に用いるべき画素値の対応が、テーブルの形式でメモリ1 6 0のワークエリアに一時的に保存される。

[0123] その後、上述したステップS 2 6～S 3 0が再び実行される。ステップS 3 0において i がNより大きいと判定されると、処理はステップS 3 2に進められる。ステップS 3 2では、図1 A～図6を参照して説明した原理を適用することにより、高分解能画像を形成する。ここでは、画像形成装置1 4 0が、メモリ1 6 0からのサブ画像のデータの読み出し、および、取得した複数のサブ画像を用いた高分解能画像の形成を実行する。高分解能画像に含まれる画素値の数は、ステップS 2 4において得られる画素値の数よりも多い。

[0124] 次に、ステップS 3 4において、高分解能画像に含まれるノイズを検出する。ここで検出されるノイズは、上述したように、被写体2よりもセンサユニット7の撮像面から遠い位置にある異物に起因するノイズである。ここでは、画像処理装置150が、画像形成装置140によって形成された高分解能画像のデータを受け取り、後述するノイズ検出の原理に基づいてノイズを検出する。

[0125] ノイズの検出においては、例えば、メモリ160に格納されたテーブルを参照することにより、画素値の差を取るべき画素の組が特定される。上述の例のように、第1照射方向($i = 1$)～第4照射方向($i = 4$)の4方向から照射を行う場合、2つの照射方向の間では、同一のフォトダイオードによって得られる2つの画素値を少なくとも1つ用いればよい。したがって、上記のテーブルにおいては、ノイズ検出に用いるべき画素値の対応として、例えば、4つの照射方向のうちのある照射方向から照射して、あるフォトダイオードによって得た画素値と、他のある照射方向から照射して、あるフォトダイオードによって得た画素値とが対応付けられている。

[0126] したがって、ここでは、2つの照射方向の間で同一のフォトダイオードによって得られる2つの画素値の差を利用してノイズの検出が実行される。例えば、第1照射方向と第2照射方向との間で同一のフォトダイオードによって得られる2つの画素値の差を利用すれば、x方向に沿ったノイズの検出ができる。同様に、第1照射方向と第3照射方向との間で同一のフォトダイオードによって得られる2つの画素値の差を利用すれば、y方向に沿ったノイズの検出ができ、第1照射方向と第4照射方向との間で同一のフォトダイオードによって得られる2つの画素値の差を利用すれば、u方向に沿ったノイズの検出ができる。ノイズの検出後、例えば、ノイズを含む画素の座標値がメモリ160に一時的に保存される。

[0127] 高分解能画像の形成の前にサブ画像の取得ごとにノイズを検出する場合においても、上記のテーブルを参照することにより、画素値の差を取るべき画素の組を照射方向に応じて適切に決定することができる。なお、ノイズ検出

に用いるべき画素値の対応は、必ずしもテーブルの形式で記述されている必要はない。例えば、ノイズ検出に用いるべき画素値を対応付ける関係式がメモリ 160 に保存されていてもよい。例えば、 i 番目のサブ画像中の第 j 行第 k 列に位置する画素の画素値を $V(i)_{j,k}$ と表したとき、 $V(i)_{j,k}$ と $V(i+1)_{j,k}$ との対応を示す式がメモリ 160 に保存されてもよい。なお、 $j = 1, 2, \dots, J$ 、 $k = 1, 2, \dots, K$ (J および K は 2 以上の整数) である。例えば第 1 照射方向と第 2 照射方向との間で (つまり、 $i = 1$)、 $V(i)_{j,k}$ と $V(i+1)_{j,k}$ との対応を示す式を $j = 1$ から $j = (J - 1)$ の範囲で用いることにより、 x 方向に沿ったノイズの検出を実行することが可能である。

[0128] 次に、ステップ S 36 において、検出されたノイズを除去する。ここでは、画像処理装置 150 がノイズ除去の処理を実行する。ノイズを含む画素の位置は、ステップ S 34 においてメモリ 160 に保存された座標値から特定可能である。ノイズ除去方法の具体例は後述する。

[0129] 次に、ステップ S 38 において、ノイズが除去された高分解能画像がディスプレイなどの表示装置に出力される。あるいは、ノイズが除去された高分解能画像のデータが、画像形成システム 1000 との接続を有する他の機器に出力される。ステップ S 38 は、必要に応じて実行されればよい。

[0130] <ノイズ検出の原理>

次に、本開示の実施形態において用いられるノイズ検出の原理を説明する。高分解能画像におけるノイズの現れ方を理解すれば、本開示の実施形態において用いられるノイズ検出の原理を理解しやすい。したがって、ここでは、まず、高分解能画像におけるノイズの現れ方の例を説明し、その後、ノイズ検出の方法の具体例を説明する。以下では、4 方向からの照射によって 4 倍の分解能を実現する場合を例示する。

[0131] 図 17A は、上述した第 1 照射方向 (図 2A および図 2B 参照) から照射したときにおける、被写体 2 において照明光が透過する領域と、イメージセンサ 4 によって取得される像との間の関係を模式的に示す。図 17A に示す

例では、イメージセンサ4は、フォトダイオード4 pの光入射面を被覆する透明層4 Tを有している。被写体2は、封入剤6に覆われた状態でこの透明層4 T上に位置している。つまり、この例では、透明層4 Tの上面が撮像面4 Aを形成しており、透明層4 Tの上面が被写体支持部7 S（図1 1参照）として機能している。なお、図1 7 Aに示す例では、透明プレート8において被写体2とは反対側の表面上にゴミDが存在している。ゴミDは、イメージセンサ4の撮像面4 Aに垂直な方向から見たとき、被写体2の一部と重なっている。

[0132] 図1 7 Aでは、第1照射方向を矢印R 1で模式的に示している。ここでは、第1照射方向R 1は、z方向に平行である。図1 7 A中の網掛け部分は、照明光のうち、被写体2においてフォトダイオード4 pの直上にある領域に入射する部分と、変換光のうち、フォトダイオード4 pに入射する部分とを模式的に示している。別の言い方をすれば、網掛け部分は、照明光のうち、サブ画像の形成に寄与する部分を示している。なお、ここでは、説明の便宜のため、透明プレート8の厚さを実際よりも小さく図示しており、図中の各部の大きさの比率は、実際のモジュールとは異なる。後述する図1 7 B、図2 1、図2 3 A～図2 3 Cについても同様である。

[0133] 図1 7 Aに示すように、第1照射方向R 1から照射したとき、被写体2のうち、フォトダイオード4 pの直上に位置する領域を透過した光がフォトダイオード4 pに入射する。例えば、図1 7 Aに示すフォトダイオード4 p xには、被写体2のうち、フォトダイオード4 p xの直上に位置する領域A 1を透過した光（第1照射方向R 1に対応する第1の変換光のうちの一部）が入射する。第1照射方向R 1から照明光が照射された場合に得られるサブ画像S a dの画素P a 1は、領域A 1の情報を有する。同様に、図1 7 Aに示す画素P a 2およびP a 3は、それぞれ、被写体2のうち、フォトダイオード4 p yの直上に位置する領域A 2およびフォトダイオード4 p zの直上に位置する領域A 3の情報を有する。

[0134] 図示する例では、イメージセンサ4の撮像面4 Aに垂直な方向から見たと

き、ゴミ D が、被写体 2 の領域 A 8 および A 9 と重なっている。したがって、領域 A 8 の直下に位置するフォトダイオード 4 p s は、ゴミ D および被写体 2 の領域 A 8 の両方を透過した光を受ける。このとき、フォトダイオード 4 p s に入射する光の量は、透明プレート 8 上にゴミ D が存在しない場合と比較して低下する。そのため、第 1 照射方向 R 1 から照明光が照射された場合に得られるサブ画像 S a d に含まれる画素のうち、領域 A 8 の直下に位置するフォトダイオード 4 p s に対応する画素 P a 8 の画素値は、透明プレート 8 上にゴミ D が存在しない場合に得られる画素値よりも小さくなる。つまり、このときに得られる画素 P a 8 の画素値は、領域 A 8 の像を示す画素値よりも小さい。同様に、サブ画像 S a d に含まれる画素のうち、領域 A 9 の直下に位置するフォトダイオード 4 p t に対応する画素 P a 9 の画素値は、領域 A 9 の像を示す画素値よりも小さい。

[0135] ゴミ D と重なる位置にあるフォトダイオード 4 p s および 4 p t に対応する画素 P a 8 および P a 9 の画素値は、一般に、被写体の像を示す他の画素 P a 1、P a 2 および P a 3 の画素値よりも相対的に小さい。結果として、透明プレート 8 上にゴミ D が存在した状態で撮像を行うと、図 17 A に模式的に示すように、被写体の像を示す画素よりも相対的に暗い画素（以下、「暗画素」と呼ぶことがある。）がサブ画像中に生じる。

[0136] 図 17 B は、上述した第 2 照射方向（図 3 A および図 3 B 参照）から照射したときにおける、被写体 2 において照明光が透過する領域と、イメージセンサ 4 によって取得される像との間の関係を模式的に示す。図 17 B では、第 2 照射方向を矢印 R 2 で模式的に示している。

[0137] 図示する例では、被写体 2 のうち、領域 A 1 の右側に隣接する領域 B 1 を透過した光（第 2 照射方向 R 2 に対応する第 2 の変換光のうちの一部）がフォトダイオード 4 p x に入射している。第 2 照射方向 R 2 から照明光が照射された場合に得られるサブ画像 S b d の画素 P b 1 は、領域 B 1 の情報を有する。

[0138] 被写体 2 の領域 A 8 の右側に隣接する領域 B 8 に注目する。この領域 B 8

は、イメージセンサ4の遮光層上に位置するので、第1照射方向R1からの照射によっては、領域B8の像は得られない。しかしながら、図17Bに示すように、撮像面4Aの法線に対して傾斜した方向から被写体2を照射することにより、被写体2のうち、イメージセンサ4の遮光層上に位置する領域を透過した光をフォトダイオードに入射させることが可能である。図示する例では、被写体2の領域A8の右側に隣接する領域B8を透過した光（第2照射方向R2に対応する第2の変換光のうちの他の一部）が、フォトダイオード4psに入射している。

[0139] この例では、フォトダイオード4psの右側にあるフォトダイオード4ptに、被写体2の領域A9の右側に隣接する領域B9を透過した光が入射している。したがって、フォトダイオード4psに対応する画素Pb8およびフォトダイオード4ptに対応する画素Pb9は、それぞれ、被写体2の領域B8および領域B9の情報を有している。

[0140] 図示するように、この例では、フォトダイオード4pyおよびフォトダイオード4pzと不図示の光源との間に、ゴミDが介在している。そのため、この例では、フォトダイオード4pyは、ゴミDと被写体2の領域B2とを透過した光を受け、フォトダイオード4pzは、ゴミDと被写体2の領域B3とを透過した光を受ける。フォトダイオード4pyおよびフォトダイオード4pzに入射する光の量は、ゴミDが存在しない場合と比較して低下するので、第2照射方向R2から照明光が照射された場合には、被写体2において領域A2の右側に隣接する領域B2、および、領域A3の右側に隣接する領域B3の正確な像は得られない。図17Bに示すように、第2照射方向R2から照明光が照射された場合に得られるサブ画像Sbdにおける、フォトダイオード4pyに対応する画素Pb2およびフォトダイオード4pzに対応する画素Pb3は、暗画素である。

[0141] ここで注目すべきは、フォトダイオード4pの表面に対して被写体2とは異なる距離にゴミDが存在するとき、照射方向を変化させると、暗画素を提示するフォトダイオードも照射方向の変化に伴って変化するということであ

る。そのため、図 1 7 A と図 1 7 B とを比較すればわかるように、暗画素が現れる位置は、各サブ画像の間で異なる。

[0142] 別の言い方をすれば、互いに異なる 2 つの照射方向から照明光が照射された場合において同一のフォトダイオードによって取得された 2 つの画素のうち、一方が被写体 2 の像を示す画素であり、他方が暗画素であることがあり得る。例えば、図 1 7 A に示すサブ画像 S a d 中の画素 P a 2 が示す画素値および図 1 7 B に示すサブ画像 S b d 中の画素 P b 2 が示す画素値は、ともに、フォトダイオード 4 p y からの出力に基づいて決まる。サブ画像 S a d 中の画素 P a 2 が、被写体 2 の領域 A 2 の像を示す画素であることに對し、サブ画像 S b d 中の画素 P b 2 は、サブ画像 S a d の画素 P a 2 よりも相対的に暗い暗画素である。

[0143] したがって、少なくとも、あるサブ画像に含まれる画素のうちの 1 つ（この例では画素 P a 2）における画素値と、他のあるサブ画像に含まれる画素のうち、前述のあるサブ画像のその画素に対応する画素（この例では画素 P b 2）における画素値との差を求めることにより、被写体 2 よりもセンサユニット 7 の撮像面から遠い位置にある異物に起因するノイズを検出することが可能である。後に具体例を示して説明するように、例えば、互いに異なる 2 つのサブ画像間の比較により、フォトダイオード 4 p の表面に対して被写体 2 とは異なる距離にある異物に起因するノイズを検出してもよい。

[0144] 上述の例では、第 1 照射方向 R 1 から被写体 2 を照射することによって得られるサブ画像 S a d に含まれる画素 P a 2 の画素値と、第 2 照射方向 R 2 から被写体 2 を照射することによって得られるサブ画像 S b d に含まれる画素 P b 2 の画素値との差を求めている。以下、画素値の差を計算するための 2 つの画素を決定する方法の一例を説明する。

[0145] 図 7 A および図 7 B を参照して説明したことからわかるように、被写体 2 の像を取得するイメージセンサ 4 が異なる照射方向の間で共通ならば、被写体 2 のどの領域を透過した光がどのフォトダイオードに入射するかは、照明光の照射方向によって決まる。したがって、例えば、撮像面 4 A の法線方向

と、撮像面 4 A の法線 N に対して図 7 A に示すような角度 θ 傾斜した方向とから照射を行う場合、2 つの照射方向の間で同一のフォトダイオードによって得られる 2 つの画素値の差を求めればよい。また、例えば、撮像面 4 A の法線方向と、撮像面 4 A の法線 N に対して図 7 B に示すような角度 θ' 傾斜した方向（撮像面 4 A の法線方向から時計回りに角度 θ' 回転した方向）とから照射を行う場合には、一方の照射方向においてあるフォトダイオードによって得られる画素値と、他方の照射方向においてそのフォトダイオードに隣接するフォトダイオード（この例では x 方向に沿って左側に隣接）によって得られる画素値との差を求めればよい。よって、例えば、メモリ 160（図 11 参照）に、照射方向に関する情報（例えば照射角度 θ の値）と、画素値の差を取るべき画素の組とを関連付けてテーブルの形式で保存しておくことにより、暗画素の検出に際して、適切な画素の組を決定することが可能である。

[0146] 図 17 C は、図 17 A に示すサブ画像 S a d と、図 17 B に示すサブ画像 S b d とを合成した状態を模式的に示す。図 17 A と図 17 B との比較からわかるように、この例では、第 1 照射方向 R 1 から照射したときにおいて被写体 2 のある領域を透過した光が入射するフォトダイオードには、第 2 照射方向 R 2 から照射したとき、被写体 2 においてその領域に隣接する領域を透過した光が入射している。したがって、高分解能画像の形成においては、図 17 C に示すように、サブ画像 S a d における、あるフォトダイオード（例えばフォトダイオード 4 p x）に対応する画素（例えば画素 P a 1）と、サブ画像 S b d における、そのフォトダイオードに対応する画素（例えば画素 P b 1）とが隣接するように各画素が配列される。

[0147] 上述したように、フォトダイオード 4 p の表面に対して被写体 2 とは異なる距離にゴミ D が存在するとき、照射方向を変化させると、ゴミ D を透過した光を受けるフォトダイオードも照射方向の変化に伴って変化する。典型的には、ある照射方向から照明光が照射された場合にゴミ D を透過した光を受けるフォトダイオードは、他の照射方向のもとにおいて被写体 2 の像を取得

するか、あるいは、ゴミ D も被写体 2 も透過しない光を受ける。そのため、透明プレート 8 上にゴミ D が存在する状態において取得された複数のサブ画像を用いて高分解能画像を形成すると、暗画素は、被写体 2 の像を示す画素、または、照明光が透明プレート 8 を透過するために何らの像も示さない画素によって分離される。すなわち、図 17 C に模式的に示すように、暗画素は、高分解能画像において連続して現れず、とびとびに現れる。

[0148] この例では、図 17 A および図 17 B の x 方向に沿って 2 倍の分解能を実現するような第 1 および第 2 照射方向から照明光が照射されてサブ画像 S a d および S b d がそれぞれ取得されている。そのため、2 つの暗画素の間には、被写体 2 の像を示す 1 つの画素が挟まれている（図 17 C 参照）。なお、照射方向の設定または高分解能化における倍率によっては、2 つの暗画素の間に、被写体 2 の像を示す 2 以上の画素が挟まれることもある。

[0149] このように、高分解能画像においては、暗画素が、被写体 2 の像を示す画素または何らの像も示さない画素によって分離された状態で現れる。これは、高分解能画像が暗画素を含んでいると、暗画素の近傍において画素値の急激な変化が生じることを意味する。したがって、高分解能画像における画素値の急激な変化を利用してとびとびの暗画素の存在を検出することによっても、フォトダイオード 4 p の表面に対して被写体 2 とは異なる距離にある異物に起因するノイズを検出することが可能である。

[0150] なお、図 17 C から、サブ画像 S a d およびサブ画像 S b d の合成画像においては、サブ画像 S a d 中の暗画素に由来するノイズを含む領域 N a と、サブ画像 S b d 中の暗画素に由来するノイズを含む領域 N b とが互いに離れた場所に現れることがわかる。すなわち、複数の照射方向に応じて取得されたサブ画像が暗画素を含んでいると、複数の照射方向に対応して高分解能画像中の複数の領域に分散してノイズが生じる。このことは、図 17 A および図 17 B に示す x 方向に限られず、他の方向についても同様である。したがって、例えば、4 方向からの照射によって 4 倍の分解能を実現する場合、高分解能画像には、4 方向からの照射に対応した 4 つの領域にノイズが生じる

。図17Dは、4方向からの照射によって得られる4つのサブ画像を合成して形成された高分解能画像HRdにおける、ノイズの現れ方を模式的に示す。図17Dでは、ノイズを含む領域を太い破線により模式的に示している。なお、照射方向の設定によっては、暗画素を含まないサブ画像が得られることもある。

[0151] 図17Aおよび図17Bに示すように、この例では、透明プレート8とイメージセンサ4との間に被写体2が配置されたモジュールを利用してサブ画像を取得している。モジュールにおける透明プレート8が厚いほど、また、イメージセンサ4の撮像面4Aの法線に対する照射方向の傾きが大きいほど、高分解能画像中においてノイズが生じる領域の間隔は拡大する。つまり、透明プレート8上のゴミDが1つであったとしても、ノイズは、高分解能画像における広い範囲に生じ得る。本開示の実施形態によれば、このようなノイズを検出および除去することが可能である。本開示の技術は、高分解能画像の形成において特に有用である。

[0152] <ノイズ検出の方法の具体例>

図17A～図17Dを参照して説明したように、サブ画像における暗画素の位置は、照射方向の変化に伴って変化する。透明プレート8としてスライドガラスを使用する場合、フォトダイオード4pの表面からゴミDまでの距離は、1mm程度であり、これは、フォトダイオード4pの表面から被写体2までの距離（典型的には数 μm ）と比較して1000倍程度大きい。そのため、照射方向の変化がわずかであっても、サブ画像内における暗画素の位置は大きく変化する。これに対し、本開示の実施形態では、被写体2がフォトダイオード4pの表面に近接して配置されるので、サブ画像内における被写体2の像の位置は、照射方向の変化に対してほとんど変化しない。

[0153] 図18Aおよび図18Bを参照する。図18Aは、フォトダイオード4pの表面に対して被写体2とは異なる距離にゴミDが存在するときに取得されるサブ画像の例を示す。図18Aに示す例では、ゴミDの像DPが被写体2の像2Pに重なっている。図18Bは、図18Aに示すサブ画像の取得時と

は異なる照射方向から照明光が照射された場合に取得されるサブ画像の例を示す。照射方向を変化させると、図 18 B に模式的に示すように、サブ画像における像 D P の位置が変化する。これに対し、被写体 2 の像 2 P はほとんど移動しない。図 1 A ～図 6 を参照して説明したように、サブ画像のそれぞれは、典型的には、被写体 2 における互いに異なる領域の画素情報を有する。そのため、画素単位で比較すれば、図 18 A に示す被写体 2 の像 2 P と、図 18 B に示す被写体 2 の像 2 P とは互いに異なる像である。しかしながら、図 18 A および図 18 B に模式的に示すように、大局的に見れば、被写体 2 に関して、互いに異なる照射方向の間ではほぼ同じ像が得られる。

[0154] 上述した第 1 ～第 4 照射方向から照明光を照射して複数のサブ画像を取得した場合において、例えば、これらの照射方向のうちの 2 つの照射方向において、あるフォトダイオードによって取得される像がともに被写体 2 の像であったとする。このとき、一方の照射方向において取得される像は、被写体 2 のある領域の像であり、他方の照射方向のもとにおいて取得される像は、被写体 2 のうち、その領域の近傍にある領域の像である。すなわち、あるフォトダイオードによって取得される像がともに被写体 2 の像であるとき、一方の照射方向において取得されたサブ画像における、そのフォトダイオードに対応する画素の画素値と、他方の照射方向において取得されたサブ画像における、そのフォトダイオードに対応する画素の画素値との差の絶対値は、0 に近い。これに対し、これらのうちの一方の画素が暗画素である場合には、2 つのサブ画像間における画素の画素値の差の絶対値は、より大きな値を示す。つまり、同一のフォトダイオードによって取得された画素値同士の差分と、予め設定しておいた閾値とを比較すれば、暗画素を見つけだすことができる。

[0155] 例えば、ある照射方向から照明光を照射したときに、イメージセンサ 4 が有するフォトダイオードのうち、あるフォトダイオードの出力（ここでは画素値）を P_v1 とし、他のある照射方向から照明光を照射したときに、そのフォトダイオードの出力（ここでは画素値）を P_v2 とする。予め設定して

おいた閾値を ε とする。 $P_{v1} < P_{v2}$ かつ $|P_{v1} - P_{v2}| > \varepsilon$ であれば、画素値 P_{v1} が、ノイズを含む画素の画素値であると判断できる。また、 $P_{v1} > P_{v2}$ かつ $|P_{v1} - P_{v2}| > \varepsilon$ であれば、画素値 P_{v2} が、ノイズを含む画素の画素値であると判断できる。画素値 P_{v1} および P_{v2} の差分に代えて、除算を適用してもよい。本開示の「差分」演算には、「除算」による演算も含まれ得る。

[0156] なお、高分解能画像中のノイズは、他の画素と比較して明るい画素（以下、「明画素」と呼ぶことがある。）のパターンとして現れることもあり得る。例えば、 $P_{v1} > P_{v2}$ かつ $|P_{v1} - P_{v2}| > \varepsilon$ であれば、画素値 P_{v1} が、明画素の画素値であると判断できる。また、 $P_{v1} < P_{v2}$ かつ $|P_{v1} - P_{v2}| > \varepsilon$ であれば、画素値 P_{v2} が、明画素の画素値であると判断できる。

[0157] 照射方向の設定によっては、図7Bに示すように、被写体2のある領域を透過した光が入射するフォトダイオードと、その領域の近傍にある領域を透過した光が入射するフォトダイオードとが異なることがある。この場合、これらの領域の像を示す画素の位置は、2つのサブ画像の間において異なる。このように、被写体2のある領域の像を取得するフォトダイオードと、その領域の近傍にある領域の像を取得するフォトダイオードとが2つのサブ画像の間において異なる場合、照射方向から計算されるずれ量を用いて一方のサブ画像をシフトさせてから画素値の差分を求めればよい。

[0158] このように、あるサブ画像における画素の画素値と、その画素に対応する、他のサブ画像における画素の画素値との間の差分を計算することにより、ノイズを検出することが可能である。サブ画像間において対応する画素値の差分の計算は、サブ画像間において対応する2つの画素から構成される組の少なくとも1つに対して実行されればよい。「サブ画像間において対応する2つの画素」は、典型的には、異なる照射方向の間で共通のフォトダイオードによって画素値が取得された2つの画素である。あるサブ画像における各画素の画素値と、それらの各画素に対応する、他のサブ画像における各画素

の画素値との間の差分を計算するか、あるいは比較することにより、ノイズを検出してもよい。サブ画像に含まれる全ての画素について、サブ画像間における画素値を比較することは、互いに異なる2つのサブ画像を比較することと同じである。

[0159] あるいは、高分解能画像が有する複数の画素から構成される画素ブロックにおける画素間の画素値の変化に基づいて、ノイズを検出してもよい。換言すれば、高分解能画像から、異なる照射方向に対応して得られる画素値 P_{v1} および P_{v2} を抽出して、上述の比較を実行してもよい。すなわち、 $P_{v1} < P_{v2}$ かつ $|P_{v1} - P_{v2}| > \varepsilon$ であるか、あるいは、 $P_{v1} > P_{v2}$ かつ $|P_{v1} - P_{v2}| > \varepsilon$ であるかの判定を実行してもよい。

[0160] 「画素ブロック」は、高分解能画像における複数の画素を含む一区画であり、複数のサブ画像の各々からそれぞれ抽出された1以上の画素を含む。なお、図17Cを参照して説明したように、例えば4倍の高分解能化を実現する高分解能画像の形成においては、あるサブ画像における、あるフォトダイオードに対応する画素と、他のあるサブ画像における、そのフォトダイオードに対応する画素とは、上下左右または斜めに隣接して配列される。したがって、画素ブロックにおける画素間の画素値の変化を求めることは、サブ画像間において対応する2つの画素の画素値を比較することと基本的に同じであるといえる。

[0161] 以下では、高分解能画像において3行3列の画素の配列から構成される画素ブロックにおける画素間の画素値の変化に基づいて、ノイズを検出する例を説明する。

[0162] 再び図17Dを参照する。既に説明したように、透明プレート8上にゴミDが存在する状態において取得された複数のサブ画像を用いて高分解能画像を形成すると、暗画素が、高分解能画像においてとびとびに現れる。例えば、上述した第1～第4照射方向から照明光が照射された場合に取得されたサブ画像を用いて4倍の高分解能を実現する場合であれば、図17Dにおいて太い破線で示すように、2つの暗画素の間に、被写体2の像を示す1つの画

素が挟まれたパターンが現れる。このような暗画素のパターンを検出することにより、高分解能画像中のノイズを検出することが可能である。

[0163] 図19Aおよび図19Bは、ゴミDに起因する暗画素のパターンの検出に適用可能なフィルタの例を模式的に示す。図19Aに示すフィルタF aは、3行3列の画素ブロックにおける中央の画素の画素値およびその画素の4近傍の画素値を抽出するために用いられる。図19Bに示すフィルタF bは、画素ブロックにおける中央の画素の8近傍から中央の画素およびその4近傍を除いた4つの画素の画素値を抽出するために用いられる。本明細書において、ある画素の「4近傍」は、その画素の上下左右に隣接する4つの画素の群を意味する。また、ある画素の「8近傍」は、その画素の上下左右に隣接する4つの画素と、その画素の斜め方向に隣接する4つの画素とからなる群を意味する。別の言い方をすれば、ある画素の「8近傍」は、その画素を中心とする3行3列の画素の配列のうち、中心の画素を除く8つの画素である。

[0164] 例えば、図17Dに示す高分解能画像HR dにおいて、被写体2の像を示す画素から構成される画素ブロックに対して図19Aに示すフィルタF aを適用した場合を考える。このとき、被写体2の像を示す5つの画素が抽出される。また、その画素ブロックに、図19Bに示すフィルタF bを適用した場合を考える。このとき、被写体2の像を示す4つの画素が抽出される。

[0165] 図20Aは、フィルタF aを用いて抽出される5つの画素の画素値の範囲の例と、フィルタF bを用いて抽出される4つの画素の画素値の範囲の例とを示す。図20A中、横軸は画素値B rを示す。画素値B rは、例えば0～255の階調値によって表される。図20A中、線分L aおよびL bは、それぞれ、フィルタF aを用いて抽出される5つの画素の画素値の範囲、および、フィルタF bを用いて抽出される4つの画素の画素値の範囲を模式的に示している。

[0166] 被写体2の像を示す画素から構成される画素ブロックに、フィルタF aおよびフィルタF bのいずれのフィルタを適用した場合も、被写体2の像を示

す画素が抽出される。そのため、これらフィルタによって抽出された画素の間における画素値 B_r の差は、比較的小さい。典型的には、図 20A に例示するように、フィルタ F_a によって抽出された画素の画素値の最大値 M_{x_a} および最小値 m_{n_a} によって規定される線分 L_a と、フィルタ F_b によって抽出された画素の画素値の最大値 M_{x_b} および最小値 m_{n_b} によって規定される線分 L_b とは、重なりを有する。

[0167] 次に、図 17D に示す高分解能画像 HR_d において、太い破線の内側にある画素ブロックにフィルタ F_a を適用した場合を考える。このとき、被写体 2 の像を示す 5 つの画素が抽出される。また、太い破線の内側にある画素ブロックにフィルタ F_b を適用した場合を考える。この場合は、4 つの暗画素が抽出される。そのため、フィルタ F_b によって抽出される画素の画素値は、フィルタ F_a によって抽出された画素の画素値と比較して小さい。

[0168] 図 20B は、フィルタ F_a を用いて抽出される 5 つの画素の画素値の範囲の他の例と、フィルタ F_b を用いて抽出される 4 つの画素の画素値の範囲の他の例とを示す。図 17D に示す高分解能画像 HR_d において、太い破線の内側にある画素ブロックに、フィルタ F_a およびフィルタ F_b を適用した場合には、図 20B に示すようなグラフが得られる。図 20B に示す例において、線分 L_a と線分 L_b とは、重なりを有していない。このことを逆に言うと、図 20B に示すように、フィルタ F_a に対応する線分 L_a と、フィルタ F_b に対応する線分 L_b との間に重なりがないということは、とびとびの暗画素のパターンが高分解能画像中に現れていることを示している。

[0169] 図 20B に示す例では、 $M_{x_b} < m_{n_a}$ が成立していることから、 $M_{x_b} < m_{n_a}$ が成立すれば、フィルタ F_a およびフィルタ F_b を適用した画素ブロックにノイズが含まれていると判断することができる。なお、高分解能画像中のノイズは、他の画素と比較して明るい画素のパターンとして現れることもある。この場合は、 $M_{x_a} < m_{n_b}$ が成立する。以上から、 $M_{x_b} < m_{n_a}$ または $M_{x_a} < m_{n_b}$ が成立する場合には、画素ブロックにノイズが含まれていると判断できる。

[0170] なお、とびとびの暗画素のパターンまたはとびとびの明画素のパターンを検出するためのフィルタは、図19Aに示すフィルタF aおよび図19Bに示すフィルタF bに限定されない。特定のパターンを検出するためのフィルタは、照射方向の設定などに応じて適宜選択可能である。また、画素ブロックのサイズも3行3列に限定されない。 n を自然数とすると、画素ブロックのサイズは、 $(2n+1)$ 行 $(2n+1)$ 列であってもよい。このとき、例えば $(2n+1)$ 行 $(2n+1)$ 列のサイズを有するフィルタを使用することができる。フィルタにおいて左上に位置する画素を指定する座標値を $(1, 1)$ とすると、例えば、画素ブロックを構成する画素のうち、座標値が $(2m+1, 2m'+1)$ 以外の画素の画素値を抽出するフィルタと、座標値が $(2m+1, 2m'+1)$ である画素の画素値を抽出するフィルタとの組を使用することができる。ここで、 m および m' は、それぞれ、0以上 n 以下の整数である。

[0171] なお、図18Bに例示するように、あるサブ画像においてゴミDの像を示す画素が被写体2の像を示す画素と離れて位置している場合には、高分解能画像においても、被写体2の像から離れた位置にゴミDの像が現れる。あるサブ画像における、ゴミDの像を示す画素の位置は、例えばサブ画像間における画素の画素値の比較に基づいて特定可能である。あるサブ画像における、ゴミDの像を示す画素の位置が特定できれば、他のサブ画像における、ゴミDの像を示す画素または暗画素の位置の特定は容易である。例えば、被写体2の像から孤立して現れたゴミDの像をテンプレート画像とするテンプレートマッチング、あるいは局所特徴量を用いた特徴量マッチングを実行してもよい。また、本開示の技術では、照明方向の変化に対するゴミDの像の移動の方向はあらかじめわかっている。例えば、照射方向を x 軸方向に傾斜させれば、サブ画像におけるゴミDの像の位置も x 軸方向に沿って移動する（図17Aおよび図17B参照）。したがって、照射方向を x 軸方向に傾斜させて得られた互いに異なる2つのサブ画像のうち的一方に対してもう一方を x 軸方向に移動させながらこれらの間の類似度を計算すれば、2つのサブ画

像の間で被写体の像が重なったところで相互相関関数（類似度）が極大になると考えられる。このように、2つのサブ画像間の類似度の極大を探索することによって、被写体の像の位置またはゴミDの像の位置を特定することも可能である。

[0172] <ノイズ除去方法の具体例>

次に、ノイズ除去方法の具体例を説明する。ノイズ検出の処理によってノイズを検出した後、高分解能画像からノイズを除去することにより、被写体のより正確な像を高分解能画像において再現し得る。詳細には、ノイズを含む画素（ここではゴミDの像を示す画素）の画素値を、ノイズを含む画素以外の画素の画素値から算出される画素値で置き換えることにより、フォトダイオード4pの表面に対して被写体2とは異なる距離にある異物に起因するノイズを除去する。

[0173] （ノイズ除去方法の第1の例）

高分解能画像中におけるノイズを含む画素の位置は、ノイズ検出の処理において既にわかっている。例えば、上述のフィルタF_aおよびフィルタF_bの組を用いてノイズ検出の処理を実行した場合であれば、 $M \times b < m \times n \times a$ または $M \times a < m \times n \times b$ が成立する画素ブロックの角部に位置する4つの画素が、ノイズを含む画素である。以下、画像を構成する画素の配列における第j行第k列に位置する画素の画素値を $V_{j,k}$ で表す。

[0174] 例えば、ノイズを含むこれらの画素の画素値を、高分解能画像に含まれる画素のうち、ノイズを含まない画素の画素値の平均値で置き換えることにより、高分解能画像からノイズを除去することができる。すなわち、ノイズを含む画素の画素値およびノイズ除去後の画素値をそれぞれ $V_{p,q}$ および $V'_{p,q}$ とし、ノイズを含まない画素の数をWとすれば、画素値 $V'_{p,q}$ を以下の式（1）によって求めることができる。

$$[0175] \quad V'_{p,q} = (\sum' V_{p,q}) / (J \times K - W) \quad (1)$$

式（1）中、分子の「 $\sum'$ 」は、画素アレイに含まれる画素のうち、ノイズを含まない画素にわたる和を表し、分母の「 $\times$ 」は、乗算を表す。なお、

ノイズを含む画素の位置がサブ画像ごとに求められている場合には、ノイズ除去の処理をサブ画像ごとに実行してもよい。

[0176] (ノイズ除去方法の第2の例)

ノイズを含む画素の画素値を、ノイズを含む画素の近傍の画素の画素値を用いて算出される画素値で置き換えてもよい。例えば、ノイズを含む画素の上下に隣接する2つの画素の画素値の平均と、ノイズを含む画素の左右に隣接する2つの画素の画素値の平均とを求め、これらの平均値を、ノイズを含む画素の画素値と置き換えてもよい。すなわち、ノイズを含む画素の画素値 $V_{p,q}$ を、以下の式(2)によって算出される画素値 $V'_{p,q}$ に置き換えることによってノイズを除去してもよい。

$$[0177] \quad V'_{p,q} = (V_{p-1,q} + V_{p+1,q} + V_{p,q-1} + V_{p,q+1}) / 4 \quad (2)$$

このように、ノイズを含む画素の近傍の画素を用いてノイズを含む画素を補間してもよい。平均値の算出に用いる画素は、例えばノイズを含む画素の4近傍であってもよいし、8近傍であってもよい。あるいは、ニアレストネイバー法、バイリニア法、バイキュービック法などを応用して、ノイズを含む画素の画素値を、ノイズを含む画素の近傍の画素の画素値から推定してもよい。

[0178] (ノイズ除去方法の第3の例)

また、例えば、高分解能画像を構成する複数のサブ画像のそれぞれに対応する複数の照射方向とはさらに異なる照射方向から照明光で照射して、さらに別のサブ画像の取得を行い、ノイズを含む画素を、このサブ画像の画素で置き換える(補完する)ことによってノイズを除去してもよい。

[0179] 再び図17Bを参照する。例えば、図17Bに示す照射方向から照明光が照射された場合には、被写体2のうち、領域B2およびB3と不図示の光源との間にゴミDが介在するので、領域B2およびB3を示す正確な像は得られない。図17Bに示す例では、サブ画像Sbdにおける画素Pb2およびPb3は、暗画素である。

[0180] ここで、図21に示すように、上述の第1～第4照射方向とはさらに異なる

る第5照射方向R5から被写体2を照射することにより、第5のサブ画像S_eを取得する。図21に示す第5照射方向R5から照明光が照射された場合には、被写体2の領域B2およびB3のいずれにも照射光が入射しており、領域B2およびB3を透過した光がフォトダイオード4pに入射している。そのため、このときに得られるサブ画像S_eに含まれる画素P_e2およびP_e3は、それぞれ、被写体2の領域B2の像および被写体2の領域B3の像を示す。したがって、図17Bに示すサブ画像S_bdにおける画素P_b2およびP_b3を、図21に示すサブ画像S_eにおける画素P_e2およびP_e3でそれぞれ置き換えることにより、被写体2の領域B2およびB3の像を完全に再現することが可能である。

[0181] すなわち、以下の式(3)に示すように、高分解能画像においてサブ画像S_bdの画素P_b2に対応する画素の画素値V'₂として、画素P_b2の画素値V_b2に代えて、サブ画像S_eの画素P_e2の画素値V_e2を用いればよい。同様に、以下の式(4)に示すように、高分解能画像においてサブ画像S_bdの画素P_b3に対応する画素の画素値V'₃として、画素P_b3の画素値V_b3に代えて、サブ画像S_eの画素P_e3の画素値V_e3を用いればよい。

$$[0182] \quad V'_2 = V_e2 \quad (3)$$

$$V'_3 = V_e3 \quad (4)$$

このように、本開示の実施形態によれば、ある照射方向からの照射では取得できなかった被写体2のある領域の像を、他の照射方向からの照射によって取得することができる。このときに得られた像を利用することにより、被写体のより正確な像を高分解能画像において再現することが可能である。

[0183] 例えば、図18Aおよび図18Bに示すサブ画像と、これらのサブ画像の取得時の照射方向とは異なる照射方向から照明光が照射された場合に取得されるサブ画像に基づいて、図22に示すような、ノイズの無い高分解能画像を形成し得る。図22に例示する高分解能画像HR1では、図18Aおよび図18Bに示すゴミDの像DPが除去され、かつ、被写体2の像が完全に再

現されている。なお、図 18 A および図 18 B に示すサブ画像の分解能は、イメージセンサ 4 の固有分解能に等しく、図 22 に示す高分解能画像 H R 1 の分解能は、イメージセンサ 4 の固有分解能よりも高い。

[0184] (ノイズ除去方法の第 4 の例)

以下に説明するように、ノイズを含む画素の画素値を、補正された画素値に置き換えることによってノイズを除去してもよい。

[0185] 図 23 A は、上述した第 1 照射方向（図 2 A および図 2 B 参照）から照明光が照射された場合に得られるサブ画像の他の一例を示す。図 23 A に示す例では、フォトダイオード 4 p s および 4 p t の直上に、被写体 2 の一部である領域 A 5 および A 6 がそれぞれ位置しており、被写体 2 の領域 A 5 および A 6 の上方にゴミ D が存在している。なお、この例では、被写体 2 は、フォトダイオード 4 p s および 4 p t の左側に位置するフォトダイオード 4 p x、4 p y および 4 p z との重なりを有しておらず、また、ゴミ D は、フォトダイオード 4 p x、4 p y および 4 p z との重なりを有していない。

[0186] 図 23 A では、第 1 照射方向から照明光が照射された場合に得られるサブ画像の他の一例であるサブ画像 S f と、そのサブ画像 S f に含まれる画素の画素値 B r を模式的に示す棒グラフとをあわせて 1 枚の図に示している。図 23 A において上側に示すように、フォトダイオード 4 p x、4 p y および 4 p z の上方には、被写体 2 およびゴミ D のいずれも存在していない。フォトダイオード 4 p x、4 p y および 4 p z には、透明プレート 8 を透過した照明光がそのまま入射する。したがって、フォトダイオード 4 p x、4 p y および 4 p z に対応する画素 P f 1、P f 2 および P f 3 は、比較的高い画素値を示す。図 23 A において下側に示すように、画素 P f 1 ~ P f 3 が示す画素値 V f 1 ~ V f 3 は、ほぼ一様な比較的高い値である。一方、フォトダイオード 4 p s および 4 p t に対応する画素 P f 5 および P f 6 は、暗画素であり、画素 P f 5 および P f 6 が示す画素値 V f 5 および V f 6 は、画素値 V f 1 ~ V f 3 と比較して小さい。

[0187] 図 23 A に示す例では、被写体 2 の領域 A 5 と不図示の光源との間にゴミ

Dが介在するので、領域A 5に入射する光の量は、ゴミDが存在しない場合と比較して低下する。しかしながら、光源からフォトダイオード4 p sに向かって進行する光の全てがゴミDによって遮蔽されるわけではないので、光源から領域A 5に向かって進行する光の少なくとも一部が、領域A 5に入射する。領域A 5に入射した光の少なくとも一部が、フォトダイオード4 p sに入射する。したがって、フォトダイオード4 p sによって取得される画素P f 5は、領域A 5に関する情報を含んでいる。このように、透明プレート8上にゴミDが存在するからといって、ゴミDと重なる位置にある領域A 5に関する情報の全てが失われるわけではない。フォトダイオード4 p tによって取得される画素P f 6についても同様である。

[0188] 図2 3 Bは、図2 3 Aに示す状態から、上述した第2照射方向（図3 Aおよび図3 B参照）に照射方向を変更したときに得られるサブ画像の一例を示す。図2 3 Bにおいても、このときに得られるサブ画像S gと、そのサブ画像S gに含まれる画素の画素値B rを模式的に示す棒グラフとをあわせて1枚の図に示している。

[0189] 図2 3 Bに示す状態においては、フォトダイオード4 p sおよびフォトダイオード4 p tには、ゴミDを透過せずに被写体を透過した光が入射している。ただし、ここでは、フォトダイオード4 p sおよびフォトダイオード4 p tには、それぞれ、被写体2において領域A 5の右側に隣接する領域B 5を透過した光、および、領域A 6の右側に隣接する領域B 6を透過した光が入射している。つまり、第2照射方向から照射を行うことによって、領域A 5および領域A 6の像は得られない。フォトダイオード4 p sおよびフォトダイオード4 p tに対応する画素P g 5およびP g 6は、それぞれ、被写体2の領域A 5および領域A 6ではなく、領域B 5および領域B 6の像を示す。そのため、図2 3 Bの下側に示す棒グラフでは、画素P g 5およびP g 6の画素値の図示は省略している。

[0190] 図2 3 Bに示す状態においては、フォトダイオード4 p xと不図示の光源との間には、ゴミDおよび被写体2のいずれも介在しておらず、フォトダイ

オード4 p xには、透明プレート8を透過した照明光がそのまま入射する。したがって、フォトダイオード4 p xに対応する画素P g 1は、図2 3 Aに示すサブ画像S fにおける画素P f 1と同様に、比較的高い画素値V g 1を示す。

[0191] これに対し、フォトダイオード4 p yおよび4 p zと不図示の光源との間には、ゴミDが介在しているので、フォトダイオード4 p yおよび4 p zは、ゴミDを透過した光を受ける。したがって、フォトダイオード4 p yおよび4 p zに入射する光の量は、フォトダイオード4 p xに入射する光の量と比較して小さい。フォトダイオード4 p yおよび4 p zに対応する画素P g 2およびP g 3は、それぞれ、画素値V g 1よりも低い画素値V g 2およびV g 3を示す。この例では、 $V g 1 > V g 2 > V g 3$ である。画素P g 2およびP g 3は、ゴミDの像を示す画素であるといえる。

[0192] 図2 3 Cは、図2 3 Aを参照して説明した画素P f 5およびP f 6の画素値V f 5およびV f 6と、図2 3 Bを参照して説明した画素P g 1～P g 3の画素値V g 1～V g 3とをあわせて示す。図2 3 Aを参照して説明したように、画素P f 5およびP f 6は、それぞれ、被写体2の領域A 5およびA 6に関する情報を含んでいる。ただし、領域A 5およびA 6には、ゴミDを透過した光が入射するので、画素P f 5およびP f 6は、ゴミDが存在しないときに得られる本来の画素値よりも低い画素値を示す。したがって、画素P f 5およびP f 6が示す画素値V f 5およびV f 6に、ゴミDを透過することによる光量の低下分に相当する画素値を加算してやれば、ゴミDの影響をキャンセルした、本来の画素値を再現できると考えられる。

[0193] ゴミDを透過することによって低下した光量に相当する画素値は、以下のようにして見積もることができる。図2 3 Bを参照して説明したように、第2の照射方向から照明光が照射された場合には、フォトダイオード4 p xは、透明プレート8をそのまま透過した光を受ける。つまり、フォトダイオード4 p xによって取得される画素P g 1は、ゴミDの像および被写体2の像のいずれも含まない画素である。一方、フォトダイオード4 p yおよび4 p

zは、第2の照射方向から照明光が照射された場合には、ゴミDを透過し被写体2には入射しない光を受ける。つまり、画素P_{g2}およびP_{g3}は、ゴミDの像を含み、かつ、被写体2の像を含まない画素である。以上のことから、画素P_{g1}が示す画素値V_{g1}と画素P_{g2}が示す画素値V_{g2}との差d₁₂、および、画素P_{g1}が示す画素値V_{g1}と画素P_{g3}が示す画素値V_{g3}との差d₂₃は、照明光がゴミDを透過することによる光量の低下分を反映した値であるといえることができる。

[0194] 例えば、第1の照射方向から照明光が照射された場合にフォトダイオード4_{ps}に向かう光は、ゴミDにおけるある領域を透過する。図23Cに示すように、第2の照射方向から照明光が照射された場合にフォトダイオード4_{py}に向かう光も、ゴミDにおける、その領域を透過している。したがって、画素値の差d₁₂を、第1の照射方向から照明光が照射された場合に得られた画素P_{f5}の画素値V_{f5}に加算してやれば、ゴミDによる光量の低下分をキャンセルできるといえる。すなわち、画素P_{f5}の画素値V_{f5}を、以下の式(5)によって求められる画素値V_{f'}₅に置き換えてやることによって、領域A₅の本来の像を再現し得る。

$$[0195] \quad V_{f'5} = V_{f5} + d_{12} = V_{f5} + (V_{g1} - V_{g2}) \quad (5)$$

同様に、画素P_{g1}が示す画素値V_{g1}と画素P_{g3}が示す画素値V_{g3}との差d₂₃を、第1の照射方向から照明光が照射された場合に得られた画素P_{f6}の画素値V_{f6}に加算してやれば、ゴミDによる光量の低下分をキャンセルし得る。すなわち、画素P_{f6}の画素値V_{f6}を、以下の式(6)によって求められる画素値V_{f'}₆に置き換えてやればよい。

$$[0196] \quad V_{f'6} = V_{f6} + d_{23} = V_{f6} + (V_{g1} - V_{g3}) \quad (6)$$

なお、ゴミDの像および被写体2の像のいずれも含まない画素の画素値から差し引く画素値として、必ずしも、異なる照射方向の間でゴミDにおける同一の領域を透過した光を受けるフォトダイオードに対応する画素値を用いる必要はない。例えば、この例では、第1の照射方向から照明光が照射された場合にフォトダイオード4_{pt}に入射する光と、第2の照射方向から照明

光が照射された場合にフォトダイオード4 p zに入射する光とは、ゴミDの同じ領域を透過している。そのため、フォトダイオード4 p zに対応する画素P g 3の画素値V g 3を画素値V g 1から差し引いた値d 2 3を用いて画素値V f' 6を求めている。しかしながら、画素値V f 6に、差d 1 2を加算することによっても、領域A 6の像が示すべき本来の画素値に近い画素値を再現し得る。

[0197] 図1 A～図6を参照して説明した原理を用いた高分解能化においては、斜め方向からの照射を含む複数の照射方向から照明光で被写体を照射することによって撮像を行う。そのため、典型的には、高分解能化の過程において、ゴミDの像および被写体2の像のいずれも含まない画素の画素値（ここではV g 1）と、ゴミDの像を含み、かつ、被写体2の像を含まない画素の画素値（ここではV g 2およびV g 3）が得られる。この第4の例によれば、被写体の像を示さない画素の画素値をノイズの除去に活用するので、照射方向を変えて余分に撮像を実行する必要がない。

[0198] このように、ノイズを含む画素の画素値（例えばV f 5）に、ゴミDの像および被写体2の像のいずれも含まない画素の画素値（例えばV g 1）と、ゴミDの像を含み、かつ、被写体2の像を含まない画素の画素値（例えばV g 2）との差を加算することによってノイズを除去することが可能である。なお、サブ画像が暗画素を含んでいなければ、フォトダイオードに入射する光量の低下分をキャンセルするためのこのような補正は不要である。したがって、画素値の補正は、サブ画像の全てについて実行されないこともある。

[0199] なお、上述したように、フォトダイオード4 pの表面から被写体2までの距離が1 μ m程度であることに対して、透明プレート8（ここではスライドガラス）の厚さは、典型的には1 mm程度である。すなわち、現実的には、透明プレート8は、図2 3 Cにおいて矢印T hにより模式的に示す厚さよりも極めて大きな厚さを有する。そのため、照射方向をわずかに変えても、サブ画像においてゴミDの像を示す画素の位置が大きく変化する。つまり、透明プレート8が大きな厚さを有すると、ゴミDの像を示す画素と被写体2の

像を示す画素とを分離しやすいので有利である。

[0200] サブ画像に含まれる画素のうち、どの画素が、ゴミDの像を含み、かつ、被写体2の像を含まない画素（例えば画素Pg2およびPg3）であるかは、例えば、上述のノイズ検出方法を応用することによって判定することが可能である。特に、透明プレート8が大きな厚さを有すると、図17Cおよび図17Dを参照して説明した暗画素のパターンと同様の、ゴミDの像を示す画素のパターンが、被写体2の像を示す画素から離れた位置に明瞭に現れるので有利である。ゴミDの像および被写体2の像のいずれも含まない画素（例えば画素Pg1）は、サブ画像または高分解能画像における周縁部において一様に高い画素値を示すので、容易に検出し得る。

[0201] 上述した例の他、ノイズを含む画素の画素値を、高分解能画像において隣接する他の画素の画素値と置き換えてもよい。つまり、ある照射方向から照明光で照射したときに、被写体のある領域を通過した光が入射するフォトダイオードで得られた画素値がノイズを含む場合には、その領域の像を示す画素値として、他のある照射方向から照明光で照射したときに、被写体においてその領域に隣接する領域を通過した光が入射するフォトダイオードで得られる画素値を採用してもよい。

[0202] 上述のノイズ除去方法は、互いに組み合わせられてもよい。例えば、画素の画素値の推定と補完とを組み合わせ用いてもよい。

[0203] （ノイズ検出処理およびノイズ除去処理の組み合わせの具体例）

図24Aは、フィルタを利用したノイズ検出処理とノイズ除去処理との組み合わせの一例を示すフローチャートである。以下では、簡単のため、高分解能画像を構成する複数のサブ画像が既に取得されている場合を例にとって説明する。これらの画像群は、例えばメモリ160（図11参照）に一時的に保存されている。

[0204] 図24Aに示す例では、フィルタを利用したノイズ検出処理後に、上述したノイズ除去方法の第1の例を適用する。まず、ステップS42において、複数のサブ画像を用いて高分解能画像を形成する。この段階では、高分解能

画像は、フォトダイオード4 pの表面に対して被写体2とは異なる距離にある異物に起因するノイズを含んでいる。

[0205] 次に、ステップS 4 4において、画素の座標を指定するための変数 j および k の初期化を行う。 j および k は、整数値をとる変数であり、ここでは j および k にそれぞれ1を代入する。

[0206] 次に、ステップS 4 6において、高分解能画像における画素ブロックにフィルタを適用することにより、 $M \times a$ 、 $m \times n \times a$ 、 $M \times b$ および $m \times n \times b$ を算出する。例えば、3行3列の画素ブロックに、上述のフィルタ $F \times a$ および $F \times b$ を適用する。

[0207] 次に、ステップS 4 8において、 $M \times b < m \times n \times a$ または $M \times a < m \times n \times b$ が成立するか否かを判定する。 $M \times b < m \times n \times a$ または $M \times a < m \times n \times b$ が成立する場合には、処理がステップS 4 9に進められる。 $M \times b < m \times n \times a$ および $M \times a < m \times n \times b$ のいずれも成立しない場合は、ステップS 4 9がスキップされ、処理がステップS 5 2に進められる。

[0208] $M \times b < m \times n \times a$ または $M \times a < m \times n \times b$ が成立する場合、画素ブロックの角部に位置する4つの画素が、ノイズを含む画素であると判断できるので、ステップS 4 9において、ノイズを含む画素の座標値に関する情報を例えばメモリ160に保存する。例えば、このときの j および k の値をメモリ160に保存する。

[0209] 次に、ステップS 5 2において変数 j をインクリメントし、ステップS 5 4において、 $j > (J - 2)$ であるか否かの判定を行う。ここで、 J は、高分解能画像に含まれる画素の行の数である。 $j \leq (J - 2)$ であれば、処理がステップS 4 6に戻される。 $j > (J - 2)$ であれば、処理はステップS 5 6に進められ、 j に1が代入されるとともに k がインクリメントされる。その後、ステップS 5 8において、 $k > (K - 2)$ であるか否かの判定を行う。ここで、 K は、高分解能画像に含まれる画素の列の数である。 $k \leq (K - 2)$ であれば、処理がステップS 4 6に戻される。すなわち、高分解能画像中の画素ブロックの全てについて、ノイズを含む画素の検出の処理が実行

される。 $k > (K - 2)$ であれば、処理はステップS 5 1に進められる。

[0210] ステップS 5 1において、ノイズを含む画素の画素値を、ノイズを含まない画素の画素値から算出される画素値に置き換える。ノイズを含む画素の位置は、メモリ160に格納された j および k の値から判定できる。ここでは、ノイズを含む画素の画素値 $V_{p,q}$ を、上述の式(1)によって求められる画素値 $V'_{p,q}$ に一括して置き換える。その後、処理はステップS 3 8に進められ、ノイズ除去後の高分解能画像が、必要に応じて外部装置などに出力される。

[0211] 図24Bは、フィルタを利用したノイズ検出処理とノイズ除去処理との組み合わせの他の一例を示すフローチャートである。図24Bに示す例では、ノイズ除去処理に、上述の第2の例を適用する。以下では、図24Aを参照して説明した処理と共通のステップの説明は繰り返さない。

[0212] 図24Bに示す例では、ステップS 4 8において、 $M \times b < m \times n \times a$ または $M \times a < m \times n \times b$ が成立すると判定されると、処理がステップS 6 0に進められる。ステップS 6 0において、座標値が (j, k) 、 $(j + 2, k)$ 、 $(j, k + 2)$ および $(j + 2, k + 2)$ の4つの画素の画素値が他の画素値に置き換えられる。この例では、ノイズを含む画素の画素値を、ノイズを含む画素の近傍の画素の画素値を用いて算出される画素値で置き換える。例えば座標値が (j, k) の画素については、その画素の画素値を、その画素の4近傍の画素の画素値の平均に置き換える。言い換えれば、上述の式(2)によって求められる画素値に置き換える。なお、画素ブロックが高分解能画像における周縁部に位置するために、ノイズを含む画素の4近傍の画素のいくつかが得られない場合には、欠落した画素の画素値として例えば0を用いればよい。

[0213] その後、処理がステップS 5 2に進められ、高分解能画像中の画素ブロックの全てについて、ノイズを含む画素の検出および置き換えの処理が実行される。ステップS 5 8において $k > (K - 2)$ と判定されると、処理がステップS 3 8に進められ、一連の処理が終了する。

[0214] 図24Cは、フィルタを利用したノイズ検出処理とノイズ除去処理との組み合わせのさらに他の一例を示すフローチャートである。図24Cに示す例

では、ノイズ除去処理に、上述の第3の例を適用する。ここでは、簡単のため、高分解能画像を構成する複数のサブ画像に加えて、ノイズを含む画素の置き換えに用いるためのサブ画像が既に取得されている場合を例にとって説明する。ノイズを含む画素の置き換えに用いるためのサブ画像は、例えばメモリ160（図11参照）に一時的に保存されている。ノイズを含む画素の置き換えに用いるためのサブ画像の枚数は1枚に限定されず、複数枚であり得る。

[0215] 図24Cに示す例では、ステップS48において、 $M \times b < m \times n \times a$ または $M \times a < m \times n \times b$ が成立すると判定されると、処理がステップS50に進められる。ステップS50において、座標値が (j, k) 、 $(j+2, k)$ 、 $(j, k+2)$ および $(j+2, k+2)$ の4つの画素の画素値が他の画素値に置き換えられる。ここでは、ノイズを含むこれらの画素を、被写体の所定の領域の像を示す、ノイズを含まない画素に置き換える。ノイズを含まない画素は、高分解能画像を構成しているサブ画像の取得時とは異なる照射方向から照明光が照射された場合に取得される画像に含まれる画素である。

[0216] 以降の処理は、図24Bに示す例と同様である。すなわち、高分解能画像中の画素ブロックの全てについて、ノイズを含む画素の検出および置き換への処理が実行される。

[0217] 図24Dは、フィルタを利用したノイズ検出処理とノイズ除去処理との組み合わせのさらに他の一例を示すフローチャートである。図24Dに示す例では、ノイズ除去処理に、上述の第4の例を適用する。

[0218] 図24Dに示す例では、ステップS48において、 $M \times b < m \times n \times a$ または $M \times a < m \times n \times b$ が成立すると判定されると、処理がステップS70に進められる。ステップS70において、座標値が (j, k) 、 $(j+2, k)$ 、 $(j, k+2)$ および $(j+2, k+2)$ の4つの画素の画素値が他の画素値に置き換えられる。この例では、ノイズを含む画素の画素値を、補正された画素値に置き換える。具体的には、ノイズを含む画素の画素値に、異物の像および被写体の像のいずれも含まない画素の画素値と、異物の像を含み、かつ、被写体

の像を含まない画素の画素値との差 d を加算する。差 d は、高分解能画像の形成のステップ S 4 2 の前または後にあらかじめ求めておけばよい。ステップ S 7 0 に続く処理は、図 2 4 B および図 2 4 C に示す例と同様である。

[0219] <モジュールに用いられるイメージセンサ>

なお、本開示の実施形態において、イメージセンサ 4 は、CCD イメージセンサに限定されず、CMOS (Complementary Metal-Oxide Semiconductor) イメージセンサ、または、その他のイメージセンサ（一例として、後述する光電変換膜積層型イメージセンサ）であってもよい。CCD イメージセンサおよび CMOS イメージセンサは、表面照射型または裏面照射型のいずれであってもよい。以下、イメージセンサの素子構造と、イメージセンサのフォトダイオードまたは光電変換膜に入射する光の関係を説明する。

[0220] 図 2 5 は、CCD イメージセンサの断面構造と、被写体の相対的な透過率 T_d の分布の例とを示す。図 2 5 に示すように、CCD イメージセンサは、概略的には、基板 8 0 と、基板 8 0 上の絶縁層 8 2 と、絶縁層 8 2 内に配置された配線 8 4 とを有している。基板 8 0 には、複数のフォトダイオード 8 8 が形成されている。配線 8 4 上には、遮光層（図 2 5 において不図示）が形成される。ここでは、トランジスタなどの図示は省略している。以下の図面においてもトランジスタなどの図示を省略する。なお、概略的には、表面照射型 CMOS イメージセンサにおけるフォトダイオード近傍の断面構造は、CCD イメージセンサにおけるフォトダイオード近傍の断面構造とほぼ同様である。そのため、ここでは、表面照射型 CMOS イメージセンサの断面構造の図示および説明を省略する。

[0221] 図 2 5 に示すように、照明光が撮像面の法線方向から入射する場合、被写体のうち、フォトダイオード 8 8 の直上にある領域 R 1 を透過した光は、フォトダイオード 8 8 に入射する。一方、被写体のうち、配線 8 4 上の遮光層の直上にある領域 R 2 を透過した光は、イメージセンサの遮光領域（遮光膜が形成された領域）に入射する。したがって、撮像面の法線方向から照射した場合には、被写体のうち、フォトダイオード 8 8 の直上にある領域 R 1 を

示す画像が得られる。

[0222] 遮光膜の直上にある領域を示す画像を取得するためには、領域 R 2 を透過した光がフォトダイオード 88 に入射するように、撮像面の法線方向に対して傾いた方向から照射を行えばよい。このとき、照射方向によっては、領域 R 2 を透過した光のうちの一部が、配線 84 によって遮られることがある。図示する例では、ハッチングによって示す部分を通る光線はフォトダイオード 88 には届かない。そのため、斜め入射においては、画素値が幾分低下することがある。しかしながら、透過光の全てが遮られるわけではないので、このときに得られたサブ画像を用いた高分解能画像の形成は可能である。

[0223] 図 26 および図 27 は、裏面照射型 CMOS イメージセンサの断面構造と、被写体の相対的な透過率 T_d の分布の例とを示す。図 26 に示すように、裏面照射型 CMOS イメージセンサでは、斜め入射の場合であっても透過光が配線 84 によって遮られることがない。ただし、被写体のうち、撮像を行いたい領域とは異なる他の領域を透過した光（図 26 および後述する図 27 中、太い矢印 BA で模式的に示す光）が基板 80 に入射することによってノイズが発生し、サブ画像の品質が劣化するおそれがある。このような劣化は、図 27 に示すように、基板においてフォトダイオードが形成された領域以外の領域上に遮光層 90 を形成することにより低減することが可能である。

[0224] 図 28 は、有機材料または無機材料で形成した光電変換膜を備えるイメージセンサ（以下、「光電変換膜積層型イメージセンサ」と呼ぶ。）の断面構造と、被写体の相対的な透過率 T_d の分布の例とを示す。

[0225] 図 28 に示すように、光電変換膜積層型イメージセンサは、概略的には、基板 80 と、複数の画素電極が設けられた絶縁層 82 と、絶縁層 82 上の光電変換膜 94 と、光電変換膜 94 上の透明電極 96 とを有している。図示するように、光電変換膜積層型イメージセンサでは、半導体基板に形成されるフォトダイオードの代わりに、光電変換を行う光電変換膜 94 が基板 80（例えば半導体基板）上に形成されている。光電変換膜 94 および透明電極 96 は、典型的には、撮像面の全体にわたって形成される。ここでは、光電変

換膜 94 を保護する保護膜の図示を省略している。

[0226] 光電変換膜積層型イメージセンサでは、光電変換膜 94 における入射光の光電変換によって発生した電荷（電子または正孔）が画素電極 92 によって集められる。これにより、光電変換膜 94 に入射した光の量を示す値が得られる。したがって、光電変換膜積層型イメージセンサでは、撮像面において、1つの画素電極 92 を含む単位領域が1つの単位画素セルに相当するといえる。光電変換膜積層型イメージセンサでは、裏面照射型 CMOS イメージセンサと同様に斜め入射の場合であっても透過光が配線によって遮られることがない。

[0227] 図 1 A～図 6 を参照して説明したように、高分解能画像の形成においては、被写体の異なる部分から構成される像を示す複数のサブ画像が用いられる。ところが、典型的な光電変換膜積層型イメージセンサでは、撮像面の全体にわたって光電変換膜 94 が形成されているので、例えば垂直入射の場合であっても、被写体の所望の領域以外の領域を透過した光によっても光電変換膜 94 において光電変換が生じ得る。このときに発生した余分な電子または正孔が画素電極 92 に引き込まれると、適切なサブ画像が得られないおそれがある。したがって、画素電極 92 と透明電極 96 とが重なる領域（図 28 において網掛けされた領域）において発生した電荷を画素電極 92 に選択的に引き込むことが有益である。

[0228] 図 28 に例示する構成では、画素電極 92 のそれぞれと対応して、画素内にダミー電極 98 が設けられている。被写体の像の取得時、画素電極 92 とダミー電極 98 との間には、適切な電位差が与えられる。これにより、画素電極 92 と透明電極 96 とが重なる領域以外の領域で発生した電荷をダミー電極 98 に引き込み、画素電極 92 と透明電極 96 とが重なる領域で発生した電荷を選択的に画素電極 92 に引き込むことができる。なお、透明電極 96 または光電変換膜 94 のパターンニングによっても、同様の効果を得ることが可能である。このような構成においては、光電変換膜 94 のうち、画素電極 92 との重なり有する領域（図 28 において網掛けされた領域）が、CC

DイメージセンサおよびCMOSイメージセンサにおけるフォトダイオード（光電変換部）に相当するといえる。したがって、単位画素セルの面積 S_1 に対する画素電極92の面積 S_3 の比率（ S_3/S_1 ）が、「開口率」に相当する。

[0229] 既に説明したように、 N を2以上の整数とすると、イメージセンサ4の開口率が近似的に $1/N$ に等しければ、最大 N 倍の高分解能化が可能になる。言い換えれば、開口率が小さい方が高分解能化には有利である。光電変換膜積層型イメージセンサでは、画素電極92の面積 S_3 を調整することによって、開口率に相当する比率（ S_3/S_1 ）を調整することが可能である。この比率（ S_3/S_1 ）は、例えば10%～50%の範囲に設定される。比率（ S_3/S_1 ）が上記の範囲内にある光電変換膜積層型イメージセンサは、超解像に用いられ得る。

[0230] なお、図25および図27からわかるように、CCDイメージセンサおよび裏面照射型CMOSイメージセンサにおいて被写体と対向する表面は平坦ではない。例えば、CCDイメージセンサでは、その表面に段差が存在する。また、裏面照射型CMOSイメージセンサでは、高分解能画像を形成するためのサブ画像を取得するには、パターニングされた遮光層を撮像面上に設けることが必要であり、被写体と対向する表面は平坦ではない。

[0231] これに対し、光電変換膜積層型イメージセンサの撮像面は、図28からわかるように、ほぼ平坦な面である。したがって、撮像面上に被写体を配置した場合であっても、撮像面の形状に起因する被写体の変形がほとんど生じない。言い換えれば、光電変換膜積層型イメージセンサを用いてサブ画像を取得することによって、被写体のより詳細な構造を観察し得る。

[0232] 本明細書において説明される上述の種々の態様は、矛盾が生じない限り互いに組み合わせることが可能である。

産業上の利用可能性

[0233] 本開示の実施形態によれば、光電変換部の表面に対して被写体とは異なる距離にある異物に起因するノイズを検出および除去することが可能である。

本開示の技術は、高分解能画像の形成において特に有用である。本開示の実施形態によれば、イメージセンサの固有分解能を超える分解能を実現する高分解能化技術の実用性が向上し得る。高分解能画像は、例えば病理診断の場面において有益な情報を提供する。

符号の説明

[0234]	2	被写体
	7	センサユニット
	8	透明プレート
	10	モジュール
	30a	照明システム
	31	光源
	32	ステージ
	33	ステージ駆動機構
	100	画像取得装置
	140	画像形成装置
	150	画像処理装置
	1000	画像形成システム

請求の範囲

[請求項1]

画像形成システムであって、

前記画像形成システムは、画像取得装置、画像処理回路、および、画像形成回路を含み、

前記画像取得装置は、複数の光電変換部を含む撮像素子と第1部分および前記第1部分に隣接する第2部分を含む被写体とが一体化されたモジュールにおける前記被写体に向けて第1方向から第1の照明光を出射し、前記第1の照明光の出射の後に、前記第1方向とは異なる第2方向から第2の照明光を前記被写体に向けて出射する照明システムを有し、

前記複数の光電変換部は、前記第1の照明光が前記被写体を通過して得られる第1変換光に基づいて、第1画素値を含む第1の複数の画素値を取得し、前記第2の照明光が前記被写体を通過して得られる第2変換光に基づいて、第2画素値を含む第2の複数の画素値を取得し、

前記複数の光電変換部は、第1光電変換部と、第2光電変換部とを含み、

前記第1光電変換部は、前記第1の照明光のうちの一部が前記第1部分を通過して得られる、前記第1変換光のうちの一部に基づいて、前記第1画素値を出力し、

前記第2光電変換部は、前記第2の照明光のうちの一部が前記第2部分を通過して得られる、前記第2変換光のうちの一部に基づいて、前記第2画素値を出力し、

前記第1光電変換部と前記第2光電変換部は、同一、または、前記撮像素子において隣接し、

前記画像処理回路は、前記第1画素値および前記第2画素値の間の差分の絶対値が、予め設定した閾値よりも大きいか否かを判定し、

前記画像形成回路は、前記第1の複数の画素値および前記第2の複

数の画素値に基づいて画像を生成し、

前記生成される画像の画素値の数は、前記第1の複数の画素値の数よりも多く、かつ、前記生成される画像の画素値の数は、前記第2の複数の画素値の数よりも多い、画像形成システム。

[請求項2] 前記画像処理回路は、前記第1画素値および前記第2画素値の間の差分の絶対値が、予め設定した閾値よりも大きく、かつ、前記第1画素値が前記第2画素値より小さい場合には、前記第1画素値がノイズを含む画素の画素値であると判定し、

前記第1画素値および前記第2画素値の間の差分の絶対値が、予め設定した閾値よりも大きく、かつ、前記第1画素値が前記第2画素値より大きい場合には、前記第2画素値がノイズを含む画素の画素値であると判定する、請求項1に記載の画像形成システム。

[請求項3] 前記画像処理回路は、ノイズを含む画素と判定された画素の画素値を他の画素値で置き換える、請求項2に記載の画像形成システム。

[請求項4] 前記他の画素値は、ノイズを含む画素と判定された画素以外の画素の画素値から算出される画素値である、請求項3に記載の画像形成システム。

[請求項5] 前記他の画素値は、前記画像における、ノイズを含む画素と判定された画素の上下左右に隣接する4つの画素から構成される群である4近傍の画素値、または、ノイズを含む画素と判定された画素の上下左右に隣接する4つの画素と前記ノイズを含む画素と判定された画素の斜め方向に隣接する4つの画素とから構成される群である8近傍の画素値を用いて算出される画素値である、請求項4に記載の画像形成システム。

[請求項6] 前記他の画素値は、前記第1方向および前記第2方向のいずれとも異なる第3方向から前記被写体を照射したときに前記複数の光電変換部から出力される第3の複数の画素値のうちの1つである、請求項3に記載の画像形成システム。

- [請求項7] 前記ノイズを含む画素は、前記被写体よりも前記撮像素子の撮像面から遠い位置にある異物に起因するノイズを含む画素であり、
- 前記他の画素値は、前記ノイズを含む画素と判定された画素の画素値に、前記異物の像および前記被写体の像のいずれも含まない画素の画素値と、前記異物の像を含み、かつ、前記被写体の像を含まない画素の画素値との差を加算することによって得られる画素値である、請求項3に記載の画像形成システム。
- [請求項8] 前記画像処理回路は、前記画像形成回路が生成した前記画像から前記第1画素値および前記第2画素値を抽出し、前記第1画素値および前記第2画素値の間の差分の絶対値が、予め設定した閾値よりも大きいか否かの判定を実行する、請求項1から7のいずれかに記載の画像形成システム。
- [請求項9] 前記画像処理回路は、前記画像の一区画を構成する、複数の画素を有する画素ブロックにおける画素間の画素値の変化の大きさに基づいて、前記画像に含まれる画素のうち、前記ノイズを含む画素の画素値を検出する、請求項8に記載の画像形成システム。
- [請求項10] 前記照明システムは、1以上の光源、前記モジュールが着脱自在なステージ、および、前記ステージの姿勢を変更可能なステージ駆動機構を有する、請求項1から9のいずれかに記載の画像形成システム。
- [請求項11] 前記照明システムは、互いに異なる波長域の光を出射する複数の光源を有する、請求項10に記載の画像形成システム。
- [請求項12] 前記照明システムは、前記複数の異なる照射方向に対応した異なる位置に配置され、順次、前記第1および第2の照明光を含む複数の照明光を出射する複数の光源を有する、請求項10または11に記載の画像形成システム。
- [請求項13] 前記照明システムは、前記ステージの姿勢および前記1以上の光源の向きの少なくとも一方を変化させるゴニオ機構を含んでいる、請求項10から12のいずれかに記載の画像形成システム。

[請求項14] 複数の光電変換部を含む撮像素子と第1部分および前記第1部分に隣接する第2部分を含む被写体とが一体化されたモジュールにおける前記被写体を第1方向から第1の照明光で照射し、前記第1の照明光の照射の後に、前記第1方向とは異なる第2方向から第2の照明光で前記被写体を照射することにより、前記第1の照明光が前記被写体を通過して得られる第1変換光に基づいて、第1画素値を含む第1の複数の画素値を取得し、前記第2の照明光が前記被写体を通過して得られる第2変換光に基づいて、第2画素値を含む第2の複数の画素値を取得する工程であって、

前記複数の光電変換部は、第1光電変換部と、第2光電変換部とを含み、

前記第1光電変換部は、前記第1の照明光のうちの一部が前記第1部分を通過して得られる、前記第1変換光のうちの一部に基づいて、前記第1画素値を出力し、

前記第2光電変換部は、前記第2の照明光のうちの一部が前記第2部分を通過して得られる、前記第2変換光のうちの一部に基づいて、前記第2画素値を出力し、

前記第1光電変換部と前記第2光電変換部は、同一、または、前記撮像素子において隣接する工程と、

前記第1画素値および前記第2画素値の間の差分の絶対値が、予め設定した閾値よりも大きいか否かを判定する工程と、

前記第1の複数の画素値および前記第2の複数の画素値に基づいて、前記第1の複数の画素値の数よりも多い数の画素値を含み、かつ、前記第2の複数の画素値の数よりも多い数の画素値を含む画像を生成する工程と

を含む、画像形成方法。

[請求項15] 画像取得装置、画像処理回路、および、画像形成回路を含む画像形成システムに用いられる、複数の光電変換部を含む撮像素子であって

、

前記画像取得装置は、第1部分および前記第1部分に隣接する第2部分を含む被写体に向けて第1方向から第1の照明光を出射し、前記第1の照明光の出射の後に、前記第1方向とは異なる第2方向から第2の照明光を前記被写体に向けて出射する照明システムを有し、前記被写体を透過した光が入射する位置に配置された前記撮像素子における前記複数の光電変換部によって、前記第1の照明光が前記被写体を通過して得られる第1変換光に基づいて、第1画素値を含む第1の複数の画素値を取得し、前記第2の照明光が前記被写体を通過して得られる第2変換光に基づいて、第2画素値を含む第2の複数の画素値を取得し、

前記複数の光電変換部は、第1光電変換部と、第2光電変換部とを含み、

前記第1光電変換部は、前記第1の照明光のうちの一部が前記第1部分を通過して得られる、前記第1変換光のうちの一部に基づいて、前記第1画素値を出力し、

前記第2光電変換部は、前記第2の照明光のうちの一部が前記第2部分を通過して得られる、前記第2変換光のうちの一部に基づいて、前記第2画素値を出力し、

前記第1光電変換部と前記第2光電変換部は、同一、または、前記撮像素子において隣接し、

前記画像処理回路は、前記第1画素値および前記第2画素値の間の差分の絶対値が、予め設定した閾値よりも大きいか否かを判定し、

前記画像形成回路は、前記第1の複数の画素値および前記第2の複数の画素値に基づいて、前記第1の複数の画素値の数よりも多い数の画素値を含み、かつ、前記第2の複数の画素値の数よりも多い数の画素値を含む画像を生成し、

前記撮像素子は、

前記画像取得装置に対して着脱可能であり、

前記画像取得装置に装着された状態において前記第 1 変換光または第 2 変換光が入射する側の面に、前記被写体を配置可能な被写体支持部を備える、撮像素子。

[請求項16]

複数の光電変換部を含む撮像素子と第 1 部分および前記第 1 部分に隣接する第 2 部分を含む被写体とが一体化されたモジュールにおける前記被写体を第 1 方向から第 1 の照明光で照射し、前記第 1 の照明光の照射の後に、前記第 1 方向とは異なる第 2 方向から第 2 の照明光で前記被写体を照射することによって、前記第 1 の照明光が前記被写体を通過して得られる第 1 変換光に基づいて、第 1 画素値を含む第 1 の複数の画素値を取得し、前記第 2 の照明光が前記被写体を通過して得られる第 2 変換光に基づいて、第 2 画素値を含む第 2 の複数の画素値を取得する工程であって、

前記複数の光電変換部は、第 1 光電変換部と、第 2 光電変換部とを含み、

前記第 1 光電変換部は、前記第 1 の照明光のうちの一部が前記第 1 部分を通過して得られる、前記第 1 変換光のうちの一部に基づいて、前記第 1 画素値を出力し、

前記第 2 光電変換部は、前記第 2 の照明光のうちの一部が前記第 2 部分を通過して得られる、前記第 2 変換光のうちの一部に基づいて、前記第 2 画素値を出力し、

前記第 1 光電変換部と前記第 2 光電変換部は、同一、または、前記撮像素子において隣接する工程と、

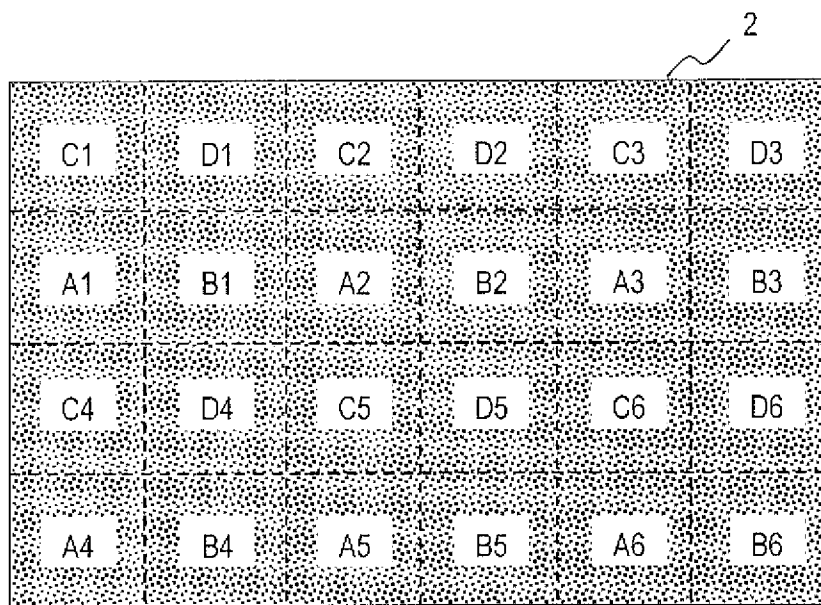
前記第 1 画素値および前記第 2 画素値の間の差分の絶対値が、予め設定した閾値よりも大きいかな否かを判定する工程と、

前記第 1 の複数の画素値および前記第 2 の複数の画素値に基づいて、前記第 1 の複数の画素値の数よりも多い数の画素値を含み、かつ、前記第 2 の複数の画素値の数よりも多い数の画素値を含む画像を生成

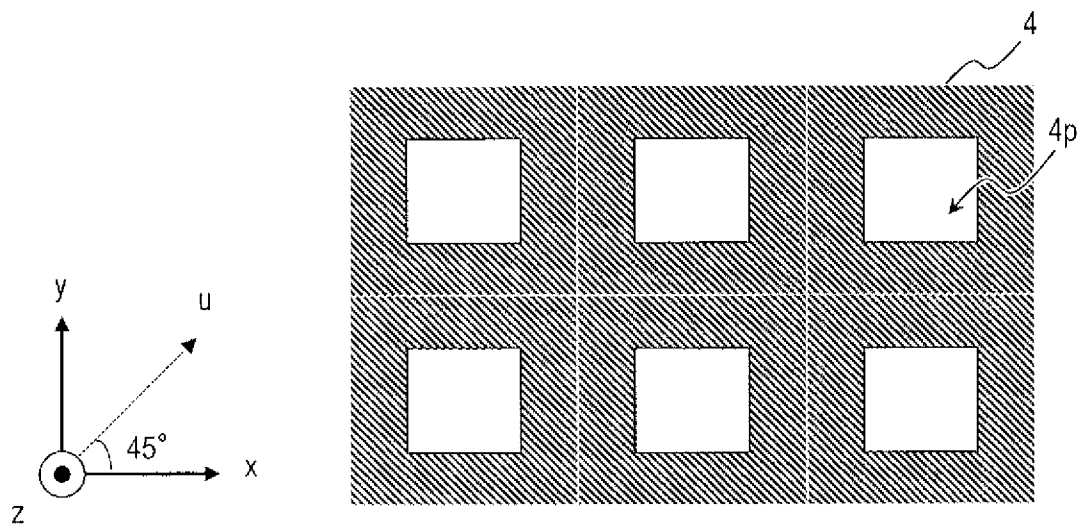
する工程と

を含む処理を 1 以上のプロセッサに実行させるための命令を含む、プログラム。

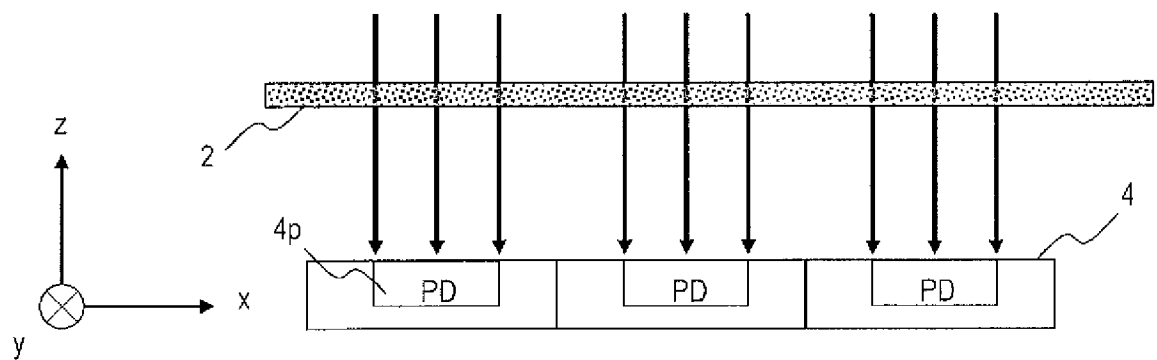
[図1A]



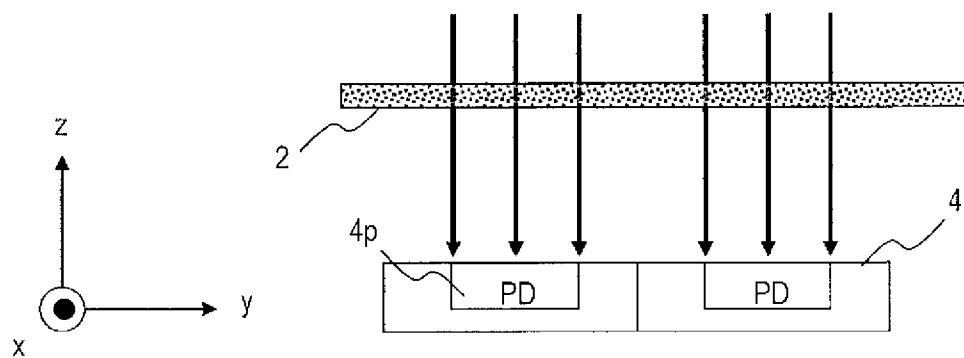
[図1B]



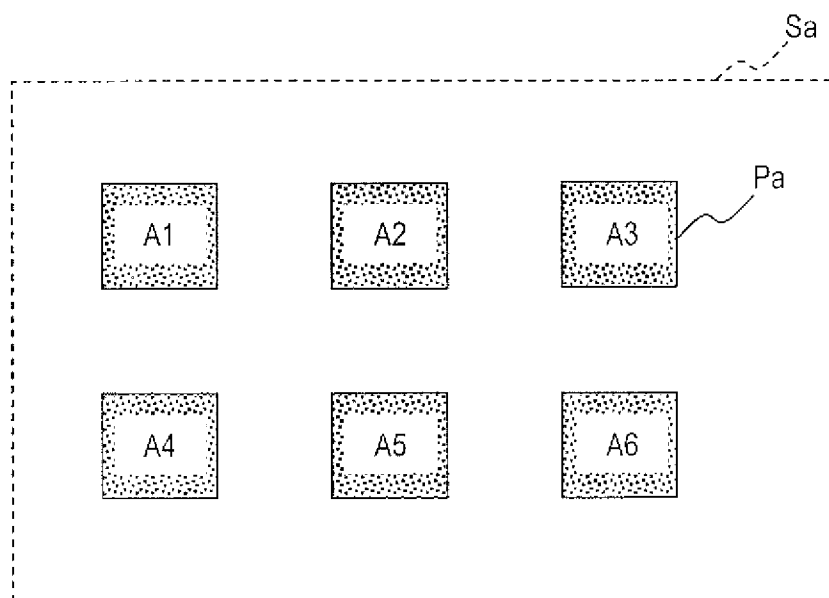
[図2A]



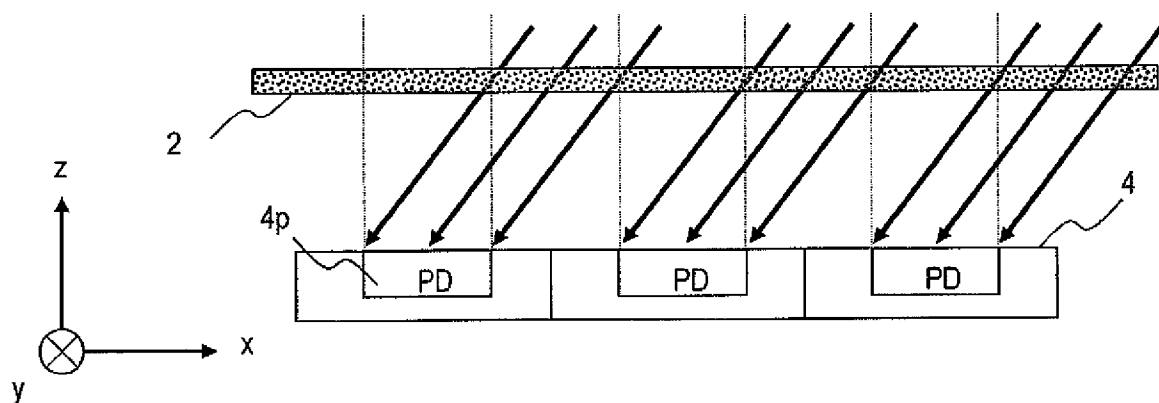
[図2B]



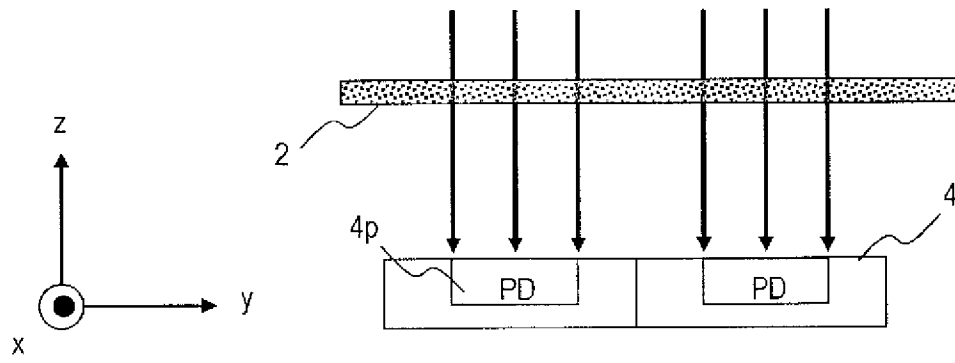
[図2C]



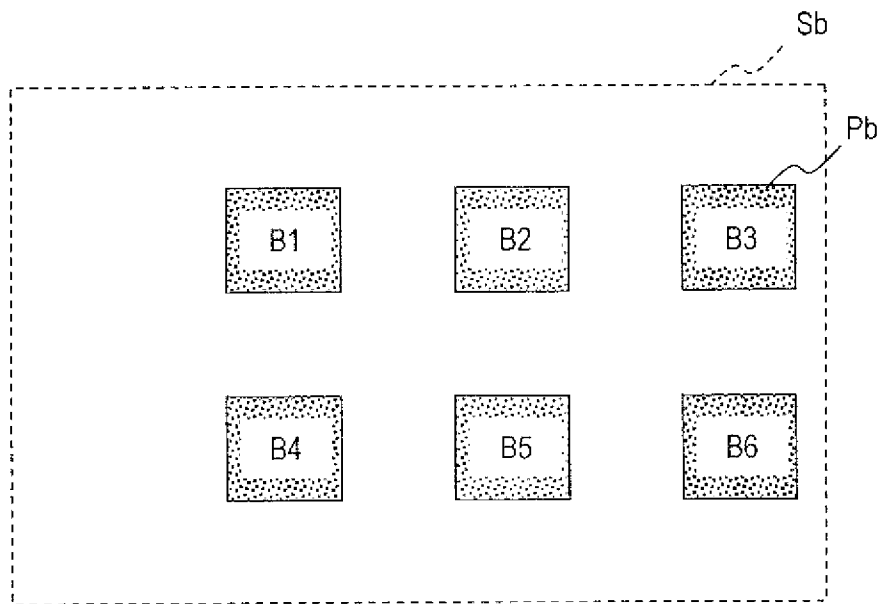
[図3A]



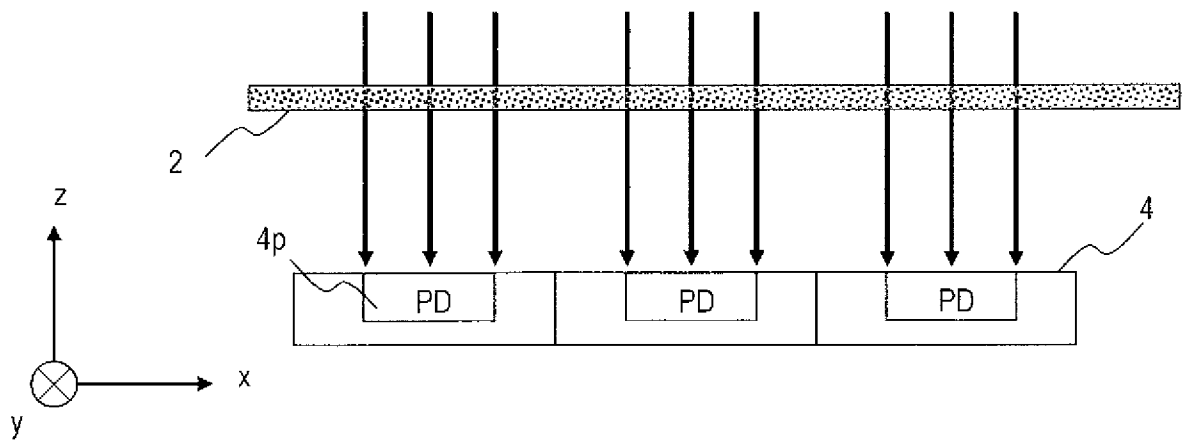
[図3B]



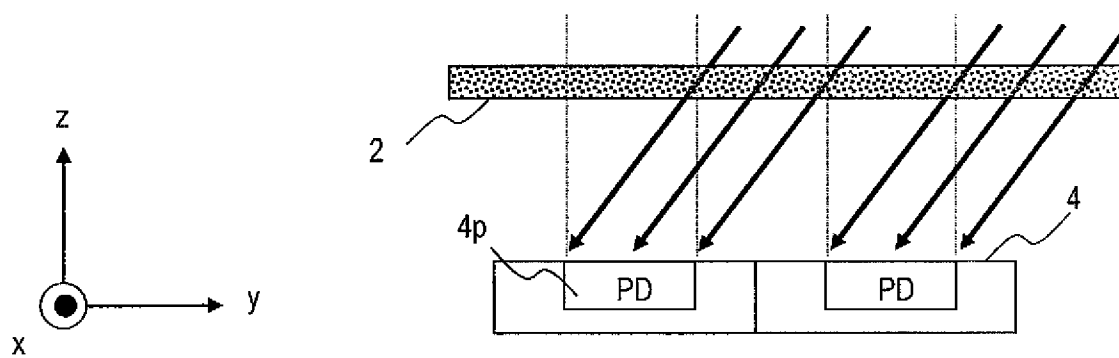
[図3C]



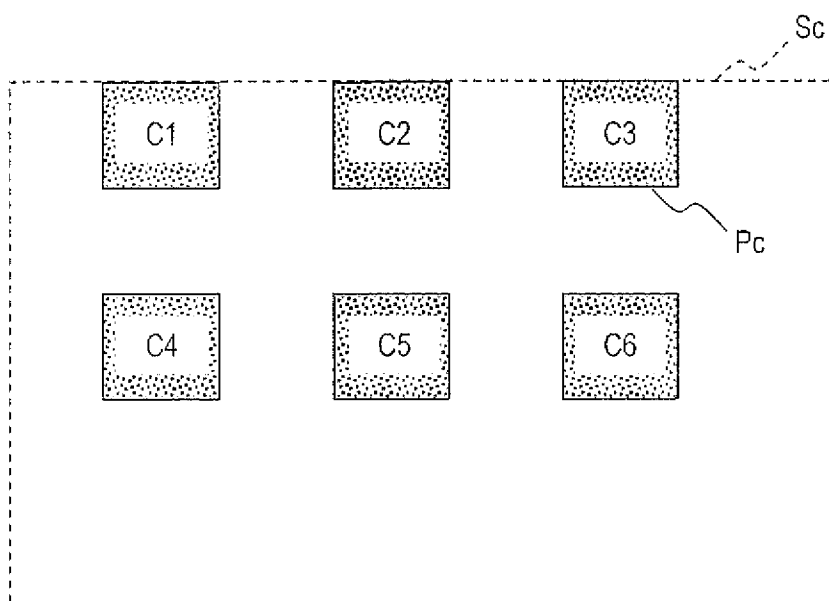
[図4A]



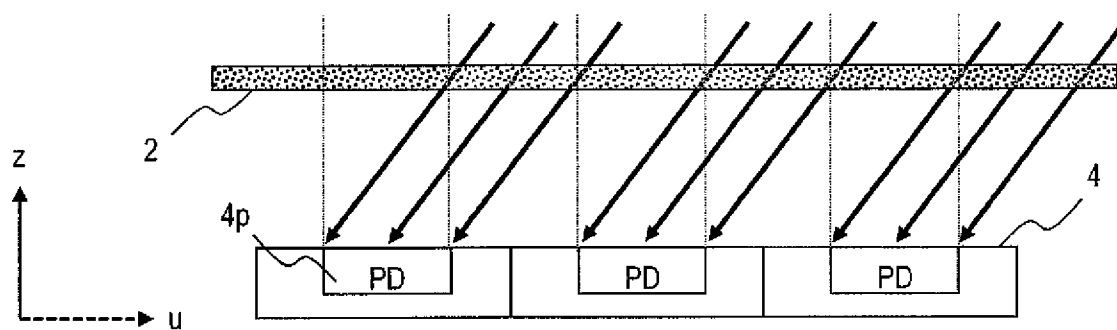
[図4B]



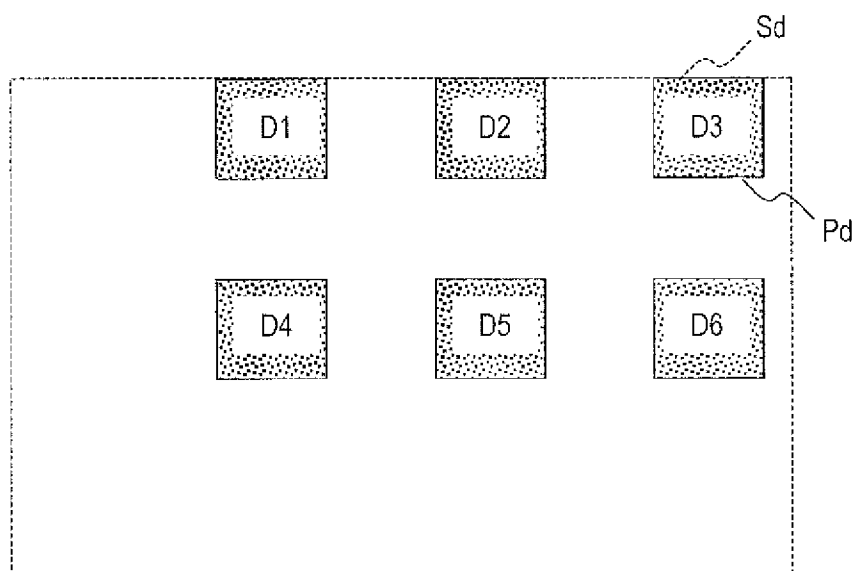
[図4C]



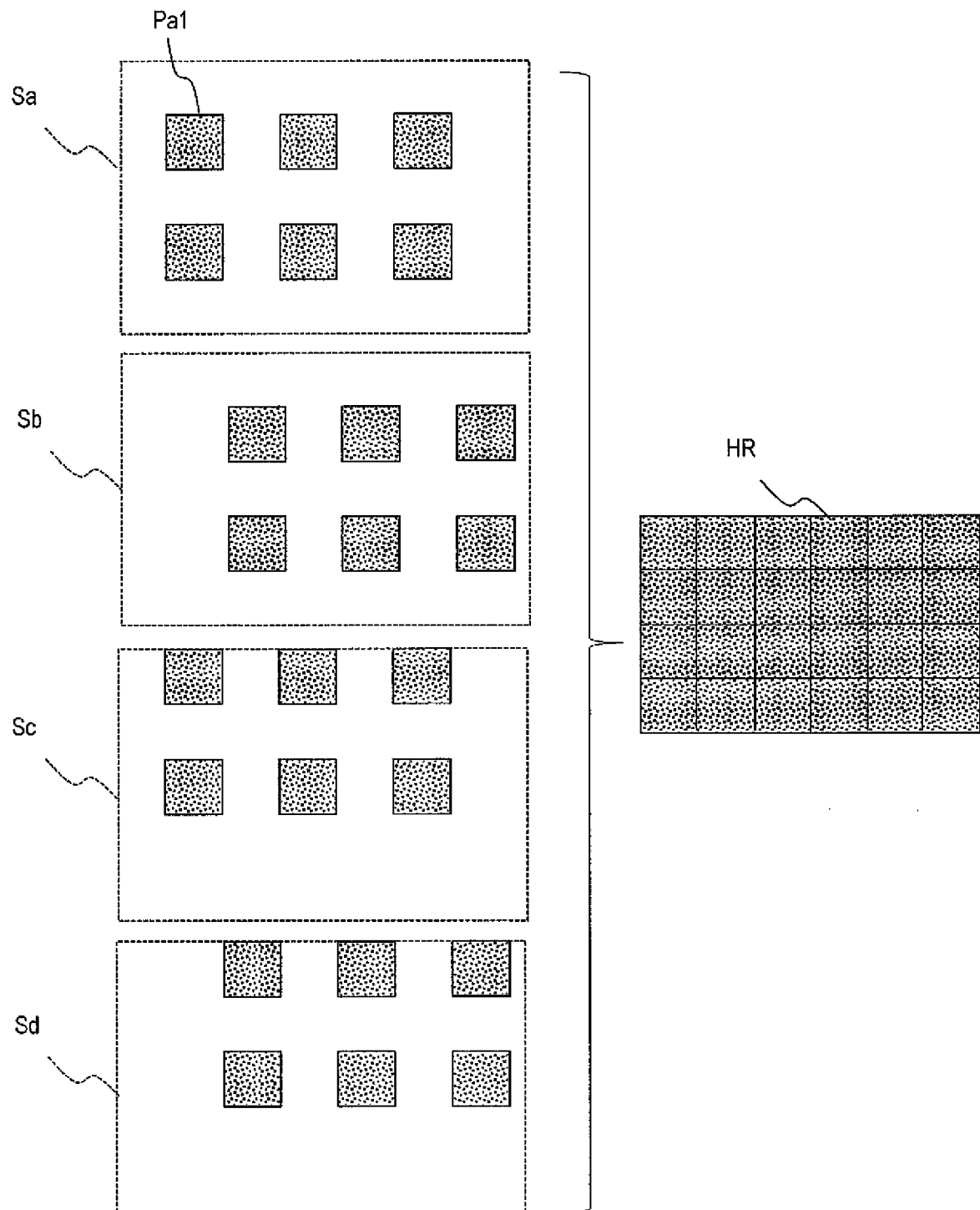
[図5A]



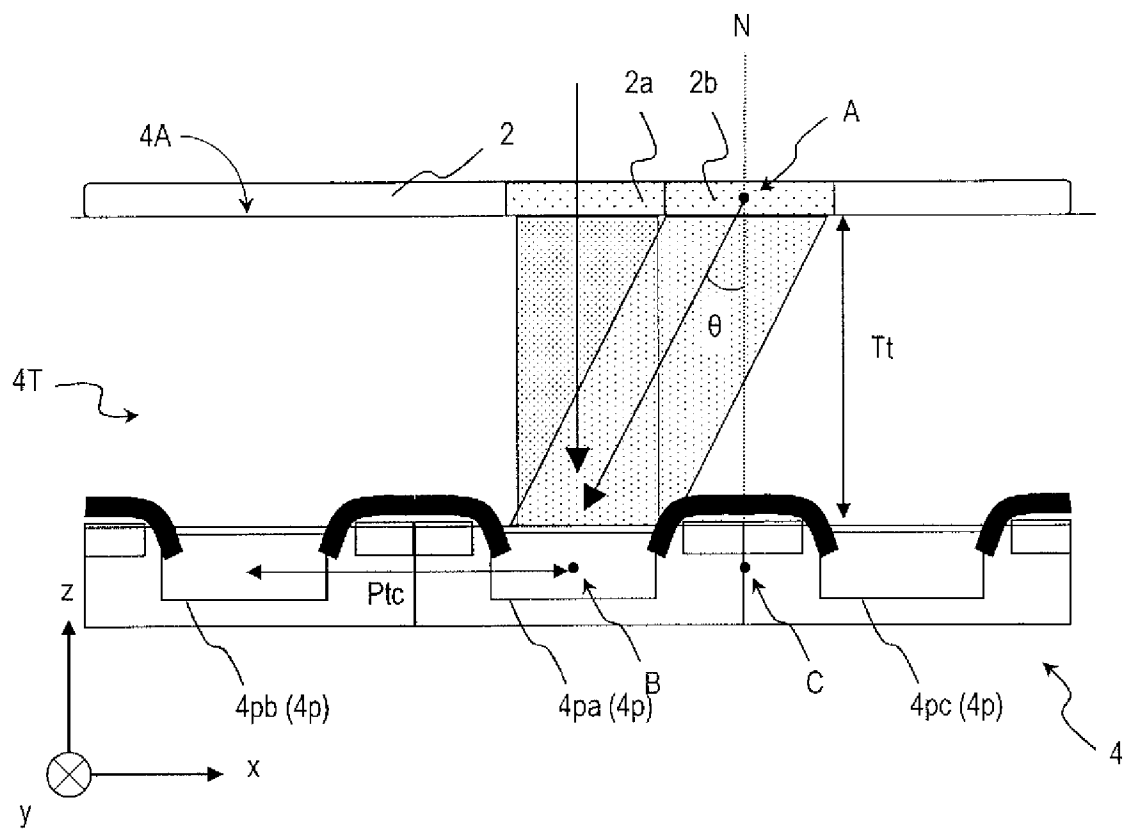
[図5B]



[図6]



[図7A]



[図7B]

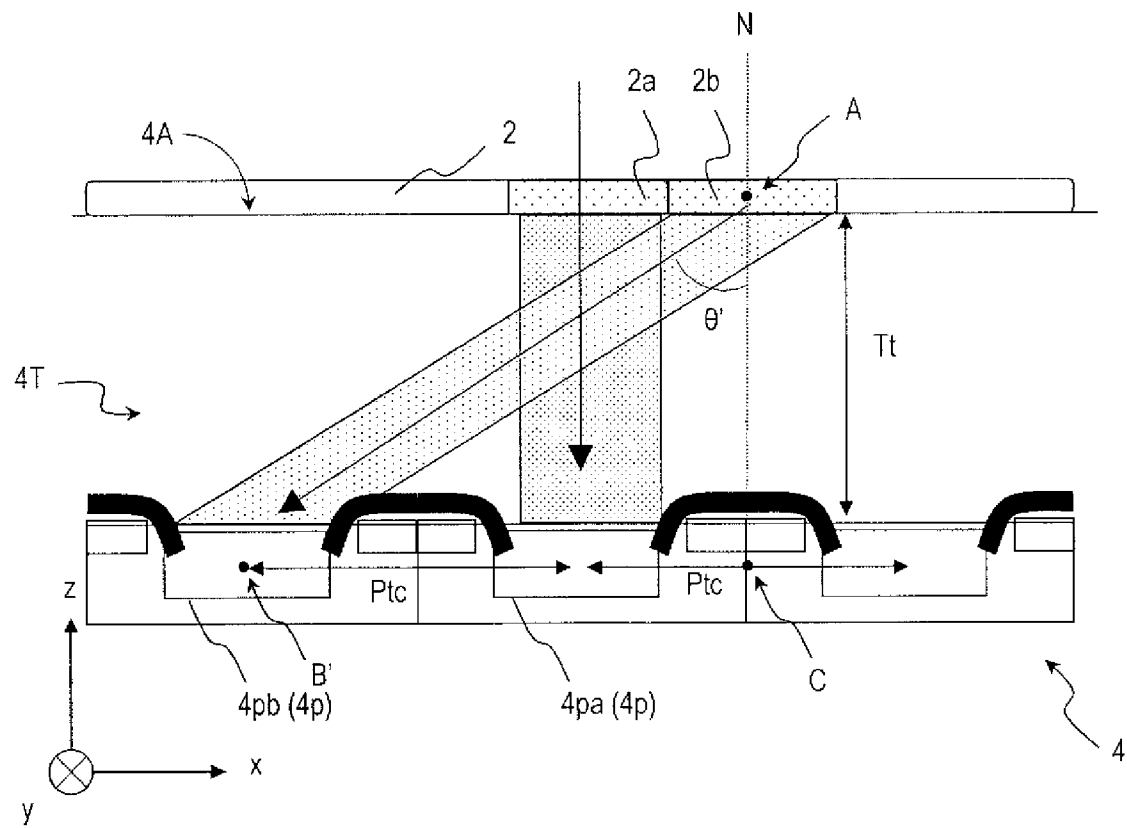
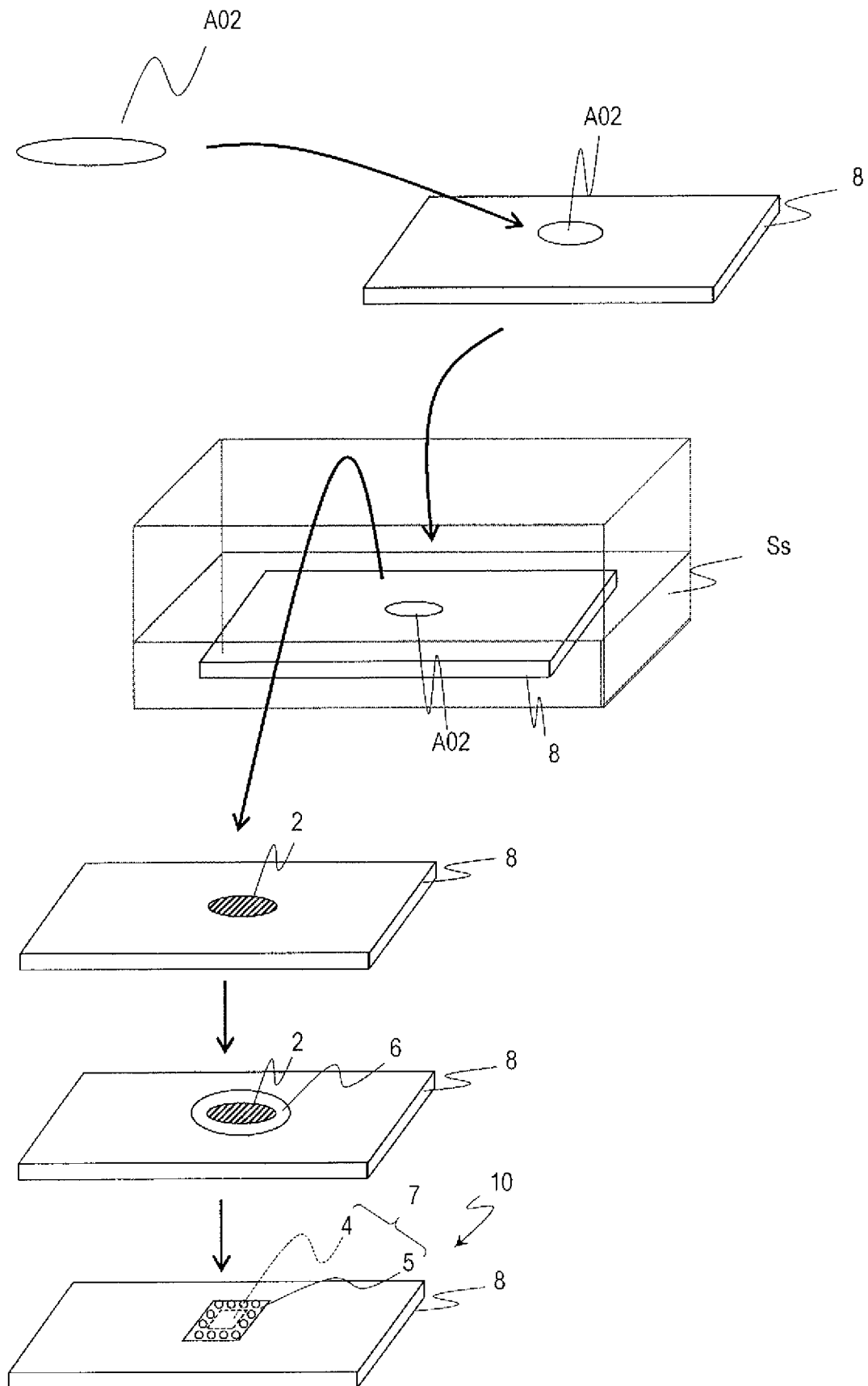
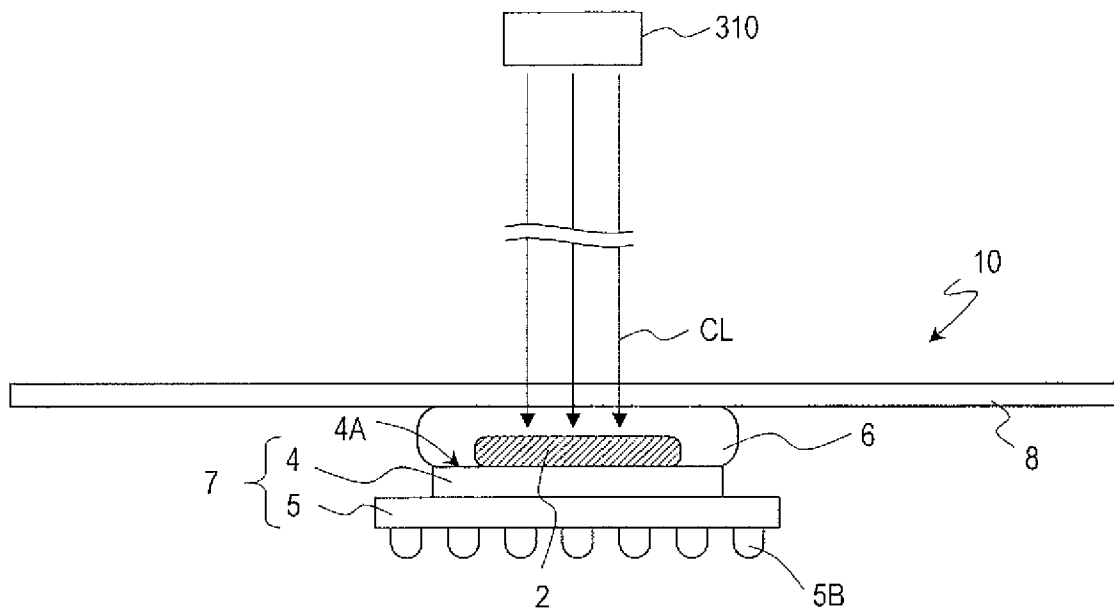


FIG. 1 is a schematic diagram of a rectangular device 10. The device 10 contains a central square region 5. Within region 5, there is a grid of small circles. A wavy line 8 is located on the right side of the device. A label 5B points to the bottom-left corner of the central region 5.

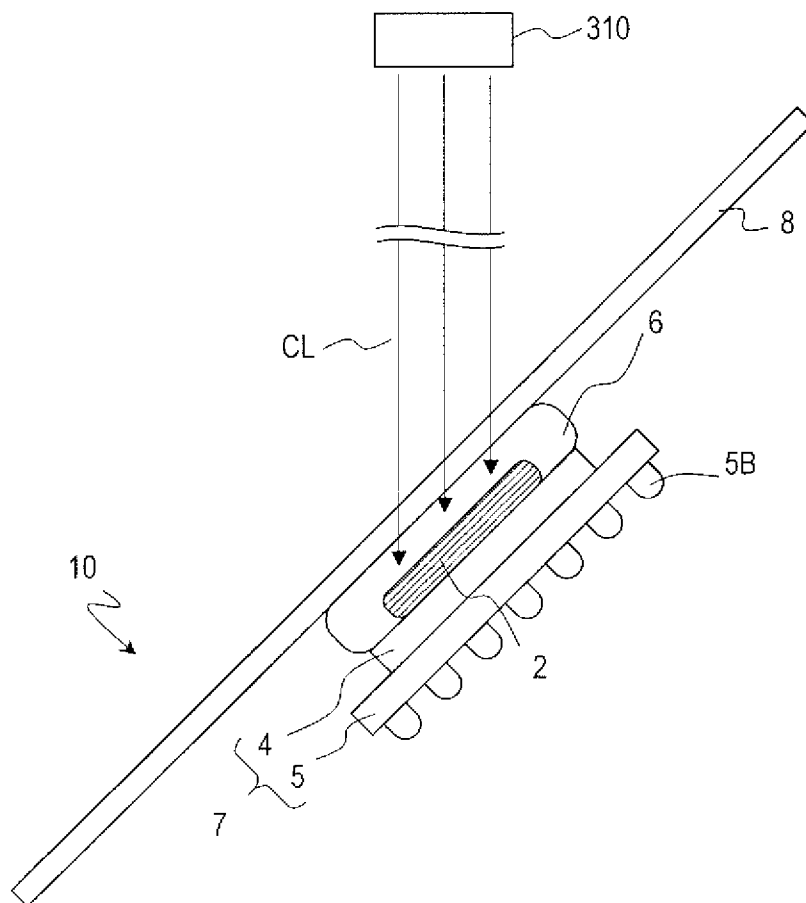
[図9]



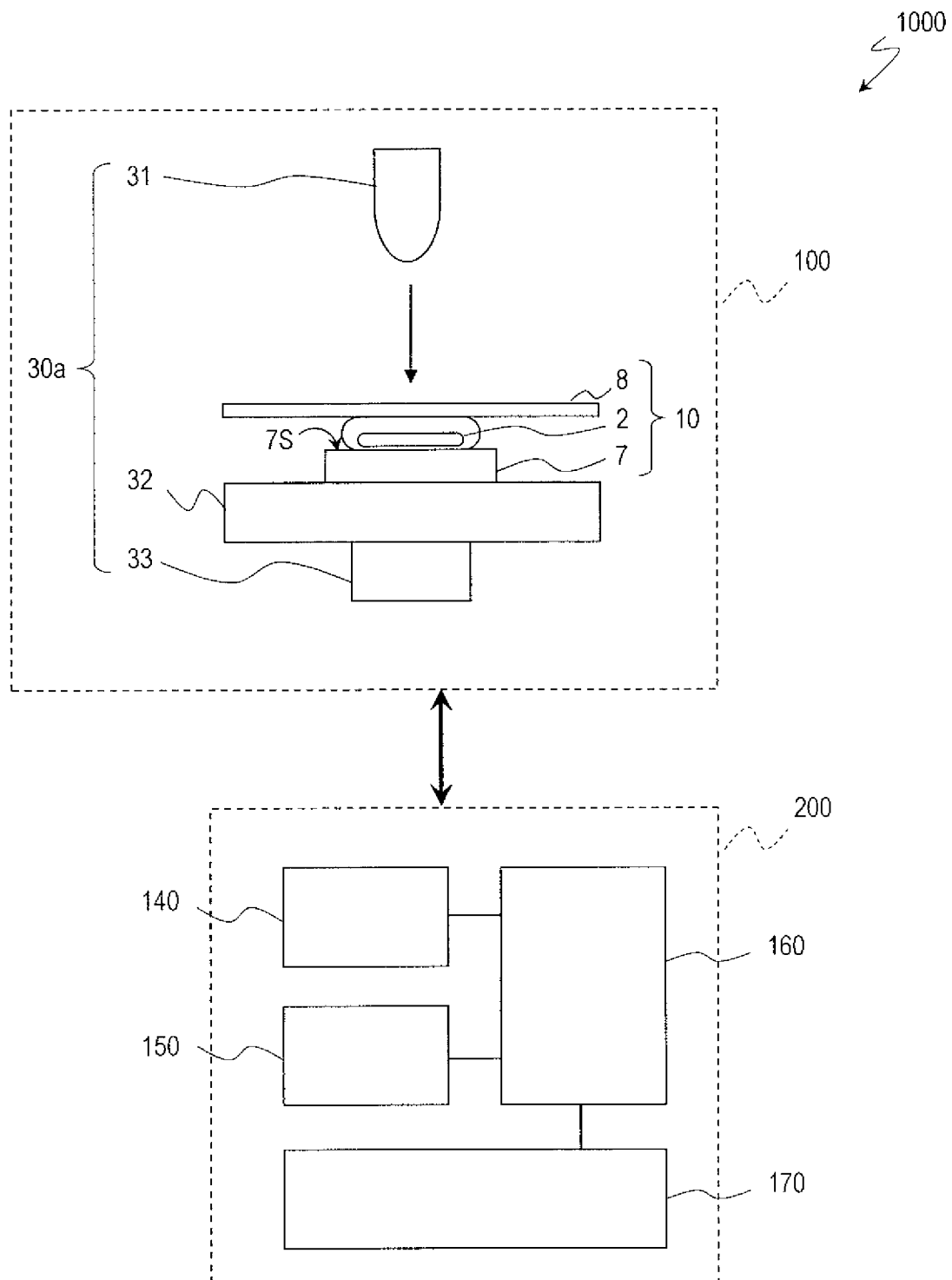
[図10A]



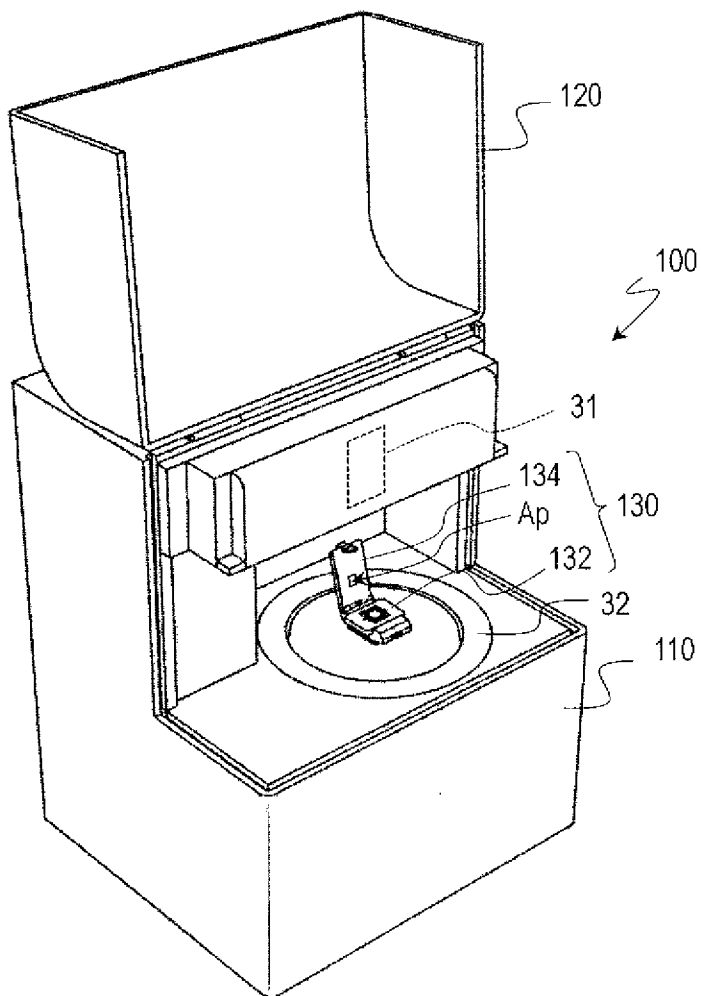
[図10B]



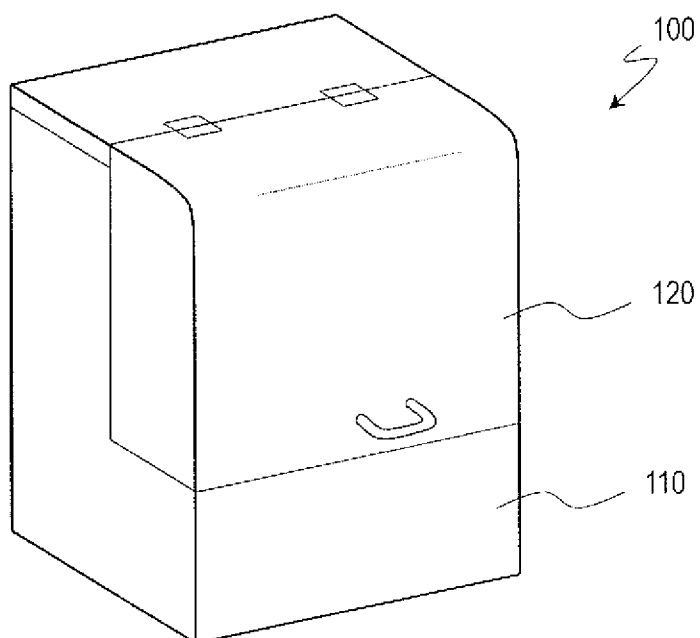
[図11]



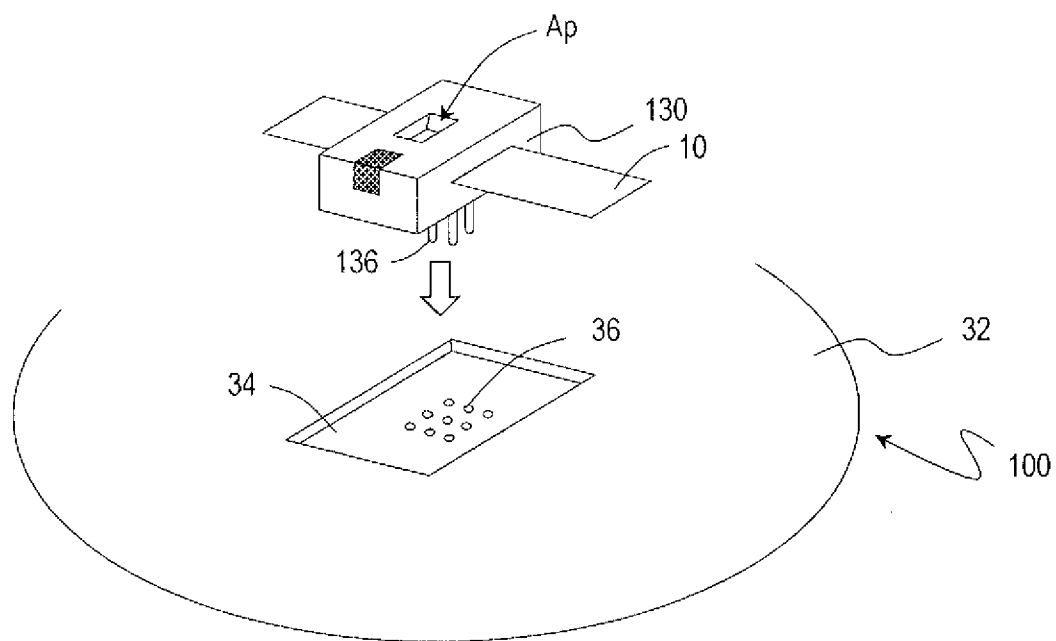
[図12A]



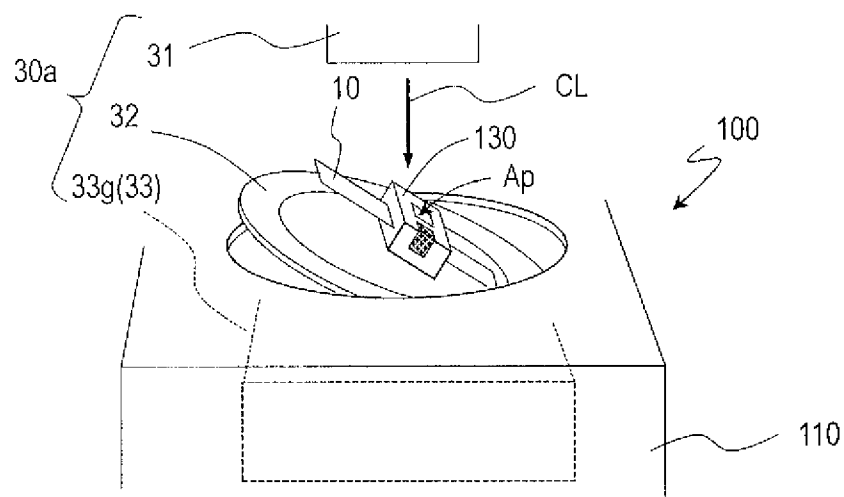
[図12B]



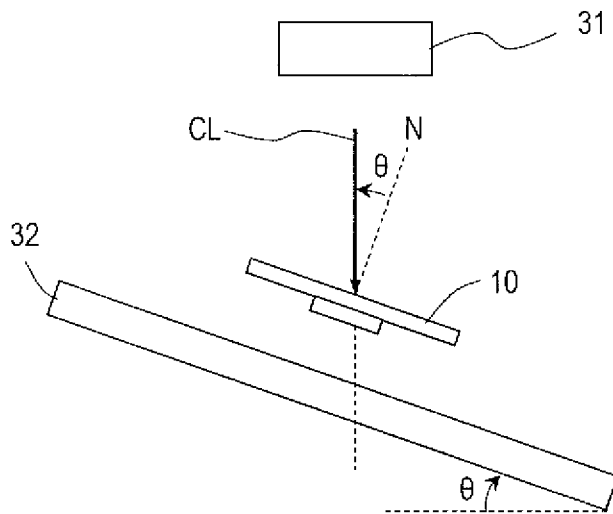
[図12C]



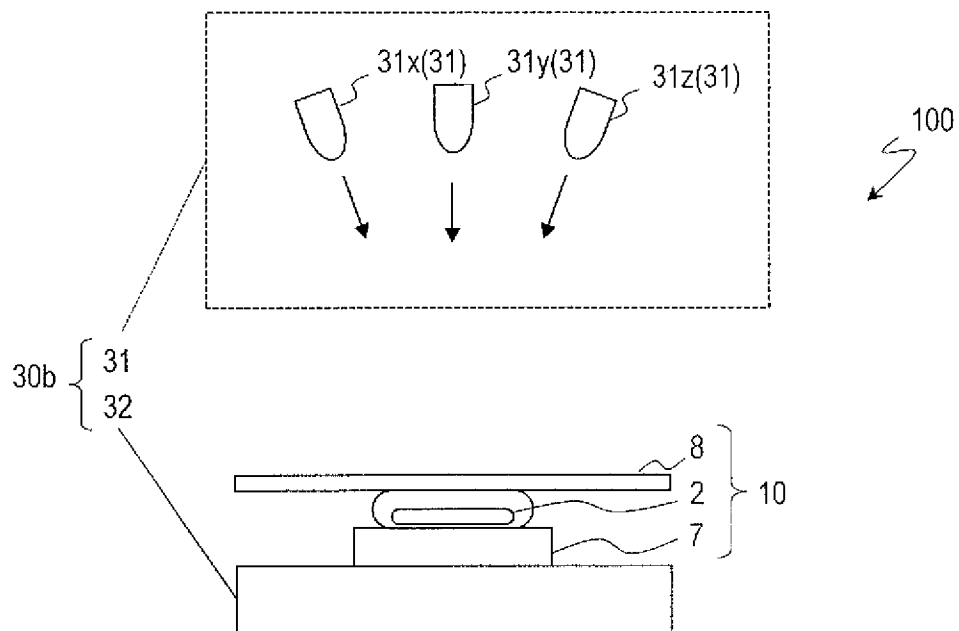
[図13A]



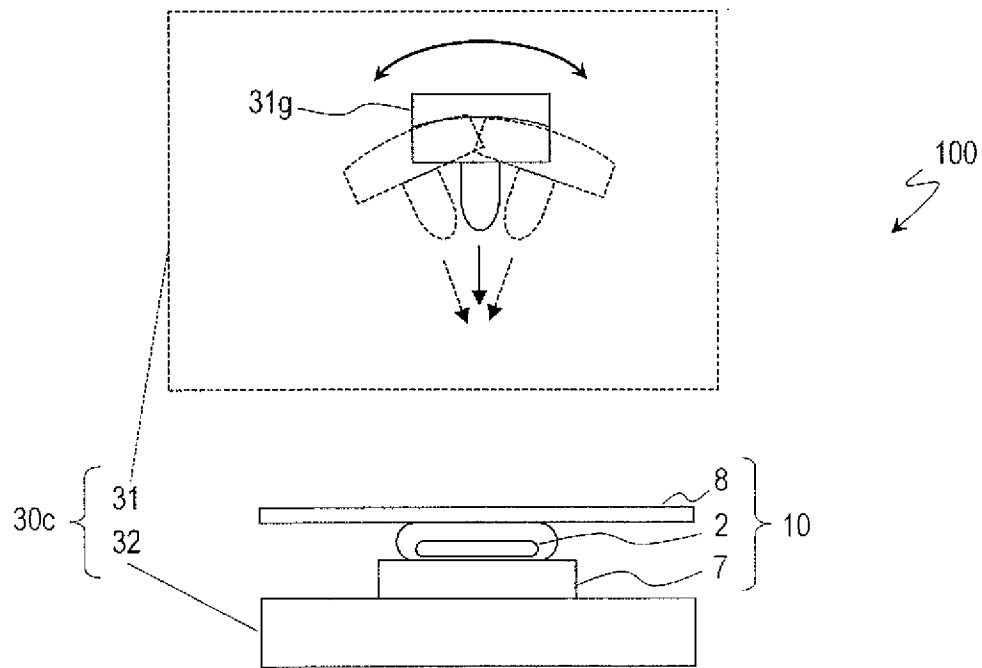
[図13B]



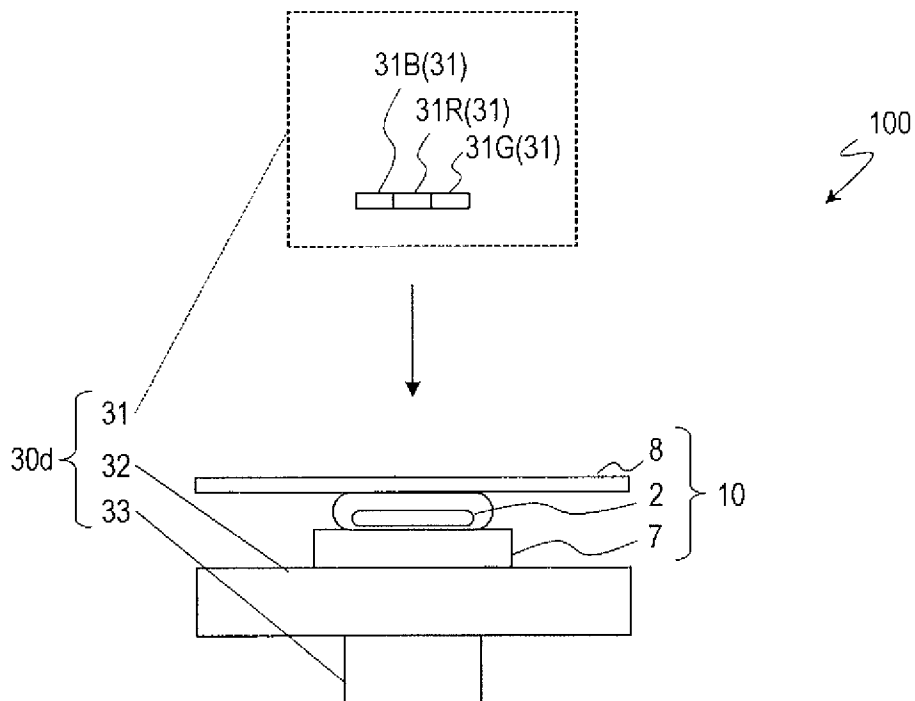
[図14A]



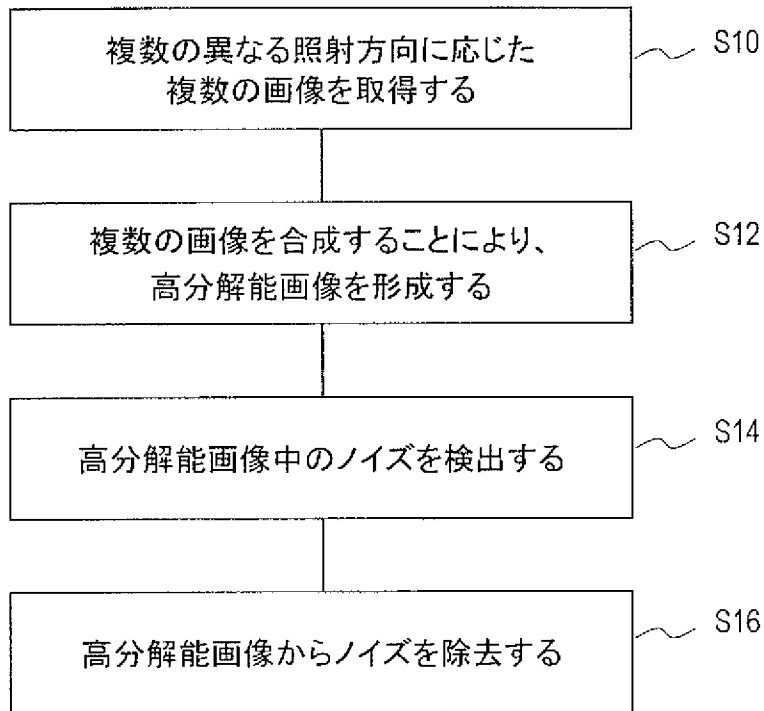
[図14B]



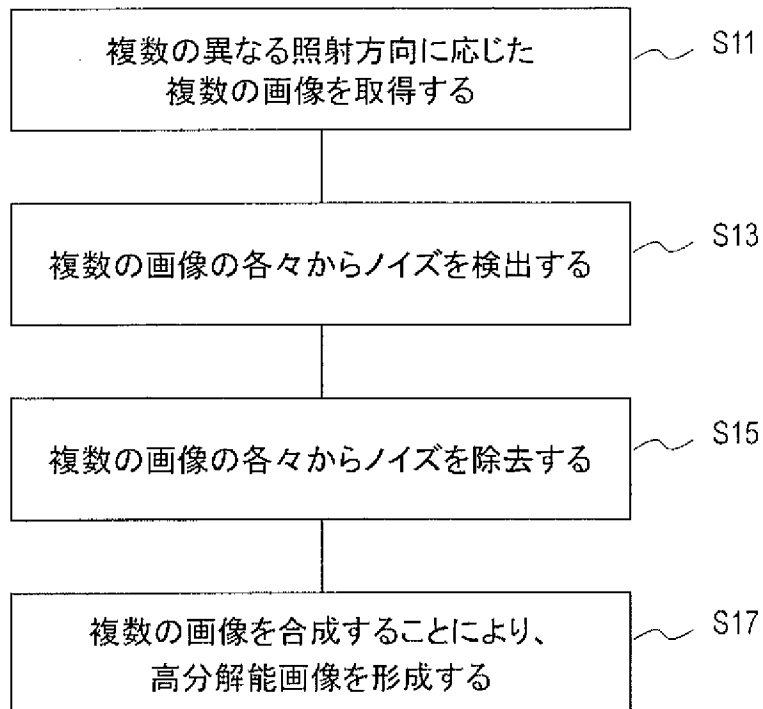
[図14C]



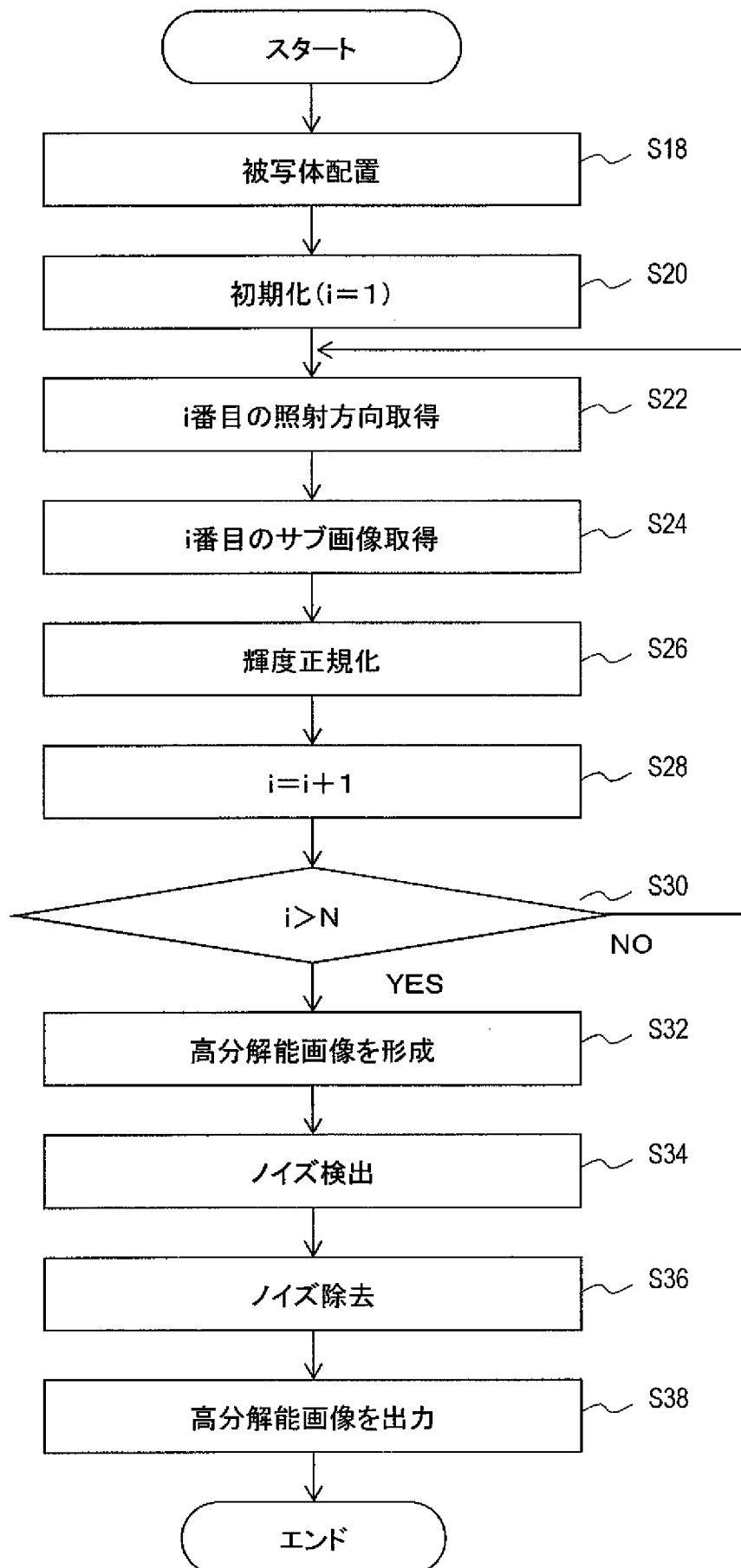
[図15A]



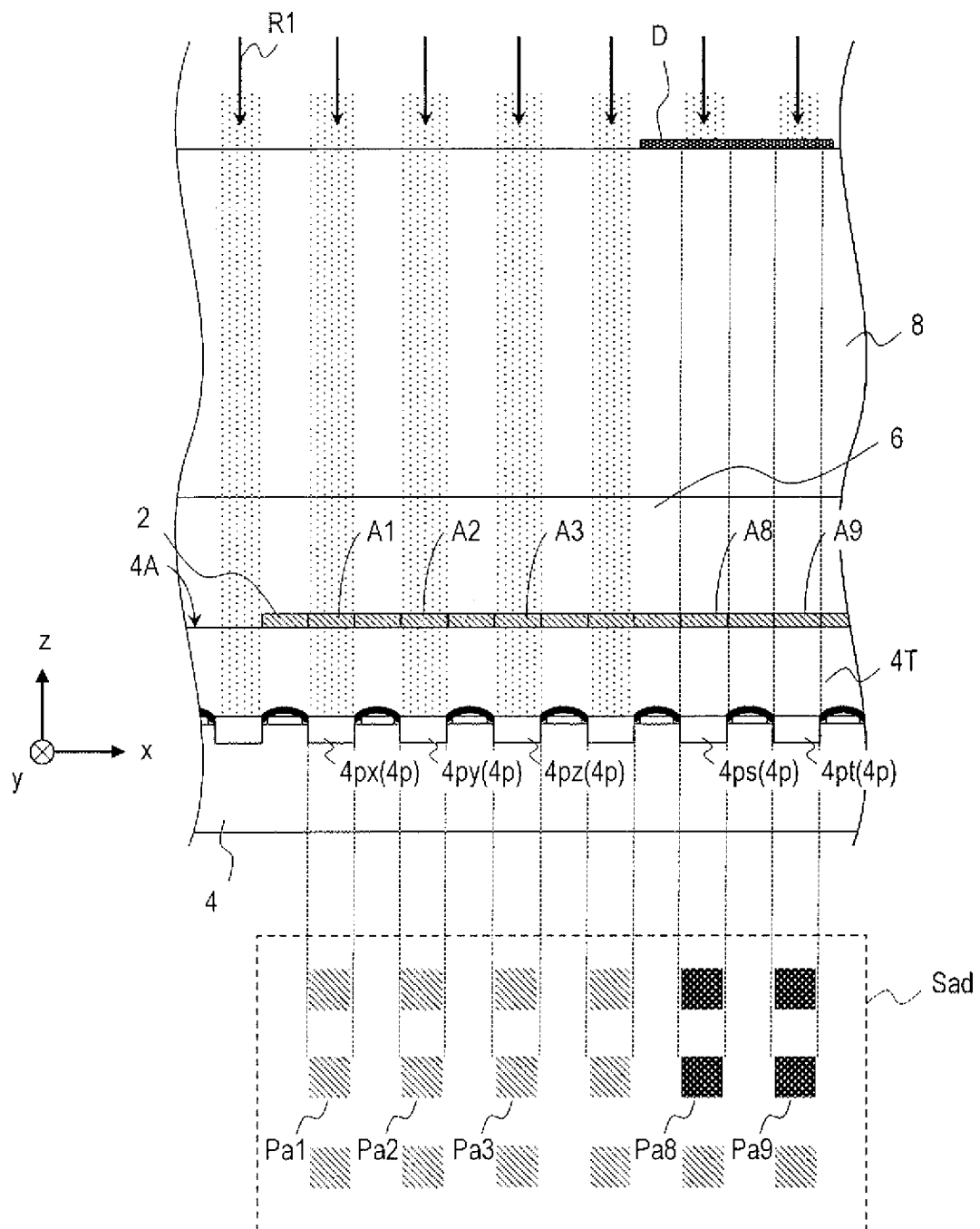
[図15B]



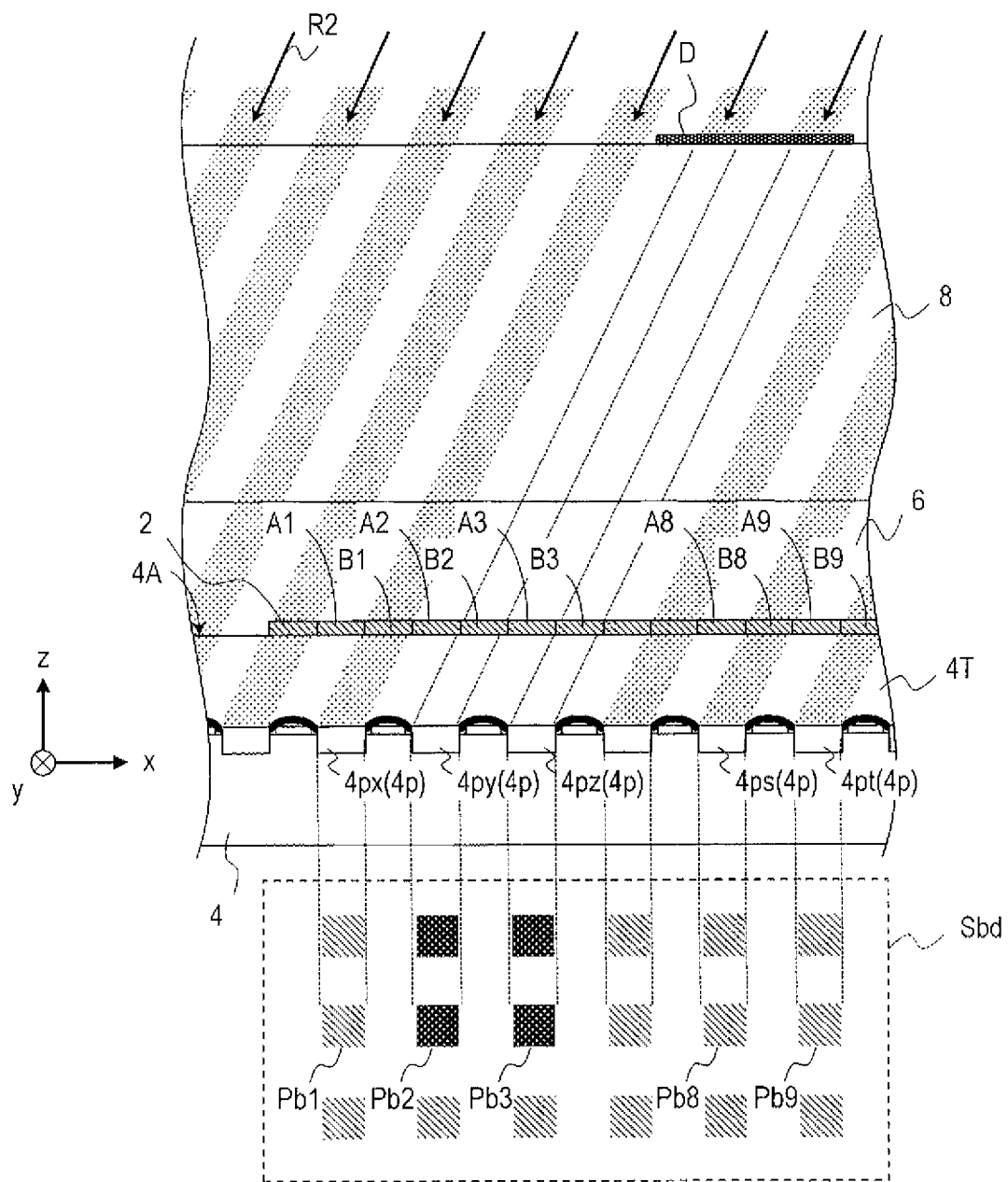
[図16]



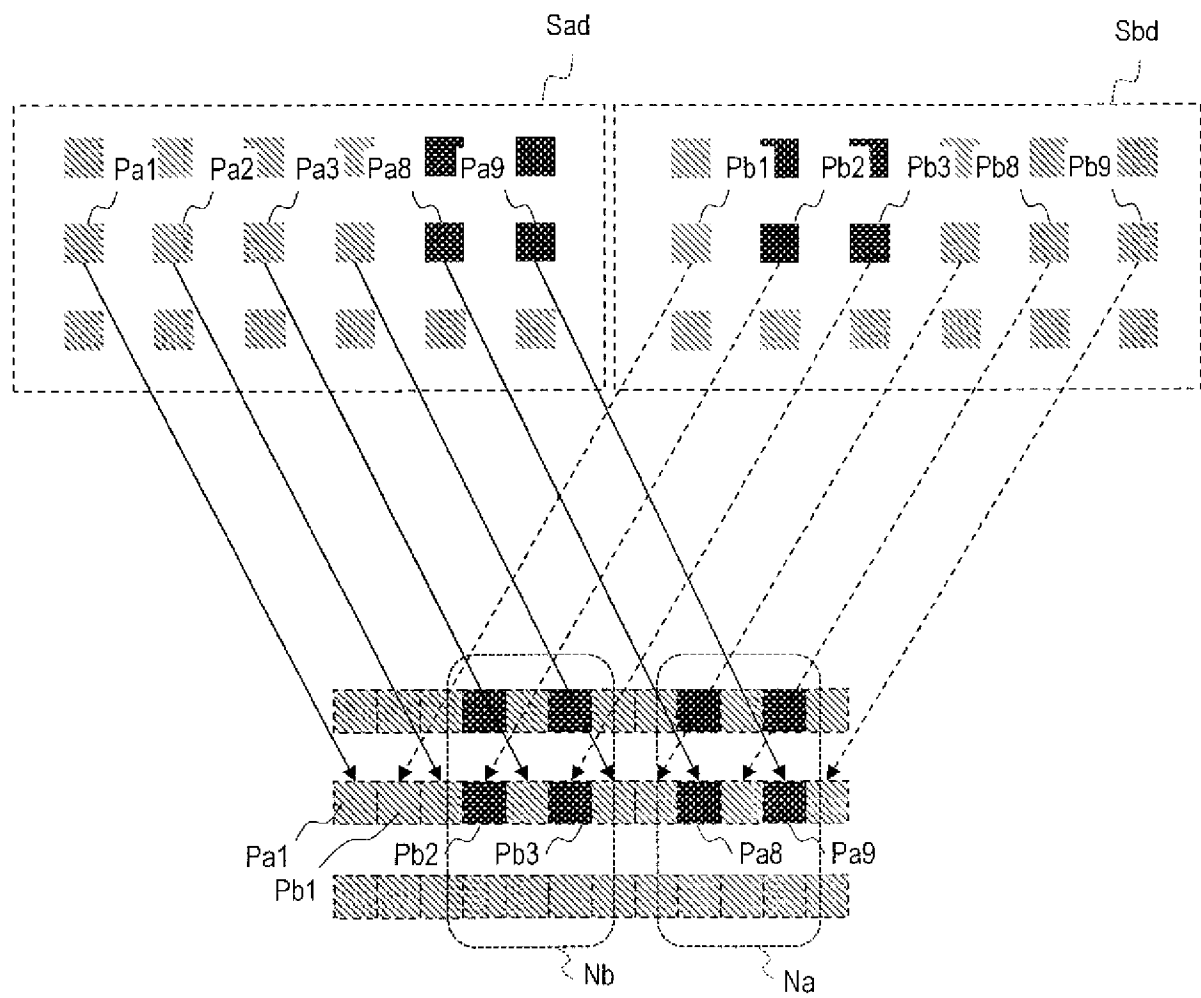
[図17A]



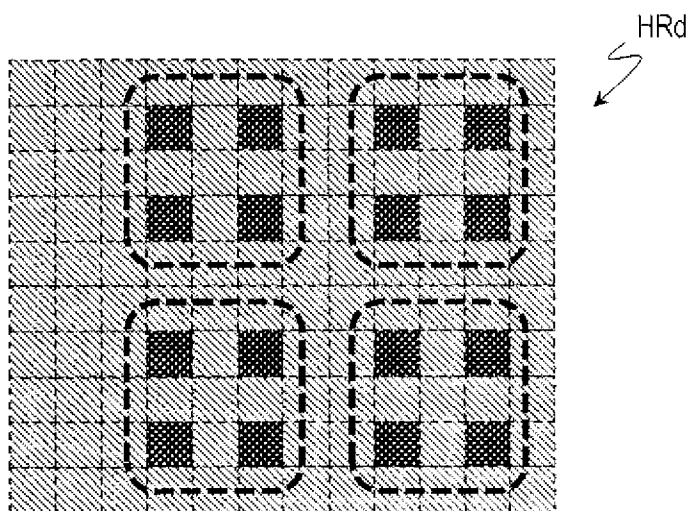
[図17B]



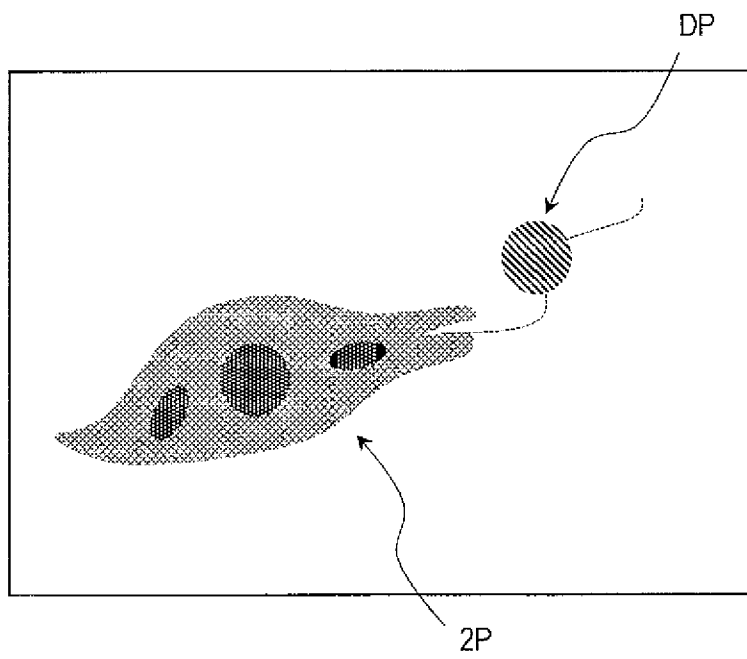
[図17C]



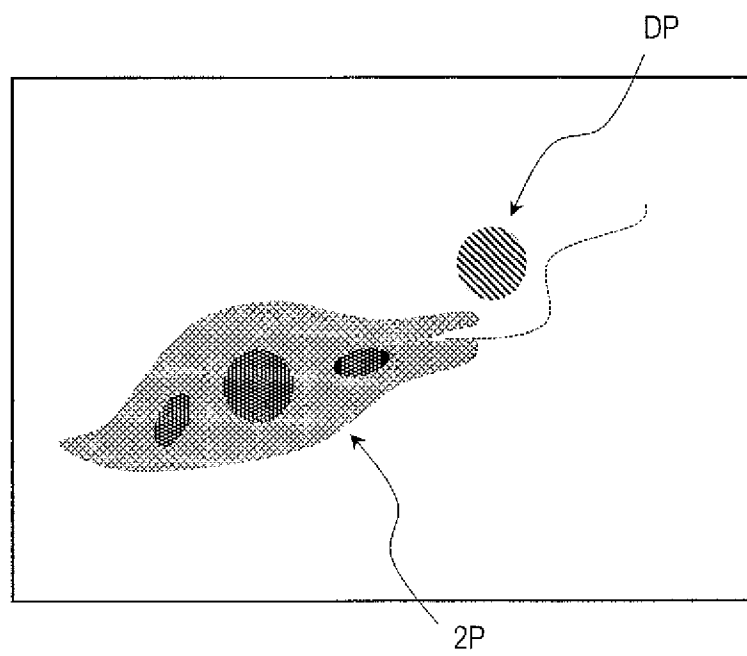
[図17D]



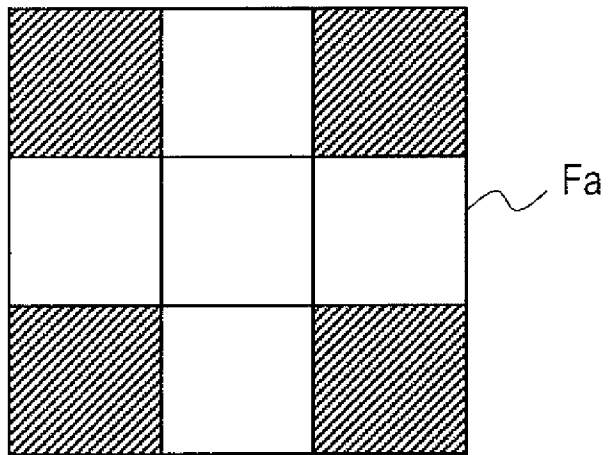
[図18A]



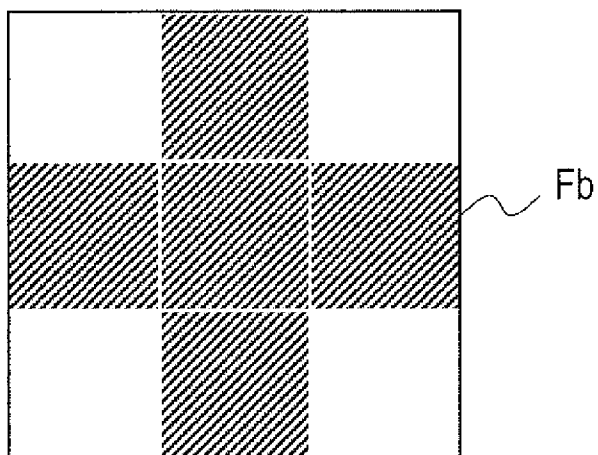
[図18B]



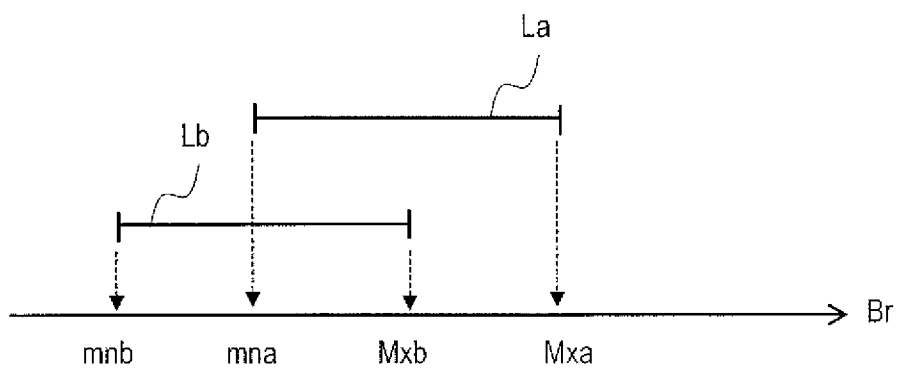
[図19A]



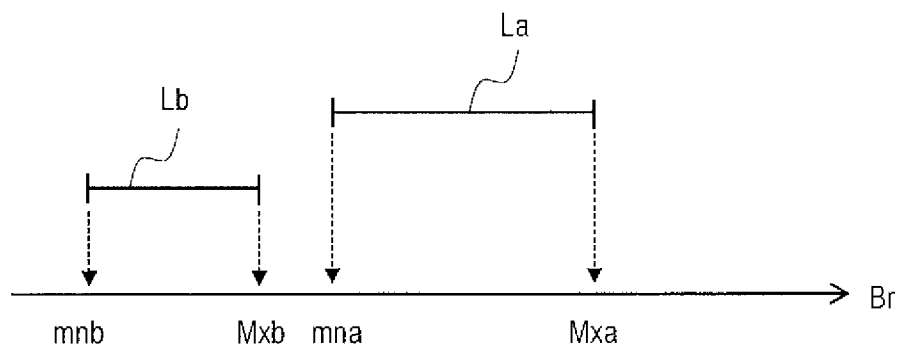
[図19B]



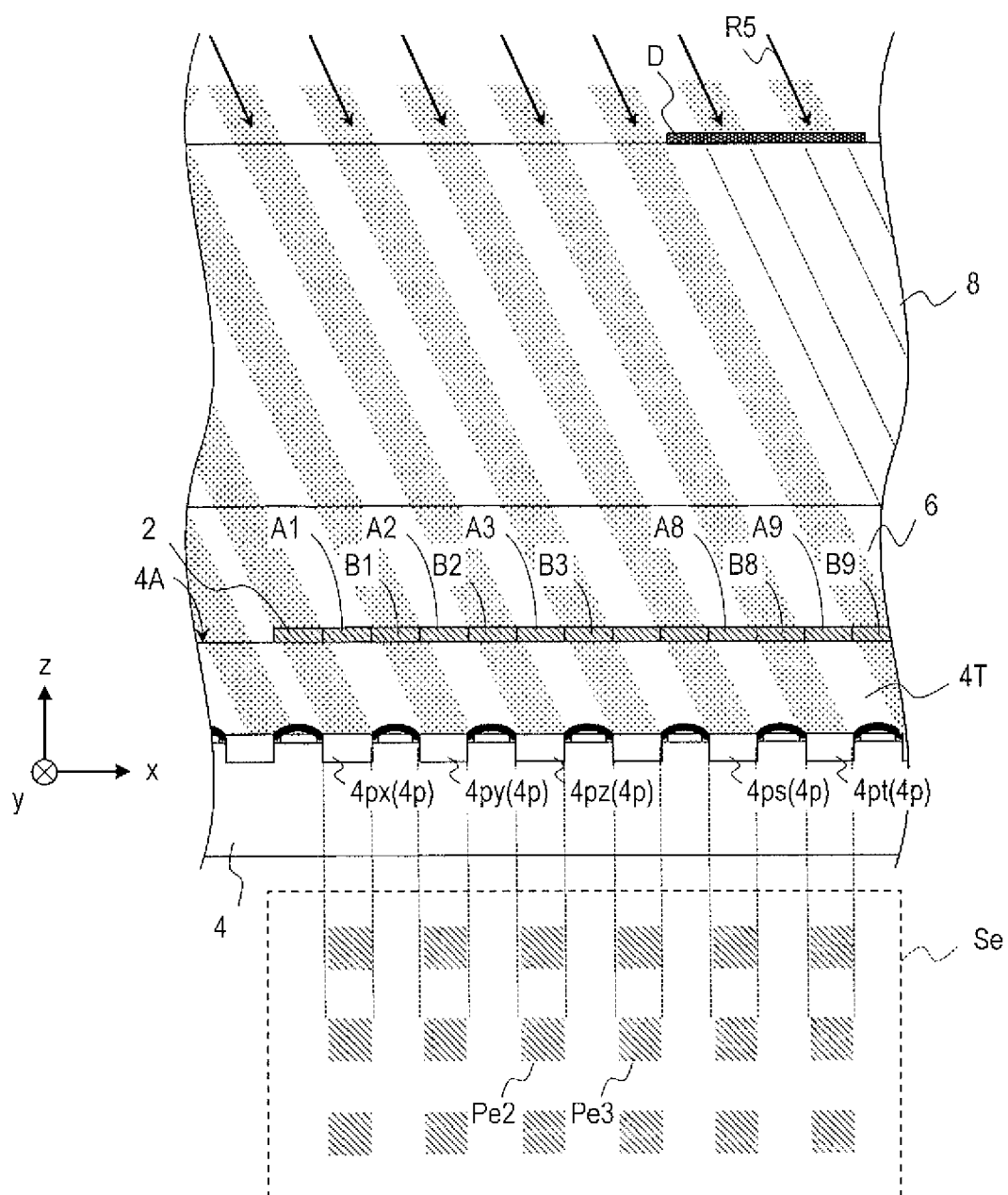
[図20A]



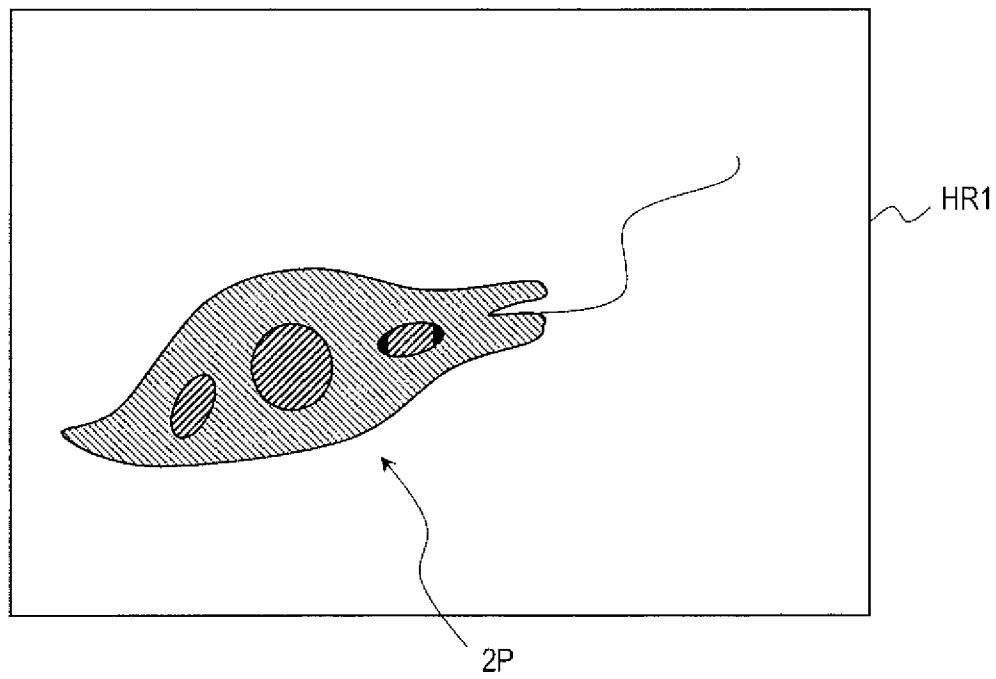
[図20B]



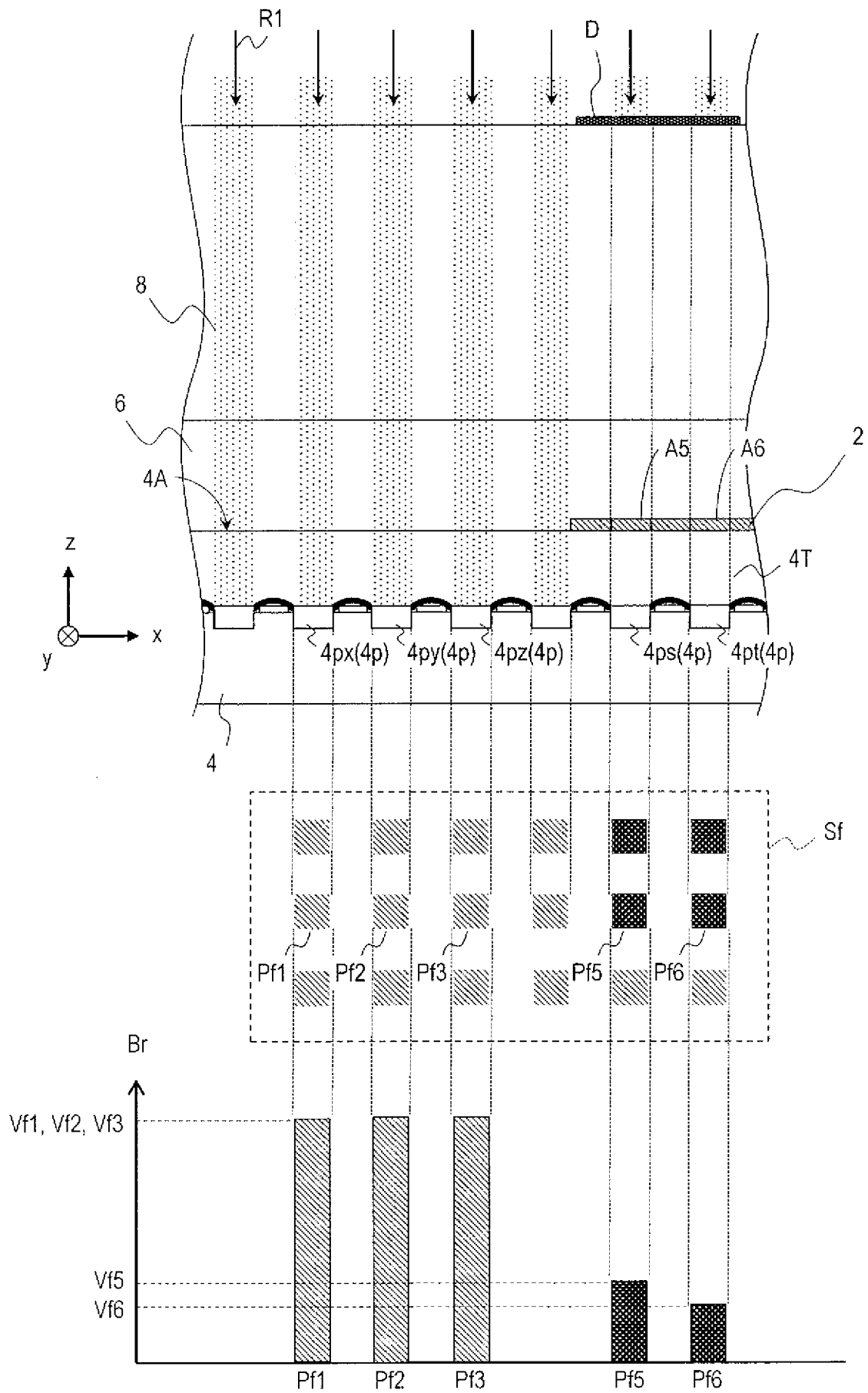
[図21]



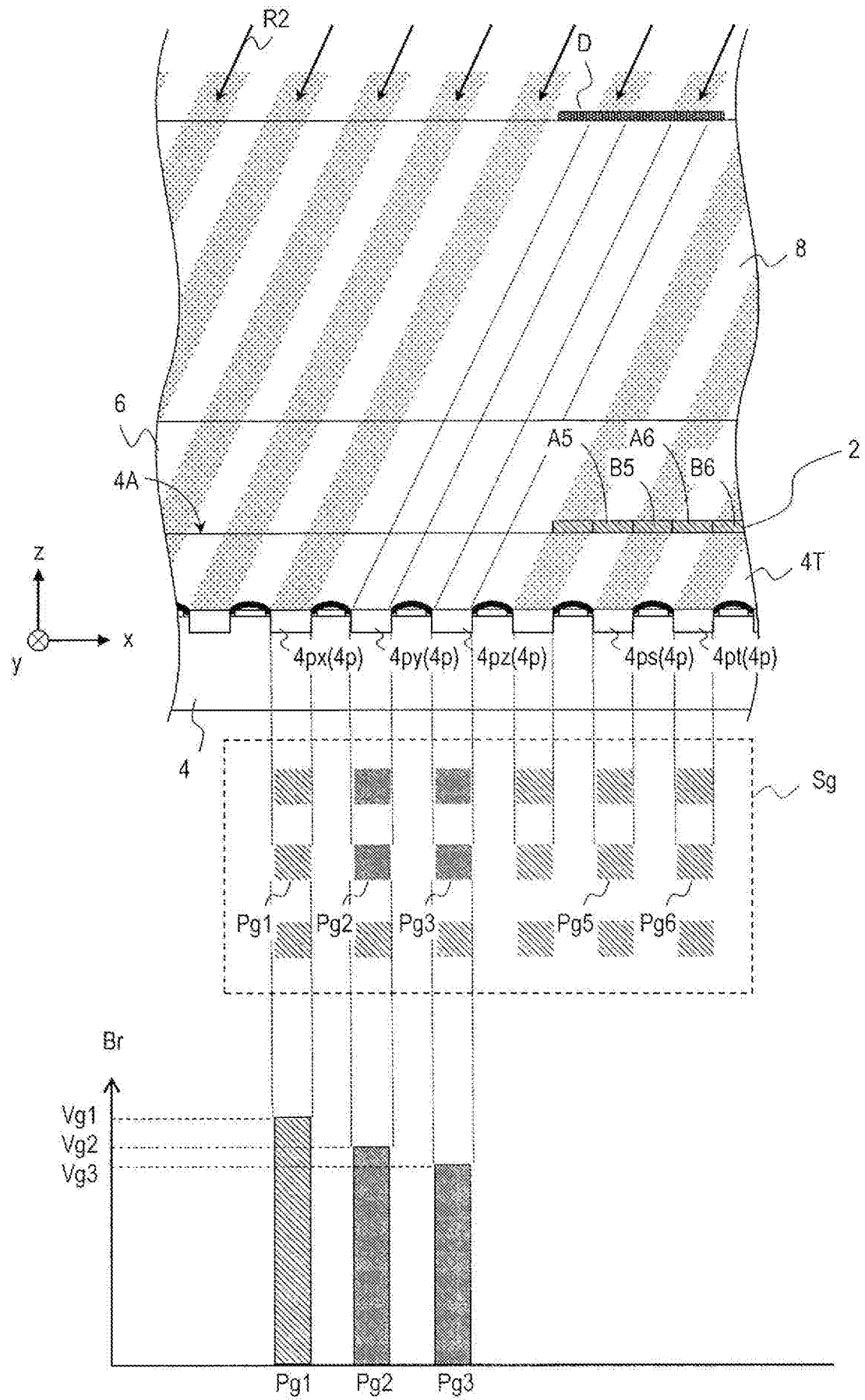
[図22]



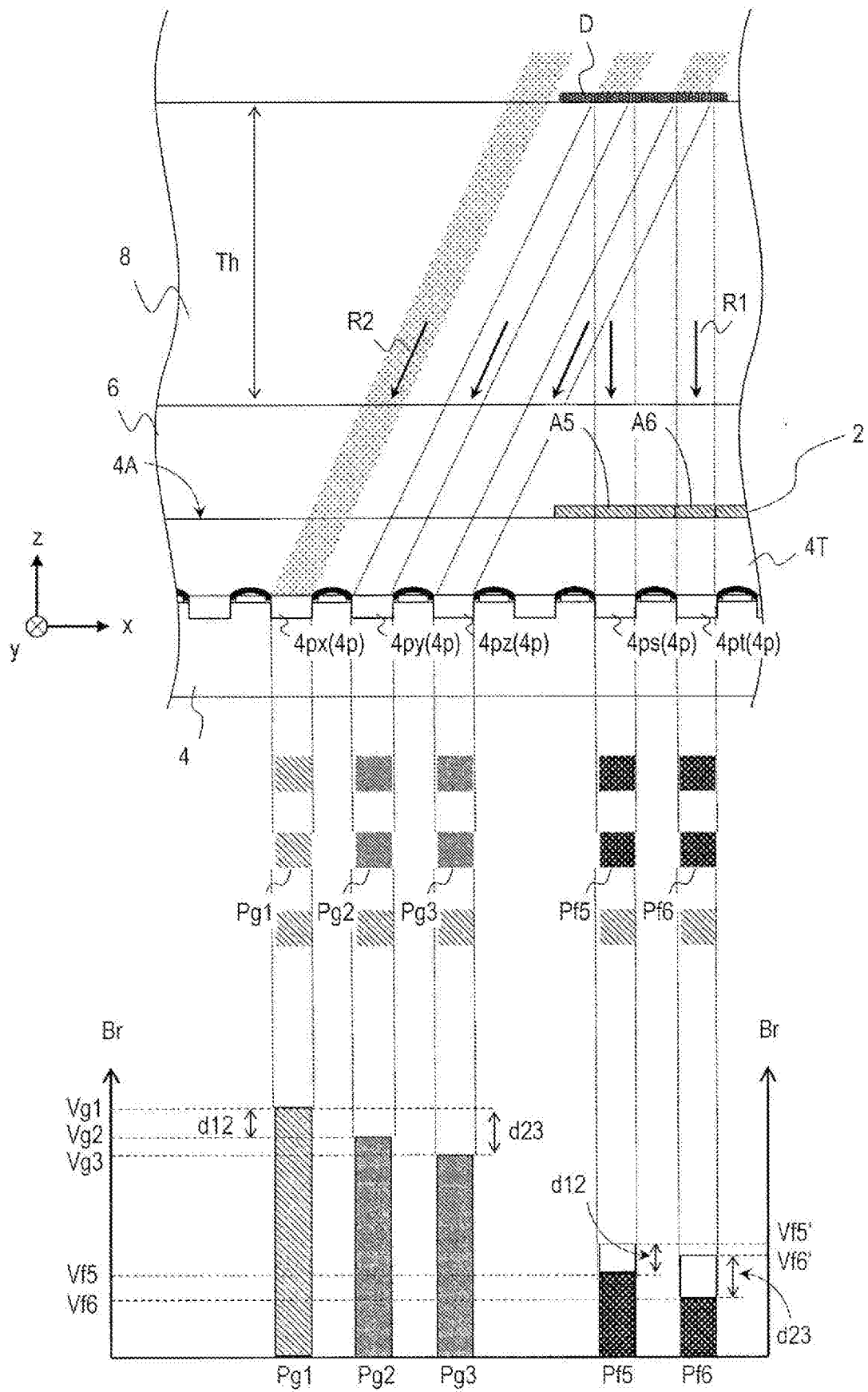
[図23A]



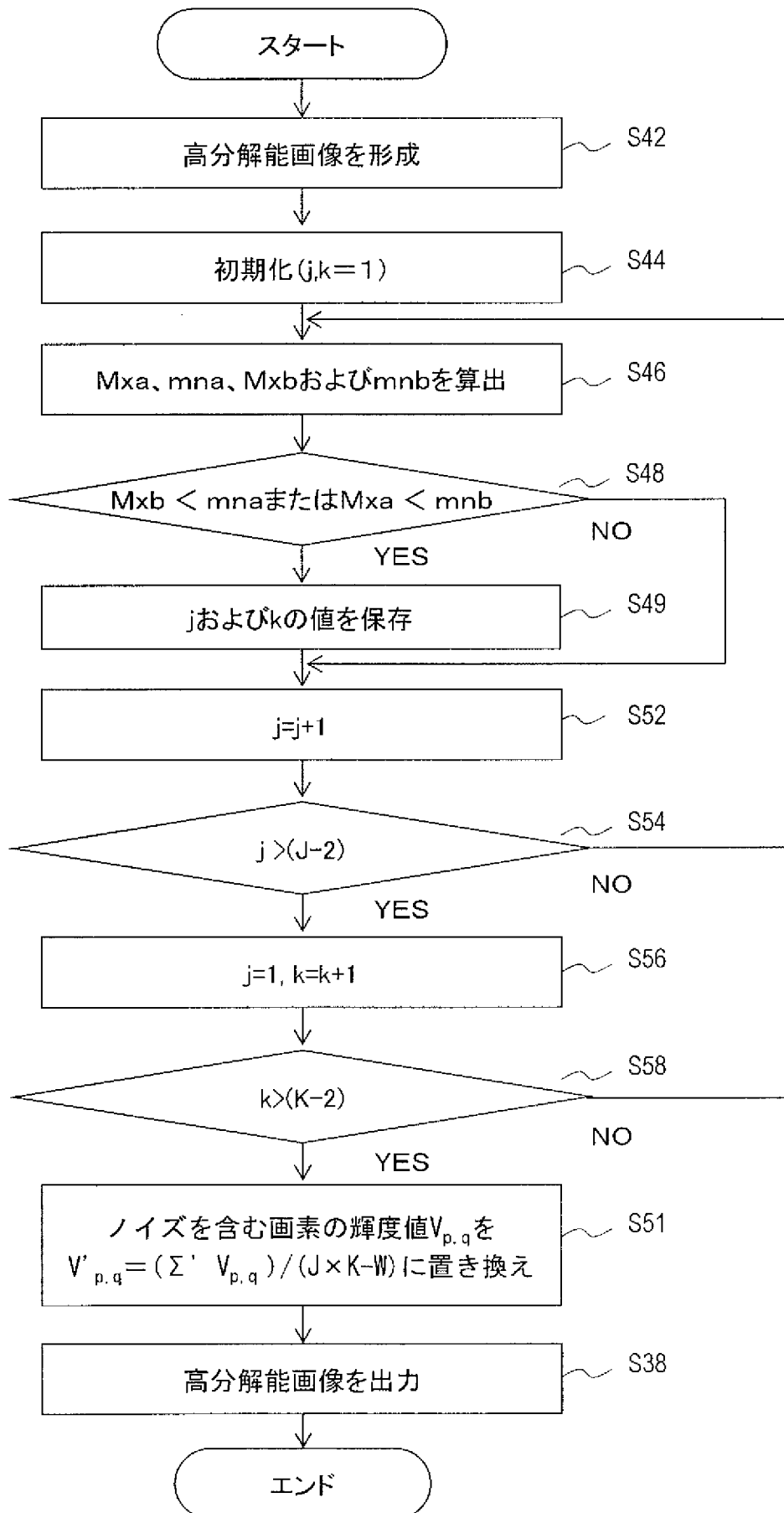
[図23B]



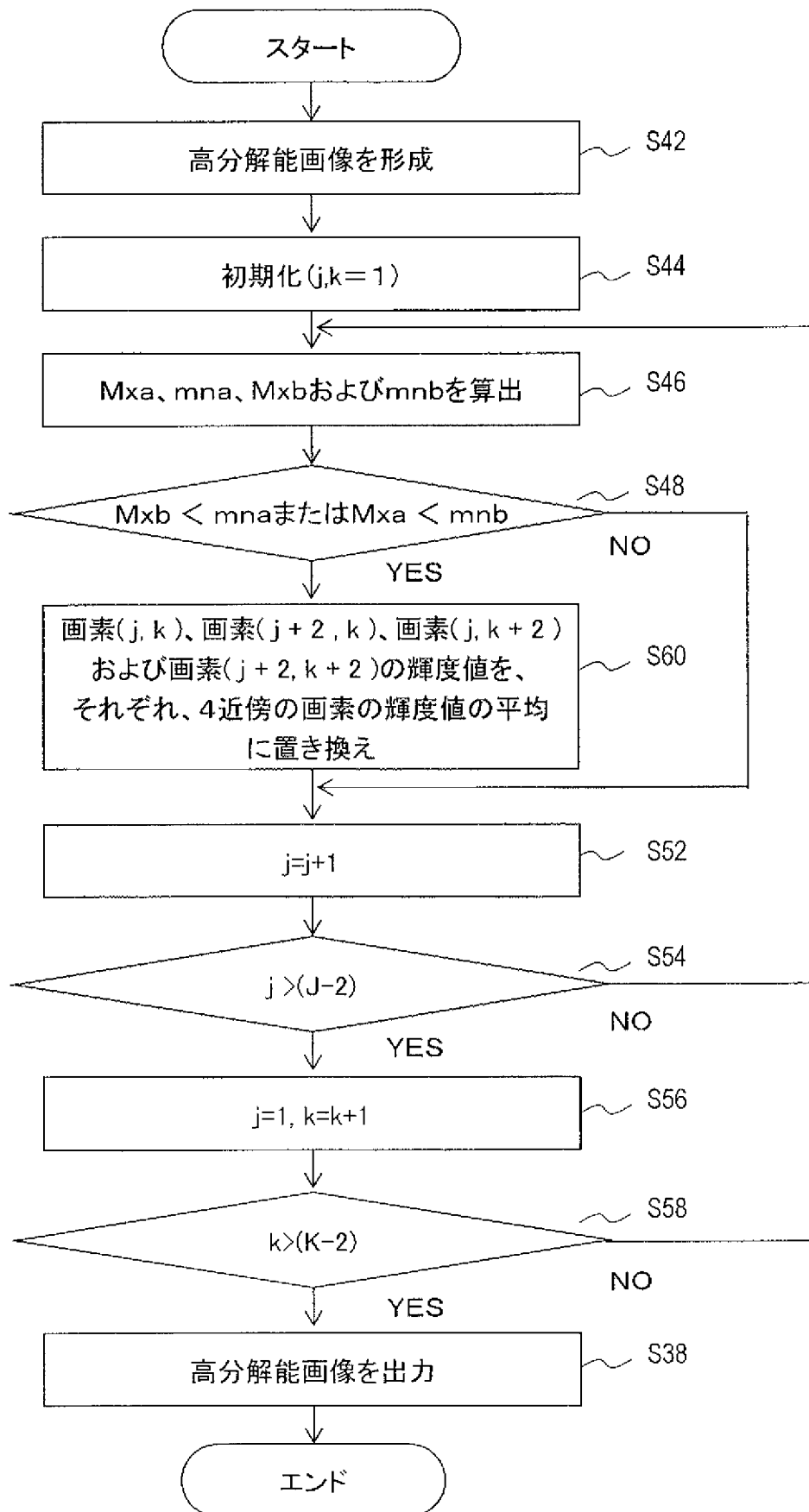
[図23C]



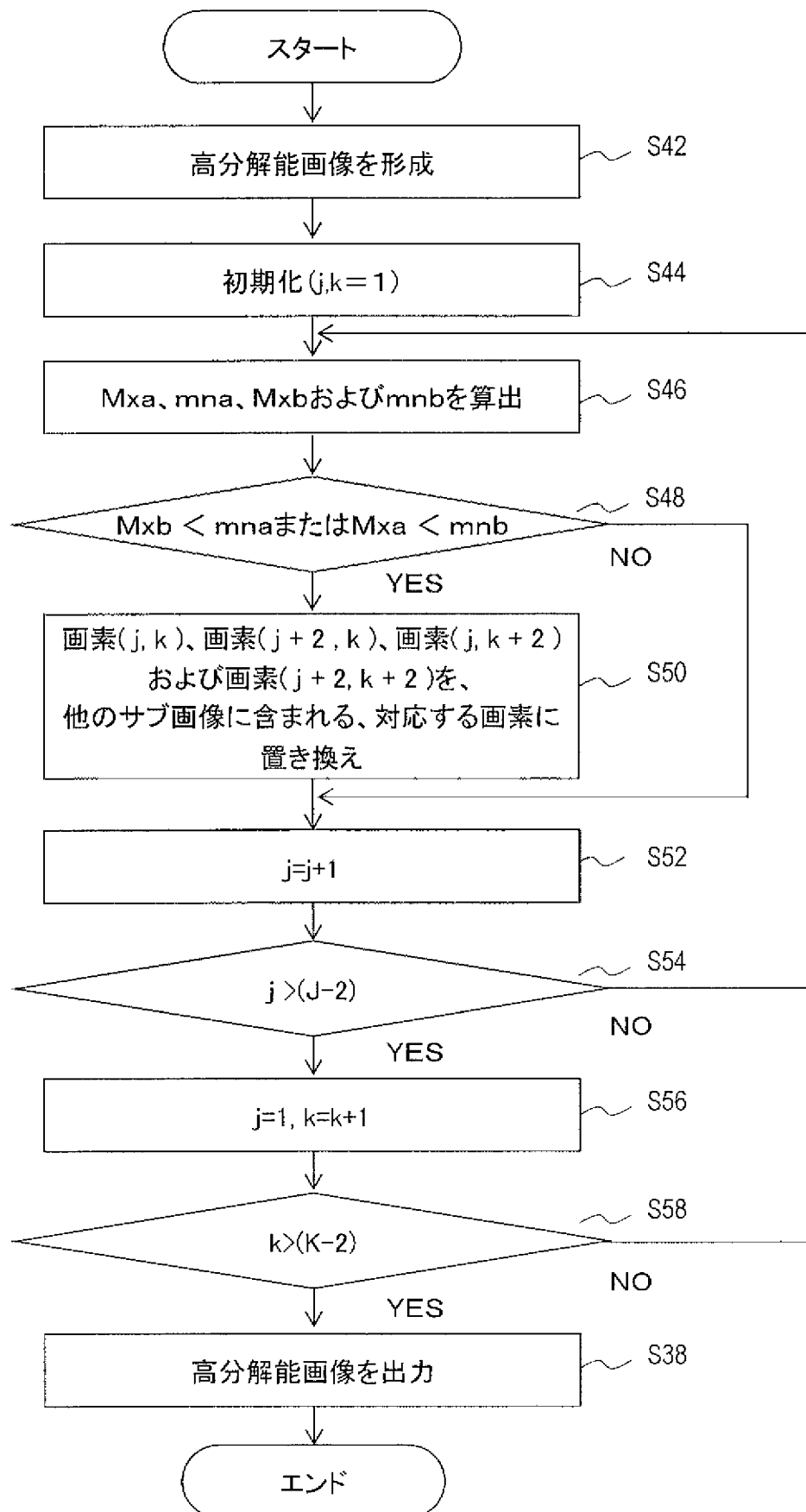
[図24A]



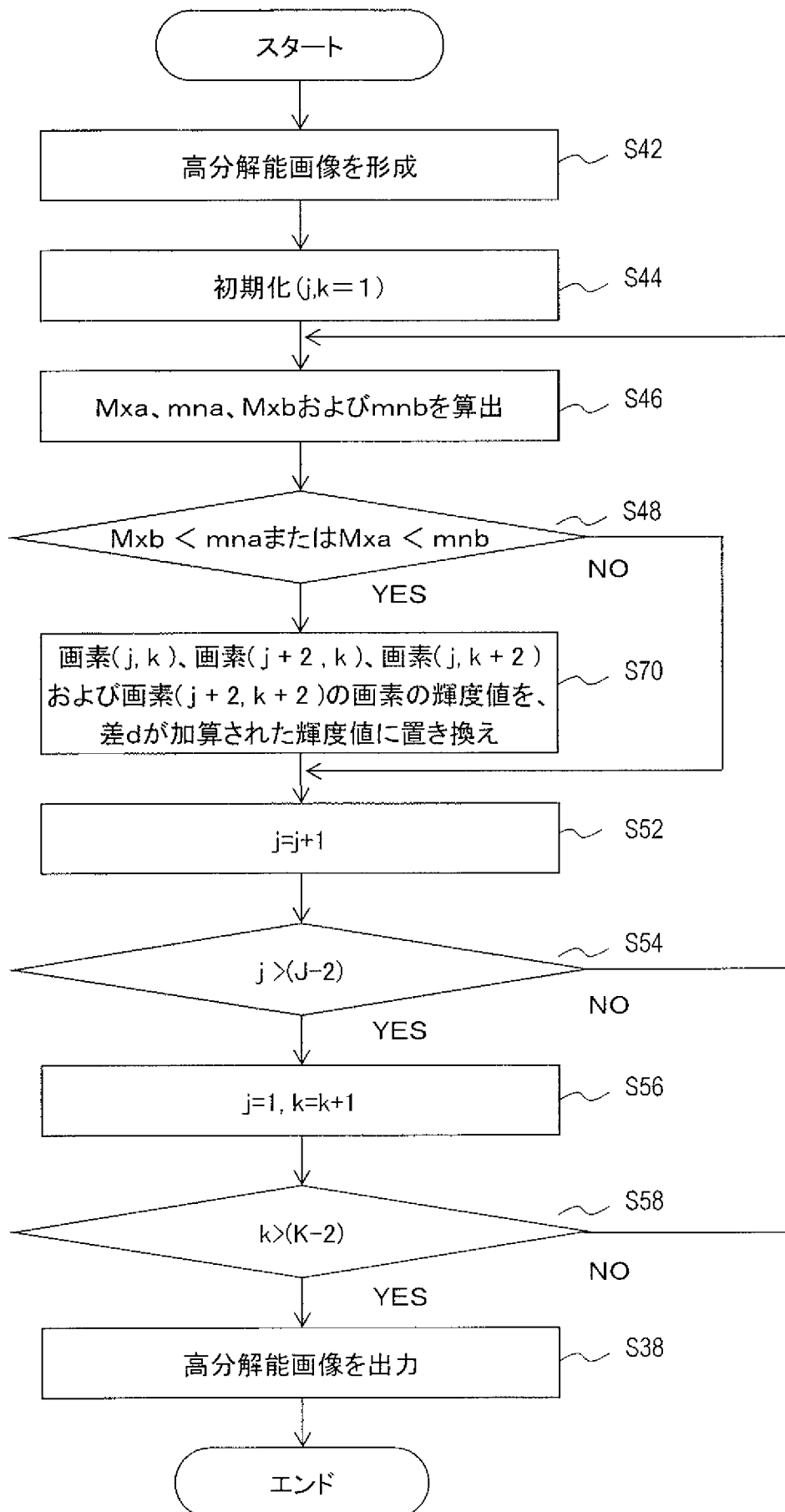
[図24B]



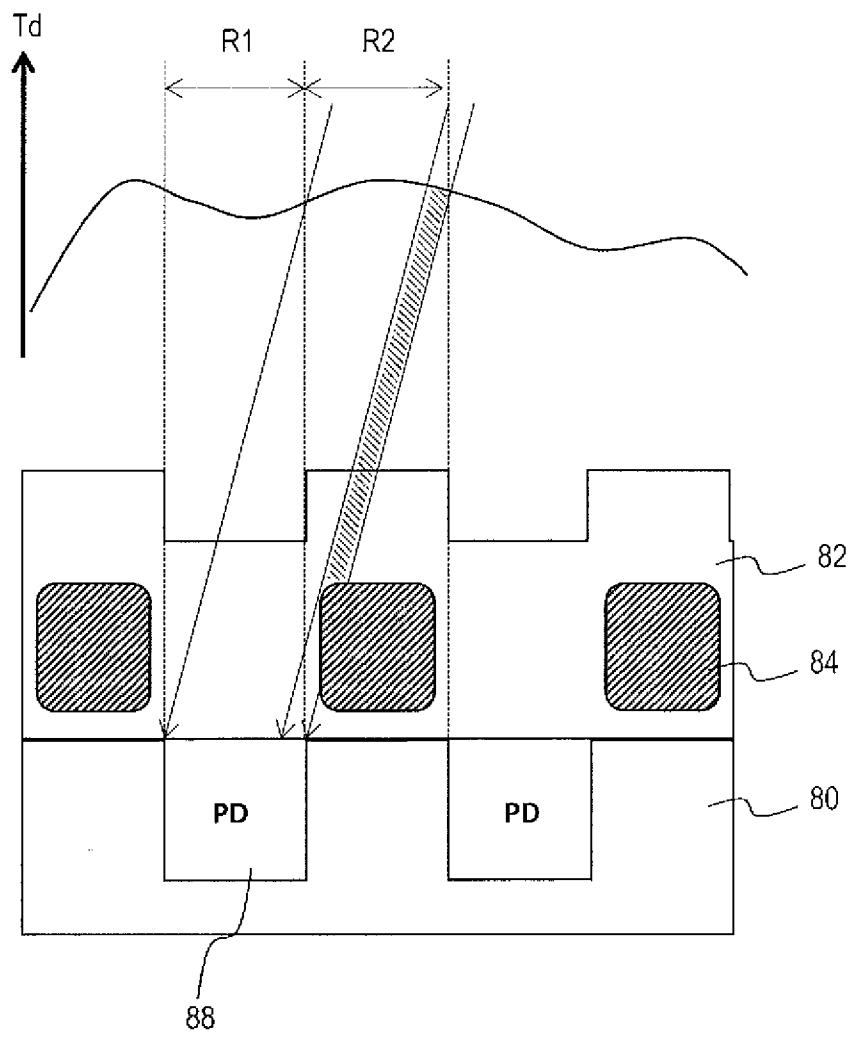
[図24C]



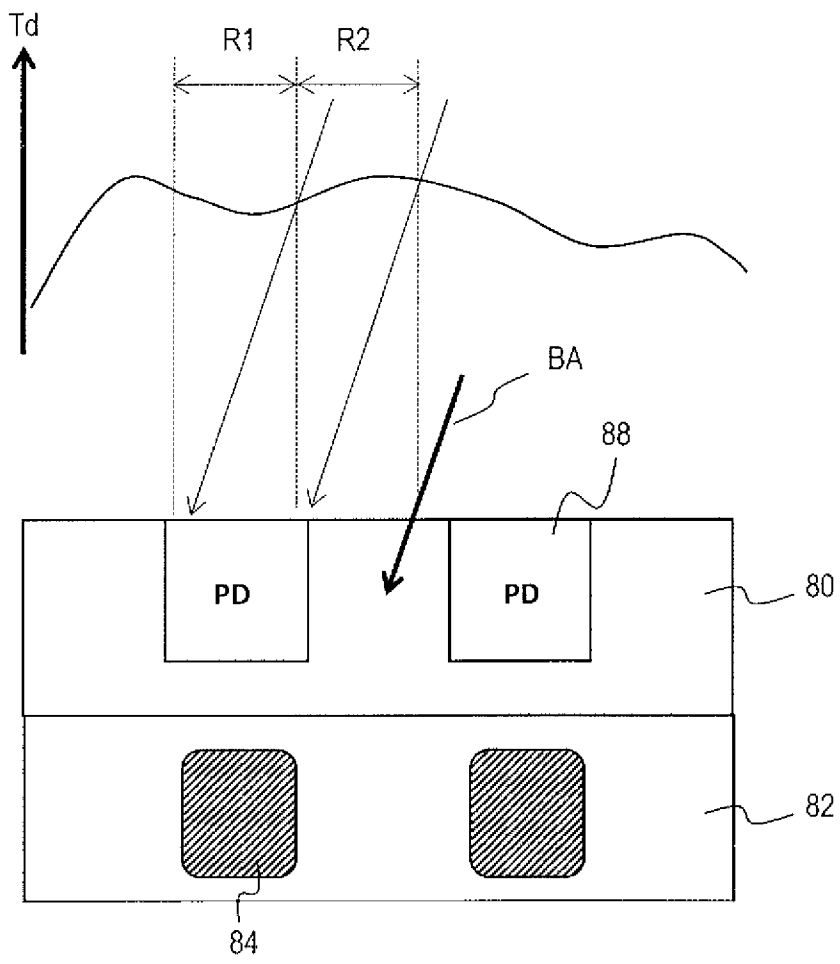
[図24D]



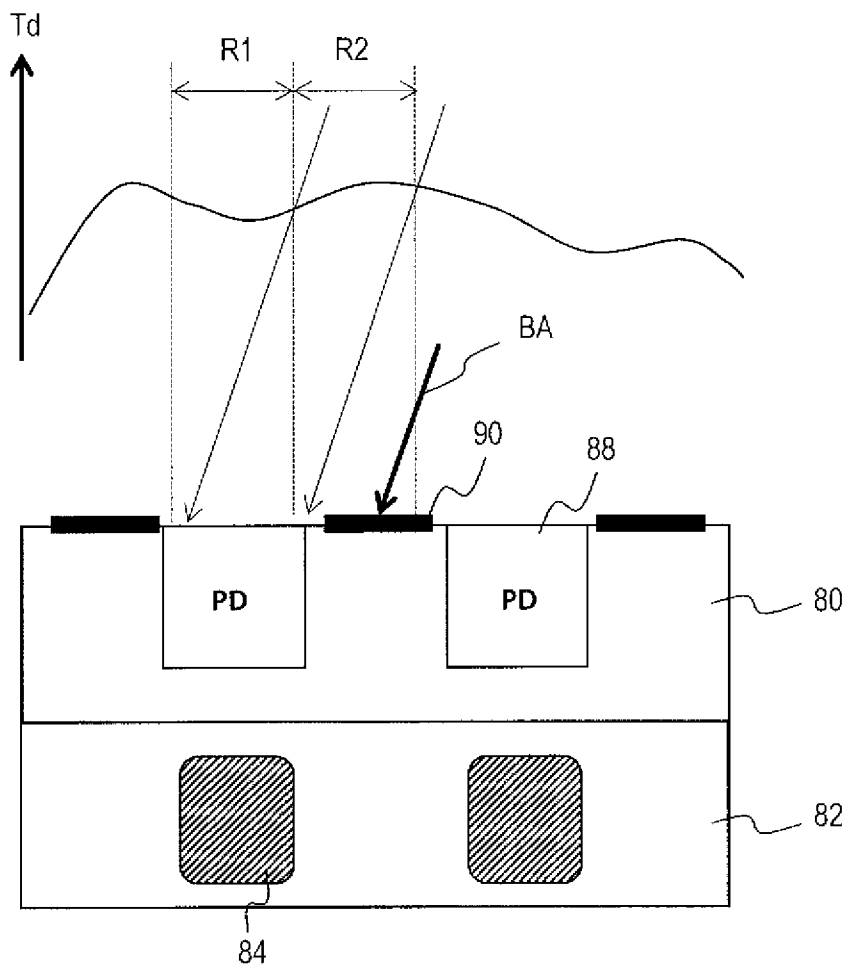
[図25]



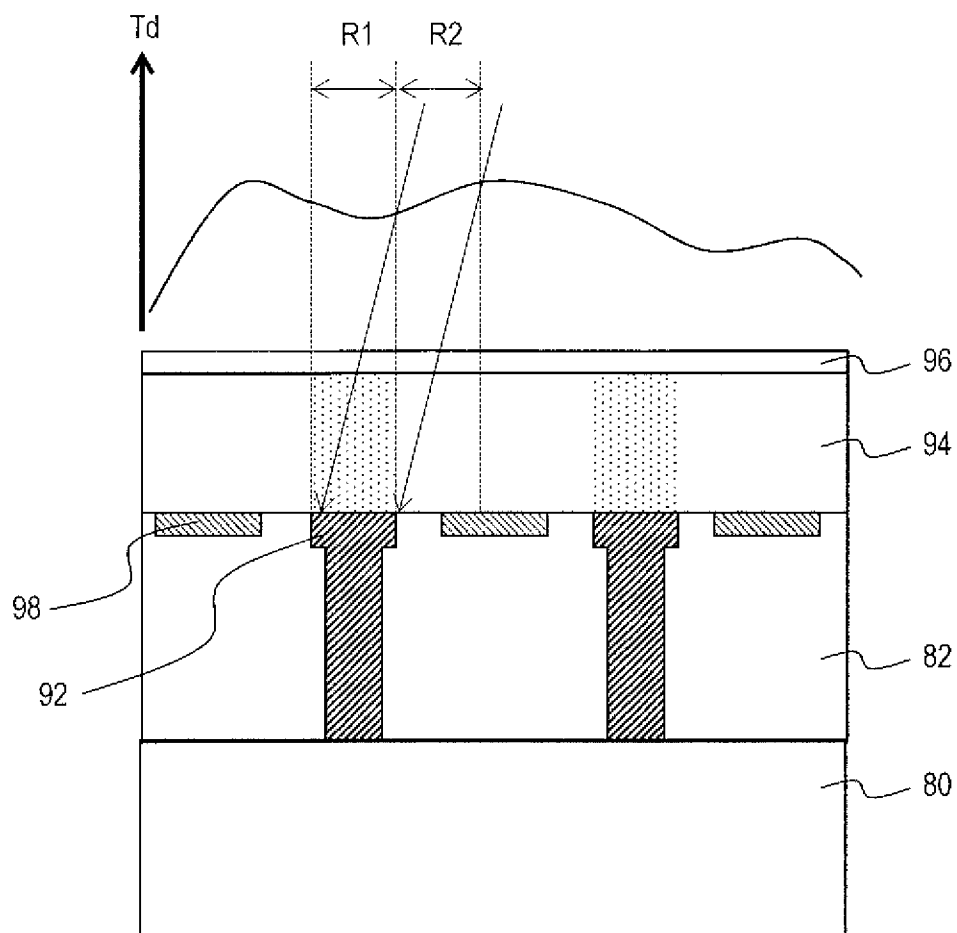
[図26]



[図27]



[図28]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2015/004719

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H04N5/225(2006.01)i, G06T1/00(2006.01)i, H04N5/238(2006.01)i, H04N5/357(2011.01)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)

H04N5/225, G06T1/00, H04N5/238, H04N5/357

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	1996-2015
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2015	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2015

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 6-311879 A (NEC Corp.), 08 November 1994 (08.11.1994), paragraphs [0013] to [0021]; fig. 1 to 2 & US 5702915 A column 4, line 59 to column 7, line 33; fig. 1 to 5	1-16
A	JP 4-316478 A (NEC Corp.), 06 November 1992 (06.11.1992), paragraphs [0008] to [0012]; fig. 1 to 5 & US 5307161 A column 3, line 13 to column 5, line 11; fig. 1 to 5 & EP 508828 A2 & DE 69213531 T	1-16



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

02 December 2015 (02.12.15)

Date of mailing of the international search report

15 December 2015 (15.12.15)

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/JP2015/004719

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 98/030022 A1 (Sony Corp.), 09 July 1998 (09.07.1998), page 6, line 5 to page 8, line 6; page 13, line 17 to page 14, line 6; fig. 6 to 7, 12 & EP 889644 A1 column 5, line 28 to column 7, line 25; column 12, lines 15 to 50; fig. 6 to 7, 12 & CN 1212104 A	1-16
A	JP 2000-295639 A (Nikon Corp.), 20 October 2000 (20.10.2000), paragraphs [0027] to [0044]; fig. 1 to 4 (Family: none)	1-16

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（I P C）） Int.Cl. H04N5/225(2006.01)i, G06T1/00(2006.01)i, H04N5/238(2006.01)i, H04N5/357(2011.01)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（I P C）） Int.Cl. H04N5/225, G06T1/00, H04N5/238, H04N5/357			
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 1 9 2 2 - 1 9 9 6 年 日本国公開実用新案公報 1 9 7 1 - 2 0 1 5 年 日本国実用新案登録公報 1 9 9 6 - 2 0 1 5 年 日本国登録実用新案公報 1 9 9 4 - 2 0 1 5 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 6-311879 A（日本電気株式会社）1994.11.08, 段落[0013]-[0021], 図 1-2 & US 5702915 A, 第 4 カラム第 59 行-第 7 カラム第 33 行, 第 1-5 図	1-16	
A	JP 4-316478 A（日本電気株式会社）1992.11.06, 段落[0008]-[0012], 図 1-5 & US 5307161 A, 第 3 カラム第 13 行-第 5 カラム第 11 行, 第 1-5 図 & EP 508828 A2 & DE 69213531 T	1-16	
☒ 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 0 2 . 1 2 . 2 0 1 5		国際調査報告の発送日 1 5 . 1 2 . 2 0 1 5	
国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁（I S A / J P） 郵便番号 1 0 0 - 8 9 1 5 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） ▲徳▼田 賢二 電話番号 0 3 - 3 5 8 1 - 1 1 0 1 内線 3 5 8 1	5 P 9 6 5 4

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 98/030022 A1 (ソニー株式会社) 1998.07.09, 第6頁第5行-第8頁第6行, 第13頁第17行-第14頁第6行, 第6-7, 12 図 & EP 889644 A1, 第5カラム第28行-第7カラム第25行, 第12カ ラム第15行-第50行, 第6-7, 12 図 & CN 1212104 A	1-16
A	JP 2000-295639 A (株式会社ニコン) 2000.10.20, 段落[0027]-[0044], 図1-4 (ファミリーなし)	1-16