

(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
2014年8月21日(21.08.2014)



(10) 国際公開番号
WO 2014/125529 A1

- (51) 国際特許分類:
A61B 1/04 (2006.01) *G02B 23/26* (2006.01)
A61B 1/00 (2006.01) *H04N 7/18* (2006.01)
A61B 1/06 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2013/005614
- (22) 国際出願日: 2013年9月24日(24.09.2013)
- (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 2013-027304 2013年2月15日(15.02.2013) JP
- (71) 出願人: パナソニック株式会社(PANASONIC CORPORATION) [JP/JP]; 〒5718501 大阪府門真市大字門真1006番地 Osaka (JP).
- (72) 発明者: 金森 克洋(KANAMORI, Katsuhiko).
- (74) 代理人: 奥田 誠司(OKUDA, Seiji); 〒5410041 大阪府大阪市中央区北浜一丁目8番16号 大阪証券取引所ビル10階 奥田国際特許事務所 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, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, 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, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第21条(3))

(54) Title: IMAGE PROCESSING DEVICE AND ENDOSCOPE

(54) 発明の名称: 画像処理装置および内視鏡

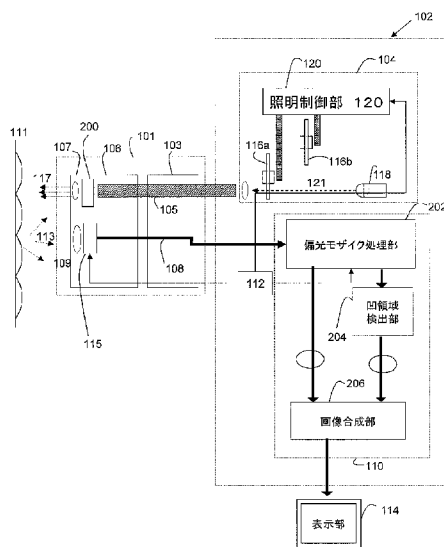


FIG. 8.
114 Display unit
120 Illumination control unit
202 Polarization mosaic processing unit
204 Recessed region detection unit
206 Image compositing unit

(57) Abstract: This image processing device comprises an illumination unit which, in a polarization imaging mode, sequentially illuminates a subject with a first illumination light which is polarized in a first direction and a second illumination light which is polarized in a second direction that intersects with the first direction. In the polarization imaging mode, this device acquires first and second polarized images which are composed of signals of light that have passed through polarizers that have polarization transmission axes in directions that are parallel to and intersect with the first direction when the subject is illuminated with the first illumination light and third and fourth polarized images which are composed of signals of light that have passed through polarizers that have polarization transmission axes in directions that are parallel to and intersect with the second direction when the subject is illuminated with the second illumination light, and detects recessed regions on the surface of the subject on the basis of at least one pair of the pair of the first and second polarized images and the pair of the third and fourth polarized images.

(57) 要約: 本開示の画像処理装置は、偏光撮像モードにおいて、第1の方向に偏光した状態にある第1の照明光、および、前記第1の方向と交差する第2の方向に偏光した状態にある第2の照明光で、順次、被写体を照射する照明部を備え、偏光撮像モードにおいては、前記第1の照明光で前記被写体が照射されているときに前記第1の方向に平行および交差する方向に偏光透過軸を有する偏光子を透過した光の信号によって構成される第1、第2の偏光画像と、第2の照明光で照射されているときに第2の方向に平行および交差する方向に偏光透過軸を有する偏光子を透過した光の信号によって構成される第3、第4の偏光画像とを得て、第1および第2の偏光画像の対、または前記第3および第4の偏光画像の対の少なくとも一方の対に基づいて前記被写体の表面における

凹領域を検出する。

明 細 書

発明の名称：画像処理装置および内視鏡

技術分野

[0001] 本開示は、画像処理装置および当該画像処理装置に使用される内視鏡に関する。

背景技術

[0002] 粘膜で覆われた、生体の臓器器官の壁表面に対して照明を照射して撮像する内視鏡の分野では、表面の色の変化と同時に、表面の微細な凹凸のテクスチャを確認する必要がある。この表面テクスチャは、例えば胃における胃小区のように平均サイズが0.5～1.0mm、深さが0.1～0.2mm程度の半透明の微細な凹凸である。これを内視鏡によって輝度の陰影でとらえることは非常に難しいため、現在はインジゴカルミン溶液など青色色素液体を粘膜上に撒布して、液体が溝にたまる状態を輝度で観察している。

[0003] しかし、この処理では、粘膜上に液体を吹き付けるために出血したり、粘膜の色が変わってしまうなどの問題があった。このような表面の凹凸を観察したいという課題に対して偏光照明と偏光撮像を用いた偏光内視鏡が特許文献1に記載されている。

先行技術文献

特許文献

[0004] 特許文献1：特開2009-246770号公報

特許文献2：特開2009-210780号公報

非特許文献

[0005] 非特許文献1：Viktor Gruev, Rob Perkins, and Timothy York, "CCD polarization imaging sensor with aluminum nanowire optical filters", 30 August 2010 / Vol. 18, No. 18 / OPTICS EXPRESS PP. 19087-19094

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0006] 特許文献 1 に開示されているような偏光を使う従来技術では、特定の偏光成分の照明光を物体に照射し、物体からの戻り光において、照明と平行な偏光成分、および直交する偏光成分それぞれの画像を撮像し、それらに基づいて表面の形状変化を算出している。

[0007] 本開示の画像処理装置の実施形態は、偏光撮像モードにおいて、被写体の表面における凹領域を検出することにより、被写体の表面における前記凹領域を強調して示す画像を得ることができる。

課題を解決するための手段

[0008] 本開示の画像処理装置は、ある態様では、偏光撮像モードにおいて、第 1 の方向に偏光した状態にある第 1 の照明光、および、前記第 1 の方向と交差する第 2 の方向に偏光した状態にある第 2 の照明光で、順次、被写体を照射する照明部であって、前記第 1 の照明光の波長域が前記第 2 の照明光の波長域に重複しない部分を有するように前記第 1 および第 2 の照明光を順次射出する照明部と、偏光透過軸の方向が異なる複数の偏光子が配列された偏光モザイクアレイ、および、各偏光子を透過した光を受けて信号を出力する光検知素子アレイを有する撮像素子と、前記偏光撮像モードにおいては、前記第 1 の照明光で前記被写体が照射されているときに前記第 1 の方向に平行な方向に前記偏光透過軸を有する偏光子を透過した光の信号によって構成される第 1 の偏光画像と、前記第 1 の照明光で前記被写体が照射されているときに前記第 1 の方向に交差する方向に前記偏光透過軸を有する偏光子を透過した光の信号によって構成される第 2 の偏光画像と、前記被写体が前記第 2 の照明光で照射されているときに前記第 2 の方向に平行な方向に前記偏光透過軸を有する偏光子を透過した光の信号によって構成される第 3 の偏光画像と、前記被写体が前記第 2 の照明光で照射されているときに前記第 2 の方向に交差する方向に前記偏光透過軸を有する偏光子を透過した光の信号によって構成される第 4 の偏光画像とを得る、偏光モザイク処理部と、前記第 1 および第 2 の偏光画像の対、ならびに前記第 3 および第 4 の偏光画像の対の少なく

とも一方の対に基づいて前記被写体の表面における凹領域を検出する凹領域検出部と、前記被写体の表面における前記凹領域を強調して示す画像を形成する画像形成部とを備える。

[0009] 本開示の画像処理装置は、ある態様では、偏光撮像モードにおいて、第1の方向に偏光した状態にある第1の白色照明光、および、前記第1の方向と交差する第2の方向に偏光した状態にある第2の白色照明光で、順次、被写体を照射する照明部と、偏光透過軸の方向が異なる複数の偏光子が配列された偏光モザイクアレイ、光透過特性が異なるカラーフィルタが配列されたカラーモザイクフィルタ、および、各偏光子および各カラーフィルタを透過した光を受けて信号を出力する光検知素子アレイを有する撮像素子と、前記偏光撮像モードにおいては、前記第1の白色照明光で前記被写体が照射されているときに前記第1の方向に平行な方向に前記偏光透過軸を有する偏光子を透過した光の信号によって構成される第1の偏光画像と、前記第1の白色照明光で前記被写体が照射されているときに前記第1の方向に交差する方向に前記偏光透過軸を有する偏光子を透過した光の信号によって構成される第2の偏光画像と、前記被写体が前記第2の白色照明光で照射されているときに前記第2の方向に平行な方向に前記偏光透過軸を有する偏光子を透過した光の信号によって構成される第3の偏光画像と、前記被写体が前記第2の白色照明光で照射されているときに前記第2の方向に交差する方向に前記偏光透過軸を有する偏光子を透過した光の信号によって構成される第4の偏光画像とを得る、偏光モザイク処理部と、前記第1および第2の偏光画像の対、ならびに前記第3および第4の偏光画像の対の少なくとも一方の対に基づいて前記被写体の表面における凹領域を検出する凹領域検出部と、前記被写体の表面における前記凹領域を強調して示す画像を形成する画像形成部とを備える。

[0010] 本開示の内視鏡は、上記何れかに記載の画像処理装置に用いられる内視鏡であって、ある態様では、偏光撮像モードにおいて、第1の方向に偏光した状態にある第1の照明光、および、前記第1の方向と交差する第2の方向に

偏光した状態にある第2の照明光で、順次、被写体を照射する照明部であって、前記第1の照明光の波長域が前記第2の照明光の波長域に重複しない部分を有するように前記第1および第2の照明光を順次出射する照明部と、偏光透過軸の方向が異なる複数の偏光子が配列された偏光モザイクアレイ、および、各偏光子を透過した光を受けて信号を出力する光検知素子アレイを有する撮像素子と、を備える。

[0011] 本開示の内視鏡は、上記いずれかに記載の画像処理装置に用いられる内視鏡であって、ある態様では、偏光撮像モードにおいて、第1の方向に偏光した状態にある第1の白色照明光、および、前記第1の方向と交差する第2の方向に偏光した状態にある第2の白色照明光で、順次、被写体を照射する照明部と、偏光透過軸の方向が異なる複数の偏光子が配列された偏光モザイクアレイ、光透過特性が異なるカラーフィルタが配列されたカラーモザイクフィルタ、および、各偏光子および各カラーフィルタを透過した光を受けて信号を出力する光検知素子アレイを有する撮像素子とを備える。

[0012] 本開示の画像処理装置は、ある態様では、円偏光状態にある照明光で被写体を照射する照明部と、 $1/4$ 波長板、偏光透過軸の方向が異なる複数の偏光子が配列された偏光モザイクアレイ、光透過特性が異なるカラーフィルタが配列されたカラーモザイクフィルタ、および、各偏光子および各カラーフィルタを透過した光を受けて信号を出力する光検知素子アレイを有し、前記 $1/4$ 波長板が前記偏光モザイクアレイよりも被写体側に配置されている撮像素子と、前記照明光の前記被写体からの戻り光が前記 $1/4$ 波長板を透過することによって変換された直線偏光の偏光面に平行な方向に前記偏光透過軸を有する偏光子を透過した光の信号によって構成される第1の偏光画像、および前記偏光面に対して交差する方向に前記偏光透過軸を有する偏光子を透過した光の信号によって構成される第2の偏光画像を得る、偏光モザイク処理部と、前記前記第1および第2の偏光画像の対に基づいて、前記被写体の表面における前記凹領域を強調して示す画像を形成する画像形成部とを備える。

[0013] 本開示の内視鏡は、上記の画像処理装置に用いられる内視鏡であって、円偏光状態にある照明光で被写体を照射する照明部と、 $1/4$ 波長板、偏光透過軸の方向が異なる複数の偏光子が配列された偏光モザイクアレイ、光透過特性が異なるカラーフィルタが配列されたカラーモザイクフィルタ、および、各偏光子および各カラーフィルタを透過した光を受けて信号を出力する光検知素子アレイを有し、前記 $1/4$ 波長板が前記偏光モザイクアレイよりも被写体側に配置されている撮像素子とを備える。

発明の効果

[0014] 本開示の実施形態によれば、偏光撮像モードにおいて、第1の方向に偏光した状態にある第1の照明光、および、第1の方向と交差する第2の方向に偏光した状態にある第2の照明光で、順次、被写体を照射するため、通常の被写体像とは別に、被写体表面の凹凸情報や傾斜情報を得ることができる。このため、例えばインジゴカルミン溶液など青色色素液体を粘膜上に撒布した画像に類似する画像（凹領域が強調された画像）を合成することが可能になる。

図面の簡単な説明

[0015] [図1] (a) および (b) は、いずれも、胃粘膜の内視鏡画像の図
[図2]臓器の表面粘膜の凹凸部の断面モデルを示す図
[図3]フレネル理論による光が媒質から出射する際の出射角と偏光度DOPの関係を示すグラフ
[図4]偏光照明を表面の溝に入射する際の反射光のエネルギーの説明図であって、(A) および (B) は、それぞれ、照明光が溝に対して 0° 、 90° の場合の図
[図5]偏光照明を表面の溝に入射する際の反射光のエネルギーの説明図（照明光が溝に対して 45° の場合の図）
[図6]本開示の第1の実施形態の構成を示すブロック図
[図7] (a) および (b) は、本開示の第1の実施形態におけるカラーホイールを示す図

[図8]本開示の第1の実施形態における照明フィルタの特性を示す図

[図9] (A) から (C) は、本開示の第1の実施形態でのモノクロ広帯域偏光撮像素子を形成するワイヤグリッドの平面構造と透過軸方向を示す図

[図10]本開示の第1の実施形態でのモノクロ広帯域偏光撮像素子の断面構造を示す図

[図11A]本開示の第1の実施形態における通常撮像モードの動作を示す図

[図11B]本開示の第1の実施形態での通常撮像モードのタイミングチャート

[図12]本開示の第1の実施形態での偏光撮像モードの偏光モザイク処理部202の動作を示す図

[図13]本開示の第1の実施形態での偏光撮像モードのタイミングチャート

[図14]本開示の第1の実施形態での凹領域検出部204と画像合成部206の処理を説明するブロック図

[図15] (A) および (B) は、凹領域検出部204で用いる平滑化フィルタと微分処理マスクの例を示す図

[図16] (1) から (3) は、凹領域検出部204で用いる青色強調処理の例を示す図

[図17A]凹領域検出部204で用いる2対の平行・直交ニコル画像を合成する処理の図

[図17B]凹領域検出部204で用いる2対の平行・直交ニコル画像を合成する処理の図

[図18] (A) から (D) は、レファレンス被写体を用いた処理結果を示す図

[図19] (A) から (D) は、ブタ胃を用いた処理結果を示す図

[図20]本開示の第2の実施形態の構成を示すブロック図

[図21]本開示の第2の実施形態における内視鏡先端部と偏光回転照明を示す図

[図22] (A) および (B) は、本開示の第2の実施形態における偏光回転照明の別の構成を示す図

[図23]本開示の第2の実施形態におけるカラー偏光撮像素子の断面構造を示す図

す図

[図24] (A) から (C) は、本開示の第 2 の実施形態におけるカラーモザイクと偏光モザイクの平面配置を示す図

[図25] 本開示の第 2 の実施形態における通常撮像モードの偏光モザイク処理部 202 の動作を示す図

[図26] 本開示の第 2 の実施形態における通常撮像モードのタイミングチャート

[図27] 本開示の第 2 の実施形態における偏光撮像モードの偏光モザイク処理部 202 の動作を示す図

[図28] 本開示の第 2 の実施形態における偏光撮像モードのタイミングチャート

[図29] (A) から (C) は、本開示の第 2 の実施形態の変形例 1 におけるカラーモザイクと偏光モザイクの平面配置を示す図

[図30] 本開示の第 2 の実施形態の変形例 1 における通常撮像モードの偏光モザイク処理部 202 の動作を示す図

[図31] 本開示の第 2 の実施形態の変形例 1 における偏光撮像モードの偏光モザイク処理部 202 の動作を示す図

[図32] (A) から (C) は、本開示の第 2 の実施形態の変形例 2 におけるカラーモザイクと偏光モザイクの平面配置を示す図

[図33] 本開示の第 2 の実施形態の変形例 2 における通常撮像モードの偏光モザイク処理部 202 の動作を示す図

[図34] 本開示の第 2 の実施形態の変形例 2 における偏光撮像モードの偏光モザイク処理部 202 の動作を示す図

[図35] (A)、(B)、(C)、(D) は、本開示の第 2 の実施形態の変形例 3 における偏光照明光と偏光撮像の透過方向との関係を示す図

[図36] 本開示の第 2 の実施形態の変形例 3 における偏光照明を示す図

[図37] (A) から (C) は、本開示の第 2 の実施形態の変形例 3 におけるカラーモザイクと偏光モザイクの平面配置を示す図

[図38]本開示の第2の実施形態の変形例3における通常撮像モードの動作説明図

[図39]本開示の第2の実施形態の変形例3における偏光撮像モードの動作を説明するための図

[図40]本開示の第2の実施形態の変形例4における内視鏡先端部と偏光回転照明を示す図

[図41] (A) は、円偏光の光が進行する方向を示す図、(B) は、 $\lambda/4$ 板のF軸とS軸との間に 0° の偏光面を持つ直線偏光光が入射する様子を示す図、(C) は、 $\lambda/4$ 板のF軸とS軸との間に 90° の偏光面を持つ直線偏光光が入射する様子を示す図

[図42]本開示の第2の実施形態の変形例4で用いるカラー偏光撮像素子119の断面構造の例を示す図

[図43] (A) から (C) は、本開示の第2の実施形態の変形例4におけるカラーモザイクと偏光モザイクの平面配置を示す図

[図44]本開示の第2の実施形態の変形例4で採用する臓器の表面粘膜の凹凸部の断面モデルを示す図

[図45]本開示の第2の実施形態の変形例4における戻り光を説明するための図

[図46]本開示の第2の実施形態の変形例5における内視鏡先端部と偏光回転照明を示す図

発明を実施するための形態

[0016] 図1は、ヒトの胃の表面粘膜を内視鏡で観察した画像を示す。図1(a)は、通常のカラ画像を示しており、表面にはなだらかな起伏しか感じられない。すなわち消化器などを検察する内視鏡が、臓器表面に形成された透明または半透明の凹凸を検出することは通常のカラ画像処理では困難である。ここで、通常のカラ画像処理とは、非偏光の白色光を照射して得られるカラーの輝度画像を得るための処理である。こうして得られたカラ画像を「カラ輝度画像」または単に「輝度画像」と称し、また、カラ輝度画像

を得るための撮影を「カラー輝度撮影」と称する場合がある。

[0017] 一方、図1(b)は、インジゴカルミン液を撒布した後のカラー画像を示しており、表面の微細な凹凸のテクスチャ（サイズが0.5～1.0mm、深さが0.1～0.2mm程度）が明瞭に確認できる。

[0018] 図2は、胃や腸の臓器表面に形成された凹凸断面を簡略化して示している。胃や腸の表面に存在する凹凸溝は、一般的には上に凸の台形状の繰り返し配列によって形成されていると考えられる。隣接する2つの凸部の間に位置する凹領域は、典型的には、ある方向に延びる小さな「溝」である。複数の溝は、局所的には略同じ方向に揃っているが、大局的には複雑な曲線状または他のパターンを示し得る。現実の被写体表面の凹凸は、ドット状の凹部または凸部を含み得るが、本明細書では、このような凹凸の凹部を単に「溝」または「凹溝」と称する場合がある。図2は、被写体の表面部における狭い領域内に存在する幾つかの溝を横切る断面を模式的に示している。簡単のため、以下の説明では、図2に示されるような凹部および凸部が図の紙面に対して垂直な方向に延びていると仮定してよい。

[0019] 内視鏡による観察は、撮影光軸の近傍に光源が配置された同軸照明であるため、図2に示された被写体に対して、その略直上から照明光を照射し、同じく被写体の略直上から撮影が行われる。このような同軸照明を用いた通常カラー輝度撮影にて観察できる反射光には大きく3種ある。第1は表面にて光が反射する鏡面反射光（いわゆるハレーション）SRであり、第2は媒質内部に浸透し、表層で反射して戻ってくる表面散乱光SR1であり、第3は媒質のより下層まで多重散乱して浸透して表面から再出射される内部拡散光DRである。第1の反射光（鏡面反射光）は、照射される光と撮影光軸とが正反射の条件に近い場合に限って発生するため、内視鏡の撮影シーンではごく局所的にしか発生しない。鏡面反射光の色は、照明の色すなわち白色であり、輝度は非常に強い。鏡面反射光による被写体像は、前記の正反射条件から、一般に被写体表面における凹凸の凸部にて強く明るく、凹部では弱く暗い。一方、第2の反射光（表面散乱光）と第3の反射光（内部拡散光）は

、撮影シーンの全域に渡って観測される。これら2種の光の色は、媒質の色自身であり、輝度はそれほど強くないが媒質全体が大域的に光る。

[0020] 通常の撮影では第1の鏡面反射光は写りこみを回避されることが多く、上記のうち第2と第3の反射光が重ねあわされて1つの輝度画像（撮影シーン）が形成される。

[0021] 次に、同じ図2を用いて、偏光を用いた際の現象を説明する。図2の例では、表面凹凸の凸部および凹部が延びる方向に平行な方向の偏光照明および垂直な方向の偏光照明を順次照射し、それぞれに対して平行ニコル状態の偏光画像と直交ニコル状態の偏光画像を観測している。

[0022] まず、鏡面反射成分SRは同軸照明状態での正反射であるから、照射された偏光の偏光状態と同じ偏光状態を維持する。このため、鏡面反射成分SRは照明と同一の偏光になる。

[0023] 一方、表面散乱光SR1は、同じく、照明の偏光の性質を維持したまま、表面から戻ってくる。そこで、SRとSR1はいずれも照明偏光とほぼ同一の偏光の性質を有する。一方、内部拡散光の偏光DRの偏光方向はこれとは異なる。媒質の深部にまで多重反射して到達した偏光はその影響によって偏光を崩されて非偏光（ランダム偏光）の光Dに変化している。そして、この非偏光Dが再度表面から空気中に戻ってくる。通常の平坦部では、この光Dは非偏光のまま出射され则认为られるが、表面に溝があると、傾斜した境界面ができるため、再度偏光して出射する。この屈折率が1より大きい媒質から空気中へ出射する際の偏光については、フレネル理論で決定される。図3は、フレネル理論に基づいて求められた屈折率が1より大きい媒質から空気中へ出射する際の偏光の状態を示すグラフである。偏光度としてはやや弱いながら、横軸の出射角に対して透過率は常にP偏光>S偏光となる、生体（水）、アクリル板などの屈折率を、それぞれ1.33、1.49程度とすると、出射角（E m i t t a n c e A n g l e）=70°の場合、偏光度DOP=0.1（10%弱）の偏光が観測されることがわかる。

[0024] ここでは、偏光照明を表面の溝に入射し、それを偏光撮像する場合の輝度

コントラストについて、粘膜媒質内での吸収を無視して検討する。2次元カメラ座標平面において図4と図5のように溝の方位角を 0° に固定し、偏光方向を3通りに変えて入射する。これを(L0、L90、L45)などと表記する。輝度観測はカメラ前に設置した検光子の角度を同様に变化させて(C0、C90、C45)のように実施する。LとCが平行ニコル状態にある場合を//、直交状態にある場合を⊥と表記する。

[0025] (1) L0C0(//) / L0C90(⊥) の場合 (図4 (A))

入射した直線偏光のエネルギーを1とし、この偏光が媒質内で拡散して非偏光になる割合を d_1 とすると(SR)(SR1)のように偏光を維持して反射する割合は $(1 - d_1)$ となる。次に媒質中の非偏光光が媒質から空气中に再出射する際、直線偏光となる割合を p 、非偏光のままの割合を $(1 - p)$ とする。これらの反射光をC0、すなわち 0° の偏光板を用いて観測すると、平行な直線偏光のエネルギーは完全透過するが、直交する直線偏光はゼロになり、非偏光の場合は、直線偏光板による観測でエネルギーは $1/2$ になるから、L0での平行ニコル(//)画像輝度は、以下のように表される。

$$L0C0 = (1 - d_1) + d_1(1 - p) / 2 = 1 - d_1(1 + p) / 2 \quad \dots (式1)$$

L0での直交ニコル(⊥)画像の輝度は、以下のように表される。

$$L0C90 = d_1 p + d_1(1 - p) / 2 = d_1(1 + p) / 2 \quad \dots (式2)$$

[0026] (2) L90C90(//) / L90C0(⊥) の場合 (図4 (B))

この場合の偏光が媒質内で拡散して非偏光になる割合を d_2 とすると、同様に平行ニコル(//)画像の輝度は、以下のように表される。

$$L90C90 = (1 - d_2) + d_2 p + d_2(1 - p) / 2 = 1 - d_2(1 - p) / 2 \quad \dots (式3)$$

直交ニコル(⊥)画像の輝度は以下のとおりである。

$$L90C0 = d_2(1 - p) / 2 \quad \dots (式4)$$

[0027] (3) L45C45(//) / L45C135(⊥) の場合 (図5)

この場合は、偏光を 0° と 45° に $1/2$ のエネルギーで分解した後に、
 (式1) から (式4) を用いればよい。マリユスの法則より $\cos^2 45^\circ$ を
 用いて、平行ニコル (//) 画像の輝度は、以下のように表される。

$$L_{45C45} = 1/2 \times [\cos^2 45^\circ \times \{d_1 p + (1 - d_1) + d_2 p + (1 - d_2)\} + d_1/2 \times (1 - p) + d_2/2 \times (1 - p)] = 1/2$$

..... (式5)

$$L_{45C135} = 1/2 \dots \dots (式6)$$

[0028] 次に、偏光差分観測における輝度コントラストを導出するため、まず上記
 の偏光が平坦な媒質に入射された場合を考える。同様に直線偏光が媒質内で
 d の割合で非偏光になると考えると平行ニコルでは偏光を維持した反射成分
 から $(1 - d)$ 、非偏光成分から $d/2$ の寄与があるので、 $1 - d/2$ が、
 また直交ニコルでは非偏光成分から $d/2$ の寄与のみとなる。

[0029] 以下の表1では、偏光の角度を考慮した溝部 (Groove-region) と平坦部 (Plane-region) における輝度についてまとめて
 掲載している。同時に偏光差分値 (// - ⊥) および、それを用いた輝度コン
 トラストを計算している。ここで輝度コントラストの定義は (平坦部輝度 P
 lane) / (溝部輝度 Groove) とした。計算の簡単化のため、表1
 における輝度コントラストの欄では、 $d_1 = d_2 = d$ とした。

[0030]

[表1]

	Groove -region			Plane -region			Contrast (Plane / Groove)
	∥	⊥	∥ − ⊥	∥	⊥	∥ − ⊥	
L0	$1 - \frac{d_1(1+p)}{2}$	$\frac{d_1(1+p)}{2}$	$1 - d_1(1+p)$	$1 - \frac{d}{2}$	$\frac{d}{2}$	$1 - d$	$1 + \frac{dp}{1-d(1+p)}$
L90	$1 - \frac{d_2(1-p)}{2}$	$\frac{d_2(1-p)}{2}$	$1 - d_2(1-p)$				$1 - \frac{dp}{1-d(1-p)}$
L45 (L135)	$1/2$	$1/2$	0				∞

[0031] この表1から、実際の p 、 d の値について言及せずとも、L0の場合、およびL45(L135)の場合について、輝度コントラストが1よりも向上することがわかる。そして、偏光差分を用いる場合、の輝度コントラストは、L45(L135)のとき、すなわち溝と偏光照明の偏光面の角度が 45° をなすときに理想的には ∞ まで最大となり、L0のとき、すなわち溝と偏光照明の偏光面とが平行のときがそれに続く1を超える値となり、L90、すなわち溝と偏光照明の偏光面が直交するときに最低で1以下の値となる。そこで、被写体表面に存在する溝の向きがランダムだと仮定し、それに対して照明の偏光向きが 45° づつ離散的に変動すると考えると、 $3/4$ (=75%)の確率で輝度コントラストが1よりも向上することになる。ここで25%の確率にてコントラストが低下する可能性も否定できない。しかしながら本発明者の実験によると偏光照明が 0° と 90° という2種類の照明光を照射し、それぞれについて後述する溝検出のための画像処理を実施し、その結果を画像として平均化した場合、通常の輝度画像での検出結果よりも良好な結果を得ることができている。 45° と 135° の2種類の照明光を使った場合には当然良好な結果が得られる。そこで2種類の直交した偏光照明を利

用して偏光差分観測を実施すれば、平坦部と溝部とを非常に良好なコントラストにて識別できる。以上が、本開示における溝部の検出の原理である。

[0032] 次に従来の偏光を使わない輝度観測における輝度コントラストについて検討する。ここでは通常の非偏光照明NPを使った場合の溝部と平坦部の輝度コントラストを検討する。溝部の場合には入射の方位角を ϕ 、観測の方位角を θ としてPとSの観測角につき、照明の ϕ を平均化すると $1/2$ になるので、Pの場合、以下のように表される。

$$\begin{aligned} L(NP)P(\theta) = & \\ & 1/2 \times [(1-d_1) \cos^2 \theta + d_1 p \sin^2 \theta] \\ & + 1/2 \times [d_2 p \sin^2 \theta + (1-d_2) \sin^2 \theta] \\ & + (1-p)(d_1+d_2)/4 \dots \dots \dots \text{(式7)} \end{aligned}$$

また、Sの場合は、以下のように表される。

$$\begin{aligned} L(NP)S(\theta+90^\circ) = & \\ & 1/2 \times [(1-d_1) \sin^2 \theta + d_1 p \cos^2 \theta] \\ & + 1/2 \times [d_2 p \cos^2 \theta + (1-d_2) \cos^2 \theta] \\ & + (1-p)(d_1+d_2)/4 \dots \dots \dots \text{(式8)} \end{aligned}$$

となる。輝度観測では検光子を有しないので、 $P+S$ が観測される。一方、平坦部では、もともと異方性を有しないので表1のままでよい。以上から輝度コントラストを求めると表2のように1となり、溝部と平坦部は輝度では識別できないことがわかる。

[0033]

[表2]

Groove -region			Plane -region			Contrast (Plane / Groove)
P (θ)	S ($\theta + 90^\circ$)	P + S	P (θ)	S ($\theta + 90^\circ$)	P + S	
$\frac{1}{2} \times [(1-d_1) \cos^2 \theta + d_1 p \sin^2 \theta]$ $+ \frac{1}{2} \times [(d_2 p \sin^2 \theta + (1-d_2) \sin^2 \theta)]$ $+ (1-p)(d_1+d_2)/4$	$\frac{1}{2} \times [(1-d_1) \sin^2 \theta + d_1 p \cos^2 \theta]$ $+ \frac{1}{2} \times [d_2 p \cos^2 \theta + (1-d_2) \cos^2 \theta]$ $+ (1-p)(d_1+d_2)/4$	1	$1 - d/2$	$d/2$	1	1

[0034] 表1と表2の比較から図1で述べた表面粘膜の微細構造モデルにおいて、溝部の強調処理の原理は以下のようにまとめられる。

(i) 溝部と平坦部を識別する場合、非偏光の照明と輝度の観測では輝度コントラストが低く困難。

(ii) 偏光照明と偏光撮像を用いて偏光差分値（//－⊥）を計算すると溝部と平坦部との輝度コントラストを大きく向上できる。

(iii) ただし輝度コントラストは入射照明と溝部とが平面内でなす角度に依存し角度差＝45°（L45）の場合に最大、角度差＝90°（L90）の場合に最低、角度差＝0°（L0）ではその中間となる。

(iv) 90°異なる直交した2種類の照明を使って偏光差分値を計算し、最後に平均化する処理で溝部の検出については検出漏れのない良好な結果が得られる。

[0035] 以下、本開示の実施形態を説明する。

[0036] (第1の実施形態)

図6は、本開示の実施形態1における画像処理装置の全体構成を模式的に示す図である。本画像処理装置は、内視鏡101と、制御装置102と、表示部114とを備える。

- [0037] 内視鏡１０１は、モノクロ広帯域偏光撮像素子１１５を有する先端部１０６、および、ライトガイド１０５と映像信号線１０８とを内部に有する挿入部１０３を有している。内視鏡１０１の挿入部１０３は、図示されているように左右に長く、フレキシブルに曲がり得る構造を有している。ライトガイド１０５は曲がった状態でも光を伝達することができる。
- [0038] 制御装置１０２は、光源装置１０４と画像プロセッサ１１０とを備える。光源装置１０４内には、例えばキセノン光源、ハロゲン光源、ＬＥＤ光源、またはレーザ光源であり得る光源１１８が備えられている。光源１１８から発した非偏光の光は、回転するＲＧＢフィルタを有するカラーホイール１１６（ａ～ｂ）を透過した場合、順次、Ｒレッド、Ｇグリーン、Ｂブルーの光になる。これらの光は、ライトガイド１０５を経由して先端部１０６に導かれ、照明用フィルタ２００を透過する際に、偏光または非偏光の光となる。そして照明レンズ１０７から、偏光または非偏光の照明光１１７となって、被写体である内臓粘膜表面１１１を照射する。被写体からの反射光１１３は、対物レンズ１０９を通してモノクロ広帯域偏光撮像素子１１５上に結像する。
- [0039] 同期装置１１２は、カラーホイール１１６ａの回転と同期しながら、モノクロ広帯域偏光撮像素子１１５に撮影開始信号を送って反射光による映像を取得する。撮像された映像信号は、映像信号線１０８を経由して画像プロセッサ１１０に送られる。
- [0040] 以上の処理をＲＧＢの面順次方式で連続して実行してカラー撮像と偏光撮像を実行する。以下、通常のカラ－撮像を実行するモードを「非偏光撮像モード」または「通常撮像モード」と称し、偏光撮像を実行するモードを「偏光撮像モード」と称することがある。
- [0041] 照明制御部１２０は、外部から、内視鏡の動作モードが通常撮像モードおよび偏光撮像モードのいずれであるかを示す信号が入力されると、それに対応して、それぞれに対応したカラーホイールを照明光の光路１２１に挿入する。そうすることにより、面順次照射に用いる照明の分光特性を変化させる

。

[0042] 通常撮像モードの場合には、偏光モザイク処理部202にて処理されたカラー画像が画像合成部206にてフルカラー動画に組み立てられ、表示部114に例えば動画で表示される。また偏光撮像モードにおいては、同じく偏光モザイク処理部202にて処理された画像が凹領域検出部204にて表面の凹領域を検出され、画像合成部206にて青色強調された表示部に例えば動画で表示される。

[0043] 図7(a)(b)は、照明に使われ得るカラーホイールの例を示している。図7(a)に示される通常撮像用カラーホイール116aは、回転軸の周りに設けられた3つの扇形状の領域を有している。この3つの扇形状領域は、それぞれ、R1R2で示すほぼ同色のレッド波長域を同時に透過するレッドフィルタ、G1G2で示すほぼ同色のグリーン波長域を同時に透過するグリーンフィルタ、B1B2で示すほぼ同色のブルー波長域を同時に透過するブルーフィルタとから構成されている。ここで、「R1R2」のR1およびR2は、それぞれ、レッド(R)の波長域、例えば600nm~700nmの短波長側の半分および長波長側の半分の波長域を示す。図7(a)のカラーフィルタ116aにおいて、「R1R2」と記載された扇形状の領域は、R1の波長域およびR2の波長域の両方の光を透過する領域であり、「R」と記載しても良い。他の記号、「G1G2」および「B1B2」も同様である。本明細書では、「R1」などの符号を、特定の波長域を示すために用いたり、そのような波長域の光を選択的に透過するフィルタを示すために使用する場合がある。

[0044] 偏光撮像用カラーホイール116bは、偏光撮像を実行する波長域の設定により種々の構成を有し得る。図7(b)は、6個の異なる波長域の光を順次透過するカラーホイール116bの例を示している。このような構成を有するカラーホイール116bは、フルカラーの直交ニコル画像を取得するのに適している。なお、図7(a)のカラーホイール116aおよび図7(b)のカラーホイール116bの一方が、外部からの信号によって指定されて

選択的に使用される。より具体的には、非偏光撮像モードまたは通常撮像モードではカラーホイール 116a が使用され、偏光撮像モードではカラーホイール 116b が使用される。

[0045] 図 8 は、照明用フィルタ 200 の透過特性を示す図である。B、G、R の各可視光波長範囲を P 偏光と S 偏光が交互に透過する楕型の透過特性を有している。例えば図 8 に示す例において、波長域 B1 (400~450 nm の範囲) で P 偏光のみを透過し、波長域 B2 (450~500 nm の範囲) で S 偏光のみを透過する。このため、光源からライトガイドを経由してくる光の波長が波長域 B1 に含まれる場合には、その光は照明用フィルタ 200 によって P 偏光の偏光照明光に変換される。同様に、光源からライトガイドを経由してくる光の波長が波長域 B2 に含まれる場合には、その光は照明用フィルタ 200 によって S 偏光の偏光照明光に変換される。なお、通常撮像モードにおいて、光源からライトガイドを経由してくる光の波長が波長域 B1 B2 の全体に広がる場合には、P 偏光と S 偏光が混合されるため非偏光の照明光が得られる。

[0046] 図 8 に示されるような特性を有するフィルタは、多層膜偏光子として実現することが可能であり、例えば、特許文献 2 にその例が記載されている。

[0047] 図 9 は、モノクロ広帯域偏光撮像素子 115 の撮像面のパターン偏光子 (偏光モザイクまたは偏光モザイクアレイ) の構造の例を模式的に示す図である。図 9 (A) に示すように撮像面には、画素が行および列状 (X-Y 方向) に規則的に配列されている。

[0048] 本撮像素子 115 は、照明光の色が R、G、B に順次変化する順次方式で用いられるため、その撮像面上にはカラーモザイクフィルタが配列されていない。すなわち、撮像素子 115 そのものは、モノクロ撮像素子であり、各画素に偏光子が配列されている。個々の画素には、可視光の波長域に含まれる光が順次入射するため、本実施形態で用いられる偏光子の偏光選択特性は可視光帯域で実現する。具体的には、400 nm~800 nm の帯域において、本実施形態の偏光子の偏光取得性能を示す消光比が 100 : 1 以上であ

る。このため、本実施形態では、可視光帯域の一部を占める特定波長のみで偏光特性を呈する偏光子を用いず、その代わり、広い波長域で高い偏光取得性能を示し得る金属ワイヤグリッド偏光子を用いている。

[0049] 図9（B）は、2行2列に配列された4個の画素（ 2×2 ブロック）に対応する偏光フィルタの1単位を示している。この1単位の中では、平面内に 90° ずつ回転させた偏光フィルタが配置されている。図9（B）では、各偏光フィルタ上に示された軸の方向が偏光の透過軸に設定されている。

[0050] 図9（C）は、図9（B）に対応して金属ワイヤグリッドで実現する場合のワイヤ配置が図示されている。ワイヤグリッドでは金属ワイヤの方向と垂直な方向（TE軸）が偏光の透過軸となるため、模式図でワイヤを直線で表現すると、図9（B）の偏光軸の向きと、図9（C）の金属ワイヤの直線の向きとが 90 度異なる。この混乱を避けるため、本開示の実施形態で利用する偏光フィルタの透過軸の向きを表現する場合、常に図9（B）の透過軸を使用するものとし、ワイヤグリッドのワイヤ方向を直接描く平面図は使用しないものとする。

[0051] 後述するように、この金属ワイヤグリッドの配置面は撮像素子の最上面から下層までの範囲内においてさまざまな位置をとり得る。ワイヤグリッドは平面的には他画素との干渉を回避するため、画素単位領域の外縁よりも余裕度 Δ だけ内側の領域内に配置されている。例えば正方形である1画素領域の一辺の長さ D を $3 \sim 4 \mu\text{m}$ とすると、 Δ は $0.2 \mu\text{m} = 200 \text{nm}$ 以上に設定され得る。ワイヤグリッドを構成する各ワイヤの幅 L と間隔 S のデューティ比は、透過率と消光比のトレードオフになる。本開示の実施形態において、幅 L と間隔 S とは等しいものとする。後述するように $L = S = 0.1 \mu\text{m} = 100 \text{nm}$ として、 $\Delta = 0.2 \mu\text{m} = 200 \text{nm}$ のとき、ワイヤグリッドの本数は、ワイヤ方向が撮像面内の垂直軸または水平軸に対して 0° と 90° の角度を形成する場合には17本である。

[0052] 従来、アルミニウム製ワイヤグリッド偏光子を用いた偏光撮像素子で実際に試作され消光比の性能測定がされた例が非特許文献1に開示されている。

非特許文献 1 によると、画素サイズ＝ $7.4 \times 7.4 \mu\text{m}$ の領域内にピッチ $P = 140 \text{ nm}$ 、高さ $H = 70 \text{ nm}$ で配置された微細ワイヤグリッド偏光子の消光比は 450 、 580 、 700 nm の各波長でそれぞれ $30:1$ 、 $45:1$ 、 $60:1$ 程度であった。この実例から、ワイヤグリッドを微細化して撮像素子に実装しても、消光比性能として $100:1$ を実現するのは困難であると予測される。そこで本実施形態においては、ワイヤグリッドを 2 層構造として高消光比を実現する構造をとっている。

[0053] 図 10 を参照して、撮像素子 115 の断面構成例を説明する。

[0054] 入射光は、撮像素子 115 の上方に配置される対物レンズ 109 から撮像面に到達する。撮像素子 115 において、光が到達する構造を順次説明すると、まず最上面にはマイクロレンズ 220 が配置される。このマイクロレンズ 220 の役割は光の効率的な PD（フォトダイオード）232 への集光である。マイクロレンズ 220 は、斜め入射光の光路を曲げて撮像面に対して垂直に近い角度にするため、特に内視鏡のように広角撮影が多用されるケースでは有効である。また、マイクロレンズ 220 があると、ワイヤグリッド層 222、224 に対してほぼ直上から光を入射させることができるため、TM 透過率と消光比の低下を防ぐ効果を有する。マイクロレンズ 220 の下には平坦化層 226 がある。その下層に第 1 ワイヤグリッド層 222 が配置されている。第 1 ワイヤグリッド層 222 は、撮像面内において 90° ずつ回転した特定の方向の偏光だけが透過し、それ以外の光は反射または吸収する。

[0055] 本実施形態における第 1 ワイヤグリッド層 222 は、金属ワイヤ間に中空構造を有しており、各金属ワイヤは空気と接している状態がつくられる。このため、消光比の性能低下を防ぐ効果を有する。

[0056] 第 1 ワイヤグリッド層 222 の下方には第 2 ワイヤグリッド層 224 が配置される。この第 2 ワイヤグリッド層 224 は、基本的には第 1 ワイヤグリッド層 222 と配置方向、サイズ、材質が同一であり、同じ中空構造を持っている。

[0057] 第1および第2ワイヤグリッド層222、224を重ねて用いることにより、各々の消光比が10:1程度に低下した微細ワイヤグリッドであっても、2層全体の消光比を100:1程度までに向上させることができる。第2ワイヤグリッド224の下層には、平坦化層228と配線230とが設けられている。光の透過部分には配線230は配置されていないため、遮光されることなく、その下層にあるPD（フォトダイオード）232に到達する。撮像面では、多数のPD232が行および列状に配列され、光感知セルアレイを形成している。

[0058] 撮像素子では、マイクロレンズ220からPD232までの距離を短くする低背化が重要である。本実施形態の偏光撮像素子においても、マイクロレンズ220からPD232までの距離が長い場合、画素間クロストークが発生して偏光特性、特に消光比を低下させてしまう。低背化のため、本実施形態においては、ワイヤグリッドからPDまでの距離を2~3 μ m程度に設定している。また、ワイヤグリッド偏光子では、透過するTM波に対して偏光方向が直交するTE波は反射されるため、これが迷光となり性能劣化の原因となり得る。これを回避するためには、ワイヤグリッド222、224を単層ではなく多層構造として吸収作用を設けることが有効である。

[0059] 以下、本実施形態における画像処理装置の撮像動作を説明する。

[0060] まず、図11Aおよび図11Bを参照して、通常撮像モードの動作を説明する。

[0061] 図11Aおよび図11Bは、それぞれ、通常撮像モードにおける照明と撮像の動作を示す図およびタイミングチャートである。図11Aの左段は、面順次照明の分光スペクトルを示している。B色の照明は、B1（P偏光）とB2（S偏光）という厳密には異なる色の異なる偏光の混合光からなる。このことは、G、R色の照明光でも同様である。これらの照明光は、照射時には、それぞれ、B、G、Rの非偏光とみなすことができる。このため、実質的には公知の面順次照明と変わらなくなる。

[0062] 照明光が被写体に照射されるとき、被写体で反射された戻り光は、モノク

口広帯域偏光撮像素子 105 にて観察される。図 11A では、偏光撮像素子 105 が有する偏光モザイクの基本単位 801 のみを記載している。この基本単位 801 に含まれる 4 個の偏光子のうち、左上および右下に位置する 2 個の偏光子（P の偏光フィルタ）は、撮像面内で水平な方向に偏光した P 偏光を透過し、右上および左下に位置する 2 個の偏光子（S の偏光フィルタ）は、撮像面内で垂直な方向に偏光した S 偏光を透過する。

[0063] モノクロ広帯域偏光撮像素子 115 の偏光動作は、可視光領域の全体に相当する 400 nm ~ 800 nm にわたって機能するので、B、G、R 色の照明光で被写体が照射されるときにいずれであっても 1 個の撮像素子で対応できる。

[0064] 得られる撮像画像は、非偏光の照明を受けた被写体からの戻り光を、P の偏光フィルタまたは S の偏光フィルタを介して受光する。このため、得られた画素値を 2×2 の 4 画素領域で平均化することにより、非偏光画像を取得できる。平均化された画素値は、仮想的には、 2×2 の 4 画素の中心に位置する。このため、図 11A の最も右側では、点線で示す画素領域に NP（非偏光）と記載されている。 2×2 の 4 画素を 1 画素単位でシフトさせることにより、解像度低下は実質的に発生しない。

[0065] このように B、G、R の非偏光の面順次照明に対して、それぞれ、非偏光撮像が実現される。カラー画像バッファメモリへ 3 原色画像を順次蓄積、3 原色の画像を得られたときに、これらの画像を合成することにより、フルカラー動画を生成することができる。上記の処理を、本明細書では「偏光モザイク画素の平均化処理」と称する。偏光モザイク画素の平均化処理は図 6 の偏光モザイク処理部 202 にて実行され、フルカラー動画の生成は、画像合成部 206 にて実行される。

[0066] 図 11B は、以上の動作をタイミングチャートで示している。図 11B の上段から照明の発光動作、撮像動作、そして偏光モザイク処理部 202 において処理されるカラー成分画像を示している。このタイミングの各動作は、同期回路 112 が、照明制御部 120、モノクロ広帯域偏光撮像素子 115

、偏光モザイク処理部202を制御して実現する。

[0067] 次に、図12および図13を参照して、偏光撮像モードの動作を説明する。

[0068] 図12および図13は、それぞれ、図7(b)の偏光撮像用カラーホイールを使用した場合の偏光撮像モードにおける照明と撮像の動作概要を示す図およびタイミングチャートである。この場合は、BGRの面順次カラー照明が行われる。このような撮像は、粘膜表面を、鏡面反射などを除去しつつ目視で観察する場合に特に有効である。また、生体粘膜内部の偏光特性を狭帯域の波長域として観察したい用途にも適する。

[0069] 照明光は、図7(b)の偏光撮像用カラーホイールの回転により、P偏光であるB1、G1、R1の光とS偏光であるB2、G2、R2が順番に被写体に照射される。被写体で反射された戻り光は、モノクロ広帯域偏光撮像素子105にて観察され、偏光モザイクの基本単位801で異なる成分が撮像される。得られる撮像画像は、P偏光照明においてRGBフルカラーの直交ニコル(P⊥)、平行ニコル(P//)、S偏光照明においてRGBの各波長域について直交ニコル(S⊥)、平行ニコル(S//)の合計12通りの画像情報となる。この場合も画素情報として不足分があるため、★で表示した画素は周囲から補間する必要がある。このような構成を採用すれば、内視鏡でのリアルタイムの観察時に、粘膜表面から鏡面反射等を除去して粘膜状態を観察しやすい。この例では、動画として高速再現を可能にするため、ホイール上の円周上のフィルタの並びの順番が、B1-G2-R1-B2-G1-R2となるようにし、RGBのカラーと偏光のPとSの種類が交番になる。

[0070] 図13は、以上の動作を示すタイミングチャートである。図13の上段から照明の発光動作、撮像動作、そしてモザイク処理部において処理されるカラー成分画像が示されている。このタイミングの動作は同期回路112が制御する。P偏光とS偏光の交互照射のタイミングでそれぞれに対応する直交ニコル(P⊥)(S⊥)画像と平行ニコル(P//)(S//)画像とが出力される。ただし直交ニコル(P⊥)または(S⊥)のRGBフルカラー画像を

得るためには、偏光照明を固定状態でB、G、Rの順次光が照射される期間である T_{ps} の時間が必要になる。従って、この時間を動画として表示できない。これは、偏光とカラーの両方の照明を面順次にて実現しているため、全ての種類の照明を照射し終わるのに時間がかかるのが原因である。しかし、内視鏡での凹領域検出の詳細観察においては、それほど、リアルタイム性が要求されないので問題はない。

[0071] 図14は、凹領域検出部204、および画像合成部206での偏光画像強調処理1401を説明するための図である。

[0072] 以下、図12および図13を参照しながら説明したB、G、R成分ごとにそれぞれ直交ニコル(P $\perp$)(S $\perp$)画像と平行ニコル(P $\parallel$)(S $\parallel$)画像の4種の画像がフレームごとに得られるシーケンスを、簡単のため、上記4種の平行ニコル・直交ニコル画像が同時にRGBフルカラーで取得されるものとして説明する。R、G、B成分からなる平行ニコル・直交ニコル画像には、図14に示すような差分処理と凹部強調処理が施される。ここで凹部強調処理は、平滑化処理、空間微分処理、および青色成分強調処理の順に処理される。

[0073] (1) 差分処理

R、G、Bの成分ごとに、画素ごとに[(平行ニコル画像画素値) - (直交ニコル画像画素値)]の演算を実施して偏光差分画像を生成する。後述するように、平行ニコルと直交ニコルの対は、照明光Lの偏光方向を90°変化させると、2種生成できるので、その各々で実施される。また、ここで偏光差分画像の代わりに、それをさらに、(平行ニコル画像画素値) + (直交ニコル画像画素値)で除した偏光度画像を用いても、ほぼ同様の結果が得られる。

[0074] (2) 平滑化処理

入力された画像は、次段の微分処理を実行する前に、画像から強調したいテクスチャの周波数より高域の雑音成分を除去する。具体的には、雑音成分を除去するため、平滑化フィルタ処理が実行される。本実施形態では、一般

的なガウス型フィルタを用いる。フィルタのマスクサイズを、後述する微分マスクフィルタのマスクサイズと同一にすることにより、細かい粒状ノイズの強調を回避できる。図15（A）に5×5サイズの平滑化フィルタの一例を示す。この平滑化フィルタを用いて1024×768画素の画像を512×384画素に縮小するなどしてもよい。

[0075] （3）微分処理

平滑化フィルタ処理がなされたG成分画像に対して、周囲よりも暗い画素領域を検出するため以下のような微分マスク処理を行う。周囲より暗い画素領域を検出する理由は、表1を参照しながら説明したとおり、偏光照明の偏光方向が被写体の表面溝と0°～45°近傍の角度差をなす場合に、輝度コントラストが高くなり周囲よりも暗くなるためである。微分処理は、平滑化処理後の画像に、図15（B）に示すような中心画素と周辺画素を指定する微分フィルタ（ここでは5×5画素の例を示す）を設定する。微分フィルタは各種多様なものがあるが、ここでは表面を走行する網目状の溝を連続性よく強調するのに適したものを選択している。5×5画素領域にて、以下の処理を実施する。

（i）水平（■）、垂直（★）、斜め右上（▲）、斜め右下（●）の4方向において、周囲2画素と中心画素値 R_{ij} を比較して差分をとる。

（i i）4方向のいずれか1方向において中心画素が周囲2画素両方より大きい場合は中心画素が凹と判断。

（i i i）4方向で最大の差分値の絶対値を Δ とし、これに一定の定数を乗じたものを ΔC とする。これを空間微分処理結果とする。

[0076] （4）青色成分の強調

ΔC 値をR、G成分から減算することにより、青色を強調する。ここで、R、G成分が0以下になる場合、その不足分を他の色成分から減算して連続性を維持する。このため、 Δ の大きさに色相は変化するが、滑らかに接続されるようにすることができる。R、G成分のうちで値が小さいものをC1、大きいものをC2とにおいて、以下のように3種類に場合分けをする。

[0077] 図16は、以下の3通りの場合を示している。

[0078] まず、1) ΔC が C_1 以下の場合には、R、G信号から ΔC を減算する処理を実行する。次に2) ΔC が C_1 を超える値になった場合には、最も小さい信号がゼロになり、残りが中間となる信号から減算される。次に、3) R、G信号からの減算がゼロになった場合には、B信号から残りの信号が減算される。

[0079] 以上の処理で、中心画素が周辺画素よりも明るい画素領域のカラー信号が、その程度に応じて青色強調され、インジゴカルミン撒布に類似したカラー画像が生成される。

1) $\Delta C \leq C_1$ の場合

$$C_1 = C_1 - \Delta C$$

$$C_2 = C_2 - \Delta C$$

2) $C_1 < \Delta C \leq (C_1 + C_2) / 2$ の場合

$$C_1 = 0 \quad C_2 = (C_1 + C_2) - (2\Delta C) \dots \dots \dots \text{(式9)}$$

3) $(C_1 + C_2) / 2 < (\Delta C)$ の場合

$$C_1 = 0 \quad C_2 = 0$$

$$B = B - ((2\Delta C) - C_1 - C_2)$$

[0080] 表1で示したように照明光の偏光面の角度により表面の溝の検出精度の性能は異なる。一般には、この情報は事前に知ることは不可能である。そこで図14で示した平行ニコルと直交ニコル画像を入力する処理を、偏光照明の偏光方向を 90° 変化させたもう1種の対の平行・直交ニコル画像に対しても実施してもよい。この処理は本発明において必須の処理ではないが、実験では有効性が確認されている。

[0081] 図17Aは、この処理につき説明しており、P偏光照明における平行・直交ニコル画像である $L0C0$ ($P \parallel$) と $L0C90$ ($P \perp$) の2つの画像を入力した場合の処理結果と、S偏光照明における平行・直交ニコル画像 $L90C0$ ($S \parallel$) と $L90C90$ ($S \perp$) の2つの画像を入力した場合の処理結果をそれぞれ求めて、それらを加算平均して最終結果の画像を得る。この

処理によって得られる効果は、表面の溝の走行向きが入射光の偏光とほぼ平行である場合、すなわち表1におけるL90の場合のコントラストが非常に悪くなってしまうという課題を、その場合の90°直交させた対の照明であるL0の場合の効果により緩和する意味を有する。実験によるとこの処理により、L0とL90の中間的な性能までは回復することが判明している。またそれだけではなく、上記の青色成分強調画像がやや異なる情報にて生成されて加算するため、情報量が増加し、最終的に得られる強調画像において青色成分がより多くの階調を持つようになるため、インジゴカルミン撒布画像により類似した画像が得られるという効果も有する。

[0082] なお、4枚の偏光画像から2対の画像処理と加算平均処理をする組み合わせとして、L0C0 (P//) とL90C0、(P⊥) を用いて上述の処理を実施し、並列にL0C90 (S⊥) とL90C90 (S//) を用いて上述の処理を実施し、最後に加算平均をしてもよい。また、加算平均する場所を凹溝の検出処理より前段階に設定してもよい。たとえば、図17Bに示すように、異なる2種の偏光照明を平均化した平行ニコル画像 (//) と、直交ニコル画像 (⊥) をあらかじめ加算平均化処理により生成しておき、その対の画像を偏光画像強調1401に入力することによって照明の偏光面の異方性に起因する画質の差異を平均化することができる。実験によると、この処理は、凹溝の処理結果自身を平均化するよりも、最終の強調画像のノイズ低減化に対して有効であった。

[0083] また、表面の溝の方向性が事前に判明するような場合には、有効な照明光の偏光面を決めて照射する、あるいは、2種の直交した照射を実施した後で、凹部の検出や強調において、特定の平行・直交ニコル画像のみを利用して画像処理してもよい。例えば、表1の結果から、表面溝の走行方向に対して45°の方向の偏光面を有する直線偏光の照射が最も有効であることがわかるので、P偏光照明における平行・直交ニコル画像であるL0C0 (P//) とL0C90 (P⊥) の2つの画像を入力した場合の処理結果と、S偏光照明における平行・直交ニコル画像L90C0 (S//) とL90C90 (S⊥

）の2つの画像を入力した場合の処理結果をそれぞれ求めて、そのうち、最適な照射方向に近いほうの照射光PまたはSを選択してその処理結果を溝の検出、あるいは強調画像としてよい。このような特別なケースとしては、例えば、内視鏡で大腸粘膜を観察する場合がある。人間の大腸では、大腸の表面粘膜の凹溝は大腸内部の腸管の円周方向に走行することが多く、異方性を有する。このような場合は、内視鏡医は、腸管のカラー輝度画像を見ながら、あるいはモニタ上に表示される溝の強調画像を見ながら、腸管の円周方向に対して45度の角度に近い角度で直線偏光を照射したことになる最も効果的な処理結果の選択を実施することができる。

[0084] (5) 画像合成部の処理

画像合成部206は、面順次照明で取得される画像をR、G、B3枚分蓄積する。そして、R、G、Bの3枚の画像を1フレーム毎に合成してリアルタイム表示可能なフルカラー画像を合成する。更に、表面テクスチャの凹部に青色成分強調を施したフルカラー画像を、1フレーム時間ごとに遅延なく動画表示する。

[0085] 図18は、レファレンス被写体を用いた溝部の検出結果を示す。レファレンス被写体は、透明度がやや異なる2種類の半透明白色のアクリル製レンチキュラー板（日本特殊光学樹脂製オーパル422/432（サイズ50×50×2mm）を用いた。この断面は、ピッチP=0.7mmのカマボコ型の凹凸が1方向に繰り返し形成されている。溝の深さは、最大0.143mm、V字溝の傾斜は、レンチキュラー板の法線から最大角度45°である。消化器の粘膜に近くするためレンチキュラー板の下に血管パターンを模擬した透明OHPシートを置き、最下層に完全拡散板を設置する。上から照明して撮影すると、2種のレンチキュラー板とも血管パターンは透けて見えるが表面凹凸は光が拡散して識別しづらいという実際の粘膜に似た特性を示した。

[0086] 図18(A)(B)に、レファレンス被写体の撮影状態を示す。(B)で示すように、2種のレンチキュラー板（透明度が異なる部分1801、1802を有する。）は溝の走行向きを水平にして上下位置に隙間無く密着させ

てセットし、ほぼ直上から偏光リング照明で照射する。リング照明の反射像は、表面の溝によって帯状となるが被写体の角度を微調整してほぼ左半分 1803 で内部拡散反射を、ほぼ右半分 1804 で鏡面反射をするようにセットした。

[0087] 右側の鏡面反射領域 1804 では表面溝の識別は容易であるが、左側の内部拡散反射領域 1803 では、識別が難しく、特に左下の透明度の低いレンチキュラー板 1802 ではほとんど識別できない。これに対して差分偏光撮像により検出した検出画像 (C) と従来の輝度画像に対して同一の画像処理を実施して得られた検出結果 (D) を比較した。差分偏光画像による結果 (C) では、レンチキュラー板の透明度、および反射状態に無関係に表面溝が水平方向にほぼ均等間隔にて検出される。一方、従来の輝度画像による検出結果 (D) では、下層に透けている血管パターンに影響されて検出結果にノイズが多く、溝の平行性、間隔の均等性も悪い。この結果は、半透明被写体上の凹凸の検出においては、偏光差分処理が輝度処理より有利であることを示している。

[0088] レファレンス物体に対して偏光照明角度を 45° ずつ替えて平行、直交ニコルの偏光画像を撮影し、ここから 4 種の偏光差分画像を生成してこの溝の間隔を抽出し、間隔の平均 $Ave.$ と分散値 $Var.$ を求めてみると、確かに図 17A の処理の有効性が確認された。

[0089] 次に死後 3 H 経過したブタの摘出胃（以下、「ブタ胃」と称する）を使った実験を示す。LOC0 (P //) / LOC90 (P ⊥) / L90C90 (S ⊥) / L90C0 (S //) の 4 枚の画像を取得する。平行ニコルでは粘膜表面の鏡面反射が著しいが、直交ニコルでは、粘膜深部の色が観測される。ここから LOC0 と LOC90 の偏光差分画像である LO-Dif と L90C90 と L90C0 の偏光差分画像である L90-Dif 画像を生成し、それぞれ強調画像を生成しこの 2 種の強調画像を加算平均する。

[0090] 図 19 にその処理結果を示す。上段と下段はそれぞれ別の部位の部分拡大画像を示している。(A) はブタ胃のカラー輝度画像であり、表面にはマク

口な凹凸や「ひだ」が観察されるが、表面の微細構造は全く観察できない。

(B) はブタ胃にインジゴカルミン撒布をした輝度画像、(C) が本手法による偏光画像処理を使った強調結果、(D) が単なる輝度画像処理による強調結果である。(D) の輝度画像処理では、(A) で観察される表面のマクロな凹凸やひだは検出可能であるが平坦部の表面微細構造の検出は不十分である。これに対して(C) の本手法では、表面微細構造の検出が詳細までできている上、マクロな凹凸や鏡面反射のハレーション部まで良好に識別できる。(B) のインジゴカルミン撒布画像と比較した場合、表面への液体の「溜まり」現象による凹凸感は再現できないものの、逆に「溜まり」によって隠蔽されてしまう表面構造も明瞭に強調できる。

[0091] (第2の実施形態)

図20は、本開示の実施形態2における画像処理装置の全体構成を模式的に示す図である。本実施形態では、白色(ホワイト)光を照射して単板カラー撮像素子119にてカラー撮像を行う。本実施形態では、白色光を被写体に照射する際、偏光回転照明を実現する。この目的のため、本実施形態では、光源装置104には照明制御部のみを配置し、内視鏡の先端部に配置したLED、あるいは有機EL面光源などで照明光を生成する。

[0092] 本実施形態においては、例えば図21に示すように、内視鏡の先端に偏光面が 0° (P)、 90° (S) の照明光の照射口が交互に多数(ここでは16分割で)配列されている。この例では、交互に隣接しない同種の8個のLEDが選択されて点灯することによってP偏光とS偏光の交互の偏光照明が実現される。

[0093] 図22(A)は、偏光回転照明の別の例を示している。この例では、順次点灯する照明画素単位を十分小さく、数量を多くすることにより、点灯する光源位置の変動が撮像側で1画素以内に抑制され得る。図22(B)は、この面照明の全体構成を示す図であり、面照明のX軸とY軸の各軸に順次点灯を制御するためのデータドライバが用意されており、XとY軸でアドレスされる画素が一斉に点灯する。例えば、ここではX軸とY軸の両方が偶数の画

素 (X_{2m} と Y_{2n}) が一斉に点灯すると、それは偏光面が 0° の照明光となる。そして X 軸と Y 軸のデータドライバの偶数、奇数の組みあわせによって、 0° (P)、 90° (S) の偏光透過面を有する照明光が得られることになる。

[0094] このような面照明を使う利点は、全体の照度や配光状態が一定のまま照明の偏光状態だけが変化できることである。照明に面光源を使用することにより、照明光の均一性が良くなる。その結果、臓器の表面粘膜における非常に強い正反射輝度を低下させ、撮像を良好に行うことができる。

[0095] 図 23 は、本実施形態で用いるカラー偏光撮像素子 119 の断面構造の例を示す図である。図 10 に示したモノクロ広帯域偏光画像撮像素子 115 と異なるのは、カラーフィルタ 240 がワイヤグリッド層 224 から PD (フォトダイオード) 232 までの間に配置されることである。このカラーフィルタ 240 は、有機物から形成されても良いし、フォトリソ結晶または金属から形成されてもよい。光の入射側から PD 232 までの光の進行方向からみた場合、マイクロレンズ 220、第 1 ワイヤグリッド層 222、第 2 ワイヤグリッド層 224、カラーフィルタ 240 の配置の取りえる順序は計 6 通りあり、各々でその利点が異なる。ワイヤグリッド 224 と PD 232 との間の距離 DEPTH は、カラーフィルタ 240 が入る分長くなるため、典型的には $4 \sim 6 \mu\text{m}$ である。

[0096] 図 23 の構成 (最上層からマイクロレンズ 220・第 1 ワイヤグリッド層 222・第 2 ワイヤグリッド層 224・カラーフィルタ 240) では、マイクロレンズ 220 が最上層に位置するため、ワイヤグリッドに垂直に光を入射させやすい。

[0097] 図 24 は、図 23 のカラー偏光撮像素子 119 の平面構造を示す図である。図 24 (A) はカラー単板撮像素子と同じ平面構造を示す。図 24 (A) の構成例では、 4×4 画素領域を拡大し、直上から観察して、図 24 (B) のカラーモザイク構造と図 24 (C) の偏光モザイク構造とが、画素ごとに重なった状態にある。

[0098] 図24(B)は、カラーモザイクフィルタの1例を示しているが、本開示の実施形態で使用され得るカラーモザイクフィルタは、この例に限定されない。ベイヤーモザイク以外の他のモザイク構造でも構わない。この例では、カラーモザイクに含まれる1色のフィルタが、2行2列に配置された4個の画素(4個のフォトダイオード)の領域をカバーする。2×2画素領域は、図24(C)の4種類の偏光モザイク領域に相当する。すなわち、サブ画素を基準にすると、イメージセンサの解像度は本来の画素の $1/2 \times 1/2$ となって画素数は低下するが、1画素内で偏光処理をすることにより偏光処理の結果発生するアーティファクトを低減させることができる。

[0099] 次に図25を参照して、本実施形態における通常撮像モードの動作を説明する。被写体には、White(白色)のP偏光とWhite(白色)のS偏光とが交互に照射され、その都度、偏光カラーモザイク画像が取得される。P偏光の照射時には、偏光モザイク2502によって偏光画素パターン2503が、S偏光の照射時には、偏光画素パターン2504が取得される。ここで、P//およびP⊥は、それぞれ、P偏光の照射時における平行ニコル状態および直交ニコル状態の画素を示している。同様に、S//およびS⊥は、それぞれ、S偏光照射時における平行ニコル状態および直交ニコル状態の画素を示す。偏光モザイク処理部202では、この偏光画素パターン2503と偏光画素パターン2504の画像を画素毎に加算平均を実行する。偏光画素パターン2503と偏光画素パターン2504において、各カラー画素での加算平均処理を行うと、平行ニコル状態の画素値と直交ニコル状態の画素値とが以下のように均等に混合される。

$$(NP) = (P// + P\perp + S// + S\perp) / 4$$

[0100] 加算平均の結果、元々の解像度からは $1/2 \times 1/2$ に低下した非偏光(NP)のカラーモザイク画像2505が得られる。この非偏光カラーモザイク画像2505からフルカラー画像を生成する処理は、通常カラーモザイク補間によって行われ得る。

[0101] 図26は、以上の動作を示すタイミングチャートである。図26の上段が

ら照明の発光動作、撮像動作、そして偏光モザイク処理部202において処理されるカラー成分画像を示している。このタイミングの動作は、同期回路112が制御する。P偏光とS偏光の交互照射のタイミングでそれぞれに対応する偏光画素パターン2503、2504が撮像される。偏光モザイク処理部202では、図25に示された偏光画素パターン2503、2504の加算平均処理を実行して非偏光カラーモザイク画像2505が得られる。次に、カラーモザイク補間処理にて、RGBフルカラー画像を得る。したがって、P偏光照明とS偏光照明とが照射されて1枚のRGBフルカラー画像を得ることが可能になる。実際には、図26に示すように、時間的に隣接するP偏光照明およびS偏光照明の処理を連続することによって1フレーム時間毎に画像が遅延なく動画として生成される。

[0102] なお、このモードでは、照明のP偏光とS偏光の照射は交互である必要はなく同時でも構わない。その場合でも同じカラーモザイク補間処理を使ってRGBフルカラー画像を得ることができる。

[0103] 図27は、本実施形態における偏光撮像モードの動作を説明するための図である。偏光撮像モードでは、P偏光とS偏光が交互に被写体に照射され、その都度、偏光のカラーモザイク画像が取得される。ここで得られる偏光画素パターン2503、2504は、図25の偏光画素パターン2503、2504と同一である。偏光モザイク処理部202では、画素パターン2503、2504の両方を使って、該当する画素ごとに、P//とS//、およびP⊥とS⊥を選択・集積処理し、取得できない画素は周囲から補間することによって、P偏光照明での平行ニコル画像2701と直交ニコル画像2702と、S偏光照明での平行ニコル画像2703と直交ニコル画像2704の計4種類の偏光画像を分離して生成する。なお図27において★は補間される画素を示している。

[0104] この処理の結果得られる4種類の偏光画像は、凹領域検出部204および画像合成部206で第1の実施形態について図14と図17Aで説明した処理と同様の処理が行われる。

[0105] 図28は、以上の動作を示すタイミングチャートである。図28は、上段から照明の発光動作、撮像動作、そして偏光モザイク処理部202、カラーモザイク補間部208、凹領域検出部204、画像合成部206において処理されるカラー画像を示している。照明と撮像の動作までは、図26の通常撮像モードのタイミングチャートと同一である。偏光モザイク処理部202での動作では、P偏光照明とS偏光照明の撮像画像をフレームごとに用いてP偏光での平行ニコル画像2701と直交ニコル画像2702および、S偏光での平行ニコル画像2703と直交ニコル画像2704を生成する。すなわち、フレームごとに同時に4種の偏光画素パターン2701、2702、2703、2704が生成され、第1の実施形態に図14と図17Aを参照しながら説明したように、凹領域検出部204と画像合成部206において表面テクスチャの凹部で青色成分強調を施したフルカラー画像として毎フレームごとに表示部114で動画表示される。

[0106] (第2の実施形態の変形例1)

図29は、本開示の実施形態2の変形例1を示す図である。図29(A)は、図23に示された第2の実施形態におけるカラー偏光撮像素子119の平面構造を示す図である。図29(A)は、カラー単板撮像素子と同じ平面構造を示している。図29(B)は、カラーモザイクにおける4×4個のカラーフィルタの配置例を示し、図29(C)は、偏光モザイクにおける8個の偏光子の配置例を示している。これらのカラーモザイクおよび偏光モザイクは、4×4個の画素(PD:フォトダイオード)をカバーするように積層されている。

[0107] 本実施形態では、カラーモザイクの2色のカラーフィルタと1個の長方形の偏光子とが対応している他の構成は、第2の実施形態の構成と変わらない。

[0108] 図29(C)における角度表示の0°の偏光子が位置する画素が、P偏光の透過画素であり、90°の偏光子が位置する画素がS偏光の透過画素である。0°の偏光子と90°の偏光子とが市松配列を形成していない。すなわ

ち、撮像面内において垂直方向または水平方向に隣接する2個の画素に同一の偏光が入射するように偏光モザイクが構成されている。これは、RGB画素のうち2画素を占めるG画素に必ず 0° の偏光子と 90° の偏光子が割り当てられるようにするためである。このような構成によれば、 0° の偏光子が、RGの2画素とBGの2画素に割り当てられ、 90° の偏光子がGBの2画素とGRの2画素に割り当てられている。

[0109] 図30は、本実施形態における通常撮像モードの動作を示す図である。通常撮像モードでは、White（白色）のP偏光とS偏光とが交互に照射され、その都度画像が取得され、偏光のカラーモザイク画像が取得される。偏光モザイクが3001のような配列であるため、P偏光の照射時には、3002で示す偏光画素パターンが、S偏光の照射時には3003で示す偏光画素パターンが取得される。ここで、P $\parallel$ 、P $\perp$ はP偏光照射時における平行ニコル状態とは直交ニコル状態の画素を示し、同様に、S $\parallel$ 、S $\perp$ はS偏光照射時における平行ニコル状態とは直交ニコル状態の画素を示す。偏光モザイク処理部202では、この偏光画素パターン3002、3003を画素毎に加算平均をする。加算平均処理は、平行ニコルと直交ニコル状態の画素が以下のように均等に混合されると考えられる。

$$(NP) = (P\perp + S\parallel) / 2$$

$$(NP) = (P\parallel + S\perp) / 2$$

[0110] 加算平均の結果、非偏光のカラーモザイク画像3004が得られる。この際に第2の実施形態にあったような解像度の低下がない。この非偏光カラーモザイク画像3004からフルカラー画像を生成する処理は、通常のカラームザイク補間によって行われ得る。

[0111] 図31は、本実施形態における偏光撮像モードの動作を説明する図である。偏光照明はP偏光とS偏光が交互照射され、その都度画像が取得され、偏光画像パターン3102、3103が取得される。偏光モザイク処理部202では、この偏光画素パターン3102、3103を両方使って、該当する画素ごとに、P $\parallel$ とS $\parallel$ 、およびP $\perp$ とS $\perp$ を収集し埋め込み処理と画素補

間をする。こうすることによって、P 偏光照明での平行ニコル画像 3 1 0 4 と直交ニコル画像 3 1 0 5、および S 偏光照明での平行ニコル画像 3 1 0 6 と直交ニコル画像 3 1 0 7 とを分離生成する。この処理の結果得られる偏光画像は、カラーモザイク画像であり、カラーモザイク補間が実行され 4 種類のフルカラーの偏光画像が生成される。この直交ニコル画像は、凹領域検出部 2 0 4、画像合成部 2 0 6 において第 1 の実施形態について説明した処理と同様の処理が行われる。なお、この実施形態に関するタイミングチャートは、第 2 の実施形態に関するタイミングチャートと同様である。

[0112] (第 2 の実施形態の変形例 2)

図 3 2 は、本開示の実施形態 2 の変形例 2 を示す図である。図 3 2 (A) は、図 2 3 のカラー偏光撮像素子 1 1 9 の平面構造を示す図である。図 3 2 (B) は、カラーモザイクにおける 4×4 個のカラーフィルタの配置例を示し、図 3 2 (C) は、偏光モザイクにおける 4 個の偏光子の配置例を示している。これらのカラーモザイクおよび偏光モザイクは、 4×4 個の画素 (PD : フォトダイオード) をカバーするように積層されている。

[0113] 本実施形態では、カラーベイヤー・モザイクの 1 単位の 4 画素と偏光モザイクの 1 単位とが対応している。他の構成は、第 2 の実施形態と変わらない。図 3 2 (C) における角度表示の 0° の偏光子が位置する画素が P 偏光の透過画素であり、 90° の偏光子が位置する画素が S 偏光の透過画素である。偏光モザイクの 0° の偏光子と 90° の偏光子とは市松配列を形成している。各々に同一のカラーベイヤー・モザイクが包含される配列としている。

[0114] 図 3 3 は、本実施形態における通常撮像モードの動作を示す図である。通常撮像モードでは、White (白色) の P 偏光と S 偏光とが交互に照射され、その都度、画像が取得され、偏光のカラーモザイク画像が取得される。偏光モザイクが配列 3 3 0 1 を有するため、P 偏光の照射時には、偏光画素パターン 3 3 0 2 が、S 偏光の照射時には偏光画素パターン 3 3 0 3 が取得される。ここで、P //、P ⊥、S //、S ⊥は既出の意味を持つ。偏光モザイク処理部 2 0 2 では、この偏光画素パターン 3 3 0 2、3 3 0 3 を有する画

像について、画素毎に加算平均を実行する。加算平均処理では、平行ニコルと直交ニコル状態の画素が混合される（式6）。

[0115] 加算平均の結果、非偏光のカラーモザイク画像3304が得られる。この際に第2の実施形態にあったような解像度の低下がない点が特徴である。この非偏光カラーモザイク画像からフルカラー画像を生成する処理は、通常のカラーモザイク補間によって行われ得る。

[0116] 図34は、本実施形態における偏光撮像モードの動作を説明する図である。偏光照明はP偏光とS偏光が交互照射され、その都度画像が取得され、偏光画素パターン3402、3403が取得される。

[0117] 偏光モザイク処理部202では、偏光画素パターン3402、3403を両方使って、該当する画素ごとに、P//とS//、およびP⊥とS⊥を収集し、埋め込み処理と★で示される部分を周囲から画素補間をする。こうすることによって、P偏光照明での平行ニコル画像3404と直交ニコル画像3405、およびS偏光照明での平行ニコル画像3406と直交ニコル画像3407とを分離生成する。

[0118] この処理の結果得られるカラーモザイク画像に対して、カラーモザイク補間が実行され4種類のフルカラーの偏光画像が生成される。この3種類の平行・直交ニコル画像は、凹領域検出部204、画像合成部206において第1の実施形態について説明した処理と同様の処理が行われる。なお、この実施形態に関するタイミングチャートは第2の実施形態のタイミングチャートと同様である。

[0119] （第2の実施形態の変形例3）

図35から図39は、本開示の第2の実施形態の変形例3を示す図である。本変形例は図20で示す第2の実施形態と基本構成は変わらない。ただし、直線偏光照明の照射角度と、受光側の偏光撮像素子の偏光モザイクにおける透過面が異なり、本実施形態では、被写体表面に存在するランダムな方向分布を有する溝の群に対し、溝の特定の方向を重視することなく平均的に検出、強調するため、照射する偏光照明の角度の種類を直交させずに、45度

の角度を持たせている。

[0120] 図35 (A) と (B) は、本実施形態1および2において使用した、偏光照明光と偏光撮像の透過方向の関係を示している。まず図35 (A) において、3550は、この撮像に用いる照明の偏光方向と受光側の偏光方向の条件を示し、長方形3501から3504は、それぞれ、 0° 、 45° 、 90° 、 135° の方向に走行する表面の溝を表現している。このとき、L0 (P偏光) に対してそれぞれ、C0とC90の偏光透過角度で撮像するL0C0 (P//) 画像、およびL0C90 (P⊥) 画像の2種が得られ、ここから偏光差分画像を生成する。表1に示したように、偏光差分画像を生成すると、溝のコントラストは、照明の偏光に対して 45° と 135° の方向である溝3502と3504が最大となり、次に照明の偏光に平行な 0° の方向の3501が高くなり、照明の方向に垂直な3503が最も低くなる。図では、この溝のコントラスト比の高低を、高い順に格子縞、斜線、白抜きの順序で示している。また3505の十字矢印はコントラスト比が最大となる方向、いいかえると重視される溝の方向を示している。

[0121] 次に、図35 (B) において条件3551、すなわち、L90 (S偏光) に対して、C90とC0の偏光透過角度で撮像するL90C90 (S//) 画像、およびL90C0 (S⊥) 画像が得られる。表1に示したように、偏光差分画像を生成するとコントラストは、照明の偏光に対して 45° と 135° の方向である溝3502と3504がもっとも高くなり、次に照明の偏光に平行な 0° の方向の溝3506が高くなり、照明の方向に垂直な溝3507が最も低くなる。そこで、本開示の第1の実施形態で記載したように以上の2種の偏光照明での結果を加算平均すると、 45° と 135° の方向の溝3502と3504では同程度のコントラストで、 0° と 90° の方向の溝ではコントラスト順序が (A) と (B) で入れ替わるために、トータル性能では、コントラストが最低となる方向の溝の方向が分散され、ランダム方向分布の溝を良好に検出、強調することができる。

[0122] しかしながら、図35 (A) (B) の結果を見れば明らかなように、重視

される溝の方向は十字矢印 3 5 0 5 のまま変わらないため、4 方向の溝のうち、最高の検出性能は、3 5 0 2 と 3 5 0 4 に固定されており、これは 45° と 135° の溝が、 0° および 90° の溝に比較して重要視されていることになる。すなわちランダムな方向性を有する表面の溝が完全に同等に扱われてはいなかった。

[0123] この解決方法として、図 3 5 (C) (D) のように、照明の偏光光を L 0 と L 4 5 に変化させ、それぞれの照明に対して直交と平行ニコルでの偏光撮像をする。この場合、条件 3 5 5 0 の L 0 において状況は変わらないが、条件 3 5 5 2 において、 45° の偏光照明である L 4 5 を T 偏光と称することとすると、L 4 5 C 4 5、(T //) 画像、L 4 5 C 1 3 5 (T $\perp$) 画像を生成し、偏光差分をとることになる。この場合、最高コントラストとなる溝の向きは、照明光に 45° の角度がついた 0° と 90° の溝 3 5 0 8 と 3 5 1 0 となり、以下、照明と平行となる 45° 方向の溝 3 5 0 9、そして最低コントラストが照明と直交する 135° の溝 3 5 1 1 となる。すなわち重視される溝方向を示す十字矢印は、3 5 2 0 のように変化する。そこで図 3 5 (C) (D) の結果を加算平均すると、4 方向の溝について最高コントラストとなる溝が、図 3 5 (C) の L 0 では、 45° と 135° すなわち 3 5 0 2 と 3 5 0 4 であり、図 3 5 (D) の L 4 5 では 0° と 90° 、すなわち溝 3 5 0 8 と溝 3 5 1 0 となる。結果的に、4 方向の溝が均等に高いコントラストを得ることになり、ランダムな方向分布を有する溝に対しても特定方向が重視されず、均等に評価されるという利点がある。

[0124] 図 3 6 は、図 2 1 に対応する。ここでは内視鏡の先端に偏光面が 0° 、 45° 、 90° という 3 種類の照明光の照射口が交互に多数（ここでは 1 8 分割で）配列され、2 個おきに実装された同種の偏光板を有する 6 個の照明要素が選択されて点灯することによって上記の 3 種の偏光照明が空間的に均等に被写体に照射される。照明要素の個数は 1 8 個に限定されないが、混合して非偏光を生成可能であることと 45° の間隔で 2 種の直線偏光を照射できることが条件となる。

[0125] 図37は、本比較例におけるカラー偏光撮像素子119の平面構造を示す図であり、図20における図24に対応する。図37(A)はカラー単板撮像素子と同じ平面構造を示す。図24と異なるのは、偏光モザイク構造が、 0° 、 45° 、 90° 、 135° という4種類で構成されることだけである。

[0126] 図38は、本比較例における通常撮像モードの動作説明図である。被写体には、偏光照明3601の 0° (P)と 90° (S)の照明要素が同時点灯・照射され、その都度、偏光カラーモザイク画像が取得される。2種類の直交する直線偏光が点灯されるため、照射光は非偏光3801となり、これが3702の4種類の各色画素内の4種類の偏光モザイクの出力を加算平均することによって、元々の解像度からは $1/2 \times 1/2$ に低下した非偏光(NP)のカラーモザイク画像3805が得られる。この非偏光カラーモザイク画像3805からフルカラー画像3806を生成する処理は、通常のカラーモザイク補間によって行われ得る。

[0127] 図39は、本比較例における偏光撮像モードの動作を説明するための図である。偏光撮像モードでは、L0(P偏光)とL45(T偏光)が交互に被写体に照射され、その都度、偏光のカラーモザイク画素パターン3903、3904が得られる。偏光モザイク処理部202では、画素パターン3903、3904の両方を使って、該当する画素ごとに、P//とP⊥、およびT//とT⊥を選択・集積処理し、取得できない画素は周囲から補間することによって、P偏光照明での平行ニコル画像3905と直交ニコル画像3906と、T偏光照明での平行ニコル画像3907と直交ニコル画像3908の計4種類の偏光画像を分離して生成する。なお図39において★は補間される画素を示している。

[0128] この処理の結果得られる4種類の偏光画像は、凹領域検出部204および画像合成部206により、第1の実施形態について図14と図17Aを参照して説明した処理と同様の処理が行われる。

[0129] (第2の実施形態の変形例4)

図40から図43は、本発明の第2の実施形態の変形例4に関するものである。本変形例の基本構成は、図20で示す第2の実施形態の基本構成と変わらない。ただし、照明として直線偏光ではなく円偏光を用いており、そのため偏光照明と偏光撮像部の両方に $\lambda/4$ 板が設けられている。照明光として円偏光を用いることにより、被写体表面においてランダムな方向分布を有する溝を平均的に検出することができる。

[0130] 図40は、本変形例で使用される内視鏡先端部の構成例を示す図であり、第2の実施形態における図21に対応する。内視鏡の先端部には、図40に示されるように、被写体側から $\lambda/4$ 板401、偏光レンズ107、およびLED光源がこの順序に積層配置されている。LED光源では、出射する直線偏光光の偏光面が 0° のLED素子と 90° のLED素子とが交互に円周状に配列されている。LED素子の個数は例えば18個である。 $\lambda/4$ 板401は、その光学軸がLED素子から出射された光の偏光面に対して 45° 傾斜するように配置される。図40において、FおよびSの記号は、それぞれ、 $\lambda/4$ 板401の進相（Fast）軸および遅相（Slow）軸を示している。

[0131] 偏光面が 0° のLED素子のアレイと 90° のLED素子のアレイとを交互に選択して点灯することにより、右回りおよび左回りの円偏光照明で時間的に交互に、かつ、空間的には略均等に被写体を照射することができる。

[0132] 次に、図41を参照して、LED素子から出射された直線偏光光の偏光面の方向、 $\lambda/4$ 板のF（進相）軸およびS（遅相）軸の方向、ならび、円偏光の回転向きを説明する。

[0133] 円偏光の回転の向きは、図41（A）に示すように、光の進行する向き側から見て定義する。図41（B）に示すように、斜め 45° に配置された $\lambda/4$ 板のF軸とS軸との間に 0° の偏光面を持つ直線偏光光が入射すると右回りの円偏光が得られる。一方、図41（C）に示すように、斜め 45° に配置された $\lambda/4$ 板のF軸とS軸との間に 90° の偏光面を持つ直線偏光光が入射すると、左回りの円偏光が得られる。

- [0134] 図42は、本実施形態の変形例で用いるカラー偏光撮像素子119の断面構造の例を示す図である。図23の構成と異なる点は、 $\lambda/4$ 板4201がワイヤグリッド層222、224より上面側に配置されることだけである。
- [0135] 図43は、カラー偏光撮像素子119の平面構造を示す図であり、図24に対応する。図24の構成と異なる点は、F軸およびS軸を有する $\lambda/4$ 板4201が、ワイヤグリッド偏光板の全体を覆うように配置されていることである。F軸およびS軸が適切な方位を向くように配置された $\lambda/4$ 板4201に円偏光の光が入射すると、所定の方向に偏光した直線偏光に変換されて $\lambda/4$ 板4201を透過することができる。 $\lambda/4$ 板4201は、ワイヤグリッド偏光子アレイに入射する直線偏光光の偏光面の方位が 0° および 90° になるように、F軸を 135° 、S軸を 45° に向けて配置され得る。
- [0136] 図44は、臓器粘膜表面の断面を本変形例のためにモデル化して表現した図である。この例では、図41(B)に示す 0° の方向に偏光した直線偏光光が $\lambda/4$ 板を透過して形成された右廻り円偏光照明光が被写体に照射されたとする。滑らかで半透明の粘膜表面からの反射光は表面のハレーション[SR]である。図42のカメラ座標によると、ハレーション[SR]は、浅い部位の粘膜層からの反射光「SR1」とともに、左廻りの円偏光4202として戻ってくる。このため、撮像系の $\lambda/4$ 板を透過すると、 90° の直線偏光光となり、 0° 方向のワイヤグリッド偏光子にて遮断される。すなわち、被写体表層からの戻り光は、照明系の $\lambda/4$ 板に入射する直線偏光光の偏光面と同じ方位の偏光面を有する偏光子によって遮断される。一方、ハレーション[SR]および浅い部位の粘膜層からの反射光「SR1」は、照明系の $\lambda/4$ 板に入射する直線偏光光の偏光面に対して直交する方位の偏光面を有する偏光子を透過することができる。
- [0137] なお、被写体の深い部位の粘膜層からの戻り光(DR)は、粘膜深部において円偏光が解消されて非偏光となる。非偏光が被写体表面の溝から出射する際に溝に直交する方向に直線偏光となる。この場合、溝の向きに依存して2種類のケースが発生する。

[0138] 図45は、この偏光の2種類のケースを説明する図である。

[0139] 第1のケース) 表面溝が 0° および 90° の方位に延びている場合、溝における直線偏光の戻り光の偏光面の方位は、F軸とS軸のほぼ中間位置である。このため、 $\lambda/4$ 板4201によって円偏光4501、4502に変化し、撮像素子側において偏光面が 0° および 90° の方位の偏光子を透過することになる。その結果、撮像素子側においては、 0° でも 90° でも観測される輝度は、溝で出射した偏光成分の $1/2$ となり、透過光量は等しくなる。

[0140] 第2のケース) 表面溝が 45° および 135° の方位に延びている場合、溝において出射する直線偏光の偏光面は、F軸(135°) およびS軸(45°) の向きにある。この場合には、 $\lambda/4$ 板4201の影響を受けずに直線偏光のまま撮像素子側の 0° および 90° の偏光板を透過する。その結果、透過光量はいずれも $1/2$ となる。このため、以上、第1、第2のケースとも、撮像素子側において、 0° と 90° でそれぞれの偏光観測値の差分処理を実施すると、溝領域では、値が理想的には0(黒)となり、平坦部に比較して粘膜浅部の凹凸に起因する微細構造のコントラストが向上する。

[0141] (第2の実施形態の変形例5)

第2の実施形態の変形例4では、右廻りおよび左廻りの円偏光照明光を被写体に順次照射しているが、常に2種類の円偏光照明光を被写体に照射する必要はない。本変形例では、図40の偏光板を 0° のみ、または 90° のみとして順次点灯を省略し、右廻りまたは左廻り固定の円偏光の一方のみを照射する。

[0142] 図46は、本変形例で使用し得る光源の構成例を示す図である。LED光源は分割光源である必要がない。このため、1回の撮像に用いる照明光の照度を変形例4に比較して2倍に向上できる。また、照明光の偏光を替えて2回撮像する必要がないため、撮像に要する時間を半分にすることができる。

[0143] 変形例5の撮像素子側の構成は変形例4の撮像素子側の構成と同一で良い。変形例4について説明したように、偏光差分処理により、粘膜の浅部に存

在する微細構造のコントラストを向上することができる。

[0144] また、光源素子としてLED素子を使用する必要もない。このため、従来のライトガイドを使った非偏光照明を内視鏡先端部にて、円偏光に変換してもよい。

[0145] 実施形態1と同様に、面順次照射形の内視鏡においても、図46で示すように照明の照射口に偏光板と $\lambda/4$ 板を配置すればR, G, Bの円偏光照明を作ることができ、変形例5の効果を得ることが可能になる。

[0146] 上述の実施形態における照明部は、非偏光撮像モードにおいて、非偏光照明光で前記被写体を照射する照明部であって、前記第1の照明光の波長域が前記第2の照明光の波長域に重複しない部分を有するように前記第1および第2の照明光を順次出射するが、本開示における照明部は、このような非偏光撮像モードで動作する必要は無い。また、上述の実施形態における偏光モザイク処理部は、非偏光撮像モードにおいて、非偏光照明光で被写体が照射されているときに各偏光子を透過した光の信号によって構成される非偏光画像を得ることができるが、本開示の偏光モザイク処理部は、このような非偏光撮像モードで撮像される非偏光画像を得る必要は無い。

産業上の利用可能性

[0147] 本開示の実施形態は、消化器内科向け医療用内視鏡、皮膚科、歯科、眼科、外科などのメディカル用途のカメラ、工業用内視鏡、指紋撮像装置、さらに工場などにおける表面検査装置など被写体の表面凹凸の観察、検査、認識を必要とする画像処理分野に広く適用可能である。本開示の実施形態によれば、なめらかな透明物体または半透明物体の表面の凹凸を正しく検出でき、人間に判別しやすい形での強調表示をすることができる。このため、本開示の実施形態は、輝度観察では困難な凹凸の検査に最適である。

[0148] また、本開示の画像処理装置は、デジタルカメラやビデオカメラ、監視カメラなどに適用でき、水面や空撮影におけるコントラスト向上やガラス越しの撮影等に広く利用可能である。

符号の説明

[0149]	1 0 1	内視鏡
	1 0 2	制御装置
	1 0 3	挿入部
	1 0 4	光源装置
	1 0 5	ライトガイド
	1 0 6	先端部
	1 0 7	照明レンズ
	1 0 8	映像信号線
	1 0 9	対物レンズ
	1 1 0	画像プロセッサ
	1 1 1	内臓粘膜表面（凹凸あり）
	1 1 2	同期装置
	1 1 3	反射光
	1 1 4	表示部
	1 1 5	モノクロ広帯域偏光撮像素子
	1 1 6	カラーホイール
	1 1 7	偏光または非偏光照明光
	1 1 8	光源
	1 1 9	カラー偏光撮像素子
	1 2 0	照明回転制御部
	2 0 0	照明用フィルタ
	2 0 2	偏光モザイク処理部
	2 0 4	凹領域検出部
	2 0 6	画像合成部
	2 0 8	カラーモザイク補間部
	2 1 0	画素選択再集積部
	2 2 0	マイクロレンズ
	2 2 2	第1ワイヤグリッド層

2 2 4	第2ワイヤグリッド層
2 2 6	平坦化層
2 2 8	平坦化層
2 3 0	配線
2 3 2	P D (フォトダイオード)
2 4 0	カラーフィルタ

請求の範囲

[請求項1]

偏光撮像モードにおいて、第1の方向に偏光した状態にある第1の照明光、および、前記第1の方向と交差する第2の方向に偏光した状態にある第2の照明光で、順次、被写体を照射する照明部と、

偏光透過軸の方向が異なる複数の偏光子が配列された偏光モザイクアレイ、および、各偏光子を透過した光を受けて信号を出力する光検知素子アレイを有する撮像素子と

前記偏光撮像モードにおいては、前記第1の照明光で前記被写体が照射されているときに前記第1の方向に平行な方向に前記偏光透過軸を有する偏光子を透過した光の信号によって構成される第1の偏光画像と、前記第1の照明光で前記被写体が照射されているときに前記第1の方向に交差する方向に前記偏光透過軸を有する偏光子を透過した光の信号によって構成される第2の偏光画像と、前記被写体が前記第2の照明光で照射されているときに前記第2の方向に平行な方向に前記偏光透過軸を有する偏光子を透過した光の信号によって構成される第3の偏光画像と、前記被写体が前記第2の照明光で照射されているときに前記第2の方向に交差する方向に前記偏光透過軸を有する偏光子を透過した光の信号によって構成される第4の偏光画像とを得る、偏光モザイク処理部と、

前記第1および第2の偏光画像の対、ならびに前記第3および第4の偏光画像の対の両方の対に基づいて前記被写体の表面における凹領域を検出する凹領域検出部と、

前記被写体の表面における前記凹領域を強調して示す画像を形成する画像形成部と、

を備える画像処理装置。

[請求項2]

前記凹領域検出部は、前記第1および第2の偏光画像の差分値である第1の偏光差分画像のカラー成分比率を変更した第1の凹領域強調画像を生成し、前記第3および第4の偏光画像の差分値である第2の

偏光差分画像のカラー成分比率を変更した第2の凹領域強調画像を生成し、前記第1の凹領域強調画像と前記第2の凹領域強調画像の加算平均値を出力する請求項1に記載の画像処理装置。

[請求項3] 前記凹領域検出部は、前記第1および第4の偏光画像の差分値である第3の偏光差分画像のカラー成分比率を変更した第3の凹領域強調画像を生成し、前記第3および第2の偏光画像の差分値である第4の偏光差分画像のカラー成分比率を変更した第4の凹領域強調画像を生成し、前記第3の凹領域強調画像と前記第4の凹領域強調画像の加算平均値を出力する請求項1に記載の画像処理装置。

[請求項4] 偏光撮像モードにおいて、第1の方向に偏光した状態にある第1の白色照明光、および、前記第1の方向と交差する第2の方向に偏光した状態にある第2の白色照明光で、順次、被写体を照射する照明部と、

偏光透過軸の方向が異なる複数の偏光子が配列された偏光モザイクアレイ、光透過特性が異なるカラーフィルタが配列されたカラーモザイクフィルタ、および、各偏光子および各カラーフィルタを透過した光を受けて信号を出力する光検知素子アレイを有する撮像素子と、

前記偏光撮像モードにおいては、前記第1の白色照明光で前記被写体が照射されているときに前記第1の方向に平行な方向に前記偏光透過軸を有する偏光子を透過した光の信号によって構成される第1の偏光画像と、前記第1の白色照明光で前記被写体が照射されているときに前記第1の方向に交差する方向に前記偏光透過軸を有する偏光子を透過した光の信号によって構成される第2の偏光画像と、前記被写体が前記第2の白色照明光で照射されているときに前記第2の方向に平行な方向に前記偏光透過軸を有する偏光子を透過した光の信号によって構成される第3の偏光画像と、前記被写体が前記第2の白色照明光で照射されているときに前記第2の方向に交差する方向に前記偏光透過軸を有する偏光子を透過した光の信号によって構成される第4の偏

光画像とを得る、偏光モザイク処理部と、

前記第 1 および第 2 の偏光画像の対、ならびに前記第 3 および第 4 の偏光画像の対の両方の対に基づいて前記被写体の表面における凹領域を検出する凹領域検出部と、

前記被写体の表面における前記凹領域を強調して示す画像を形成する画像形成部と、

を備える画像処理装置。

[請求項5] 前記カラーモザイクフィルタは、R（レッド）フィルタ、G（グリーン）フィルタ、およびB（ブルー）フィルタの3種類のカラーフィルタを含む、請求項4に記載の画像処理装置。

[請求項6] 前記3種類のカラーフィルタの各々は、偏光透過軸の方向が異なる前記複数の偏光子に対応している、請求項4に記載の画像処理装置。

[請求項7] 前記3種類のカラーフィルタの各々は、前記複数の偏光子の各々に対応している、請求項4に記載の画像処理装置。

[請求項8] 前記カラーモザイクフィルタにおける前記3種類のカラーフィルタはベイヤ配列を構成し、

前記ベイヤ配列に含まれる2個のG（グリーン）フィルタは、それぞれ、偏光透過軸の方向が異なる前記複数の偏光子に対応している、請求項4に記載の画像処理装置。

[請求項9] 前記複数の偏光子の各々は、前記3種類のカラーフィルタに対応している、請求項4に記載の画像処理装置。

[請求項10] 前記凹領域検出部は、前記第1および第2の偏光画像の差分値である第1の偏光差分画像のカラー成分比率を変更した第1の凹領域強調画像を生成し、前記第3および第4の偏光画像の差分値である第2の偏光差分画像のカラー成分比率を変更した第2の凹領域強調画像を生成し、前記第1の凹領域強調画像と前記第2の凹領域強調画像の加算平均値を出力する請求項4に記載の画像処理装置。

[請求項11] 前記凹領域検出部は、前記第1および第4の偏光画像の差分値であ

る第3の偏光差分画像のカラー成分比率を変更した第3の凹領域強調画像を生成し、前記第3および第2の偏光画像の差分値である第4の偏光差分画像のカラー成分比率を変更した第4の凹領域強調画像を生成し、前記第3の凹領域強調画像と前記第4の凹領域強調画像の加算平均値を出力する請求項4に記載の画像処理装置。

[請求項12]

円偏光状態にある照明光で被写体を照射する照明部と、

1／4波長板、偏光透過軸の方向が異なる複数の偏光子が配列された偏光モザイクアレイ、光透過特性が異なるカラーフィルタが配列されたカラーモザイクフィルタ、および、各偏光子および各カラーフィルタを透過した光を受けて信号を出力する光検知素子アレイを有し、前記1／4波長板が前記偏光モザイクアレイよりも被写体側に配置されている撮像素子と、

前記照明光の前記被写体からの戻り光が前記1／4波長板を透過することによって変換された直線偏光の偏光面に平行な方向に前記偏光透過軸を有する偏光子を透過した光の信号によって構成される第1の偏光画像、および前記偏光面に対して交差する方向に前記偏光透過軸を有する偏光子を透過した光の信号によって構成される第2の偏光画像を得る、偏光モザイク処理部と、

前記前記第1および第2の偏光画像の対に基づいて、前記被写体の表面における前記凹領域を強調して示す画像を形成する画像形成部と、
を備える画像処理装置。

[請求項13]

請求項1から3の何れかに記載の画像処理装置に用いられる内視鏡であって、

偏光撮像モードにおいて、第1の方向に偏光した状態にある第1の照明光、および、前記第1の方向と交差する第2の方向に偏光した状態にある第2の照明光で、順次、被写体を照射する照明部と、

偏光透過軸の方向が異なる複数の偏光子が配列された偏光モザイク

アレイ、および、各偏光子を透過した光を受けて信号を出力する光検知素子アレイを有する撮像素子と、
を備える内視鏡。

[請求項14] 請求項4から11のいずれかに記載の画像処理装置に用いられる内視鏡であって、

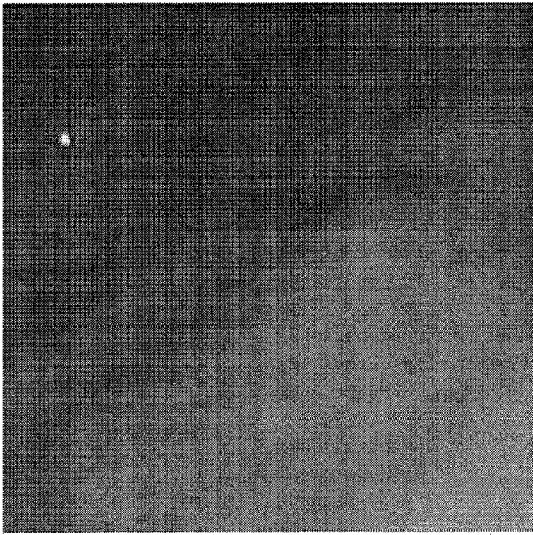
偏光撮像モードにおいて、第1の方向に偏光した状態にある第1の白色照明光、および、前記第1の方向と交差する第2の方向に偏光した状態にある第2の白色照明光で、順次、被写体を照射する照明部と、

偏光透過軸の方向が異なる複数の偏光子が配列された偏光モザイクアレイ、光透過特性が異なるカラーフィルタが配列されたカラーモザイクフィルタ、および、各偏光子および各カラーフィルタを透過した光を受けて信号を出力する光検知素子アレイを有する撮像素子と、
を備える内視鏡。

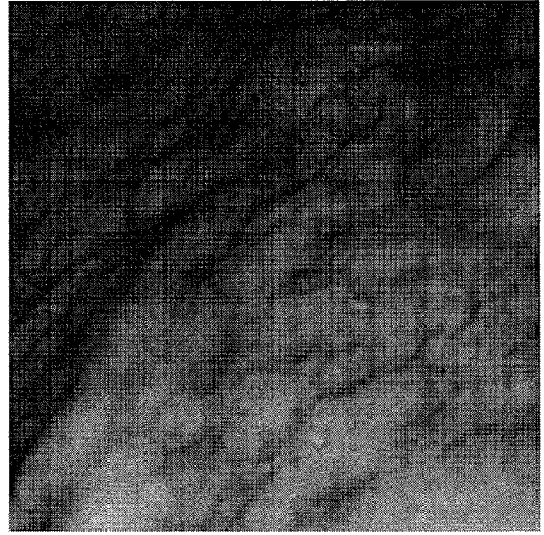
[請求項15] 請求項12に記載の画像処理装置に用いられる内視鏡であって、
円偏光状態にある照明光で被写体を照射する照明部と、

1/4波長板、偏光透過軸の方向が異なる複数の偏光子が配列された偏光モザイクアレイ、光透過特性が異なるカラーフィルタが配列されたカラーモザイクフィルタ、および、各偏光子および各カラーフィルタを透過した光を受けて信号を出力する光検知素子アレイを有し、
前記1/4波長板が前記偏光モザイクアレイよりも被写体側に配置されている撮像素子と、
を備える内視鏡。

[図1]

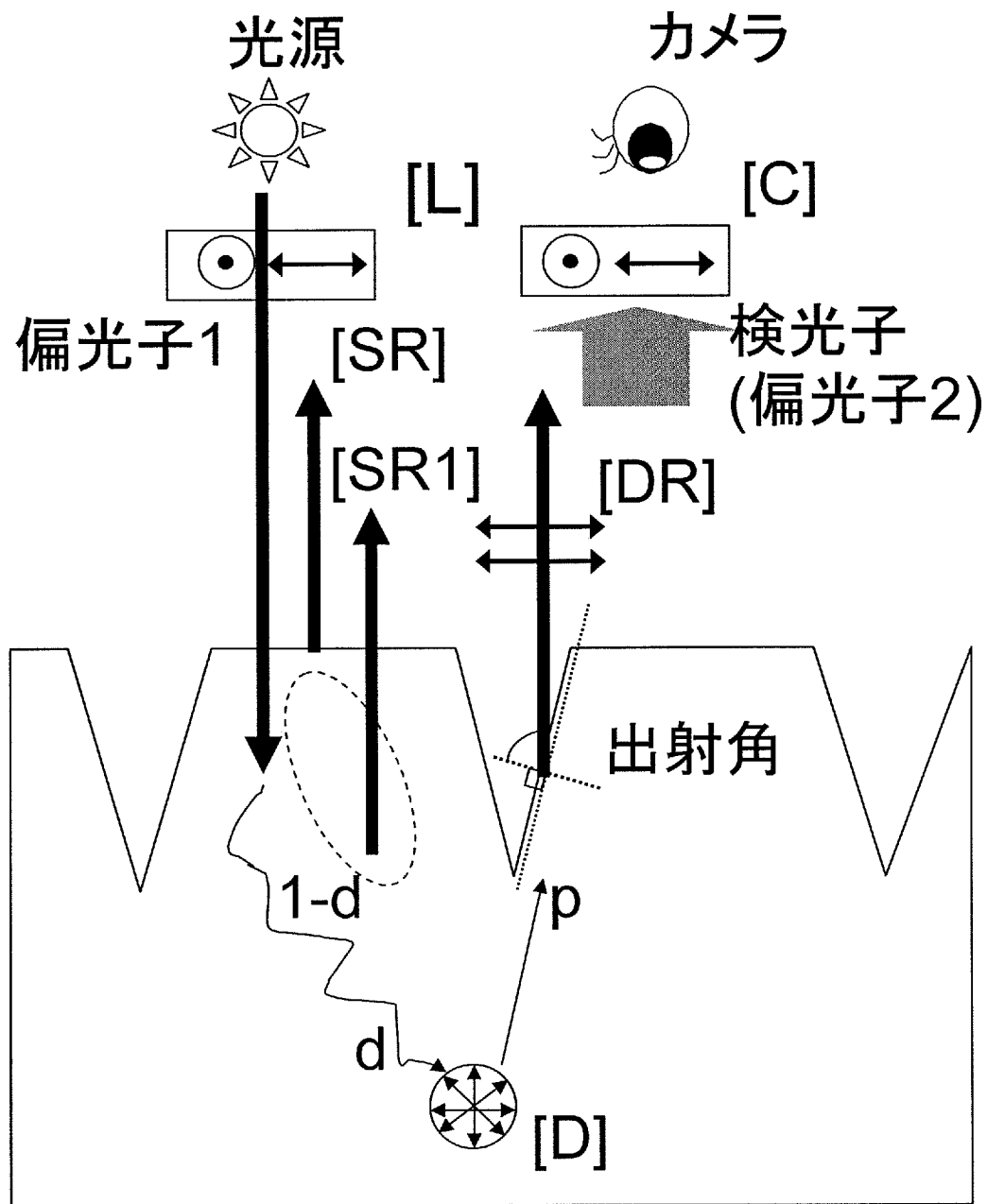


(a)

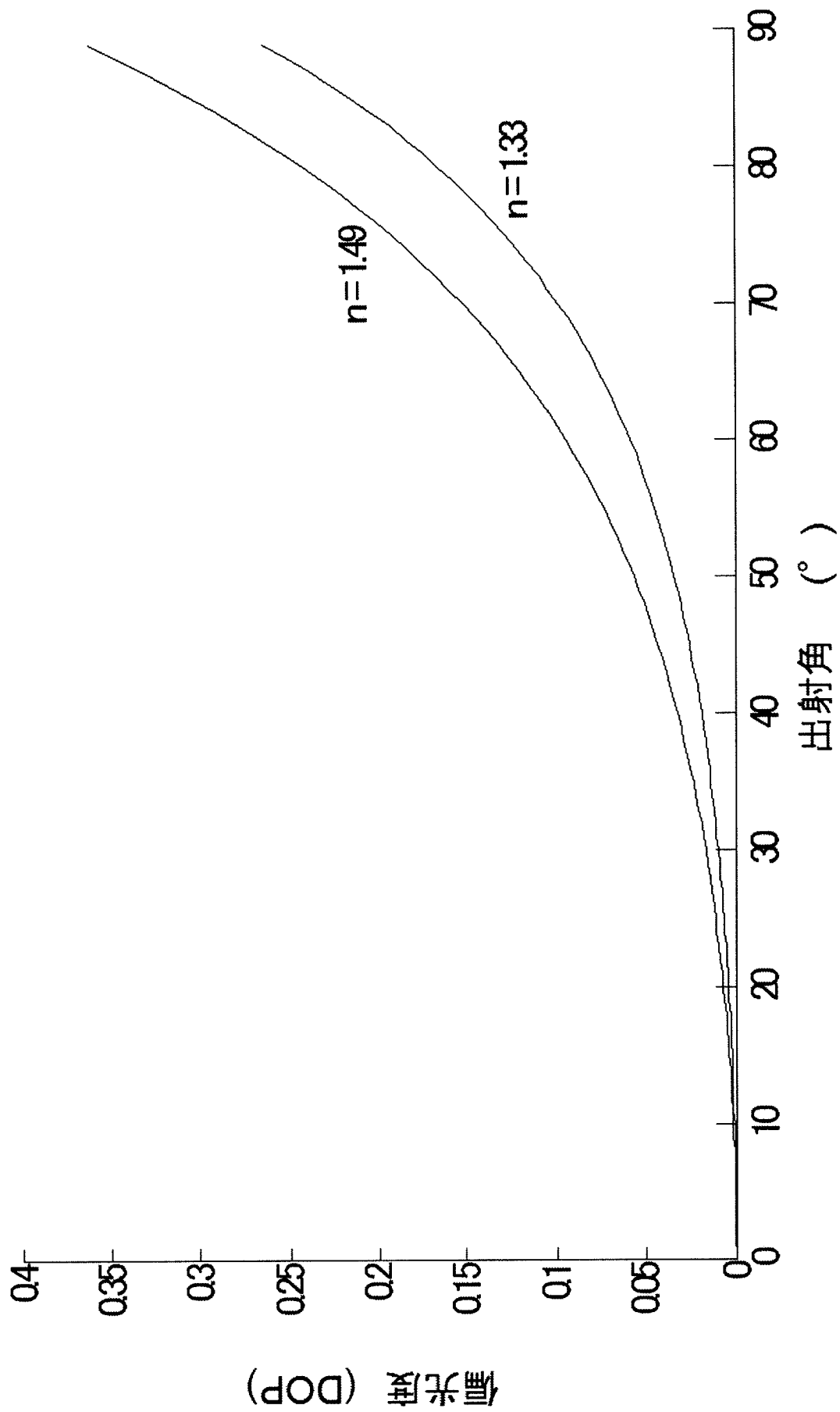


(b)

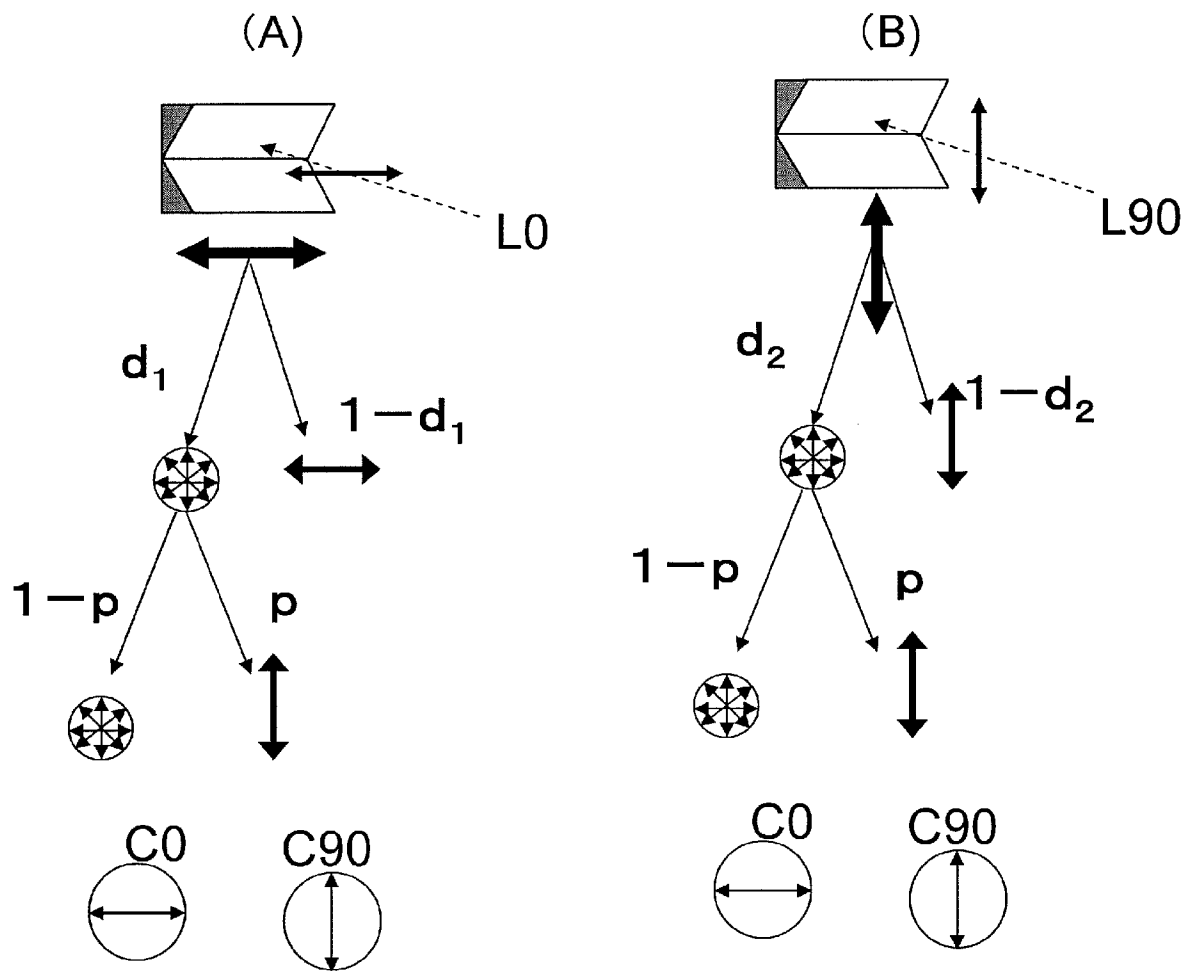
[図2]



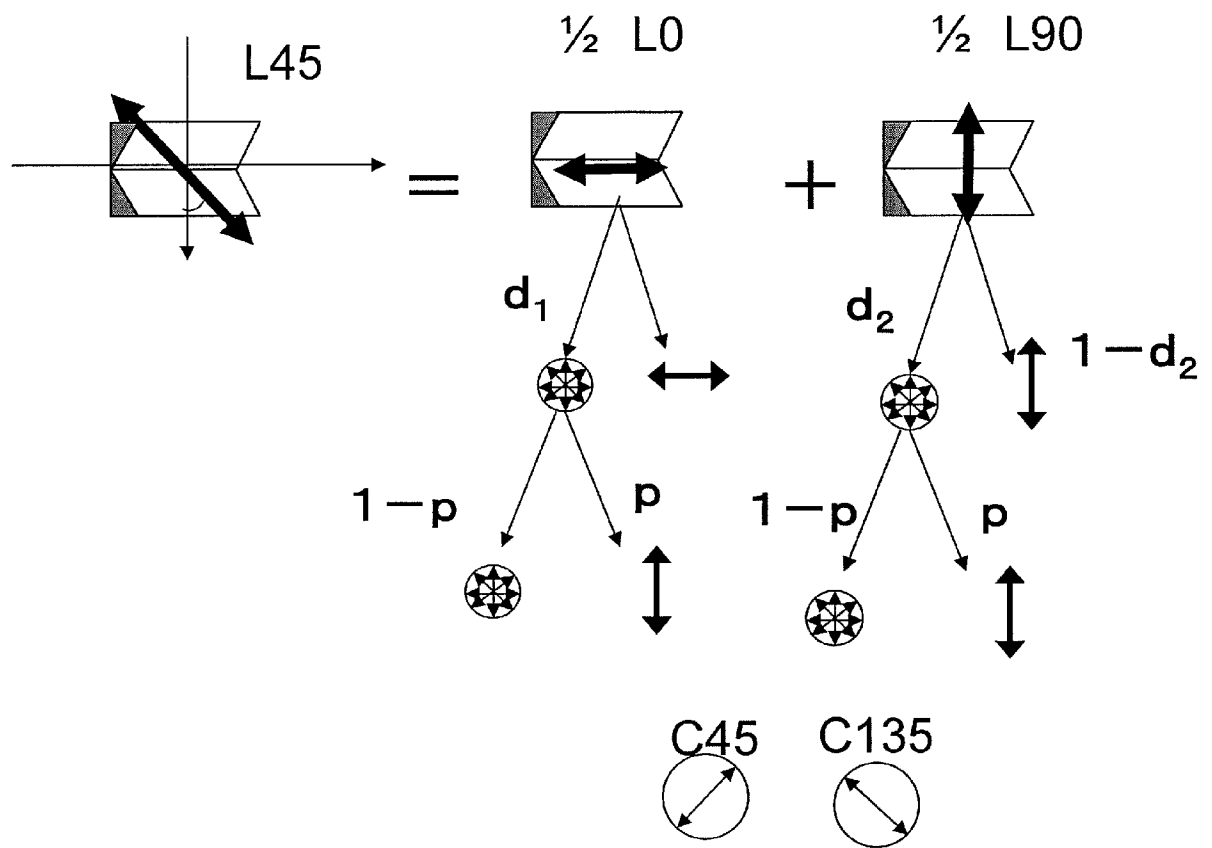
[図3]



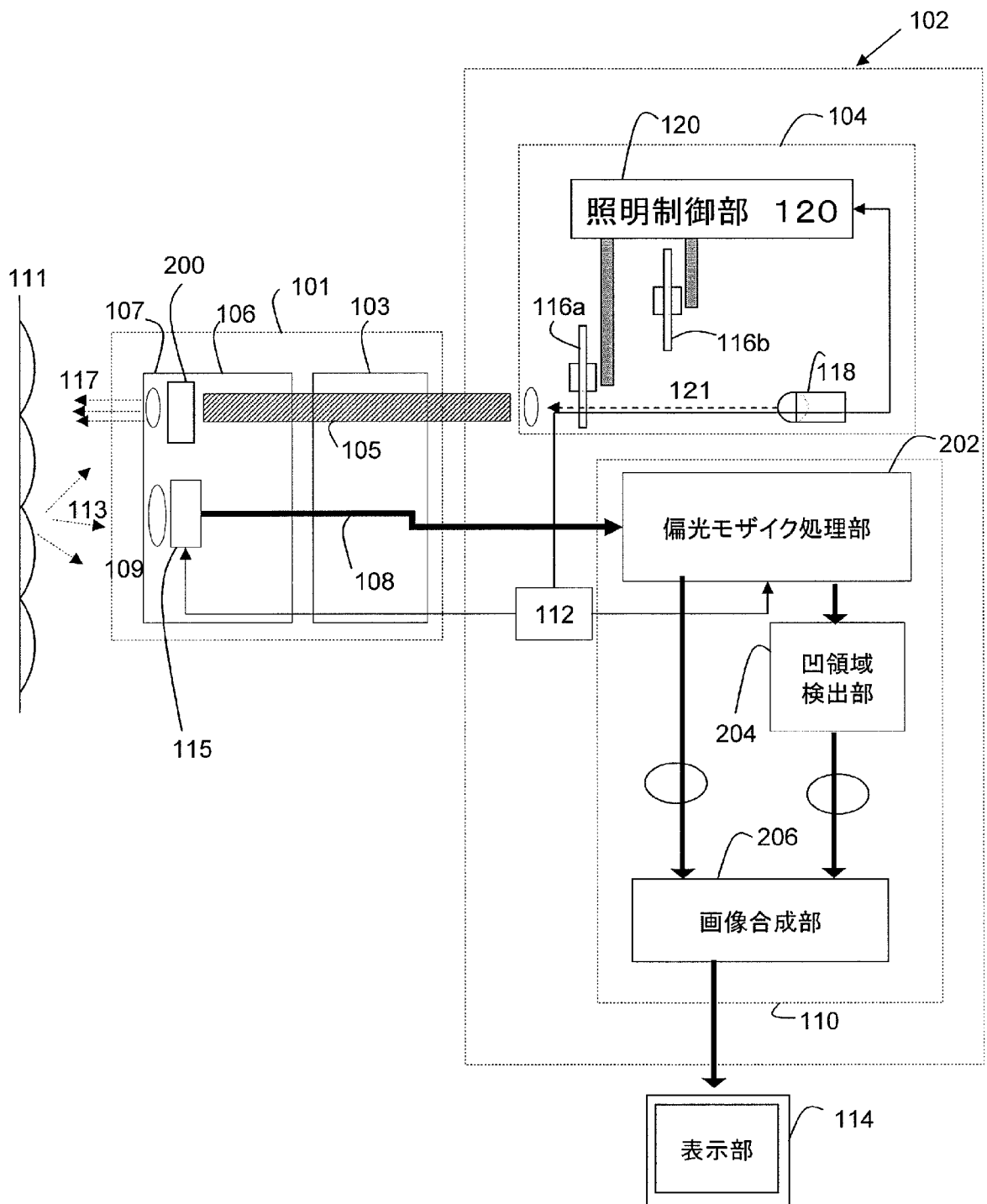
[図4]



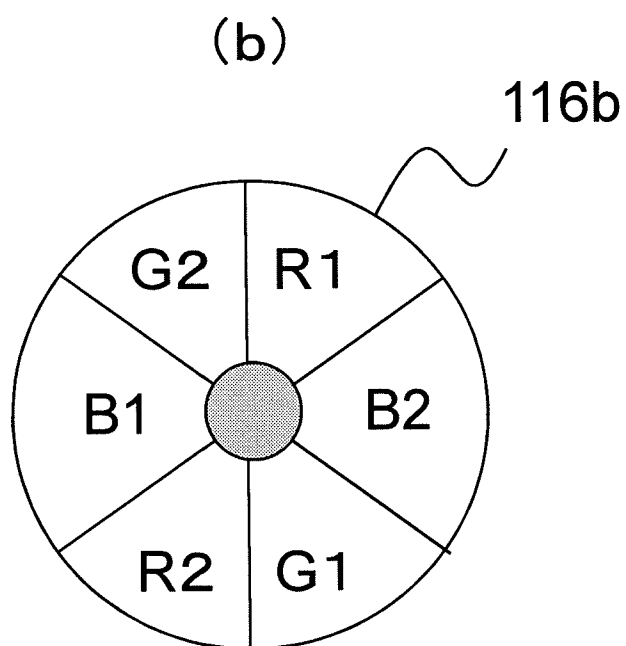
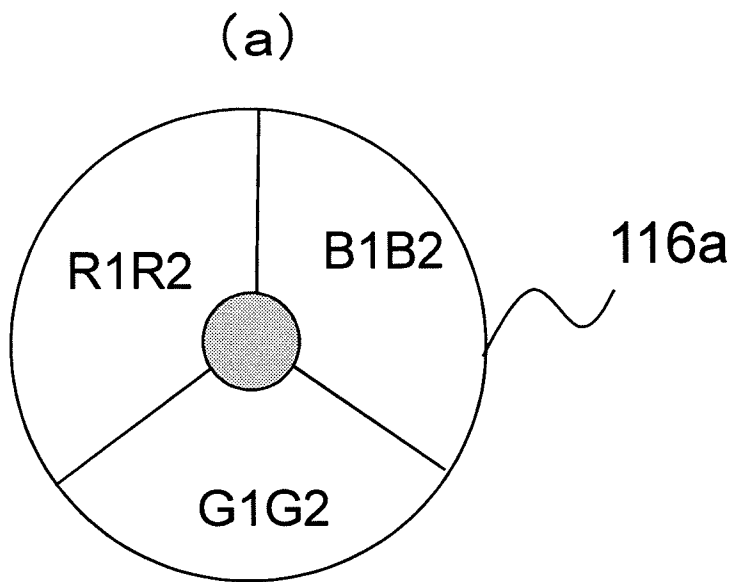
[図5]



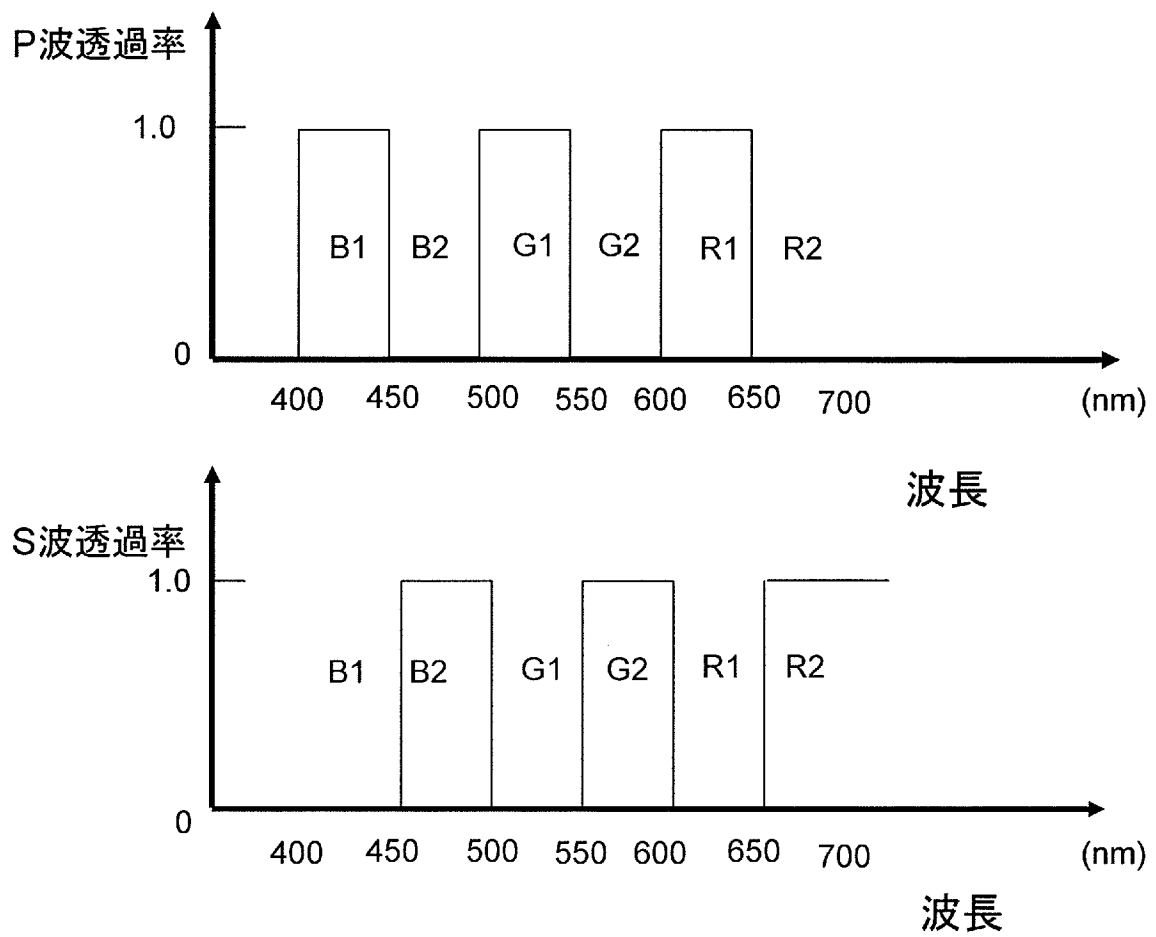
[図6]



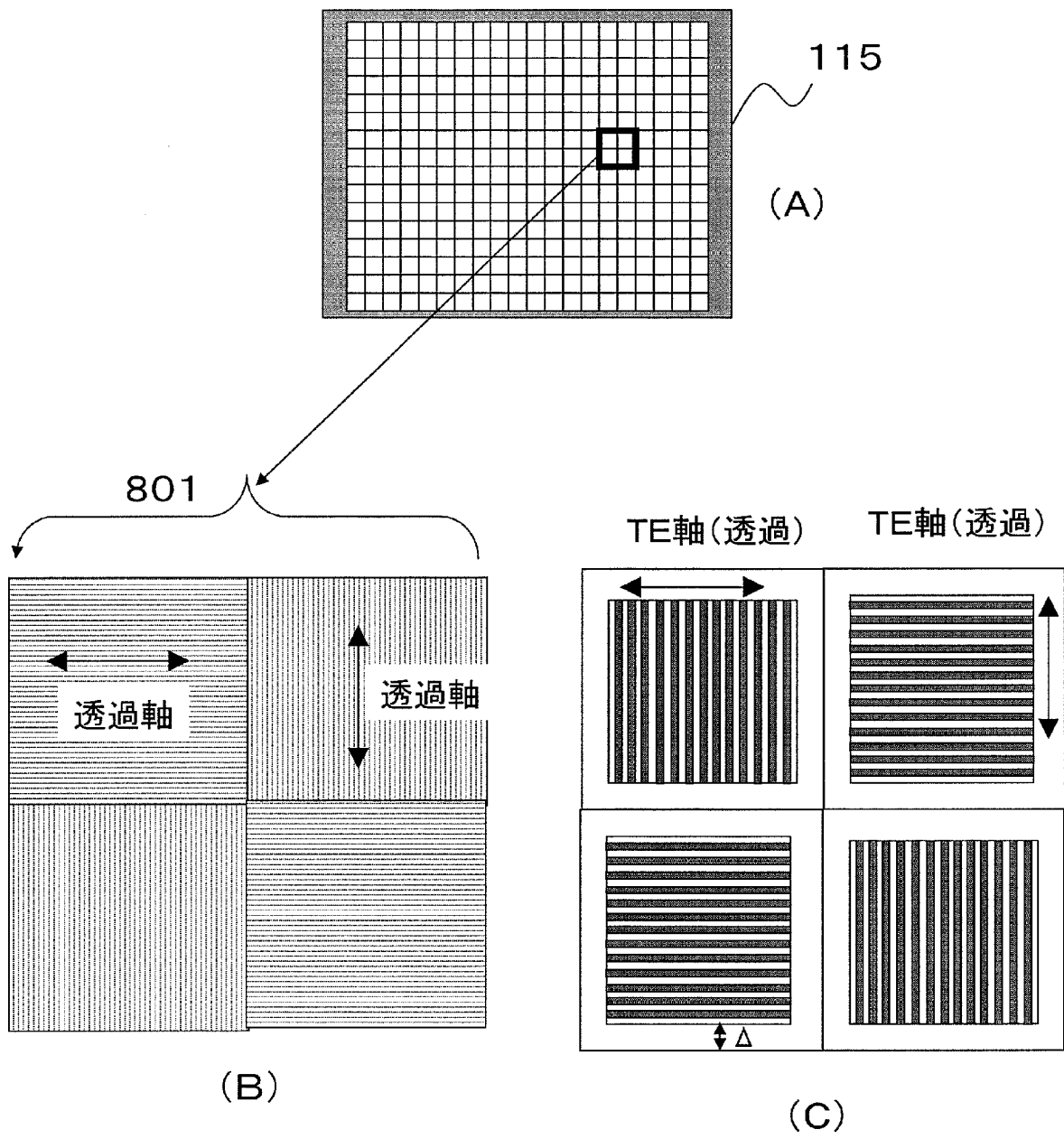
[図7]



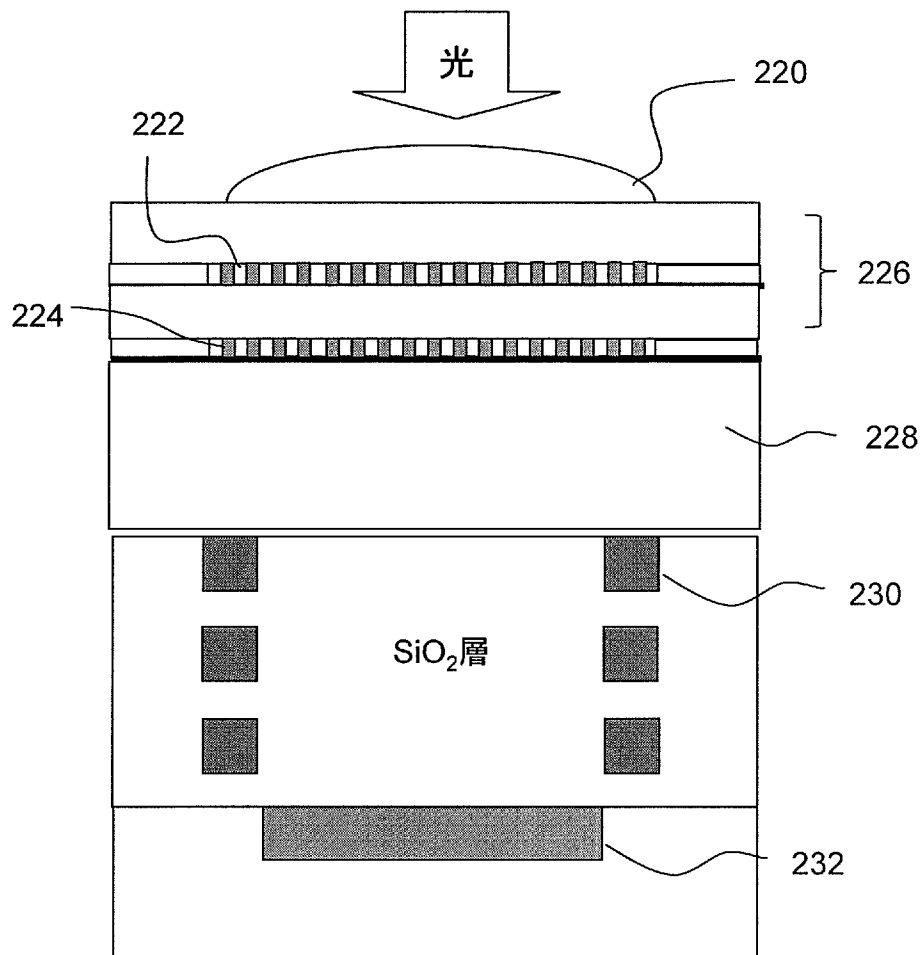
[図8]



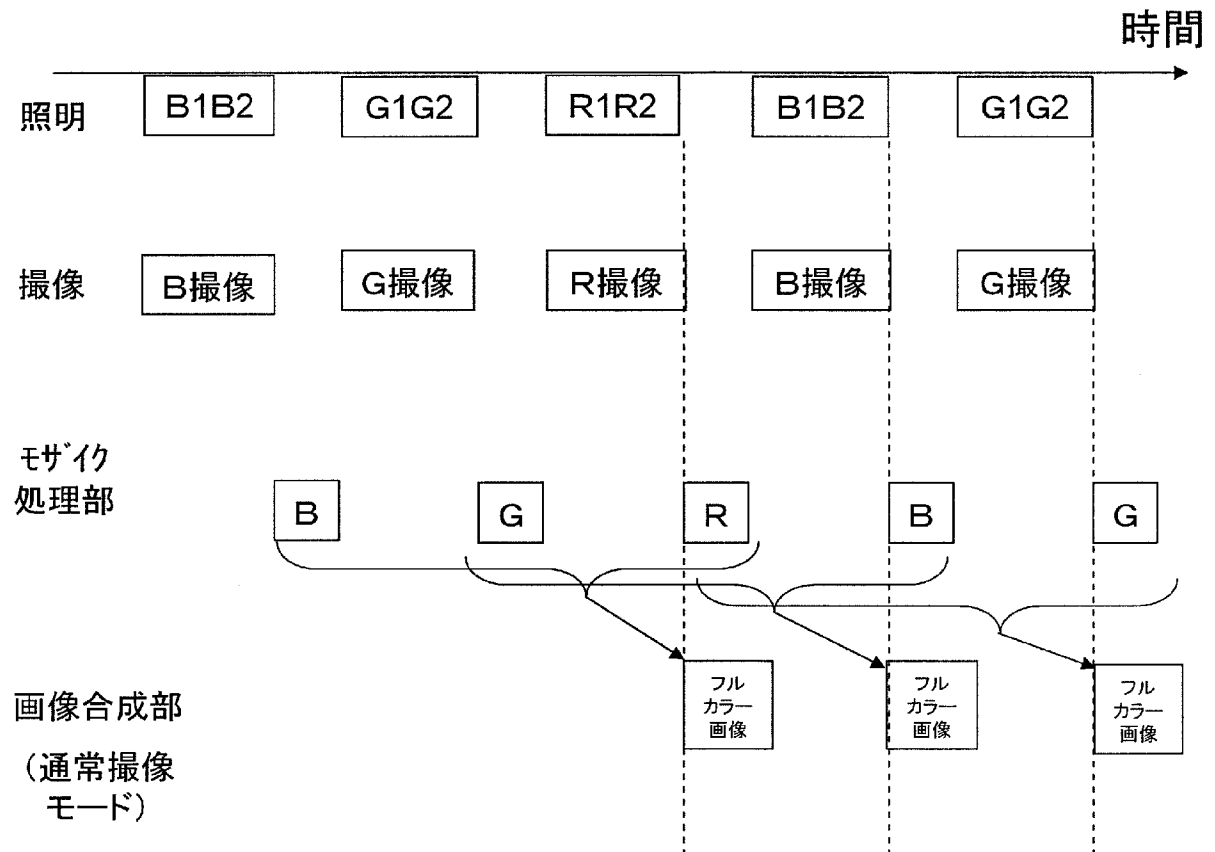
[図9]



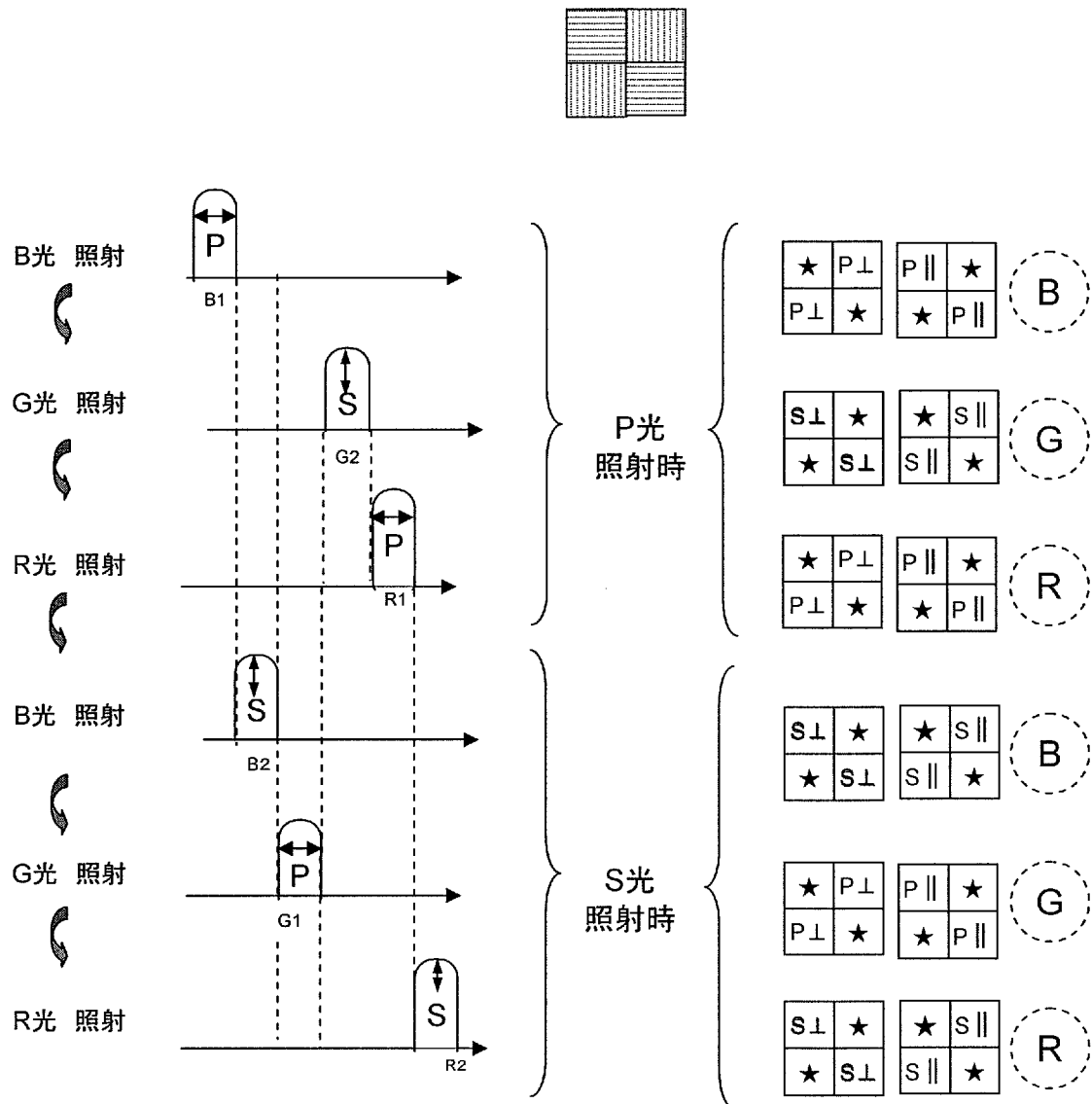
[図10]



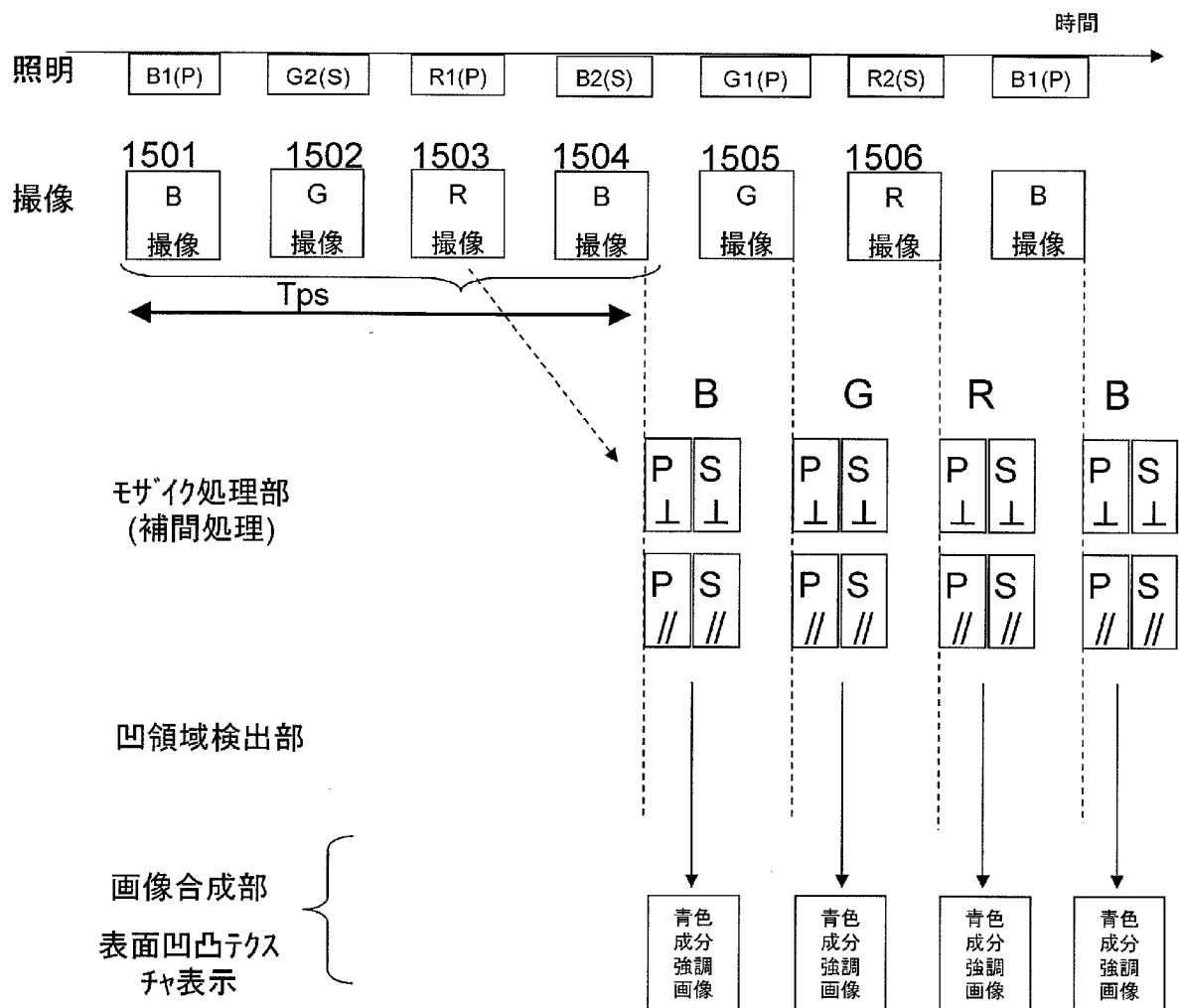
[図11B]



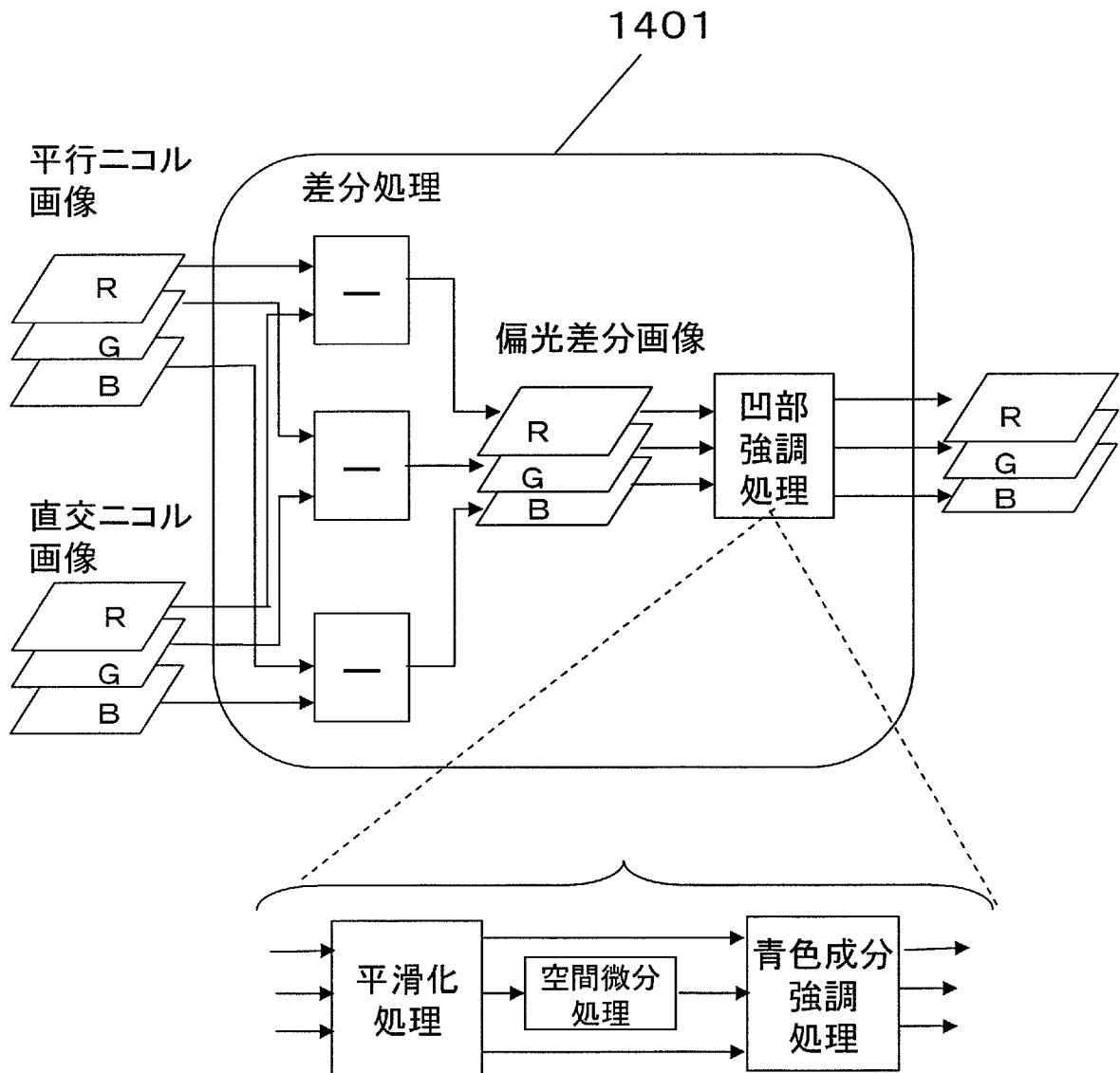
[図12]



[図13]



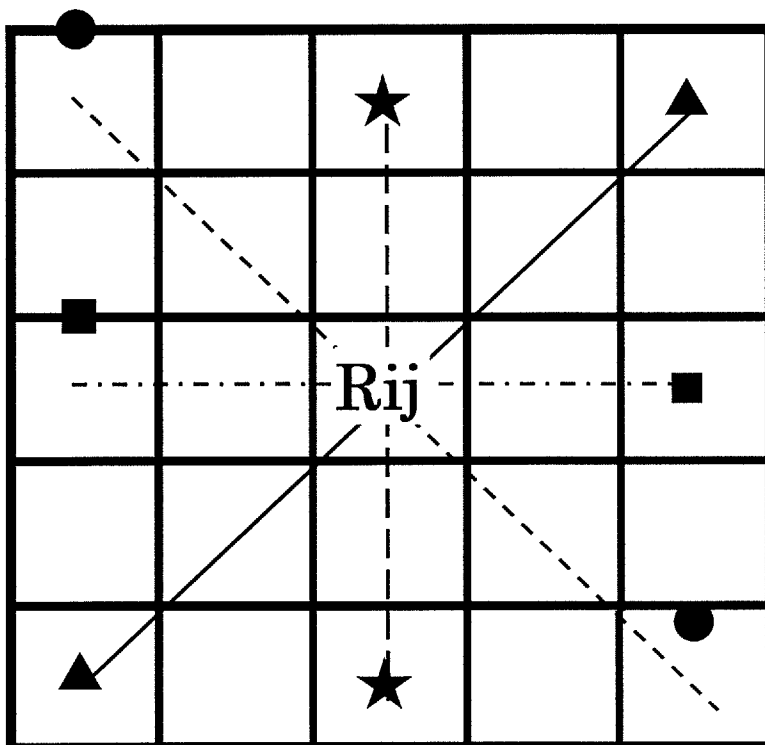
[図14]



[図15]

0.000229	0.003312	0.008064	0.003312	0.000229
0.003312	0.047809	0.116411	0.047809	0.003312
0.008064	0.116411	0.283456	0.116411	0.008064
0.003312	0.047809	0.116411	0.047809	0.003312
0.000229	0.003312	0.008064	0.003312	0.000229

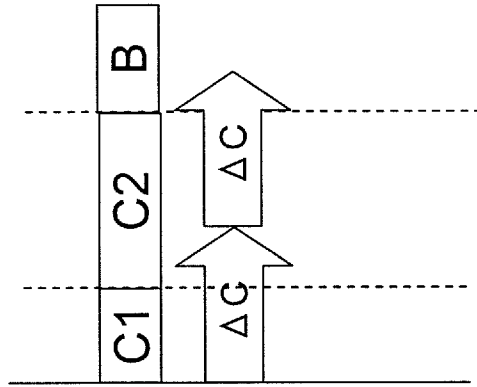
(A)



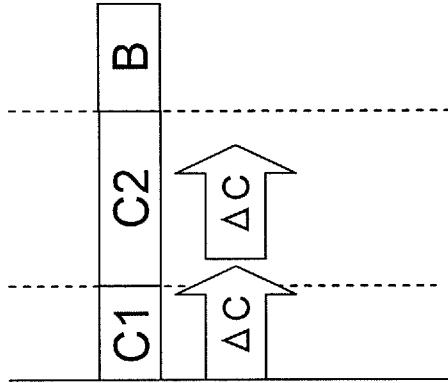
(B)

[図16]

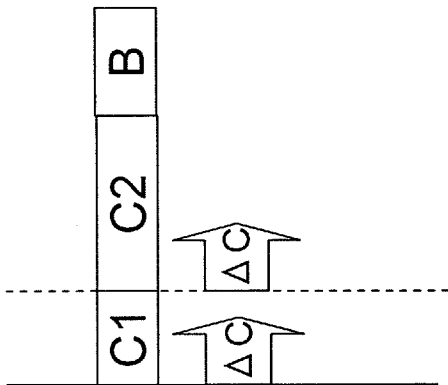
(3) $(C1+C2)/2 < \Delta C$
の場合



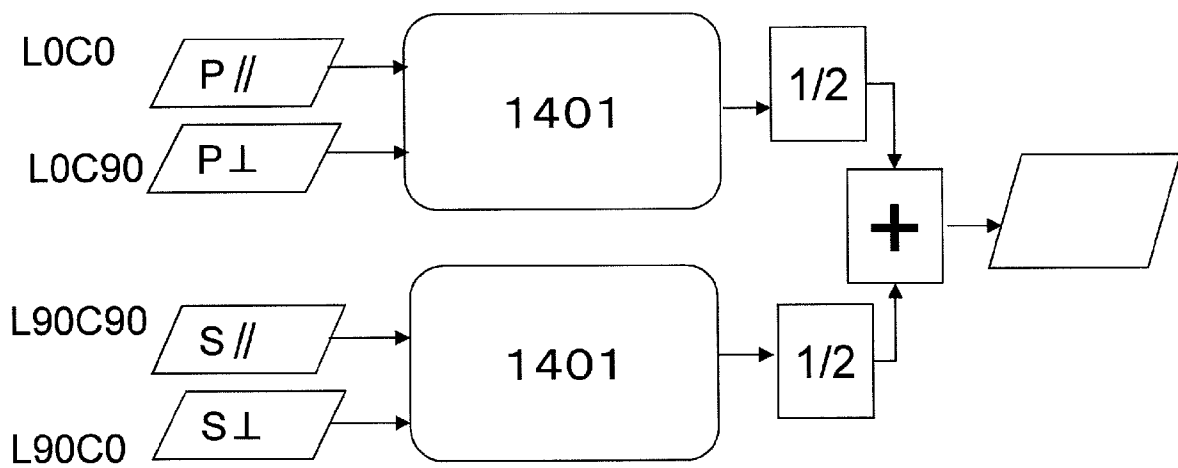
(2) $C1 < \Delta C \leq (C1+C2)/2$
の場合



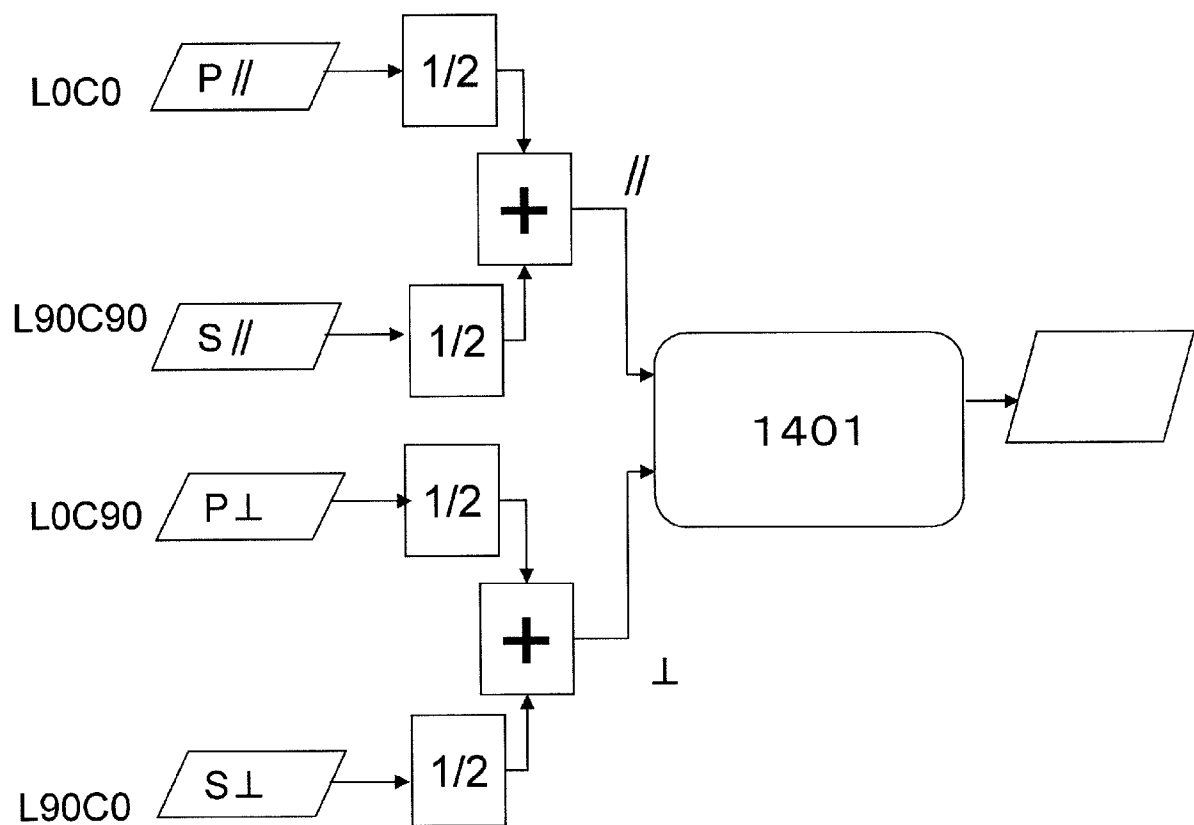
(1) $\Delta C \leq C1$ の場合



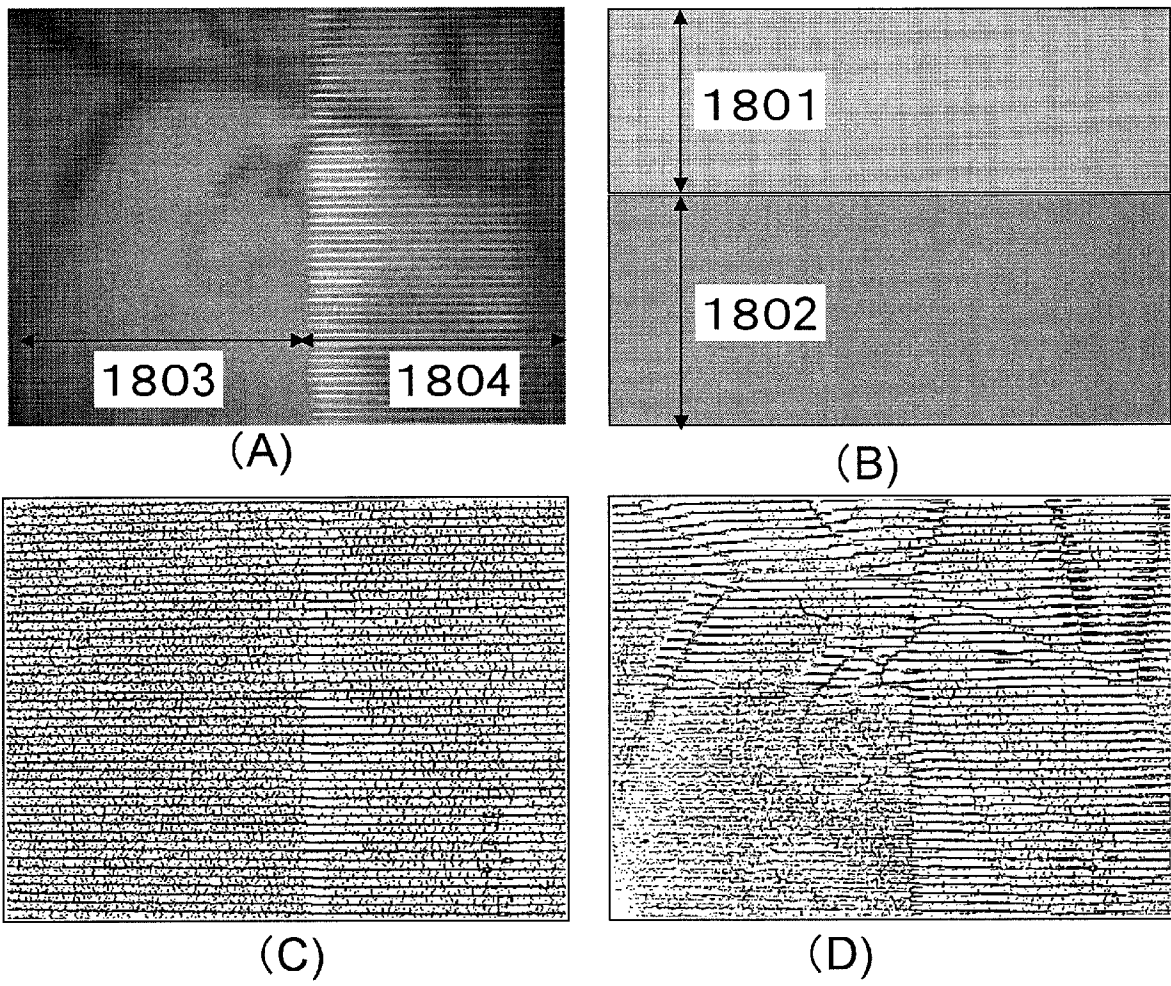
[図17A]



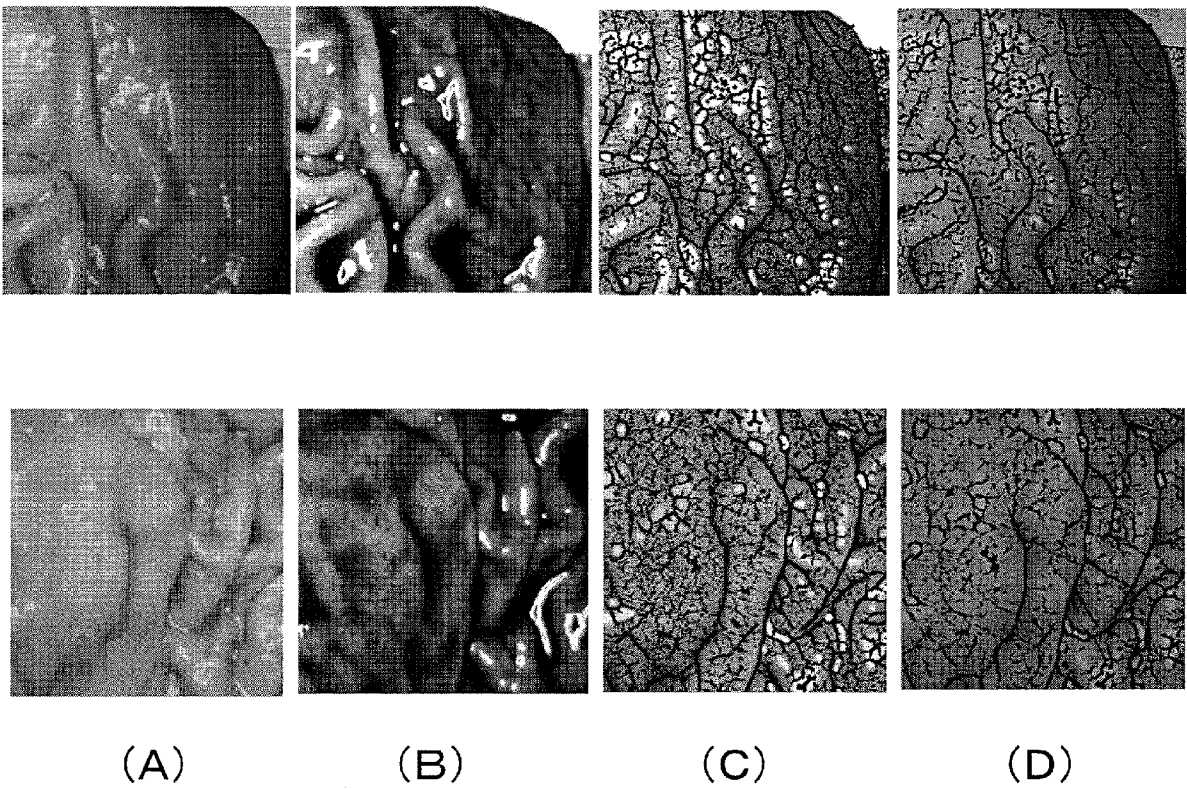
[図17B]



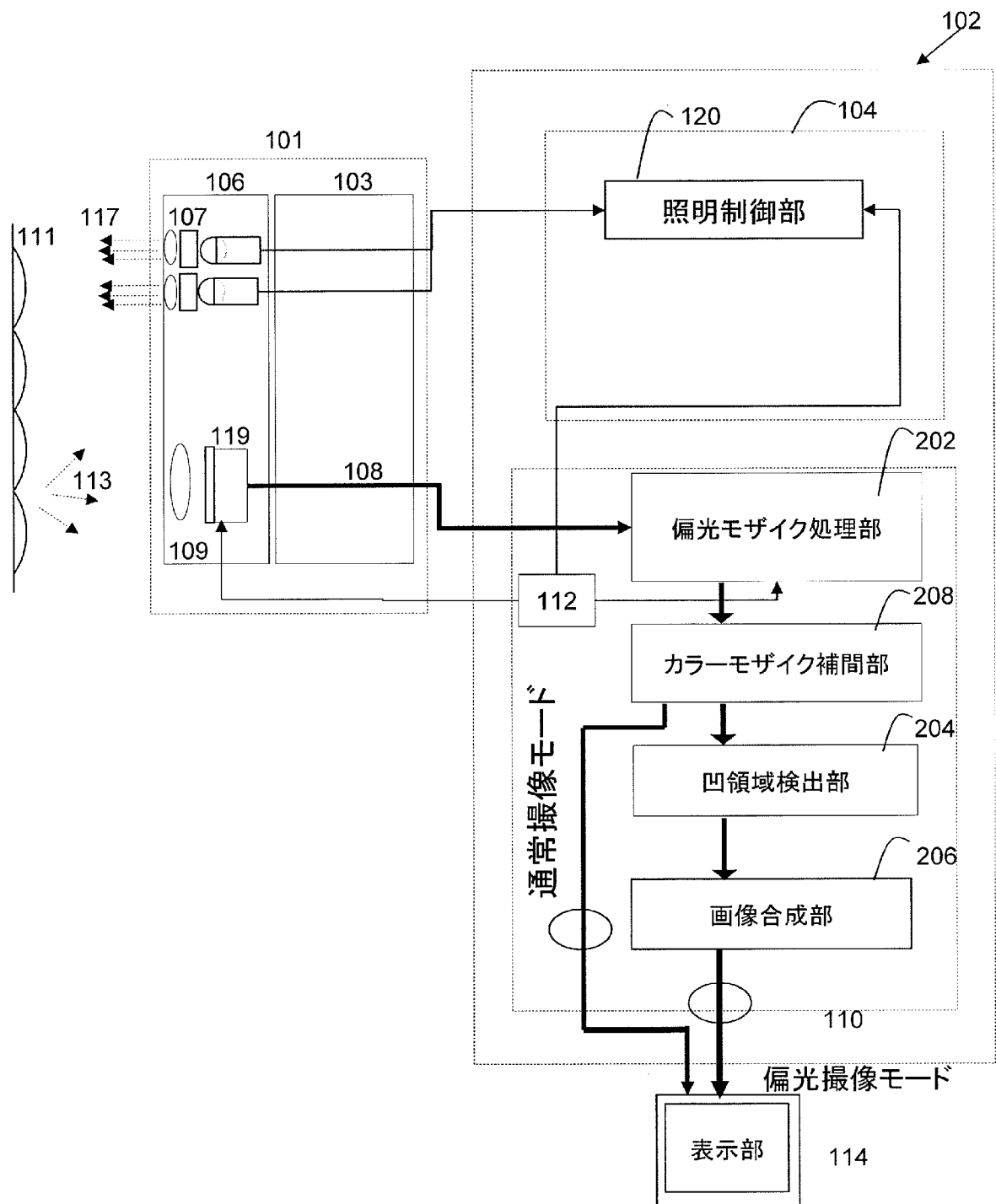
[図18]



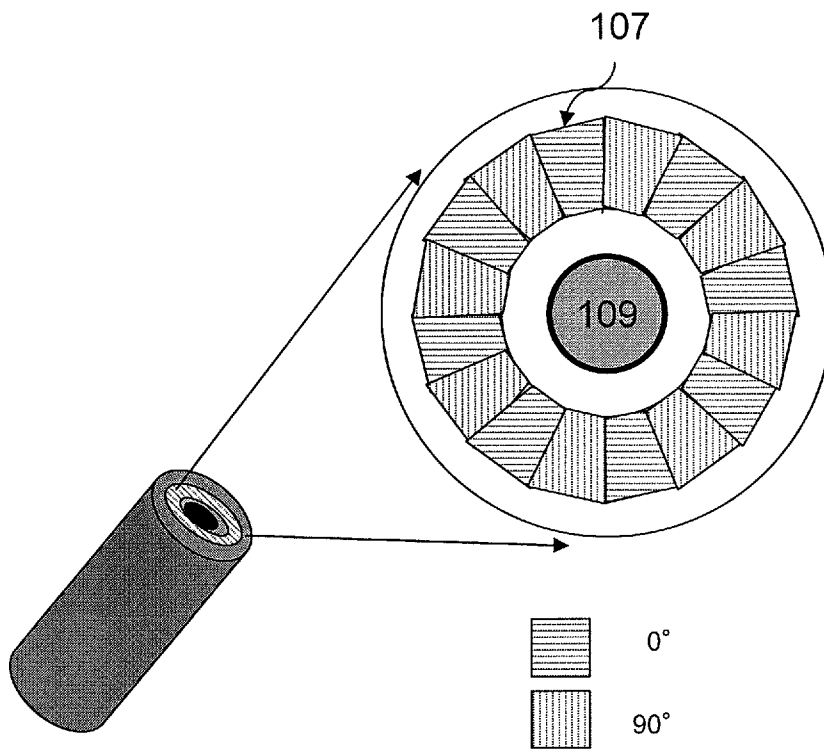
[図19]



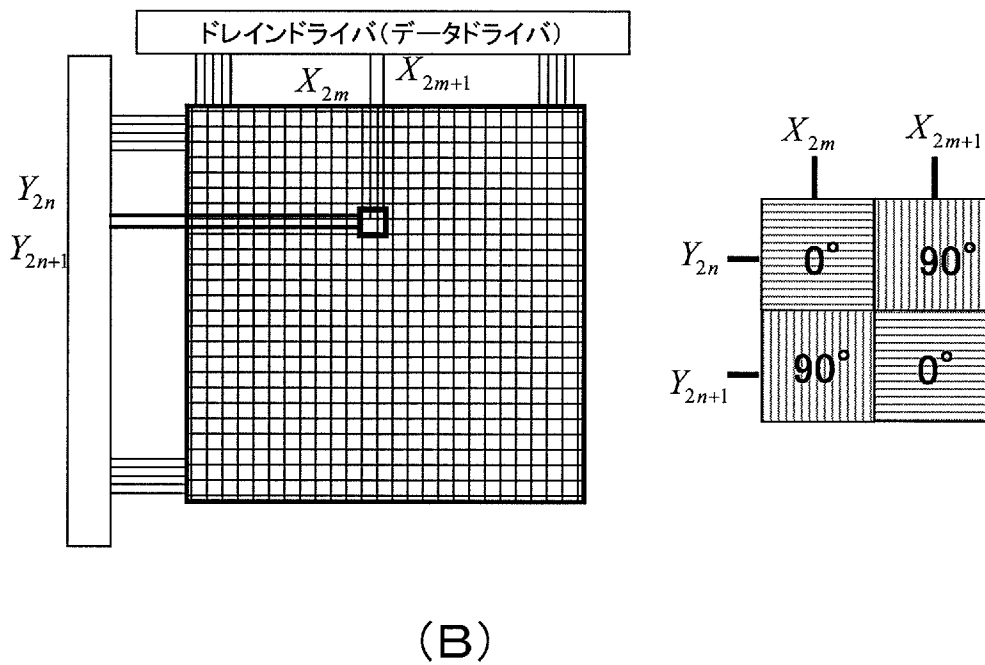
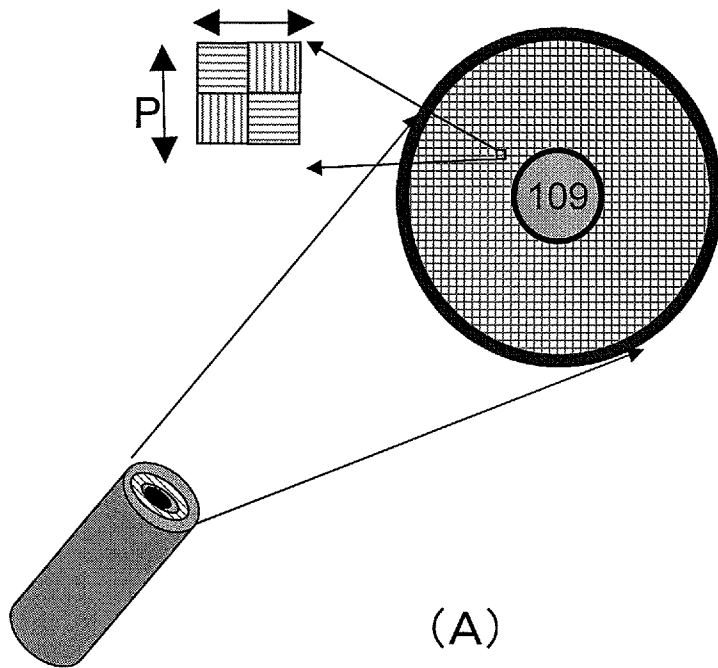
[図20]



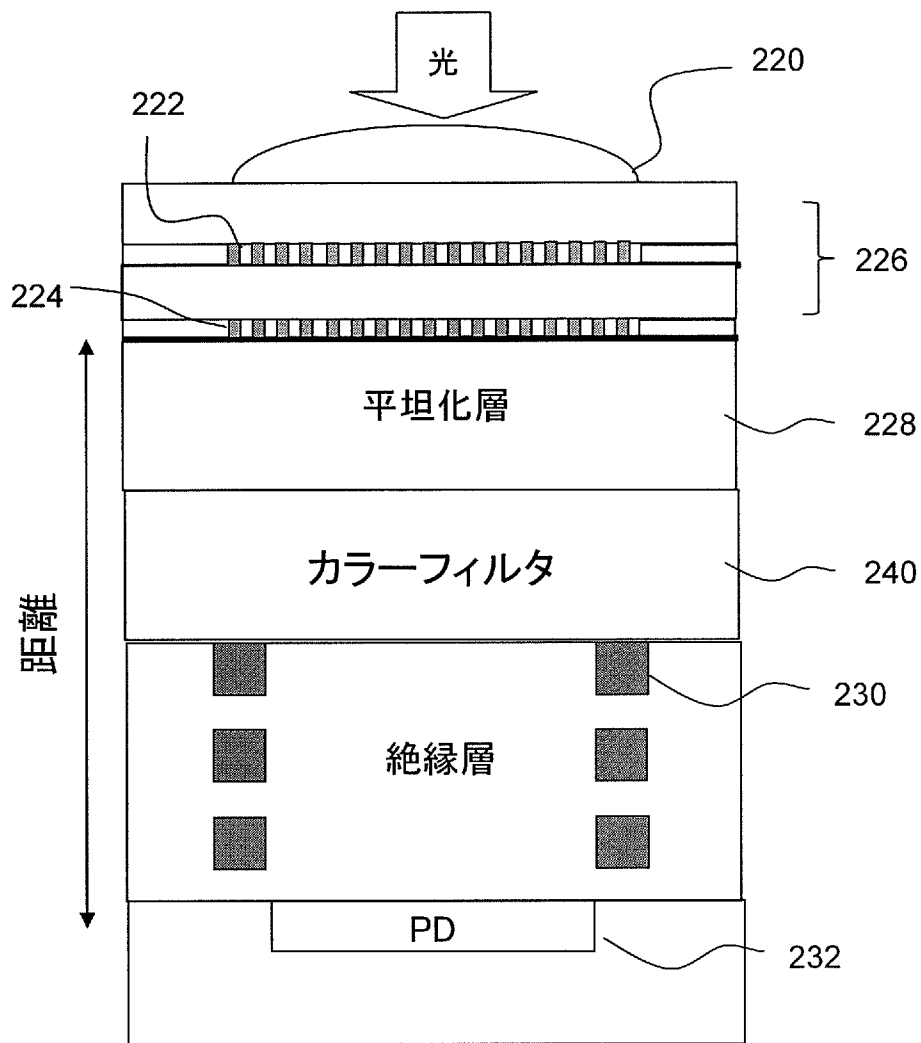
[図21]



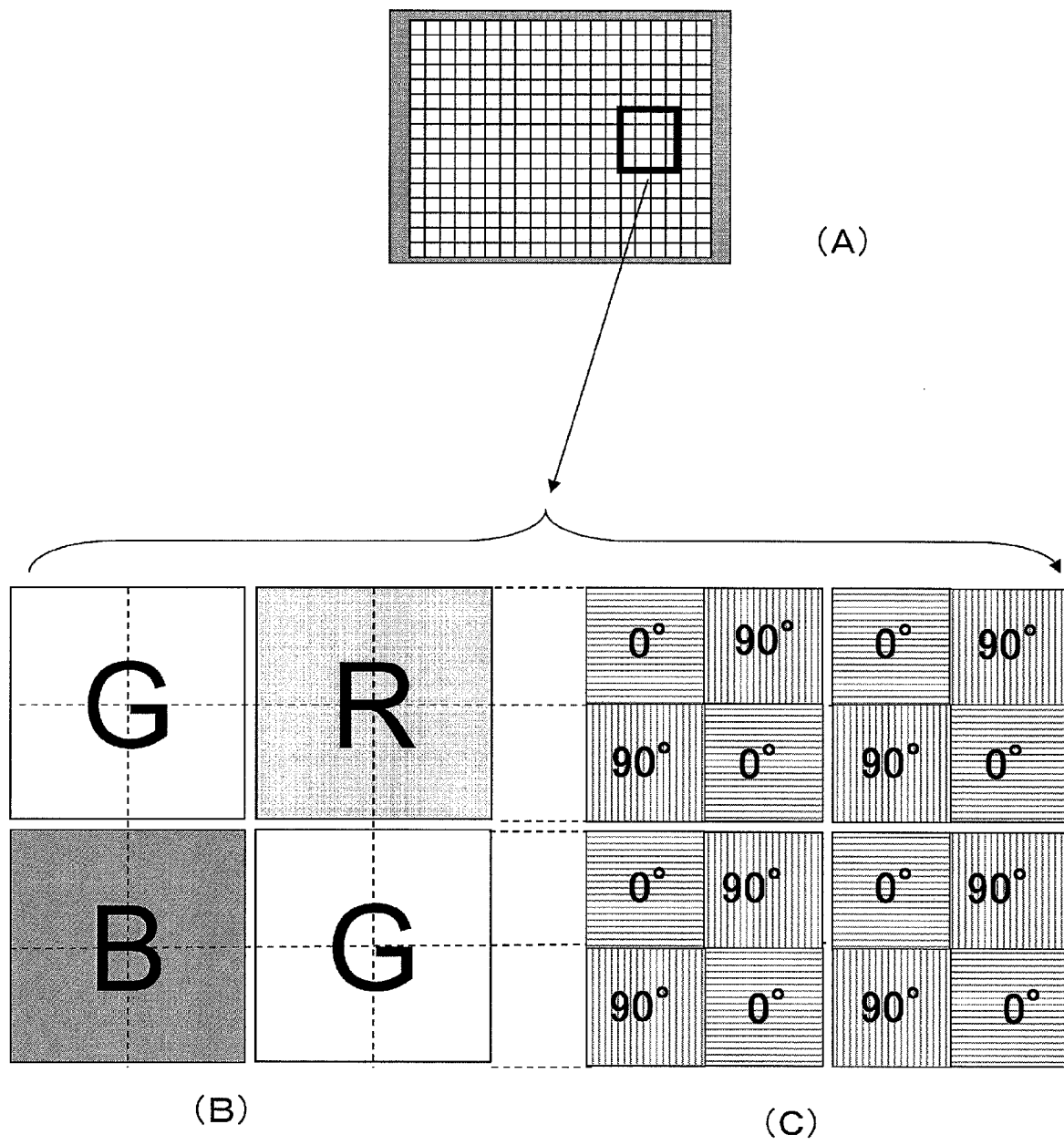
[図22]



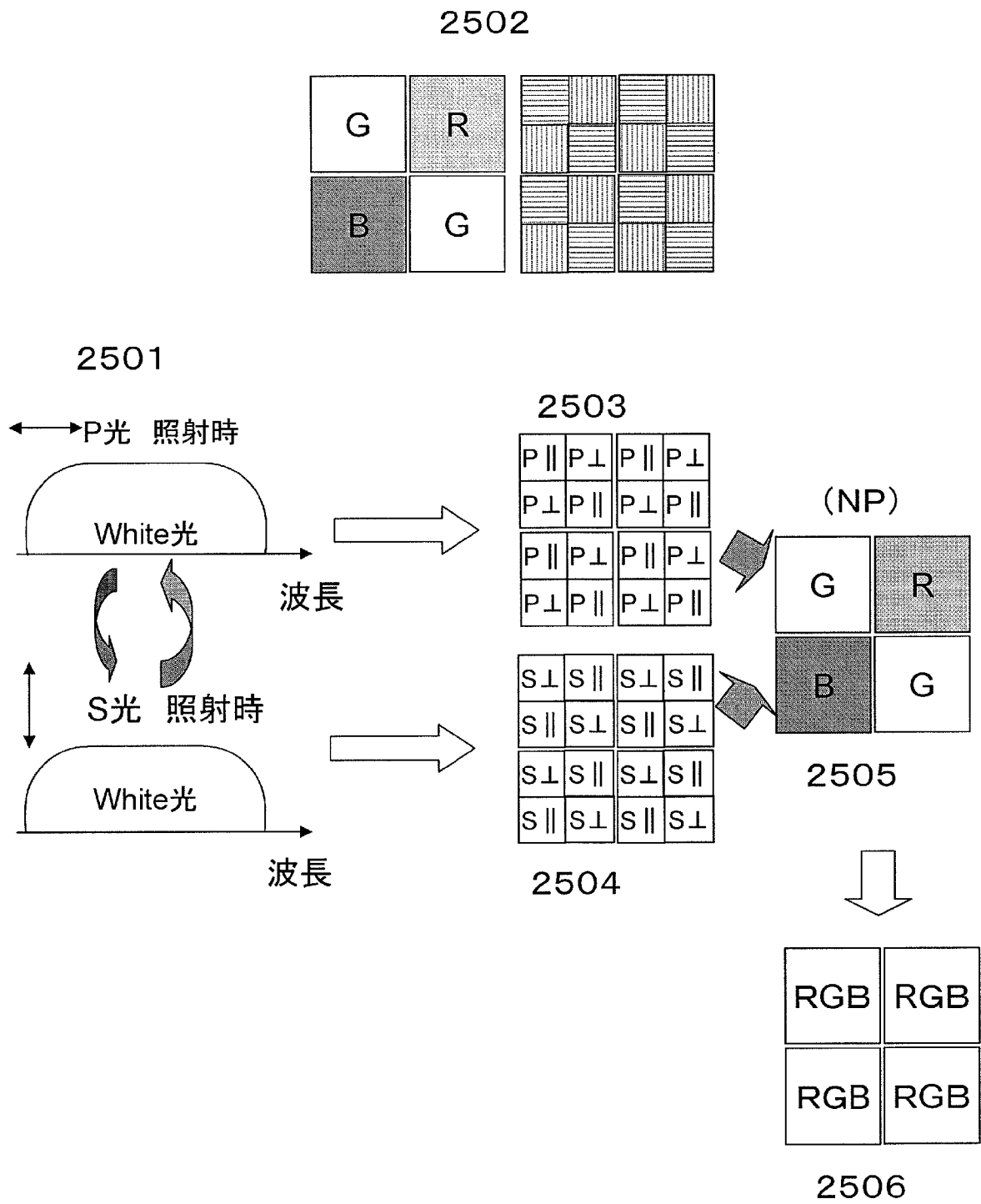
[図23]



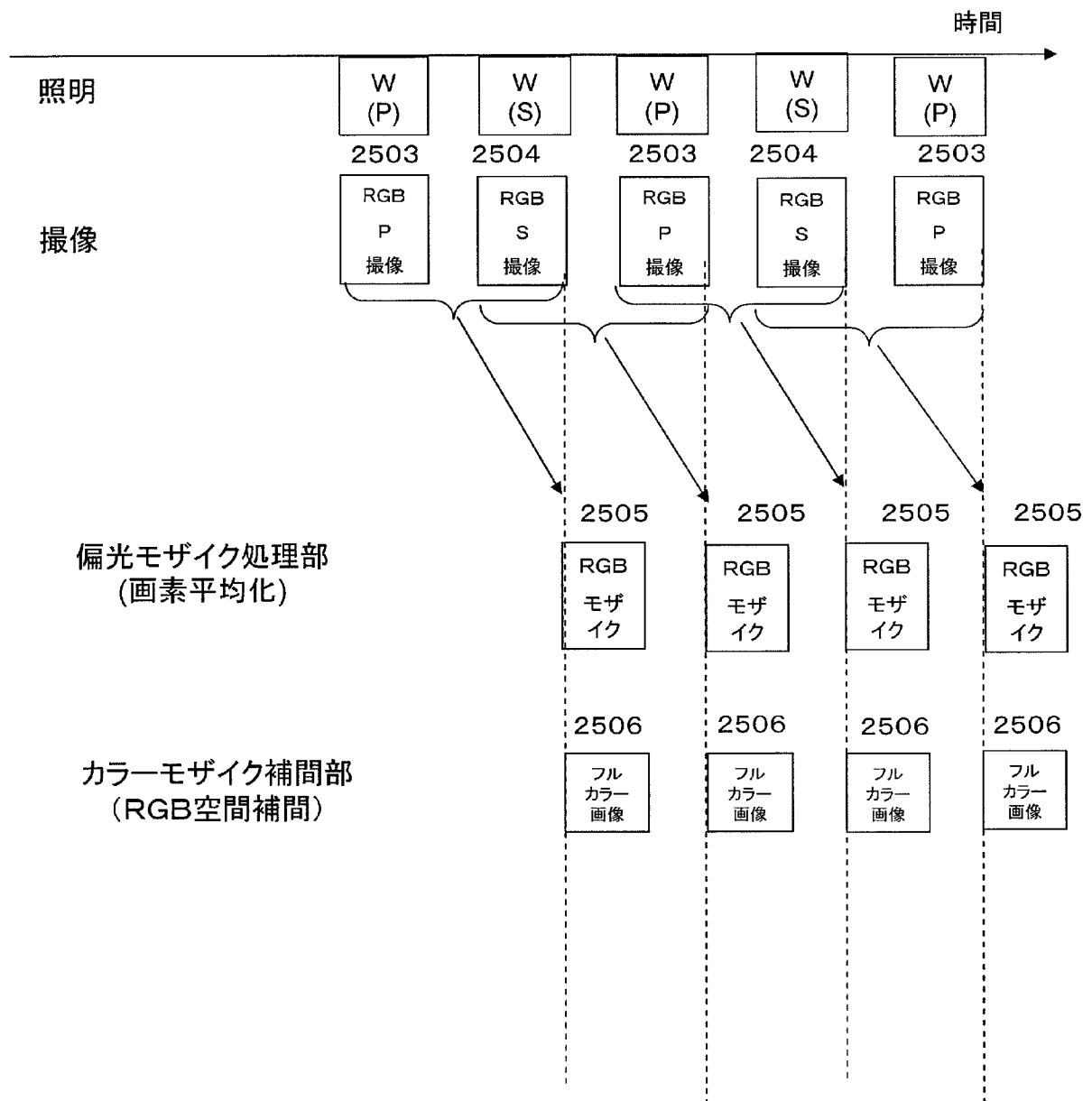
[図24]



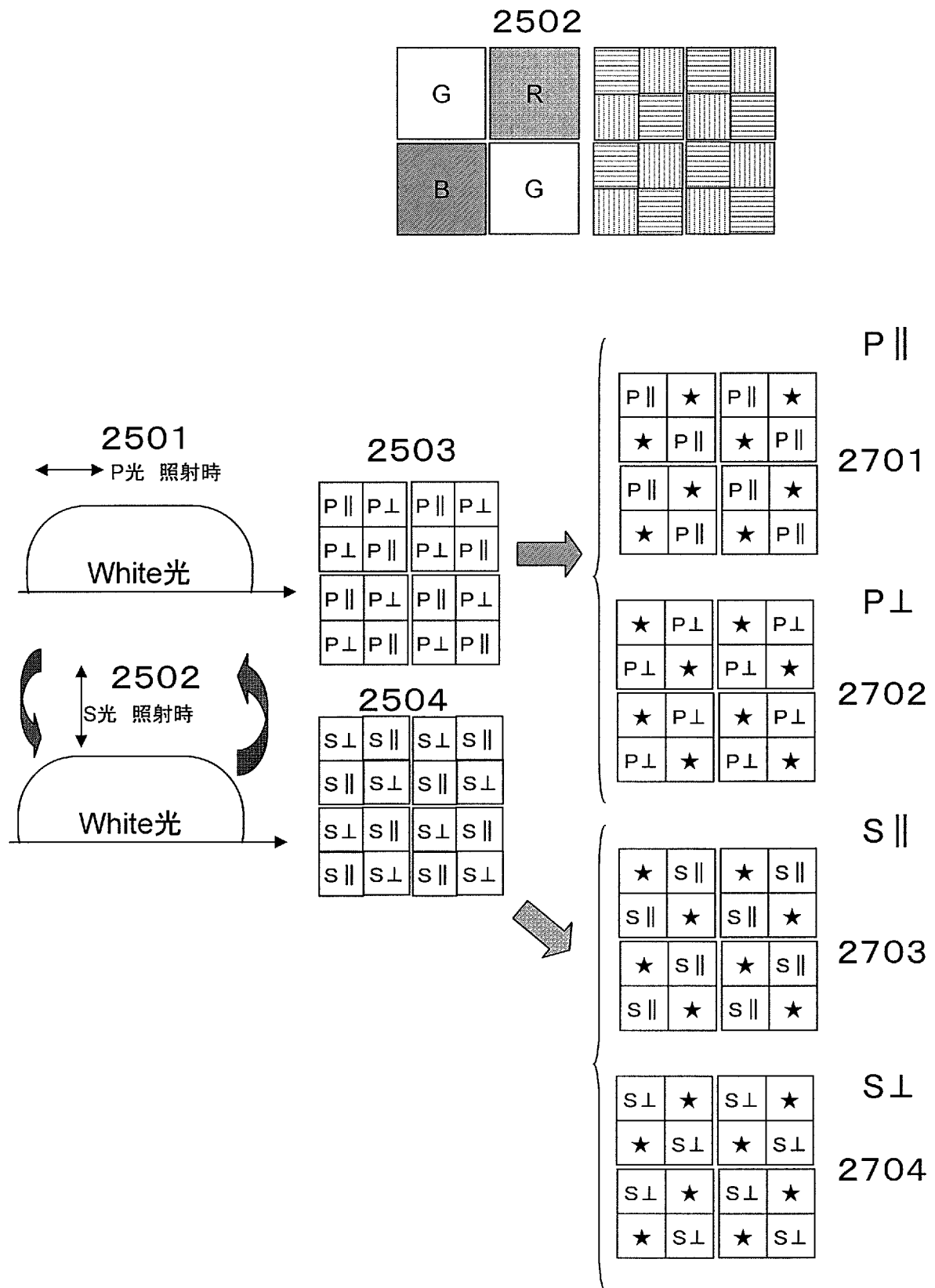
[図25]



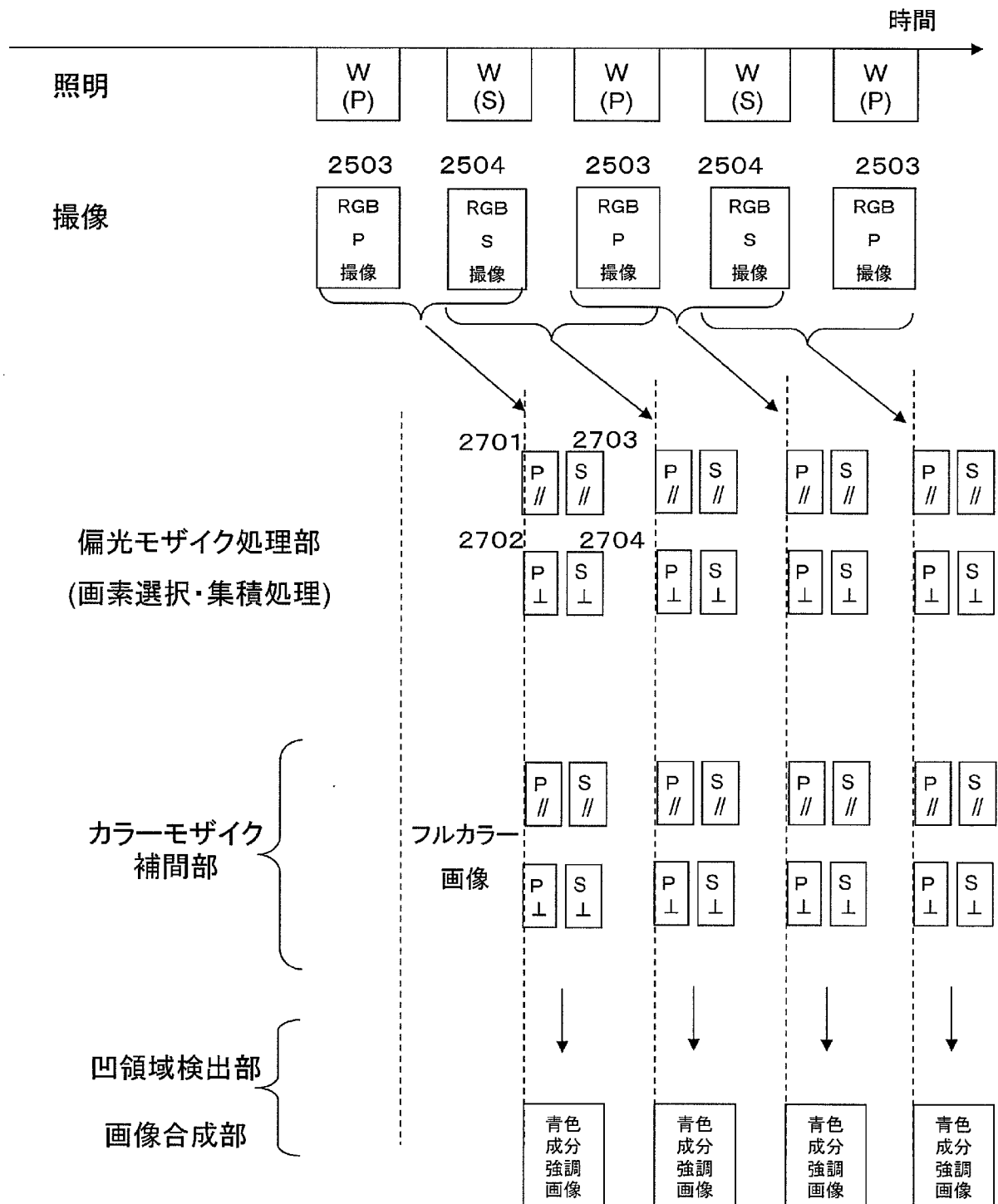
[図26]



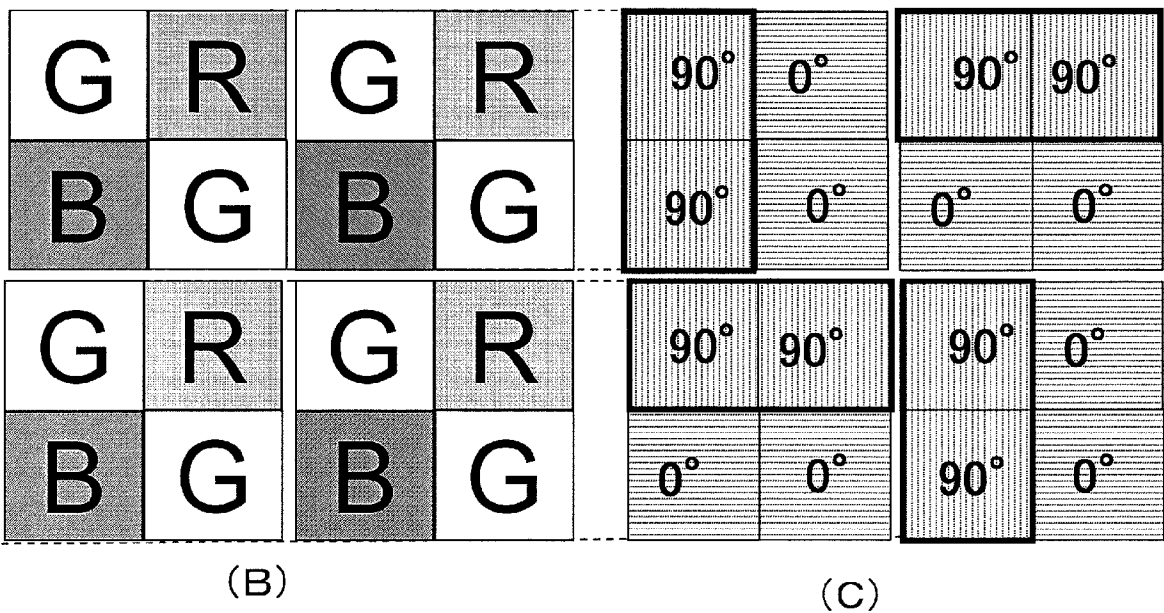
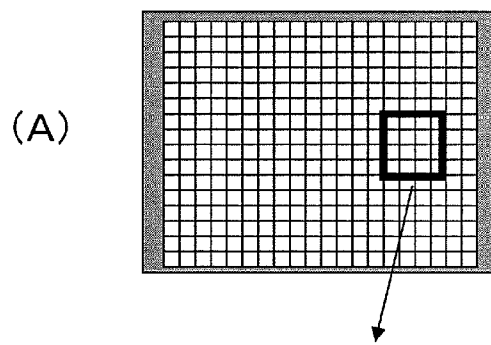
[図27]



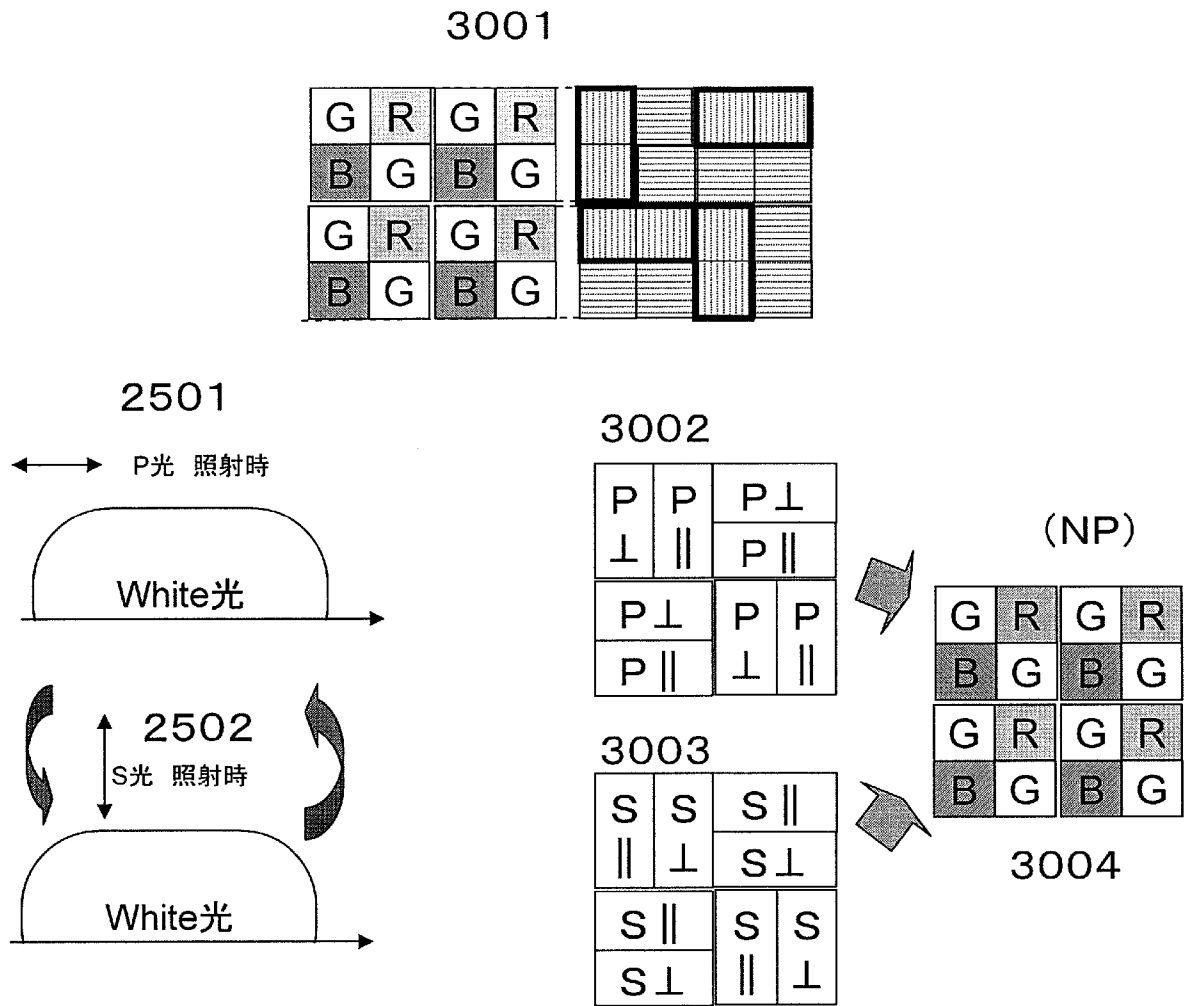
[図28]



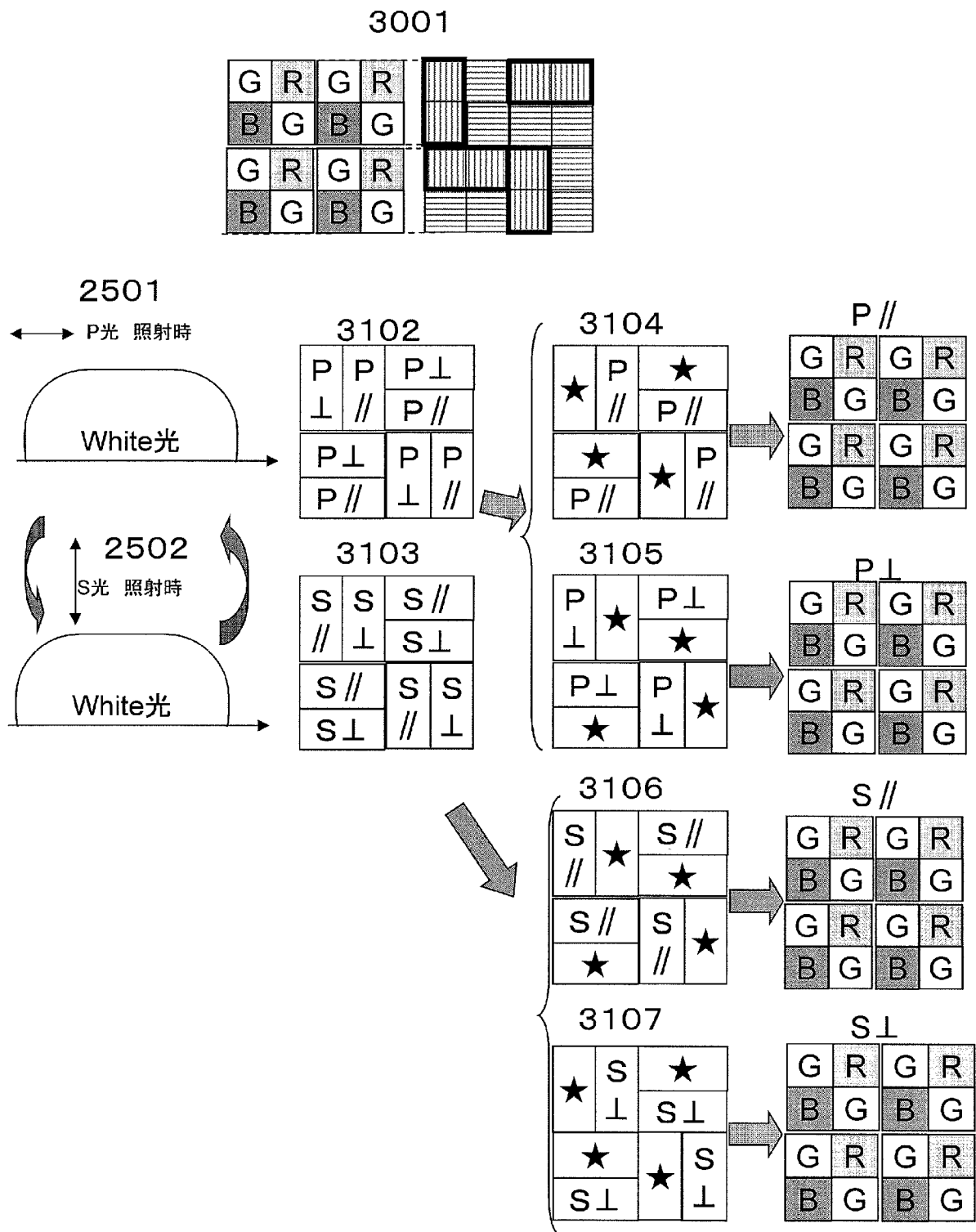
[図29]



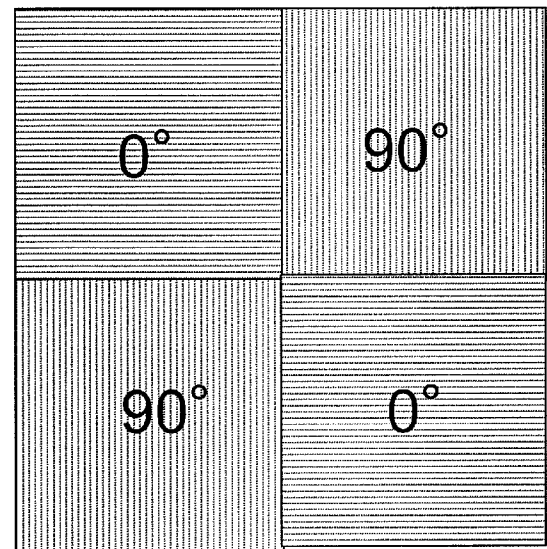
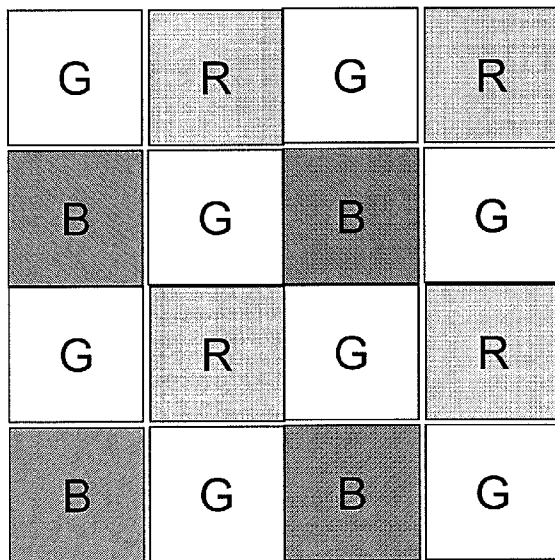
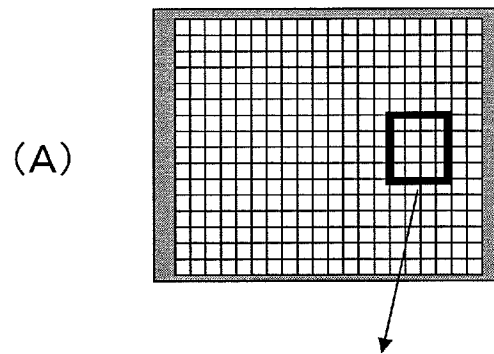
[図30]



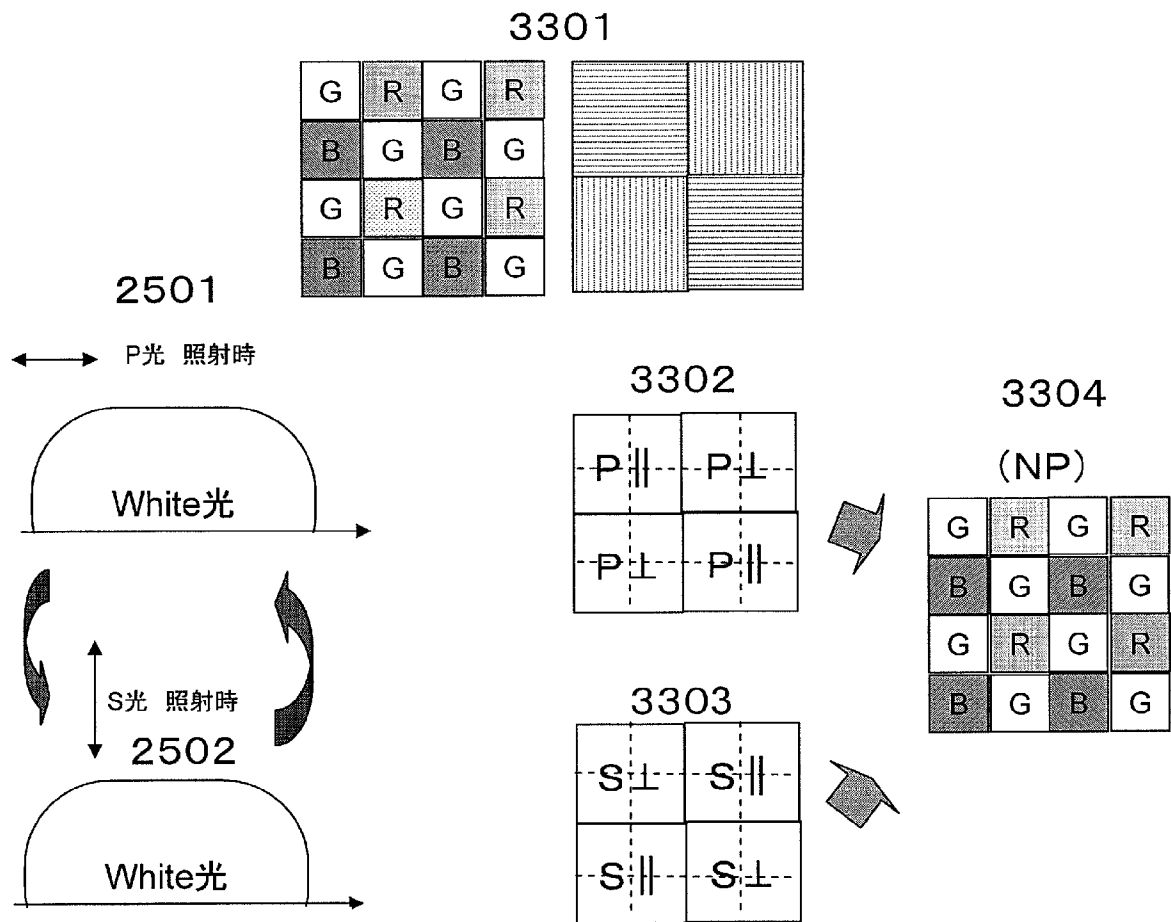
[図31]



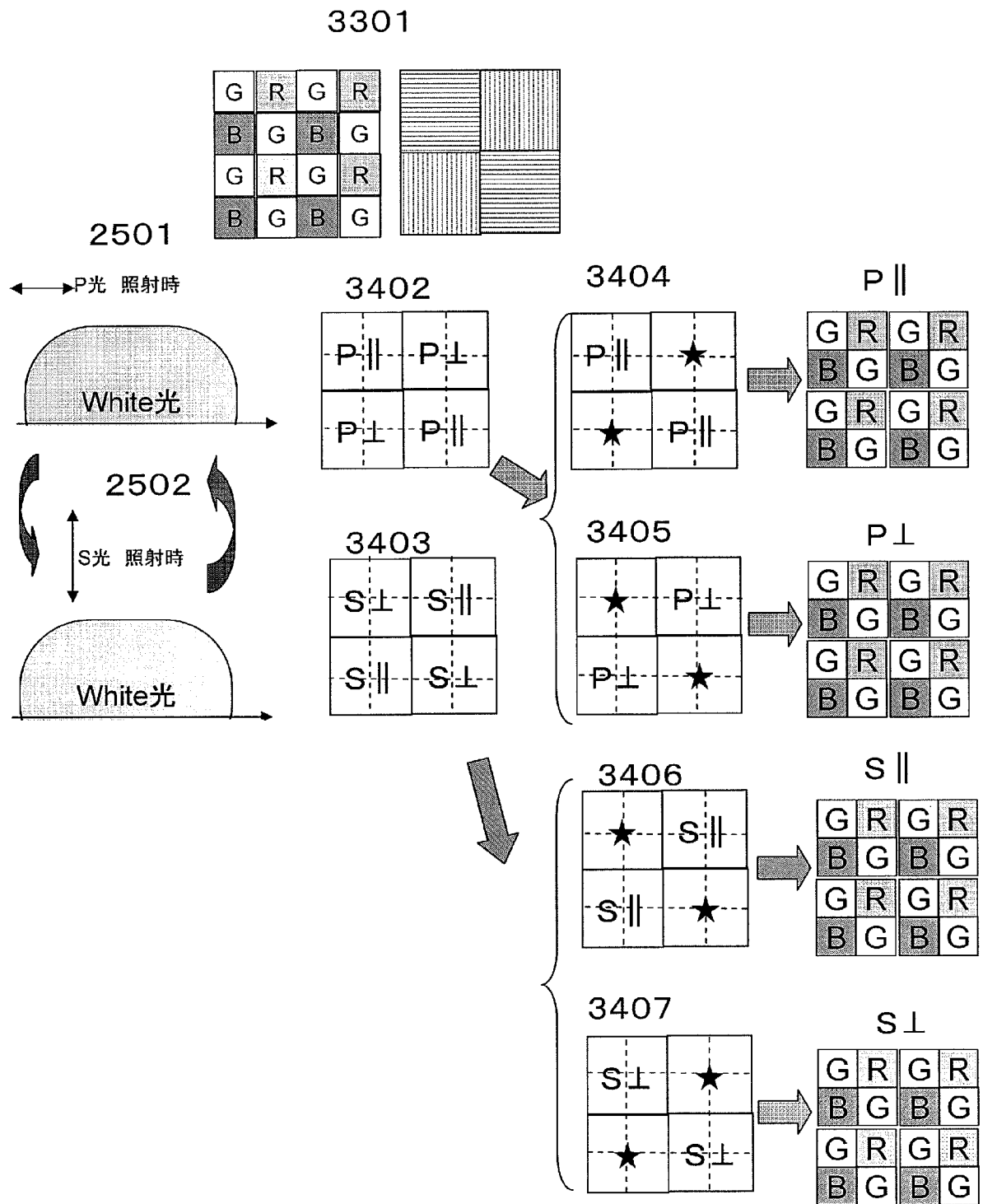
[図32]



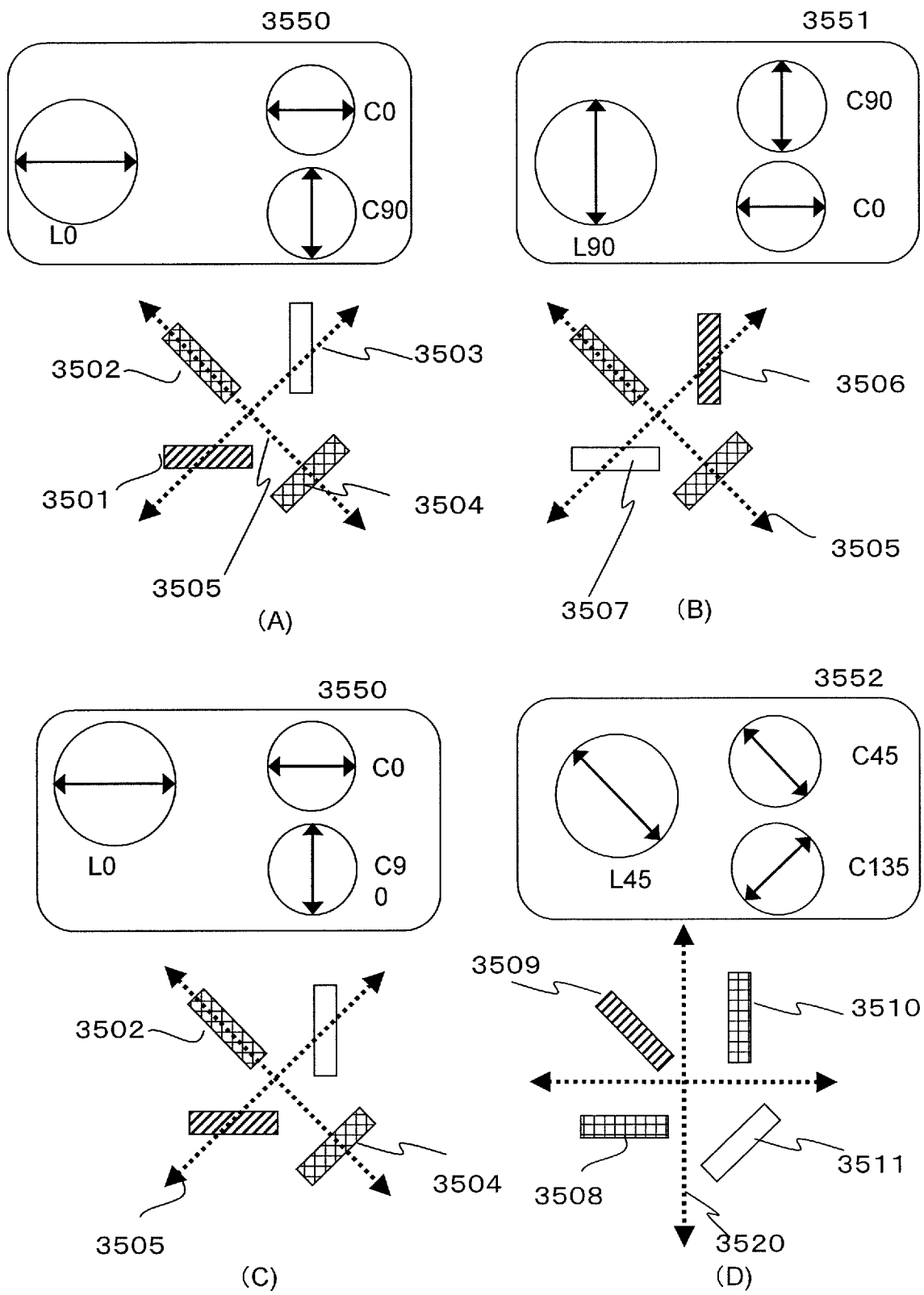
[図33]



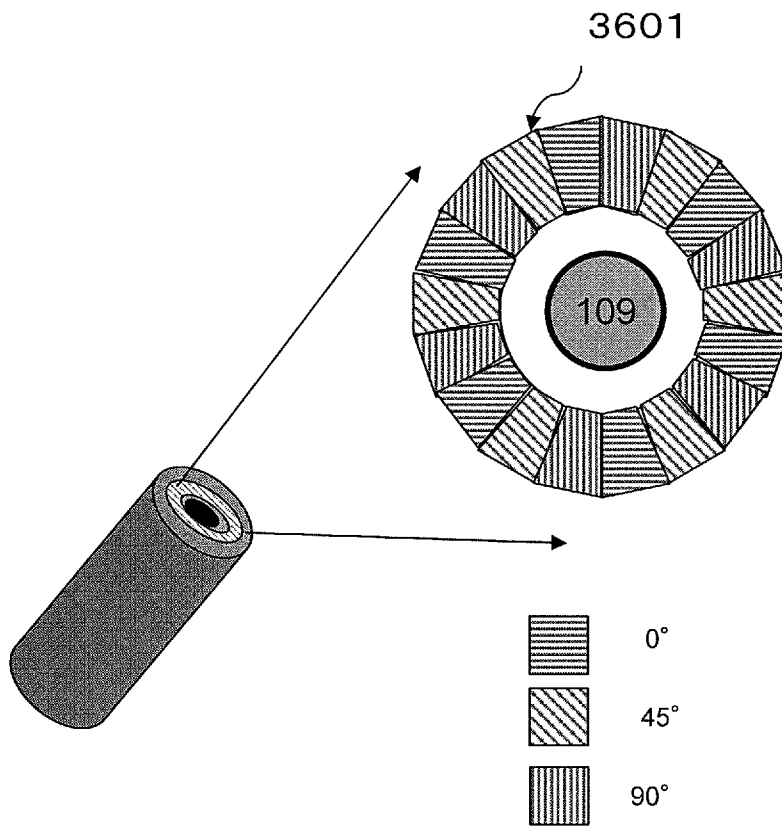
[図34]



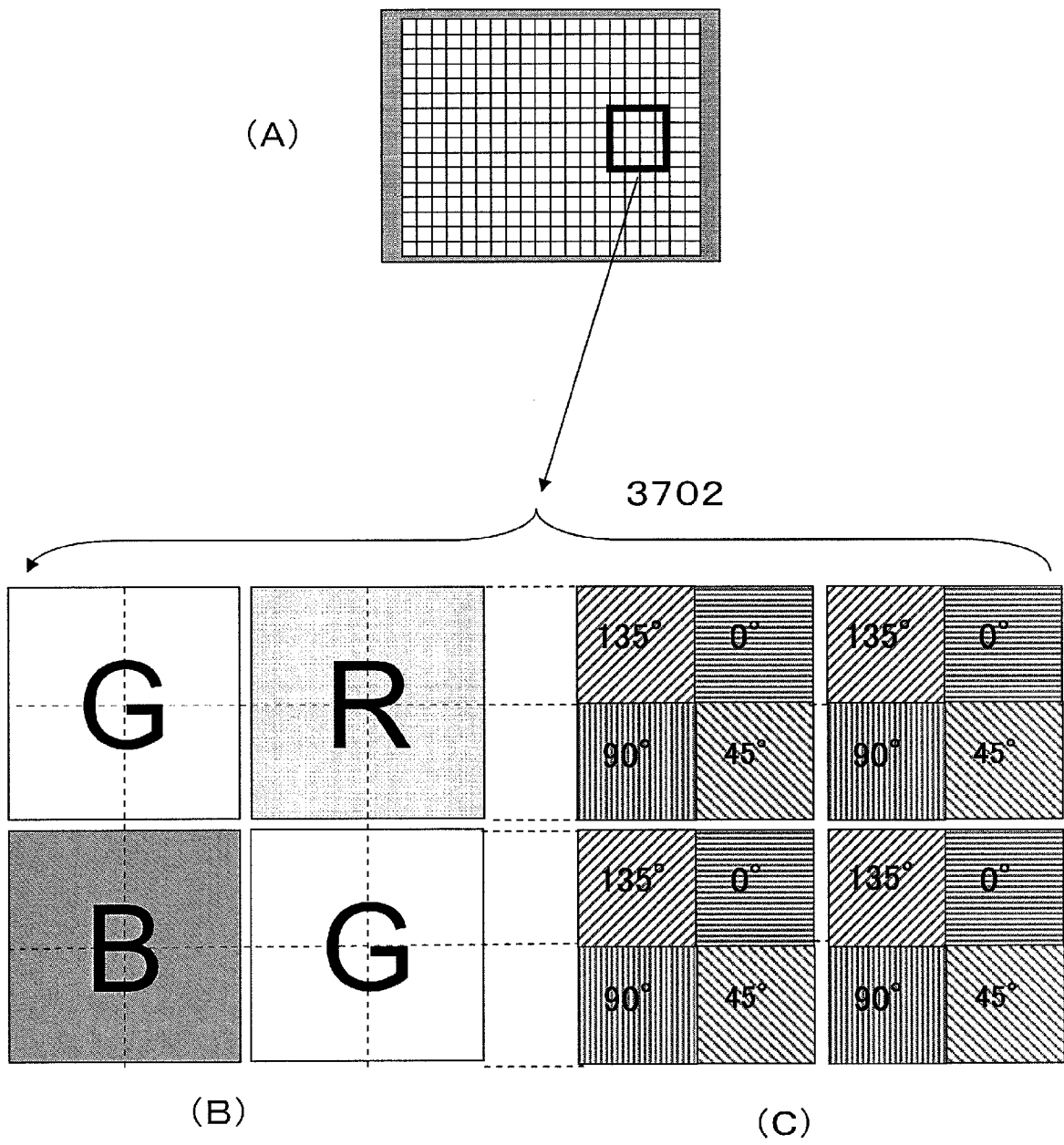
[図35]



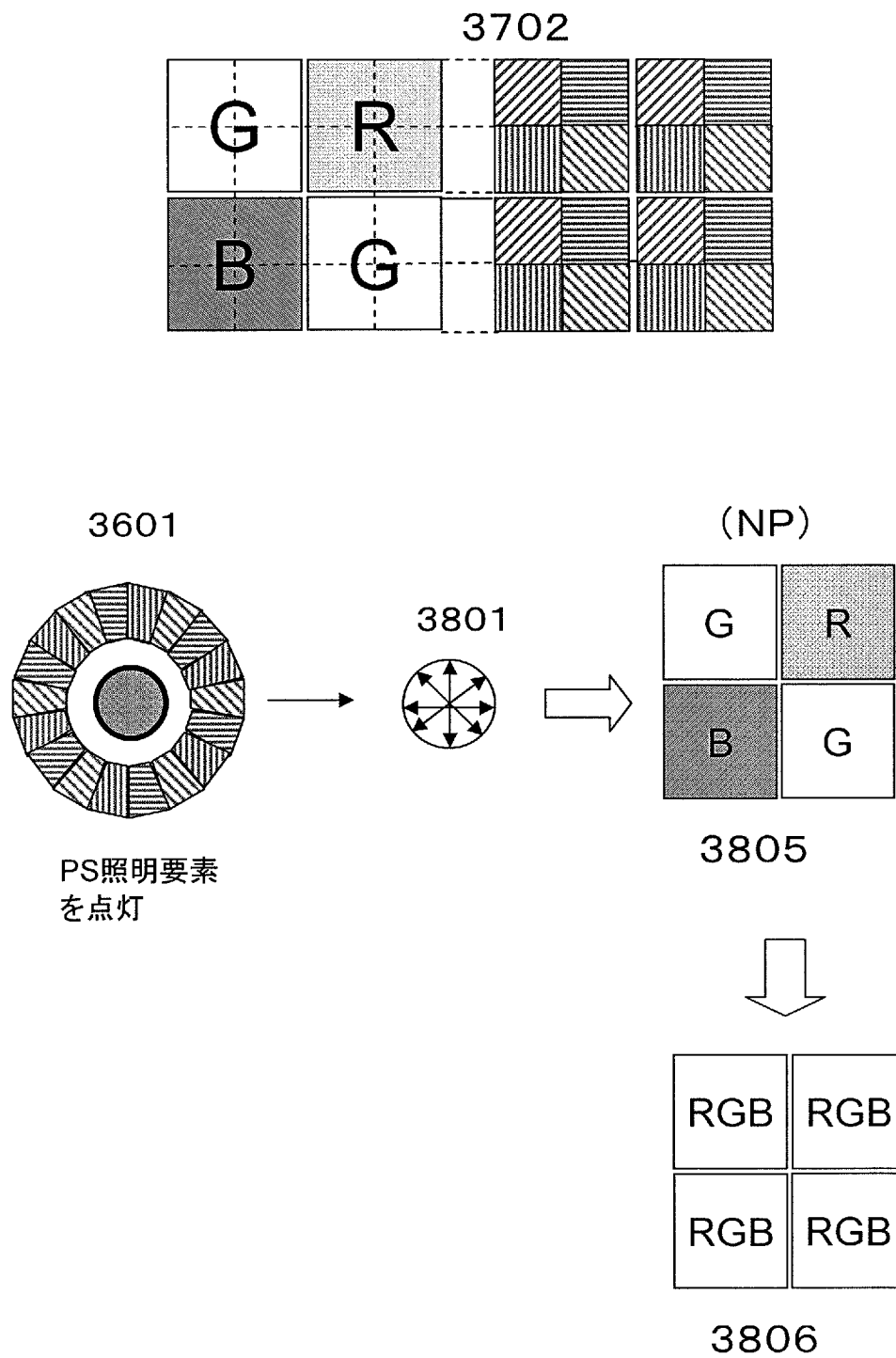
[図36]



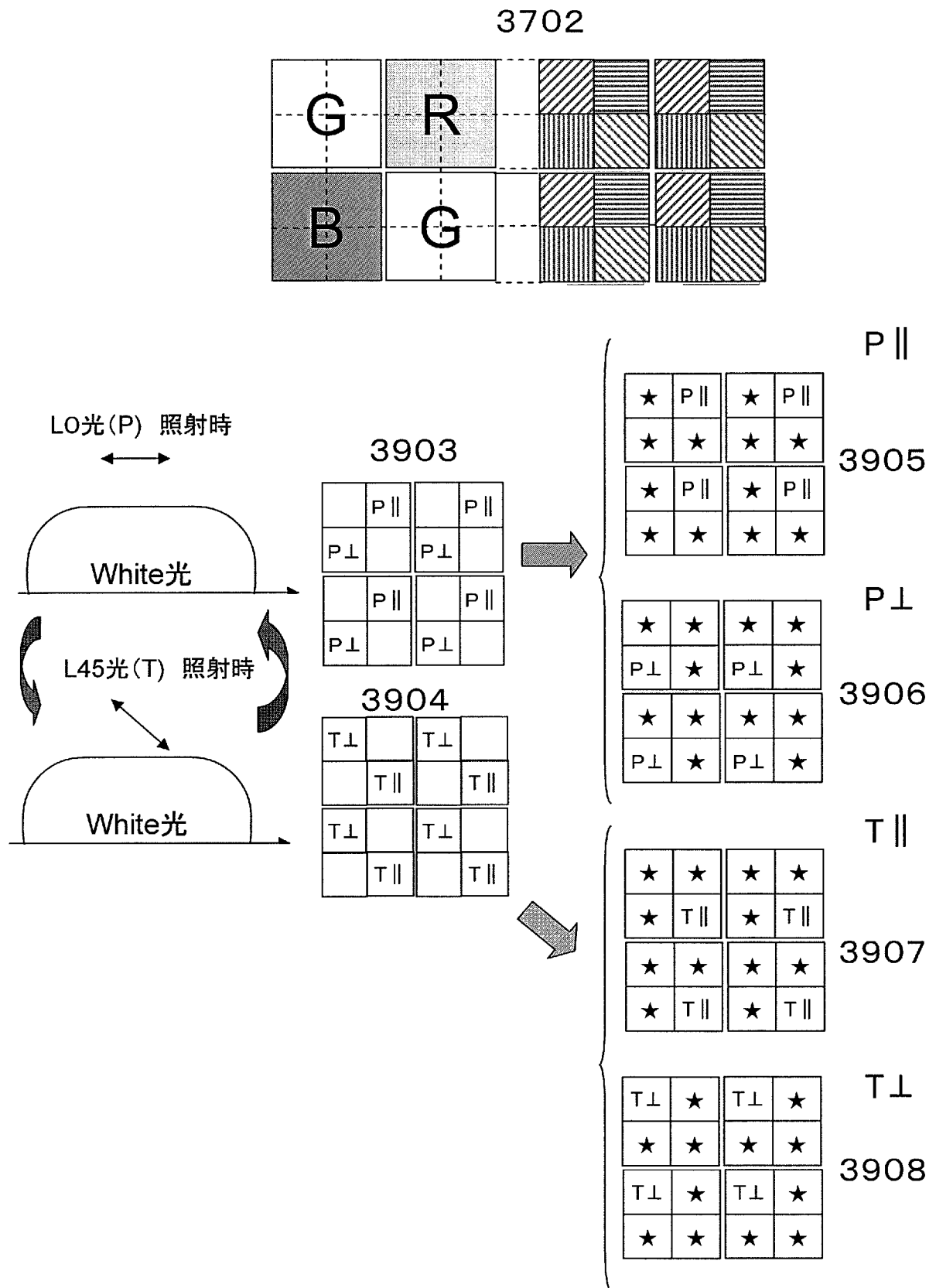
[図37]



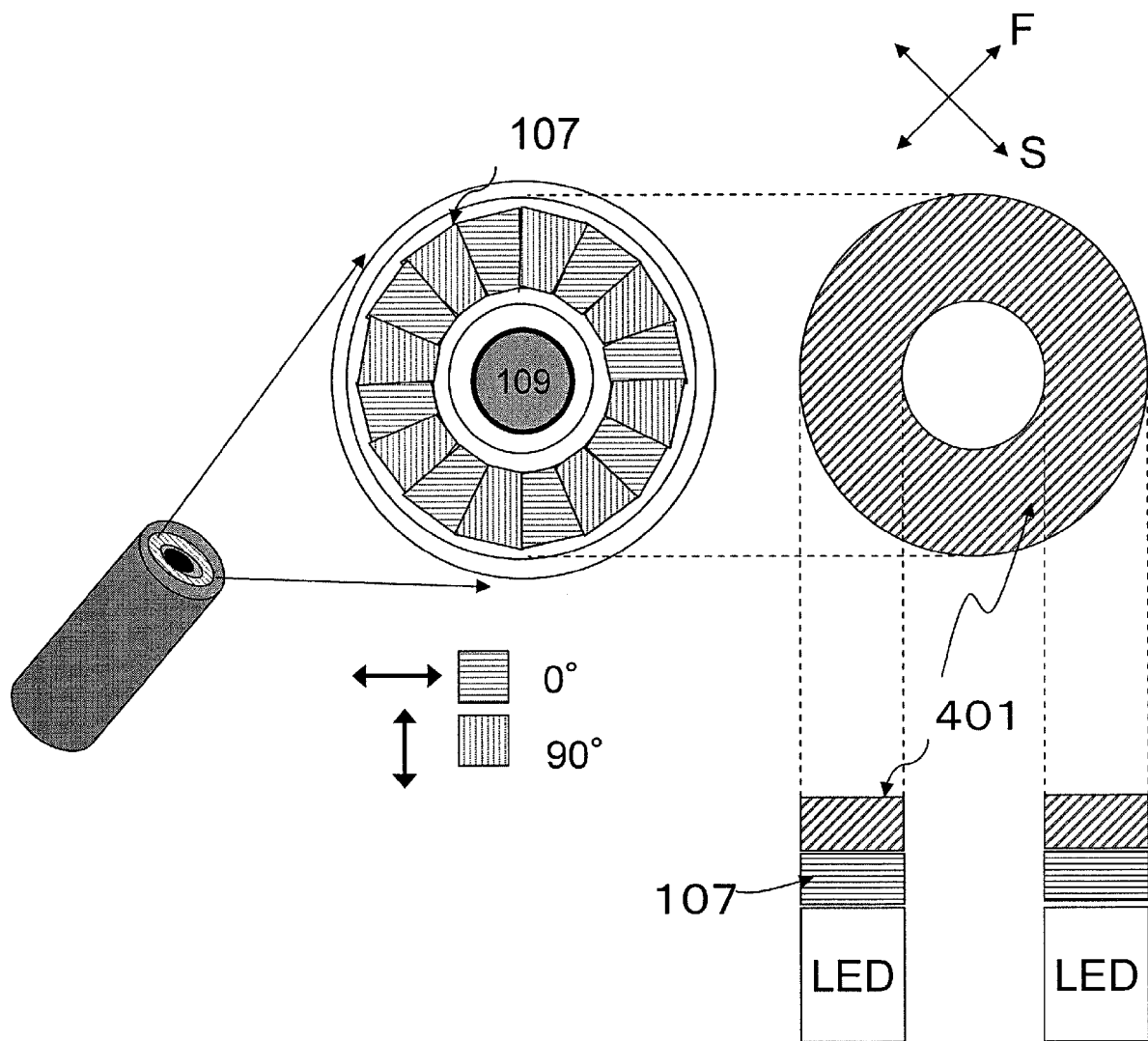
[図38]



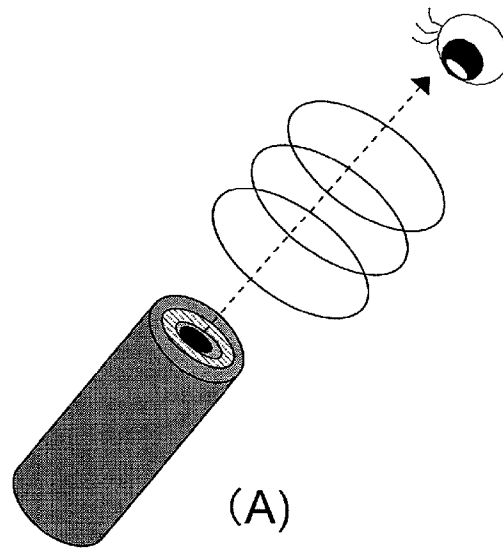
[図39]



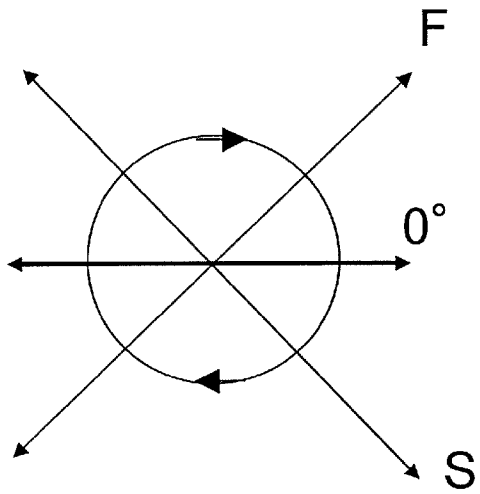
[図40]



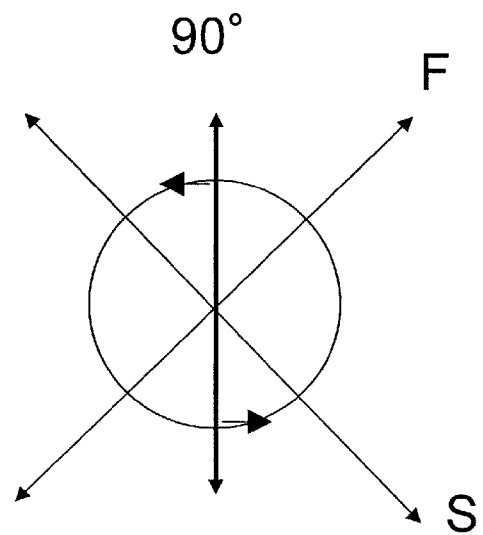
[図41]



(A)

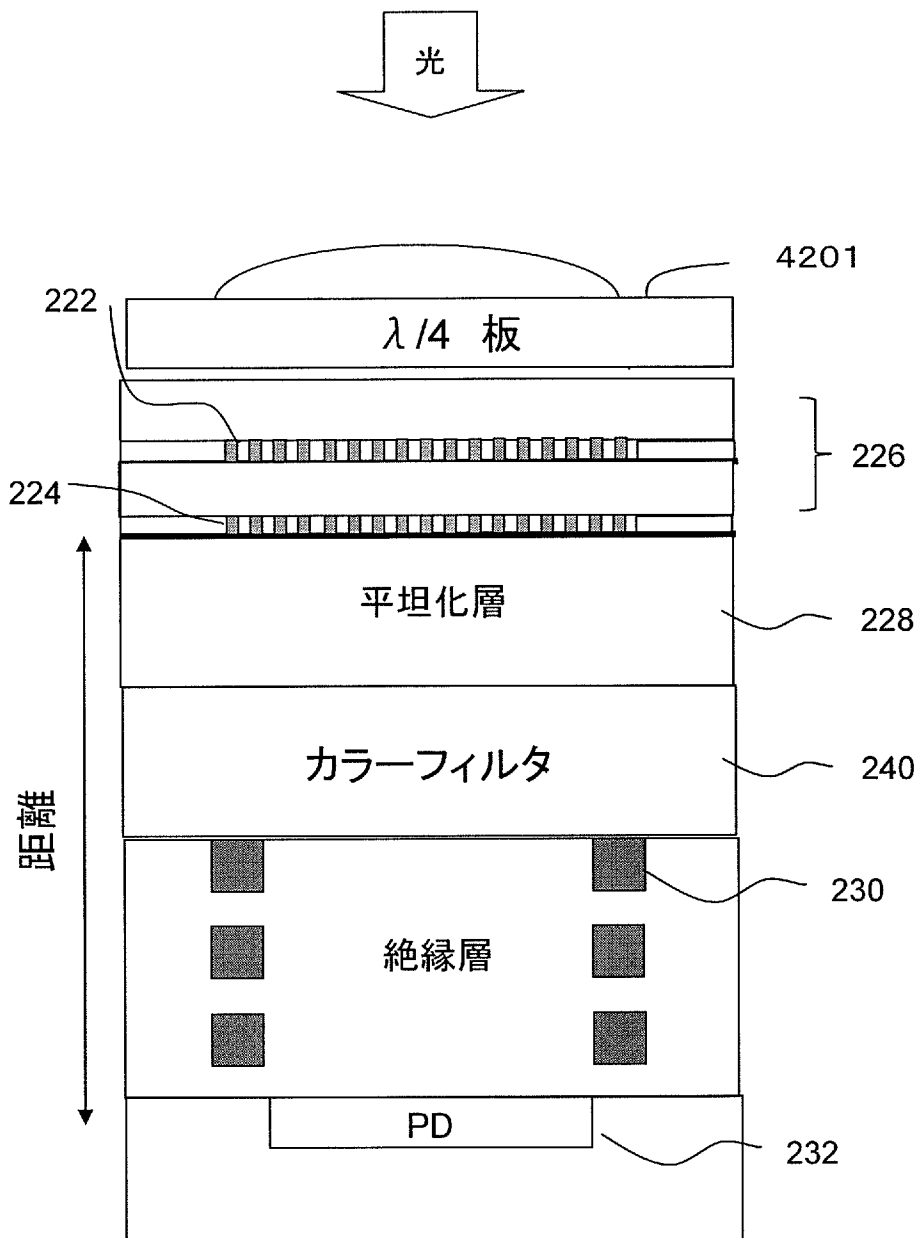


(B)

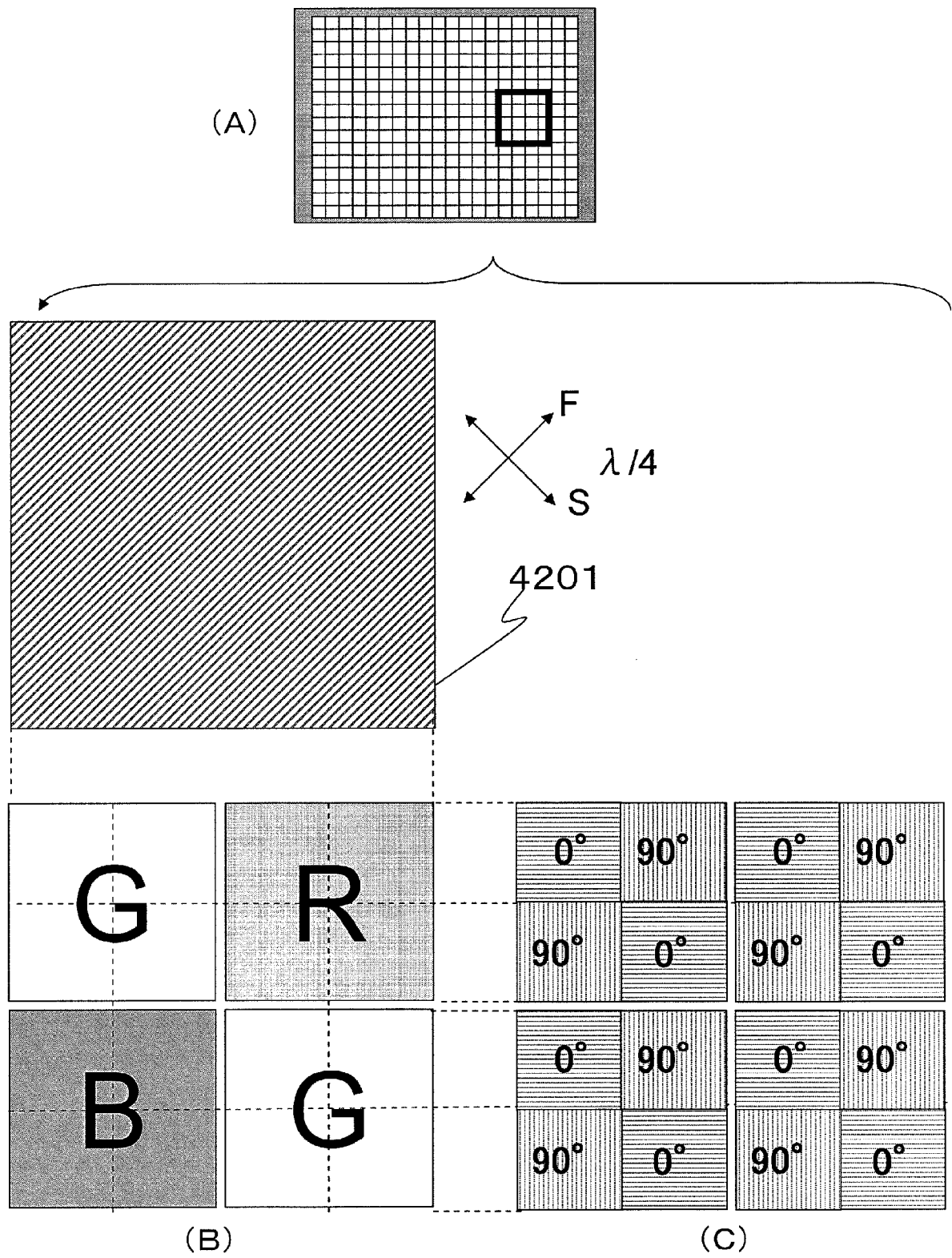


(C)

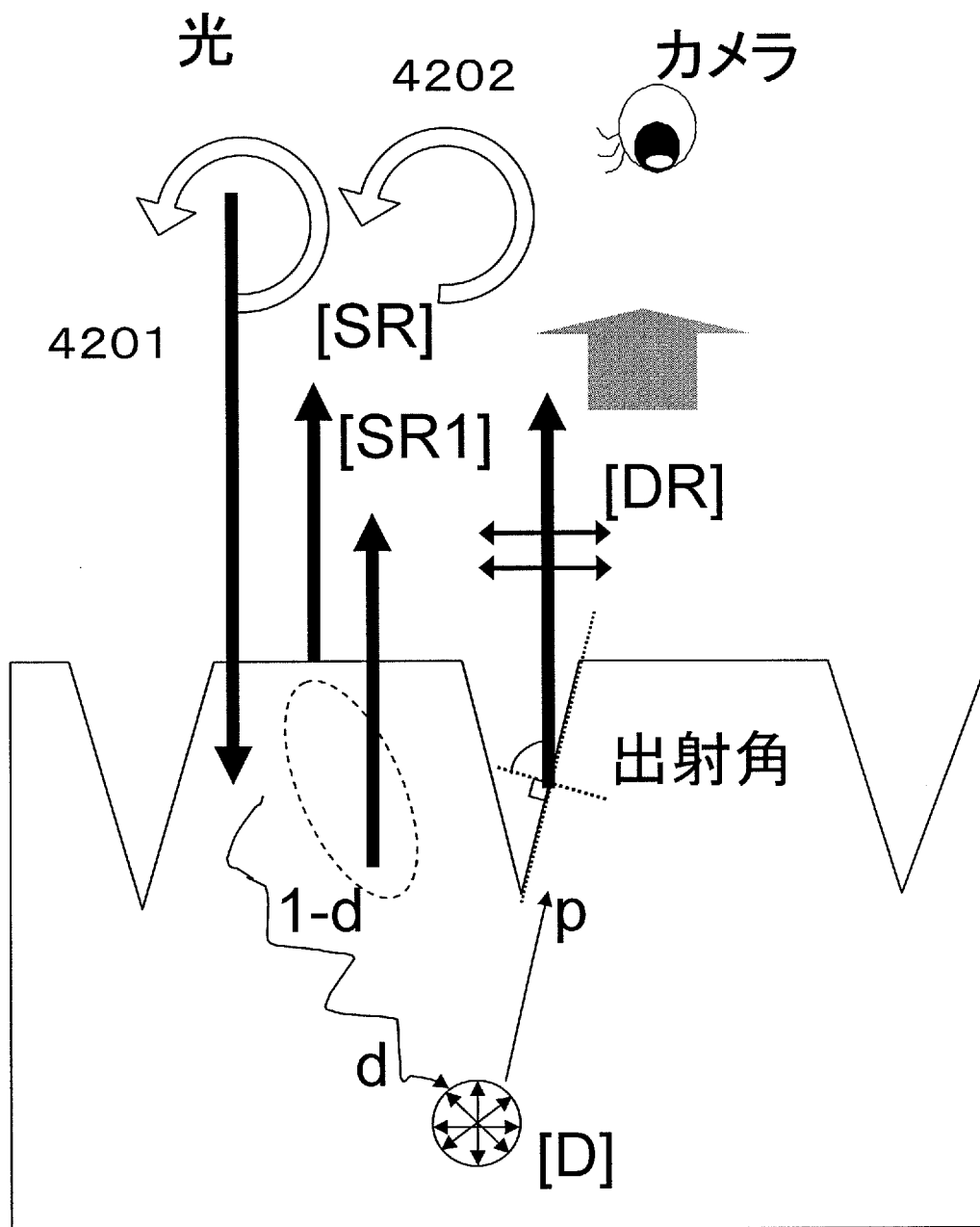
[図42]



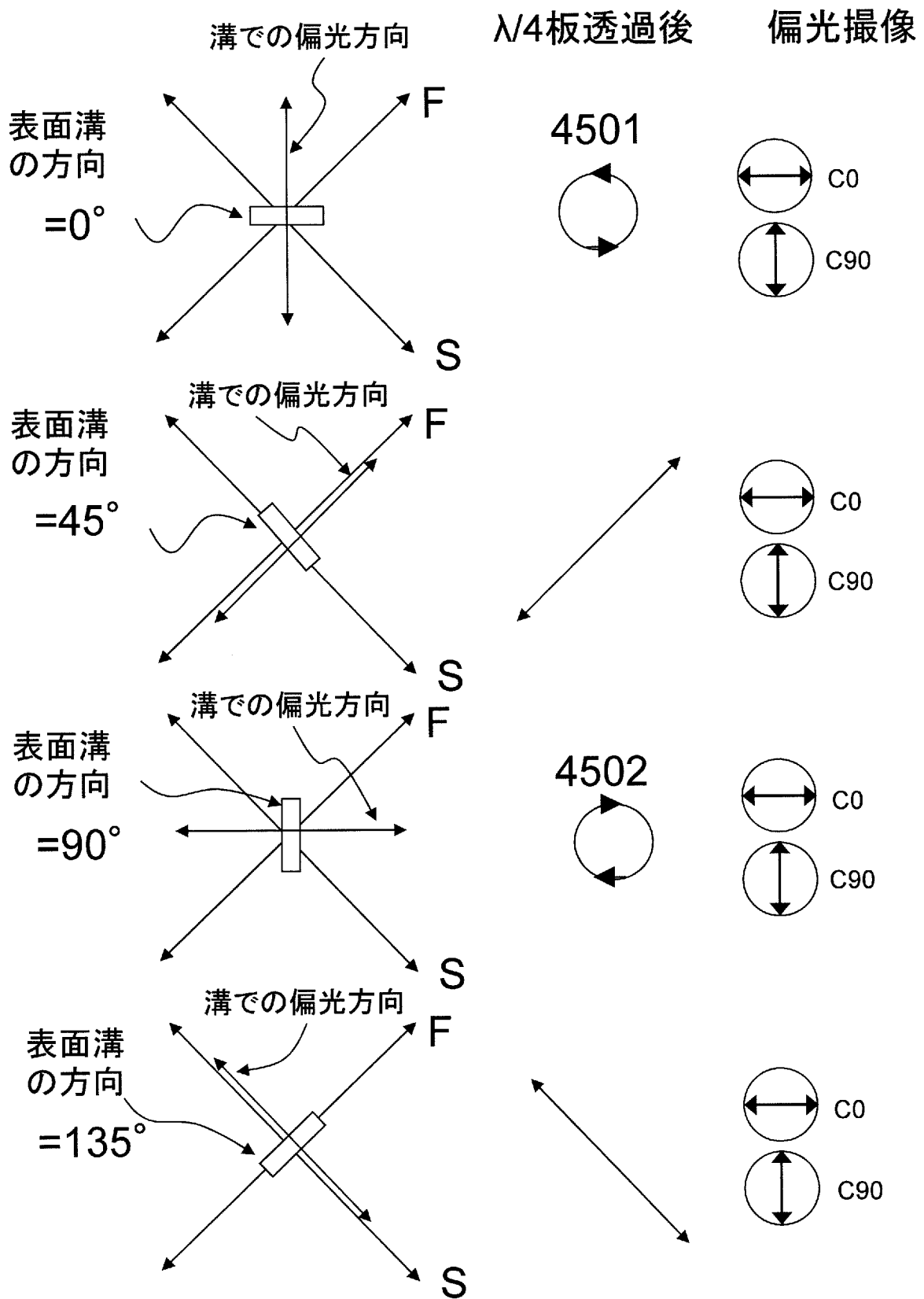
[図43]



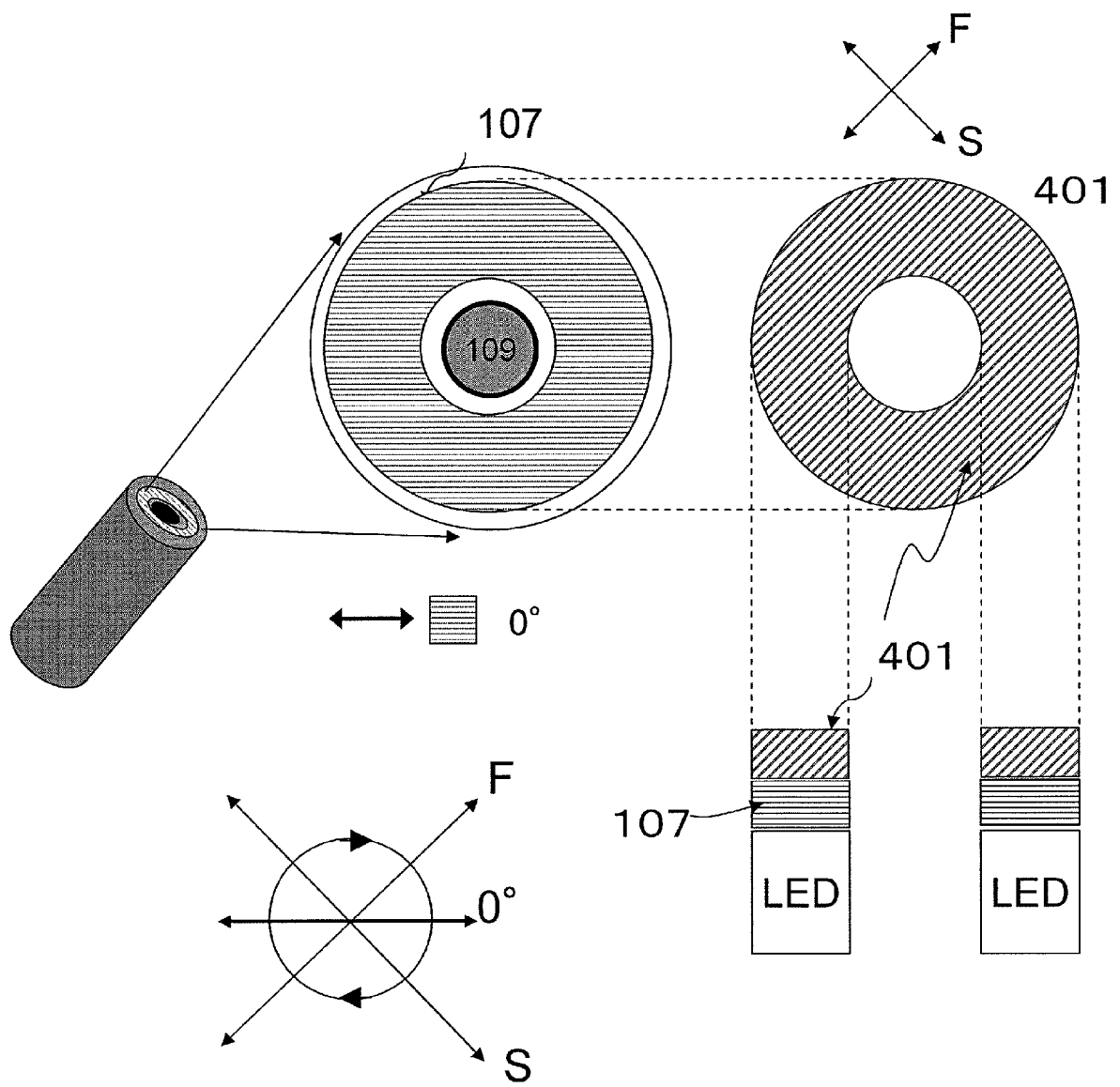
[図44]



[図45]



[図46]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2013/005614

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

A61B1/04(2006.01)i, A61B1/00(2006.01)i, A61B1/06(2006.01)i, G02B23/26(2006.01)i, H04N7/18(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

A61B1/00-1/32, G02B23/24-23/26, H04N7/18

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	1996-2013
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2013	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2013

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

JSTPlus/JMEDPlus/JST7580(JDreamIII), WPI

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2012-24140 A (Fujifilm Corp.), 09 February 2012 (09.02.2012), entire text; all drawings (Family: none)	1-15
A	WO 2012/133431 A1 (Olympus Medical Systems Corp.), 04 October 2012 (04.10.2012), entire text; all drawings & US 2013/0178706 A1	1-15
A	WO 2012/073414 A1 (Panasonic Corp.), 07 June 2012 (07.06.2012), entire text; all drawings & JP 5238098 B & US 2012/0307028 A1 & CN 103037751 A	1-15

☒ 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
13 December, 2013 (13.12.13)

Date of mailing of the international search report
24 December, 2013 (24.12.13)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2013/005614

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2009-246770 A (Fujifilm Corp.), 22 October 2009 (22.10.2009), entire text; all drawings (Family: none)	1-15
A	Katsuhiro KANAMORI, "Surface inter-reflection imaging endoscope using polarized light with conventional camera", SSII2011 17th Symposium on Sensing via Image Information [CD-ROM], 2011.06, ISI-01-1 to ISI-01-8	1-15

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. A61B1/04(2006.01)i, A61B1/00(2006.01)i, A61B1/06(2006.01)i, G02B23/26(2006.01)i, H04N7/18(2006.01)i

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. A61B 1/00 - 1/32,
G02B23/24 - 23/26,
H04N 7/18

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 3 年
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 - 2 0 1 3 年
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 - 2 0 1 3 年

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

JSTPlus/JMEDPlus/JST7580(JDreamIII)
WPI

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 2012-24140 A（富士フイルム株式会社）2012.02.09, 全文全図（ファミリーなし）	1-15
A	WO 2012/133431 A1（オリンパスメディカルシステムズ株式会社） 2012.10.04, 全文全図 & US 2013/0178706 A1	1-15
A	WO 2012/073414 A1（パナソニック株式会社）2012.06.07, 全文全図 & JP 5238098 B & US 2012/0307028 A1 & CN 103037751 A	1-15

☒ C 欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

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

の日の後に公表された文献

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

国際調査を完了した日

1 3 . 1 2 . 2 0 1 3

国際調査報告の発送日

2 4 . 1 2 . 2 0 1 3

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）

渡▲辺▼ 純也

2 Q

3 6 0 6

電話番号 0 3 - 3 5 8 1 - 1 1 0 1 内線 3 2 9 2

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
A	JP 2009-246770 A (富士フイルム株式会社) 2009.10.22, 全文全図 (ファミリーなし)	1-15
A	金森 克洋 Katsuhiko KANAMORI, 偏光照明と輝度カメラを用いた内視鏡向け表面凹凸イメージング Surface inter-reflection imaging endoscope using polarized light with conventional camera, S S I I 2 0 1 1 第17回 画像センシングシンポジウム講演論文集 [C D - R O M] 17th Symposium on Sensing via Image Information, 2011.06, ISI-01-1~ISI-01-8	1-15