

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6677696号
(P6677696)

(45) 発行日 令和2年4月8日(2020.4.8)

(24) 登録日 令和2年3月17日(2020.3.17)

(51) Int.Cl.

F 1

H04N	5/369	(2011.01)	H04N	5/369
G03H	1/08	(2006.01)	G03H	1/08
G02B	5/20	(2006.01)	G02B	5/20
H04N	5/225	(2006.01)	H04N	5/225
H04N	9/07	(2006.01)	H04N	5/225

請求項の数 11 (全 20 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号

特願2017-214953 (P2017-214953)

(22) 出願日

平成29年11月7日(2017.11.7)

(65) 公開番号

特開2019-33467 (P2019-33467A)

(43) 公開日

平成31年2月28日(2019.2.28)

審査請求日

平成29年11月7日(2017.11.7)

(31) 優先権主張番号

15/669,548

(32) 優先日

平成29年8月4日(2017.8.4)

(33) 優先権主張国・地域又は機関

米国(US)

前置審査

(73) 特許権者

采▲ぎょく▼科技股份▲ふん▼有限公司
Vi sEra Technologies
Company Limited
台灣新竹市科學園區篤行一路12號No. 12, Dusing Rd. 1,
Hsinchu Science Park,
Taiwan,

110000486

とこしえ特許業務法人

林 國峰

台灣高雄市鼓山區大順一路432巷46號

謝 錦全

台灣新竹市科學園區篤行一路12號

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】位相シフトのホログラムを用いたレンズフリーアイメジングセンサ

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

入射光を受光する複数の光電素子を含み、

前記光電素子は、複数のユニットセル内に配置され、各前記ユニットセルは、第1の光電素子および第2の光電素子を含み、

各前記ユニットセルの前記第1の光電素子は、第1の位相の第1の画素を撮像し、各前記ユニットセルの前記第2の光電素子は、第2の位相の第2の画素を撮像し、

前記第1の位相は、前記第2の位相と異なり、

各前記ユニットセルは、第3の位相の第3の画素を撮像する第3の光電素子および第4の位相の第4の画素を撮像する第4の光電素子を更に含み、

前記第1の位相、前記第2の位相、前記第3の位相、および前記第4の位相は異なり、

各前記ユニットセルの前記第1の光電素子、前記第2の光電素子、前記第3の光電素子、および前記第4の光電素子は、特定の材料でできており、且つ異なる高さであり、

前記第1の位相、前記第2の位相、前記第3の位相、および前記第4の位相は、それぞれ0、 / 2、 、および3 / 2であるイメージセンサ。

【請求項 2】

第1の位相シフトのホログラム画像および第2の位相シフトのホログラム画像は、前記ユニットセルによって撮像された前記第1の位相の前記第1の画素と前記第2の位相の前記第2の画素をそれぞれ組み合わせることによって得られ、

物体波は、前記第1の位相シフトのホログラム画像および前記第2の位相シフトのホロ

10

20

グラム画像に基づいて計算され、物体像は、逆変換を前記物体波に行うことにより再構成される請求項1に記載のイメージセンサ。

【請求項3】

第1の位相シフトのホログラム画像、第2の位相シフトのホログラム画像、第3の位相シフトのホログラム画像、および第4の位相シフトのホログラム画像は、前記ユニットセルによって撮像された前記第1の位相の前記第1の画素、前記第2の位相の前記第2の画素、前記第3の位相の前記第3の画素、および前記第4の位相の前記第4の画素をそれぞれ組み合わせることによって得られ、

物体波は、前記第1の位相シフトのホログラム画像、前記第2の位相シフトのホログラム画像、前記第3の位相シフトのホログラム画像、および前記第4の位相シフトのホログラム画像に基づいて計算され、物体像は、逆変換を前記物体波に行うことにより再構成される請求項1に記載のイメージセンサ。 10

【請求項4】

前記ユニットセルは、複数のマクロユニットセル内に配置され、各前記マクロユニットセルは、 2×2 のアレイに配置された4つのユニットセルを含み、各前記マクロユニットセルの前記4つのユニットセルの中の少なくとも1つは、それぞれの所定の角度によって回転することができる請求項1に記載のイメージセンサ。 20

【請求項5】

入射光から緑色光を抽出する第1の緑色フィルターおよび第2の緑色フィルター、
前記入射光から赤色光を抽出する赤色フィルター、および 20

前記入射光から青色光を抽出する青色フィルターを含むフィルターアレイを更に含む請求項1に記載のイメージセンサ。

【請求項6】

前記ユニットセルは、複数のマクロユニットセル内に配置され、各前記マクロユニットセルは、 2×2 のアレイに配置された第1のユニットセル、第2のユニットセル、第3のユニットセル、および第4のユニットセルを含み、

各前記マクロユニットセルの前記第1のユニットセル、前記第2のユニットセル、前記第3のユニットセル、および前記第4のユニットセルは、前記第1の緑色フィルター、前記第2の緑色フィルター、前記赤色フィルター、および前記青色フィルターによって、前記緑色光、前記緑色光、前記赤色光、および前記青色光をそれぞれ受光し、 30

前記第1の緑色フィルター、前記第2の緑色フィルター、前記赤色フィルター、および前記青色フィルターは、ベイヤーパターンに配置され、

各前記マクロユニットセルの前記第1のユニットセル、前記第2のユニットセル、前記第3のユニットセル、および前記第4のユニットセルの前記第1の光電素子と前記第2の光電素子の高さは、前記緑色光、前記緑色光、前記赤色光、および前記青色光の波長にそれぞれ比例する請求項5に記載のイメージセンサ。 40

【請求項7】

前記ユニットセルは、複数のマクロユニットセル内に配置され、各前記マクロユニットセルは、 2×2 のアレイに配置された第1のユニットセル、第2のユニットセル、第3のユニットセル、および第4のユニットセルを含み、

各前記マクロユニットセルの前記第1のユニットセル、前記第2のユニットセル、前記第3のユニットセル、および前記第4のユニットセルは、前記第1の緑色フィルター、前記第2の緑色フィルター、前記赤色フィルター、および前記青色フィルターによって、前記緑色光、前記緑色光、前記赤色光、および前記青色光をそれぞれ受光し、

各前記ユニットセルは、第3の位相の第3の画素を撮像する第3の光電素子および第4の位相の第4の画素を撮像する第4の光電素子を更に含み、

前記第1の位相、前記第2の位相、前記第3の位相、および前記第4の位相は異なる請求項5に記載のイメージセンサ。

【請求項8】

第1の緑色位相シフトのホログラム画像、第2の緑色位相シフトのホログラム画像、第 50

3の緑色位相シフトのホログラム画像、および第4の緑色位相シフトのホログラム画像は、前記第1のユニットセルによって撮像された前記第1の位相の前記第1の画素、前記第2の位相の前記第2の画素、前記第3の位相の前記第3の画素、および前記第4の位相の前記第4の画素をそれぞれ組み合わせることによって得られ、

第5の緑色位相シフトのホログラム画像、第6の緑色位相シフトのホログラム画像、第7の緑色位相シフトのホログラム画像、および第8の緑色位相シフトのホログラム画像は、前記第2のユニットセルによって撮像された前記第1の位相の前記第1の画素、前記第2の位相の前記第2の画素、前記第3の位相の前記第3の画素、および前記第4の位相の前記第4の画素をそれぞれ組み合わせることによって得られ、

第1の赤色位相シフトのホログラム画像、第2の赤色位相シフトのホログラム画像、第3の赤色位相シフトのホログラム画像、および第4の赤色位相シフトのホログラム画像は、前記第3のユニットセルによって撮像された前記第1の位相の前記第1の画素、前記第2の位相の前記第2の画素、前記第3の位相の前記第3の画素、および前記第4の位相の前記第4の画素をそれぞれ組み合わせることによって得られ、

第1の青色位相シフトのホログラム画像、第2の青色位相シフトのホログラム画像、第3の青色位相シフトのホログラム画像、および第4の青色位相シフトのホログラム画像は、前記第4のユニットセルによって撮像された前記第1の位相の前記第1の画素、前記第2の位相の前記第2の画素、前記第3の位相の前記第3の画素、および前記第4の位相の前記第4の画素をそれぞれ組み合わせることによって得られる請求項7に記載のイメージセンサ。

【請求項9】

第1の緑色の物体波は、前記第1の緑色の位相シフトのホログラム画像、前記第2の緑色の位相シフトのホログラム画像、前記第3の緑色の位相シフトのホログラム画像、および前記第4の緑色の位相シフトのホログラム画像に基づいて計算され、第1の緑色の物体像は、逆変換を前記第1の緑色の物体波に行うことにより再構成され、

第2の緑色の物体波は、前記第6の緑色の位相シフトのホログラム画像、前記第6の緑色の位相シフトのホログラム画像、前記第7の緑色の位相シフトのホログラム画像、および前記第8の緑色の位相シフトのホログラム画像に基づいて計算され、第2の緑色の物体像は、前記逆変換を前記第2の緑色の物体波に行うことにより再構成され、

赤色の物体波は、前記第1の赤色の位相シフトのホログラム画像、前記第2の赤色の位相シフトのホログラム画像、前記第3の赤色の位相シフトのホログラム画像、および前記第4の赤色の位相シフトのホログラム画像に基づいて計算され、赤色の物体像は、前記逆変換を前記赤色の物体波に行うことにより再構成され、

青色の物体波は、前記第1の青色の位相シフトのホログラム画像、前記第2の青色の位相シフトのホログラム画像、前記第3の青色の位相シフトのホログラム画像、および前記第4の青色の位相シフトのホログラム画像に基づいて計算され、青色の物体像は、前記逆変換を前記青色の物体波に行うことにより再構成される請求項8に記載のイメージセンサ。

【請求項10】

各前記マクロユニットセルの前記第1のユニットセル、前記第2のユニットセル、前記第3のユニットセル、および前記第4のユニットセルの前記第1の光電素子、前記第2の光電素子、前記第3の光電素子、および前記第4の光電素子の高さは、前記緑色光、前記緑色光、前記赤色光、および前記青色光の波長にそれぞれ比例する請求項7に記載のイメージセンサ。

【請求項11】

入射光を受光する複数の光電素子を含み、

前記光電素子は、複数のユニットセル内に配置され、各前記ユニットセルは、第1の光電素子および第2の光電素子を含み、

各前記ユニットセルの前記第1の光電素子は、第1の位相の第1の画素を撮像し、各前記ユニットセルの前記第2の光電素子は、第2の位相の第2の画素を撮像し、

10

20

30

40

50

前記第1の位相は、前記第2の位相と異なり、
各前記ユニットセルは、第3の位相の第3の画素を撮像する第3の光電素子および第4
の位相の第4の画素を撮像する第4の光電素子を更に含み、
前記第1の位相、前記第2の位相、前記第3の位相、および前記第4の位相は異なり、
各前記ユニットセルの前記第1の光電素子、前記第2の光電素子、前記第3の光電素子
、および前記第4の光電素子は、異なる材料でできており、且つ同じ高さであり、
前記第1の位相、前記第2の位相、前記第3の位相、および前記第4の位相は、それ
ぞれ /4、3 /4、5 /8、および7 /8であるイメージセンサ。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

10

【0001】

本発明は、イメージセンサに関し、特に、位相シフトのホログラムを用いたレンズフリー
イメージセンサに関するものである。

【背景技術】

【0002】

技術の進展に伴い、カメラを備えた電子機器が非常に人気となっている。しかしながら、
従来のカメラのモジュラー型レンズ、a.k.a. 密着イメージセンサ(CIS)デバイスは、一般的に、入射光を取り込み、取り込んだ光をデジタル画像に変換する。しかしながら、従来の画像化技術の制限により、画像は、レンズで形成され、且つモジュラー型レンズは、カメラ内の利用可能な空間の大部分を占める。携帯型電子機器のサイズは、ますます小型化されてきているため、大きなサイズのモジュラー型レンズは、これらの電子機器に適さない。

20

【0003】

従って、カメラの大きさを減少するレンズフリーイメージセンサの需要がある。

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

位相シフトのホログラムを用いたレンズフリーイメージセンサを提供する。

【課題を解決するための手段】

【0005】

30

イメージセンサが提供される。イメージセンサは、入射光を受光する複数の光電素子を含む。光電素子は、複数のユニットセル内に配置され、各ユニットセルは、第1の光電素子および第2の光電素子を含む。各ユニットセルの第1の光電素子は、第1の位相の第1の画素を撮像し、各ユニットセルの第2の光電素子は、第2の位相の第2の画素を撮像し、第1の位相は、第2の位相と異なる。

【図面の簡単な説明】

【0006】

【図1】位相シフトデジタルホログラフィ装置の概略図である。

【図2A】本発明の実施形態に係る、イメージセンサの側面図である。

【図2B】図2Aの実施形態に係る、イメージセンサの上面図である。

40

【図2C】図2Aの実施形態に係るイメージセンサの斜視図である。

【図2D】本発明のもう1つの実施形態に係る、イメージセンサの斜視図である。

【図3】本発明の実施形態に係る、イメージセンサに用いる4ステップ位相シフトデジタルホログラフィ法のフローチャートである。

【図4A】本発明のもう1つの実施形態に係る、イメージセンサの上面図である。

【図4B】図4Aの実施形態に係る、イメージセンサの斜視図である。

【図5A】本発明の実施形態に係る、カラーイメージセンサの側面図である。

【図5B】図5Aの実施形態に係る、カラーイメージセンサの上面図である。

【図5C】図5Aの実施形態に係るカラーイメージセンサの斜視図である。

【図5D】図5Aの実施形態に係る詳細な側面図の部分である。

50

【図5E】図5Aの実施形態に係る詳細な側面図のもう1つの部分である。

【図6】本発明の実施形態に係る、カラーイメージセンサに用いる4ステップ位相シフトデジタルホログラフィ法のフローチャートである。

【図7A】本発明の実施形態に係る、カラーイメージセンサの側面図である。

【図7B】図7Aの実施形態に係る、イメージセンサの上面図である。

【図7C】図7Aの実施形態に係るイメージセンサの斜視図である。

【図7D】本発明のもう1つの実施形態に係る、イメージセンサの斜視図である。

【図8A】本発明のもう1つの実施形態に係る、カラーイメージセンサの側面図である。

【図 8 B】図 8 A の実施形態に係る、カラーイメージセンサの上面図である。

【発明を実施するための形態】

10

【 0 0 0 7 】

以下の説明は、本発明を実施するベストモードが開示されている。この説明は、本発明の一般原理を例示する目的のためのもので本発明を限定するものではない。

〔 0 0 0 8 〕

図1は、位相シフトデジタルホログラフィ装置の概略図である。図1に示されるように、位相シフトデジタルホログラフィ装置100は、レーザー光源110、ビームエミッタ111、ビームスプリッタ101と103、ピエゾ(piezoelectric transducer; P Z T)鏡102、ミラー104、およびセンサアレイ120を含む。レーザー光源110から出射したレーザー光は、ビームエミッタ111で更に増強され、ビームエミッタ111から出射した光は、ビームスプリッタ101によって物体光と参照光に分けられる。参照光は、光を位相変調するP Z T鏡102によって反射される。一定の位相を参照光にシフトすることにより、異なるホログラムが物体波の複素振幅を求めるために得られる。

20

[0 0 0 9]

例えば、参照波の初期位相は、ゼロであり、各ステップで $\pi/2$ ずつ変化する。4ステップ位相シフトデジタルホログラフィのアルゴリズムが用いられる場合、0、 $\pi/2$ 、 π 、および $3\pi/2$ などの異なる位相の干渉パターンの強度は、式(1)～(4)でそれぞれ表されることができる：

【数1】

数 1

30

$$I_0 = |\psi_0|^2 + |\psi_{\sim}|^2 + \psi_0 \psi_{\sim}^* + \psi_0^* \psi_{\sim} \quad (1)$$

$$I_{\omega/2} = |\psi_+|^2 + |\psi_-|^2 + i\psi_+\psi_-^* - i\psi_-\psi_+^* \quad (2)$$

$$I_\pi = |\psi_0|^2 + |\psi_r|^2 - \psi_0 \psi_r^* - \psi_r \psi_0^* \quad (3)$$

$$I_{3\pi/2} = |\psi_0|^2 + |\psi_r|^2 - i\psi_0\psi_r^* + i\psi_0^*\psi_r \quad (4)$$

[0 0 1 0]

位相 0 、 $\pi/2$ 、 π 、および $3\pi/2$ の干渉パターンの強度を得た後、物体光の複素振幅は、以下の式で与えられる。

【数2】

数2

$$\psi_0 = \frac{(I_0 - I_\pi) - j(I_{\pi/2} - I_{3\pi/2})}{4\psi_r^*} \quad (5)$$

10

【0011】

物体光の複素振幅は、デジタル逆伝播を行うことによって ψ_0 から物体面の物体光の振幅分布を求める (retrieve) ことができるため、複素ホログラムと呼ぶこともある。

【0012】

よって、参照光の複素振幅は、物体波を計算するために分かっていなければならない。通常、参照光は、平面波または球面波であるため、その位相は、測定なしでも知られている。当業者にとっては、異なる位相で物体波を用いて物体像 (object image) を再構成する技術が理解されるだろう。従って、詳細はここでは省略する。

【0013】

留意すべきことは、図1の実施形態に示された位相シフトデジタルホログラフィ装置100は、位相を各ステップで変えなければならず、位相を変える、干渉パターンの強度の計算をする、且つ物体像の再構成をするのに時間がかかる。従って、現在市場で販売されている携帯型電子機器に装置100を用いるのは、実用的でない。

20

【0014】

しかしながら、位相シフトデジタルホログラフィのアルゴリズムの位相遅延の概念は、本発明のイメージセンサに用いられることができる。図2Aは、本発明の実施形態に係るイメージセンサの側面図である。説明の目的のために、イメージセンサ200は、例えば、モノカラーのイメージセンサである。図2に示されるように、イメージセンサ200は、センサアレイ220を含む。センサアレイ220は、入射光を受光する複数の光電素子221を含む。光電素子221は、半導体製造プロセスによって基板230（図2Cおよび図2Dに示されるように）の上に実装されることができる。留意すべきことは、イメージセンサ200にレンズは用いられず、且つ説明の目的のために、図2Aのセンサアレイ220は、センサアレイの光電素子の相対的な高さ（即ち、厚さ）を示さないことである。

30

【0015】

図2Bは、図2Aの実施形態に係る、イメージセンサの上面図である。図2Cは、図2Aの実施形態に係るイメージセンサの斜視図である。

【0016】

図2Bに示されるように、センサアレイ220は、複数のユニットセル250を含み、各ユニットセルは、 2×2 のアレイに配置された4つの光電素子を有する。例えば、光電素子251、252、253、および254は、異なる高さであり、各光電素子251、252、253、および254の高さは、対応するホログラムの特定の位相を表している。光電素子251～254の高さは、以下の式を用いて計算することができる。

40

【数3】

数3

$$\delta_m = \frac{2\pi n d_m}{\lambda} \quad (6)$$

【0017】

は、特定の波長を示し、nは、光電素子の材料の屈折率を示し、且つ_mは、与えられた位相値、例えば、0、π/2、π、および3π/2を示している。留意すべきことは、センサアレイ220の全ての光電素子は、同じ材料で実装されることができるため、同じ屈折率を有することができる。特に、4ステップ位相シフトデジタルホログラフィ法は、イメージセンサ200の構造に用いられる。例えば、光電素子251～254の高さは、位相₀、₁、₂、および₃にそれぞれ対応するd₀、d₁、d₂、およびd₃である。₀、₁、₂、および₃の値は、それぞれ0、π/2、π、および3π/2である。高さd₀～d₄が式(6)と整合するため、d₀、d₁、d₂、およびd₃の値は、0、π/4n、π/2n、および3π/4nとしてそれぞれ計算されることができる。光電素子251～254の高さの違いは、図2Cに示されている。留意すべきことは、ユニットセル250は、センサアレイに繰り返し配置され、各ユニットセル250の各光電素子は、4つの異なる位相の個別の位相の画素を撮像することができる。例えば、各ユニットセル250の光電素子251、252、253、および254は、第1の位相の第1の画素、第2の位相の第2の画素、第3の位相の第3の画素、および第4の位相の第4の画素をそれぞれ撮像することができる。第1の画素、第2の画素、第3の画素、および第4の画素は、各ユニットセル250の光電素子251～254によって撮像されるため、第1の画素、第2の画素、第3の画素、および第4の画素の位置は、実質的に同じである。例えば、₀のホログラム画像は、各ユニットセル250の光電素子251の撮像された画素から得られることができる。同様に、₁、₂、および₃のホログラム画像は、各ユニットセル250の光電素子251、252、253の撮像された画素からそれぞれ得られることができる。

【0018】

4つの位相のホログラム画像を得た後、フーリエ領域(domain)の物体波は、式(5)を用いて得ることができる。次いで、逆フーリエ変換が物体波に行われ、空間領域の物体像を再構成する。また、フーリエ領域の物体波を空間領域の物体像に変換する変換関数H(x, y)は、予め推定されることができ、よって、物体波と変換関数との畠み込みが物体像を得るために行われることができる。

【0019】

図2Dは、本発明のもう1つの実施形態に係る、イメージセンサの斜視図である。他の実施形態では、ユニットセル250の光電素子251～254の位置は、図2Bのそれらと同じであるが、図2Dに示されるように、ユニットセル250の光電素子251～254の高さは、同じである。例えば、光電素子251～254は、異なる屈折率を有する異なる材料からできている。具体的に言うと、各光電素子の材料の屈折率は、以下の式に従わなければならない。

10

20

30

40

【数4】

数4

$$\delta_m = \frac{2\pi n_m d}{\lambda} \quad (7)$$

10

【0020】

式(7)に示すように、高さdは、一定であり、屈折率n_mは、可変である。4ステップ位相シフトホログラフィがここで用いられることもできる例えば、4ステップ位相シフトホログラフィ法の位相は、1/4、3/4、5/8、および7/8である。高さdが0.5と等しいとした場合、光電素子251～254の材料の屈折率は、0.5～1.2の範囲である。

【0021】

図3は、本発明の実施形態に係る、イメージセンサに用いる4ステップ位相シフトデジタルホログラフィ法のフローチャートである。ステップS310では、異なる位相の4つの位相シフトのホログラム画像が得られる。例えば、図2Cまたは図2Dに示される画像センサ200を用いることができる。説明の目的のために、図2Cのイメージセンサが次の実施形態に用いられる。具体的に言うと、4つの位相シフトのホログラム画像が位相0、1/2、3/4、および3/2に対応する。

20

【0022】

ステップS320では、フーリエ変換の物体波は、異なる位相の4つの位相シフトのホログラム画像に基づいて計算される。例えば、0、1/2、3/4、および3/2などの異なる位相のホログラムの強度は、式(1)～(4)を用いて計算されることが可能で、物体波は式(5)を用いて計算されることができる。しかしながら、物体波の計算を簡易化するために、物体波I₀は、以下の式を用いておおよそ計算されることができる。

【数5】

30

数5

$$\varphi_0 \approx (I_0 - I_\pi) - j(I_{\pi/2} - I_{3\pi/2}) \quad (8)$$

【0023】

ステップS330では、物体像は、物体波に基づいて再構成される。例えば、物体波I₀は、フーリエ領域にあり、物体像は、空間領域にあり、よって、逆フーリエ変換が物体波I₀に施され、物体像を再構成する。また、フーリエ領域の物体波を空間領域の物体像に変換する変換関数H(x, y)は、予め推定されることが可能で、よって、物体波と変換関数との畳み込みが物体像を得るために行われることができる。

40

【0024】

図4Aは、本発明のもう1つの実施形態に係る、イメージセンサの上面図である。図4Bは、図4Aの実施形態に係る、イメージセンサの斜視図である。図2Bの実施形態に示されるように、各ユニットセルは、2×2のアレイに配置された4つの光電素子を含む。図4Aに示されるように、もう1つの実施形態では、センサアレイ220は、複数のマクロユニットセルを含み、各マクロユニットセルは、2×2のユニットセルアレイで配置された4つのユニットセルを含む。具体的に言うと、各マクロユニットセルは、4×4のアレイで配置された16の光電素子を含む。

50

【0025】

例えば、マクロユニットセル450は、ユニットセル410、420、430、および440を含み、各ユニットセルは、4つの光電素子を含み、各ユニットセルの各光電素子は、4つの異なる位相の個別の位相の画素を撮像する。ユニットセル410、420、430、および440の光電素子の高さは、例えば、位相0、 $\pi/2$ 、 π 、および $3\pi/2$ が用いられている、上述のような4ステップ位相シフトホログラフィ法に従う。また、マクロユニットセル450のユニットセル410、420、430、および440の2つは、回転される。具体的に言うと、モアレ効果が各撮像されたホログラム画像、およびイメージセンサの対応する斜視図に生じるのを防ぐために、ユニットセル430は、ユニットセル410に対して反時計回りに90度回転され、ユニットセル440は、ユニットセル420に対して時計回りに90度回転される。10

【0026】

留意すべきことは、図4Aに示されたユニットセル430と440の回転は一例であり、本発明を限定するものではない。マクロユニットセル450の1つ以上のユニットセルは、モアレ効果を防ぐために、所定の配置（例えば、1つ以上の所定の角度）に回転することができる。

【0027】

図5Aは、本発明の実施形態に係る、カラーイメージセンサの側面図である。カラーイメージセンサ500は、フィルターアレイ510およびセンサアレイ520を含む。フィルターアレイ510は、赤色フィルター511、緑色フィルター512、および青色フィルター513などの複数のカラーフィルターを含む。例えば、2つの緑色フィルター、1つの赤色フィルター、および1つの青色フィルターは、ペイヤーパターンの 2×2 のカラーフィルターアレイに配置される。センサアレイ520は、フィルターアレイ510によって入射光を受光する複数の光電素子521を含む。光電素子521は、複数のユニットセル内に配置される。説明の目的のために、図5Aのセンサアレイ520は、センサアレイ520の光電素子の相対的な高さを示していない。20

【0028】

図5Bは、図5Aの実施形態に係る、カラーイメージセンサの上面図である。図5Cは、図5Aの実施形態に係る、カラーイメージセンサの斜視図である。図5Bに示されるように、 2×2 のアレイに配置されたユニットセル530、540、550、および560は、フィルターアレイ510の 2×2 のカラーフィルターアレイに対応する 2×2 のアレイに配置される。従って、ユニットセル530、540、550、および560は、緑色光、青色光、および赤色光を受光し、緑色光は、フィルターアレイ510の 2×2 のカラーフィルターアレイをそれぞれ通過する。具体的に言うと、マクロユニットセル570の4つのユニットセル530、540、550、および560は、0、 $\pi/2$ 、 π 、および $3\pi/2$ などの4つの異なる位相の緑色、青色、赤色、および緑色画素を撮像するように構成される。ユニットセル530、540、550、および560の光電素子531～534、541～544、551～554、および561～564の高さの設計は、センサアレイ520の光電素子が同じ材料でできているとき、上述の式(6)に従うことができる。従って、詳細はここでは省略する。しかしながら、式(6)は、固定波長で単色用に設計されている。3040

【0029】

R 、 G 、および B が赤色光、緑色光、および青色光の波長をそれぞれ表すとした場合、赤色光、緑色光、および青色光の中で赤色光が最長波長を有し、青色光が最短波長を有するため、波長間の関係は、 $R > G > B$ であると結論されることができる。よって、センサアレイ520の光電素子が同じ材料でできている場合、赤色光を受光するユニットセル550の光電素子551～554は、マクロユニットセル570の他のユニットセルの光電素子よりも相対的に大きい高さを有する。即ち、各ユニットセルの光電素子の高さは、受光した光の波長に比例する。

【0030】

例えば、図 5 C に示すように、赤色光を受光するユニットセル 550 の光電素子 551 ~ 554 の高さは、同一場所に配置された緑色光を受光するユニットセル 530 の光電素子 531 ~ 534 (即ち、同じ位相) の高さよりも相対的に高い。

【0031】

図 5 D は、図 5 A の実施形態に係る詳細な側面図の部分である。図 5 E は、図 5 A の実施形態に係る詳細な側面図のもう 1 つの部分である。図 5 D の側面図は、緑色光を受光するユニットセル 530 の光電素子 531 ~ 532 と、赤色光を受光するユニットセル 550 の光電素子 551 ~ 552 の相対的な高さを示している。同じ位相では、光電素子 551 は、光電素子 531 より大きな高さを有し、光電素子 552 は、光電素子 532 より大きな高さを有する。

10

【0032】

図 5 E の側面図は、緑色光を受光するユニットセル 530 の光電素子 531 ~ 532 と、青色光を受光するユニットセル 540 の光電素子 541 ~ 542 の相対的な高さを示している。同じ位相では、光電素子 531 は、光電素子 541 より大きな高さを有し、光電素子 532 は、光電素子 542 より大きな高さを有する。

【0033】

マクロユニットセル 570 は、センサアレイ 520 に繰り返し配置されるため、4 つの位相シフトのホログラム画像は、センサアレイ 520 のマクロユニットセルの各ユニットセル 530、540、550、および 560 によって撮像された画素を組み合わせることによって得られ、よって、全ての 16 の位相シフトのホログラム画像を得ることができる。留意すべきことは、ユニットセル 530 によって撮像された緑色の位相シフトのホログラム画像は、ユニットセル 560 によって撮像されたホログラム画像と異なることである。

20

例えば、全ての 16 の位相シフトのホログラム画像は、 (R_0, R_1, R_2, R_3) 、 $(G_{10}, G_{11}, G_{12}, G_{13})$ 、 $(B_{00}, B_{01}, B_{02}, B_{03})$ 、および $(G_{20}, G_{21}, G_{22}, G_{23})$ であることができる。緑色の位相シフトのホログラム画像 $(G_{20}, G_{21}, G_{22}, G_{23})$ は、ユニットセル 560 によって撮像される。

【0034】

図 6 は、本発明の実施形態に係る、カラーイメージセンサに用いる 4 ステップ位相シフトデジタルホログラフィ法のフローチャートである。図 3 のフローチャートと異なり、図 6 のフローチャートは、カラーイメージセンサに用いられるものである。ステップ S610 では、異なるカラーチャネルおよび異なる位相の 16 の位相シフトのホログラム画像が得られる。例えば、図 5 に示されたイメージセンサ 500 がもちいられることができる。16 の位相シフトのホログラム画像は、上述のように、 (R_0, R_1, R_2, R_3) 、 $(G_{10}, G_{11}, G_{12}, G_{13})$ 、 $(B_{00}, B_{01}, B_{02}, B_{03})$ 、および $(G_{20}, G_{21}, G_{22}, G_{23})$ である。

30

【0035】

ステップ S620 では、フーリエ領域の各カラーチャネルの物体波は、異なるカラーチャネルおよび異なる位相の 16 のホログラム画像に基づいて計算される。

【0036】

ステップ S630 では、各カラーチャネルの物体像は、各カラーチャネルの物体波に基づいて再構成される。特に、カラーイメージセンサの 1 つの赤色チャネル、1 つの青色チャネル、および 2 つの緑色チャネルなどの 4 つのカラーチャネルがあり、単一のカラーチャネルの物体波の計算および物体像の構成の動作は、図 3 の実施形態において参照でき、詳細はここでは繰り返されない。

40

【0037】

従って、1 つの赤色チャネル、1 つの青色チャネル、および 2 つの緑色チャネルを表す 4 つの物体像は、ステップ S330 の後に得られ、カラーイメージセンサ 500 に結合された画像信号処理装置 (図示されていない) は、4 つの物体像を用いて元のカラーイメージを再構成することができる。

50

【 0 0 3 8 】

図 7 A は、本発明の実施形態に係る、イメージセンサの側面図である。説明の目的のために、例えば、イメージセンサ 700 は、単色イメージセンサである。図 7 A に示されるように、イメージセンサ 700 は、センサアレイ 720 を含む。センサアレイ 720 は、入射光を受光する複数の光電素子 721 を含む。光電素子 721 は、半導体製造プロセスによって基板 730 の上に実装されることができる。留意すべきことは、イメージセンサ 700 にレンズは用いられず、且つ説明の目的のために、図 7 A のセンサアレイ 720 は、センサアレイの光電素子の相対的な高さ（即ち、厚さ）を示さないことである。

【 0 0 3 9 】

図 7 B は、図 7 A の実施形態に係る、イメージセンサの上面図である。 10

図 7 C は、図 7 A の実施形態に係るイメージセンサの斜視図である。

【 0 0 4 0 】

図 7 B に示されるように、センサアレイ 720 は、複数のユニットセル 750 を含み、各ユニットセルは、 2×1 アレイに配置された 2 つの光電素子を有する。例えば、光電素子 751 と 752 は、異なる高さであり、各光電素子 751 と 752 の高さは、対応するホログラムの特定の位相を表している。例えば、2 ステップの直交位相シフトホログラフィ法がセンサアレイ 720 に用いられ、2 つの異なる位相は、0 と $\pi/2$ であることができる。位相 0 と $\pi/2$ の干渉パターンの強度を得た後、物体光の複素振幅は、以下の式で与えられる。

【 数 6 】

20

数 6

$$\psi_0 = \frac{(I_0 - |\psi_0|^2 - |\psi_r|^2) - j(I_{\pi/2} - |\psi_0|^2 - |\psi_r|^2)}{2\psi_r^*} \quad (9)$$

【 0 0 4 1 】

例えば、光電素子 751 と 752 の高さは、以下の式によって計算されることができる：

【 数 7 】

30

数 7

$$\delta_m = \frac{2\pi n d_m}{\lambda} \quad (10)$$

【 0 0 4 2 】

は、特定の波長を示し、n は、光電素子の材料の屈折率を示し、且つ δ_m は、与えられた位相値、例えば、0、および $\pi/2$ （または および $3\pi/2$ ）を示している。留意すべきことは、センサアレイ 720 の全ての光電素子は、同じ材料で実装される能够ため、同じ屈折率を有することができる。特に、2 ステップ位相シフトデジタルホログラフィ法は、イメージセンサ 700 の構造に用いられる。例えば、光電素子 752 と 751 の高さは、位相 ϕ_0 と ϕ_1 にそれぞれ対応する d_0 と d_1 である。 ϕ_0 、および ϕ_1 の値は、それぞれ 0 と $\pi/2$ （または および $3\pi/2$ ）である。高さ $d_0 \sim d_1$ が式 (10) と整合するため、 d_0 と d_1 の値は、0 と $\pi/4 n$ としてそれぞれ計算される能够。光電素子 751 と 752 の高さの違いは、図 7 C に示されている。留意すべきことは、ユニットセル 750 は、センサアレイ 720 に繰り返し配置され、各ユニットセル 750 の各光電素子は、2 つの異なる位相の個別の位相の画素を撮像することができる。例えば、各ユニットセル 750 の光電素子 751 と 752 は、第 1 の位相の第 1 の画素、 40

40

50

第2の位相の第2の画素をそれぞれ撮像することができる。第1の画素および第4の画素は、各ユニットセル750の光電素子751と752によって撮像されるため、第1の画素および第2の画素は、実質的に同じである。例えば、₀のホログラム画像は、各ユニットセル750の光電素子751の撮像された画素から得られることができる。同様に、₁のホログラム画像は、各ユニットセル750の光電素子752の撮像された画素からそれぞれ得られることができる。

【0043】

2つの位相のホログラム画像を得た後、フーリエ領域(domain)の物体波は、式(9)を用いて得ることができる。次いで、逆フーリエ変換が物体波に行われ、空間領域の物体像を再構成する。また、フーリエ領域の物体波を空間領域の物体像に変換する変換関数H(x, y)は、予め推定されることができ、よって、物体波と変換関数との畳み込みが物体像を得るために行われることができる。

【0044】

図7Dは、本発明のもう1つの実施形態に係る、イメージセンサの斜視図である。他の実施形態では、ユニットセル750の光電素子751と752の位置は、図7Bのそれらと同じであるが、図7Dに示されるように、ユニットセル750の光電素子751と752の高さは、同じである。例えば、光電素子751と752は、異なる屈折率を有する異なる材料からできている。具体的に言うと、各光電素子の材料の屈折率は、以下の式に従わなければならない。

【数8】

10

20

数8

$$\delta_m = \frac{2\pi n_m d}{\lambda} \quad (11)$$

【0045】

式(11)に示すように、高さdは、一定であり、屈折率n_mは、可変である。2ステップ位相シフトホログラフィがここで用いられることもできる例えば、2ステップ位相シフトホログラフィ法の位相は、0とπ/2(またはπと3π/2)である。高さdが0.5と等しいとした場合、光電素子751と752の材料の屈折率は、式(11)を用いて計算ができる。

30

【0046】

図8Aは、本発明のもう1つの実施形態に係る、カラーイメージセンサの側面図である。カラーイメージセンサ800は、フィルターアレイ810およびセンサアレイ820を含む。フィルターアレイ810は、赤色フィルター、緑色フィルター、および青色フィルターなどの複数のカラーフィルターを含む。例えば、2つの緑色フィルター、1つの赤色フィルター、および1つの青色フィルターは、ベイヤーパターンの2×2のカラーフィルターアレイに配置される。センサアレイ820は、フィルターアレイ810によって光を受光する複数のユニットセル821を含む。説明の目的のために、図8Aのセンサアレイ820は、センサアレイ820の光電素子の相対的な高さを示していない。

40

【0047】

図8Bは、図8Aの実施形態に係る、カラーイメージセンサの上面図である。図7Bに示されるように、ユニットセル830、840、850、および860は、緑色光、青色光、赤色光、および緑色光をそれぞれ受光する。各ユニットセル830、840、850、および860は、2つの光電素子を有し、対応するカラーフィルターを有する。例えば、ユニットセル830、840、850、および860は、フィルターアレイ810によって緑色光、青色光、赤色光、および緑色光を受光する。特に、ベイヤーパターンの方式のマクロユニットセル870は、ユニットセル830、840、850、および860を用

50

いて形成されることがある。

【0048】

実施形態では、2ステップ位相シフトホログラフィ法が用いられる。例えば、各ユニットセルの2つの光電素子は、例えば0および $\pi/2$ などの異なる位相の画素を受けるように設計された異なる高さを有する。

【0049】

ユニットセル830、840、850、および860の光電素子831～832、841～842、851～853、および861～862の高さの設計は、センサアレイ820の光電素子が同じ材料でできているとき、上述の式(6)に従うことができる。従って、詳細はここでは省略する。しかしながら、式(6)は、固定波長で単色用に設計されている。10

【0050】

ψ_R 、 ψ_G 、および ψ_B が赤色光、緑色光、および青色光の波長をそれぞれ表すとした場合、赤色光、緑色光、および青色光の中で赤色光が最長波長を有し、青色光が最短波長を有するため、波長間の関係は、 $\lambda_R > \lambda_G > \lambda_B$ であると結論されることがある。よって、センサアレイ820の光電素子が同じ材料でできている場合、赤色光を受光するユニットセル850の光電素子851～852は、マクロユニットセル870の他のユニットセルの光電素子よりも相対的に大きい高さを有する。

【0051】

図5のセンサアレイ520と比較すると、マクロユニットセルのサイズがセンサアレイ820で 4×2 であり、マクロユニットセルのサイズがセンサアレイ520で 4×4 であるため、垂直方向の解像度は、センサアレイ820を用いたとき、2倍である。しかしながら、センサアレイ820を用いて物体波を得る演算量の複雑さは、高くなっている。例えば、2ステップ位相シフトホログラフィ法の物体波は、以下の式を用いて計算ができる。20

【数9】

数9

$$\psi_0 = \frac{(I_0 - |\psi_0|^2 - |\psi_r|^2) - j(I_{\pi/2} - |\psi_0|^2 - |\psi_r|^2)}{2\psi_r^*} \quad (12) \quad \text{30}$$

【0052】

のことから、レンズフリーイメージセンサが提供される。4ステップ位相シフトホログラフィのアルゴリズムの異なる位相で設計された、異なる高さを有する光電素子をセンサアレイ内に配置することにより、物体像は、光電素子によって撮像された位相シフトのホログラム画像を用いて再構成することができる。従って、モジュラー型レンズは、レンズフリーイメージセンサを用いたカメラモジュールに必要でないため、全体的なカメラモジュールのコストを減少することができ、カメラモジュールの厚さは、薄くすることができる。40

【0053】

本発明は、例として及び望ましい実施の形態によって記述されているが、本発明は開示された実施形態に限定されるものではない。逆に、当業者には自明の種々の変更及び同様の配置をカバーするものである。よって、添付の特許請求の範囲は、最も広義な解釈が与えられ、全てのこのような変更及び同様の配置を含むべきである。

【符号の説明】

【0054】

100 位相シフトデジタルホログラフィ装置

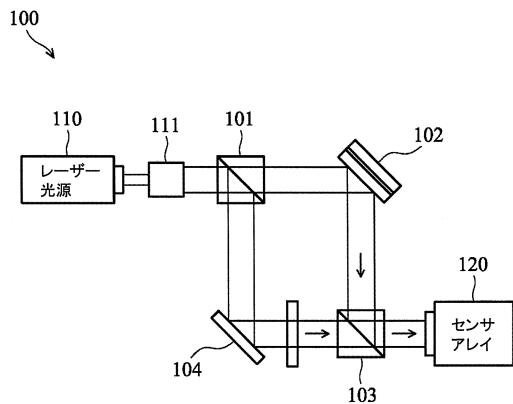
101、103 ビームスプリッタ

50

1 0 2	ピエゾ鏡	
1 0 4	ミラー	
1 1 0	レーザー光源	
1 1 1	ビームエミッタ	
1 2 0	センサアレイ	
2 0 0	イメージセンサ	
2 2 0	センサアレイ	
2 2 1	光電素子	
2 3 0	基板	
2 5 0	ユニットセル	10
2 5 1、2 5 2、2 5 3、2 5 4	光電素子	
4 1 0、4 2 0、4 3 0、4 4 0	ユニットセル	
4 1 1～4 1 4	光電素子	
4 2 1～4 2 4	光電素子	
4 3 1～4 3 4	光電素子	
4 4 1～4 4 4	光電素子	
4 5 0	マクロセルユニット	
5 0 0	カラーイメージセンサ	
5 1 0	フィルターアレイ	
5 1 1	赤色フィルター	20
5 1 2	緑色フィルター	
5 1 3	青色フィルター	
5 2 0	センサアレイ	
5 2 1	光電素子	
5 3 0、5 4 0、5 5 0、5 6 0	ユニットセル	
5 3 1～5 3 4	光電素子	
5 4 1～5 4 4	光電素子	
5 5 1～5 5 4	光電素子	
5 6 1～5 6 4	光電素子	
5 7 0	マクロユニットセル	30
7 0 0	イメージセンサ	
7 2 0	センサアレイ	
7 2 1	光電素子	
7 3 0	基板	
7 5 0	ユニットセル	
7 5 1	光電素子	
7 5 2	光電素子	
8 0 0	カラーイメージセンサ	
8 1 0	フィルターアレイ	
8 2 0	センサアレイ	40
8 2 1	ユニットセル	
8 3 0、8 4 0、8 5 0、8 6 0	ユニットセル	
8 3 1～8 3 2	光電素子	
8 4 1～8 4 2	光電素子	
8 5 1～8 5 3	光電素子	
8 6 1～8 6 2	光電素子	
8 7 0	マクロユニットセル	

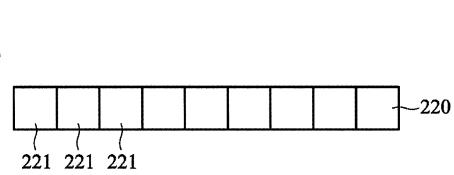
【図1】

図1(従来技術)



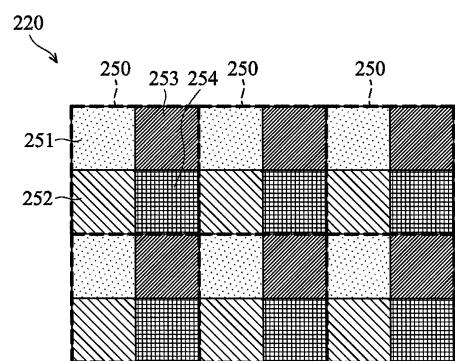
【図2A】

図2A



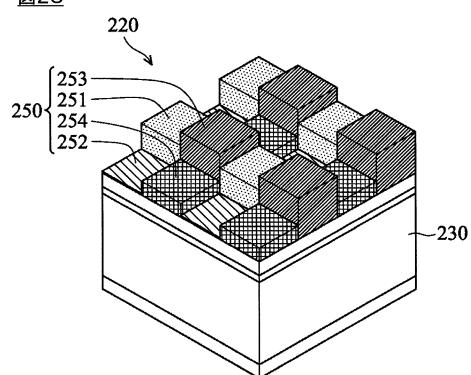
【図2B】

図2B

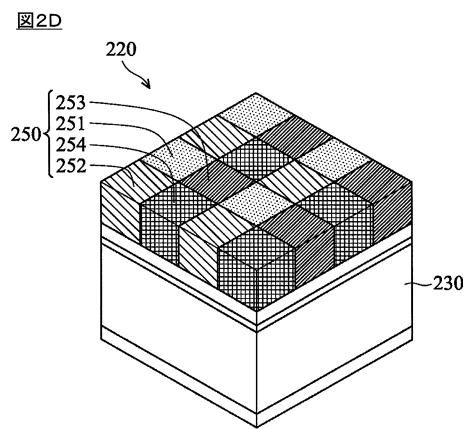


【図2C】

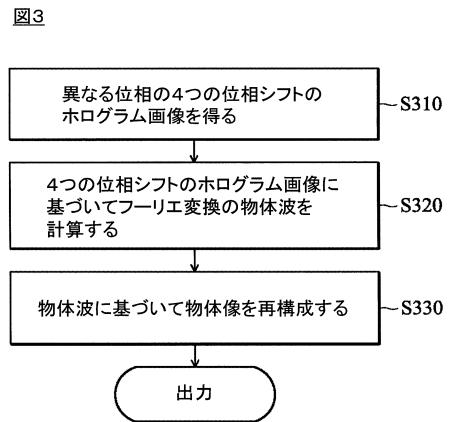
図2C



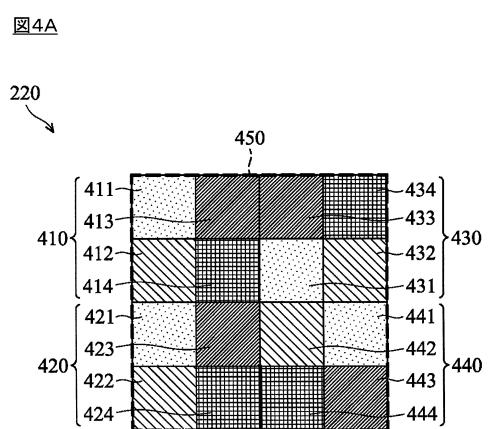
【図2D】



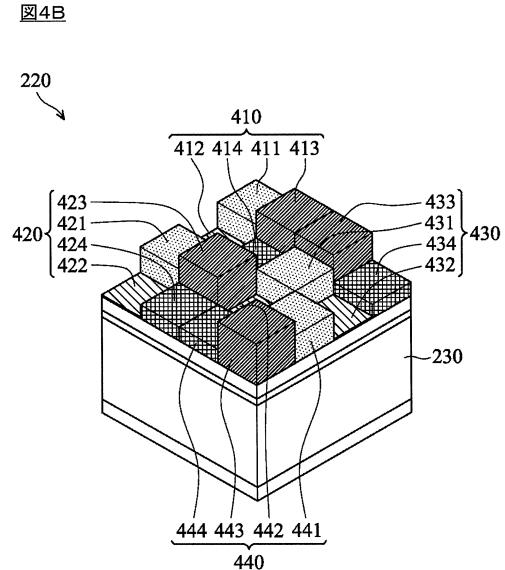
【図3】



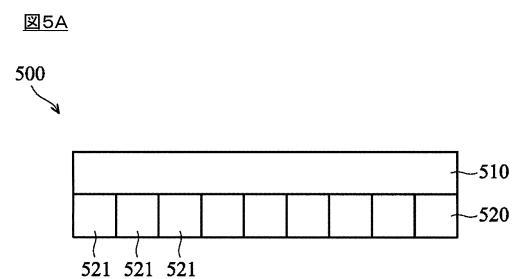
【図4A】



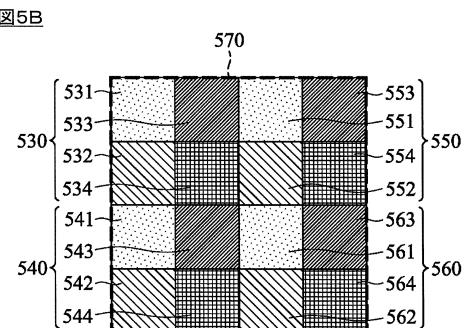
【図4B】



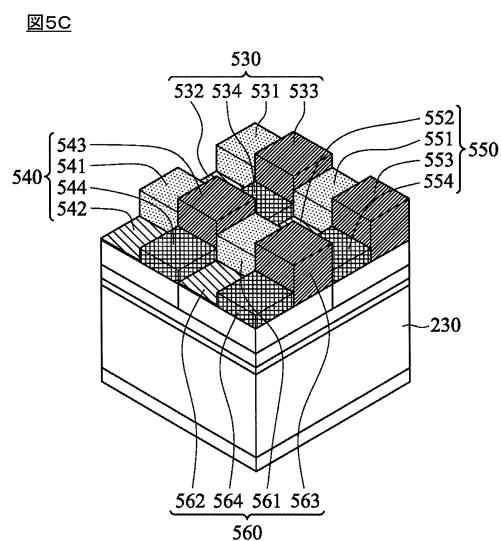
【図5A】



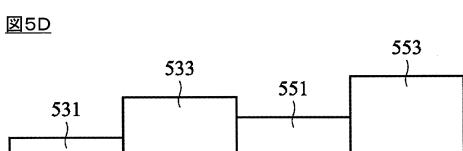
【図5B】



【図5C】

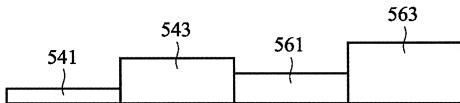


【図5D】



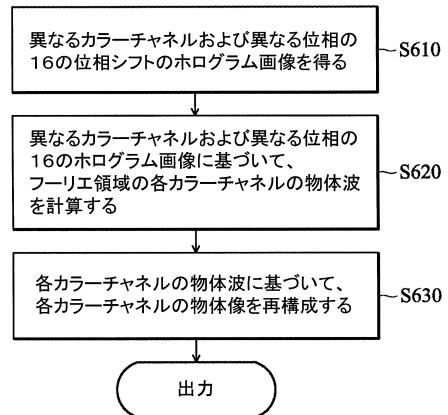
【図5E】

図5E



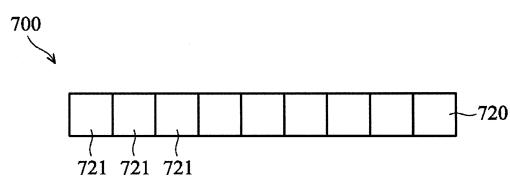
【図6】

図6



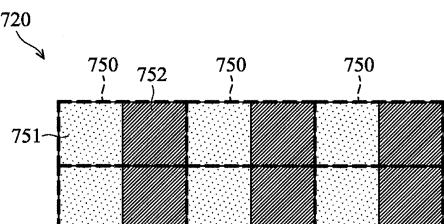
【図7A】

図7A

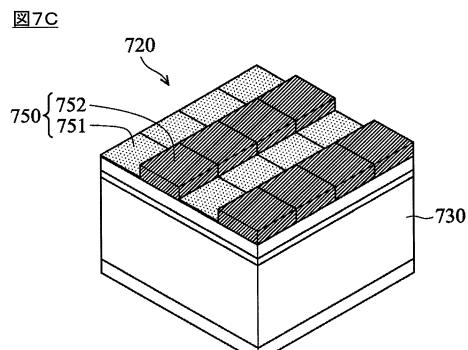


【図7B】

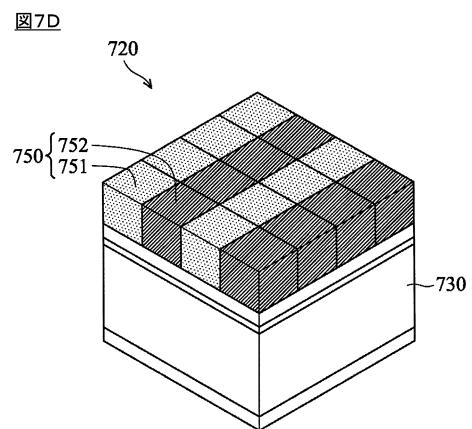
図7B



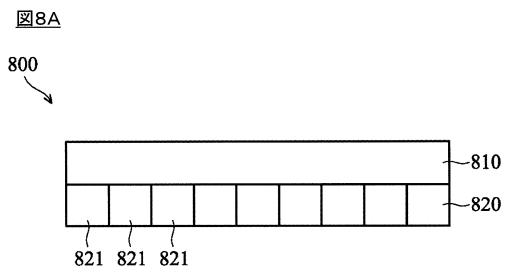
【図 7 C】



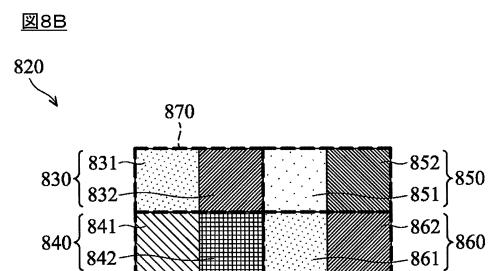
【図 7 D】



【図 8 A】



【図 8 B】



フロントページの続き

(51)Int.Cl.

F I

H 0 4 N 9/07

A

審査官 鈴木 明

(56)参考文献 国際公開第2014 / 034729 (WO, A1)
特表2013 - 508775 (JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H 0 4 N 5 / 3 0 - 5 / 3 7 8

H 0 4 N 9 / 0 4 - 9 / 1 1

H 0 4 N 5 / 2 2 2 - 5 / 2 5 7

G 0 2 B 5 / 2 0

G 0 3 H 1 / 0 8