

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公表特許公報(A)

(11) 特許出願公表番号

特表2015-501432

(P2015-501432A)

(43) 公表日 平成27年1月15日(2015.1.15)

(51) Int.Cl.

GO1J 3/36 (2006.01)
 GO1J 3/26 (2006.01)
 GO3B 11/00 (2006.01)

F 1

GO1J 3/36
 GO1J 3/26
 GO3B 11/00

テーマコード(参考)

2G020
 2H083

審査請求 未請求 予備審査請求 未請求 (全 30 頁)

(21) 出願番号 特願2014-539316 (P2014-539316)
 (86) (22) 出願日 平成24年10月30日 (2012.10.30)
 (85) 翻訳文提出日 平成26年6月20日 (2014.6.20)
 (86) 國際出願番号 PCT/EP2012/071509
 (87) 國際公開番号 WO2013/064510
 (87) 國際公開日 平成25年5月10日 (2013.5.10)
 (31) 優先権主張番号 61/556,066
 (32) 優先日 平成23年11月4日 (2011.11.4)
 (33) 優先権主張国 米国(US)

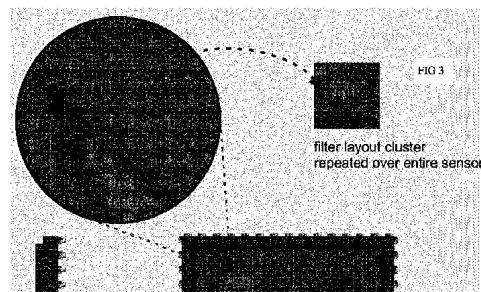
(71) 出願人 591060898
 アイメリック
 1 M E C
 ベルギー、ペーー3001ルーヴァン、カ
 ペルドリーフ75番
 (74) 代理人 100101454
 弁理士 山田 阜二
 (74) 代理人 100081422
 弁理士 田中 光雄
 (74) 代理人 100100479
 弁理士 竹内 三喜夫
 (72) 発明者 ベルト・ヘーレン
 ベルギー3001ルーヴァン、カペルドリ
 フ75番 アイメリック内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】各画素についてモザイク状フィルタを備えたスペクトルカメラ

(57) 【要約】

スペクトル出力を生成するためのスペクトルカメラが、画像を生成するための対物レンズ(10)と、光学スペクトルの異なる帯域を通過させるためのモザイク状フィルタ(30)と、該フィルタを通過した異なる帯域で画像の画素を検出するように配置されたセンサアレイ(40)とを有し、画素の各々について、センサアレイは、異なる帯域を検出するための一群のセンサ素子を有し、該モザイクは、センサ素子上に集積された、対応する一群の異なる帯域のフィルタを有し、画像は、異なる帯域で同時に検出可能である。フィルタは、1次のファブリペローフィルタであり、任意の所望の通過帯域を提供し、高いスペクトル鮮明度を提供できる。寄生空洞が存在しないため、クロストークが低減できる。



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

スペクトル出力を生成するためのスペクトルカメラであって、
画像を生成するための対物レンズ(10)と、
光学スペクトルの異なる帯域を通過させるためのモザイク状フィルタ(30)と、
該フィルタを通過した異なる帯域で画像の画素を検出するように配置された1つ以上の
センサアレイ(40)とを有し、
画素の各々について、1つ以上のセンサアレイは、異なる帯域を検出するための一群の
センサ素子を有し、

該モザイクは、対応する一群の異なる帯域のフィルタを有し、各フィルタは、センサ素
子のうちの1つの上に集積され、画像は、スペクトル出力を供給するために異なる帯域で
同時に検出可能であり、

該フィルタは、ファブリペローフィルタである、スペクトルカメラ。

【請求項 2】

ファブリペローフィルタの少なくとも幾つかが、1次のフィルタである請求項1記載の
スペクトルカメラ。

【請求項 3】

個々の群の異なるフィルタに到達する光を均等化するためのフィルタの前に、光学的
アンチエイリアシング部(50)を有する請求項1または2記載のスペクトルカメラ。

【請求項 4】

アンチエイリアシング部は、 2×2 より多いセンサ素子に渡って延びる複屈折フィルタ
、整合したアパーチャ絞りを備えたデフォーカス対物レンズ、および劣化した対物レンズ
のうち何れか1つ以上を備える請求項3記載のスペクトルカメラ。

【請求項 5】

群の幾つかが、1つ以上の追加のセンサ素子、およびフィルタの他の不要な高次または
低次のスペクトル応答に対応した帯域を検出するように配置された対応するフィルタを有
する請求項1～4のいずれかに記載のスペクトルカメラ。

【請求項 6】

群の幾つかでの帯域の選択は、画像の種々の部分でどの通過帯域が検出されるか、画像
の種々の部分でどのスペクトル範囲が検出されるか、画像の種々の部分でどのスペクトル
分解能、空間分解能が検出されるか、種々の通過帯域でどの空間分解能が検出されるか、
の何れか1つ以上について変動が存在するように配置できる請求項1～5のいずれかに記
載のスペクトルカメラ。

【請求項 7】

異なるフィルタアレイを有する異なるセンサアレイを使用するために、センサアレイ上
に集積されたフィルタアレイを交換することによって、使用時にフィルタアレイが再構成
可能のように構成された請求項1～6のいずれかに記載のスペクトルカメラ。

【請求項 8】

複数の画像コピーをセンサアレイの異なる部分に投影するための光学複製部(20)を
有する請求項1～7のいずれかに記載のスペクトルカメラ。

【請求項 9】

スペクトル出力を生成するためにスペクトルカメラを動作させる方法であって、
該スペクトルカメラは、画像を生成するための対物レンズ(10)と、
光学スペクトルの異なる帯域を通過させるためのモザイク状フィルタ(30)と、
該フィルタを通過した異なる帯域で画像の画素を検出するように配置された1つ以上の
センサアレイ(40)とを有し、

画素の各々について、1つ以上のセンサアレイは、異なる帯域を検出するための一群の
センサ素子を有し、

該モザイクは、センサ上に集積された、対応する一群の異なる帯域のフィルタを有し、
センサの各々に異なる帯域の個々のものを設けており、画像は、異なる帯域で同時に検出

10

20

30

40

50

可能であり、

該フィルタは、ファブリペローフィルタであり、

該方法は、異なる帯域での画素の検出をセンサアレイから読み出すステップ(410)と、

該読み出しを処理して、各帯域について検出した画像コピーを構築するステップ(420)とを有する、方法。

【請求項10】

該読み出しを処理して、不要な次数を検出し、これらを除去するステップ(425)を有する請求項9記載の方法。

【請求項11】

製造時にスペクトルカメラを構成する方法であって、

該スペクトルカメラは、画像を生成するための対物レンズ(10)と、

光学スペクトルの異なる帯域を通過させるためのモザイク状フィルタ(30)と、

該フィルタを通過した異なる帯域で画像の画素を検出するように配置された1つ以上のセンサアレイ(40)とを有し、

画素の各々について、1つ以上のセンサアレイは、異なる帯域を検出するための一群のセンサを有し、

該モザイクは、センサ上に集積された、対応する一群の異なる帯域のフィルタを有し、センサの各々に異なる帯域の個々のものを設けており、画像は、異なる帯域で同時に検出可能であり、

該フィルタは、ファブリペローフィルタであり、

該方法は、使用する帯域を選択し、群についてこれらの空間配置を選択するステップと、

選択した帯域およびこれらの空間配置に従ってセンサアレイ上に層を形成することによって、集積フィルタを製作するステップとを有する、方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、スペクトルカメラに関し、こうしたカメラを構成する方法、およびこうしたカメラを動作させる方法に関する。

【背景技術】

【0002】

幾つかのカメラが知られており、あるものはマルチスペクトルまたはハイパースペクトルイメージングシステムとも称される。ハイパースペクトルイメージングとは、電磁スペクトルから情報を収集して処理するイメージング手法を参照する。人間の眼は、可視光だけを見ることができるが、ハイパースペクトルイメージングシステムは、可視光および紫外から赤外を見ることができる。ハイパースペクトルセンサは、下記URLに記載されているように、電磁スペクトルのより大きな部分を用いて物体を観察する。

http://en.wikipedia.org/wiki/Hyperspectral_imaging

【0003】

特定の物体は、電磁スペクトルのこの部分において固有の「指紋」を残す。これらの「指紋」は、スペクトルシグネチャ(標識)として知られており、走査した物体を構成する材料の識別を可能にする。こうしたイメージングシステムのハイパースペクトル能力は、種々のタイプの物体を認識することが可能であり、これらの全てが人間の眼にとって同じ色に見えることがある。

【0004】

マルチスペクトルイメージングは、離散した幾分狭い帯域で幾つかの画像を取り扱うが、ハイパースペクトルイメージングは、連続したスペクトル範囲に渡って狭いスペクトル帯域でイメージングを取り扱う。それは、場面での全ての画素についてスペクトルを生成できる。VIS, NIR, SWIR, MWIRおよびLWIRをカバーする20個の離散

10

20

30

40

50

帯域を備えたセンサがマルチスペクトルと考えられ、一方、20個の帯域を備えた他のセンサが、500~700 nmの範囲を20個の10 nm幅帯域でカバーする場合、ハイパースペクトルと考えられるであろう。

【0005】

ハイパースペクトルセンサは、情報を「画像」のセットとして収集する。各画像が、ある範囲の電磁スペクトルを表しており、スペクトル帯域としても知られている。これらの画像はそれぞれ2つの空間次元を有しており、一連の異なるスペクトル帯域の画像が有効に積み重ねられてキューブ（立方体）を形成する場合、第3の次元はスペクトル次元にできる。こうした3次元のハイパースペクトルキューブが、追加の画像処理および解析にとって有用な表現となる。これらのセンサの精度は、典型的にはスペクトル分解能で測定され、これは、撮影したスペクトルの各帯域の幅である。スキャナーが多数のかなり狭い周波数幅で捕捉する場合、物体が少数の画素で撮影されたとしても、物体を識別することが可能である。しかしながら、空間分解能がスペクトル分解能に追加される要因である。画素が大きすぎる場合、複数の物体が同じ画素に撮影され、識別するのが困難になる。画素が小さすぎる場合、各センサセグメントで撮影されるエネルギーが低く、信号対ノイズ比が減少し、測定される特徴の信頼性を低下させる。

【0006】

現行のハイパースペクトルカメラは、ハイパースペクトルデータキューブまたは画像キューブを生成し、これは場面のx y面にある2D画像のスタックからなり、スタックの各画像は、異なる周波数またはスペクトルの帯域からの情報を含む。撮影されるスペクトル範囲は、可視光に限定されず、赤外（IR）及び/又は紫外（UV）に及ぶ。3D画像キューブは、本質的には2Dセンサであるセンサアレイを用いて、ハイパースペクトル撮像装置によって撮影される。従って、幾つかの走査方式が使用でき、キューブが多数のフレーム周期に渡って構築される。

【0007】

ライスキャナーまたはブッシュブルーム(push broom)システムが、2D場面の单一线を全てのスペクトル帯域で並列に撮影する。場面の全ての空間画素をカバーするために、このタイプのシステムは、例えば、スキャナーおよび場面の相対移動によって、異なるラインを時間に渡って走査する。ステアラー(starer)またはステアリング(staring)システムが、2Dセンサアレイを用いて一度に单一スペクトル帯域で完全な場面を撮影し、異なるスペクトル帯域に渡って走査し、3Dハイパースペクトル画像キューブを生成する。

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0008】

文献（Mathew, "Design and fabrication of a low-cost, multispectral imaging system"）から光学複製をセンサアレイ上に提供することが知られている。画像コピー間のクロストークが、センサ素子の幾つかを覆う物理的バリアによって制限される。この文献は、下記URLで入手可能であった。

<http://faculty.cua.edu/mathewss/journals/App1%20Opt%20V47%20N28%202008.pdf>

【0009】

こうした光学複製を用いた他の公知のデバイスが、Infotonics technology center製の"miniature snapshot multispectral imager"である。これもセンサアレイ上で画像コピー間に壁を有することによって、クロストークを回避している。

【課題を解決するための手段】

【0010】

本発明の目的は、改善した装置または方法を提供することである。

【0011】

第1態様が、独立請求項1に記載したようなイメージングシステム用の集積回路を提供する。これは、スペクトル出力を生成するためのスペクトルカメラを提供し、該カメラは

、画像を生成するための対物レンズと、光学スペクトルの異なる帯域を通過させるためのモザイク状フィルタと、該フィルタを通過した異なる帯域で画像の画素を検出するように配置された1つ以上のセンサアレイとを有し、

画素の各々について、1つ以上のセンサアレイは、異なる帯域を検出するための一群(cluster)のセンサ素子を有し、該モザイクは、対応する一群の異なる帯域のフィルタを有し、各フィルタは、センサ素子のうちの1つの上に集積され、画像は、スペクトル出力を供給するために異なる帯域で同時に検出可能である。ここで、フィルタは、ファブリペローフィルタである。

【0012】

フィルタが集積ファブリペロー型であることの効果は、これらが任意の所望の通過帯域を提供し、必要に応じて特に狭い通過帯域を提供し、高いスペクトル鮮明度を提供するように、設計および製造が可能であることである。こうしたパラメータが、空洞を形成する集積層の厚さおよび厚さの精度に大きく依存する。さらに、フィルタをセンサアレイ上に集積することによって、クロストークが低減できる。これは、フィルタとセンサアレイとの間に寄生空洞が存在しないためであり、センサに対するフィルタのアライメントがより容易に達成できる。

【0013】

任意の追加の特徴が追加または放棄でき、幾つかについてはより詳細に以下に記載している。幾つかのケースでは、ファブリペローフィルタの少なくとも幾つかが、1次のフィルタとすることができる。1次の動作は、より良好な狭帯域スペクトル形状、より良好な反射制御、および例えば、入射角への少ない依存性を提供する。

【0014】

幾つかのケースでは、スペクトルカメラは、個々の群の異なるフィルタに到達する光を均等化するためのフィルタの前に、光学的アンチエイリアシング(anti-aliasing)部を有してもよい。これは、所定の一群のセンサがわずかに異なる場所になることで生ずる、不要な画像アーチファクト(疑似画像)を回避するのに役立つ。

【0015】

アンチエイリアシング部は、 2×2 より多いセンサ素子に渡って延びる複屈折フィルタ、整合したアパーチャ絞りを備えたデフォーカス対物レンズ、および劣化した(degraded)対物レンズのうち何れか1つ以上を備えることができる。群の幾つかが、1つ以上の追加のセンサ素子、およびフィルタの他の不要な高次または低次のスペクトル応答に対応した帯域を検出するように配置された対応するフィルタを有してもよい。これは、こうした漏洩が後で補償することができ、より正確なスペクトル検出性能を可能にし、あるいは、他のフィルタがより緩和した仕様または許容誤差を有することができ、例えば、コストを低減できる。

【0016】

群の幾つかでの帯域の選択は、画像の種々の部分でどの通過帯域が検出されるか、画像の種々の部分でどのスペクトル範囲が検出されるか、画像の種々の部分でどのスペクトル分解能、空間分解能が検出されるか、種々の通過帯域でどの空間分解能が検出されるか、の何れか1つ以上について変動が存在するように配置できる。これは、色バランス取りを可能にし、あるいは、得られた画像キューブの異なる部分が、例えば、空間方向またはスペクトル方向により高い又は低い密度を有することが可能になる。

【0017】

スペクトルカメラは、異なるフィルタアレイを有する異なるセンサアレイを使用するために、センサアレイ上に集積されたフィルタアレイを交換することによって、使用時にフィルタアレイが再構成可能なように構成できる。これは、種々のスペクトル帯域またはフィルタの種々の空間配置を必要とする種々の用途に適合できる。

【0018】

スペクトルカメラは、複数の画像コピーをセンサアレイの異なる部分に投影するための光学複製部を有してもよい。これは、スペクトル分解能および空間分解能のトレードオフ

10

20

30

30

40

50

でより柔軟性を実現できる。

【0019】

他の態様が、スペクトル出力を生成するためにスペクトルカメラを動作させる方法を提供するものであり、該カメラは、画像を生成するための対物レンズと、光学スペクトルの異なる帯域を通過させるためのモザイク状フィルタと、該フィルタを通過した異なる帯域で画像の画素を検出するように配置された1つ以上のセンサアレイとを有し、

画素の各々について、1つ以上のセンサアレイは、異なる帯域を検出するための一群のセンサ素子を有し、該モザイクは、センサ上に集積された、対応する一群の異なる帯域のフィルタを有し、センサの各々に異なる帯域の個々のものを設けており、画像は、異なる帯域で同時に検出可能であり、

10

該フィルタは、ファブリペローフィルタであり、

該方法は、異なる帯域での画素の検出をセンサアレイから読み出すステップと、

該読み出しを処理して、各帯域について検出した画像コピーを構築(assemble)するステップとを有する。

【0020】

該読み出しを処理して、不要な次数を検出し、これらを除去するステップを有してもよい。

【0021】

他の態様が、製造時にスペクトルカメラを構成する方法を提供しており、該スペクトルカメラは、画像を生成するための対物レンズと、光学スペクトルの異なる帯域を通過させるためのモザイク状フィルタと、該フィルタを通過した異なる帯域で画像の画素を検出するように配置された1つ以上のセンサアレイとを有し、

20

画素の各々について、1つ以上のセンサアレイは、異なる帯域を検出するための一群のセンサを有し、該モザイクは、センサ上に集積された、対応する一群の異なる帯域のフィルタを有し、センサの各々に異なる帯域の個々のものを設けており、画像は、異なる帯域で同時に検出可能であり、

該フィルタは、ファブリペローフィルタであり、

該方法は、使用する帯域を選択し、群についてこれらの空間配置を選択するステップと、

選択した帯域およびこれらの空間配置に従ってセンサアレイ上に層を形成することによって、集積フィルタを製作するステップとを有する。

30

【0022】

追加の特徴の何れもが、共に組合せ可能であり、何れの態様とも組合せ可能である。他の利点は、特に他の先行技術に対して当業者に明らかになるであろう。多数の変形および変更が、本発明の請求から逸脱することなく行うことができる。従って、本発明の形態は、例示的なものに過ぎず、本発明の範囲を限定することを意図していないことを明確に理解すべきである。

【図面の簡単な説明】

【0023】

本発明がどのように具体化できるかについて、添付図面を参照して例を用いて説明する。

40

【0024】

【図1】一実施形態に係るスペクトルカメラの概略図を示す。

【図2】他の実施形態に係るスペクトルカメラの概略図を示す。

【図3】他の実施形態に係るスペクトルカメラの概略図を示す。

【図4】アンチエイリアシング部を備えたカメラの一部の概略図を示す。

【図5】読み出しの処理を備えた他の実施形態に係るスペクトルカメラの概略図を示す。

【図6】読み出しの処理を備えた他の実施形態に係るスペクトルカメラの概略図を示す。

【図7】集積フィルタを持つ交換可能なセンサアレイを備えた、他の実施形態に係るスペクトルカメラの概略図を示す。

50

- 【図8】通過帯域の異なる配置図を示す。
- 【図9】通過帯域の異なる配置図を示す。
- 【図10】通過帯域の異なる配置図を示す。
- 【図11】複数の画像コピーを有する一実施形態に係るカメラを示す。
- 【図12】カメラの動作方法でのステップを示す。
- 【図13】カメラの動作方法でのステップを示す。
- 【図14】製造時、こうしたカメラを構成する方法でのステップを示す。
- 【図15】製造時、こうしたカメラを構成する方法でのステップを示す。
- 【図16】ファブリペローフィルタアレイが集積されたセンサアレイの断面図を示す。

【発明を実施するための形態】

【0025】

本発明について特定の実施形態に関して一定の図面を参照して説明するが、本発明はこれに限定されず、請求項によってのみ限定される。記載した図面は、概略的なものに過ぎず、非限定的である。図面において、の幾つかの要素のサイズは、説明目的のために誇張したり、縮尺どおり描写していないことがある。

【0026】

用語「備える、含む(comprising)」を本説明および請求項で使用した場合、他の要素またはステップを除外していない。単数名詞を参照するときに不定冠詞または定冠詞（例えば、"a", "an", "the"）を使用した場合、他に言及していない限り、これは複数の当該名詞を含む。

【0027】

請求項に使用した用語「備える、含む(comprising)」は、以降に列挙した手段に限定されるものと解釈すべきでない。それは、他の要素またはステップを除外していない。

【0028】

説明した受信機の要素または部品は、任意の種類の情報処理を実施するための媒体中にエンコードされたロジックを備えてもよい。ロジックは、ディスクまたは他のコンピュータ読み取り可能な媒体中にエンコードされたソフトウェア、及び／又は特定用途向け集積回路（ASIC）、フィールド・プログラマブル・ゲート・アレイ（FPGA）、他のプロセッサ、ハードウェアなどにエンコードされた命令を含んでもよい。

【0029】

ソフトウェアへの参照は、プロセッサによって直接または間接的に実行可能である、任意の言語の任意のタイプのプログラムを包含できる。

【0030】

ロジック、ハードウェア、プロセッサまたは回路への参照は、任意の程度に集積化された任意の種類のロジックまたはアナログ回路を包含でき、汎用プロセッサ、デジタル信号プロセッサ、ASIC、FPGA、ディスクリート部品、またはトランジスタロジックゲートなどに限定されない。

【0031】

光学への参照は、人間の可視波長範囲、赤外波長、および紫外帯域まで延びたより短い波長内にある波長を少なくとも包含することを意図しており、光学フィルタの厚さの製造変動に対する敏感さがより顕著である。幾つかの実施形態では、光学フィルタおよび光学センサは、これらの波長の任意のサブセット、例えば、可視波長だけ、または可視波長およびその短い波長である範囲に限定してもよい。

【0032】

光学フィルタアレイまたは光学センサアレイへの参照は、2次元アレイ、矩形状または非矩形状のアレイ、不等間隔アレイ、非平面アレイなどを包含することを意図している。

【0033】

集積回路への参照は、例えば、センサアレイ上にモノリシックに集積された光学フィルタアレイを有するダイ(die)またはパッケージダイを少なくとも包含することを意図している。

10

20

30

40

50

【 0 0 3 4 】

波長スペクトルへの参照は、連続スペクトルまたはほぼ隣接したディスクリート帯域の範囲を包含することを意図している。

【 0 0 3 5 】

さらに、説明での用語「第1」「第2」「第3」などは、類似の要素を区別するために使用しており、必ずしも順次的、時間的な順番を記述するためではない。こうした用いた用語は、適切な状況下で交換可能であり、ここで説明した本発明の実施形態は、ここで説明したり図示したものとは別の順番で動作可能であると理解すべきである。

【 0 0 3 6 】

さらに、説明での用語「上(top)」、「下(bottom)」、「の上に(over)」、「の下に(un
der)」等は、説明目的で使用しており、必ずしも相対的な位置を記述するためのものでない。こうして用いた用語は、適切な状況下で交換可能であって、ここで説明した本発明の実施形態がここで説明または図示した以外の他の向きで動作可能であると理解すべきである。

10

【 0 0 3 7 】

本明細書を通じて「一実施形態」または「実施形態」への参照は、該実施形態に関連して説明した特定の特徴、構造または特性が、本発明の少なくとも1つの実施形態に含まれることを意味する。こうして本明細書を通じて種々の場所での用語「一実施形態において」または「実施形態において」の出現は、必ずしも全て同じ実施形態を参照していないが、そういうこともある。さらに、特定の特徴、構造または特性は、1つ又はそれ以上の実施形態において、当業者に明らかなように本開示からいざれか適切な方法で組み合わせてもよい。

20

【 0 0 3 8 】

同様に、本発明の例示の実施形態の説明において、本開示を合理化し、種々の発明の態様の1つ以上の理解を支援する目的で、本発明の種々の特徴が単一の実施形態、図面またはその説明において時には一緒にグループ化されることを理解すべきである。しかしながら、この開示方法は、請求項の発明が、各請求項に明示的に記載されたものより多くの特徴を必要とするという意図を反映していると解釈すべきでない。むしろ、下記の請求項が反映しているように、発明の態様が、単一の前述した実施形態の全ての特徴より少ない点にある。こうして詳細な説明に続く請求項は、ここではこの詳細な説明に明示的に組み込まれており、各請求項は本発明の別個の実施形態としてそれ自体に立脚している。

30

【 0 0 3 9 】

さらに、ここで説明した幾つかの実施形態が他の実施形態に含まれる幾つかの別でない特徴を含むとともに、異なる実施形態の特徴の組合せが、当業者によって理解されるように、本発明の範囲内にあって異なる実施形態を形成することを意味する。例えば、下記の請求項において、請求した実施形態のいずれもがいずれの組合せで使用できる。

【 0 0 4 0 】

ここに用意した説明において、多数の特定の詳細が記述されている。しかしながら、本発明の実施形態が、これらの特定の詳細なしで実施できることは理解されよう。例えば、本説明の理解を曖昧にしないように、周知の方法、構造および手法は詳細には示していない。

40

【 0 0 4 1 】

本発明について、本発明の幾つかの実施形態の詳細な説明によって説明する。本発明の他の実施形態が、本発明の技術的教示から逸脱することなく、当業者の知識に従って構成可能であることは明らかであり、本発明は、添付の請求項の用語によってのみ限定される。

【 0 0 4 2 】

(実施形態によって対処される課題の概要)

ハイパースペクトルイメージングシステムまたはカメラが、種々のディスクリート部品、例えば、入射する電磁スペクトルを受光するための光学サブシステム、受光したスペク

50

トル内で種々の帯域を生成するためのフィルタアレイ、種々の帯域を検出するための画像センサアレイなどで構成できる。光学サブシステムは、単一または種々のレンズ、アパーチャ及び／又はスリットの組合せで構成できる。フィルタアレイは、1つ以上のプリズム、グレーティング、光ファイバ、音響光学可変同調フィルタ、液晶可変同調フィルタなど、またはこれらの組合せで構成できる。

【0043】

スペクトルイメージングの特徴は、全体スペクトルが各ポイントで取得され、オペレータは、サンプルの予備知識を必要とせず、後処理がデータセットから全ての利用可能な情報の掘り出しを可能にすることである。短所はコストと複雑さである。高速なコンピュータ、敏感な検出器、大きなデータストレージ容量が、ハイパースペクトルデータを解析するために必要になる。著しいデータストレージ容量が必要であり、ハイパースペクトルキューブが大きな多次元データセットであり、数百メガバイトを超える可能性があるためである。

10

【0044】

スペクトル情報のセンシングが、典型的には分散光学素子またはスペクトルフィルタを用いて達成される。プリズムまたはグレーティングなどの分散光学素子は、光のスループットを制限し、多重フレームに渡って時間がかかる空間的走査を必要とし、これは一度に1つのスペクトルおよび1つの空間次元だけを検知するためである。スペクトルフィルタは、1つの波長で2つの空間次元（幅Wおよび高さH）を撮影し、多重フレームに渡ってスペクトル走査を必要とし、大きなスイッチングオーバーヘッドに起因して著しい量の時間を必要とする。

20

【0045】

標準的な光学系を用いてNB個の波長を撮影するためには、場面は、NB個のフレームに渡ってセンサの前方で空間的に走査する必要があり、各位置がNB個の異なるフィルタを用いて検知されるようにする。1つのフレーム周期で全キューブを撮影することは、全部で3次元のキューブを2次元のセンサにマッピングする必要がある。同様に、各空間ポイントを何とかしてセンサアレイにおいてNB回複製する必要があり、その結果、NB個の異なるスペクトルサンプルが検知される。

30

【0046】

（図1 一実施形態に係るスペクトルカメラ）

後述のような実施形態が、3DHSIキューブのより高速な取得を可能にし、 $W \times H \times NB$ サイズのキューブ（但し、NBは通過帯域の数）内の各ポイントをセンサアレイ上のセンサ素子により効率的にマッピングすることによって、スナップショットイメージングを可能にする。場面で検知された $W \times H$ 個の空間ポイントの各々が、センサアレイ上で、それぞれ異なるフィルタ通過帯域を有する一群のセンサ素子に渡って光学的に広がっている。センサアレイ上で制限されたスペースに起因して、通常、空間分解能とスペクトル分解能との間のトレードオフが存在するようになる。

40

【0047】

図1は、一実施形態に係るカメラの概略図を示す。対物レンズ10が、画像をセンサアレイ40の上に投影する。フィルタアレイ30がセンサアレイの上に集積される。センサアレイは、各画素について一群のセンサ素子を有する。フィルタは、異なる帯域のモザイクとして配置され、各センサ素子につき1つである。従って、一群のフィルタが存在する。その配置は、ハイパーバイヤ(hyperbayer)配置として見ることができる。それにより、画像を複製するためのレンズを必要とせずに、異なる帯域での画像コピーが検出可能になる。画像は、センサアレイ上にセンサ素子のピッチより僅かに低い空間分解能で投影可能であり、その結果、一群のセンサ素子が一画素ごとに一様に照射される。このことは、必要に応じてエイリアシング(aliasing)を回避する。幾つかのケースでは、エイリアシングは、それを回避しようとせずに許容してもよい。

【0048】

画像センサアレイと共に集積化されたフィルタアレイを有することが望ましい。この集

50

積コンポーネントまたはモジュールは、光学サブシステムと組合せ可能であり、完全なカメラシステムを形成する。センサアレイは、典型的には、モノリシックに集積されたフィルタアレイを備えた集積回路であり、分光ユニットと称してもよい。長い収集時間の問題は、例えば、国際公開第2011064403号(IMEC)に記載しているようなHSIウェッジ技術によって形成された、高い光のスループットの集積フィルタを用いて部分的に克服できる。こうしたカメラの実用的な商業的実装は、コンパクトで、低いコストで製造可能であり、再構成可能である必要がある。特定の態様では、プロセス技術の態様が、システム統合化および画像処理技術と組合せ可能であり、集積回路製造プロセス条件を緩和する。

【0049】

10

(図2 他の実施形態に係るスペクトルカメラ)

図2は、図1と同様に、他の実施形態に係るスペクトルカメラの概略図を示しており、光の経路の詳細な表現とともに特定の実装を示す。センサアレイ上の画像セグメントのコピーの平面図も示しており、ここから検出され、読み出され、データバッファに画像キューブとして保存される。単一画像が存在することを示す、モザイク状フィルタの配置の平面図もあり、各画素が異なる帯域の一群のセンサ素子によって検出されるため、複数の画僧コピーが生成できる。センサアレイからは、異なる帯域での各画素の複数の値が検出され、読み出され、データバッファに再構築された画像キューブとして保存できる。前述のように、光学複製レンズなしで画像をセンサアレイ40の上に投影する対物レンズ10が存在する。

20

【0050】

図示した配置の幾つかの実用的な効果は、下記のようになる。

- ・対物レンズは、ズーム動作、光のスループットおよび再合焦動作の柔軟性を実現できる。
- ・標準のレンズマウントと互換性がある。
- ・完全なセンサ使用が理論的に可能である。

【0051】

(図3 センサアレイの一部の拡大図)

図3は、図2のセンサアレイの一部の拡大図を示す。これは、異なる帯域の群の繰り返しパターンを示す集積フィルタを備えたセンサアレイの一部を示す。一群の例をさらに拡大して示している。一画素では、帯域1~4, 5~8, 9~12, 13~16をそれぞれ備えた4つの行に配置された、異なる帯域の16個のフィルタからなるブロックが存在する。

30

【0052】

(図4 アンチエイリアシング部を有する他の実施形態)

図4は、図1と同様なカメラの他の例の概略図を示す。アンチエイリアシング部50が、光経路に配置され、センサアレイ上の群に渡って各画素の広がりを実行する。これは、種々の方法、例えば、光学フィルタリング、または対物レンズのデフォーカスなどで実装できる。

40

【0053】

(図5 画像を再構築するためのプロセッサ)

図5は、図1と同様な他の実施形態に係るスペクトルカメラの概略図を示し、画像を各帯域で再構築するためのプロセッサ200の追加を伴い、センサアレイの読み出し後、帯域間予測機構を用いるため、空間群(cluster)周波数より高い空間分解能でスペクトルデータを推定する。プロセッサは、カメラの中に組み込んだり、あるいは外部の画像処理システムの一部にできる。これは、図3に示したフィルタ配置でセンサアレイから読み出した各帯域について、画像を再構築するために使用できる。プロセッサは、データバッファのためのアドレス発生器の形態で実装でき、センサアレイがデータバッファ中に読み出された場合、適切なアドレスが発生して、1つの帯域についての画像の一部を单一フレームに対応したアドレスに保存するように構成される。

50

【0054】

(図6 次数除去のためのプロセッサ)

図6は、図1と同様な他の実施形態に係るスペクトルカメラの概略図を示し、次数除去のためのプロセッサ210の追加を伴う。これは、フィルタ帯域の選択が、同じ群または隣接する群での他のフィルタの不要な2次または他の次数のスペクトル応答と一致するように配置された幾つかの特別な帯域を含む場合に有用である。そして、特別な通過帯域は、不要な信号の量を検出するために使用でき、これは、一次の値を提供し、不要な2次信号も有することを意図したセンサ素子から読み出された値から引き算できる。幾つかのケースでは、センサは、より高次の波長に対して本質的に感度がなく(例えば、800~1000nmの範囲の帯域を除いて)、多くの場合、全ての帯域に感受性がない。プロセッサは、カメラの中に組み込んだり、あるいは外部の画像処理システムの一部にできる。

10

【0055】

(図7 集積フィルタを変えるための交換可能なセンサアレイ)

図7は、図1と同様に、集積フィルタを持つ交換可能なセンサアレイ42を備えた、他の実施形態に係るスペクトルカメラの概略図を示す。このケースでは、交換は、交換可能なセンサアレイを旋回軸41の周りに回転させて、元のセンサアレイ40の位置を占めるようにすることによって実施できる。原理上は他の配置が想定できる。例えば、センサアレイを移動させるのではなく、光学経路が交換可能なセンサアレイへ移動できたり、あるいは、交換可能なアレイは回転ではなくスライドできるものである。任意の数の異なるセンサアレイが旋回軸に固定できる。幾つかのケースでは、必要に応じて、図11に示すようなレンズアレイなどの光学複製機が交換でき、必要に応じて、画像コピーのレイアウトまたはこれらの倍率が変化できるものである。

20

【0056】

(図8~図10 通過帯域パターンの他の例)

図8は、符号1~9を付与した3行3個の異なる通過帯域を持つ一群のフィルタの一例を示す。通過帯域の中心値は、各帯域ごとに列挙している。これは、図3の例とは、群のサイズの点で相違しており、このケースでは、異なる帯域についてスペクトル分解能の変動を提供するように帯域が選択されている。隣接する帯域間の差は50nmであるが、例外として帯域4, 5, 6, 7, 8は、例えば、隣接する帯域間の差が15nmまたはそれ以下である。これは、スペクトルのこの部分でより良好なスペクトル分解能を提供する。

30

【0057】

図9は、このケースで2つのタイプの群が存在する点を除いて、図8と同様な他の例を示す。第1のものは、帯域1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9を用いて画像の周辺について選択された帯域を有し、一方、画像の中央部については、帯域10~18として付与された異なる帯域が選択される。そのため、これは、画像の異なる部分で選択された帯域の変動の一例である。

【0058】

図10は、群が2×2のパターンを有し、代替の群がこれらの帯域の選択の点で相違しており、そのため繰り返しが4×4のパターンである点を除いて、図8と同様な他の例を示す。このケースでは、7つの帯域が存在し、帯域1, 2, 3が繰り返しで4回現れており、一方、帯域4, 5, 6, 7が1回だけ現れている。よって、判るように、帯域1, 2, 3のいずれかは、1つの介在素子だけを伴って生じ、一方、他の帯域は、これらの帯域の隣接するものの間にある3つの介在素子を伴って生ずる。よって、画素が2×2の群に渡ってそれぞれ広がる場合、帯域4, 5, 6, 7での完全な分解能の画像サンプリングが存在しないことになる。このことは、帯域間予測機構が適用できない限り、これらの帯域での空間分解能が低下することを意味する。

40

【0059】

(図11 画像の光学複製)

図11は、光学複製(20)のためのレンズまたはミラーが存在しており、複数の画像コピーがセンサアレイの異なる部分に投影される点を除いて、図1のもの同様な配置を示

50

す。これにより、異なる倍率を実現でき、または画像の同じ部分が、異なる帯域または分解能で2回検出できるようになる。画像コピーの境界は、視野絞りまたは物理的バリアによって設定してもよいであろう。

【0060】

(光学的減衰(fall-off)およびモジュール感度の設計)

画像センサアレイおよびフィルタ構造の両方からなる集積モジュールを設計する場合、相互コンポーネント最適化を行うことができる。低コスト及び/又はコンパクトなシステムを目標とするモジュールでは、より低品質の光学系が予想される。この意味で対処できる1つの影響が、口径食である。口径食は、画像中心と比べて周辺での画像の輝度または彩度の低下である。この影響が、ファブリペローフィルタおよび画像センサの波長依存の効率と連結した場合、波長依存の拳動を強化する代わりに、波長依存の拳動を平坦化するために両方の影響を共に最適化できる。

【0061】

口径食およびセンサ感度の両方の影響が、フィルタの特定の配置でモジュールの効率に影響を与える。感度を平坦化し、両方の影響のこの追加の拳動を克服するためには、フィルタの配置の適切な選択およびレンズアレイの設計が、両方の影響を考慮して行うことができる。これは、必要に応じて、用途が許容すれば、照明プロファイルと組合せが可能である。

【0062】

前述の段落で議論したように、ハイパースペクトルイメージングの設計の一部は、画像センサアレイの上での種々のフィルタの配置である。一般に、設計プロセスは、下記の部分に区分できる。

1. 目標とする波長範囲の選択
2. 当該範囲のための画像センサアレイの選択
3. 目標とするスペクトルサンプリング(そして、スペクトル分解能)の選択
4. レンズアレイを設計することによって画像コピーの設計
5. 異なるファブリペローフィルタおよびアレイでのこれらの配置の設計

【0063】

(図12と図13 カメラの動作方法でのステップ)

図12と図13は、カメラの動作方法でのステップを示す。図12において、あるケースにおいて必要に応じて、例えば、対物レンズまたは他の光学部品の機械的調整、あるいはセンサアレイの場所の調整によって、画像コピーの輪郭を設定する予備的な位置合わせ(registration)を示していない。ステップ410は、センサアレイから、1つのフレーム時間内で、種々の通過帯域で各画素の検出信号の読み出しである。ステップ420は、これらの信号を読み出して、当該時刻または多数の時刻について画像キューブの再構築を表現するデータベースでの値として保存する。図13は、図12と同様であり、この読み出しを処理し、不要な次数の信号量を検出し、上述したように、画素値の幾つかからの引き算によってこうした不要成分を除去するステップ425を追加している。

【0064】

記載した実施形態の何れも、空間走査機構を使用して、連続したフレーム周期で視野または視野の角度位置を変化させる場合、多重フレーム時間に渡って追加のサンプリングが可能である。これは、画像キューブを拡大でき、あるいは、空間方向での密度を高めることができる。

【0065】

(図14と図15 製造時にカメラを構成する方法)

図14は、製造時、こうしたカメラを構成する方法でのステップを示す。ステップ510は、通過帯域を選択し、各画素について群内での通過帯域の空間配置を選択することを示す。ステップ520は、通過帯域およびこれらの空間配置に従って、集積フィルタの層を製造することを示す。図15は、ステップ510をステップ515で置換している点を除いて図14と同様であるが、通過帯域およびこれらの空間配置の選択は、画像キューブ

の異なる部分でどの通過帯域が検出されるかの変動、あるいは画像キューブの異なる部分における検出の空間分解能またはスペクトル分解能の変動を有するようにしている。

【0066】

(図16 集積されたファブリペローフィルタ)

図16は、ファブリペローフィルタアレイ31が集積されたセンサアレイ40の断面図を示す。これは、上部半ミラーコーティング33と、下部半ミラーコーティング32を有する。部品間に隙間を示しているが、これは明確さのためであり、実際には隙間は存在しない。この部分の例のより詳細について説明する。

【0067】

(半導体プロセス)

フィルタアレイは、半導体プロセス技術を用いて、画像センサアレイとともに集積可能であり、即ち、分光ユニットは、半導体プロセス技術およびプロセス工程を用いて、画像センサアレイを含む基板上で後処理で設けられる。こうした半導体技術の例が相補型金属酸化膜半導体(CMOS)プロセスであり、ここでは画像センサアレイはCMOSセンサであり、そして、電荷結合素子(CCD)プロセスであり、ここでは画像センサアレイはCCDセンサである。これらの製造技術は、集積電子回路を製造するのに理想的に適している。こうしたモノリシック集積化は、分光ユニットを基板に取り付けるためにインターフェース層が必要でないことから、低コストでの製造、そしてより高性能を提供することが可能になる。よって、迷光の影響がかなり減少する。

【0068】

大きい範囲のテクノロジー世代を前提とすると、大きなクリティカル寸法(CD)、例えば、130nmを有する最も低コストのテクノロジーでセンサを製造することを選択でき、その結果、画像センサアレイのより大きな画素およびより小さな空間分解能が得られる。代替として、より小さなクリティカル寸法(CD)、例えば、45nmを有するより高いコストのテクノロジーで画像センサアレイを製造することを選択でき、その結果、画像センサアレイのより小さな画素およびより高い空間分解能が得られる。

【0069】

画像センサアレイは、表面照射型センサとすることことができ、フィルタアレイは、センサを備えた基板の上部に後処理で設けられる。必要に応じて、この基板は後で薄くし、基板のバルクを除去し、画像センサアレイおよびこれとモノリシックに集積された分光ユニットを含む薄いスライスとする。代替として、画像センサアレイは、裏面照射型センサとすることことができ、最初にセンサを備えた基板を裏面から前方へ薄くする。薄くした基板の裏面において、分光ユニットが後処理で設けられる。

【0070】

任意の次数のファブリペローフィルタが製造でき使用できるが、好ましくは、1次のファブリペローフィルタだけを画像センサアレイ上に形成して、より高次の成分を除去及び/又は阻止するための複雑さを低減している。1次のファブリペローフィルタを備えた、モノリシックに集積されたハイパースペクトルイメージングシステムは、典型的には、光学サブシステムにおいて集光レンズを必要としない。

【0071】

光学サブシステム、モノリシックに集積されたフィルタアレイおよび画像センサアレイを備えた完全なハイパースペクトルイメージングシステムの例が開示される。これらの完全なイメージングシステムは、モノリシック集積の利点を活用しており、光学サブシステムを設計する際の自由度を与える。

【0072】

フィルタの設計、例えば、フィルタの空洞長を定義する厚さは、チップ上の特定のフィルタの場所を考慮して、到来する電磁スペクトルの入射角の変動依存性を低減できる。

【0073】

フィルタは、画像センサアレイ上に後処理で設けられ、全てのフィルタは、画像センサアレイの行(row)または列(column)と整列している。

10

20

30

40

50

【0074】

フィルタは、モノリシックに集積でき、フィルタ構造が画像センサの上に直接に後処理で設けられることを意味する。この集積化は、別個に製造し、後で撮像器と共に組み立てるフィルタ構造と比較して、極めて重要な利点および幾つかの結果を有する。モノリシック集積の利点は、標準的なCMOS製造工程によるコスト低減、迷光の低減であり、1次用の設計を可能にし、集光レンズの必要性を回避する。

【0075】

フィルタ構造が別個に製造され、そして画像センサと共に組み立ててハイパースペクトルモジュールとするハイブリッド集積と比較して、モノリシック集積にとって幾つかの利点がある。最初に、両方の生産シーケンスを組み合わせて1つの組合せフローにすることは、別個に製造され、後にセンサと共に組み立ててモジュールとするフィルタ構造のハイブリッド集積と比較した場合、全体の簡素化および生産コスト削減をもたらす。これは、特に、このフィルタの場合であって、フィルタ構造の後処理が、堆積、パターニングおよびエッチングなどのCMOS互換の製造工程だけを必要とするからである。これらの工程を画像センサの通常の生産フローに追加することによって、高価で、エラーが生じやすく、労働集約型のアセンブリ工程を防止できる。例えば、プラッギングスタックでの3層の酸化物およびアモルファスシリコン、127個の異なる空洞厚さ、約50ロットターンを備えたフィルタが必要であり、標準的なCMOS撮像器と比べて、20%前後の追加コストを与える。上部および下部ミラー層の堆積のためのロットターン数は、異なる層が同じツールにおいて交互に堆積可能である場合、低減できる。

10

20

【0076】

第2に、フィルタ構造を撮像器の画素上に直接に製造することによって、フォトンがフィルタから下方の画素に直接通過できる。表面照射型センサの場合、フォトンが最初にメタライゼーション層および幾つかの誘電体層を通過することになる。フィルタ構造を別個に生産し、画像センサの上に積み上げた場合、両方の構造の間に非機能的な層または隙間が常に存在するようになる。

【0077】

フィルタおよび基板の組合せが反転して、フィルタが支持基板と画像センサとの間に設置された場合でも、光は、最初に基板を通過し、そしてフィルタを通過し、最後に薄い空気または接着の隙間を通って、画像センサフォトダイオードに入射する。フィルタ構造を画像センサと組み合わせた場合、それが種々の層の間に空気または接着を有する相互の上部に積み上げられれば、フィルタ構造と下地の画素行との間のこの余分な基板は、特定の量の性能劣化を引き起こすことになる。その理由は下記に示す。

30

【0078】

1. クロストーク

特定画素の上にあるフィルタ構造を出射したフォトンが、隙間を横切って隣りの画素に入射する。この影響は、画素上へのフィルタの直接後処理によって隙間が減少または完全に除去された場合、大きく減少することになる。しかしながら、フィルタ自体の厚さの結果として、あるクロストークが存在し得る。一画素の上にあるフィルタに入射するフォトンが、フィルタを通過して隣りの画素に入射することがあるためである。これは、より薄いフィルタを設計し、入射角を制御することによって減少する。

40

【0079】

2. 迷光

余分な非機能的な層は、屈折率が整合していなければ、その境界上で余分な反射を引き起こし、よって、上述のクロストークに加えて余分な迷光を生じさせる。種々の入射角について、フィルタと画像センサの画素アレイとの間の有効距離Sを減少させることによって、迷光は減少する。より小さい距離S、例えば、1nmでは、迷光が進行する距離(D)は、通常の画素寸法(例えば、1~15μm)内である。これは、進行する光の距離Dが数十から数百画素の範囲に及ぶ、よりマクロ的な集積距離、例えば、1mm基板のケースではなく、空間分解能およびスペクトル分解能の深刻な劣化をもたらす。ある

50

ケースでは、距離 D は相当に大きくなり、光を画素上に再び集光させるために追加の集光レンズが必要になる。

【0080】

3. 迷光によって生ずる寄生ファブリペロー

さらに、前項目に示したように、フォトダイオードの上にある誘電体スタックおよび金属は、光の一部を反射する。不均一集積による隙間および空洞の下部ミラーとともに、これは、実際のものと干渉する寄生ファブリペローを形成する。このプロセスは、モノリシック集積を用いて最適化できる。撮像器内の誘電体層は、同様な材料（例えば、酸化物）に製作された下部プラッグスタックの一部となり、これらの層の幅に対してあまり敏感でないからである。

10

【0081】

画像センサ上に後処理で組み立てられるハイブリッドフィルタ構造がこの問題に悩まされる 1 つの重要な理由が、極めて薄いフィルタ構造の構築は、フィルタを機械的に支持し、積み重ねを可能にする（透明な）支持基板の追加の挿入を別個に必要とすることである。この層をフィルタと画像センサとの間に設置した場合、非機能的な隙間は、この層および、支持層と画像センサとの間に追加の空気または接着からなる。支持構造を上に設置した場合、それもまた追加の反射を発生することがあり、（例えば、反射防止コーティングを追加することによって）別個に最適化すべきであるが、フィルタと画像センサとの間に空気または接着の層が存在するようになる。これの全てが、上述したように、フィルタ構造を画像センサ上に直接に後処理で設けることによって不必要にできる。

20

【0082】

第 3 の利点が、モノリシック集積は、極めて正確な CMOS 製造手法と組み合わせて、かなり小さい厚さを持つフィルタ構造の構築を可能にすることである。後述するように、ファブリペローフィルタ構造は、空洞長を同調させることによって、特定の波長を選択するように設計される。より薄いフィルタは入射角に対してあまり感度がなく、それは非垂直入射においてフィルタ内の内部反射がカバーする距離が小さいからである。より厚いフィルタが、伝送ビームのより長い変位 D に悩まされることになり、10 mm 超に広がる。このことは、空間分解能およびスペクトル分解能での深刻な減少をもたらすものであり、フィルタを通過する光が画素の他の列または行に入射するからである。従って、このマクロ的なフィルタは集光レンズを必要とする。

30

【0083】

薄いフィルタは、これに対してかなり感度がなく、変位 D は、多くのケースでは、ほぼ最大の入射角および最小の画素サイズについて、画素寸法未満、即ち、好ましくは、1 ~ 10 nm の範囲に収まる。従来の生産手法は、フィルタ構造および画像センサのハイブリッド集積との組合せで、1 次のファブリペローフィルタを製造するのに必要な精度に到達できない。よって、より高次のファブリペロー構造を使用する必要がある。このケースでは、必要な次数だけを選択するために、追加のダイクロイックフィルタまたは他のフィルタをモジュールに追加する必要がある。これは、追加のエネルギー損失、追加のコスト、そして、減少した全体システムの最適性を生じさせる。

40

【0084】

最後に、ファブリペローフィルタが画像センサから離れてある距離に設置した場合、フィルタの出力は、レンズによって集光した場合、同心円の形態をとる位相差を示す。同心円は、異なる場所に建設的干渉および相殺的干渉を有する種々の干渉波の結果である。集光レンズは、マクロ的なフィルタに必要であり、フィルタ内部の反射によってカバーされる大きな距離のため、そして、これら全ての反射を 1 つの画素に再び集光するためである。

【0085】

開示した集積イメージングモジュールでは、フィルタ構造と画像センサとの間の距離は極めて小さく、フィルタが 1 次用に設計されているため、集光レンズの必要性がない。薄いフィルタは、この集光レンズを要しない。それは、内部反射がカバーする距離がかなり

50

小さく、提案したフィルタの場合、全ての光が1つの画素に入射するからである（極めて多数の内部反射の後は、単一画素のサイズを超える光線に残るエネルギーは無視できる）。位相差の結果である同心円は、依然としてそこにあるが、同じ画素内に全て集光されるようになり、これらの効果は当該画素の出力に全て統合される。

【0086】

能動IC、このケースでは画像センサ、の上部におけるフィルタ構造の直接後処理は、当該ICの汚染制限、機械的制限、温度制限および他の制限と適合すべきである。このことは、例えば、フィルタの製造で使用される工程のうち、下方の画像センサに損傷を与えるであろう材料またはプロセスを使用できるものはないことを意味する。

【0087】

後述するように、最も重要な制限の1つは、CMOS生産環境を考慮すると、利用可能な材料での制約である。提案したフィルタにおいて、材料選択は、標準的な材料を使用し、標準的なプロセスと完全に適合するように行なった。幾つかの材料、例えば、AuまたはAgを使用することが不可能であり、これらは種々の層およびツールの中に拡散する傾向があり、これにより電流の収量および将来の処理工程に悪影響を及ぼす。幾つかのケースでは、通常のプロセスラインの外部で堆積を行なった場合、そして、ツールを当該目的のために使用しただけの場合、こうした層が最終工程（上部層）として許容可能である。これは、最終工程としてのみ行なうことができ、ウエハは、その操作後に通常フローに入らないからである。

【0088】

材料選択に関連した他の制限が、プロセスにとって利用可能な温度収支(budget)または温度ウインドウである。画像センサに損傷を与えることなく後処理を実施するために。損傷を防止するには、プロセス工程の最大温度は、ある最大値、例えば、400を超えるべきでない。これもまた、設計に利用可能な材料および結晶化の選択肢を制限する。

【0089】

画像センサおよび別個に生産されたフィルタ構造を後にモジュールに組み立てるハイブリッド手法に関して、そこにはあまり自由度がない。モノリシック設計の場合、設計の全体を通じて制約を考慮する必要がある。画像センサ自体の設計の際に、特定の設計選択を行なって、フィルタのプロセスに対する制約条件を緩和する（例えば、後処理にとって許容される温度を上昇させる）場合、これも考慮できる。そして、これは、画像センサまたはフィルタ構造の代わりに、モジュールレベルでの最適化問題をもたらす。フィルタ構造への制約は、常に適用される。後で画像センサの上部に処理されるからである。

【0090】

（ファブリペローフィルタ）

画像センサの全画素は、特定の波長に対して感度を有する、それ自体の光学フィルタを有することができる。センサ上での種々の光学フィルタの編成は、その使用法に依存する。集積化できる種々のタイプのフィルタ、例えば、ダイクロイックフィルタが存在する。説明した例で使用したタイプは、ファブリペロー干渉計である。

【0091】

ファブリペローフィルタが、透明層（空洞と称する）および当該層の両側にある2つの反射面で製作される。ファブリペロー波長選択が、反射される空洞内で複数の光線を含み、これは、光の波長、半ミラー間の距離 l および入射角 θ に基づいて建設的干渉および相殺的干渉を生じさせる。（b）より高次も選択され、これは次数選択の問題をもたらす。フィルタ動作は、この周知のファブリペロー原理に基づいており、各フィルタの高さが、所望の通過帯域に同調するように選択される。各フィルタが共振空洞によって形成され、その共振周波数がフィルタの高さによって決定される。空洞の上部および下部において、光線を部分的に反射する半透明ミラーが設置される。反射のため、光路差が導入され、相殺的干渉および建設的干渉を生じさせる（入射する波長に依存する）。こうしたフィルタの原理および特性のより詳細が、上記の国際公開第2011064403号に記載している。

10

20

30

40

50

【0092】

(光学フィルタの設計)

反射面:

空洞の両側にある反射面の設計および性能は、ファブリペロー光学フィルタの性能にとって重要である。高いフィネス(finesse)、良好なスペクトル分解能を持つファブリペロー光学フィルタが、高反射ミラーを用いることによって得られる。第2の重要なミラーのパラメータがこれらの吸収であり、これはフィルタの効率を決定するためである。ファブリペロー光学フィルタの全範囲が特定の波長範囲に渡って構築する必要がある場合、これらの2つのパラメータ(反射率および吸収率)が、このスペクトル範囲に渡って可能な限り一定に収まることは有益である。このケースでは、波長範囲は、ファブリペローフィルタの空洞長だけを変化させることによって、カバー／サンプリングでき、材料およびミラー層は一定に維持できる。選択した波長範囲は、モジュールの第2の部品である、選択した画像センサの感度と整合する必要がある。

【0093】

モノリシック集積を提案する本手法は、特定の非標準的センサ設計を使用しており、コストを増加させ、速度を減少させる。CMOSセンサでのCMOS互換のプロセス工程への切り替えが集積化の問題を提起しており、それが、汚染および温度収支に起因して、例えば、材料選択に影響をもたらすからである。Agなどの金属が、下部ミラーに使用できない。最新のファブリペローフィルタは、Alを使用する必要があり、フィルタ品質または光学スループット(速度)の重大な減少を引き起こす。誘電体スタックが好ましいが、汚染レベルおよび温度収支が材料選択を制限する。

【0094】

選択した周波数範囲において必要なスペクトル範囲を得るために、プロセス適合した材料がn/kの正しい組合せを有することが必要である。低n材料を有するこれらの誘電体材料の例がSiO₂であり、nをさらに減少させるように調整することが可能である。高n材料の例が、アモルファスシリコンであり、プロセスパラメータ、例えば、温度および水素含有量の調整のため、減少した吸収率を有する。

【0095】

硬い酸化物が良好な許容範囲を有するが、標準のCMOSプロセスで許容されたものより高い温度の必要性のため、使用できない。

【0096】

こうした代替のミラーシステムの例が、(分散型)プラックスタックであり、2つのタイプの誘電体を2つ以上の材料(一方が低い屈折率を有し、もう一方が高い屈折率を有する)の交互配置したスタックに組み合わせることによって形成される。プラックスタックの第1の特性が、式(1)で与えられるように、その帯域幅であり、即ち、反射率がほぼ一定であるスペクトル範囲₀である。

【0097】

【数1】

$$\Delta\lambda_0 = \frac{4\lambda_0}{\pi} \arcsin\left(\frac{n_2 - n_1}{n_2 + n_1}\right) \quad (1)$$

【0098】

この式から、帯域幅₀は、中心波長₀および選択した材料の屈折率n₁, n₂の両方に依存することが判る。特定の中心波長付近で広いスペクトル範囲をカバーできるためには(例えば、700nm付近の600nmスペクトル範囲)、n₁とn₂の大きな差が必要になる。標準の半導体プロセスで使用される材料のリストから、SiO₂が最も低い屈折率のうちの1つ(1.46)および極めて低い吸収係数を有する。両方のパラメータが極めて大きなスペクトル範囲に渡って安定している。700nmの中心波長付近の600nmのスペクトル範囲(VNIR範囲)では、これは、プラックスタックでの第2材料

10

20

30

40

50

が理想的には、可能な限り 0 に近い吸収係数に加えて、6.4 に等しい屈折率を有する必要があることを意味する。プロセスフローと適合した、標準の IC プロセス材料で利用可能なこうした理想的な材料は存在せず、既存の材料を良好な屈折率およびより低い吸収のために適合させる必要がある。SiO₂ の屈折率は、多孔質(porous) にすることによって低くできる(1 の屈折率を有する空気と混合させる)。これは、同じスペクトル範囲および中心波長で、5 と等しい良好な製造可能な屈折率の必要性をもたらす。材料工学の他の例が、温度、水素の濃度などのプロセス(堆積)パラメータを変化させることによって、アモルファスシリコンの吸収率を低下させることである。

【0099】

【数2】

10

$$R = \left[\frac{n_0(n_2)^{2N} - n_s(n_1)^{2N}}{n_0(n_2)^{2N} + n_s(n_1)^{2N}} \right]^2 \quad (2)$$

【0100】

式(2)に示すように、こうしたプラグミラーの反射率 R は、誘電体層のペアの数によって容易に制御される。層が多くなるほど、反射率は高くなり、当該ミラーを用いて構築されるファブリペローフィルタのフィネスが高くなる。式(2)において、n₀ は周囲媒体の屈折率、n_s は基板の屈折率、n₁ は第1材料の屈折率、n₂ は第2材料の屈折率、N はプラグスタックでのペアの数である。

20

【0101】

分散型プラグスタックの第1の例が、700 nm 付近の中心波長で 540 nm ~ 1000 nm の範囲について、SiO₂ と人工アモルファスシリコンの組合せである。第2の例が、1500 nm の中心波長および 1000 nm の帯域幅、即ち、1000 nm ~ 2000 nm について、SiO₂ と SiGe の組合せである。ミラー層のためにプラグスタックを使用した結果が、光の反射の際ににおける追加の位相シフトである。

20

【0102】

使用の際、2次漏れの出現は、波長 λ_j 用に設計したファブリペローフィルタが、高次と称される λ_j の倍数である入射波長も通過させることの結果である。

30

【0103】

しかしながら、ファブリペローフィルタおよび下地の画像センサの両方が妥当な効率を有する波長範囲に入るこれらの高次の波長だけを考慮すべきである。

【0104】

(製造)

1D または 2D のファブリペローフィルタを製造するための製造方法が、連続的なパターニングおよびエッチング工程を含み、k 個の異なる厚さを製作するために、数多くの処理工程を必要とする。

【0105】

(画像センサの平面性)

良好に制御された状態で開始するために、フィルタ構造を構築する前に、画像センサは平坦化することが重要である。これは、堆積工程を用い、続いて、全ての凹凸を除去するために CMP(化学機械研磨) 工程を実施することによって行われる。こうすることによって、処理の残りは正確な B E O L 配置にもはや依存しない。この平坦化層の厚さおよび材料は、フィルタ構造の設計の際にある程度考慮できる。しかしながら、この層は、機能するフィルタ構造の一部ではなく、正しい材料変遷(屈折率にとって重要)が正しく考慮されている限り、フィルタ自体に対して大きな効果を有していない。ファブリペローフィルタがこの平坦化層の上に堆積されると、変動がウエハ全体に充分にゆっくりである限り(例えば、鋭いエッジがない)、この層の変動が上に伝搬することはない。CMP が、ウエハ全体にナノメートルスケールの平坦性および変動を持つ表面を生成できることから、

40

50

この条件は成就できる。

【0106】

(堆積許容誤差および他の変動)

ファブリペローフィルタの構成部品、即ち、プラックスタッフ層での堆積厚さおよび空洞の厚さの変動が、設計したフィルタと製造したフィルタとの間の不整合を生じさせる。空洞の厚さの変動の影響は、全てのフィルタの厚さがおおよそ等しい量だけ変化すると、理論的設計の左右へのスペクトル範囲のシフトを生じさせる点である。選択した波長でのこの広範囲シフトは、設計したフィルタ場所に対して上向きまたは下向きであり、設計パラメータの1つである通過帯域のスペクトル幅の小さな割合である場合は、許容できる。

【0107】

ウェハ幅の堆積許容誤差に加えて、エッチング許容誤差、他のダイ内部変動、そして、ダイ間変動が存在し得る。従来、これは、ビニング(binning)により、特定の波長範囲について特定のデバイスを選択することによって軽減される。

【0108】

区画化のために用いられるエッチングプロセスが無方向性のプロセスである場合、1つのフィルタと次のものとの間の遷移を形成する鋭いエッジが丸みを帯びるようになる。幾つかの実施形態では、各フィルタの幅は複数列のセンサ素子を覆うことができ、他の場合、1つまたは2つのセンサ素子を覆うことができ、この場合、こうした角の丸み付けが通過帯域に対してより多くの影響を有することがある。

【0109】

(アライメント許容誤差)

標準のI Cプロセス技術を用いた場合、画素当り数ミクロンの寸法を持つ画素の行/列の上のフィルタ構造のアライメントが充分に最新技術の可能性の範囲内にある。従って、トップレベルでのアライメントは、あまり重大ではない。

【0110】

(処理ハードウェア)

例えば、画像処理のための上述した方法ステップの幾つかが、ハードウェアの形態のロジックによって、あるいは、例えば、処理エンジン、例えば、マイクロプロセッサまたはプログラマブルロジックデバイス(P L D)、例えば、P L A(プログラマブルロジックアレイ)、P A L(プログラマブルアレイロジック)、F P G A(フィールドプログラマブルゲートアレイ)を用いたソフトウェアで実装してもよい。

【0111】

内蔵したプロセッサを備えた回路の例が、單一チップ上に他の部品とともに合体できる、内蔵プロセッサ周辺のV L S Iチップとして構築してもよい。

【0112】

代替として、他の適切なプロセッサが使用でき、これらは内蔵する必要はなく、例えば、米国インテル社によって供給されるペンティアム(登録商標)プロセッサである。ゼロウェイト状態のS R A Mメモリをオンチップで、そして、例えばキャッシュメモリとして設けてもよい。典型的には、I / O(入力/出力)インターフェースが、例えば、データネットワークを経由して、外部ストレージにアクセスするために設けられる。F I F Oバッファが、プロセッサをこれらのインターフェースを経由してデータ転送から切り離すために使用してもよい。インターフェースは、ネットワーク接続、即ち、適切なポートおよびネットワークアドレスを提供でき、例えば、インターフェースはネットワークカードの形態でもよい。

【0113】

(ソフトウェア)

ソフトウェアプログラムが、内部R O M(リードオンリメモリ)及び/又は何れか他の不揮発性メモリに保存してもよく、例えば、これらは外部メモリに保存してもよい。外部メモリへのアクセスは、必要に応じてアドレスバス、データバスおよびコントロールバスを備えた外部バスインターフェースを含む従来のハードウェアによって提供してもよい。本

10

20

30

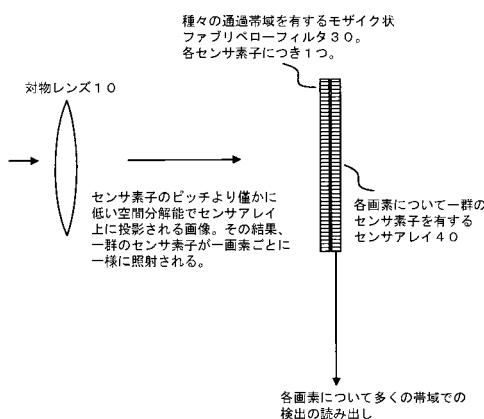
40

50

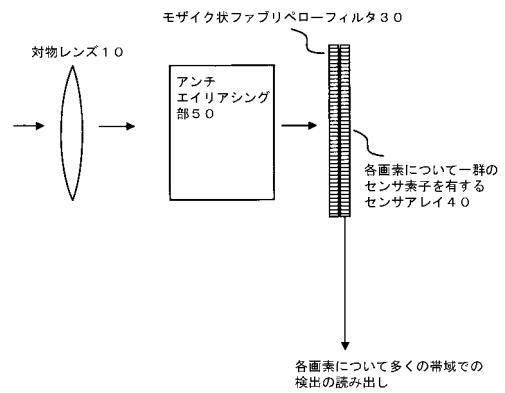
発明の方法および装置の特徴は、プロセッサ上で走るソフトウェアとして実装してもよい。特に本発明に係る画像処理は、プロセッサの適切なプログラミングによって実装してもよい。上述した方法および手順は、適切なコンピュータ言語、例えばC言語でコンピュータプログラムとして記述してもよく、そして内蔵した設計での特定プロセッサ用にコンパイルされる。例えば、ソフトウェアは、C言語で記述して、既知のコンパイラおよび既知のアセンブラーを用いてコンパイルしてもよい。ソフトウェアは、処理エンジン上で実行した場合、本発明の方法および画像プロセッサを提供するコードを有する。ソフトウェアプログラムは、任意の適切な機械読み取り可能な媒体、例えば、磁気ディスク、ディケット、固体メモリ、テープメモリ、CD-ROMまたはDVD-ROMなどの光ディスク等に保存してもよい。他の変形は、請求項の範囲内で想定できる。

10

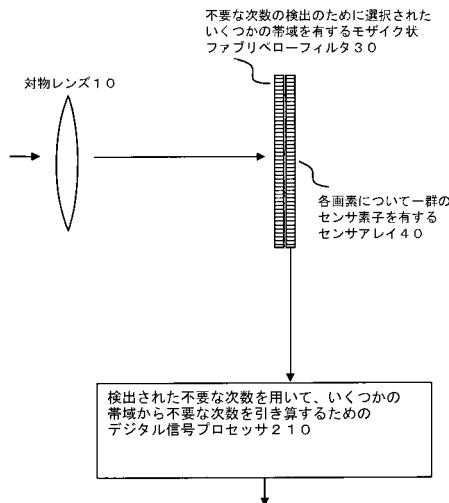
〔 図 1 〕



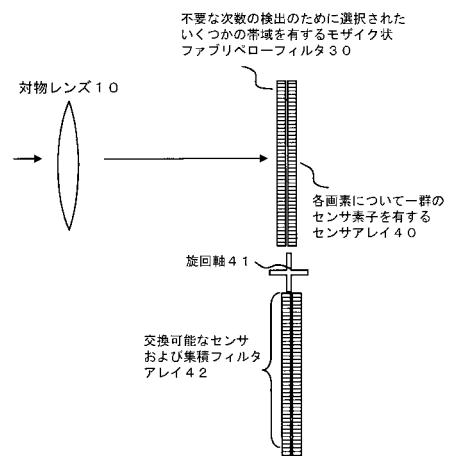
(四 4)



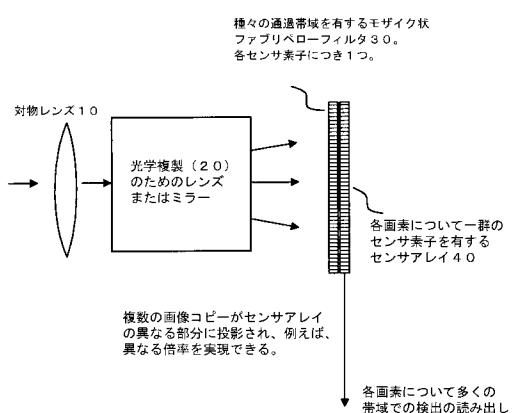
【図6】



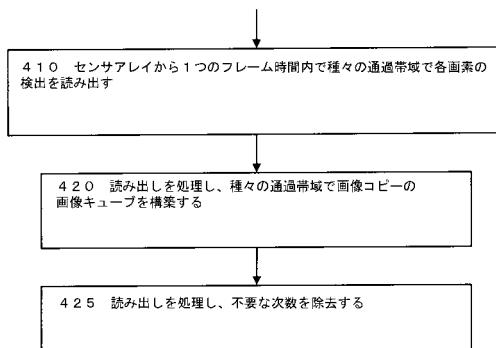
【図7】



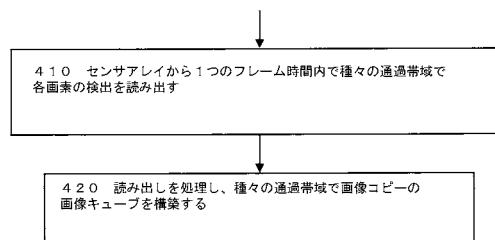
【図11】



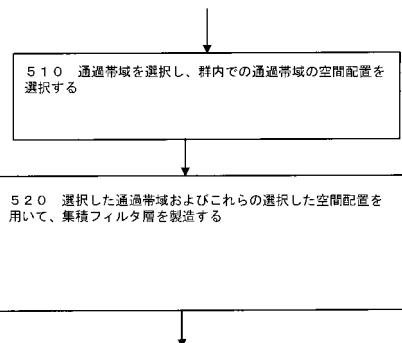
【図13】



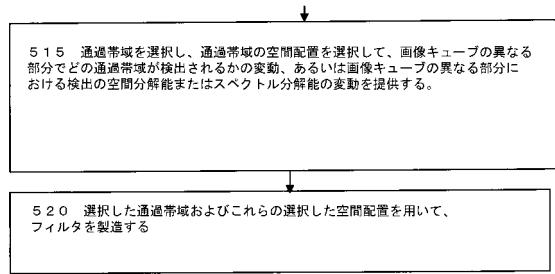
【図12】



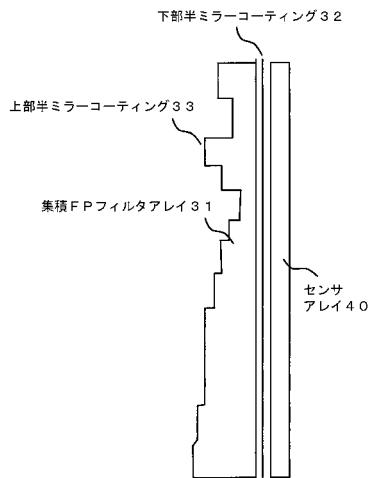
【図14】



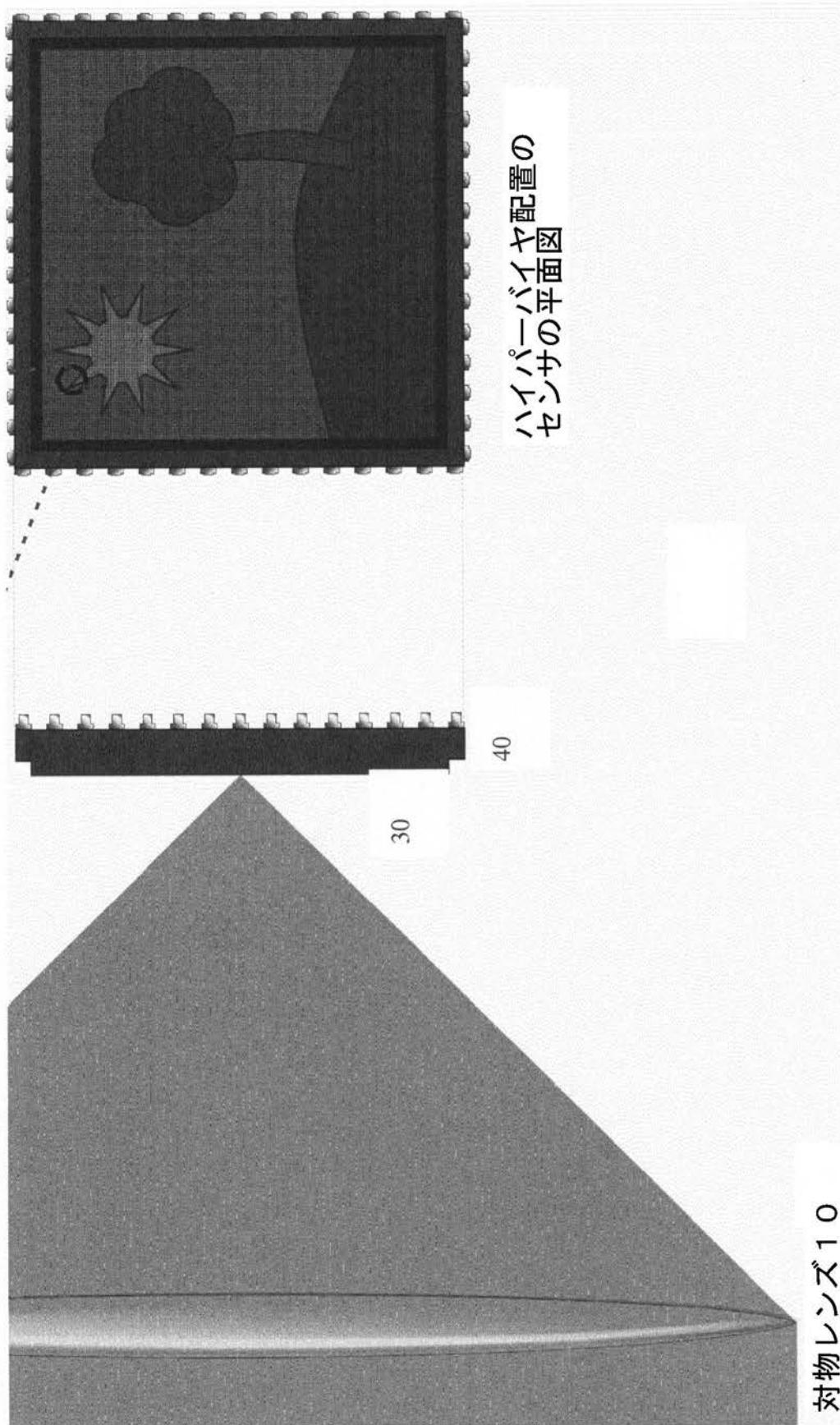
【図 1 5 】



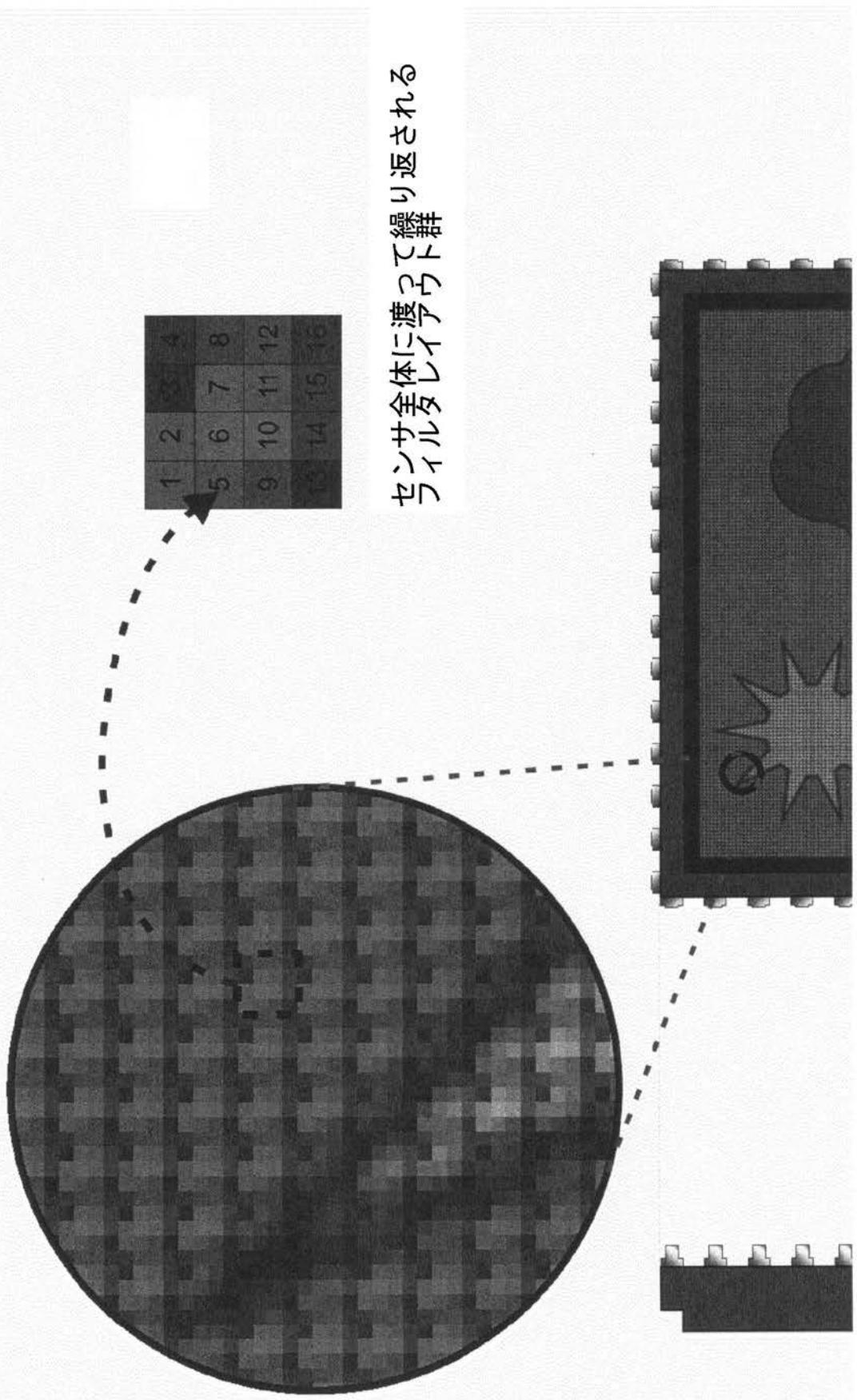
【図 1 6 】



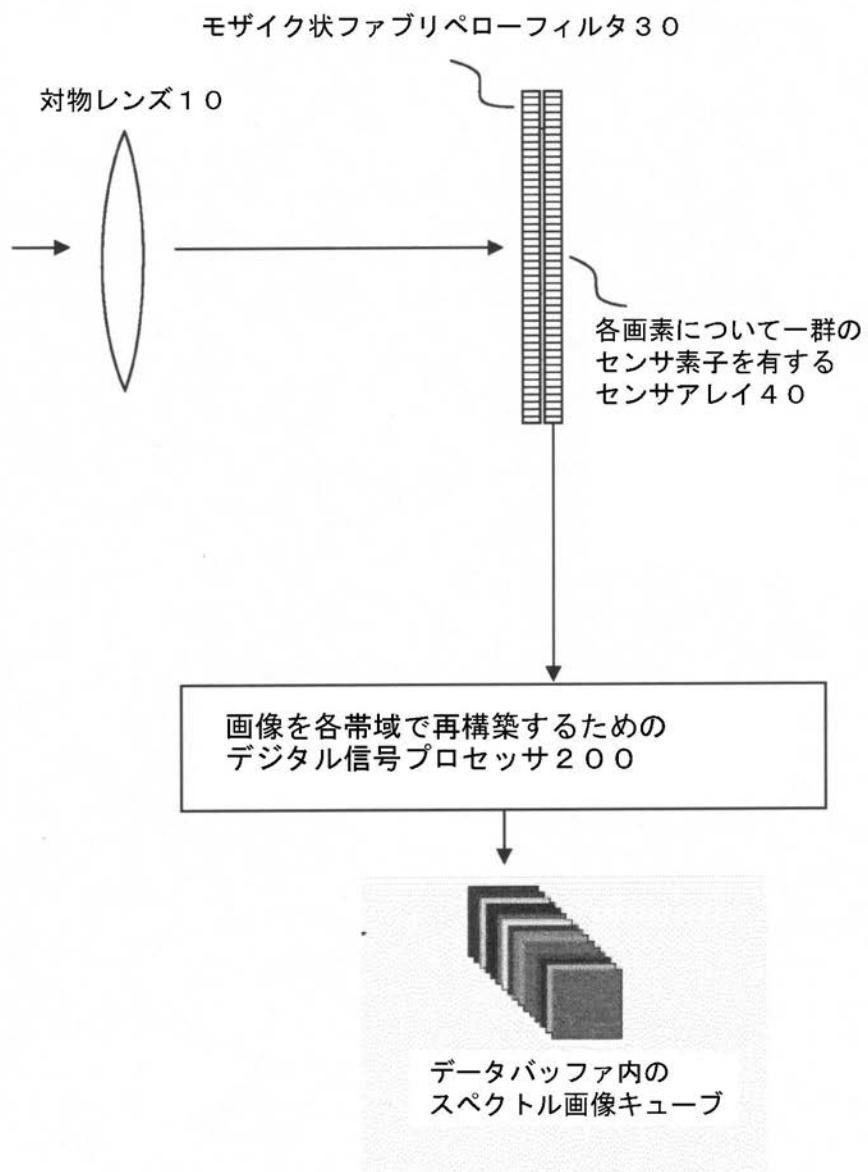
【図2】



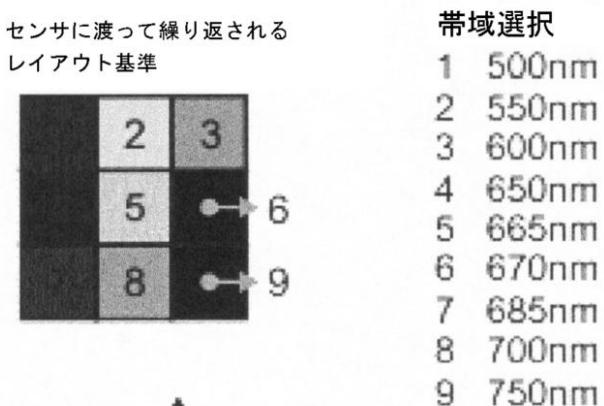
〔 図 3 〕



【図5】

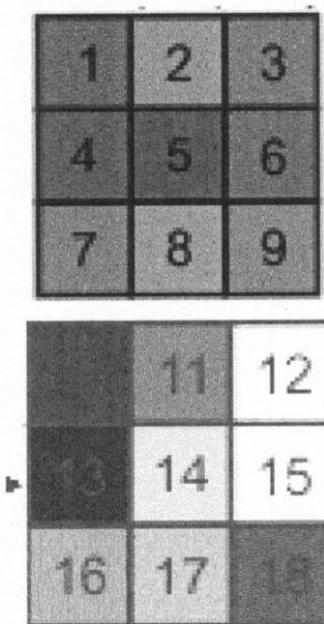


【図8】



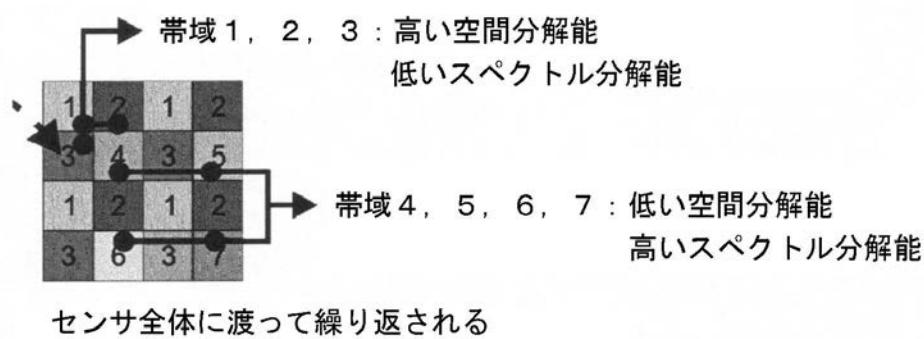
【図 9】

センサアレイの周辺部に渡って
繰り返される帯域選択



センサアレイの中央部に渡って
繰り返される異なる帯域選択

【図 10】



【国際調査報告】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2012/071509

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. G01J3/28 G01J3/02
ADD.

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)
G01J

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

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

EPO-Internal, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	US 5 729 011 A (SEKIGUCHI NOBUTOSHI [JP]) 17 March 1998 (1998-03-17) column 9, line 43 - column 10, line 6; figures 6,9 -----	1-11
Y	WO 2008/012715 A2 (KONINKL PHILIPS ELECTRONICS NV [NL]; KLEIHOST RICHARD PETRUS [NL]; ME) 31 January 2008 (2008-01-31) claim 2; figure 1 -----	1-11
Y	WO 2006/046898 A1 (FORSKARPATENT I UPPSALA AB [SE]; MUHAMMED HAMED HAMID [SE]; BERGHOLM F) 4 May 2006 (2006-05-04) page 1, paragraph 1; figures 1,6,8,11 ----- -/-	1-11

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

Date of mailing of the international search report

20 February 2013

01/03/2013

Name and mailing address of the ISA/
European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Schmidt, Charlotte

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2012/071509

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 5 479 015 A (RUDMAN STANLEY [US] ET AL) 26 December 1995 (1995-12-26) column 8, line 57 - column 9, line 10; figures 1,2 -----	6,8

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No
PCT/EP2012/071509

Patent document cited in search report		Publication date		Patent family member(s)		Publication date
US 5729011	A	17-03-1998	JP US	8233658 A 5729011 A	13-09-1996 17-03-1998	
WO 2008012715	A2	31-01-2008	CN EP JP KR US WO	101535786 A 2049876 A2 2009544965 A 20090040452 A 2010007491 A1 2008012715 A2	16-09-2009 22-04-2009 17-12-2009 24-04-2009 14-01-2010 31-01-2008	
WO 2006046898	A1	04-05-2006	CA CN EP JP US WO WO	2594105 A1 101124462 A 1817558 A1 2008518229 A 2008123097 A1 2006046898 A1 2006046913 A1	04-05-2006 13-02-2008 15-08-2007 29-05-2008 29-05-2008 04-05-2006 04-05-2006	
US 5479015	A	26-12-1995	CA EP JP JP US WO	2173741 A1 0724715 A1 2849474 B2 H09502812 A 5479015 A 9606334 A1	29-02-1996 07-08-1996 20-01-1999 18-03-1997 26-12-1995 29-02-1996	

フロントページの続き

(81)指定国 AP(BW,GH,GM,KE,LR,LS,MW,MZ,NA,RW,SD,SL,SZ,TZ,UG,ZM,ZW),EA(AM,AZ,BY,KG,KZ,RU,TJ,TM),EP(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,R,S,SE,SI,SK,SM,TR),OA(BF,BJ,CF,CG,CI,CM,GA,GN,GQ,GW,ML,MR,NE,SN,TD,TG),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,IL,IN,IS,JP,KE,KG,KM,KN,KP,KR,KZ,LA,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,SC,SD,SE,SG,SK,SL,SM,ST,SV,SY,TH,TJ,TM,TN,TR,TT,TZ,UA,UG,US,UZ,VC

(72)発明者 アンディ・ランブレヒツ

ベルギー 3001ルーヴァン、カペルドリーフ 75番 アイメック内

(72)発明者 クラース・タック

ベルギー 3001ルーヴァン、カペルドリーフ 75番 アイメック内

F ターム(参考) 2G020 AA03 AA04 AA05 CA12 CB04 CC02 CC13 CC23 CC63 CD03

CD24 CD34 CD37

2H083 AA02 AA26