

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7214629号
(P7214629)

(45)発行日 令和5年1月30日(2023.1.30)

(24)登録日 令和5年1月20日(2023.1.20)

(51)国際特許分類	F I			
G 0 1 S 7/481(2006.01)	G 0 1 S 7/481	A		
G 0 2 B 3/00 (2006.01)	G 0 2 B 3/00	A		
G 0 2 B 7/32 (2021.01)	G 0 2 B 7/32			
G 0 1 C 3/06 (2006.01)	G 0 1 C 3/06	1 2 0 Q		
G 0 1 S 17/89 (2020.01)	G 0 1 S 17/89			
請求項の数 20 (全23頁) 最終頁に続く				

(21)出願番号	特願2019-516177(P2019-516177)	(73)特許権者	519064609 アウスター インコーポレイテッド アメリカ合衆国 カリフォルニア州 9 4 1 1 0 サンフランシスコ トリート ア ヴェニュー 3 5 0
(86)(22)出願日	平成29年6月26日(2017.6.26)	(74)代理人	100094569 弁理士 田中 伸一郎
(65)公表番号	特表2020-501109(P2020-501109 A)	(74)代理人	100103610 弁理士 吉 田 和彦
(43)公表日	令和2年1月16日(2020.1.16)	(74)代理人	100109070 弁理士 須田 洋之
(86)国際出願番号	PCT/US2017/039306	(74)代理人	100095898 松下 満
(87)国際公開番号	WO2018/057084	(74)代理人	100098475 弁理士 倉澤 伊知郎
(87)国際公開日	平成30年3月29日(2018.3.29)		
審査請求日	令和2年6月25日(2020.6.25)		
(31)優先権主張番号	15/276,532		
(32)優先日	平成28年9月26日(2016.9.26)		
(33)優先権主張国・地域又は機関	米国(US)		
最終頁に続く			

(54)【発明の名称】 フィールド内の距離情報を収集する光学系

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

距離測定を行うための光学系であって、
 複数のエミッタを含む照明源であって、前記複数のエミッタの各エミッタが、個別の照明ビームを前記光学系の外部のフィールドに投影するように構成されている、前記照明源と、
 焦点面を備えたバルク結像光学部品と、
 複数のピクセルを有するピクセルアレイと、
 前記焦点面と一致しかつ前記バルク結像光学部品と前記ピクセルアレイとの間に設けられたアパーチャ層とを含み、前記アパーチャ層は、停止領域によって隔てられた複数の別々のアパーチャを有し、これら複数の別々のアパーチャは、前記光学系の外部に位置するフィールド内のしきい距離を超えて複数の別々の非オーバーラップ状態の視界を定めており、
 前記アパーチャ層と前記ピクセルアレイは、複数のセンスチャネルを形成するよう配列され、前記複数のセンスチャネルの各センスチャネルは、前記ピクセルアレイからのピクセル及び前記センスチャネルのための視界を定める前記複数のアパーチャからのアパーチャを有し、前記複数のセンスチャネルの各ピクセルは、入射する光子のカウント及びレジスタを含むデジタル処理エレクトロニクスに電気的に結合されており、
 前記光学系は、複数の個別の重なり合っていない視野内から、前記照明源からの前記個別の照明ビームの送信と、視野内の物体から反射された前記個別の照明ビームからの光子

の検出との間の時間を表す距離データを収集するように構成されている、光学系。

【請求項 2】

複数のレンズを含むレンズアレイを更に含み、前記複数のセンスチャネルの各センスチャネルは、前記複数のレンズからの一レンズを更に有する、請求項 1 記載の光学系。

【請求項 3】

前記複数のセンスチャネルの各ピクセルの検出面積は、前記ピクセルがセンスチャネルを共有する前記アパーチャの面積よりも大きい、請求項 1 又は 2 記載の光学系。

【請求項 4】

前記複数のセンスチャネルの各ピクセルは、複数の単一光子アバランシェダイオード検波器 (SPAD) から成る、請求項 3 記載の光学系。

10

【請求項 5】

各 SPAD は、入射する光子のカウント及びレジスタを含むデジタル処理エレクトロニクスに電氣的に結合されている、請求項 4 記載の光学系。

【請求項 6】

各センスチャネル内に設けられていて、各チャネルからの光を前記チャネル内の前記複数の SPAD 全体にわたって広げるよう構成されたディフューザを更に含む、請求項 4 又は 5 記載の光学系。

【請求項 7】

前記アパーチャ層は、前記バルク結像光学部品の前記焦点面に沿って配置された薄い不透明な構造体から成る、請求項 1 記載の光学系。

20

【請求項 8】

前記アパーチャ層の隣り合うアパーチャは、各アパーチャの直径よりも大きなアパーチャピッチ距離だけ互いにオフセットしている、請求項 1 記載の光学系。

【請求項 9】

前記複数のセンスチャネルの各ピクセルは、サンプリング期間内に前記ピクセルに入射した光子のカウントに対応した信号又は信号の流れを出力するよう構成されている、請求項 1 記載の光学系。

【請求項 10】

各センスチャネル内で前記バルク結像光学部品と前記ピクセルアレイとの間に設けられた光フィルタを更に含み、前記光フィルタは、前記バルク結像光学部品を通過した光を受け取るとともに前記センスチャネル内のピクセルに狭いバンドの光の波長を送る一方で前記バンドの外にある光の波長を遮断するよう構成されている、請求項 1 ~ 9 のうちいずれか一に記載の光学系。

30

【請求項 11】

前記光学系は、
バルク送信器光学部品を更に含み、
前記複数のエミッタの各エミッタは、その個別の照明ビームを前記バルク送信器光学部品に通して前記光学系の外部に位置する前記フィールド中に投射するよう構成され、

各センスチャネル内の前記光フィルタは、動作波長を含む光の波長のバンドを通す一方で、前記バンドの外にある光を遮断するよう構成され、前記複数のピクセルの各々は、前記複数のエミッタの対応関係にある各々から光を受け取るよう構成されている、請求項 10 記載の光学系。

40

【請求項 12】

前記照明源は、複数のレーザから成る、請求項 11 記載の光学系。

【請求項 13】

前記複数のレーザは、アレイをなして配列されるとともにサイズ及び幾何学的形状が前記光学系からの距離の範囲全体にわたって合致する照明パターンにしたがって前記光学系の前に位置するフィールド内に複数の別々の照明ビームを投射するよう構成されている、請求項 12 記載の光学系。

【請求項 14】

50

前記複数のレーザは、モノリシック垂直共振器面発光レーザ（VCSEL）アレイである、請求項 12 記載の光学系。

【請求項 15】

前記光学系は、アパーチャのコラムに平行な軸線回りに回されると、前記光学系によって占められるボリュームの仮想三次元表示に再構成可能な三次元距離データを収集するイメージセンサとして機能するよう構成されている、請求項 11 ~ 14 のうちいずれかに記載の光学系。

【請求項 16】

距離測定を実施する光学系であって、前記光学系は、

バルク送信器光学部品を含み、

複数のレーザを有する照明源を含み、前記複数のレーザの各レーザは、個別の照明ビームを動作波長で前記バルク送信器光学部品に通して前記光学系の外部に位置するフィールド中に投射するよう構成され、

焦点面を備えたバルク結像光学部品を含み、

複数のレンズを含むレンズアレイを含み、

複数のピクセルを有するピクセルアレイを含み、前記複数のピクセルの各ピクセルは、入射する光子のカウンタ及びレジスタを含むデジタル処理エレクトロニクスに電氣的に結合され、

前記焦点面と一致しかつ前記バルク結像光学部品と前記ピクセルアレイとの間に設けられたアパーチャ層を含み、前記アパーチャ層は、停止領域によって隔てられた複数の別々のアパーチャを有し、これら複数の別々のアパーチャは、前記光学系の外部に位置するフィールド内のしきい距離を超えて複数の別々の非オーバーラップ状態の視界を定めており、前記アパーチャ層、前記レンズアレイ及び前記ピクセルアレイは、複数のセンスチャンネルを形成するよう配列され前記複数のセンスチャンネルの各センスチャンネルは、前記ピクセルアレイからのピクセル、前記複数のレンズからの一レンズ、及び前記センスチャンネルのための視界を定める前記複数のアパーチャからの一アパーチャを有し、

前記光学系は、複数の個別の重なり合っていない視野内から、前記照明源からの前記個別の照明ビームの送信と、視野内の物体から反射された前記個別の照明ビームからの光子の検出との間の時間を表す距離データを収集することができる、光学系。

【請求項 17】

前記複数のセンスチャンネルの各ピクセルの検出面積は、前記ピクセルがセンスチャンネルを共有する前記アパーチャの面積よりも大きい、請求項 16 記載の光学系。

【請求項 18】

前記ピクセルアレイの各ピクセルは、該ピクセルの検出領域全体にわたって分布して設けられた複数の SPAD から成る、請求項 17 記載の光学系。

【請求項 19】

前記複数のセンスチャンネルの各チャンネル内に設けられかつバルク受信光学部品と前記ピクセルのアレイとの間に設けられた光フィルタを更に含み、前記光フィルタは、前記バルク受信光学部品を通過した光を受け取るとともに狭いバンドの光の波長を通す一方で前記バンドの外にある光の波長を遮断するよう構成されている、請求項 16 ~ 18 のうちいずれかに記載の光学系。

【請求項 20】

前記複数のレーザの各レーザは、VCSEL である、請求項 19 記載の光学系。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、一般に、光センサの分野に関し、特に、光センサの分野における距離情報を収集する新規かつ有用な光学系に関する。

【発明の概要】

【0002】

本発明の一観点によれば、微小光学受信器チャンネルであって、
 入力アパーチャ層と、
 入力アパーチャ層に隣接して設けられた光学レンズ層と、
 光学レンズ層に隣接して設けられた光フィルタ層と、
 光フィルタ層に隣接して設けられたピクセル層と、を有することを特徴とする微小光学
 受信器チャンネルが提供される。

【0003】

本発明の別の観点によれば、微小光学受信器チャンネルであって、
 停止領域によって包囲されたアパーチャと、
 アパーチャに隣接して設けられた光学レンズと、
 光学レンズに隣接して設けられた光フィルタと、
 光フィルタに隣接して設けられたピクセルと、を有し、
 アパーチャは、広範な波長を有する光の入力コーンを受け入れ、光フィルタは、中心
 が動作波長にある波長の狭いバンド以外の全てを濾波・除去し、ピクセルは、波長の狭い
 バンド内の光子を検出するよう構成されていることを特徴とする微小光学受信器チャンネル
 が提供される。

10

【0004】

本発明の更に別の観点によれば、イメージセンサであって、
 複数の微小光学受信器チャンネルを有し、各微小光学受信器チャンネルは、
 アパーチャと、
 アパーチャに隣接して設けられた光学レンズと、
 光学レンズに隣接して設けられた光フィルタと、
 光フィルタに隣接して設けられたピクセルと、を有することを特徴とするイメージセ
 ンサが提供される。

20

【0005】

本発明の更に別の観点によれば、方法であって、
 微小光学受信器チャンネルを用意するステップを含み、微小光学受信器チャンネルは、
 停止領域によって包囲されたアパーチャと、
 アパーチャに隣接して設けられた光学レンズと、
 光学レンズに隣接して設けられた光フィルタと、
 光フィルタに隣接して設けられたピクセルと、を有し、
 アパーチャは、広範な波長を有する光の入力コーンを受け入れ、光フィルタは、中
 心が動作波長にある波長の狭いバンド以外の全てを濾波・除去し、ピクセルは、波長の狭
 いバンド内の光子を検出するよう構成されていることを特徴とする方法が提供される。

30

【0006】

本発明の更に別の観点によれば、方法であって、
 微小光学受信器チャンネルを用いるステップを含み、微小光学受信器チャンネルは、
 停止領域によって包囲されたアパーチャと、
 アパーチャに隣接して設けられた光学レンズと、
 光学レンズに隣接して設けられた光フィルタと、
 光フィルタに隣接して設けられたピクセルと、を有し、
 アパーチャは、広範な波長を有する光の入力コーンを受け入れ、光フィルタは、中
 心が動作波長にある波長の狭いバンド以外の全てを濾波・除去し、ピクセルは、波長の狭
 いバンド内の光子を検出するよう構成されていることを特徴とする方法が提供される。

40

【0007】

本発明の更に別の観点によれば、光子を受け取って光子を検出する光学チャンネルであっ
 て、
 バルク結像光学部品を有し、
 バルク光学部品の結像面のところに配置されたアパーチャ層を有し、
 アパーチャ層の後ろに設けられた視準レンズ層を有し、視準レンズ層は、視準レンズ

50

層の焦点距離だけアパーチャ層から隔てられ、

視準レンズ層の後ろに設けられた光フィルタを有し、

視準レンズ層と反対側で光フィルタからオフセットして設けられたピクセルを有し、ピクセルは、ピクセルに入射した光子に応答することを特徴とする光学チャネルが提供される。

【図面の簡単な説明】

【0008】

【図1】光学系の略図である。

【図2】光学系の一形態による略図である。

【図3】光学系の一形態による略図である。

10

【図4】光学系の一形態による略図である。

【図5】光学系の一形態による略図である。

【図6】光学系の一形態による略図である。

【図7】光学系の一形態による略図である。

【図8】光学系の一形態による略図である。

【図9】光学系の一形態による略図である。

【図10】光学系の一形態による略図である。

【図11】光学系の一形態による略図である。

【発明を実施するための形態】

【0009】

20

本発明の実施形態についての以下の説明は、本発明をこれら実施形態に限定するものではなく、これとは異なり、当業者が本発明を構成して使用することができるようにするためのものである。本明細書において説明する形態、構成、具体例、例示の具体化例、及び実施例は、オプションでありかつこれらが説明する形態、構成、具体例、例示の具体化例、及び実施例に限定されるものではない。本明細書において説明する発明は、これら形態、構成、具体例、例示の具体化例、及び実施例の任意のかつ全ての組み合わせも含む場合がある。

【0010】

1. 一次元光学系：アパーチャアレイ

図1に示されているように、フィールド内の位置情報を収集する一次元光学系100が第1の軸線に沿って配置された1組の照明源110を含み、1組の照明源110の各照明源は、動作波長の照明ビームを照明源の前に位置するフィールド中の個別のスポットの方へ出力するよう構成され、一次元光学系は、フィールドと反対側に位置する焦点面によって特徴付けられるバルク結像光学部品130と、焦点面と一致して第1の軸線に平行なラインアレイをなした1組のアパーチャ144を定めるとともに1組のアパーチャ144の周りに停止領域146を定めるアパーチャ層140と、を含み、1組のアパーチャ144の各アパーチャは、1組の照明源110の対応の照明源によって出力される個別のスポットに一致したフィールド中の視界を定め、停止領域146は、1組のアパーチャ144によって定められた視界の外のフィールド中の表面から反射されてバルク結像光学部品130を通過した光線を吸収し、一次元光学系は、1組のレンズ150を含み、1組のレンズ150の各組は、第2の焦点距離によって特徴付けられ、第2の焦点距離だけバルク結像光学部品と反対側の焦点面からオフセットし、1組のアパーチャ144の中の一アパーチャと整列しかつこのアパーチャを通過した光線を視準するよう構成され、一次元光学系は、アパーチャ層140と反対側で1組のレンズ150に隣接して設けられかつ光線を動作波長で通過させるよう構成された光フィルタと、1組のレンズ150と反対側で光フィルタ160に隣接して設けられた1組のピクセル170と、を含み、1組のピクセル170の各ピクセルは、1組のレンズ150の一レンズに対応するとともに第1の軸線と平行ではない第2の軸線に沿って配置された1組のサブピクセルを含み、一次元光学系は、光フィルタ160と1組のピクセル170との間に介在して設けられかつ1組のレンズ150中の各レンズから出力された視準光を1組のピクセル170中

30

40

50

の対応のピクセルの1組のサブピクセル全体にわたって広げるよう構成されたディフューザ180を含む。

【0011】

1.1 利用分野

一般に、一次元光学系100(「システム」)は、アパーチャのコラムに平行な軸線回りに回されると、光学系によって占められたボリュームの三次元距離データを収集するイメージセンサとして機能する。具体的に説明すると、一次元光学系100は、ボリュームを走査して三次元距離データを収集することができ、かかる三次元距離データを次に、例えば照明源からの照明ビームの送信と1組のピクセル170に入射した光子(おそらく照明源に元を発している)の検出との間の記録時間に基づいて、位相を利用した測定技術に基づいて、又は任意他の適当な距離測定技術に基づいてボリュームの仮想三次元表示に再構成することができる。光学系100は、バルク結像光学部品130の後ろに配置されかつバルク結像光学部品130の前に位置するフィールド中に別個の視界(すなわち、光学系からのしきい距離を超える互いにオーバーラップしていない視界)を定めるコラム状(柱状)のオフセットアパーチャ、別々の照明ビームを動作波長でアパーチャによって定められた視界中に(実質的にかかる視界中のみ)投射する1組の照明源110、対応のアパーチャを通過した光線を視準するコラム状のレンズ、動作波長を含む光(すなわち、電磁線)の波長の狭いバンドを選択的に通す光フィルタ160、及び入射光子を検出する(例えば、入射光子を計数する、連続して位置する入射光子相互間の時間を追跡する)1組のピクセル170を含む。したがって、この光学系は、光学系からの距離範囲全体にわたるサイズ及び幾何学的形状に関してアパーチャの視界に実質的に合致した照明パターンに従って照明ビームを光学系の前のフィールド中に選択的に投射することができる。特に、照明源は、光学系の前に位置するフィールド中の表面だけを実質的に照明するよう構成され、これら表面は、光学系内のピクセルによって検出でき、その結果、光学系によって出力され(照明源を経て)、ピクセルがブラインド(blind)であるフィールド中の表面を照明することによって無駄になるパワーが最小限に抑えられる。したがって、光学系は、出力信号(すなわち、照明ビームパワー)と入力信号(すなわち、ピクセルアレイへの入射部に至らされる光子)の比較的高い割合を達成することができる。さらに、1組のレンズ150は、隣り合うアパーチャを通過した光線を視準することができ、その結果、光フィルタ160に入射した光線は、約0°の入射角で光フィルタ160に出合い、それにより光フィルタ160を通過した光の波長の比較的高いバンドを維持するとともに1組のピクセル170に達した光線について比較的高い信号対雑音比(“SNR”)を達成する。

【0012】

この光学系は、コラム状に配置されかつアパーチャと整列したピクセルを含み、各ピクセルは、固定されたアパーチャピッチ及びピクセルコラム高さについて光学系の検出領域を拡張するよう幾何学的形状が非正方形であるのが良い(例えば、短くかつ幅が広い)。この光学系は、アパーチャから光フィルタ160を通過してきた光線に対応のピクセルの領域全体にわたって広げてピクセルがその幅全体及びその高さ全体にわたって入射光子を検出することができ、それにより光学系のダイナミックレンジを増大させるようにするディフューザ180を更に含む。

【0013】

この光学系は、本明細書においては、電磁線をフィールド中に投影するとともにフィールド中の表面から反射されてバルク受信器光学部品に戻される電磁線を検出するものとして説明される。本明細書に記載されている「照明ビーム」、「光」、「光線」、及び「光子」という用語は、かかる電磁線を意味している。本明細書において記載されている「チャンネル」という用語は、アパーチャ層140の一アパーチャ、1組のレンズ150中の対応のレンズ、及び1組のピクセル170中の対応のピクセルを意味している。

【0014】

1.2 バルク結像光学部品

10

20

30

40

50

この光学系は、フィールドと反対側の焦点面によって特徴付けられるバルク結像光学部品 130 を含む。一般に、バルク結像光学部品 130 は、系の外部からの入射光線を焦点面に向かって投射するよう機能し、この焦点面において、アパーチャ層 140 の停止領域 146 に入射した光線が拒絶され（例えば、反射され又は吸収され）、アパーチャ層 140 のアパーチャに入射した光線は、焦点距離によって特徴付けられるとともに焦点距離だけ焦点面からオフセットしたレンズ中に通される。

【0015】

一具体化例では、バルク結像光学部品 130 は、光学系を動作波長で特定の焦点距離によって特徴付けられる収束レンズ、例えば両凸レンズ（図 2 に示されている）又は平凸レンズを含む。バルク結像光学部品 130 は、互いに協働して光線をアパーチャ層 140 の方へ投射しかつ図 11 に示されているようにフィールドと反対側で複合焦点面によって特徴付けられる多数の別々のレンズを更に含むのが良い。しかしながら、バルク結像光学部品 130 は、任意他の適当な形式のレンズであっても良くあるいは任意他の形式又は幾何学的形状のレンズの組み合わせであっても良い。

10

【0016】

1.3 アパーチャ層

図 1 及び図 2 に示されているように、光学系は、照明源の軸線に平行なラインアレイをなして 1 組のアパーチャ 144 を定めかつ 1 組のアパーチャ 144 の周りに停止領域 146 を定める焦点面と一致したアパーチャ層 140 を含み、1 組のアパーチャ 144 の各アパーチャは、1 組の照明源 110 中の対応の照明源によって出力された個別のスポットに一致するフィールド中の視界を定め、停止領域 146 は、1 組のアパーチャ 144 によって定められた視界の外に位置するフィールド中の表面から反射されてバルク結像光学部品 130 を通過する光線を吸収するとともに、あるいは反射する。一般に、アパーチャ層 140 は、開放領域（すなわち、レンズ 1 個当たり 1 つのアパーチャを含むアパーチャ）及び隣り合う開放領域相互間に位置する閉鎖領域（「停止領域」）のアレイを備える。アパーチャ層 140 中の各アパーチャは、その対応したセンスチャンネルについて視界を定めるとともにその視界内の外面から反射された光線をその対応のレンズ中を通す「ピンホール」を定め、各停止領域 146 は、焦点面の選択された領域に入射した光線が図 6 に示されているようにレンズアレイ中に入るのを阻止することができる。

20

【0017】

アパーチャ層 140 は、図 1 及び図 2 に示されているように、バルク結像光学部品 130 の焦点面と一致した（例えば、この焦点面に沿って配置された）比較的薄い不透明な構造体を含む。例えば、アパーチャ層 140 は、光硬化可能な透明なポリマー上に蒸着された（例えば、メッキされた）、次にアパーチャのアレイを形成するよう選択的にエッチングされた 10 マイクロメートル厚さの銅、銀、又はニッケル膜を含むのが良い。同様な実施形態では、反射金属化層又は光吸収フォトポリマー（例えば、光吸収性染料と混合されたフォトポリマー）をガラスウェーハ上に蒸着し、そして選択的にフォトマスクで硬化させると、アパーチャ層 140 及び 1 組のアパーチャ 144 を形成することができる。変形例として、アパーチャ層 140 は、アパーチャのアレイを形成するよう機械的に又は化学的に穿孔され、レンズアレイに結合され、次に焦点面に沿ってバルク結像光学部品 130 を覆って被着された別個の金属膜を有しても良い。しかしながら、アパーチャ層 140 は、バルク結像光学部品 130 の焦点面に沿ってアパーチャのアレイを構成するよう任意の別の仕方でも形成された任意の他の反射（例えば、鏡面仕上げされた）又は光吸収性材料を含むことができる。

30

40

【0018】

一次元光学系 100 では、アパーチャ層 140 は、実質的に一様な直径の多数の別々の円形アパーチャから成る単一のコラムを備えるのが良く、各アパーチャは、図 3 に示されているように、レンズアレイ中の一レンズに実質的に平行でありかつこれと整列した軸線を定める。隣り合うアパーチャは、アパーチャ直径よりも大きくかつレンズピッチ距離と実質的にほぼ同じであるアパーチャピッチ距離だけオフセットして設けられ

50

、アパーチュア層 140 は、隣り合うアパーチュア相互間に位置する停止領域 146（すなわち、不透明な又は反射領域）を備え、その結果、アパーチュアは、これらの対応のセンスチャンネルについて別々の非オーバーラップ状態にある視界を定めるようになっている。回折限界直径（これは、入射光の波長及びバルク結像レンズの開口数の関数である）まで次第に減少する直径では、アパーチュアは、幅の狭い視界（すなわち、直径の小さな視界）を定め、そしてバルク結像光学部品 130 からのシャープであるが強度の低い（減衰した）信号をその対応のレンズ中に通す。したがって、アパーチュア層 140 は、照明源によって出力される光の波長（例えば、900 nm）について回折限界直径よりも大きく、アパーチュア層 140 の厚さよりも実質的に大きく、しかもレンズピッチ距離及びピクセルピッチ距離と実質的に等価であるアパーチュアピッチ距離よりも小さい直径のアパーチュアを備えることができる。一実施例では、アパーチュア層 140 は、各センスチャンネルの視界の幾何学的選択性を最大にするよう回折限界直径に近づく直径のアパーチュアを備えるのが良い。変形例として、アパーチュアは、照明源によって出力される光の波長に関する回折限界直径よりも小さい直径のものであって良い。一実施例では、アパーチュア層 140 は、各サンプリング期間内に各ピクセルに入射する標的個数の光子を達成するために光学系中の照明源のパワー出力ならびに 1 組のピクセル 170 中の各ピクセルのサブピクセル光検出器の数及び光子検出能力に見合った直径のアパーチュアを備えるのが良い。この実施例では、各アパーチュアは、サンプリング期間中にバルク結像光学部品 130 に入射する対応の照明源に由来するピクセルのための標的減衰範囲を達成する特定の直径を定めるのが良い。特に、アパーチュア層 140 の一アパーチュアがその対応のレンズにかつその対応のピクセルに通された信号を減衰させるので、アパーチュアの直径をその対応のピクセルのダイナミックレンジに合致させるのが良い。

10

20

【0019】

一具体化例では、アパーチュア層 140 の第 1 のアパーチュア 141 は、光線 バルク結像光学部品 130 の前に位置するフィールド（センスチャンネルの視界）中の表面の個別の領域から反射された をその対応のレンズ中を通し、第 1 のアパーチュア 141 とアパーチュア層 140 中の隣り合うアパーチュアとの間に介在して設けられた停止領域 146 は、光線 第 1 のアパーチュア 141 の視界の外に位置する表面の領域から反射された が第 1 のアパーチュア 141 に対応したレンズ中に入るのを阻止する。したがって、一次元光学系 100 では、アパーチュア層 140 は、図 2 に示されているように、フィールドの実質的に無限深さの多数の別々のオーバーラップしていない視界を定めるアパーチュアのコラムを備える。

30

【0020】

この具体化例では、アパーチュア層 140 中の第 1 のアパーチュア 141 は、別個であってかつ図 2 に示されているように、アパーチュア層 140 中の別のアパーチュアによって定められた視界と交差ししない視界を定める。1 組の照明源 110 は、第 1 のアパーチュア 141 と対をなしかつバルク結像光学部品 130 の前に位置するフィールド中の第 1 のアパーチュア 141 の視界と実質的に整列した（すなわち、オーバーラップした）照明ビームを投射するよう構成された第 1 の照明源 111 を有する。さらに、第 1 の照明源 111 とバルク送信光学部品 120 は、互いに協働してバルク結像光学部品 130 からの種々の距離として第 1 のアパーチュア 141 の視界の断面と実質的にほぼ同じ（かつこれよりも僅かに大きい）断面の照明ビームを投射することができる。したがって、第 1 の照明源 111 第 1 のアパーチュア 141 と対にされている によって出力され、そして第 1 のアパーチュア 141 の視界中に投射された光は、アパーチュア層 140 中の他のアパーチュアの視界の実質的に外に位置したままでいることができる。

40

【0021】

一般に、第 1 の照明源 111 によってフィールド中に投射された光子は、第 1 のセンスチャンネルの視界内のフィールド中の一表面（又は多数の表面）の特定の領域を照明し、そしてかかる表面によって反射され（例えば、散乱され）、一表面の特定の領域によって反射されたこれら光子のうちの少なくとも何割かは、バルク結像光学部品 130 に達する場

50

合があり、このバルク結像光学部品は、これら光子を焦点面の方へ差し向ける。これら光子は、第1のアーチア141の視界内の一表面の一領域によって反射されたので、バルク結像光学部品130は、これら光子を第1のアーチア141中に投射することができ、そして第1のアーチア141は、これら光子を第1のレンズ151中に通すことができる（又は、これら光子のサブセットは、しきい角度以下の第1のアーチア141の軸線に対する角度を有して入射する）。しかしながら、アーチア層140中の第2のアーチア142は、第1のアーチア141からオフセットしているのかつ第1の照明源111を経て照明されたフィールド中の表面の特定の領域は、第2のアーチア142の視界と一致していない（実質的に一致していない）ので、この表面の特定の領域によって反射されてバルク結像光学部品130に達する光子は、第2のアーチア142中に投射されて第2のアーチア142の後ろに位置する第2のレンズ152に送られ、また、図2に示されているようにその逆の関係が成り立つ。さらに、第1のアーチア141と第2のアーチア142との間に位置する停止領域146は、バルク結像光学部品130によって反射されて第1のアーチア141と第2のアーチア142との間の焦点面の方へ差し向けられた光子を遮断することができ、それにより第1のセンスチャンネルと第2のセンスチャンネルとのクロストークが減少する。

10

【0022】

1組の照明源110中の第1の照明源111と対をなしたアーチア層140中の第1のアーチア141に関し、アーチア層140中の第1のアーチア141は、第1の視界を定め、そしてこの第1の視界と一致したフィールド中の一表面に源を発生し又はこれから反射された入射光線を第1のレンズ151中に通す。第1の照明源111は、第1のアーチア141によって定められた視界（図4に示されている）と実質的に一致している（そして、かかる視界と実質的に同一のサイズ又はこれよりも大きいのが最小限度である）照明ビームを投射するので、アーチア層140中の第1のアーチア141によって第1のレンズ151中に送られる信号は、第1の照明源111に由来する光線と光学系中の他の照明源に由来する光線の比が比較的高いことを示すことができる。一般に、光学系中の種々の照明源は、動作中、特定の時刻において互いに異なる周波数、デュティサイクル、及び/又はパワーレベルなどで照明ビームを出力することができるので、バルク結像光学部品130から1組のピクセル170中の第1のピクセル171中に送られるが、第1のピクセル171と対をなす第1の照明源111以外の照明源に由来する光線は、第1のピクセル171のところでノイズとなる。アーチア層140中のアーチアの比較的小さな直径は、バルク結像光学部品130から1組のレンズ150中に送られた全光信号を減衰させることができるが、アーチア層140中の各アーチアは、光学系中の他の照明源ではなくその対応した照明源に由来する比較的高い割合の光子を通すことができ、すなわち、特定のアーチアの幾何学的形状及びその対応の照明源に起因して、特定のアーチアは、比較的高いSNRを示す信号をその対応のレンズ中に送り、かくしてその対応のピクセル中に送ることができる。さらに、アーチア層140中の小さなアーチア直径 したがって、対応のチャンネルの小さな視界 では、光学系は、太陽光線又は他の周囲光源から1組のピクセル170に送るノイズを少なくすることができる。

20

30

40

【0023】

一形態では、光学系は、レンズアレイと光フィルタ160との間に介在して設けられた第2のアーチア層を含み、この第2のアーチア層は、第2の組をなすアーチア144を備え、各アーチアは、上述したように1組のレンズ150中の対応のレンズと整列する。この形態では、第2のアーチア層140中の一アーチアは、上述したように対応のレンズを通過した逸脱した光線を吸収し又は反射してチャンネル相互間のクロストークを一段と減少させることができ、それにより光学系内のSNRが向上する。同様に、光学系は、追加的に又は代替的に、光フィルタ160ディフューザ180との間に介在して設けられた第3のアーチア層を含むのが良く、この場合、第3のアーチア層は、第3の組をなすアーチア144を備え、各アーチアは、上述したよう

50

に1組のレンズ150中の対応のレンズと整列する。この形態では、第3のアーチャ層のアーチャは、上述したように光フィルタを通過した逸脱光線を吸収し又は反射してこの場合もまた、チャネル相互間のクロストークを減少させることができ、それにより光学系内のSNRが向上する。

【0024】

1.4 レンズアレイ

光学系は、1組のレンズ150を含み、1組のレンズ150の各レンズは、第2の焦点距離によって特徴付けられ、第2の焦点距離だけバルク結像光学部品130と反対側の焦点面からオフセットし、1組のアーチャ144の対応のアーチャと整列し、そして対応のアーチャを通過した光線を視準するよう構成されている。一般に、1組のレンズ150のうちの一レンズは、その対応のアーチャを通過したレンズアレイを視準し、そしてこれら視準した光線を光フィルタ160中に通すよう機能する。

10

【0025】

一次元光学系100では、レンズは、単一のコラムをなして配列され、隣り合うレンズは、図3に示されているように、一様なレンズピッチ距離(すなわち、隣り合うピクセル相互間の中心間距離)だけオフセットしている。1組のレンズ150は、アーチャ層と光フィルタ160との間に介在して設けられている。特に、各レンズは、第2の焦点距離によって特徴付けられた収束レンズを含むのが良く、各レンズは、バルク結像光学部品130のアーチャを保持するとともにバルク結像光学部品130に入射しかつ対応のアーチャを通過した光を視準するよう第2の焦点距離だけバルク結像光学部品130の焦点面からオフセットしているのが良い。1組のレンズの各レンズは、比較的短い焦点距離(すなわち、バルク結像光学部品130の焦点距離よりも小さい)及び比較的大きな周辺光線角度(例えば、比較的高い開口数レンズ)によって特徴付けられるのが良く、その結果、レンズは、バルク結像光学部品130の広がりによってレンズの方へ投射された大きな角度をなす光線を捕捉することができるようになっている。すなわち、1組のレンズの各レンズは、バルク結像光学部品130の光線コーンに実質的に合致した光線コーンによって特徴付け可能である。

20

【0026】

1組のレンズ150のレンズは、実質的に互いにほぼ同じであるのが良い。1組のレンズ150のうちの一レンズは、バルク結像光学部品130によってその対応のアーチャ中に収束される光線を視準するよう構成されている。例えば、1組のレンズ150のうちの一レンズは、その対応のアーチャのサイズ(例えば、直径)及び光学系の動作波長に基づいて選択された焦点距離によって特徴付けられる両凸レンズ又は平凸レンズを含むのが良い。この実施例では、1組のレンズ150のうちの一レンズの焦点距離(f)は、次の公式によって計算できる。

30

$$f = \frac{d^2}{2\lambda}$$

40

上式において、dは、アーチャ層中の対応のアーチャの直径であり、λは、照明源によって出力される光の動作波長(例えば、900nm)である。したがって、1組のレンズ150のうちの一レンズの幾何学的形状は、アーチャ層中の対応のアーチャの幾何学的形状に合致されるのが良く、その結果、レンズは、光線の実質的にシャープな像動作波長のところ又はその近傍では、光フィルタ160中に、かくしてピクセルアレイ上に送るようになっている。

【0027】

しかしながら、1組のレンズ150は、任意他の幾何学的形状のレンズを含むとともにアーチャ層に隣接して任意他の仕方で配置されても良い。

【0028】

50

1.5 光フィルタ

図3に示されているように、光学系は、アパーチャ層と反対側で1組のレンズ150に隣接して設けられていて、光線を動作波長で通すよう構成された光フィルタ160を含む。一般に、光フィルタ160は、1組のレンズ150からスペクトル全体にわたって電磁線を受け取り、動作波長の放射線を含む電磁線の比較的幅の狭いバンドをピクセルアレイに送り、そしてこのバンドの外にある電磁線を遮断する。特に、照明源によって出力されて1組のピクセル170中の一ピクセルに入射する電磁線以外の電磁線 例えば周囲光は、光学系中のノイズとなる。したがって、光フィルタ160は、動作波長の外にありあるいはより実用的に言えば、幅の狭い波長バンドの外にある電磁線を拒絶するよう機能し、それにより光学系中のノイズが減少するとともにSNRが増大する。

10

【0029】

一具体化例では、光フィルタ160は、中心が実質的に光学系の動作波長にある電磁線の幅の狭いバンドを通す光学バンドパスフィルタを含む。一実施例では、照明源は、光を（主として）900nmの動作波長で出力し、光フィルタ160は、899.95nm~900.05nmの光を通し、このバンドの外にある光を遮断するよう構成されている。

【0030】

光フィルタ160は、光フィルタ160への入射角の関数として光の波長を選択的に通したり拒絶したりすることができる。一般に、光学バンドパスフィルタは、光学バンドパスフィルタへのこれらの入射角と反比例した光の波長を通すことができる。例えば、光フィルタ160が0.5nm幅の光学バンドパスフィルタを含む場合、光フィルタ160は、899.75nmから900.25nmまでのシャープなバンドにわたって95%を超える電磁線を通すことができ、そして約0°の入射角で光フィルタ160に入射する光線の場合、899.70nm未満かつ900.30nmを超える電磁線を約100%拒絶することができる。しかしながら、この実施例では、光フィルタ160は、899.75nmから900.25nmまでの幅の狭いバンドにわたって95%を超える電磁線を通すとともに約15°の入射角で光フィルタ160に入射する光線の場合、899.50nm未満かつ900.30nmを超える幅の広いバンドにわたって電磁線を約100%拒絶することができる。したがって、光フィルタ160の入射面は、レンズの軸線に実質的に垂直であるのが良く、1組のレンズ150は、対応のアパーチャを通して受け取った光線を視準するとともにこれら光線を光フィルタ160の入射面に実質的に垂直に（すなわち、光フィルタに対して約0°の入射角で）出力することができる。具体的に言えば、1組のレンズ150は、光線を0°に近い入射角で光フィルタ160に向かって出力することができ、その結果、光フィルタ160を通過した実質的に全ての電磁線は、光学系の動作波長の状態にあり又はこれに極めて近い状態にある。

20

30

【0031】

一次元光学系100では、この光学系は、1組のレンズ150の中のレンズのコラムにまたがる単一の光フィルタ160を含むのが良い。変形例として、光学系は、多数の光フィルタ160を含んでも良く、各光フィルタは、1組のレンズ150のうちの単一のレンズ又はレンズのサブセットに隣接して位置する。しかしながら、光フィルタ160は、任意他の幾何学的形状を備えることができ、しかも光の波長の限定されたバンドだけを通すよう任意他の仕方で機能することができる。

40

【0032】

1.6 ピクセルアレイ及びディフューザ

光学系は、1組のレンズ150と反対側で光フィルタ160に隣接して設けられた1組のピクセル170を含み、1組のピクセル170の各ピクセルは、1組のレンズ150のうちの一レンズに対応しかつ第1の軸線とは平行ではない第2の軸線に沿って配置された1組のサブピクセルを含む。一般に、1組のピクセル170は、1組のレンズ150と反対側で光フィルタ160からオフセットしており、1組のピクセル170の各ピクセルは、1つ又は2つ以上のサンプリング期間内でピクセルに入射する光子のカウントに対応した単一の信号又は信号の流れを出力するよう機能し、各サンプリング期間は、持続時間が

50

ピコ秒、ナノ秒、マイクロ秒、又はミリ秒であるのが良い。

【 0 0 3 3 】

光学系は、光フィルタ 1 6 0 と 1 組のピクセル 1 7 0 との間に介在して設けられかつ 1 組のレンズ 1 5 0 の各レンズから出力された視準光を 1 組のピクセル 1 7 0 の単一の対応のピクセルの 1 組のサブピクセル全体にわたって広げるよう構成されたディフューザ 1 8 0 を更に含む。一般に、1 組のレンズ 1 5 0 の各レンズに関し、ディフューザ 1 8 0 は、光線 レンズによって先に視準されるとともに光フィルタ 1 6 0 を通過した を対応のピクセル内の検出領域の幅及び高さ全体にわたって広げるよう機能する。ディフューザ 1 8 0 は、1 組のレンズ 1 5 0 にまたがる単一の光学素子を構成することができ、又はディフューザ 1 8 0 は、例えば光学系中の各チャネルと整列した 1 つの光学ディフューザ素子を

10

【 0 0 3 4 】

一具体化例では、1 組のピクセル 1 7 0 のうちの第 1 のピクセル 1 7 1 は、単一光子アパランシェダイオード検波器（以下、“SPAD”という）のアレイを含み、ディフューザ 1 8 0 は、光線 対応の第 1 のアパーチャ 1 4 1 を先に通過し、対応の第 1 のレンズ 1 5 1 によって視準され、そして光フィルタ 1 6 0 を通過した を図 3、図 5、及び図 6 に示されているように、第 1 のピクセル 1 7 1 の領域全体にわたって広げる。一般に、隣り合うアパーチャは、互いに整列するとともにアパーチャピッチ距離だけ垂直にオフセットしていても良く、隣り合うレンズは、互いに整列するとともにアパーチャピッチ距離に実質的に等しいレンズピッチ距離だけ垂直にオフセットしていても良く、そして隣り合うピクセルは、互いに整列するとともにレンズ及びアパーチャピッチ距離に実質的に等しいピクセルピッチ距離だけ垂直にオフセットしていても良い。しかしながら、ピクセルピッチ距離は、比較的少数の（例えば、2 つの）垂直に積み重ねられた SPAD だけに対応するのが良い。したがって、1 組のピクセル 1 7 0 の各ピクセルは、1 : 1 を超えるアスペクト比を備えるのが良く、ディフューザ 1 8 0 は、ピクセル 1 個当たり広い検出領域に対応するために対応のピクセルの幾何学的形状に従って光フィルタ 1 6 0 を通過した光線を広げるのが良い。

20

【 0 0 3 5 】

一実施例では、1 組のピクセル 1 7 0 の各ピクセルは、イメージセンサ上に配置され、1 組のピクセル 1 7 0 のうちの第 1 のピクセル 1 7 1 は、アパーチャのコラムとレンズを 2 等分する垂直軸線に垂直な横方向軸線に沿って互いに間隔を置いて配置された 1 6 個の SPAD から成る単一の列を含む。この実施例では、第 1 のピクセル 1 7 1 中の単一の SPAD の高さは、第 1 のレンズ 1 5 1 の高さ（例えば、直径）よりも小さいのが良いが、1 6 個の SPAD の全長は、第 1 のレンズ 1 5 1 の幅（例えば、直径）よりも大きいのが良く、したがって、ディフューザ 1 8 0 は、第 1 のレンズ 1 5 1 から出力された光線を第 1 のピクセル 1 7 1 の平面のところで SPAD の高さに対応した高さに収束させるとともに第 1 のレンズ 1 5 1 から出力された光線を第 1 のピクセル 1 7 1 の平面のところで 1 6 個の SPAD の幅に対応した幅に発散させることができる。この実施例では、1 組のピクセル 1 7 0 のうちの残りのピクセルは、同様な列をなす SPAD を含むのが良く、ディフューザ 1 8 0 は、対応のアパーチャによって通過して対応のピクセルに当たる光線を同様に収束させるとともに発散させることができる。

30

40

【 0 0 3 6 】

上記実施例では、アパーチャ層は、1 6 個の同一のアパーチャから成るコラムを含むのが良く、1 組のレンズ 1 5 0 は、アパーチャ層の後ろに配置された 1 6 個の同一のレンズから成るコラムを含むのが良く、1 組のピクセル 1 7 0 は、1 組のレンズ 1 5 0 の後ろに配置された 1 6 個の同一のピクセル（各ピクセルは、SPAD の同様なアレイを含む）の組を有するのが良い。幅 6 . 4 mm、高さ 6 . 4 mm のイメージセンサの場合、各ピクセルは、1 6 個の SPAD から成る単一の列を含むのが良く、各 SPAD は、遠隔アナログフロントエンド処理エレクトロニクス / デジタル処理エレクトロニクス回路 2 4 0 に電氣的に結合される。各 SPAD は、幅 4 0 0 μ m 幅、高さ 4 0 0 μ m の SPAD 領

50

域内に配列されるのが良く、各SPADは、直径が約400 μm に近い能動検出領域を定めるのが良い。隣り合うSPADは、400 μm のSPADピッチ距離だけオフセットしているのが良い。この実施例では、したがって、アパーチャの垂直コラムに沿うアパーチャピッチ距離、レンズの垂直コラムに沿うレンズピッチ距離、及びピクセルの垂直コラムに沿うピクセルピッチ距離は各々、約400 μm であるのが良い。光学系中の第1のセンスチャンネル(すなわち、第1のアパーチャ141、第1のレンズ151、及び第1のピクセル171など)の場合、第1のディフューザ180は、第1のレンズ151から光フィルタ160を通過した光線の円筒形コラム 例えばアスペクト比が1:4のアパーチャ層に関して直径が約100 μm の光のコラム を第1のピクセル171中のSPADの列と垂直に整列した約400 μm の高さに発散させることができる。第1のディフューザは、同様に、第1のレンズ151から光フィルタ160を通過した光線の円筒形コラムを中心が第1のピクセル171中のSPADの列全体に水平に位置する約6.4 μm の幅に発散させることができる。光学系の他のディフューザ180は、同様に、対応のレンズを通過した視準光を1組のピクセル170の対応のピクセル全体にわたって発散させる(又は収束させる)ことができる。したがって、この実施例では、各SPAD(又は各ピクセル)を遠隔アナログフロントエンド処理エレクトロニクス/デジタル処理エレクトロニクス回路240に接続することによりかつ光フィルタ160を通過した光に対応のピクセルの幅及び高さ全体にわたって広げるディフューザ180を組み込むことによって、光学系は、イメージセンサ全体にわたって比較的高い検出領域フィルファクタを達成することができる。

10

20

【0037】

したがって、一次元光学系100では、1組のピクセル170のピクセルは、1:1を超えるアスペクト比で配置された多数のSPADのアレイを含むのが良く、ディフューザ180は、光線に対応の非正方形ピクセル全体にわたって広げるのが良く、それにより比較的多数のSPADを単一のピクセルを横切ってタイル表示して図3に示されているように、ピクセル1つ当たりの単一のSPADを備えたイメージセンサよりもイメージセンサを横切って大きなダイナミックレンジを達成することができる。特に、ピクセル1つ当たり(すなわち、センスチャンネル1つ当たり)多数のSPADを組み込むことによって、光学系中の第1のセンスチャンネルは、SPADに特有のデッドタイムの期間内で多数の入射光子(第1のアパーチャ141によって定められた視界によって境界付けられているフィールド中の表面に由来する)を検出することができる。したがって、第1のセンスチャンネルは、その視界中の「明るい」表面を検出することができる。追加的に又は代替的に第1のセンスチャンネル中の第1のピクセル171を第1のピクセル171中のSPADに特有のデッドタイムよりも迅速にサンプリングすることができ、と言うのは、第1のピクセル171中のSPADの第1のサブセットが第1のサンプリング期間中に入射光子の収集に起因して第1のサンプリング期間中にダウン(又は「死んでいる」)である場合があるが、第1のピクセル171中の他のSPADは、オン(又は「生きている」)のままであり、したがって、次のサンプリング期間中、入射光子を収集することができる。さらに、光検出器の比較的高いアスペクト比によって特徴付けられたピクセルを組み込むことによって、イメージセンサは、比較的小さなピクセルピッチだけオフセットしたピクセルを含むことができるが、光学系100は、依然として比較的高いダイナミックレンジピクセルを達成することができる。

30

40

【0038】

しかしながら、1組のピクセル170のうちの複数のピクセルは、任意他のアレイの状態に、例えば64 \times 1格子アレイの状態(上述したように)、32 \times 2格子アレイの状態、又は16 \times 4格子アレイの状態に配列された任意他の数のSPADを含むことができ、ディフューザ180は、光線をそれに応じて任意他の適当な仕方で対応のピクセル上に収束させるとともに/あるいは発散させることができる。さらに、SPADではなく(又はSPADに加えて)、1組のピクセル170の各ピクセルは、1つ又は2つ以上の直線アバランシェフォトダイオード、ガイガーモード型アバランシェフォトダイオード、フ

50

オトマルチプライヤ、光電子増倍管、フォトダイオード、QUANTUM DOT 検出器、又は上述したように配置された他形式の光検出器を含むことができ、ディフューザ 180 は、同様に、光フィルタ 160 を通過した信号を本明細書において説明するように対応のピクセル全体にわたって収束させたり発散させたりすることができる。

【0039】

1.7 照明源

光学系は、第1の軸線に沿って配置された1組の照明源 110 を含み、1組の照明源 110 の各照明源は、動作波長の照明ビームを照明源の前に位置するフィールド内の個別のスポットに向かって出力するよう構成されている。一般に、各照明源は、図1及び図2に示されているように、1組のアパーチャ 144 のうちの対応のアパーチャによって定められた視界に一致して照明ビームを出力するよう機能する。

10

【0040】

一具体化例では、1組の照明源 110 は、バルク送信器光学部品及びセンスチャネル1つ当たり1つの別個のエミッタを含む。例えば、1組の照明源 110 は、1組の別々のエミッタを含むモノリシック VCSEL アレイを有するのが良い。この具体化例では、バルク送信器光学部品は、材料、幾何学的形状（例えば、焦点距離）、断熱作用などに関してバルク結像光学部品 130 と実質的に同一であるのが良く、バルク送信器光学部品は、バルク結像光学部品 130 に隣接して位置するとともにこれから側方かつ/あるいは垂直にオフセットしている。第1の実施例では、1組の照明源 110 は、コラムの状態に配列された別々のエミッタを含むレーザアレイを有し、隣り合うエミッタは、アパーチャピッチ距離と実質的に同一のエミッタピッチ距離だけ互いにオフセットしている。この第1の実施例では、各エミッタは、アパーチャ層の対応のアパーチャの直径と実質的に同一であり又はこれよりも僅かに大きい直径の照明ビームを出力し、エミッタのコラムは、バルク送信器光学部品の焦点面に沿って配置され、したがって、バルク送信器光学部品からフィールド中に投射された照明ビームは、図4に示されているように対応のセンスチャネルの視界と交差しかつこれと実質的に同一のサイズ及び幾何学的形状のものである。したがって、1組の照明源 110 中の各エミッタによって出力された実質的に全てのパワーは、その対応のセンスチャネルの視界中に投射されるのが良く、センスチャネルの視界の外に位置するフィールド中の表面を照射して無駄になるパワーが比較的最小限に抑えられる。

20

【0041】

第2の実施例では、別々のエミッタは、コラムの状態に同様に配列され、隣り合うエミッタは、図2に示されているようにアパーチャピッチ距離の2倍のエミッタピッチ距離だけ互いにオフセットしている。この第2の実施例では、各エミッタは、アパーチャ層の対応のアパーチャの直径の約2倍（又は、2倍よりも僅かに大きい）直径の照明能動領域（又はアパーチャ）によって特徴付けられ、エミッタのコラムは、バルク送信器光学部品の焦点距離の2倍だけバルク送信器光学部品の後ろにオフセットしており、バルク送信器光学部品からフィールド中に投射された各照明ビームは、上述したように、対応のセンスチャネルの視界と交差しかつこの視界と実質的に同一のサイズ及び幾何学的形状のものである。さらに、照明ビームパワー密度が同一である場合、この第2の実施例においてエミッタにより出力される照明ビームは、上述した第1の実施例においてエミッタにより出力される照明ビームの4倍のパワーを有することができる。したがって、光学系は、スケールファクタ（例えば、2.0又は3.0）及びそれぞれ1）アパーチャ層中のアパーチャピッチ距離、2）アパーチャ層のアパーチャの直径、及び3）バルク送信器光学部品の焦点距離の関数として、エミッタピッチ距離にしたがって配置され、所定の直径の照明ビームを出力するよう構成され、かつオフセット距離だけバルク送信器光学部品の後ろにオフセットして設けられた1組のエミッタを含むのが良い。したがって、光学系は、同一ビーム角度内でかつ受信器サブシステムの対応のチャンネルの視界内で大きな全出力照明パワーを達成するよう対応の受信器サブシステムよりも比例的に大きい照明サブシステムを含むのが良い。

30

40

【0042】

50

光学系は、多数の別々の組をなす照明源を更に含むのが良く、照明源 1 1 0 の各組は、バルク結像光学部品 1 3 0 に隣接して位置する別個のバルク送信器光学部品と対をなしている。例えば、光学系は、バルク結像光学部品 1 3 0 の中心から一様な半径方向距離を置いたところでバルク結像光学部品 1 3 0 周りに半径方向にパターン付けされかつ 1 2 0 ° の角度間隔だけ離隔された第 1 のバルク送信器光学部品、第 2 のバルク送信器光学部品、及び第 3 のバルク送信器光学部品を含むのが良い。この実施例では、光学系は、第 1、第 2、及び第 3 のバルク送信器光学部品の各々の後ろに上述したように配置された 1 つのエミッタを有するレーザアレイを含むのが良い。各別個のレーザアレイ及びその対応のバルク送信器光学部品は、かくして、1 組の照明ビームをアパーチャ層のアパーチャに対応することによって定められた視界中に投射するのが良い。したがって、この実施例では、3 つの別々のレーザアレイ及び 3 つの対応のバルク送信器光学部品は、単一のレーザアレイ及び 1 つのバルク送信器光学部品と比較して、3 倍のパワーを光学系中のセンサチャンネルの視界に投射するよう互いに協働することができる。追加的に又は代替的に、光学系は、1) センサチャンネル 1 つ当たり多数の低パワーエミッタを含む受信器サブシステム内の各センサチャンネルの視界中に標的照明パワー出力を達成するとともに、2) 人間の眼に関してしきい許容光エネルギー密度よりも小さい光エネルギー密度を達成するよう近視野中の広い領域にわたって光エネルギーを分布させるために多数の別々の層アレイ及びバルク送信器光学部品を含むのが良い。

10

【 0 0 4 3 】

しかしながら、光学系は、センサチャンネルによって定められた視界を照明するよう構成されている任意他の数及び形態の照明源組及びバルク送信器光学部品を含むのが良い。1 組の照明源 1 1 0 は、単一のレーザダイオード、側面発光レーザダイオードアレイ、LED アレイ、又は量子ドット LED アレイなどによって電力供給される任意他の適当な形式の光学送信器、例えば 1 × 1 6 光学スプリッタを更に含むのが良い。

20

【 0 0 4 4 】

1. 8 作製

一具体化例では、バルク受信器レンズ、アパーチャ層、1 組のレンズ 1 5 0、光フィルタ 1 6 0、及びディフューザ 1 8 0 を作製し、次にイメージセンサと整列させてこれに取り付ける。例えば、光フィルタ 1 6 0 を作製するには熔融シリカ基板を被覆するのが良い。光活性光学ポリマーを光フィルタ 1 6 0 上に蒸着させ、レンズモールドを光活性光学ポリマー上に配置するのが良く、そして UV 光源をアクティブにして光活性光学ポリマーを光フィルタ 1 6 0 を横切ってパターン付けされたレンズの形態に硬化するのが良い。同様に、スタンドオフをフォトリソグラフィ技術により光フィルタ 1 6 0 を横切って成形し又は形成するのが良く、次に、選択的に硬化された金属化ガラスウェーハによって定められたアパーチャ層をスタンドオフに結合し又は違ったやり方で取り付けてアパーチャ層を形成するのが良い。次に、この組立体を逆さまにし、1 組の別々のディフューザ及びスタンドオフを同様に光フィルタ 1 6 0 の反対側全体にわたって作製するのが良い。次に、別個のイメージセンサをスタンドオフと整列させてこれに結合するのが良く、バルク結像光学部品 1 3 0 を同様にアパーチャ層を覆って取り付けるのが良い。

30

【 0 0 4 5 】

変形例として、フォトリソグラフィ及びウェーハレベル結合技術を実施してバルク結像光学部品、アパーチャ層、1 組のレンズ 1 5 0、光フィルタ 1 6 0、及びディフューザ 1 8 0 を検出器チップを含む未ダイシング状態の半導体ウェーハ上に直接作製するのが良く、その目的は、製造を単純化し、コストを減少させ、しかもピクセルクロストークを減少させるために光学スタック高さを減少させることにある。

40

【 0 0 4 6 】

2. 一次元光学系：レンズチューブ

光学系の一形態は、第 1 の軸線に沿って配置された 1 組の照明源 1 1 0 を含み、1 組の照明源 1 1 0 の各照明源は、動作波長の照明ビームを照明源の前に位置するフィールド内の別個のスポットに向かって出力するよう構成され、この光学系は、フィールドと反対側

50

の焦点面によって特徴付けられたバルク結像光学部品 130 と、第 1 の軸線に平行な線アレイをなして配置された 1 組のレンズチューブ 210 と、を含み、1 組のレンズチューブ 210 の貫くレンズチューブは、焦点距離だけ焦点面からオフセットしかつ 1 組の光学部品の対応の照明源によってバルク結像光学部品 130 中に照明されたフィールド中の別個のスポットからバルク結像光学部品 130 中に反射された光線を視準するよう構成されたレンズを含み、光学系は、焦点面と反対側でレンズから延び、第 1 の軸線に実質的に垂直な長軸を定め、しかも対応の照明源によって照明された別個のスポットの外に位置するフィールド中の領域からバルク結像光学部品 130 中に反射された入射光線を吸収するよう構成されている円筒形壁 218 を含む。この形態では、光学系は、焦点面と反対側で 1 組のレンズチューブ 210 に隣接して設けられかつ光線を動作波長で通すよう構成された光フィルタ 160 と、1 組のレンズ 150 の反対側で光フィルタ 160 に隣接して設けられた 1 組のピクセル 170 と、を更に含み、1 組のピクセル 170 の各ピクセルは、1 組のレンズ 150 の一レンズに対応しかつ第 1 の軸線に垂直な第 3 の軸線に沿って整列した 1 組のサブピクセルを含み、光学系は、光フィルタ 160 と 1 組のピクセル 170 との間に介在して設けられかつ 1 組のレンズ 150 の各レンズから出力された視準光を 1 組のピクセル 170 の対応のピクセルの 1 組のサブピクセル全体にわたって広げるよう構成されたディフューザ 180 を含む。

10

【0047】

一般に、この形態では、光学系は、上述の各アパーチャ及びレンズ対の代わりに（又は、これらに加えて）レンズチューブを含む。この形態では、各レンズチューブは、第 2 の（短い）焦点距離によって特徴付けられるのが良くかつバルク結像光学部品 130 のアパーチャを保持するとともに上述しかつ図 5 及び図 7 に示されているようにバルク結像光学部品 130 から受け取った入射光を視準するよう第 2 の焦点距離だけバルク結像光学部品の焦点面からオフセットしているのが良い。

20

【0048】

各レンズチューブはまた、隣接の光フィルタ 160 の入射平面に垂直な軸線を定めかつ図 5 に示されているように入射光線を吸収するよう構成された不透明な円筒形壁 218 を備えている。一般に、軸方向の距離が大きいと、レンズチューブの円筒形壁 218 は、レンズチューブの軸線に対して浅い角度をなしてレンズチューブを通過した光線を吸収することができ、それによりレンズチューブの視界が減少する（これは、上述したように回折限界直径までアパーチャ層のアパーチャの直径を減少させることとほぼ同じである場合がある）とともに光フィルタ 160 の入射平面の垂線の近くに視準光線の出力信号が生じる。したがって、各レンズチューブは、標的視界を達成するとともにレンズチューブの軸線に対してしきい角度よりも小さい最大角度で視準光線を通すのに十分な距離の細長い円筒形壁 218 を備えるのが良い。この形態では、レンズチューブは、かくして、幅の狭い視界を定めるとともに実質的に視準された光を隣接の光フィルタ 160 に出力するよう上述したアパーチャ・センス対として機能することができる。

30

【0049】

レンズチューブの円筒形壁 218 は、円筒形壁 218 に入射した光線の吸収を増大させるとともにその反射を減少させるために図 5 に示されているように透明な（又は半透明な）レンズ材料周りに粗い又は不透明なインターフェースを備えるのが良い。各レンズチューブ（及び上述の各レンズ）はまた、反射防止膜で被覆されるのが良い。

40

【0050】

図 9 に示されているように、この形態では、レンズチューブ 210 の組を作製するには、フォトリソグラフィ技術を実施して光活性光学ポリマー（例えば、SU8）を光フィルタ 160 上に（例えば、光フィルタを構成するシリコンウェーハ上に）パターン付けするのが良い。次に、光吸収性ポリマーをレンズチューブ相互間に注ぎ込んで硬化させるのが良い。次に、1 組のレンズ 150 を別々に作製し（例えば、成形し）、次にレンズチューブ上に結合するのが良い。変形例として、レンズをフォトリソグラフィ技術によりレンズチューブ上に直接作製しても良い。さらに別法として、ポリマーをレンズチューブ上に配

50

置されたモールド中に注入することによってレンズ用のモールドをレンズチューブ上に直接注型しても良い。単一のディフューザ 180 又は多数の別々のディフューザ 180 を同様に作製するとともに、あるいはレンズチューブと反対側で光フィルタ 160 上に組み付けるのが良い。光フィルタ 160 から延びるスタンドオフを同様にディフューザ 180 周りに作製し又は取り付けするのが良くそしてイメージセンサを光フィルタ 160 と反対側でスタンドオフと整列させてこれに結合するのが良い。光学系内の他の光学素子（例えば、バルク結像レンズ、バルク送信レンズなど）を類似の技術に従ってかつ類似の材料とともに作製するのが良い。

【0051】

3. 二次元光学系

光学系の別の形態は、第 1 の直線状格子アレイの状態に配置された 1 組の照明源 110 を含み、1 組の照明源 110 の各照明源は、動作波長の照明ビームを照明源の前に位置するフィールド中の別個のスポットに出力するよう構成され、この光学系は、フィールドと反対側の焦点面によって特徴付けられたバルク結像光学部品 130 と、焦点面と一致して、第 1 の直線格子アレイに比例した第 2 の直線格子アレイの状態に 1 組のアパーチャ 144 を定めるとともに 1 組のアパーチャ 144 の周りに停止領域 146 を備えたアパーチャ層を含み、1 組のアパーチャ 144 の各アパーチャは、1 組の照明源 110 の対応の照明源によって出力された別個のスポットと一致したフィールド中の視界を定めるアパーチャ層を含み、停止領域 146 は、1 組のアパーチャ 144 によって定められた視界の外に位置するフィールド中の表面から反射されてバルク結像光学部品 132 を通過する光線を吸収し、かかる光学系は、1 組のレンズ 150 を含み、1 組のレンズ 150 の各レンズは、第 2 の焦点距離によって特徴付けられ、第 2 の焦点距離だけバルク結像光学部品 130 と反対側で焦点面からオフセットし、1 組のアパーチャ 144 のアパーチャと整列しかつこのアパーチャを通過した光線を視準するよう構成され、かかる光学系は、アパーチャ層と反対側で 1 組のレンズ 150 に隣接して設けられかつ動作波長で光線を通すよう構成された光フィルタ 160 と、1 組のレンズと反対側で光フィルタ 160 に隣接して設けられた 1 組のピクセル 170 と、を含み、1 組のピクセル 170 の各ピクセルは、1 組のレンズ 150 のレンズのサブセットと整列し、かかる光学系は、光フィルタ 160 と 1 組のピクセル 170 との間に介在して設けられかつ 1 組のレンズ 150 の各レンズから出力された視準光を 1 組のピクセル 170 の対応のピクセル全体にわたって広げるよう構成されたディフューザ 180 を含む。

【0052】

一般に、この形態では、光学系は、チャンネル（すなわち、アパーチャ、レンズ、ならびにピクセル組又はレンズチューブ及びピクセル組）の二次元格子アレイを含み、この光学系は、光学系の占有するボリュームを二次元に画像化するよう構成されている。光学系は、二次元フィールド全体にわたり一次元距離データ、例えばサンプリング期間内における入射光子のカウント及び/又はフィールド中の既知の視界に対応した既知の位置のピクセルに入射した連続した光子相互間の時間を収集することができる。次に、一次元距離データを光学系中の各チャンネルに関する視界の既知の位置とマージして光学系の前方にフィールドの仮想三次元表示を再構成するのが良い。

【0053】

この形態では、アパーチャ層は、アパーチャの格子アレイを備えるのが良く、1 組のレンズ 150 は、類似の格子アレイをなして配置されるのが良く、一レンズは、アパーチャ層中の一アパーチャと整列し、1 組のピクセル 170 は、上述したように、アパーチャ 1 つ及びレンズ対 1 つ当たり 1 つのピクセルを含むのが良い。例えば、アパーチャ層は、300 μm のアパーチャピッチ距離だけ垂直かつ側方にオフセットした 200 μm 径のアパーチャの 24 \times 24 格子アレイを定めることができ、1 組のレンズ 150 は、同様に、300 μm のレンズピッチ距離だけ垂直かつ側方にオフセットしたレンズの 24 \times 24 格子アレイを定めことができる。この実施例では、1 組のピクセル 170 では、300 μm 正方形ピクセルの 24 \times 24 格子アレイを含むのが良く、各ピクセルは、

10

20

30

40

50

9個の100 μ m正方形SPADの3 \times 3正方形アレイを含む。

【0054】

変形例として、この形態では、1組のピクセル170は、多数のアパーチャ及びレンズ対の群1つ当たり1つのピクセルを含んでも良い。上述の実施例では、1組のピクセル170は、変形例として、600 μ m正方形ピクセルの12 \times 12格子アレイを含み、各ピクセルは、36個の100 μ m正方形SPADの6 \times 6正方形アレイを含み、各ピクセルは、正方形格子中の4つの隣にあるレンズの群と整列する。図8に示されているように、この実施例では、4つの隣り合うレンズの各群に関し、ディフューザ180は、正方形格子中の(1, 1)位置にあるレンズから出力された視準光線を上方にかつ右側に付勢して(1, 1)レンズを通過した光線に対応のピクセルの広さ及び幅全体にわたってひろげることができ、正方形格子中の(2, 1)位置にあるレンズから出力された視準光線を上方にかつ左側に付勢して(2, 1)レンズを通過した光線に対応のピクセルの広さ及び幅全体にわたってひろげることができ、正方形格子中の(1, 2)位置にあるレンズから出力された視準光線を下方にかつ右側に付勢して(1, 2)レンズを通過した光線に対応のピクセルの広さ及び幅全体にわたってひろげることができ、正方形格子中の(2, 2)位置にあるレンズから出力された視準光線を下方にかつ左側に付勢して(2, 2)レンズを通過した光線に対応のピクセルの広さ及び幅全体にわたってひろげることができる。

10

【0055】

上述の実施例では、正方形格子中の4つのレンズの1つの群に対応した正方形格子中の4つの照明源の各群に関し、光学系は、所与の時点において4つの照明源の群中の1つの照明源を作動させることができる。特に、1組のピクセル170中の1ピクセルに対応した正方形格子中の4つの照明源の各群に関し、光学系は、第1のサンプリング期間中、(1, 1)位置にある第1の照明源111を作動させて4つのレンズの対応の群中の(1, 1)位置にあるレンズに対応した第1のアパーチャ141によって定められた視界を照明することができ、光学系は、第1のサンプリング期間中、対応のピクセル中の全部で36個のSPADをサンプリングすることができる。光学系は、次に、第1の照明源111を作動停止させて次の第2のサンプリング期間中、(1, 2)位置にある第2の照明源112を作動させ、それにより4つのレンズの対応の群中の(1, 2)位置にあるレンズに対応した第2のアパーチャ142によって定められた視界を照明することができ、光学系は、第2のサンプリング期間中、対応のピクセル中の全部で36個のSPADをサンプリングすることができる。次に、光学系は、第1及び第2の照明源112を作動停止させて次の第3のサンプリング期間中、(2, 1)位置にある第3の照明源を作動させ、それにより4つのレンズの対応の群中の(2, 1)位置にあるレンズに対応した第3のアパーチャによって定められた視界を照明することができ、光学系は、第3のサンプリング期間中、対応のピクセル中の全部で36個のSPADをサンプリングすることができる。最後に、光学系は、第1、第2、及び第3の照明源112を作動停止させて第4のサンプリング期間中、(2, 2)位置にある第4の照明源を作動させ、それにより4つのレンズの対応の群中の(2, 2)位置にあるレンズに対応した第4のアパーチャによって定められた視界を照明することができ、光学系は、第4のサンプリング期間中、対応のピクセル中の全部で36個のSPADをサンプリングすることができる。光学系は、このプロセスをその作動全体を通じて繰り返すのが良い。

20

30

40

【0056】

したがって、上述の実施例では、光学系は、幅7.2mm、長さ7.2mmのイメージセンサ全体にわたって配置された1組のピクセル170を含むのが良くかつこの光学系中の各チャンネルが多数の実質的に大きなイメージセンサ(例えば、14.4mm \times 14.4mmイメージセンサ)を必要とするSPADにアクセスすることができる(多数のSPAD上に光線を投射することができる)よう走査方式を実施するのが良い。特に、光学系は、光学系中の各チャンネルのダイナミックレンジ内における指数関数的増大を達成するよう照明源の群1つ当たりシリアル走査方式を実施することができる。特に、この形態では、光学系は、光学系の画像化解像度を増大させるよう上述の画像技術を実施することができ

50

る。

【 0 0 5 7 】

上記具体化例では、光学系は、各チャネルとイメージセンサとの間に位置するシャッタ 1 8 2 を更にも含むのが良く、この光学系は、対応のチャネルよりの照明源を作動させたり作動停止させたりしたとき、それぞれ、各シャッタ 1 8 2 を選択的に開閉することができる。例えば、光学系は、各レンズ相互間に介在して設けられた 1 つの独立に動作可能なエレクトロクロミックシャッター 1 8 2 を含むのが良く、この光学系は、(1 , 1) 照明源を作動させたとき、4 つのレンズの正方形格子付き群中の (1 , 1) レンズ上でエレクトロクロミックシャッター 1 8 2 を開いたり (1 , 2) 、 (2 , 1) 、 (2 , 2) 、レンズ上でエレクトロクロミックシャッター 1 8 2 を閉じたりすることができ、それによりイメ 10
ージセンサ上の対応のピクセルに達しないよう (1 , 2) 、 (2 , 1) 、 (2 , 2) レンズを通過したノイズを拒絶する。光学系は、したがって、各チャネルとイメージセンサとの間のシャッタ 1 8 2 を選択的に開閉して作動中、チャネル 1 つ当たりの S N R を増大させることができる。変形例として、光学系は、図 8 に示されているように、各ピクセルの選択領域上に配置された 1 つの独立に動作可能なエレクトロクロミックシャッター 1 8 2 を含んでも良く、かくエレクトロクロミックシャッター 1 8 2 は、単一のチャネルと (すなわち、1 組のレンズのうちの単一のレンズと) 整列する。光学系は、変形例として、1 組のレンズ 1 5 0 とイメージセンサとの間に介在して設けられた M E M S メカニカルシャッター又は任意他の適当な形式のシャッタを含んでも良い。

【 0 0 5 8 】

この形態では、光学系は、アパーチャ、レンズ、ディフューザ、及び / 又は第 1 (例 20
えば、X) 軸線に沿う第 1 のピッチ距離及び第 2 (例えば、Y) 軸線に沿う第 2 のピッチ距離 (第 1 のピッチ距離とは異なる) によって特徴付けられたピクセルの二次元格子アレイを定めることができる。例えば、イメージセンサは、2 5 μ m 水平ピッチ及び 3 0 0 μ m 垂直ピッチだけオフセットしたピクセルを含むのが良く、各ピクセルは、1 2 個のサブピクセルの単一の列を含む。

【 0 0 5 9 】

しかしながら、この形態では、二次元光学系は、チャネル (例えば、アパーチャ、レ 30
ンズ (又はレンズチューブ) 及びディフューザ) 及びピクセルの任意他の数及びパターン
のアレイを含むのが良く、かかる二次元光学系は、イメージセンサのロウ (raw) ピクセル
解像度よりも高いチャネル 1 つ当たりの空間解像度を達成するよう任意他の適当な走査
方式を実行することができる。光学系は、追加的に又は代替的に、収束光学部品、発散光
学部品、及び / 又は任意他の適当な形式の光学素子を含むことができ、それによりチャネ
ルから通過した光線を対応のピクセルの幅全体にわたって広げることができる。

【 0 0 6 0 】

当業者であれば上述の詳細な説明ならびに図面及び特許請求の範囲から認識されるよう 40
に、以下の特許請求の範囲に記載された本発明の範囲から逸脱することなく、本発明の実
施形態に対する改造及び変更を行うことができる。

10

20

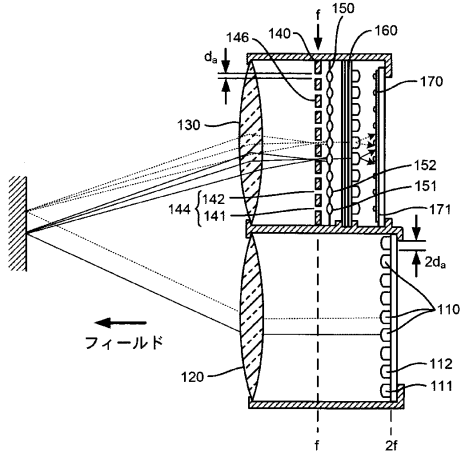
30

40

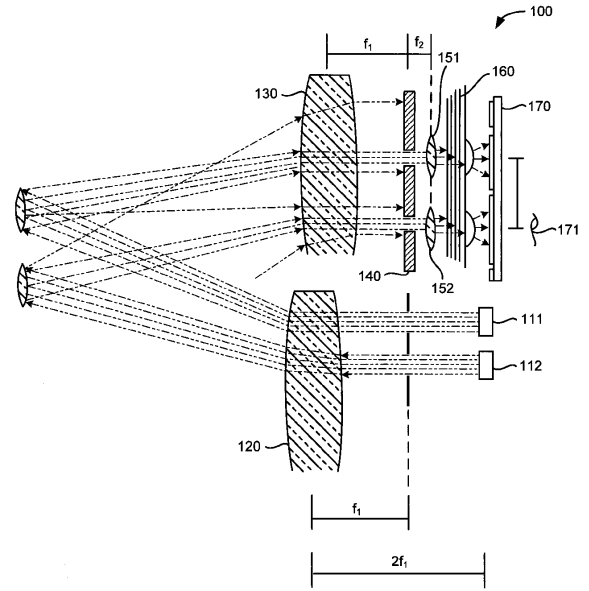
50

【図面】

【図 1】

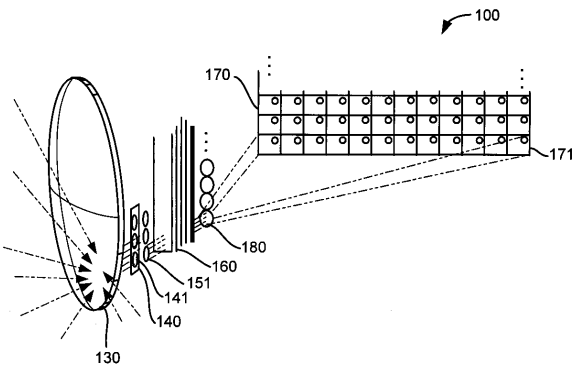


【図 2】

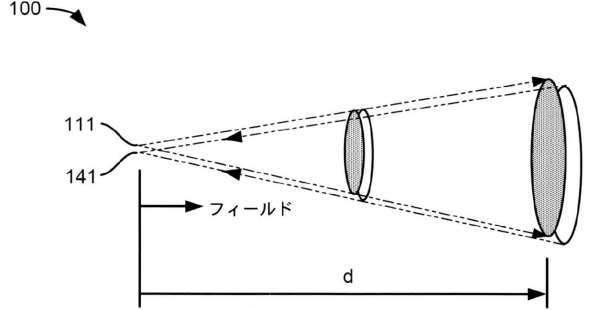


10

【図 3】



【図 4】



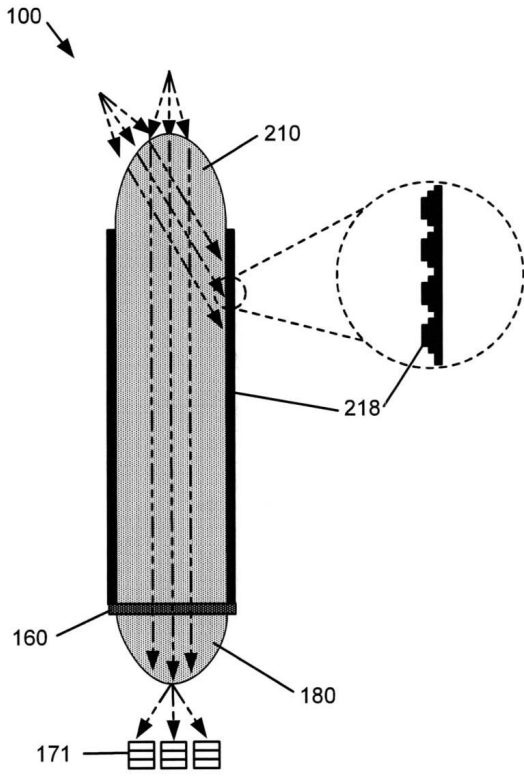
20

30

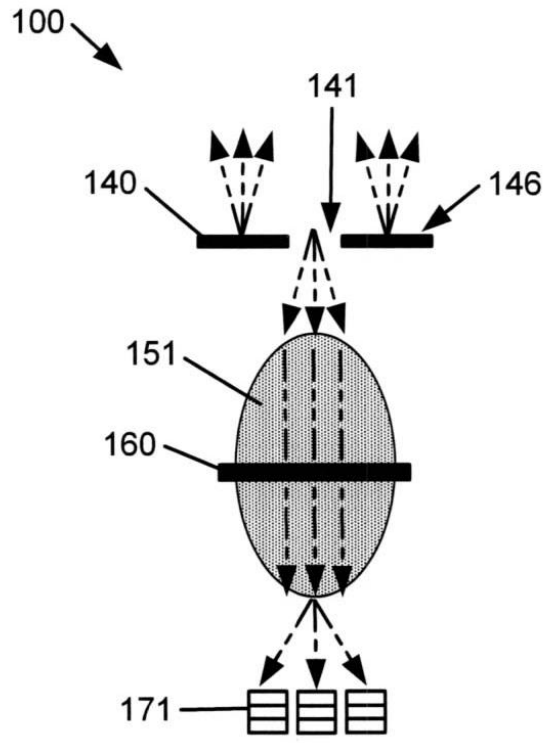
40

50

【 5 】



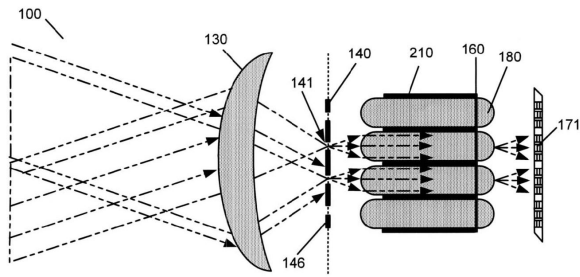
【 6 】



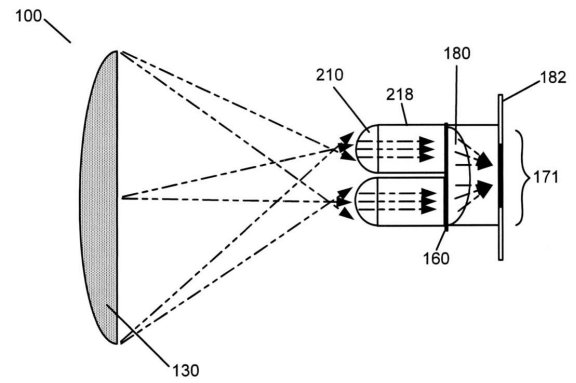
10

20

【 7 】



【 8 】

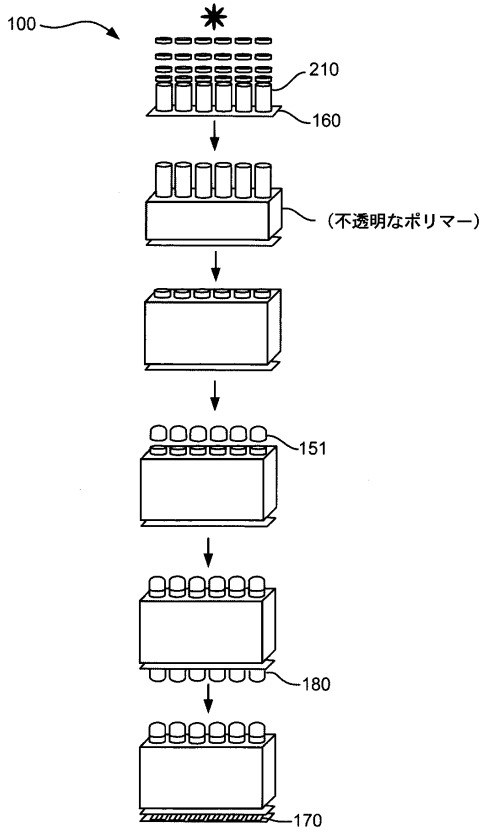


30

40

50

【図 9】



【図 10】

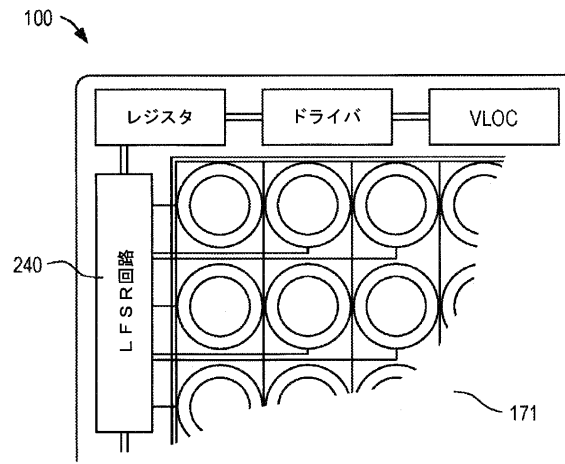
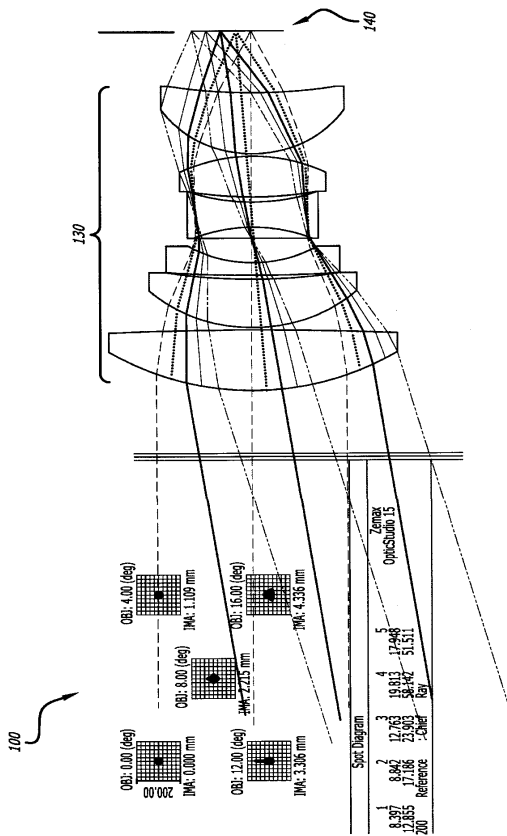


FIG. 10

【図 11】



10

20

30

40

50

フロントページの続き

(51)国際特許分類

F I

<i>H 0 1 L</i>	<i>31/12 (2006.01)</i>	<i>H 0 1 L</i>	<i>31/12</i>	<i>E</i>
<i>H 0 1 S</i>	<i>5/022(2021.01)</i>	<i>H 0 1 S</i>	<i>5/022</i>	
<i>H 0 4 N</i>	<i>23/55 (2023.01)</i>	<i>H 0 4 N</i>	<i>5/225</i>	<i>4 0 0</i>
<i>H 0 4 N</i>	<i>23/54 (2023.01)</i>	<i>H 0 4 N</i>	<i>5/225</i>	<i>3 0 0</i>
<i>H 0 4 N</i>	<i>25/70 (2023.01)</i>	<i>H 0 4 N</i>	<i>5/369</i>	

(74)代理人 100130937

弁理士 山本 泰史

(72)発明者 パカラ アンガス

アメリカ合衆国 カリフォルニア州 9 4 1 0 7 サンフランシスコ クララ ストリート 2 6 8

(72)発明者 フリクトル マーク

アメリカ合衆国 カリフォルニア州 9 4 1 0 7 サンフランシスコ クララ ストリート 2 6 8

審査官 安井 英己

(56)参考文献

米国特許出願公開第 2 0 1 1 / 0 1 7 6 5 6 5 (U S , A 1)

特表 2 0 1 2 - 5 3 0 9 1 7 (J P , A)

特開 2 0 0 7 - 1 0 3 5 9 0 (J P , A)

米国特許出願公開第 2 0 1 5 / 0 1 1 5 1 3 1 (U S , A 1)

特開 2 0 0 4 - 2 4 7 4 6 1 (J P , A)

特開平 1 0 - 3 1 1 9 5 0 (J P , A)

特開平 0 7 - 1 8 1 0 2 3 (J P , A)

特開 2 0 1 2 - 2 0 2 7 7 6 (J P , A)

特開平 0 9 - 2 5 7 4 4 0 (J P , A)

米国特許出願公開第 2 0 0 8 / 0 0 3 7 1 1 4 (U S , A 1)

(58)調査した分野 (Int.Cl., D B 名)

G 0 1 S 7 / 4 8 - 7 / 5 1 ,

G 0 1 S 1 7 / 0 0 - 1 7 / 9 5 ,

G 0 1 C 3 / 0 6 ,

G 0 2 B 3 / 0 0 , 7 / 3 2 ,

H 0 1 L 3 1 / 1 2 ,

H 0 1 S 5 / 0 2 2 ,

H 0 4 N 5 / 2 2 5 , 5 / 3 6 9