

(19)日本国特許庁(JP)

(12)公表特許公報(A)

(11)公表番号

特表2022-523997

(P2022-523997A)

(43)公表日 令和4年4月27日(2022.4.27)

(51)国際特許分類	F I	テーマコード (参考)
G 0 2 B 5/22 (2006.01)	G 0 2 B 5/22	2 G 0 4 3
G 0 1 N 21/64 (2006.01)	G 0 1 N 21/64	B 2 H 1 4 8
H 0 1 L 31/0232(2014.01)	H 0 1 L 31/02	D 5 F 8 4 9

審査請求 未請求 予備審査請求 未請求 (全55頁)

(21)出願番号	特願2021-552700(P2021-552700)	(71)出願人	516144164 クアンタム－エスアイ インコーポレイ テッド QUANTUM－SI INCORPO RATED アメリカ合衆国 0 6 4 3 7 コネチカッ ト州 ギルフォード オールド ウィット フィールド ストリート 5 3 0
(86)(22)出願日	令和2年3月3日(2020.3.3)	(74)代理人	100105957 弁理士 恩田 誠
(85)翻訳文提出日	令和3年10月25日(2021.10.25)	(74)代理人	100068755 弁理士 恩田 博宣
(86)国際出願番号	PCT/US2020/020847	(74)代理人	100142907 弁理士 本田 淳
(87)国際公開番号	WO2020/180899	(72)発明者	ベロス、マイケル
(87)国際公開日	令和2年9月10日(2020.9.10)		
(31)優先権主張番号	62/813,997		
(32)優先日	平成31年3月5日(2019.3.5)		
(33)優先権主張国・地域又は機関	米国(US)		
(31)優先権主張番号	62/831,237		
(32)優先日	平成31年4月9日(2019.4.9)		
(33)優先権主張国・地域又は機関	米国(US)		
(81)指定国・地域	AP(BW,GH,GM,KE,LR,LS,MW,MZ,NA 最終頁に続く		

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 集積デバイス用の光吸収フィルタ

(57)【要約】

サンプル分析に使用される集積デバイス内のセンサ（１－１２２）に入射する励起放射を減衰させることに関連する装置および方法が記載されている。基板（１－１０５）上に形成された集積デバイス内の導波路（１－１１５）とセンサ（１－１２２）との間には、選択された材料および結晶形態の少なくとも１つの半導体膜（１－３３６）が配置されている。単一層の半導体材料（１－１３５）に関して励起波長と放出波長が４０nm離れている場合、１００以上の除去率を得ることができる。

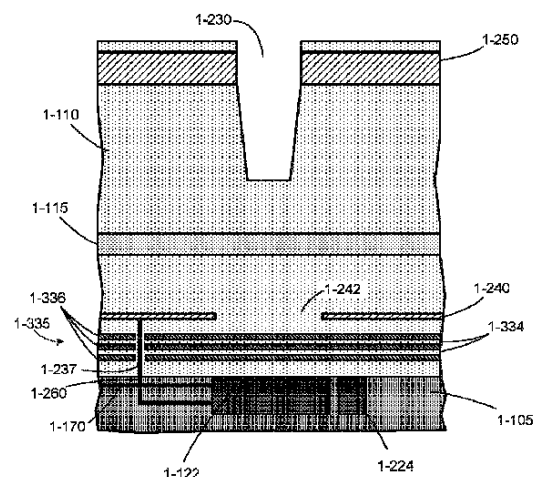


FIG. 1-3

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

多層吸収体フィルタであって、
複数の吸収体の層と、
前記複数の吸収体の層を分離して多層スタックを形成する複数の誘電体材料の層と、を備え、少なくとも 3 つの異なる層の厚さが前記多層スタック内に存在する、多層吸収体フィルタ。

【請求項 2】

前記複数の誘電体材料の層が、少なくとも 2 つの異なる厚さを含む、請求項 1 に記載のフィルタ。

【請求項 3】

前記複数の吸収体の層が、少なくとも 2 つの異なる厚さを含む、請求項 1 または 2 に記載のフィルタ。

【請求項 4】

スタック内に少なくとも 4 つの異なる層の厚さが存在する、請求項 1 または 2 に記載のフィルタ。

【請求項 5】

スタック内の厚さのいくつかは、フィルタが遮断するように設計されている放射の $1/4$ 波長に対応していない、請求項 1 または 2 に記載のフィルタ。

【請求項 6】

前記 3 つの異なる層の厚さのうちの少なくとも 2 つが 50 % を超えて異なる、請求項 1 または 2 に記載のフィルタ。

【請求項 7】

前記複数の吸収体の層がドーピングされたシリコンを含む、請求項 1 または 2 に記載のフィルタ。

【請求項 8】

前記複数の吸収体の層の厚さが 20 nm と 300 nm との間である、請求項 1 または 2 に記載のフィルタ。

【請求項 9】

多層吸収体フィルタを形成する方法であって、
複数の吸収体の層を堆積するステップと、
前記複数の吸収体の層を分離して多層スタックを形成する複数の誘電体材料の層を堆積するステップと、を含み、少なくとも 3 つの異なる層の厚さが前記多層スタック内に堆積される、方法。

【請求項 10】

前記複数の吸収体の層を堆積するステップは、少なくとも 20 % だけ異なる少なくとも 2 つの異なる厚さの吸収体を堆積することを含む、請求項 9 に記載の方法。

【請求項 11】

前記複数の吸収体の層を堆積するステップは、 $1/4$ 波長の厚さではない吸収体の層を堆積することを含む、請求項 9 または 10 に記載の方法。

【請求項 12】

前記複数の誘電体材料の層を堆積するステップは、少なくとも 20 % だけ異なる少なくとも 2 つの異なる厚さの誘電体材料を堆積することを含む、請求項 9 または 10 に記載の方法。

【請求項 13】

前記複数の誘電体材料の層を堆積するステップは、 $1/4$ 波長の厚さではない誘電体材料の層を堆積することを含む、請求項 9 または 10 に記載の方法。

【請求項 14】

蛍光検出アセンブリであって、
基板であって該基板上に形成された光検出器を有する前記基板と、

10

20

30

40

50

蛍光分子を受け入れるように配置された反応チャンバと、
前記光検出器と前記反応チャンバとの間に配置された光導波路と、
前記光検出器と前記反応チャンバとの間に配置された半導体吸収層を含む光吸収フィルタと、を備える蛍光検出アセンブリ。

【請求項 15】

前記反応チャンバと前記光検出器との間に開口を有する絞り層と、
前記半導体吸収層の第1の側面に接触する第1のキャッピング層と、
前記第1のキャッピング層および前記半導体吸収層を貫通する穴と、
前記穴を貫通して延在する導電性相互接続と、をさらに備える、請求項14に記載のアセンブリ。

10

【請求項 16】

前記半導体吸収層と共にスタック内に配置された少なくとも1つの誘電体層を吸収干渉フィルタを形成するためにさらに備え、前記スタックの除去率が前記半導体吸収層のみの除去率よりも大きい、請求項14または15に記載のアセンブリ。

【請求項 17】

前記半導体吸収層と共にスタック内に配置された少なくとも1つの誘電体層と、少なくとも1つの追加の半導体吸収層とを吸収干渉フィルタを形成するためにさらに備え、前記スタックの除去率が前記半導体吸収層のみの除去率よりも大きい、請求項14または15に記載のアセンブリ。

【請求項 18】

前記半導体吸収層が、前記反応チャンバに向けられた第1の波長の励起放射を吸収するとともに、前記反応チャンバからの第2の波長の放出放射を透過するのに十分なバンドギャップを備える、請求項14または15に記載のアセンブリ。

20

【請求項 19】

前記第1の波長は、可視電磁スペクトルの緑色領域に対応し、前記第2の波長は、前記可視電磁スペクトルの黄色領域または赤色領域に対応する、請求項18に記載のアセンブリ。

【請求項 20】

前記第1の波長が515ナノメートル（nm）から540nmの範囲内にあり、前記第2の波長が620nmから650nmの範囲内にある、請求項19に記載のアセンブリ。

30

【請求項 21】

前記第1の波長が約532nmであり、前記第2の波長が約572ナノメートルである、請求項19に記載のアセンブリ。

【請求項 22】

バンドギャップが2.2eVから2.3eVの範囲内にある、請求項18に記載のアセンブリ。

【請求項 23】

前記半導体吸収層が二元II-VI半導体からなる、請求項14に記載のアセンブリ。

【請求項 24】

前記半導体吸収層がテルル化亜鉛からなる、請求項23に記載のアセンブリ。

40

【請求項 25】

前記半導体吸収層が、第II族または第VI族からの第3の元素と合金化されたものである、請求項23に記載のアセンブリ。

【請求項 26】

前記半導体吸収層が三元III-V半導体からなる、請求項14に記載のアセンブリ。

【請求項 27】

前記半導体吸収層が窒化インジウムガリウムからなる、請求項26に記載のアセンブリ。

【請求項 28】

前記半導体吸収層がアモルファスである、請求項14乃至27のいずれか一項に記載のアセンブリ。

50

【請求項 29】

前記半導体吸収層が多結晶である、請求項 14 乃至 27 のいずれか一項に記載のアセンブリ。

【請求項 30】

前記半導体吸収層が 20 nm 以上の平均結晶粒径を有する、請求項 14 乃至 27 のいずれか一項に記載のアセンブリ。

【請求項 31】

前記半導体吸収層が本質的に単結晶である、請求項 14 乃至 27 のいずれか一項に記載のアセンブリ。

【請求項 32】

前記半導体吸収層に接触する第 1 のキャッピング層をさらに備える、請求項 14 乃至 31 のいずれか一項に記載のアセンブリ。

【請求項 33】

キャッピング層が、前記半導体吸収層からの成分の拡散を防止する、請求項 32 に記載のアセンブリ。

【請求項 34】

キャッピング層が 5 nm から 200 nm の厚さの高融点金属酸化物からなる、請求項 32 に記載のアセンブリ。

【請求項 35】

前記高融点金属酸化物が、酸化タンタル、酸化チタン、または酸化ハフニウムからなる、請求項 34 に記載のアセンブリ。

【請求項 36】

キャッピング層が、500 nm から 750 nm の間の可視光波長に関して、前記半導体吸収層からの光反射を低減する、請求項 32 乃至 35 のいずれか一項に記載のアセンブリ。

【請求項 37】

キャッピング層が、アセンブリ内の前記半導体吸収層の接着性を高める、請求項 32 乃至 36 のいずれか一項に記載のアセンブリ。

【請求項 38】

キャッピング層が、アセンブリ内の前記半導体吸収層からの面内応力を低減する、請求項 32 乃至 36 のいずれか一項に記載のアセンブリ。

【請求項 39】

前記光吸収フィルタを貫通して形成された開口と、前記開口を貫通して延在する導電性接続部とをさらに備える、請求項 14 乃至 36 のいずれか一項に記載のアセンブリ。

【請求項 40】

前記光吸収フィルタが非平面凹凸の上に形成される、請求項 14 乃至 36 のいずれか一項に記載のアセンブリ。

【請求項 41】

前記光吸収フィルタを貫通して形成された開口と、前記開口を貫通して延在する導電性接続部とをさらに備える、請求項 40 に記載のアセンブリ。

【請求項 42】

前記開口が、前記光吸収フィルタと、隣接する層との間の、前記半導体吸収層が除去されている平坦化された界面に配置されている、請求項 41 に記載のアセンブリ。

【請求項 43】

光吸収フィルタであって、基板上の非平面凹凸の上に形成された半導体吸収層を備える光吸収フィルタ。

【請求項 44】

前記半導体吸収層の少なくとも一部が平坦化によって除去されている、請求項 43 に記載の光吸収フィルタ。

【請求項 45】

前記半導体吸収層の除去された部分によって形成された開口を貫通して延在する導電性接

10

20

30

40

50

続部をさらに備える、請求項 4 4 に記載の光吸収フィルタ。

【請求項 4 6】

前記半導体吸収層は、10%以内の均一な厚さを有し、かつ前記非平面凹凸に適合している、請求項 4 3 乃至 4 5 のいずれか一項に記載の光吸収フィルタ。

【請求項 4 7】

前記半導体吸収層の一部が、前記基板の平面に対して本質的に直交するように延在する、請求項 4 6 に記載の光吸収フィルタ。

【請求項 4 8】

光吸収フィルタであって、基板上の集積デバイス内に形成された三元 III-V 半導体吸収層を備える光吸収フィルタ。

【請求項 4 9】

前記三元 III-V 半導体吸収層が単結晶である、請求項 4 8 に記載の光吸収フィルタ。

【請求項 5 0】

前記三元 III-V 半導体吸収層が窒化インジウムガリウムからなる、請求項 4 8 または 4 9 に記載の光吸収フィルタ。

【請求項 5 1】

前記集積デバイスは、前記光吸収フィルタを挟んで両側に配置された光検出器および反応チャンバを含む、請求項 4 8 乃至 5 0 のいずれか一項に記載の光吸収フィルタ。

【請求項 5 2】

前記集積デバイスは、前記光吸収フィルタの前記反応チャンバと同じ側に配置された光導波路をさらに含む、請求項 5 1 に記載の光吸収フィルタ。

【請求項 5 3】

前記集積デバイスは、前記光吸収フィルタを挟んで両側に配置された光検出器および光導波路を含む、請求項 4 8 乃至 5 0 のいずれか一項に記載の光吸収フィルタ。

【請求項 5 4】

前記半導体吸収層に隣接して形成された反射防止層であって、前記半導体吸収層からの光反射を 500 nm と 750 nm との間の可視光波長に対して低減するように構成された前記反射防止層をさらに備える、請求項 4 8 乃至 5 3 のいずれか一項に記載の光吸収フィルタ。

【請求項 5 5】

蛍光検出デバイスを形成する方法であって、
基板上に光検出器を形成するステップと、
前記基板上の前記光検出器の上方に半導体光吸収フィルタを形成するステップと、
前記基板上の前記光検出器の上方に光導波路を形成するステップと、
前記光吸収フィルタおよび前記光導波路の上方に蛍光分子を受け入れるように構成された反応チャンバを形成するステップと、を含む方法。

【請求項 5 6】

前記半導体光吸収フィルタを形成するステップは、非平面凹凸上に半導体吸収層をコンフォーマルに堆積することを含む、請求項 5 5 に記載の方法。

【請求項 5 7】

半導体吸収層からの成分の拡散を防止するために、前記半導体吸収層と接触する酸化物キャッピング層または窒化物キャッピング層を形成するステップをさらに含む、請求項 5 5 または 5 6 に記載の方法。

【請求項 5 8】

前記半導体吸収層に隣接する前記酸化物キャッピング層または前記窒化物キャッピング層を、前記酸化物キャッピング層または前記窒化物キャッピング層が存在しない場合と比較して、500 nm と 750 nm との間の可視光波長について前記半導体吸収層からの光反射を低減する厚さで形成するステップをさらに含む、請求項 5 7 に記載の方法。

【請求項 5 9】

光検出器に関する信号対雑音比を向上させる方法であって、

10

20

30

40

50

光導波路により、励起放射を反応チャンバに送達するステップと、ここで、前記光導波路および前記反応チャンバは、基板上に集積化されており、
前記反応チャンバからの放出放射を、半導体吸収層を含む光吸収フィルタを介して通過させるステップと、
光検出器により、前記半導体吸収層を通過した放出放射を検出するステップと、
前記半導体吸収層により、前記光検出器に向かって進行する励起放射を減衰させるステップと、を備える方法。

【請求項 60】

前記半導体吸収層により、前記光検出器に向かって進行する励起放射を、前記半導体吸収層を通過した放出放射を減衰させるよりも 10 倍から 100 倍多く減衰させるステップをさらに含む、請求項 59 に記載の方法。

10

【請求項 61】

前記半導体吸収層により、前記光検出器に向かって進行する励起放射を、前記半導体吸収層を通過した放出放射を減衰させるよりも 100 倍から 1000 倍多く減衰させるステップをさらに含む、請求項 59 に記載の方法。

【請求項 62】

前記半導体吸収層により、前記光検出器に向かって進行する励起放射を、前記半導体吸収層を通過した放出放射を減衰させるよりも 1000 倍から 3000 倍多く減衰させるステップをさらに含む、請求項 59 に記載の方法。

20

【請求項 63】

前記励起放射は、500 nm から 540 nm の範囲の第 1 の特性波長を有し、前記放出放射は、560 nm から 690 nm の範囲の第 2 の特性波長を有する、請求項 59 に記載の方法。

【請求項 64】

前記半導体吸収層と接触する第 1 のキャッピング層を介して放出放射を通過させるステップをさらに含む、請求項 59 乃至 63 のいずれか一項に記載の方法。

【請求項 65】

前記半導体吸収層からの放出放射の反射を前記第 1 のキャッピング層により低減させるステップをさらに含む、請求項 64 に記載の方法。

【請求項 66】

第 1 のキャッピング層が、5 nm から 200 nm の厚さの高融点金属酸化物からなる、請求項 59 乃至 65 のいずれか一項に記載の方法。

30

【請求項 67】

前記半導体吸収層からの面内応力をキャッピング層により低減させるステップをさらに含む、請求項 59 乃至 66 のいずれか一項に記載の方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本出願は、光吸収フィルタを用いて、サンプルを分析するために使用される集積デバイス内の不要な放射を低減することに関する。

40

【背景技術】

【0002】

サンプルの分析に使用される機器の分野では、微細加工されたチップを使用して、多数の分析物または検体（1 つまたは複数のサンプルに含まれる）を並行して分析することができる。いくつかの事例において、光励起放射は、チップ上の複数の個別のサイトに送られ、そこで別々の分析が実行される。励起放射は、各サイトで検体、検体に付着した蛍光色素分子、または検体との相互作用に関与する蛍光色素分子を励起することができる。励起に応答して、センサによって検出される放射がサイトから放出され得る。サイトに関して放出された放射、または放出される放射の欠如から得られた情報は、そのサイトにおける検体の特性を決定するために使用することができる。

50

【発明の概要】

【0003】

集積デバイス（サンプル分析に使用されるデバイスなど）内のセンサに入射する励起放射または他の不要な放射を減衰させることに関連する装置および方法が記載されている。いくつかの実施形態では、選択された材料および結晶形態の半導体膜が、基板上の材料のスタック内に形成されるとともに、集積デバイスのピクセル内の導波路とセンサとの間に配置される。半導体材料および結晶形態は、ピクセル内の反応チャンバから放出された放射の75%以上をセンサへと通過させながら、励起放射を大幅に減衰させるように選択される。40nmまたは約40nm離れた波長に対して、100以上の波長弁別比（「除去率（*rejection ratio*）」または「消光比（*extinction ratio*）」とも呼ばれる）が得られる。いくつかの実施形態では、多層スタックは、複数の誘電体材料の層によって分離された複数の吸収材料の層を含む。スタックは、異なる厚さを有する少なくとも3つまたは4つの層を含み得る。このようなスタックは、110nmまたは約110nmだけ離れた波長に対して、垂直から80度までの入射角の範囲（またはこれらの角度内の任意のサブ範囲）にわたって10,000を超える除去率を提供することができる。

10

【0004】

いくつかの実施形態は、複数の半導体吸収体の層と、複数の半導体吸収体を分離して多層スタックを形成する複数の誘電体材料の層と、を備える多層半導体吸収体フィルタに関し、ここで、少なくとも3つの異なる層の厚さが多層スタック内に存在する。

20

【0005】

いくつかの実施形態は、多層半導体吸収体フィルタを形成する方法に関する。方法は、複数の半導体吸収体の層を堆積する動作と、複数の半導体吸収体を分離して多層スタックを形成する複数の誘電体材料の層を堆積する動作と、を含み得、ここで、少なくとも3つの異なる層の厚さが多層スタック内に堆積される。

【0006】

いくつかの実施形態は、蛍光検出アセンブリに関し、蛍光検出アセンブリは、基板であって該基板上に形成された光検出器を有する基板と、蛍光分子を受け入れるように配置された反応チャンバと、光検出器と反応チャンバとの間に配置された光導波路と、光検出器と反応チャンバとの間に配置された半導体材料の層を含む光吸収フィルタと、を備える。

30

【0007】

いくつかの実施形態は、基板上の非平面凹凸の上に形成された半導体層を備える光吸収フィルタに関する。

いくつかの実施形態は、基板上の集積デバイス内に形成された三元III-V半導体（*ternary III-V semiconductor*）を備える光吸収フィルタに関する。

【0008】

いくつかの実施形態は、蛍光検出デバイスを形成するための方法に関し、方法は、基板上に光検出器を形成するステップと、基板上的光検出器の上方に半導体光吸収フィルタを形成するステップと、基板上的光検出器の上方に光導波路を形成するステップと、光吸収フィルタおよび光導波路の上方に蛍光分子を受け入れるように構成された反応チャンバを形成するステップと、を含む。

40

【0009】

本教示の上記の及び他の態様、実施態様、動作、機能、特徴及び実施形態は、添付の図面とともに以下の説明からより十分に理解することができる。

【図面の簡単な説明】

【0010】

【図1-1】いくつかの実施形態による、集積デバイスのピクセルにおける構造の例を示す。

【図1-2】いくつかの実施形態による、集積デバイスのピクセルにおける構造の例を示す。

50

す。

【図 1 - 3】いくつかの実施形態による、集積デバイスのピクセルにおける構造の例を示す。

【図 2 - 1】いくつかの実施形態による、例示的な半導体吸収体構造を示す。

【図 2 - 2】いくつかの実施形態による、ZnTe 半導体吸収層の波長に応じた光透過率をプロットしたものである。

【図 2 - 3】いくつかの実施形態による、InGaN 半導体吸収層の厚さに応じた除去率 R_r をプロットしたものである。

【図 2 - 4】半導体吸収層の一例の透過型電子顕微鏡写真である。

【図 2 - 5】いくつかの実施形態による、多層半導体吸収体に入射する放射の波長に応じた透過率をプロットしたものである。

【図 2 - 6 A】いくつかの実施形態による、多層吸収体フィルタの例を示す。

【図 2 - 6 B】いくつかの実施形態による、多層半導体吸収体に入射する放射の波長に応じた透過率の別の例をプロットしたものである。

【図 2 - 6 C】いくつかの実施形態による、多層半導体吸収体に入射する s 偏光放射の角度に応じた反射、吸収、および透過をプロットしたものである。

【図 2 - 7】いくつかの実施形態による、多層吸収体フィルタの別の例を示す。

【図 3 - 1】いくつかの実施形態による、凹凸の上に形成された例示的な吸収体を示す。

【図 3 - 2】いくつかの実施形態による、凹凸の上に形成された例示的な吸収体を示す。

【図 3 - 3】いくつかの実施形態による、凹凸の上に形成された例示的な吸収体を示す。

【図 3 - 4 A】いくつかの実施形態による、凹凸の上に半導体吸収体を形成するために使用することができるパターンニングされたレジスト層を示す。

【図 3 - 4 B】いくつかの実施形態による、凹凸の上に半導体吸収体を形成することに関連する構造を示す。

【図 3 - 4 C】いくつかの実施形態による、凹凸の上に半導体吸収体を形成することに関連する構造を示す。

【図 3 - 4 D】いくつかの実施形態による、凹凸の上に半導体吸収体を形成することに関連する構造を示す。

【図 3 - 4 E】いくつかの実施形態による、凹凸の上に半導体吸収体を形成することに関連する構造を示す。

【図 4】いくつかの実施形態による、集積デバイスの一部を示す断面斜視図である。

【図 5 - 1 A】いくつかの実施形態による、コンパクトなモードロックレーザーモジュールを含む分析機器のブロック図である。

【図 5 - 1 B】いくつかの実施形態による、分析機器に組み込まれたコンパクトなモードロックレーザーモジュールを示す図である。

【図 5 - 2】いくつかの実施形態による光パルス列を示す図である。

【図 5 - 3】いくつかの実施形態による、1 つまたは複数の導波路およびを介してパルスレーザーによって光学的に励起することができる並列反応チャンバの例を示すとともに、各チャンバの対応する検出器を示す図である。

【図 5 - 4】いくつかの実施形態による、導波路からの反応チャンバの光励起を示す図である。

【図 5 - 5】いくつかの実施形態による、集積された反応チャンバ、光導波路、および時間ビン光検出器のさらなる詳細を示す図である。

【図 5 - 6】いくつかの実施形態による、反応チャンバ内で起こり得る生物学的反応の例を示す図である。

【図 5 - 7】異なる減衰特性を有する 2 つの異なる蛍光色素分子の発光確率曲線を示す図である。

【図 5 - 8】いくつかの実施形態による、蛍光発光の時間ビン検出を示す図である。

【図 5 - 9】いくつかの実施形態による、時間ビン光検出器を示す図である。

【図 5 - 10 A】いくつかの実施形態による、反応チャンバからの蛍光発光のパルス励起

10

20

30

40

50

および時間ビンング検出を示す図である。

【図 5-10B】いくつかの実施形態による、検体のパルス励起を繰り返した後の様々な時間ビンにおける蓄積された蛍光光子カウントのヒストグラムを示す図である。

【図 5-11A-5-11D】いくつかの実施形態による、4 個のヌクレオチド（T、A、C、G）またはヌクレオチド類似体に対応し得る異なるヒストグラムを示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0011】

本明細書において記載されている図面は、例示を目的としたものにすぎないことを、当業者は理解するであろう。いくつかの事例において、本発明の様々な態様は、本発明の理解を容易にするために、誇張又は拡大されて示されている場合があることを理解されたい。図面において、同様の参照符号は、概して様々な図全体を通じて同様の特徴、機能的に類似する及び／又は構造的に類似する要素を参照する。図面は、必ずしも原寸に比例してはおらず、むしろ、本教示の原理を例示しているところが強調されている。図面は、決して本教示の範囲を限定するようには意図されていない。

10

【0012】

本発明の特徴及び利点は、図面とともに取り上げられるときに下記に記載される詳細な説明からより明らかとなる。図面を参照して実施形態を説明するとき、方向に関する参照（「上（above）」、「下（below）」、「上部（top）」、「下部（bottom）」、「左（left）」、「右（right）」、「水平（horizontal）」、「垂直（vertical）」等）が使用される場合がある。そのような参照は、図面を通常の向きで見る読者を補助するものとしてのみ意図している。これらの方向に関する記載は、具現化されるデバイスの特徴の好適な向き又は唯一の向きを説明することを意図していない。デバイスは、他の向きを使用して具現化されてもよい。

20

【0013】

I. 半導体吸収体を備えた集積デバイス

サンプルを分析するための機器は、改良を続けているとともに、機器の全体的なサイズを縮小するのに役立つ微細加工されたコンポーネント（例えば、電子チップ、マイクロ流体チップ）を組み込み得る。分析されるサンプルは、空気（例えば、有害なガス漏れ、燃焼副産物、または有毒な化学成分に関する検知）、水またはその他の摂取可能な液体、食品サンプル、および被験者から採取された生物学的サンプル（血液、尿など）を含むことができる。いくつかの事例において、サンプルを分析するための携帯型の機器を有することが望ましく、これにより、技術者または医療従事者は、サービスが行われ、サンプルを迅速かつ正確に分析する必要がある現場に機器を簡単に持ち込むことができる。臨床現場では、ヒトの遺伝子のシーケンシングまたは全血球計算分析などのより複雑なサンプル分析には、デスクトップサイズの機器が望まれることがある。

30

【0014】

米国特許出願公開第 2015/0141267 号明細書および米国特許第 9,617,594 号明細書（これらは両方とも参照により本明細書に組み込まれる）に記載されているような高度な分析機器において、ディスプレイ集積デバイス（簡潔にするために「チップ」および「ディスプレイチップ」と呼ばれ得る）を使用して、超並列サンプル分析を行うことができる。ディスプレイ集積デバイスは、パッケージ化されたバイオ光電子チップを含み得、バイオ光電子チップの上に、1つのサンプルまたは異なるサンプルの並行分析のための反応チャンバを有する多数のピクセルがあり得る。例えば、バイオ光電子チップ上に反応チャンバを有するピクセルの数は、いくつかの事例において、約 10,000 と約 100,000,000 との間であり得、いくつかの事例において 100,000 と約 100,000,000 との間であり得る。いくつかの実施形態では、ディスプレイチップは、高度な分析機器のレセプタクルに取り付けられ、機器内の光学および電子部品とインタフェースすることができる。ディスプレイチップは、新たなサンプル分析ごとにユーザによって簡単に交換することができる。

40

【0015】

50

図 1-1 は、バイオ光電子チップのピクセルに含まれ得るいくつかのコンポーネントを示す簡略化された図である。ピクセルは、基板 1-105 上に形成された反応チャンバ 1-130、光導波路 1-115、半導体吸収体 1-135、およびセンサ 1-122 を含むことができる。導波路 1-115 は、遠隔光源からピクセルに光エネルギーを輸送し、かつ反応チャンバ 1-130 に励起放射 (excitation radiation) を提供することができる。励起放射は、反応チャンバ 1-130 に存在する 1 つまたは複数の蛍光色素分子を励起し得る。蛍光色素分子 (単数または複数) から放出された放射は、センサ 1-122 によって検出される。センサ 1-122 からの信号またはその欠如は、反応チャンバ 1-130 内の分析物の存在または不存在に関する情報を提供することができる。いくつかの実施形態では、センサ 1-122 からの信号は、反応チャンバ内に存在する分析物のタイプを識別することができる。

10

【0016】

サンプル分析の場合、1 つまたは複数の分析物を含むサンプルが反応チャンバ 1-130 上に堆積され得る。例えば、サンプルは、反応チャンバ 1-130 上のリザーバまたはマイクロ流体チャネル内に配置され得る。いくつかの事例において、サンプルは、反応チャンバ 1-130 を含む処理された表面上に液滴としてプリントされ得る。サンプル分析中、分析されるサンプルからの少なくとも 1 つの分析物が反応チャンバ 1-130 に侵入し得る。いくつかの実施形態では、分析物自体は、導波路 1-115 から送達される励起放射によって励起されると蛍光を発し得る。いくつかの事例において、分析物は、1 つまたは複数の結合された蛍光分子を伴い得る。さらに他の事例において、分析物は、反応チャンバ 1-130 に既に存在する蛍光色素分子を消光し得る。蛍光を発する物質が反応チャンバに侵入し、励起放射によって励起されると、蛍光を発する物質は、励起放射とは異なる波長で放射を放出し、それがセンサ 1-122 によって検出される。半導体吸収体 1-135 は、反応チャンバ 1-130 からの放出放射 (emission radiation) よりも励起放射を優先的に大幅に減衰させることができる。

20

【0017】

より詳細には、反応チャンバ 1-130 は、透明または半透明の層 1-110 に形成され得る。いくつかの実施形態によれば、反応チャンバは、50 nm と 1 μ m との間の深さを有し得る。反応チャンバ 1-130 の最小直径は、いくつかの実施形態では、50 nm と 300 nm との間であり得る。反応チャンバ 1-130 がゼロモード導波路として形成される場合、いくつかの事例において、最小直径は 50 nm 未満であってもよい。大きな分析物を分析する場合、最小直径は 300 nm より大きくてもよい。反応チャンバは、反応チャンバの底部が導波路 1-115 の上部から最大 500 nm 上方に存在するように、光導波路 1-115 の上方に配置され得る。いくつかの事例において、反応チャンバ 1-130 の底部は、導波路内に配置されるか、または導波路 1-115 の上面上に配置され得る。いくつかの実施形態によれば、透明または半透明の層 1-110 は、酸化物または窒化物から形成することができ、その結果、光導波路 1-115 からの励起放射および反応チャンバ 1-130 からの放出放射は、例えば、10% を超えて減衰されることなく透明または半透明の層 1-110 を通過する。

30

【0018】

いくつかの実施形態では、基板 1-105 上に形成され、かつ基板と光導波路 1-115 との間に配置された 1 つまたは複数の追加の透明または半透明の層 1-137 が設けられ得る。これらの追加の層は、酸化物または窒化物から形成することができ、いくつかの実施形態では、透明または半透明の層 1-110 と同じ種類の材料であってもよい。半導体吸収体 1-135 は、導波路 1-115 とセンサ 1-122 との間にこれらの追加の層 1-137 とともに形成され得る。光導波路 1-115 の底部からセンサ 1-122 までの距離は、500 nm と 10 μ m との間とすることができる。

40

【0019】

様々な実施形態において、基板 1-105 は、ケイ素 (Si) などの半導体基板を含み得る。しかしながら、いくつかの実施形態では、他の半導体材料を使用することができる。

50

センサ 1-122 は、基板 1-105 上にパターンニングおよび形成された半導体フォトダイオードを含み得る。センサ 1-122 は、相互接続 1-170 を介して、基板上の他の相補型金属酸化膜半導体 (CMOS) 回路に接続され得る。

【0020】

図 1-2 には、集積デバイスのピクセルに含まれ得る別の例の構造が示されている。いくつかの実施形態によれば、1つまたは複数の遮光層 1-250 が層 1-110 の上に形成され得、その中に反応チャンバ 1-230 が形成され得る。いくつかの実施形態では、反応チャンバのエッチングのプロセスは、反応チャンバ 1-230 の上部となる 1つまたは複数の遮光層に開口を形成することから開始され得る。遮光層 1-250 は、1つまたは複数の金属層から形成され得る。いくつかの事例において、遮光層 1-250 は、半導体層および／または酸化物層を含み得る。遮光層 1-250 は、光導波路 1-115 からの励起放射が反応チャンバ 1-230 の上方にあるサンプルに伝わり、そのサンプル内の分析物を励起することを低減または防止し得る。さらに、遮光層 1-250 は、反応チャンバの上方からの外部放射が通過してセンサ 1-122 に到達するのを防止することができる。反応チャンバの外部からの放出は、不要なバックグラウンド放射および信号ノイズの原因となる可能性がある。

10

【0021】

いくつかの実施形態では、1つまたは複数の絞り層 1-240 が、センサ 1-122 の上方に形成され得る。絞り層 1-240 は、反応チャンバ 1-230 からの放出が通過してセンサ 1-122 に到達することを可能にする一方、他の方向からの（例えば、隣接するピクセルからの、または散乱した励起放射からの）放出または放射を遮断するための開口 1-242 を含み得る。例えば、絞り層 1-240 は、広い入射角で散乱した励起放射がセンサ 1-122 に衝突してバックグラウンドノイズに寄与することを遮断することができる遮光材料から形成され得る。

20

【0022】

いくつかの事例において、絞り層 1-240 は、導電性材料から形成され得、かつ基板 1-105 上またはその上方に形成された回路のための電位基準面または接地面を提供し得る。いくつかの実施形態によれば、垂直導電性相互接続またはビア 1-260 が、導電性であり得る半導体吸収体 1-235 に接触することなく絞り層 1-240 に接続されるように、ビアまたは穴 1-237 が半導体吸収体 1-235（および半導体吸収層に接触するキャッピング層（存在する場合））に形成され得る。いくつかの事例において、半導体吸収体 1-235 は、基板 1-105 上またはその上方に形成された回路のための電位基準面または接地面として使用されてもよく、垂直相互接続は、半導体吸収体 1-235 に接続されるとともに、絞り層 1-240 に接続されなくてもよい。いくつかの事例において、穴 1-237 は、導電性ビア 1-260 と半導体吸収層 1-235 との間の電氣的接触を防止する電気絶縁材料（例えば、酸化物）を含み得る。いくつかの実施形態では、半導体吸収層 1-235 は、高抵抗であってもよく、穴 1-237 は、半導体吸収層を介した電氣的接続を提供するために導電性材料で充填されてもよい。実施形態では、各ピクセルにおいて、基板 1-105 上のセンサと共に形成された記憶および読み出し電子機器 1-224 などの追加の電子部品が設けられてもよい。読み出し電子機器は、例えば、信号取得を制御し、かつ各センサ 1-122 において蓄積された電荷を読み出すために使用され得る。いくつかの実施形態では、半導体吸収体 1-235（およびキャッピング層）の穴 1-237 は、半導体層を介した電氣的接続、例えば、ワイヤボンディング、フリップチップボンディング、または他の方法を介した集積回路の外部回路への接続を可能にすることができる。

30

40

【0023】

図 1-3 に示すように、いくつかの事例において、半導体吸収材料の複数の層が設けられてもよい。例えば、半導体吸収体 1-335 は、介在層 1-334 の材料によって離間された 2 層、3 層、またはそれ以上の層の半導体吸収材料 1-336 を含み得る。介在層 1-334 は、半導体吸収材料 1-336 とは異なる屈折率を有することができる。介在層

50

1-334は、付加的または代替的に、半導体吸収材料1-336とは異なる透過率を有することができる。いくつかの事例において、半導体吸収材料の異なる層の厚さ1-336は、本質的に同じであり、かつ介在層1-334の厚さとは異なっているとしてもよいが、いくつかの事例では、半導体吸収材料1-336の層は、少なくとも2つの異なる厚さを有してもよい。いくつかの実施形態では、半導体吸収材料1-336の厚さは、シリコン系吸収材料については75 nmと90 nmとの間であり得、励起特性波長は、515 nmと540 nmとの間であり得る。他の厚さが、他の吸収材料および励起波長に使用されてもよい。いくつかの事例において、介在層1-334の厚さは、本質的に同じであり、かつ半導体吸収材料1-336の層の厚さとは異なっているとしてもよいが、いくつかの事例では、介在層1-334は、少なくとも2つの異なる厚さを有してもよい。いくつかの実施形態では、介在層1-334の厚さは、酸化ケイ素については50 nmと150 nmとの間であり得、励起特性波長は、515 nmと540 nmとの間であり得る。他の厚さが、他の介在層材料および励起波長に使用されてもよい。

10

20

30

40

50

【0024】

図1-3に示すように、多層の半導体吸収材料1-336を使用することによって、層間の光干渉効果が、半導体吸収体のバンドエッジの急峻さを効果的にシャープにし、半導体吸収体1-335の除去率を向上させることができる。バンドエッジを干渉的にシャープにすることは、半導体吸収材料1-336の結晶化度を低品質にすることを許容し得る。いくつかの実施形態では、多結晶またはアモルファス半導体材料（例えば、アモルファスシリコン、アモルファス炭化ケイ素、アモルファスZnTe、アモルファスInGaNなど）が、多層の半導体吸収材料1-336を有する半導体吸収体1-335に使用されてもよい。

【0025】

図2-1には、半導体吸収体2-135の詳細が示されている。様々な実施形態において、半導体吸収体2-135は、半導体吸収層2-210を含む。図2-1に示される構造は、1つの半導体吸収材料の層のみを有する半導体吸収体において実施されてもよく、または複数の半導体吸収材料の層を有する半導体吸収体において1つまたは複数の層に使用されてもよい。半導体吸収層は、バンドギャップを有する半導体材料から形成され得る。例えば、半導体吸収層は、光スペクトルの可視領域に対応するバンドギャップを有する化合物半導体材料から形成され得る。材料の例には、テルル化亜鉛、窒化インジウムガリウム、リン化ガリウム、酸化バナジウム、窒化タンタル、ヒ化アルミニウム、ケイ化マグネシウム、アンチモン化アルミニウム、ヒ化ケイ素、およびヒ化インジウムが含まれるが、これらに限定されない。いくつかの用途に適し得るさらなる材料には、炭化ケイ素、ケイ素炭素水素（silicon carbon hydrogen）、硫化カドミウム、酸化カドミウム、およびセレン化亜鉛が含まれる。そのような例示的な材料は、様々な化学量論比で実施することができる。半導体吸収層2-210は、いくつかの実施形態では多結晶であり得るか、またはいくつかの実施形態では単結晶であり得る。いくつかの事例において、多結晶半導体吸収層2-210の平均粒径は、横方向の面内方向で測定して、20 nm以上であり得る。いくつかの事例において、多結晶半導体吸収層2-210の平均粒径は、横方向の面内方向で測定して1 μ m以上であり得る。いくつかの実施形態では、半導体吸収層2-210は、アモルファス半導体材料からなり得る。いくつかの実施形態によれば、半導体吸収層2-210の厚さは、200 nmと5 μ mとの間であり得る。いくつかの事例において、半導体吸収層2-210の厚さは、1 μ mと2 μ mとの間であり得る。

【0026】

半導体吸収層2-210に使用される半導体材料の種類は、励起放射に対する所望の吸収と反応チャンバ1-230から放出される放射に対する透過を提供するように選択または調整することができる。例えば、半導体材料は、バンドギャップを有するように選択または調整されて、バンドギャップよりも大きい光子エネルギーを有する励起放射が半導体材料によってほとんど吸収され、バンドギャップよりも小さい光子エネルギーを有する反応

チャンバ 1-230 からの蛍光色素分子の放出がほとんど半導体材料によって透過されるようにしてもよい。実施形態では、バンドギャップは、吸収される波長と透過される波長との間の遷移が、光導波路 1-115 によって提供される励起放射と、反応チャンバ 1-230 から放出される蛍光放射との間に存在するように選択または調整される。半導体吸収層 2-210 のバンドギャップは、半導体の組成を変更することによって（例えば、 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ （ x の値は $0 < x < 1$ の範囲内にある）の In および Ga の化学量論比を変更することによって）調整され得る。

【0027】

図 2-2 には、 ZnTe から形成された半導体吸収層 2-210 の例示的な透過曲線が示されている。いくつかの実施形態では、励起放射は 532 nm の特性波長を有し得、蛍光放出は、560 nm と 580 nm との間にある特性波長値を有し得る。励起放射の特性波長が約 532 nm である例の場合、半導体吸収層 2-210 は、励起放射よりも約 400 倍の放出放射（例えば、センサ 1-122 に向けての）を透過する（除去率 $R_r \sim 400$ ）。いくつかの実施形態では、励起放射の特性波長は 500 nm と 540 nm との間であり得、放出放射の特性波長は 560 nm と 650 nm との間であり得る。いくつかの事例において、除去率はより高くすることができる（例えば、400 と 800 との間、800 と 1000 との間、または 1000 と 3000 との間）。いくつかの実施形態によれば、半導体吸収体は、所望の検出される放射（例えば、反応チャンバからの放出放射）を 5% と 85% との間で減衰させ、一方、不要な放射をこの量よりも大幅に減衰させるようにしてもよい。

【0028】

本発明者らは、フィルタカットオフの急峻さ、およびカットオフよりも長い波長で透過される放射とカットオフよりも短い波長で吸収される放射との比率は、半導体吸収層（単数または複数）2-210 の厚さ、半導体吸収層の数、半導体吸収層（単数または複数）の結晶品質、および励起特性波長と放出特性波長の分離に依存し、これらのパラメータの各々はある程度変更可能であることを認識し、理解した。半導体吸収層 2-210 の厚さは、例えば、半導体吸収材料の堆積時間の長さを調整することによって制御することができる。

【0029】

いくつかの実施形態では、半導体吸収層 2-210 の結晶品質を改善するために、堆積プロセスの種類（例えば、有機金属化学気相堆積法、分子線エピタキシー法（MBE: molecular beam epitaxy）、または物理気相堆積法）が選択され得る。いくつかの事例において、下層に、異なる材料のシード層を最初に堆積して、続いて堆積される半導体吸収層 2-210 の結晶品質を向上させるようにしてもよい。いくつかの実施形態では、堆積後のアニールステップを実行して、半導体吸収層 2-210 の結晶品質を向上させることができる。いくつかの実施形態では、半導体吸収層 2-210 は、層の平面で測定されたときに、20 nm 以上の平均結晶粒径を有し得る。いくつかの事例において、平均結晶粒径は 50 nm 以上である。いくつかの事例において、平均結晶粒径は 100 nm 以上である。いくつかの事例において、平均結晶粒径は 500 nm 以上である。いくつかの事例において、平均結晶粒径は 40 nm と 100 nm との間である。いくつかの事例において、平均結晶粒径は 100 nm と 500 nm との間である。いくつかの事例において、平均結晶粒径は 100 nm と 1 μm との間である。いくつかの事例において、平均結晶粒径は 1 μm と 3 μm との間である。いくつかの事例において、平均結晶粒径は 2 μm と 5 μm との間である。いくつかの事例において、平均結晶粒径は 5 μm と 10 μm との間である。いくつかの実施形態によれば、半導体吸収層 2-210 は、より大きな結晶粒径を有してもよく、または本質的に単結晶であってもよい。例えば、半導体吸収層 2-210 は、ハンドルウェハを使用して成長させた単結晶ウェハから剥離および転写され、基板 1-105 上の下地層に接合することによって堆積されてもよい。

【0030】

いくつかの実施形態では、半導体吸収層 2-210 は、繊維状、円筒状、またはパンケー

キ状などの特定の結晶形態を有し得る。繊維状の形態は、半導体吸収層 2-210 において垂直方向に配向された繊維状または背の高い柱状結晶を示し得る。図 2-4 には、繊維状結晶の例が透過型電子顕微鏡画像で示されている。長い柱状結晶は、アスペクト比が高く（例えば、長さ対直径の比が 10 : 1 を超える）、垂直方向に配向され、かつテルル化亜鉛の層内に形成される。円筒状の形態は、長さ対直径の比が 0.5 : 1 と 10 : 1 との間の結晶粒を有し得る。パンケーキ状の形態は、長さ対直径の比率が 0.5 : 1 未満の結晶粒を有し得る。

【0031】

いくつかの事例において、半導体吸収層 2-210 がアモルファス半導体材料から形成されてもよい。例えば、本明細書に記載の半導体材料のいずれも、スパッタリング、電子ビーム蒸着、またはプラズマ強化化学気相堆積法（PECVD）などの化学気相堆積プロセスによってアモルファス材料として堆積されてもよい。アモルファス半導体材料の例には、アモルファスシリコン、アモルファス炭化ケイ素、アモルファス窒化ケイ素、アモルファス酸化シリコン、アモルファス ZnTe、アモルファス InGa_N、およびそれらの合金が含まれるが、これらに限定されない。いくつかの実施形態では、アモルファス半導体材料または合金は、水素化され得る（例えば、アモルファス水素化シリコン、アモルファス水素化炭化ケイ素など）。いくつかの実施形態では、窒素は、堆積中に、例えば、化学気相堆積プロセス中に、アモルファス半導体材料または合金に添加され得る。いくつかの事例において、アモルファスシリコンなどの堆積中に窒素および／または他の元素（単数または複数）を材料に添加して、屈折率 n および吸光係数（*extinction coefficient*） k を対象の波長の透過および遮断に必要な値に調整することができる。いくつかの実施形態では、堆積されたアモルファス半導体材料は、アモルファス半導体材料全体に分布したナノ結晶または微結晶を含み得る。アモルファス半導体吸収層 2-210 は、本明細書に記載の半導体吸収体構造のいずれかにおいて使用することができる。実際には、アモルファス半導体吸収層 2-210 は、既存のファウンドリツールおよびプロセスを使用して基板上に製造することが簡単で低コストであり得る。いくつかの事例において、アモルファス半導体または他の材料の堆積は、例えば、CMOS プロセスと互換性のあるより低い温度（例えば、500℃未満）で達成され得る。アモルファス半導体材料は、同じタイプの多結晶または結晶性半導体材料ほど急峻なバンドエッジを提供し得ないが、特性励起波長と放出波長に大きな差がある場合は、そのバンドエッジで十分であり得る。しかしながら、一部の微細加工プロセスでは、多結晶または結晶半導体材料を CMOS 構造と互換性のある方法で利用できる場合がある。

【0032】

半導体吸収層 2-210 などの吸収層の利点は、多層誘電体フィルタなどの他のタイプの波長フィルタよりも高い角度許容度（*angular tolerance*）を有することができることである。誘電体フィルタでは、各層はごくわずかな量の放射（例えば、入射放射の 1 パーセント未満）を吸収する。例えば、約 2 ミクロンの厚さを有する多層誘電体フィルタ（分布ブラッグ反射器など）は、垂直入射において約 800 の除去率 R_r を提供することができる。除去率 R_r は、励起波長（例示的な構造では 532 nm）における透過強度に対する、放出波長（例示的な構造では 572 nm）における透過強度の比である。30 度の入射角では、除去率 R_r は 110 に低下する。対照的に、厚さ 2.0 ミクロンの ZnTe 半導体吸収層 2-210 は、全ての入射角において 800 を超える除去率 R_r を提供する。従って、ミクロンスケールの薄膜吸収層または半導体吸収層 2-210 は、角度許容度の点でミクロンスケールの薄膜多層誘電体フィルタよりも優れた性能を発揮し、さらに広く利用可能な CMOS 処理装置と互換性がある。例えば、半導体吸収層 2-210 は、多層誘電体フィルタに必要とされるほど厳密な寸法公差を有していなくてもよい 1 つまたはいくつかの層を含み得る。

【0033】

いくつかの実施形態によれば、半導体吸収層 2-210 は、広い範囲にわたってバンドギャップの調整可能性を提供することができる InGa_N から形成され得る。例えば、In

10

20

30

40

50

およびGaの濃度の比率を変化させることにより、バンドギャップを0.8 eVから3.4 eVまで調整することができ、可視光波長範囲全体をカバーすることができる。InGa_xN_{1-x}は、結晶基板上に単結晶材料としてエピタキシャル成長させることができるか、または、有機金属化学気相堆積法(MOCVD: metal organic chemical vapor deposition)、分子線エピタキシー、スパッタリング、反応性スパッタリング、およびその他の確立された方法を含む、様々な化学的堆積法および物理的堆積法によって多結晶形態で堆積させることができる。いくつかの実施形態では、バンドギャップは、二元半導体(binary semiconductor)を第3の第II族元素および／または第V族元素と合金化するか、または他の方法で合成されることによって調整することができる。得られるZnTe半導体組成物のいくつかの例には、これらに限定されないが、ZnTeOおよびCdZnTeが含まれる。

10

【0034】

単結晶InGa_xN_{1-x}のモデリングは、1.5ミクロンの層厚で、3000を超える除去率R_r(572 nm/532 nm)が得られることを示唆している。いくつかの実施形態では、半導体吸収層2-135は、InGa_xN_{1-x}から形成された半導体吸収層2-210を含み得る。吸収層の厚さは200 nmと3ミクロンとの間であり得、層の除去率R_rは20と100000との間であり得る。図2-3は、単結晶InGa_xN_{1-x}に関して計算された、層の厚さに応じた除去率R_rの曲線の例をプロットしたものである。

【0035】

いくつかの実施形態では、1つまたは複数のキャッピング層2-220が、半導体吸収層2-210に隣接して形成され得る。いくつかの事例において、半導体吸収層2-210の一側面上に1つのキャッピング層2-220が存在し得る。他の事例において、半導体吸収層2-210の各側面上、例えば、上面および下面上にキャッピング層が存在し得る。キャッピング層2-220は、いくつかの実施形態によれば、20 nmと100 nmとの間の厚さの少なくとも1つの薄い層を含み得るが、いくつかの事例において、より厚い層が使用され得る。いくつかの実施形態では、半導体吸収層2-210の一側面上のキャッピング層2-220は、異なる材料の複数の層を含み得る。キャッピング層2-220に使用できる材料の例には、これらに限定されないが、窒化ケイ素、酸化アルミニウム、酸化チタン、酸化ハフニウム、および酸化タンタルが含まれる。

20

【0036】

半導体吸収層2-210の隣接する材料への拡散を防ぐため、または半導体吸収材料の環境への放出を防ぐために、1つまたは複数のキャッピング層2-220を含むことができる。いくつかの実施形態では、キャッピング層2-220は、半導体吸収層2-210のみによって提供されるよりも、追加的または代替的に、直接隣接する層への接着性を向上させることができる。いくつかの実施形態では、1つまたは複数のキャッピング層2-220は、半導体吸収層2-210の応力を低減または誘導し、かつ／または半導体吸収層2-210の結晶化度を向上させることができる。いくつかの事例において、キャッピング層2-220は、補償型の応力(例えば、半導体吸収層が圧縮応力を有する場合の引張応力)を提供することによって、アセンブリ内の半導体吸収層2-210からの応力を低減することができる。

30

40

【0037】

追加的または代替的に、いくつかの実施形態では、半導体吸収層2-210からの光反射を低減するためにキャッピング層を形成してもよい。いくつかの事例において、半導体吸収層2-210は、隣接する層とは著しく異なる屈折率を有していてもよいが、半導体吸収層2-210と隣接する層との間の界面から、かなりの量の反射放射が発生する可能性がある。これに関して、1つまたは複数のキャッピング層2-220は、半導体吸収層2-210のための反射防止コーティング(単数または複数)として形成されて、1つまたは複数の波長の光反射をある範囲の波長にわたって低減するようにしてもよい。例えば、キャッピング層2-220は、反応チャンバ1-230からの放出放射および／または励起放射の反射を低減することができる。ZnTeから形成され、かつ隣接する酸化ケイ素

50

層を有する半導体吸収層 2-210 の場合、532 nm および 572 nm における反射は、それぞれ約 14 % および 10 % であり得る。厚さ 63 nm の窒化ケイ素のキャッピング層 2-220 を追加することで、これらの反射を 1 % 未満に低減することができる。いくつかの実施形態によれば、半導体吸収層に隣接して形成された酸化物キャッピング層または窒化物キャッピング層は、酸化物キャッピング層または窒化物キャッピング層が存在しない場合と比較して、500 nm と 750 nm との間の可視光波長について半導体吸収層からの光反射を低減する。酸化物キャッピング層または窒化物キャッピング層の厚さは、所望の波長についての光反射を低減するように選択することができる。

【0038】

いくつかの実施形態によれば、半導体吸収層 2-210 は、例えば、図 1-3 に示されるように、半導体吸収層 2-210 とは異なる光学特性を有する 1 つまたは複数の誘電体層を含むスタックにそれ自体が組み込まれるか、または 1 つまたは複数のキャッピング層 2-220 と共に組み込まれ得る。1 つまたは複数の誘電体層、半導体吸収層 2-210、および 1 つまたは複数のキャッピング層 2-220 (存在する場合) の厚さは、励起放射および/または放出放射の光学的干渉を提供するように選択され得る。従って、半導体吸収層 2-210 および 1 つまたは複数の誘電体層は、半導体吸収体 1-235 のみに関する除去率 R_r と比較して、スタックに関する除去率 R_r をさらに増加させ得るハイブリッド吸収干渉フィルタ (hybrid absorptive-interference filter) を形成することができる。いくつかの事例において、そのような多層スタックは、多結晶材料またはアモルファス半導体材料から形成された 1 つまたは複数の半導体吸収層 2-210 を含み得る。いくつかの事例において、多層スタックは、半導体ではない多結晶材料またはアモルファス材料から形成された 1 つまたは複数の吸収層を含み得る。

【0039】

本発明者らは、デクスターエネルギー移動 (DET: Dexter energy transfer) プロセスおよび/またはフェルスター共鳴エネルギー移動 (FRET: Förster resonant energy transfer) プロセスを使用して、放出放射がより長い波長にシフトされ得ることをさらに認識し、理解した。一例として、分析物または標本に関連する 2 つの蛍光色素分子が存在し得る。2 つの蛍光色素分子のうちの第 1 の蛍光色素分子は、第 2 の蛍光色素分子よりも反応チャンバに送達される励起放射によってより効率的に励起され得る。第 2 の蛍光色素分子は、第 1 の蛍光色素分子と近接するように (例えば、10 nm 未満)、化学リンカにより結合され得る。従って、第 1 の蛍光色素分子からの放出エネルギーは、第 1 の蛍光色素分子から第 2 の蛍光色素分子に移動し、第 2 の蛍光色素分子が第 1 の蛍光色素分子よりも長い特性波長で放射を放出するように励起され、かつセンサ 1-122 によって検出され得る。一例として、第 1 の蛍光色素分子は、光スペクトルの黄色領域内にある特性波長で発光し得、第 2 の蛍光色素分子は、例えば、光スペクトルの黄-赤色領域または赤色領域内で赤方偏移された特性波長で発光し得る。第 1 の蛍光色素分子から第 2 の蛍光色素分子へのエネルギー移動は、いくつかの事例において、非放射性的 DET プロセスまたは FRET プロセスであり得る。エネルギー移動および放出放射のより長い特性波長への偏移により、単一の蛍光色素分子に対するストークスシフト (Stokes shift) よりも大きい効果的なストークスシフトがもたらされる。そのような増加した効果的なストークスシフトは、半導体吸収体による放出波長の吸収が第 1 の蛍光色素分子の場合よりも少ない位置に、放出放射を半導体吸収体のバンドエッジから遠ざかるように移動させ得る。

【0040】

一般に、励起波長と放出波長との間の間隔が大きい蛍光色素分子を使用することが望ましい。蛍光色素分子における単一電子遷移の場合、この分離は「ストークスシフト」と呼ばれる。いくつかの実施形態では、複数の蛍光色素分子を FRET アプローチまたは DET アプローチにおいて上記したように使用して、励起波長と放出波長との間のより大きな分離を達成することができる。複数の蛍光色素分子の使用に起因する励起波長と放出波長と

10

20

30

40

50

の間のこのより大きな分離は、本明細書では「効果的なストークスシフト」と呼ぶ。

【0041】

図2-5は、5つの異なる入射角に関する波長に応じた多層半導体吸収体についての計算された透過率の結果をプロットしたものである。多層半導体吸収体は、それぞれ約110 nmの厚さの酸化ケイ素の3つの層によって分離された、それぞれ約85 nmの厚さのアモルファスシリコンの4つの層で構成されている。多層半導体吸収体は、酸化ケイ素内に埋め込まれている。アモルファスシリコンの屈折率は、波長532 nmにおいて約4.3であり（この値は放射の波長に依存する）、酸化ケイ素の屈折率は、波長532 nmにおいて約1.5であり（この値は、半導体吸収体に入射する放射の波長にも依存する）。この計算では、励起放射の特性波長は約532 nmであり、上記のように2つの蛍光色素分子を使用して、放出特性波長を620 nmと690 nmとの間の範囲の値に偏移させる。計算は、多層半導体吸収体で1000よりも大きい除去率が得られることを示している。

10

【0042】

図2-5にプロットされた結果は、非正規の入射角に対して除去率が維持されるか、または、場合によっては、さらに高くなることを示している。このような挙動は、非垂直入射角で除去率が大幅に低下する可能性がある多層誘電体バンドパスフィルタの角度依存性とは異なる。複数のピクセルを含む集積デバイスにおいて、大きな入射角にわたって高い除去率を維持することは有利であり得る。例えば、大きな入射角にわたって高い除去率を有するフィルタは、センサ1-122によってクロストークノイズとして検出され得る隣接ピクセルからの斜めの放射をより良好に遮断または低減することができるため、ピクセルをより密に配置することができる。

20

【0043】

いくつかの事例において、大きな非垂直入射角で励起放射の高い除去のみを維持することで、ピクセル密度を高めるのに十分であり得る。例えば、図2-5において、532 nmの特性波長を有する励起放射は、60度以上までの非垂直角度において加えて除去される。この挙動により、隣接するピクセルからの励起放射の除去を向上させることができる。いくつかの実施形態では、大きな非垂直入射角での放出放射の除去を増加させる半導体吸収体がさらに有益である。図2-5の結果は、60度における放出放射が35度における放出放射よりも減衰していることを示している。この挙動により、隣接するピクセルからの放出放射の除去を向上させることができる。いくつかの実施形態によれば、集積デバイス内の複数のピクセルの中心間のピクセル間隔は、2ミクロンと50ミクロンとの間の範囲内の値を有し得るが、いくつかの事例において、より小さいか、またはより大きな間隔が可能であり得る。

30

【0044】

図2-6Aにおいて、多層半導体吸収体フィルタ2-600の別の例を示す。半導体吸収体フィルタ2-600は、複数の誘電体材料の層2-620によって分離された複数の半導体吸収体の層2-630を含み得る。図示の例では、多層半導体吸収体フィルタ2-600は、6個の誘電体材料の層2-620によって分離された7個の半導体吸収体の層または薄膜2-630を含む。半導体吸収体の層2-630は、誘電体材料の層2-620よりも著しく多くの放射（例えば、少なくとも2倍の放射）を吸収し得る。一例として、半導体吸収体2-630は、窒素がドーピングされたアモルファスシリコンから形成することができ、誘電体材料の層2-620は、二酸化ケイ素などの酸化物からなるものとする。この状況での「ドーピング」とは、吸収体の光学特性（例えば、屈折率、吸光係数）を調整するために不純物を添加することを意味する。多層半導体吸収体フィルタ2-600は、基板上の周囲材料2-610、2-640のスタックにさらに集積化することができる。周囲材料は、誘電体材料の層2-620と同じ材料または異なる材料であり得る。いくつかの実施形態では、図2-6Aに示すよりも少ないか、または多い半導体吸収体の層2-630を使用してもよい。

40

【0045】

図2-6Aに示される例示的なフィルタは半導体吸収体を含むが、他の実施形態では、他

50

の材料を使用してもよい。例えば、ドーピングされたガラス、酸化物、または窒化物を吸収層として使用してもよい。いくつかの事例において、半導体吸収体は特定の波長以下でより強い光吸収を有することができ、従って、いくつかの用途に好適であり得る。いくつかの吸収材料では、530 nm付近で光吸収がシャープに遷移するものがある。アモルファス材料は、光吸収曲線において幅広い遷移を有することができる。アモルファスシリコンは、光吸収の遷移が広い半導体材料である。アモルファスシリコンまたは選択された吸収材料に窒素または他の元素をドーパントとして導入することにより、光学特性（例えば、屈折率、吸光係数、吸収（absorption））を調整することが有利である。いくつかの事例において、得られた材料は、吸収材料とドーパントまたはドーパント化合物とのアモルファス合金（例えば、アモルファスシリコンおよび窒化ケイ素）を形成する。合金化プロセスは、本明細書では「ドーピング」と呼ばれるが、ドーパントが必ずしも半導体ドーパントとして振る舞うとは限らないことが理解されよう。いくつかの実施形態では、得られた合金の電氣的挙動は、半導体の代わりに誘電吸収材料として特徴付けることができる。本実施形態の多層吸収体フィルタの場合、吸収層は、間に介在する誘電体層の少なくとも2倍の光吸収を示し、かつ介在層との屈折率の差が10パーセントを超えるか、または $n \geq 0.1$ であるものをさらに含むことができる。

10

20

30

【0046】

多くの従来の多層誘電体フィルタでは、フィルタスタックの層は1/4波長層であり、スタック全体で各材料に対して同じ厚さが使用されているため、スタックは非常に規則的な繰り返し構造（例えば、 t_1 、 t_2 、 t_1 、 t_2 、 t_1 、 t_2 、 t_1 、 t_2 ）となっており、 t_1 はスタック内の第1の誘電体材料の厚さであり、 t_2 はスタック内の第2の誘電体材料の厚さである。多層半導体吸収体フィルタ2-600の場合、本発明者らは、1/4波長以外の層の厚さおよび不均一な厚さがフィルタ特性を向上させることができることを見出した。例えば、半導体吸収体の層2-630はすべて同じ厚さ t_a を有し得、誘電体材料の層2-620は、1/4波長よりも大きい異なる厚さを有することができる。吸収層の厚さが1/4波長の倍数ではなく、1/4波長より大きい場合においても、改善が得られる。いくつかの事例において、スタック内に少なくとも3つまたは4つの異なる厚さの層が存在してもよい。例えば、図2-6Aの図に示すように、厚さ t_1 は厚さ t_2 とは異なり、両方の厚さは厚さ t_3 とは異なるようにすることができる。その他の事例において、図2-7の多層半導体吸収体フィルタ2-700に示されているように、半導体吸収体2-630の厚さ t_{s1} 、 t_{s2} 、 $\dots$ 、 t_{s8} と、誘電体材料の層2-620の厚さ t_{d1} 、 t_{d2} 、 $\dots$ 、 t_{d8} の両方を、スタック内で変化させることができる。さらに、層の厚さのいくつかは、フィルタが遮断または通過するように設計されている放射の1/4波長に対応していなくてもよい。1/4波長の厚さは、層の屈折率を考慮して、層内で決定される。スタック内の同じ材料および/または異なる材料に対する厚さの変動は、20%を超える場合、50%を超える場合、さらに100%を超える場合もあるが、10分の1未満の場合もある。

【0047】

いくつかの実施形態によれば、半導体吸収体2-630の厚さは、多層半導体吸収体フィルタにおいて20 nmと300 nmとの間であり得る。誘電体材料の層2-620の厚さは、40 nmと300 nmとの間であり得る。いくつかの事例において、半導体吸収体2-630は、ドーピングまたは合金化されたアモルファスシリコンまたは上記の他の半導体材料から形成することができる。アモルファスシリコンを使用する利点は、他のCMOSプロセス（後工程のメタライゼーションを形成するプロセスなど）との互換性があるほど十分に低い温度で堆積することができることである。いくつかの実施形態では、窒素をドーパントまたは添加剤として使用することができるが、他のドーパントまたは添加剤（例えば、炭素、リン、ゲルマニウム、ヒ素など）をいくつかの吸収体において使用してもよい。窒素をドーピングしたアモルファスシリコンの場合、アモルファスシリコンの堆積中に添加される窒素の量は、0原子パーセントと40原子パーセントとの間であり得る。このドーピングレベルの範囲では、2.6と4.3との間の屈折率値の範囲、および0.

40

50

0.1と0.5との間の吸光係数値の範囲を得ることができる。他のドーパント、半導体材料、およびドーピング範囲を他の実施形態で使用して、特定の波長範囲（例えば、緑波長、青波長、または紫外線波長または赤外線波長）に対して異なる屈折率および吸光係数値を得ることができる。

【0048】

図2-6Bは、図2-6Aに示されているような多層半導体吸収体2-600の透過率の計算結果を、5つの異なる入射角に対する波長の関数としてプロットしたものである。多層半導体吸収体は、窒素をドーピングした7層のアモルファスシリコン吸収体2-630から構成されている。この例では、半導体吸収体2-630の各層の厚さは、約30nmである。誘電体材料2-620の最外層の厚さ t_1 は、約67nmである。スタックの中心に向かって位置する次の誘電体材料の層2-620の厚さ t_2 は、約108nmである。誘電体材料の最も内側の層2-620の厚さ t_3 は、約95nmである。多層半導体吸収体フィルタ2-600は、酸化ケイ素に埋め込まれている。ドーピングされたアモルファスシリコンの屈折率は、532nmの波長において約3.6であり、その値は放射の波長に依存する。ドーピングされたアモルファスシリコンの吸光係数 k は、532nmの波長において約0.2であり、かつ波長依存性を有する。酸化ケイ素の屈折率は、532nmの波長において約1.5であり、この値は、半導体吸収体に入射する放射の波長にも依存する。

10

【0049】

図2-6Bに示されている結果のフィルタ設計は、（グラフの左側の影付きのバーで示されている）約532nmの特性波長を有する励起放射用である。さらに、FRETプロセスおよび／またはDETプロセスによる効果的なストークスシフトを増加させ、放出特性波長を（グラフの右側の影付きの領域で示されている）640nmと700nmとの間の範囲の値に偏移させるために、上記したように2つの蛍光色素分子が使用される。これらの結果は、1/4波長の厚さではない層を吸収フィルタに含めると、24,000を超える除去率が得られることを示唆している。結果はまた、60度までの入射角に対して高い除去率が維持されたフィルタの非常に良好な角度依存性を示している。

20

【0050】

図2-6Cには、図2-6Bに関連して説明した多層半導体吸収体フィルタ2-600に関する、角度依存性の詳細が示されている。プロットされた曲線は、532nmの特性波長を有するs偏光放射を様々な角度でフィルタに入射させた場合のものである。p偏光放射に対する結果は、角度許容度が小さいことを示している。最上部のトレースは、入射放射の反射率 R をプロットしている。中央のトレースは、入射放射の吸収 A をプロットし、下部のトレースは入射放射の透過 T をプロットしている。s偏光放射に対して約80度までの優れた角度許容度が得られ、これは、従来の多層誘電体フィルタでは実現できなかったことである。例えば、0度と80度との間の入射角に対して、除去率は10000を超えて維持される。いくつかの実施形態では、フィルタの反射率は、同じ入射角範囲にわたって、その平均値の20%未満で変化する。そのような高い除去率および広い角度許容度は、不均一な厚さの層を含むスタックにおいては、本発明者らによって当初は想定されていなかったことである。

30

40

【0051】

フィルタの性能は、フィルタを取り囲む材料（例えば、図1-3に示されるような、基板に組み込まれたときにフィルタの上および下に位置する材料）に応じて異なる可能性があることを理解されたい。例えば、基板上の他の材料からの反射により、基板上に集積された場合、図2-6Bおよび図2-6Cに示すような計算結果から、フィルタの反射率、吸収、および透過特性が変化する可能性がある。

【0052】

図2-7は、多層半導体吸収体フィルタ2-700の別の例を示す。このフィルタ設計には、半導体吸収体の層2-630と誘電体材料の層2-620の両方の厚さにおける変化が含まれる。例示的な実施形態では、半導体吸収体の層2-630の厚さは、（それぞれ

50

t_{s1}からt_{s8}まで)約32nm、約153nm、約145nm、約32nm、約145nm、約32nm、約145nm、および約133nmである。実施形態のデバイスでは、厚さは、正確に記載された値であるか、または、これらの値の±5nm以内であってもよい。誘電体材料の層2-620の厚さは、(それぞれt_{d1}からt_{d7}まで)約56nm、約100nm、約79nm、約100nm、約100nm、約79nm、および約100nmである。実施形態のデバイスでは、厚さは、正確に記載された値であるか、または、これらの値の±5nm以内であってもよい。図2-7に示すフィルタ設計は、単一の蛍光色素分子が使用される用途(例えば、FRETまたはDETが使用されない場合)に有用であり得る。

【0053】

多層吸収体フィルタは、吸収材料と誘電体材料の連続的な時間指定の堆積によって形成されてもよい。堆積は、各層に関して所望の厚さを達成するようにタイミングが合わせられ得る。化学気相堆積プロセスが使用してもよい。堆積の好ましい方法は、プラズマ強化化学気相堆積(PECVD)である。堆積される吸収層の数は、いくつかの実施形態では20未満、いくつかの実施形態では10未満、さらにいくつかの実施形態では5未満であり得る。いくつかの実施形態によれば、吸収層は、励起放射に対するスタック内の電界の1つまたは複数のピークの部分を含む、集積されたスタック内の領域に配置され得る。いくつかの事例において、吸収層は、放出放射に関する電界のピークから離れて配置され得る。

【0054】

半導体吸収体1-235は、図1-2に平坦な層として示されているが、本発明は、平坦な半導体吸収体のみに限定されない。いくつかの事例において、ここで図3-1を参照すると、半導体吸収体3-135が、凹凸構造(topographical structure)を有するように第1の層3-110上に形成され得る。凹凸構造の高さhは、いくつかの実施形態によれば、100nmと2000nmとの間であり得る。いくつかの事例において、高さhは、半導体吸収体の厚さtの1.5倍と3倍との間であり得る。いくつかの実施形態によれば、凹凸構造における窪み3-113または頂部3-114の幅wは、50nmと500ミクロンとの間の任意の値を有し得る。図3-1に示すように、凹凸(topography)に充填するために、半導体吸収体の上に第2の層3-112を堆積してもよい。

【0055】

半導体吸収体3-135内の凹凸は、半導体吸収体3-135内の面内応力を緩和するために含まれてもよい。いくつかの事例において、半導体吸収材料は、堆積プロセスの結果として面内応力を蓄積し得る。そのような応力は、十分に大きい場合、基板の反りを引き起こし、場合によっては、半導体層の亀裂および/または剥離を引き起こす可能性がある。凹凸により、応力が緩和されて、反り、亀裂、および剥離が防止され得る。いくつかの実施形態では、反応チャンバ1-230と対応するセンサ1-122との間にある半導体吸収体3-135の領域に1つまたは複数の凹凸特徴が存在し得る。いくつかの事例において、反応チャンバ1-230とセンサ1-122との間に凹凸が存在せず、凹凸がピクセル内またはピクセル間の隣接領域内に存在し得る。いくつかの実施形態では、半導体吸収体3-135内の凹凸特徴は、500ミクロンを超える距離(例えば、1ミリメートル以上まで)だけ離間されてもよく、いくつかの事例において、凹凸特徴は、ピクセル領域の外側に配置され、かつピクセル領域に対する応力を緩和するのに十分なものであってもよい。

【0056】

半導体吸収体3-135内の凹凸は、いくつかの事例において、さらなる改善を提供し得る。例えば、吸収体を通るより長い経路がいくつかの入射放射に与えられるため、凹凸はフィルタの全体的な吸収を増加させ得る。さらに、堆積された半導体吸収層の結晶化度は、凹凸によって(例えば、膜応力を誘導または緩和することによって)改善され得、より急峻なフィルタカットオフおよびより良好な除去率をもたらす。

【0057】

いくつかの事例において、図3-2に示すように、凹凸を含む半導体吸収体3-135を堆積後にエッチングして、半導体吸収体を貫通する1つまたは複数の絶縁ビア3-210を形成し得る。この例では、垂直相互接続2-160は、半導体吸収体3-135に電氣的に接続することなく、絶縁ビア3-210を通過することができる。ピクセル内に1つまたは複数の絶縁ビア3-210および垂直相互接続2-160が存在してもよい。垂直相互接続は、半導体吸収体3-135の上および／または下にある他の面内相互接続2-170、または電位基準面に接続されてもよい。いくつかの実施形態では、半導体吸収体3-135の凹部領域を充填するために、充填材料3-230が追加されてもよい。充填材料3-230は、残りの半導体吸収体3-135の上に形成される第2の層3-112と同じ材料であるか、またはそれとは異なる材料であってもよい。

10

【0058】

いくつかの実施形態では、1つのピクセル内に垂直相互接続が存在しなくてもよい。代わりに、半導体吸収体1-235、3-135を貫通して絶縁ビア3-210内に穴を開けて、半導体吸収体3-135の下にあるコンタクトパッドにワイヤボンディングを行うようにしてもよい。ワイヤボンディングは、例えば、ピクセル領域の外側に配置することができる。ワイヤボンディング用の穴は、フォトレジストまたはハードマスクをパターニングし、フォトレジストまたはハードマスクで覆われていない露光領域内の半導体吸収体をエッチングすることによって形成することができる。エッチングされた半導体吸収体は、エッチング前に凹凸構造を有しているか、または有していなくてもよい。

20

【0059】

図3-3は、第1の層3-110の上に凹凸構造を有するように形成された半導体吸収体3-135の別の実施形態を示す。この実施形態では、絶縁ビア3-310は、垂直相互接続2-160が通過する領域内にのみ形成される。図3-2に示す構造とは異なり、隣接する領域には、半導体吸収体3-135に切れ目のない凹凸が含まれ得る。この実施形態によれば、第2の層3-312は、絶縁ビア3-310に隣接する半導体吸収体の領域の上に形成され得る。第2の層3-312は、第2の層3-312上に形成される第3の層3-314と同じ材料であるか、またはそれとは異なる材料であり得る。実施形態では、第1の層3-110、第2の層3-312、および第3の層3-314は、図1-1に関連して上記で説明したように、透明材料または半透明材料からなり得る。

30

【0060】

図3-4Aから図3-4Eは、凹凸を有する半導体吸収体3-135および単一の絶縁ビア3-310を形成するための例示的な方法に関連する構造を示す。いくつかの実施形態によれば、第1のレジスト3-410は、透明材料または半透明材料の第1の層3-110上に堆積およびパターニングされ得る。第1のパターニングされたレジスト3-410は、単一の絶縁ビア3-310が形成される場所に配置され得る。いくつかの実施形態では、第1のパターニングされたレジスト3-410は、ポリマーレジストなどのソフトレジストであり得る。いくつかの実施形態によれば、第2のレジスト3-420は、第1の層3-310上に堆積およびパターニングされ得る。いくつかの第2のパターニングされたレジスト3-420は、露光および現像後、第1のパターニングされたレジスト3-410の上に残り得る。第1のパターニングされたレジスト3-410の上にある第2のパターニングされたレジスト3-420は、形成される絶縁ビア3-310のサイズおよび位置を画定し得る。いくつかの実施形態によれば、第2のパターニングされたレジストは、窒化物レジスト層、酸化物レジスト層、または金属レジスト層などのハードレジストであり得る。いくつかの実施形態によれば、第2のレジスト3-420は、第1のレジスト3-410およびその下にある第1の層3-110に対してエッチング選択性を示す。図3-4Aに示すように、第1のレジスト3-410および第2のレジスト3-420をパターニングした後の構造が現れる。

40

【0061】

プロセスの次のステップでは、エッチングステップを実行して、第1のパターニングされ

50

たレジスト 3-410 および第 2 のパターニングされたレジスト 3-420 によって覆われていない第 1 の層 3-110 の領域をエッチング除去し得る。いくつかの事例において、予備エッチングを実施して、第 2 のパターニングされたレジスト 3-420 によって覆われていない第 1 のパターニングされたレジスト 3-410 の部分をエッチング除去し得る。図 3-4B に示されるように、エッチングによって、キャビティ壁 3-435 を有するエッチングキャビティ 3-430 が形成され得る。エッチング後、第 1 の層 3-110 の一部の上面 3-437 はエッチングされない。

【0062】

後続のプロセスステップでは、第 1 のパターニングされたレジスト 3-410 を残して、第 2 のパターニングされたレジスト 3-420 が除去される。次に、図 3-4C に示されるように、第 2 のエッチングステップを実行して、第 1 の層 3-110 がさらにエッチングされ得る。この第 2 のエッチングでは、第 1 のパターニングされたレジスト 3-410 の下にあるピラー 3-440 の上面をエッチングすることなく、エッチングキャビティ 3-430 および第 1 の層 3-437 の上面の両方がエッチバックされる。第 2 のエッチングの完了後に得られるピラー 3-440 は、周囲の凹凸よりも高くなり得る。

【0063】

第 1 の層 3-110 に凹凸をエッチングした後、第 1 のパターニングされたレジスト 3-410 を第 1 の層 3-110 から除去し、半導体吸収体 3-135 の堆積の準備として層の表面を洗浄することができる。次に、第 1 の層 3-110 の凹凸上に 1 つまたは複数の層の半導体吸収体 3-135 が堆積され得る。いくつかの事例において、堆積はコンフォーマルであり得、その結果、コンフォーマル層は、接触面に対して垂直に測定したときに、第 1 の層 3-110 の水平面および傾斜面上で均一な厚さ（10% 以内）を有する。半導体吸収体 3-135 は、例えば、プラズマ堆積プロセスまたは原子層堆積プロセスまたは任意の他の適切な堆積プロセスによって堆積され得る。半導体吸収体 3-135 の 1 つまたは複数の層を堆積するために使用され得る他の例示的な堆積プロセスには、スパッタリング、分子線エピタキシー、パルスレーザー堆積、閉空間昇華、電子ビーム蒸着、気相堆積、化学気相堆積、プラズマ強化化学気相堆積、電着、および有機金属化学気相堆積が含まれるが、これらに限定されない。半導体吸収体 1-235 が平面であるいくつかの実施形態では、半導体吸収体は、ウェハ転写（wafer transfer）によって堆積され得る。半導体吸収体 3-135 が凹凸を有するいくつかの実施形態では、半導体吸収体および 1 つまたは複数の隣接する層は、ウェハ転写によって堆積され得る。いくつかの事例において、半導体吸収体層 3-135 は、半導体吸収体の結晶化度を向上させるために、堆積後にアニールされ得る。続いて、第 2 の層 3-312 が半導体吸収体 3-135 の上に堆積されて、図 3-4D に示すような構造が得られる。第 2 の層 3-312 は、半導体吸収体 3-135 および第 1 の層 3-110 の凹凸の変化 h よりも大きい厚さを有し得る。上記したように、第 2 の層 3-312 は、第 1 の層 3-110 と同じ種類、例えば、酸化物または窒化物などの半透明材料であり得る。

【0064】

次に、化学機械研磨（CMP）を使用して、図 3-4E に示すように構造が平坦化され得る。このステップでは、研磨により、第 2 の層 3-312 の一部と半導体吸収体 3-135 の最も高い特徴部位を除去して、図 3-4E に示すように、絶縁ビア 3-310 を形成することができる。追加のリソグラフィステップを使用して、絶縁ビアを貫通する導電性の垂直相互接続を形成してもよい。第 3 の層 3-314 が第 2 の層 3-312 の上に堆積されて、図 3-3 に示す構造を形成してもよい。図 3-2 に示す構造を得るために、第 1 のレジスト 3-410 は使用されない。

【0065】

図 4 には、いくつかの実施形態による、ディスプレイザブルチップの例示的な構造 4-100 が示されている。ディスプレイザブルチップ構造 4-100 は、半導体基板 4-105 を有し、かつ基板上に形成された複数のピクセル 4-140 を含むバイオ光電子チップ 4-110 を含む得る。各ピクセル 4-140 は、図 1-1 から図 3-4E に関連して上記で

10

20

30

40

50

説明したような半導体吸収体の構造および実施形態を有し得る。実施形態では、ピクセル 4-140 の行または列に励起放射を提供する行または列導波路 4-115 が設けられ得る。励起放射は、例えば、光ポート 4-150 を介して導波路に結合され得る。いくつかの実施形態では、複数の導波路 4-115 に接続する 1 つまたは複数の受信導波路に集束ビームからの励起放射を結合するために、回折格子カブラがバイオ光電子チップ 4-110 の表面上に形成され得る。

【0066】

ディスプレイチップ構造 4-100 は、バイオ光電子チップ 4-110 上のピクセル領域の周りに形成される壁 4-120 をさらに含み得る。壁 4-120 は、バイオ光電子チップ 4-110 を支持するプラスチックまたはセラミックのケーシングの一部であり得る。壁 4-120 は、少なくとも 1 つのリザーバ 4-130 を形成し得、少なくとも 1 つのリザーバ 4-130 内には少なくとも 1 つのサンプルが配置され、かつバイオ光電子チップ 4-110 の表面上の反応チャンバ 1-130 と直接接触することができる。壁 4-120 は、例えば、リザーバ 4-130 内のサンプルが、光ポート 4-150 および回折格子カブラを含む領域に流入するのを防止し得る。いくつかの実施形態では、バイオ光電子チップ 4-110 上の回路とディスプレイチップが取り付けられる機器内の回路との間で電氣的接触を行うことができるように、ディスプレイチップ構造 4-100 は、ディスプレイチップの外面上の電気接点と、パッケージ内の相互接続とをさらに含み得る。

【0067】

いくつかの実施形態では、半導体吸収体 2-135 は、図 4 に示されるようなディスプレイチップ構造の各ピクセルにおいて集積化され得るが、半導体吸収体 2-135 は、本明細書に示され、説明されるアセンブリのみに限られる集積化に限定されない。本実施形態の半導体吸収体はまた、光導波路を含まない、かつ／または反応チャンバを含まない他の半導体デバイス内に集積化され得る。例えば、本実施形態の半導体吸収体は、ある範囲にわたる 1 つまたは複数の波長の除去が所望され得る光学センサ内に集積化され得る。いくつかの実施形態では、本実施形態の半導体吸収体は、CDC イメージングアレイおよび／または CMOS イメージングアレイに組み込まれ得る。例えば、半導体吸収体は、吸収体がフォトダイオード（単数または複数）によって受信される放射をフィルタリングするように、イメージングアレイ内の 1 つまたは複数のピクセルにおけるフォトダイオードの上に形成され得る。このようなイメージングアレイは、例えば、励起放射が半導体吸収体によって優先的に減衰される蛍光顕微鏡イメージングにおいて使用することができる。このようなイメージングアレイは、暗視用ゴーグルで使用することができ、LED などの明るい可視光源によってゴーグルが分別できなくなるのを防止するために、可視光線が優先的に減衰され、赤外線が通過する。

【0068】

いくつかの実施形態によれば、アセンブリ内に集積化された半導体吸収体 2-135 の除去率 R_r は、10 と 100 との間の値を有することができる。いくつかの実施形態では、除去率 R_r は、100 と 500 との間の値を有することができる。いくつかの事例において、除去率 R_r は、500 と 1000 との間の値を有することができる。いくつかの実施形態では、除去率 R_r は、1000 と 2000 との間の値を有することができる。いくつかの実施形態では、除去率 R_r は、2000 と 5000 との間の値を有することができる。半導体吸収体の利点は、図 2-3 から分かるように、半導体吸収層の厚さを選択することによって、多層フィルタよりも除去率 R_r をより容易に選択することができることである。半導体吸収体のさらなる利点は、散乱励起放射が（多層フィルタの場合のように）反射されるのではなく、吸収されることで、ピクセル間のクロストークを低減することができることである。別の利点は、半導体吸収層の表面に対して法線から離れた角度で入射する光線について、半導体吸収体の有効厚さを、半導体吸収層の実際の厚さよりも大幅に大きくすることができることである。さらに、上記したように、多層フィルタの性能が構成層の厚さに依存するのに対して、半導体吸収体の性能は、微細加工の許容誤差による半導

10

20

30

40

50

体吸収層の厚さの変化にはほとんど影響されない。

【0069】

II. 生物分析の応用例

高度な分析機器に使用されるディスプレイチップ上の反応チャンバから放出される放射の検出を改善するために、集積半導体吸収体1-135を使用することができる生物分析の応用例が記載される。例えば、半導体吸収体1-135は、センサ1-122に入射する励起放射を大幅に低減することができ、それにより、反応チャンバ1-130から放出された放射を圧倒し得る検出されるバックグラウンドノイズをかなり低減することができる。場合によっては、前述の図2-2に関連して説明したように、励起放射の除去は、放出放射の減衰よりも800倍多くすることができ、センサ1-122からの信号対雑音比の大幅な改善につながる。

10

【0070】

機器のレセプタクルに装着されると、ディスプレイチップは、高度な分析機器内の光学機器および電子機器と光学的および電子的に通信することができる。機器には、チップからのデータを外部ネットワークに通信できるように、外部インタフェース用のハードウェアが含まれ得る。実施形態では、「光学的」という用語は、紫外線帯域、可視帯域、近赤外線帯域、および短波長の赤外線スペクトル帯域を参照し得る。様々なサンプルに対して様々なタイプの分析を実行することができるが、以下の説明では遺伝子シーケンシングについて記載する。しかしながら、本発明は、遺伝子シーケンシングのために構成された機器に限定されない。

20

【0071】

概要として、図5-1Aを参照すると、携帯型の高度な分析機器5-100は、機器5-100内に置換可能なモジュールとして取り付けられるか、または他の態様で機器に結合されている1つまたは複数のパルス光源5-108を備え得る。携帯型の分析機器5-100は、光結合システム5-115および分析システム5-160を含むことができる。光結合システム5-115は、(例えば、レンズ、ミラー、光学フィルタ、減衰器、ビームステアリング部品、ビーム整形部品のコンポーネントを全く含まないか、コンポーネントの中からの1つ、またはコンポーネントの中から2つ以上を含み得る)光学部品のいくつかの組み合わせを含むことができ、かつパルス光源5-108からの出力光パルス5-122に対して動作し、かつ/またはこの出力パルス5-122を分析システム5-160に結合するように構成することができる。分析システム5-160は、光パルスをサンプル分析のために少なくとも1つの反応チャンバへと方向付け、少なくとも1つの反応チャンバから1つまたは複数の光信号(例えば、蛍光発光、後方散乱放射)を受信し、受信光信号を表す1つまたは複数の電気信号を生成するように構成されている複数のコンポーネントを含むことができる。いくつかの実施形態では、分析システム5-160は、1つまたは複数の光検出器を含むことができ、かつ光検出器からの電気信号を処理するように構成されている信号処理電子装置(例えば、1つまたは複数のマイクロコントローラ、1つまたは複数のフィールドプログラマブルゲートアレイ、1つまたは複数のマイクロプロセッサ、1つまたは複数のデジタル信号プロセッサ、論理ゲート、その他)をも含み得る。分析システム5-160はまた、外部デバイス(例えば、機器5-100が1つまたは複数のデータ通信リンクを介して接続することができるネットワーク上の1つまたは複数の外部デバイス)との間でデータを送受信するように構成されたデータ送信ハードウェアを含むことができる。いくつかの実施形態では、分析システム5-160は、分析される1つまたは複数のサンプルを保持するバイオ光電子チップ5-140を受け入れるように構成することができる。

30

40

【0072】

図5-1Bは、コンパクトなパルス光源5-108を含む携帯型の分析機器5-100のさらに詳細な例を示す。この例では、パルス光源5-108は、コンパクトな受動モードロックレーザーモジュール5-110を備えている。受動モードロックレーザーは、外部パルス信号を印加することなく、自律的に光パルスを生成することができる。いくつかの

50

実施形態では、モジュールは、機器のシャーシまたはフレーム 5-102 に取り付けることができ、かつ機器の外側ケーシングの内側に配置され得る。いくつかの実施形態によれば、パルス光源 5-108 は、光源を動作させ、かつ光源 5-108 からの出力ビームを処理するために使用することができる追加のコンポーネントを含むことができる。モードロックレーザー 5-110 は、レーザーキャビティ内に、またはレーザーキャビティに結合された、レーザーの縦周波数モードの位相ロックを引き起こす要素（例えば、可飽和吸収体、音響光学変調器、カーレンズ）を含み得る。レーザーキャビティは、キャビティ端部ミラー 5-111、5-119 によって部分的に画定することができる。周波数モードのそのようなロックは、レーザーのパルス動作をもたらす（例えば、キャビティ内パルス 5-120 がキャビティ端部ミラー間で往復して跳ね返る）、一方の端部ミラー 5-111 から部分的に伝達する出力光パルス 5-122 のストリームが生成される。

10

【0073】

いくつかの事例において、分析機器 5-100 は、取り外し可能でパッケージ化されたバイオ光子チップまたは光子チップ 5-140（ディスプレイチップとも呼ばれる）を受け入れるように構成される。ディスプレイチップは、複数の反応チャンバと、光励起エネルギーを反応チャンバに送達するように構成されている集積光学部品と、反応チャンバから蛍光発光を検出するように構成されている集積光検出器とを含む、例えば図 4 に示されるような、バイオ光子チップ 4-110 を含むことができる。いくつかの実施態様において、チップ 5-140 は、1 回の使用の後、使い捨てとすることができ、一方で、他の実施態様では、チップ 5-140 は、2 回以上再使用することができる。チップ 5-140 が機器 5-100 によって受け入れられると、チップは、パルス光源 5-108 と電気的および光学的に通信することができ、かつ分析システム 5-160 内の機器と電気的および光学的に通信することができる。電気通信は、例えば、チップのパッケージ上の電気コンタクトを介して行ってもよい。

20

【0074】

いくつかの実施形態において、図 5-1B を参照して、ディスプレイチップ 5-140 は、追加の機器の電子装置を含むことができるプリント回路基板（PCB）などの電子回路基板 5-130 上に（例えば、ソケット接続を介して）取り付けることができる。例えば、PCB 5-130 は、電力、1 つまたは複数のクロック信号、および制御信号をチップ 5-140 に提供するように構成された回路と、反応チャンバから検出される蛍光発光を表す信号を受信するように構成されている信号処理回路とを含むことができる。光子チップ 5-140 から戻されるデータは、機器 5-100 上の電子装置によって部分的または全体的に処理することができるが、いくつかの実施形態では、データはネットワーク接続を介して 1 つまたは複数の遠隔データプロセッサに伝送されてもよい。PCB 5-130 はまた、チップ 5-140 の導波路に結合されている光パルス 5-122 の光結合および電力レベルに関するチップからのフィードバック信号を受信するように構成された回路を含むことができる。フィードバック信号は、光パルス 5-122 の出力ビームの 1 つまたは複数のパラメータを制御するために、パルス光源 5-108 および光学系 5-115 の一方または両方に提供され得る。いくつかの事例において、PCB 5-130 は、光源および光源 5-108 内の関連する回路を動作させるために、パルス光源 5-108 に電力を供給またはルーティングすることができる。

30

40

【0075】

いくつかの実施形態によれば、パルス光源 5-108 は、コンパクトなモードロックレーザーモジュール 5-110 を含む。モードロックレーザーは、利得媒体 5-105（いくつかの実施形態では固体材料であり得る）と、出力カプラ 5-111 と、レーザーキャビティ端部ミラー 5-119 とを含むことができる。モードロックレーザーの光学キャビティは、出力カプラ 5-111 及び端部ミラー 5-119 によって境界付けることができる。レーザーキャビティの光軸 5-125 は、レーザーキャビティの長さを増大させ、かつ所望のパルス繰り返し率（pulse repetition rate）を提供するための 1 つ又は複数の折り畳み（折り返し）を有することができる。パルス繰り返し率は、

50

レーザーキャビティの長さ（例えば、光パルスがレーザーキャビティ内で往復する時間）によって決定される。

【0076】

いくつかの実施形態では、ビーム整形、波長選択、および／またはパルス形成のための追加の光学素子（図5-1Bには図示されていない）がレーザーキャビティ内に設けられ得る。いくつかの事例において、端部ミラー5-119は、縦キャビティモードの受動モードロックを誘発し、モードロックレーザーのパルス動作をもたらす可飽和吸収体ミラー（SAM）を備えている。モードロックレーザーモジュール5-110は、利得媒体5-105を励起するためのポンプ源（例えば、図5-1Bにおいて図示されていないレーザーダイオード）をさらに含むことができる。モードロックレーザーモジュール5-110の詳細は、2017年12月15日に出願された「コンパクトモードロックレーザーモジュール（Compact Mode-Locked Laser Module）」というタイトルの米国特許出願第15／844,469号に記載されており、この出願は参照により本明細書に組み込まれる。

10

【0077】

レーザー5-110がモードロックされると、キャビティ内パルス5-120は、端部ミラー5-119と出力カプラ5-111との間で循環することができ、キャビティ内パルスの一部分は、出力パルス5-122として出力カプラ5-111を通じて伝送することができる。従って、キャビティ内パルス5-120がレーザーキャビティ内の出力カプラ5-111と端部ミラー5-119との間で往復して跳ね返るため、図5-2のグラフに示されているように、出力パルス5-122の列を出力カプラにおいて検出することができる。

20

【0078】

図5-2は、出力パルス5-122の時間強度プロファイルを示すが、この図は縮尺通りではない。いくつかの実施形態において、放出されるパルスのピーク強度値はほぼ等しくなり得、プロファイルはガウス時間プロファイルを有し得るが、sech²プロファイルなどのような他のプロファイルが可能であり得る。いくつかの事例において、パルスは、対称時間プロファイルを有しなくてもよく、他の時間的形狀を有してもよい。各パルスの持続時間は、図5-2に示すような、半値全幅（FWHM）値によって特性化することができる。モードロックレーザーのいくつかの実施形態によれば、超短光パルスは、100ピコ秒（ps）未満のFWHM値を有することができる。いくつかの事例において、FWHM値は、約5ps～約30psとすることができる。

30

【0079】

出力パルス5-122は、一定の間隔Tによって分離することができる。例えば、Tは、出力カプラ5-111とキャビティ端部ミラー5-119との間の往復移動時間によって決定することができる。いくつかの実施形態によれば、パルス分離間隔Tは、約1nsと約30nsとの間であり得る。いくつかの事例において、パルス分離間隔Tは、約0.7メートルと約3メートルとの間のレーザーキャビティ長（レーザーキャビティ内の光軸5-125のおおよその長さ）に対応する、約5nsと約20nsとの間であり得る。実施形態では、パルス分離間隔は、レーザーキャビティ内の往復移動時間に対応し、3メートルのキャビティ長（6メートルの往復距離）は、約20nsのパルス分離間隔Tを提供する。

40

【0080】

いくつかの実施形態によれば、チップ5-140上の反応チャンバの数、蛍光発光特性、及びチップ5-140からデータを読み出すためのデータ処理回路の速度の組み合わせによって、所望のパルス分離間隔Tおよびレーザーキャビティ長を決定することができる。実施形態では、異なる蛍光色素分子または特性寿命を、それらの異なる蛍光減衰率によって識別することができる。従って、選択される蛍光色素分子がそれらの異なる減衰率の間を区別するために適切な統計値を収集するのに十分なパルス分離間隔Tが必要である。加えて、パルス分離間隔Tが短すぎる場合、データ処理回路は、大量のデータが多数の反応

50

チャンバによって収集されるのについていくことができない。約 5 ns と約 20 ns との間のパルス分離間隔 T が、最大約 2 ns の減衰率を有する蛍光色素分子に、および約 60,000 個と 100,000,000 個との間の反応チャンバからのデータの処理に適している。

【0081】

いくつかの実施形態によれば、ビームステアリングモジュール 5-150 は、パルス光源 5-108 から出力パルスを受信することができ、光パルスの位置およびチップ 5-140 の光カプラ（例えば、格子カプラ）への入射角を少なくとも調整するように構成することができる。いくつかの事例において、パルス光源 5-108 からの出力パルス 5-122 は、チップ 5-140 上の光カプラにおけるビーム形状および／またはビーム回転を付加的または代替的に変更するようにビームステアリングモジュール 5-150 によって操作されることができる。いくつかの実施形態において、ビームステアリングモジュール 5-150 は、出力パルスのビームの、光カプラへの集束および／または偏光の調整をさらに可能にすることができる。ビームステアリングモジュールの一例は、参照により本明細書に組み込まれる、2016 年 5 月 20 日に出願された「パルスレーザーおよび生物分析システム (Pulsed Laser and Bioanalytic System)」というタイトルの米国特許出願第 15/161,088 号に記載されている。ビームステアリングモジュールの別の例は、参照により本明細書に組み込まれる、2016 年 12 月 16 日に出願された「コンパクトビーム整形およびステアリングアセンブリ (Compact Beam Shaping and Steering Assembly)」というタイトルの別の米国特許出願第 62/435,679 号に記載されている。

10

20

【0082】

図 5-3 を参照すると、パルス光源からの出力パルス 5-122 を、例えば、ディスパーザブルバイオ光電子チップ 5-140 上の 1 つまたは複数の光導波路 5-312 に結合することができる。いくつかの実施形態では、光パルスは、格子カプラ 5-310 を介して 1 つまたは複数の導波路に結合することができるが、いくつかの実施形態において、チップ 5-140 上の 1 つまたは複数の光導波路の端部への結合が使用されてもよい。いくつかの実施形態によれば、光パルス 5-122 のビームの格子カプラ 5-310 への整列を補助するために、クワッド検出器 5-320 が半導体基板 5-305（例えば、シリコン基板）上に配置されてもよい。1 つまたは複数の導波路 5-312 および反応チャンバまたは反応チャンバ 5-330 が、基板、導波路、反応チャンバ、および光検出器 5-322 の間に誘電体層（例えば、二酸化ケイ素層）を介在させて、同じ半導体基板上に集積されてもよい。

30

【0083】

各導波路 5-312 は、導波路に沿って反応チャンバに結合される光パワーを均質化するために、反応チャンバ 5-330 の下の先細り部分 5-315 を含むことができる。狭まる先細りによって、より多くの光エネルギーを導波路のコアの外側に押しやることができ、反応チャンバへの結合が増大し、反応チャンバに結合する放射の損失を含む、導波路に沿った光学的損失が補償される。光エネルギーを集積フォトダイオード 5-324 に方向付けるために、各導波路の端部に第 2 の格子カプラ 5-317 を配置することができる。集積フォトダイオードは、導波路を下って結合されるパワーの量を検出することができ、例えば、ビームステアリングモジュール 5-150 を制御するフィードバック回路に、検出された信号を提供することができる。

40

【0084】

反応チャンバ 5-330 または反応チャンバ 5-330 は、導波路の先細り部分 5-315 と位置合わせすることができ、かつタブ 5-340 内に凹設することができる。各反応チャンバ 5-330 に対して、半導体基板 5-305 上に位置する光検出器 5-322 が設けられ得る。いくつかの実施形態において、半導体吸収体（光学フィルタ 5-530 として図 5-5 に示される）が、導波路と各画素における光検出器 5-322 との間に配置され得る。反応チャンバ内にはない（例えば、反応チャンバの上で溶液中に分散している）

50

蛍光色素分子の光励起を防止するために、反応チャンバの周囲および導波路の上に金属コーティングおよび／または多層コーティング 5-350 を形成することができる。金属コーティング及び／又は多層コーティング 5-350 は、各導波路の入力端及び出力端における導波路 5-312 内の光エネルギーの吸収損失を低減するために、タブ 5-340 の縁部を越えて隆起することができる。

【0085】

チップ 5-140 上に、複数の列の導波路、反応チャンバ、および時間ビニング光検出器が設けられ得る。例えば、いくつかの実施態様において、各々が 512 個の反応チャンバを有する 128 個の列が設けられてもよく、反応チャンバは合計で 65,536 個になる。他の実施態様は、より少ない又はより多い反応チャンバを含んでもよく、他のレイアウト構成を含んでもよい。パルス光源 5-108 からの光パワーは、チップ 5-140 への光カプラ 5-310 と複数の導波路 5-312 との間に位置する、1 つまたは複数のスターカプラまたはマルチモード干渉カプラを介して、または他の任意の手段を介して複数の導波路に分配することができる。

10

【0086】

図 5-4 は、導波路 5-315 の先細り部分内の光パルス 5-122 から反応チャンバ 5-330 への光エネルギー結合を示す。図面は、導波路の寸法、反応チャンバの寸法、様々な材料の光学特性、および反応チャンバ 5-330 からの導波路 5-315 の先細り部分の距離を考慮して、光波の電磁場シミュレーションから生成されたものである。導波路は、例えば、周囲にある二酸化ケイ素の媒体 5-410 内の窒化ケイ素から形成することができる。導波路、周囲媒体、および反応チャンバは、「分子をプロービング、検出、および分析するための集積デバイス (Integrated Device for Probing, Detecting and Analyzing Molecules)」というタイトルの 2015 年 8 月 7 日に出願された米国出願第 14/821,688 号に記載されている微細加工工程によって形成することができる。いくつかの実施形態によれば、エバネセント光場 5-420 が、導波路によって運ばれる光エネルギーを反応チャンバ 5-330 に結合する。

20

【0087】

反応チャンバ 5-330 で発生する生物学的反応の非限定的な例が図 5-5 に示されている。この例は、ターゲット核酸に対して相補的である伸長鎖へのヌクレオチドまたはヌクレオチド類似体の連続的な組み込みを示している。連続的な取り込みは、反応チャンバ 5-330 内で行うことができ、かつ DNA をシーケンシングするための高度な分析機器によって検出することができる。反応チャンバは、約 150 nm と約 250 nm との間の深さ、及び、約 80 nm と約 160 nm との間の直径を有することができる。隣接する反応チャンバおよび他の望ましくない放射源からの迷光放射を遮断する開口または絞りを提供するために、金属化層 5-540 (例えば、電気的基準電位に関する金属化) を、光検出器 5-322 の上にパターニングすることができる。いくつかの実施形態によれば、ポリメラーゼ 5-520 は、反応チャンバ 5-330 内に配置する (例えば、チャンバの基部に付着させる) ことができる。ポリメラーゼは、ターゲット核酸 5-510 (例えば、DNA から導出される核酸の一部) に作用し、相補的な核酸の伸長鎖をシーケンシングして、DNA 5-512 の伸長鎖を生成することができる。異なる蛍光色素分子を用いて標識化されたヌクレオチド又はヌクレオチド類似体は、反応チャンバの上又は中の溶液中に分散され得る。

30

40

【0088】

図 5-6 に示すように、標識化されたヌクレオチドまたはヌクレオチド類似体 5-610 が相補的な核酸の伸長鎖に取り込まれると、1 つまたは複数の結合した蛍光色素分子 5-630 を、導波路 5-315 から反応チャンバ 5-330 に結合した光エネルギーのパルスによって繰り返し励起することができる。いくつかの実施形態において、1 つ又は複数の蛍光色素分子 5-630 は、任意の適切なリンカ 5-620 を用いて 1 つ又は複数のヌクレオチド又はヌクレオチド類似体 5-610 に結合することができる。取り込み事象は

50

、最大約 100ms の期間にわたって継続し得る。この時間の間に、モードロックレーザーからのパルスによる蛍光色素分子（単数または複数）の励起から生じる蛍光発光のパルスを、例えば、時間ビンング光検出器 5-322 により検出することができる。いくつかの実施形態では、信号処理（例えば、増幅、読み出し、ルーティング、信号前処理など）のために、各ピクセルに 1 つまたは複数の追加の集積電子デバイス 5-323 を設けることができる。いくつかの実施形態によれば、各ピクセルは、蛍光発光を通過させ、励起パルスからの放射の透過を低減する少なくとも 1 つの光学フィルタ 5-530（例えば、半導体吸収体）を含むことができる。いくつかの実施形態は、光学フィルタ 5-530 を使用しなくてもよい。異なる発光特性（例えば、蛍光減衰率、強度、蛍光波長）を有する蛍光色素分子を異なるヌクレオチド（A、C、G、T）に結合させ、DNA 5-512 の鎖が核酸を取り込んでいる間に異なる発光特性を検出および識別することによって、DNA の伸長鎖の遺伝子配列を決定することが可能である。

10

【0089】

いくつかの実施形態によれば、蛍光発光特性に基づいてサンプルを分析するように構成された高度な分析機器 5-100 は、異なる蛍光分子間の蛍光寿命および／または強度の差、ならびに／または異なる環境における同じ蛍光分子の寿命および／もしくは強度の差を検出することができる。説明として、図 5-7 は、例えば、2 つの異なる蛍光分子からの蛍光発光を表すことができる、2 つの異なる蛍光発光確率曲線（A および B）をプロットしている。曲線 A（破線）を参照すると、短光パルスまたは超短光パルスによって励起された後、第 1 の分子からの蛍光発光の確率 $p_A(t)$ は、図示されているように時間とともに減衰し得る。いくつかの事例において、経時的な光子が放出される確率の減少は、指数減衰関数 $P_A(t) = P_{A0} e^{-t/\tau_1}$ によって表すことができ、式中、 P_{A0} は初期発光確率であり、 τ_1 は、発光減衰確率を特徴化する、第 1 の蛍光分子に関連付けられる時間パラメータであり、 τ_1 は、第 1 の蛍光分子の「蛍光寿命」、「発光寿命」、または「寿命」と呼ばれ得る。いくつかの事例において、 τ_1 の値は、蛍光分子のローカル環境によって変化する可能性がある。例えば、別の蛍光分子は、曲線 A に示されているものとは異なる発光特性を有し得る。例えば、別の蛍光分子は、単一の指数関数的減衰とは異なる減衰プロファイルを有する場合があります、その寿命は、半減期値または他の測定基準によって特徴化することができる。

20

【0090】

第 2 の蛍光分子は、図 5-7 の曲線 B に関して示されているように、指数関数的ではあるが、測定可能に異なる寿命 τ_2 を有する減衰プロファイル $p_B(t)$ を有し得る。図示されている例において、曲線 B の第 2 の蛍光分子の寿命は曲線 A の寿命よりも短く、発光確率 $p_B(t)$ は、第 2 の分子の励起直後では、曲線 A よりも高い。いくつかの実施形態では、異なる蛍光分子は、約 0.1ns から約 20ns の範囲の寿命または半減期値を有することができる。

30

【0091】

蛍光発光寿命の差を使用して、異なる蛍光分子の存否を判別し、及び／又は、蛍光分子がさらされる異なる環境もしくは条件の間で判別することができる。いくつかの事例において、寿命（例えば、発光波長ではなく）に基づいて蛍光分子を判別することによって、分析機器 5-100 の態様を単純化することができる。一例として、寿命に基づいて蛍光分子を判別する場合、波長弁別光学素子（波長フィルタ、各波長の専用検出器、異なる波長における専用パルス光源、及び／又は回折光学素子）の数を低減することができるか、又は、なくすことができる。いくつかの事例において、単一の固定波長（characteristic wavelength）において動作する単一のパルス光源を使用して、光学スペクトルの同じ波長領域内で発光するが、測定可能に異なる寿命を有する異なる蛍光分子を励起することができる。同じ波長領域内で発光する異なる蛍光分子を励起及び判別するために、異なる波長における複数の光源ではなく、単一のパルス光源を使用する分析システムは、動作及び保守管理の複雑さを低減することができ、よりコンパクトにすることができ、より低いコストで製造することができる。

40

50

【0092】

蛍光寿命分析に基づく分析システムは、一定の利点を有することができるが、追加の検出技法を可能にすることによって、分析システムによって得られる情報の量及び／又は検出精度を増大することができる。例えば、いくつかの分析システム5-160は、蛍光波長及び／又は蛍光強度に基づいて標本の1つ又は複数の特性を判別するようにさらに構成されてもよい。

【0093】

再び図5-7を参照すると、いくつかの実施形態によれば、蛍光分子の励起後の蛍光発光事象を時間ビンングするように構成されている光検出器を用いて、異なる蛍光寿命を区別することができる。時間ビンングは、光検出器の単一の電荷蓄積サイクルの間に行われ得る。電荷蓄積サイクルは、読み出し事象の間の間隔であり、その間に光発生キャリアが時間ビンング光検出器のビン内に蓄積される。発光事象の時間ビンングによって蛍光寿命を決定するという概念は、図5-8にグラフで紹介されている。 t_1 の直前の時間 t_e において、蛍光分子または同じタイプ（例えば、図5-7の曲線Bに対応するタイプ）の蛍光分子の集合が、短光パルスまたは超短光パルスによって励起される。分子の大きな集合に関して、発光強度は、図5-8に示すように、曲線Bと同様の時間プロファイルを有し得る。

【0094】

一方、単一分子または少数の分子に関して、蛍光光子の放出は、この例では、図5-7の曲線Bの統計値に従って生じる。時間ビンング光検出器5-322は、発光事象から発生するキャリアを個別の時間ビンに蓄積することができる。図5-8には3つのビンが示されているが、実施形態では、より少ないビンまたはより多くのビンを使用することができる。ビンは、蛍光分子（単数または複数）の励起時間 t_e に関して時間的に分解される。例えば、第1のビンは、時間 t_e における励起事象の後に発生する、時間 t_1 と t_2 の間隔の間に生成されたキャリアを蓄積することができる。第2のビンは、時間 t_2 と t_3 の間隔の間に生成されたキャリアを蓄積することができ、第3のビンは、時間 t_3 と t_4 の間隔の間に生成されたキャリアを蓄積することができる。多数の発光事象が合計されると、時間ビンに蓄積されたキャリアは、図5-8に示す減衰強度曲線に近似することができ、ビンングされた信号を使用して、異なる蛍光分子または蛍光分子が存在する異なる環境を区別することができる。

【0095】

時間ビンング光検出器5-322の例は、両方とも参照によりその全体が本明細書に組み込まれる、2015年8月7日に出願された「受信光子の時間的ビンングのための集積デバイス (Integrated Device for Temporal Binning of Received Photons)」というタイトルの米国特許出願第14/821,656号、および2017年12月22日に出願された「ダイレクトビンングピクセルを有する統合光検出器 (Integrated Photodetector with Direct Binning Pixel)」というタイトルの米国特許出願第15/852,571号に記載されている。説明を目的として、時間ビンング光検出器の非限定的な実施形態が、図5-9に示されている。単一の時間ビンング光検出器5-322は、全て半導体基板上に形成される、光子吸収／キャリア発生領域5-902、キャリア放電チャネル5-906、および複数のキャリア貯蔵ビン5-908a、5-908bを含むことができる。キャリア輸送チャネル5-907は、光子吸収／キャリア発生領域5-902とキャリア貯蔵ビン5-908a、5-908bとの間を接続することができる。図示の例では、2つのキャリア貯蔵ビンが示されているが、それより多くのビンまたは少ないビンが設けられてもよい。キャリア貯蔵ビンに接続される読み出しチャネル5-910を設けることができる。光子吸収／キャリア発生領域5-902、キャリア放電チャネル5-906、キャリア貯蔵ビン5-908a、5-908b、および読み出しチャネル5-910は、光検出機能、閉じ込め、およびキャリアの輸送を提供するように半導体を局所的にドーピングすること、および／または隣接絶縁領域を形成することによって

10

20

30

40

50

形成することができる。時間ビンング光検出器 5-322 はまた、デバイスを介してキャリアを輸送するための電場をデバイス内に発生させるように構成されている、基板上に形成された複数の電極 5-920、5-921、5-922、5-923、5-924 を含むことができる。

【0096】

動作中、パルス光源 5-108（例えば、モードロックレーザー）からの励起パルス 5-122 の一部は、時間ビンング光検出器 5-322 の上方の反応チャンバ 5-330 に送達される。最初に、いくつかの励起放射光子 5-901 は、光子吸収／キャリア発生領域 5-902 に到達して、キャリアを生成する（薄い網掛けの円で示されている）。励起放射光子 5-901 とともに到着し、対応するキャリアを生成するいくつかの蛍光発光光子 5-903 も存在し得る（濃い網掛けの円で示されている）。最初に、励起放射線によって生成されるキャリアの数は、蛍光発光によって生成されるキャリアの数と比較して多すぎることがある。例えば、時間間隔 $|t_e - t_1|$ の間に生成された初期キャリアは、第 1 の電極 5-920 を備えたキャリア放電チャネル 5-906 にゲーティングすることによって排除することができる。

10

【0097】

その後、ほとんどの蛍光発光光子 5-903 が光子吸収／キャリア発生領域 5-902 に到達し、反応チャンバ 5-330 からの蛍光発光を表す有用で検出可能な信号を提供するキャリア（濃い網掛けの円で示される）を生成する。いくつかの検出方法によれば、第 2 の電極 5-921 および第 3 の電極 5-923 は、後で（例えば、第 2 の時間間隔 $|t_1 - t_2|$ の間に）生成されたキャリアを第 1 のキャリア貯蔵ビン 5-908a に向けるために、後でゲーティングすることができる。続いて、第 4 の電極 5-922 および第 5 の電極 5-924 は、キャリアを第 2 のキャリア貯蔵ビン 5-908b に向けるために後で（例えば、第 3 の時間間隔 $|t_2 - t_3|$ の間に）ゲーティングすることができる。電荷蓄積は、励起パルスの後に多数の励起パルスの間このようにして継続して、各キャリア貯蔵ビン 5-908a、5-908b にかなりの数のキャリアおよび信号レベルを蓄積することができる。後で、信号をビンから読み出すことができる。いくつかの実施形態において、各貯蔵ビンに対応する時間間隔は、サブナノ秒の時間スケールであるが、いくつかの実施形態（例えば、蛍光色素分子がより長い減衰時間を有する実施形態）では、より長い時間スケールを使用することができる。

20

30

【0098】

励起事象（例えば、パルス光源からの励起パルス）の後にキャリアを生成および時間ビンングする工程は、単一の励起パルスの後に 1 度行われてもよく、または時間ビンング光検出器 5-322 の単一の電荷蓄積サイクル中に複数の励起パルスの後に複数回繰り返されてもよい。電荷蓄積が完了した後、キャリアは、読み出しチャネル 5-910 を介して貯蔵ビンから読み出すことができる。例えば、適切なバイアスシーケンスを電極 5-923、5-924 に、かつ少なくとも電極 5-940 に印加して、キャリアを貯蔵ビン 5-908a、5-908b から除去することができる。電荷蓄積および電荷読み出し工程は、チップ 5-140 での大規模並列処理で行われて、フレームのデータが生成される。

【0099】

図 5-9 に関連して説明した例には、複数の電荷貯蔵ビン 5-908a、5-908b が含まれているが、いくつかの事例において、単一の電荷貯蔵ビンを使用してもよい。例えば、時間ビンング光検出器 5-322 にはビン 1 のみが存在してもよい。そのような場合、単一の貯蔵ビン 5-908a を可変の時間ゲーティング方式で動作させて、異なる励起事象後の異なる時間間隔を観察することができる。例えば、第 1 の一連の励起パルスにおけるパルスの後、貯蔵ビン 5-908a に対する電極をゲーティングして、第 1 の時間間隔（例えば、第 2 の時間間隔 $|t_1 - t_2|$ ）の間に生成されたキャリアを収集することができる。蓄積された信号を第 1 の所定のパルス数の後に読み出すことができる。同じ反応チャンバでの後続の一連の励起パルスにおけるパルスの後、貯蔵ビン 5-908a に対する同じ電極をゲーティングして、異なる間隔（例えば、第 3 の時間間隔 $|t_2 - t_3|$ ）

40

50

の間に生成されたキャリアを収集することができ、蓄積された信号を第2の所定のパルス数の後に読み出すことができる。キャリアは、必要に応じて、同様の方法で後の時間間隔の間に収集することができる。このようにして、反応チャンバに励起パルスが到着した後の異なる期間の間に蛍光発光に対応する信号レベルを、単一のキャリア貯蔵ビンを使用して生成することができる。

【0100】

励起後の異なる時間間隔の間に電荷蓄積がどのように実行されるかに関係なく、読み出される信号は、例えば、蛍光発光減衰特性を表すビンのヒストグラムを提供することができる。例示的な工程が図5-10Aおよび図5-10Bに示されており、反応チャンバからの蛍光発光を得るために2つの電荷貯蔵ビンが使用される。ヒストグラムのビンは、反応チャンバ5-330内の蛍光色素分子（単数または複数）の励起後の各時間間隔の間に検出された光子の数を示すことができる。いくつかの実施形態では、ビンの信号は、図5-10Aに示されるように、多数の励起パルス後に蓄積される。励起パルスは、パルス間隔時間Tによって分離された時間 t_{e1} 、 t_{e2} 、 t_{e3} 、 $\dots$ t_{eN} で発生する。いくつかの事例において、105個と107個との間の励起パルス5-122（またはその一部）を、反応チャンバで観察されている単一の事象（例えば、DNA分析における単一のヌクレオチド取り込み事象）に対する電子貯蔵ビンへの信号の蓄積中に反応チャンバに印加することができる。いくつかの実施形態では、1つのビン（ビン0）は、各光パルスによって送達される励起エネルギーの大きさを検出するように構成することができ、（例えば、データを正規化するための）基準信号として使用することができる。他の事例では、励起パルスの振幅は、安定しており、信号取得中に1回以上決定され、かつ各励起パルスの後にビン0信号の取得がないように各励起パルスの後に決定されない。このような場合、励起パルスによって生成されたキャリアは、図5-9に関連して前述したように、光子吸収／キャリア発生領域5-902から排除および放出される。

【0101】

いくつかの実施形態では、図5-10Aに示すように、単一の光子のみが、励起事象後に蛍光色素分子から放出され得る。時間 t_{e1} における最初の励起事象の後、時間 t_{f1} において放出された光子は、第1の時間間隔（例えば、時間 t_1 と t_2 の間）内で発生し得、結果として生じる電子信号は第1の電子貯蔵ビン内に蓄積される（ビン1に提供される）。時間 t_{e2} における後続の励起事象では、時間 t_{f2} において放出された光子が、第2の時間間隔（例えば、時間 t_2 と t_3 の間）内で発生し得、結果として生じる電子信号がビン2に提供される。時間 t_{e3} における次の励起事象の後、第1の時間間隔内で生じる時間 t_{f3} において光子が放出され得る。

【0102】

いくつかの実施形態では、反応チャンバ5-330において受信された各励起パルスの後に放出および／または検出される蛍光光子が存在しない場合がある。いくつかの事例において、反応チャンバに送達される10,000個の励起パルスごとに反応チャンバで検出される蛍光光子が1個しかない可能性がある。モードロックレーザー5-110をパルス励起源5-108として実施することの1つの利点は、モードロックレーザーが、高いパルス繰り返し率（例えば、50MHzと250MHzとの間）で高強度および迅速なターンオフ時間を有する短光パルスを生成することができることである。このような高いパルス繰り返し率では、10ミリ秒の電荷蓄積間隔内の励起パルスの数は50,000個～250,000個とすることができるため、検出可能な信号を蓄積することができる。

【0103】

多数の励起事象およびキャリア貯蔵の後、時間ビン光検出器5-322のキャリア貯蔵ビンを読み出して、反応チャンバに関する多値信号（例えば、2つ以上の値のヒストグラム、N次元ベクトル等）を提供することができる。各ビンの信号値は、蛍光色素分子の減衰率に依存し得る。例えば、再び図5-8を参照すると、減衰曲線Bを有する蛍光色素分子は、減衰曲線Aを有する蛍光色素分子よりも高い、ビン1内の信号のビン2内の信号に対する比を有する。ビンからの値を分析して較正值に対して比較し、かつ／または互い

10

20

30

40

50

に比較して、存在する特定の蛍光色素分子を決定することができる。シーケンシング用途に関して、蛍光色素分子を識別することにより、例えば、DNAの伸長鎖に取り込まれているヌクレオチドまたはヌクレオチド類似体を決定することができる。他の用途に関して、蛍光色素分子を識別することにより、蛍光色素分子に結合されるか、または蛍光色素分子で標識され得る対象の分子または試料のアイデンティティを決定することができる。

【0104】

信号分析の理解をさらに補助するために、蓄積された複数のビンの値は、例えば図5-10Bに示すようにヒストグラムとしてプロットされるか、N次元空間内のベクトルまたは位置として記録することができる。較正ラン (Calibration runs) を個別に実行して、4つのヌクレオチドまたはヌクレオチド類似体に結合されている4つの異なる蛍光色素分子の多値信号 (例えば、較正ヒストグラム) の較正值を取得することができる。一例として、較正ヒストグラムを、図5-11A (Tヌクレオチドに関連付けられている蛍光標識)、図5-11B (Aヌクレオチドに関連付けられている蛍光標識)、図5-11C (Cヌクレオチドに関連付けられている蛍光標識)、及び図5-11D (Gヌクレオチドに関連付けられている蛍光標識) に示されているように表示することができる。測定された多値信号 (図5-10Bのヒストグラムに対応する) を較正多値信号と比較することで、DNAの伸長鎖に取り込まれているヌクレオチドまたはヌクレオチド類似体のアイデンティティ「T」 (図5-11A) を決定することができる。

10

【0105】

いくつかの実施態様において、異なる蛍光色素分子の間で区別するために、蛍光強度が追加的に又は代替的に使用されてもよい。例えば、いくつかの蛍光色素分子は、たとえそれらの減衰率が類似していても、大きく異なる強度で放出する場合があるか、またはそれらの励起の確率に著しい差 (例えば、少なくとも約35%の差) を有する場合がある。ビンニングされた信号 (ビン5-3) を、測定された励起エネルギーおよび／または他の取得された信号に対して参照することによって、強度レベルに基づいて異なる蛍光色素分子を区別することが可能であり得る。

20

【0106】

いくつかの実施形態において、同じタイプの異なる数の蛍光色素分子を異なるヌクレオチド又はヌクレオチド類似体に結合することができ、それによって、蛍光強度に基づいてヌクレオチドを同定することができる。例えば、2個の蛍光色素分子は、第1のヌクレオチド (例えば、「C」) またはヌクレオチド類似体に結合することができ、4個以上の蛍光色素分子は、第2のヌクレオチド (例えば、「T」) またはヌクレオチド類似体に結合することができる。蛍光色素分子の数が異なるため、異なるヌクレオチドに関連付けられる異なる励起及び蛍光色素分子発光確率があり得る。例えば、信号蓄積間隔中に、「T」ヌクレオチド又はヌクレオチド類似体についてより多くの発光事象があり得、それによって、これらのビンの見かけの強度は、「C」ヌクレオチド又はヌクレオチド類似体よりも大幅に高い。

30

【0107】

蛍光色素分子減衰率及び／又は蛍光色素分子強度に基づいてヌクレオチド又は任意の他の生物学的試料又は化学的試料を区別することによって、分析機器5-100内の光励起及び検出システムを単純化することが可能になる。例えば、光励起は、単一波長源 (例えば、複数の光源または複数の異なる固定波長において動作する光源ではなく、1つの固定波長を生成する光源) を用いて実施することができる。さらに、異なる波長の蛍光色素分子を区別するための波長弁別光学素子およびフィルタが、検出システムに必要な場合がある。また、単一の光検出器を各反応チャンバに使用して、異なる蛍光色素分子からの発光を検出することができる。

40

【0108】

「固定波長」または「波長」という語句は、限定された放射の帯域幅内の中心波長または主波長 (例えば、パルス光源によって出力される20nm帯域幅内の中心波長またはピーク波長) を参照するために使用される。いくつかの事例において、「固定波長」または「

50

波長」は、光源によって出力される放射線の全帯域幅内のピーク波長を参照するために使用されてもよい。

【0109】

約560nmと約900nmとの間の範囲内の発光波長を有する蛍光色素分子が、時間ビンニング光検出器（CMOS工程を使用してシリコンウェハ上に作製することができる）によって検出されるのに十分な量の蛍光発光を与え得る。これらの蛍光色素分子は、遺伝子シーケンシング用途に関してヌクレオチドまたはヌクレオチド類似体などの対象の生体分子に結合することができる。この波長範囲内の蛍光発光は、シリコンベースの光検出器内で、より長い波長の蛍光発光よりも高い応答度で検出することができる。加えて、蛍光色素分子及び関連付けられるリンカはこの波長範囲において、ヌクレオチド又はヌクレオチド類似体の、DNAの伸長鎖への取り込みに干渉しない。いくつかの実施形態において、約560nmと約660nmとの間の範囲内の発光波長を有する蛍光色素分子を、単一波長源を用いて光励起することができる。この範囲内の例示的な蛍光色素分子は、サーモ・フィッシャー・サイエンティフィック・インコーポレイテッド社（Thermo Fisher Scientific Inc.）[米国マサチューセッツ州ウォルサム（Waltham）所在]から入手可能なAlexa Fluor 647である。より短い波長（例えば、約500nmと約650nmとの間）における励起エネルギーが、約560nmと約900nmとの間の波長で発光する蛍光色素分子を励起するために必要とされ得る。いくつかの実施形態では、時間ビンニング光検出器は、例えば、ゲルマニウム（Ge）などの他の材料を光検出器の活性領域に組み込むことによって、反応チャンバからより長い波長の発光を効率的に検出することができる。

10

20

【0110】

吸収フィルタおよび関連する方法の実施形態は、以下でさらに説明するように、様々な構成が可能である。デバイス構成の例には、以下に説明する構成（1）～（8）の組み合わせが含まれる。

【0111】

（1）多層吸収体フィルタであって、半導体吸収体などの複数の吸収体の層と、複数の吸収体を分離して多層スタックを形成する複数の誘電体材料の層と、を備え、少なくとも3つの異なる層の厚さが多層スタック内に存在する、多層吸収体フィルタ。吸収体は、半導体吸収体であり得る。

30

【0112】

（2）複数の誘電体材料の層が、少なくとも2つの異なる厚さを含む、構成（1）のフィルタ。

（3）複数の吸収体の層が、少なくとも2つの異なる厚さを含む、構成1または2のフィルタ。

【0113】

（4）スタック内に少なくとも4つの異なる層の厚さが存在する、構成（1）から（3）のいずれか1つのフィルタ。

（5）スタック内の厚さのいくつかは、フィルタが遮断するように設計されている放射の1／4波長に対応していない、構成（1）から（4）のいずれか1つのフィルタ。

40

【0114】

（6）3つの異なる層の厚さのうち少なくとも2つが50％を超えて異なる、構成（1）から（5）のいずれか1つのフィルタ。

（7）複数の吸収体の層がドーピングされたシリコンを含む、構成（1）から（6）のいずれか1つのフィルタ。

【0115】

（8）複数の吸収体の層の厚さが20nmと300nmとの間である、構成（1）から（7）のいずれか1つのフィルタ。

吸収フィルタを製造する方法は、様々なプロセスを含む。方法の例には、以下に説明するプロセス（9）～（13）の組み合わせが含まれる。これらのプロセスは、少なくとも部

50

分的に、上記の構成の吸収フィルタを製造するために使用することができる。

【0116】

(9) 多層吸収体フィルタを形成する方法であって、複数の吸収体の層を堆積するステップと、複数の吸収体を分離して多層スタックを形成する複数の誘電体材料の層を堆積するステップと、を含み、少なくとも3つの異なる層の厚さが多層スタック内に堆積される、方法。

【0117】

(10) 複数の吸収体の層を堆積するステップは、少なくとも20%だけ異なる少なくとも2つの異なる厚さの吸収体を堆積することを含む、(9)の方法。

(11) 複数の吸収体の層を堆積するステップは、 $1/4$ 波長の厚さではない吸収体の層を堆積することを含む、(9)または(10)の方法。

【0118】

(12) 複数の誘電体材料の層を堆積するステップは、少なくとも20%だけ異なる少なくとも2つの異なる厚さの誘電体材料を堆積することを含む、(9)から(11)のいずれか1つの方法。

【0119】

(13) 複数の誘電体材料の層を堆積するステップは、 $1/4$ 波長の厚さではない誘電体材料の層を堆積することを含む、(9)から(12)のいずれか1つの方法。

吸収フィルタの実施形態は、蛍光検出アセンブリに含ませることができる。このような実施形態の例は、構成(14)から(42)に記載されている。

【0120】

(14) 蛍光検出アセンブリであって、基板であって該基板上に形成された光検出器を有する基板と、蛍光分子を受け入れるように配置された反応チャンバと、光検出器と反応チャンバとの間に配置された光導波路と、光検出器と反応チャンバとの間に配置された半導体吸収層を含む光吸収フィルタと、を備える蛍光検出アセンブリ。

【0121】

(15) 反応チャンバと光検出器との間に開口を有する絞り層と、半導体吸収層の第1の側面に接触する第1のキャッピング層と、第1のキャッピング層および半導体吸収層を通過する穴と、穴を貫通して延在する導電性相互接続とをさらに含む、構成(14)のアセンブリ。

【0122】

(16) 半導体吸収層と共にスタック内に配置された少なくとも1つの誘電体層を吸収干渉フィルタを形成するためにさらに含み、スタックの除去率は、半導体吸収層のみの除去率よりも大きい、構成(14)または(15)のアセンブリ。

【0123】

(17) 半導体吸収層と共にスタック内に配置された少なくとも1つの誘電体層と、少なくとも1つの追加の半導体吸収層とを吸収干渉フィルタを形成するために、さらに備え、スタックの除去率は、半導体吸収層のみの除去率よりも大きい。構成(14)から(16)のいずれか1つのアセンブリ。

【0124】

(18) 半導体吸収層が、反応チャンバに向けられた第1の波長の励起放射を吸収するとともに、反応チャンバからの第2の波長の放出放射を透過するのに十分なバンドギャップを備える、構成(14)から(17)のいずれか1つのアセンブリ。

【0125】

(19) 第1の波長は、可視電磁スペクトルの緑色領域に対応し、第2の波長は、可視電磁スペクトルの黄色領域または赤色領域に対応する、構成(18)のアセンブリ。

(20) 第1の波長が515ナノメートル(nm)から540nmの範囲内にあり、第2の波長が620nmから650nmの範囲内にある、構成(19)のアセンブリ。

【0126】

(21) 第1の波長が約532nmであり、第2の波長が約572ナノメートルである、

10

20

30

40

50

構成（１９）のアセンブリ。

（２２）バンドギャップが２．２ e V から２．３ e V の範囲内にある、構成（１８）のアセンブリ。

【０１２７】

（２３）半導体吸収層が二元ⅡⅤ-ⅤⅡ半導体からなる、構成（１４）から（２２）のいずれか１つのアセンブリ。

（２４）半導体吸収層がテルル化亜鉛からなる、構成（２３）のアセンブリ。

【０１２８】

（２５）半導体吸収層が、第Ⅱ族または第Ⅴ族からの第３の元素と合金化されたものである、構成（２３）のアセンブリ。

（２６）半導体吸収層が三元ⅡⅢⅤ-Ⅴ半導体からなる、構成（１４）から（２２）のいずれか１つのアセンブリ。

【０１２９】

（２７）半導体吸収層が窒化インジウムガリウムからなる、構成（２６）のアセンブリ。

（２８）半導体吸収層がアモルファスである、構成（１４）から（２７）のいずれか１つのアセンブリ。

【０１３０】

（２９）半導体吸収層が多結晶である、構成（１４）から（２７）のいずれか１つのアセンブリ。

（３０）半導体吸収層が２０ nm 以上の平均結晶粒径を有する、構成（１４）から（２７）のいずれか１つに記載のアセンブリ。

【０１３１】

（３１）半導体吸収層が本質的に単結晶である、構成（１４）から（２７）のいずれか１つのアセンブリ。

（３２）半導体吸収層に接触する第１のキャッピング層をさらに備える、構成（１４）から（３１）のいずれか１つのアセンブリ。

【０１３２】

（３３）キャッピング層が半導体吸収層からの成分の拡散を防止する、構成（３２）のアセンブリ。

（３４）キャッピング層が５ nm から２００ nm の厚さの高融点金属酸化物（refractory metal oxide）からなる、構成（３２）または（３３）のアセンブリ。

【０１３３】

（３５）高融点金属酸化物が、酸化タンタル、酸化チタン、または酸化ハフニウムからなる、構成（３４）のアセンブリ。

（３６）キャッピング層が、５００ nm から７５０ nm の間の可視光波長に関して、半導体吸収層からの光反射を低減する、構成（３２）から（３５）のいずれか１つのアセンブリ。

【０１３４】

（３７）キャッピング層が、アセンブリ内の半導体吸収層の接着性を高める、構成（３２）から（３６）のいずれか１つのアセンブリ。

（３８）キャッピング層が、アセンブリ内の半導体吸収層からの面内応力を低減する、構成（３２）から（３７）のいずれか１つのアセンブリ。

【０１３５】

（３９）光吸収フィルタを貫通して形成された開口と、開口を貫通して延在する導電性接続部とをさらに備える、構成（１４）から（３８）のいずれか１つのアセンブリ。

（４０）光吸収フィルタが非平面凹凸の上に形成される、構成（１４）から（３９）のいずれか１つのアセンブリ。

【０１３６】

（４１）光吸収フィルタを貫通して形成された開口と、開口を貫通して延在する導電性接

10

20

30

40

50

続部とをさらに備える、構成（４０）のアセンブリ。

（４２）開口が、光吸収フィルタと、隣接する層との間の、半導体吸収層が除去されている平坦化された界面に配置されている、構成（４１）のアセンブリ。

【０１３７】

光吸収フィルタの追加の実施形態は、構成（４３）から（５４）に記載されている。

（４３）光吸収フィルタであって、基板上の非平面凹凸の上に形成された半導体吸収層を含む光吸収フィルタ。

【０１３８】

（４４）半導体吸収層の少なくとも一部が平坦化によって除去されている、構成（４３）の光吸収フィルタ。

（４５）半導体吸収層の除去された部分によって形成された開口を貫通して延在する導電性接続部をさらに備える、構成（４４）の光吸収フィルタ。

【０１３９】

（４６）半導体吸収層は、１０％以内の均一な厚さを有し、かつ非平面凹凸に適合している、構成（４３）から（４５）のいずれか１つの光吸収フィルタ。

（４７）半導体吸収層の一部が、基板の平面に対して本質的に直交するように延在する、構成（４６）の光吸収フィルタ。

【０１４０】

（４８）光吸収フィルタであって、基板上の集積デバイス内に形成された三元ⅢⅤ半導体吸収層を備える光吸収フィルタ。

（４９）三元ⅢⅤ半導体吸収層が単結晶である、構成（４８）の光吸収フィルタ。

【０１４１】

（５０）三元ⅢⅤ半導体吸収層が窒化インジウムガリウムからなる、構成（４８）または（４９）の光吸収フィルタ。

（５１）集積デバイスは、光吸収フィルタを挟んで両側に配置された光検出器および反応チャンバを含む、構成（４８）から（５０）のいずれか１つの光吸収フィルタ。

【０１４２】

（５２）集積デバイスは、光吸収フィルタの反応チャンバと同じ側に配置された光導波路をさらに含む、構成（５１）の光吸収フィルタ。

（５３）集積デバイスは、光吸収フィルタを挟んで両側に配置された光検出器および光導波路を含む、構成（４８）から（５０）のいずれか１つの光吸収フィルタ。

【０１４３】

（５４）半導体吸収層に隣接して形成された反射防止層であって、半導体吸収層からの光反射を５００nmと７５０nmとの間の可視光波長に対して低減するように構成された反射防止層をさらに備える、構成（４８）から（５３）のいずれか１つの光吸収フィルタ。

【０１４４】

蛍光検出デバイスを形成するための様々な方法が可能である。例示的な方法は、以下に記載されるプロセス（５５）から（５８）の組み合わせを含む。これらのプロセスは、少なくとも部分的に、上記に記載された構成の蛍光検出デバイスを製造するために使用することができる。

【０１４５】

（５５）蛍光検出デバイスを形成するための方法であって、基板上に光検出器を形成するステップと、基板上の光検出器の上方に半導体光吸収フィルタを形成するステップと、基板上の光検出器の上方に光導波路を形成するステップと、光吸収フィルタおよび光導波路の上方に蛍光分子を受け入れるように構成された反応チャンバを形成するステップと、を含む方法。

【０１４６】

（５６）半導体光吸収フィルタを形成するステップは、非平面凹凸上に半導体吸収層をコンフォーマルに堆積することを含む、（５５）の方法。

（５７）半導体吸収層からの成分の拡散を防止するために、半導体吸収層と接触する酸化

10

20

30

40

50

物キャッピング層または窒化物キャッピング層を形成するステップをさらに含む、(55)または(56)の方法。

【0147】

(58) 半導体吸収層に隣接する酸化物キャッピング層または窒化物のキャッピング層を、酸化物キャッピング層または窒化物キャッピング層が存在しない場合と比較して、500nmと750nmとの間の可視光波長について半導体吸収層からの光反射を低減する厚さで形成するステップをさらに含む、(57)の方法。

【0148】

光検出器の信号対雑音比を向上させるための様々な方法が可能である。例示的な方法は、以下に記載されるプロセス(59)から(66)の組み合わせを含む。

10

(59) 光検出器の信号対雑音を改善する方法であって、光導波路により、励起放射を反応チャンバに送達するステップと、ここで、光導波路および反応チャンバが基板上に集積化されており、反応チャンバからの放出放射を、半導体吸収層を含む光吸収フィルタを介して通過させるステップと、光検出器により、半導体吸収層を通過した放出放射を検出するステップと、半導体吸収層により、光検出器に向かって進行する励起放射を減衰させるステップと、を含む方法。

【0149】

(60) 半導体吸収層により、光検出器に向かって進行する励起放射を、半導体吸収層を通過した放出放射を減衰させるよりも10倍から100倍多く減衰させるステップをさらに含む、(59)の方法。

20

【0150】

(61) 半導体吸収層により、光検出器に向かって進行する励起放射を、半導体吸収層を通過した放出放射を減衰させるよりも100倍から1000倍多く減衰させるステップをさらに含む、(59)の方法。

【0151】

(62) 半導体吸収層により、光検出器に向かって進行する励起放射を、半導体吸収層を通過した放出放射を減衰させるよりも1000倍から3000倍多く減衰させるステップをさらに含む、(59)の方法。

【0152】

(63) 励起放射は、500nmから540nmの範囲の第1の特性波長を有し、放出放射は、560nmから690nmの範囲の第2の特性波長を有する、(59)から(62)のいずれか1つの方法。

30

【0153】

(64) 半導体吸収層と接触する第1のキャッピング層を介して放出放射を通過させるステップをさらに含む、(59)から(63)のいずれか1つの方法。

(65) 半導体吸収層からの放出放射の反射を第1のキャッピング層により低減させるステップをさらに含む、(64)の方法。

【0154】

(66) 第1のキャッピング層が、5nmから200nmの厚さの高融点金属酸化物からなる、(59)から(65)のいずれか1つの方法。

40

(67) 半導体吸収層からの面内応力をキャッピング層により低減させるステップをさらに含む、(59)から(66)のいずれか1つの方法。

【0155】

III. 結び

このように、高度な分析システム5-100に関するシステムアーキテクチャのいくつかの実施形態のいくつかの態様を説明したが、様々な変更、修正、および改善が当業者に容易に想到されることが理解されるべきである。そのような変更、修正、及び改善はこの開示の一部であるように意図されており、本発明の主旨及び範囲内にあることが意図されている。本教示を様々な実施形態及び例に関連して説明したが、本教示がこのような実施形態又は例に限定されることは意図されていない。逆に、本教示は、当業者に理解されうる

50

様々な代替形態、修正、及び均等物を包含する。

【0156】

様々な発明の実施形態が説明及び図示されてきたが、当業者は、その機能を実施し、かつ／又は、それらの結果及び／又は説明されている利点の1つもしくは複数を得るための様々な他の手段及び／又は構造を容易に想定し、そのような変形及び／又は修正の各々は、説明されている本発明の実施形態の範囲内にあると考えられる。より一般的には、当業者は、説明されている全てのパラメータ、寸法、材料、及び構成が例であるように意図されていること、ならびに、実際のパラメータ、寸法、材料、及び／又は構成が、本発明の教示が使用される特定の1つ又は複数の用途に応じて決まることを容易に理解するであろう。当業者は、説明されている特定の発明の実施形態に対する多くの均等物を認識するか、またはルーチンの実験のみを使用して確認することができるであろう。それゆえ、上記の実施形態は例としてのみ提示されていること、ならびに、添付の特許請求項及びその均等物の範囲内で、発明の実施形態は、具体的に説明及び特許請求されているのとは他の様態で実践されてもよいことが理解されるべきである。本開示の発明の実施形態は、説明されている各個々の特徴、システム、システムアップグレード、及び／又は方法を対象とし得る。加えて、そのような特徴、システム、システムアップグレード、及び／又は方法が相互に矛盾しない場合、2つ以上のそのような特徴、システム、及び／又は方法の任意の組み合わせが、本開示の発明の範囲内に含まれる。

10

【0157】

さらに、本発明のいくつかの利点が生ずるが、本発明の全ての実施形態が全ての説明されている利点を含むとは限らないことは理解されるべきである。いくつかの実施形態は、有利であるとして説明されている任意の特徴を実施しなくてもよい。従って、上記の説明及び図面は例示のみを目的としたものである。

20

【0158】

限定ではないが、特許、特許出願、論説、著書、論文、及びウェブページを含む、この出願において引用されている全ての文献及び同様の資料は、そのような文献及び同様の資料の形式にかかわらず、参照によりそれらの全体が明示的に組み込まれる。組み込まれている文献及び同様の資料のうちの1つ又は複数が、限定ではないが、定義されている用語、用語の用法、説明されている技法などを含み、この出願と異なるか、又は、相反する場合、この出願が優先する。

30

【0159】

使用されている節の見出しは、構成のみを目的としており、決して説明されている主題を限定するものとして解釈されるべきではない。

また、説明されている技術は、そのうち少なくとも1つの例が設けられている方法として具現化され得る。方法の一部として実施される動作は、任意の適切な様式で順序付けられてもよい。従って、動作が生ずるものとは異なる順序で実施され、たとえ例示的な実施形態においては順次の動作として示されていたとしても、いくつかの動作を同時に実施することを含んでもよい実施形態が構築されてもよい。

【0160】

定義及び使用されているものとしての全ての定義は、辞書の定義、参照によって組み込まれている文書における定義、及び／又は、定義されている用語の通常の意味を支配するものとして理解されるべきである。

40

【0161】

数値及び範囲は、本明細書及び特許請求の範囲において、近似する又は正確な値又は範囲として記載されている場合がある。例えば、いくつかの事例において、「約 (about)」、「およそ (approximately)」、及び「実質的に (substantially)」という用語が、値を参照して使用されている場合がある。そのような参照は、参照されている値、ならびに、その値に妥当な変動が加わった値及び差し引かれた値を包含するように意図されている。例えば、「約10と約20との間」という語句は、いくつかの実施形態における「正確に10と正確に20との間」、及びいくつかの実施形

50

態における「 $10 \pm \delta 1$ と $20 \pm \delta 2$ との間」を意味するように意図されている。値の変動 $\delta 1$ 、 $\delta 2$ の量は、いくつかの実施形態においては値の5%未満であってもよく、いくつかの実施形態においては値の10%未満であってもよく、さらにいくつかの実施形態においては値の20%未満であってもよい。広い範囲の値、例えば、2桁以上の大きさを含む範囲が与えられる実施形態では、ある値に対する変動 $\delta 1$ 、 $\delta 2$ の量は、50%と高くなり得る。例えば、動作可能範囲が2から200に及ぶ場合、「約80」は、40と120との間の値を包含してもよく、範囲は、1と300との間と同じ大きさであり得る。正確な値が意図されている場合、例えば、「正確に2と正確に200との間」のように、「正確に」という用語が使用される。

【0162】

「隣接する」という用語は、2つの要素が互いに近接して（例えば、2つの要素のうちの大きい方の横方向寸法または垂直方向寸法の約5分の1未満の距離内に）配置されることを指し得る。いくつかの事例において、隣接する要素の間には、介在する構造又は層があってもよい。いくつかの事例において、隣接する要素は、介在する構造又は要素なしに互いに直に隣接していてもよい。

【0163】

不定冠詞「a」及び「an」は、本明細書及び特許請求の範囲において使用されているものとしては、明確に反対に明示されていない限り、「少なくとも1つ」を意味するものと理解されるべきである。

【0164】

「および／または」という語句は、本明細書および特許請求の範囲において使用されているものとしては、そのように結合されている要素、すなわち、いくつかの事例では、結合して存在し、他の事例では分離して存在する要素の「いずれかまたは両方」を意味するものとして理解されるべきである。「および／または」を用いてリストされている複数の要素は、同じように、即ち、そのように結合されている要素の「1つまたは複数」として解釈されるべきである。「及び／又は」節によって具体的に識別される要素以外の他の要素は、それらの具体的に識別されている要素に関連するか、または関連しないかにかかわらず、任意選択的に存在してもよい。従って、非限定的な例として、「Aおよび／またはB」への言及は、例えば、「含む（comprising）」のような限定しない文言とともに使用される場合、一実施形態においては、Aのみ（任意選択的にB以外の要素を含む）を指し、別の実施形態においては、Bのみ（任意選択的にA以外の要素を含む）を指し、さらに別の実施形態においては、AおよびBの両方（任意選択的に他の要素を含む）を指し得る、等であり得る。

【0165】

本明細書及び特許請求の範囲において使用されるものとしては、「又は」は、上記で定義されているような「及び／又は」と同じ意味を有するものとして理解されるべきである。例えば、リスト内の項目を分離しているとき、「または」又は「および／または」は包括的である、即ち、複数の要素または要素のリストのうちの少なくとも1つを含むが、2つ以上をも含み、また任意選択的に追加のリストされていない項目も含むものとして解釈されるべきである。「～のうちの1つのみ」もしくは「～のうちの正確に1つ」、又は、特許請求の範囲において使用されるとき、「～からなる」のように、明確に反対に明示されている用語だけは、複数の要素又は要素のリストのうちの正確に1つの要素を含むことを指す。一般に、使用されているような「または」という用語は、「いずれか」、「～のうちの1つ」、「～のうちの1つのみ」または「～のうちの正確に1つ」のような、排他性の用語が先行するときは、排他的な選択肢（即ち、一方または他方であり両方ではない）を示すものとして解釈されるべきである。「実質的にからなる」は、特許請求の範囲で使用される場合、特許法の分野において使用される通常の意味を有するものとする。

【0166】

本明細書及び特許請求の範囲において使用されるものとしては、1つ又は複数の要素のリストを参照する「少なくとも1つ」という語句は、要素のリスト内の要素のうちのいずれ

10

20

30

40

50

か1つ又は複数から選択される少なくとも1つの要素を意味するものとして理解されるべきであるが、必ずしも、要素のリスト内に具体的にリストされているあらゆる要素のうちの少なくとも1つを含むとは限らず、要素のリスト内の要素の任意の組み合わせを排除するものではない。この定義はまた、「少なくとも1つ」という語句が参照する要素のリスト内で具体的に識別されている要素以外の要素が、具体的に識別されているそれらの要素に関連するか、関連しないかにかかわらず、任意選択的に存在し得ることも可能にする。したがって、非限定例として、「A及びBのうちの少なくとも1つ」（又は、同等に「A又はBのうちの少なくとも1つ」、もしくは、同等に「A及び／又はBのうちの少なくとも1つ」）は、一実施形態においては、Bが存在せず、2つ以上のAを任意選択的に含む少なくとも1つのAを指し（また、任意選択的にB以外の要素を含む）、別の実施形態では、Aが存在せず、2つ以上のBを任意選択的に含む少なくとも1つのBを指し（また、任意選択的にA以外の要素を含む）、また別の実施形態では、任意選択的に2つ以上のAを含む少なくとも1つのA、及び、任意選択的に2つ以上のBを含む少なくとも1つのBを指し得る（また、任意選択的に他の要素を含む）、等である。

10

20

【0167】

特許請求の範囲において、及び、上記の本明細書において、「備える」、「含む」、「担持する」、「有する」、「含有する」、「包含する」、「保持する」、「～から構成される」などのようなすべての移行句は、限定しないものである、すなわち、含むが、それに限定されないことを意味するものとして理解されるべきである。「～からなる」及び「基本的に～からなる」という移行句のみが、それぞれ限定的な又は半限定的な移行句であるべきである。

【0168】

特許請求の範囲は、その旨述べられていない限り、記載されている順序又は要素に限定されるものとして読み出されるべきではない。添付の特許請求項の主旨及び範囲から逸脱することなく、当業者によって、形態及び詳細に様々な変更を行うことができることが理解されるべきである。以下の特許請求項の及びその均等物の主旨及び範囲内に入る全ての実施形態が特許請求される。

【図面】

【図1-1】

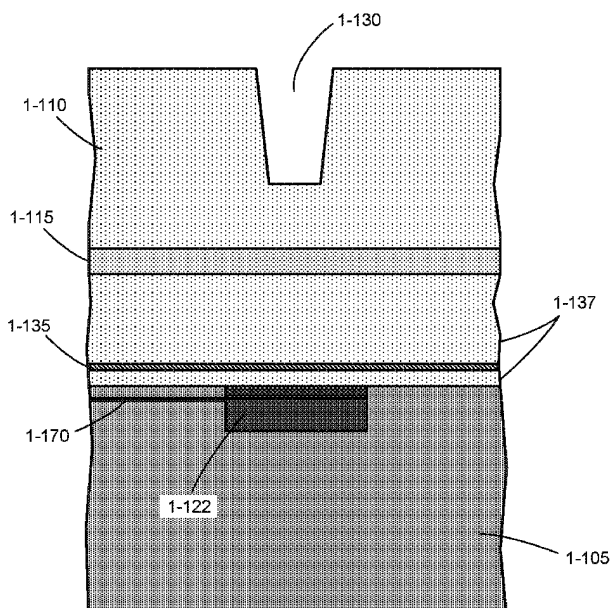


FIG. 1-1

【図1-2】

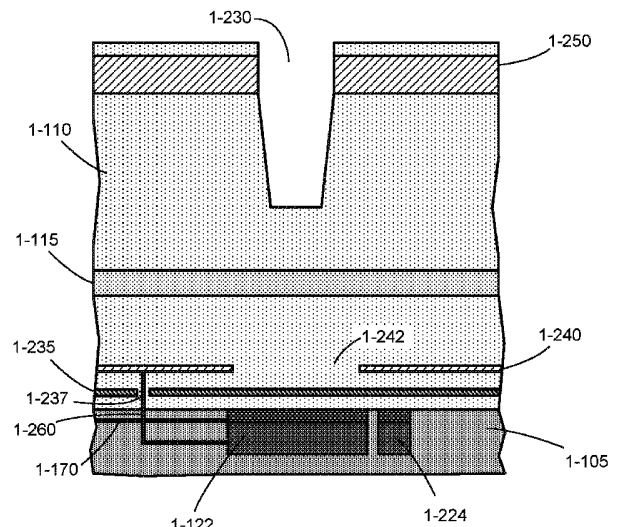


FIG. 1-2

30

40

50

【図 1 - 3】

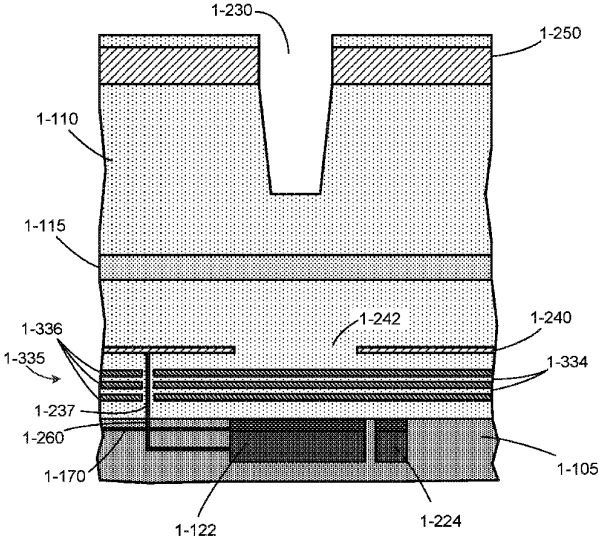


FIG. 1-3

【図 2 - 1】

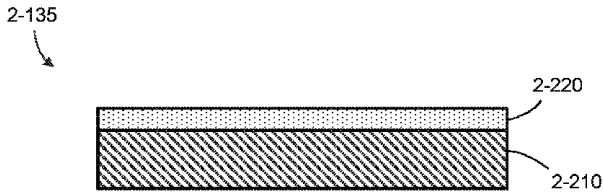


FIG. 2-1

10

【図 2 - 2】

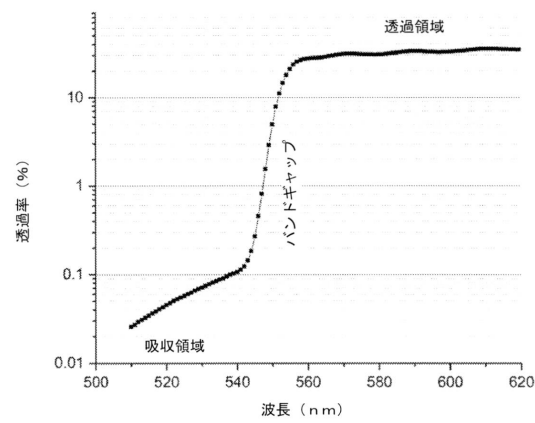


FIG. 2-2

【図 2 - 3】

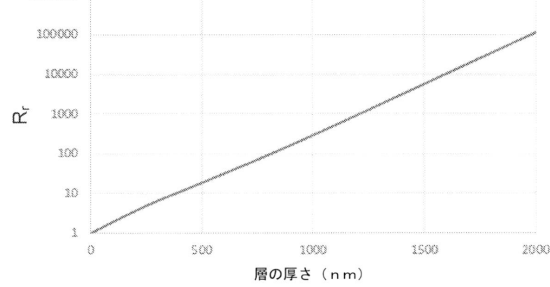


FIG. 2-3

20

30

40

50

【図 2 - 4】

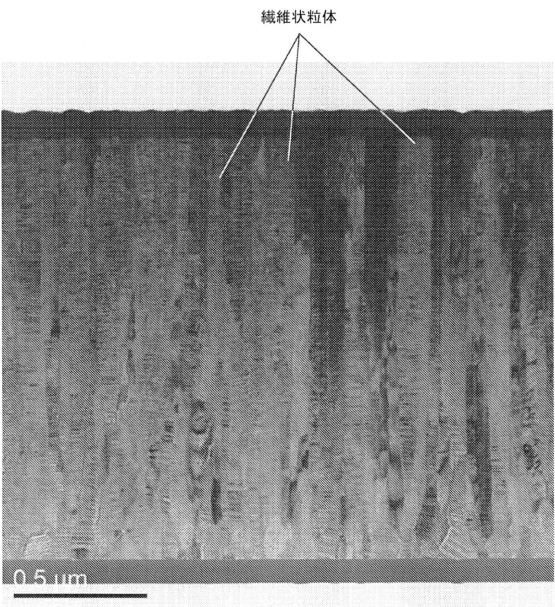


FIG. 2-4

【図 2 - 5】

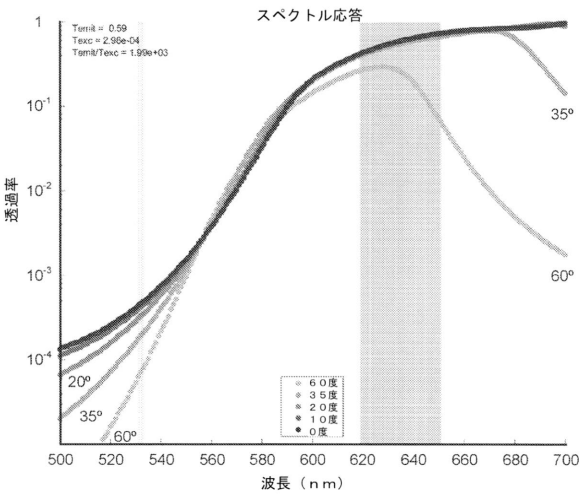


FIG. 2-5

【図 2 - 6 A】

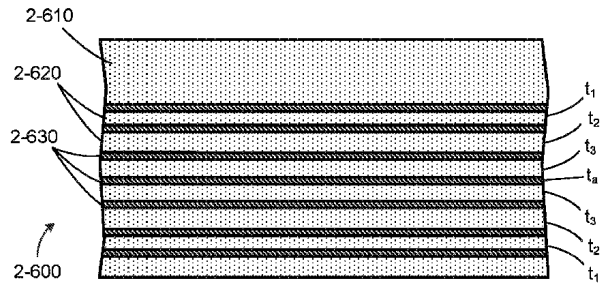


FIG. 2-6A

【図 2 - 6 B】

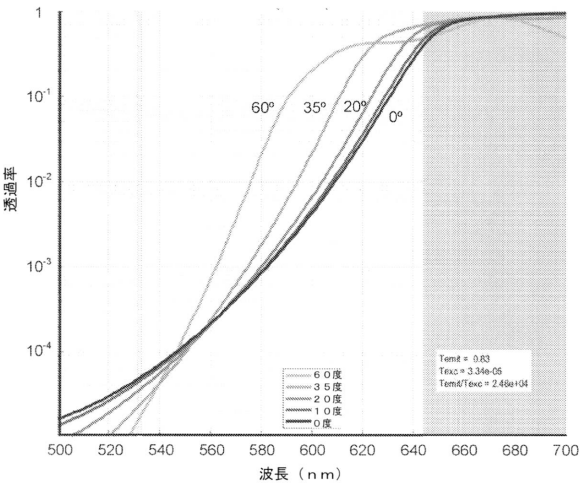


FIG. 2-6B

10

20

30

40

50

【 図 2 - 6 C 】

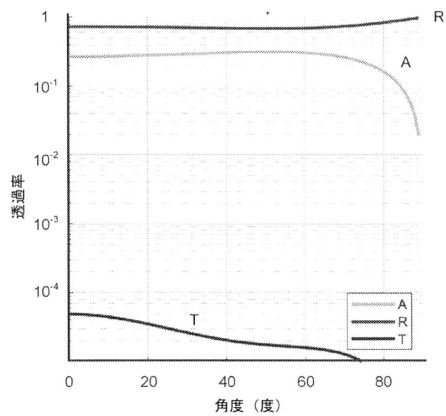


FIG. 2-6C

【 図 2 - 7 】

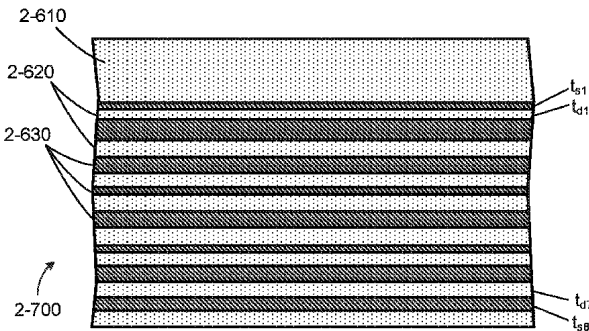


FIG. 2-7

【 図 3 - 1 】

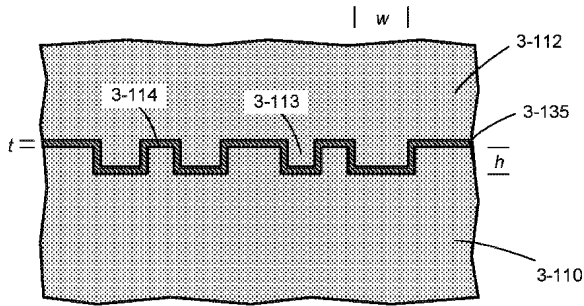


FIG. 3-1

【 図 3 - 2 】

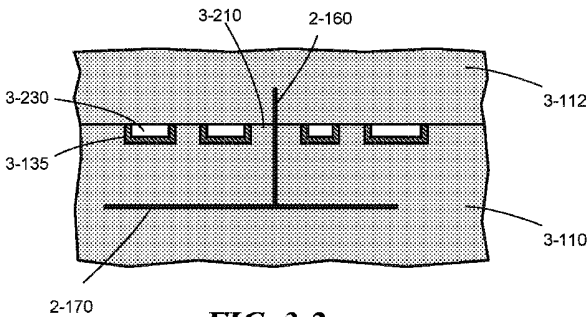


FIG. 3-2

10

20

30

40

50

【図 3 - 3】

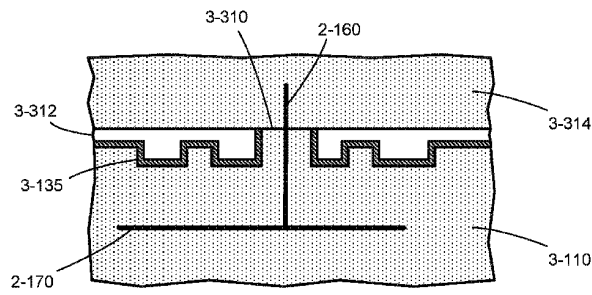


FIG. 3-3

【図 3 - 4 A】

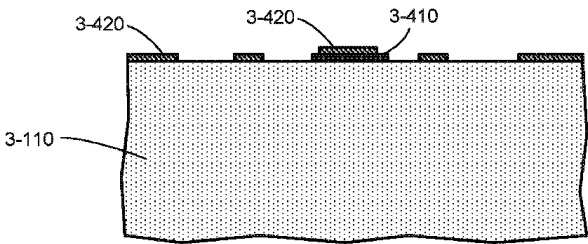


FIG. 3-4A

10

【図 3 - 4 B】

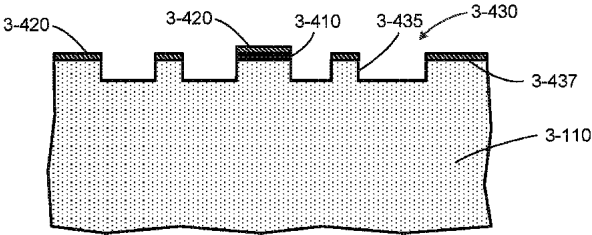


FIG. 3-4B

【図 3 - 4 C】

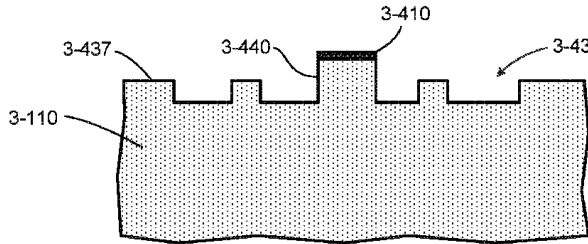


FIG. 3-4C

20

【図 3 - 4 D】

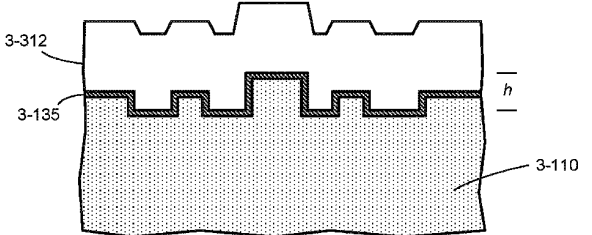


FIG. 3-4D

【図 3 - 4 E】

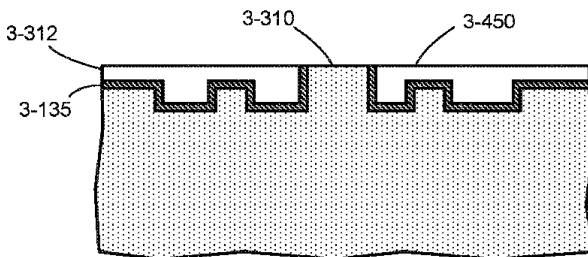


FIG. 3-4E

30

40

50

【図 4】

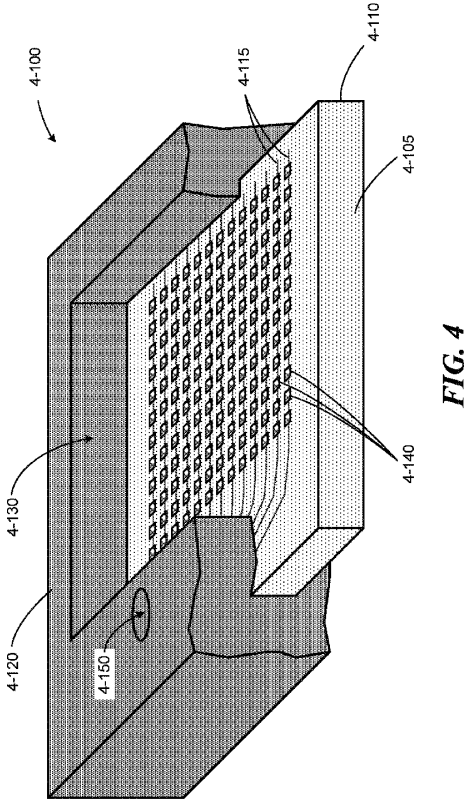


FIG. 4

【図 5 - 1 A】

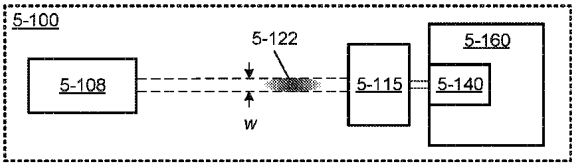


FIG. 5-1A

10

20

【図 5 - 1 B】

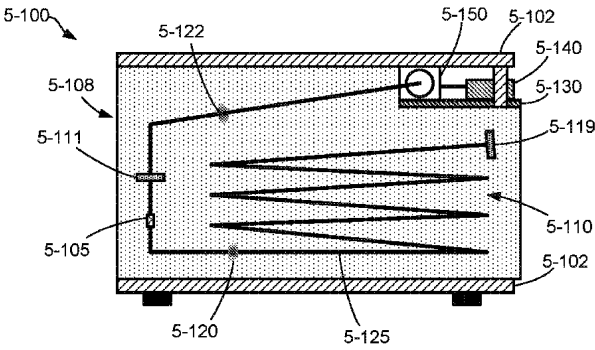


FIG. 5-1B

【図 5 - 2】

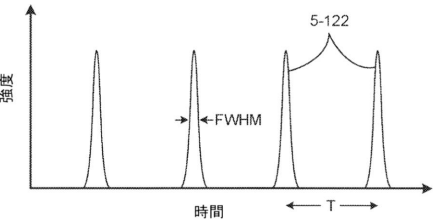


FIG. 5-2

30

40

50

【図 5 - 3】

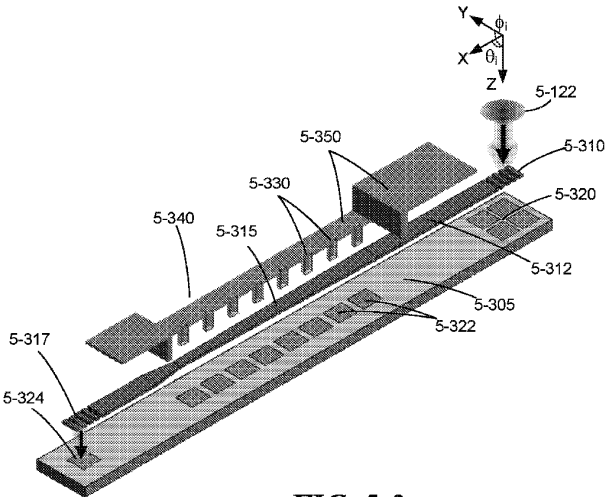


FIG. 5-3

【図 5 - 4】

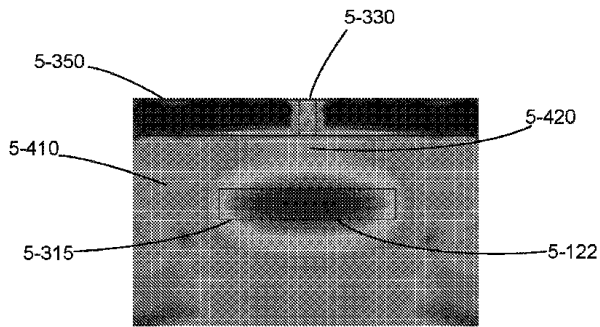


FIG. 5-4

【図 5 - 5】

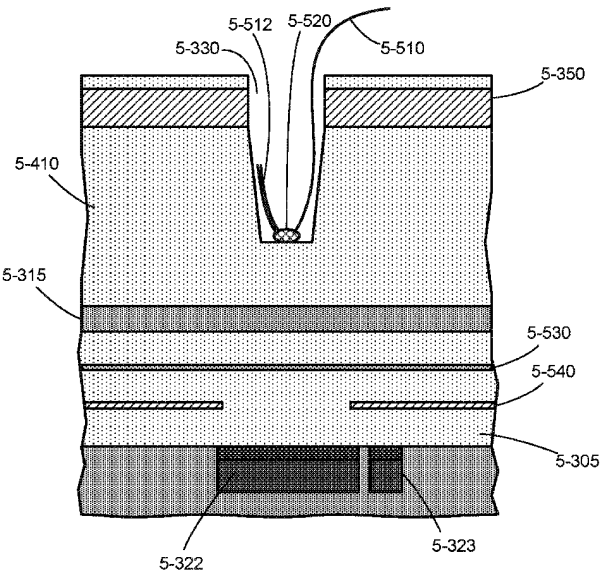


FIG. 5-5

【図 5 - 6】

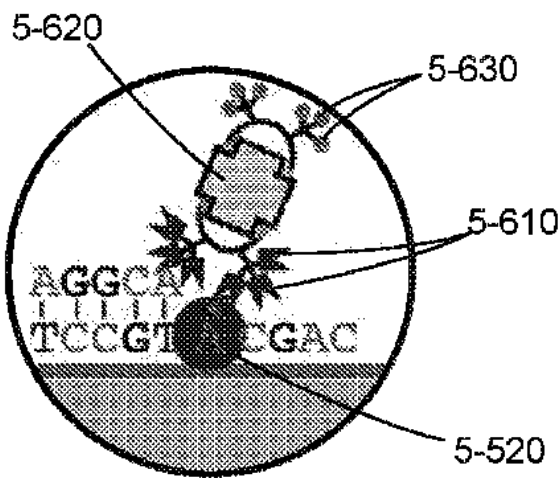


FIG. 5-6

10

20

30

40

50

【図 5 - 7】

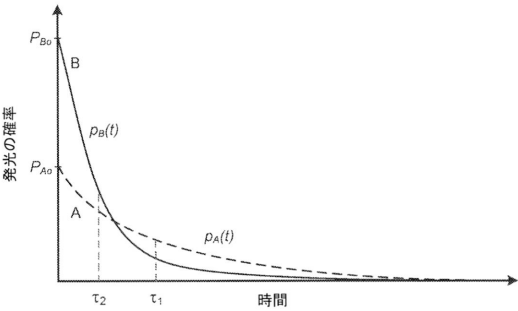


FIG. 5-7

【図 5 - 8】

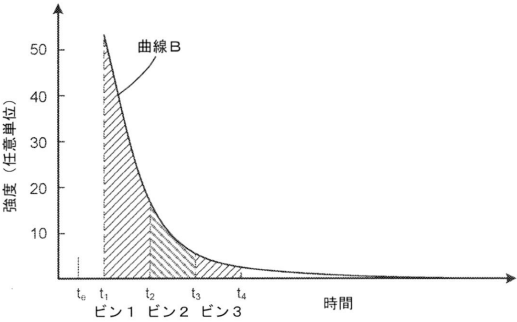


FIG. 5-8

【図 5 - 9】

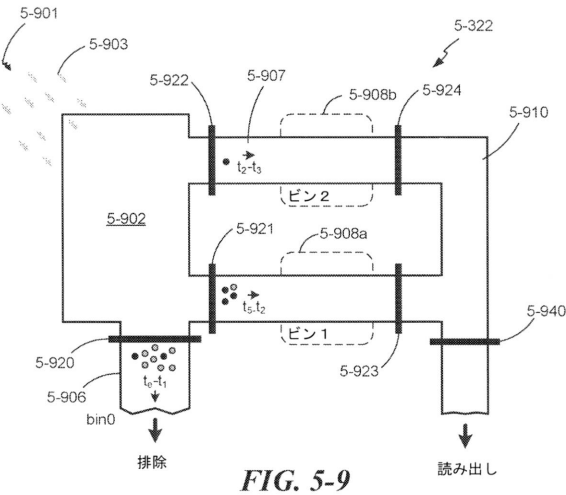


FIG. 5-9

【図 5 - 10 A】

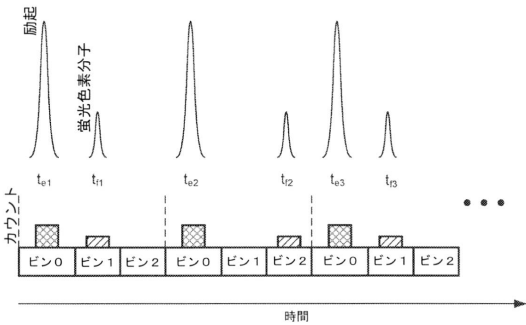


FIG. 5-10A

10

20

30

40

50

【 図 5 - 1 0 B 】

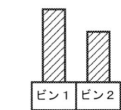


FIG. 5-10B

【 図 5 - 1 1 A - 5 - 1 1 D 】

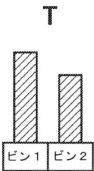


FIG. 5-11A

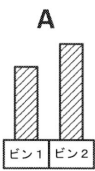


FIG. 5-11B

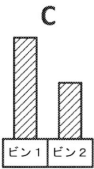


FIG. 5-11C

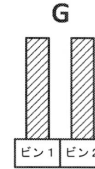


FIG. 5-11D

10

20

30

40

50

【国際調査報告】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT	International application No. PCT/US2020/020847
Box No. II Observations where certain claims were found unsearchable (Continuation of Item 2 of first sheet)	
This international search report has not been established in respect of certain claims under Article 17(2)(a) for the following reasons: 1. ☐ Claims Nos.: because they relate to subject matter not required to be searched by this Authority, namely: 10 2. ☐ Claims Nos.: because they relate to parts of the international application that do not comply with the prescribed requirements to such an extent that no meaningful international search can be carried out, specifically: 3. ☐ Claims Nos.: because they are dependent claims and are not drafted in accordance with the second and third sentences of Rule 6.4(a). 20	
Box No. III Observations where unity of invention is lacking (Continuation of Item 3 of first sheet)	
This International Searching Authority found multiple inventions in this international application, as follows: see additional sheet 1. ☐ As all required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers all searchable claims. 30 2. ☐ As all searchable claims could be searched without effort justifying an additional fees, this Authority did not invite payment of additional fees. 3. ☐ As only some of the required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers only those claims for which fees were paid, specifically claims Nos.: 4. ☒ No required additional search fees were timely paid by the applicant. Consequently, this international search report is restricted to the invention first mentioned in the claims; it is covered by claims Nos.: 1-13 40 Remark on Protest ☐ The additional search fees were accompanied by the applicant's protest and, where applicable, the payment of a protest fee. ☐ The additional search fees were accompanied by the applicant's protest but the applicable protest fee was not paid within the time limit specified in the invitation. ☐ No protest accompanied the payment of additional search fees.	

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/US2020/020847

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER INV. G01N21/64 G02B5/20 G02B5/22 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) G01N G02B				
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, INSPEC, COMPENDEX				
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT				
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.		
A	WO 98/26926 A1 (ENERGY CONVERSION DEVICES INC [US]) 25 June 1998 (1998-06-25) abstract page 4, paragraph 2 - page 5, paragraph 1 page 6, paragraph 2 - page 7, paragraph 1 page 8, last paragraph - page 13, paragraph 1	1-13		
X	----- US 2015/062709 A1 (MATSUYUKI NAOTO [JP] ET AL) 5 March 2015 (2015-03-05) figures 3, 5 paragraphs [0037] - [0042], [0047] - [0063] ----- -/--	1-4,6,9,12		
☒ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☒ See patent family annex.				
* Special categories of cited documents : <table border="0"> <tr> <td> "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 </td> <td> "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 </td> </tr> </table>			"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
"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		
25 May 2020		30/07/2020		
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 Sauerer, Christof		

Form PCT/ISA/210 (second sheet) (April 2005)

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/US2020/020847

Q(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 2017/184764 A1 (MATSUYUKI NAOTO [JP] ET AL) 29 June 2017 (2017-06-29)	1-6,8-13
Y	abstract figure 9 paragraph [0045]	7
X	WO 2017/010280 A1 (KONICA MINOLTA INC [JP]) 19 January 2017 (2017-01-19) abstract figures 1, 3	1-6,9-13
Y	EP 0 583 069 A1 (HUGHES AIRCRAFT CO [US]) 16 February 1994 (1994-02-16) column 5, line 26 - column 6, line 43 figures 3a, 5a	7

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/US2020/020847

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
WO 9826926	A1	25-06-1998	AU 5802698 A WO 9826926 A1	15-07-1998 25-06-1998

US 2015062709	A1	05-03-2015	AU 2014315688 A1 CN 104422977 A CN 204242152 U EP 3013764 A1 JP 6286553 B2 JP 2016540310 A KR 20160051847 A TW 201512697 A US 2015062709 A1 US 2017357350 A1 WO 2015034598 A1	11-02-2016 18-03-2015 01-04-2015 04-05-2016 28-02-2018 22-12-2016 11-05-2016 01-04-2015 05-03-2015 14-12-2017 12-03-2015

US 2017184764	A1	29-06-2017	NONE	

WO 2017010280	A1	19-01-2017	NONE	

EP 0583069	A1	16-02-1994	DE 69316105 T2 EP 0583069 A1 IL 106265 A JP H06174917 A JP H07101241 B2 US 5463494 A	23-04-1998 16-02-1994 14-07-1999 24-06-1994 01-11-1995 31-10-1995

10

20

30

40

50

International Application No. PCT/ US2020/ 020847

FURTHER INFORMATION CONTINUED FROM PCT/ISA/ 210

This International Searching Authority found multiple (groups of) inventions in this international application, as follows:

1. claims: 1-13

A multi-layer absorber filter comprising:
a plurality of layers of absorbers; and
a plurality of layers of dielectric material separating the plurality of absorbers to form a multi-layer stack, wherein there are at least three different layer thicknesses within the multi-layer stack; and
a method of forming the same.

2. claims: 14-42, 55-67

A fluorescence detection assembly, comprising:
a substrate having an optical detector formed thereon;
a reaction chamber arranged to receive a fluorescent molecule;
an optical waveguide disposed between the optical detector and the reaction chamber; and
an optical absorption filter comprising a semiconductor absorbing layer disposed between the optical detector and the reaction chamber;
a method of forming the same; and
a method of improving signal-to-noise for an optical detector using the fluorescence detection assembly.

3. claims: 43-47

An optical absorption filter comprising a semiconductor absorbing layer formed over non-planar topography on a substrate.

4. claims: 48-54

An optical absorption filter comprising a ternary III-V semiconductor absorbing layer formed in an integrated device on a substrate.

10

20

30

40

50

フロントページの続き

,RW,SD,SL,ST,SZ,TZ,UG,ZM,ZW),EA(AM,AZ,BY,KG,KZ,RU,TJ,TM),EP(AL,AT,BE,BG,CH,CY,CZ,DE,D
K,EE,ES,FI,FR,GB,GR,HR,HU,IE,IS,IT,LT,LU,LV,MC,MK,MT,NL,NO,PL,PT,RO,RS,SE,SI,SK,SM,TR),O
A(BF,BJ,CF,CG,CI,CM,GA,GN,GQ,GW,KM,ML,MR,NE,SN,TD,TG),AE,AG,AL,AM,AO,AT,AU,AZ,BA,B
B,BG,BH,BN,BR,BW,BY,BZ,CA,CH,CL,CN,CO,CR,CU,CZ,DE,DJ,DK,DM,DO,DZ,EC,EE,EG,ES,FI,GB,GD
,GE,GH,GM,GT,HN,HR,HU,ID,IL,IN,IR,IS,JO,JP,KE,KG,KH,KN,KP,KR,KW,KZ,LA,LC,LK,LR,LS,LU,LY,
MA,MD,ME,MG,MK,MN,MW,MX,MY,MZ,NA,NG,NI,NO,NZ,OM,PA,PE,PG,PH,PL,PT,QA,RO,RS,RU,
RW,SA,SC,SD,SE,SG,SK,SL,ST,SV,SY,TH,TJ,TM,TN,TR,TT,TZ,UA,UG,US,UZ,VC,VN,WS,ZA,ZM,ZW
アメリカ合衆国 06249 コネチカット州 レバノン バスコン ロード 19

(72)発明者 アフマド、ファイサル アール。

アメリカ合衆国 06437 コネチカット州 ギルフォード オールド ウィットフィールド スト
リート 446 アpartment イー

(72)発明者 ビーチ、ジェームズ

アメリカ合衆国 78738 テキサス州 オースティン レサカ ブルバード 1501

(72)発明者 クーマンズ、マイケル

アメリカ合衆国 06371 コネチカット州 オールド ライム ウォルコット レーン 3

(72)発明者 ホサリ、シャラト

アメリカ合衆国 78735 テキサス州 オースティン グレート プレインズ ドライブ 4200

(72)発明者 カビリ、アリ

アメリカ合衆国 06437 コネチカット州 ギルフォード ダーラム ロード 293

(72)発明者 プレストン、カイル

アメリカ合衆国 06437 コネチカット州 ギルフォード マウパス ロード 461

(72)発明者 シュミッド、ジェラード

アメリカ合衆国 06437 コネチカット州 ギルフォード ワイルドローズ アベニュー 140

(72)発明者 シェン、ビン

アメリカ合衆国 06405 コネチカット州 ブランフォード フローレンス ロード 85 ナンバ
ー1エイ

(72)発明者 ロスバーク、ジョナサン エム。

アメリカ合衆国 06437 コネチカット州 ギルフォード アンカス ポイント ロード 215

F ターム (参考) 2G043 AA01 AA04 BA16

2H148 CA05 CA14 CA17

5F849 AA02 AB03 BA04 BB07 DA06 EA03 EA04 HA06 HA07 HA10

LA02 XB05