(19)日本国特許庁(JP)　(12)特　許　公　報(B2)　(11)特許番号
特許第6574050号
(P6574050)
(45)発行日　令和1年9月11日(2019.9.11)　(24)登録日　令和1年8月23日(2019.8.23)

(51)Int.Cl.　F I
H01L 31/0232 (2014.01)　H01L 31/02　D
H01L 51/42 (2006.01)　H01L 31/08　T

請求項の数 19　(全 31 頁)

(21)出願番号　特願2018-507551 (P2018-507551)
(86)(22)出願日　平成28年8月12日 (2016.8.12)
(65)公表番号　特表2018-525831 (P2018-525831A)
(43)公表日　平成30年9月6日 (2018.9.6)
(86)国際出願番号　PCT/EP2016/069256
(87)国際公開番号　WO2017/029223
(87)国際公開日　平成29年2月23日 (2017.2.23)
審査請求日　平成30年2月13日 (2018.2.13)
(31)優先権主張番号　102015215581.1
(32)優先日　平成27年8月14日 (2015.8.14)
(33)優先権主張国・地域又は機関
ドイツ(DE)

早期審査対象出願

(73)特許権者　519041851
ゼノリクス　ゲー・エム・ベー・ハー
ＳＥＮＯＲＩＣＳ　ＧｍｂＨ
ドイツ連邦共和国　０１０６２　ドレスデン　ネスニッツァー　シュトラーセ　６１　ケア・オブ　テヒニッシェ　ウニヴェルジテート　ドレスデン
ｃ／ｏ　Ｔｅｃｈｎｉｓｃｈｅ　Ｕｎｉｖｅｒｓｉｔａｅｔ　Ｄｒｅｓｄｅｎ，　Ｎｏｅｔｈｎｉｔｚｅｒ　Ｓｔｒ．　６１，　０１０６２　Ｄｒｅｓｄｅｎ，　Ｇｅｒｍａｎｙ
(74)代理人　100114890
弁理士　アインゼル・フェリックス＝ラインハルト

最終頁に続く

(54)【発明の名称】赤外電磁ビームを検出する方法および赤外電磁ビームを変換する方法

(57)【特許請求の範囲】
【請求項１】
７８０ｎｍ～１０μｍの波長領域における電磁信号を検出する方法であって、当該方法は、
ａ）基板（２）上に配置されているオプトエレクトロニクス構成素子（１，１ａ，１ｂ，１ｃ，１ｄ，１ｅ，１ｆ）を提供するステップを有しており、当該オプトエレクトロニクス構成素子は、
ｉ．光学マイクロキャビティを形成する、相互に間隔をあけ、かつ、対向している２つのミラー面と、
ｉｉ．当該ミラー面の間に配置されている、１つの化合物１と１つの化合物２とを少なくとも含んでいる光活性層（５）とを有しており、
前記化合物１のＨＯＭＯエネルギーと前記化合物２のＬＵＭＯエネルギーとの間のエネルギー差は１．６ｅＶを下回り、
前記ミラー面の間の光路長は、検出されるべき前記電磁信号の波長の２５％超７５％未満の範囲に相当し、
前記検出されるべき電磁信号の波長領域のエネルギー等量は、前記化合物１のＨＯＭＯエネルギーと前記化合物２のＬＵＭＯエネルギーとによって規定されるエネルギー差に等しいかまたはそれより大きく、
前記光活性層（５）は、前記検出されるべき電磁信号の前記ミラー面の間での複数回の反射により形成された共鳴波長に関する光学場が、当該光活性層（５）において最大強度

にあるように、前記光学マイクロキャビティ内で位置づけられており、
ｂ）７８０ｎｍ～１０μｍの波長領域における電磁信号を前記オプトエレクトロニクス構成素子（１，１ａ，１ｂ，１ｃ，１ｄ，１ｅ，１ｆ）に照射するステップを有しており、
ｃ）前記光学マイクロキャビティ内で、前記検出されるべき電磁信号を増幅するステップを有しており、前記検出されるべき電磁信号の波長によって誘起されて、前記化合物１から前記化合物２への直接的な発色団間電荷移動が行われ、
ｄ）前記電磁信号を電気信号に変換するステップを有している、
７８０ｎｍ～１０μｍの波長領域における電磁信号を検出する方法。
【請求項２】
前記光学キャビティ内に、２つの光学スペーサ層（４）を配置する、請求項１記載の方法。
【請求項３】
前記対向している２つのミラー面を、面平行に、相互に、１００ｎｍ～５０００ｎｍの範囲の幾何学形状的間隔で配置する、請求項１または２記載の方法。
【請求項４】
前記電磁信号をスペクトル的に分解して検出し、
前記オプトエレクトロニクス構成素子（１ｅ，１ｆ）の前記対向している２つのミラー面の前記幾何学形状的間隔を、少なくとも横方向において、連続的にまたは不連続的に変化させる、請求項１または２記載の方法。
【請求項５】
１ｎｍ～５００ｎｍの範囲の幾何学形状的間隔の連続的な分散および１００ｎｍ～５００ｎｍの範囲の平均的な幾何学形状的間隔を伴って、前記対向している２つのミラー面を相互に傾斜して配置する、請求項４記載の方法。
【請求項６】
前記対向している２つのミラー面を前記幾何学形状的間隔の不連続の分散を伴って配置し、
前記オプトエレクトロニクス構成素子（１ｆ）は、電気的に相互に絶縁されたセグメントを有しており、当該セグメント内に、前記対向している２つのミラー面を面平行に配置し、
前記対向している２つのミラー面の前記幾何学形状的間隔は、隣接している前記セグメントにおいて相違している、請求項４記載の方法。
【請求項７】
前記化合物１および前記化合物２は、前記光活性層（５）内で攪拌された状態で存在している、請求項１から６までのいずれか１項記載の方法。
【請求項８】
前記電気信号を、電極（３，１１，１９）を介して、ならびに少なくとも１つの読み出しユニット（７）を介して読み出し、場合によってはさらに処理する、請求項１から７までのいずれか１項記載の方法。
【請求項９】
前記電気信号の前記読み出しを、前記オプトエレクトロニクス構成素子（１，１ａ，１ｂ，１ｃ，１ｄ，１ｅ，１ｆ）の電極（３，１１，１９）に、０～－１００Ｖの間の範囲の外部電圧を印加することによって支持する、請求項８記載の方法。
【請求項１０】
前記検出されるべき電磁信号の増幅を、前記光学マイクロキャビティ内で、ステップ（ｃ）において、プラズモン反射作用、誘電体反射作用または全反射作用のうちの少なくとも１つによって行う、請求項１から９までのいずれか１項記載の方法。
【請求項１１】
前記光活性層（５）を介して平均化された、前記検出されるべき電磁信号の強度を、ステップ（ｃ）において、１０～１００００倍増強する、請求項１から１０のいずれか１項記載の方法。

【請求項１２】
７８０ｎｍ～１０μｍの波長領域における電磁信号を検出するための、基板（２）上のオプトエレクトロニクス構成素子（１，１ａ，１ｂ，１ｃ，１ｄ，１ｅ，１ｆ）であって、当該オプトエレクトロニクス構成素子は少なくとも：
ｉ．光学マイクロキャビティを形成する、相互に間隔をあけ、かつ、対向している２つのミラー面と、
ｉｉ．当該ミラー面の間に配置されている、１つの化合物１と１つの化合物２とを少なくとも含んでいる光活性層（５）とを有しており、
前記化合物１のＨＯＭＯエネルギーと前記化合物２のＬＵＭＯエネルギーとの間のエネルギー差は１．６ｅＶを下回り、
前記ミラー面の間の光路長は、検出されるべき前記電磁信号の波長の２５％超７５％未満の範囲に相当し、
前記検出されるべき電磁信号の波長領域のエネルギー等量は、前記化合物１のＨＯＭＯエネルギーと前記化合物２のＬＵＭＯエネルギーとによって規定されるエネルギー差に等しいかまたはそれより大きく、
前記光活性層（５）は、前記検出されるべき電磁信号の前記ミラー面の間での複数回の反射により形成された共鳴波長に関する光学場が、当該光活性層（５）において最大強度にあるように、前記光学マイクロキャビティ内で位置づけられている、
オプトエレクトロニクス構成素子（１，１ａ，１ｂ，１ｃ，１ｄ，１ｅ，１ｆ）。
【請求項１３】
前記オプトエレクトロニクス構成素子（１ｂ）は、ホール伝導性もしくは電子伝導性の輸送層（２４）を有している、請求項１２記載のオプトエレクトロニクス構成素子（１ｂ）。
【請求項１４】
前記オプトエレクトロニクス構成素子（１，１ａ，１ｂ，１ｃ，１ｄ，１ｅ，１ｆ）は、光学フィルタ層（２１）および／または電荷担体阻止層および／またはシード層および／またはバリア層（１５）および／またはカプセル封入部（１４）を有している、請求項１２または１３記載のオプトエレクトロニクス構成素子（１，１ａ，１ｂ，１ｃ，１ｄ，１ｅ，１ｆ）。
【請求項１５】
前記オプトエレクトロニクス構成素子（１ｆ）は、横方向の構造化を、電気的に相互に絶縁されているセグメントにおいて有しており、少なくとも、前記対向している２つのミラー面の間の前記幾何学形状的間隔は、セグメント毎に変化する、請求項１２から１４までのいずれか１項記載のオプトエレクトロニクス構成素子（１ｆ）。
【請求項１６】
空間的、時間的かつ／またはスペクトル的な分解を伴う、７８０ｎｍ～１０μｍの波長領域における電磁ビームを検出するための、ならびに当該電磁ビームのさらなる処理のための、請求項１から１１までのいずれか１項記載の方法の使用または請求項１２から１５までのいずれか１項記載のオプトエレクトロニクス構成素子（１，１ａ，１ｂ，１ｃ，１ｄ，１ｅ，１ｆ）の使用。
【請求項１７】
太陽電池としての、または太陽電池の構成部品としての、請求項１２から１５までのいずれか１項記載のオプトエレクトロニクス構成素子（１，１ａ，１ｂ，１ｃ，１ｄ，１ｅ，１ｆ）の使用。
【請求項１８】
前記ミラー面の間の光路長は、検出されるべき前記電磁信号の波長の５０％に相当する、請求項１から１１までのいずれか１項記載の方法。
【請求項１９】
前記ミラー面の間の光路長は、検出されるべき前記電磁信号の波長の５０％に相当する、請求項１２から１４までのいずれか１項記載のオプトエレクトロニクス構成素子（１，

１ａ，１ｂ，１ｃ，１ｄ，１ｅ，１ｆ）。

【発明の詳細な説明】
【技術分野】
【０００１】
本発明は、赤外電磁ビームを検出する方法もしくは赤外電磁ビームを電気信号に変換する方法、オプトエレクトロニクス構成素子、特に（近）赤外線検出のための有機赤外線検出器および７８０ｎｍ～１０μｍの波長領域における電磁信号の検出のためのその使用に関する。
【背景技術】
【０００２】
感光性の、オプトエレクトロニクス構成素子は、電磁周辺ビームを電気に変換する。構成素子の部類には、太陽電池と検出器とが含まれている。太陽電池は、できる限り大きい割合の太陽光を電力に変換するために最適化されている。これに対して検出器は、しばしば、検出領域における比較的高い外部量子効率および迅速な応答時間を実現するために、外部から印加される電圧で動作される（そして、これに相応してエネルギー自給型ではない）。さらに、その検出領域は、可視光外に位置していることがある。しばしば、これに、オプトエレクトロニクス構成素子によって生成された電流強度を読み出し、さらに処理するための装置が接続されている。
【０００３】
従来技術から、赤外線検出器（ＩＲ検出器）のための多様な解決アプローチが公知である。これらの解決アプローチはその作用方法に相応して、５つのカテゴリーに分けられる。当業者による区分けは以下の通りである：
１．半導体の一重項吸収に基づく検出器が公知であり、この検出器では、電子が完全に占有された状態（価電子帯エネルギーもしくはＨＯＭＯエネルギーまたはエネルギー的に比較的低い状態）から占有されていない準位（伝導帯エネルギーもしくはＬＵＭＯエネルギーまたはエネルギー的に比較的高い状態）に持ち上げられる。使用される活性媒体に基づいて、さらに以下の４つのグループに細分化される：
ａ）無機ベースのＩＲ検出器は、大部分が希土類、例えばインジウムまたはガリウムの使用に基づいており、その製造は技術的に要求が多く、したがって、不利であることには、大量のエネルギーを消費し、特にコストがかかる。それにもかかわらず、無機ベースのＩＲ検出器は、機械的に柔軟性がなく、有機ベースの解決アプローチと比較して、よりボリュームのある、もしくはより重い部品になってしまう（Ｄｏｗｎｓ ｕｎｄ Ｖａｎｄｅｒｖｅｌｄｅ，Ｓｅｎｓｏｒｓ ２０１３，１３，ｄｏｉ：１０．３３９０／ｓ１３０４０５０５４）。
ｂ）さらなる無機ベースの実施形態では、硫化鉛（ＩＩ）等の鉛含有塩が使用されるが、これは、１ａ）の場合よりも格段に遅い応答時間を有しており、鉛のために特に有毒であると分類されるべきである（Ｈｕｍｐｈｒｅｙ，Ａｐｐｌ．Ｏｐｔ．１９６５ ４，６６５－６７５）。
ｃ）有機化合物の真空処理によって製造された有機ベースのＩＲ検出器では、特に不利であることには、これらのＩＲ検出器のうちの幾つかしか、１０００ｎｍより高い波長で吸収を有していない（Ｂａｅｇ等著，Ａｄｖａｎｃｅｄ Ｍａｔｅｒｉａｌｓ ２０１３，２５（３１），４２６７－４２９５）。これは、より低いエネルギーのバンドギャップ（すなわち、近赤外波長領域における吸収）を伴う有機半導体と矛盾する、昇華のための高い熱安定性要求に基づいている。
ｄ）選択的に、溶媒処理によっても、有機ベースのＩＲ検出器を製造することができる。ここでは、１０００ｎｍを超える一重項吸収を伴う光活性層用のいくつかの組成しか、例えばフェニル－Ｃ$_{61}$－酪酸メチルエステル（略してＰＣＢＭ）を有する亜鉛系ポルフィリン二量体と４，４’－ビピリジル（略してＢｉｐｙ）添加物との組み合わせしか文献に記載されていない。それにもかかわらず、不利であることには、短絡状態下でのこのよう

なＩＲ検出器の最大外部量子効率は１３．５％（１４００ｎｍの場合）に制限されている。

ｅ）特にカーボンナノチューブまたはグラフェン単層が使用されている炭素ベースのＩＲ検出器は、短絡状態下で、２．３％もしくは２％の、格段に低い最大外部量子効率を有しており、同時に４００ｎｍ～１６００ｎｍまでの広帯域の吸収しか可能にせず、したがって、このオプトエレクトロニクス構成素子は、ＩＲビームに対して選択的に感度を有しているのではない（Ｇｏｎｇ等著，ＡＣＳ Ａｐｐｌｉｅｄ Ｍａｔｅｒｉａｌｓ＆Ｉｎｔｅｒｆａｃｅｓ ２０１５，１５０３３０１６１５３３００４．ｄｏｉ：１０．１０２１／ａｃｓａｍｉ．５ｂ０１５３６、または、Ｆｕｒｃｈｉ等著，Ｎａｎｏ Ｌｅｔｔｅｒｓ ２０１２，１２（６），２７７３－２７７７）。

【０００４】

２．直接的な発色団間電荷移動状態の吸収に基づくＩＲ検出器も公知であり、これは使用される活性媒体にしたがって細分化される：

ａ）Ｂｅｄｎｏｒｚ等（Ｏｒｇａｎｉｃ Ｅｌｅｃｔｒｏｎｉｃｓ：Ｐｈｙｓｉｃｓ，Ｍａｔｅｒｉａｌｓ，Ａｐｐｌｉｃａｔｉｏｎｓ ２０１３，１４（５），１３４４－１３５０）は、有機層（例えばペリレン誘導体）から無機層（例えばシリコン）への移行の際に、直接的な発色団間電荷移動状態の吸収を利用するハイブリッドＩＲ検出器を開示している。Ｂｅｄｎｏｒｚ等は、１５５０ｎｍの波長において、１％を格段に下回る低い外部量子効率（ＥＱＥ）を報告している。さらに不利であることには、この種のＩＲ検出器は機械的に柔軟性がなく、その製造にはインジウムやガリウムのような希土類が必要であり、これは製造コストを著しく上昇させてしまう。

ｂ）Ｗｕ等著の刊行物（Ｅｎｅｒｇｙ＆Ｅｎｖｉｒｏｎｍｅｎｔａｌ Ｓｃｉｅｎｃｅ ２０１１，４（９），３３７４．ｄｏｉ：１０．１０３９／ｃ１ｅｅ０１７２３ｃ）から、有機半導体と、フラーレンとの間の、直接的な発色団間電荷移動状態の吸収が、具体的には、ポリ（３－ヘキシルチオフェン）（略してＰ３ＨＴ）と、フェニル－C_{61}－酪酸メチルエステル（略してＰＣＢＭ）との混合層から、公知である。吸収係数が極めて低いため、１２５ｎｍのその光活性層は、９８０ｎｍの波長での電磁照射の場合には、０．０５％のＥＱＥしかもたらさない。Ｂｅｅｎｋｅｎ等（Ｐｈｙｓ．Ｃｈｅｍ．Ｃｈｅｍ．Ｐｈｙｓ．２０１３，１５，１６４９４．ｄｏｉ：１０．１０３９／ｃ３ｃｐ４２２３６ｄ）も、同じ混合層（Ｐ３ＨＴ：ＰＣＢＭ）の吸収スペクトルの考察から、直接的な発色団間電荷移動（分子間電荷移動遷移）の低い振動子強度を導き出している。得られる電荷移動励起子は熱的に安定であると考えられ、これは考察された電荷移動状態によって光電流が発生しないこと、または極めて僅かな光電流しか発生しないことを意味する。

【０００５】

米国特許出願公開第２００９／０２８９２４７号明細書（ＵＳ２００９／０２８９２４７Ａ１）から、直接的な発色団間電荷移動状態の吸収を増加させるために、１０μｍよりも厚い光活性層を提案する、より効率的なＩＲ検出器が公知である。しかし、この種のＩＲ検出器を効果的に動作させるためには、光活性層の高い電気抵抗を克服するために、１００Ｖ以上の高い動作電圧が必要である。光活性層の層厚はここでは、太陽電池の場合における通常の厚さより、２または３桁高い。不利であることには、これには、より大きい暗電流と、５よりも小さい、この暗電流に対する光電流の極めて低いオンオフ比とが伴う。効果的でない電荷担体輸送には、検出されるべきビームの経時変化に対する光電流の遅い応答時間も伴う。

【０００６】

例えばＪａｉｌａｕｂｅｋｏｖ等著の専門書（Ｎａｔｕｒｅ Ｍａｔｅｒｉａｌｓ ２０１３，１２，６６）では、これまで、電荷移動状態が光誘起電荷担体のトラップとして機能し、したがって、光電流に寄与しないという意見が主張されている。

３．Ｌｉｕ等（Ｎａｎｏ Ｌｅｔｔｅｒｓ ２０１４，１４（７），３７０２－３７０８）は、ＩＲビームを検出するさらなる手法として、光吸収による導電性の変調を開示している。ここでは、わずか５％の導電性の低いオンオフ比が特に不利である。

４．さらに当業者には、表面プラズモンによる吸収に基づくＩＲ検出器が公知である。このような検出器は、無機ベースの吸収体材料に基づいているので、この種のＩＲ検出器は、無機材料の使用に伴って生じる上述した欠点を有している。さらに、検出可能な最大波長は、ショットキーバリアの高さによって制限されている。
５．最後に、量子井戸構造におけるサブバンド間吸収または量子ドットへの遷移等の量子化された遷移も公知であり、これらは同様に、不利であることには、無機ベースの吸収体材料に基づく。これらの検出器も多くの場合には、希土類、例えばインジウムまたはガリウム等の使用に基づいており、その製造は技術的に要求が多く、したがって、不利であることには、大量のエネルギーを消費し、特にコストがかかる。さらに、無機ベースのＩＲ検出器は、機械的に柔軟性がなく、有機ベースの解決アプローチと比較して、よりボリュームのある、もしくはより重い部品になってしまう。

【０００７】

ＩＲセンサとしても利用可能な装置が、米国特許出願公開第２００４／００１６９２３号明細書（ＵＳ２００４／００１６９２３Ａ１）から公知である。開示されたマトリックス装置は、２つの電極から成るマイクロキャビティ内に存在している有機多層構造を有していてよい。光誘起電荷移動は、光電流を発生させる機構と称される。ＩＵＰＡＣ Ｇｏｌｄ Ｂｏｏｋｓ（ｄｏｉ：１０．１３５１／ｇｏｌｄｂｏｏｋ）の定義によれば、光誘起電子遷移は、電磁ビームと物質との共鳴相互作用のために生じる電子状態の結果としての電子遷移である。これは、元来の電荷移動に先立って、最初に、ドナー励起子等の励起状態の形成を前提とする複数部分から成るプロセスである。個々の薄い層については、十分に広い波長領域において感度を有している分光法には適していない高い吸光度を有する材料（例えば、ＭＥＨ－ＰＰＶまたはセキシチオフェン）が挙げられている。

【０００８】

感光性有機構成素子における輸送層を、光電流としての分離された電荷担体の、この構成素子からの効果的な除去のために使用することは、例えば、Ｚｈｏｕ等著（Ｐｏｌｙｍｅｒ ２０１３，５４，６５０１）に開示されている。ここに開示された構成素子では、電荷移動状態の吸収範囲における共鳴波長に関して、層厚の最適化は行われない。

【先行技術文献】

【特許文献】

【０００９】

【特許文献１】米国特許出願公開第２００９／０２８９２４７号明細書
【特許文献２】米国特許出願公開第２００４／００１６９２３号明細書

【非特許文献】

【００１０】

【非特許文献１】Ｄｏｗｎｓ ｕｎｄ Ｖａｎｄｅｒｖｅｌｄｅ，Ｓｅｎｓｏｒｓ ２０１３，１３，ｄｏｉ：１０．３３９０／ｓ１３０４０５０５４
【非特許文献２】Ｈｕｍｐｈｒｅｙ，Ａｐｐｌ．Ｏｐｔ．１９６５ ４，６６５－６７５
【非特許文献３】Ｂａｅｇ等著，Ａｄｖａｎｃｅｄ Ｍａｔｅｒｉａｌｓ ２０１３，２５（３１），４２６７－４２９５
【非特許文献４】Ｇｏｎｇ等著，ＡＣＳ Ａｐｐｌｉｅｄ Ｍａｔｅｒｉａｌｓ＆Ｉｎｔｅｒｆａｃｅｓ ２０１５，１５０３３０１６１５３３００４．ｄｏｉ：１０．１０２１／ａｃｓａｍｉ．５ｂ０１５３６
【非特許文献５】Ｆｕｒｃｈｉ等著，Ｎａｎｏ Ｌｅｔｔｅｒｓ ２０１２，１２（６），２７７３－２７７７
【非特許文献６】Ｂｅｄｎｏｒｚ等著，Ｏｒｇａｎｉｃ Ｅｌｅｃｔｒｏｎｉｃｓ：Ｐｈｙｓｉｃｓ，Ｍａｔｅｒｉａｌｓ，Ａｐｐｌｉｃａｔｉｏｎｓ ２０１３，１４（５），１３４４－１３５０
【非特許文献７】Ｗｕ等著，Ｅｎｅｒｇｙ＆Ｅｎｖｉｒｏｎｍｅｎｔａｌ Ｓｃｉｅｎｃｅ ２０１１，４（９），３３７４．ｄｏｉ：１０．１０３９／ｃ１ｅｅ０１７２３ｃ
【非特許文献８】Ｂｅｅｎｋｅｎ等著，Ｐｈｙｓ．Ｃｈｅｍ．Ｃｈｅｍ．Ｐｈｙｓ．２０

１３，１５，１６４９４．ｄｏｉ：１０．１０３９／ｃ３ｃｐ４２２３６ｄ
【非特許文献９】Ｊａｉｌａｕｂｅｋｏｖ等著，Ｎａｔｕｒｅ　Ｍａｔｅｒｉａｌｓ　２０１３，１２，６６
【非特許文献１０】Ｌｉｕ等著，Ｎａｎｏ　Ｌｅｔｔｅｒｓ　２０１４，１４（７），３７０２－３７０８
【非特許文献１１】ＩＵＰＡＣ　Ｇｏｌｄ　Ｂｏｏｋｓ（ｄｏｉ：１０．１３５１／ｇｏｌｄｂｏｏｋ
【非特許文献１２】Ｚｈｏｕ等著，Ｐｏｌｙｍｅｒ　２０１３，５４，６５０１
【非特許文献１３】Ｎ．Ｃ．Ｍｉｌｌｅｒ等著，Ａｄｖ．Ｅｎｅｒｇｙ　Ｍａｔｅｒ．２０１２，２，１２０８、ＤＯＩ：１０．１００２／ａｅｎｍ．２０１２００３９２

【発明の概要】
【発明が解決しようとする課題】
【００１１】
したがって、本発明の課題は、従来技術の前述した欠点を克服し、結果として、高い外部量子効率を有する、コストが低く、軽量で、機械的に柔軟な赤外線検出器を意味する、電磁ビームを検出する方法を提供することであり、ここで、この赤外線検出器は、特に７８０ｎｍ～１０μｍのスペクトル波長領域での使用のための、検出波長の選択の高い自由度を特徴とする。
【課題を解決するための手段】
【００１２】
上述の課題は、請求項１に記載された方法と、後続する請求項に記載された、電磁信号を検出するための装置とによって解決される。有利な構成は、従属請求項に記載されている。
【００１３】
７８０ｎｍ～１０μｍの波長領域における電磁信号を検出するための本発明の方法は、
ａ）基板上に配置されているオプトエレクトロニクス構成素子を提供するステップを有しており、このオプトエレクトロニクス構成素子は、
ｉ．光学マイクロキャビティを形成する、相互に間隔をあけ、かつ対向している２つのミラー面と、
ｉｉ．これらのミラー面の間に配置されている、１つの化合物１と１つの化合物２とを少なくとも含んでいる光活性層とを有しており、
化合物１のＨＯＭＯエネルギーと化合物２のＬＵＭＯエネルギーとの間のエネルギー差は１．６ｅＶを下回り、
ミラー面の間の光路長は、検出されるべき電磁信号の波長の２５％から７５％までの範囲に相当し、
検出されるべき電磁信号の波長領域のエネルギー等量は、
・化合物１のＨＯＭＯエネルギーと化合物２のＬＵＭＯエネルギーとによって規定されるエネルギー差と
・化合物１のＨＯＭＯエネルギーとＬＵＭＯエネルギーとによって規定されるエネルギー差と
の間に位置し、
光活性層は、光学マイクロキャビティ内で、検出されるべき電磁信号の波長の空間的な最大強度において、ミラー面の間に配向されており、
ｂ）７８０ｎｍ～１０μｍの波長領域における電磁信号をオプトエレクトロニクス構成素子に照射するステップを有しており、
ｃ）光学マイクロキャビティ内で、検出されるべき電磁信号を増幅するステップを有しており、ここで、検出されるべき信号の波長によって誘起されて、化合物１から化合物２への直接的な発色団間電荷移動が行われ、
ｄ）電磁信号を電気信号に変換するステップを有している。
【００１４】

本発明のオプトエレクトロニクス構成素子の外部量子効率（略してＥＱＥ）の概括的な極大値は、直接的な発色団間電荷移動状態の吸収の範囲にあり、一重項吸収の波の範囲からの最大ＥＱＥと比較して少なくとも同じ大きさであり、特に少なくとも２倍、特に５倍、高い。

【００１５】

本発明の基になる、驚くべき認識は、化合物１と化合物２との境界面での状態の弱い吸収、いわゆる直接的な発色団間電荷移動が、本発明に相応して選択された、ミラー面の配置によって効率的に増強され得るということである。

【００１６】

従来の有機太陽電池とは異なって、本発明では、一重項吸収によって生成された励起子の、ドナー・アクセプタ境界面への拡散が省かれ、その代わりに、直接的に、ドナーとアクセプタとの間の境界面での遷移が吸収によって励起される。したがって、本発明では、オプトエレクトロニクス構成素子は、特に、近赤外線領域および中赤外線領域の電磁ビームを検出するために提供され、このオプトエレクトロニクス構成素子は、選択的に、入射電磁ビーム全体からの電磁信号を電気信号に変換する。科学の専門書ではこれまで、電荷移動状態は光誘起電荷担体のためのトラップとして機能し、それゆえ光電流に寄与しないという意見が主張されていたので、直接的な発色団間電荷移動に基づく本発明の方法は特に当業者にとって予期されなかったものである。

【００１７】

一重項吸収は、純粋な有機半導体層、すなわち、有機化合物のみから構築された有機半導体層における唯一の吸収メカニズムである。一重項吸収は、ＨＯＭＯエネルギー準位（または比較的低いエネルギー準位）からＬＵＭＯエネルギー準位（または比較的高いエネルギー準位）への電子の持ち上を生起させる光子の吸収である。その際、電子はＨＯＭＯに、欠落箇所（いわゆるホール）を残し、これは静電気的に、クーロン相互作用によって、励起された電子と結び付いている。結び付けられた二粒子状態は励起子としてまとめられる。励起子結合エネルギーのために、ＬＵＭＯエネルギーとＨＯＭＯエネルギーとの間のエネルギー的な間隔よりも１００ｍｅＶ低い励起エネルギーも一重項吸収を生じさせ得る。

【００１８】

さらに、当業者は、基本的に、分子間の電荷移動遷移と分子内の電荷移動遷移もしくはここから結果として生じる励起された電荷移動状態（英語でｃｈａｒｇｅ　ｔｒａｎｓｆｅｒ　ｓｔａｔｅまたは略してＣＴ状態）とを区別する。

【００１９】

電荷移動遷移は、ドナー化合物からアクセプタ化合物への完全または実質的に完全な電荷遷移である。両方の化合物が同じ分子内に固定されている場合、分子内の電荷移動遷移が存在する。配位相互作用によって緩く結合されていてもよい種々の（離散した）分子またはイオンがドナー結合体およびアクセプタ結合体として作用する場合、これは分子間の電荷移動である。ＩＵＰＡＣ　Ｇｏｌｄ　Ｂｏｏｋｓ（ｄｏｉ：１０．１３５１／ｇｏｌｄｂｏｏｋ）の規定によれば、電荷移動遷移は、電荷の大部分が、電子ドナーと称される、分子ユニットのある領域から、電子アクセプタと称される別の領域へ遷移される電子遷移（分子内の電荷移動）、または電荷の大部分が、ある分子ユニットから別の分子ユニットへ遷移される電子遷移（分子間の電荷移動）である。電荷移動遷移は、ドナー・アクセプタ錯体または多発色団分子ユニットに対して典型的である。

【００２０】

分子間電荷移動状態は、ＬＵＭＯ（またはエネルギー的に比較的高い状態）における励起された電子と、ＨＯＭＯ（またはエネルギー的に比較的低い状態）におけるホールとの間の弱い結合状態であり、ここでは、上述したホールと電子は、空間的に別個の分子上にある。有利には、電荷移動状態は、化合物１と化合物２との間の境界面に形成される。

【００２１】

分子内の電荷移動状態は、個々の分子内の電子ドナー構造単位と電子アクセプタ構造単

位とに基づく。

【００２２】

図１（左側の図）を参照すると、２つの有機化合物は結果的に、エネルギーE_1もしくはE_2を有する光子のみを吸収し、これはそのバンドギャップのエネルギー（各化合物のＨＯＭＯエネルギーとＬＵＭＯエネルギーとの間のエネルギー差）に相当するかまたはそれを上回る。第２のステップにおいて、電磁ビームの吸収の結果、励起された化合物が、ここで、再結合によって基本状態に遷移するか、または負の電荷がＬＵＭＯから、発色団電荷移動を介して、アクセプタとして用いられる第２の化合物のＨＯＭＯへ遷移する。

【００２３】

これとは異なり、本発明では、化合物１と化合物２の境界面におけるエネルギーE_3を有する光子の吸収が、化合物１のＨＯＭＯ（またはエネルギー的に比較的低い状態）から、化合物２のＬＵＭＯ（またはエネルギー的に比較的高い状態）への直接的な遷移をまねく場合に、「直接的な発色団間電荷移動」が存在し、その結果、化合物１と化合物２との間に、直接的に、共通の電荷移動状態が励起される（図１の右側の図を参照）。したがって、特に太陽電池材料の場合には、直接的な発色団間電荷移動に必要なエネルギーE_3は、それぞれのバンドギャップE_1もしくはE_2のエネルギーよりも小さい。

【００２４】

本発明では、検出されるべき電磁信号の波長領域のエネルギー等量は、（ｉ）化合物１のＨＯＭＯエネルギーと化合物２のＬＵＭＯエネルギーとによって規定されるエネルギー差と（ｉｉ）化合物１のＨＯＭＯエネルギーとＬＵＭＯエネルギーとによって規定されるエネルギー差との間に位置する（すなわち、化合物１と化合物２との間の直接的な発色団間電荷移動状態の吸収範囲に位置する）。

【００２５】

ここで、波長のエネルギー等量は、電磁ビームの光子エネルギーＥとして定義され、これは以下の式にしたがって波長λに割り当てられている：Ｅ＝ｈ＊ｃ／λ。ここで、ｈはプランクの作用量子に相当し、ｃは光速に相当する。

【００２６】

用語「ＨＯＭＯ」は、定義によれば、最高被占軌道（英語でｈｉｇｈｅｓｔ　ｏｃｃｕｐｉｅｄ　ｍｏｌｅｃｕｌａｒ　ｏｒｂｉｔａｌ）を指す。用語「ＬＵＭＯ」は、定義によれば、最低空軌道（英語でｌｏｗｅｓｔ　ｕｎｏｃｃｕｐｉｅｄ　ｍｏｌｅｃｕｌａｒ　ｏｒｂｉｔａｌ）を指す。

【００２７】

マイクロメートルの範囲での正確に規定された間隔を有する、機能的に対向している２つのミラー面は、「光学マイクロキャビティ」を形成する。

【００２８】

本発明では、プラズモンまたは誘電体反射を利用する、特に平面に形成された境界面がミラー面として適している。さらに有利には、全反射を利用する、一次元干渉グリッドを用いて、（分布帰還型（英語でｄｉｓｔｒｉｂｕｔｅｄ　ｆｅｅｄｂａｃｋ、略してＤＦＢ）の意味で）上方が構造化された境界面が適している。

【００２９】

本発明によれば、ミラー面の間の間隔は、ミラー装置内で形成される共鳴波長が、直接的な電荷移動状態の吸収の範囲内に入るように選択されるべきである。ミラー装置内の光活性層の有利な位置付けによって、直接的な発色団間電荷移動状態の吸収が、ミラー面の無い層シーケンスにおける吸収に対して、１０～１００００倍の範囲で増強される。

【００３０】

有利には、光活性層にわたって平均化された、入射する、検出されるべき電磁信号の強度は、本発明の方法によって、１０～１００００倍増強される。

【００３１】

直接的な発色団間電荷移動状態の吸収の範囲において光学マイクロキャビティの共鳴波長を得るために、マイクロキャビティによって囲まれた全ての層を含む、ミラー面の間の

光路長は、好ましくは、励起された直接的な発色団間電荷移動吸収の半波長に相当する。ここで、マイクロキャビティの光路長は、幾何学形状的経路長と、ミラー面の間に位置する全ての個別層にわたって合算された媒体の屈折率との積として生じる。さらに、所望されている光路長の値は、例えばプラズモン作用のために、±５０％の範囲のトレランスを有している。（分布帰還型（英語でｄｉｓｔｒｉｂｕｔｅｄ　ｆｅｅｄｂａｃｋまたは略してＤＦＢ）を有するミラー面に従った干渉グリッドの意味で）構造化されたミラー面の具体的な例では、共鳴条件は、当業者に既知の二次元もしくは三次元の規則性に従って整合されるべきである。

【００３２】

共鳴波長の電磁ビーム（光学マイクロキャビティ内で建設的干渉条件を満たす、極めて長い波長を有する電磁ビーム）がキャビティに入射すると、入射電磁信号は有利には２つのミラー面の間で複数回反射され、したがって、この共鳴波長の光学場が有利に増強される。同時に、共鳴波長に相当しない光は、光学マイクロキャビティに入る前に既に反射される。

【００３３】

本発明では、用語「共鳴波長」によって、検出されるべき電磁信号の波長が、ミラー面の間の光路長の２５から７５％までの範囲に相当し、極めて高い場の増強を有することが意図されている。

【００３４】

定義によれば、ミラー面は、光学マイクロキャビティの形成に関与する２つの境界面、すなわち、屈折率の異なる２つの隣接する媒体の、区切る境界面である。

【００３５】

ミラー面に接触し、光学マイクロキャビティとは反対側に位置する媒体は、以下では、本発明に相応して、ミラー媒体と称される。さらに固体（例えば、有機ベースのミラー媒体または酸化物ミラー媒体）の場合には、以下では、本発明に相応して、用語「ミラー層」が使用される。

【００３６】

ミラー面の間の幾何学形状的間隔と、場合によってはミラー層への光学場のはめ込みとに基づいて、共鳴波長は、建設的干渉条件にしたがって１０ｎｍと１０μｍとの間の範囲に位置する。

【００３７】

建設的干渉（すなわち、光学マイクロキャビティ内の反射による、検出されるべき電磁信号の増幅）は、所定の波長での光学場の有利な重ね合わせによって行われる。建設的干渉のための前提条件は、隣接する２つの媒体が相互に接していることであり、ここで、これらの媒体は、異なる屈折率を有している。したがって、これらの媒体の間にミラー面が形成される。一次元の場合には、建設的干渉条件は、ミラー面の間の光路長が、検出されるべき信号の波長の２５％から７５％までの範囲に相当する場合に、極めて有利には、検出されるべき信号の半波長に相当する場合に発生する。しかし、例えば、プラズモン作用は、±５０％の範囲で、上述した要件の偏差を生じせる。

【００３８】

場の増強は、本発明では、建設的干渉を利用しない光学場に対する、この光学場のスペクトル的に依存する関係として定義される。

【００３９】

本発明の有利な構成では、対向している２つのミラー面は、互いに面平行に配置されている。

【００４０】

好ましくは、対向している２つのミラー面は、相互に、１００～５０００ｎｍ、特に有利には２００から１０００ｎｍまでの範囲の所定の幾何学形状的間隔を有している。

【００４１】

選択的に、有利には、対向している２つのミラー面は、１ｎｍから５００ｎｍまで、好

ましくは１０ｎｍから１００ｎｍまでの範囲の幾何学形状的間隔の分散を伴って、相互に傾斜して配置されており、ここで、２つのミラー面相互の平均的な幾何学形状的間隔は１００～５０００ｎｍ、特に有利には２００ｎｍから１０００ｎｍまでの範囲にある。特に有利には、ミラー面の間隔のこの分散は、入射電磁ビームの分光検査を可能にし、ここで、電極は多数の部分から（すなわち、アレイとして）形成されており、それぞれ別個の読み出しユニットと接続されている。

【００４２】

好ましくは、各媒体は、本発明では個別層または層シーケンスとして形成されている。

【００４３】

ミラー媒体が、建設的干渉と組み合わせたプラズモンまたは誘電体反射（例えば、誘電体ミラー層（英語でｄｉｓｔｒｉｂｕｔｅｄ Ｂｒａｇｇ ｒｅｆｌｅｃｔｏｒ（ＤＢＲ））））を用いた金属反射を利用する場合、好ましくは、ミラー面は、平面に形成されている。

【００４４】

プラズモンによる金属反射と関連して、特に赤外波長領域での使用に関して、ミラー層として特に以下のものが適している：銀（Ａｇ、特に３５０ｎｍの照射の波長からが適している）、金（Ａｕ、特に７００ｎｍからが適している）およびアルミニウム（Ａｌ、特に１５００ｎｍからが適している）。

【００４５】

誘電体反射および建設的干渉、すなわち、ＤＢＲミラー層と関連して、ミラー媒体は、高い屈折率と低い屈折率とを交互に有する層シーケンスとして形成されている。低い屈折率を有する材料として、特に二酸化ケイ素（SiO_2、波長領域２５０ｎｍ～５０００ｎｍにおいて適している）または金属フッ化物、特にアルカリ金属フッ化物、アルカリ土類金属フッ化物または希土類金属フッ化物、例えばフッ化リチウム（ＬｉＦ）またはフッ化ランタン（LaF_3）が考えられる。高い屈折率を有する材料として、二酸化チタン（TiO_2、波長領域４５０ｎｍ～２５００ｎｍにおいて適している）、酸化アルミニウム（Al_2O_3、１６００ｎｍまで適している）、酸化ジルコニウム（ＩＶ）（ZrO_2、４００ｎｍから適している）ならびに硫化物、例えば硫化亜鉛（ＺｎＳ、８００ｎｍから適している）から選択された、特に低コストの金属酸化物が考えられる。さらに、金属酸化物、例えば酸化タンタル（Ｖ）（Ta_2O_5、波長領域３００ｎｍ～１７５０ｎｍにおいて適している）、二酸化ハフニウム（HfO_2、３５０ｎｍ～８００ｎｍの波長領域において適している）ならびに窒化物、例えば窒化アルミニウム（ＡｌＮ、波長領域５００ｎｍ～５０００ｎｍにおいて適している）ならびにＩＩ－ＶＩ族化合物半導体、例えばセレン化亜鉛（略してＺｎＳｅ）が適している。ここで、ＤＢＲ構造の個別層は、光学マイクロキャビティの共鳴波長の４分の１に相当する光学的な層厚を有している。

【００４６】

本発明の選択的な実施形態では、ミラー面が、全反射に基づくＤＦＢミラー層によって実現され、すなわち、（例えば、フォトレジスト層を用いて）横方向に上方を構造化することによって実現され、ここでは、好ましくは、１ｎｍ～１００ｎｍの間のグリッド振幅を伴った１００ｎｍ～１０μｍの間の横方向の周期性が選択されるべきである。この実施形態では、基板から遠い（すなわち、基板から離れている方の）ミラー面は、オプトエレクトロニクス構成素子の最上境界面に相当する。ここでは、このミラー媒体の屈折率は、光学マイクロキャビティ内に存在する全ての層を下回る。

【００４７】

特に、フォトレジスト層（例えば、ｍｉｃｒｏ ｒｅｓｉｓｔ ｔｅｃｈｎｏｌｏｇｙ ＧｍｂＨ社製のｍａ－Ｐ１２１０）で構造化された、例えばガラスまたはプラスチックから成る基板が、基板に近い（すなわち、基板に最も近くに位置する）ミラー媒体として適している。特に、バリア層、例えば酸化アルミニウム（Al_2O_3）または不活性ガス、例えば窒素が、基板から遠いミラー媒体として適している。

【００４８】

有利には、吸収された電磁ビームの狭帯域増幅（すなわち、共鳴波長ぶんの波長インターバルに対する増幅）は、オプトエレクトロニクス構成素子の光学マイクロキャビティによって行われる。この増幅は、外部量子効率（ＥＱＥ）もしくは５０ｎｍ未満、特に有利には１０ｎｍ未満のスペクトル応答の半値幅によって特徴付けられる。例えば光学的なスペーサ層の層厚の変化によって、共鳴波長の同時の同調性（すなわち、所期の変化）によって、本発明の方法によって、特に有利には、分光用途もしくは多重化（すなわち、複数の波長の同時データ検出／同時データ処理）が可能になる。

【００４９】

それにもかかわらず、本発明の方法は、そのバンドギャップを介した化合物の従来の一重項励起と比較して、好ましくは７８０ｎｍ～１μｍの波長領域における極めて僅かなエネルギーしか、共通の直接的な発色団間電荷移動状態の励起に必要としない、という特徴を有している。それによって、有利には、自身の側で大きなバンドギャップを有している有機化合物を使用することができる。本発明の方法には、可視領域において吸収する化合物（すなわち、大きなバンドギャップを有する化合物）は必要ないので、赤外線信号を検出するために本発明に相応に使用されるオプトエレクトロニクス構成素子の個々の化合物は有利には、可視波長領域に対して感度を有していないように（すなわち、励起および電気信号を伴わずに）構成されていてよい。

【００５０】

有利には、化合物１および２は、可視波長領域からの電磁ビームに対して感度を有していない。

【００５１】

好ましくは、本発明に相応に使用されるオプトエレクトロニクス構成素子（例えば、検出器）は、可視波長領域における電磁ビームに対して、部分的または完全に透過性に構成されている。これによって同時に、有利には、光活性層の機能－耐用年数が長くなる。

【００５２】

好ましくは、本発明に相応に使用されるオプトエレクトロニクス構成素子は、１０ｎＡ／ｃｍ^{2}の桁の暗特性曲線の僅かな電流を特徴とする。

【００５３】

さらに、有利には、本発明に相応に使用されるオプトエレクトロニクス構成素子は、７８０ｎｍ～１０００ｎｍの波長に対して、短絡状態下で、好ましくは１０％～８０％のＥＱＥを有しており、もしくは赤外線領域におけるより高い波長に対しては、０．５％大きいＥＱＥを有している。

【００５４】

上述したＥＱＥから導出されて、本発明に相応に使用されるオプトエレクトロニクス構成素子に対して、短絡状態下で、７８０ｎｍ～１０００ｎｍの波長領域において、好ましくは０．０１～０．１Ａ／Ｗの桁のスペクトル応答が得られ、もしくは赤外線領域におけるより高い波長に対しては、０．００１～０．１Ａ／Ｗの桁のスペクトル応答が得られる。

【００５５】

好ましくは、本発明に相応に使用されるオプトエレクトロニクス構成素子は、短絡状態下で、10^{11}～10^{12}ジョーンズの桁における、波長領域７８０ｎｍ～１０００ｎｍでの、特別な検出感度を有しているか、もしくは赤外線領域におけるより高い波長に対しては、少なくとも10^9ジョーンズの桁における特別な検出感度を有している。

【００５６】

本発明に相応に使用されるオプトエレクトロニクス構成素子にとって、１ｍＷ／ｃｍ^{2}の桁における近赤外線による対応する照射の際の、短絡状態下での、10^4～10^5の桁における、波長領域７８０ｎｍ～１０００ｎｍでの暗電流に対する光電流のオン／オフ比も特徴的である。

【００５７】

本発明の方法を用いて、基本的には、紫外線から赤外線の領域の電磁ビームが検出可能

であることが、当業者に既知である。特に有利には本発明の方法は、７８０ｎｍ～１０μｍの波長領域（スペクトル領域）の電磁ビームを検出するのに適している。特に有利には、本発明の方法は、７８０～５００００ｎｍの近赤外領域および／または中赤外領域における電磁ビーム、極めて有利にはＤＩＮ５０３１による７８０～３０００ｎｍの近赤外領域（ＮＩＲ領域）における電磁ビームを検出するのに適している。

【００５８】

本発明では、検出されるべき電磁信号は、入射電磁ビーム全体からのスペクトル部分である。特に、検出器は、検出されるべき共鳴波長の周りの狭い間隔に敏感に反応する。ここで、本発明の検出器の外部量子効率は、５０ｎｍ未満、有利には１０ｎｍ未満の半値幅を有している。

【００５９】

特に有利には、光活性層中の２つの化合物１および２は、低分子（有利には真空処理可能な）有機化合物のグループから選択されるか、またはポリマー（有利には溶液処理可能）またはフラーレンのグループから選択される。

【００６０】

本発明では、光活性層は、光学マイクロキャビティ内に三次元の層として形成されており、ここでは、電磁ビームの検出波長は、直接的な発色団間電荷移動状態の吸収範囲にあり、そのエネルギーは次に、弱く結合している、または遊離している電荷担体に移動される。

【００６１】

光活性層が真空処理によって提供される場合、化合物１（電子ドナー）は、好ましくは、フタロシアニン（例えば、亜鉛フタロシアニンまたは鉄フタロシアニン）、ピラン、例えばビスピラニリデン（略してＴＰＤＰ）、フルバレン、例えばテトラチオフルバレン（略してＯＭＴＴＦ）ならびに芳香族アミン（例えばＮ，Ｎ，Ｎ’，Ｎ’－テトラキス（４－メトキシフェニル）－ベンジジン（略してＭｅＯ－ＴＰＤ）、２，７－ビス［Ｎ，Ｎ－ビス（４－メトキシ－フェニル）アミノ］９，９－スピロ－ビフルオレン（略してスピロ－ＭｅＯ－ＴＰＤ）または４，４’，４’’－トリス（３－メチルフェニル－フェニルアミノ）トリフェニルアミン（略してｍ－ＭＴＤＡＴＡ））、ビスチオピラニリデン、ビピリジニリデンまたはジケトピロロピロールの物質群から選択される。

【００６２】

光活性層が液体処理によって提供される場合、化合物１は、好ましくは、ポリチオフェン（例えばポリ（２，５－ビス（３－アルキルチオフェン－２－イル）チエノ［３，２－ｂ］チオフェン）（略してｐＢＴＴＴ））の物質群から選択される。

【００６３】

ポリマーの場合、化合物１は、好ましくは、側鎖の空間的な間隔が、化合物２（電子アクセプタ）の空間的広がりに相当するという特徴を有しており、その結果、化合物１の側鎖の間隙に化合物２を規則的に入れることによって、（Ｎ．Ｃ．Ｍｉｌｌｅｒ等著，Ａｄｖ．Ｅｎｅｒｇｙ Ｍａｔｅｒ．２０１２，２，１２０８、ＤＯＩ：１０．１００２／ａｅｎｍ．２０１２００３９２に記載されているように）バイクリスタルが形成される。これによって拡張されるドナー・アクセプタ表面によって、ここで、有利には、発色団間電荷移動状態の吸収が増加する。

【００６４】

有利には、化合物２（電子アクセプタ）は、真空処理による光活性層の提供の範囲において、フラーレン、例えばＣ６０の物質群から選択される。

【００６５】

光活性層が液体処理によって提供される場合、化合物２は、有利には、フェニル－C_{61}－酪酸メチルエステル（略してＰＣＢＭ）またはポリ（２，５－ビス（３－テトラデシルチオフェン－２－イル）チエノ［３，２－ｂ］チオフェン）（略してＰＢＴＴＴ－Ｃ１４）である。

【００６６】

本発明の有利な構成では、化合物１と化合物２は、例えば、リンカー（柔軟なスペーサ）を介して互いに共有結合されてよい。この種のリンカーは当業者に既知であり、特に、Ｃ１－Ｃ１２アルキル基、Ｃ１－Ｃ１２アルケニル基、Ｃ１－Ｃ１２アルコキシ基、Ｃ１－Ｃ１２ポリアルコキシ基、脂肪族ジアミンまたは環状ジアミンおよび環状もしくは多環式アリール基の物質群から選択される。有利にはリンカーは、反応性カップリング基（官能基）を介して化合物１もしくは化合物２に結合されている。有利には、反応性カップリング基は、アミノ基（－NH_2）、チオール基（－ＳＨ）、アルコール基（－ＯＨ）、アミド基（－Ｃ（＝Ｏ）NH_2）、トリクロロシリル基（－ＳｉＣｌ３）またはカルボキシル基（－Ｃ（＝Ｏ）ＯＨ）である。

【００６７】

有利には、基材は剛性、部分的に剛性、または可撓性である。

【００６８】

基板が透明であることは特に目的にかなっている。この種の基板は、当業者に既知であり、例えば、透明な基板、例えばガラス、プラスチック（ポリエチレンテレフタレート（略してＰＥＴ）等）、金属ストリップ、または金属混合酸化物（例えばインジウム錫酸化物）またはそれらの混合層から選択されている。基板は平らであっても湾曲していてもよい。

【００６９】

本発明の有利な実施形態では、２つの光学スペーサ層が光学マイクロキャビティ内に配置されている。

【００７０】

特に有利には、光学スペーサ層の厚さによって、本発明のオプトエレクトロニクス構成素子内の光学マイクロキャビティの共鳴波長は、可視光、近紫外（ＵＶ）、またはＩＲ領域において調整可能である。

【００７１】

光学マイクロキャビティ内の２つの光学スペーサ層は、

ａ）光学マイクロキャビティの共鳴波長を直接的な発色団間電荷移動状態の吸収範囲内に置くために、および

ｂ）光活性層を、共鳴波長の空間的な最大強度において、光学マイクロキャビティ内で配向するために、使用される。

【００７２】

空間的な最大強度は、光学場の空間的な強度分布のスペクトル分解された最大値として定義される。

【００７３】

所定の共鳴波長を所期のように扱うために、光学スペーサ層の厚さは、ミラー面の間の光路長が、検出されるべき信号の波長の２５から７５％までの範囲に相当するように選択され、極めて有利には、検出されるべき信号の半波長に相当するように選択される。しかし、例えば、プラズモン作用は、±５０％の範囲の、前述の要件の偏差を生じさせる。

【００７４】

ミラー面の面平行配置において、１００ｎｍ～５０００ｎｍの間、有利には２００～１０００ｎｍの間のミラー面の幾何学形状的間隔を生じさせる光学スペーサ層が、本発明において、目的にかなっていることが判明している。

【００７５】

対向している２つのミラー面の傾斜配置において、光学スペーサは、１～５００ｎｍ、好ましくは１０～１００ｎｍの範囲の、２つのミラー面の幾何学形状的間隔の分散を生じさせる。光学スペーサ層によって生じる、２つのミラー面の平均的な幾何学形状的間隔は、１００ｎｍから５０００ｎｍまで、特に有利には２００ｎｍから１０００ｎｍまでの範囲にある。特に有利には、ミラー面の間隔の分散は、入射電磁ビームの分光検査を可能にし、ここで、電極は複数の部分から（すなわち、アレイとして）形成され、それぞれ、別個の読み出しユニットと結合されている。

【００７６】
光学スペーサ層の材料として適切な材料は、平らに成長し（この層は好ましくは５ｎｍ未満、好ましくは２ｎｍ未満の全体的な厚さ変動を有している）、ならびに最大で、ミラー面の間に位置するその他の全ての層の屈折率の極大値と同じ屈折率を有する材料である。さらに光学スペーサ層は、検出されるべき波長に関して、０．１％未満、好ましくは０．０１％未満の吸収を有している。これには、有機半導体、例えば真空処理または液体処理によって提供される小分子、例えば芳香族アミン（例えばＮ，Ｎ，Ｎ’，Ｎ’－テトラキス（４－メトキシフェニル）－ベンジジン（略してＭｅＯ－ＴＰＤ）、２，７－ビス［Ｎ，Ｎ－ビス（４－メトキシ－フェニル）アミノ］９，９－スピロ－ビフルオレン（略してスピロ－ＭｅＯ－ＴＰＤ）またはＮ４，Ｎ４’－ビス（９，９－ジメチル－９Ｈ－フルオレン－２－イル）－Ｎ４，Ｎ４’－ジフェニルビフェニル－４，４’－ジアミン（略してＢＦ－ＤＰＢ）または９，９－ビス［４－（Ｎ，Ｎ－ビス－ビフェニル－４－イル－アミノ）フェニル］－９Ｈ－フルオレン（略してＢＰＡＰＦ））も、液体処理によって提供されるポリマー、例えば、ポリ－３，４－エチレンジオキシチオフェン　ポリ（スチレンスルホネート（略してＰＥＤＯＴ：ＰＳＳ））も、または酸化物、例えば酸化シリコン（略してSiO_2）も適している。

【００７７】
本発明の有利な構成では、光学スペーサ層は、電子伝導性またはホール伝導性の輸送層として形成されている。

【００７８】
本発明のさらなる有利な構成では、光学スペーサ層は、可視波長領域からの電磁ビームのための光学フィルタとして形成されている。光学スペーサ層における光活性層において吸収される代わりに、この範囲の波長が吸収され、ここで、これはオプトエレクトロニクス構成素子の光電流に寄与しない（赤外線検出器にとってしばしば望ましいことであるように）。これに関連して、光学スペーサ層は、例えば、化合物１または化合物２（少なくとも８０質量％の層割合を有する）から成る。

【００７９】
電子伝導性もしくはホール伝導性の輸送層が、１～５０質量％（略してＭａ．－％）の範囲のｎ－もしくはｐ－ドーピングを有することが目的にかなっていることがある。有利には輸送層は、１～２５Ｍａ．－％の範囲、特に有利には１～１０Ｍａ．－％の範囲のｎ－もしくはｐ－ドーピングを有している。Ｍａ．－％は、定義によれば、輸送層の総組成に関する。

【００８０】
ここで、「ｎ－ドーピング」もしくは「ｐ－ドーピング」は、電子伝導性またはホール伝導性の輸送層に、自由に移動可能な負電荷もしくは正電荷を注入することを意味しており、この結果、相応にドーピングされた輸送層の、熱力学的平衡状態における自由な電子密度もしくはホール密度の上昇が得られる。

【００８１】
本発明のある実施形態は次のことを特徴とする。すなわち、ｎ－ドーパント前駆体またはｎ－ドーピング剤として、複素環式ラジカルまたはジラジカル、そのダイマー、オリゴマー、ポリマー、メタロセン（例えばコバルトセン）、アルカリ金属、例えばセシウム、パドルホイール型錯体（例えばタングステン、モリブデンまたはクロムのパドルホイール型錯体）、ジスピロ化合物および多環式化合物または染料のロイコ塩基が使用されることを特徴とする。ｐ－ドーパントとして例えば、テトラシアノキノジメタン、ルイス酸、ラジアレン、ジチオレート遷移金属錯体またはフッ素置換フラーレンが適している。この種のドーパント前駆体またはドーピング剤は、当業者には最もよく知られている。

【００８２】
マトリックス分子として、光活性層と輸送層との間の輸送準位のエネルギー調節を伴う材料が適している。したがって、電子伝導性光学スペーサ層のマトリックスとして、再び化合物２、すなわち、フラーレンが提供され、もしくはホール伝導性の輸送層のマトリッ

クスとして化合物１が提供される。さらに、ホール伝導性の輸送層のマトリックスとして、芳香族アミン類（例えばＮ，Ｎ，Ｎ’，Ｎ’－テトラキス（４－メトキシフェニル）－ベンジジン（略してＭｅＯ－ＴＰＤ）、２，７－ビス［Ｎ，Ｎ－ビス（４－メトキシ－フェニル）アミノ］９，９－スピロ－ビフルオレン（略してスピロ－ＭｅＯ－ＴＰＤ）またはＮ４，Ｎ４’－ビス（９，９－ジメチル－９Ｈ－フルオレン－２－イル）－Ｎ４，Ｎ４’－ジフェニルビフェニル－４，４’－ジアミン（略してＢＦ－ＤＰＢ）または９，９－ビス［４－（Ｎ，Ｎ－ビス－ビフェニル－４－イル－アミノ）フェニル］－９Ｈ－フルオレン（略してＢＰＡＰＦ））が適している。

【００８３】

さらに、電子伝導性の輸送層のマトリックスとして、キノリン類（例えばトリス（８－ヒドロキシ－キノリナト）アルミニウム（略してＡｌｑ３））、フェナントロリン類（例えば４，７－ジフェニル－１，１０－フェナントロリン（略してＢｐｈｅｎ））、トリナフチレン類（例えば２，３，８，９，１４，１５－ヘキサフルオロ－５，６，１１，１２，１７，１８－ヘキサアザ－トリナフチレン（略してＨＡＴＮＡ－Ｆ６））またはナフタレンジイミド（例えばＮ，Ｎ－ビス（フルオレン－２－イル）－ナフタレンテトラカルボン酸ジイミド（略してビス－Ｈｆｌ－ＮＴＣＤＩ））が適している。

【００８４】

オプトエレクトロニクス構成素子によって出力される電気信号の、電磁信号によるその照射に起因する割合は：

$I_{photo}=I_{ES}-I_{dunkel}$であり、ここで、変数$I_{photo}$は光電流に対応し、$I_{ES}$は電気信号に対応し（すなわち、照明下の電流）ならびにI_{dunkel}は照明無しの電流に対応する。３つの変数はすべて、場合によって印加される外部電圧に関連している。

【００８５】

有利には、電磁信号の変換から得られた電気信号は、電極および読み出しユニットによって測定される。有利には、電気信号の読み出しは、後置接続されている、当業者に公知のエレクトロニクスによるさらなる処理を可能にする。

【００８６】

場合によって、オプトエレクトロニクス構成素子からの電流の読み出しは、典型的に０～－１００Ｖの範囲にある外部電圧の印加によって支持される。特に有利には、外部電圧の印加によって、検出領域におけるオプトエレクトロニクス構成素子の外部量子効率は上昇し、応答時間（検出器において検出波長に達する際の光電流の立ち上がり時間）が短くなる。

【００８７】

有利には、本発明のオプトエレクトロニクス構成素子は、先行技術から公知の構成素子と比べて、１０００ｎｍを超える波長の検出によって特徴付けられ、ここで、共鳴波長の同調が可能であること、およびＥＱＥの（もしくはスペクトル応答の）半値幅が狭いことによって、本発明のオプトエレクトロニクス構成素子を分光器として使用することが可能になる。

【００８８】

特に有利には、活性層中の化合物１および２の適切な選択によって、この範囲内の検出されるべき信号の波長の自由な選択を伴う、直接的な発色団間電荷移動状態の幅の広い吸収範囲が実現される。

【００８９】

本発明の構成要件は、基板上の、好ましくは本発明の方法で使用されるためのオプトエレクトロニクス構成素子でもあり、このオプトエレクトロニクス構成素子は少なくとも：

ｉ．光学マイクロキャビティを形成する、相互に間隔をあけ、かつ対向している２つのミラー面と、

ｉｉ．これらのミラー面の間に配置されている、１つの化合物１と１つの化合物２とを少なくとも含んでいる光活性層とを有しており、

化合物１のＨＯＭＯエネルギーと化合物２のＬＵＭＯエネルギーとの間のエネルギー差は１．６ｅＶを下回り、
ミラー面の間の光路長は、検出されるべき信号の波長の２５％から７５％までの範囲に相当し、
検出されるべき電磁信号の波長領域のエネルギー等量は、
・化合物１のＨＯＭＯエネルギーと化合物２のＬＵＭＯエネルギーとによって規定されるエネルギー差と
・化合物１のＨＯＭＯエネルギーとＬＵＭＯエネルギーとによって規定されるエネルギー差と
の間に位置し、
光活性層は、光学マイクロキャビティ内で、検出されるべき電磁信号の波長の空間的な最大強度において、ミラー面の間に配向されている。

【００９０】

本発明では、オプトエレクトロニクス構成素子は、赤外線検出器、太陽電池もしくは太陽電池の構成部品として構成されている。本発明では、検出器は感光性のオプトエレクトロニクス構成素子として、できるだけ小さい暗電流の周辺条件下で、検出されるべき電磁周辺ビームを変換することによって、できるだけ大きい光電流を提供するように、最適化されている。

【００９１】

本発明では、太陽電池は、太陽光を変換することによってできるだけ大きい電力を提供するように最適化されている、エネルギー自給型の感光性オプトエレクトロニクス構成素子である。ここで、光活性層を、一重項吸収の範囲の最大吸光を伴う波長に関して調整するために、好ましくは建設的干渉条件が利用される。

【００９２】

本発明では、可視波長領域で吸収する化合物は不要なので、本発明のオプトエレクトロニクス構成素子は、特に赤外線検出器として使用される場合には、好ましくは可視波長領域において透過性であるか、または少なくとも部分的に透過性に構成されている。本発明では、ビームの少なくとも３０％が可視波長領域において透過される場合、材料は部分的に透過性である。

【００９３】

本発明の有利な構成では、本発明の構成素子は、電気信号を読み出すための読み出しユニットを有している。

【００９４】

好ましくはこの読み出しユニットは、読み出された電気信号のさらなる処理のためにも使用される。

【００９５】

本発明の有利な構成では、オプトエレクトロニクス構成素子は、電極対（すなわち、アノードおよびカソード）として形成されている、互いに離間した少なくとも２つの電極を有している。

【００９６】

本発明の有利な構成では、電極が作られる材料は、高い導電性を有する。金属をベースにしたミラー層が同時に電極として機能する場合、これは、好ましくは８０％～１００％の間、有利には９５％～１００％の間、特に有利には９９％～１００％の間の反射率を有し、ここで、この材料は例えば銀、アルミニウムおよび金から選択されている。

【００９７】

他の場合には、電極は、高い透過性、すなわち、０～10^{-2}の間、有利には０～10^{-3}の間、特に有利には０～10^{-4}の間の吸光係数を有するべきである。これに関連して、例えば、ドーピングされた金属酸化物、例えばインジウム錫酸化物（略してＩＴＯ）またはアルミニウムドープ酸化亜鉛（略してＡＺＯ）、高導電性の、平らに成長する小分子（例えばドーピングによって、例えばテトラキス（１，３，４，６，７，８－ヘキサヒ

ドロ－２Ｈ－ピリミド［１，２－ａ］ピリミジナト）－ジタングステン（ＩＩ）（略してＷｐｄ、１６質量パーセントのドーピング）でドーピングされるＣ６０）または高導電性の、平らに成長するポリマー、例えばポリ－３，４－エチレンジオキシチオフェン　ポリ（スチレンスルホネート）（略してＰＥＤＯＴ：ＰＳＳ）またはグラフェンが適している。

【００９８】

少なくとも１つの電極が複数の部品から（すなわち、アレイとして）形成されていてよい。電極セグメントがアレイ状に配置されていることによって、有利には、オプトエレクトロニクス構成素子内に複数の測定領域が存在し、これらの測定領域は、それぞれ読出しユニットによって別々に読み出される。これにより、一方では、入射する、検出されるべき電磁信号の空間的な分解が（例えば、ＩＲ検出器を有するカメラでの使用のために）可能になり、ここで、この２つのミラー面はこの実施形態では面平行に配置されている。他方で、アレイ状に配置されている電極セグメントは、ミラー面の互いに傾斜した配置によって、分光計の意味でのスペクトル分解能を可能にするので、各電極セグメントに、異なる共鳴波長が割り当てられ、これによって、有利には、検出されるべき電磁信号が電極セグメント毎に異なる。

【００９９】

自由選択的に、オプトエレクトロニクス構成素子は、例えば、励起子吸収からの結果として生じるような不所望な光電流を減少させるための光学フィルタ層を有している。例えば、可視波長領域、特に共鳴波長の２倍以上の桁の入射電磁ビームを、光電流への寄与に関して、有利には、抑制することができる。光学フィルタ層は、有利には、光学マイクロキャビティの内部または外部に組み込まれている。光学フィルタ層として、７５ｎｍ～６００ｎｍの間の波長領域の場合、０．２～０．３の吸光係数を有する有機材料が適しており、例えばペリレン（例えばＰ４－２，３，１０，１１－テトラプロピル－１，４，９，１２－テトラフェニル－ジインデノ［１，２，３－ｃｄ：１’，２’，３’－イム］ペリレン（Ｐ４－Ｐｈ４－ＤＩＰ））、フタロシアニン（例えば、ＺｎＰｃ）および／またはオリゴチオフェン（例えば、２，２’－（（３’’，４’’－ジメチル－［２，２’：５’，２’’：５’’，２’’’：５’’’，２’’’’－キンクチオフェン］－５，５’’’’－ジイル）ビス（メタアニリデン））－ジマロノニトリル（略してＤＣＶ５Ｔ－Ｍｅ（３，３））それぞれが純粋な、混合されていない層として適している。

【０１００】

オプトエレクトロニクス構成素子が、不利な電極への自由電荷担体の輸送を有利に阻止する電荷担体阻止層を有していてもよい。有利にはこれは、大きなバンドギャップを有する材料によって実現される。本発明の有利な構成では、電荷担体阻止層の機能は、輸送層のマトリックス材料によって担われる。

【０１０１】

自由選択的に、オプトエレクトロニクス構成素子は、バリア層もしくはカプセル封入部を有している。これは、オプトエレクトロニクス構成素子の性能の意味で、有害な環境影響（例えば酸素または水）の侵入を抑制する。本発明では、バリア層は、基板と調整されて、剛性（例えばガラス）、部分的に剛性または可撓性に設計されている（例えば、好ましくは酸化物（例えばモリブデン酸化物）の原子層堆積（英語でＡｔｏｍｉｃ　Ｌａｙｅｒ　Ｄｅｐｏｓｉｔｉｏｎ、略してＡＬＤ）による、または金属（例えば、アルミニウム）または有機物（例えば、トリス（８－ヒドロキシ－キノリナト）－アルミニウム（Ａｌｑ３））による薄膜カプセル封入）。

【０１０２】

オプトエレクトロニクス構成素子は、さらに、高い表面エネルギーを有する材料、例えば金またはチタンによる層シーケンスの平らな成長のための中間層（いわゆるシード層）または拡散バリア、例えば、その上に位置する貴金属に対する卑金属、例えばアルミニウムまたは酸化物、例えばモリブデン酸化物の中間層を有している。

【０１０３】

対向している２つのミラー面の面平行配置の際の個々の波長の検出の他に、提示された波長領域における分光用途も望ましいものである。したがって、本発明の第２の態様に即した課題は、分光計を提供することである。

【０１０４】

検出されるべき電磁信号のスペクトル分解能は、本発明の有利な構成にしたがって、次のことによって得られる。すなわち、本発明によるオプトエレクトロニクス構成素子の対向している２つのミラー面の間の幾何学形状的間隔が、少なくとも横方向、すなわち、オプトエレクトロニクス構成素子が配置されている基板表面に平行な方向において変化することによって得られる。２つのミラー面の幾何学形状的間隔を変化させることによって、ミラー面の間の光路長が変化し、これによって光学マイクロキャビティの共鳴波長が変化する。

【０１０５】

ここで、ミラー面の幾何学形状的間隔は、一方では、連続的に変化してよい。これは、２つのミラー面が傾斜して、横方向の移動を介した検出波長の分解のための光学的なキャビティ層の厚さの変化のもとで、分光計の意味で、相互に配置されていることによって行われる。

【０１０６】

ミラー面が相互に傾斜して存在している場合、本発明では、基板の面において、共鳴波長の勾配が存在し、ここでは、光学マイクロキャビティ内に存在するすべての共鳴波長は、直接的な発色団間電荷移動状態の吸収の範囲に位置し、そのエネルギー等量は、化合物１（電子ドナー）の一重項吸収を下回っている。

【０１０７】

ミラー面が相互に傾斜して存在している場合、電極は複数の部品から（すなわち、アレイとして）形成されており、ここでは、同じ数の、光電流を読み出すための、電気的に分離されている読み出しユニットが接続されている。

【０１０８】

他方で、ミラー面の幾何学形状的間隔が不連続に、すなわち、離散的な階段で、階段状に変化してよい。ミラー面の幾何学形状的間隔の不連続の分散は、オプトエレクトロニクス構成素子が、互いに電気的に絶縁されたセグメントを有しており、この中に、対向している２つのミラー面が面平行に配置されていることによって実現される。隣接するセグメントは、対向している２つのミラー面の異なる幾何学形状的間隔を有している。したがって、ミラー面の幾何学形状的間隔は、セグメント毎に変化する。このようにして、オプトエレクトロニクス構成素子は、横方向の構造化、すなわち、オプトエレクトロニクス構成素子が配置されている、基板の表面に対して平行な少なくとも１つの方向における構造化を有している。この構造化が、ピクセルの形態で２つの横方向において行われてもよい。この場合には、各ピクセル内に、特定の共鳴波長を有する光学マイクロキャビティが形成されているので、各ピクセルに、直接的な発色団間電荷移動状態の吸収の範囲における特定の検出波長を割り当てることができる。

【０１０９】

光学的なキャビティ層の厚さの、上述した連続的または不連続の変化は、有利には、光学スペーサ層の層厚変化を介して行われる。

【０１１０】

さらに、これに加えてまたはこの代わりに、光活性層および／または他の層の厚さ、例えば電極の厚さまたは有機層の厚さにわたって、層の厚さの変動を調節することもできる。

【０１１１】

上で挙げた手法の他に、入射する、検出されるべき電磁信号に関して０～９０度の範囲の傾斜角度ぶんのオプトエレクトロニクス構成素子の傾斜は、全体として、同様に、共鳴波長の変化を可能にする。

【０１１２】

本発明の有利な構成では、本発明の方法および本発明のオプトエレクトロニクス構成素子は、光導波路を介した電気通信の時間分解された読み出しに使用される。特に有利には、本発明の方法およびオプトエレクトロニクス構成素子の本発明の構造は、複数の波長の同時読み出しを可能にする（多重化）。ここでの関連する波長は、例えば８５０ｎｍ、１３１０ｎｍおよび１５５０ｎｍである。

【０１１３】

本発明の選択的な構成では、本発明の方法および本発明のオプトエレクトロニクス構成素子は、短距離無線通信、特にモバイル機器、例えば携帯電話機器または固定装置、例えば遠隔操作部またはコンピュータの受信機器の時間分解された読み出しのために使用される。

【０１１４】

本発明の特に有利な構成では、本発明の方法および本発明のオプトエレクトロニクス構成素子は、運動（例えば、セキュリティ技術またはコンピュータゲームの意味での運動センサ）、距離（例えば、仮想現実の意味での距離測定機）、または位置（例えば、ライトバリアまたは複数の受信機による三角測量）の検出のために使用される。

【０１１５】

さらに、本発明の方法および本発明のオプトエレクトロニクス構成素子は、赤外ビームの空間的な分解のために、例えば赤外線写真撮影の意味において、例えばパスポートでの近赤外反応のセキュリティ特徴の検出、または例えば美術品（例えば歴史的な絵画）の下層に関する非破壊分析のために使用される。

【０１１６】

本発明の選択的な構成では、本発明の方法は、太陽電池または太陽電池の構成部分としての意味での、太陽スペクトルの赤外線成分の変換による、電力のエネルギー自給型供給のために使用される。

【０１１７】

さらに、本発明のオプトエレクトロニクス構成素子は、上記の特性を有する近赤外線領域の分光計を製造するために使用される。この種の分光器の使用状況は、特に次の通りである。

ｉ）近赤外線領域におけるスペクトルの記録；

ｉｉ）特定の分子結合に特徴的な吸収帯域に基づいた分析物含有試料の試料組成の特定；

ｉｉｉ）光導波路によって支持される電気通信の範囲内の様々な波長の同時読み出しのための多重化；

ｉｖ）医学的診断、例えば血糖値または血液中の酸素含有量の測定（パルスオキシメトリ、２つの波長の透過の比較）または例えば脳または組織の非破壊検査のためのイメージング法としての神経科学において、または膀胱の泌尿器学上の検査のため；

ｖ）例えば、水、タンパク質、脂肪またはプラスチック材料の含有量を特定するための、農業のかつ／または腐敗しやすい産物の品質管理；

ｖｉ）化学製品および医薬品ならびに石油化学の品質管理；

ｖｉｉ）赤外線天文学；

ｖｉｉｉ）例えばロックイン症候群の患者のための脳－コンピュータインターフェースとして

実施例

上述した本発明の実施形態は、課題を解決するのに適している。ここでは、開示された実施形態の組み合わせも、課題を解決するために適している。本発明の有利な発展形態は、特許請求の範囲または特許請求の範囲の個々の特徴の組み合わせから明らかになる。

【０１１８】

以降で本発明を、幾つかの実施例および属する図面に基づいてより詳細に説明する。これらの実施例は本発明を説明するためのものであり、ここで、本発明はこれらの実施例に限定されるものではない。

【図面の簡単な説明】

【０１１９】
【図１】有機半導体の範囲内での種々の吸収メカニズムならびにその後の電荷担体の抽出の図。左側の図（ａ）は、個々の材料の従来の一重項吸収を示しており、右側の図（ｂ）は、本発明に相応に利用される、直接的な発色団間電荷移動状態の吸収を示している。
【図２】光活性層としてのＺｎＰｃ－Ｃ６０－混合層（○○○）と対比した純粋なＺｎＰｃ層（｜｜｜）の吸収特性の比較を示す図。破線の特性曲線（｜｜｜）：高分解能吸収測定の意味での、純粋な、混合されていないＺｎＰｃ層での光電流分光法のフーリエ変換；円の特性曲線（○○○）：ＺｎＰｃ：Ｃ６０－混合層（混合比１：１の体積分率）を伴う太陽電池（すなわち、可視波長領域の共鳴波長に対して最適化された基準セル）の外部量子効率測定。
【図３】エネルギー準位の図：左はＺｎＰｃ、右はＣ６０、中央は、直接的な発色団間電荷移動状態を伴う移行部分。
【図４】検出器内の位置および入射電磁ビームの入射波長にわたって記入された、本発明のオプトエレクトロニクス構成素子の光学場のシミュレートされた振幅分布。中央には、補助線と共に層シーケンスが示されている。
【図５】ＺｎＰｃ－Ｃ６０－混合層の直接的な発色団間電荷移動の吸収に基づく、近赤外線検出器の概要を示す。層厚の変化の範囲において、光学スペーサ層の厚さＸ１、Ｘ２、透明な銀ミラー層の厚さＹならびに光学フィルタ層の厚さＺが同時に変えられる。
【図６】外部量子効率（ＥＱＥ）で表される、図５に示された試料セットを用いた、種々の波長の電磁ビームの検出を示している。
【図７】スペクトル応答（ＳＲ）で表される、図５に示された試料セットを用いた、種々の波長の電磁ビームの検出を示している。
【図８】図５に示された試料セットからの選択された試料に対する、種々のオプトエレクトロニクス感光性構成素子の外部量子効率を示している。
【図９】光学的および電気的パラメータに関する、本発明のオプトエレクトロニクス構成素子の角度依存を示している。左から右へ：実験によって測定された外部量子効率の依存；シミュレートされた反射率の依存；実験によって測定された反射率の依存。
【図１０】本発明によるオプトエレクトロニクス構成素子の概略的な層構造を示し、ミラー層もしくは光学スペーサ層は導電性に構成されており、したがって、これらは同時に、電極もしくは輸送層として機能する。これらのミラー面は、面平行に配置されている。
【図１１】図１０に示されているような本発明のオプトエレクトロニクス構成素子の概略的な層構造を示し、ここで、電極（１９）はセグメント状に分割されており、別個の読み出しユニットが設けられており、入射電磁信号が空間的に分解される。この実施形態では、ミラー層は導電性に構成されていない。
【図１２】本発明のオプトエレクトロニクス構成素子の概略的な層構造を示し、ここでは、図１０と比較して、ミラー層も光学スペーサ層も導電性に構成されていない。その代わりに、空間的に分離された電極もしくは輸送層の上述した層によって提供される。
【図１３】図１０と比較して、電流が基板に対して平行であり、したがって、入射光に対して垂直である、本発明のオプトエレクトロニクス構成素子の概略的な層構造を示している。
【図１４】図１０とは異なり、基板に近いミラー層が、分布帰還型（ＤＦＢ）の意味での周期的な干渉グリッドとして形成されている、本発明のオプトエレクトロニクス構成素子の概略的な層構造を示している。
【図１５】図１０と比較して、ミラー面が互いに傾斜しており、ならびに基板に近い電極がセグメント状に形成されており、これによってこの構成素子が分光検査を可能にする、本発明のオプトエレクトロニクス構成素子の概略的な層構造を示している。
【図１６】図１５と比較して、ミラー面の間隔変動が階段状に行われ、この構成素子が同様に、分光検査に適している、本発明のオプトエレクトロニクス構成素子の概略的な層構造を示している。
【発明を実施するための形態】

【０１２０】
図１は、有機半導体の範囲内での種々の吸収メカニズムならびにその後の電荷担体の抽出の図を示している。左側の図（ａ）は、個々の材料の従来の一重項吸収を示している。これらはエネルギーE_1もしくはE_2以上の光子を吸収する。電荷担体の光電流への分離およびその後の寄与のために、クーロン結合電荷担体対（いわゆる励起子）がまずは２つの化合物の境界面に拡散することが必要である。右側の図１（ｂ）は、本発明に相応に利用される、直接的な発色団間電荷移動状態の吸収を示している。２つの有機半導体の境界面において、電子が、化合物１（比較的高いＨＯＭＯエネルギーを伴う材料）のＨＯＭＯから、化合物２（比較的低いＬＵＭＯエネルギーを伴う材料）のＬＵＭＯ準位に持ち上げられる。左側の図とは異なって、共通の境界面への励起子拡散の中間ステップは省かれる。直接的な発色団間電荷移動状態はエネルギーE_3（またはそれ以上）の光子を吸収し、ここでは、材料の適切な選択によって、E_3をE_1およびE_2より小さく選択することができ、これは赤外線範囲での吸収に有利である。

【０１２１】
図２で光活性層として使用されているＺｎＰｃ：Ｃ６０－混合層は、７５０ｎｍを超える波長に対して、純粋なＺｎＰｃ層より高い吸収を有しており、ここで、この混合層の吸収は、純粋な層の吸収を、９００ｎｍを超えると、１桁ぶん上回る。付加的な吸収（図２の領域ｇを参照）は、２つの色素間の境界面によって実現される、発色団間電荷移動状態の直接的な吸収に由来する。Ｃ６０の光学バンドギャップがより大きいため、７００ｎｍを超えると、その吸収は無視できるので、この図ではＣ６０の吸収は省かれている。８５０ｎｍを下回る波長では吸収信号は、優先的に、ＺｎＰｃ一重項状態の吸収に起因するが、ＺｎＰｃ：Ｃ６０－混合層の直接的な電荷移動状態は、優先的にそれを上回る波長で、吸収をする。

【０１２２】
図３から見て取れるように、純粋なＣ６０－層もしくはＺｎＰｃ－層は、光バンドギャップに等しいかまたはそれより大きいエネルギーを有する光子のみを吸収する。純粋なＣ６０－層の場合、これは７００ｎｍ以下の波長であり、純粋なＺｎＰｃ－層の場合は８１５ｎｍ以下である。２つの有機半導体の移行部分には、個々の材料の一重項状態の他に、直接的な発色団間電荷移動状態も存在する。この直接的な発色団間電荷移動状態は、ＺｎＰｃのＨＯＭＯエネルギーとＣ６０のＬＵＭＯエネルギーのエネルギー差より大きなエネルギーを吸収し、これによって、８５０ｎｍより大きな波長の吸収を可能にする。

【０１２３】
図４に示す計算の基礎はオプトエレクトロニクス構成素子である：ガラス（１ｎｍ、基板）｜金（２ｎｍ）｜銀（２８ｎｍ、同時に電極として機能するミラー層）｜テトラキス（１，３，４，６，７，８－ヘキサヒドロ－２Ｈ－ピリミド［１，２－ａ］ピリミジナト）ジタングステン（ＩＩ）（略してＷ２（ｈｐｐ）４）でドープされたＮ，Ｎ－ビス（フルオレン－２－イル）－ナフタレンテトラカルボン酸ジイミド（略してビス－Ｈｆｌ－ＮＴＣＤＩ）（７９ｎｍ、７Ｍａ．－％、同時に電子伝導性輸送層として機能する光学スペーサ層）｜亜鉛フタロシアニン（略してＺｎＰｃ）：Ｃ６０（５０ｎｍ，１：１，光活性層）｜Ｎｏｖａｌｅｄ　Ｄｏｐａｎｔ　Ｐ－Ｓｉｄｅ　ＮＯ．９（略してＮＤＰ９）でドープされたＮ，Ｎ’－（（ジフェニル－Ｎ，Ｎ’－ビス）９，９－ジメチル－フルオレン－２－イル）－ベンジジン（略してＢＦ－ＤＰＢ）（７１ｎｍ、１０Ｍａ．－％、同時にホール伝導性輸送層として機能する光学スペーサ層）｜アルミニウム（１ｎｍ）｜金（２ｎｍ）｜銀（１００ｎｍ、同時に電極として作用するミラー層）｜窒素（０．１ｍｍ）｜カプセルガラス（１ｍｍ）。ここでは、シミュレーションの範囲内のｎ－ドーパントの光学的な影響は無視されている。光学的なシミュレーションでは、３ｎｍ未満の厚さを有する層が考慮された；それにもかかわらず、その図示は、図面において省かれている。（部品位置１００ｎｍにおける）ＢＦ－ＤＰＢと銀との間の境界面ならびに（部品位置３０３ｎｍにおける）ビス－Ｈｆｌ－ＮＴＣＤＩと銀との間の境界面は、図４に示されたオプトエレクトロニクス構成素子における２つのミラー面を表している。２０３ｎｍの幾何学形

状的な厚さは、９００ｎｍの波長の場合に、約３５０ｎｍの光学的な層の厚さに相当する。銀ミラー層への光学場の部分的な侵入によって、場は、ここで約４５０ｎｍに拡大する。したがって、９００ｎｍ（光路長は半共鳴波長に相当する）に対する建設的干渉条件が満たされる。光活性層（すなわち、ＺｎＰｃ：Ｃ６０－混合層）において最大場強度を有する定常波が得られる。さらに、具体的な部品は、半共鳴波長（約４５５ｎｍ）において、光活性層における光学場の最小強度を有する。

【０１２４】

図５に示されているような（層番号３および７に関係する）層厚変化Ｘ１およびＸ２は、分光器の意味での検出器波長もしくは共鳴波長の変化を可能にする。光学スペーサ層の層厚（Ｘ１，Ｘ２）の同時変化によって、光学マイクロキャビティの複数の共鳴波長は、有利には、同調される。したがって、ａ）異なる共鳴波長が形成され、ｂ）同時に光活性層が、（共鳴波長に関して）光学場分布の最大強度に位置する。近赤外におけるホール輸送層（ＢＦ－ＤＰＢ）のマトリックスが、電子輸送層ビス－Ｈｆｌ－ＮＴＣＤＩのマトリックスと比較して僅かに大きい屈折率を有しているので、ホール輸送層の厚さは系統的により大きく選択されており、これによって、光活性層を、共鳴波長に関して光学場の極大値に位置付けることができる。厚さ３６ｎｍの、基板から遠い、部分的に透過性の銀ミラー層（層番号１０）に関して、変化Ｘ１およびＸ２に即したシミュレーションは相応に以下の共鳴波長をもたらす：｛６０５ｎｍ，８８０ｎｍ，９２０ｎｍ，９５０ｎｍ，９８０ｎｍ，１０１０ｎｍ｝。第１の共鳴波長６０５ｎｍは、通常の太陽電池と比較するために使用され、本発明の範囲内にあるとはみなされるべきではない。層厚変化Ｙは、高い外部量子効率に関する、部分的に透過性の銀ミラー層の最適化ならびに共鳴波長とは異なる全ての波長の抑制のために使用される。層厚変化Ｚは、可視波長領域からの光電流寄与を抑制する光学フィルタ層を検査するために使用される。

【０１２５】

図６および図７から見て取れるように、実験によって測定された共鳴波長は、シミュレートされた共鳴波長の単調に上昇する関数であり、これは検出器波長の同調性を実証する。２７ｎｍ～３６ｎｍの間の透過性の銀ミラー層の層厚は、変化の範囲内で、ＥＱＥに関して極めて高性能な検出器をもたらす。さらに光学フィルタ層は、共鳴波長とは異なる波長に感応しない検出器に関して有利であることが判明している。

【０１２６】

図８は、共鳴波長の変化の下での、ＺｎＰｃ：Ｃ６０を光活性層として伴う図６の選択されたＥＱＥ測定を示している。図８（ａ）は、ＺｎＰｃ（化合物１）の効率的な一重項吸収のために、７００ｎｍでの可視波長領域において共鳴波長を有する、太陽電池として最適化された部品（基準セル）のＥＱＥを示している。

【０１２７】

この目的のために、光学スペーサ層に関して以下の層厚が選択された：Ｘ１＝３６ｎｍ、Ｘ２＝３１ｎｍ。さらに、薄い層厚が、部分的に透過性の銀ミラー層に対して選択され、これによってミラー面の存在なしに（すなわち、干渉無く）、吸収に光学的にできる限り近づくことができる：Ｙ＝９ｎｍ。さらに、光学フィルタ層が省かれる：Ｚ＝０ｎｍ。この試料は、検出器を通常の太陽電池と比較するために使用され、本発明の範囲内にあるとみなされるべきではない。図８（ｂ）－（ｄ）は、分光計の意味における、直接的な発色団間電荷移動状態の吸収の範囲における共鳴波長の変化を示している。（ｂ）、（ｃ）、（ｄ）に対してはそれぞれ、Ｙ＝１８ｎｍおよびＺ＝２００ｎｍが有効である。さらに、（ａ）に対しては、９１０ｎｍの実験による共鳴波長を伴い、Ｘ１＝７１ｎｍ、Ｘ２＝７０ｎｍが有効であり、（ｂ）に対しては、９３０ｎｍの実験による共鳴波長を伴い、Ｘ１＝７６ｎｍ、Ｘ２＝７４ｎｍが有効であり、さらに（ｃ）に対しては、９５０ｎｍの実験による共鳴波長を伴い、Ｘ１＝８１ｎｍ、Ｘ２＝７９ｎｍが有効である。

【０１２８】

図９は、以下の試料構造に基づいている：ガラス（１ｍｍ）｜Ａｇ（１００ｎｍ）｜ビス－Ｈｆｌ－ＮＴＣＤＩ：Ｗ２（ｈｐｐ）４（８１ｎｍ，７Ｍａ．－％）｜Ｃ６０（５ｎ

ｍ）｜ＺｎＰｃ：Ｃ６０（５０ｎｍ、１：１の体積分率）｜ＺｎＰｃ（５ｎｍ）｜ＢＦ－ＤＰＢ：ＮＤＰ９（７９ｎｍ，１０Ｍａ．－％）｜MoO_3（３ｎｍ）｜Ａｕ（１ｎｍ）｜Ａｇ（１８ｎｍ）｜Ａｇ（７５ｎｍ）｜MoO_3（１０ｎｍ）｜Ａｌｑ３（５０ｎｍ）｜ＺｎＰｃ（２００ｎｍ）｜Ｐ４－Ｐｈ４－ＤＩＰ（２００ｎｍ）｜窒素（０．１ｍｍ）｜ガラス（１ｍｍ）。光学マイクロキャビティの建設的干渉条件は、共鳴波長の入射ビームの高い吸収と低い反射とによって表される。シミュレートされた反射率において、共鳴波長は、建設的干渉条件のために放物線を描く。この特性は、外部量子効率に基づいて実証された、実験によって測定された反射率ならびに電気的な部品特性を証明する。８５０ｎｍ未満の波長に対しては、反射が再び低下する：光学マイクロキャビティ外の光学フィルタ層は、光学マイクロキャビティ内の可視領域において光学場を低減させる。したがって、検出器は可視光に対してほとんど感応しない。

【０１２９】

図１０から、本発明のオプトエレクトロニクス構成素子（１）が見て取れる。このオプトエレクトロニクス構成素子は、以下の層シーケンスを有している：ガラスから成る基板（２）、銀から成るミラー層（３）（これは同時に電極として機能する）、ｎ型ドープされたビス－Ｈｆｌ－ＮＴＣＤＩから成る光学スペーサ層（４）（これは同時に電子用の輸送層として用いられる）、ＺｎＰｃ：Ｃ６０－混合層（体積分率は等しい）から成る光活性層（５）、ｐ型ドープされたＢＦ－ＤＰＢから成るさらなる光学スペーサ層（４）（これは同時にホール用の輸送層として用いられる）、銀から成るさらなるミラー層（３）（これは同時に電極として機能する）、個別層である三酸化モリブデン（MoO_3）とトリス（８－ヒドロキシ－キノリナト）－アルミニウム（Ａｌｑ３）から成るバリア層（１５）ならびに接着剤によって被着された厚いガラスから成るカプセル封入部（１４）。電極として使用される２つのミラー層（３）は、読み出しユニット（７）を介して互いに電気的に接続されている。構成素子（１）の検出波長のビーム（１６）がビーム源（９）から、基板から遠いミラー層（３）に入射すると、光学マイクロキャビティ内で（すなわち、ミラー層（３）の間に）、検出波長に関する空間的な最大強度を有する定常波（１０）が光活性層（５）内に形成される。層厚は、建設的干渉条件を有する波長（すなわち、検出波長）が、直接的な発色団間電荷移動状態の吸収の範囲内にあるように整合されている。構成素子（１）の検出波長とは異なるビーム（１７）がビーム源（９）から、基板から遠いミラー層に入射すると、このビームは、基板から遠いこのミラー層（３）で反射される（１８）。

【０１３０】

図１１から、本発明のオプトエレクトロニクス構成素子（１ａ）が見て取れる。このオプトエレクトロニクス構成素子は、以下の層シーケンスを有している：ポリエチレンテレフタレート（ＰＥＴ）から成る基板（２）、二酸化ケイ素（SiO_2）と二酸化チタン（TiO_2）の多重シーケンスから成るミラー層（３）（ＤＢＲミラー層）、セグメント状に構造化された電極（１９）の意味での、透過性の構造化された銀ミラー層、ｎ型ドープされたＣ６０から成る光学スペーサ層（４）（これは同時に電子用の輸送層として用いられ、ならびに可視の波長領域からの波長を受動的に吸収する（すなわち、その後に光電流に寄与すること無く））、鉄フタロシアニン（ＦｅＰｃ）：Ｃ６０混合層（体積分率は等しい）から成る光活性層（５）、ｐ型ドープされたＦｅＰｃから成るさらなる光学スペーサ層（４）（これは同時にホール用の輸送層として用いられ、ならびに可視波長領域からの波長を受動的に吸収する）、銀から成るさらなるミラー層（３）（これは同時に電極として機能する）、MoO_3、Ａｌｑ３および原子層堆積（英語でａｔｏｍｉｃ　ｌａｙｅｒ　ｄｅｐｏｓｉｔｉｏｎ、略してＡＬＤ）によって析出された酸化アルミニウム層（Al_2O_3）から成るバリア層（１５）、ならびに接着剤によって被着されたＰＥＴから成る厚い箔から成るカプセル封入部（１４）。各下方の電極セグメント（１９）は、別個の読み出しユニット（７）を介して、基板から遠い電極（ミラー層（３））と接続されている。これに相応して、構成素子（１ａ）の検出波長のビーム（１６）がビーム源（９）から、基板から遠いミラー層（３）へ入射すると、光学マイクロキャビティ内で（すなわち

、ミラー層（３）の間に）、検出波長に関する空間的な最大強度を有する定常波（１０）が光活性層（５）内に形成される。層厚は、建設的干渉条件による波長（すなわち検出波長）が、直接的な発色団間電荷移動状態の吸収の範囲内にあるように整合される。構成素子（１ａ）の検出波長とは異なるビーム（１７）がビーム源（９）から、基板から遠いミラー層（３）に入射すると、このビームは、基板から遠いこのミラー層（３）で反射される（１８）。図１０に示された本発明の部品とは異なり、検出器（１ａ）は、この構造化のために、近赤外信号を空間的に分解することができる。さらに、活性面がより小さいので、部品（１ａ）の応答時間は、より速くなる。さらに本発明のこのオプトエレクトロニクス部品（１ａ）は、機械的に可撓性に構成されている。

【０１３１】

図１２から、本発明のオプトエレクトロニクス構成素子（１ｂ）が見て取れる。このオプトエレクトロニクス構成素子は、以下の層シーケンスを有している：ガラスから成る基板（２）、二酸化ケイ素（SiO_2）と二酸化チタン（TiO_2）の多重シーケンスから成るミラー層（３）（ＤＢＲミラー層）、ＰＥＤＯＴ：ＰＳＳから成る光学スペーサ層（４）、インジウム錫酸化物（ＩＴＯ）から成る、検出波長に対して高透過性の電極（１１）、ｐ型ドープされたテトラフェニルジピラニリデン（略してＴＰＤＰ）から成るホール伝導性輸送層（２４）、ＴＰＤＰ：Ｃ６０混合層（体積分率は等しい）から成る光活性層（５）、バソフェナントロリン（略してＢｐｈｅｎ）から成る電子伝導性輸送層（２４）、インジウム錫酸化物（ＩＴＯ）から成る、検出波長に対して高透過性の電極（１１）、ドープされていないＢＦ－ＤＰＢから成るさらなる光学スペーサ層（４）、二酸化ケイ素（SiO_2）と二酸化チタン（TiO_2）の多重シーケンスから成るさらなるミラー層（３）（ＤＢＲミラー層）、MoO_3およびＡｌｑ３から成るバリア層（１５）、ＺｎＰｃとＰ４－２，３，１０，１１－テトラプロピル－１，４，９，１２－テトラフェニル－ジインデノ［１，２，３－ｃｄ：１’，２’，３’－イム］ペリレン（Ｐ４－Ｐｈ４－ＤＩＰ）から成る可視波長領域用の光学フィルタ層（２１）ならびに接着剤を用いて被着された厚いガラスから成るカプセル封入部（１４）。２つの電極（１１）は、読み出しユニット（７）を介して互いに電気的に接続されている。本発明の構成素子（１ｂ）は、ビーム源（９）から出力された電磁ビーム（２０）が赤外線領域にあり、かつ部品（１ｂ）の検出波長に相当する限り、光電流を生成する。

【０１３２】

２つの光学スペーサ層（４）の光学的な厚さは、直接的な発色団間電荷移動状態の吸収範囲内に存在する波長に関して、光学マイクロキャビティ内で、最大強度を有する定常波が光活性層（５）内に形成されるように選択されている。本発明の検出器のこのような構成では、ミラー層は電極として形成されていない。さらに、このような実施では、光学スペーサ層（４）は導電性機能を担わない。基板から遠いミラー面に対しても、基板に近いミラー面に対しても、反射率の高いＤＢＲミラー面を使用することによって、直接的な発色団間電荷移動状態の吸収が特に有利には増強される。

【０１３３】

図１３から、本発明のオプトエレクトロニクス構成素子（１ｃ）が見て取れる。このオプトエレクトロニクス構成素子は、以下の層シーケンスを有している：ガラスから成る基板（２）、アルミニウムから成るミラー層（３）、ＰＥＤＯＴ：ＰＳＳから成る光学スペーサ層（４）、左から右へ以下の配置を有する、基板（２）に対して平行な層シーケンス：

銀－電極（１１）、ｐ型ドープされた９，９－ビス［４－（Ｎ，Ｎ－ビス－ビフェニル－４－イル－アミノ）フェニル］－９Ｈ－フルオレン（略してＢＰＡＰＦ）から成るホール伝導性輸送層（２４）、４，４’４’’－トリス（３－メチルフェニルフェニルアミノ）－トリフェニルアミン（略してｍ－ＭＴＤＡＴＡ）－Ｃ６０混合層（体積分率は等しい）から成る光活性層（５）、セシウムがドープされたＢＰｈｅｎから成る電子伝導性輸送層（２４）ならびに銀電極（１１）。基板に平行な層シーケンスの上には、Ｃ６０から成るさらなる光学スペーサ層（４）、銀から成るさらなるミラー層（３）、MoO_3およびＡ

ｌｑ３から成るバリア層（１５）ならびに接着剤によって被着された厚いガラスから成るカプセル封入部（１４）が続く。２つの電極（１１）は、読み出しユニット（７）を介して互いに電気的に接続されている。本発明の構成素子（１ｃ）は、ビーム源（９）から出力された電磁ビーム（２０）が近赤外線領域にあり、部品の検出波長に相当する限り、光電流を生成する。

【０１３４】

２つの光学スペーサ層（４）の光学的な厚さは、直接的な発色団間電荷移動状態の吸収範囲内に存在する波長に関して、光学マイクロキャビティ内で、最大強度を有する定常波が光活性層（５）内に形成されるように選択されている。本発明の検出器（１ｃ）のこのような構成では、ミラー層（３）は同時に電極として形成されていない。さらに、このような実施では、光学スペーサ層（４）は導電性機能を担わない。この実施において、近赤外ビームの吸収に利用される面の外に電極（１１）を空間的に移動させることによって、寄生的吸収（すなわち、光学マイクロキャビティ内に存在する、光活性層とは異なる全ての層の吸収）が低減することが特に有利であることが判明しており、これによって、共鳴波長の際に、光学場の強度が上昇する。

【０１３５】

図１４から、本発明のオプトエレクトロニクス構成素子（１ｄ）が見て取れる。このオプトエレクトロニクス構成素子は、以下の層シーケンスを有している：フォトレジスト層（例えばｍａ－Ｐ１２１０）を有する、横方向に構造化されたガラス基板（２３）、検出波長に対して高い透過性を有する、ＩＴＯから成る電極（１１）、ｎ型ドープされた、ビス－Ｈｆｌ－ＮＴＣＤＩから成る光学スペーサ層（４）（これは同時に電子用の輸送層として用いられる）、鉛フタロシアニン（略してＰｂＰｃ）：Ｃ６０混合層（体積分率は等しい）から成る光活性層（５）、ｐ型ドープされたＢＦ－ＤＰＢから成るさらなる光学スペーサ層（４）（これは同時に、ホール用の輸送層として用いられる）、銀から成るさらなる電極（１１）、MoO_3およびＡｌｑ３から成るバリア層（１５）ならびに不活性ガス（２２）、例えば窒素および接着剤によって被着された厚いガラスから成るカプセル封入部（１４）。この実施では、ミラー面は、一方では、横方向に構造化された基板（２３）であり、ならびにバリア層（１５）と不活性ガス（２２）との間の境界面である。２つの電極（１１）は、読み出しユニット（７）を介して互いに電気的に接続されている。構成素子（１ｄ）の検出波長は、２つのミラー面ならびに基板（２３）の周期構造の光学的間隔によって、次のように調整されるべきである。すなわち、建設的干渉条件による波長が、直接的な発色団間電荷移動状態の吸収の波長にあるように、調整されるべきである。構造化された、基板に近いミラー面（すなわち、一次元の干渉グリッド、ＤＦＢ構造体）を有するこの構成素子（１ｄ）では、光波伝導は、基板（２３）に対して平行に行われる。本発明の構成素子（１ｄ）は、ビーム源（９）から出力された電磁ビーム（２０）が近赤外線領域にあり、部品（１ｄ）の検出波長に相当する限り、光電流を生成する。

【０１３６】

図１５から、本発明のオプトエレクトロニクス構成素子（１ｅ）が見て取れる。このオプトエレクトロニクス構成素子は、図１１と同じ順番で同じ層から成る。図１１とは異なり、２つの光学スペーサ層（４）において、層厚の変化が、基板に対して平行に存在している。このようにして、電極セグメント（１９）によって区切られた光学マイクロキャビティの各面に対して異なる共鳴波長もしくは検出波長が形成される。図１１のオプトエレクトロニクス構成素子は入射電磁信号を空間的に分解するが、ここに示された部品（１ｅ）は、入射電磁信号をスペクトル的に分解する。本発明の構成素子（１ｅ）は、ビーム源（９）から出力された電磁ビーム（２０）が近赤外線領域にあり、部品の検出波長に相当する限り、光電流を生成する。

【０１３７】

図１６から、本発明のオプトエレクトロニクス構成素子（１ｆ）が見て取れる。このオプトエレクトロニクス構成素子は、図１０と同じ順番で同じ層から成る。図１０に示された実施例とは異なり、層（３，４，５，４，３，１５）は、横方向に、電気的に絶縁され

て、それぞれ個々に、読み出しユニット（７）と接続されているセグメントで構造化されている。ミラー層（３）は同様に、電極として機能する。図１５に既に示されているように、ここでも、基板（２）に対して平行に、ミラー間隔の層厚変化が存在する。しかしこれは図１５とは異なって、くさび形ではなく、階段状に、光活性層（５）の直接的に段階的にされた層変化によって行われる。このようにして、各電気的に絶縁されたセグメントに、別個の検出波長が割り当てられる。図１５においても、上述したオプトエレクトロニクス構成素子（１ｆ）は、入射電磁信号をスペクトル的に分解する。

【符号の説明】

【０１３８】

１，１ａ，１ｂ，１ｃ，１ｄ，１ｅ，１ｆ　感光性の、オプトエレクトロニクス構成素子、　２　基板、　３　ミラー層、　４　光学スペーサ層、　５　光活性層、　７　読み出しユニット、　９　ビーム源、　１０　光学マイクロキャビティの共鳴波長用の定常波、　１１　電極、　１４　カプセル封入部、　１５　バリア層、　１６　共鳴波長を有する、ビーム源から放射された電磁ビーム、　１７　種々の共鳴波長の、ビーム源から放射された電磁ビーム、　１８　共鳴波長とは異なる、検出器で反射された波長、　１９　セグメント状に構造化された電極、　２０　ビーム源から放射された電磁ビーム、　２１　可視の波長領域用の光学フィルタ層、　２２　不活性ガス、　２３　横方向に構造化された基板、　２４　輸送層

【図１】

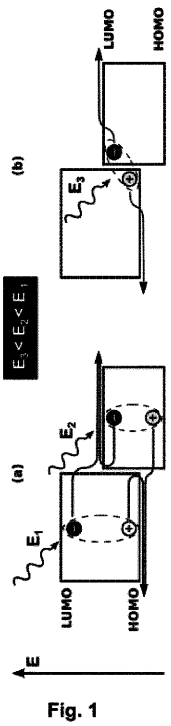
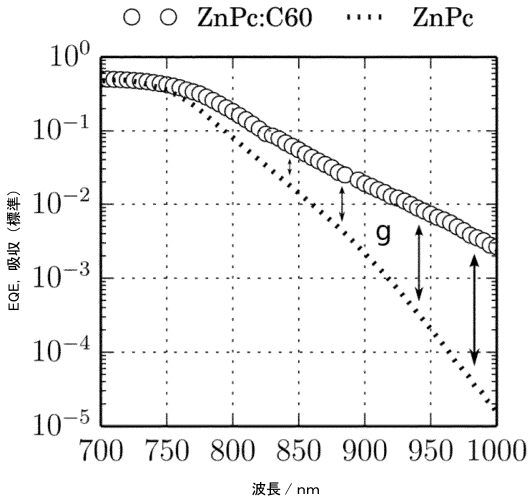
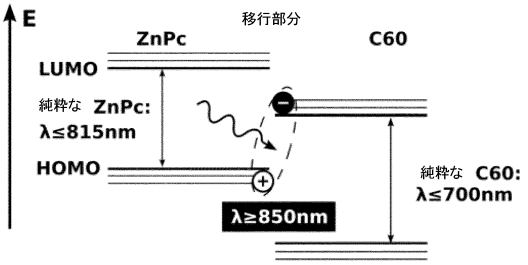


Fig. 1

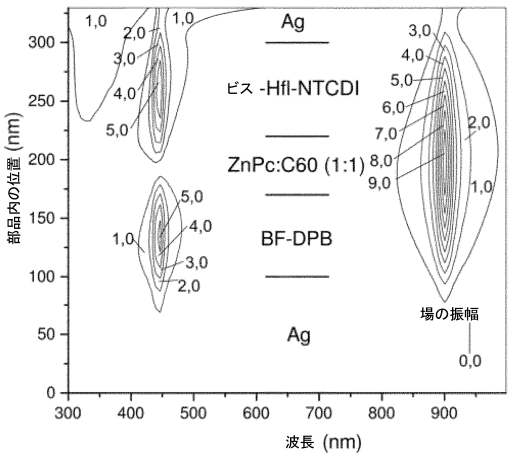
【図２】



【図３】



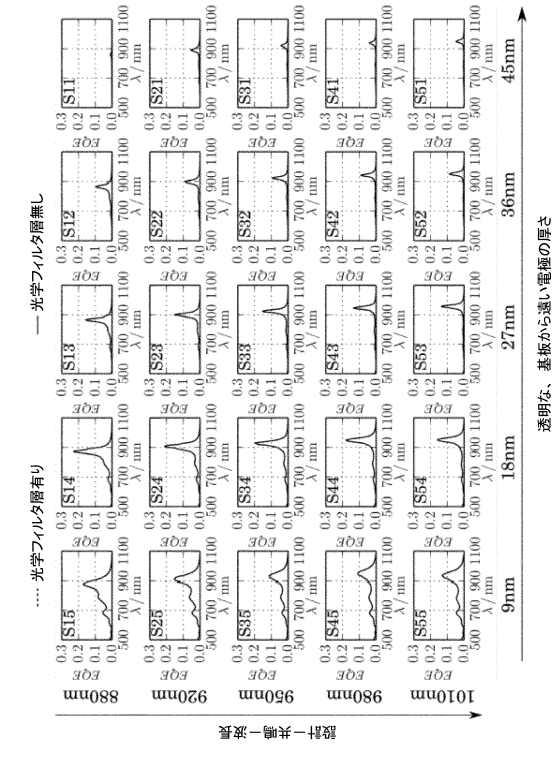
【図４】



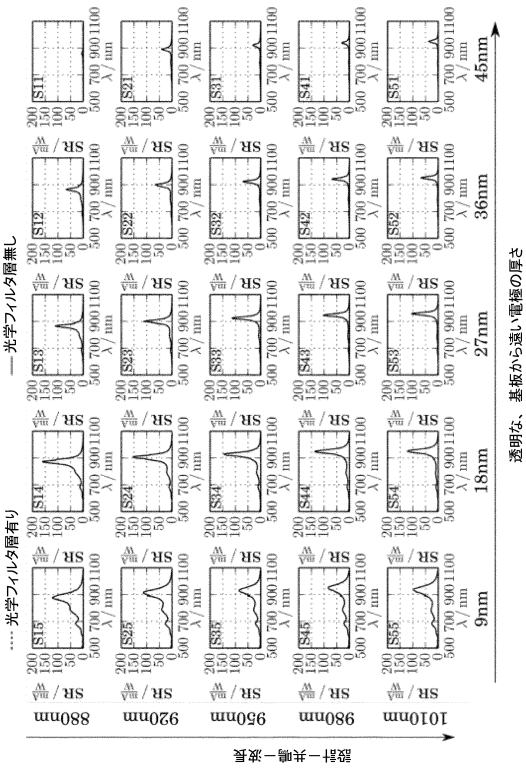
【図５】

層番号	材料	層厚もしくは変化／nm	機能
17	ガラス	10^6	カプセル封入部
16	窒素	10^5	層番号17と15との間の干渉を阻止するためのスペーサ媒体
15	P4-Ph4-DIP	Z={0,200}	光学フィルタ層の構成部分2
14	ZnPc	Z={0,200}	光学フィルタ層の構成部分1
13	Alq3	50	バリア層の構成部分2
12	MoO3	10	バリア層の構成部分1
11	Ag	75	電気的な抵抗を低減するための、基板から遠い電極の機構的な増強（活性面外）
10	Ag	Y={9,18,27,36,45,54}	部分的に透過性のミラー層ならびに基板から遠い電極
9	Au	1	銀層である層10の平らな成長のためのシード層
8	MoO3	3	層10の銀原子に対する拡散バリア
7	BF-DPB：NDP9 (10Ma%)	X2={31,63,70,74,79,83}	基板から遠い光学スペーサ層ならびにホール用の輸送層
6	ZnPc	5	電子用の電荷担体阻止層
5	ZnPc：C60 (1:1 Vol.anteil)	50	光活性層
4	C60	5	ホール用の電荷担体阻止層
3	Bis-Hfl-NTCDI：W2(hpp)4 (7Ma%)	X1={36,65,71,76,81,86}	基板に近い光学スペーサ層ならびに電子用の輸送層
2	Ag	100	半透明なミラー層ならびに基板に近い電極
1	ガラス	10^6	基板

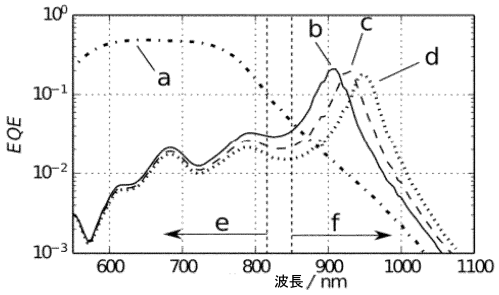
【図６】



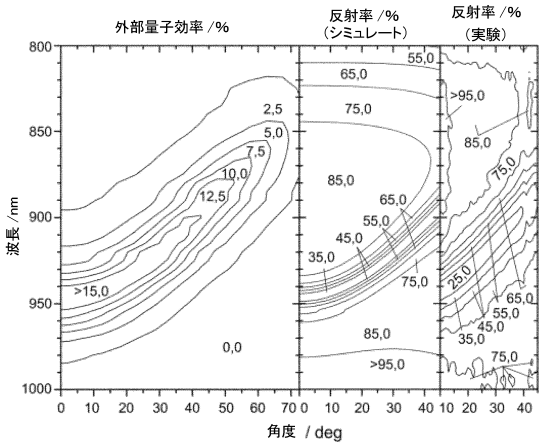
【図７】



【図８】



【図９】



【図１０】

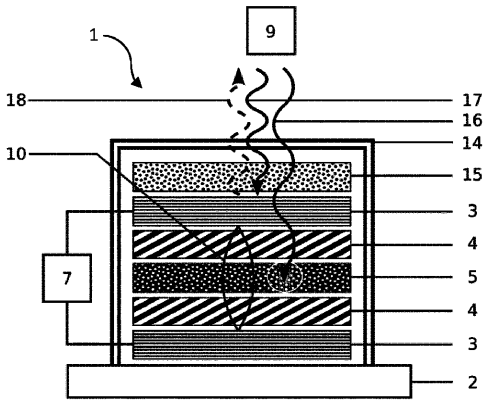


Fig. 10

【図１１】

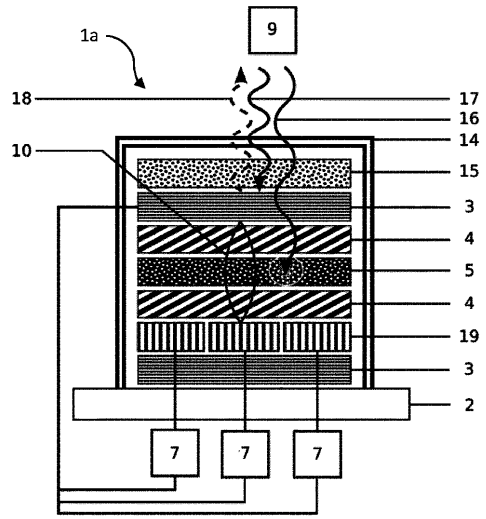


Fig. 11

【図１２】

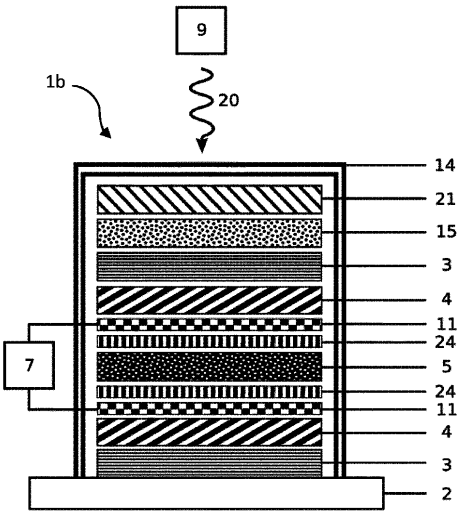


Fig. 12

【図１３】

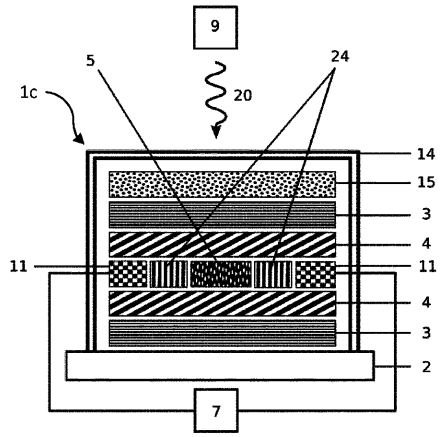


Fig. 13

【図１４】

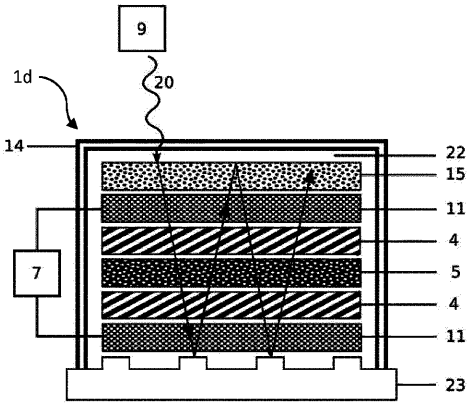


Fig. 14

【図１５】

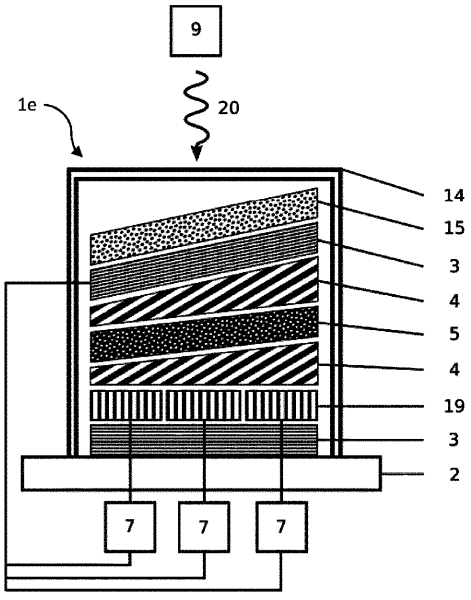


Fig. 15

【図１６】

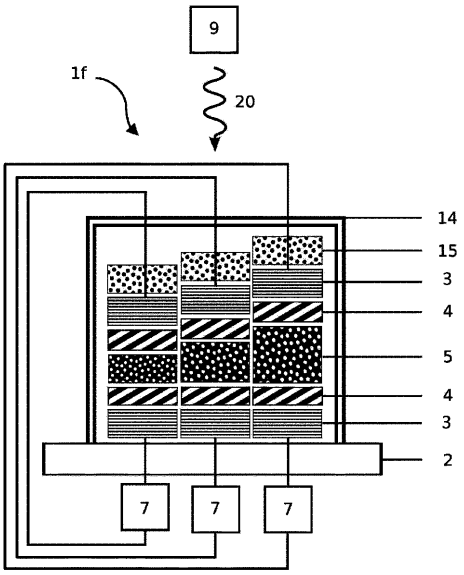


Fig. 16

フロントページの続き

(74)代理人 100098501
弁理士 森田 拓
(74)代理人 100116403
弁理士 前川 純一
(74)代理人 100135633
弁理士 二宮 浩康
(74)代理人 100162880
弁理士 上島 類
(72)発明者 ベアンハート ズィークムント
ドイツ連邦共和国 ドレスデン フライベアガー シュトラーセ 7
(72)発明者 クーン ファンデヴァル
ドイツ連邦共和国 ドレスデン ミュンヒナー シュトラーセ １４
(72)発明者 アンドレアス ミショク
ドイツ連邦共和国 ドレスデン シュトレシュトラーセ ３８
(72)発明者 ヨハネス ベンドゥーン
ドイツ連邦共和国 ドレスデン プフォーテンハウアー シュトラーセ ８２
(72)発明者 ドナト スポルトーレ
ドイツ連邦共和国 ドレスデン ハンスーダンクナーーシュトラーセ ５デー
(72)発明者 クリスティアン ケアナー
ドイツ連邦共和国 ドレスデン レーマンシュトラーセ ２１
(72)発明者 カール レオ
ドイツ連邦共和国 ドレスデン ヘアマンシュトラーセ ５

審査官 小林 幹

(56)参考文献 米国特許第０７４４６２９７（ＵＳ，Ｂ１）
米国特許出願公開第２００９／０２８９２４７（ＵＳ，Ａ１）
特開２０１４－２１６５４９（ＪＰ，Ａ）
特表２００２－５０２１２８（ＪＰ，Ａ）
Jyh-Lih Wu et al., "Near-infrared laser-driven polymer photovoltaic devices and their biomedical applications", Energy & Environmental Science, ２０１１年, Vol.4, p.3374-3378
Mateusz Bednorz et al., "Silicon/organic hybrid heterojunction infrared photodetector operating in the telecom regime", Oragnic Electronics, ２０１３年, Vol.14, pp.1344-1350
Jun'ya Tsutsumi et al., "Competition between Charge-Transfer Exciton Dissociation and Direct Photocarrier Generation in Mole, Physical Review Letters, ２０１０年, Vol.105, pp.226601-1 - 226601-4

(58)調査した分野(Int.Cl., ＤＢ名)
Ｈ０１Ｌ３１／００－３１／２０
Ｈ０１Ｌ５１／４２－５１／４８
Ｈ０２Ｓ１０／００－１０／４０
Ｈ０２Ｓ３０／００－９９／００
Ｇ０１Ｊ１／００－１６／００
Ｇ０１Ｊ１１／００
Ｇｏｏｇｌｅ Ｓｃｈｏｌａｒ