

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公表特許公報(A)

(11) 特許出願公表番号
特表2012-522235
(P2012-522235A)

(43) 公表日 平成24年9月20日(2012.9.20)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
GO 1 J 1/02 (2006.01)	GO 1 J 1/02 R	2 G O 6 5
GO 2 B 6/122 (2006.01)	GO 2 B 6/12 A	2 H 1 4 7

審査請求 未請求 予備審査請求 未請求 (全 27 頁)

(21) 出願番号 特願2012-502682 (P2012-502682)	(71) 出願人 591060898 アイメック I M E C ベルギー、ペー 3 0 0 1 ルーヴァン、カ ペルドリーフ 7 5 番
(86) (22) 出願日 平成22年3月31日 (2010. 3. 31)	
(85) 翻訳文提出日 平成23年9月14日 (2011. 9. 14)	
(86) 国際出願番号 PCT/EP2010/054372	
(87) 国際公開番号 W02010/115828	
(87) 国際公開日 平成22年10月14日 (2010. 10. 14)	(71) 出願人 599098493 カトリーケ・ユニフェルジテイト・ルーベ ン・カー・イユー・ルーベン・アール・ア ンド・ディ K a t h o l i e k e U n i v e r s i t e i t L e u v e n , K . U . L e u v e n R & D ベルギー、ペー 3 0 0 0 ルーベン、ワー イストラート 6 番、ボックス 5 1 0 5
(31) 優先権主張番号 61/164, 993	
(32) 優先日 平成21年3月31日 (2009. 3. 31)	
(33) 優先権主張国 米国 (US)	

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 導波路集積型光検出器

(57) 【要約】

導波路集積型光検出器 (1 0 0) を記載している。導波路集積型光検出器は、プラズモンサポート材料から成る第 1 層 (1 1 0) を備え、第 1 層 (1 1 0) は、第 1 放射線を導波路と結合させるために第 1 層を貫通する入力スリット (1 1 2) を有する。光検出器 (1 0 0) はまた、プラズモンサポート材料からなり、第 1 層 (1 1 0) に面し、第 1 層 (1 1 0) から第 1 方向に第 1 距離を隔てた第 2 層 (1 2 0) を有する。第 2 層 (1 2 0) は、第 2 層 (1 2 0) を貫通し、入力スリット (1 1 2) から第 1 方向と異なる第 2 方向に沿って第 2 距離隔てた出力スリット (1 2 2) を有する。光検出システム (1 0 0) はまた、第 1 層 (1 1 0) と第 2 層 (1 2 0) との間に配置した誘電体層 (1 3 0) 、および出力スリット (1 2 2) に近接する、出力スリット (1 2 2) を通って出射する結合した放射線を検出するための、検出器 (1 4 0) とを備える。

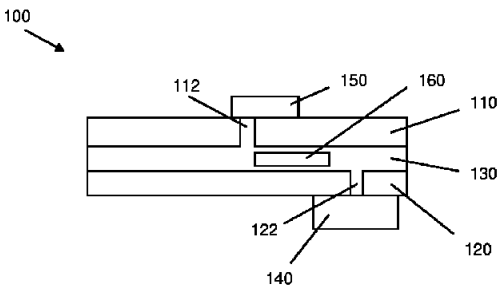


FIG. 1

【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

プラズモンサポート材料から成る第 1 層 (1 1 0) であって、第 1 放射線を導波路と結合させるために第 1 層を貫通する入力スリット (1 1 2) を有する第 1 層 (1 1 0) と、

プラズモンサポート材料からなり、第 1 層 (1 1 0) に面し、第 1 層 (1 1 0) から第 1 方向に第 1 距離を隔てた第 2 層 (1 2 0) であって、第 2 層 (1 2 0) を貫通し、入力スリット (1 1 2) から第 1 方向と異なる第 2 方向に沿って第 2 距離隔てた出力スリット (1 2 2) を有する第 2 層 (1 2 0) と、

第 1 層 (1 1 0) と第 2 層 (1 2 0) との間に配置した誘電体層 (1 3 0) と、

出力スリット (1 2 2) の近くにある、出力スリット (1 2 2) を通って出射する結合した放射線を検出するための検出器 (1 4 0) とを備え、

一体となった第 1 層、誘電体層、および第 2 層は、導波路として機能するようにした導波路集積型光検出器 (1 0 0) 。

10

【請求項 2】

検出器 (1 4 0) は、第 2 層 (1 2 0) と直接接触しているか、第 2 層 (1 2 0) に近接しているか、または第 2 層 (1 2 0) の近接場内にある、のいずれかである請求項 1 記載の導波路集積型光検出器 (1 0 0) 。

【請求項 3】

励起放射線の光学特性を変更して前記第 1 放射線をもたらすための手段 (1 5 0) を備えた請求項 1 または 2 記載の導波路集積型光検出器 (1 0 0) 。

20

【請求項 4】

励起放射線の光学特性を変更するための手段 (1 5 0) は、入力スリット (1 1 0) 内に設置された請求項 3 記載の導波路集積型光検出器 (1 0 0) 。

【請求項 5】

光学特性を変更するための手段 (1 5 0) は、蛍光分子、リン光発光性分子、量子ドット、ドーブナノ粒子、発光特性を有するナノ粒子、磁気光学活性ナノ粒子のいずれかを備える請求項 3 または 4 記載の導波路集積型光検出器 (1 0 0) 。

【請求項 6】

光学特性を変更するための手段 (1 5 0) は、励起放射線の波長および / または偏光を変更するための手段である請求項 3 ~ 5 のいずれかに記載の導波路集積型光検出器 (1 0 0) 。

30

【請求項 7】

入力スリット (1 1 2) は、第 1 放射線を入射結合させること、および励起放射線を遮断することに適合した請求項 3 ~ 6 のいずれかに記載の導波路集積型光検出器 (1 0 0) 。

【請求項 8】

第 1 層 (1 1 0) と誘電体層 (1 3 0) の界面は、第 1 表面プラズモンモードを維持するようにした請求項 1 ~ 7 のいずれかに記載の導波路集積型光検出器 (1 0 0) 。

【請求項 9】

第 1 層 (1 1 0) と誘電体層 (1 3 0) の界面は、第 2 表面プラズモンモードを維持するようにした請求項 1 ~ 8 のいずれかに記載の導波路集積型光検出器 (1 0 0) 。

40

【請求項 10】

入力スリット (1 1 2) は、所定の偏光を有する放射線を収集するように適合した請求項 1 ~ 9 のいずれかに記載の導波路集積型光検出器 (1 0 0) 。

【請求項 11】

第 1 層 (1 1 0) の厚さは、第 1 層 (1 1 0) が光学的に不透明であるように選択された請求項 1 ~ 10 のいずれかに記載の導波路集積型光検出器 (1 0 0) 。

【請求項 12】

第 2 層 (1 2 0) の厚さは、第 2 層 (1 2 0) が光学的に不透明であるように選択された請求項 1 ~ 11 のいずれかに記載の導波路集積型光検出器 (1 0 0) 。

50

【請求項 13】

誘電体層（130）の厚さは、第1層（110）と第2層（120）とが光学的に相互作用するように選択された請求項1～12のいずれかに記載の導波路集積型光検出器（100）。

【請求項 14】

誘電体層（130）の厚さは、電磁放射線が検出器（140）と光学的に結合するように選択された請求項1～13のいずれかに記載の導波路集積型光検出器（100）。

【請求項 15】

第2距離は、入力スリット（112）での励起波長のエバネッセントテールより長く選択された請求項1～14のいずれかに記載の導波路集積型光検出器（100）。

10

【請求項 16】

誘電体層（130）は、1または複数の伝播導波路モードを維持する能力を有するようにした請求項1～15のいずれかに記載の導波路集積型光検出器（100）。

【請求項 17】

第1層（110）は金属である請求項1～16のいずれかに記載の導波路集積型光検出器（100）。

【請求項 18】

第2層（120）は金属である請求項1～17のいずれかに記載の導波路集積型光検出器（100）。

【請求項 19】

検出器（140）は半導体層を備える請求項1～18のいずれかに記載の導波路集積型光検出器（100）。

20

【請求項 20】

金属製のスロット導波路における表面プラズモンポラリトンの電氣的検出に適合した請求項1～19のいずれかに記載の導波路集積型光検出器（100）。

【請求項 21】

集積型の金属 - 半導体 - 金属検出器（140）である請求項1～20のいずれかに記載の導波路集積型光検出器（100）。

【請求項 22】

前記第1放射線から励起放射線を抽出するためのフィルタ手段（160）をさらに備えた請求項1～21のいずれかに記載の導波路集積型光検出器（100）。

30

【請求項 23】

フィルタ手段（160）は、ブラッグ反射器である請求項22記載の導波路集積型光検出器（100）。

【請求項 24】

フィルタ手段（150）は、導波路中の第1放射線および励起放射線の透過性をベースとするフィルタ機構を備える請求項22または23記載の導波路集積型光検出器（100）。

【請求項 25】

光信号を検出するための方法であって、
第1放射線を得るために、励起放射線ビームを、該励起放射線ビームの光学特性を変更するための変更手段の方向へ向けることと、
励起放射線ビームの変更を通じて前記第1放射線を得ることと、
入力スリットを通る前記第1放射線を導波路と結合させ、表面プラズモンポラリトンを使用して前記放射線を出力スリットの方へ伝搬させることと、
前記出力スリットを出射する前記第1放射線を検出することを含む方法。

40

【請求項 26】

第1放射線ビームから励起放射線ビームを抽出することをさらに含む請求項25記載の方法。

【発明の詳細な説明】

50

【技術分野】

【0001】

本発明は、検出の分野に関する。より具体的には、本発明は、光検出のための方法およびシステム、ならびにかかるシステムを作成する方法に関する。

【背景技術】

【0002】

表面プラズモン導波路の動作は、中長距離表面プラズモンポラリトン (SPP) 導波路、および強電場閉じ込めを用いた短距離金属導波路のための、走査型近接場顕微法および走査型近接場分光法のような光学テクニックを使用して主に実証されてきた。上述の方法は、表面プラズモンの特性を探索するための優れた手段を提供するが、その中に、現在あるプラズモンデバイスにすぐに取り込むことができるものはない。

10

【0003】

米国公開公報第2009/0027681号は、プラズモン空洞(cavity)に結合したGaAs光伝導体による表面プラズモンの電氣的検出に関する。

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

本発明の実施形態の目的は、検出のための優れた方法およびシステムを提供することである。本発明に係る実施形態の利点は、導波路集積型検出器を小さい領域内に設けることができることである。上記目的は、本発明に係る方法およびデバイスによって達成される。

20

【課題を解決するための手段】

【0005】

本発明は、プラズモンサポート材料から成る第1層と、第1層に面し、第1層から第1方向に第1距離隔てたプラズモンサポート材料から成る第2層と、第1層と第2層との間に配置した誘電体層と、出力スリットを通じて出射する結合した放射線を検出するための検出器とを備える導波路集積型光検出器に関し、前記第1層は、第1放射線を導波路と結合させるために第1層を貫通する入力スリットを有し、前記第2層は、第2層を貫通し、入力スリットから、第1方向とは異なる第2方向に沿って第2距離を隔てた出力スリットを有し、一体となった第1層、誘電体層、および第2層は導波路として機能する。

30

【0006】

本発明に係る実施形態の利点は、放射線が結合して表面プラズモンポラリトンを生じること起因して、優れた検出効率を得ることができることであり、検出は第2層の近くで実施する。

【0007】

検出器は、第2層と直接接触しているか、第2層に近接しているか、または第2層の近接場内にある、のいずれでもよい。

【0008】

導波路集積型光検出器は、前記第1放射線を生じる励起放射線の光学特性を変更するための手段を備えてもよい。

40

【0009】

励起放射線の光学特性を変更するための手段は、入力スリット内に設置してもよい。光学特性を変更するための該手段は、代替として、入力スリットの近くに設置してもよい。光学特性を変更するための該手段は、フルオロフォア、量子ドットなどの存在でもよい。それは、スリット内、スリットの上方、またはスリットの隣に位置してもよく、金属膜の近くに位置してもよい。入力スリットの近くとは、金属膜の上方10~100nmの範囲であり、スリットから20マイクロメートルの範囲内でもよい。スリット上方に位置するフルオロフォアに関して、スリットの近くとは、スリットの真上10nm~20マイクロメートルを含む範囲でもよい。

【0010】

50

光学特性を変更するための手段は、蛍光分子、リン光発光性分子、量子ドット、ドーブナノ粒子、発光特性を有するナノ粒子、磁気光学活性ナノ粒子のいずれを備えてもよい。

【0011】

光学特性を変更するための手段は、励起放射線の波長および／または偏光を変更するための手段でもよい。

【0012】

一実施形態において、照射光(impinging light)の光学特性を変更するための手段は、前記入力スリットを照射する光の少なくとも1つの特性に影響を与える。該少なくとも1つの特性は、例えば電磁放射線の偏光または波長であってもよい。

【0013】

入力スリットは、第1放射線を入射結合させるように適合してもよく、および励起放射線を遮断するように適合してもよい。この発明の第1の態様の更なる実施形態において、他の実施形態のいずれかで述べる導波路集積型光検出器では、照射光の光学特性を変更するための手段は、蛍光分子を備えることができる。蛍光分子は、他の分子(例えば、それに限定されないが、生体分子、ターゲット分子)と結合可能であり、発光特性を有することができる。

【0014】

第1層と誘電体層の界面は、第1表面プラズモンモードを維持してもよい。本発明に係る実施形態の利点は、局在プラズモンモードが、第1層と入力スリット内の周囲環境(例えば、それに限定されないが、空気または水)の界面で発生可能であることである。これは、一体となった第1層、誘電体層、および第2層内で伝播導波路モードとして伝搬する。

【0015】

第1層と誘電体層の界面は、第2表面プラズモンモードを維持してもよい。MIM導波路は、誘電体の厚さに依存して、結合または分離した表面プラズモンモードを維持してもよい(薄いほど、2つの金属/誘電体界面でモードが結合する)。

【0016】

入力スリットは、所定の偏光を有する放射線を収集するように適合してもよい。

【0017】

第1層の厚さは、第1層が光学的に不透明であるように選択してもよい。

【0018】

第2層の厚さは、第2層が光学的に不透明であるように選択してもよい。

【0019】

誘電体層の厚さは、第1層と第2層とが光学的に相互作用するように選択してもよい。

【0020】

誘電体層の厚さは、電磁放射線が光検出器と光学的に結合するように選択してもよい。

【0021】

第2距離は、入力スリットでの励起波長のエバネッセントテール(evanescent tail)より長く選択してもよい。本発明に係る実施形態の利点は、励起放射線と光検出器との直接結合が妨げられることである。

【0022】

誘電体層は、1または複数の伝播導波路モードを維持する能力を有してもよい。

【0023】

第1層は金属でもよい。第2層は金属でもよい。

【0024】

検出器は、半導体層を備えてもよい。

【0025】

導波路集積型光検出器は、金属製のスロット導波路における表面プラズモンポラリトンの電氣的検出に適合してもよい。

【0026】

10

20

30

40

50

光検出器は、集積型の金属 - 半導体 - 金属光検出器でもよい。

【0027】

導波路集積型光検出器はさらに、前記第1放射線から励起放射線を抽出するためのフィルタ手段を備えてもよい。

【0028】

該フィルタ手段は、ブラッグ反射器でもよい。

【0029】

該フィルタ手段は、導波路中の第1放射線および励起放射線の透過性をベースとするフィルタ機構を備えてもよい。

【0030】

本発明はまた、光信号を検出するための方法に関し、該方法は、第1放射線を得るために、励起放射線ビームを、該励起放射線ビームの光学特性を変更するための変更手段に向けることと、励起放射線ビームの変更を通じて前記第1放射線を得ることと、入力スリットを介して前記第1放射線を導波路と結合させ、表面プラズモンポラリトンを使用して前記放射線を出力スリットの方

10

向へ伝搬させることと、前記出力スリットを出射する前記第1放射線を検出することを含む。

【0031】

該方法はさらに、第1放射線ビームから励起放射線ビームを抽出することを含んでもよい。

【0032】

本発明の特定かつ好ましい態様は、添付した独立および従属の請求項に記述されている。従属請求項からの特徴は、適切かつ請求項で明示されたものとしてだけでなく、独立請求項の特徴および他の従属請求項の特徴と組み合わせてもよい。

20

【0033】

本発明の、これらの態様および他の態様は、これ以後説明する実施形態から明らかであり、かつこれらの実施形態を参照して解明されるであろう。

【図面の簡単な説明】

【0034】

【図1】本発明の実施形態に係る導波路集積型光検出器のコンポーネントの概略図を示す。

30

【図2】本発明の実施形態に係る導波路集積型光検出器において使用可能なブラッグ反射器の概略図を図示する。

【図3a】本発明の実施形態で使用可能な、図2で記載されるブラッグ反射器の構造パラメータの関数として、反射率を図示する。

【図3b】本発明の実施形態で使用可能な、図2で記載されるブラッグ反射器の構造パラメータの関数として、反射率を図示する。

【図4】本発明の一実施形態に係る導波路集積型MSM検出器において使用可能な、MIM-MSMの概略図である。

【図5】図4に係るデバイスの走査型電子顕微鏡写真である。入射スリットおよび検出スリットの位置は、三角形で印をつけている。

40

【図6a】図5aに示すシステムに対する本システムにおけるTE偏光の、平面波励起についての数値計算を示す。

【図6b】図5aに示すシステムに対する本システムにおけるTM偏光の、平面波励起についての数値計算を示す。

【図7】異なるレーザー強度についてのIV曲線を提供する。最大600の電流増幅率が測定される。暗電流は、図中の挿入図においてより明確に与えられ、明確な連続するショットキー特性を明らかにする。

【図8a】レーザースポット位置の関数としてのMSM光電流測定結果を提供し、本発明の実施形態の特徴を表し、8μmの入射 - 検出距離に対する2次元光電流地図を示す。

【図8b】レーザースポット位置の関数としてのMSM光電流測定結果を提供し、本発明

50

の実施形態の特徴を表し、入射スリットと検出スリットとの間のさまざまな距離に対する、T M 偏光における導波路の中央を越える光電流の線走査を示す。

【図 9 a】レーザースポット位置の関数として追加の M S M 光電流測定結果を提供する。導波路集積型検出器（底部）のスペクトル応答、および対応する、計算した光吸収スペクトルを提供する。

【図 9 b】レーザースポット位置の関数として追加の M S M 光電流測定結果を提供する。計算した e^{-1} 減衰長と実験値との比較を提供する。

【図 1 0】本発明の実施形態に係る導波路集積型検出器のシミュレーションに使用する典型的構造を図示する。

【図 1 1 a】図 1 0 に係るシステムについての、フルオロフォア双極子のさまざまな配向に対するさまざまな方向での電場成分を図示する。

【図 1 1 b】図 1 0 に係るシステムについての、フルオロフォア双極子のさまざまな配向に対するさまざまな方向での電場成分を図示する。

【図 1 2 a】図 1 0 に係るシステムにおける、フルオロフォア双極子のさまざまな配向および位置に対する電荷密度のプロットを図示する。

【図 1 2 b】図 1 0 に係るシステムにおける、フルオロフォア双極子のさまざまな配向および位置に対する電荷密度のプロットを図示する。

【図 1 2 c】図 1 0 に係るシステムにおける、フルオロフォア双極子のさまざまな配向および位置に対する電荷密度のプロットを図示する。

【図 1 2 d】図 1 0 に係るシステムにおける、フルオロフォア双極子のさまざまな配向および位置に対する電荷密度のプロットを図示する。

【0 0 3 5】

図面は概略的なものに過ぎず、限定的でない。図面において、いくつかのエレメントのサイズは、説明目的のため、誇張し、およびスケールどおり描いていないことがある。

【0 0 3 6】

請求項中の参照符号は、範囲を限定するように解釈すべきではない。異なる図面において、同一の参照符号は、同一または類似のエレメントに関する。

【発明を実施するための形態】

【0 0 3 7】

本発明の実施形態において、導波路に関して述べる場合、第 1 層、誘電体層および第 2 層の一体スタックに関し、導波モードは、プラズモンモードとして一体スタック中を伝播する。

【0 0 3 8】

本発明の実施形態において、入力スリットに関して述べる場合、チャンネル、ホール、細孔(pore)などの形態であってもよい経路に関する。

【0 0 3 9】

本発明の実施形態において、直接接触に関して述べる場合、直接接触を構成する 2 つのコンポーネント間に、他の材料が存在しないような接触に関する。

【0 0 4 0】

第 1 の態様において、本発明の実施形態は、導波路集積型光検出器システムとも呼ばれる導波路集積型光検出器に関する。本発明の実施形態はそれに限定されないが、本発明の実施形態に係る導波路集積型光検出器は、蛍光検出および、例えばバイオセンシングへの応用に特に好適である。いくつかの他の応用例は、オンチップ(on-chip)光通信のための高速検出、高密度カメラのための、高速で小さい画素などであってもよい。本発明の実施形態に係る導波路集積型光検出器は、本発明の実施形態はそれに限定されないが、例えば金属のようなプラズモンサポート材料から成る第 1 層を備える。表面プラズモンポラリトンは、導体と誘電体の界面で、より具体的には、異符号の誘電率を示す 2 つの物質の界面で存在できるので、表面プラズモンサポート材料は、Au、Ag、Cu、Al、Ni のような金属が可能である。第 1 層は、第 1 電磁波を導波路と結合させるための、第 1 層を貫通する入力スリットを有する。第 1 放射線は、励起ビームを使用した励起によって誘導

10

20

30

40

50

される放射線であってもよい。導波路集積型光検出器はまた、第1層に面し、第1層と第1方向に第1距離を隔てたプラズモンサポート材料から成る第2層を備える。その結果、少なくとも第1層と第2層との間に配置した誘電体層の端から端までの間隔が得られる。第2層は、第2層を貫通し、入力スリットから、第1方向とは異なる第2方向に沿って第2距離を隔てた出力スリットを有する。その結果、出力スリットは、出射する第1放射線に適合する。導波路集積型光検出器はさらに、出力スリットを出射する放射線を検出するための検出器を、出力スリットの近くに備える。

【0041】

例として、本発明の実施形態はそれに限定されないが、導波路集積型検出器のさまざまなコンポーネントを、図1に関してより詳細に説明する。

10

【0042】

図1は、導波路集積型光検出器100を示す。導波路集積型光検出器100は、プラズモンサポート材料から成る第1層110を備える。本発明の実施形態はそれに限定されないが、かかる第1層110は、金属層でもよい。金属は、例えば上述のような金属でもよいし、または例えば金、銀、銅、アルミニウム、スズ、ニッケル、ならびにそれらの合金および組み合わせから成るグループから選択してもよい。第1層が光学的に不透明であるように、第1層110の厚さを選択してもよい。一実施形態において、第1層の厚さは少なくとも200nmである。別の実施形態において、第1層の厚さは少なくとも50nm、または少なくとも100nm、または少なくとも200nm、または少なくとも300nm、または少なくとも500nm、またはそれより大きい。第1層110は、第1放射線を導波路と結合するために第1層を貫通する入力スリット112を有する。該スリットは、例えば材料平面内であってもよく、その側壁は水平、または傾斜していてもよい。スリット幅は、例えば10~1000nm、または10~500nmの間で変化することができる。入力スリット112は、所定の偏光を有する光を受容するように適合してもよい。入力スリット112により、第1放射線は更なる導波路と結合することができる。

20

【0043】

導波路集積型光検出器100はまた、プラズモンサポート材料から成る第2層120を備える。本発明の実施形態はそれに限定されないが、かかる材料は、例えば金属層でもよい。金属は、例えば、金、銀、銅、アルミニウム、スズ、ニッケル、およびそれらの組み合わせから成るグループから選択してもよい。特定の実施形態において、第1層110と第2層120の両方が金属である。第2層120は、少なくとも200nmの厚さを有してもよい。別の実施形態において、第2層120の厚さは、少なくとも50nm、または少なくとも100nm、または少なくとも200nm、または少なくとも300nm、または少なくとも500nm、またはそれより大きい。第2層120は、第1層110に面しているが、間隔を有する。その結果、さらに記載するように、少なくとも第1層110と第2層120との間に配置した誘電体層の端から端までの間隔が得られる。第2層120は、第2層を貫通し、入力スリットから隔てた出力スリット122を有する。出力スリット122は、20~500nmの間、または50~300nmの間の大きさを有してもよい。出力スリット122は、第1スリットから第2距離のところに位置してもよく、第2距離は、第1方向と異なる第2方向に沿って伸びている。第2距離は、例えば、1μm~20μmの間、または1μm~15μmの間であってもよい。それゆえに、出力スリット122は、第1放射線が出射するように適合する。

30

40

【0044】

導波路集積型光検出器100はさらに、第1層110と第2層120との間に間隔を置く誘電体層130を備える。第1層および第2層と結合する誘電体層130は、導波路として機能し、表面プラズモンポラリトンを使用して、第1放射線ビームを伝播することを可能にする。誘電体層は、誘電体材料130を含んでもよい。誘電体層130は、例えば、第1層110、誘電体層130、第2層120のスタックを、プラズモンモードとして電磁波が伝播するのを可能にするように選択することができる。電磁波の波長は、予め定めることができる。誘電体材料はまた、電気絶縁性を有してもよい。誘電体は、好ましく

50

は、 SiO_2 、 Al_2O_3 、 HfO_2 、 Si 、 GaAs 、 Ta_2O_5 、 SiN 、 GaN 、 HfO_2 、 ZrO_2 、 MgO 、空気、真空のような非吸収誘電体から選択可能であり、その厚さは、 $10 \sim 1000 \text{ nm}$ の間で可変である。

【0045】

導波路集積型光検出器100はさらに、出力スリット122の近くに、出力スリット122を出射する放射線を検出するための検出器140を備える。検出器140は、いずれの好適な検出器でもよい。検出器140は、例えば半導体層を備えてもよい。半導体層における導電性の変化を、特定の実施形態で測定することができる。半導体材料は、例えば GaAs 、 Si 、 Ge 、 SiGe 、 InGaAs 、 GaN 、 InGaN 、 InAlGaAs 、 GaP 、 InGaP 、 CdTe を含むことができる。半導体層は、誘導された光放射線を受容する能力を有する材料を備える。半導体層は、III-V族半導体材料から成る活性化領域を有する。特定の実施形態において、一組の電極が活性化領域と接触する。検出器140は、集積型の金属-半導体-金属光検出器であってもよい。本発明の実施形態の利点は、集積型の金属-半導体-金属(MSM)光検出器によって、金属-絶縁体-金属(MIM)導波路中に十分に閉じ込められた表面プラズモンポラリトンを検出し、特性化することができることである。さらに、MSM光検出器の小領域、および導波路と検出器との効率的な結合に起因して、ノイズを非常に小さくし、高い信号対ノイズ比を得ることができる。また、該小領域が小さいキャパシタンスを示す場合、検出器は、非常に高速で動作可能である($> 100 \text{ GHz}$)。

10

【0046】

いくつかの実施形態において、その例を本出願中にさらに記載するが、導波路光検出器100はまた、入射励起放射線ビームの光学特性を変更するための変更手段150をさらに備えてもよく、生じる放射線は、その後第1放射線ビームとなる。変更手段150は、例えばフルオロフォアを備えてもよく、その結果、蛍光測定のために、本発明の実施形態を使用することができる。いくつかの実施形態において、光学特性を変更するための手段150は、蛍光分子、リン光発光性分子、量子ドット、ドーブナノ粒子、発光特性を有するナノ粒子、磁気光学活性ナノ粒子のいずれを備えてもよい。照射光の光学特性を変更するための変更手段150は、照射放射線による励起後に電磁放射線を放射するように選択してもよく、電磁放射線の少なくとも一特性は、照射放射線に関して変更される。一実施形態において、電磁放射線の少なくとも一特性は、電磁放射線の波長である。別の実施形態において、電磁放射線の少なくとも一特性は、電磁放射線の偏光である。照射放射線の偏光は、放射した電磁放射線が入力スリット112に入射できるように変更される。

20

30

【0047】

変更手段150が存在する、または使用されるいくつかの実施形態において、フィルタ手段160は、第1放射線から励起放射線を分離するために存在してもよい。かかるフィルタ手段160は、システムのさまざまな層の特性の選択でもよいし、または例えば偏光フィルタもしくはブラッグ反射器のような追加のコンポーネントでもよい。例として、本発明の実施形態はそれに限定されないが、ブラッグ反射器の例をさらに図示する。

【0048】

励起放射線フィルタ手段は、導波路それ自体の特性をベースとしてもよい。例えば、導波路の特性は、励起波長放射線について伝搬距離が大きく減少するように選択することができる。応答放射線についての伝搬距離は、検出器に達するのに充分長い。例えば、MIMベースの導波路の場合、MIMベースのプラズモン導波路の固有の特性は、光学特性のうち強分散(strong dispersion)を含む。プラズモン共鳴エネルギーにより近いエネルギーにとって、プラズモンの閉じ込めは増強するが(波長はより短くなる)、同時に損失も増加し、伝搬長はより短くなる。 600 nm 未満のAuにおける増大した損失(バンド間遷移に起因する)と結合して、 600 nm より大きい伝搬長は急速に増大する。その傾斜とこの増大は、誘電体スペーサの厚さとその誘電率の両方を自由に变化させる(play with)ことで調節する。励起放射線フィルタ手段160は、例えば励起放射線が特定の偏光を有

40

50

する場合は、偏光フィルタ手段でもよい。例えば、溶液中のフルオロフォアによる放射光の偏光は、通常、励起光の偏光と比較して変更される。いくつかの実施形態における励起放射線フィルタ手段は、導波路集積型反射器、例えば導波路集積型ブラッグ反射器、励起波長のために設計した導波路中のスタブ(stub)のような追加のフィルタ手段でもよい。かかる反射器は、放射波長での放射線が透過する間に励起波長での放射線が反射可能であるように設計することができる。例として、本発明の実施形態はそれに限定されないが、ブラッグ反射器の例を図2に示し、さまざまな波長についての透過挙動を、ブラッグ反射器の構造パラメータの関数として図3aおよび図3bにプロットしている。ブラッグ反射器は、導波路の一部に複数の溝を有する。所定の溝幅 d_1 および溝のピッチ d_2 について($d_1 = 75 \text{ nm}$ 、 $d_2 = 75 \text{ nm}$)、および所定の導波路層の直径 g_2 、本実施例では100 nmである、について、第2層から突き出た溝の高さの反射挙動に対する影響(0 nm ~ 100 nmの範囲内の g_1 について)または底部での溝の深さ(100 nm ~ 200 nmの範囲内の g_1 について)を、導波路の一方に位置する溝と反対側に位置する溝との間の距離 g_1 の関数としての透過挙動を表すことによって図示している。図3aは、0 nm ~ 100 nmで変化する溝と第1層との間隔、に対する影響を図示し、図3bは、第2層中の溝に対する影響を図示している。間隔の好適な選択により、特定波長の反射を得ることができる一方、他の波長は、損失を少ししか伴わずに透過する。例えば、溝の上側と導波路の側壁との間隔を120 nmと選択すると、640 nm未満の波長は反射し、640 nmより大きい波長は、損失を少ししか伴わずに透過する。本発明のいくつかの可能性を図示するために使用する取得結果は、ブラッグ反射器の挙動の有限差分時間領域シュミレーションをベースにしている。

10

20

【0049】

本発明の実施形態に従って、拡張可能な金属製の高帯域導波路において、十分に閉じ込めた表面プラズモンポラリトン(SPP)モードの電氣的な遠隔検出を可能にする導波路集積型光検出器を設けることができる。その結果、いくつかの特定の実施形態は、金属-絶縁体-金属(MIM)導波路と、本質的に高速なナノスリット金属-半導体-金属(MSM)光検出器とを結合し、ナノスケールまで拡張可能なデバイスをもたらし、非常に小さい領域を有する使用可能なプラズモン回路が可能になる。金属-絶縁体-金属(MIM)導波路は、高い空間場閉じ込めとマイクロメータ域の伝搬長とを結合する見通しを与える。金属ベースの導波路は、電気信号および光信号を導波路を通じて伝送させる、またとない機会を提供する。MIM構造の金属層は、MSM光検出器の半導体部分と、電氣的に直接接触している。MSM光検出器は、充分高速な光応答および高い信号対ノイズ比を提供する。導波路集積型MSM検出器の例の概略図を図4に示す。詳細なプロセスフローを以下に記載する。図によって与えられる例の構造は、半導体のGaAsウエハ上で製造した。分子ビームエピタキシーによって、1 μm の厚さのアンドープGaAs層を、光検出器のための活性層として成長させた。MIM導波路は、Au(100 nm)/水素シルセスキオキサン(HSQ)(90 nm)/Au(160 nm)の層スタックから成る。300 nmの幅を有するサブ波長スリットが底部金属層内で製造され、該スリットは検出器とのコンタクトを2つ設け、同時にスリット内で局在化したプラズモンモードの励起を可能にする。導波路内でのSPPモードの励起は、上部金属層にエッチングした300 nmのスリットを用いて達成する。入射スリットと検出スリットとの間の距離は、0 ~ 12 μm まで、1 μm ごとに変化する。充分加工したデバイスの側面からの走査型電子顕微鏡写真を図5に提示している。

30

40

【0050】

コムソル・マルチフィジックス(Comsol Multiphysics)を使用して、2Dの数値計算を実施することによって、デバイスを正確にモデル化および最適化した。TE偏光(E_z 軸)およびTM偏光($E_{||z}$ 軸)に対する正規化電場のシュミレーション結果を図6aおよび図6bに示している。全体構造は、y方向に伝搬する平面波によって照射する。Eをz軸に平行な方向(Hに垂直な方向)に設定した場合、入射スリットの一次元構造のために、充分なSPPの励起を期待できない。絶縁体層の厚さが100 nmを超える場合、

50

非常に小さい伝搬距離を有する従来の導波路モードは、TE 偏光における小さい自由空間波長 ($< 600 \text{ nm}$) に対してアドレス可能であることを、 $\text{Ag} / \text{SiN}_4 / \text{Ag}$ についての MIM 導波路のシミュレーションが示している。興味ある波長領域が実験の範囲内 ($600 \text{ nm} \sim 875 \text{ nm}$) にあり、より屈折率の小さい HSQ コア(core)を考慮に入れる場合、従来の導波路モードまたはプラズモンモードの TE 偏光における寄与は全く期待できない。

【0051】

TM 偏光に対して、平面波は、導波路で伝搬モードに非常に効率的に結合する入射スリット内で、局在プラズモンモードを励起する。導波路は、その近接場内に位置する。シミュレーションは(データは示していない)は、 $650 \text{ nm} \sim 875 \text{ nm}$ の励起波長について、スリットに入る光のそれぞれ $40 \sim 65$ パーセントが SPP と結合するというを示している。結合機構を、導波路の上方の干渉パターンによって図 6 a および図 6 b に図示している。TM 偏光に対する干渉パターンは、スリット上方で消失する(スリットに入射する光と導波路モードとの優れたモード結合に起因して少ししか反射しないので)。一方、TE 偏光に対する干渉パターンは依然存在する。

【0052】

SPP 検出は、サブ波長検出スリットによって、結合させて、管理する局在モードに戻すことによって確立する。検出スリット内で局在プラズモンモードに結合させることを、 $700 \sim 850 \text{ nm}$ の間の波長に対して 60% より大きい効率で達成する。最大の損失は、検出間隔にわたる SPP の部分的透過によって引き起こされる。小さい割合 (< 5 パーセント) のみが反射する(データは示していない)。GaAs の高い屈折率は、MSM 検出器の電極の間にちょうど配置した半導体の体積内に、十分なモード閉じ込めをもたらす。モード閉じ込めは、強電場領域に対応する半導体内の小領域に、光吸収を十分に制限し、その結果、平均収集距離および平均通過時間は大きく減少する。

【0053】

狭い間隔を有する、櫛歯状にエピタキシャル成長した GaAs の MSM 検出器で、より早期に実施したモンテカルロシミュレーションは、約 $25 \text{ nm} \sim 500 \text{ nm}$ の間隙幅に対する、約 $0.25 \text{ ps} \sim 3 \text{ ps}$ の範囲の固有の応答時間を実証し、このような検出器を、高帯域の応用に非常に好適にする。同程度の間隔を有する MSM 検出器を製造し、プラズモンの使用可能なモードの閉じ込めを利用することによって、同程度またはより短い光応答時間が我々のサンプルに適する。例えば、我々の間隙幅(実験で実現した)、 $40 \sim 400 \text{ nm}$ に対して、我々の MSM 検出器のドリフト効果が支配的な(drift dominated) 応答時間、 $\tau = \text{約 } 0.3 \text{ ps} \text{ から } \sim \text{約 } 2.5 \text{ ps}$ を仮に計算することができる。RC 遅延を考慮して、デバイスのキャパシティを計算した。デバイスのキャパシタンスは、MIM 導波路の平行板キャパシタンスによって支配される。チョウ(Chou)らをベースとし、彼らの方程式 $f_{3\text{dB}} = 0.441 / \tau$ (τ は応答時間である) を使用して、これらのデバイスについて得られる、通過時間限定した帯域幅は、 $176 \text{ GHz} (300 \text{ nm のワイドギャップ}) \sim 1470 \text{ GHz} (30 \text{ nm のワイドギャップ})$ で変化すると結論付けることもできる。RC 限定した帯域幅は、 $240 \text{ GHz} (導波路の幅 = 5 \mu\text{m}、長さ = 20 \mu\text{m}) \sim 909 \text{ GHz} (導波路の幅 = 1 \mu\text{m}、長さ = 20 \mu\text{m})$ の間で変化し、提示したデバイスについて、実際は、帯域幅は通過時間限定であることを意味する。

【0054】

ここで提示したすべての実験結果は、幅 $6 \mu\text{m}$ の底部金属層を有する MIM 導波路で得られた。検出器にとっての最適バイアス電圧を決定するために、入射スリットと検出スリットとの間に 300 nm の間隔、およびゼロ変位(displacement)を有する導波路上のレーザー出力の関数として、IV 曲線を測定した。結果を表すグラフを図 7 に提示している。暗電流の任意スケール曲線を挿入部分に示しており、線形領域において最大 300 pA の極端に低い暗電流を明らかにしている。これは、MSM 検出器のハイクオリティを表している。約 0.5 ボルトの電圧を検出器にわたって印加する場合、ショットノイズ限定した最大の信号対ノイズ比(適度な光強度で 10^3)が見られる。結果として、以降の測定の

すべてで、バイアス電圧を 0.5 V に設定する。検出器に入射するレーザー出力および対応する光電流を測定することによって、検出器の外部量子効率は、1 V ~ 10 V に対して、それぞれ 8.9 ~ 34.3 パーセントと計算された。

【0055】

一連の実験において、偏光依存性測定による、GaAs の MSM 検出器を用いた遠隔 SPP 検出を説明する。図 8 a において、スリット間隔が 8 μm である MIM-MSM デバイスの、レーザー強度に関して規格化した光電流地図を、TE 偏光および TM 偏光について示している。入射スリットの位置および出力スリットの位置を、それぞれ I と D で表す矢印によって示している。励起波長は 800 nm である。TE 偏光の場合は、レーザースポットが SPP 入射スリットを越えて走査する際、(上部の)非常に小さい吸収増大のみを検出する。これは、どの表面プラズモンおよび従来の導波路も励起しないことを示している。TM 偏光を用いた測定(底部)において、大きな光応答が観察される。増強した応答は、入射スリットで開始した SPP の遠隔検出に寄与する。導波路に沿った SPP エネルギーの減衰を調査するために、0 ~ 12 μm ($= 720 \text{ nm}$) の入射 - 検出距離を有する MIM 導波路に対する導波路の中央でライン走査した結果を図 8 b に提示する。検出スリットは、 $x = 0$ に位置している。導波路の金属部分での場の侵入に起因して、2 つの金属層における抵抗損は、導波路に沿って伝搬するにしたがって、SPP エネルギーを指数関数的に減衰させる。これは、測定した光電流走査において明確に観察される。光電流を 1 ~ 12 μm の入射 - 検出距離に適合させることによって、720 nm に対して 4.7 μm の e^{-1} 減衰長が見られた。ピークは、距離の増加に伴って左から右へ移動する。指数関数的減衰が観察される。

10

20

【0056】

導波路における SPP 分散を調べるために、特別な測定を実施した。光源、モノクロメータ、および他の光学コンポーネントの波長依存性を排除するために、SPP の特徴を含まない参照検出器の光応答によって、測定データを分割する。また、背景信号(導波路長から独立した)をデータから差し引いて、数値計算によって得られる結果と直接比較することができる。図 9 a に、TM 偏光の場合(底部)の光応答の規格化スペクトルを、波長の関数として示している。明確な入射 - 検出距離依存性が認められ、先に提示した実験結果と一致している。金属層における、より長い波長での、より低い吸収に起因して、自由空間波長の関数として、上昇曲線が見られる。結果は、数値計算で得られる、図の上部に提示したデータに非常によく対応する。数値計算は、実験と同じパラメータについて実施した。有限サイズの励起レーザースポットは、両スリットでの部分的反射によって引き起こされる顕著な干渉の形成を妨げる。かかる干渉効果は、図 9 a で観察した定在波パターンにつながる。2D シミュレーションの場合と異なり、スペクトル実験データは、顕著な振動を示さない、ということを有限のスポットサイズが明らかにする。異なる入射 - 検出距離に対する光電流データを適合させることによって、3.5 μm (660 nm の自由空間波長) ~ 9.5 μm (波長 870 nm) の e^{-1} 減衰長が見られた。

30

【0057】

独立して調査する場合、 e^{-1} 減衰長は、ルーメリカル(Lumerical)社の FDTD のモードソルバ(modesolver)を使用することによって決定した。図 9 b から推定できるように、調査した MIM 導波路は、0 ~ 数十マイクロメートルの e^{-1} 減衰長を維持する。電氣的 SPP 検出によって得られる実験データポイントを、シミュレーション曲線と一緒にプロットしている。実験値と計算値との間に優れた一致が観察される。これらすべての結果は、集積型 MSM 検出器は、金属製のスロット導波路内で SPP を検出するための十分な方法を提供し、その特性を探索するための強力な方法を提供することを裏付けている。これらのプラズモン検出器を、導波路集積型 LED の、金属コーティングしたナノ空洞光源またはナノワイヤ光源と結合させることによって、拡張可能な高帯域のプラズモンオンチップ回路を近い将来実現することができる。

40

【0058】

ナノスケールの MSM 検出器による、MIM 導波路内部の SPP の電氣的な遠隔検出に

50

より、電気回路における拡張可能な高帯域の金属製導波路が可能になる。光 - 電気変換は、GaAsの導波路集積型MSM検出器まで伝搬する表面プラズモンポラリトンの共鳴結合によって実現した。偏光依存性測定およびスペクトル測定を実施し、閉じ込めた表面プラズモンポラリトンの電氣的検出を探索および研究した。3.5 μm (660 nmの自由空間波長) ~ 9.5 μm (波長870 nm) の e^{-1} 減衰長が見られた。これらの新しく盛んなプラズモンコンポーネントの開発および製造は、科学的研究および応用志向の研究の両方に対する優れた可能性を開く。

【0059】

例として、システムを製造し、特徴付けるための製造技術および測定技術を以下に記載するが、本発明の実施形態はそれに限定されない。

【0060】

導波路構造を半絶縁性のGaAsウエハ上で製造した。分子ビームエピタキシーによって、1 μm の厚さのアンドープGaAs層が、MSM光検出器のための活性層として成長した。GaAs自然酸化物を取り除いた後、MIM導波路の底層をスパッタリングによって堆積する(Au/Ti 100 nm/2 nm)。300 nmのサブ波長間隔は、電子ビームリソグラフィによるネガ型HSQレジストにおいて規定される。100 Wの酸素プラズマに20分間曝してレジストを硬化した後、パターンをイオンミリングによって金属層に移す。チタン接着層および残ったHSQをHFで除去する。MIM構造の絶縁体層は、90 nmのHSQレジストから成り、それを100 Wの酸素プラズマ中で20分間効果処理した場合、SiO₂に似た構造が得られる。HSQを選択するのは、サブマイクロメートル構造のための優れた平坦化特性およびSiO₂に似た光学特性のためである。導波路の最上金属層もまた、スパッタリング堆積する(Au/Ti 160 nm/2 nm)。入射スリットを製造するために、同様の電子ビームステップおよびイオンミリングステップを、検出スリットに関して実施した。最後のステップにおいて、光学リソグラフィステップを使用して平坦化層をコンタクトの最上部で選択的にエッチングし、ワイヤボンディングまたはプローブ針によってコンタクト経路にアクセスする。

【0061】

超連続体白色光源からの光をモノクロメータに結合し、所望の波長を選択する。サンプル上の100 X / 0.7 NAアポクロマート長作動距離対物レンズによって該光を直線偏光し、または集光する。電気接続部をワイヤボンディングまたはプローブ針によって設ける。デバイスの電氣的読み出しは、ケイスレー(Keithley)社の2400ソースメータを用いて実施した。XYZステージの上に据えつけられたXYピエゾスキャナによって、一次元スキャンおよび二次元スキャンの実施が可能になる。選択した全ての位置で電流を測定する。焦点面でサンプルを走査することによって、検出器の光電流の一次元地図または二次元地図を達成する。図8aに提示する2D光電流地図において、x軸は0.23 μm の幅で90刻みを有し、y軸は0.46 μm の幅で70刻みを有する。図9aに示す、MSM検出器のスペクトル応答は、レーザースポットを入射スリットに集光し、波長スイープを実施することにより得られる。

【0062】

図6aおよび図6bで提示する数値計算に対して、コムソル・マルチフィジックスのRFモジュールを使用した。完全に適合した層を使用することによって、金属はいずれの寄生反射(parasitical reflection)も導入しないで境界部を貫通することができ、無限長を有する導波路をシュミレーションできる。図7において、シュミレーションについてルーメリカルFDTDのモードソルバを使用した。

【0063】

例として、本発明の実施形態はそれに限定されないが、結合の際のフルオロフォア双極子における偏光効果、したがって検出能力が以下で与えられる。図10は、フルオロフォア双極子の偏光の関数として、電場および電荷分布のシュミレーション(ルーメリカルFDTDを使用した)に使用する構造を図示している。双極子は、構造の最上部にある金属層の上方100 nmの位置に保持した。長さ2 μm 、即ち入力スリットから左右に1 μm

10

20

30

40

50

、を超える構造における電場および電荷分布で、シミュレーションを作成した。示した双極子のさまざまな配向に対する、さまざまな方向での電場成分を、図 1 1 a および図 1 1 b に示している。フルオロフォア双極子の 1 配向に対して、誘導電場は比較的大きいことがわかるが、これは第 2 配向には当てはまらない。フルオロフォア双極子の 2 つの異なる配向は、2 つの異なる垂直偏光状態をもたらす。対応する電荷密度プロットを図 1 2 a および図 1 2 b に示しており、それぞれ電荷密度の実部および虚部を表している。局在モードは入射スリット内で励起し、フルオロフォア双極子の配向の中には、伝搬導波路モードとの効率的な結合が得られるものがあることがわかる。図 1 2 c および図 1 2 d は、スリットに関して異なる位置に対する得られた電荷密度を図示しており、図のように、異なる電荷密度の挙動をもたらす。

10

【0064】

本発明の実施形態は、主にデバイスに関して記載してきたが、本発明の実施形態はまた、光信号を検出するための方法に関する。その結果、方法は、かかるデバイスの 1 以上のコンポーネントによって提供される 1 以上の機能性を表すステップを含んでもよい。例えば、例示的な一実施形態において、本発明は、光信号を検出するための方法に関する。その結果、該方法は、第 1 放射線を得るために、励起放射線ビームを、該励起放射線ビームの光学特性を変更するための変更手段に向けることを含む。これは、例えば励起放射線ビームを一連のフルオロフォア方向に向け、第 1 ビームを発生させることのように、例えば粒子を生成し、または粒子の方向を変える複数の放射線を励起することでもよい。該方法はまた、入力スリットを介して第 1 放射線を導波路と結合させること、および表面プラズモンポラリトンを使用して、出力スリット方向へ前記放射線を伝搬させることを含む。第 1 放射線は、出力スリットから出射し、検出される。いくつかの実施形態において、本発明は、バイオセンシングのための光信号を検出する方法に関し、例えばフルオロフォアは、興味ある粒子に結合可能であり、入力スリットの位置または入力スリットの近くに設置可能であり、その結果、かかる興味ある粒子が存在する場合、これは、例えば上で記載したような方法を使用して検出可能である。いくつかの実施形態において、励起放射線は、抽出によって第 1 放射線から分離する。上で記載したように、更なる方法の特徴が、上で記載したようなデバイスのコンポーネントによって導入される機能性に対応してもよい。

20

【0065】

開示された実施形態への他のバリエーションは、図面、開示、および添付した請求項に関する研究から、請求項記載の発明を実施する際に、当業者によって理解され達成されるだろう。請求項において、用語「備える、含む(comprising)」は、他のエレメントまたはステップを除外するものではなく、不定冠詞「一つ(a or an)」は、複数を除外しない。単一のプロセッサまたは他のユニットが、請求項に記載されるいくつかの事項の機能を発揮してもよい。ある手段について互いに異なる従属請求項で記載されているという単なる事実は、これらの手段の組み合わせは有利に使用することができないということを示すものではない。コンピュータプログラムは、好適な媒体、例えば光記憶媒体、または他のハードウェアと一緒に、もしくは他のハードウェアの一部として供給された固体の媒体に記憶させ/分配されてもよく、他の形態、例えばインターネットまたは他の有線もしくは無線通信を用いて分配されてもよい。請求項におけるいかなる参照符号も技術的範囲を制限するものとして解釈されるべきでない。

30

40

【0066】

先の説明は、本発明の特定の実施形態を詳細に述べている。しかしながら、どれほど詳細に先の説明を明細書にて行っても、本発明は多くの方法で実施でき、また開示した実施形態に限定されないことが理解されるだろう。本発明のある特徴または態様を述べる場合の特定の用語の使用は、その用語が関係する本発明の特徴または態様のいかなる特定の特徴も含むように限定するように、その用語が本明細書で再定義されるということを暗示するように取られるべきではないことに注目すべきである。

【図 1】
100

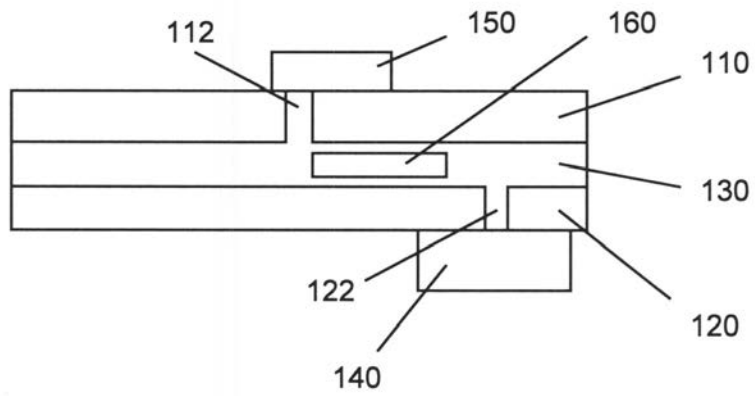


FIGURE 1

【図 2】

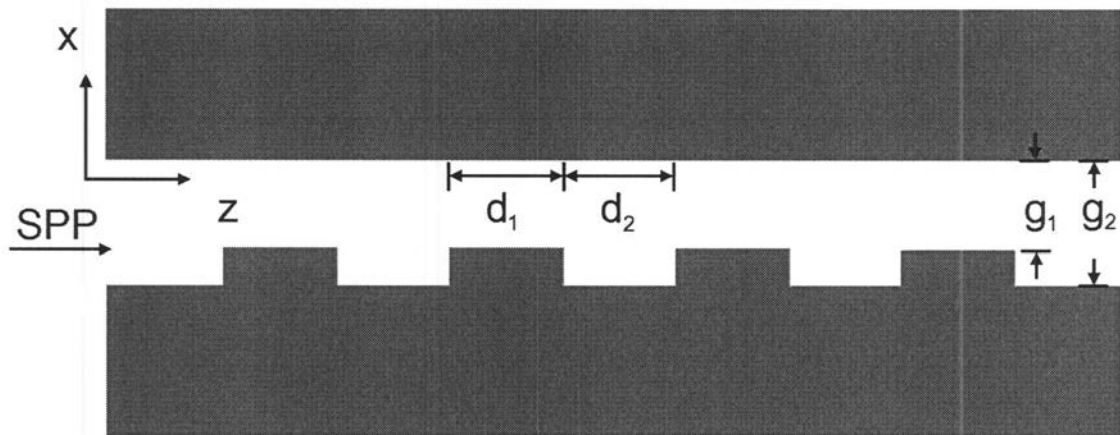


FIGURE 2

【図 3 a】

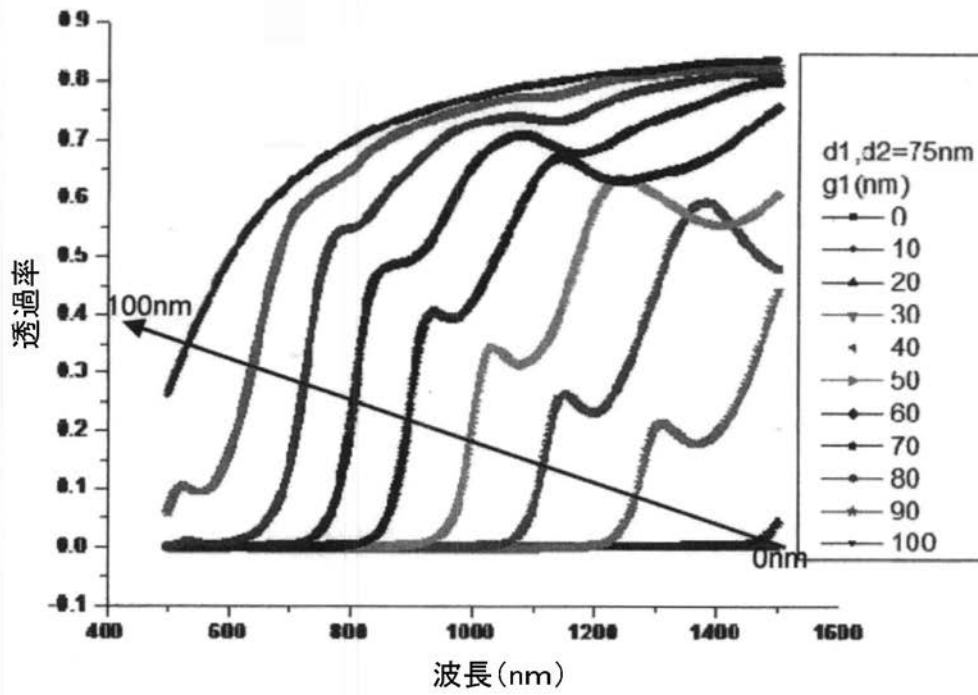


FIGURE 3a

【図 3 b】

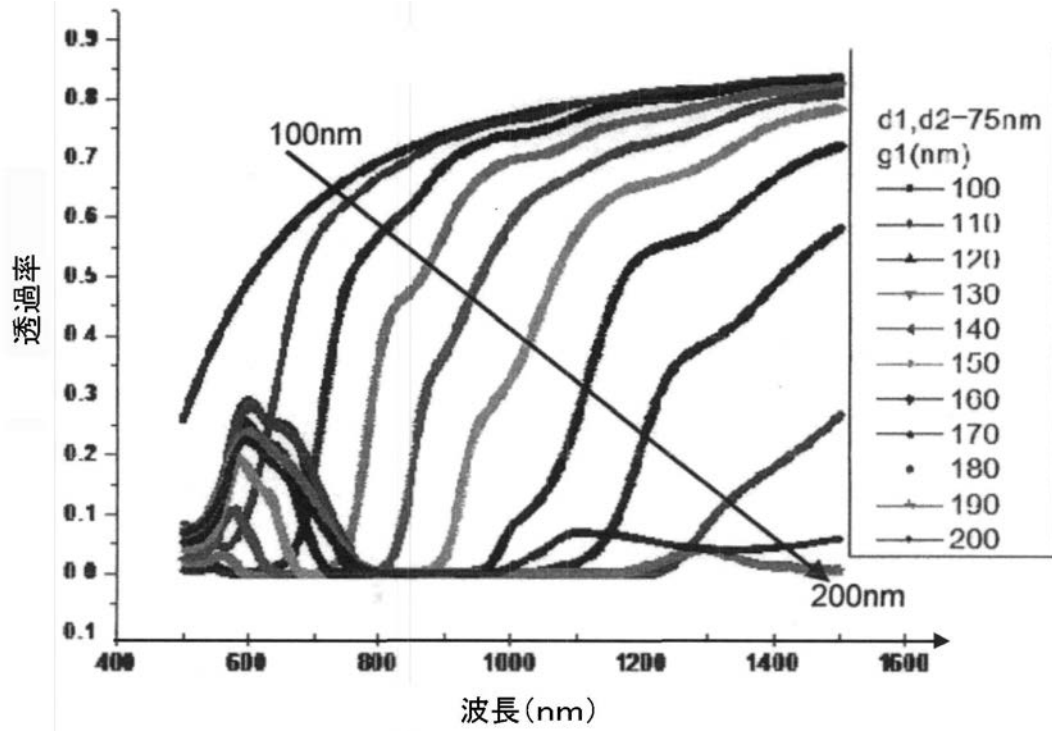


FIGURE 3b

【図 4】

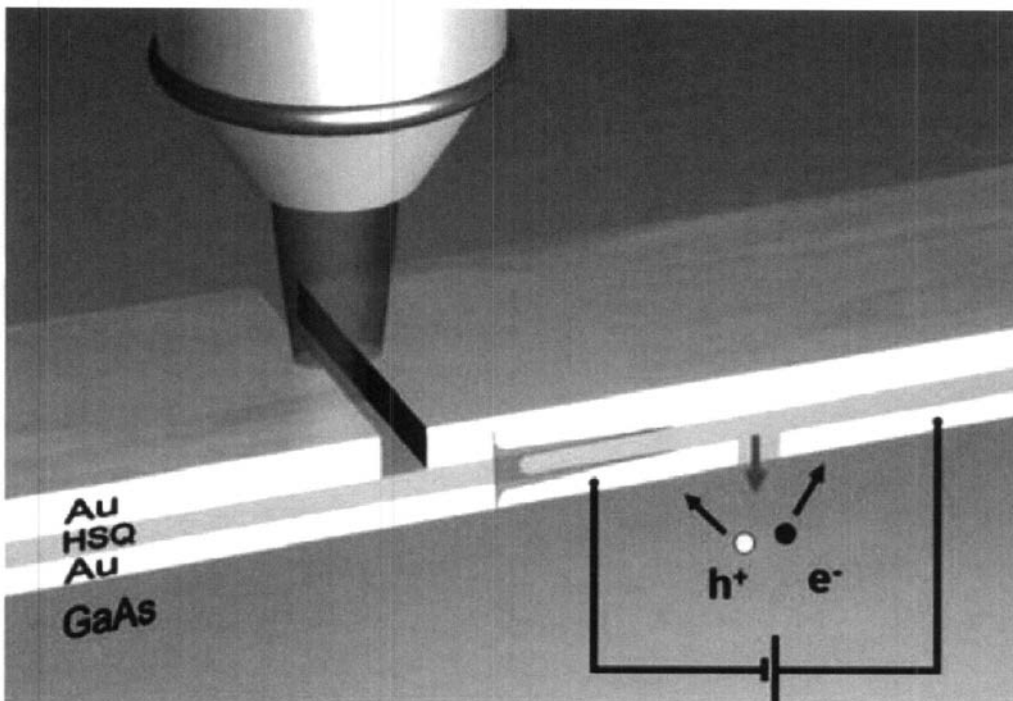


FIGURE 4

【図 5】

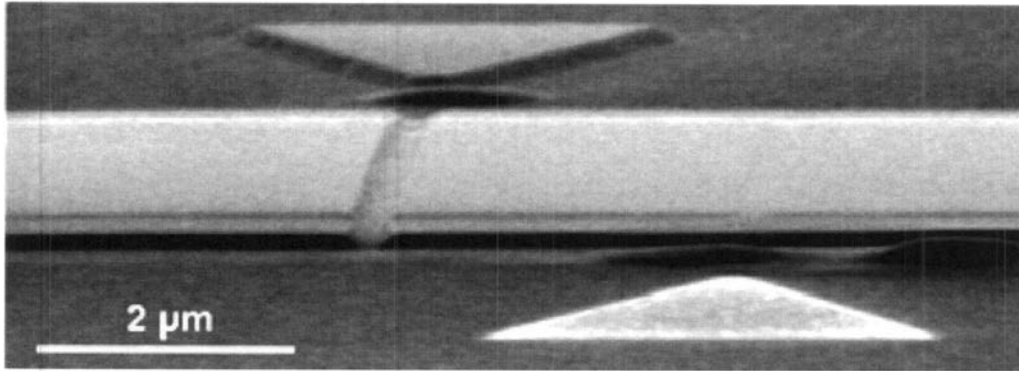


FIGURE 5

【図 6 a】

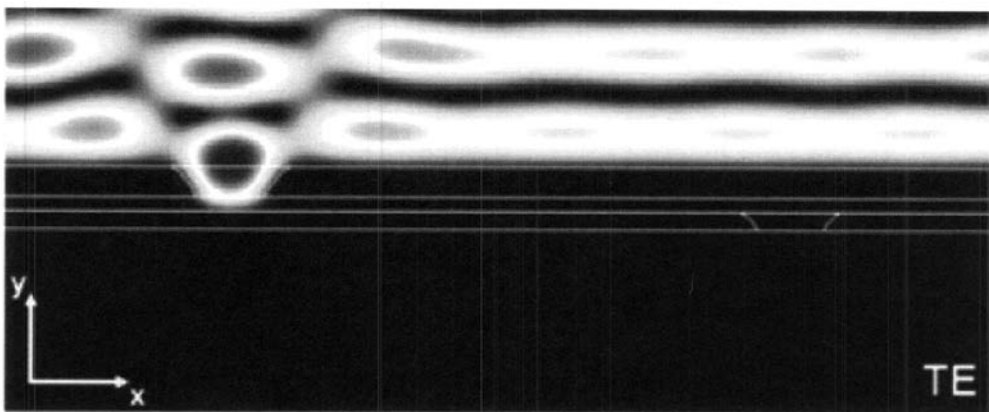


FIGURE 6a

【図 6 b】

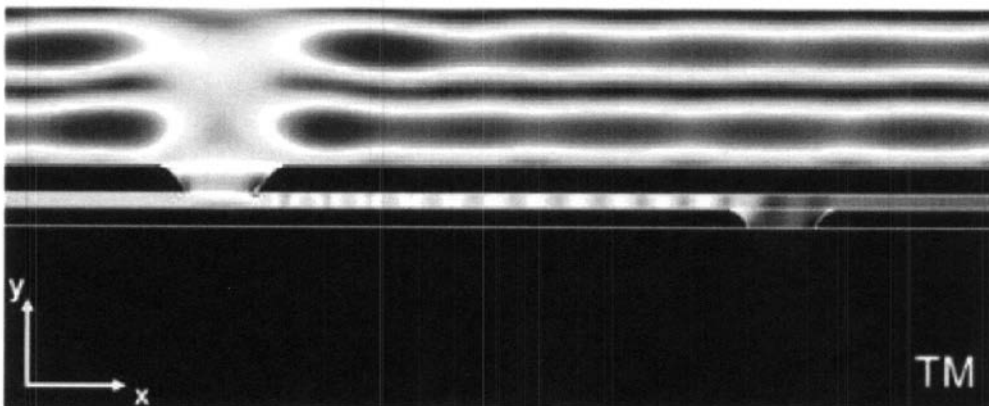


FIGURE 6b

【図 7】

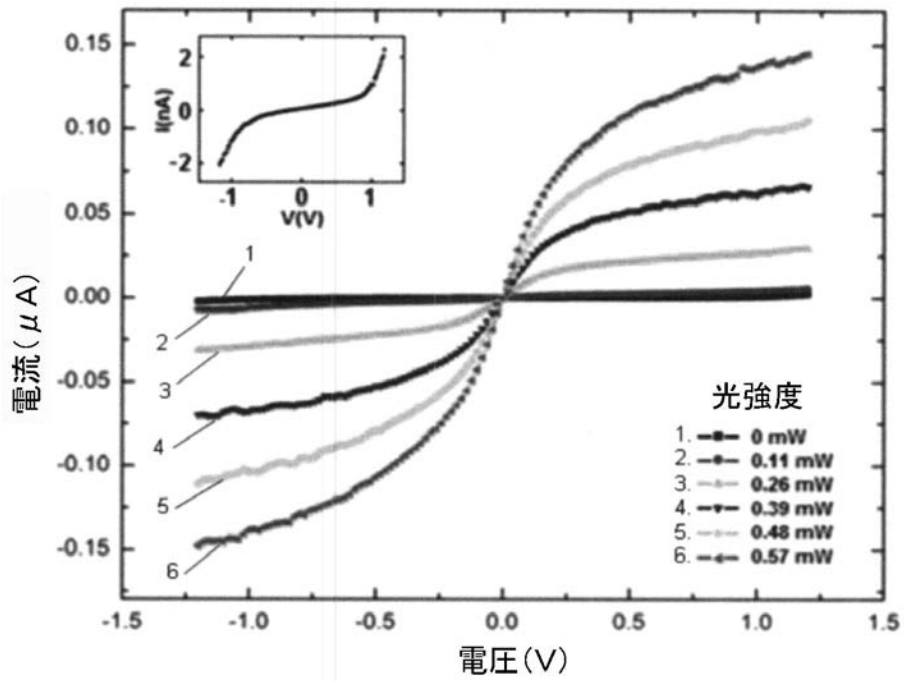


FIGURE 7

【図 8 a】

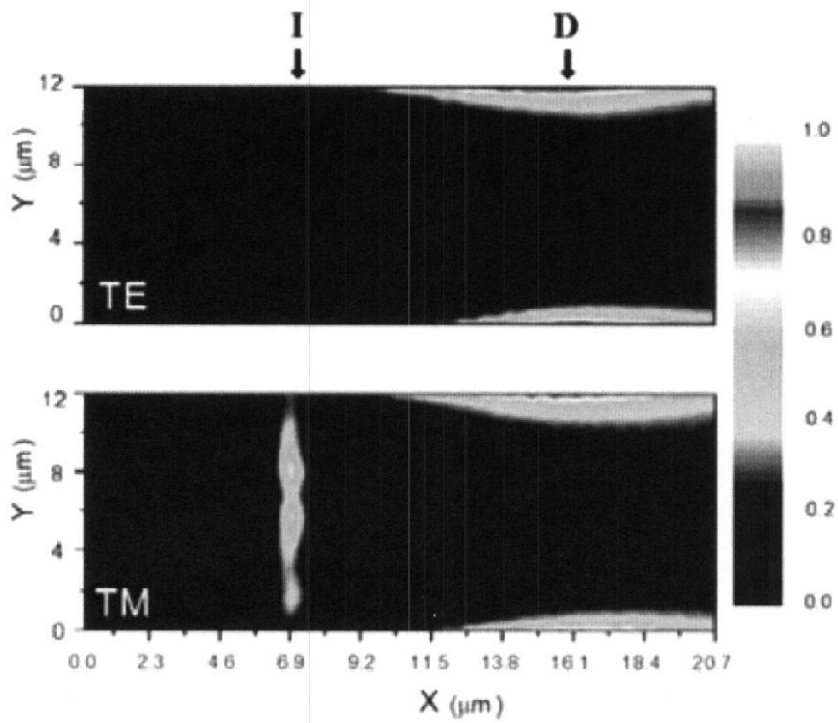


FIGURE 8a

【図 8 b】

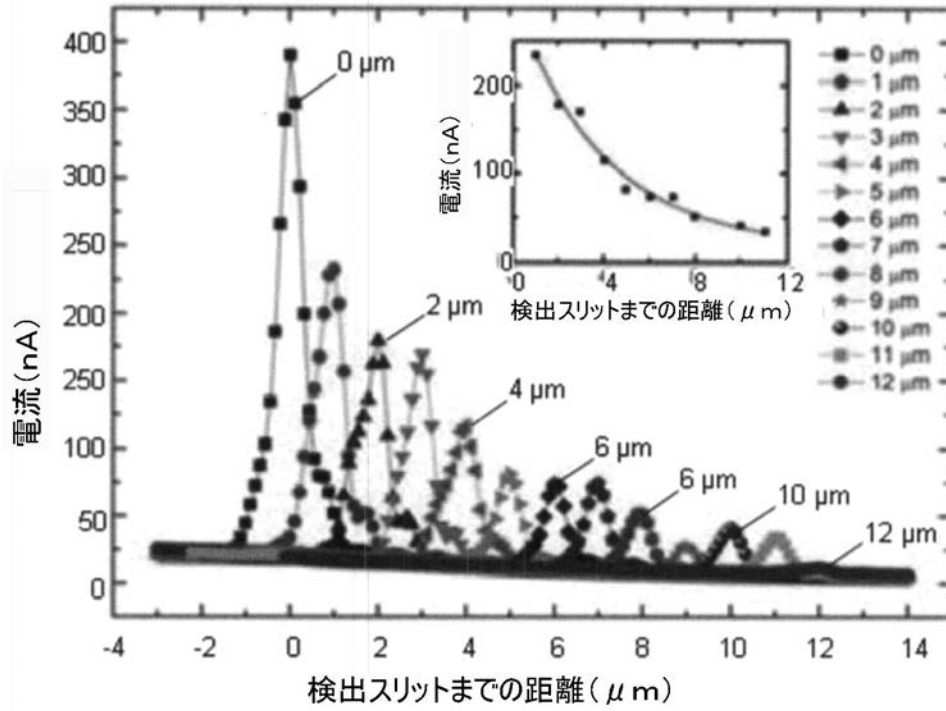


FIGURE 8b

【図 9 a】

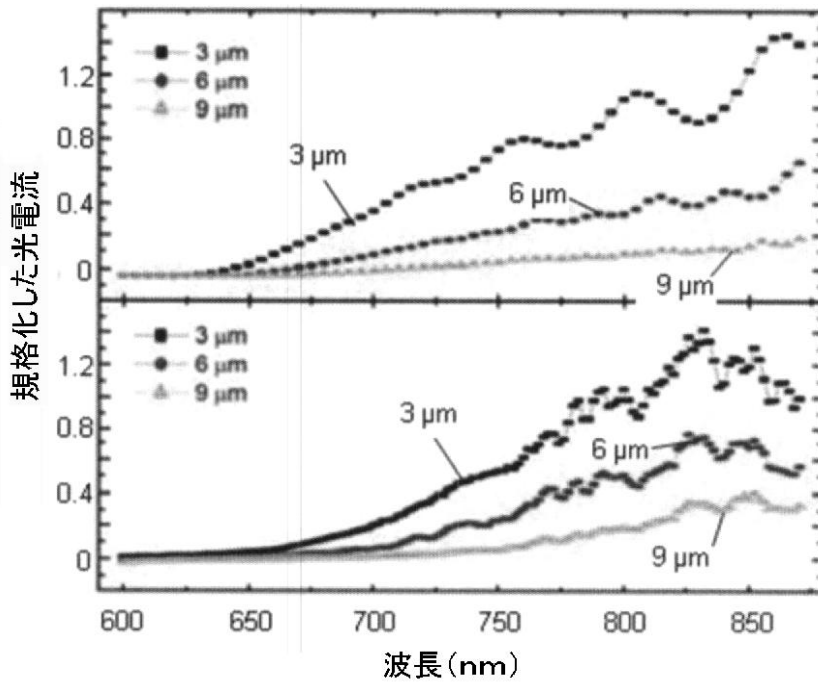


FIGURE 9a

【図 9 b】

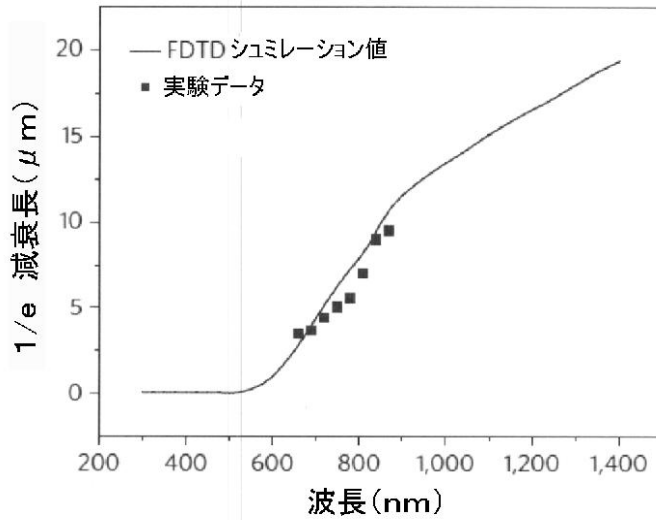


FIGURE 9b

【図 1 0】

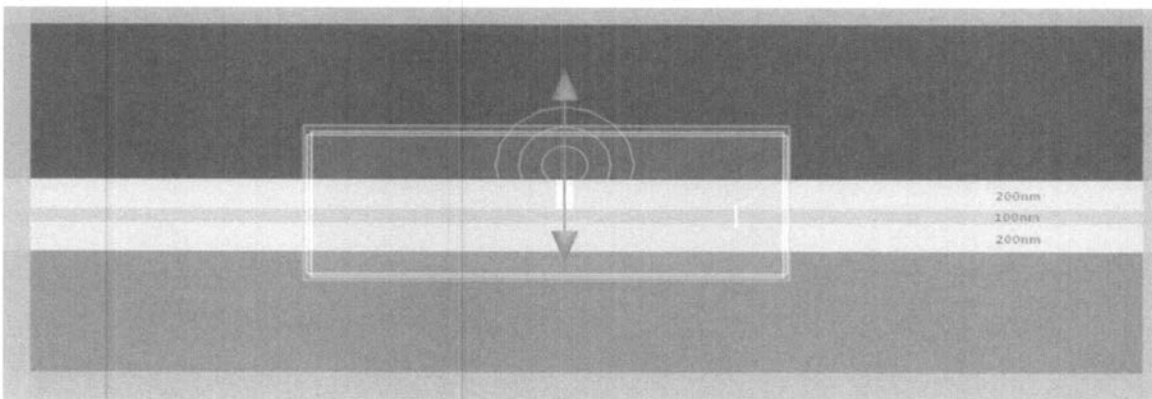


FIGURE 10

【図 1 1 a】

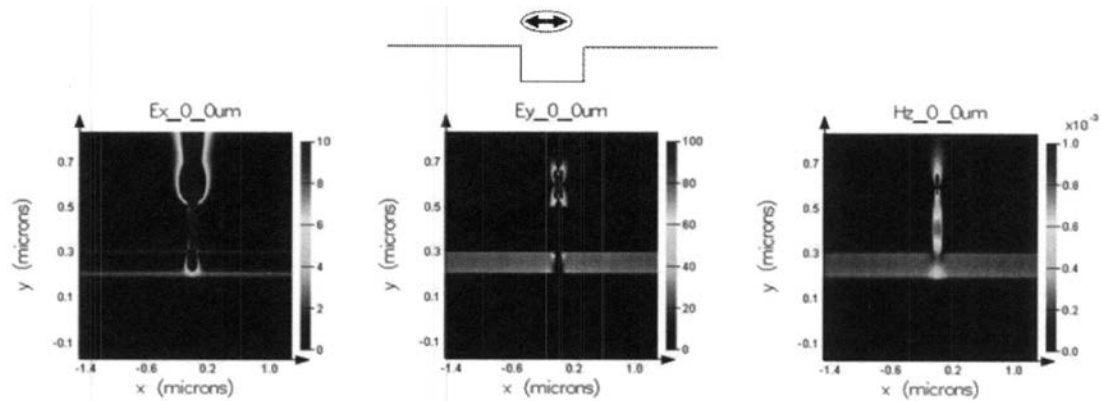


FIGURE 11a

【図 1 1 b】

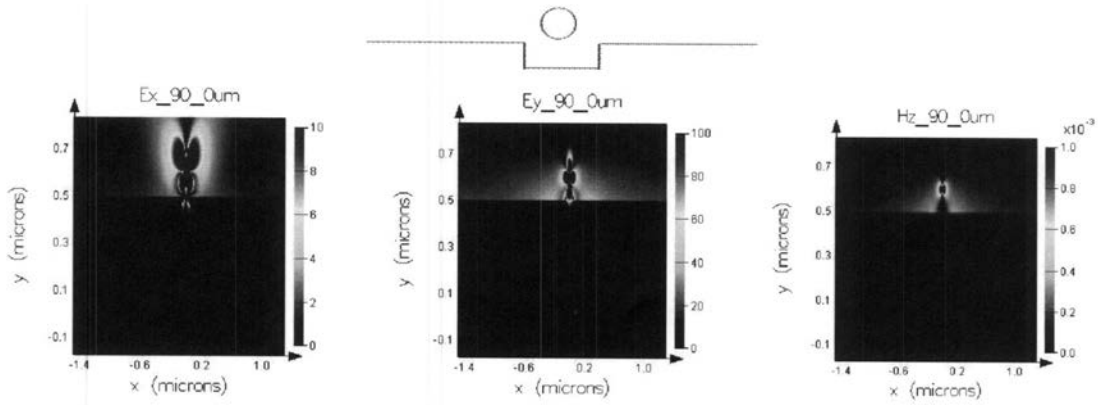


FIGURE 11b

【図 1 2 a】

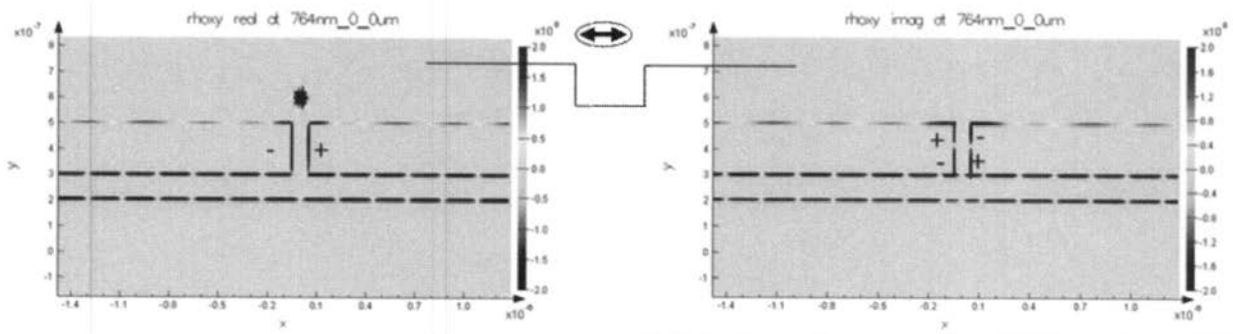


FIGURE 12a

【図 1 2 b】

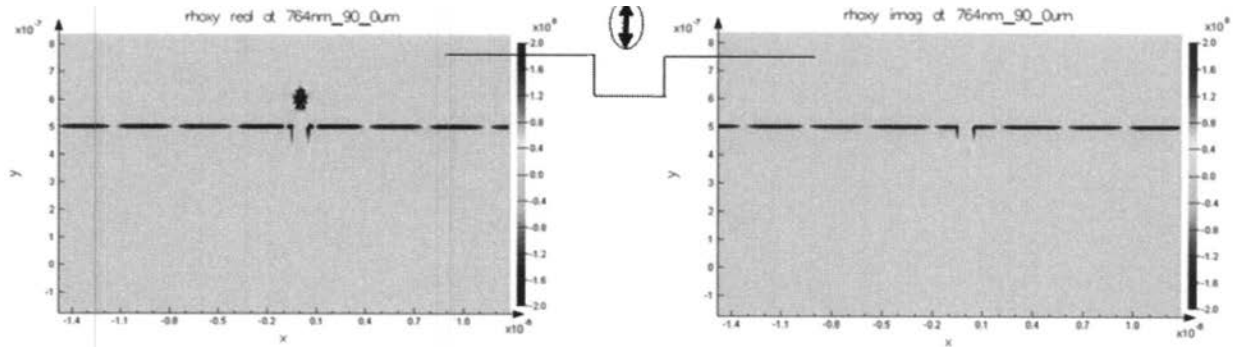


FIGURE 12b

【図 12 c】

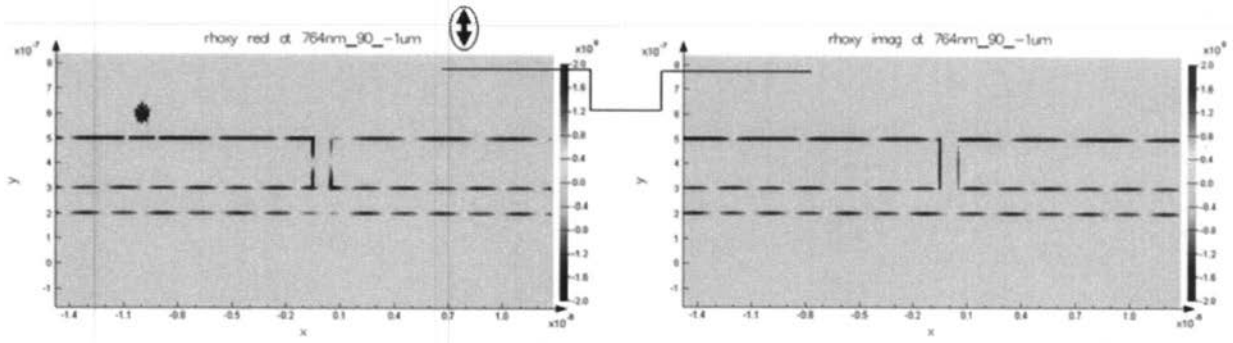


FIGURE 12c

【図 12 d】

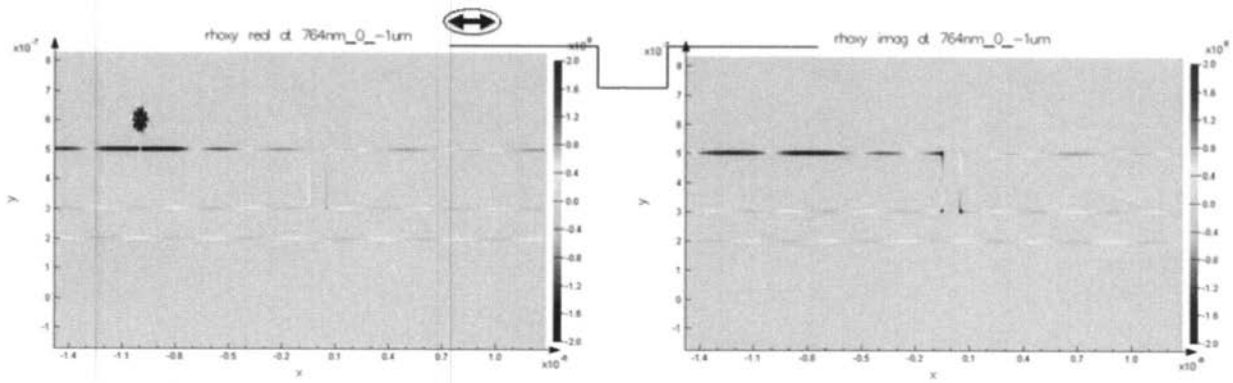


FIGURE 12d

【国際調査報告】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2010/054372

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. G02B6/122

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)
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 practical, search terms used)

EPO-Internal, INSPEC

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	WO 2009/002522 A1 (CALIFORNIA INST OF TECHN [US]; DIEST KENNETH A [US]; DIONNE JENNIFER A) 31 December 2008 (2008-12-31) paragraphs [0036] - [0043], [0055]; figures 1,8a-c	1-3,8, 11-19, 21,22, 25,26
X	LEZEC H J ET AL: "Negative refraction at visible frequencies" SCIENCE AMERICAN ASSOC. ADV. SCI USA, vol. 316, no. 5823, 20 April 2007 (2007-04-20), pages 430-432, XP002598474 ISSN: 0036-8075 figure 2 the whole document	1-3,8, 11-19, 21,22, 25,26

-/--

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☒ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier document 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

31 August 2010

Date of mailing of the international search report

20/09/2010

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

Andreassen, Jon

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2010/054372

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 2008/217542 A1 (VERMA RAVI [US] ET AL) 11 September 2008 (2008-09-11) paragraph [0067] - paragraph [0076]; figure 3	1-26
A	EP 1 445 632 B1 (LUCENT TECHNOLOGIES INC [US]) 3 May 2006 (2006-05-03) paragraph [0031] - paragraph [0042]; figures 8-10	1-26
A	US 2008/185521 A1 (HOLLINGSWORTH RUSSELL E [US]) 7 August 2008 (2008-08-07) paragraph [0068] - paragraph [0073]; figures 12,13	1-26

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2010/054372

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
WO 2009002522 A1	31-12-2008	US 2010002979 A1	07-01-2010
US 2008217542 A1	11-09-2008	NONE	
EP 1445632 B1	03-05-2006	AT 325359 T	15-06-2006
		DE 60304988 T2	07-12-2006
		EP 1445632 A1	11-08-2004
		JP 2004226963 A	12-08-2004
		KR 20040067790 A	30-07-2004
		US 2005265652 A1	01-12-2005
		US 2005249461 A1	10-11-2005
		US 2004146246 A1	29-07-2004
US 2008185521 A1	07-08-2008	NONE	

フロントページの続き

(81)指定国 AP(BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), EA(AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), EP(AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, SE, SI, SK, SM, TR), OA(BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG), AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW

(74)代理人 100101454

弁理士 山田 卓二

(74)代理人 100081422

弁理士 田中 光雄

(74)代理人 100100479

弁理士 竹内 三喜夫

(72)発明者 ボル・ファン・ドルペ

ベルギー、ペー - 3 5 1 0 スパルベーク、ウェイエルストラート 1 0 番

(72)発明者 ピーテル・ネーテンス

ベルギー、ペー - 8 2 0 0 シント・アンドリース、シント - エワウトストラート 6 番

F ターム(参考) 2G065 AB11 AB22 BB04 BB23 BB31 BE01 DA08

2H147 AB05 AC12