

(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.

G01J 1/02 (2006.01)
G02B 6/122 (2006.01)

F 1

G01J 1/02
G02B 6/12R
A

テーマコード(参考)

2 G 0 6 5
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)
 (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) 國際出願番号 PCT/EP2010/054372
 (87) 國際公開番号 WO2010/115828
 (87) 國際公開日 平成22年10月14日 (2010.10.14)
 (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)

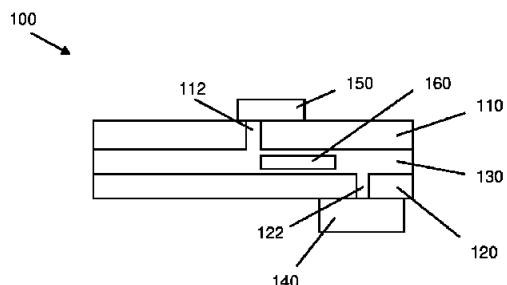
(71) 出願人 591060898
 アイメック
 I M E C
 ベルギー、バー＝3001ルーヴァン、カ
 ペルドリーフ75番
 (71) 出願人 599098493
 カトリーケ・ユニフェルジテイト・ルーベ
 ン・カー・イュー・ルーベン・アール・ア
 ンド・ディ
 Katholieke Universi
 teit Leuven, K. U. Leu
 ven R&D
 ベルギー、バー＝3000ルーベン、ワー
 イストラート6番、ボックス5105

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(100)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(110)を備え、第1層(110)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(112)を有する。光検出器(100)はまた、プラズモンサポート材料からなり、第1層(110)に面し、第1層(110)から第1方向に第1距離を隔てた第2層(120)を有する。第2層(120)は、第2層(120)を貫通し、入力スリット(112)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(122)を有する。光検出システム(100)はまた、第1層(110)と第2層(120)との間に配置した誘電体層(130)、および出力スリット(122)に近接する、出力スリット(122)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(140)とを備える。



【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(110)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(112)を有する第1層(110)と、

プラズモンサポート材料からなり、第1層(110)に面し、第1層(110)から第1方向に第1距離を隔てた第2層(120)であって、第2層(120)を貫通し、入力スリット(112)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(122)を有する第2層(120)と、

第1層(110)と第2層(120)との間に配置した誘電体層(130)と、

出力スリット(122)の近くにある、出力スリット(122)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(140)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(100)。

【請求項 2】

検出器(140)は、第2層(120)と直接接觸しているか、第2層(120)に近接しているか、または第2層(120)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(100)。

【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(150)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(100)。

【請求項 4】

励起放射線の光学特性を変更するための手段(150)は、入力スリット(110)内に設置された請求項3記載の導波路集積型光検出器(100)。

【請求項 5】

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、ドープナノ粒子、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(100)。

【請求項 6】

光学特性を変更するための手段(150)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(100)。

【請求項 7】

入力スリット(112)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(100)。

【請求項 8】

第1層(110)と誘電体層(130)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(100)。

【請求項 9】

第1層(110)と誘電体層(130)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(100)。

【請求項 10】

入力スリット(112)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(100)。

【請求項 11】

第1層(110)の厚さは、第1層(110)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(100)。

【請求項 12】

第2層(120)の厚さは、第2層(120)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(100)。

10

20

30

40

50

【請求項 1 3】

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 1 4】

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 1 5】

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 1 6】

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 1 7】

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 1 8】

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)。

20

【請求項 1 9】

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)。

【請求項 2 0】

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気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 2 1】

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 2 2】

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 2 3】

フィルタ手段(160)は、プラック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 2 4】

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 2 5】

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とを含む方法。

【請求項 2 6】

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】

40

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、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査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GaN光伝導体による表面プラズモンの電気的検出に関する。

【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に起因して、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、ドープナノ粒子、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または複数の伝搬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気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、プ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はなく、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。

【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。

【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プ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で記載されるプ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で記載されるプ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、МИМ-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、三角形で印をついている。

【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

10

20

30

40

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9a】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9b】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10】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11a】図10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11b】図10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12a】図10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12b】図10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12c】図10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12d】図10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。

【0035】

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。

【0036】

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】

【0037】

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。

【0038】

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。

【0039】

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。

【0040】

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、例えば材料平面内にあってもよく、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の間にあってもよい。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

【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

40

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、10～1000nm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(MSM)光検出器によって、金属-絶縁体-金属(MIM)導波路中に充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。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(>100GHz)。

【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、その後に第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、ドープナノ粒子、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に入射することができるよう変更される。

【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レッゲ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、ブレッゲ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、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。600nm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、600nm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変化させる(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

10

20

30

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プラグ反射器、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、プラグ反射器の例を図2に示し、さまざまな波長についての透過挙動を、プラ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。プラグ反射器は、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($0\text{ nm} \sim 100\text{ nm}$ の範囲内の g_1 について)または底部での溝の深さ($100\text{ nm} \sim 200\text{ nm}$ 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、 $0\text{ nm} \sim 100\text{ nm}$ 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、プラグ反射器の挙動の有限差分時間領域シミュレーションをベースにしている。

【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、充分に閉じ込めた表面プラズモンポラリトン(SPP)モードの電気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、電気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、 $1\text{ }\mu\text{m}$ 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) / 水素シリセスキオキサン(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、 $0 \sim 12\text{ }\mu\text{m}$ まで、 $1\text{ }\mu\text{m}$ 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。

【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(Ez軸)およびTM偏光(E||z軸)に対する正規化電場のシミュ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、

10

20

30

40

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、T E 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、A g / S i N₄ / A g についてのM I M導波路のシユミ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H S Q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T E 偏光における寄与は全く期待できない。

【0051】

T M 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。シユミレーションは(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40~65パーセントがS P Pと結合するということを示している。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。T M 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、T E 偏光に対する干渉パターンは依然存在する。

10

【0052】

S P P 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S P Pの部分的透過によって引き起こされる。小さい割合 ($< 5 \text{ パーセント}$) のみが反射する(データは示していない)。G a A s の高い屈折率は、M S M 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、充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、光吸収を充分に制限し、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。

20

【0053】

狭い間隔を有する、櫛歯状にエピタキシャル成長したG a A s のM S M 検出器で、より早期に実施したモンテカルロシユミレーションは、約 $25 \text{ nm} \sim$ 約 500 nm の間隙幅に対する、約 $0.25 \text{ ps} \sim$ 約 3 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M S M 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M S M 検出器のドリフト効果が支配的な(drift dominated)応答時間、 $=$ 約 0.3 ps から~約 2.5 ps を仮に計算することができる。R C 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、M I M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 $f_{3dB} = 0.441 / t$ (t 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 GHz (300 nm のワイドギャップ) ~ 1470 GHz (30 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。R C 限定した帯域幅は、 240 GHz (導波路の幅 = $5 \mu\text{m}$ 、長さ = $20 \mu\text{m}$) ~ 909 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。

30

【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M I M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、I V 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、M S M 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

40

50

すべてで、バイアス電圧を0.5V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、1V～10V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8aにおいて、スリット間隔が8μm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800nm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、0～12μm($\lambda = 720\text{ nm}$)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8b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エネルギーを指數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1～12μmの入射・検出距離に適合させることによって、720nmに対して4.7μm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。指數関数的減衰が観察される。

10

20

30

【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の特徴を包含し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9a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9aで観察した定在波パターンにつながる。2Dシュミ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、3.5μm(660nmの自由空間波長)～9.5μm(波長870nm)の e^{-1} 減衰長が見られた。

【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9b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。電気的SPP検出によって得られる実験データポイントを、シュミ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を検出するための充分な方法を提供し、その特性を探査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の電気的な遠隔検出に

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、G a A s の導波路集積型M S M 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気的検出を探査および研究した。3 . 5 μm (6 6 0 nm の自由空間波長) ~ 9 . 5 μm (波長 8 7 0 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。

【 0 0 5 9 】

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。

10

【 0 0 6 0 】

導波路構造を半絶縁性のG a A s ウエハ上で製造した。分子ビームエピタキシーによつて、1 μm の厚さのアンドープG a A s 層が、M S M 光検出器のための活性層として成長した。G a A s 自然酸化物を取り除いた後、M I M 導波路の底層をスパッタリングによつて堆積する (A u / T i 1 0 0 nm / 2 nm) 。3 0 0 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H S Q レジストにおいて規定される。1 0 0 W の酸素プラズマに2 0 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層に移す。チタン接着層および残ったH S Q をH F で除去する。M I M 構造の絶縁体層は、9 0 nm のH S Q レジストから成り、それを1 0 0 W の酸素プラズマ中で2 0 分間効果処理した場合、S i O₂ に似た構造が得られる。H S Q を選択するのは、サブマイクロメータ構造のための優れた平坦化特性およびS i O₂ 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 (A u / T i 1 6 0 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。

20

【 0 0 6 1 】

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1 0 0 X / 0 . 7 N A 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。デバイスの電気的読み出しは、ケイスレー(Keithley)社の2 4 0 0 ソースメータを用いて実施した。X Y Z ステージの上に据えつけられたX Y 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8 a に提示する2 D 光電流地図において、x 軸は0 . 2 3 μm の幅で9 0 刻みを有し、y 軸は0 . 4 6 μm の幅で7 0 刻みを有する。図9 a に示す、M S M 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。

30

【 0 0 6 2 】

図6 a および図6 b 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R F 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ミュレーションできる。図7において、シミュレーションについてルーメリカルF D T D のモードソルバを使用した。

40

【 0 0 6 3 】

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1 0 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ミュレーション(ルーメリカルF D T D 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1 0 0 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

50

、を超える構造における電場および電荷分布で、シュミ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11aおよび図11b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12aおよび図12b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12cおよび図12d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、主にデバイスについて記載してきたが、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の方向に向け、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と対応してもよい。

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。单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單なる事実は、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

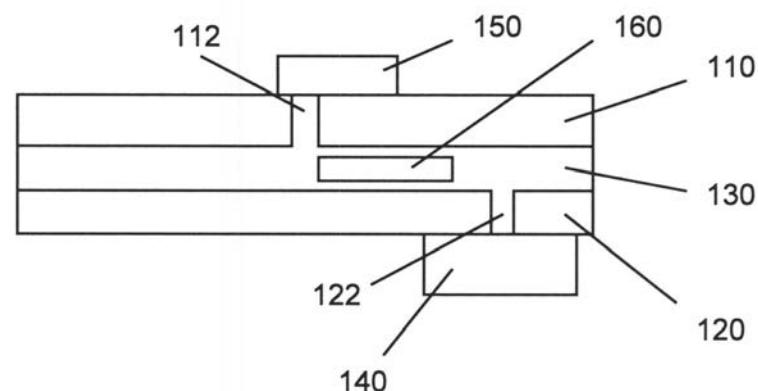
【0066】

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。

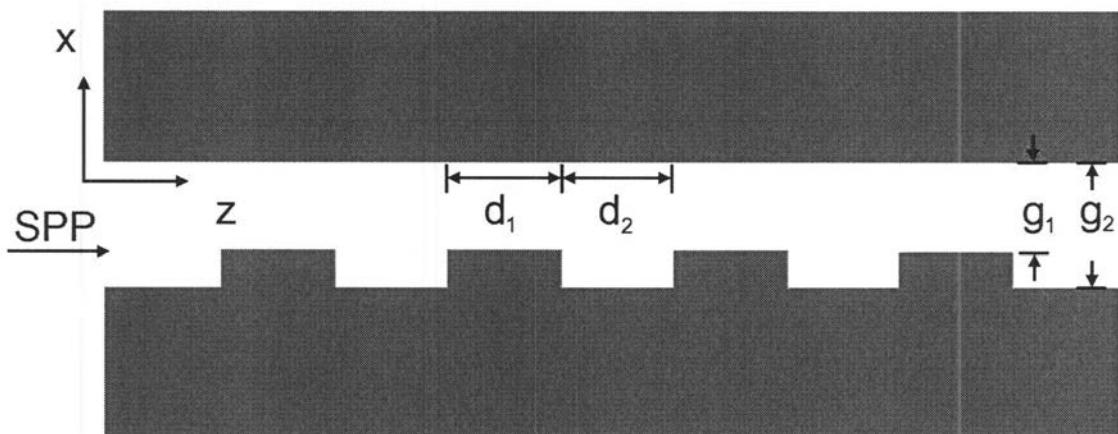
40

【図 1】

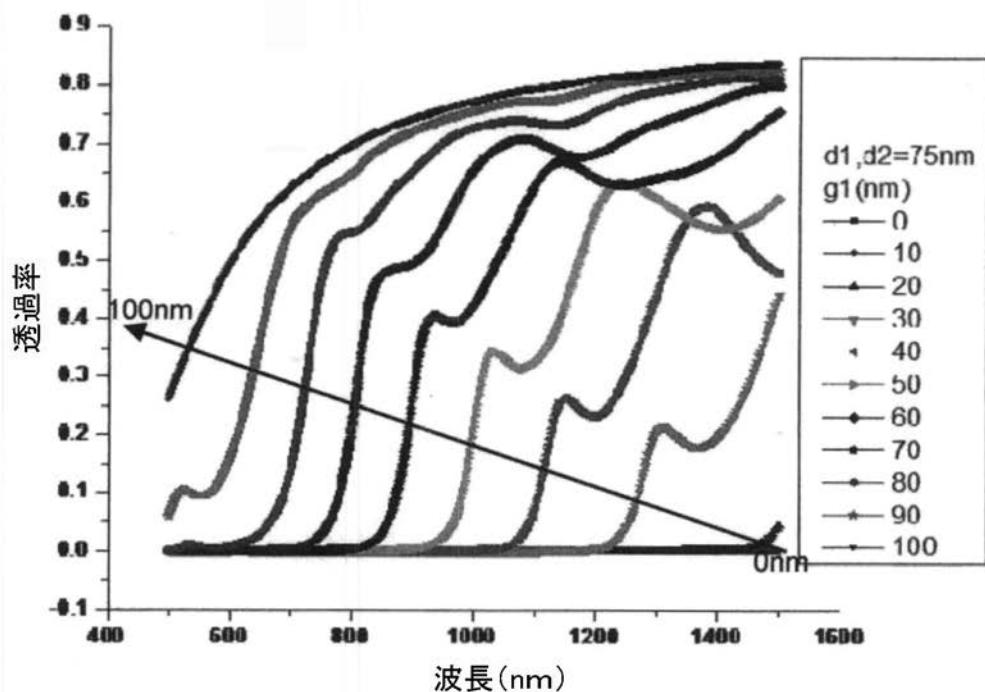
100

**FIGURE 1**

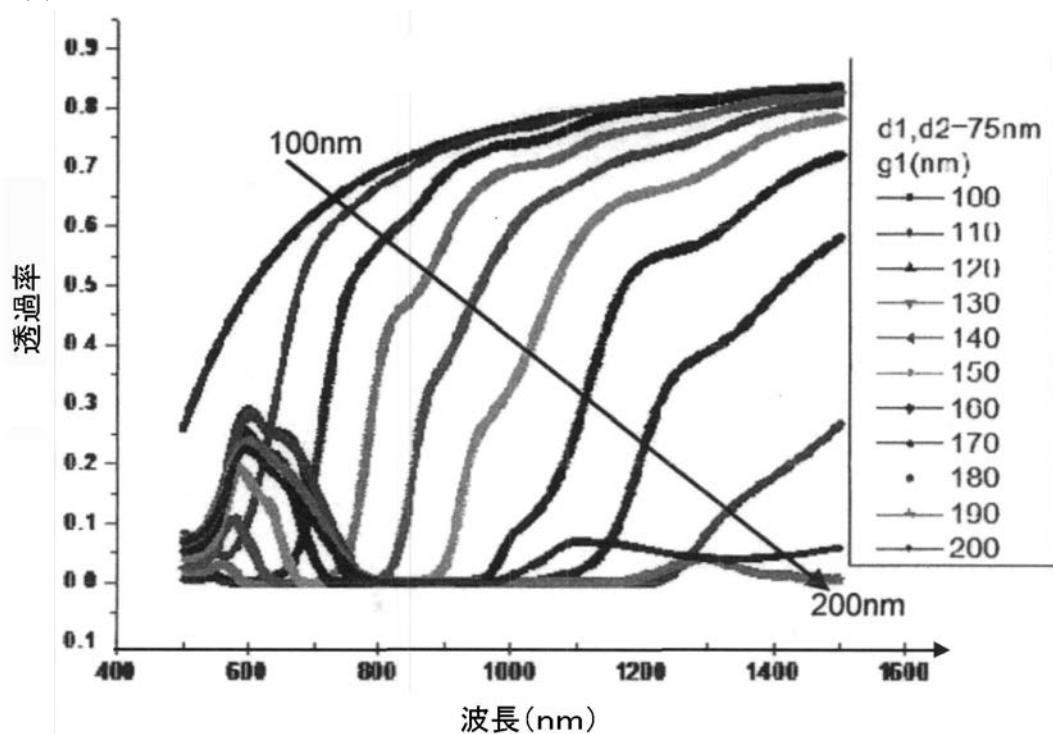
【図 2】

**FIGURE 2**

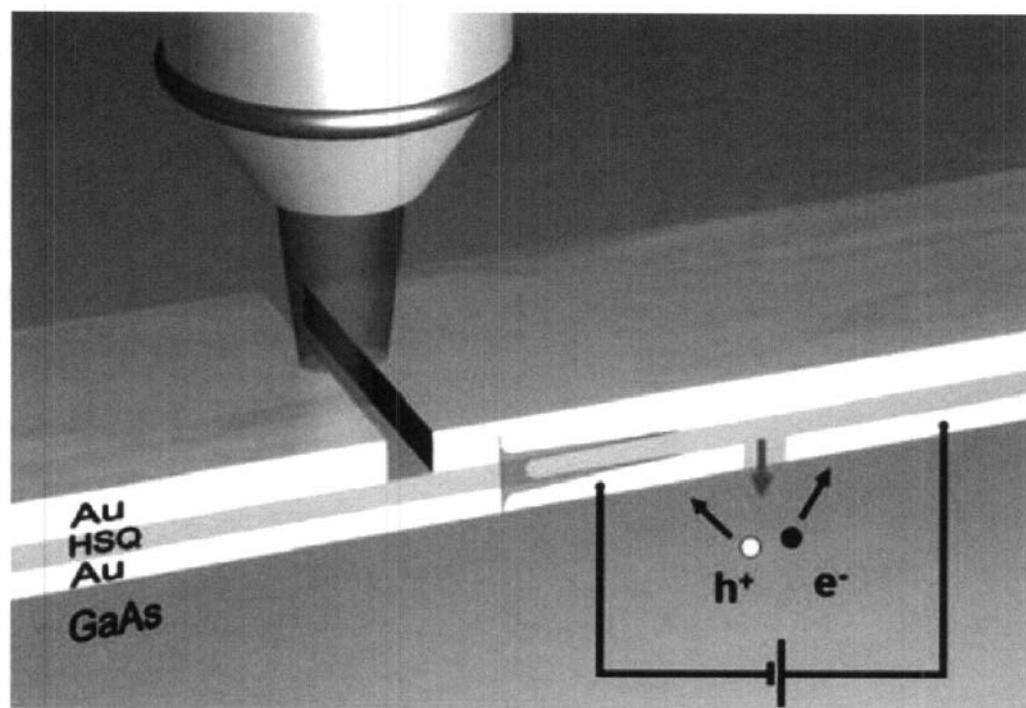
【図 3 a】

**FIGURE 3a**

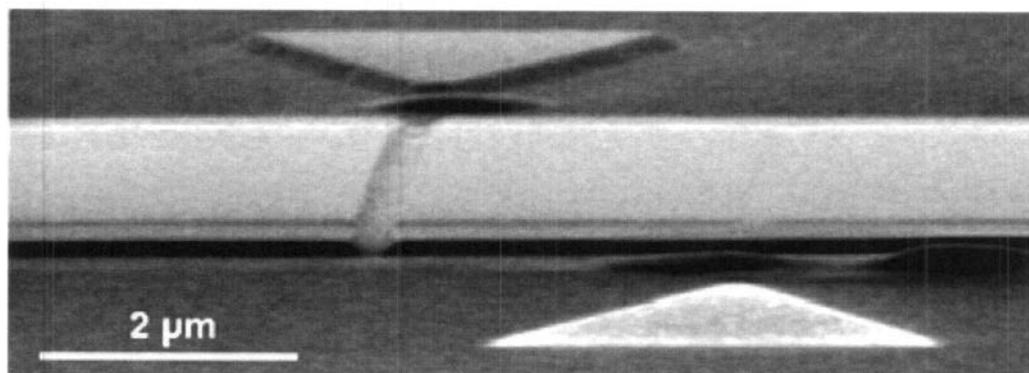
【図 3 b】

**FIGURE 3b**

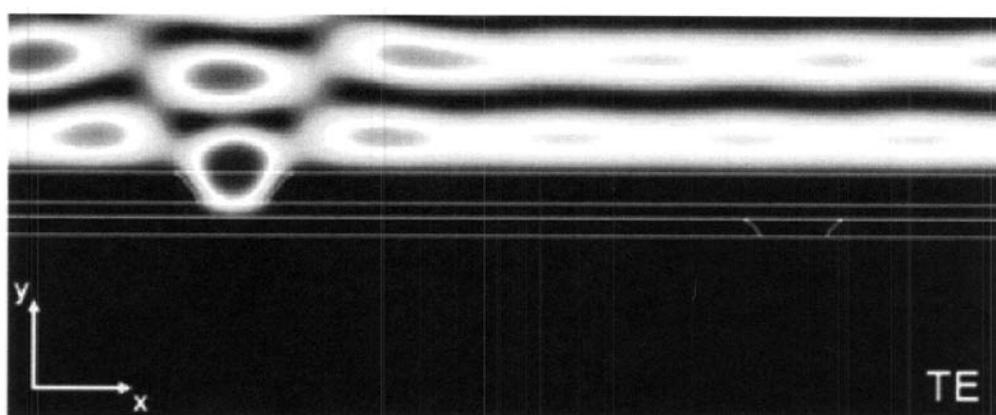
【図 4】

**FIGURE 4**

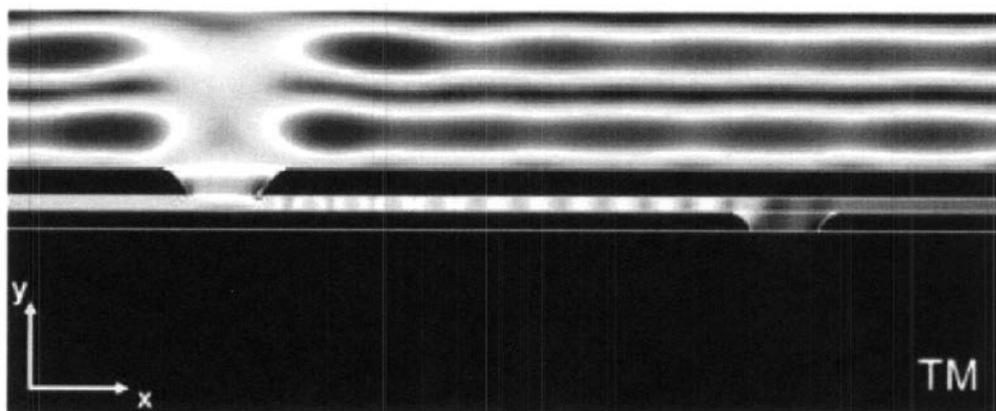
【図5】

**FIGURE 5**

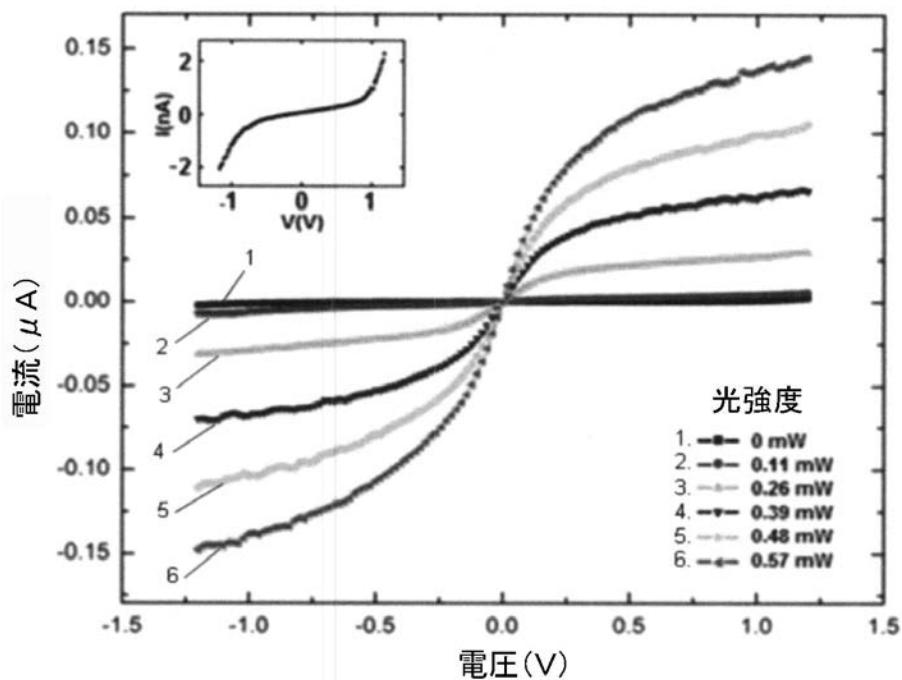
【図6a】

**FIGURE 6a**

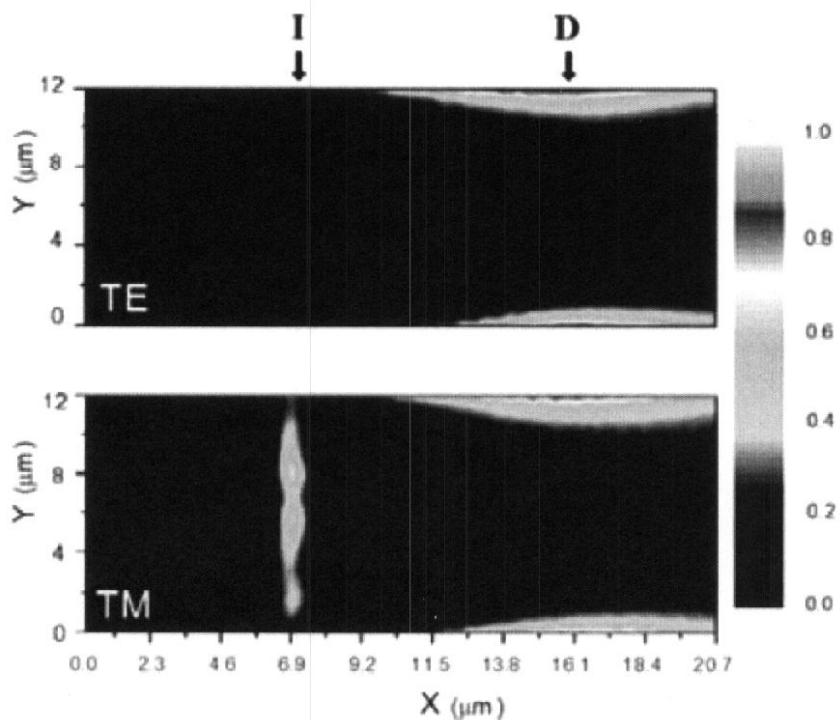
【図6b】

**FIGURE 6b**

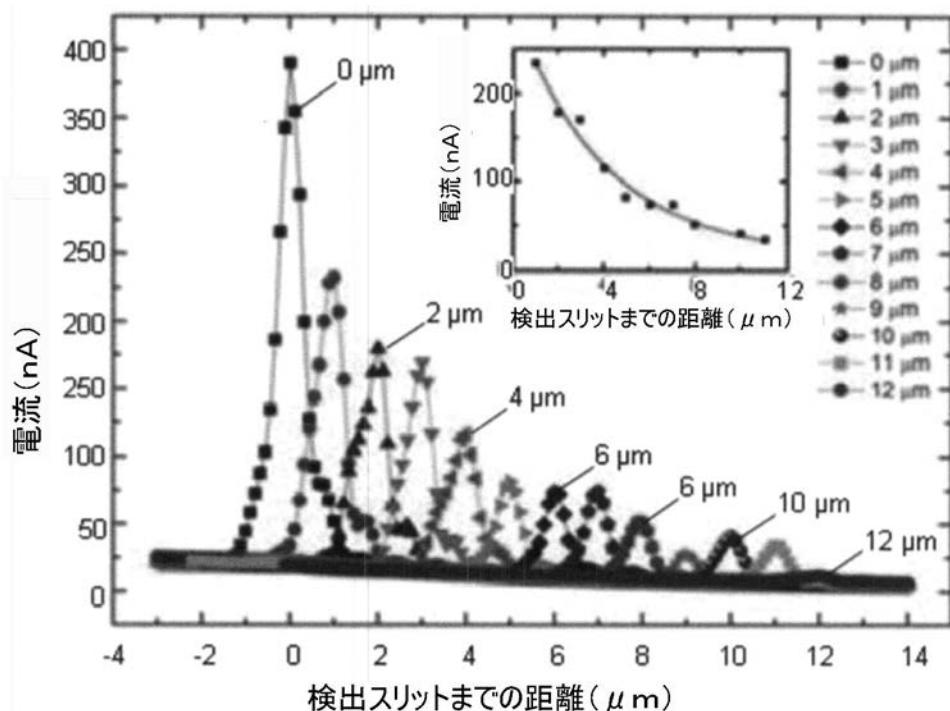
【図 7】

**FIGURE 7**

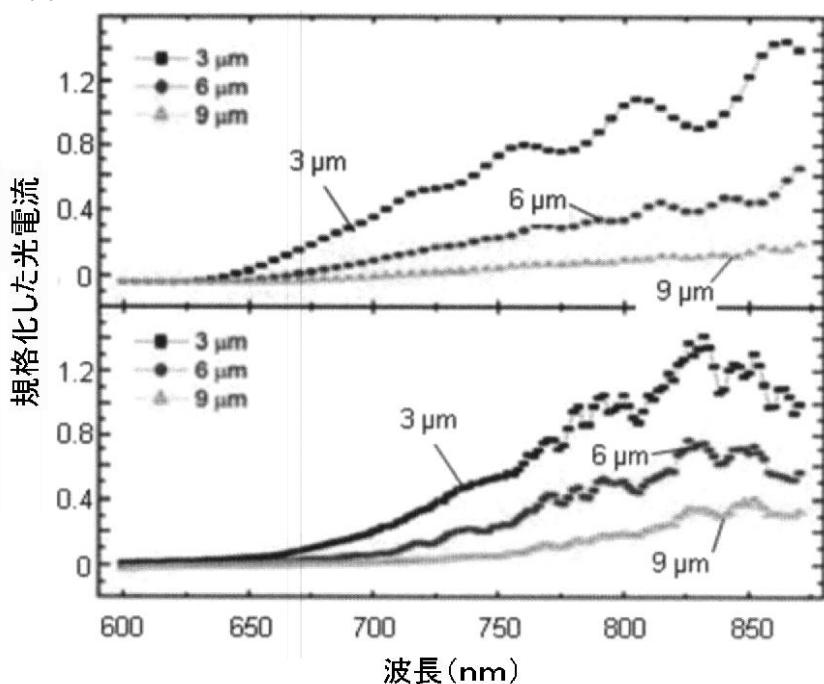
【図 8 a】

**FIGURE 8a**

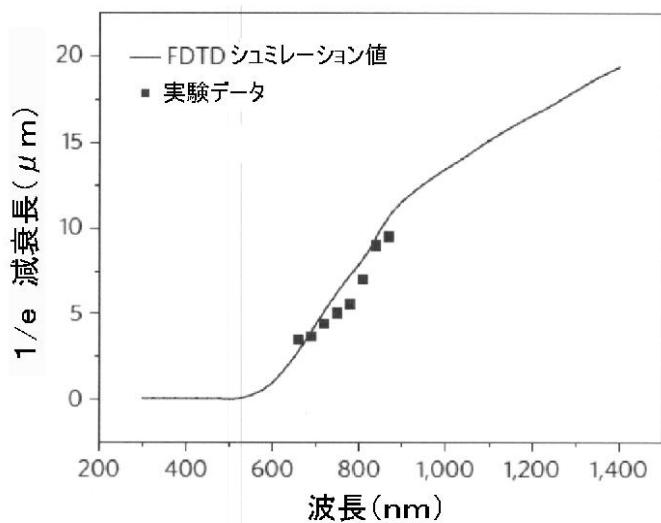
【図 8 b】

**FIGURE 8b**

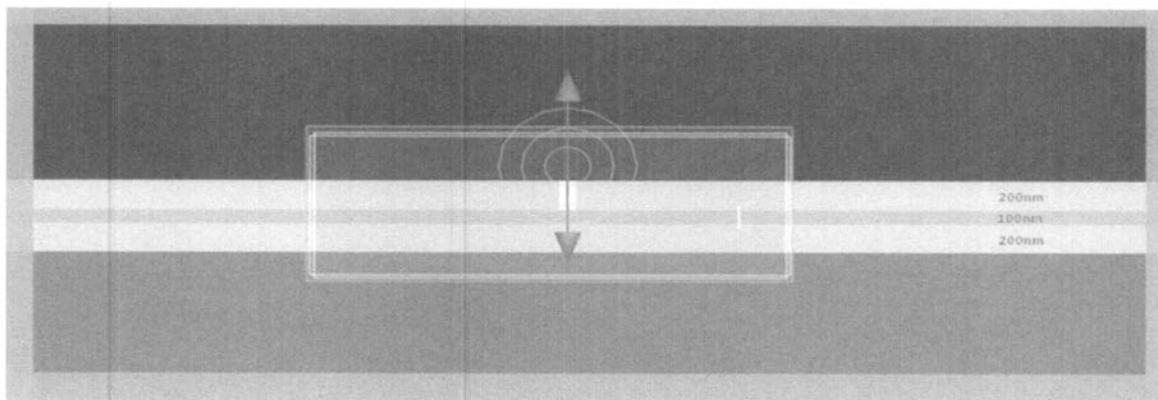
【図 9 a】

**FIGURE 9a**

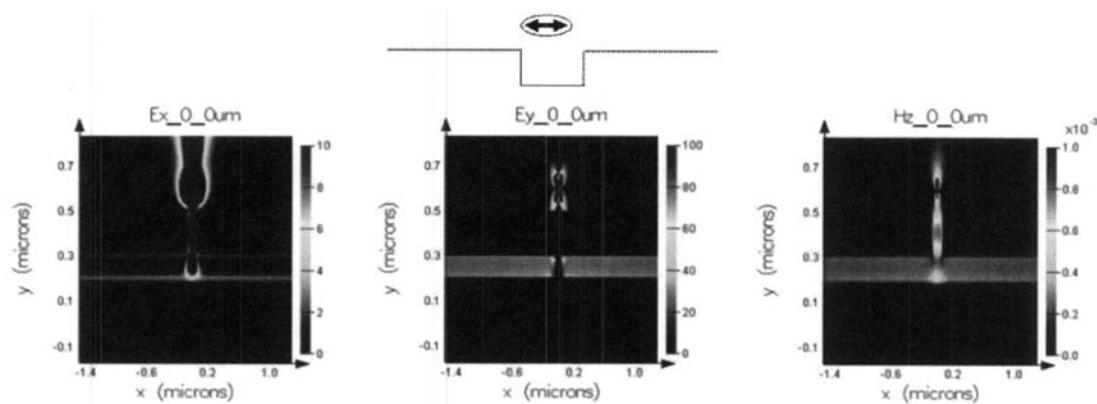
【図 9 b】

**FIGURE 9b**

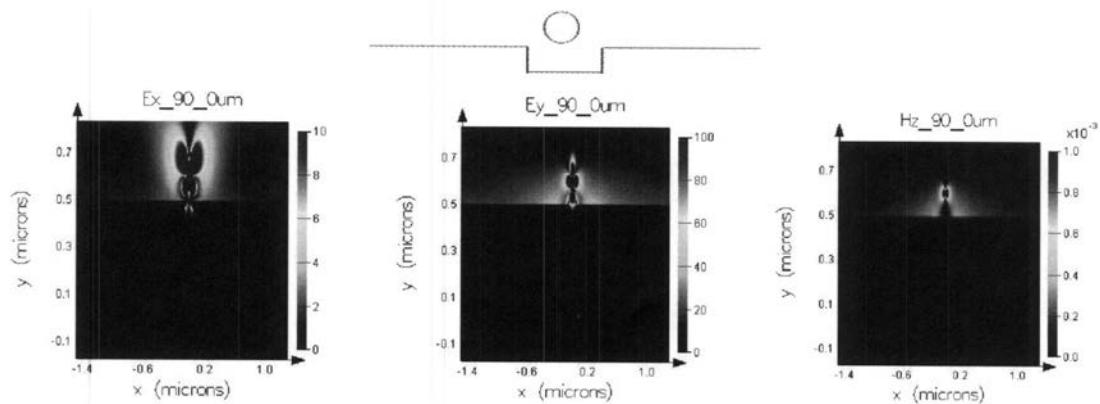
【図 10】

**FIGURE 10**

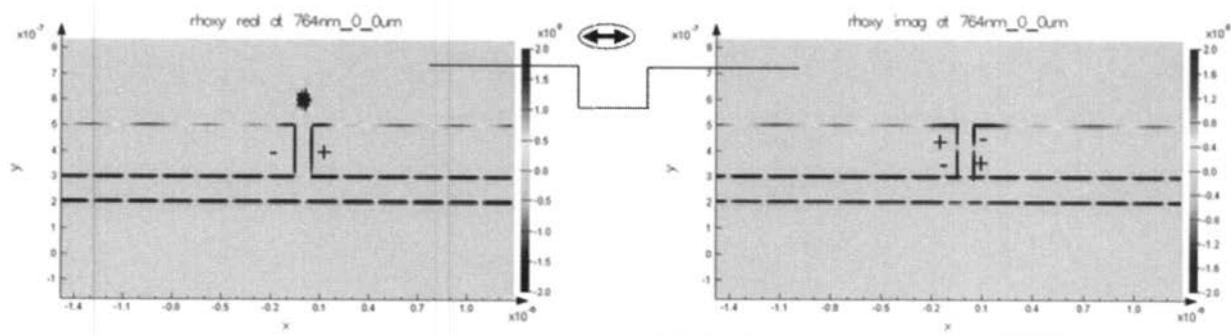
【図 11 a】

**FIGURE 11a**

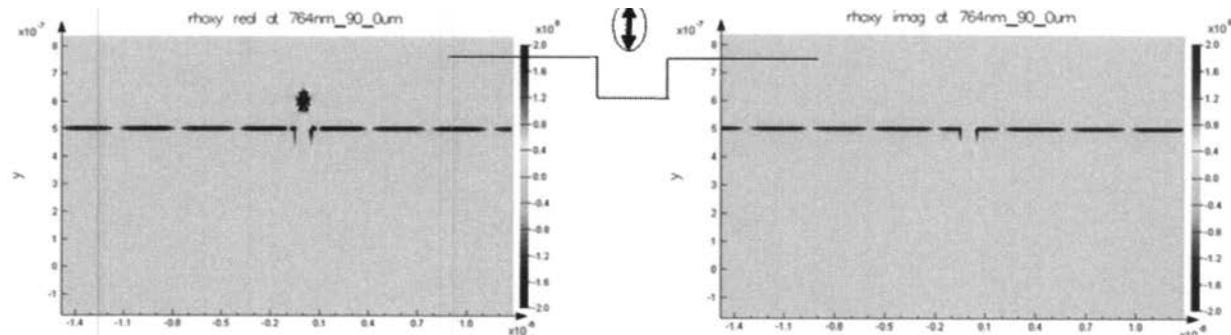
【図 1 1 b】

**FIGURE 11b**

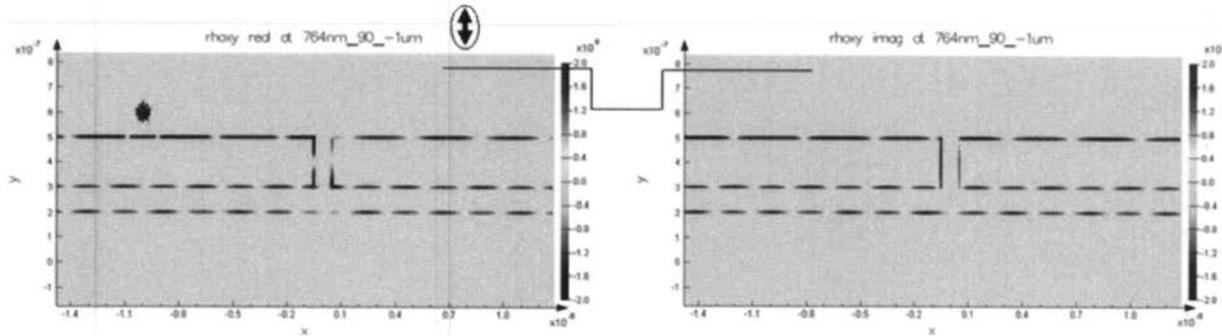
【図 1 2 a】

**FIGURE 12a**

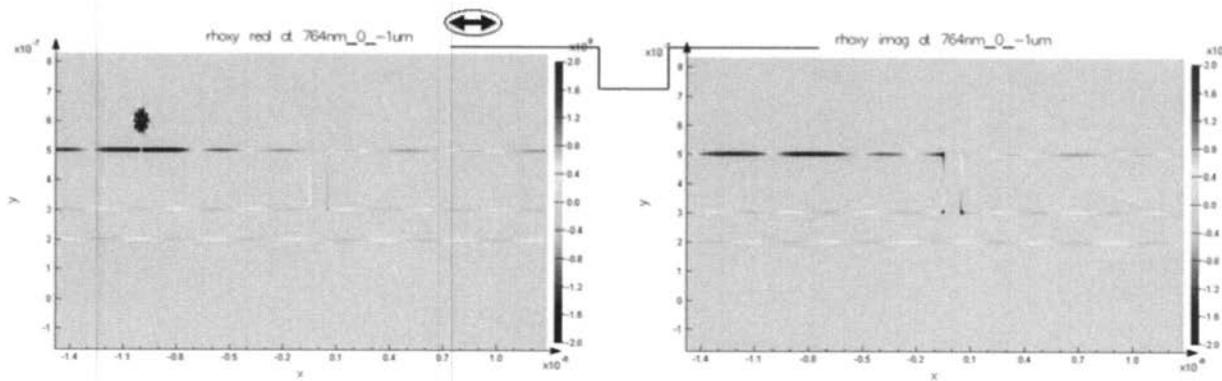
【図 1 2 b】

**FIGURE 12b**

【図 12c】

**FIGURE 12c**

【図 12d】

**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 <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left; padding: 2px;">Category*</th> <th style="text-align: left; padding: 2px;">Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages</th> <th style="text-align: left; padding: 2px;">Relevant to claim No.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="padding: 2px;">X</td> <td style="padding: 2px;">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</td> <td style="padding: 2px;">1-3,8, 11-19, 21,22, 25,26</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">X</td> <td style="padding: 2px;">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</td> <td style="padding: 2px;">1-3,8, 11-19, 21,22, 25,26</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;"></td> <td style="padding: 2px;">----- -/-</td> <td style="padding: 2px;">----- -/-</td> </tr> </tbody> </table>			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		----- -/-	----- -/-
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												
	----- -/-	----- -/-												
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C.		<input checked="" type="checkbox"/> 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														
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.O. 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 DE 60304988 T2 EP 1445632 A1 JP 2004226963 A KR 20040067790 A US 2005265652 A1 US 2005249461 A1 US 2004146246 A1	15-06-2006 07-12-2006 11-08-2004 12-08-2004 30-07-2004 01-12-2005 10-11-2005 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,S,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 ポル・ファン・ドルペ

ベルギー、ベー - 3510スバルベーク、ウェイエルストラート10番

(72)発明者 ピーテル・ネーテンス

ベルギー、ベー - 8200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 BB27 BB31 BE01 DA08

2H147 AB05 AC12