

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5744845号
(P5744845)

(45) 発行日 平成27年7月8日(2015.7.8)

(24) 登録日 平成27年5月15日(2015.5.15)

(51) Int.Cl.

F 1

G02F 1/01 (2006.01)
B82Y 20/00 (2011.01)
B82Y 40/00 (2011.01)G02F 1/01
B82Y 20/00
B82Y 40/00

F

請求項の数 32 (全 16 頁)

(21) 出願番号 特願2012-508397 (P2012-508397)
 (86) (22) 出願日 平成22年4月27日 (2010.4.27)
 (65) 公表番号 特表2012-525603 (P2012-525603A)
 (43) 公表日 平成24年10月22日 (2012.10.22)
 (86) 國際出願番号 PCT/KR2010/002649
 (87) 國際公開番号 WO2010/126286
 (87) 國際公開日 平成22年11月4日 (2010.11.4)
 審査請求日 平成23年12月14日 (2011.12.14)
 (31) 優先権主張番号 12/432,967
 (32) 優先日 平成21年4月30日 (2009.4.30)
 (33) 優先権主張国 米国(US)

前置審査

(73) 特許権者 510116761
 ユニバーシティ オブ ソウル インダストリー コーオペレーション ファウンデーション
 大韓民国, ソウル 130-743, ドンデムン-グ, ジョンノン-ドン 90, ユニバーシティ オブ ソウル
 (74) 代理人 100093861
 弁理士 大賀 真司
 (74) 代理人 100129218
 弁理士 百本 宏之
 (72) 発明者 アン, ドヨル
 大韓民国, ソウル 138-737, ソン-パー-グ, オグム-ドン, テリム・アパートメント・19, 7-1304

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 ポラリトンモード光スイッチ

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

基板と、

第1の光場閉込め構造体が光子を受け取る表面を備え、第2の光場閉込め構造体が該第1の光場閉込め構造体から離隔される、前記基板上に位置する第1の光場閉込め構造体および第2の光場閉込め構造体と、

前記第1の光場閉込め構造体と前記第2の光場閉込め構造体の間に配置された量子構造体とを備え、

前記第1の光場閉込め構造体および前記第2の光場閉込め構造体が、前記基板面と平行な方向に細長い金属構造体で、

前記第1の光場閉込め構造体および前記第2の光場閉込め構造体が、間に光子の光場を実質的に閉じ込めるように構成されている、デバイス。

【請求項2】

前記量子構造体が、受け取られた前記光子の波長に応じて、モット絶縁体モードおよび超流動モードで選択的に動作するように構成されている、請求項1に記載のデバイス。

【請求項3】

前記第1の光場閉込め構造体および前記第2の光場閉込め構造体の少なくとも一方が前記量子構造体と接触している、請求項1に記載のデバイス。

【請求項4】

前記第1の光場閉込め構造体および前記第2の光場閉込め構造体の少なくとも一方が前記量子構造体と接触している、請求項1に記載のデバイス。

記量子構造体から離隔されている、請求項 1 に記載のデバイス。

【請求項 5】

前記第 1 の光場閉込め構造体と前記第 2 の光場閉込め構造体が、前記光子の波長以下の距離だけ離隔されている、請求項 1 に記載のデバイス。

【請求項 6】

前記第 1 の光場閉込め構造体および前記第 2 の光場閉込め構造体が、前記光子の波長の 4 分の 1 以下の厚さのものである、請求項 4 に記載のデバイス。

【請求項 7】

前記細長い金属構造体が、矩形の金属構造体である、請求項 1 に記載のデバイス。

【請求項 8】

前記細長い金属構造体が、くさび形金属構造体である、請求項 1 に記載のデバイス。

10

【請求項 9】

前記細長い金属構造体が、本質的に Ag、Al、Au、Ni、および Ti からなる群から選択される少なくとも 1 つの材料製である、請求項 1 に記載のデバイス。

【請求項 10】

前記第 1 の光場閉込め構造体および前記第 2 の光場閉込め構造体がフォトニック結晶である、請求項 1 に記載のデバイス。

【請求項 11】

前記量子構造体が、本質的に II - VI 族半導体化合物および II - V 族半導体化合物からなる群から選択される 1 つまたは複数の材料製である、請求項 1 に記載のデバイス。

20

【請求項 12】

前記量子構造体が、x の値が 0.5 と 1.0 の間である Cd_xZn_{1-x}S 製である、請求項 1 に記載のデバイス。

【請求項 13】

前記量子構造体が、x の値が 0 と 1 の間である CdSe_xS_{1-x} 製である、請求項 1 に記載のデバイス。

【請求項 14】

前記基板と前記第 1 の光場閉込め構造体および前記第 2 の光場閉込め構造体との間に配置されたバッファ層をさらに備える、請求項 1 に記載のデバイス。

30

【請求項 15】

デバイスを作製するための方法であって、

基板面と平行な方向に細長い金属構造体である複数の光場閉込め構造体を、前記基板上に形成するステップであり、前記光場閉込め構造体のそれぞれは互いに離隔されている、ステップ、および

誘電材料製の少なくとも 2 つの量子構造体を有し、当該各量子構造体を前記光場閉込め構造体間のそれぞれに形成するステップと、

を含む方法。

【請求項 16】

前記の少なくとも 2 つの量子構造体を形成するステップが、

40

誘電体層を前記基板上に形成するステップ、および

前記誘電体層をパターニングし、複数のトレンチを画定するステップを含み、

前記の複数の光場閉込め構造体を形成するステップが、

金属構造体を前記複数のトレンチ内に形成することを含む、請求項 15 に記載の方法。

【請求項 17】

前記複数の光場閉込め構造体を形成するステップが、

金属層を前記基板上に形成するステップ、および

前記金属層をパターニングし、複数のトレンチを画定するステップを含み、

前記少なくとも 2 つの量子構造体を形成するステップが、前記量子構造体を前記トレンチ内に形成するステップを含む、請求項 15 に記載の方法。

50

【請求項 18】

少なくとも 1 つの光場閉込め構造体がフォトニック結晶である、請求項 15 に記載の方法。

【請求項 19】

バッファ層が前記複数の光場閉込め構造体のうちの少なくとも 1 つと前記基板との間に位置するように、前記バッファ層を前記基板上に形成するステップをさらに含む、請求項 15 に記載の方法。

【請求項 20】

前記複数の光場閉込め構造体が、光スイッチングユニットによって透過させようとする光子の波長以下の距離だけ離隔される、請求項 15 に記載の方法。

10

【請求項 21】

前記複数の光場閉込め構造体のうちの少なくとも 2 つが、光スイッチングユニットによって透過させようとする光子の波長の 4 分の 1 以下の距離だけ離隔される、請求項 20 に記載の方法。

【請求項 22】

前記複数の光場閉込め構造体が、Ag、Al、Au、Ni、およびTi からなる群から選択される材料製である、請求項 15 に記載の方法。

【請求項 23】

基板と、

前記基板上に位置する光スイッチングユニットとを備え、前記光スイッチングユニットが、

20

複数の量子構造体と、

金属を含む複数の光場閉込め構造体のそれぞれの、第 1 の側および第 2 の側に位置する複数の光場閉込め構造体と、

光子入力表面と、

光子出力表面とを含み、

前記複数の量子構造体は、前記複数の光場閉込め構造体間に配置され、

前記光場閉込め構造体が、前記光子入力表面と光子出力表面とを含み、

前記光子入力表面は、前記光場閉込め構造体の第 1 の表面であり、前記光子出力表面は

、前記光場閉込め構造体の前記第 1 の表面とは別の第 2 の表面であり、

30

前記量子構造体のそれぞれの中で生成された光場の効果により、前記光子入力表面で受け取られた光子が前記量子構造体を介してホップし、前記光スイッチングユニットから前記光子出力表面に透過することができるよう、前記複数の量子構造体、前記複数の光場閉込め構造体、前記光子入力表面、および前記光子出力表面が位置するように構成されている、光スイッチングデバイス。

【請求項 24】

前記光場閉込め構造体の一方が、前記光子入力表面を含み、前記光場閉込め構造体の他方が、前記光子出力表面を含む、請求項 23 に記載のデバイス。

【請求項 25】

前記光スイッチングユニットが、前記光スイッチングユニット内で受け取られた光子の波長に応じて、超流動モードまたはモット絶縁体モードで選択的に動作する、請求項 24 に記載のデバイス。

40

【請求項 26】

前記光場閉込め構造体が、所定の距離だけ離隔されている、請求項 24 に記載のデバイス。

【請求項 27】

前記所定の距離が、2 つの隣接する光場閉込め構造体ごとに実質的に同じである、または前記隣接する光場閉込め構造体の少なくともいくつかについて異なる、請求項 26 に記載のデバイス。

【請求項 28】

50

前記金属の誘電率が、前記光スイッチングユニットを介して透過させようとする波長の特定のスペクトル用に構成されている、請求項 27 に記載のデバイス。

【請求項 29】

データ光信号と制御光信号の組合せエネルギーが前記量子構造体の遷移エネルギーに実質的に等しいとき、前記光スイッチングユニットが前記データ光信号を透過する、請求項 27 に記載のデバイス。

【請求項 30】

基板と、

前記基板上に形成され、表面プラズモン導波路として動作するように構成された複数の光場閉込め構造体であって、光子入力表面と光子出力表面とを含む、光場閉込め構造体と

10

、前記複数の光場閉込め構造体間に配置され、当該光場閉込め構造体を分離する複数の量子構造体とを備え、

前記光子入力表面は、前記光場閉込め構造体の第 1 の表面であり、前記光子出力表面は、前記光場閉込め構造体の前記第 1 の表面とは別の第 2 の表面であり、

前記複数の光場閉込め構造体および前記複数の量子構造体が、特定のスペクトル内の波長を有する光子を透過するように構成され、前記複数の光場閉込め構造体が金属である、光スイッチングデバイス。

【請求項 31】

データ光信号と制御光信号の組合せエネルギーが前記量子構造体の遷移エネルギーに実質的に等しいとき、前記特定のスペクトル内の前記波長が透過される、請求項 30 に記載のデバイス。

20

【請求項 32】

前記光場閉込め構造体が、前記特定のスペクトルのために選択された誘電率を有する、請求項 30 に記載のデバイス。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

記載されている技術は、一般に光スイッチに関し、より詳細にはポラリトンモード光スイッチに関する。

30

【背景技術】

【0002】

光スイッチは商業上重要であり、広範な応用分野で使用される。たとえば、光情報処理や光通信において、複数の光スイッチを使用することができる。

【発明の概要】

【課題を解決するための手段】

【0003】

周波数依存性の光スイッチングのためのデバイス、方法、および技法が提供される。一実施形態では、デバイスが、基板と、基板上に位置する第 1 の光場閉込め構造体および第 2 の光場閉込め構造体と、第 1 の光場閉込め構造体と第 2 の光場閉込め構造体の間に配置された量子構造体とを含む。光子を受け取る表面を含むことができる第 1 の光場閉込め構造体と、第 1 の光場閉込め構造体から離隔させることができる第 2 の光場閉込め構造体とを、間に光子の光場を実質的に閉じ込めるように構成することができる。

40

【0004】

前述の概要は、例示的なものにすぎず、決して限定するものではない。上述の例示的な態様、実施形態、および特徴に加えて、図面および以下の詳細な説明を参照することによって、他の態様、実施形態、特徴が明らかになろう。

【図面の簡単な説明】

【0005】

【図 1】光スイッチングデバイスの例示的な一実施形態の斜視図である。

50

【図2】図1に示されている光スイッチングデバイスの、2つの細長い金属構造体間の電場を示す図である。

【図3】細長いくさび形金属構造体を有する光スイッチングデバイスの例示的な一実施形態の斜視図である。

【図4】フォトニック結晶を有する光スイッチングデバイスの例示的な一実施形態の斜視図である。

【図5】フォトダイオードデバイスを作製するための方法の例示的な一実施形態の流れ図である。

【図6】矩形の金属構造体を有する光スイッチングユニットを作製するための方法の例示的な一実施形態の流れ図である。

10

【図7】7A～7Cは図6に示されている方法を示す一連の図である。

【図8】細長いくさび形金属構造体を有する光スイッチングデバイスを作製するための方法の例示的な一実施形態の流れ図である。

【図9】9A～9Cは図8に示されている方法を示す一連の図である。

【図10】フォトニック結晶を有する光スイッチングユニットを作製するための方法の例示的な一実施形態の流れ図である。

【図11】11Aおよび11Bは図10に示されている方法を示す一連の図である。

【発明を実施するための形態】

【0006】

以下の詳細な説明では、本明細書の一部を形成する添付の図面を参照する。図面では、別段文脈により示されない限り、同様の符号は、一般に同様の構成要素を識別する。詳細な説明、図面、および特許請求の範囲に記載されている例示的な実施形態は、限定するものではない。本明細書に示されている主題の精神および範囲から逸脱することなしに、他の実施形態を使用すること、および他の変更を加えることができる。本明細書に全体的に記載されている、また図に示されている本開示の諸態様は、それらのすべてが本明細書において明示的に企図されている多種多様な異なる構成で構成し、置き換え、組み合わせ、分離し、かつ設計することができるが容易に理解されよう。

20

【0007】

図1は、光スイッチングデバイス100の例示的な一実施形態の斜視図を例示するものである。図1を参照すると、光スイッチングデバイス100は、基板110と、基板110上に位置するバッファ層120と、バッファ層120上に位置する光スイッチングユニット130とを含むことができる。

30

【0008】

一実施形態では、基板110は、サファイア製とすることができます。他の実施形態では、基板110は、適切な半導体材料製とすることができます。そのような半導体材料の例には、それだけには限らないがケイ素(Si)、ゲルマニウム(Ge)、およびヒ化ガリウム(GaAs)が含まれる。バッファ層120は、下にある基板110、および/または上にある光スイッチングユニット130と実質的に格子整合する材料製とすることができます。一実施形態では、バッファ層120は、GaAs、InGaAs、AlGaAs、および/または当技術分野で知られている任意の他の適切な材料製とすることができます。

40

【0009】

光スイッチングユニット130は、その一部分を介して光子10を受け取り、受け取られた光子10の波長を決定し、受け取られた光子10が所定の波長のものである場合、所定の波長の受け取られた光子10を、たとえば光スイッチングユニット130の別の部分を介して出力するように構成される。一実施形態では、光スイッチングユニット130は、所定の距離だけ互いに離隔されている、光場閉込め構造体131a～131e(以下、まとめて光場閉込め構造体131と呼ぶ)など複数の光場閉込め構造体と、光場閉込め構造体131間に配置される、量子構造体132a～132d(以下、まとめて量子構造体132と呼ぶ)など複数の量子構造体とを含むことができる。量子構造体132の例には、それだけには限らないが量子ワイヤおよび量子ドットが含まれる。たとえば、光スイ

50

チングユニット 130 は、光場閉込め構造体 131a の表面（以下、「光子入力表面」と呼ぶ）を介して光子 10 を受け取り、光子 10 が所定の波長のものである場合、それら（すなわち、所定の波長の光子 10）を光場閉込め構造体 131d の別の表面（以下、「光子出力表面」と呼ぶ）を介して出力することができる。光子 10 が所定の波長のものでない場合、光スイッチングユニット 130 は、受け取られた光子 10 を透過しない。

【0010】

光スイッチングユニット 130 の物理的な動作は、以下のように定性的に述べができる。光子 10 が光子入力表面を介して受け取られ、図 1 に示されている x 軸に沿って光スイッチングユニット 130 を介して移動すると、光場が量子構造体 132 内でそれぞれ生成される可能性がある。これらの光場は、量子構造体 132 内の電子とそこを移動する光子 10 との結合を引き起こし、量子構造体 132 内でポラリトンを生成することができる。説明を簡単にするために、ポラリトンが量子構造体 132 内で誘導される光スイッチングユニット 130 の動作モードを、「ポラリトンモード」と呼ぶ。10

【0011】

ポラリトンモードについてより詳細に述べると、光スイッチングユニット 130 の量子構造体 132a ~ 132d の 1 つは、以下の形態の、強く相互作用するボーズ・ハバード・ハミルトニアンを有することができる。

【0012】

【数 1】

$$H = \sum_i H_i^{JC} - \sum_{i,j} K_{ij} a_i^\dagger a_j - \sum_i \mu_i N_i$$

【0013】

上式で、 i および j は整数であり、 H_i^{JC} は、 i 番目の量子構造体での光子および電子についてのジェインズ・カミングスハミルトニアンであり、 $K_{i,j}$ は、 i 番目の量子構造体と j 番目の量子構造体の間の結合定数であり、 μ_i は、 i 番目の量子構造体の化学ポテンシャルであり、 N_i は、 i 番目の量子構造体内での原子励起および光子励起の総数であり、 a_i^\dagger は、 i 番目の量子構造体での光子の生成演算子である。30

【0014】

式 1 におけるジェインズ・カミングスハミルトニアンは、以下のように表すことができる（簡単にするために、 H_i^{JC} の下付き文字「 i 」は省略されている）。

【0015】

【数 2】

$$H^{JC} = \epsilon \sigma_+ \sigma_- + \omega a^\dagger a + \beta (\sigma_+ a + \sigma_- a^\dagger)$$

【0016】

上式で、 ϵ は、 i 番目の量子構造体の電子基底状態 $|g\rangle$ と励起状態 $|e\rangle$ とのエネルギー差であり、 ω は光子エネルギーであり、 β は電子 - 光子結合定数であり、 σ_+ および σ_- は、それぞれ原子上昇演算子 $|e\rangle \langle g|$ および原子下降演算子 $|g\rangle \langle e|$ である。40

10

20

30

40

50

【0017】

量子構造体132は、少なくとも2つの離散的な電子エネルギーレベル状態（たとえば、基底状態および励起状態）を有することができる。より低い電子エネルギーレベル状態にある電子をより高い電子エネルギーレベル状態に励起するために必要とされるエネルギーは、量子構造体の「遷移エネルギー」と呼ぶことができる。遷移エネルギーと、特定の波長の光子10のエネルギーとの差は、「デチューニング」と呼ぶことができる。デチューニングは、以下の式によって表すことができる。

【0018】

[式3]

= -

10

【0019】

上式で、 Δ は、ある量子構造体の電子基底状態 $|g\rangle$ と励起状態 $|e\rangle$ とのエネルギーレベル差であり、 χ は、その量子構造体に入力された光子のエネルギーであり、 n は、デチューニング変数である。

【0020】

量子構造体132内の強い光場は、量子構造体132内の電子とそこを通過する光子との結合を引き起こすことができる。これは、量子構造体132のそれぞれにおいてドレスト状態 (dressed state) (すなわち、 n 個の光子と励起された電子 (1つまたは複数)との組み合わされた状態、または n 個のポラリトンであり、 n は自然数である)を生成し、これはジェインズ・カミングスハミルトニアンの固有状態である。 n 個のポラリトンは、以下の式によって説明することができる。

20

【0021】

【数3】

$$E_n^\pm = n\omega - \Delta/2 \pm \chi(n), \chi(n) = \sqrt{\beta^2 n + \Delta^2/4}$$

$$|\pm n\rangle = \frac{[-(\Delta/2 \mp \chi(n))|g, n\rangle + \beta\sqrt{n}|e, n-1\rangle]}{\sqrt{2\chi^2(n) \mp \Delta\chi(n)}}$$

30

【0022】

上式で、 E_n^\pm は、 n を光子の数とする n 個のポラリトンのポラリトンエネルギーであり、 ω は光子エネルギーであり、 Δ は電子 - 光子結合定数であり、 β はデチューニング変数であり、 $|\pm n\rangle$ は、 n ポラリトンまたはポラリトン状態であり、 $|g, n\rangle$ は、電子が、 n 個の光子と共に基底状態にある状態であり、 $|e, n-1\rangle$ は、励起状態にある電子が、 $n-1$ 個の光子と共にある状態である。

40

【0023】

ポラリトンモードにあるとき、光スイッチングユニット130は、光子10の波長に応じて、超流動モードまたはモット絶縁体モードで選択的に動作することができる。超流動モードは、量子構造体132のうちの1つの中の光子10が隣接する量子構造体132にホップすることが許されるモードである。モット絶縁体モードは、量子構造体132のうちの1つの中の光子10が隣接する量子構造体132にホップすることが許されないモードである。超流動モードにあるとき、光子10が量子構造体132を介してホップするこ

50

とが許されるので、光スイッチングユニット 130 は、受け取られた光子 10 を透過することができる。それに対して、モット絶縁体モードにあるとき、光子 10 が量子構造体 132 を介してホップすることができないので、光スイッチングユニット 130 は、受け取られた光子 10 を透過しない。

【0024】

光子遮断モードと超流動モードの間の遷移は、オーダパラメータ $= \langle a_i \rangle = \langle n \pm | a_i | n \pm \rangle$ によって決まる。光子 10 の角振動数が量子構造体 132 の遷移エネルギーまたは電子エネルギーレベル分離の角振動数に合致するとき（すなわち、 Δ がゼロであるとき）、 Δ はゼロまたはほぼゼロである。この場合、隣接する量子構造体 132 を介した光子 10 のトンネル効果が量子構造体 132 内の光子 10 間の反発相互作用より優位となることができ、光スイッチングユニット 130 は、超流動モードで動作することができる。 Δ がゼロでない場合、 Δ はゼロまたはほぼゼロではない。この場合、光子 10 間の反発相互作用が量子構造体 132 内のトンネル効果より優位となることができ、光スイッチングユニット 130 は、モット絶縁体モードで動作することができる。

10

【0025】

一実施形態では、量子構造体 132 は、本質的に II - VI 族半導体化合物および II - V 族半導体化合物からなる群から選択される 1 つまたは複数の材料製とすることができます。他の実施形態では、量子構造体 132 は、 x の値が 0.5 と 1.0 の間である $Cd_xZn_{1-x}S$ 製とすることができます。他の実施形態では、量子構造体 132 は、 x の値が 0 と 1 の間である $CdSe_xS_{1-x}$ 製とすることができます。

20

【0026】

光スイッチングユニット 130 は、制御光信号を使用して制御することができる。たとえば、所定の波長の制御光信号を、別の所定の波長のデータ光信号と共に供給することができる。制御光信号とデータ光信号の組合せエネルギーが量子構造体 132 の遷移エネルギーに実質的に等しい（すなわち、 Δ がゼロ）場合には、制御光信号とデータ光信号が光スイッチングユニット 130 を通過することができる。制御光信号とデータ光信号の組合せエネルギーが遷移エネルギーに実質的に等しくない場合には、制御光信号とデータ光信号を光スイッチングユニット 130 によって遮断することができる。制御光信号の波長を変え、所定の波長のデータ光信号に対するオン / オフ切替えを選択的に実施することができる。

30

【0027】

光スイッチングユニット 130 は、そこを移動する光子 10 の光場が量子構造体 132 内で閉じ込められる場合、光スイッチとして機能することができる。これは、量子構造体 132 内のより強い光場が、光スイッチングユニット 130 がポラリトンモードで動作し、したがって波長選択性光スイッチとして動作する助けとなることができるからである。量子構造体 132 間に配置された光場閉込め構造体 131 は、光場を量子構造体 132 内によりよく閉じ込める助けとなることができる。

【0028】

一実施形態では、図 1 に示されているように、光場閉込め構造体 131 は、所定の距離だけ離隔された複数の細長い金属構造体 131a ~ 131e を含むことができる。いくつかの実施形態では、間隔は均一とすることができます。たとえば、細長い金属構造体の間で、任意の 2 つの隣接する細長い金属構造体（たとえば、光場閉込め構造体 131a および光場閉込め構造体 131b）間の間隔は、任意の他の 2 つの隣接する細長い金属構造体（たとえば、光場閉込め構造体 131c および光場閉込め構造体 131d）間の間隔と同じとすることができます。他の実施形態では、任意の 2 つの隣接する細長い金属構造体間の間隔は、任意の他の 2 つの隣接する細長い金属構造体間の間隔とは実質的に異なってもよい。以下、光場閉込め構造体 131 を細長い金属構造体 131 とも呼ぶ。2 つの細長い金属構造体 131 は、表面プラズモン導波路として機能することができる。図 2 は、図 1 に示されている光スイッチングデバイス 100 の 2 つの細長い金属構造体 131（たとえば、光場閉込め構造体 131a および光場閉込め構造体 131b）間の電場を示す。図 2 を参

40

50

照すると、図 1 に示されている細長い金属構造体 131a と細長い金属構造体 131b の間に閉じ込められる電場は、下記に示す式 5 によって説明することができる。

【0029】

【数 4】

$$\frac{D_{x_quantum}}{D_{x_metal}} = \frac{\mathcal{E}_{quantum} E_{x_quantum}}{\mathcal{E}_{metal} E_{x_metal}} = 1$$

10

$$\therefore \frac{E_{x_quantum}}{E_{x_metal}} = \frac{\mathcal{E}_{metal}}{\mathcal{E}_{quantum}}$$

【0030】

20

上式で、 D_{x_metal} は、細長い金属構造体 131a または細長い金属構造体 131b 内の、 x 軸に沿った電気変位場であり、 $D_{x_quantum}$ は、量子構造体 132 内の、 x 軸に沿った電気変位場であり、 E_{x_metal} は、細長い金属構造体 131a または細長い金属構造体 131b 内の、 x 軸に沿った電場であり、 $E_{x_quantum}$ は、量子構造体 132 内の、 x 軸に沿った電場であり、 \mathcal{E}_{metal} は、細長い金属構造体 131a または細長い金属構造体 131b の誘電率であり、 $\mathcal{E}_{quantum}$ は、量子構造体 132 の誘電率である。

【0031】

30

図 2 で、また式 5 からわかるように、細長い金属構造体 131a と細長い金属構造体 131b の間（すなわち、量子構造体 132a 内）に閉じ込められる光子 10 の電場は、細長い金属構造体 131a または細長い金属構造体 131b の誘電率と量子構造体 132a の誘電率との比に比例する。したがって、電場の望ましい閉込めは、金属構造体 131a 、 131b 、および / または量子構造体 132a に適した誘電率の材料を選択することによって得ることができる。細長い金属構造体 131a 、 131b は説明を簡単にするために選択されたこと、また 2 つの細長い金属構造体 131 間に電場の説明は、光場閉込め構造体 131 が同じ所定の距離だけ離隔された細長い金属構造体であると仮定して、光スイッチングユニット 130 の任意の 2 つの隣接する細長い金属構造体 131 に適用可能であることを理解されたい。

【0032】

40

一実施形態では、細長い金属構造体 131 は、1 つまたは複数の様々な種類の金属を含むことができる。金属の誘電率は周波数の関数であり、したがって、使用される金属のタイプは、光スイッチングユニット 130 によって透過させようとする光子 10 の周波数または波長によって決まる可能性がある。一実施形態では、細長い金属構造体 131 は、特定のスペクトル（たとえば、青のスペクトル）にとって適正な誘電率を有する金属を含むことができる。たとえば、細長い金属構造体 131 は、Ag、Al、Au、Ni、Ti または任意の他の適切な金属のうちの 1 つまたは化合物を含むことができる。

【0033】

50

金属の誘電率が概して誘電材料（たとえば、量子構造体 132 の材料）の誘電率よりはるかに高いことを考えると、細長い金属構造体 131 の構成により、一般に光子 10 の電場の強い閉込めが可能になり得る。これは、2 つの隣接する細長い金属構造体 131 が光

子 1 0 の波長より短い距離で離隔される場合についてさえ当てはまる。一実施形態では、2つの隣接する細長い金属構造体 1 3 1 は、光スイッチングユニット 1 3 0 によって透過させようとする光子の波長以下の距離だけ離隔されてもよい。他の実施形態では、2つの隣接する細長い金属構造体 1 3 1 は、光スイッチングユニット 1 3 0 によって透過させようとする入射光子の波長の4分の1以下の距離だけ離隔されてもよい。たとえば、光スイッチングユニット 1 3 0 によって透過させようとする光子の波長が約 $1 \mu m$ である場合、光スイッチングユニット 1 3 0 は、隣接する細長い金属構造体 1 3 1 が約 $250 nm$ より短い距離だけ離隔されるように作製することができる。いくつかの実施形態では、隣接する細長い金属構造体 1 3 1 は、約数ナノメートルから数百ナノメートルの範囲内の距離だけ離隔されてもよい。図 1 に示されている細長い金属構造体 1 3 1 は、量子構造体 1 3 2 と接触している。しかし、他の実施形態では、細長い金属構造体 1 3 1 は、隣接する細長い金属構造体 1 3 1 間の距離が量子構造体 1 3 2 の幅より長くなるように量子構造体 1 3 2 から離隔されてもよい。いくつかの実施形態では、量子構造体 1 3 2 の幅は、数ナノメートルの範囲内とすることができます。

【 0 0 3 4 】

図 1 と共にここまで述べた光スイッチングデバイス 1 0 0 は、その光場閉込め構造体として矩形の細長い金属構造体 1 3 1 を使用する。しかし、本開示による光スイッチングデバイスは、異なる形状の金属構造体を含むことができることを理解されたい。たとえば、光場閉込め構造体は、少なくとも2つの細長いくさび形金属構造体を含むことができる。これに関して、図 3 は、細長いくさび形金属構造体 3 3 1 a ~ 3 3 1 e を有する光スイッチングデバイス 3 0 0 の例示的な一実施形態の斜視図を示す。図 1 に示されている光スイッチングデバイス 1 0 0 と同様に、光スイッチングデバイス 3 0 0 は、基板 3 1 0 と、基板 3 1 0 上に位置するバッファ層 3 2 0 と、バッファ層 3 2 0 上に位置する光スイッチングユニット 3 3 0 とを含むことができる。光スイッチングユニット 3 3 0 は、複数の細長いくさび形金属構造体 3 3 1 a ~ 3 3 1 e と、細長いくさび形金属構造体 3 3 1 a ~ 3 3 1 e の間に配置された三角形断面を有する複数の量子構造体 3 3 2 a ~ 3 3 2 d とを含むことができる。

【 0 0 3 5 】

さらに、本開示の光場閉込め構造体は、表面プラズモン導波路として働く少なくとも2つの金属構造体に限定されない。いくつかの実施形態では、フォトニック結晶を光場閉込め構造体として使用することができる。これに関して、図 4 は、そのようなフォトニック結晶 4 3 1 a ~ 4 3 1 e を有する光スイッチングデバイス 4 0 0 の例示的な一実施形態の斜視図を示す。図 1 に示されている光スイッチングデバイス 1 0 0 と同様に、光スイッチングデバイス 4 0 0 は、基板 4 1 0 と、基板 4 1 0 上に位置するバッファ層 4 2 0 と、バッファ層 4 2 0 上に位置する光スイッチングユニット 4 3 0 とを含むことができる。光スイッチングユニット 4 3 0 は、複数のフォトニック結晶 4 3 1 a ~ 4 3 1 e と、フォトニック結晶 4 3 1 a ~ 4 3 1 e の間に配置された複数の量子構造体 4 3 2 a ~ 4 3 2 d とを含むことができる。

【 0 0 3 6 】

フォトニック結晶 4 3 1 a ~ 4 3 1 e は、複数の誘電体ナノ構造または金属誘電体ナノ構造を含むことができる。一実施形態では、図 4 に示されているように、フォトニック結晶 4 3 1 a ~ 4 3 1 e は、複数の穴 4 4 0 が画定された誘電体構造とすることができます。一実施形態では、穴 4 4 0 は、同じ所定の距離だけ離隔させることができる。穴 4 4 0 の直径は、ナノメートル範囲内とすることができます。しかし、他の実施形態では、他のタイプのフォトニック結晶を使用してもよい。たとえば、同じ距離だけ離隔された複数のナノロッドを有するフォトニック結晶を使用することができる。フォトニック結晶 4 3 1 a ~ 4 3 1 e の上記の構成は、それらの間で光子の光場を効果的に閉じ込めることができる。

【 0 0 3 7 】

前述の光スイッチングデバイスは様々な方法で作製することができ、以下、それらの一部について述べる。図 5 は、光スイッチングデバイスを作製するための方法の例示的な実

10

20

30

40

50

施形態の流れ図である。図5を参照すると、ブロック510において、光スイッチングユニットを上に形成するために基板が準備される。ブロック520では、バッファ層が基板上に形成され、ブロック530では、光スイッチングユニットがバッファ層上に形成される。光スイッチングユニットは、基板上に位置し互いに離隔された複数の光場閉込め構造体と、複数の光場閉込め構造体間に配置された誘電材料製の少なくとも1つの量子構造体とを含むことができる。

【0038】

バッファ層および光スイッチングユニットは、好適な堆積技法、エッチング技法、および／またはフォトリソグラフィ技法のうちの1つまたはそれらの任意の組合せによって基板上に形成することができる。好適な堆積技法の例には、それだけには限らないが、化学堆積技法（たとえば、化学気相堆積（CVD）、プラズマCVD（PECVD））、物理堆積技法（たとえば、物理気相堆積（PVD）、および他の堆積技法（たとえば、分子ビームエピタキシ（MBE））が含まれる。好適なエッチング技法の例には、それだけには限らないが、ウェットエッチング、異方性エッチング、およびプラズマエッチングが含まれる。光スイッチングユニットを形成する際に実施される特定のプロセスは、作製しようとする光場閉込め構造体および量子構造体のタイプおよび形状に応じて変わる可能性がある。以下、図1、3、4に示されている光スイッチングユニットのそれぞれを作製するための方法例について述べる。

【0039】

本明細書に開示されているこの、また他のプロセスおよび方法については、それらのプロセスおよび方法で実施される機能を異なる順序で実施することができることを、当業者なら理解するであろう。さらに、概説されているステップおよび動作は、例として提供されているにすぎず、それらのステップおよび動作のいくつかは、開示されている実施形態の本質から逸脱することなしに任意選択とすることができます、組み合わせてより少ないステップおよび動作にすることも可能である。

【0040】

図6は、矩形の金属構造体を有する光スイッチングユニットを作製するための方法の例示的な一実施形態の流れ図である。図7A～図7Cは、図6に示されている方法を示す一連の図である。図6を参照すると、ブロック610において、図7Aに示されているように、基板710上に配置されているバッファ層720上に誘電体層725が形成される。一実施形態では、誘電体層725は、誘電材料をバッファ層720上に堆積することによって形成することができる。ブロック620では、図7Bに示されているように、誘電体層725をパターニングし、細長いトレンチ727a～727eを画定し、それにより複数の量子構造体732a～732dをバッファ層720上に形成する。上記のパターニングプロセスは、当技術分野で知られている適切なマスキングおよび／またはエッチングプロセスを使用することによって実施することができる。ブロック630では、図7Cに示されているように、細長い矩形の金属構造体731a～731eがそれぞれトレンチ727a～727e内に形成される。上記の細長い矩形の金属構造体を形成するプロセスは、当技術分野で知られている適切なマスキングおよび／または堆積プロセスを使用することによって実施することができる。

【0041】

図8は、細長いくさび形金属構造体を有する光スイッチングデバイスを作製するための方法の例示的な一実施形態の流れ図である。図9A～図9Cは、図8に示されている方法を示す一連の図である。図8を参照すると、ブロック810において、図9Aに示されているように、基板910上に配置されているバッファ層920上に金属層926が形成される。たとえば、金属層926は、当技術分野で知られている好適な堆積技法を使用することによってバッファ層920上に堆積させることができる。ブロック820では、図9Bに示されているように、金属層926をパターニングし、複数のくさび形トレンチ929a～929dを画定し、それにより細長いくさび形金属構造体931a～931eをバ

10

20

30

40

50

ツファ層 920 上に形成する。たとえば、金属層 926 は、当技術分野で知られている好適なマスキングおよび / またはエッチング技法を使用することによってパターニングすることができる。ブロック 830 では、図 9C に示されているように、量子構造体 932a ~ 932d をそれぞれトレンチ 929a ~ 929d 内に形成することができる。たとえば、量子構造体 932a ~ 932d は、当技術分野で知られている好適なマスキングおよび / または堆積技法を使用することによって形成することができる。

【0042】

図 10 は、別の例示的な実施形態による、フォトニック結晶を有する光スイッチングユニットを作製するための方法の例示的な一実施形態の流れ図である。図 11A および図 11B は、図 10 に示されている方法を示す一連の図である。図 10 参照すると、ブロック 1010 において、図 11A に示されているように、基板 1110 上に配置されているバッファ層 1120 上に誘電体層 1125 が形成される。ブロック 1020 では、図 11B に示されているように、誘電体層 1125 の一部分をパターニングし、複数の穴 1140 を画定し、それによりフォトニック結晶 1131a ~ 1131e を形成する。パターニングされない部分は、量子構造体 1132a ~ 1132d として機能する。たとえば、誘電体層 1125 の一部分は、当技術分野で知られている適切なマスキングおよび / エッチング技法を使用してパターニングすることができる。

【0043】

本開示は、本願に記載されている特定の実施形態の点で限定されるべきでなく、それらの実施形態は、様々な態様を例示するものとして意図されている。当業者には明らかに、その精神および範囲から逸脱することなしに多数の修正および変形を加えることができる。本明細書に列挙されているものに加えて、本開示の範囲内の機能的に均等な方法および装置は、前述の説明から当業者には明らかであろう。そのような修正および変形は、添付の特許請求の範囲内にあるものとする。本開示は、添付の特許請求の範囲が権利を与えるべきである。本開示は、特定の方法、試薬、化合物組成物、または生物学的システム (biological systems) に限定されず、これらは当然ながら変わり得ることを理解されたい。また、本明細書で使用されている用語は、特定の実施形態について述べるためのものにすぎず、限定するものではないことを理解されたい。

【0044】

本明細書における実質的にどのような複数形および / または単数形の用語の使用に関しても、当業者なら、文脈および / または応用分野に適切なものとなるように複数から単数に、かつ / または単数から複数に読み替えることができる。わかりやすくするために、本明細書において様々な単数 / 複数の並べ替えが明記されている可能性がある。

【0045】

一般に、本明細書、特に添付の特許請求の範囲 (たとえば、添付の特許請求の範囲の本文) 内で使用されている用語は概して「オープンな」用語として意図されていることを、当業者なら理解するであろう (たとえば、「includ ing (含む)」という用語は、「含むがそれだけには限らない」と解釈すべきであり、「having (有する)」という用語は、「少なくとも有する」と解釈すべきであり、「includ es (含む)」という用語は、「含むがそれだけには限らない」と解釈すべきである、など)。さらに、導入される請求項記載事項のある特定の数を意図する場合、そのような意図は特許請求の範囲内に明示的に記載されることになり、そのような記載がない場合、そのような意図はない。たとえば、理解の助けとして、以下の添付の特許請求の範囲が、請求項記載事項を導入するために「少なくとも 1 つ」、「1 つまたは複数」という導入句の使用を含む可能性がある。しかし、そのような句の使用は、不定冠詞「a」または「an」によって請求項記載事項を導入していることが、そのような導入される請求項記載事項を含む特定の請求項を、そのような記載事項を 1 つだけ含む実施形態に限定することを暗示すると解釈すべきでなく、これは同じ請求項が「1 つまたは複数」または「少なくとも 1 つ」という導入句と、「a」または「an」など不定冠詞とを含むときでさえ同様である (たとえば、

10

20

30

40

50

「a」および／または「a n」は、「少なくとも1つ」または「1つまたは複数」を意味すると解釈すべきである）。同じことができるが、請求項記載事項を導入するために使用される定冠詞の使用についても当てはまる。さらに、導入される請求項記載事項のある特定の数が明示的に記載されている場合でさえ、そのような記載は、少なくともその記載されている数を意味すると解釈すべきであることを、当業者なら理解するであろう（たとえば、他の修飾がなく「2つの記載事項」とだけ記載されている場合、少なくとも2つの記載事項、または2つ以上の記載事項を意味する）。さらに、「A、B、およびCなどのうちの少なくとも1つ」のような記法が使用されている場合、一般に、そのような構成は、当業者がその記法を理解するであろう意味で意図されている（たとえば、「A、B、およびCのうちの少なくとも1つを有するシステム」は、それだけには限らないが、Aだけ、Bだけ、Cだけ、AとB、AとC、BとC、および／またはAとBとCなどを有するシステムを含むことになる）。「A、B、またはCなどのうちの少なくとも1つ」のような記法が使用されている場合、一般に、そのような構成は、当業者がその記法を理解するであろう意味で意図されている（たとえば、「A、B、またはCのうちの少なくとも1つを有するシステム」は、それだけには限らないが、Aだけ、Bだけ、Cだけ、AとB、AとC、BとC、および／またはAとBとCなどを有するシステムを含むことになる）。さらに、説明内、特許請求の範囲内、または図面内にかかわらず、2つ以上の二者択一の用語を提示する事実上どのような離接的な単語および／または句も、それらの用語の一方、それらの用語のいずれか、または両方の用語を含む可能性を企図していると理解すべきであることを、当業者なら理解するであろう。たとえば、「AまたはB」という句は、「A」もしくは「B」、または「A」および「B」の可能性を含むと理解される。10

【0046】

さらに、本開示の特徴または態様がマーカッシュグループで表して記載されている場合、それによってその開示がまた、そのマーカッシュグループの任意の個々の構成要素または構成要素のサブグループで表して記載されていることを、当業者なら理解するであろう。20

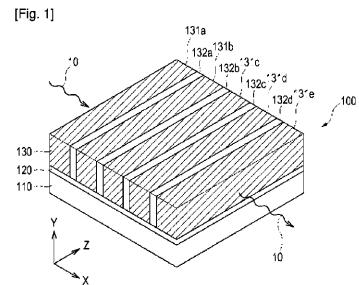
【0047】

当業者なら理解するであろうが、文書を提供するという点など、どのような、またあらゆる目的のために、本明細書に開示されている範囲すべては、可能な部分範囲、およびその部分範囲の組合せの一部およびすべてをも包含する。どの記載された範囲も、同じ範囲を十分に説明し、それを少なくとも等しい半分、3分の1、4分の1、5分の1、10分の1などに分解することを可能にするものと容易に理解することができる。非限定的な例として、本明細書で論じられている各範囲は、下3分の1、中央3分の1、上3分の1などに容易に分解することができる。やはり当業者なら理解するであろうが、「up to（まで、最大）」「at least（少なくとも）」など、すべての文言が、記載されている数を含み、かつ上述のように後で部分範囲に分解することができる範囲を指す。最後に、当業者なら理解するであろうが、ある範囲は、各個々の構成要素を含む。したがって、たとえば1～3個のセルを有するグループは、1個、2個、または3個のセルを有するグループを指す。同様に、1～5個のセルを有するグループは、1個、2個、3個、4個、または5個のセルを有するグループを指し、以下同様である。30

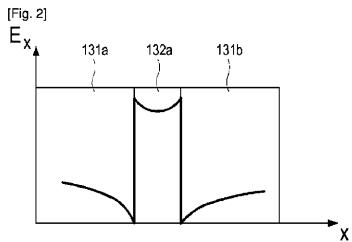
【0048】

前述より、本開示の様々な実施形態が、例示のために本明細書に記載されており、本開示の範囲および精神から逸脱することなしに、様々な修正を加えることができることを理解されたい。したがって、本明細書に開示されている様々な実施形態は、限定するものではなく、真の範囲および精神は、以下の特許請求の範囲によって示される。40

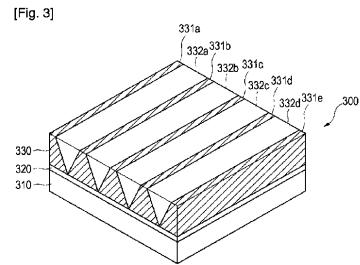
【図1】



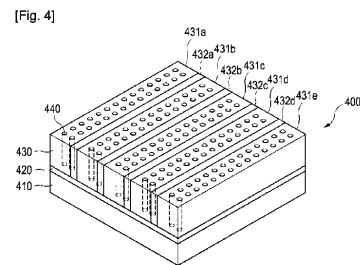
【図2】



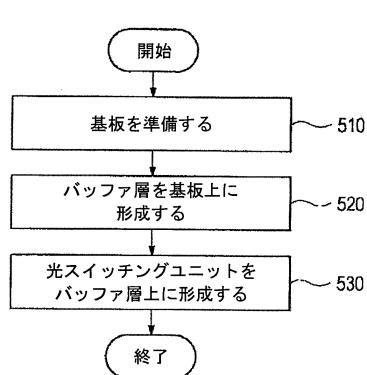
【図3】



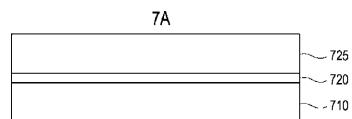
【図4】



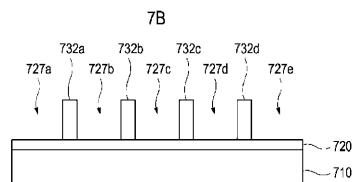
【図5】



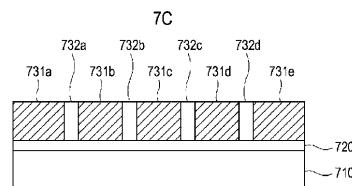
【図7 A】



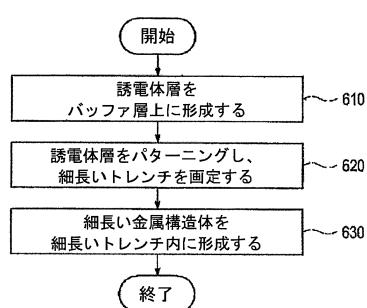
【図7 B】



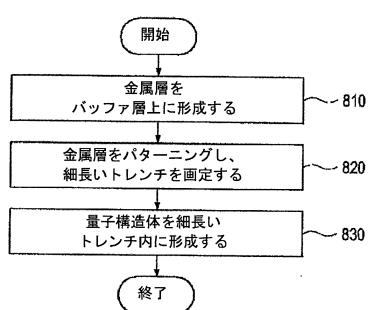
【図7 C】



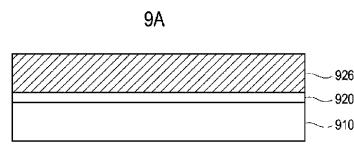
【図6】



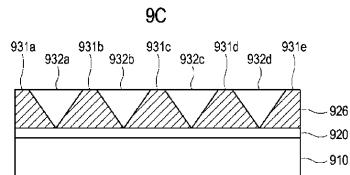
【図 8】



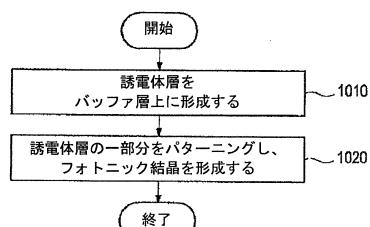
【図 9 A】



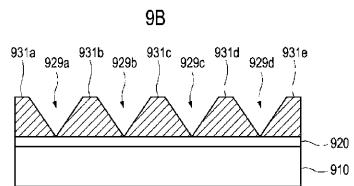
【図 9 C】



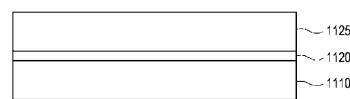
【図 10】



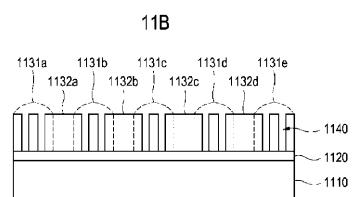
【図 9 B】



【図 11 A】



【図 11 B】



フロントページの続き

審査官 林 祥恵

(56)参考文献 特開平05-072584 (JP, A)
特開平06-095180 (JP, A)
特開2006-332598 (JP, A)
特開2006-039214 (JP, A)
特表2011-501433 (JP, A)
国際公開第02/017011 (WO, A1)
特開2006-259064 (JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G 02 F 1 / 00 - 1 / 125
B 82 Y 20 / 00
B 82 Y 40 / 00
I E E E X p l o r e