

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6785855号
(P6785855)

(45) 発行日 令和2年11月18日(2020.11.18)

(24) 登録日 令和2年10月29日(2020.10.29)

(51) Int. Cl.		F I	
GO2F	1/01	(2006.01)	GO2F 1/01 D
HO1L	27/146	(2006.01)	HO1L 27/146 D
HO1L	31/10	(2006.01)	HO1L 31/10 A
HO1L	31/0232	(2014.01)	HO1L 31/02 D

請求項の数 23 (全 20 頁)

(21) 出願番号 特願2018-522865 (P2018-522865)
 (86) (22) 出願日 平成28年7月20日(2016.7.20)
 (65) 公表番号 特表2018-530793 (P2018-530793A)
 (43) 公表日 平成30年10月18日(2018.10.18)
 (86) 国際出願番号 PCT/EP2016/067341
 (87) 国際公開番号 W02017/013189
 (87) 国際公開日 平成29年1月26日(2017.1.26)
 審査請求日 令和1年7月11日(2019.7.11)
 (31) 優先権主張番号 1556864
 (32) 優先日 平成27年7月20日(2015.7.20)
 (33) 優先権主張国・地域又は機関
 フランス (FR)

(73) 特許権者 506316557
 サントル ナショナル ドゥ ラ ルシェ
 ルシュ シアンティフィック
 フランス国 75016 パリ リュ ミ
 ケランジュ 3
 (73) 特許権者 512269719
 ユニベルシテ デクス マルセイユ
 フランス国 エフー13284 マルセイ
 ユ セデ 07 ブルバー シャルル リ
 ヴォン 58

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 共振ナノ/マイクロ粒子を利用した光学検出器及びフィルタ

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

- プレーン(22)上において配列された、光及び近赤外領域において電磁共振の特性を示す、複数の半導電性又は誘電性ナノ/マイクロ粒子(1)を有する光学フィルタ(14)であって、

- 前記ナノ/マイクロ粒子(1)によって形成された表面及び前記プレーン(22)上において配設された電氣的に調節可能な屈折率を有する層(5)と、

- 前記電氣的に調節可能な屈折率を有する層(5)上において配設された第1電気絶縁層(8)と、

- 前記第1電気絶縁層上において配設された電極(7)と、
 を更に有することを特徴とするフィルタ。

【請求項2】

その面が前記プレーン(22)と一致する第2電気絶縁層(3)を有し、前記第2電気絶縁層は、前記ナノ/マイクロ粒子(1)及び前記電氣的に調節可能な屈折率を有する層(5)との接触状態にある請求項1に記載のフィルタ。

【請求項3】

少なくとも1つの前記ナノ/マイクロ粒子(1)は、その電気特性が、異なり、且つ、アンアイソタイプホモ接合、アイソタイプヘテロ接合、及びアンアイソタイプヘテロ接合のうちから選択される少なくとも1つの接合を形成するのに適する、半導電性コア(19)及び半導電性シェル(20)を有する請求項1乃至2のいずれか1項に記載のフィルタ

。

【請求項 4】

電気絶縁材料の少なくとも 1 つのシェル (1 8) を有し、少なくとも 1 つの前記ナノ/マイクロ粒子 (1) は、少なくとも部分的に、前記電気絶縁材料のシェル (1 8) によって取り囲まれている請求項 1 乃至 3 のいずれか 1 項に記載のフィルタ。

【請求項 5】

前記電氣的に調節可能な屈折率を有する層 (5) の少なくとも 1 つの材料は、有機材料である請求項 1 乃至 4 のいずれか 1 項に記載の光学フィルタ。

【請求項 6】

前記電氣的に調節可能な屈折率を有する層 (5) の前記材料は、少なくとも、ポリ (3 , 4 - エチレンジオキシチオフエン)、ポリスチレンスルホン酸ナトリウム、インジウムすず酸化物、亜鉛アルミニウム酸化物、ポリ (4 , 4 - ジオクチルシクロペンタジチオフエン)、ポリ (メチルメタクリレート)、及び炭素ナノチューブのネットワークのうちから選択される請求項 1 に記載の光学フィルタ。

10

【請求項 7】

その前記ナノ/マイクロ粒子 (1) のサイズ及び材料が、300 nm ~ 2.5 μm の励起波長における前記ナノ/マイクロ粒子 (1) の共振を許容するのに適している請求項 1 乃至 6 のいずれか 1 項に記載の光学フィルタ。

【請求項 8】

前記電氣的に調節可能な屈折率を有する層 (5) の分極に適する、一方において、接地に、且つ、他方においては、前記電極 (7) に接続された、第 1 電気回路 (1 3) を有する請求項 1 乃至 7 のいずれか 1 項に記載の光学フィルタ。

20

【請求項 9】

前記第 2 電気絶縁層 (3) の材料の屈折率は、厳格に、前記ナノ/マイクロ粒子 (1) の材料の屈折率未満であり、且つ、前記ナノ/マイクロ粒子 (1) は、実質的に半球状であり、前記ナノ/マイクロ粒子 (1) によって形成された前記半球の平らな部分は、前記プレーン (2 2) と一致している請求項 2 乃至 8 のいずれか 1 項に記載の光学フィルタ。

【請求項 10】

請求項 1 乃至 9 のいずれか 1 項に記載の光学フィルタのマトリックス (1 0) 。

【請求項 11】

少なくとも 2 つの前記第 1 回路 (1 3) は、前記接地とそれぞれの前記電極 (7) との間において同一の電位を印加するべく接続されている請求項 8 に記載の光学フィルタのマトリックス。

30

【請求項 12】

少なくとも 1 つの前記第 1 電気回路 (1 3) は、少なくとも 1 つの前記電極 (7) 上において、前記その他の第 1 電気回路 (1 3) とは独立した電位を印加するのに適している請求項 10 乃至 11 のいずれか 1 項に記載の光学フィルタのマトリックス。

【請求項 13】

p - n 接合 (2 1) を有する光検出器であって、請求項 1 乃至 9 のいずれか 1 項に記載のフィルタを有し、その前記フィルタが、前記 p - n 接合の n ドープ層及び p ドープ層のうちから選択される 1 つの層上において配設されている光検出器。

40

【請求項 14】

その前記電氣的に調節可能な屈折率を有する層 (5) の前記材料が導電性を有する請求項 1 乃至 13 のいずれか 1 項に記載の光学フィルタを有する光検出器 (1 5) 。

【請求項 15】

その端子のうちの 2 つが前記電氣的に調節可能な屈折率を有する層 (5) に接続されている第 2 電気回路 (9) を有し、前記第 2 電気回路 (9) は、前記端子における電流の変動を検出するのに適している請求項 14 に記載の光検出器。

【請求項 16】

請求項 13 乃至 15 のいずれか 1 項に記載の前記光検出器 (1 5) のマトリックス。

50

【請求項 17】

少なくとも2つの前記第1回路(13)は、前記接地とそれぞれの前記電極(7)との間において同一の電位を印加するように接続されている請求項16に記載の光検出器(15)のマトリックス。

【請求項 18】

少なくとも1つの前記第1電気回路(13)は、少なくとも1つの前記電極(7)上において、前記その他の第1電気回路(13)とは独立した電位を印加するのに適している請求項16及び17のいずれか1項に記載の光検出器(15)のマトリックス。

【請求項 19】

請求項1乃至18のいずれか1項に記載の装置の製造用の方法であって、少なくとも以下のステップ：

a) 前記第2電気絶縁層(3)上において予め堆積された少なくとも1つの半導電性材料層のデュエッティングと、

b) 前記半導電性且つ絶縁性材料上における前記電氣的に調節可能な屈折率を有する層(5)の堆積とを有する方法。

【請求項 20】

少なくとも1つの前記半導電性材料の前記層上におけるエッチングパターン(11)を有する初期ステップを有し、前記パターン(11)は、ステップa)における前記ナノ/マイクロ粒子(1)の形成を空間的に制御している請求項19に記載の方法。

【請求項 21】

少なくとも1つの前記半導電性材料層は、合焦イオンプローブによってエッチングされている請求項19及び20のいずれか1項に記載の方法。

【請求項 22】

請求項1乃至9及び請求項13乃至15のいずれか1項に記載の前記装置を空間的に定義するように、少なくとも前記電氣的に調節可能な屈折率を有する層(5)のエッチングを有するステップを有する請求項19乃至21のいずれか1項に記載の方法。

【請求項 23】

前記電極(7)の端子上の電位を駆動することによる前記ナノ/マイクロ粒子(1)の共振波長の調節を有する少なくとも1つのステップを有する請求項1乃至18のいずれか1項に記載の装置による光学フィルタリングの方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、フォトリソ及び光電子コンポーネントに関し、且つ、更に詳しくは、ナノ/マイクロ粒子に基づいた光学フィルタ及び検出器に関する。

【背景技術】

【0002】

カラー撮像システムは、センサのマトリックス上において配設されたフィルタを必要としている。これらのフィルタは、通常、1つ又は複数の定義された波長を透過する吸収性フィルタである。これらは、一般に、色素を使用することによって製造されており、入射光の吸収は、色素が構成されている分子によって実行される。この光のフィルタリング手順は、いくつかの欠点を有しており、即ち、フィルタリング能力に経年変化が生じると共に、使用される材料が、CMOS光センサを製造する方法と適合していない。

【0003】

Abbarchi et al. (Abbarchi, M., Naffouti, M., Vial, B., Benkouider, A., Lermusiaux, L., Favre, L., . . . & Bonod, N., 2014, Wafer Scale Formation of Monocrystalline Silicon-Based Mie Resonators via Silicon-on-Insulator

10

20

30

40

50

Dewetting . ACS nano , 8 (11) , 11181 - 11190) は、ナノ/マイクロ粒子の材料内における電磁共振により、コンポーネントの表面上に入射する光の効果的な散乱を可能にする、半導電性ナノ/マイクロ粒子の共振に基づいたフィルタを製造する手順について開示している。その共振周波数は、サイズと、使用される材料と、に依存している。これらの共振器を製造するべく、Abbarchi 他は、ゲルマニウム層をその上部において堆積させることができるシリコンオンインシュレータ基材を使用している。制御された圧力及び温度条件が、 SiO_2 の層上の1つ又は複数の半導電性層のディウェッティングを誘発する。半導電体（シリコン及び/又はゲルマニウム）の「液滴」が、絶縁体の表面上においてナノ/マイクロ粒子を形成する。この手順は、CMOS製造基準と適合しているという利益を有しており、その理由は、この手順が、特に、表面プラズモンを実装する微細構造を使用した手順とは対照的に、なんらの金属をも使用していないからである。その一方で、開示された手順は、製造されたナノ/マイクロ粒子の共振周波数の帰納的な制御を可能にしてはならず、その理由は、これらの粒子のサイズ及び材料が、製造の際に固定されているからである。

10

【0004】

又、本発明は、光検出器にも関する。撮像システムは、一般に、例えば、CMOS又はp-n接続タイプなどの、光検出器のマトリックスを有しており、そのそれぞれの光検出器のスペクトル帯域は、固定されている。カラー撮像は、いくつかのスペクトル帯域の独立的な検出を必要としており、その結果、1つの且つ同一のマトリックスの光検出器は、異なるスペクトル帯域のフィルタを有していなければならない。この方式によって製造された光検出器は、帰納的なチューニングが不可能であり、且つ、その製造は、CMOS製造基準と適合していない更なる技術的ステップを必要としている。

20

【先行技術文献】**【非特許文献】****【0005】**

【非特許文献1】 Abbarchi et al . (Abbarchi , M . , Naffouti , M . , Vial , B . , Benkouider , A . , Lermusiaux , L . , Favre , L . , . . . & Bonod , N . , 2014 , Wafer Scale Formation of Monocrystalline Silicon-Based Mie Resonators via Silicon-on-Insulator Dewetting . ACS nano , 8 (11) , 11181 - 11190)

30

【発明の概要】**【発明が解決しようとする課題】****【0006】**

本発明は、従来技術の上述の欠点のうちの少なくとも1つを完全に又は部分的に克服することを目的としている。

【課題を解決するための手段】**【0007】**

この目的の実現を可能にする本発明の一主題は、

- プレーン上において配列された、光及び近赤外領域において電磁共振の特性を示す、複数の半導電性ナノ/マイクロ粒子を有する光学フィルタであり、この光学フィルタは、
- 前記ナノ/マイクロ粒子によって形成された表面及び前記プレーン上において配設された電氣的に調節可能な光学指数を有する層と、
- 前記電氣的に調節可能な光学指数を有する層上において配設された第1電気絶縁層と、
- 前記第1電気絶縁層上において配設された電極と、

を更に有することを特徴としている。

40

【0008】

50

有利には、フィルタは、その面が前記プレーンと一致している第2電気絶縁層を有しており、前記第2電気絶縁層は、前記ナノ/マイクロ粒子及び電氣的に調節可能な光学指数を有する層との接触状態にある。

【0009】

有利には、前記フィルタの少なくとも1つの前記ナノ/マイクロ粒子は、その電氣的特性が、異なり、且つ、アンアイソタイプホモ接合、アイソタイプヘテロ接合、及びアンアイソタイプヘテロ接合のうちから選択される少なくとも1つの接合を形成するのに適する半導電性コア及び半導電性シェルを有する。

【0010】

有利には、フィルタは、電気絶縁材料の少なくとも1つのシェルを有しており、この場合に、少なくとも1つの前記ナノ/マイクロ粒子は、前記電気絶縁材料のシェルにより、少なくとも部分的に、取り囲まれている。

10

【0011】

有利には、前記フィルタの前記電氣的に調節可能な光学指数を有する層の少なくとも1つの材料は、有機材料である。

【0012】

有利には、前記フィルタの前記電氣的に調節可能な光学指数を有する層の材料は、少なくとも、ポリ(3,4-エチレンジオキシチオフエン)、ポリスチレンスルホン酸ナトリウム、インジウムすず酸化物、亜鉛アルミニウム酸化物、ポリ(4,4-ジオクチルシクロペンタジチオフエン)、ポリ(メチルメタクリレート)、及び炭素ナノチューブのネットワークのうちから選択される。

20

【0013】

有利には、前記フィルタの前記ナノ/マイクロ粒子のサイズ及び材料は、 $300\text{nm} \sim 2.5\mu\text{m}$ の励起波長における前記ナノ/マイクロ粒子の共振を許容するのに適している。

【0014】

有利には、フィルタは、前記電氣的に調節可能な光学指数を有する層の分極に適する、一方において、接地に、且つ、他方においては、前記電極に、接続された第1電気回路を有する。

【0015】

有利には、前記第2電気絶縁層の材料の光学指数は、厳格に、前記ナノ/マイクロ粒子の材料の光学指数未満であり、且つ、前記ナノ/マイクロ粒子は、実質的に半球状であり、前記ナノ/マイクロ粒子によって形成された半球の平らな部分は、前記プレーンと一致している。

30

【0016】

本発明の別の主題は、前記フィルタのマトリックスである。

【0017】

有利には、フィルタのマトリックスの少なくとも2つの前記第1回路は、前記接地とそれぞれの前記電極との間において同一の電位を印加するように接続されている。

【0018】

有利には、前記光学フィルタのマトリックスの少なくとも1つの前記第1電気回路は、少なくとも1つの前記電極上において、前記その他の第1電気回路とは独立した電位を印加するのに適している。

40

【0019】

本発明の別の主題は、p-n接合を有する光検出器であり、光検出器は、前記p-n接合のnドープ層及びpドープ層のうちから選択される層上において配設されたフィルタを有する。

【0020】

有利には、光検出器は、前記光学フィルタを有し、その前記電氣的に調節可能な光学指数を有する層の材料は、導電性を有する。

50

【0021】

有利には、光検出器は、その端子のうちの2つが、前記電氣的に調節可能な指数を有する層に接続されている、第2電気回路を有しており、前記第2電気回路は、前記端子における電流の変動を検出するのに適している。

【0022】

本発明の別の主題は、前記光検出器のマトリックスである。

【0023】

有利には、前記光検出器のマトリックスの少なくとも2つの前記第1回路は、前記接地とそれぞれの前記電極との間において同一の電位を印加するように接続されている。

【0024】

有利には、前記光検出器のマトリックスの少なくとも1つの前記第1電気回路は、少なくとも1つの前記電極上において、前記その他の第1電気回路とは独立した電位を印加するのに適している。

【0025】

本発明の別の主題は、少なくとも以下のステップ：

a) 前記第2電気絶縁層上において予め堆積された少なくとも1つの半導電性材料層のディウェッティングと、

b) 前記半導電性を有する且つ絶縁性を有する材料上における前記電氣的に調節可能な光学指数を有する層の堆積と

を有する、光学フィルタの、光検出器の、光学フィルタのマトリックスの、且つ/又は、光検出器のマトリックスの、製造用の方法である。

【0026】

有利には、方法は、前記少なくとも1つの前記半導電性材料の層上におけるエッチングパターンを有する初期ステップを有し、前記パターンは、ステップa)における前記ナノ/マイクロ粒子の形成を空間的に制御している。

【0027】

有利には、方法において、少なくとも1つの前記半導電性材料層は、合焦イオンプローブによってエッチングされる。

【0028】

有利には、方法は、前記1つ又は複数の光学フィルタ、1つ又は複数の光検出器、光検出器の1つ又は複数のマトリックス、及び/又は、光検出器の1つ又は複数のマトリックスを空間的に定義するように、少なくとも1つの前記電氣的に調節可能な指数を有する層のエッチングを有するステップを有する。

【0029】

本発明の別の主題は、光学フィルタ、光検出器、光学フィルタのマトリックス、及び/又は、光検出器のマトリックスによる光学フィルタリングの方法であり、前記方法は、前記電極の端子上の電位を駆動することによる前記ナノ/マイクロ粒子の共振波長の調節を有する少なくとも1つのステップを有する。

【0030】

以下の説明は、本発明の装置のいくつかの例示用の実施形態を示しており、これらの例は、本発明の範囲を限定するものではない。これらの例示用の実施形態は、1つの且つ同一の時点において、本発明の不可欠の特性のみならず、検討対象の実施形態に関係付けられた更なる特性をも示している。わかりやすさを目的として、同一の要素には、様々な図において、同一のラベルを付与することとする。

【0031】

「ナノ粒子」は、少なくとも、その寸法の最小値が、ナノメートルレベルである、即ち、0.1 nm ~ 100 nmの、粒子を意味している。

【0032】

「マイクロ粒子」は、少なくとも、その寸法の最小値が、マイクロメートルレベルである、即ち、0.1 μm ~ 100 μmの、粒子を意味している。

10

20

30

40

50

【0033】

「ピクセル」は、前記要素のマトリックスのフィルタ及び光検出器のうちから選択される少なくとも1つの要素を意味している。

【0034】

添付図面を参照して例として付与される以下の説明を目的とした説明を参照することにより、本発明について更に十分に理解されると共に、そのその他の利点、詳細、及び特性について明らかとなる。

【図面の簡単な説明】

【0035】

【図1】ナノ/マイクロ粒子の形成後の、上方から観察された、シリコンオンインシュレータウエハの走査型電子顕微鏡によって取得された写真である。

10

【図2】ナノ/マイクロ粒子の、上方から観察された、高分解能走査型電子顕微鏡によって取得された写真である。

【図3】ナノ/マイクロ粒子の断面の透過型電子顕微鏡によって取得された写真である。

【図4】ナノ/マイクロ粒子の断面の透過型電子顕微鏡によって取得された写真である。

【図5】絶縁体層上のナノ/マイクロ粒子の様々なエッチングパターンと空間分布との間の対応性を示す。

【図6】ナノ/マイクロ粒子のネットワークの光学顕微鏡画像と、これらのネットワークの詳細を示す3つのAFM顕微鏡画像と、から構成されたモンタージュである。

【図7】ナノ/マイクロ粒子の電磁共振を示す。

20

【図8】本発明の一実施形態による光学フィルタと、本発明の一実施形態による光学フィルタのマトリックスと、を概略的に示す。

【図9】電氣的に調節可能な光学指数を有する層上において電位を印加することによるナノ/マイクロ粒子の共振周波数の調節を示す。

【図10】本発明の実施形態による、フィルタの、且つ、光検出器の、マトリックスを概略的に示す。

【図11】本発明の実施形態による、フィルタの、且つ、光検出器の、マトリックスを概略的に示す。

【図12】本発明の実施形態による3つの光検出器のマトリックスを示す。

【図13】本発明の実施形態による3つの光検出器のマトリックスを示す。

30

【図14】電氣的に調節可能な光学指数を有する層の様々な光学指数の関数として、本発明によるフィルタの光透過のシミュレーションを示す。

【図15】フィルタの励起波長の関数として、本発明の異なるフィルタの光透過のシミュレーションを示す。

【発明を実施するための形態】

【0036】

図1は、ナノ/マイクロ粒子1の形成後の、上方から観察された、シリコンオンインシュレータ(SOI: Silicon-On-Insulator)ウエハの走査型電子顕微鏡によって取得された写真である。有利には、Abbarchi他によって記述されている手順は、図1に示されているナノ/マイクロ粒子のネットワークを生成するべく、使用することができる。シリコンオンインシュレータウエハが使用されている。SOIウエハの洗浄の後に、ウェットエッチングにより、シリコンの自然酸化物の層を除去することができる。ウエハのシリコン層上においてエピタキシャルゲルマニウム層を堆積させることができる(例えば、18個のゲルマニウム単層を堆積させることができる)。例えば、750~880において、例えば、 10^{-8} ~ 10^{-10} トルなどの高真空下において、例えば、30~120分にわたって、このサンプルを焼成する。これらの条件は、絶縁体3上の半導電性層のディウェッティングをもたらす。図1において、使用されているSOIウエハは、ディウェッティングの前の、25nmという絶縁体(SiO_2)の厚さと、12nmというシリコンの厚さと、を特徴としている。図1の写真は、この方法による、シリコン層の、且つ、ゲルマニウム層の、ディウェッティングによって形成されたナ

40

50

ノノマイクロ粒子1の形成を示している。

【0037】

半導電性ナノノマイクロ粒子1を製造するその他の手順を使用することができる。例えば、Proust他は、シリコンオンインシュレータの厚い層（例えば、100nm）における選択的化学リソグラフィ手順を開示している（Proust, J., Bedu, F., Chenot, S., Soumahoro, I., Ozerov, I., Gallas, B., . . . & Bonod, N., 2015, Chemical Alkaline Etching of Silicon Mie Particles, Advanced Optical Materials）。又、コロイド状の自己組織化を使用することも可能であり（Garin, M., Fenollosa, R., Alcubilla, R., Shi, L., Marsal, L.F., & Meseguer, F., 2014, All-silicon spherical-Mie-resonator photodiode with spectral response in the infrared region. Nature communications, 5）、イオンエッチングと組み合わせたナノメートル印刷を使用することも可能であり（Spinelli, P., Verschuuren, M.A., & Polman, A., 2012, Broadband omnidirectional antireflection coating based on subwavelength surface Mie resonators, Nature communications, 3, 692）、或いは、レーザーアブレーションを使用することもできる（Kuznetsov, A.I., Miroschnichenko, A.E., Fu, Y.H., Zhang, J., & Luk'yanchuk, B., 2012, Magnetic light. Scientific reports, 2）。

【0038】

図2は、ナノノマイクロ粒子1の、上方から観察された、高分解能走査型電子顕微鏡によって取得された写真である。このナノノマイクロ粒子1は、図1において記述されている手順に従って生成されている。結晶面（311）に対応する面のいくつかは、破線の白色円により、且つ、白色矢印により、示されている。一般に、図1において記述されている手順、並びに、Proust他によって記述されている手順は、有利には、その構造が結晶質であるナノノマイクロ粒子1の製造を許容している。具体的には、原子的に滑らかな表面を有するナノノマイクロ粒子1は、電子的な表面状態の極小化を可能にする。これらのナノノマイクロ粒子の表面上の欠陥は、例えば、再結合を通じた、相当な電荷の損失をもたらさう。一変形として、ナノノマイクロ粒子1は、誘電材料によって製造することもできる。

【0039】

図3は、ナノノマイクロ粒子1の断面の透過型電子顕微鏡によって取得された写真である。このナノノマイクロ粒子は、図1において記述されている手順に従って製造されている。粒子1の半導電性コア19は、シリコンから製造されている一方において、その半導電性シェル20は、合金 $Si_{0.7}Ge_{0.3}$ から製造されている。シェルの形成は、ディウエッティング前のシリコン及びゲルマニウム層の重畳により、可能である。更に一般的には、本発明の実施形態のナノノマイクロ粒子1は、その電気的特性が、異なり、且つ、アンアイソタイプホモ接合、アイソタイプヘテロ接合、及びアンアイソタイプヘテロ接合のうちから選択される少なくとも1つの電気的接合を形成するのに適する、半導電性コア19及び半導電性シェル20を有することができる。

【0040】

図4は、ナノノマイクロ粒子1の構造を示している。図4のパネルAは、ナノノマイクロ粒子1の断面の透過型電子顕微鏡によって取得された写真である。本発明のこの実施形態においては、ナノノマイクロ粒子1は、シリコンから製造された半導電性コア19と、シリコン及びゲルマニウム合金から製造された半導電性シェル20と、を有する。ナノノマイクロ粒子1は、この例においては、二酸化ケイ素である、絶縁材料によって取り囲ま

10

20

30

40

50

れており、その下部面上においては、第2電気絶縁層3により、且つ、その上部表面上においては、電気絶縁材料の部分的なシェル18により、取り囲まれている。図4において記述されている実施形態を有する、本発明の実施形態においては、MIS接合(Metal Insulator Semiconductorの頭文字を意味する)が生成されており、電氣的に調節可能な光学指数を有する層5の材料は、プラチナであり、これは、金属性を有し、且つ、導電性を有する。絶縁体は、シリカから製造された電気絶縁材料のシェル18によって製造され、且つ、半導電体は、ナノ/マイクロ粒子1によって製造されている。図4の挿入図は、コア19の原子的分解能を有する写真(図示されてはいない)によって実行されたフーリエ変換を示している。このフーリエ変換は、ナノ/マイクロ粒子1の結晶性を確認している。

10

【0041】

図4のパネルBは、エネルギー分散分析(EDX分光法)によって得られた、ナノ/マイクロ粒子1の3つの写真のモンタージュである。左から右へ、最も明るいグレーレベルは、それぞれ、ゲルマニウムの、シリコンの、且つ、二酸化ケイ素の、存在を示している。

【0042】

図5は、様々なエッチングパターン11と絶縁体層3上の1つ又は複数のナノ/マイクロ粒子1の空間分布との間の対応性を示している。様々なパターンは、図1において記述されている手順を使用してナノ/マイクロ粒子を製造する前に、SOIウエハ上においてエッチングすることができる。これらのエッチングは、合焦イオンプローブによって(FIB:例えば、デュアルビームTeSCAN LYRA 1 XMHプローブを使用することによって)生成することができる。左手側の列は、FIBエッチングに使用されるパターン11を提示している。右手側の列は、同一の尺度において、暗視野光学顕微鏡画像を提示しており、この場合に、画像のそれぞれの辺は、4 μ mを表している。右手側の列の画像は、対応するパターン11のエッチングの後に、図1において記述されている手順を使用して形成されたナノ/マイクロ粒子1の空間分布を示している。パターンのエッチングは、そのディウエッティングの前の、制御された方式による層上における又は半導電体層の積層体上における欠陥の生成を可能にする。これらの欠陥は、核生成又はレイリータイプの不安定性の形成の制御と、ナノ/マイクロ構造1の形成への到達と、を可能にする。様々なパターンのエッチングは、エッチングを伴うことなしに生成される自然なディウエッティングとは対照的に、支援型のディウエッティングの生成を可能にする。

20

30

【0043】

図6は、ナノ/マイクロ粒子1のネットワークの光学顕微鏡画像と、これらのネットワークの詳細を示す、挿入図としての、3つのAFM顕微鏡画像と、から構成されたモンタージュである。粒子1のネットワークは、1つ又は複数の半導電性層のディウエッティングのステップによって後続される、パターン11のエッチングのステップを有する、図5において記述されている手順によって生成されている。画像の左から右へ、ネットワークの粒子1の間の中心間ギャップの間隔は、それぞれ、500nm、750nm、及び1000nmである。右側のネットワークは、画像の下部から上部に向かう方向において、様々なナノ/マイクロ粒子1の中心の間隔が、750nm及び1000nmにおいて交互に変化している、ナノ/マイクロ粒子1の二峰性分布を示している。

40

【0044】

図7は、ナノ/マイクロ粒子1の電磁共振を示している。図6のパネルAは、図5において記述されている手順に従って生成された単一のナノ粒子1の暗視野散乱スペクトルの一例を示している。2つの散乱共振 M_R 及び E_R が可視状態にある。図6のパネルBは、近傍内における且つナノ粒子1内における電氣的強度 IEI^2 及び磁氣的強度 IBI^2 の有限要素手順に従って実行されたシミュレーションを示している。提示されているシミュレーションにおいては、ナノ粒子の幅は、356nmであり、且つ、その高さは、65nmである。シミュレーションは、絶縁体3上において配設されると共に空気6によってその表面の残りの部分上において取り囲まれたナノ粒子1を考慮している。シミュレーショ

50

ンの結果が、 M_R 共振モード（上部画像）及び E_R 共振モード（下部画像）について示されている。 E_R 及び M_R モードによるシミュレーションは、絶縁体層の表面によって形成されたプレーンとの関係において 70° だけ傾斜した平面波による励起を考慮することにより、且つ、図示の断面のプレーン内に含まれた軸との関係における回転に従って、実行される。 M_R モード共振のケースにおいては、ナノ粒子 1 は、その中心において、強度 $I E I^2$ の 2 つの空間的極大値と、強度 $I H I^2$ の 1 つの空間的極大値と、を示している。これらの特性は、双極性磁気モード M_R の優越性を示している。 E_R モード共振のケースにおいては、ナノ粒子 1 は、その中心において、強度 $I E I^2$ の 1 つの空間的極大値と、強度 $I H I^2$ の 2 つの空間的極大値と、を示している。これらの特性は、双極性電気共振モードの優越性を示している。

10

【0045】

図 8 は、本発明の一実施形態により光学フィルタ 14 と、本発明の一実施形態による光学フィルタ 14 のマトリックス 10 と、を概略的に示している。図 8 のパネル A は、本発明の一実施形態によるフィルタ 14 の断面図を概略的に示しており、且つ、図 8 のパネル B は、本発明の一実施形態による 3 つのフィルタ 14 のマトリックス 10 を提示している。パネル A においては、複数のナノ/マイクロ粒子 1 が、（架空の）プレーン 22 の表面上において配列されている。本発明の一実施形態においては、ナノ/マイクロ粒子 1 は、その光学指数が、1.5 超である、好ましくは、2.5 超である、且つ、好ましくは、3 超である、シリコンから、ゲルマニウムから、シリコン及びゲルマニウム合金から、或いは、更に一般的には、1 つ又は複数の半導電性材料から、或いは、1 つ又は複数の誘電性材料から、製造されている。

20

【0046】

有利には、図 8 に示されている実施形態においては、フィルタは、第 2 電気絶縁層 3 を有する。層 3 の上部面は、プレーン 22 と一致している。その結果、層 3 は、ナノ/マイクロ粒子 1 との接触状態にある。この層 3 は、例えば、 SiO_2 から製造することができる。その他のタイプの絶縁材料を使用することもできる。第 2 絶縁層 3 は、有利には、光検出器又は発光ダイオードなどの光電子トランスデューサを有することができる基材 2 上において構成することができる。図 8 において記述されている本発明の実施形態のナノ/マイクロ粒子 1 は、A b b a r c h i 他によって記述されている方法を使用して製造することができる。

30

【0047】

プレーン 22 によって形成された表面及びナノ/マイクロ粒子 1 は、電氣的に調節可能な光学指数を有する層 5 によってカバーされている。有利には、第 2 電気絶縁層 3 を有する上述の本発明の実施形態においては、プレーン 22 は、層 3 の面のうちの 1 つと一致しており、層 3 により、且つ、ナノ/マイクロ粒子 1 により、形成された組立体は、電氣的に調節可能な光学指数を有する層 5 によってカバーされている。本発明のその他の実施形態においては、基材の 1 つの面が、プレーン 22 と一致することが可能であり、その結果、電氣的に調節可能な光学指数を有する層 5 は、基材の上部面によって形成された表面及びナノ/マイクロ粒子 1 をカバーしている。これらのケースの両方において、且つ、一般的には、プレーン 22 は、フィルタ 14 内において制御されている電界を固定するように、その電位が、直接又は間接的に、電極 7 上において印加された電位の変動との関係において実質的に固定された且つ/又は静止状態にある電位に対して電氣的にリンクされている層と一致している。

40

【0048】

この層の材料は、材料に印加された電界又は電流を変化させることによってその屈折率の実数部分を変更することができる際に、「電氣的に調節可能な光学指数」を有するものと見なされる。この特性は、電荷キャリアの注入に、或いは、例えば、カー効果、ポッケルス効果、電界吸収、又はフランツ-ケルディッシュ効果などの、その他の効果に、由来しうる。又、ポリマーを使用する際には、1 つ又は複数のポリマー内における静電膨張及び収縮又はイオンの制御された散乱などの、その他の効果を考慮することもできる。本発

50

明の実施形態においては、この層の1つ又は複数の材料は、インジウムスズ酸化物（ITO：Indium-Tin Oxide）、亜鉛アルミニウム酸化物、炭素ナノチューブのネットワーク、或いは、ポリ（3，4-エチレンジオキシチオフェン）（PEDOT）、ポリ（4，4'-ジオクチルシクロペンタジチオフェン）、ポリスチレンスルホン酸ナトリウム（PSS）、及びポリ（メチルメタクリレート）（PMMA）などの、有機材料から選択することができる。又、電氣的に調節可能な光学指数を有する層5を製造するべく、アライメントポリマーの1つ又は複数の層（例えば、ポリビニルアセテート）と関連付けられた液晶の層を使用することもできる。このような液晶を使用してナノ/マイクロ粒子の共振を熱によって調節する手順については、例えば、Sautter, J., Stauder, I., Decker, M., Rusak, E., Neshev, D.N., Br

ener, I., & Kivshar, Y.S., 2015, Active Tuning of All-Dielectric Metasurfacesにおいて提示されている。この手順は、ネマチック相における液晶の適切なアライメントの開始を可能にすると共に非常に制限された波長の範囲（実質的に近赤外において100nm）にわたる調節を許容するには、いくつかの層が必要とされるという欠陥を有する。有利には、電氣的に調節可能な光学指数を有する層5の少なくとも1つの材料は、有機材料である。有利には、層5の材料は、PEDOTとPSSの混合物であってもよい。一般に、電氣的に調節可能な光学指数を有する層5の1つ又は複数の材料は、好ましくは、固体であり、これらは、例えば、非晶質又は結晶質であってもよい。さもなければ、これらは、例えば、液相を有することもできる。

10

20

【0049】

金属性材料用のカソードスパッタリングや有機材料の遠心被覆（スピン被覆とも呼称される）などの、様々な手順を使用することにより、電氣的に調節可能な光学指数を有する層5を堆積させることができる。

【0050】

本発明のこの実施形態においては、電氣的に調節可能な光学指数を有する層5は、実質的に透明である。

【0051】

電氣的に調節可能な光学指数を有する層5は、第1電気絶縁層8によってカバーされている。この層8は、電氣的に調節可能な光学指数を有する層5が適合している場合には、例えば、プラズマ強化型化学気相蒸着（PE-CVD：Plasma-Enhanced Chemical Vapor Deposition）手順により、急速熱酸化（RTP：Rapid Thermal Oxidation）により、或いは、更に一般的には、その他の酸化手順により、SiO₂から製造することができる。

30

【0052】

第1絶縁層8は、導電性材料の層、即ち、電極7により、カバーされている。本発明の様々な実施形態においては、電極は、実質的に透明である。これは、例えば、広い表面のカバレッジの場合には、蒸発により、或いは、正確な回路を製造するには、FIBによって支援されたガス注入により、金から製造することができる。又、電極7は、ITOから製造することもできる。

40

【0053】

エッチングは、第2絶縁層3上に位置した様々な層上において、例えば、FIBにより、或いは、電子ビーム（Eビーム）により、上述のフィルタ14上において実行することができる。このエッチングは、複数のフィルタ14、即ち、様々なピクセル、の空間的な境界画定と、これによるフィルタ14のマトリックス10の形成と、を可能にすることができる。

【0054】

図8のパネルBは、以前の段落において記述されている、ピクセルを定義するためのエッチングの後の、3つのフィルタ14（又は、3つのピクセル）のマトリックス10を提示している。

50

【 0 0 5 5 】

図 9 は、電氣的に調節可能な光学指数を有する層 5 上において電位を印加することによるナノ/マイクロ粒子 1 の共振周波数の調節を示している。図 9 のパネル A は、第 1 回路 1 3 が、一方において、接地（この実施形態においては、基材 2）に、且つ、他方においては、図 7 のパネル A において記述されている装置の電極 7 に、接続されている、本発明の一実施形態を示している。この第 1 回路は、電氣的に調節可能な光学指数を有する層 5 の、上部及び下部の 2 つの面の間における、制御された電位差の印加を可能にしている。本発明のこの実施形態においては、ナノ/マイクロ粒子 1 は、異なるサイズを有しており、且つ、電氣的に調節可能な光学指数を有する層 5 は、P E D O T と P S S の混合物である。

10

【 0 0 5 6 】

図 9 のパネル B は、第 1 回路 1 3 によって印加される様々な電位におけるナノ/マイクロ粒子 1 の暗視野散乱写真を示している。それぞれの写真は、 $2 \mu\text{m} \times 2 \mu\text{m}$ の視野を示している。画像の 3 つの連続体が示されている。これらのそれぞれは、上部チャンネルから下部チャンネルへ、異なる色を示し、且つ、左から右へ、電氣的に調節可能な光学指数を有する層 5 に印加された異なる電位を示している。色チャンネルは、赤色（R）、緑色（G）、及び青色（B）である。画像は、左から右へ、0 ~ 30 V の範囲の印加された電位のシーケンスと、次いで、0 V の電位と、に対応している。

【 0 0 5 7 】

第 1 の連続体のうちのチャンネル R の光度の観察は、例えば、0 V ~ 30 V の電位が印加された際の中央ナノ/マイクロ粒子 1 によって散乱される光度の減少と、次いで、印加される電位が 0 V に戻った際のこの強度の増大と、の計測を可能にしている。補完的な方式により、第 1 の連続体のチャンネル G の光度の観察は、0 V ~ 30 V の電位が印加された際の中央ナノ/マイクロ粒子 1 の散乱の強度の増大と、次いで、印加される電位が 0 V に戻った際のこの強度の減少と、の計測を可能にしている。これらの変動は、3 つの色チャンネルを検討する際に、中央ナノ/マイクロ粒子 1 の観察される色の変動を通じて、明らかとなり、0 V から 30 V まで、ナノ/マイクロ粒子 1 によって放出される色は、赤色優越状態から緑色優越状態に変化し、且つ、0 V 電位が印加された際に、赤色優越状態に戻っている。その他の 2 つの連続体のナノ/マイクロ粒子 1 も、類似した振る舞いを示している。本発明のこの例示用の実施形態によれば、第 1 回路 1 3 による可変電位の印加による、スペクトルの可視部分内における異なるナノ/マイクロ粒子 1 の共振周波数の調節を示すことができる。本発明のその他の実施形態においては、ナノ/マイクロ粒子 1 の共振の調節は、例えば、800 nm ~ 2.5 μm の範囲に含まれる波長などの、近赤外波長において実行することができる。

20

30

【 0 0 5 8 】

又、本発明は、フィルタ 1 4 の光スペクトルの選択的且つチューニング可能な特性を利用した、このようなフィルタ 1 4 に基づいた光検出器 1 5 にも関する。本発明によるフィルタ 1 4 は、例えば、CCD 又は CMOS マトリックスセンサのピクセルなどの従来の光検出器上において配設することが可能であり、或いは、それ自体が、光検出器として機能することもできる。

40

【 0 0 5 9 】

図 10 は、本発明の実施形態によるフィルタ 1 4 によって生成される光検出器 1 5 のマトリックス 10 を概略的に示している。図 10 に示されている実施形態のフィルタのマトリックスは、以前の図の説明において提示されている手順により、製造することができる。本発明の一実施形態においては、それぞれのフィルタ 1 4 は、複数のナノ/マイクロ粒子 1 を有する。1 つの且つ同一のフィルタ 1 4 のナノ/マイクロ粒子 1 は、いずれも、実質的に同一のサイズを有し、且つ、マトリックス 10 のフィルタ 1 4 ごとに、異なるサイズを有する。従って、マトリックス 10 のフィルタ 1 4 の間において、色は、ナノ/マイクロ粒子 1 のサイズと、前記層 5 の 1 つ又は複数の分極によって課されるそれぞれのフィルタの層 5 の光学指数と、という、2 つの独立的な要因の組合せの関数として、変化しう

50

る。

【0060】

nと表記される光学指数を有する、電氣的に調節可能な光学指数を有する層5の材料は、導電性を有していてもよく、或いは、半導電性を有していてもよい。これは、ナノ/マイクロ粒子1との関連において、その境界面における前記ナノ/マイクロ粒子1の電磁共振の際に電荷を生成するのに適しうる。例えば、本発明のこの実施形態においてPSS-PEOT混合物を使用することが可能であり、ナノ/マイクロ粒子1内の電磁界の変動は、装置内における電荷の形成と、例えば、第2電気回路9へのその転送と、を許容している。

【0061】

又、これらの電荷は、粒子1の半導電体と電氣的に調節可能な光学指数を有する層5の材料によって形成された電気接点の間において形成される接合において生成することもできる。本発明の実施形態においては、ナノ/マイクロ粒子1と電氣的に調節可能な光学指数を有する層5の間の接合は、金属-半導電体タイプであってもよく(ショットキー障壁の動作)、p-nタイプであってもよく、或いは、金属-絶縁体-半導電体(MIS)タイプであってもよい。

【0062】

p-nタイプの接合は、Abbarchi他において記述されている手順に従って製造されたナノ/マイクロ粒子を使用することにより、且つ、例えば、ディウェッティングの前に、アンチモン及び/又はボロンなどによってドーピングされたゲルマニウムのエピタキシャル層がその上部において配設されるシリコン層を使用することにより、製造することができる。ディウェッティングの後に、形成されたナノ-マイクロ粒子1は、シリコンを有する粒子のコアの周りにおいて $Si_xGe_{(1-x)}$ (xは、シリコンの割合である)という組成の半導電性シェル20を有することができる。図2には、このようなナノ/マイクロ粒子の一例が示されている。

【0063】

本発明のその他の実施形態においては、ショットキータイプの接合を粒子1と層5との間の境界面において生成することができる。図4は、例えば、電氣的に調節可能な光学指数を有する層5とナノ/マイクロ粒子1との間のMISタイプの接合を示している。電気絶縁材料18のシェルの厚さは、トンネル効果による絶縁材料を通じた電荷の転送を可能にするように、10nm未満となるように、且つ、好ましくは、5nm未満となるように、低減することができる。この厚さの低減は、例えば、シリカの等方性エッチングによって生成することができる。

【0064】

図11は、上述の実施形態のケースにおける、3つの光検出器15のマトリックスを示しており、それぞれの検出器は、電氣的に調節可能な光学指数を有する層5によって第2電気回路9にリンクされたフィルタ14を有する。ナノ/マイクロ粒子1の共振によって生成される電荷は、第1電気回路によって検出することができる。この検出は、2つのステップにおいて実行することができる。第1ステップは、ナノ/マイクロ粒子1を照明することにより、第1回路9のスイッチが開路状態にある際にコンデンサの充電をもたらすステップを有することができる。第2ステップは、第2回路のスイッチの閉路と、例えば、電荷積分により、コンデンサ内において蓄積された電荷の、例えば、電流計(図9のA1、A2、又はA3)又はオシロスコープによる、読取りと、を有することができる。

【0065】

本発明の一実施形態においては、第1電気回路13は、電氣的接地と第1回路にリンクされたそれぞれのフィルタ14及び/又は検出器15の電極7との間において同一の電位 V_0 を印加するような方式により、少なくとも2つのフィルタ14及び/又は2つの光検出器15をリンクすることができる。有利には、第1回路は、マトリックスのフィルタ14及び/又は光検出器15の組全体にリンクすることができる。これらの例は、フィルタ及び/又は光検出器のいくつか又は組全体の電氣的に調節可能な光学指数を有する層5の

10

20

30

40

50

一定の分極における動作を可能にしている。

【0066】

図11は、本発明の実施形態によるフィルタ14及び光検出器15のマトリックス10を概略的に示している。本発明の一実施形態においては、ナノ/マイクロ粒子1のいくつか、或いは、有利には、ナノ/マイクロ粒子1の組全体が、同一のサイズを有している。これらのナノ/マイクロ粒子1は、図10においては、黒色のローブによって示されている。本発明のこの実施形態においては、フィルタ14のそれぞれは、フィルタの電極7により、第1電気回路13にリンクされている。フィルタのそれぞれは、フィルタの電極7上におけるその他のものとは独立した電位を印加することにより、分極させることが可能であり、図10において、電位V1は、右手側フィルタの電極上において印加されており、電気V2は、中央フィルタの電極上において印加されており、且つ、電位V3は、左手側フィルタの電極上において印加されている。それぞれ、フィルタの光学指数 n_1 、 n_2 、及び n_3 は、異なっている（電氣的に調節可能な光学指数を有する層5の材料は、同一であってもよい）。図8において記述されているように、フィルタの分極は、所与のナノ/マイクロ粒子におけるフィルタの共振周波数の調節を可能にする。図11のケースにおいては、ナノ/マイクロ粒子は、実質的に等しいサイズを有しており、且つ、フィルタ14のそれぞれは、異なる電位を印加することにより、異なる共振周波数に対して調節することができる。異なる電位の印加は、異なる色のフィルタの生成を可能にする。本発明のその他の実施形態においては、第1電気回路13は、マトリックスのその他のフィルタ14とは独立した電位を印加するような方式により、マトリックスのフィルタ14のいくつかにリンクさせることができる。

10

20

【0067】

図11に示されている本発明の実施形態は、3つの光検出器を有しており、それぞれの光検出器は、フィルタ14と、第2回路9と、を有する。上述のように、第1回路13による異なる電位の印加は、異なる色のフィルタ14の取得を可能にする。次いで、第1回路によって異なる電位 V_1 、 V_2 、及び V_3 を印加することにより、且つ、露光によって生成される電荷を第2回路9によって検出することにより、異なる色の光度を検出することができる。本発明の別の実施形態においては、第1電気回路13は、マトリックスのその他の光検出器15とは独立した電位を印加するように、マトリックス10の光検出器15のいくつかにリンクさせることができる。

30

【0068】

本発明の一実施形態においては、入射光は、光検出器内に含まれている1つ又は複数のフィルタに制御された電位を印加することにより、フィルタリングすることができる。フィルタリングの際には、マトリックス10の電極7に印加された1つ又は複数の電位は、ユーザーによってパラメータ化された1つ又は複数の共振周波数において光をフィルタリングするような方式により、処理ユニットによって駆動される。

【0069】

図12は、本発明の実施形態による3つの光検出器15のマトリックスを示している。本発明のこれらの実施形態においては、様々なフィルタ14は、なんらの第2電気絶縁層3をも有しておらず、これらは、Proust他において記述されている方法に従って製造されている。フィルタ14のそれぞれは、p-n接合を有する光検出器内において含まれており、本発明のこの実施形態においては、プレーン22が、p-n接合を有するフォトダイオードのpドープ半導電性材料層16から、フィルタ14を分離している。更に一般的には、フィルタ14のそれぞれは、p-n接合のpドープ層16上において又はnドープ層17上において配設することができる。図10において記述されている回路に類似した方式により、第1電気回路13は、電氣的接地と第1回路にリンクされたそれぞれのフィルタ14及び/又は検出器15の電極7との間において同一の電位 V_0 を印加するような方式により、少なくとも2つのフィルタ14及び/又は2つの光検出器15をリンクすることができる。有利には、第1回路は、マトリックスのフィルタ14及び/又は光検出器15の組全体にリンクすることができる。

40

50

【0070】

本発明のこの実施形態においては、第3回路23の1つの端子は、光検出器のp-n接合のpドープ層16に接続されており、且つ、第3回路23の別の端子は、同一の光検出器のp-n接合のnドープ層17に接続されている。第3回路23は、フィルタ14によって透過されたp-n接合の照明の際に生成される電荷の回復を許容している。2つのピクセルを分離する垂直方向のドットは、マトリックスの様々なピクセルに対応する様々なp-n接合の間の電气的分離を図式的に示している。

【0071】

そのピクセルのそれぞれが V_0 によって分極されている、図12に示された本発明の実施形態は、通常、フィルタの色の相違が、部分的に、対象のピクセルにおいては、実質的に同一のサイズを有するが、異なる色の対象の2つのピクセルにおいては、異なるサイズを有する、ナノ/マイクロ粒子1の存在に起因している、マトリックスに適している。

【0072】

図13は、本発明の実施形態による3つの光検出器15のマトリックスを示している。本発明のこれらの実施形態においては、様々なフィルタ14は、なんらの第2電気絶縁層3をも有しておらず、これらは、Proust他において記述されている方法に従って製造されている。フィルタ14のそれぞれは、p-n接合を有する光検出器内において含まれており、本発明のこの実施形態においては、プレーン22が、p-n接合を有する光検出器のpドープ半導電性材料層16から、フィルタ14を分離している。更に一般的には、フィルタ14のそれぞれは、p-n接合のpドープ層16上において又はnドープ層17上において配設することができる。図11において記述されている回路に類似した方式により、フィルタ14のそれぞれは、フィルタの電極7により、第1電気回路13にリンクされている。フィルタのそれぞれは、フィルタの電極7上におけるその他のものとは独立した電位を印加することにより、分極させることが可能であり、図13においては、電位 V_1 が、左手側フィルタの電極上において印加されており、電位 V_2 が、中央フィルタの電極上において印加されており、且つ、電位 V_3 が、右手側フィルタの電極上において印加されている。それぞれ、フィルタの光学指数 n_1 、 n_2 、及び n_3 は、異なっている。図8において記述されているように、フィルタの分極は、所与のナノ/マイクロ粒子におけるフィルタの共振周波数の調節を可能にしている。図13のケースにおいては、ナノ/マイクロ粒子は、実質的に等しいサイズを有しており、且つ、フィルタ14のそれぞれは、異なる電位を印加することにより、異なる共振周波数に調節することができる。異なる電位の印加は、異なる色のフィルタの生成を可能にする。本発明のその他の実施形態においては、第1電気回路13は、マトリックスのその他のフィルタ14とは独立した電位を印加するような方式により、マトリックスのフィルタ14のいくつかにリンクさせることができる。

【0073】

本発明のこの実施形態においては、第3回路23の1つの端子は、光検出器のp-n接合のpドープ層16に接続されており、且つ、第3回路23の別の端子は、光検出器のp-n接合のnドープ層17に接続されている。第3回路23は、フィルタ14によって透過されたp-n接合の照明の際に生成される電荷の回復を許容している。垂直方向のドットは、マトリックスの様々なピクセルに対応する様々なp-n接合の間の電气的分離を図式的に示している。

【0074】

図14は、電气的に調節可能な光学指数を有する層5の様々な光学指数の関数として、本発明によるフィルタ14の光透過のシミュレーションを示している。シミュレーションは、有限差分時間領域(FDTD: Finite-Difference Time-Domain)手順に従って実行されている。この手順においては、空間内においてシミュレートされる物体は、周期的に反復された、3次元メッシュセル内において、離散化されている。シミュレートされたフィルタ14は、シリコンプレーン22上において配設されると共に230nmの距離だけ周期的に分離された、シリコンから製造された円筒形ナノ

ノマイクロ粒子1を有する。電氣的に調節可能な光学指数を有する層5は、プレーン22上において、且つ、ナノ/マイクロ粒子1上において且つ/又はその周りにおいて、配設されている。図示のシミュレーションは、230nmの幅を有する、シリコン基材の上部表面上のプレーン22を有するメッシュセルと、150nmの高さ及び160nmの直径を有する円筒形ナノ/マイクロ粒子1と、メッシュセルのナノ/マイクロ粒子1によって形成された表面及び前記プレーン22上において配設された電氣的に調節可能な光学指数を有する層5と、を考慮することにより、実行されている。4つの曲線は、層5の異なる光学指数によってパラメータ化されたシミュレーションに対応している(曲線(a)は、 $n_{amb} = 1.4$ に対応しており、曲線(b)は、 $n_{amb} = 1.5$ に対応しており、曲線(c)は、 $n_{amb} = 1.6$ に対応しており、且つ、曲線(d)は、 $n_{amb} = 1.7$ に対応している)。灰色のゾーンは、フィルタの透過ピークの波長が特に層5の光学指数に依存している波長範囲(例えば、350~450nm)に対応している。従って、1.4から1.7へと変化する光学指数 n_{amb} の値において、この波長範囲内の透過ピークの波長は、約370nmから450nmへと変化している。

【0075】

図15は、フィルタの励起波長の関数として、本発明の異なるフィルタの光透過率のシミュレーションを示している。シミュレーションは、有限差分時間領域(FDTD)手順に従って実行されている。この手順においては、空間内においてシミュレートされる物体は、周期的に反復された、3次元メッシュセル内において離散化されている。シミュレートされたフィルタは、プレーン22上において配設されたシリコン-ゲルマニウムから製造された円筒形のナノ/マイクロ粒子1を有する。プレーン22は、シミュレーションのケースにおいては、 SiO_2 から製造された、第2電気絶縁層3と一致している。電極7は、1つ又は複数のナノ/マイクロ粒子1及び第2電気絶縁層3の上方において配設されている。シリコン層は、第2電気絶縁層3の下方において配設されている。シミュレートされたナノ/マイクロ粒子1は、実質的に半球状であり、且つ、ナノ/マイクロ粒子1によって形成された半球の平らな部分は、プレーン22と一致しており、且つ、シミュレーションのこの特定のケースにおいては、 SiO_2 から製造された第2電気絶縁層3と、一致している。図15のパネルAは、このタイプのフィルタの透過率を示している。図15のパネルBは、このタイプのフィルタの反射率を示している。パネルA及びBにおいて、曲線(a)は、80nmに等しい、ナノ/マイクロ粒子によって形成された半球の半径rによってパラメータ化されたシミュレーションに対応している。曲線(b)は、90nmの半径に対応しており、且つ、曲線(c)は、100nmの半径に対応している。

【0076】

本発明者らは、一般に、その光学指数がナノ-マイクロ粒子1の光学指数未満である第2電気絶縁層3上において配設された実質的に半球状のナノ-マイクロ粒子1の組合せが、波長選択性フィルタの生成を可能にすることを発見した。例えば、透過率は、図15のパネルAにおいて示されている実施形態においては、550nm~650nmの波長において特に小さい。この特性は、特に、電氣的に調節可能であると共に選択的であるフィルタを生成するような方式により、電氣的に調節可能な光学指数を有する層5と、前記電氣的に調節可能な光学指数を有する層5上において配設された第1電気絶縁層8と、を有する本発明によるフィルタ14において、使用することができる。本発明者らは、フィルタの選択性は、第2電気絶縁層3の光学指数が、厳格に、ナノ/マイクロ粒子1の指数未満である際に、最適化されることを更に発見した。更に詳しくは、フィルタの選択性は、第2電気絶縁層3の光学指数に対するナノ/マイクロ粒子1の光学指数の比率が、大きい、好ましくは、2超である、際に、最適化される。従って、第2電気絶縁層3の製造のために SiO_2 及び/又は TiO_2 を使用することができる。

【図1】

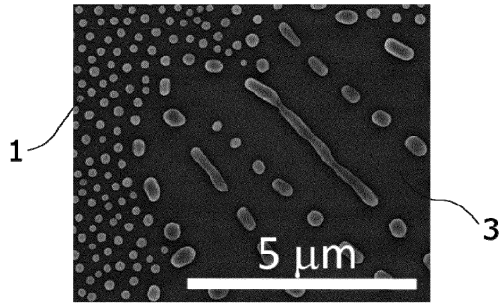


図1

【図2】

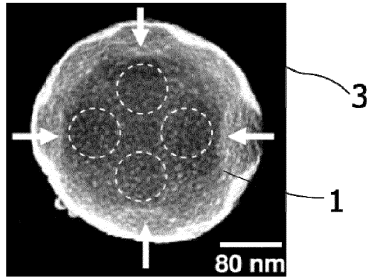


図2

【図3】

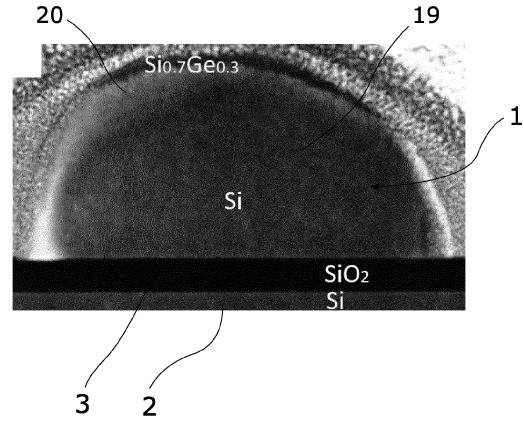


図3

【図4】

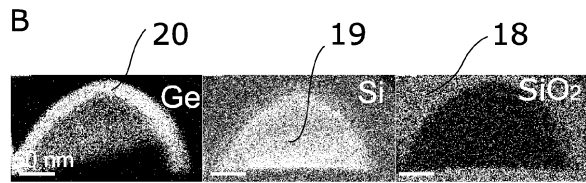
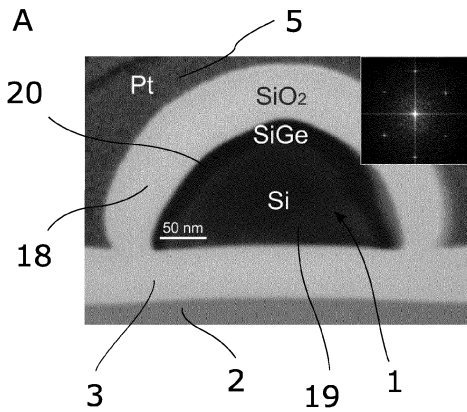


図4

【図5】

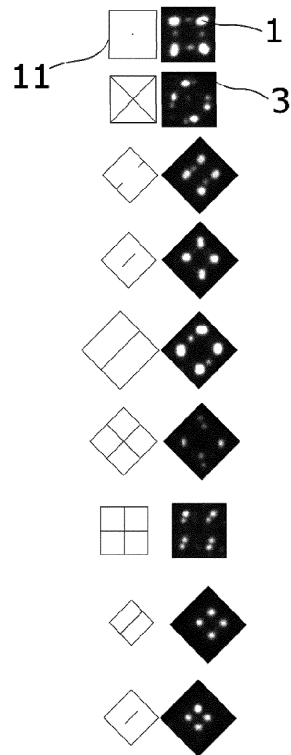


図5

【図6】

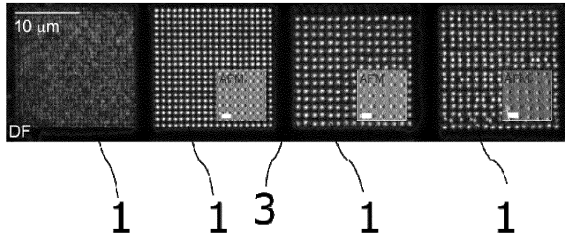


図6

【図7】

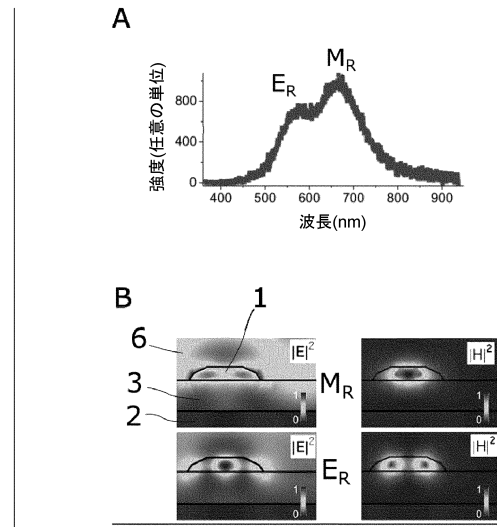


図7

【図8】

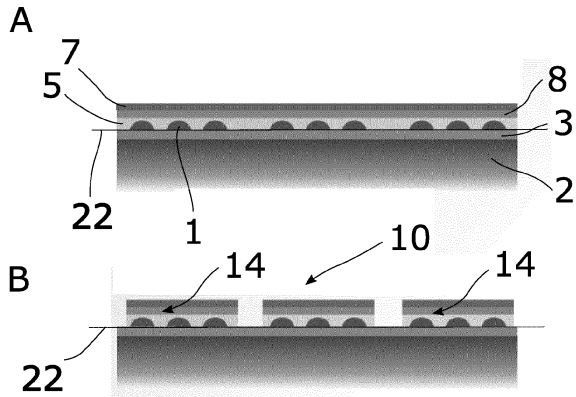


図8

【図9】

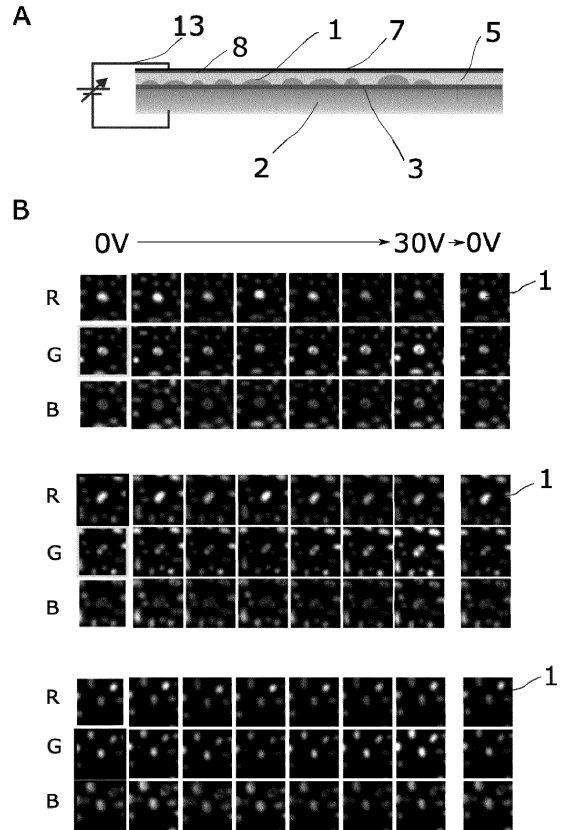


図9

【図10】

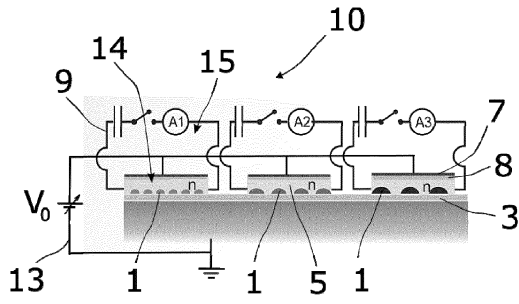


図10

【図11】

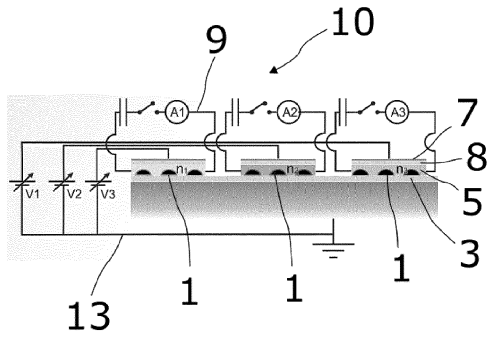


図11

【図14】

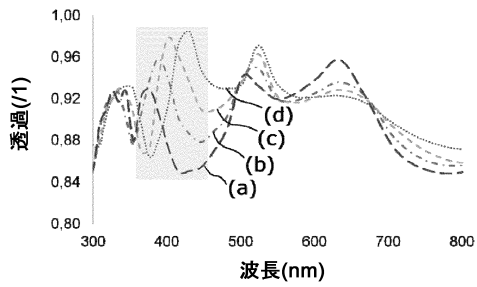


図14

【図12】

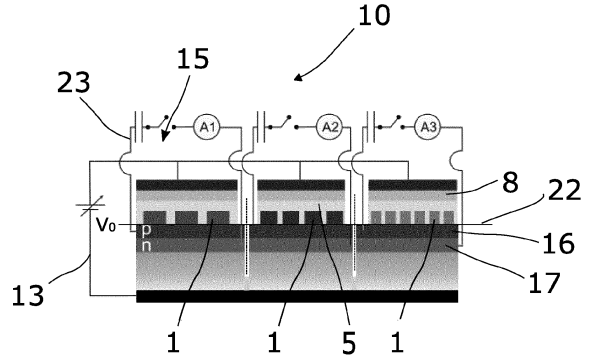


図12

【図13】

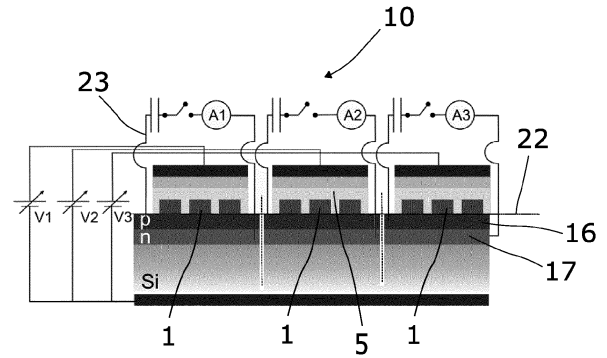


図13

【図15】

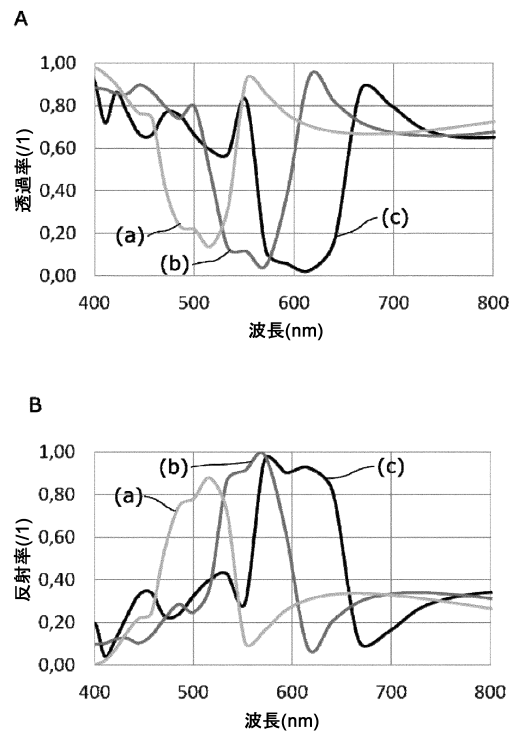


図15

フロントページの続き

(73)特許権者 518021399

エコール・サントラル・ドゥ・マルセイユ
フランス国、13013・マルセイユ・13、リュ・フレデリック・ジョリオ・キュリー・38、
ウ・セ・エム・テクノポル・シャトー・ゴンベール

(74)代理人 110001173

特許業務法人川口国際特許事務所

(72)発明者 ボノー, ニコラ

フランス国、83250・ラ・ロンド・レ・モール、シュマン・デュ・パンサール・1337

(72)発明者 アッバルキ, マルコ

フランス国、13001・マルセイユ、リュ・ジャン・ロック・20

(72)発明者 ウッド, トマ・ミッシェル

フランス国、13005・マルセイユ、ブルバール・シャープ・308

審査官 野口 晃一

(56)参考文献 特開2011-043681(JP, A)

国際公開第2013/062795(WO, A1)

米国特許出願公開第2007/0171120(US, A1)

米国特許出願公開第2012/0170097(US, A1)

Sautter et al., Active Tuning of All-Dielectric Metasurfaces, ACS Nano, 米国, ACS Publications, 2015年3月9日, Vol.9., No.4, pp.4308-4315

Abbarchi et al., Wafer Scale Formation of Monocrystalline Silicon-Based Mie Resonators via Silicon-on-Insulator Dewetting, ACS Nano, 米国, ACS Publications, 2014年11月3日, Vol.8, No.11, pp.11181-11190

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G02F 1/01 - 1/125

1/21 - 7/00

JSTPlus/JMEDPlus/JST7580(JDreamIII)