

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6849597号
(P6849597)

(45) 発行日 令和3年3月24日(2021.3.24)

(24) 登録日 令和3年3月8日(2021.3.8)

(51) Int. Cl.		F I		
GO2F	1/03	(2006.01)	GO2F	1/03 505
GO2F	1/29	(2006.01)	GO2F	1/03 503
B82Y	20/00	(2011.01)	GO2F	1/29
			B82Y	20/00

請求項の数 18 (全 17 頁)

(21) 出願番号	特願2017-536574 (P2017-536574)	(73) 特許権者	503447036
(86) (22) 出願日	平成28年2月3日(2016.2.3)		サムスン エレクトロニクス カンパニー リミテッド
(65) 公表番号	特表2018-509643 (P2018-509643A)		大韓民国・16677・キョンギド・ス ウォンシ・ヨントンク・サムスンロ ・129
(43) 公表日	平成30年4月5日(2018.4.5)	(73) 特許権者	314005562
(86) 国際出願番号	PCT/US2016/016475		カリフォルニア インスティテュート オ ブ テクノロジー
(87) 国際公開番号	W02016/126896		アメリカ合衆国, 91125 カリフォル ニア州, パサデナ, カリフォルニア ブル ヴァード エム/シー 6-32 120 O イー.
(87) 国際公開日	平成28年8月11日(2016.8.11)	(74) 代理人	110000671
審査請求日	平成31年1月15日(2019.1.15)		八田国際特許業務法人
(31) 優先権主張番号	62/111,583		最終頁に続く
(32) 優先日	平成27年2月3日(2015.2.3)		
(33) 優先権主張国・地域又は機関	米国 (US)		
(31) 優先権主張番号	15/010,967		
(32) 優先日	平成28年1月29日(2016.1.29)		
(33) 優先権主張国・地域又は機関	米国 (US)		

(54) 【発明の名称】 ゲート構造を含む光変調素子

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

プラズモニック・ナノアンテナ層と、
金属層と、
前記プラズモニック・ナノアンテナ層と前記金属層との間に配置され、外部信号によっ
て誘電率が変わる誘電率変化層と、
前記プラズモニック・ナノアンテナ層と前記金属層との間に配置される誘電体層と、
前記誘電率変化層の誘電率変化を起こす信号を印加する信号印加手段と、
を含み、
前記プラズモニック・ナノアンテナ層は、
第1方向に沿って離隔配置された複数のナノアンテナラインを含み、
前記複数のナノアンテナラインそれぞれは、前記第1方向と異なる第2方向に沿って連
結された複数のナノアンテナを含み、
前記信号印加手段は電圧印加手段であり、当該電圧印加手段は、前記複数のナノアンテ
ナラインそれぞれと前記金属層との間に、独立して電圧を印加する、光変調素子。

【請求項 2】

前記誘電率変化層は、
電気信号によって誘電率が変わる電気光学物質を含むことを特徴とする請求項 1 に記載
の光変調素子。

【請求項 3】

前記誘電率変化層は、透明伝導性物質を含むことを特徴とする請求項2に記載の光変調素子。

【請求項 4】

前記誘電率変化層は、遷移金属窒化物を含むことを特徴とする請求項2に記載の光変調素子。

【請求項 5】

前記誘電率変化層は、

前記プラズモニック・ナノアンテナ層と前記金属層との間に印加される電圧により、キャリア濃度が変わる活性領域を含むことを特徴とする請求項2に記載の光変調素子。

【請求項 6】

前記活性領域は、前記誘電体層と隣接した領域に形成されることを特徴とする請求項5に記載の光変調素子。

【請求項 7】

前記誘電率変化層の誘電定数の実数部は、所定波長帯域で0の値を示すことを特徴とする請求項5に記載の光変調素子。

【請求項 8】

前記所定波長帯域は、前記活性領域のキャリア濃度によって異なるように示されることを特徴とする請求項7に記載の光変調素子。

【請求項 9】

前記電圧印加手段が、前記金属層と前記プラズモニック・ナノアンテナ層との間に印加する電圧範囲は、

前記電圧範囲内で、前記プラズモニック・ナノアンテナ層の共振波長帯域と前記所定波長帯域とが一致するように調節することができる範囲であることを特徴とする請求項7に記載の光変調素子。

【請求項 10】

前記複数のナノアンテナは、

長手方向が前記第1方向であるナノロッドと、長手方向が前記第2方向であるナノロッドとが互いに交差する十字形状を有することを特徴とする請求項 1 に記載の光変調素子。

【請求項 11】

前記複数のナノアンテナは、

円形、楕円形、多角形、X形状または星形であることを特徴とする請求項 1 に記載の光変調素子。

【請求項 12】

前記金属層と、前記複数のナノアンテナラインとの間にそれぞれ印加される電圧値が、前記第1方向に沿って所定の規則性を示すことを特徴とする請求項1に記載の光変調素子。

【請求項 13】

前記金属層上に、前記誘電率変化層が配置され、

前記誘電率変化層上に、前記誘電体層が配置されることを特徴とする請求項 1 に記載の光変調素子。

【請求項 14】

前記金属層上に、前記誘電体層が配置され、

前記誘電体層上に、前記誘電率変化層が配置されることを特徴とする請求項 1 に記載の光変調素子。

【請求項 15】

前記誘電率変化層は、前記プラズモニック・ナノアンテナ層と同じ形態にパターンされたことを特徴とする請求項14に記載の光変調素子。

【請求項 16】

前記プラズモニック・ナノアンテナ層は、

ナノパターンの貫通ホールが形成された金属物質を含むことを特徴とする請求項 1 に記

10

20

30

40

50

載の光変調素子。

【請求項 17】

請求項 1 に記載の光変調素子を含む光学装置。

【請求項 18】

複数のナノアンテナが二次元配列されたアレイを含むプラズモニック・ナノアンテナ層と、

金属層と、

前記プラズモニック・ナノアンテナ層と前記金属層との間に配置され、前記複数のナノアンテナに対応する複数の活性領域が二次元配列されたアレイを含み、前記複数の活性領域それぞれは、印加された電圧により、キャリア濃度が変化する誘電率変化層と、

前記プラズモニック・ナノアンテナ層と前記金属層の間に配置された誘電体層と、

前記誘電率変化層の誘電率変化を起こす信号を印加する信号印加手段と、

を含み、

前記プラズモニック・ナノアンテナ層は、

第 1 方向に沿って離隔配置された複数のナノアンテナラインを含み、

前記複数のナノアンテナラインそれぞれは、前記第 1 方向と異なる第 2 方向に沿って連結された複数のナノアンテナを含み、

前記信号印加手段は電圧印加手段であり、当該電圧印加手段は、前記複数のナノアンテナラインそれぞれと前記金属層との間に、独立して電圧を印加する、光変調素子。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、光を変調する光学素子に関する。

【背景技術】

【0002】

入射光の透過 / 反射、偏光、位相、強度、経路などを変更する光学素子は、多様な光学装置で活用される。また、光学システム内において、所望方式によって、前述の性質を制御するために、多様な構造の光変調器が提示されている。

【0003】

かような例として、光学的異方性を有する液晶 (liquid crystal)、光遮断 / 反射要素の微小機械的動きを利用する MEMS (microelectromechanical system) 構造などが一般的な光変調器に広く使用されている。かような光変調器は、その駆動方式の特性上、動作応答時間が数 μs 以上と遅い。

【0004】

最近、金属層と誘電体層との境界で起きる表面プラズモン共鳴 (surface plasmon resonance) 現象を利用するナノアンテナを光学素子に活用する試みがある。

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

本開示は、光を変調する光学素子に係わるものである。

【0006】

追加の例示的な態様は、以下の説明に部分的に記載され、部分的には、該説明から明らかになり、提示された例示的な実施形態の実施によって習得されるのである。

【発明の効果】

【0007】

本発明の光変調素子は、プラズモニック・ナノアンテナ層と誘電率変化層とを含み、誘電率変化層でキャリア濃度が変化する領域をゲートとして活用し、入射光を多様な形態で変調することができる。

10

20

30

40

50

【0008】

本発明の光変調素子は、小型、高速駆動が可能であり、多様な光学装置に適用され、光学装置の性能を向上させることができる。

【図面の簡単な説明】

【0009】

【図1】一実施形態による光変調素子の概略的な構造を示す斜視図である。

【図2】図1の光変調素子の単位ブロックを詳細に示した斜視図である。

【図3】図1の光変調素子の単位ブロックに形成されるゲート構造を示す断面図である。

【図4】図1の光変調素子に採用される誘電率変化層の活性領域に形成されるキャリア濃度による誘電率変化を示したグラフである。

10

【図5】図4の点線円表示部分を拡大したグラフである。

【図6】図1の光変調素子に採用される誘電率変化層の活性領域に形成されるキャリア濃度による反射率を示したグラフである。

【図7】図1の光変調素子に採用される誘電率変化層の活性領域に形成されるキャリア濃度による、入射光の位相変化を示したグラフである。

【図8】一実施形態による光変調素子が、動的位相格子(dynamic phase grating)に活用されるということを電算模写するためのサンプル構造の斜視図である。

【図9】図8のサンプル構造の単位ブロックの詳細な数値を示した斜視図である。

【図10】図8のサンプル構造に印加される電圧形態の一例、それによる入射光の位相変化、及び一次回折光の方向を示したグラフである。

20

【図11】図10のような形態において、図8のサンプル構造に電圧が印加される時、回折角による光強度を示したグラフである。

【図12】図8のサンプル構造に印加される電圧形態の他の例、それによる入射光の位相変化、及び一次回折光の方向を示したグラフである。

【図13】図12のような形態において、図8のサンプル構造に電圧が印加される時、回折角による光強度を示したグラフである。

【図14】図8のサンプル構造に印加される電圧形態のさらに他の例、それによるそれによる入射光の位相変化、及び一次回折光の方向を示したグラフである。

【図15】図14のような形態において、図8のサンプル構造に電圧が印加される時、回折角による光強度を示したグラフである。

30

【図16】他の実施形態による光変調素子の単位ブロックを示した斜視図である。

【図17A】一実施形態による光変調素子の単位ブロックに採用されるナノアンテナの例示的な形状を示す図面である。

【図17B】一実施形態による光変調素子の単位ブロックに採用されるナノアンテナの例示的な形状を示す図面である。

【図17C】一実施形態による光変調素子の単位ブロックに採用されるナノアンテナの例示的な形状を示す図面である。

【図17D】一実施形態による光変調素子の単位ブロックに採用されるナノアンテナの例示的な形状を示す図面である。

40

【図18】さらに他の実施形態による光変調素子の単位ブロックを示した断面図である。

【図19】さらに他の実施形態による光変調素子の単位ブロックを示した断面図である。

【発明を実施するための形態】

【0010】

一類型による光変調素子は、プラズモニック・ナノアンテナ(plasmonic nano-antenna)層と、前記プラズモニック・ナノアンテナ層と対向するように配置された金属層と、前記プラズモニック・ナノアンテナ層と前記金属層との間に配置され、外部信号によって誘電率が変化する誘電率変化層と、前記プラズモニック・ナノアンテナ層と前記金属層との間に配置される誘電体層と、を含む。

【0011】

50

前記光変調素子は、前記誘電率変化層の誘電率変化を起こす信号を印加する信号印加手段をさらに含んでもよい。

【0012】

前記信号印加手段は、前記プラズモニック・ナノアンテナ層と前記金属層との間に電圧を印加する電圧印加手段でもある。

【0013】

前記誘電率変化層は、電気信号によって誘電率が変わる電気光学物質を含んでもよい。

【0014】

前記誘電率変化層は、透明伝導性物質を含んでもよい。

【0015】

前記誘電率変化層は、遷移金属窒化物 (transition metal nitride) を含んでもよい。

【0016】

前記誘電率変化層は、前記プラズモニック・ナノアンテナ層と前記金属層との間に印加される電圧によって、キャリア濃度が変わる活性領域を含んでもよい。

【0017】

前記活性領域は、前記誘電率変化層内において、前記誘電体層と隣接した領域に形成されてもよい。

【0018】

前記誘電率変化層の誘電定数の実数部は、所定波長帯域で0の値を有することができる。

【0019】

前記所定波長帯域は、前記活性領域のキャリア濃度によって異なる。

【0020】

前記電圧印加手段が、前記金属層と前記プラズモニック・ナノアンテナ層の間に印加する電圧範囲は、前記電圧範囲内で、前記プラズモニック・ナノアンテナ層の共振波長帯域と前記所定波長帯域とが一致するように調節する範囲でもある。

【0021】

前記プラズモニック・ナノアンテナ層は、第1方向に沿って離隔配置された複数のナノアンテナラインを含み、前記複数のナノアンテナラインそれぞれは、前記第1方向と異なる第2方向に沿って連結された複数のナノアンテナを含んでもよい。

【0022】

前記複数のナノアンテナは、長手方向が前記第1方向であるナノロッドと、長手方向が前記第2方向であるナノロッドとが互いに交差する十字形状を有することができる。

【0023】

または、前記複数のナノアンテナは、円形、楕円形、多角形、X形状または星形でもある。

【0024】

前記電圧印加手段は、前記金属層と、前記複数のナノアンテナラインとの間に、それぞれ独立して電圧を印加するように構成されてもよい。

【0025】

前記金属層と、前記複数のナノアンテナラインとの間にそれぞれ印加される電圧値が、前記第1方向に沿って所定の規則性を示すことができる。

【0026】

前記金属層上に、前記誘電率変化層が配置され、前記誘電率変化層上に、前記誘電体層が配置されてもよい。

【0027】

または、前記金属層上に、前記誘電体層が配置され、前記誘電体層上に、前記誘電率変化層が配置されてもよい。

【0028】

10

20

30

40

50

前記誘電率変化層は、前記プラズモニック・ナノアンテナ層と同じ形態にパターンされてもよい。

【0029】

前記プラズモニック・ナノアンテナ層は、ナノパターンの貫通ホールが形成された金属物質を含んでもよい。

【0030】

また、一類型による光学装置は、前述のいずれか1つの光変調素子を含む。

【0031】

以下、添付された図面を参照し、本発明の実施形態について詳細に説明する。以下の図面において、同一参照符号は、同一構成要素を指し、図面上において、各構成要素の大きさは、説明の明瞭性と便宜さとのために、誇張されてもいる。一方、以下で説明する実施形態は、ただ例示的なものであるのみ、かような実施形態から、多様な変形が可能である。以下、「上部」や「上」と記載されたところは、接触して真上にあるものだけでなく、非接触で上にあるものをも含む。

10

【0032】

図1は、一実施形態による光変調素子100の概略的な構造を示す斜視図であり、図2は、図1の光変調素子100の単位ブロックを詳細に示した斜視図であり、図3は、図1の光変調素子100の単位ブロックに形成されるゲート構造を示す断面図である。

【0033】

該図面を参照すれば、光変調素子100は、プラズモニック・ナノアンテナ層170、プラズモニック・ナノアンテナ層170と対向するように配置された金属層110、プラズモニック・ナノアンテナ層170と金属層110との間に配置され、外部信号によって誘電率が変わる誘電率変化層130、及びプラズモニック・ナノアンテナ層170と金属層110との間に配置される誘電体層150を含む。

20

【0034】

また、誘電率変化層130に誘電率変化を誘導するため、誘電率変化層130に外部信号を印加する信号印加手段を含んでもよい。かような信号印加手段は、例えば、誘電率変化層130内に電場を形成するために、プラズモニック・ナノアンテナ層170と金属層110との間に電圧を印加する電圧印加手段190でもあるが、それに限定されるものではない。

30

【0035】

図面においては、金属層110上に、誘電率変化層130、誘電体層150の順に配置されているように図示されているが、誘電率変化層130、誘電体層150の配置順序は、変わってもよい。

【0036】

プラズモニック・ナノアンテナ層170は、伝導性物質から形成された多数のナノアンテナNAを含む。ナノアンテナNAは、サブ波長(sub-wavelength)の形状寸法を有する人工構造(artificial structure)であり、所定波長帯域の光を強く集める役割を行う。ここで、サブ波長は、ナノアンテナNAの動作波長、すなわち、前記所定波長より小さい寸法を意味する。ナノアンテナNAの形状をなるともいづれか一つがサブ波長の寸法を有することができる。

40

【0037】

ナノアンテナNAの前述の機能は、金属物質と誘電体物質との境界で起こる表面プラズモン共鳴(surface plasmon resonance)によるものであると知られており、ナノアンテナNAの細部的な形状によって、共振波長が異なる。

【0038】

プラズモニック・ナノアンテナ層170は、図示されているように、第1方向、例えば、y方向に沿って離隔配置された複数のナノアンテナラインNALを含む。複数のナノアンテナラインNALそれぞれは、第2方向、例えば、x方向に沿って連結された複数のナ

50

ノアンテナNAを含む。図面においては、第1方向と第2方向とが互いに直交する方向に図示されているが、それに限定されるものではなくて、互いに平行ではなければ、すなわち、互いに異なる2つの方向であればよい。

【0039】

ノアンテナNAを形成する伝導性物質としては、表面プラズモン励起(surface plasmon excitation)が起こる導電性が高い金属物質が採用される。例えば、Cu、Al、Ni、Fe、Co、Zn、Ti、ルテニウム(Ru)、ロジウム(Rh)、パラジウム(Pd)、白金(Pt)、銀(Ag)、オスミウム(Os)、イリジウム(Ir)、金(Au)のうちから選択された少なくともいずれか一つが採用され、それらのうちいずれか一つを含む合金からもなる。また、グラフェンのように、伝導性にすぐれる二次元物質または伝導性酸化物が採用されてもよい。

10

【0040】

誘電率変化層130は、外部信号によって光学的特性が変わる物質からもなる。該外部信号は、電気信号でもある。誘電率変化層130は、例えば、ITO(indium tin oxide)、AZO(aluminum zinc oxide)、GZO(gallium zinc oxide)のような透明伝導性酸化物(TCO:transparent conductive oxide)からもなる。また、TiN、ZrN、HfN、TaNのような遷移金属窒化物(transition metal nitride)も使用可能である。それ以外にも、電気信号が加えられれば、有効誘電率が変わる電気光学(electro-optic)物質、すなわち、LiNbO₃、LiTaO₃、KTN(potassium tantalate niobate)、PZT(lead zirconate titanate)が使用され、また電気光学特性を有する多様なポリマー(polymer)物質が使用されもする。

20

【0041】

前記外部信号は、電気信号に限定されるものではなく、熱を印加すれば、所定温度以上で相転移が起こって誘電率が変わる物質、例えば、VO₂、VO₂O₃、EuO、MnO、CoO、CoO₂、LiCoO₂またはCa₂RuO₄などが誘電率変化層130に採用されてもよい。

【0042】

金属層110は、プラズモニック・ノアンテナ層170との間で電圧を印加することができ、また光を反射するミラー層として機能することができる。金属層110の材質は、かような機能を遂行することができる多様な金属材料、例えば、Cu、Al、Ni、Fe、Co、Zn、Ti、ルテニウム(Ru)、ロジウム(Rh)、パラジウム(Pd)、白金(Pt)、銀(Ag)、オスミウム(Os)、イリジウム(Ir)、金(Au)のうちから選択された少なくともいずれか一つを含んでもよい。

30

【0043】

電圧印加手段190は、金属層110と複数のノアンテナラインNALとの間に、それぞれ独立して電圧を印加するように構成されてもよい。

【0044】

図3を参照すれば、誘電率変化層130は、プラズモニック・ノアンテナ層170と金属層110との間の電圧印加いかんによって、キャリア濃度が変わる活性領域135を含んでもよい。活性領域135は、誘電率変化層130内において、誘電体層150と隣接した領域側に形成され、キャリア濃度は、印加電圧によって変わる。活性領域135に形成されたキャリア濃度によって、光変調素子100に入射される光が変調される形態が調節される。かような点において、活性領域135は、ノアンテナNAの光変調性能を調節して制御するゲートと見ることができる。

40

【0045】

前述のように、ノアンテナNAは、その形状寸法によって決まる特定波長帯域の光を強く集めることができる。光変調素子100は、またノアンテナNAと共に、ミラーの役割を行う金属層110を共に具備しており、金属層110は、ノアンテナNAと相互

50

作用し、活性領域 135 の ENZ (epsilon near zero) 特性を増幅する磁性共振モードを形成することができ、入射光において、特定波長帯域の光の反射、回折を変調することができる。このとき、金属層 110 とナノアンテナ NA との間に印加される電圧いかににより、活性領域 135 のキャリア濃度が変わり、それにより、入射光の反射形態、回折形態が異なるようになる。

【0046】

誘電率変化層 130 の誘電率 (permittivity) は、波長によって変わる値を有する。真空の誘電率 0 に対する相対誘電率 (relative permittivity) r を誘電定数 (dielectric constant) とし、誘電率変化層 130 の誘電定数の実数部は (real part)、所定波長帯域において、0 の値を示す。

10

【0047】

誘電定数の実数部が、0、または 0 に非常に近い値を有する波長帯域を ENZ 波長帯域という。ほとんどの物質の誘電定数は、波長の関数で示され、複素数 (complex number) でも示される。真空の誘電定数は 1 になり、一般的な誘電体 (dielectric material) の場合、誘電定数の実数部は、1 より大きい正数である。金属の場合、誘電定数の実数部は、負数にもなる。ほとんどの波長帯域において、ほとんどの物質の誘電定数は、1 より大きい値を有し、また特定波長において、誘電定数の実数部は、0 の値を有することができる。

【0048】

20

誘電定数の実数部が 0、または 0 に非常に近い値を有するとき、特異的な光学的性質を示すと知られており、一実施形態の光変調素子 100 は、動作波長帯域を、誘電率変化層 130 の ENZ 波長帯域を含む領域と設定する。すなわち、ナノアンテナ NA の共振波長帯域と、誘電率変化層 130 の ENZ 波長帯域とを類似して設定することにより、印加電圧による光変調性能が調節される範囲をさらに大きくする。

【0049】

誘電率変化層 130 の ENZ 波長帯域は、活性領域 135 に形成されるキャリア濃度によって異なるように示される。誘電率変化層 130 の ENZ 波長帯域を活用するために、電圧印加手段 190 が、金属層 110 とプラズモニック・ナノアンテナ層 170 の間に印加する電圧範囲は、前記電圧範囲内において、プラズモニック・ナノアンテナ層 170 の共振波長と、誘電率変化層 130 が ENZ 性質を示す波長とが一致する範囲でもある。

30

【0050】

図 4 は、図 1 の光変調素子に採用される誘電率変化層 130 の活性領域 135 に形成されるキャリア濃度による誘電率変化を示したグラフであり、図 5 は、図 4 の点線円表示部分を拡大したグラフである。

【0051】

該グラフの横軸は、波長を示し、縦軸は、相対誘電率 (relative permittivity) r 、すなわち、誘電定数の実数部を示す。

【0052】

該グラフを参照すれば、キャリア濃度によって、波長に係わる誘電定数変化が異なるように示される。例えば、キャリア濃度が $1 \times 10^{21} \text{ cm}^{-3}$ である場合、誘電定数の実数部が、1 から -1 までの値を有する ENZ 波長帯域は、約 1,060 nm から 1,400 nm までの範囲で示される。キャリア濃度がそれより低くなるほど、ENZ 波長帯域は、長波長帯域に少しずつ移動する傾向を示す。

40

【0053】

誘電率変化層 130 の活性領域 135 に形成されるキャリア濃度は、印加電圧によって決められ、従って、かようなグラフと、ナノアンテナ NA の共振波長帯域とを考慮し、所望光変調範囲に、適切に光変調素子 100 に印加する電圧範囲を設定することができる。

【0054】

図 6 は、図 1 の光変調素子 100 に採用される誘電率変化層 130 の活性領域 135 に

50

形成されるキャリア濃度による反射率を示したグラフであり、図7は、図1の光変調素子100に採用される誘電率変化層130の活性領域135に形成されるキャリア濃度による位相変化を示したグラフである。

【0055】

該グラフは、波長1,265nmの光に対して、光変調素子100が4-levelの位相変調が可能であるということを示す。すなわち、1,264nm波長の光が、光変調素子100に入射される場合、キャリア濃度を变化させ、すなわち、金属層110とナノアンテナNAとの間に印加される電圧を变化させ、0、90°、180°、270°の位相変化(phase shift)が起こる。

【0056】

また、金属層110と複数のナノアンテナラインNALとの間にそれぞれ印加される電圧値が、所定の規則性を有するようにすることにより、光変調素子100は、位相格子として機能することもできる。

【0057】

以下、図8ないし図15を参照し、一実施形態による光変調素子100が、動的位相格子(dynamic phase grating)として活用されるということを説明する。

【0058】

図8は、一実施形態による光変調素子100が、動的位相格子として活用されるということを電算模写(computer simulation)するためのサンプル構造の斜視図であり、図9は、図8のサンプル構造の単位ブロックの詳細な数値を示した斜視図である。

【0059】

図8を参照すれば、電算模写に使用されたサンプル構造は、y方向に配置された64個の単位ブロックを含む。該単位ブロックの数値は、図9に表示された通りであり、単位は、nmである。電算模写時、x方向には、当該単位ブロックが続けて反復して続いている境界条件を適用する。Lは、180nmであり、1,250nm波長の光を変調することが可能な長さであり、Lを調節すれば、動作波長を变化させることができる。金属層110、ナノアンテナNAの材質は、Auに設定し、誘電率変化層130の材質は、ITOに設定し、誘電体層150の材質は、Al₂O₃に設定した。

【0060】

図10は、図8のサンプル構造に印加される電圧形態の一例、それによる入射光の位相変化、及び一次(1st order)回折光の方向を示したグラフである。

【0061】

図10に表示された印加電圧V1は、図8のサンプル構造に、V1の電圧が、2μmの規則的な周期で、金属層110とナノアンテナNAとの間に印加されることを意味する。すなわち、y方向に沿って、4つの単位ブロックには、ナノアンテナNAそれぞれと金属層110との間に、V1の電圧が印加され、次の4つの単位ブロックには、ナノアンテナNAそれぞれと金属層110の間には、電圧が印加されず、かような規則で、64個の単位ブロックに対して電圧が印加される。V1の電圧は、位相変化が、すなわち、180°になる値に決められる。

【0062】

かような規則の電圧が印加されることにより、光変調素子100の表面は、位相変化が180°である領域と、位相変化がない領域とが、前述の2μmの電圧印加周期と同一周期で繰り返される。光がかような形態の位相格子に入射されれば、表示されているように、位相が2μmの周期で、0°から180°に変わる形態に対応する一次回折光及び一次回折光が発生すると分析される。

【0063】

図11は、図10のような形態において、図8のサンプル構造に電圧が印加されるとき、回折角(diffraction angle)による光強度を示したグラフである。

10

20

30

40

50

【 0 0 6 4 】

該グラフを参照すれば、回折角が 40° 及び -40° である場合、強度ピークが示されており、それは、位相格子の対称性によるものである。すなわち、図 10 のグラフを参照するとき、表示された一次回折光の方向のみならず、入射光の方向を基準に、それと対称である方向にも一次回折光が発生する。

【 0 0 6 5 】

図 12 は、図 8 のサンプル構造に印加される電圧形態の他の例、それによる入射光の位相変化、及び一次回折光の方向を示したグラフである。

【 0 0 6 6 】

図 12 のグラフを参照すれば、対称性がない位相格子を形成することができる規則で電圧が印加される。

【 0 0 6 7 】

位相変化 270° 、 180° 、 90° を起こすことができる三種サイズの電圧、 V_1 、 V_2 、 V_3 及び電圧未印加のパターンが、 $2\ \mu\text{m}$ の周期で、金属層 110 とナノアンテナ NA との間に印加されている。すなわち、 y 方向に沿って、2 つの単位ブロックには、ナノアンテナ NA それぞれと金属層 110 との間で、 V_1 の電圧が印加され、次の 2 つの単位ブロックには、ナノアンテナ NA それぞれと金属層 110 との間で、 V_2 の電圧が印加され、次の 2 つの単位ブロックには、ナノアンテナ NA それぞれと金属層 110 との間で、 V_3 の電圧が印加され、次の 2 つの単位ブロックには、ナノアンテナ NA それぞれと金属層 110 との間で、電圧が印加されない。かような規則は、64 個の単位ブロックに対して反復適用される。

【 0 0 6 8 】

かような規則の電圧が印加されることにより、光変調素子 100 の表面には、位相変化が 270° である領域、 180° である領域、 90° である領域、位相変化がない領域が前述の $2\ \mu\text{m}$ の電圧印加周期と同一周期で反復される。光がかような形態の位相格子に入射されれば、表示されているように、 270° から 0° に漸進的に変わる位相変化が、 $2\ \mu\text{m}$ の周期で反復される形態に対応する一次回折光が発生すると分析される。

【 0 0 6 9 】

図 13 は、図 12 のような形態において、図 8 のサンプル構造に電圧が印加されるとき、回折角による光強度を示したグラフである。

【 0 0 7 0 】

グラフを参照すれば、回折角が 40° である場合、強度ピークが示されている。図 11 のグラフと比較するとき、強度ピーク的位置は、回折角 40° である場合に示され、 -40° では示されない。また、ピーク値は、図 11 の場合と比較するとき、2 倍ほどである。かような違いは、図 12 に示された位相格子は、図 10 と異なり、対称性がない形態によるものである。

【 0 0 7 1 】

図 14 は、図 8 のサンプル構造に印加される電圧形態のさらに他の例、それによるそれによる入射光の位相変化、及び一次回折光の方向を示したグラフである。

【 0 0 7 2 】

図 14 の電圧印加パターンは、図 12 と比較するとき、周期が $4\ \mu\text{m}$ に増大された形態である。位相変化 270° 、 180° 、 90° を起こすことができる三種サイズの電圧 V_1 、 V_2 、 V_3 及び電圧未印加のパターンが、 $4\ \mu\text{m}$ の周期で、金属層 110 とナノアンテナ NA との間に印加されている。すなわち、 y 方向に沿って、4 つの単位ブロックには、ナノアンテナ NA それぞれと金属層 110 との間で、 V_1 の電圧が印加され、次の 4 つの単位ブロックには、ナノアンテナ NA それぞれと金属層 110 との間で、 V_2 の電圧が印加され、次の 4 つの単位ブロックには、ナノアンテナ NA それぞれと金属層 110 との間で、 V_3 の電圧が印加され、次の 4 つの単位ブロックには、ナノアンテナ NA それぞれと金属層 110 との間で、電圧が印加されない。かような規則は、64 個の単位ブロックに対して反復適用される。

10

20

30

40

50

【 0 0 7 3 】

かような規則の電圧が印加されることにより、光変調素子100の表面には、位相変化が 270° である領域、 180° である領域、 90° である領域、位相変化がない領域が、前述の $4\mu\text{m}$ の電圧印加周期と同一周期で反復される。光がかような形態の位相格子に入射されれば、表示されているように、 270° から 0° に漸進的に変わる位相変化が、 $4\mu\text{m}$ の周期で反復される形態に対応する一次回折光が発生すると分析される。

【 0 0 7 4 】

図15は、図14のような形態において、図8のサンプル構造に電圧が印加されるとき、回折角による光強度を示したグラフである。

【 0 0 7 5 】

図8ないし図15の説明でのように、印加電圧形態を何種類かによって例示し、光変調素子100が位相格子として適用されるということについて説明した。前記結果により、誘電率変化層130にITOを使用し、近赤外線(near IR(infrared))領域の光に対して、2の位相変化制御が可能であるということが確認される。それを活用し、誘電率変化層の材質、ナノアンテナの形状寸法を調節し、異なる波長帯域の光を制御することも可能である。

【 0 0 7 6 】

また、印加された電圧形態は、例示的なものであり、印加電圧規則を多様に形成することにより、多様な光変調性能を具現することができる。位相変調のレベルは、2または4だけではなく、さらに多様に形成することができ、それらを活用し、ビーム整形(beam shaping)やビーム方向駆動(beam steering)などの光変調機能を遂行することも可能である。

【 0 0 7 7 】

図16は、他の実施形態による光変調素子100'の単位ブロックを示した斜視図である。

【 0 0 7 8 】

光変調素子100'は、金属層110、誘電率変化層130、金属層110、ナノアンテナNA'を含む。ナノアンテナNA'は、図2のナノアンテナNAが陽刻パターンを有するところと異なり、金属物質にナノパターンが陰刻された形態を有する。すなわち、ナノアンテナNA'は、図2のナノアンテナNAの逆相に対応する形状であり、金属物質Mに、十字形の貫通ホールNHが形成された形態である。

【 0 0 7 9 】

以上の説明において、ナノアンテナNA、NA'の断面形状が十字形に図示されているが、それは例示的なものであり、多様な形状が採用されてもよい。

【 0 0 8 0 】

図17Aないし図17Dは、一実施形態による光変調素子の単位ブロックに採用されるナノアンテナの例示的な形状を示している。

【 0 0 8 1 】

図17Aを参照すれば、ナノアンテナNAの断面形状は、円形でもある。かような形状のナノアンテナNAは、図1の光変調素子100に適用され、すなわち、かような円形のナノアンテナNA複数個が一方向に連結されるように配置され、ナノアンテナラインNALを形成することができる。

【 0 0 8 2 】

図17Bを参照すれば、ナノアンテナNAの断面形状は、楕円形でもある。かような形状のナノアンテナNAは、図1の光変調素子100に適用され、すなわち、かような楕円形のナノアンテナNA複数個が一方向、例えば、長軸に連結されるように配置され、ナノアンテナラインNALを形成することができる。楕円形のナノアンテナNA複数個が長軸方向だけではなく、他の方向、例えば、短軸方向、またはそれ以外の方向に連結され、ナノアンテナラインNALを形成することもできる。

【 0 0 8 3 】

10

20

30

40

50

図17Cを参照すれば、ナノアンテナNAは、3つのナノロッドが交差する形状の星形(*)でもある。また、複数の星形ナノアンテナが一方向、例えば、3つのナノロッドのうちいずれか1つの長手方向に連結され、図1の光変調素子100のナノアンテナラインNALを形成することもできる。

【0084】

図17DのナノアンテナNAは、金属物質Mにナノパターンの貫通ホールNHが形成された形態を有する。かような形態のナノアンテナNA複数個が、例えば、x方向に沿って連結され、図1のナノアンテナラインNALを形成することができる。

【0085】

図17Aないし図17Dの形状は、例示的なものであり、それら以外にも、多様な形態、例えば、多角形、ナノロッドなどの形態がナノアンテナNAに適用されてもよい。

10

【0086】

図18は、さらに他の実施形態による光変調素子200の単位ブロックを示した断面図である。

【0087】

光変調素子200は、金属層210、誘電体層250、誘電率変化層230、ナノアンテナNAを含む。

【0088】

本実施形態の光変調素子200は、誘電体層250と誘電率変化層230との配置順序において、図2の光変調素子200と違いがある。すなわち、金属層210上に、誘電体層250が配置され、誘電体層250上に、誘電率変化層230が配置され、誘電率変化層230上に、ナノアンテナNAが配置される。ナノアンテナNAは、x方向に沿って複数個が連結されるように配置され、ナノアンテナラインNALを形成することができる。誘電率変化層230は、ナノアンテナNAと同一形態にパターンされてもよい。

20

【0089】

金属層210とナノアンテナNAとの間に電圧が印加されれば、誘電率変化層230内に、活性領域235が形成される。活性領域235は、誘電率変化層230内において、誘電体層250に隣接して形成され、印加電圧の変化により、活性領域235のキャリア濃度が変わり、光変調性能を調節、制御するゲートの役割を行う。

【0090】

30

図19は、さらに他の実施形態による光変調素子300の単位ブロックを示した断面図である。

【0091】

光変調素子300は、金属層310、誘電体層350、誘電率変化層330、ナノアンテナNAを含む。

【0092】

本実施形態の光変調素子300は、誘電率変化層330がナノアンテナNAのような形状にパターンされていない点において、図18の光変調素子200と違いがある。すなわち、金属層310上に、誘電体層350、誘電率変化層330が全面的に積層形成され、誘電率変化層330上に、所定パターンのナノアンテナNAが形成される。ナノアンテナNA複数個がx方向に連結されるように配置され、ナノアンテナラインNALを形成することができる。

40

【0093】

金属層310とナノアンテナNAとの間に電圧が印加されれば、誘電率変化層330内において、活性領域335が形成される。活性領域335は、誘電率変化層330内において、誘電体層350に隣接して形成され、印加電圧の変化により、活性領域335のキャリア濃度が変わり、光変調性能を調節、制御するゲートの役割を行う。

【0094】

前述の光変調素子は、誘電率変化層の材質、ナノアンテナの形状、印加信号の形態を多様化することにより、所望波長帯域での多様な光変調性能を具現することができる。例え

50

ば、図1の構造において、複数のナノアンテナは、マトリックス形態に配置され、プラズモニック・ナノアンテナ層をなることができ、各ナノアンテナと金属層との間に印加される電圧が個別的に制御されるように、電圧印加手段が構成されてもよい。また、プラズモニック・ナノアンテナ層に含まれたナノアンテナが、いずれも同じ形状に図示されたが、それに限定されるものではなく、多様な形状を含んでもよい。または、同じ形状の異なる寸法を有するようにし、領域ごとに共振波長帯域を異なるように形成することも可能である。

【0095】

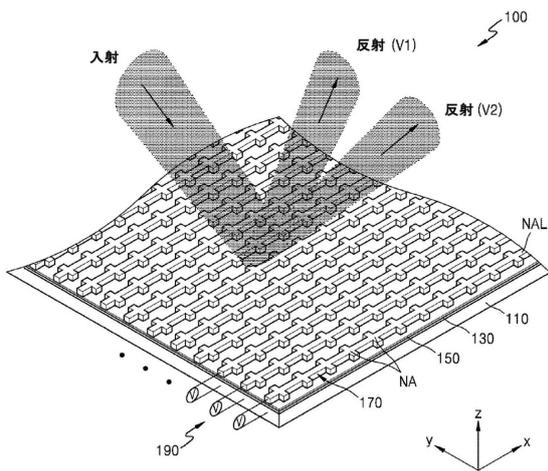
以上、本発明の理解の一助とするために、例示的な実施形態について説明し、添付された図面に図示した。しかし、かような実施形態は、ただ本発明を例示するためのものであり、それらを制限するものではないという点が理解されなければならないのである。

10

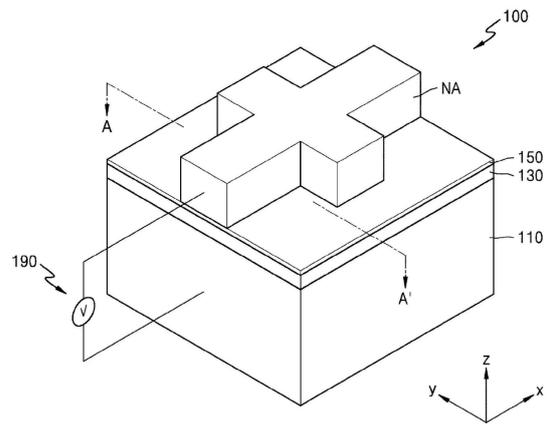
【0096】

本発明は、図示されて説明された説明に限られるものではないという点が理解されなければならない。それは、多様な他の変形が、本技術分野で当業者に可能であるためである。

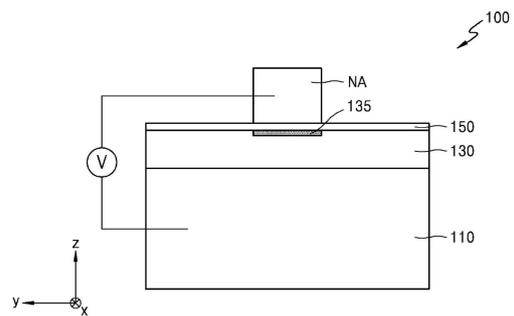
【図1】



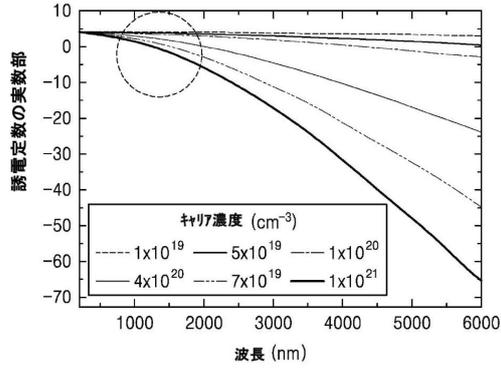
【図2】



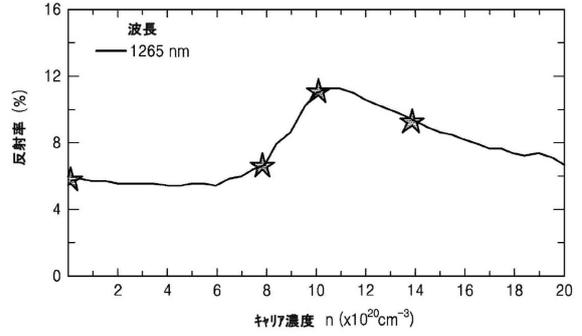
【図3】



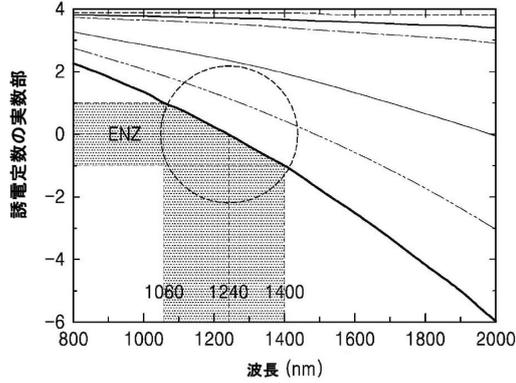
【 図 4 】



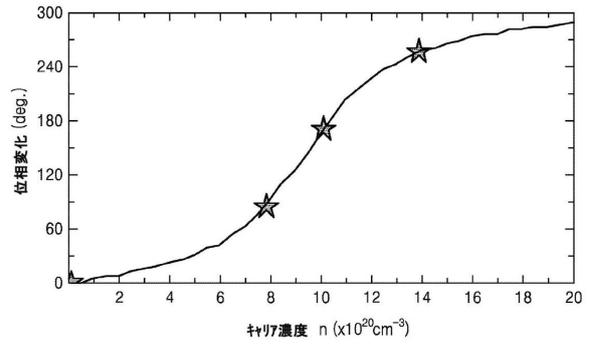
【 図 6 】



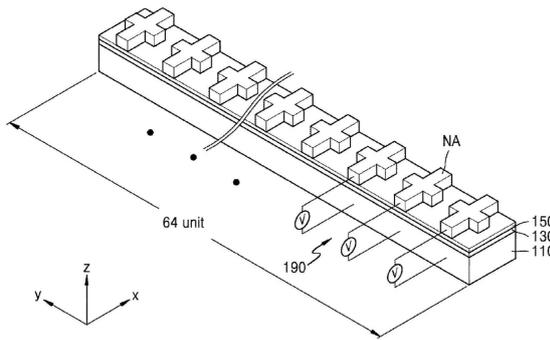
【 図 5 】



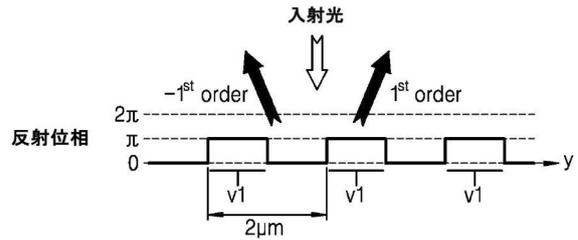
【 図 7 】



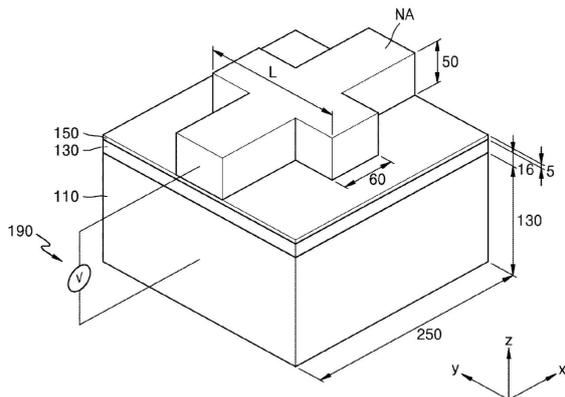
【 図 8 】



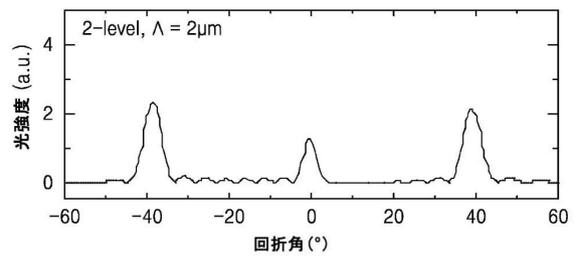
【 図 10 】



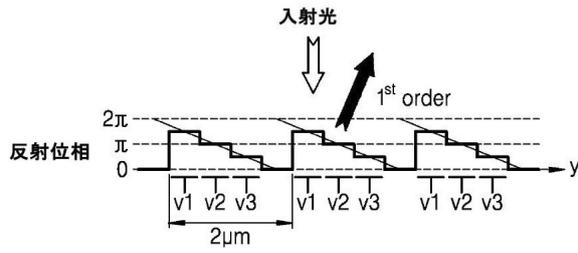
【 図 9 】



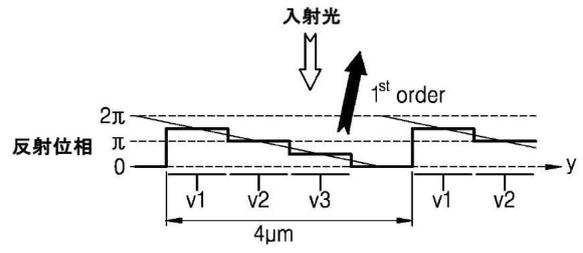
【 図 11 】



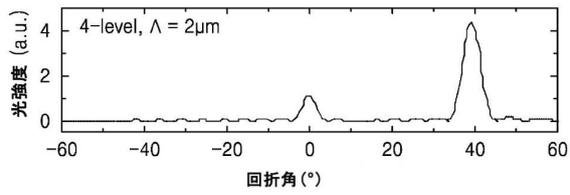
【图 1 2】



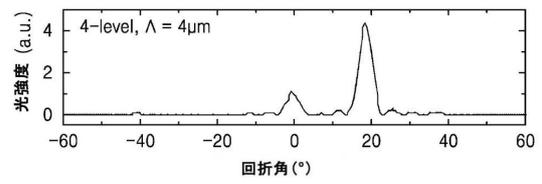
【图 1 4】



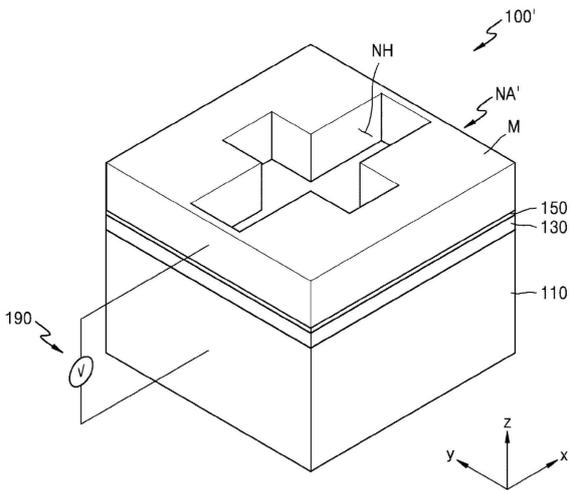
【图 1 3】



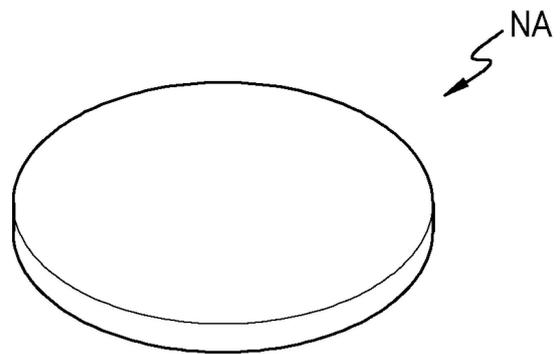
【图 1 5】



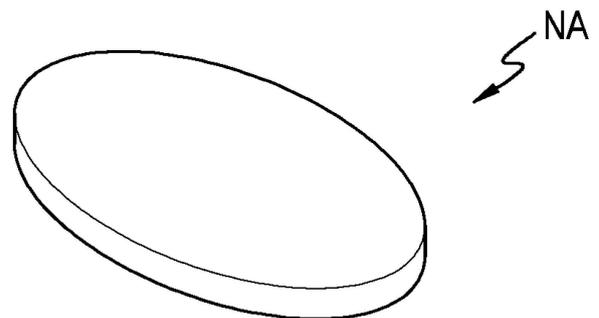
【图 1 6】



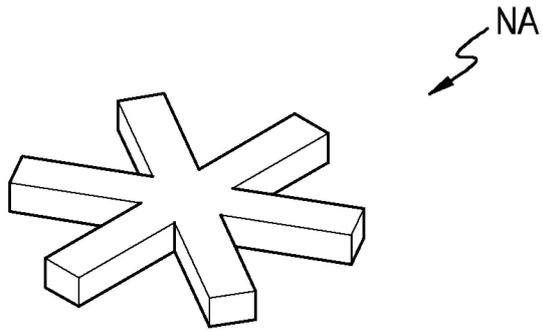
【图 1 7 A】



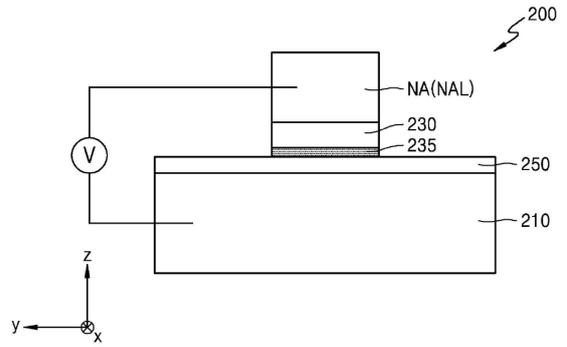
【图 1 7 B】



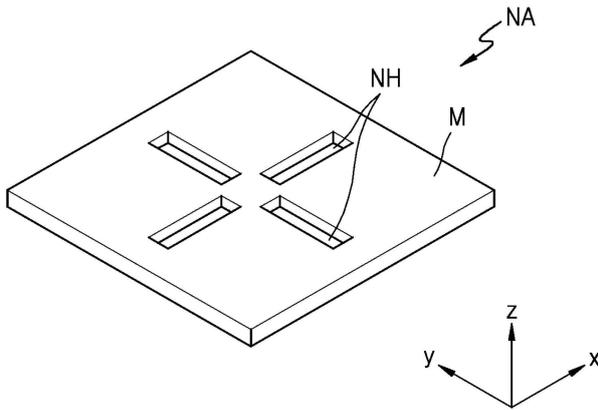
【 17 C】



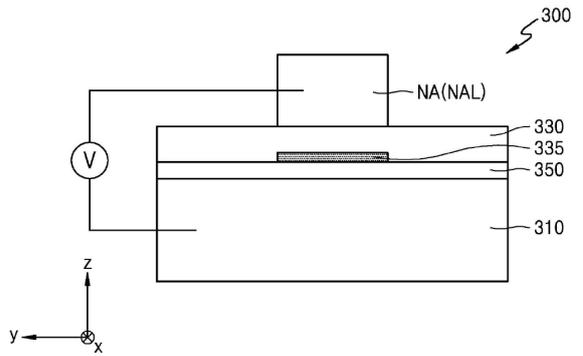
【 18】



【 17 D】



【 19】



フロントページの続き

(31)優先権主張番号 10-2015-0107515

(32)優先日 平成27年7月29日(2015.7.29)

(33)優先権主張国・地域又は機関
韓国(KR)

(72)発明者 ハン, スンフン

大韓民国, キョンギ - ド, スウォン - シ, ヨントン - ク, サムスン - ロ, 130, ケアオブ サム
スン アドバンスド インスティテュート オブ テクノロジー

(72)発明者 ファン, ヤオ - ウエイ

アメリカ合衆国, カリフォルニア, パサデナ, カリフォルニア ブルーヴァード エムシー 6 -
32, 1200 イー . ケアオブ カリフォルニア インスティテュート オブ テクノロジー

(72)発明者 アトウォーター, ハリー, エー .

アメリカ合衆国, カリフォルニア, パサデナ, カリフォルニア ブルーヴァード エムシー 6 -
32, 1200 イー . ケアオブ カリフォルニア インスティテュート オブ テクノロジー

(72)発明者 リ, ホ, ワイ

アメリカ合衆国, カリフォルニア, パサデナ, カリフォルニア ブルーヴァード エムシー 6 -
32, 1200 イー . ケアオブ カリフォルニア インスティテュート オブ テクノロジー

(72)発明者 ソーコヤン, ルザン

アメリカ合衆国, カリフォルニア, パサデナ, カリフォルニア ブルーヴァード エムシー 6 -
32, 1200 イー . ケアオブ カリフォルニア インスティテュート オブ テクノロジー

(72)発明者 パパダキス, ジョージア

アメリカ合衆国, カリフォルニア, パサデナ, カリフォルニア ブルーヴァード エムシー 6 -
32, 1200 イー . ケアオブ カリフォルニア インスティテュート オブ テクノロジー

(72)発明者 スアガラジャン, クリシュナン

アメリカ合衆国, カリフォルニア, パサデナ, カリフォルニア ブルーヴァード エムシー 6 -
32, 1200 イー . ケアオブ カリフォルニア インスティテュート オブ テクノロジー

審査官 廣崎 拓登

(56)参考文献 米国特許出願公開第2014/0185122(US, A1)

米国特許出願公開第2010/0265552(US, A1)

特開2000-111851(JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G02F 1/00 - 1/125

G02F 1/21 - 7/00