

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2014-6529

(P2014-6529A)

(43) 公開日 平成26年1月16日(2014.1.16)

(51) Int.Cl.

G02F 1/061 (2006.01)

F I

G02F 1/061 503

テーマコード (参考)

2K102

審査請求 未請求 請求項の数 9 O L 外国語出願 (全 21 頁)

(21) 出願番号 特願2013-131017 (P2013-131017)  
 (22) 出願日 平成25年6月21日 (2013. 6. 21)  
 (31) 優先権主張番号 10 2012 105 487.8  
 (32) 優先日 平成24年6月22日 (2012. 6. 22)  
 (33) 優先権主張国 ドイツ (DE)

(71) 出願人 507230267  
 シーリアル テクノロジーズ ソシエテ  
 アノニム  
 SEEREA L TECHNOLOGIE  
 S S. A.  
 ルクセンブルグ大公国 ムンスバッハ エ  
 ルー5365, パルク ダクティヴィテ  
 シルダール, 6 ビー  
 (74) 代理人 100076428  
 弁理士 大塚 康德  
 (74) 代理人 100112508  
 弁理士 高柳 司郎  
 (74) 代理人 100115071  
 弁理士 大塚 康弘

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 スイッチング可能な体積回折格子を有する光変調器

(57) 【要約】 (修正有)

【課題】入射光の位相を印加電圧に従って変調できる空間光変調器を提供する。

【解決手段】空間光変調器は、ほぼ等距離で配列されたポリマー回折格子層PMGと、ポリマー回折格子層PMGの間にあり且つ活性光学媒体で充満された中間空間LCSとの周期構造の形で構成され、周期回折格子構造SVGの境界を形成する面に、電界によって活性光学媒体の屈折率に影響を与える電極PE、GEが形成され、電極PEは、規則的パターンの画素化配列を有し且つ電圧によって互いに独立して駆動可能である。少なくとも1つの光源から射出された光ELが空間光変調器に入射する場合、ブラッグ回折のために偏向される光部分GLは、偏向されずに透過する光部分DLより所定の値だけ少なく且つ駆動電圧Vが変化した場合に偏向される光部分GLと偏向されずに透過する光部分DLの割合はほぼ変化しない。

【選択図】図3a

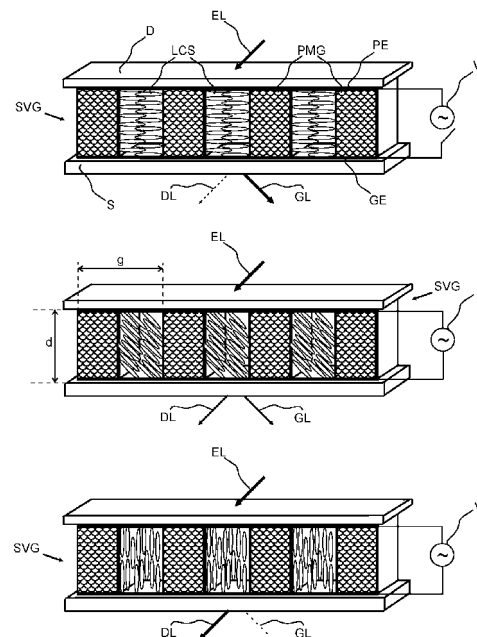


Fig. 3a

## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

少なくとも 1 つの光源から射出され且つ空間光変調器と相互に作用する光を変調する空間光変調器であって、前記空間光変調器 (SLM) は、周期回折格子構造 (SVG) を形成するために、ほぼ等距離で配列されたポリマー回折格子層 (PMG) と、前記ポリマー回折格子層 (PMG) の間にあり且つ活性光学媒体で充填された中間空間 (LCS) との周期構造の形で構成され、前記周期回折格子構造 (SVG) の境界を形成する面に、電界によって前記活性光学媒体の屈折率に影響を与える電極 (PE、GE) が形成され、前記電極 (PE) は、規則的パターンの画素化配列を有し且つ電圧によって互いに独立して駆動可能であり、前記ポリマー回折格子層 (PMG) の配向、前記周期回折格子構造 (SVG) の層厚さ (d) 及び回折格子周期 (g) は、前記少なくとも 1 つの光源からの光 (EL) のブラッグ条件と一致しないように構成され、且つ前記少なくとも 1 つの光源から射出された光 (EL) が前記空間光変調器 (SLM) に入射する場合に、ブラッグ回折のために偏向される光部分 (GL) が、偏向されずに透過する光部分 (DL) より所定の値だけ少なくなるように且つ前記駆動電圧 (V) が変化した場合に偏向される光部分 (GL) と偏向されずに透過する光部分 (DL) の割合はほぼ変化しないままであるように構成されることを特徴とする空間光変調器。

10

## 【請求項 2】

前記周期回折格子構造 (SVG) の面に関する前記光源からの光 (EL) の入射角は、前記光の位相に関して、それぞれ駆動される画素の関数として前記光に影響を与えるために、前記少なくとも 1 つの光源からの光 (EL) がほぼ完全に偏向されずに前記空間光変調器 (SLM) を通過するように且つ前記周期回折格子構造 (SVG) のブラッグ角と一致しないように選択されることを特徴とする請求項 1 記載の空間光変調器。

20

## 【請求項 3】

1 つの活性層を有する光変調器と比較してスイッチング時間が短い前記空間光変調器 (SLM) の層構造は、規則的に配列されたポリマー回折格子層 (PMG) により形成されることを特徴とする請求項 1 又は 2 記載の空間光変調器。

## 【請求項 4】

ガラス基板により分離された複数の活性層を有する光変調器と比較して、個々の層の間の望ましくない回折効果、従って隣接画素間のクロストークは回避されることを特徴とする請求項 1 から 3 のいずれか 1 項に記載の空間光変調器。

30

## 【請求項 5】

前記周期回折格子構造 (SVG) の回折格子平面は、前記空間光変調器 (SLM) の面に対して垂直に又は平行に配置されることを特徴とする請求項 1 乃至 4 のいずれか 1 項に記載の空間光変調器。

## 【請求項 6】

前記入射光 (EL) の振幅変調又は位相変調は、前記変調層の前及び / 又は後に配置された少なくとも 1 つの偏光子と関連して発生されることを特徴とする請求項 1 乃至 5 のいずれか 1 項に記載の空間光変調器。

## 【請求項 7】

それぞれ波長が異なる少なくとも 3 つの光源を有し、前記周期回折格子構造 (SVG) の面に関する前記少なくとも 3 つの光源からの光 (EL) の入射角は、前記光の位相に関して、それぞれ駆動される画素の関数として前記光に影響を与えるために、前記少なくとも 3 つの光源からの光 (EL) がほぼ完全に偏向されずに前記空間光変調器 (SLM) を通過するように、且つ前記周期回折格子構造 (SVG) のブラッグ角と一致しないように、それぞれ選択されることを特徴とする請求項 1 および 2 に記載の空間光変調器。

40

## 【請求項 8】

前記ポリマー回折格子層 (PMG) の回折格子平面は前記空間光変調器 (SLM) の面に対して垂直に配置され且つ前記回折格子周期 (g) は前記光源の波長より短いことを特徴とする請求項 5 及び 7 記載の空間光変調器。

50

## 【請求項 9】

前記ポリマー回折格子層 (PMG) の回折格子平面は前記空間光変調器 (SLM) の面に対して垂直に配置され且つ前記ポリマー回折格子層 (PMG) の壁及び中間空間は異なる幅を有することを特徴とする請求項 5 記載の空間光変調器。

## 【発明の詳細な説明】

## 【技術分野】

## 【0001】

## 【背景技術】

## 【0002】

ホログラムディスプレイ並びに他の用途には、高速位相変調器及び高速振幅変調器が必要とされる。LC (液晶) 系変調器の場合、多くの LC モードで、LC 層の厚さと変調器のスイッチング時間との関係が知られている。変調器のスイッチング速度は、LC 層の厚さが増すにつれて、ほぼ厚さの 2 乗に従って低下する。一般にこれは、面と接触している LC 分子のほうから離間した位置にある LC 分子よりは速く電界の変化に反応するからである。しかし、その一方で、所定の最大値の振幅変調又は位相変調を実現するためには、LC 層の厚さと複屈折率との特定の積が必要とされる。このため、層厚パラメータは限られた狭い範囲内でのみ変更が可能である。例えば、高い複屈折率を有する LC 材料を選択することにより、層厚パラメータが変更されてもよい。従って、変調器のスイッチング時間を短縮したい場合、層を任意に薄くすることはできない。

## 【0003】

LC 系非画素化シャッタの場合、スイッチング時間の短縮を実現するために、例えば、変調に必要とされる LC 層の厚さを複数の個別の層に分散させるという方法がある。個別の層の間にはガラス基板が配置される。例えば、それぞれが厚さ  $1.5 \mu\text{m}$  の 3 つの LC 層がガラス基板に埋め込まれたサンドイッチ構造の形の高速シャッタが知られている。このシャッタは厚さ  $4.5 \mu\text{m}$  の 1 つの LC 層と同一の光学的機能を実現するが、単独の層と比べてスイッチング時間は相当に短い。しかし、ガラス基板の厚さと比較して寸法が小さい画素を有する画素化光変調器に、このサンドイッチ方式をそのまま適用することは不可能だろう。ガラス基板があるために、個別の LC 層の間で光が伝播される間に望ましくない回折効果が起こり、それに伴って個別の画素の間でクロストークが発生すると考えられる。例えば、ホログラムディスプレイに使用される光変調器の典型的な画素ピッチは約  $30 \mu\text{m}$  であるが、ディスプレイ業界で使用されるガラス基板の典型的な厚さは  $700 \mu\text{m}$  である。

## 【0004】

ポリマー網が LC 分子の特定の配向を安定させる重合可能 LC 構造 (PDLC: ポリマー分散 LC 構造) も知られており、この構造も同様にスイッチング処理の速度に良好な効果をもたらす。しかし、一般に、そのような架橋は光透過中の散乱に関連する問題を引き起こす。

## 【0005】

その一方で、規則的なポリマー網と、その間に位置する LC 層とから構成される回折格子構造を有するスイッチング可能な体積回折格子が知られている。そのような構成は、例えば、Caputo 他による文献「POLICRIPS switchable holographic grating: A promising grating electro-optical pixel for high resolution display application」(Journal of Display Technology、第 2 巻第 1 号、2006 年 3 月刊、38 ページ以降) に記載されている。別の用途は、Sakhno 他による文献「POLIPHEN new type of nanoscale polymer LC switchable photonic devices」(Proc SPIE 第 5521 号、38 ページ以降、2004 年) に記載されている。

## 【0006】

上記の文献は、いずれも、光を偏向させるために使用され且つ入射光が偏向される割合又は偏向されずに透過する割合をスイッチング状態に応じて増減する一種のスイッチング可能なブラッグ回折格子を説明する。また、この回折格子が画素化方式でスイッチング可能であることも説明されている。従って、入射光は、画素のスイッチング状態に応じて、局所的に偏向されるか又は偏向されないまま透過する。この構成は、画素化方式で駆動されるブラッグ回折格子に相当する。

#### 【 0 0 0 7 】

ブラッグ条件は、

$$n \cdot \lambda = 2 \cdot d \cdot \sin(\theta)$$

により表される。式中、

n - 回折時の数、

- 光の波長、

d - 回折格子平面の離間距離、

- 入射光束と回折格子平面とが成す角度

である。

#### 【 0 0 0 8 】

例えば、偏向された光が除去され且つ偏向されない光のみが透過するか、あるいは逆に偏向された光のみが透過し且つ偏向されない光は除去される場合、このような画素化構成は空間振幅変調器として使用可能だろう。しかし、画素化構成が空間位相変調器として適用される用途、すなわち、構成と相互に作用する光の位相が画素レベルで変化される用途は、この形では実現不可能だろう。更に、この構成は、ブラッグ回折格子の周知の特性に起因する制限、すなわち特定の角度及び波長の選択性による制限を受ける。ブラッグ回折格子は1つの回折次数では100%に近い高い回折効率を有するが、この効率は入射光のごく狭い角度範囲及びごく狭い波長範囲でしか得られない。従って、例えば、赤色、緑色及び青色の光に対して、このようなスイッチング可能なブラッグ回折格子を100%に近い高い効率で一様に動作させることは容易ではないと予測される。

#### 【 発明の概要 】

#### 【 発明が解決しようとする課題 】

#### 【 0 0 0 9 】

従って、本発明の目的は、アクティブ状態にある各画素の領域で、入射光の位相を印加電圧に従って変調できる空間光変調器を提供することである。この場合、そのような回折格子構造を持たない光変調器と比較してスイッチング速度の増加を維持することが意図され、且つ波長の選択性を大幅に抑制することが意図される。

#### 【 課題を解決するための手段 】

#### 【 0 0 1 0 】

上記の目的は、本発明に従って請求項1によって達成される。本発明の更なる有利な構成及び改良は、従属請求項に記載されている。

#### 【 0 0 1 1 】

本発明に係る空間光変調器は、少なくとも1つの光源からの、空間光変調器と相互に作用する光を変調するために使用される。空間光変調器は、(スイッチング可能な体積回折格子と同様に)ほぼ等距離で配列された複数のポリマー回折格子層と、ポリマー回折格子層の間にあり且つ活性光学媒体で充満された中間空間とから成る周期構造の形で構成される。周期回折格子構造の境界を規定する面には、電界により活性光学媒体の屈折率に影響を与えるための電極が形成され、電極は、規則的なパターンの画素化配列を有し且つ電圧によって互いに独立して駆動可能である。ポリマー回折格子層の配向、層厚さ及び回折格子周期は、少なくとも1つの光源からの光に関するブラッグ条件と合致しないように構成されるので、少なくとも1つの光源から射出された光が空間光変調器に入射する場合、ブラッグ回折によって偏向される光部分は、偏向されずに透過する光部分より所定の値だけ少なく、駆動電圧が変化した場合、偏向される光部分及び偏向されずに透過する光部分の割合は、それぞれほぼ変化しないままである。

## 【 0 0 1 2 】

この場合、周期回折格子構造の面に関する光源からの光の入射角は、周期回折格子構造のブラッグ角と一致しないように選択されるので、少なくとも1つの光源からの光は、ほぼ完全に偏向されないまま空間光変調器を通過し、それにより光の位相に関して、それぞれ駆動される画素の関数として光に影響を与える。

## 【 0 0 1 3 】

周期回折格子構造のポリマー回折格子層は規則的に配列されているので、1つの活性層を有する光変調器と比較してスイッチング時間が短い空間光変調器の層構造が形成される。これは、LC系光変調器のスイッチング時間が活性LC層の厚さの2乗に従って増加するからである。これは、活性層が複数の部分層に細分されることを示唆する。しかし、分離層としてガラス基板を使用することによる細分は、分離層で望ましくない回折効果を発生させる。例えばホログラムディスプレイの位相変調器の場合、そのような回折効果は許容されない。

## 【 0 0 1 4 】

本発明によれば、ガラス基板により分離された複数の活性層を有する光変調器と比較して、個別の層の間で起こる望ましくない回折効果、従って隣接画素間のクロストークは回避される。

## 【 0 0 1 5 】

このような周期回折格子構造を製造する場合、先に挙げたCaputo他又はSakhno他による文献で説明されているような既知のスイッチング可能な体積回折格子の製造方法を使用することができるので好都合である。それらの文献によれば、回折格子は、2つのレーザー光束の干渉によって光学的に記録媒体に記録される。例えば、干渉し合う2つのレーザー光束が成す角度を修正することにより、回折格子周期を調整できる。露光中、2つのレーザー光束に関する記録媒体の角度を変化させることにより、記録媒体における回折格子平面の向きを調整できる。

## 【 0 0 1 6 】

例えば適切な大きさのスペーサを使用することにより、位相又は振幅に対する光変調器に要求される条件に回折格子構造の層厚さを適合させることもできる。

## 【 0 0 1 7 】

この場合、記録媒体及びレーザーの向きを適切に設定することにより、周期回折格子構造の回折格子平面は、記録媒体の面に対して垂直又は平行に選択的に配置されてもよい（あるいは一般的な場合には斜めに配置されてもよい）。

## 【 0 0 1 8 】

所期の用途に応じて、変調器層の前及び／又は後に配置される少なくとも1つの偏光子と組み合わせて、入射光の振幅変調又は位相変調を実現できる。

## 【 0 0 1 9 】

光変調器は、波長の異なる複数の光源、例えば少なくとも1つの赤色光源、1つの緑色光源及び1つの青色光源からの光を変調するために使用されてもよい。この場合、周期回折格子構造の周期及び傾斜角は、3つの光源のうちどの光源からの光の入射角に関するブラッグ条件とも一致しないように選択されるので、少なくとも3つの光源からの光は、ほぼ完全に偏向されないまま光変調器を通過し、それにより光の位相に関して、それぞれ駆動される画素の関数として光に影響を与える。詳細には、例えばホログラムディスプレイの場合のような狭帯域LED光源又はレーザー光源を使用する場合に、この効果を十分に実現できる。

## 【 0 0 2 0 】

周期回折格子構造の回折格子平面は、光変調器の面に対して垂直に配置されると好都合であり、且つ回折格子周期は光源の波長より小さい値になるように選択されると好都合である。この場合、周期回折格子構造のポリマー回折格子層の壁及び中間空間は、それぞれ異なる幅を有する。

## 【 0 0 2 1 】

10

20

30

40

50

本発明に係る光変調器では、従来のITO系電極（ITO：酸化インジウムスズ）の代わりに、電極としての機能に加えて偏光子として作用するか又は偏光に対して検光子として作用するWGP系電極（WGP：ワイヤグリッド偏光子）を使用することも可能である。この構成は、本発明に係る光変調器を振幅変調器として使用する場合に別に偏光子を使用する必要がないという利点を有する。その詳細は図7に関連して以下に説明される。この点に関して、本発明に係る光変調器がWGP系電極を備えることができるだけでなく、原則としてどのような種類の光変調器もWGP形電極を装備できる。

【0022】

ごく一般的には、WGP電極は、本発明に係る光変調器では形成されない光変調器の電極として使用されてもよい。

【0023】

8インチを超える画面对角線長さを有するディスプレイは、 $1\mu\text{m}$ 以上の構造幅の電極構造を有する。このような構造幅はコンタクトコピーによっても実現可能である。この場合、知られている限りでは、振幅回折格子が排他的に使用される。従って、例えば現在使用されている  $\text{exp.} = 365\text{nm (i-line)}$  のUV露光波長の場合、分解能限界に達する。最小構造幅はCD（臨界寸法）と呼ばれる。ホログラムディスプレイ及び合成周期、すなわち刻印周期  $\text{synth.}$   $1\mu\text{m}$  に対して本発明に係る光変調器を使用する場合、 $E = 0.5\mu\text{m}$  の電極周期が必要とされる。TV = 0.5のマークスペース比では、これは  $0.25\mu\text{m}$  の電極幅に相当する。これは、ディスプレイメーカーにより現在使用されているコンタクトコピー方法の分解能限界より著しく小さい。

【0024】

この問題を解決する方法の1つは、例えば、現在実行されているように著しく短い光波長によって小さな電極構造を製造する。例えば、電極構造の露光中、 $193\text{nm}$  の波長の光及び浸漬液が使用される。

【0025】

他の可能な方法は、例えば縮小撮像リソグラフィシステムで知られているように位相シフトマスク及びコンタクトコピーによって、ディスプレイ及び本発明に係る光変調器の電極構造を製造する。

【0026】

このことは、図11及び図12を参照して更に詳細に説明される。この点に関して、上述のようなマスク露光によって、本発明に係る光変調器の電極構造を製造できるだけでなく、原則として、マスク露光を利用してどのような種類の光変調器の電極構造又は他の構造でも製造可能である。

【0027】

更に、種々の方法によって本発明の教示を有利に構成し且つ改善することが可能である。この点に関して、請求項1に従属する特許請求の範囲を参照すると共に、図面を参照する以下の本発明の好適な例示的な実施形態の説明を参照するべきである。図面を参照する本発明の好適な例示的な実施形態の説明と関連して、本発明の教示の一般に好適な構成及び改善も説明される。

【図面の簡単な説明】

【0028】

【図1】図1は、従来の技術によるスイッチング可能な体積回折格子を記録するための実験構造を示す概略図である。

【図2】図2は、本発明に係る光変調器の第1の構成の活性層の周期回折格子構造を示す概略図である。

【図3a】図3a及び図3bは、ポリマー回折格子の中間空間内のLC分子の再配向を電界の関数として示す概略図であり、図3aは、スイッチング可能な体積回折格子である従来の技術による周期回折格子構造を示す概略図である。

【図3b】図3bは、ポリマー回折格子の壁の層厚さ、屈折率変調及び周期のパラメータを適合させた本発明に係る周期回折格子構造を示す概略図である。

10

20

30

40

50

【図 4 a】図 4 a は、従来の技術によるスイッチング可能な体積回折格子の場合における、スイッチング可能な体積回折格子により偏向される光部分及び偏向されない光部分の輝度の従属性の一例を、印加電圧の関数として示す概略図である。

【図 4 b】図 4 b は、本発明に係る光変調器の場合の、回折されずに透過する光及び回折される光の輝度の一連を、印加電圧の関数として、図 4 a と比較して示す概略図である。

【図 5】図 5 は、従来の技術によるスイッチング可能な体積回折格子で電界が変化した場合の反応プロファイルを時間の関数として示す概略図である。

【図 6】図 6 は、本発明に係る光変調器の第 2 の構成の活性層の構造を示す概略図である。

【図 7】図 7 は、本発明に係る光変調器における電極としての W G P の使用を示す概略図である。

【図 8】図 8 は、楕形に構成された構造化面内電極 E 1 1 ~ E 1 2、E 2 1 ~ E 2 2 及び E 3 1 ~ E 3 2 と、面内背面電極 E 0 1 ~ E 0 2 とを有する W G P の使用を示す概略図である。

【図 9】図 9 は、面内 L C を有する変調器で高速スイッチオフ時間  $t_{off}$  を発生するために、わずかに後方へ傾斜させた楕形電極を示す概略図である。

【図 10】図 10 は、1 つの画素の領域内で 2 つの主面内電極を覆うように配置された W G P セグメントの使用を示す概略図である。

【図 11】図 11 は、単純振幅マスク A M の背後及び位相シフトマスク P S M の背後の回折格子構造のコンタクトコピーの輝度プロファイル  $I(x, z)$  を比較のために示す概略図である。

【図 12】図 12 は、露光波長 365 nm の場合の位相シフトマスクの背後の回折格子構造に関して露光光の輝度プロファイルを示す概略図である。

【図 13】図 13 は、長さ 11 のバーカーコード（上から 1 段目）並びに反転及び反射によりそのバーカーコードから生成されたコードを示す概略図である。

【図 14】図 14 は、長さ 11 のバーカーコード（左上、内側から外側に向かってカウントする）並びに反転及び反射によりそのバーカーコードから生成されたコードを軸対称 2 D 分布として示す概略図である。左側の分布は右側の分布に関して反転された分布であり、位置合わせ中に右側の分布と対を形成する。

【図 15】図 15 は、長さ 11 のバーカーコード（左上、0 度から始めて反時計回り方向にカウントする）並びに反転及び反射によりそのバーカーコードから生成されたコードを半径方向対称 2 D 分布として示す概略図である。左側の分布は右側の分布に関して反転された分布であり、位置合わせ中に右側の分布と対を形成する。

【図 16】図 16 は、2 つの 4 桁バーカーコードを有する 11 桁バーカーコードの組み合わせを示す概略図である。 図中、同一又は同様である構成要素は同一の図中符号により示される。

【発明を実施するための形態】

【0029】

図 1 は、スイッチング可能な体積回折格子を記録媒体に記録するための従来の技術に従った実験構成を示す。この構成は、本発明に係る光変調器を製造する場合にも使用可能であるという利点を有する。アルゴンレーザー 1 からの光束は、光束拡張器 B E と、半波板及び偏光子 P P の組み合わせとにより整形され且つ偏光された後、ビーム分割器 B S により 2 つの光束成分に分割される。2 つのミラー M 1 及び M 2 によって調整可能である角度で、2 つの光束成分は、露光されるべき記録媒体 A Z M に入射する。2 つの光束成分は、記録媒体で周期回折格子構造 S V G を形成する。回折格子周期は、光束が記録媒体 A Z M に入射する際の光束の角度 によって決まる。例えば記録媒体 A Z M が重合可能な物質である場合、このようにして形成された周期回折格子構造 S V G は、ポリマー回折格子のポリマー壁を形成する。2 つのレーザー光束に対して記録媒体 A Z M を傾斜させることにより、記録媒体 A Z M の面に対して傾斜したポリマー回折格子層 P M G の壁を形成することも可能である。

10

20

30

40

50

## 【0030】

図2に示される通り、従来の技術に対応するスイッチング可能な体積回折格子と同様に、本発明に係る光変調器SLMの活性層は、ほぼ等距離で配列されたポリマー回折格子層PMGと、ポリマー回折格子層PMGの間にあり且つ活性光学媒体で充満された中間空間とから成る周期回折格子構造SVGを構成する。活性光学媒体は例えば液晶(LC)から形成され、複数の液晶層LCSから成る構造を形成する。周期回折格子構造SVGに隣接する基板S及びカバーガラスDの面には電極GE、PE(図示せず)がそれぞれ配置される。それらの電極は、電界によって活性光学媒体に影響を及ぼし、それにより活性光学媒体の屈折率を変化させることができる。

## 【0031】

本発明によれば、電極PEは、規則的パターンの画素化配列を有し且つ電圧Vにより互いに独立して駆動可能である。

## 【0032】

本発明によれば、ポリマー回折格子層PMGの配向、層厚さd及び回折格子周期gは、少なくとも1つの光源から射出される光のブラッグ条件と一致しないように構成されるので、ブラッグ回折のために偏向される光部分は、スイッチング可能な体積回折格子の周期回折格子構造SVGに入射する少なくとも1つの光源からの光の所定の値より少ない。

## 【0033】

従来、このような構造は光を偏向させるために使用されており、最大限の回折効率を得るためには、光の入射角に関するブラッグ条件が満たされなければならない。光を偏向させるブラッグ回折格子として使用するために、高速スイッチングが実現される。例えば、スイッチオフ時間は250 $\mu$ s未満であり且つスイッチオン時間は1~3msであってもよい。

## 【0034】

このように短いスイッチング時間は、活性光学媒体のLC分子が電界の影響を受けて、境界層(この場合はポリマー回折格子層PMGにより形成される)の付近で、そこから離間した場所より速く再配向することによって実現される。

## 【0035】

ポリマー回折格子の中間空間内のLC分子の電界の関数としての再配向は、図3a及び図3bに示され、一般にこの構成では、再配向によってスイッチング時間が短縮される。

## 【0036】

従来の技術によれば、図3aに示される構成は、周期回折格子構造SVGを有するスイッチング可能な体積回折格子として使用される。この場合、入射光ELは周期回折格子構造SVGの回折格子平面に斜めに入射する。2次元で形成された電極GE、PEに印加される電圧Vの関数として、異なる量の光が透過するか(DL)又は回折により偏向される(GL)。層厚さ、屈折率変調及び光ELの入射方向に関してブラッグ条件が満たされる場合、入射光EL(図3aの上に示される)のほぼ100%が回折次数GLに偏向される。逆に、最大電圧Vが印加された場合、ほぼ100%の光が回折されずに透過する(DL-図3aの下に示される)。中程度の電圧Vでは、光は一部偏向され、一部透過される(図3aの中央に示される)。通常、スイッチング可能な体積回折格子SVGの周期回折格子構造は、約1 $\mu$ mのピッチg及び約10 $\mu$ mの厚さdを有する。

## 【0037】

図3bは、周期回折格子構造SVGを有する本発明に係る構成を示す。この場合、周期回折格子構造SVGは、先に示した周期回折格子構造と同様に製造可能であるが、ポリマー回折格子層PMGの面に入射する光ELの入射方向は、この場合は垂直であり、また、周期回折格子構造SVGの層厚さd、屈折率変調及び周期gのパラメータは、光変調器としての用途に従って任意に適合される。

## 【0038】

従来の位相変調光変調器の場合、例えば、使用されるLC材料に応じて、3~6 $\mu$ mの最小層厚さdが通常必要とされる。しかし、通常、少なくとも2の位相変調を実現する

10

20

30

40

50



ことが意図され且つ光変調器の機能に関連して変調の範囲が2 を超えることは不都合ではないので、LC層の厚さdはより大きくなるように選択されてもよい。例えば、本発明に係る位相変調光変調器SLMの周期回折格子構造SVGの典型的な厚さdとして10 μmを選択し且つ典型的な回折格子周期gとして1 μmを選択することが可能だろう。

【0039】

従って、本発明に係る位相変調光変調器SLMの場合でも、周期回折格子構造SVGは、LC層と、LC層の駆動状態に応じて屈折率を変化させるポリマー回折格子層PMGとから構成される。

【0040】

しかし、ポリマー回折格子層PMGは周期構造であるため、この場合、更に高い回折次数が発生する（GL - 破線により表される）が、この回折次数の輝度は、適切な条件の下ではLC分子の配向によってごくわずかに変化されるにすぎない。

【0041】

例えば、位相段階0及び で予め設定可能な厚さdの位相回折格子は、厚さdが10 μm、回折格子周期が1 μmであるとき、面に対して垂直に入射する光ELに対して、一次GLでは約0.5%の回折効率を有し、0次DLでは約99%の効率を有する。位相段階が更に高くなっても、例えば0及び3 の場合でも、0次DLの効率はまだ約90%である。

【0042】

回折次数GLで可能な限り低い輝度を実現するのに適する更なる条件は、例えば、LC層LCs及びポリマー回折格子層PMGの平均屈折率が有効に作用するだけでなく、ポリマー回折格子層PMG及びLC層LCsが異なる幅を有するようなフィルファクタが有効に作用するように、使用される光の波長の下でポリマー回折格子層PMGの回折格子周期gを非常に小さくすることである。フィルファクタは、例えば図1に示される実験構成において記録媒体AZMでポリマー回折格子層PMGを露光する間のレーザーパワーによって影響を受ける。

【0043】

適切な偏光の偏向されない光DL、すなわちまっすぐ透過される光に対して、光路は、電圧の影響を受けて変化するLC分子の配向に従って変化する。従って、本発明によれば、スイッチング可能な体積回折格子の周期回折格子構造SVGは、まっすぐに透過される光DLに対して位相変調器として作用する。

【0044】

尚、この場合、0次で回折されずに透過する光DLの光路の変化は、ポリマー回折格子層PMGの壁全体の一定の屈折率と、駆動電圧Vにより有効屈折率が変化されるLC層LCsの駆動領域の屈折率との平均により、厚い回折格子（例えば1 μmの回折格子周期を有する。すなわち、光の波長に満たない回折格子周期だけではない）で与えられる。

【0045】

まっすぐに通過する光DLの位相遅延は、印加電圧Vに応じて異なる値を有する（図3bでは 1、 2 及び 3 によりそれぞれ表される）。

【0046】

従来の光変調器の画素では、層厚さと有効屈折率変調との積（ $d * n_{eff}$ ）の変化は、使用される光の所定の波長に対して例えば2 の位相変調に対応する光路の変化を実現するのに十分であるが、ポリマー回折格子層PMGを有する構成の場合、空間平均で同一の光路の変化を取得し、それにより同一の位相変調を実現するためには、更に大きな $d * n_{eff}$ の変化、例えば波長の1.5倍の変化が必要である。この場合、どの程度の大きさの変化が必要とされるかは、LCで充満された中間空間LCsの幅に対するポリマー回折格子層PMGの壁の幅によって決まる。

【0047】

可視光の場合の波長の1.5倍というこの値は、例えば、10 μmの層厚さd及び約0.1の複屈折率を有するLC材料によって実現可能である。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 4 8 】

E C B L C モード ( E C B - 電気制御複屈折 ) の場合と同様に、スイッチング可能な体積回折格子の周期回折格子構造 S V G において、偏向されずに透過される光 D L を偏光子と組み合わせて使用することにより、透過光 ( すなわち偏向されない光 ) D L に対して光路の変化を振幅変調器又は位相変調器として個別に使用できる。

## 【 0 0 4 9 】

しかし、ポリマー回折格子層 P M G の壁は、本発明に係るこの構成でもスイッチング処理を加速するのに寄与する。

## 【 0 0 5 0 】

E C B L C モードの例を参照して本発明を説明したが、本発明はこれに限定されない。スイッチング処理を加速するためにポリマー回折格子層 P M G 及び活性 L C 層 L C S から構成される周期回折格子構造 S V G を使用する構成は、他の L C モードにも同様に可能である。

## 【 0 0 5 1 】

図 4 a は、従来の技術によるスイッチング可能な体積回折格子に関して、スイッチング可能な体積回折格子により偏向される光部分 ( G L ) 及び偏向されない光部分 ( D L ) の輝度の従属性を印加電圧 V の関数として示す。図 4 a からわかるように、それらの光部分の比は光 D L の入射角によって影響を受けるだけでなく、印加電圧 V による影響も受ける。

## 【 0 0 5 2 】

透過光 D L の輝度は、約 0 % ~ 約 1 0 0 % まで変化する。従って、スイッチング可能な体積回折格子は振幅変調器として使用可能だろう。しかし、この構成では、位相変調器としての使用は不可能である。

## 【 0 0 5 3 】

図 4 a と比較するために、図 4 b は、本発明に係る光変調器 S L M の場合のスイッチング可能な体積回折格子により偏向される光部分 ( G L ) 及び偏向されない光部分 ( D L ) の輝度の従属性の一例を、印加電圧 V の関数として示す。透過光 D L 及び回折光部分 G L の輝度は、電圧 V によってごくわずかしき変化しない。

## 【 0 0 5 4 】

この表示の基礎となる光変調器の例示的なパラメータとして、L C 層 L C S の厚さ d は 1 0  $\mu$  m、ポリマー回折格子層 P M G の回折格子周期 g は 1  $\mu$  m、ポリマー回折格子壁及び L C で充満された領域の幅はそれぞれ約 0 . 5  $\mu$  m である。本例で使用される L C 材料は、約 0 . 1 の複屈折率を有する。

## 【 0 0 5 5 】

本発明によれば、オフ状態で入射光 E L を長手方向 L C 分子軸と平行に適切に偏光するために、印加電圧 V に伴って変化する透過光 D L の位相変調が取得される。光の波長が 5 3 2 n m である場合、0 次で透過光 D L に対して 0 から 2 の位相変調にほぼ相当する領域が表される。

## 【 0 0 5 6 】

この領域では、0 次における透過光 D L の輝度はごくわずかしき変化しない。高電圧になると、輝度は最大値の約 9 0 % まで低下する。そこで、2 つの 1 次の回折光 G L の輝度は、約 5 % まで増加する。ポリマー回折格子層 P M G の壁の幅を L C で充満された領域 L C S の幅より小さい値に選択することにより、例えば、ポリマー回折格子壁の幅を 0 . 3  $\mu$  m とし且つ L C で充満された領域の幅を 0 . 7  $\mu$  m とすることにより、0 次における透過光 D L の輝度変化を更に減少できるだろう。

## 【 0 0 5 7 】

この場合、入射光 E L の偏光方向に対して 4 5 度の角度で配置される偏光子によって、振幅変調器としての使用が可能になる。

## 【 0 0 5 8 】

電界を発生する電圧 V が変化した場合の、従来の技術によるスイッチング可能な体積回

10

20

30

40

50

折格子の、回折光 G L の輝度の反応プロファイルを、時間の関数として図 5 に示す。

【 0 0 5 9 】

本発明に係る光変調器 S L M に関しても、透過光 D L のエッジの同様のプロファイルが取得される。

【 0 0 6 0 】

L C 分子の表面相互作用は、ポリマー回折格子の壁により増加されるので、ポリマー回折格子を含まない L C 体積回折格子の場合と比較して短いスイッチング時間を実現される。

【 0 0 6 1 】

図 1 ~ 図 5 に示される従来の技術によるスイッチング可能な体積回折格子及び本発明に係る光変調器の構成は、スイッチング可能な体積回折格子の境界面に対して垂直の向きを有するポリマー回折格子層 P M G の構造を有する構成に関する。

【 0 0 6 2 】

図 6 に示される本発明に係る光変調器 S L M の第 2 の構成は、90 度回転された、すなわち体積回折格子の境界面と平行な向きを有する L C 層 L C S 及びポリマー回折格子層 P M G を有する構造を備える。この構造は、正面からのレーザーの 1 つの成分光束及び背後からの別の成分光束、例えば記録媒体 A Z M の面と平行に配置されたミラーで反射された後の別の成分光束によって記録媒体 A Z M の露光を実行する反射体積回折格子の場合のように製造できる。図 1 に示される構成では、この目的を達成するために、例えば、露光されるべき記録媒体 A Z M を 90 度回転する必要があるだろう。この層構造は、スイッチング動作に関して、1 つの厚い層としてではなく、複数の薄い L C 層と同様に作用する。しかし、この場合、ポリマー回折格子層 P M G の壁の厚さは 1  $\mu$  m 以下である。従って、 $\mu$  m 範囲の壁は光変調器の典型的な横方向画素寸法（画素ピッチ）より小さい。これに対し、従来の技術のガラス基板は、これより厚いか、それとも高々典型的な横方向画素寸法と同じ程度の厚さを有すると考えられる。

【 0 0 6 3 】

ポリマー回折格子層 P M G が（先に説明したような従来の技術によるガラス基板と比較して）非常に薄いため、活性媒体が複数の薄い L C 層に分割されることによって起こる回折効果は著しく小さい。

【 0 0 6 4 】

第 1 の構成と比較して、図 6 に示される本発明に係る光変調器 S L M の第 2 の構成は、ポリマー回折格子層 P M G の壁により回折次数が生成されないという利点を有する。

【 0 0 6 5 】

本発明に係る空間光変調器 S L M は、波長の異なる複数の光源、例えば少なくとも 3 つの光源によって動作されてもよい。回折格子の面に関する 3 つの光源すべてからの光の入射角は、周期回折格子構造 S V G のブラッグ角と一致しないようにそれぞれ選択されるので、少なくとも 3 つの光源からの光は、空間光変調器をほぼ完全に偏向されずに通過し、それにより光の位相に関して、駆動される画素の電圧 V の関数として光に影響を与える。

【 0 0 6 6 】

ポリマー回折格子層 P M G の回折格子平面が光変調器の面に対して垂直に配置される場合、回折格子周期を光源の波長より小さく選択するのが有利である。更に、体積回折格子として作用する周期回折格子構造 S V G の壁及び中間空間はそれぞれ異なる幅を有するのが好都合である。

【 0 0 6 7 】

図 7 は、本発明に係る光変調器と組み合わせた電極としての W G P（ワイヤグリッド偏光子）の使用を示す。共通電極 E 0 は、例えば変調器のカバーガラスの面全体を占める W G P により形成される。この W G P は W G P E 0 と示される。個別の画素又は部分画素の背面電極は、構造化 W G P 電極、すなわち電氣的に分離された W G P 電極 W G P E 1、W G P E 2 及び W G P E 3 により形成される。発生させるべき振幅透過度に従って制御電圧 V 1、V 2 及び V 3 が印加される端子 E 1、E 2 及び E 3 を有する画素に対応する W G P

10

20

30

40

50

電極と、WGPE0により形成され且つ端子E0に定電圧V0が印加される共通電極との間に、周期回折格子構造が配置される。この周期回折格子構造は、ポリマー回折格子層により互いに分離される本発明による光変調器のLC層(図7には図示せず)を備え且つ共通電極に関する局所的に印加される電圧差の関数として各画素の領域で光の偏光面を回転させる。WGP電極が偏光子及び検光子として同時に作用することによって、本発明に係る光変調器に個別の偏光子又は検光子を導入する必要なく、各画素の領域で、透過光はその振幅又は輝度に関して制御される。各画素の領域における光の偏光方向は、図7に矢印で示される。

【0068】

本発明に係る光変調器に対して、ワイヤグリッド偏光子WGPの形で構成される図7に示されるような電極の初期構成を一般化することができる。

10

【0069】

電界線が主に電極E1、E2、E3から背面電極E0に向かって伸びる電界を発生する図7に示される構成に基づき、異なる電極構成を使用して面内電界を発生することも可能である。その一例が図8に示される。図8の場合、WGPは、互いに楕形に係合する構造化面内電極E11~E12、E21~E22及びE31~E32の形で構成される。

【0070】

図8に示されるように、背面電極E0も同様に、楕形に構成された電極を形成するように変形されても良い。しかし、図7に示されるように、2次元的に電圧が印加されるようにしてもよい。LCモードに応じて、これが不要な場合もある。

20

【0071】

しかし、変調器のスイッチオフ速度を増すために、楕形背面電極E0は、電極E11~E12、E21~E22及びE31~E32に対してわずかに傾斜して配置されてもよい。変調器のスイッチオフ速度はパラメータ $t_{off}$ により表される。このことは図9に示される。

【0072】

本発明に係る光変調器のWGP又はWGPセグメントの別の実施形態が図10に示される。この場合、変調器の各画素に割り当てられる1つのWGPセグメントは、主に印加される面内電界を均質化するために使用される。この場合、WGPセグメントは他の画素のWGPセグメントから隔離される。

30

【0073】

図11は、例えば本発明に係る光変調器の電極に関して、単純振幅マスクAMの背後及び位相シフトマスクPSMの背後の回折格子構造のコンタクトコピーにおける露光光の輝度プロファイル $I(x, z)$ を比較のために示す。

【0074】

図11に示される位相シフトマスクPSMの原理は、隣接する構造の間に予め設定可能な位相シフト又は交番位相シフトを導入することである。隣接する構造の回折像は互いに逆位相であり、従って、重なり合う領域の中で互いに少なくとも部分的に相殺する。電界内に存在する最大輝度の42%における電位線が図11の輝度分布の中に示されている。これは、例えば回折格子構造の記録媒体として使用されるバイナリフォトレジストの反応閾値に対応する。

40

【0075】

図11の配置は最適ではない。マスクの振幅分布を最適化することにより、マスクの背後に存在する回折像を著しく改善できる。線幅を局所的に変化させるのに加えて、記録媒体上のフォトレジストにより分解されない更なる修正構造がマスクに適用されてもよい。これをOPC(光学近接修正)と呼ぶ。

【0076】

位相値0及び $\pi$ を生成する2値位相プロファイルを3つ以上の位相値を生成する位相レベルプロファイルに変更することにより、更なる最適化を実現できる。

【0077】

50

また、2 値振幅プロファイルから 3 つ以上のグレイレベルを有する振幅プロファイルに変更することによっても更なる最適化を実現できる。これを A P S M (減衰位相シフトマスク) と呼ぶ。

【0078】

図 12 は、露光波長  $\lambda_{exposure} = 365 \text{ nm}$  で位相シフトマスク P S M の背後で露光されるべき回折格子構造の輝度プロファイル  $I(x, z)$  を示す。周期は  $0.5 \mu\text{m}$  であり且つマークスペース比 T V は  $0.5$  である。 $5 \mu\text{m}$  の距離にわたっても、露光されるべき記録媒体に  $0.25 \mu\text{m}$  の構造幅を十分に適用できることがわかる。

【0079】

しかし、位相シフトマスク及びコンタクトコピーを使用して本発明に係る光変調器の電極構造を製造する場合、 $\lambda_E = 1 \mu\text{m}$  の周期の電極を有する 2 つの基板の向きに関して問題が起こる。位置合わせマスクの最適化により、この問題を解決できる。

10

【0080】

標準的に適用される方法の 1 つは、例えば位置合わせにモアレパターンを使用する。分解能を向上するために、例えば 5 位相アルゴリズムが使用されてもよい。このアルゴリズムによれば、例えば、K ベクトルの方向に沿って、すなわち回折格子線に対して垂直の方向に、電極の周期の  $1/100$  の位置合わせ精度を調整することが理論上は可能である。

【0081】

別の方法は、コンデンサの電子的位置合わせに基づく。

【0082】

20

電極は電氣的に接続され、位置合わせは、例えば 2 つの対向する楕形電極構造のキャパシタンスを最大限にすることから成る。この楕形コンデンサは共振回路の一部であるので、位置合わせは周波数の調整に基づく。周波数の調整に基づく位置合わせは、従来のキャパシタンス測定より正確に実行可能である。

【0083】

本発明によれば、バーカーコードに基づく改善された 2 D 位置合わせマーカの使用に依存する方法が提案される。

【0084】

図 13 は、長さ 11 のバーカーコードを示す。2 進バーカーコードは最小自己相関関数により識別され、従って、点位置合わせマーカとして非常に適している。しかし、 $2 \times 2$  の変形を別にして、理論上、バーカーコードは単なる 1 次元コードである。ランダムに分散された 2 進マスクも、一致の位置に到達するまで自己相関にあまり寄与しない。

30

【0085】

しかし、本発明の概念は、幾何学的に 2 D のバーカーコードを生成するというものである。この目的を達成するために、2 進値は 2 次元の面に円形リング又は円形セグメントとして配列される。この形は図 14 及び図 15 に示される。

【0086】

人間の目は、最大輝度より最小輝度を正確に検出できるので、最小輝度が調整される位置合わせマスクとして 2 つの互いに対向するパターンを使用すると共に、互いに反転されたパターンを使用することは非常に適切である。

40

【0087】

軸対称輝度分布及び半径方向対称輝度分布の双方に対して、カウント方向が変更されてもよい。例えば、軸対称配列の場合、カウントは内側から外側に向かって実行されるが、外側から内側に向かって実行されてもよい。循環置換が実行されてもよい。すなわち、第 1 の要素の位置を一定の順序で任意に選択することができる。半径方向対称配列の場合、カウントの際の回転方向は反時計回り、時計回りのいずれであってもよい。更に、循環置換が実行されてもよい。すなわち、第 1 の要素の位置が 2 進パターンの一定の順序で任意に選択されてもよい。

【0088】

1 次元バーカーコードに基づく軸対称 2 D 輝度分布及び半径方向対称 2 D 輝度分布が互

50

いに種々の方法で組み合わせられてもよい。そのような組み合わせの一例が図 16 に示される。これは、11桁のバーカーコードと2つの4桁バーカーコードとの組み合わせである。

【 0 0 8 9 】

バーカーコードは13桁までが知られている。しかし、x方向、y方向及び回転角に関して、設計位置の外側に存在するごく小さい自己相関関数を有する位置合わせマークを取得するために、ウィラードコード又はランダムコードなどの他のコードを軸方向及び半径方向に組み合わせることも可能である。

【 0 0 9 0 】

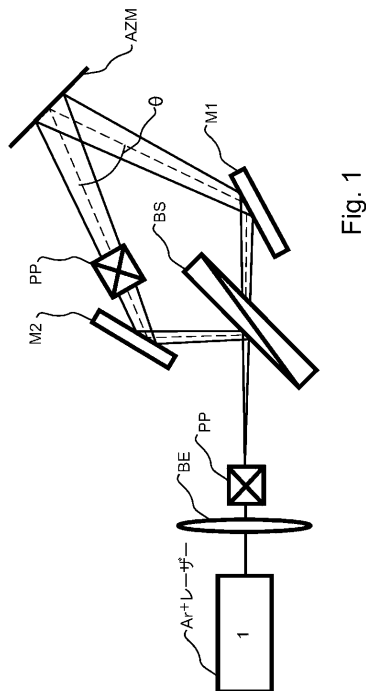
以上説明した、寸法が精密に規定された電極構造を製造する方法は、本発明に係る空間光変調器とは別に使用可能な電極構造を製造する目的にもごく一般的に適用されてよい。

【 0 0 9 1 】

以上説明した例示的な実施形態及び適用例は、単に特許請求される教示を説明することを目的としているにすぎず、本発明を上記の例示的な実施形態及び適用例に限定しないことを最後に特に指摘しておくべきである。

10

【 図 1 】



【圖 2】

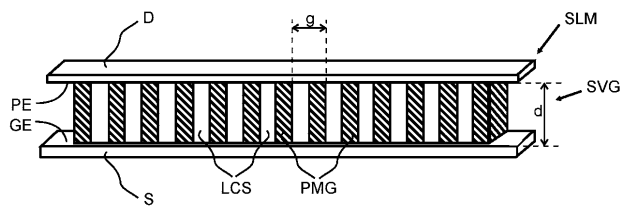


Fig. 2

【図 3 a】

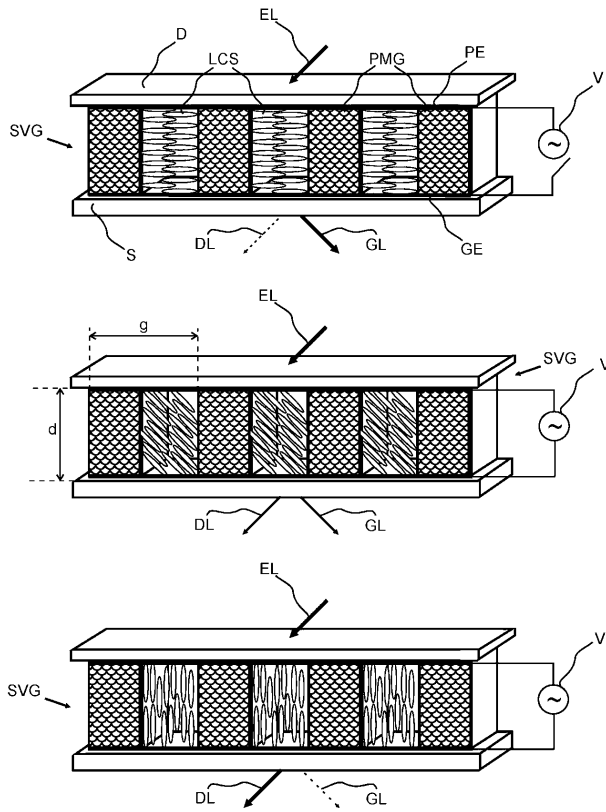


Fig. 3a

【図 3 b】

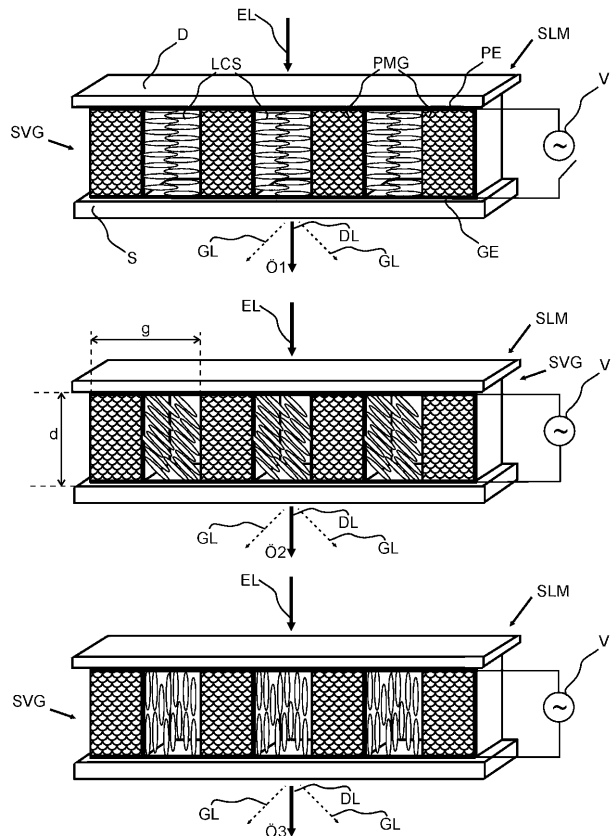


Fig. 3b

【図 4 a】

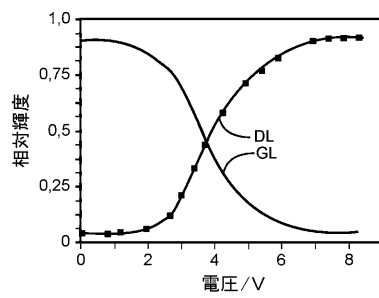


Fig. 4a

【図 4 b】

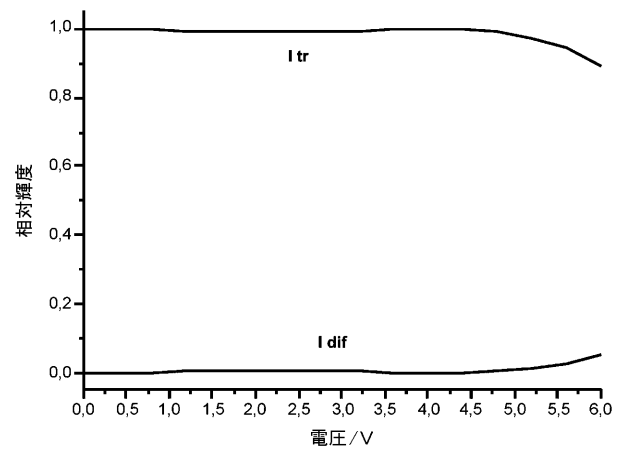


Fig. 4b

【図 5】

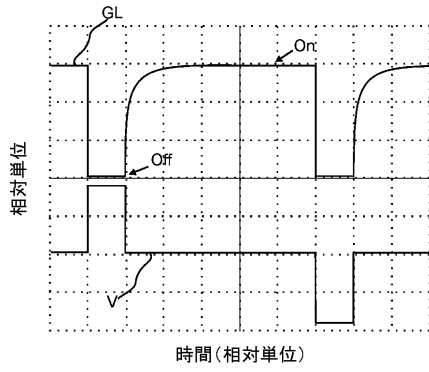


Fig. 5

【図 6】

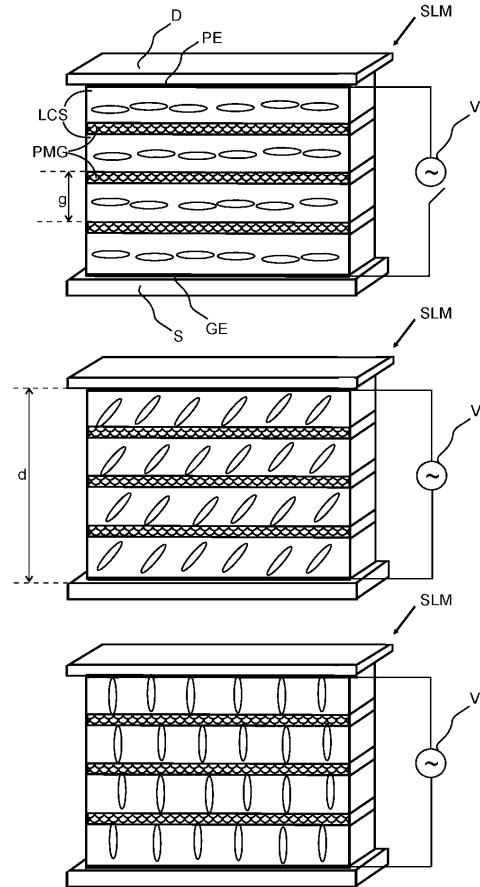


Fig. 6

【図 7】

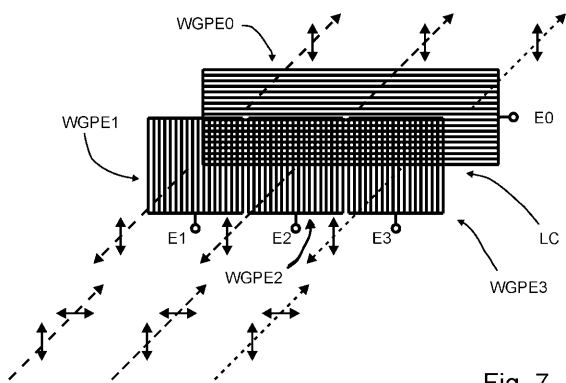


Fig. 7

【図 9】

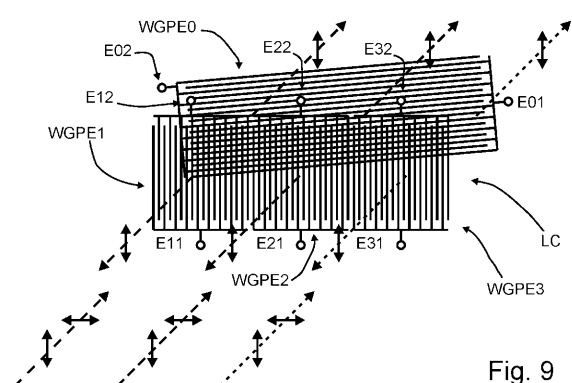


Fig. 9

【図 8】

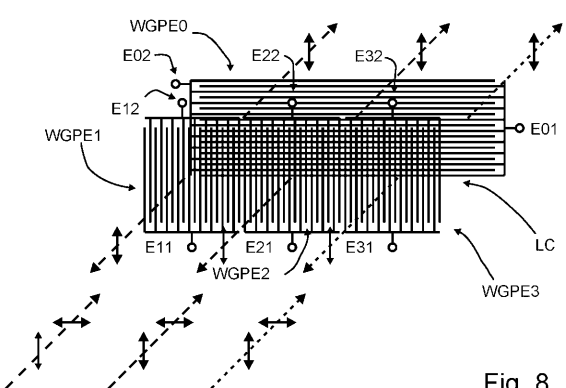


Fig. 8

【図 10】

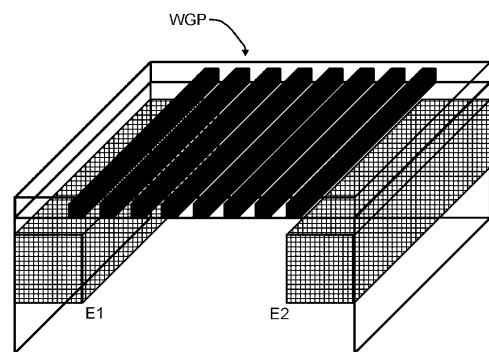


Fig. 10



【 図 1 2 】

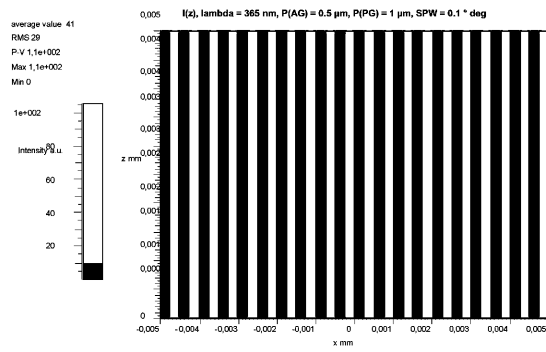


Fig. 12

【 図 1 5 】

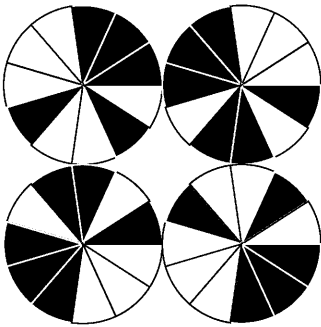


Fig. 15

【 図 1 6 】

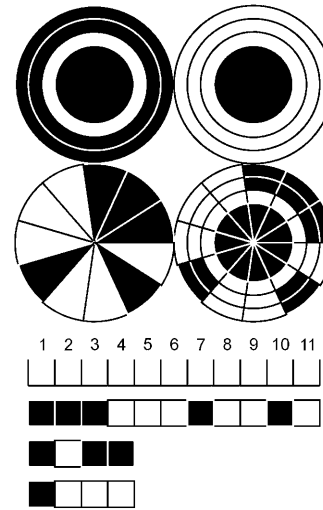


Fig. 16

【図 1 1】

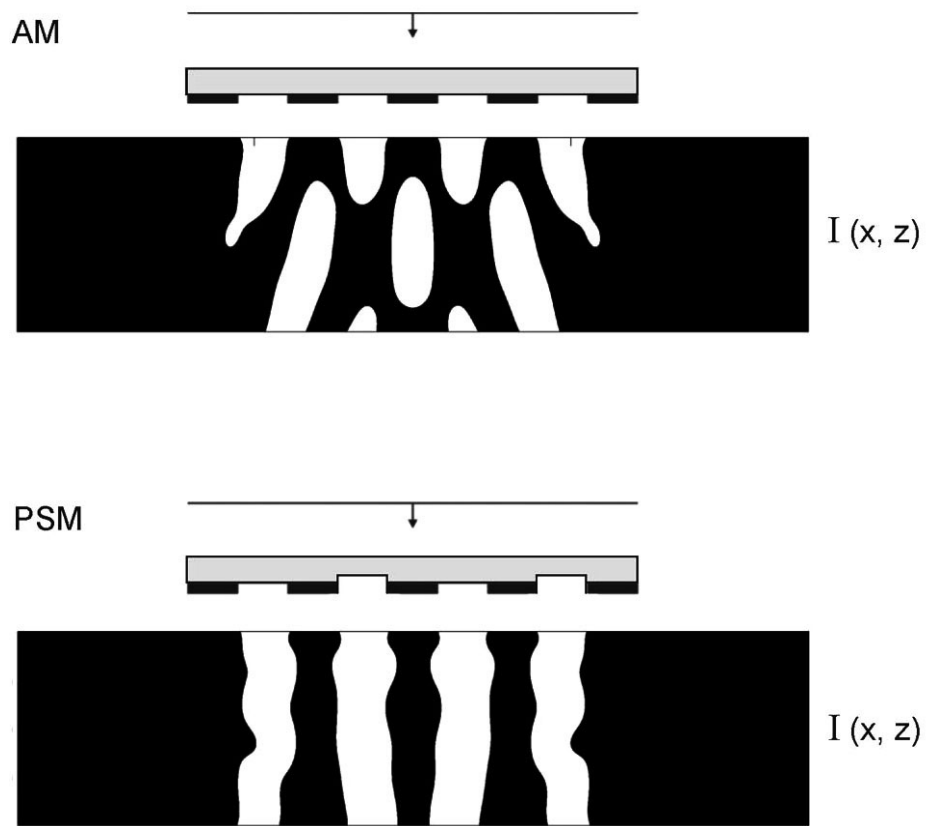


Fig. 11

【図 1 3】

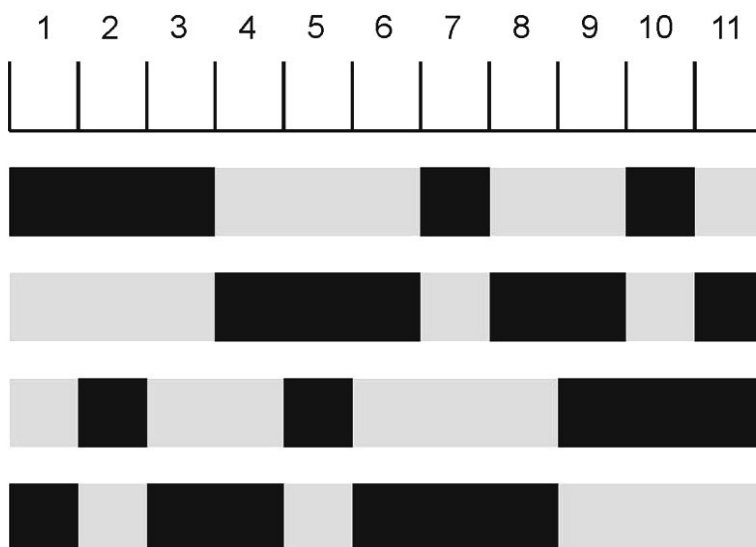


Fig. 13

【 図 1 4 】

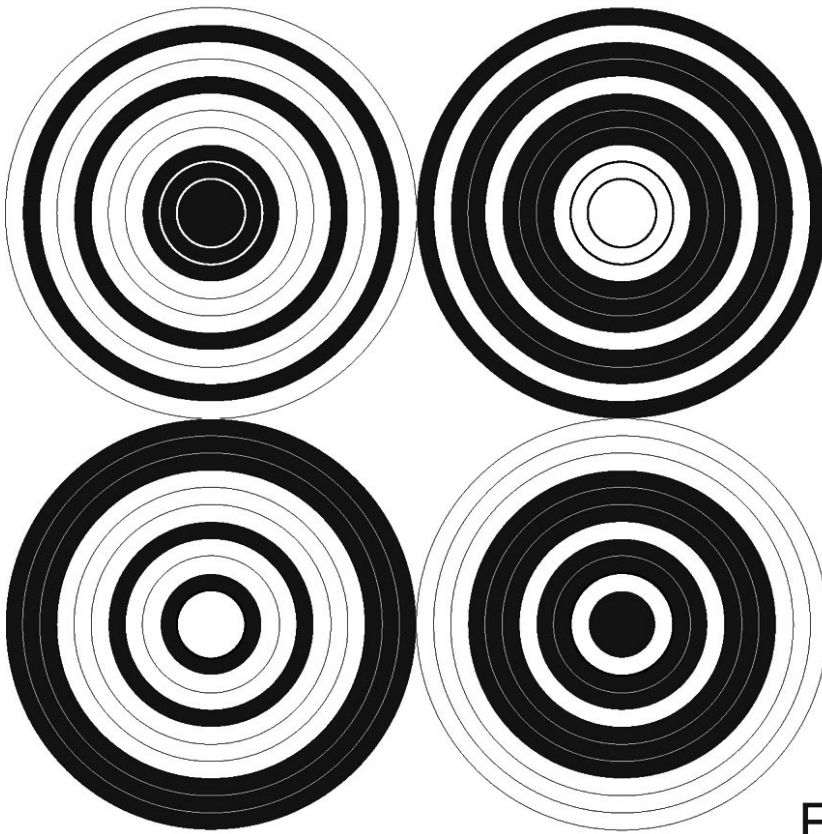


Fig. 14

---

フロントページの続き

(74)代理人 100116894

弁理士 木村 秀二

(74)代理人 100130409

弁理士 下山 治

(72)発明者 ライスター, ノルベルト

ドイツ国 ドレスデン ディー - 0 1 2 7 9 , ヘルマンシュテッター シュトラーセ 2 3

(72)発明者 フェッテラー, ゲラルド

ドイツ国 ドレスデン ディー - 0 1 3 0 9 , ツィマー シュトラーセ 2 5

F ターム(参考) 2K102 AA21 BA05 BB01 BB04 BC04 BD08 DA08 DC08 DC10 DD02

EA02 EA19 EB11 EB20

【外国語明細書】  
2014006529000001.pdf