

(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2016-1633  
(P2016-1633A)

(43) 公開日 平成28年1月7日(2016.1.7)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
HO 1 L 27/146 (2006.01)	HO 1 L 27/14 A	4 M 1 1 8
HO 1 L 27/14 (2006.01)	HO 1 L 27/14 D	5 C 0 2 4
HO 4 N 5/369 (2011.01)	HO 4 N 5/335 6 9 0	
HO 4 N 5/33 (2006.01)	HO 4 N 5/33	
HO 4 N 101/00 (2006.01)	HO 4 N 101:00	

審査請求 未請求 請求項の数 14 O L (全 18 頁)

(21) 出願番号	特願2014-120205 (P2014-120205)	(71) 出願人	000002185
(22) 出願日	平成26年6月11日 (2014.6.11)		ソニー株式会社
			東京都港区港南1丁目7番1号
		(74) 代理人	100121131
			弁理士 西川 孝
		(74) 代理人	100082131
			弁理士 稲本 義雄
		(72) 発明者	横川 創造
			東京都港区港南1丁目7番1号 ソニー株
			式会社内
		Fターム(参考)	4M118 AB01 BA14 CA02 CA34 EA01
			EA06 FA28 GA02 GA08 GB04
			GB07 GC07 GC08 GD04 GD07
			GD15
			5C024 AX01 AX06 BX01 CX41 EX41
			EX43 EX52 GX24

(54) 【発明の名称】 固体撮像素子、および電子装置

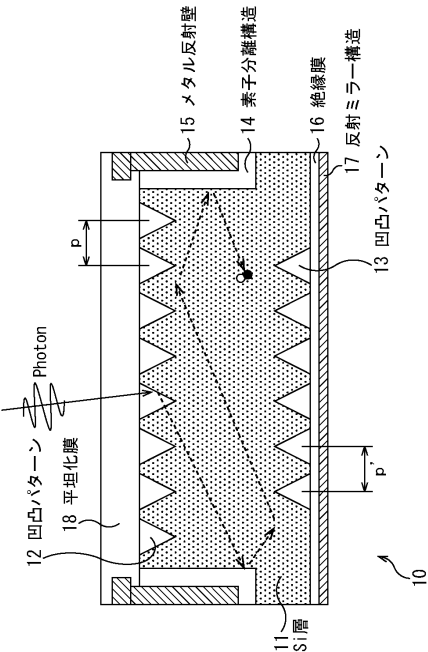
(57) 【要約】

【課題】 長波長側の光に対する感度を向上させる。

【解決手段】 本開示の第1の側面である固体撮像素子は、多数の画素が縦横に配置されている固体撮像素子において、光検出素子としての光吸収層の受光面とその反対面に周期的な凹凸パターンを備える。本開示は、例えば、赤外帯域の光を検出するCMOSなどに適用できる。

【選択図】 図1

図1



**【特許請求の範囲】****【請求項 1】**

多数の画素が縦横に配置されている固体撮像素子において、  
光検出素子としての光吸収層の受光面とその反対面に周期的な凹凸パターンを  
備える固体撮像素子。

**【請求項 2】**

前記光吸収層は、単結晶Siからなる  
請求項 1 に記載の固体撮像素子。

**【請求項 3】**

前記多数の画素のうち、少なくともIR検出用の画素に対応する前記光吸収層の受光面と  
その反対面には前記凹凸パターンが形成されている  
請求項 2 に記載の固体撮像素子。 10

**【請求項 4】**

前記光吸収層の受光面の反対面に形成されている前記凹凸パターンの周期は無限に小さい  
請求項 2 に記載の固体撮像素子。

**【請求項 5】**

前記光吸収層の受光面とその反対面に形成されている前記凹凸パターンの周期は、検知  
する波長に応じて異なる  
請求項 2 に記載の固体撮像素子。 20

**【請求項 6】**

前記凹凸パターンは、1次元周期的、または2次元周期的に形成されている  
請求項 2 に記載の固体撮像素子。

**【請求項 7】**

前記凹凸パターンが形成される前記光吸収層の前記受光面および前記反対面の結晶面は、  
(100)面であり、前記凹凸パターンの壁面の結晶面は、(111)面である  
請求項 2 に記載の固体撮像素子。

**【請求項 8】**

前記凹凸パターンの周期は、1 μm以下である  
請求項 2 に記載の固体撮像素子。 30

**【請求項 9】**

前記光吸収層の隣接する画素との境には、素子分離構造が形成されている  
請求項 2 に記載の固体撮像素子。

**【請求項 10】**

前記素子分離構造には、前記光吸収層よりも屈折率が低い素材からなる  
請求項 9 に記載の固体撮像素子。

**【請求項 11】**

前記素子分離構造の内部には、メタル反射壁が形成されている  
請求項 9 に記載の固体撮像素子。

**【請求項 12】**

前記光吸収層の下層側に反射ミラー構造を  
さらに備える請求項 2 に記載の固体撮像素子。 40

**【請求項 13】**

前記反射ミラー構造は、配線層が兼ねる  
請求項 12 に記載の固体撮像素子。

**【請求項 14】**

多数の画素が縦横に配置されている固体撮像素子を搭載する電子装置において、  
前記固体撮像素子は、  
光検出素子としての光吸収層の受光面とその反対面に周期的な凹凸パターンを備える  
電子装置。 50

## 【発明の詳細な説明】

## 【技術分野】

## 【0001】

本開示は、固体撮像素子、および電子装置に関し、特に、赤外線帯域など長波長側の光に対する受光感度を向上させるようにした固体撮像素子、および電子装置に関する。

## 【背景技術】

## 【0002】

従来、2次元の固体撮像素子としてCMOS型固体撮像素子、CCDが知られており、これらの光電変換を行う光検出素子の光吸収層には、一般に単結晶Si（シリコン）が用いられている。

10

## 【0003】

Siは間接遷移型の半導体であり、そのバンドギャップが1.1eVであることから、可視波長から1.1 $\mu$ m（マイクロメートル）程度の近赤外線の波長に対する感度を有している。ただし、光吸収係数の波長依存性により、長波長ほど単位厚み当たりの光吸収効率が小さくなる。

## 【0004】

例えば、光吸収層としてのSi層の厚みが3 $\mu$ mの固体撮像素子の場合、波長650nmの光吸収効率は約60から70%、波長900nmの光吸収効率は10から20%程度しかなく、光子の大多数がSi層を透過してしまう。したがって、赤色から赤外線帯域の光に対して高い感度を有する固体撮像素子を実現しようとした場合、Si層の厚みを増すことが有効な方法として知られている。

20

## 【0005】

しかしながら、Si層の厚みを増すことは、所望の不純物プロファイルを実現するために高いエネルギーのインプラネーションを行う必要があるなどの製造上の難易度が高くなるともに、材料コスト高に直結する。また、固体撮像素子の画素サイズに対する厚みの比率が大きくなり、Si層内でのSiバルクの混色成分が増加するなど、画質面での劣化要因となってしまう。さらに、Si層の厚みの増加に伴う結晶中の欠陥の増加などが暗電流の増加や白点などの画素特性の劣化の要因となってしまう。

## 【0006】

そこで、Si層の厚みを増すことなく、長波長側の光に対して高い感度を得る方法として、固体撮像素子の画素の受光面とは反対側の面に微細でランダムな凹凸構造を施すことにより光の干渉によるエタロン現象による光のロスを抑制する構造が提案されている（例えば、特許文献1参照）。

30

## 【先行技術文献】

## 【特許文献】

## 【0007】

【特許文献1】WO2010110317A1

## 【発明の概要】

## 【発明が解決しようとする課題】

## 【0008】

40

特許文献1の方法では、裏面照射型の固体撮像素子に適用した場合、固体撮像素子にて検出した電荷を転送する画素トランジスタなどが配置される面と同一面に凹凸構造がパターンニングされることになるので、結晶面の欠陥の増加や暗電流の増加などの弊害がある。

## 【0009】

また受光面での反射光の抑制効果が低く、かつ、受光面と反対の面で反射した光成分が受光面から再放出されてしまうことを抑える効果が低い。

## 【0010】

本開示はこのような状況に鑑みてなされたものであり、光吸収層であるSi層の厚みを増すことなく、固体撮像素子の長波長側の光に対する感度を向上させるようにするものである。

50

## 【課題を解決するための手段】

## 【0011】

本開示の第1の側面である固体撮像素子は、多数の画素が縦横に配置されている固体撮像素子において、光検出素子としての光吸収層の受光面とその反対面に周期的な凹凸パターンを備える。

## 【0012】

前記光吸収層は、単結晶Siからなるようにすることができる。

## 【0013】

前記多数の画素のうち、少なくともIR検出用の画素に対応する前記光吸収層の受光面とその反対面には前記凹凸パターンが形成されているようにすることができる。

10

## 【0014】

前記光吸収層の受光面の反対面に形成されている前記凹凸パターンの周期は無限に小さいようにすることができる。

## 【0015】

前記光吸収層の受光面とその反対面に形成されている前記凹凸パターンの周期は、検知する波長に応じて異なるようにすることができる。

## 【0016】

前記凹凸パターンは、1次元周期的、または2次元周期的に形成されているようにすることができる。

## 【0017】

前記凹凸パターンが形成される前記光吸収層の前記受光面および前記反対面の結晶面は、(100)面であり、前記凹凸パターンの壁面の結晶面は、(111)面であるようにすることができる。

20

## 【0018】

前記凹凸パターンの周期は、1  $\mu\text{m}$ 以下とすることができる。

## 【0019】

前記光吸収層の隣接する画素との境には、素子分離構造が形成されているようにすることができる。

## 【0020】

前記素子分離構造には、前記光吸収層よりも屈折率が低い素材からなるようにすることができる。

30

## 【0021】

前記素子分離構造の内部には、メタル反射壁が形成されているようにすることができる。

## 【0022】

本開示の第1の側面である固体撮像素子は、前記光吸収層の下層側に反射ミラー構造をさらに備えることができる。

## 【0023】

前記反射ミラー構造は、配線層が兼ねるようにすることができる。

## 【0024】

本開示の第2の側面である電子装置は、多数の画素が縦横に配置されている固体撮像素子を搭載する電子装置において、前記固体撮像素子が、光検出素子としての光吸収層の受光面とその反対面に周期的な凹凸パターンを備える。

40

## 【0025】

本開示の第1および第2の側面においては、光検出素子としての光吸収層に入射された光が、受光面とその反対面に形成された周期的な凹凸パターンによって内部反射しやすくなり、それにより光吸収層の実効的な光路長が長くなり効率よく光を吸収することができる。

## 【発明の効果】

## 【0026】

50

本開示の第 1 および第 2 の側面によれば、可視波長帯域から近赤外線までの電磁波帯域について、反射を効率よく抑え、更に長波長側の光に対する光吸収の感度を向上させることができる。

【図面の簡単な説明】

【0027】

【図 1】本開示を適用した固体撮像素子の構成例を示す断面図である。

【図 2】本開示を適用した固体撮像素子の変形例 1 を示す断面図である。

【図 3】本開示を適用した固体撮像素子の変形例 2 を示す断面図である。

【図 4】本開示を適用した固体撮像素子の変形例 3 を示す断面図である。

【図 5】本開示を適用した固体撮像素子の変形例 4 を示す断面図である。

10

【図 6】本開示を適用した固体撮像素子の変形例 5 を示す断面図である。

【図 7】本開示を適用した固体撮像素子の変形例 6 を示す断面図である。

【図 8】本開示を適用した固体撮像素子の変形例 7 を示す断面図である。

【図 9】本開示を適用した固体撮像素子の変形例 8 を示す断面図である。

【図 10】本開示を適用した固体撮像素子の変形例 9 を示す断面図である。

【図 11】凹凸パターンの構造例を示す図である。

【図 12】凹凸パターンが採用される画素の例を示す断面図である。

【図 13】凹凸パターンが採用される画素の例を示す断面図である。

【図 14】凹凸パターンが採用される画素の例を示す断面図である。

【図 15】凹凸パターンが採用される画素の例を示す断面図である。

20

【図 16】凹凸パターンが採用される画素の例を示す断面図である。

【図 17】光吸収効率のシミュレーション結果を示す図である。

【図 18】凹凸パターンのサイズ制約を説明する図である。

【図 19】凹凸パターンの形成工程を説明する図である。

【図 20】本開示を適用した電子装置の構成例を示すブロック図である。

【発明を実施するための形態】

【0028】

以下、本開示を実施するための最良の形態（以下、実施の形態と称する）について、図面を参照しながら詳細に説明する。

【0029】

30

< 固体撮像素子の構成例 >

図 1 は、本開示の実施の形態である裏面照射型の固体撮像素子 10 の構成例を示す断面図である。

【0030】

ただし、図面の上側が受光面（裏面）であり、受光面のさらに上側に配置されるべきカラーフィルタ、オンチップレンズ等は図示を省略している。また、同図においては、1 画素分の構成例を示しているが、該裏面照射型の固体撮像素子 10 から成る 2 次元固体撮像素子は、 $X \times Y$ （ $X$ ， $Y$  は整数）個の隣接する画素が 1 チップ上に形成されており、さらに  $N \times M$ （ $N < X$ ， $M < Y$ 。例えば、 $2 \times 2$ ）個の隣接する画素によって 1 ユニットを構成し、1 ユニットの各画素が R, G, B, IR のいずれかの波長の光（電磁波）を検出するようになされている。以降の図面においても同様とする。

40

【0031】

図 1 の構成例において、光吸収層である Si 層 11 には、その受光面（図面上側の面）に周期的（周期  $P$ ）であって微細な凹凸パターン 12 が形成されている。また、受光面の反対側（図中下側）の面にも同様に、周期的（周期  $P'$ ）であって微細な凹凸パターン 13 が形成されている。凹凸パターン 12 は、可視波長全域から赤外波長域までの広帯域の光に対する、反射率が低い良質な反射防止膜として作用することができる。また、周期的な構造とすることにより、Si の表面積の増加を有限に留めることができる。これにより、半導体結晶の結晶欠陥起因の暗電流、ランダムノイズ、白点の増加などを抑制することができる。なお、凹凸パターン 12，13 の形状、サイズなどについては後述する。

50

## 【 0 0 3 2 】

また、図 1 の構成例において、隣接する画素との境、すなわち、Si 層 1 1 の図中横側には、Si に対して相対的に低い屈折率を有する誘電体 (SiO<sub>2</sub> など) で充填された素子分離構造 1 4 が形成されている。なお、図 1 の場合、素子分離構造 1 4 の形状は、角柱であり、受光面側からのエッチングにより形成されている。さらに、素子分離構造 1 4 の内部には、メタル反射壁 1 5 が配置されている。

## 【 0 0 3 3 】

Si 層 1 1 の下層側には、絶縁膜 1 6 を介して、Al, Cu, Ag、またはそれらの合金からなる反射ミラー構造 1 7 が形成されている。なお、反射ミラー構造 1 7 は、入射光の反射を目的として専用の膜や層を形成する代わりに、Si 層 1 1 の下層側に設けられる各種の配線層に反射ミラー構造 1 7 としての機能を兼ねさせてもよい。凹凸パターン 1 2 が形成された Si 層 1 1 の上層側には、SiO<sub>2</sub>, SiN などからなる平坦化膜 1 8 が形成されている。

## 【 0 0 3 4 】

上述したように、図 1 に示される構成例の場合、Si 層 1 1 の受光面とその反対面のそれぞれに凹凸パターン 1 2, 1 3 が形成されている。さらに、隣接する画素との境には素子分離構造 1 4 が、Si 層 1 1 の下層側には反射ミラー構造 1 7 が形成されている。これにより、入射光が Si 層 1 1 の内部で反射を繰り返し易くなり、光の Si 層 1 1 からの透過が抑止されるので、Si 層 1 1 における光吸収効率を向上させることができる。すなわち、入射光に対する感度を上げることができる。また、素子分離構造 1 4 およびメタル反射壁 1 5 により、隣接する画素に起因する混色が抑止される。

## 【 0 0 3 5 】

## &lt; 固体撮像素子の変形例 1 &gt;

図 2 は、本開示の実施の形態である固体撮像素子 1 0 の他の構成例 (変形例 1) を示す断面図である。ただし、図 1 に示された構成例と共通する構成要素については、同一の符号を付しているので、その説明は適宜省略する。

## 【 0 0 3 6 】

図 2 に示される変形例 1 は、Si 層 1 1 の下層側の面に形成されている凹凸パターン 1 3 の周期が無限に小さいものに変更されている。

## 【 0 0 3 7 】

変形例 1 の場合、Si 層 1 1 の受光面とその反対面のそれぞれに凹凸パターン 1 2, 1 3 が形成されている。さらに、隣接する画素との境には素子分離構造 1 4 が、Si 層 1 1 の下層側には反射ミラー構造 1 7 が形成されている。これにより、入射光が Si 層 1 1 の内部で反射を繰り返し易くなり、光の Si 層 1 1 からの透過が抑止されるので、Si 層 1 1 における光吸収効率を向上させることができる。すなわち、入射光に対する感度を上げることができる。また、素子分離構造 1 4 およびメタル反射壁 1 5 により、隣接する画素に起因する混色が抑止される。

## 【 0 0 3 8 】

## &lt; 固体撮像素子の変形例 2 &gt;

図 3 は、本開示の実施の形態である固体撮像素子 1 0 のさらに他の構成例 (変形例 2) を示す断面図である。ただし、図 1 に示された構成例と共通する構成要素については、同一する符号を付しているので、その説明は適宜省略する。

## 【 0 0 3 9 】

図 3 に示される変形例 2 は、図 1 に示された構成例から、メタル反射壁 1 5 が省略されている。

## 【 0 0 4 0 】

変形例 2 の場合、Si 層 1 1 の受光面とその反対面のそれぞれに凹凸パターン 1 2, 1 3 が形成されている。さらに、隣接する画素との境には素子分離構造 1 4 が、Si 層 1 1 の下層側には反射ミラー構造 1 7 が形成されている。これにより、入射光が Si 層 1 1 の内部で反射を繰り返し易くなり、光の Si 層 1 1 からの透過が抑止されるので、Si 層 1 1 における光吸収効率を向上させることができる。すなわち、入射光に対する感度を上げることが

できる。

【0041】

< 固体撮像素子の変形例3 >

図4は、本開示の実施の形態である固体撮像素子10のさらに他の構成例(変形例3)を示す断面図である。ただし、図1に示された構成例と共通する構成要素については、同一の符号を付しているので、その説明は適宜省略する。

【0042】

図4に示される変形例3は、図1に示された構成例から、メタル反射壁15、および反射ミラー構造17が省略されている。

【0043】

変形例3の場合、Si層11の受光面とその反対面のそれぞれに凹凸パターン12, 13が形成されている。さらに、隣接する画素との境には素子分離構造14が設けられている。これにより、入射光がSi層11の内部で反射を繰り返し易くなり、光のSi層11からの透過が抑止されるので、Si層11における光吸収効率を向上させることができる。すなわち、入射光に対する感度を上げることができる。

【0044】

< 固体撮像素子の変形例4 >

図5は、本開示の実施の形態である固体撮像素子10のさらに他の構成例(変形例4)を示す断面図である。ただし、図1に示された構成例と共通する構成要素については、同一の符号を付しているので、その説明は適宜省略する。

【0045】

図5に示される変形例4は、図1に示された構成例における凹凸パターン13の周期が無限に小さいものに変更され、かつ、メタル反射壁15が省略されている。

【0046】

変形例4の場合、Si層11の受光面とその反対面のそれぞれに凹凸パターン12, 13が形成されている。さらに、隣接する画素との境には素子分離構造14が設けられている。これにより、入射光がSi層11の内部で反射を繰り返し易くなり、光のSi層11からの透過が抑止されるので、Si層11における光吸収効率を向上させることができる。すなわち、入射光に対する感度を上げることができる。

【0047】

< 固体撮像素子の変形例5 >

図6は、本開示の実施の形態である固体撮像素子10のさらに他の構成例(変形例5)を示す断面図である。ただし、図1に示された構成例と共通する構成要素については、同一の符号を付しているので、その説明は適宜省略する。

【0048】

図6に示される変形例5は、図1に示された構成例における凹凸パターン13の周期が無限に小さいものに変更され、かつ、メタル反射壁15および反射ミラー構造17が省略されている。

【0049】

変形例5の場合、Si層11の受光面とその反対面のそれぞれに凹凸パターン12, 13が形成されている。さらに、隣接する画素との境には素子分離構造14が設けられている。これにより、入射光がSi層11の内部で反射を繰り返し易くなり、光のSi層11からの透過が抑止されるので、Si層11における光吸収効率を向上させることができる。すなわち、入射光に対する感度を上げることができる。

【0050】

< 固体撮像素子の変形例6 >

図7は、本開示の実施の形態である固体撮像素子10のさらに他の構成例(変形例6)を示す断面図である。ただし、図1に示された構成例と共通する構成要素については、同一の符号を付しているので、その説明は適宜省略する。

【0051】

10

20

30

40

50

図 7 に示される変形例 6 は、図 1 に示された構成例における凹凸パターン 1 3 の周期が無限に小さいものに変更され、かつ、メタル反射壁 1 5 が省略されている。さらに、素子分離構造 1 4 の形状が変更されている。具体的には、素子分離構造 1 4 の形状が、受光面側からその反対側に向かって徐々に狭められたくさび型に変更されている。素子分離構造 1 4 の形状をくさび型とすることにより、図 1 の構成例などのように、素子分離構造 1 4 の形状が角柱である場合に比較して、Si 層 1 1 における横方向の反射光率をより高めることができる。

【 0 0 5 2 】

変形例 6 の場合、Si 層 1 1 の受光面とその反対面のそれぞれに凹凸パターン 1 2 , 1 3 が形成されている。さらに、隣接する画素との境にはくさび型の素子分離構造 1 4 が設けられている。これにより、入射光が Si 層 1 1 の内部で反射を繰り返し易くなり、光の Si 層 1 1 からの透過が抑止されるので、Si 層 1 1 における光吸収効率を向上させることができる。すなわち、入射光に対する感度を上げることができる。

【 0 0 5 3 】

< 固体撮像素子の変形例 7 >

図 8 は、本開示の実施の形態である固体撮像素子 1 0 のさらに他の構成例（変形例 7）を示す断面図である。ただし、図 1 に示された構成例と共通する構成要素については、同一の符号を付しているので、その説明は適宜省略する。

【 0 0 5 4 】

図 8 に示される変形例 7 は、図 1 に示された構成例における凹凸パターン 1 3 の周期が無限に小さいものに変更され、かつ、メタル反射壁 1 5 が省略されている。さらに、素子分離構造 1 4 の形状が、受光面の反対側から受光面側に向かって徐々に狭められたくさび型に変更されている。素子分離構造 1 4 をくさび型とすることにより、図 1 の構成例などのように、素子分離構造 1 4 の形状が角柱である場合に比較して、Si 層 1 1 における横方向の反射光率をより高めることができる。

【 0 0 5 5 】

変形例 7 の場合、Si 層 1 1 の受光面とその反対面のそれぞれに凹凸パターン 1 2 , 1 3 が形成されている。さらに、隣接する画素との境にはくさび型の素子分離構造 1 4 が設けられている。これにより、入射光が Si 層 1 1 の内部で反射を繰り返し易くなり、光の Si 層 1 1 からの透過が抑止されるので、Si 層 1 1 における光吸収効率を向上させることができる。すなわち、入射光に対する感度を上げることができる。

【 0 0 5 6 】

< 固体撮像素子の変形例 8 >

図 9 は、本開示の実施の形態である固体撮像素子 1 0 のさらに他の構成例（変形例 8）を示す断面図である。ただし、図 1 に示された構成例と共通する構成要素については、同一の符号を付しているので、その説明は適宜省略する。

【 0 0 5 7 】

図 9 に示される変形例 8 は、図 1 に示された構成例に対して、Si 層 1 1 に形成されている凹凸パターン 1 2 の上層側に、凹凸パターン 1 2 の形状を反転した形状の、入射側から見て段階的に屈折率が変化するモスアイ構造 2 1 が追加されている。

【 0 0 5 8 】

変形例 8 の場合、Si 層 1 1 の受光面にモスアイ構造 2 1 および凹凸パターン 1 2 が、その反対面に凹凸パターン 1 3 が形成されている。さらに、隣接する画素との境には素子分離構造 1 4 が、Si 層 1 1 の下層側には反射ミラー構造 1 7 が形成されている。これにより、入射光が Si 層 1 1 の内部で反射を繰り返し易くなり、光の Si 層 1 1 からの透過が抑止されるので、Si 層 1 1 における光吸収効率を向上させることができる。すなわち、入射光に対する感度を上げることができる。また、素子分離構造 1 4 およびメタル反射壁 1 5 により、隣接する画素に起因する混色が抑止される。

【 0 0 5 9 】

< 固体撮像素子の変形例 9 >

図10は、本開示の実施の形態である固体撮像素子10のさらに他の構成例(変形例9)を示す断面図である。ただし、図1に示された構成例と共通する構成要素については、同一の符号を付しているため、その説明は適宜省略する。

【0060】

図10に示される変形例9は、図1に示された構成例に対して、Si層11に形成されている凹凸パターン12の上層側に、平坦化膜18とSi層11の中間的な屈折率を有する中間膜31が設けられている。中間膜31の素材には、ハフニウム酸化膜、アルミニウム酸化物、またはシリコン窒化膜などが用いられる。なお、中間膜31は、凹部の深さに比べて十分に薄く、凹凸パターン12と相似的な形状を取ることが好ましい。さらに、中間膜31の上層側にはカラーフィルタ32が追加されている。

10

【0061】

変形例9の場合、Si層11の受光面とその反対面のそれぞれに凹凸パターン12, 13が形成されている。さらに、隣接する画素との境には素子分離構造14が、Si層11の下層側には反射ミラー構造17が形成されている。これにより、入射光がSi層11の内部で反射を繰り返し易くなり、光のSi層11からの透過が抑止されるので、Si層11における光吸収効率を向上させることができる。すなわち、入射光に対する感度を上げることができる。また、素子分離構造14およびメタル反射壁15により、隣接する画素に起因する混色が抑止される。さらに、カラーフィルタが一体的に形成されるので、カラーフィルタを別途配置する場合に比較して、固体撮像素子10の厚みを削減することができる。

【0062】

なお、上述した固体撮像素子10の構成例とその変形例2乃至9は、適宜組み合わせることができる。

20

【0063】

<凹凸パターン12, 13の構造例>

次に、Si層11の受光面とその反対面のそれぞれに形成される凹凸パターン12, 13の構造について説明する。

【0064】

図11は、凹凸パターン12, 13の構造として、逆ピラミッド型、順ピラミッド型、Vグループ型、およびXグループ型の4例を挙げ、その上面図および断面図を示している。

30

【0065】

逆ピラミッド型は、Si層11の面(受光面とその反対面)に対して四角錐形状の凹構造が周期的に形成されたものである。順ピラミッド型は、Si層11の面に対して四角錐形状の凸構造が周期的に形成されたものである。

【0066】

Vグループ型は、Si層11の面に対して平行に並んだ直線状の溝構造が周期的に形成されたものである。Xグループ型は、Si層11の面に対して平行に並んだ直線状の第1溝構造と、第1溝構造に直交する方向に平行に並んだ直線状の第2溝構造とが周期的に形成されたものである。

【0067】

なお、凹凸パターン12の構造と凹凸パターン13の構造とは同一の型であってもよいし、異なる型であってもよい。また、凹凸パターン12, 13の構造は、上述した4例の型に限るものではなく、周期的に同一の構造を形成するようにすればよい。

40

【0068】

<凹凸パターン12, 13が採用される画素の例>

上述したように、本実施の形態である固体撮像素子10は、 $N \times M$  ( $N < X$ ,  $M < Y$ )。例えば、 $2 \times 2$ )個の隣接する画素で1ユニットを構成し、1ユニットの各画素がR,G,B,IRのいずれかの波長の光を検出するようになされている。

【0069】

図12は、本実施の形態である固体撮像素子10における1ユニット分の画素の断面図

50

を示している。同図の場合、R,G,B,IRそれぞれの波長の光を検出する各画素のうち、光吸収効率が相対的に低い最長波長側のIRを検出する画素に対してのみ、凹凸パターン12, 13が採用されている。ただし、同図において、凹凸パターン13の図示は省略されている。

#### 【0070】

図13は、本実施の形態である固体撮像素子10における1ユニット分の画素の断面図を示している。同図の場合、R,G,B,IRそれぞれの波長の光を検出する各画素のうち、光吸収効率が相対的に低い長波長側のIRとRをそれぞれ検出する画素に対してのみ、凹凸パターン12, 13が採用されている。ただし、同図において、凹凸パターン13の図示は省略されている。

#### 【0071】

図14は、本実施の形態である固体撮像素子10における1ユニット分の画素の断面図を示している。同図の場合、R,G,B,IRそれぞれの波長の光を検出する全ての画素に凹凸パターン12, 13が採用されている。ただし、同図において、凹凸パターン13の図示は省略されている。

#### 【0072】

図15は、本実施の形態である固体撮像素子10における1ユニット分の画素の断面図を示している。同図の場合、R,G,B,IRそれぞれの波長の光を検出する全ての画素に凹凸パターン12, 13が採用され、検出する波長に応じて凹凸パターン12, 13のサイズ(周期)が異なる場合を示している。すなわち、光吸収効率が相対的に低い長波長側から、相対的に高い短波長側に向かって、凹凸パターン12, 13の周期が短くなるように形成されている。つまり、IR用の画素の凹凸パターン12, 13の周期が最も長く、B用の画素の凹凸パターン12, 13の周期が最も短い。ただし、同図において、凹凸パターン13の図示は省略されている。

#### 【0073】

次に、図16は、本実施の形態である固体撮像素子10を、光の入射面側に各種の画素配線等が設けられている表面照射型の固体撮像素子に適用した場合における1ユニット分の画素の断面図を示している。同図の場合、R,G,B,IRそれぞれの波長の光を検出する全ての画素に凹凸パターン12, 13が採用されている。ただし、同図において、凹凸パターン13の図示は省略されている。同図に示す表面照射型の固体撮像素子10において、光吸収層の裏面側にミラー構造を配置する場合、配線などが裏面側にないので、ミラー構造を画素間に隙間なく配置することができる。

#### 【0074】

図12乃至図16に示されたように、凹凸パターン12, 13は、必ずしも、R,G,B,IRの各画素のすべてに凹凸パターン12, 13が形成されていなくてもよいが、少なくともIRの画素には、凹凸パターン12, 13が形成されているようにする。

#### 【0075】

##### <光吸収効率のシミュレーション>

次に、本実施の形態である固体撮像素子10のSi層11における光吸収効率について説明する。

#### 【0076】

図17は、入射光の波長に対するSi層の光吸収効率の変化をシミュレーションした結果を示している。ただし、同図において、横軸は入射光の波長を示し、縦軸はSi層における光吸収効率を示している。また、Si層については、その厚さを3umと仮定している。

#### 【0077】

同図において、曲線aは、Si層の面(受光面とその反対面)に凹凸パターンが形成されていない従来の固体撮像素子の特性に対するシミュレーション結果を示している。曲線bは、Si層の両面に凹凸パターンが形成されておらず、Si層の下層側に反射ミラー構造を有する固体撮像素子の特性に対するシミュレーション結果を示している。曲線c, dは、本実施の形態である固体撮像素子10、すなわち、Si層11の両面に凹凸パターン12, 1

10

20

30

40

50

3 が形成されており、反射ミラー構造 17 を有する固体撮像素子の特性に対するシミュレーション結果を示している。

【0078】

曲線 a が示す特性は、全ての波長帯域において、他の曲線よりも光吸収効率が低く、特にその傾向が長波長側で顕著である。曲線 b が示す特性は、波長 650nm ~ 900nm の範囲において、曲線 a よりも 10% から 20% 程度の光吸収効率の改善が見られる。曲線 c, d では、全ての波長帯域において、曲線 a, b の特性よりも光吸収効率の改善が見られ、特に、赤色光から赤外線に相当する波長 700nm ~ 900nm の範囲において顕著な光吸収効率の改善が見られる。したがって、本実施の形態である固体撮像素子 10 は、R, G, B, IR の各波長をそれぞれ検知する場合において Si 層 11 の光吸収効率を改善する効果を有し、特に、相対的に長波長側の R, IR をそれぞれ検知する場合において、Si 層 11 の光吸収効率大きく改善する効果を有するといえる。

10

【0079】

< 凹凸パターン 12 のサイズ制約 >

次に、凹凸パターン 12 のサイズ制約について説明する。図 18 は、凹凸パターン 12 のサイズと周期 P の関係を示している。

【0080】

凹凸パターン 12 の周期 P は、 $400 / N$  乃至  $1500 / N$  [nm] を好適とする。N は、凹凸パターン 12 の周囲の媒質の屈折率である。N = 1.5 である場合、周期 P は  $1000 \text{ nm} = 1 \mu\text{m}$  以下となる。凹凸パターン 12 の開口上部の幅 W1 は、周期 P 以下とする。凹凸パターン 12 の開口底部の幅 W2 は、凹凸パターン 12 の開口上部の幅 W1 よりも狭いものとする。凹凸パターン 12 の隣接する凹部の間隔 W3 は、0 以上とする。凹凸パターン 12 の深さ d は、開口上部の幅 W1 よりも狭いものとする。具体的には、 $0.3 \cdot W1 < d < 1.0 \cdot W1$  または  $0.5 \cdot W1 < d < 0.8 \cdot W1$  とする。

20

【0081】

なお、凹凸パターン 13 のサイズについても同様に制約があるものとする。

【0082】

< 凹凸パターン 12, 13 の形成工程 >

次に、凹凸パターン 12, 13 の形成工程について説明する。図 19 は、凹凸パターン 12, 13 の形成工程の一例を示している。

30

【0083】

まず同図 A に示されるように、Si 層 11 の表面にレジストを塗布し、次に同図 B に示されるように、凹凸パターンの凹部を形成する箇所に EUV 露光や電子ビーム描画などで露光することによりマーキングを行う。

【0084】

次に同図 C に示されるように、塗布されているレジストのマーキング箇所を除去し、同図 D に示されるように、ウェットエッチング、またはドライエッチングにより結晶性の異方性エッチングを行って凹部を形成し、同図 E に示されるように、レジストを除去する。

【0085】

さらに、同図 F に示されるように、異方性エッチングを行った凹部を含む Si 層 11 の表面に、平坦化膜 18 と Si 層 11 との中間的な屈折率を有する中間膜 31 を成膜する。中間膜 31 の素材には、ハフニウム酸化膜、アルミニウム酸化物、またはシリコン窒化膜などの高誘電体を用いればよい。なお、中間膜 31 は、凹部の深さに比べて十分に薄く、凹凸パターンと相似的な形状を取ることが好ましい。最後に、同図 G に示されるように、中間膜 31 の上層に、誘電体からなる平坦化膜 18 を成膜する。平坦化膜の素材には、 $\text{SiO}_2$ , SiN などを採用する。

40

【0086】

なお、凹凸パターンの凹部を形成するに際しては、同図 H および同図 I に示されるように、Si 層 11 の受光面およびその反対面を結晶面 (100) 面とし、凹部の壁面を結晶面 (111) 面とすれば、結晶性の異方性エッチングにより、結晶欠陥を抑止しつつ高精度

50

な凹凸パターンを形成することができる。

【0087】

<まとめ>

以上に説明した本実施の形態である固体撮像素子10によれば、Si層11の厚みを増すことなく、R,G,B,IRの各波長帯域での受光感度を向上させることができ、特に、IR波長帯域での受光感度を大きく向上させることができる。

【0088】

なお、本開示の実施の形態である固体撮像素子10は、裏面照射型、または表面照射型のどちらにも適用可能である。

【0089】

また、本実施の形態である固体撮像素子10は、デジタルビデオカメラやデジタルスチルカメラに代表される撮像装置を含む、固体撮像素子を用いた撮像機能やセンシング機能を有するあらゆる種類の電子装置に適用することができる。

【0090】

<電子装置の構成例>

図20は、本実施の形態である固体撮像素子10を適用した電子装置の構成例を示している。

【0091】

この電子装置100は、上述した固体撮像素子10を用いた撮像機能を有するものである。電子装置100は、固体撮像素子10、光学系構成部101、駆動部102、および信号処理部103を備える。

【0092】

光学系構成部101は、光学レンズなどから構成され、被写体の光学像を固体撮像素子10に入射させる。駆動部102は、固体撮像素子10の内部の駆動に関する各種のタイミング信号を生成、出力することにより固体撮像素子10の駆動を制御する。信号処理部103は、固体撮像素子10から出力される画像信号に対して所定の信号処理を施し、その信号処理結果に応じた処理を実行する。また、信号処理部103は、信号処理結果の画像信号を後段に出力して、例えば、固体メモリなどの記録媒体に記録したり、所定のネットワークを介し、所定のサーバに転送したりする。

【0093】

本開示の実施の形態は、上述した実施の形態に限定されるものではなく、本開示の要旨を逸脱しない範囲において種々の変更が可能である。

【0094】

なお、本開示は以下のような構成も取ることができる。

(1)

多数の画素が縦横に配置されている固体撮像素子において、光検出素子としての光吸収層の受光面とその反対面に周期的な凹凸パターンを備える固体撮像素子。

(2)

前記光吸収層は、単結晶Siからなる

前記(1)に記載の固体撮像素子。

(3)

前記多数の画素のうち、少なくともIR検出用の画素に対応する前記光吸収層の受光面とその反対面には前記凹凸パターンが形成されている

前記(1)または(2)に記載の固体撮像素子。

(4)

前記光吸収層の受光面の反対面に形成されている前記凹凸パターンの周期は無限に小さい

前記(1)から(3)のいずれかに記載の固体撮像素子。

(5)

前記光吸収層の受光面とその反対面に形成されている前記凹凸パターンの周期は、検知する波長に応じて異なる

前記(1)から(4)のいずれかに記載の固体撮像素子。

(6)

前記凹凸パターンは、1次元周期的、または2次元周期的に形成されている

前記(1)から(5)のいずれかに記載の固体撮像素子。

(7)

前記凹凸パターンが形成される前記光吸収層の前記受光面および前記反対面の結晶面は、(100)面であり、前記凹凸パターンの壁面の結晶面は、(111)面である

前記(1)から(6)のいずれかに記載の固体撮像素子。

10

(8)

前記凹凸パターンの周期は、1 μm以下である

前記(1)から(7)のいずれかに記載の固体撮像素子。

(9)

前記光吸収層の隣接する画素との境には、素子分離構造が形成されている

前記(1)から(8)のいずれかに記載の固体撮像素子。

(10)

前記素子分離構造には、前記光吸収層よりも屈折率が低い素材からなる

前記(9)に記載の固体撮像素子。

(11)

20

前記素子分離構造の内部には、メタル反射壁が形成されている

前記(9)または(10)に記載の固体撮像素子。

(12)

前記光吸収層の下層側に反射ミラー構造を

さらに備える前記(1)から(11)のいずれかに記載の固体撮像素子。

(13)

前記反射ミラー構造は、配線層が兼ねる

前記(12)に記載の固体撮像素子。

(14)

多数の画素が縦横に配置されている固体撮像素子を搭載する電子装置において、

30

前記固体撮像素子は、

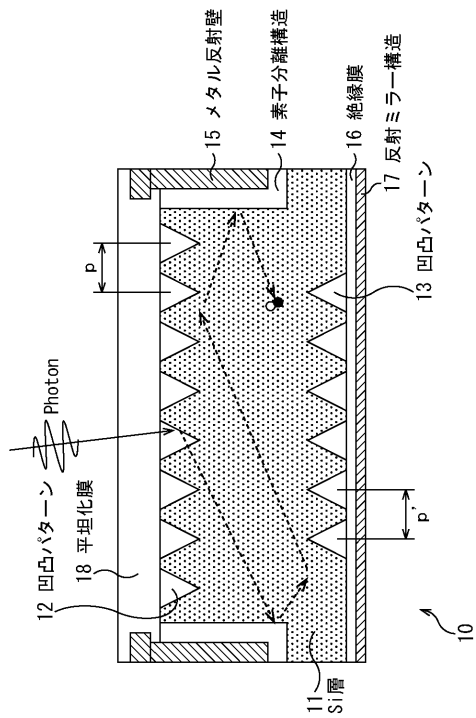
光検出素子としての光吸収層の受光面とその反対面に周期的な凹凸パターンを備える電子装置。

【符号の説明】

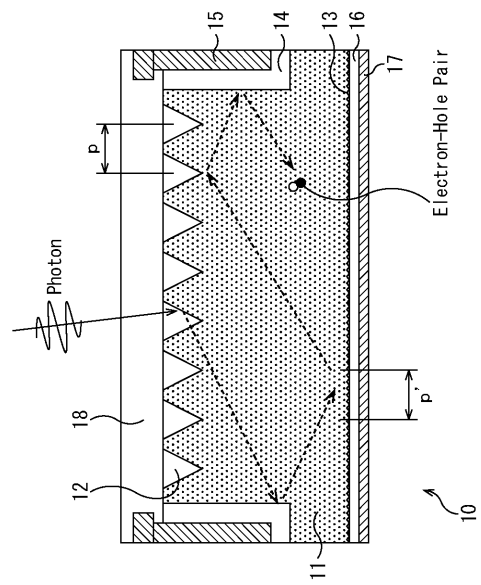
【0095】

10 固体撮像素子， 11 Si層， 12， 13 凹凸パターン， 14 素子分離構造， 15 メタル反射壁， 16 絶縁膜， 17 反射ミラー構造， 18 平坦化膜， 31 中間膜， 32 カラーフィルタ

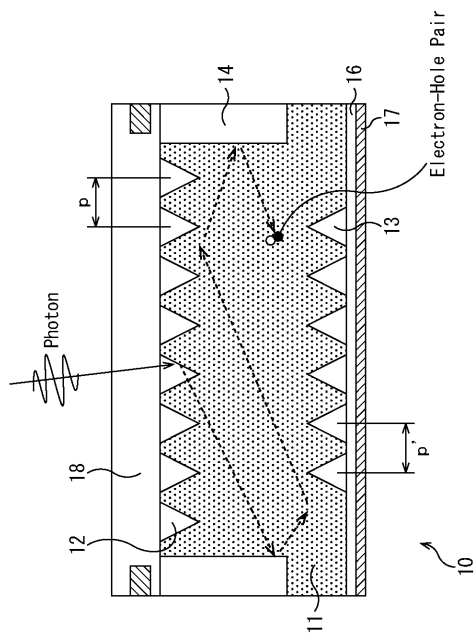
【図 1】  
図1



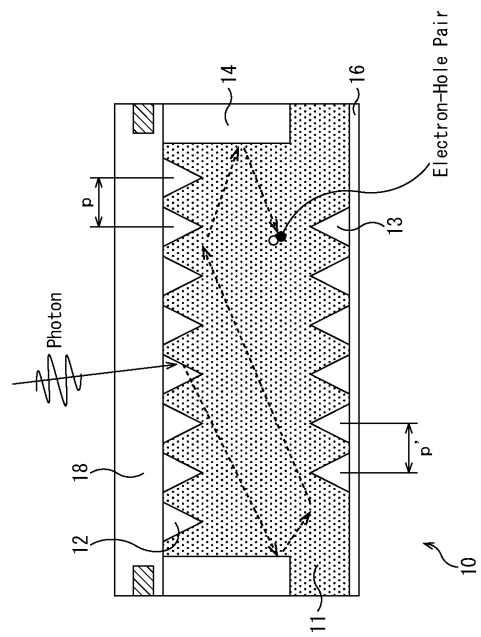
【図 2】  
図2



【図 3】  
図3

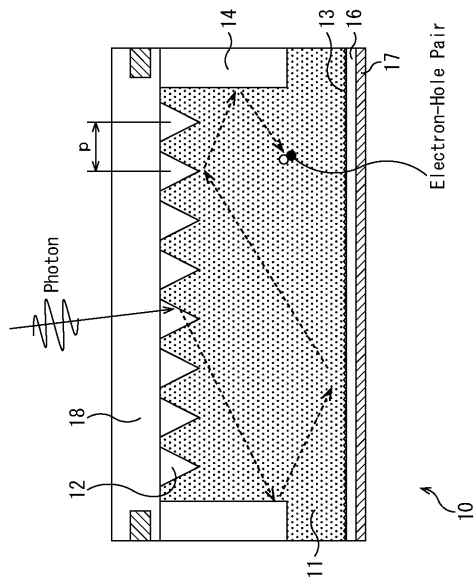


【図 4】  
図4



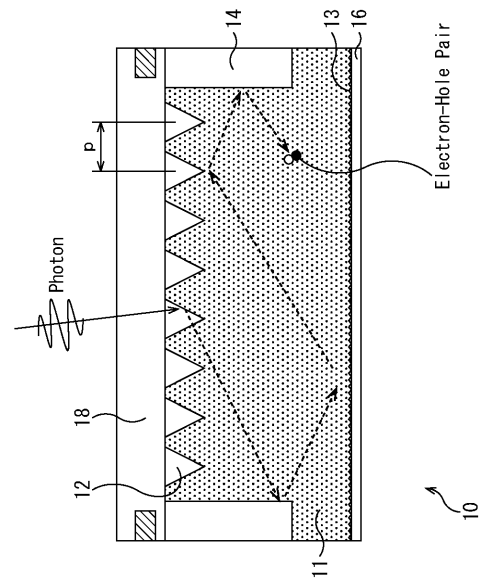
【図 5】

図5



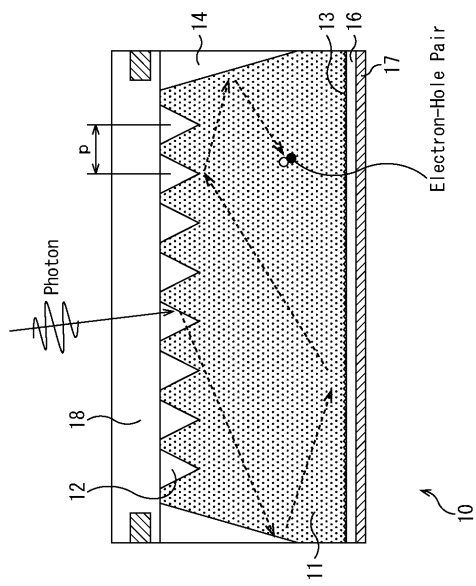
【図 6】

図6



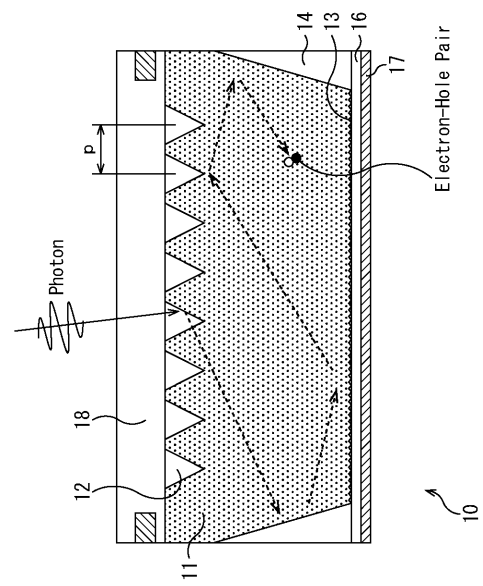
【図 7】

図7



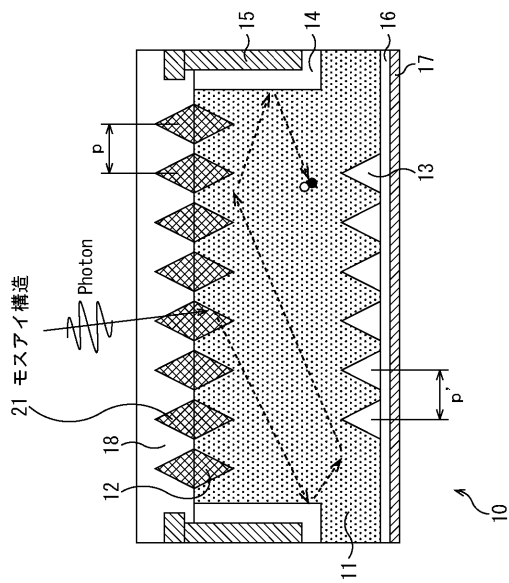
【図 8】

図8



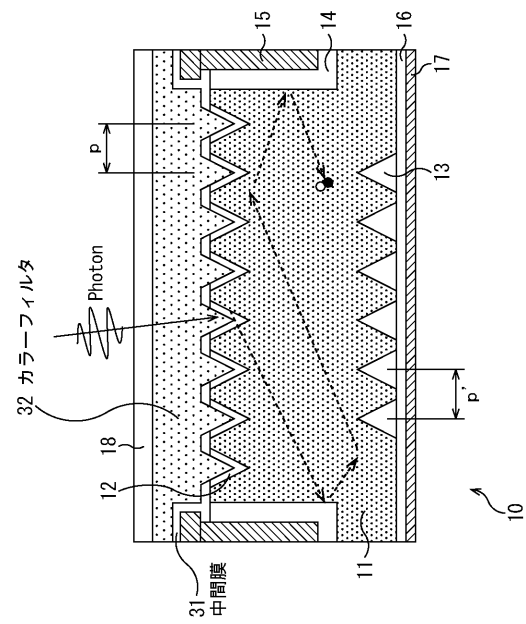
【図 9】

図9



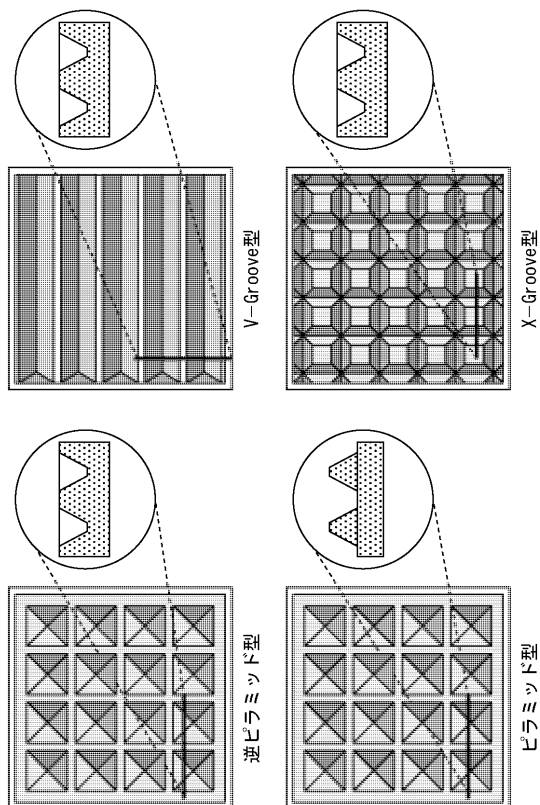
【図 10】

図10



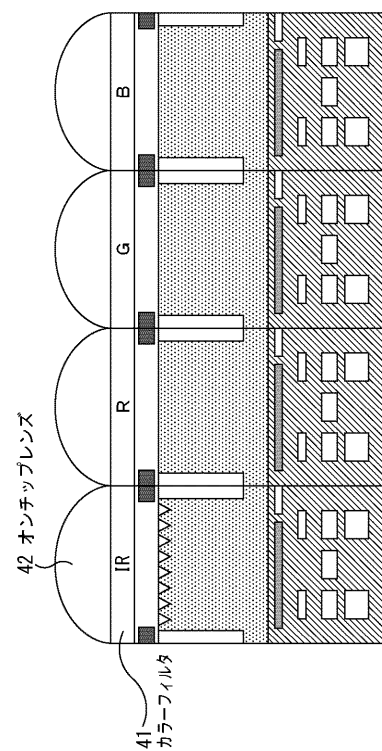
【図 11】

図11



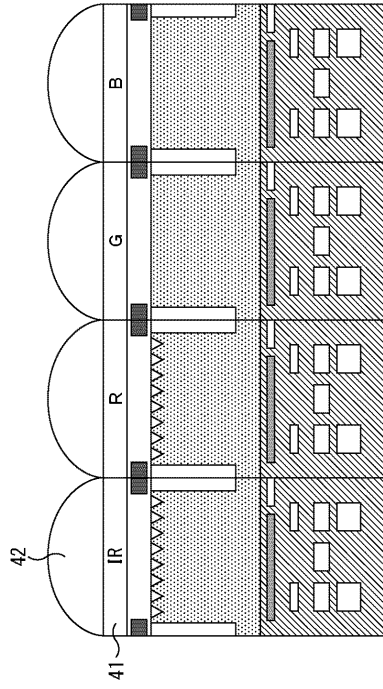
【図 12】

図12



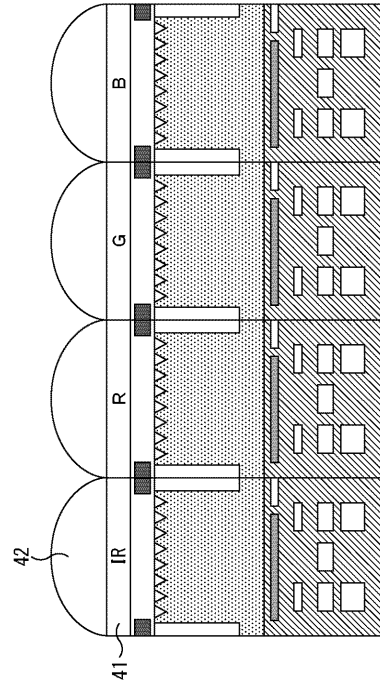
【図 13】

図13



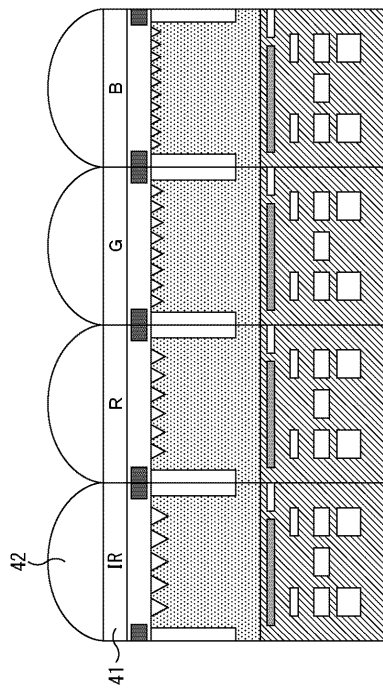
【図 14】

図14



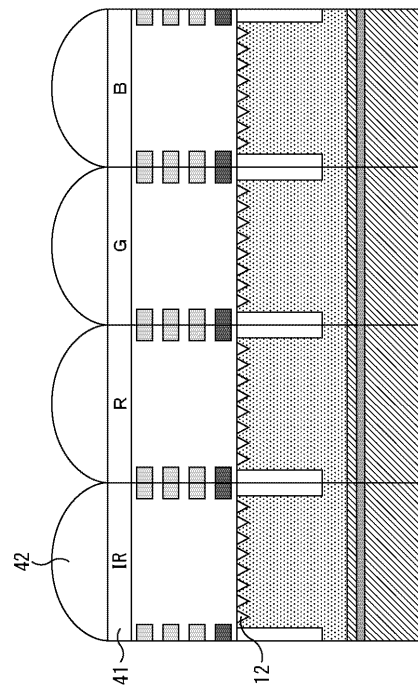
【図 15】

図15



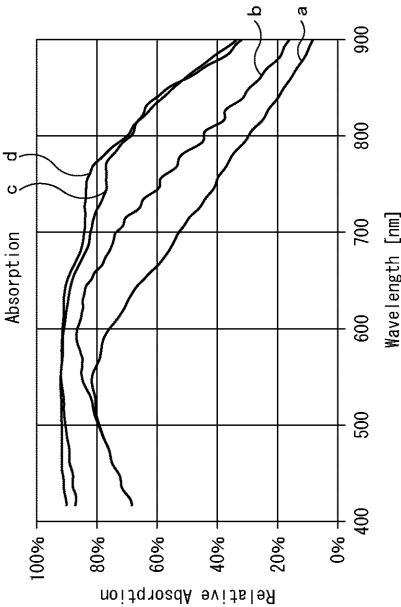
【図 16】

図16



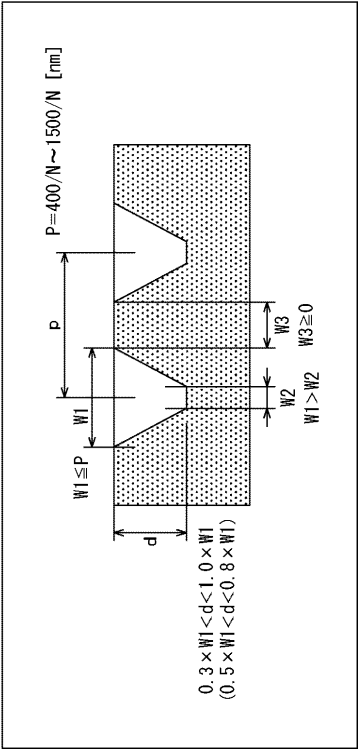
【図 17】

図17



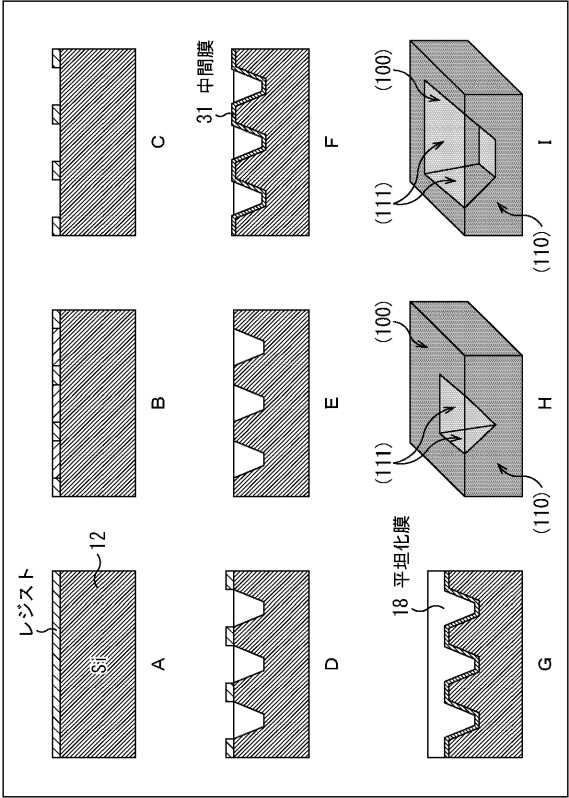
【図 18】

図18



【図 19】

図19



【図 20】

図20

