

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関  
国際事務局



(10) 国際公開番号

WO 2011/004708 A1

(43) 国際公開日

2011年1月13日(13.01.2011)

PCT

- (51) 国際特許分類:  
HOIL 27/146 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP20 10/060661
- (22) 国際出願日: 2010年6月23日(23.06.2010)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:  
特願 2009-163397 2009年7月10日(10.07.2009) JP
- (71) 出願人(米国を除く全ての指定国について): 株式会社 **a** 島津製作所 (Shimadzu Corporation) [JP/JP]; 〒60485 11 京都府京都市中京区西ノ京桑原町1番地 Kyoto (JP), 国立大学法人東北大学 (TOHOKU UNIVERSITY) [JP/JP]; 〒9808577 宮城県仙台市青葉区片平二丁目1番1号 Miyagi (JP).
- (72) 発明者: および
- (75) 発明者/出願人 本国についてのみ: 近藤 泰志 (KONDO, Yasushi) [JP/JP]; 〒6048511 京都府京都市中京区西ノ京桑原町1番地株式会社島津製作所内 Kyoto (JP), 冨永 秀樹(TOMINAGA, Hide-

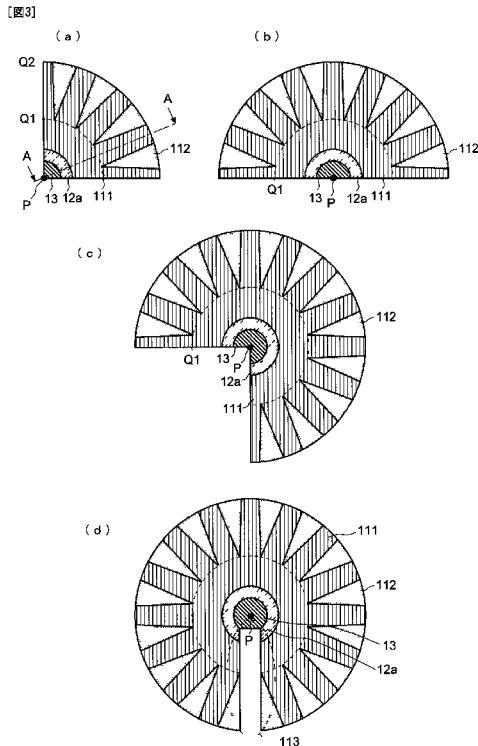
ki) [JP/JP]; 〒60485 11 京都府京都市中京区西ノ京桑原町1番地株式会社島津製作所内 Kyoto (JP), 田窪 健二(TAKUBO, Kenji) [JP/JP]; 〒60485 11 京都府京都市中京区西ノ京桑原町1番地 株式会社島津製作所内 Kyoto (JP), 廣瀬 竜太(HI-ROSE, Ryuta) [JP/JP]; 〒60485 11 京都府京都市中京区西ノ京桑原町1番地 株式会社島津製作所内 Kyoto (JP), 須川 成利(SUGAWA, Shigetoshi) [JP/JP]; 〒9808577 宮城県仙台市青葉区片平二丁目1番1号国立大学法人東北大学内 Miyagi (JP), 武藤 秀樹 (MUTOH, Hideki) [JP/JP]; 〒2500055 神奈川県小田原市久野291番地の4 Kanagawa (JP).

- (74) 代理人: 特許業務法人京都国際特許事務所 (Kyoto International Patent Law Office); 〒6008091 京都府京都市下京区東洞院通四条下元元王子町37番地 豊元四条丸ビル Kyoto (JP).
- (81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, C, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, D, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS,

[続葉有]

(54) Title: SOLID STATE IMAGING ELEMENT

(54) 発明の名称: 固体撮像素子



(57) Abstract: A floating diffusion (FD) region (13) is formed at the edge of a light receiving surface of an embedded photodiode, and with a transfer gate electrode (12) therebetween. A first region (111), with a radially extending section centred on the FD region (13), and a second region (112), located to the outside of said first region, are created in the roughly fan-shaped light receiving surface. Impurities of the same conductivity as a signal electrical charge collected in the first region (111) are introduced, forming, according to the three-dimensional electric field effect, an electric field, which directs the signal electrical charge from the radially extending section towards the centre. As a result, the electrical charge transfer time is reduced. Additionally, because a circuit element for a subsequent stage can be disposed adjacent to the FD region (13), the parasitic capacitance of the FD region can be reduced and a highly sensitive element can be obtained. Thus, it is possible to improve the detection sensitivity and S/N of a solid state imaging element for very fast imaging (at a million frames per second and above), without losing imaging speed.

(57) 要約: 埋め込み型のフォトダイオードの受光面の端部に、転送ゲート電極(12)を挟んでフローティングディフュージョン領域(13)を形成する。略扇形状の受光面の中に、FD領域(13)を中心とした放射状の延出部を有する第1領域(111)とその外側の第2領域(112)とを設け、第1領域(111)に収集する信号電荷と同じ導電型の不純物を導入することにより、3次元電界効果によって、信号電荷を放射状の延出部から中心に向かわせる電界を形成することができる。その結果、電荷の転送時間が短縮される。また、FD領域(13)に隣接して次の回路素子を配設できるので、FD領域(13)の寄生容量を小さくすることができ、高感度の素子を実現できる。これにより、100万フレーム/秒程度以上ものきわ

めて高速度の撮影に対応した固体撮像素子において、撮影の高速度性を損なわずに検出感度やS/Nを向上させることが可能となる。

WO 2011 0470 1



KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MI, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

(84) 指定国表示のな<sup>1</sup>限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア

添付公開書類:

- 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

## 明 細 書

発明の名称： 固体撮像素子

技術分野

[0001] 本発明は固体撮像素子に関し、さらに詳しくは、破壊、爆発、燃焼などの高速の現象を撮影するために好適な高速動作可能な固体撮像素子に関する。

背景技術

[0002] 爆発、破壊、燃焼、衝突、放電などの高速の現象を、短時間だけ連続的に撮影するための高速撮影装置（高速ビデオカメラ）が従来より開発されている（非特許文献「など参照」）。こうした高速撮影装置では、「00万フレームイ秒程度以上もの、きわめて高速度の撮影が必要である。そのため、従来一般的にビデオカメラやデジタルカメラなどに利用されている撮像素子とは異なる、特殊な構造を有する高速動作可能な固体撮像素子が利用されている。こうした固体撮像素子として、特許文献「などには、画素周辺記録型撮像素子と呼ばれる撮像素子が開示されている。この撮像素子は、素子外部に信号を読み出すことなく連続的に所定フレーム数記録可能な蓄積用CCDを備える。また、本願出願人は、素子外部に信号を読み出すことなく連続的に所定フレーム数の画像信号を記録可能なキャパシタを備えたCMOS構造の撮像素子を、特許文献2などにおいて提案している。

[0003] こうした固体撮像素子では、一般に、光電変換を行うために埋め込み型のフォトダイオードが採用されている。上記のような高速撮影においては、フォトダイオードが露光される時間が一般の撮影に比べて非常に短いため、検出感度を確保するには各画素におけるフォトダイオードへの光の入射量をできるだけ増やす必要がある。そのため、フォトダイオードの受光面のサイズをできるだけ大きくすることが望ましい。しかしながら、一般的な埋め込み型のフォトダイオード構造において受光面のサイズを大きくすると、フォトダイオードで生起された光電荷がフローティングディフュージョン領域に到達するまでに要する時間が無視できなくなり、一部の電荷は、予め決められ

た短い光電変換時間内にフローティングディフュージョン領域にまで到達することができない。そのために、本来そのフレームで読み出すべき電荷の一部が次のフレームで読み出されてしまい、残像現象が発生する。これが、高速動作に対応した固体撮像素子における画質劣化の大きな要因の一つである。

[0004] これに対し特許文献<sup>3</sup>、<sup>4</sup>などに記載の固体撮像素子では、埋め込み型のフォトダイオードの矩形状である受光面の略中央にフローティングディフュージョン領域を形成し、それを取り囲むように転送トランジスタのゲート電極を配置している。これにより、受光面からフローティングディフュージョン領域までの最大距離が短くなり、光電荷がフローティングディフュージョン領域に到達するまでに要する時間が短縮される。また、この固体撮像素子では、受光面の周辺部から中央部に向かって、つまりフローティングディフュージョン領域に向かってポテンシャル勾配を形成することにより、フォトダイオードで生成された光電荷が受光面の中央側に集まり易いようにしている。

[0005] しかしながら、上記の固体撮像素子では、電子を収集するフローティングディフュージョン領域を受光面の中央に配置しているために、一般的には、そのフローティングディフュージョン領域と受光面の外側に配置された領域とを金属等の配線で接続し、該配線を通して電荷を次段の回路へ送る必要がある。そうした配線は容量性負荷であるためフローティングディフュージョン領域の電荷電圧変換ゲインを低下させ、感度を低下させる。また、特許文献<sup>4</sup>のように、チャネル幅が中心から離れるに従って単純に狭くなる形状にすると、縦型オーバーフロードレインやクロストーク抑制等の目的のためにP-well/N-Sub構造を用いたときに、チャネルの存在しない領域で発生した光電荷が基板方向に流れてしまい、感度が低下するという問題がある。

先行技術文献

特許文献

[0006] 特許文献<sup>1</sup>：特開<sup>2</sup> 00「-34544」号公報

特許文献2：国際公開WO 2009/031301号パンフレット

特許文献3：国際公開WO 2009/031304号パンフレット

特許文献4：特開2007-81083号公報

### 非特許文献

- [0007] 非特許文献1：近藤ほか5名、高速度ビデオカメラHyperVision HPV-1の開発」、島津評論、島津評論編集部、2005年9月30日発行、第62巻、第1・2号、p. 79-86

### 発明の概要

#### 発明が解決しようとする課題

- [0008] 本発明は上記課題に鑑みて成されたものであり、その目的とするところは、光電荷蓄積時間が短い場合であってもフォトダイオードで生起された光電荷を高い効率で信号に反映させることで、高感度で且つ残像が少なく、高速動作が可能な固体撮像素子を提供することにある。

#### 課題を解決するための手段

- [0009] 上記課題を解決するために成された第1発明は、光を受光して光電荷を生成するフォトダイオード、前記フォトダイオードで生成された電荷を収集・保持するフローティングディフュージョン領域、及び、前記フォトダイオードから前記フローティングディフュージョン領域に電荷を転送するために両者の間にゲートを有する転送トランジスタ、を少なくとも有する画素を、半導体基板上に複数備える固体撮像素子であって、

前記フローティングディフュージョン領域は前記フォトダイオードの受光面の端部に配置され、該フォトダイオードの受光面の中で、前記フローティングディフュージョン領域を中心として描かれる第1円弧の内側で且つ転送ゲートの外側の領域全体と、該第1円弧から外方に放射状に延出しその先端が前記第1円弧と同心円状である第2円弧に接する複数の延出部の内側の領域とが、収集する信号電荷と同じ導電型の領域として形成されていることを特徴としている。

- [0010] この第「発明に係る固体撮像素子において、前記延出部は、前記第「円弧から外方に、直線状に、弓状に湾曲して、又は、鉤状に屈曲して、延出するものとすることができる。
- [0011] また上記課題を解決するために成された第2発明は、光を受光して光電荷を生成するフォトダイオード、前記フォトダイオードで生成された電荷を収集・保持するフローティングディフュージョン領域、及び、前記フォトダイオードから前記フローティングディフュージョン領域に電荷を転送するために両者の間にゲートを有する転送トランジスタ、を少なくとも有する画素を、半導体基板上に複数備える固体撮像素子であつて、  
前記フローティングディフュージョン領域は前記フォトダイオードの受光面の端部に配置され、該フォトダイオードの受光面の中で、前記フローティングディフュージョン領域を中心として描かれる円弧の内側で且つ転送ゲートの外側の領域と、その円弧から外方に放射状に延出する複数の延出部の内側の領域とが、収集する信号電荷と同じ導電型の領域として形成されていることを特徴としている。
- [0012] この第2発明に係る固体撮像素子において、前記複数の延出部は略同一の長さとするよ。
- [0013] 第「、第2発明に係る固体撮像素子にあつて、前記フォトダイオードの受光面は、平面視したときに、前記フローティングディフュージョン領域を中心とする扇形の領域内に前記転送ゲートを挟んで位置する構成とすることができる。
- [0014] 例えば第「の態様として、前記フォトダイオードの受光面は、平面視したときに、一直線上ではない2木の直線状の縁辺を有し、その2木の縁辺を延長した交点上に前記フローティングディフュージョン領域が配設されている構成とすることができる。この場合、上記の2木の縁辺を延長した交点においてその2木の延長線がなす角度は任意の角度とすることができる。
- [0015] また第2の態様として、前記フォトダイオードの受光面は、平面視したときに一直線上に位置する2木の直線状の縁辺を有し、その2木の縁辺の中間

位置に前記フローティングディフュージョン領域が配設されている構成としてもよい。即ち、この第2の態様は、第「の態様で除かれた、2木の縁辺を延長した交点においてその2木の延長線がなす角度が「80°である場合に相当する。

[0016] また第3の態様として、前記フォトダイオードの受光面は、平面視したときに、縁辺から内方に凹みが形成された形状であり、その凹みの最も奥まった位置に前記フローティングディフュージョン領域が配設されている構成としてもよい。

[0017] なお、上述した「収集する信号電荷と同じ導電型の領域」は、収集する信号電荷が電子の場合、半導体基板上に積層形成された基体（通常、p型ウェル）にイオン打ち込みなどにより、例えばリン、ヒ素、などの不純物を導入することによって形成されたn型領域である。

[0018] 前記第「乃至第3の態様のいずれにおいても、フローティングディフュージョン領域は、平面視したときにその周囲がフォトダイオードの受光面で完全には囲まれておらず、少なくとも一部が半導体基板上に積層形成された基体に面している。したがって、フローティングディフュージョン領域に面した上記基体に、該フローティングディフュージョン領域で収集された電荷をリセット及び増幅する領域を連続的に又は隣接して設けることができる。これにより、フローティングディフュージョン領域の容量（キャパシタンス）を小さくすることができ、感度の低下を回避することができる。

[0019] 第「、第2発明に係る固体撮像素子においては、フォトダイオードの受光面全体で光電荷は発生するが、収集する信号電荷が電子の場合、放射状に延出したn型不純物領域同士の間隙が狭ければ、水平方向の電界効果によって、p型不純物領域内で発生した光電荷（電子）がP-well内を拡散して基板に到達する可能性に比べて、放射状に延出したn型不純物領域に到達する可能性のほうが高くなる。

[0020] また、放射状に延出したn型不純物領域は、その先端部がp型不純物領域に囲まれているので、3次元的な電界効果によって、転送ゲート近傍のn型

不純物領域と比べてポテンシャルが浅く（電位が低く）なる。このため、周辺部から中心部に向かってポテンシャルが深く（電位が高く）なる方向の電界が生じ、光電荷を効率よく中心部に移動させることができる。この場合、放射状に延出したn型不純物領域は、必ずしも先端部に向かうに従って幅を狭くした形状とする必要はない。

[0021] こうしたことから、第1、第2発明に係る固体撮像素子によれば、光電荷が基板に流出し易い、信号電荷とは反対の導電型である不純物領域の面積を抑制しながら、周囲から中心（フローティングディフュージョン領域）に向かって信号電荷が移動する方向の電界を効率よく形成することができる。

[0022] この場合、上記延出部は、平面視したときに、根元から先端に向かって幅が狭くなる形状としてもよい。延出部の幅を先端に向かって狭くすると、狭チャネル効果によってポテンシャルの勾配が急になる。そうすると電荷の移動速度が上がり、電荷がフローティングディフュージョン領域に到達するまでの時間を短縮するのに有利である。

[0023] 一方、延出部の幅を狭くすると、逆に、隣接する延出部の間隔が広くなって、外側の領域で発生した電荷が上記の収集する信号電荷と同じ導電型の不純物領域に到達せずに基板に流出する可能性が高くなる。そこで、これを避けるために、前記延出部を、平面視したときに、先端を挟んだ両縁辺が同方向に弓状に湾曲した形状、又は鉤状に屈曲した形状とするとよい。これにより、中心へ向かう電界強度を維持しながら、信号電荷と同じ導電型である不純物領域の面積が増大する一方、反対導電型の不純物領域の面積が小さくなるので電荷の収集効率が向上する。また、複数の延出部の全てが同じ方向に湾曲或いは屈曲した形状でなくても（例えば、鏡面对称のような形状でも）、実質的に十分な効率で電荷を収集することができる。

[0024] なお、第1、第2発明に係る固体撮像素子では、収集する信号電荷と同じ導電型の領域として形成されている前記領域の中で、前記フローティングディフュージョン領域に向かって信号電荷が移動しやすいように、ポテンシャルの深さが相違する領域が複数形成されている構成としてもよい。このよう



なポテンシャル深さの相違する領域は、複数のフォトマスクを用いて基体への不純物イオンの打ち込み深さや不純物濃度を変えることにより容易に形成することができる。これにより、ポテンシャルの勾配を一層急にして、電荷の移動速度を上げることができる。

### 発明の効果

- [0025] 第「及び第2発明に係る固体撮像素子によれば、転送トランジスタがオンしてゲートが開いた際に、フォトダイオードの受光面で発生した電荷を効率良く且つ短い時間でフローティングディフュージョン領域に転送することができるとともに、フローティングディフュージョン領域に収集した電荷をスムーズに且つ高速で次段の回路へと送ることができる。これにより、撮影の高速性を損なわずに検出感度やS/Nを向上させることができる。

### 図面の簡単な説明

- [0026] [図1]本発明の一実施例の固体撮像素子における「個の画素の回路構成図。  
[図2]本実施例の固体撮像素子における光電変換部の概略縦断面図。  
[図3]本実施例の固体撮像素子における光電変換部の平面図。  
[図4]シミュレーションのための第「乃至第5の素子形状を示す平面図。  
[図5]第「の素子形状に対するシミュレーション結果である2次元ポテンシャル等高線図。  
[図6]第2の素子形状に対するシミュレーション結果である2次元ポテンシャル等高線図。  
[図7]第3の素子形状に対するシミュレーション結果である2次元ポテンシャル等高線図。  
[図8]第4の素子形状に対するシミュレーション結果である2次元ポテンシャル等高線図。  
[図9]第5の素子形状に対するシミュレーション結果である2次元ポテンシャル等高線図。  
[図10]第「の素子形状に対するシミュレーション結果である3次元ポテンシャル鳥瞰図。

[図11] 第2の素子形状に対するシミュレーション結果である3次元ポテンシャル鳥瞰図。

[図12] 第3の素子形状に対するシミュレーション結果である3次元ポテンシャル鳥瞰図。

[図13] 第4の素子形状に対するシミュレーション結果である3次元ポテンシャル鳥瞰図。

[図14] 第5の素子形状に対するシミュレーション結果である3次元ポテンシャル鳥瞰図。

[図15] 第「乃至第5の素子形状の電子転送シミュレーション結果を示す図。

[図16] 第「乃至第5の素子形状の感度シミュレーション結果を示す図。

[図17] 本発明に係る固体撮像素子における別の素子形状の例を示す平面図。

[図18] 本発明に係る固体撮像素子における別の素子形状の例を示す平面図。

[図19] 本発明に係る固体撮像素子における別の素子形状の例を示す平面図。

[図20] 本発明に係る固体撮像素子における別の素子形状の例を示す平面図。

### 発明を実施するための形態

[0027] 本発明に係る固体撮像素子の一実施例について、添付図面を参照して説明する。

本実施例による固体撮像素子の全体の構成及び構造は、例えば特許文献2に記載のような従来のCMOS構造の高速撮影用固体撮像素子と同様である。以下、本実施例の固体撮像素子の特徴である各画素を構成する要素の構造や形状、特に光電変換部の構造や形状について詳細に説明する。

[0028] 図「は、本実施例の固体撮像素子における「個の画素」の回路構成図である。「個の画素」は、光を受光して光電荷を生成するフォトダイオード「」と、フォトダイオード「」に近接して設けられた光電荷を転送するための転送トランジスタ12と、転送トランジスタ12を介してフォトダイオード「」に接続され、光電荷を一時的に蓄積するとともに電圧信号に変換するフローティングディフュージョン領域13と、フローティングディフュージョン領域の電位をリセットするためのリセットトランジスタ14と、信号電荷量

を増幅するための増幅トランジスタ「5と、画素を選択するための選択トランジスタ「6と、を含む。画素信号が読み出される出カライン2は図示しない領域まで延伸され、垂直信号線又は画素信号を記憶するためのキャパシタなどに接続される。

[0029] 各画素「における光電変換ゲインを上げるためには、光電荷を電圧に変換するためのフローティングディフュージョン領域「3の容量はできるだけ小さいほうがよい。

[0030] 図「中、フォトダイオード「1、転送トランジスタ「2、及びフローティングディフュージョン領域「3が光電変換部「0であり、この光電変換部「0が特徴的な構造を有している。図3は光電変換部「0のレイアウトパターンを示す平面図であり、(a)が基本的なパターンであって、(b)～(d)は(a)を拡張したパターンである。図2は図3(a)中のA-A'矢視線の概略縦断面図である。

[0031] フォトダイオード「1は埋め込みフォトダイオード構造である。即ち、図2に示すように、n型シリコン半導体基板(N-sub)507に所定厚さのp型ウエル(P-well)領域51が形成され、このp型ウエル領域51中にn型半導体領域52が形成される。このn型半導体領域52の表層にp型半導体領域53が形成され、このn型半導体領域52とp型半導体領域53とのp-n接合により埋め込み型のフォトダイオード「1が構成される。図3(a)に示すように、フォトダイオード「1は、平面視したときに、その全体が略扇形状であって、その「1つの角がその頂点を中心とした「1/4円形状に欠損した形状の受光面となっている。

[0032] 記「1/4円形状の欠損部にはn型半導体領域52が形成されておらず、その内側の「1/4円形状の範囲において、p型ウエル領域51の表層にn型半導体領域54が形成され、これがフローティングディフュージョン領域「3となる。このn型半導体領域54であるフローティングディフュージョン領域「3とn型半導体領域52との間に、表層の絶縁膜を介してポリシリコンなどから成る環状のゲート電極「2aが形成され、これが転送トランジス

タ「2を構成している。

[0033] 図3(a)に示すように、平面視したときに略扇形状のフォトダイオード「」の受光面は2つの領域に分けられている。その2つの領域とは、フローティングディフュージョン領域「3を中心とした、つまりは、フローティングディフュージョン領域「3を挟んだ、フォトダイオード「」の受光面の2本の直線的な縁辺の延長線の交点Pを中心として描かれる円弧(第「円弧)Q1の内側の領域、及びその円弧Q1から外方に延出し、先端が交点Pを中心として描かれる円弧(第2円弧)Q2に内接した複数の延出部からなる第「領域「」と、その複数の延出部にあつて周方向に隣接する延出部に挟まれる第2領域「2と、である。各延出部は、円弧Q1に接した根元の部分から円弧Q2に接した先端に向かって放射状に伸びており、全ての延出部の長さはほぼ同一となっている。

[0034] 第「領域「」及び第2領域「2はいずれも受光面であるが、第「領域「」は収集する信号電荷と同じ導電型の不純物領域であり、その間隙である第2領域「2は信号電荷とは反対の導電型の不純物領域となっている。このような不純物領域の相違は、通常、フォトマスクを使用し、リン、ヒ素、ホウ素などの不純物の打ち込みを選択的に行うことで容易に実現することができる。その結果、延出部は信号電荷と反対の導電型の不純物領域で囲まれることになるため、3次元的な電界効果により、円弧Q1の内側の部分と比べてポテンシャルエネルギーが高くなる。つまり、円弧Q1から外側に放射状に伸びる延出部と円弧Q1の内側とではポテンシャルの段差が生じ、これにより扇形状のフォトダイオードの外側(周辺sβ)から中心部へ向かうポテンシャル勾配が形成される。このポテンシャル勾配は、全体として、フォトダイオード「」の受光面上でフローティングディフュージョン領域「3より遠く離れた位置から該フローティングディフュージョン領域「3へと信号電荷を移動させる作用を持つ勾配である。具体的なポテンシャル勾配の形状は後述する。

[0035] 上記構成の光電変換部「0において、フォトダイオード「」の受光面に光

が人射してpn接合付近で発生した電荷は、上記のようなポテンシャル勾配によってフローティングディフュージョン領域「3へと向かうように加速され、転送トランジスタ「2のゲート電極「2 aが閉じた状態ではこのゲート電極「2 aの周囲に集まる。そして、ゲート電極「2 aが開くと、電荷は一斉にフローティングディフュージョン領域「3へと転送され、画素信号に反映される。第2領域「「2内ではポテンシャルはほぼ平坦であるため、ここで発生した電荷の移動速度は遅い。しかしながら、第「領域「1「は複数の延出部が放射状に延出した形状であるため、第2領域「「2内のどの位置からも第「領域「「「までの移動距離が比較的短く、電荷は短時間で第「領域「「「に到達する。そして、電荷が第「領域「「「に到達すると、上述した急なポテンシャル勾配によって加速され、短時間でゲート電極「2 aの周囲に集まることになる。そのため、ゲート電極「2 aを開いたときに、電荷を効率良くフローティングディフュージョン領域「3へと転送することができる。

[0036] なお、光が人射している期間中にも転送トランジスタ「2がオン状態に維持される場合には、ポテンシャル勾配に従ってゲート電極「2 aの周囲に集まってきた光電荷はそのままゲート電極「2 a直下の領域を経てフローティングディフュージョン領域「3に流れ込む。したがって、いずれにしても、フォトダイオード「「で生成された光電荷を高い効率で且つ迅速にフローティングディフュージョン領域「3に転送することができる。

[0037] このように、フォトダイオード「「の受光面上のいずれの位置で発生した光電荷についてもフローティングディフュージョン領域「3に到達するまでの時間が短くなり、光電荷の蓄積動作に割り当てられる時間が短い場合でも、フローティングディフュージョン領域「3に到達できない光電荷を少なくすることができる。その結果、信号電荷読出し時にフォトダイオード「「に残存する電荷量を低減することができ、残像を抑制して画質を改善することができる。

[0038] また、フローティングディフュージョン領域「3はフォトダイオード「「

の受光面の端部に位置している。そのため、図2、図3(a)には記載していないが、フローティングディフュージョン領域「3に隣接して、リセットトランジスタ「4や増幅トランジスタ「5を配設することができる。したがって、フローティングディフュージョン領域「3の容量を小さくすることができ、電荷電圧変換ゲインを大きくすることができるので、高い感度を実現することができる。

[0039] 前述したように図3(a)は素子の基本的なレイアウトパターンであるが、これを2つ連結したレイアウトパターン(図3(b)参照)、3つ連結したレイアウトパターン(図3(c)参照)でも、同様の効果を奏することは明らかである。また、図3(d)に示すように、図3(a)に示した基本的なレイアウトパターンを4つ連結し、フォトダイオード「の受光面の一部を周縁辺から内方に凹むように欠損部「3を形成することで、フローティングディフュージョン領域「3の側方にゲート電極「2a、n型半導体領域52及びp型半導体領域53が存在しない部分を設けるようにしてもよい。これも、フォトダイオード「の受光面の端部にフローティングディフュージョン領域「3を配置した構成の一種であるとみることができる。

[0040] 本発明に係る固体撮像素子において、上記実施例で説明した、図3(a)に示した光電変換部の基本的なレイアウトパターンは様々な形状に変形が可能である。図4は後述するシミュレーションのために検討した第「乃至第5の素子形状(レイアウトパターン)を示す平面図であり、上記の図3(a)に相当するものは図4(d)に示した第4の素子形状である。それ以外の図4(a)~(e)に示したようなレイアウトパターンのいずれかを採用し、さらに図3(a)~(d)に示したように、基本的なレイアウトパターンをそのまま利用するほか、扇形の中心角を任意の角度に設定したレイアウトを採用することができる。

[0041] 図4(a)に示した第「の素子形状は、フォトダイオード「の受光面の中で、交点(原点)Pを中心とする円弧Q2の内側を、フローティングディフュージョン領域「3及びゲート電極「2aの部分を除いて、信号電荷と同

じ導電型の不純物濃度がほぼ均一になるように形成したものである。図4（b）に示した第2の素子形状は、第1領域「1」の中で交点Pを中心とする円弧Q1の内側と外側とで領域（「1」a、「1」b）を分け、その内側の領域「1」aは外側の領域（内側の円弧Q1と外側の円弧Q2とで挟まれた領域）「1」bに比べて信号電荷と同じ導電型の不純物濃度を高くしている。この場合、内側の領域「1」aと外側の領域「1」bとの境界線でもポテンシャルの段差が形成される。

[0042] なお、図4（a）及び（b）では第1領域「1」の外側の境界線が円弧ではなく多角形状になっているが、これはシミュレーションの計算上、円弧とするのが困難であるためであって、実質的には円弧と同等である。

[0043] 図4（c）に示した第3の素子形状は、基本的には図4（d）に示した第4の素子形状と同じであるが、放射状の延出部の幅の狭まり具合をより強くしている。また、図4（e）に示した第5の素子形状は、第4の素子形状を元に、円弧Q1に対する延出部接合部（根元）からの距離に比例した角度をもって延出部を反時計回りに回転させて形成した形状（つまりは弓状に湾曲した形状）である。この形状では、第4の素子形状と同程度のチャネル面積を有するが、延出部のチャネルは第4の素子形状と比べて先端に向かうに従ってより幅が狭まる形状になっている。これら素子形状の相違による電位分布の相違は、次のシミュレーション結果の説明より明らかである。

[0044] 次に、上述した5種類の素子形状についてのシミュレーション計算について説明する。シミュレーションでは、図4中に示したサイズのレイアウトパターンを仮定し、いずれもX軸方向、Y軸方向ともに反射型の境界条件とした。より具体的には、原点（交点P）を中心として半径6[ $\mu\text{m}$ ]よりも外側の範囲のフェルミレベルを浅く設定して、この領域に電子が約 $10^4$ 個存在する状態を初期状態とする。そして、転送トランジスタ2のゲート電極2aに3[V]を印加した状態（ゲート電極2aが開いた状態）を維持して、10[nsec]が経過した時点までの電子の移動状態をシミュレーションにより解析した。

- [0045] 図5～図9はそれぞれ、第1乃至第5の素子形状における終状態（ $t=0$  [nsec]経過時点）での電位分布を示す2次元ポテンシャル等高線図である。図5～図9において、等電位線は0.1[V]刻みである。図10～図14はそれぞれ、第1乃至第5の素子形状における終状態での電位分布を示すポテンシャル鳥瞰図である。また、図15は、第1乃至第5の素子形状の電子転送シミュレーション結果を示す図であり、横軸は時間経過、縦軸はフローティングディフュージョン領域13からみてゲート電極12aよりも外側の範囲に残存している電子の割合を示している。また、図16は第1乃至第5の素子形状の感度をシミュレーションした結果であり、横軸は素子形状の番号を、縦軸は第1の素子形状の場合を1としたときの相対感度を示している。
- [0046] 蓄積電荷量として電子が数万個である状態を想定すると、図15から、第2乃至第5の素子形状では、 $t=0$  [nsec]経過するまでにフォトダイオード11からフローティングディフュージョン領域13への転送が完了することが分かる。一方、第1の素子形状では、フォトダイオード11からフローティングディフュージョン領域13への転送が完了するまでに、その3倍から10倍程度の時間を要することが推定される。これは、図5～図14の結果を見れば明らかのように、第1領域11の中でゲート電極12aに近い範囲でのポテンシャル勾配が緩やかであるためと考えられる。また、第3の素子形状と第4の素子形状とを比較すると、前者のほうが転送時間は短くなるが、第1領域11の延出部の間隔が広がるために電荷の収集効率が劣り、図16に示すように感度の点では不利であると言える。
- [0047] また、図4(e)に示した、延出部が湾曲した第5の素子形状を用いると、第4の形状と比べてほぼ等しい感度が得られ、先端に向かうに従ってチャネルが狭くなる形状であるために狭チャネル効果によってフローティングディフュージョン領域に向かう電界が強くなり、転送時間を短くすることができることが分かる。
- [0048] また、本発明に係る固体撮像素子において、光電変換部のさらに別のレイアウトパターンを図17～図20に示す。図17及び図18は図4(e)に



示した第5の素子形状の変形例である。図「7は、第「領域「「」における延出部が湾曲形状ではなく、延出方向の「箇所で折れ曲がった屈曲形状になったものである。また、図「8は、第「領域「「」における延出部が、延出方向の2箇所で互いに異なる方向に折れ曲がった屈曲形状になったものである。複数の延出部のそれぞれをこのような形状としても、延出部が湾曲状である場合とほぼ同様の効果を得ることができる。

[0049] また、延出部が湾曲する又は屈曲する方向は全てが同じ方向である必要はない。例えば図「9は、交点Pを通過する直線Cを中心に左右のレイアウトが鏡面对称に形成された例である。このような配置の場合、一部の延出部の間隙は広くなるものの、その影響は全体からみれば小さいので、全ての延出部が同方向に湾曲又は屈曲するようにした配置とほぼ同様の効果を得ることができる。

[0050] また、図4(c)、(d)、(e)、図「7～図「9に示したレイアウトではいずれも、内側の円弧Q「から放射状に延出した延出部の先端が円弧Q「と同心的である円弧Q2に接しているが、必ずしも延出部の先端は円弧Q2に接しなくてもよい。図20に示した例では、円弧Q「から放射状に延びる延出部の形状(屈曲の仕方)はそれぞれ相違しており、それら延出部の先端は或る円弧は接しない。ただし、ここでは、各延出部の長さをほぼ同一にすることにより、延出部の先端で収集された電荷が円弧Q「内に到達するまでの移動距離を揃えるようにしている。これにより、延出部毎の電荷移動時間のばらつきが小さくなり、電荷収集効率を上げるのに有利である。もちろん、延出部の長さや太さ、屈曲や湾曲の仕方は、周辺の状況(例えば素子の占有スペース等)に応じて、延出部毎に異なるようにしてもよい。

[0051] なお、上記実施例は本発明の一例であり、本発明の趣旨の範囲で適宜変形や修正、追加を行っても本願請求の範囲に包含されることは当然である。例えば、信号電荷及び不純物の導電型を上記説明と反対にしても同様の作用・効果を奏することは明らかである。

符号の説明

- [0052] 「…画素
- 「 0…光電変換部
  - 「 「…フォトダイオード
  - 「 「 「、 「 「 「 a 、 「 「 「 b …第 「領域
  - 「 「 2 …第 2 領域
  - 「 「 3 …欠損部
  - 「 2 …転送 トランジスタ
  - 「 2 a …ゲート電極
  - 「 3 …フローティングディフュージョン領域
  - 「 4 …リセットトランジスタ
  - 「 5 …増幅 トランジスタ
  - 「 6 …選択 トランジスタ
- 2 …出カライン
- 5 0…n 型シリコン半導体基板
- 5 「…p 型ウエル領域
- 5 2 …n 型半導体領域
- 5 3 …p 型半導体領域
- 5 4 …n 型半導体領域

## 請求の範囲

### [請求項1]

光を受光して光電荷を生成するフォトダイオード、前記フォトダイオードで生成された電荷を収集・保持するフローティングディフュージョン領域、及び、前記フォトダイオードから前記フローティングディフュージョン領域に電荷を転送するために両者の間にゲートを有する転送トランジスタ、を少なくとも有する画素を、半導体基板上に複数備える固体撮像素子であつて、

前記フローティングディフュージョン領域は前記フォトダイオードの受光面の端部に配置され、該フォトダイオードの受光面の中で、前記フローティングディフュージョン領域を中心として描かれる第1円弧の内側で且つ転送ゲートの外側の領域全体と、該第1円弧から外方に放射状に延出しその先端が前記第1円弧と同心円状である第2円弧に接する複数の延出部の内側の領域とが、収集する信号電荷と同じ導電型の領域として形成されていることを特徴とする固体撮像素子。

### [請求項2]

請求項1に記載の固体撮像素子であつて、

前記延出部は、前記第1円弧から外方に、直線状に、弓状に湾曲して、又は、鉤状に屈曲して、延出するものであることを特徴とする固体撮像素子。

### [請求項3]

光を受光して光電荷を生成するフォトダイオード、前記フォトダイオードで生成された電荷を収集・保持するフローティングディフュージョン領域、及び、前記フォトダイオードから前記フローティングディフュージョン領域に電荷を転送するために両者の間にゲートを有する転送トランジスタ、を少なくとも有する画素を、半導体基板上に複数備える固体撮像素子であつて、

前記フローティングディフュージョン領域は前記フォトダイオードの受光面の端部に配置され、該フォトダイオードの受光面の中で、前記フローティングディフュージョン領域を中心として描かれる円弧の内側で且つ転送ゲートの外側の領域と、その円弧から外方に放射状に

延出する複数の延出部の内側の領域とが、収集する信号電荷と同じ導電型の領域として形成されていることを特徴とする固体撮像素子。

[請求項4]

請求項3に記載の固体撮像素子であって、

前記複数の延出部は略同一の長さであることを特徴とする固体撮像素子。

[請求項5]

請求項1又は3に記載の固体撮像素子であって、

前記フォトダイオードの受光面は、平面視したときに、前記フローティングディフュージョン領域を中心とする扇形の領域内に前記転送ゲートを挟んで位置することを特徴とする固体撮像素子。

[請求項6]

請求項1又は3に記載の固体撮像素子であって、

前記フォトダイオードの受光面は、平面視したときに、縁辺から内方に凹みが形成された形状であり、その凹みの最も奥まった位置に前記フローティングディフュージョン領域が配設されていることを特徴とする固体撮像素子。

[請求項7]

請求項1～4のいずれかに記載の固体撮像素子であって、

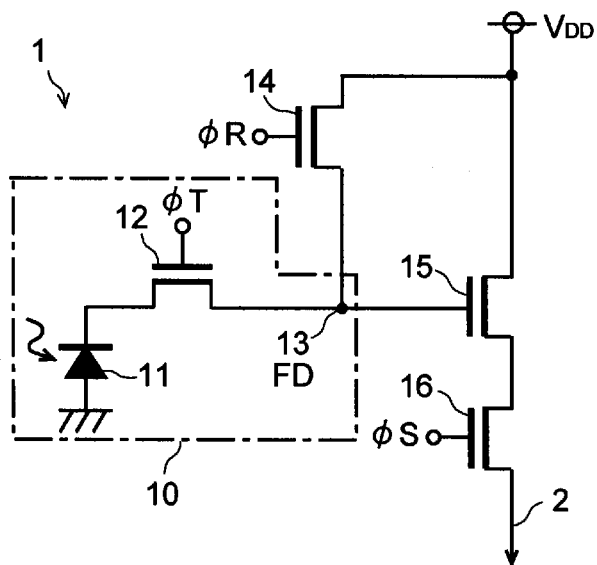
前記延出部は、平面視したときに、根元から先端に向かって幅が狭くなる形状であることを特徴とする固体撮像素子。

[請求項8]

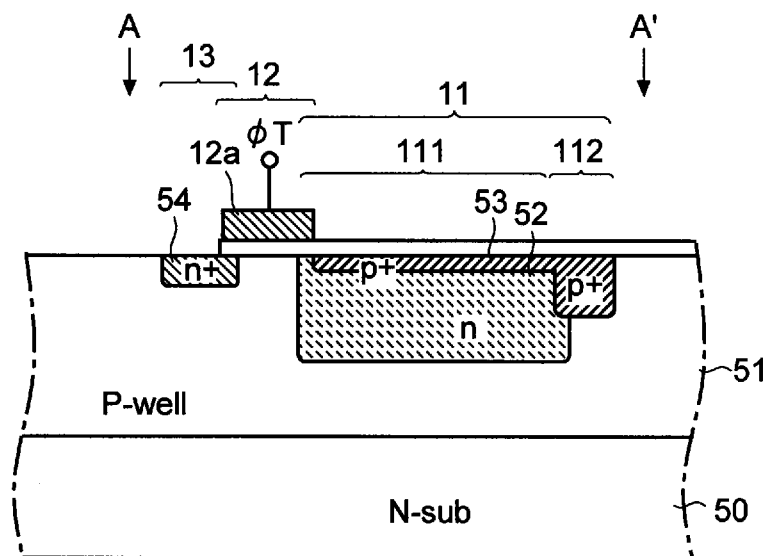
請求項1～7のいずれかに記載の固体撮像素子であって、

収集する信号電荷と同じ導電型の領域として形成されている前記領域の中で、前記フローティングディフュージョン領域に近いほどポテンシャルが深くなるように、ポテンシャルの深さが異なる不純物領域が複数形成されていることを特徴とする固体撮像素子。

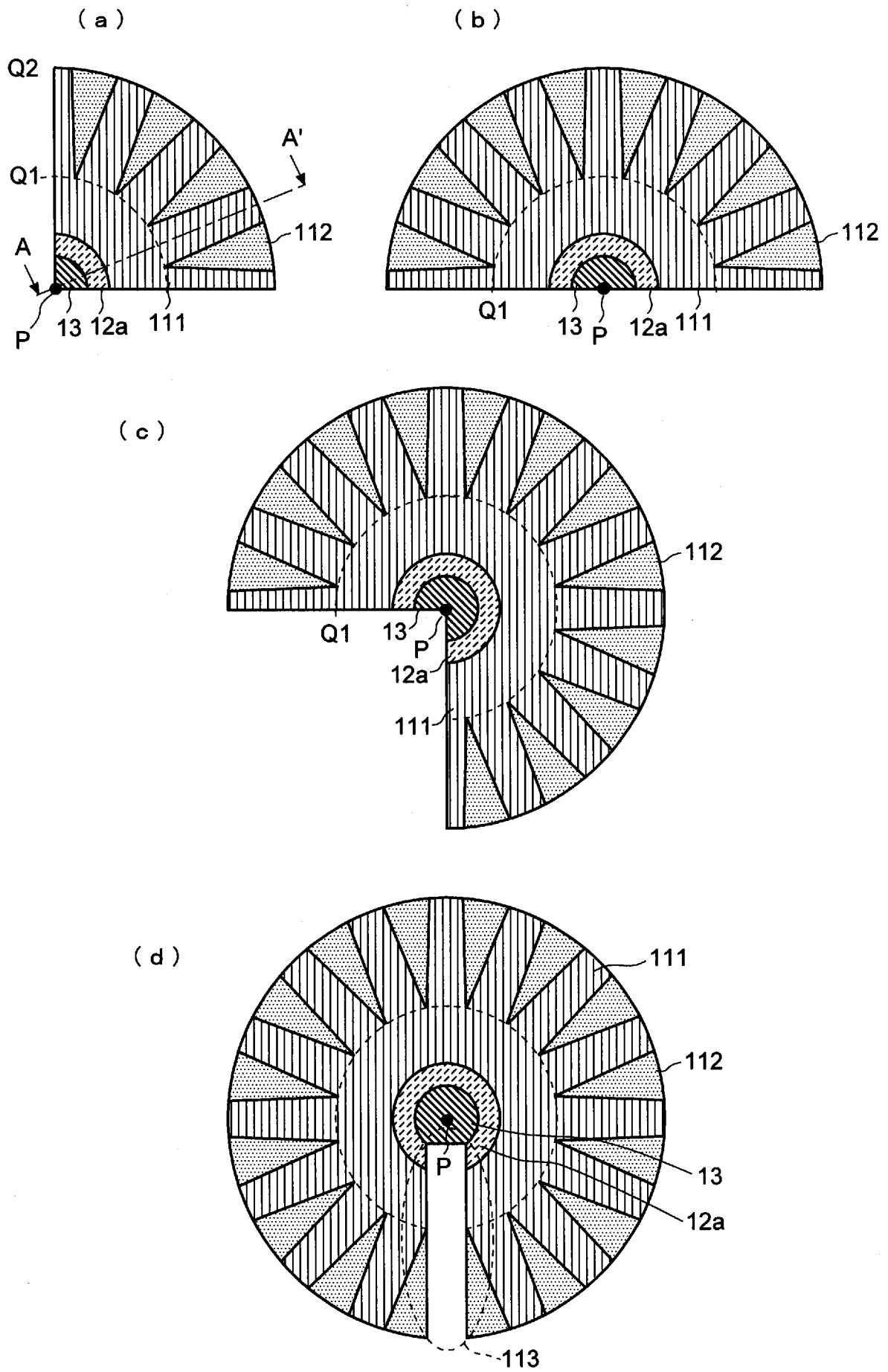
[図1]



[図2]

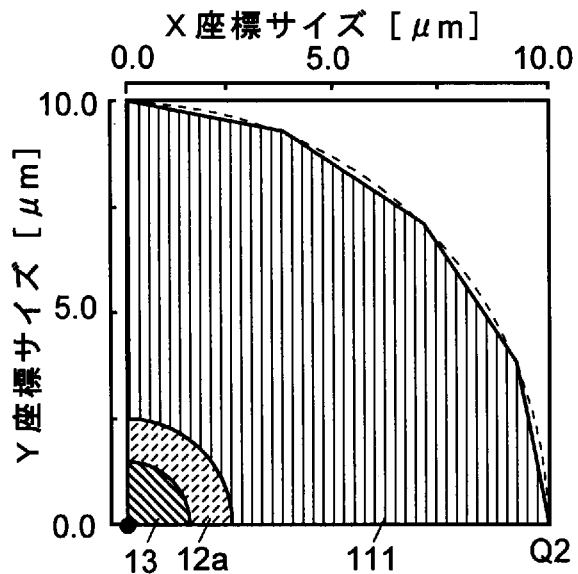


[図3]

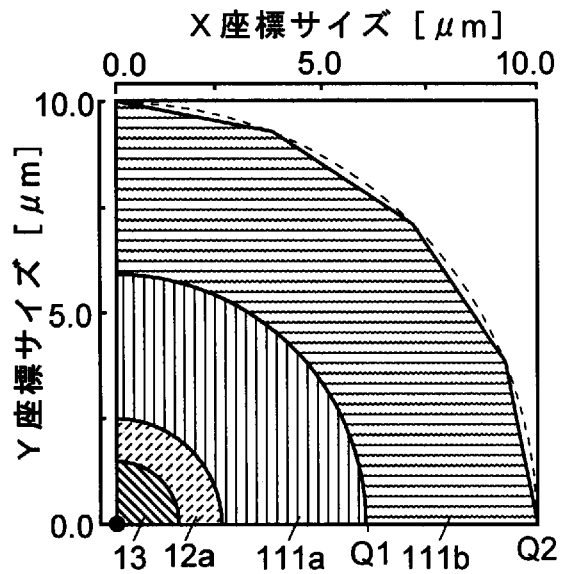


[図4]

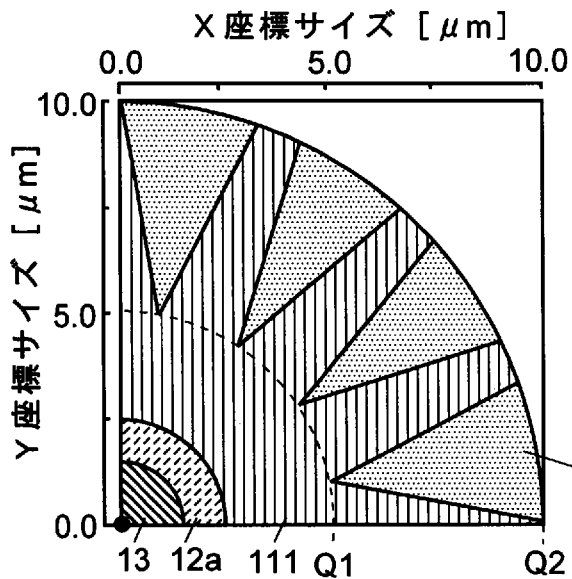
(a) 第1の素子形状



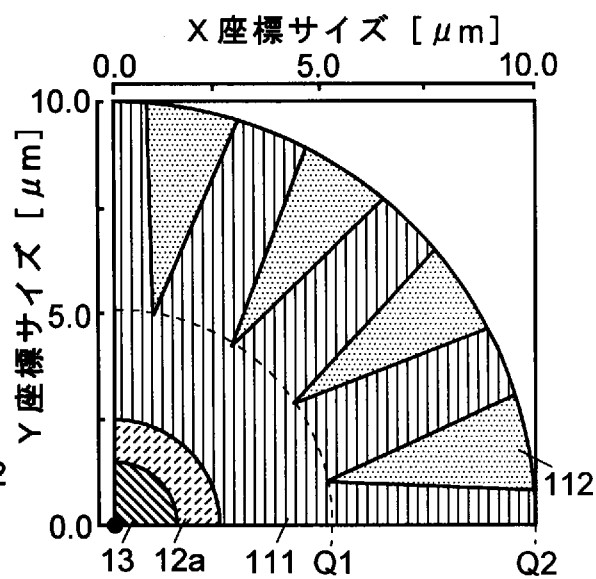
(b) 第2の素子形状



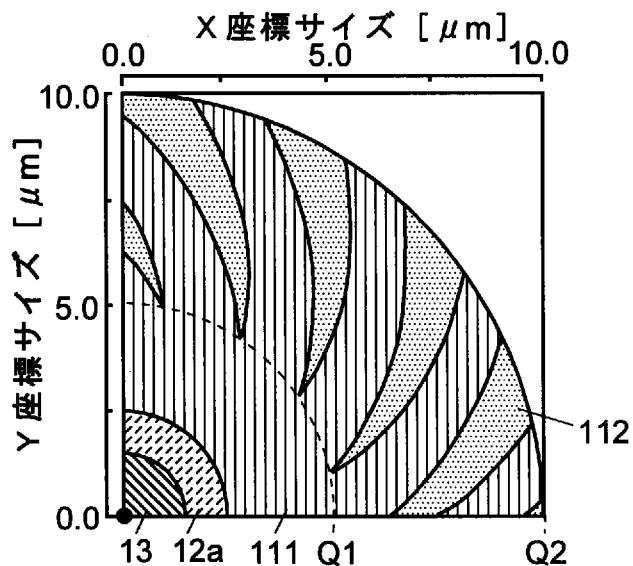
(c) 第3の素子形状



(d) 第4の素子形状

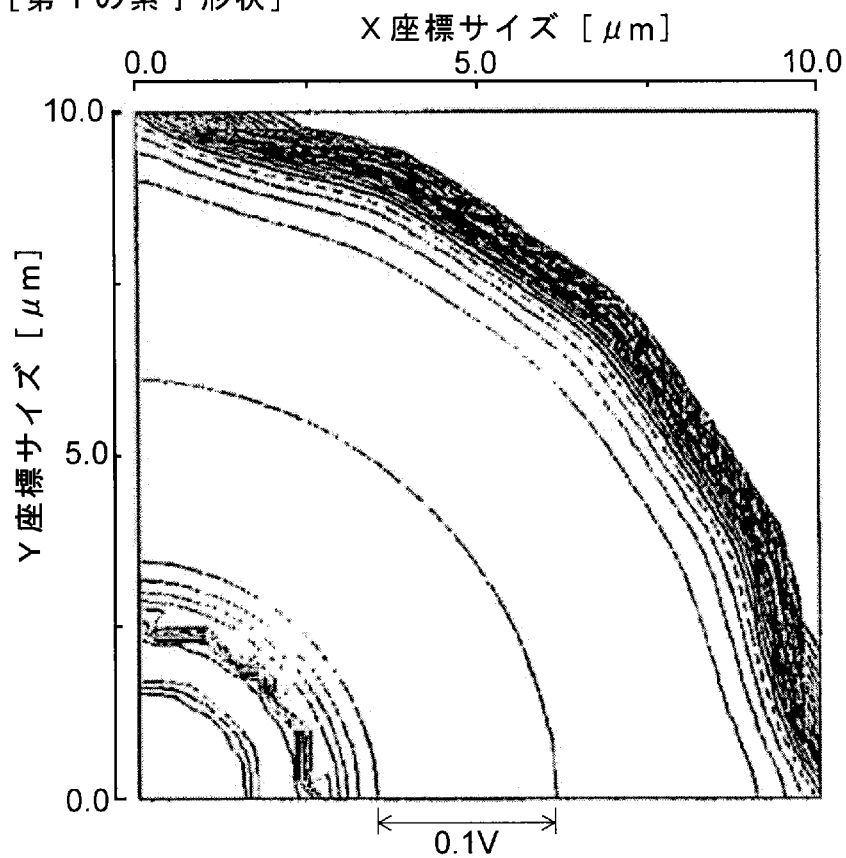


(e) 第5の素子形状



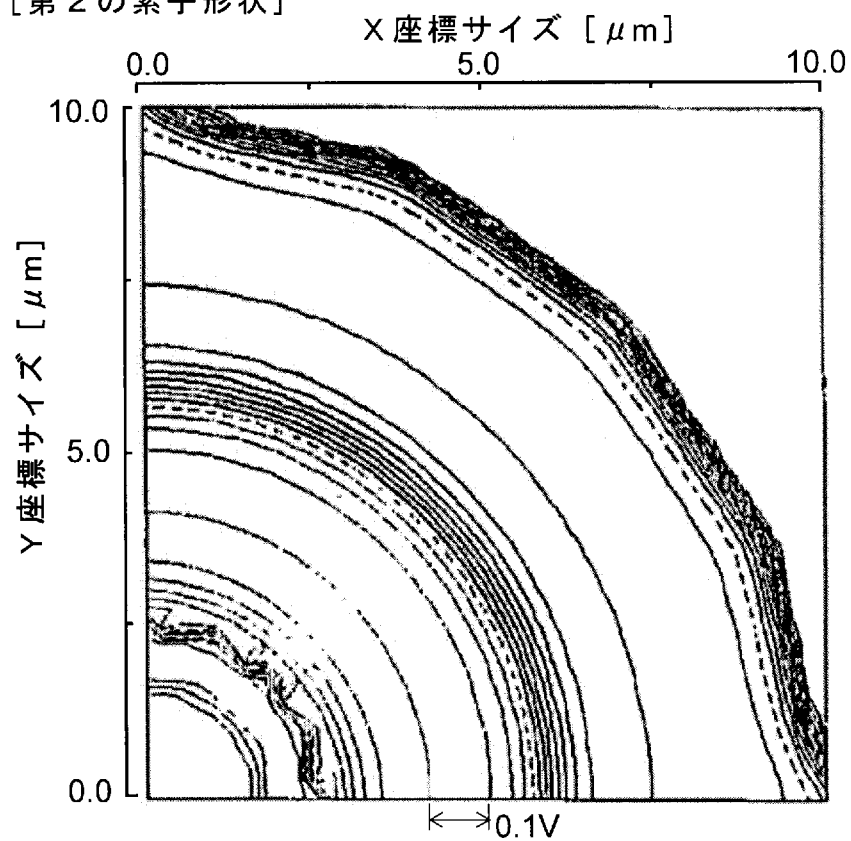
[図5]

[第1の素子形状]



[図6]

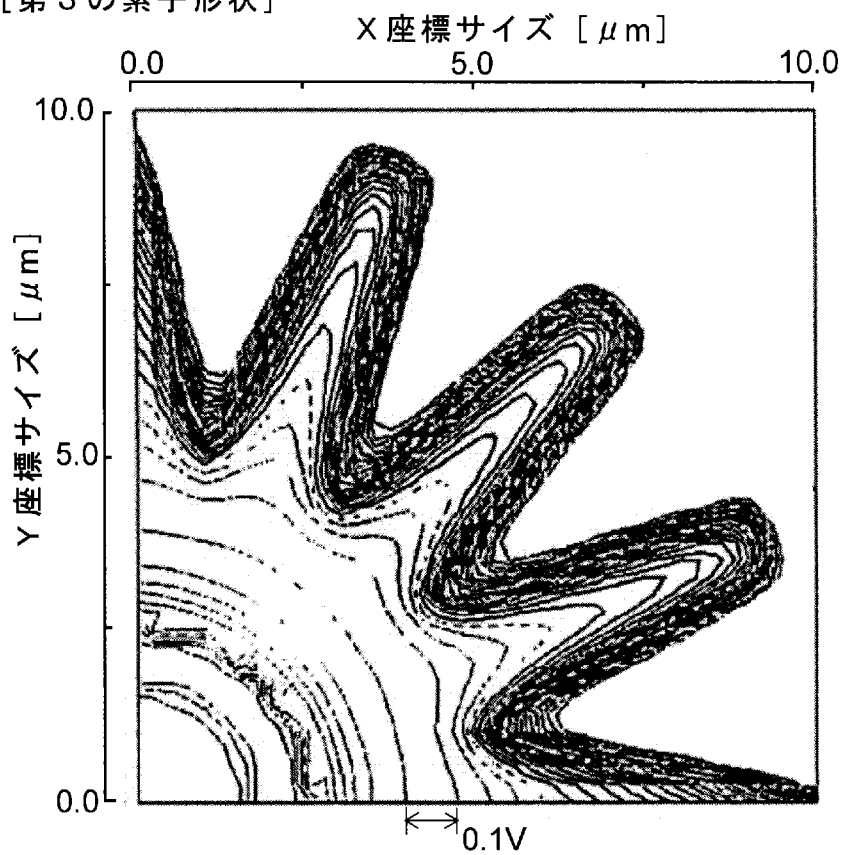
[第2の素子形状]





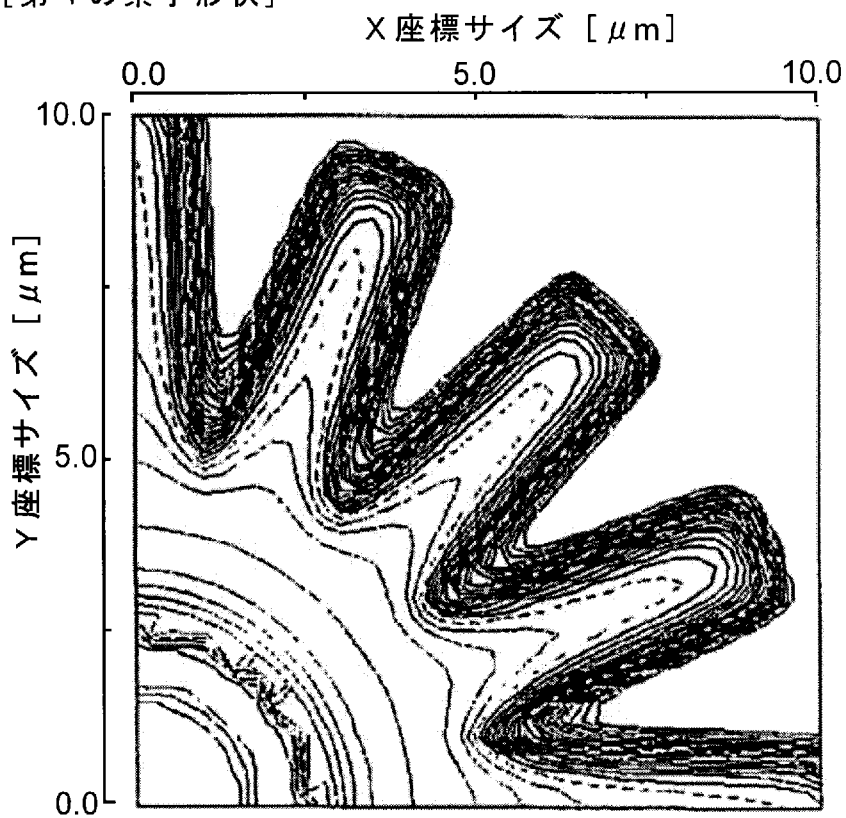
[図7]

[第3の素子形状]



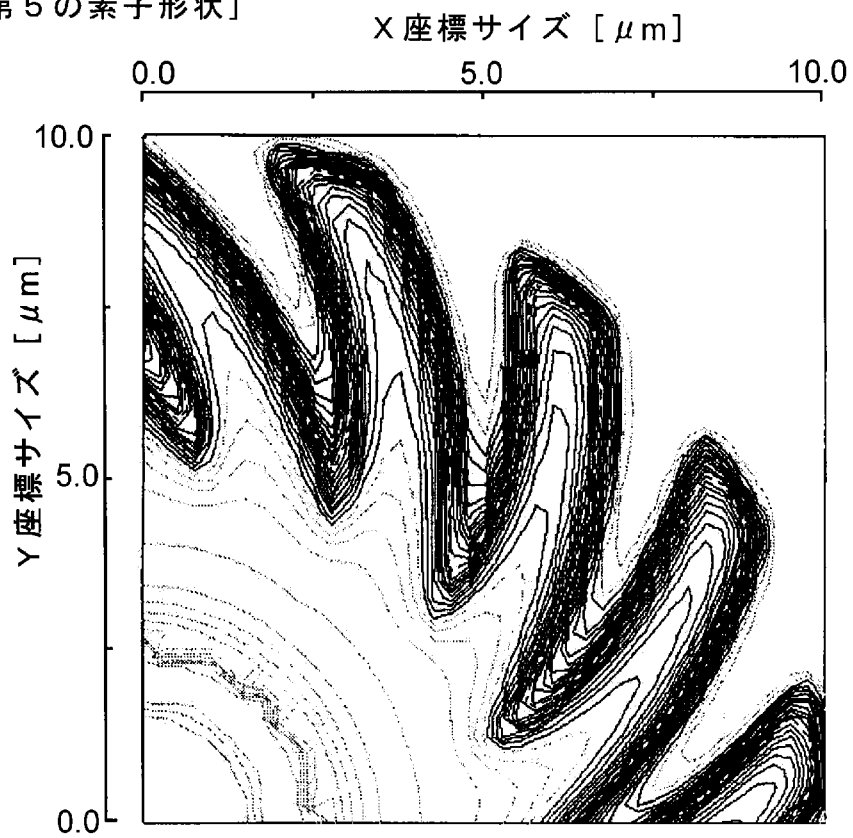
[図8]

[第4の素子形状]



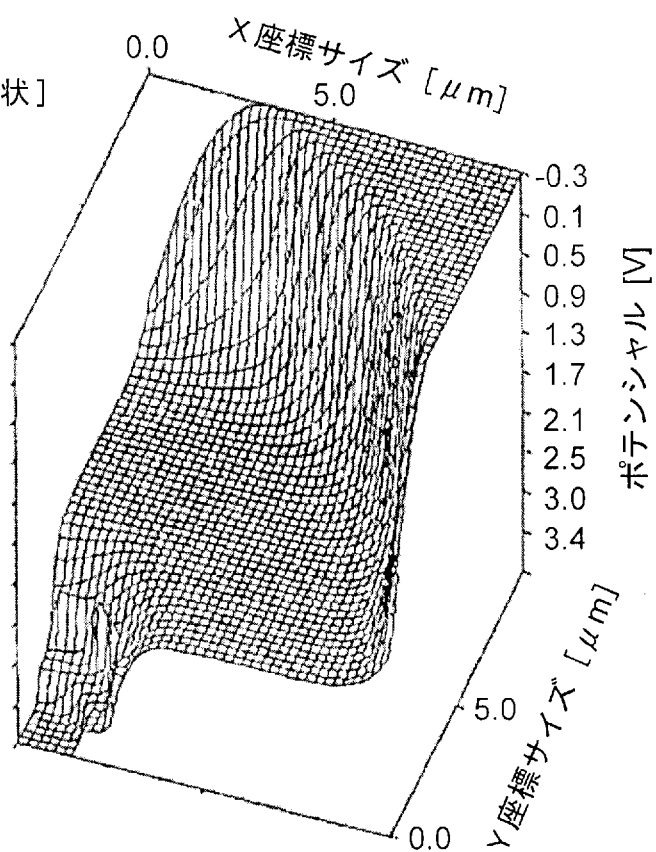
[図9]

[第5の素子形状]



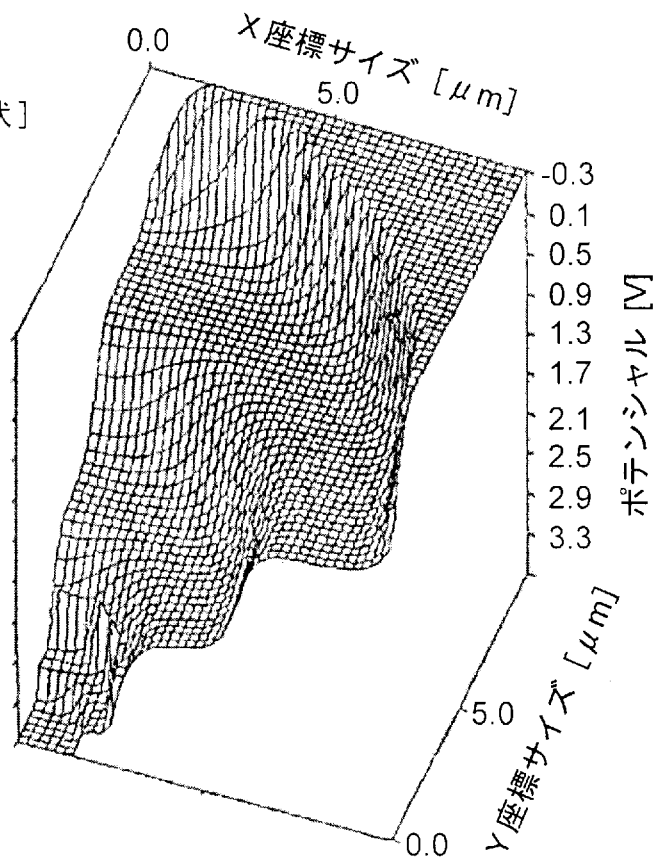
[図10]

[第1の素子形状]



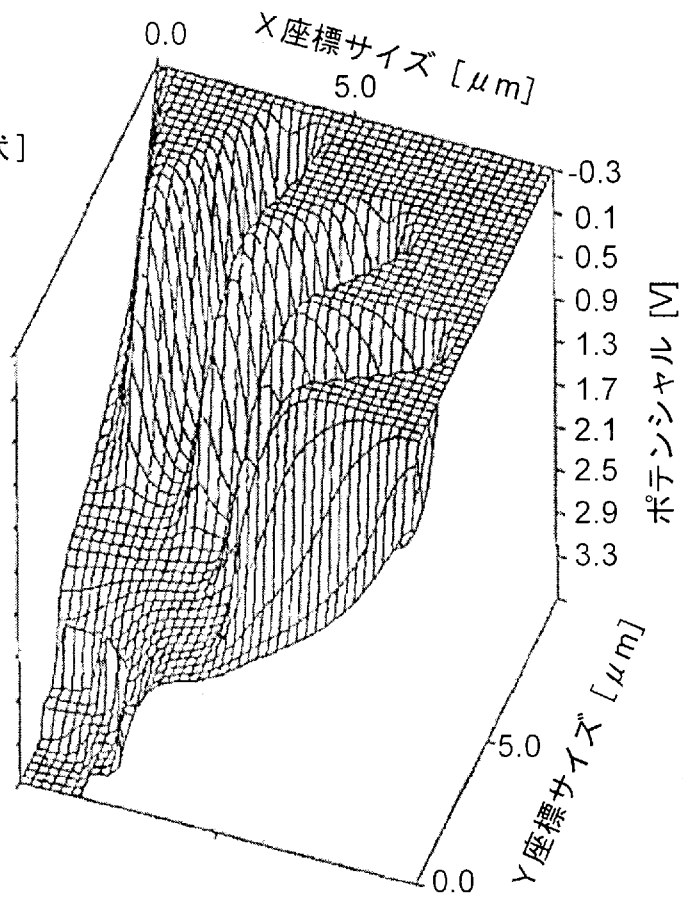
[図11]

[第2の素子形状]



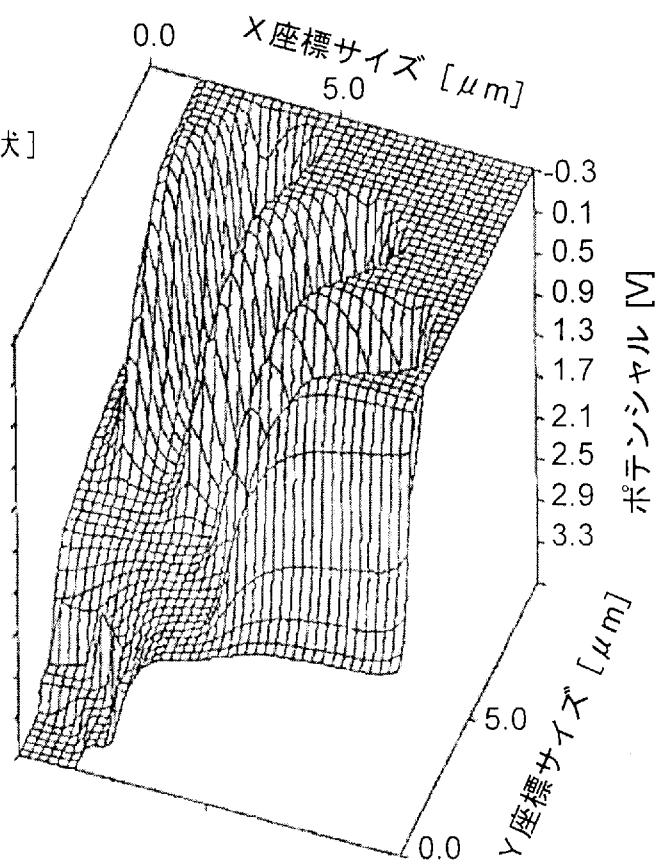
[図12]

[第3の素子形状]



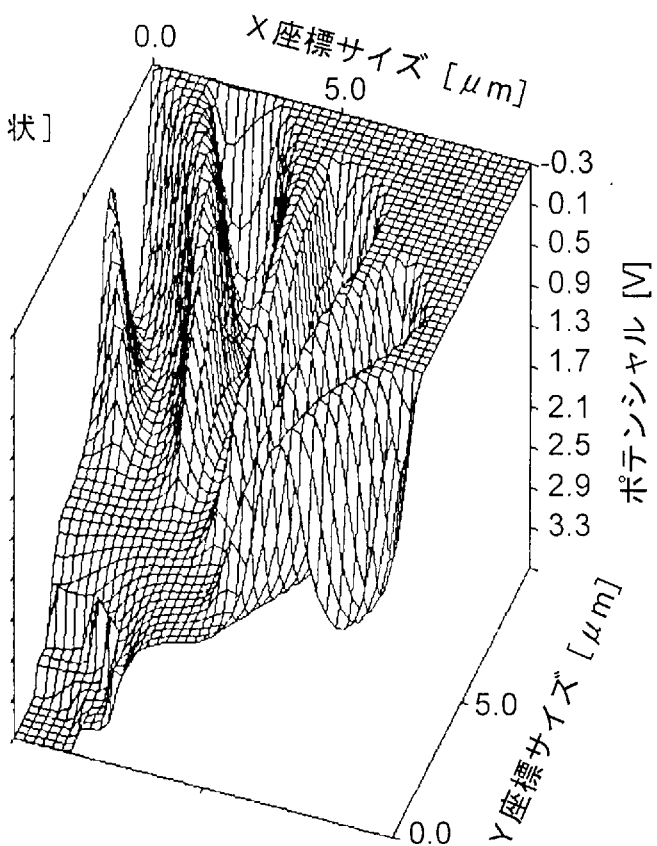
[図13]

[第4の素子形状]

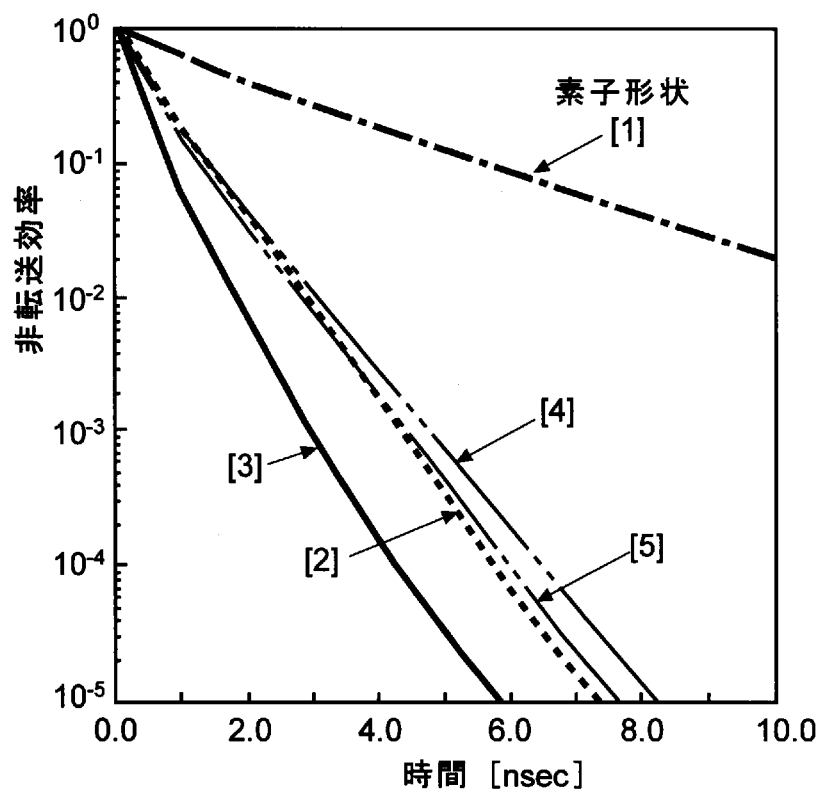


[図14]

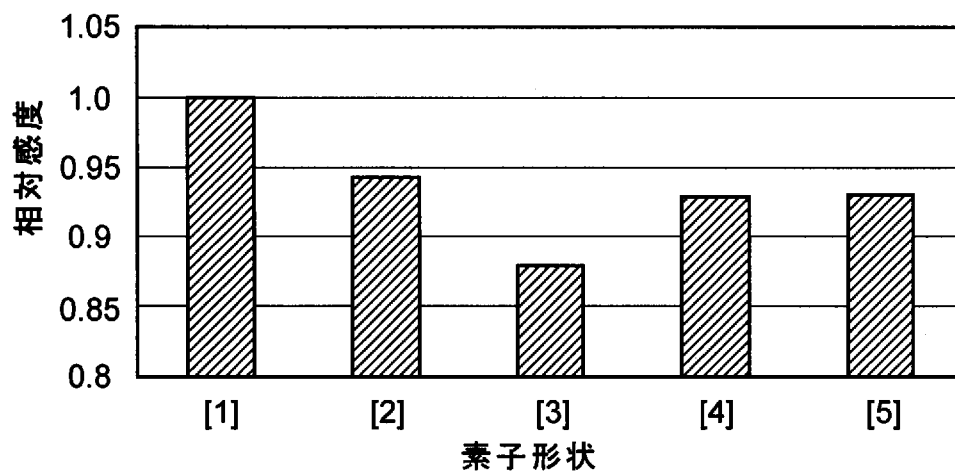
[第5の素子形状]



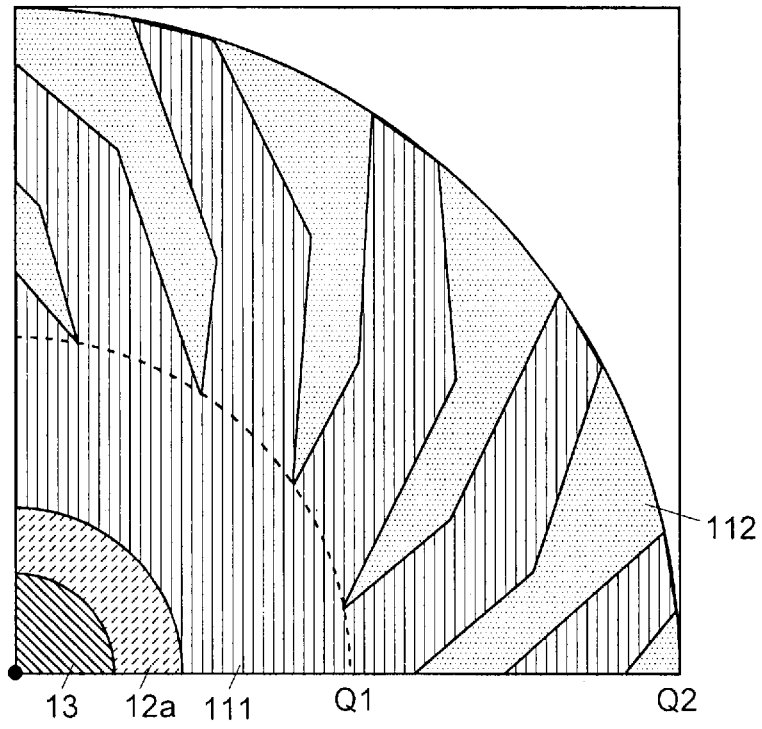
[図15]



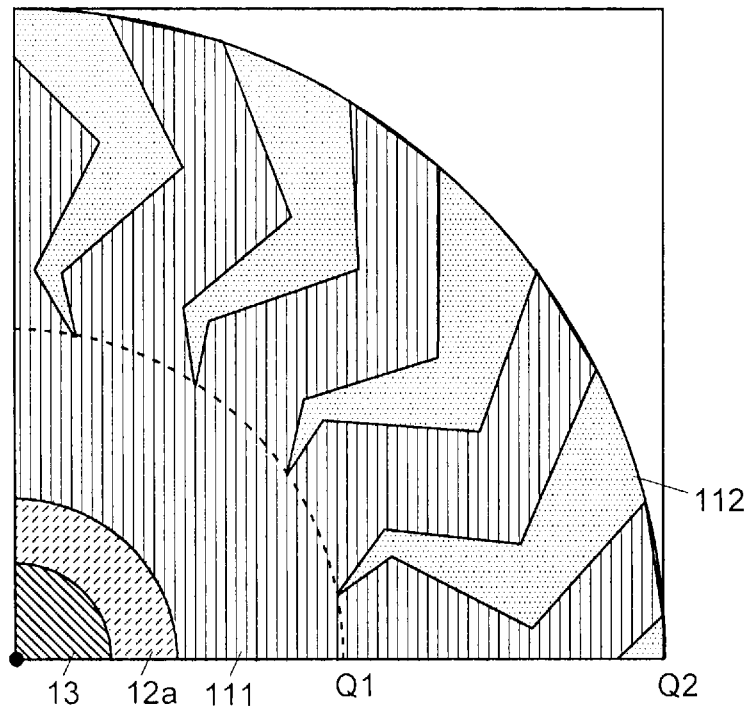
[図16]



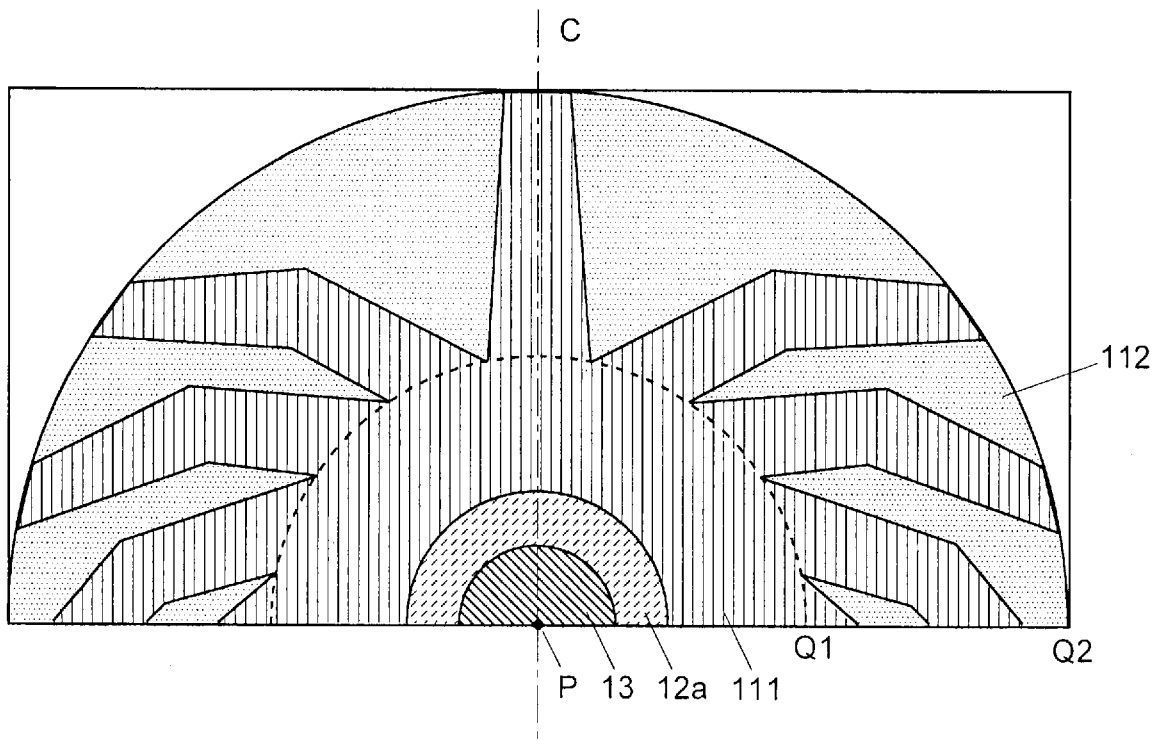
[図17]



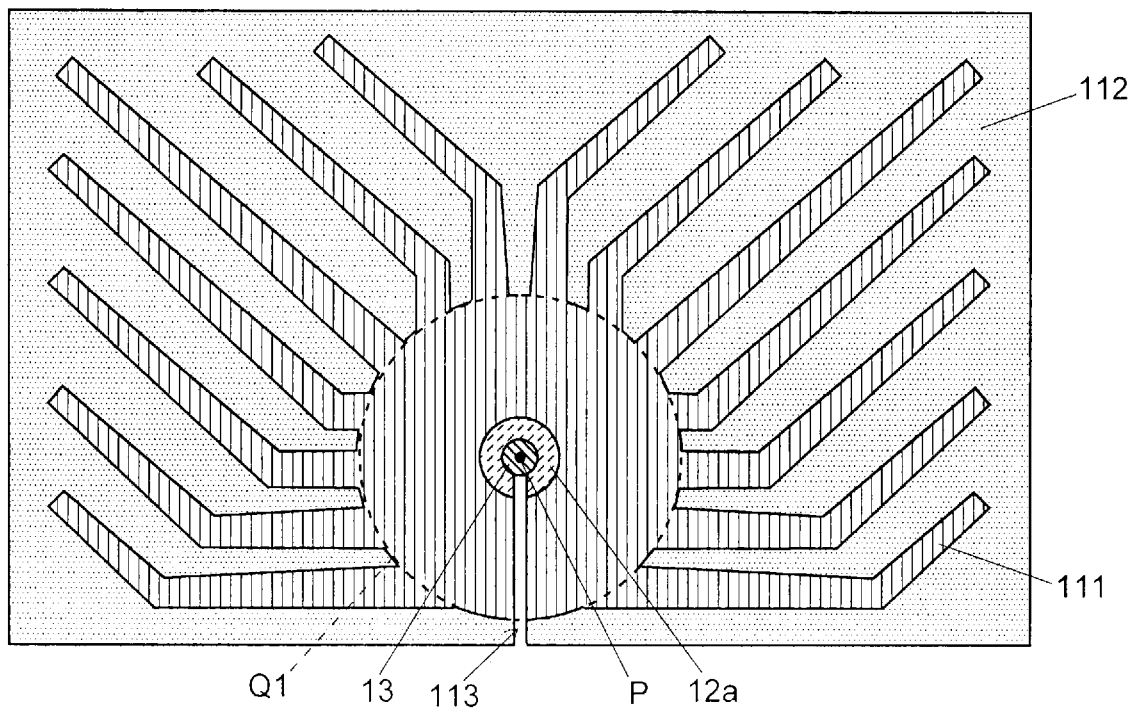
[図18]



[図19]



[図20]



## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2010/060661

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H01 L2 7/1 46 (2006.01) i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

H01L27/146

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2010
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2010	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2010

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 6-97406 A (Mitsubishi Electric Corp.), 08 April 1994 (08.04.1994), paragraph [0038]; fig. 31 to 35 (Family: none)	I- 8
A	JP 11-274462 A (Sony Corp.), 08 October 1999 (08.10.1999), entire text; all drawings & US 6326655 B1 & GB 2335793 A & GB 9906454 A0	I- 8
A	JP 2008-205044 A (Sharp Corp.), 04 September 2008 (04.09.2008), entire text; all drawings & US 2008/0210984 A1 & KR 10-2008-0076798 A & CN 101262003 A	I- 8

 Further documents are listed in the continuation of Box C. See patent family annex.

\* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&amp;" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search  
08 September, 2010 (08.09.10)Date of mailing of the international search report  
21 September, 2010 (21.09.10)Name and mailing address of the ISA/  
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.



## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2010/060661

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2006-41189 A (Hamamatsu Photonics Kabushiki Kaisha) , 09 February 2006 (09.02.2006), paragraphs [0031] to [0034]; fig. 5 (Family: none)	<b>I- 8</b>
A	JP 2007-36083 A (Fujitsu Ltd.), 08 February 2007 (08.02.2007), entire text; all drawings & US 2008/0210984 A1 & KR 10-2008-0076798 A & CN 101262003 A	<b>I- 8</b>

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))  
 IntCl H01L27/146 (2006.01) i

B. 調査を行った分野  
 調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))  
 IntCl H01L27/146

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1922	—	1996	午
日本国公開実用新案公報	1971	—	2010	午
日本国実用新案登録公報	1996-2010			午
日本国登録実用新案公報	1994-2010			午

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー <sup>ホ</sup>	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
A	JP 6-97406 A (三菱電機株式会社) 1994.04.08, 段落 [0038], 図 3 1-35 {7 アミリーなし}	1-8
A	JP 11-274462 A (ソニー株式会社) 1999.10.08, 全文, 全図 & US 6326655 B1 & GB 2335793 A & GB 9906454 A0	1-8
A	JP 2008-205044 A (シャープ株式会社) 2008.09.04, 全文, 全図 & US 2008/0210984 A1 & KR 10-2008-0076798 A & CN 101262003 A	1-8

洋 C 欄の続きにも文献が列挙されている。 ヴ パテントファミリーに関する別紙を参照。

ホ 引用文献のカテゴリー	の日の役に公表された文献
IA」特に関連のある文献ではなく、一般的な技術水準を示すもの	IT」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
IE」国際出願日前の出願または特許であるか、国際出願日以後に公表されたもの	IX」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
IL」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)	IY」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者に於いて自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
IO」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献	I&J 同一パテントファミリー文献
rp」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願	

国際調査を完了した日 08.09.2010	国際調査報告の発送日 21.09.2010
--------------------------	--------------------------

国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁 (ISA/JP) 郵便番号 100-8915 東京都千代田区霞が関3丁目4番3号	特許庁審査官 (権限のある職員) 恩田 春香 電話番号 03-3581-1101 内線 3462	4M	8934
---	--	----	------

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の テコyー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
A	JP 2006-41189 A (浜松ホトニクス株式会社) 2006. 02. 09, 段落 [031] - [0034], 図5 (ファミリーなし)	1-8
A	JP 2007-36083 A (富上通株式会社) 2007. 02. 08, 全文, 全図 & US 2008/0210984 AI & KR 10-2008-0076798 A & CN 101262003 A	1-8