



República Federativa do Brasil
Ministério da Economia
Instituto Nacional da Propriedade Industrial

(21) BR 112019012540-0 A2



(22) Data do Depósito: 22/12/2017

(43) Data da Publicação Nacional: 12/11/2019

(54) Título: FOTODETECTOR INTEGRADO COM PIXEL DE ACONDICIONAMENTO DIRETO

(51) Int. Cl.: H01L 27/146; H01L 27/148; G01N 21/64.

(30) Prioridade Unionista: 22/12/2016 US 62/438,051.

(71) Depositante(es): QUANTUM-SI INCORPORATED.

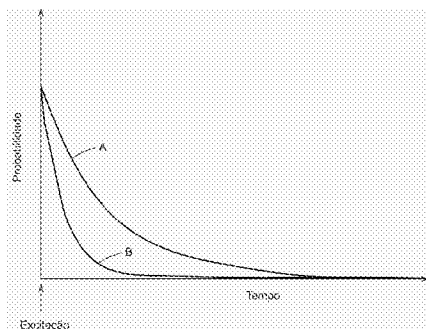
(72) Inventor(es): JONATHAN M. ROTHBERG; KEITH G. FIFE; DAVID BOISVERT.

(86) Pedido PCT: PCT US2017068089 de 22/12/2017

(87) Publicação PCT: WO 2018/119347 de 28/06/2018

(85) Data da Fase Nacional: 18/06/2019

(57) Resumo: A presente invenção refere-se a um circuito integrado que inclui uma região de fotodetecção configurada para receber fótons incidentes. A região de fotodetecção é configurada para produzir uma pluralidade de portadores de carga em resposta aos fótons incidentes. O circuito integrado inclui pelo menos uma região de armazenamento de portador de carga. O circuito integrado também inclui uma estrutura de segregação de portador de carga configurada para direcionar seletivamente os portadores de carga dentre a pluralidade de portadores de carga diretamente para dentro de pelo menos uma região de armazenamento de portador de carga com base nos momentos em que os portadores de carga foram produzidos.



Relatório Descritivo da Patente de Invenção para **"FOTO-DETECTOR INTEGRADO COM PIXEL DE ACONDICIONAMENTO DIRETO"**.

Referência Cruzada a Pedidos Relacionados

[001] Esse pedido reivindica prioridade do pedido provisório U.S. No. 62/438.051, intitulado "INTEGRATED PHOTODETECTOR WITH DIRECT BINNING PIXEL", depositado em 22 de dezembro de 2016 que é incorporado aqui por referência em sua totalidade.

[002] Esse pedido está relacionado com o pedido U.S. não provisório No. 14/821.656, intitulado "INTEGRATED DEVICE FOR TEMPORAL BINNING OF RECEIVED PHOTONS," depositado em 7 de agosto de 2015, que é incorporado aqui por referência em sua totalidade.

Antecedentes

[003] Fotodetectores são utilizados para detectar luz em uma variedade de aplicações. Os fotodetectores integrados têm sido desenvolvidos para produzir um sinal elétrico indicador da intensidade da luz incidente. Fotodetectores integrados para aplicativos de formação de imagem incluem um conjunto de pixels para detectar a intensidade da luz recebida através de uma cena. Exemplos de fotodetectores integrados incluem dispositivos acoplados à carga (CCDs) e sensores de imagem Semicondutores de Óxido de Metal Complementares (CMOS).

Sumário

[004] Algumas modalidades se referem a um circuito integrado compreendendo: uma região de fotodetecção configurada para receber fótons incidentes, a região de fotodetecção sendo configurada para produzir uma pluralidade de portadores de carga em resposta aos fótons incidentes; pelo menos uma região de armazenamento de portador de carga; e uma estrutura de segregação de portador de carga configurada para direcionar, seletivamente, portadores de carga direta

dentre a pluralidade de portadores de carga diretamente para dentro de pelo menos uma região de armazenamento de portador de carga com base nos momentos nos quais os portadores de carga são produzidos.

[005] Algumas modalidades se referem a um circuito integrado, compreendendo: um pixel de acondicionamento direto, compreendendo uma região de fotodetecção configurada para receber fótons incidentes, a região de fotodetecção sendo configurada para produzir uma pluralidade de portadores de carga em resposta aos fótons incidentes; pelo menos uma região de armazenamento de portador de carga; e uma estrutura de segregação de portador de carga configurada para direcionar, seletivamente, os portadores de carga direta dentre a pluralidade de portadores de carga para pelo menos uma região de armazenamento de portador de carga com base nos momentos nos quais os portadores de carga são produzidos.

[006] Algumas modalidades se referem a um circuito integrado, compreendendo uma pluralidade de pixels, um primeiro pixel, dentre a pluralidade de pixels, sendo um pixel de acondicionamento direto compreendendo: uma região de fotodetecção configurada para receber fótons incidentes, a região de fotodetecção sendo configurada para produzir uma pluralidade de portadores de carga em resposta aos fótons incidentes; uma pluralidade de regiões de armazenamento de portador de carga; e uma estrutura de segregação de portador de carga configurada para direcionar seletivamente os portadores de carga, dentre a pluralidade de portadores de carga, diretamente para dentro das regiões de armazenamento de portador de carga respectivas, dentre a pluralidade de regiões de armazenamento de portador de carga, com base nos momentos nos quais os portadores de carga são produzidos, e para agregar, na pluralidade de regiões de armazenamento de portador de carga, os portadores de carga produzidos em uma plurali-

dade de períodos de medição.

[007] Algumas modalidades se referem a um método de fotodetecção, compreendendo (A) o recebimento de fótons incidentes em uma região de fotodetecção; e (B) o direcionamento seletivo dos portadores de carga dentre uma pluralidade de portadores de carga produzidos em resposta aos fótons incidentes, diretamente a partir da região de fotodetecção para dentro de pelo menos uma região de armazenamento de portador de carga com base nos momentos nos quais os portadores de carga são produzidos.

[008] A estrutura de segregação de portador de carga pode compreender pelo menos um eletrodo em um limite entre a região de fotodetecção e uma primeira região de armazenamento de portador de carga da pelo menos uma região de armazenamento de portador de carga.

[009] A estrutura de segregação de portador de carga pode compreender um único eletrodo no limite entre a região de fotodetecção e a primeira região de armazenamento de portador de carga.

[0010] Em algumas modalidades, nenhuma região de captura de portador de carga está presente no pixel de acondicionamento direto e/ou nenhuma região de captura de portador de carga está presente entre a região de fotodetecção e uma região de armazenamento de portador de carga.

[0011] Os portadores de carga podem ser transferidos para pelo menos uma região de armazenamento de portador de carga sem capturar os portadores entre a região de fotodetecção e a pelo menos uma região de armazenamento de portador de carga.

[0012] Uma região de rejeição de portador de carga pode descartar os portadores de carga produzidos na região de fotodetecção durante um período de rejeição.

[0013] Os portadores de carga descartados podem ser removidos

da região de fotodetecção em uma direção diferente de uma direção na qual os portadores são direcionados da região de fotodetecção na direção de uma região de armazenamento de portador de carga.

[0014] Uma região de rejeição de portador de carga pode descartar os portadores de carga produzidos na região de fotodetecção durante um período de rejeição pela alteração de uma voltagem de um eletrodo em um limite entre a região de fotodetecção e a região de rejeição de portador de carga.

[0015] Fótons singulares podem ser transferidos para a pelo menos uma região de armazenamento de portador de carga e agregados a pelo menos uma região de armazenamento de portador de carga.

[0016] Os portadores de carga com profundidade superior a um micron, abaixo de uma superfície de um substrato semiconductor, podem ser rejeitados.

[0017] Os portadores de carga com profundidade superior a um micron abaixo da superfície de um substrato semiconductor podem ser rejeitados, pelo menos parcialmente, por um implante abaixo de um fotodiodo da região de fotodetecção.

[0018] O implante pode fornecer uma proteção profunda ou um dreno profundo.

[0019] O implante pode ser tipo N ou tipo P.

[0020] Os portadores de carga mais profundos que um micron abaixo da superfície de um substrato semiconductor podem ser rejeitados por um campo de mudança abaixo da superfície do substrato semiconductor.

[0021] A região de fotodetecção pode ser formada em uma região epitaxial que é inferior a dois micrones de profundidade.

[0022] A região de fotodetecção pode ser uma região epitaxial compreendendo um fotodiodo.

[0023] Os portadores de carga no fotodiodo podem ser transferi-

dos para uma região de rejeição durante o período de rejeição, então, uma primeira proteção em potencial, para uma primeira região de armazenamento de portador de carga, pode ser abaixada, então uma segunda proteção em potencial para uma segunda região de armazenamento de portador de carga pode ser abaixada.

[0024] A região de fotodetecção pode ser formada em uma região epitaxial que é inferior a dois micrones de profundidade.

[0025] A pelo menos uma região de armazenamento de portador de carga pode compreender uma pluralidade de regiões de armazenamento de portador de carga.

[0026] O sumário acima é fornecido por meio de ilustração e não deve ser limitador.

Breve Descrição dos Desenhos

[0027] Nos desenhos, cada componente idêntico ou quase idêntico que é ilustrado nas várias figuras é representado por um caractere de referência similar. Por motivos de clareza, nem todo componente pode ser rotulado em cada desenho. Os desenhos não estão necessariamente em escala, com ênfase, em vez disso, em estarem ilustrando vários aspectos das técnicas e dispositivos descritos aqui.

[0028] A figura 1A representa a probabilidade de um fóton ser emitido como uma função de tempo para dois marcadores com vidas úteis diferentes.

[0029] A figura 1B ilustra perfis de intensidade ilustrativos através do tempo para um pulso de excitação ilustrativo (linha pontilhada) e emissão ilustrativa de fluorescência (linha sólida).

[0030] A figura 2A ilustra um diagrama de um pixel de um fotodetector.

[0031] A figura 2B ilustra a captura de um portador de carga em um ponto diferente em tempo e espaço que na figura 2A.

[0032] A figura 3 ilustra um exemplo de um pixel de acondiciona-

mento direto.

[0033] A figura 4 ilustra um fluxograma de um método de operação de um pixel de acondicionamento direto.

[0034] As figuras de 5A-F ilustram um pixel de acondicionamento direto em vários estágios do método da figura 4.

[0035] A figura 6 ilustra uma vista transversal de um pixel de acondicionamento direto.

[0036] A figura 7 ilustra um eletrodo revestido dividido possuindo uma região p+ e uma região n+.

[0037] A figura 8 ilustra uma vista plana de um exemplo de um pixel de acondicionamento direto.

[0038] A figura 9 ilustra uma vista plana de outro exemplo de um pixel de acondicionamento direto.

[0039] A figura 10 ilustra o potencial no pixel de acondicionamento direto durante o período de rejeição.

[0040] A figura 11 ilustra o potencial no pixel de acondicionamento direto durante um período no qual as proteções em potencial da região de rejeição e dos compartimentos são elevadas.

[0041] A figura 12 ilustra o potencial no pixel de acondicionamento direto em um período no qual a carga pode ser transferida para um compartimento.

[0042] A figura 13 ilustra a transferência da carga armazenada em um compartimento para a difusão de fluutuabilidade FD pelo abaixamento de uma proteção em potencial produzida por uma porta de transferência.

[0043] A figura 14 ilustra a reconfiguração da difusão de fluutuabilidade FD.

[0044] A figura 15 ilustra uma representação da profundidade de absorção como uma função do comprimento de onda.

[0045] A figura 16 ilustra o perfil de revestimento e potencial para

um exemplo de um fotodiodo.

[0046] A figura 17 ilustra uma região revestida profundamente que pode impedir que os portadores gerados profundamente alcancem a superfície.

[0047] A figura 18 ilustra uma simulação do movimento de elétron para 10 ns, ilustrando portadores que são gravados na região de poço n profundo.

[0048] A figura 19 ilustra uma camada embutida tipo N (dreno profundo) orientada em alto potencial.

[0049] A figura 20 ilustra uma camada embutida do tipo P+ (proteção profunda) em contato com o substrato.

[0050] A figura 21 ilustra exemplos de materiais dos quais o circuito integrado pode ser fabricado.

[0051] A figura 22 ilustra um exemplo de um perfil de revestimento para um pixel de acondicionamento direto, de acordo com algumas modalidades.

[0052] A figura 23 ilustra uma sequência de processo ilustrativa para formar o pixel de acondicionamento direto com o perfil de revestimento ilustrado na figura 22.

[0053] A figura 24 ilustra uma representação de um perfil de revestimento ilustrativo para arsênico, boro, fósforo, e nitrogênio ao longo da linha $y = 0$ da figura 22.

[0054] A figura 25 ilustra uma representação do potencial elétrico no pixel da figura 23, quando todas as proteções estão fechadas pela configuração das voltagens de todos os eletrodos para 0 V.

[0055] A figura 26 ilustra uma representação do potencial elétrico no pixel da figura 23, quando a voltagem do eletrodo 213 é configurada para 3 V.

[0056] A figura 27 ilustra curvas de potencial dentro do substrato à medida que as voltagens dos eletrodos variam.

[0057] As figuras de 28 a 32 ilustram um processo ilustrativo de formação de fotodetector e quatro projetos de pixel diferentes d0-d3. A figura 28 ilustra um primeiro nível, a figura 29 ilustra um segundo nível, a figura 30 ilustra um terceiro nível, a figura 31 ilustra um quarto nível e a figura 32 ilustra um quinto nível.

[0058] A figura 33 ilustra um diagrama de uma arquitetura de chip.

[0059] A figura 34 é um diagrama em bloco de um dispositivo de computação ilustrativo.

Descrição Detalhada

[0060] É descrito aqui um fotodetector integrado que pode medir com precisão, ou "acondicionar em tempo", a temporização de chegada de fótons incidentes. Em algumas modalidades, o fotodetector integrado pode medir a chegada de fótons com resolução de nano segundos ou picossegundos. Tal fotodetector pode ter utilidade em uma variedade de aplicações incluindo detecção/quantização, que pode ser aplicada ao sequenciamento de ácidos nucleicos (por exemplo, sequenciamento de DNA). Tal fotodetector pode facilitar a análise de domínio de tempo da chegada de fótons incidentes de moléculas luminescentes utilizadas para nucleotídeos de rótulo, permitindo, assim, a identificação e o sequenciamento de nucleotídeos com base nas vidas úteis de luminescência. Outros exemplos de aplicações de fotodetector integrado incluem formação de imagem de vida útil de fluorescência e formação de imagem de tempo de voo, como discutido adicionalmente abaixo.

Discussão de Medições de Domínio de Tempo para Detecção/Quantificação Molecular

[0061] A detecção e quantificação de amostras biológicas podem ser realizadas utilizando-se testes biológicos ("biotestes"). Os biotestes envolvem convencionalmente equipamento de laboratório grande e caro exigindo cientistas pesquisadores treinados para operar o equi-

pamento e realizar os biotestes. Os biotestes são convencionalmente realizados em volume de modo que uma grande quantidade de um tipo particular de amostras seja necessária para detecção e quantificação. Alguns biotestes são realizados pela marcação das amostras com marcadores luminescentes que emitem luz de um comprimento de onda particular. As amostras são iluminadas com uma fonte de luz para causar luminescência, e a luz luminescente é detectada com um fotodetector para quantificar a quantidade de luz emitida pelos marcadores. Os biotestes utilizando marcadores e/ou relatores luminescentes envolvem convencionalmente fontes de luz a laser caras para iluminar as amostras e partes óticas e eletrônicas de detecção de luminescência complicadas para coletar a luz das amostras iluminadas.

[0062] Em algumas modalidades, um fotodetector integrado como descrito aqui pode detectar as características de luminescência das amostras biológicas e/ou químicas em resposta à excitação. Mais especificamente, tal fotodetector integrado pode detectar as características temporais da luz recebida das amostras. Tal fotodetector integrado pode permitir a detecção e/ou discriminação da vida útil de luminescência, por exemplo, a vida útil de fluorescência, da luz emitida por uma molécula luminescente em resposta à excitação. Em algumas modalidades, a identificação e/ou medições quantitativas das amostras podem ser realizadas com base na detecção e/ou discriminação de vidas úteis de luminescência. Por exemplo, em algumas modalidades, o sequenciamento de um ácido nucleico (por exemplo, DNA, RNA) pode ser realizado pela detecção e/ou discriminação de vidas úteis de luminescência das moléculas luminescentes anexadas aos nucleotídeos respectivos. Cada molécula luminescente pode ser anexada diretamente (por exemplo, ligada) a um nucleotídeo correspondente ou anexada indiretamente a um nucleotídeo correspondente através de uma molécula de conexão que é unida ao nucleotídeo e à molécula

luminescente.

[0063] Em algumas modalidades, um fotodetector integrado possuindo várias estruturas de fotodetecção e partes eletrônicas associadas, chamadas de "pixels", pode permitir a medição e análise de uma pluralidade de amostras em paralelo (por exemplo, centenas, milhares, milhões ou mais), que podem reduzir o custo da realização de medições complexas e avançar rapidamente a taxa de descobertas. Em algumas modalidades, cada pixel do fotodetector pode detectar luz de uma amostra, que pode ser uma molécula única ou mais de uma molécula. Em algumas modalidades, tal fotodetector integrado pode ser utilizado para aplicações dinâmicas em tempo real tal como sequenciamento de ácido nucleico (por exemplo, DNA, RNA).

Detecção/Quantização de Moléculas Utilizando Vidas Úteis de Luminescência

[0064] Um circuito integrado possuindo um fotodetector integrado de acordo com os aspectos do presente pedido pode ser designado com funções adequadas para uma variedade de aplicações de detecção e formação de imagem. Como descrito em detalhes adicionais abaixo, tal fotodetector integrado pode ter a capacidade de detectar luz dentro de um ou mais intervalos de tempo ou "compartimentos de tempo". Para se coletar informação referente ao tempo de chegada da luz, os portadores de carga são gerados em resposta aos fótons incidentes e podem ser segregados em compartimentos de tempo respectivos com base em seu tempo de chegada.

[0065] Um fotodetector integrado de acordo com alguns aspectos do presente pedido pode ser utilizado para diferenciar entre fontes de emissão de luz, incluindo moléculas luminescentes, tal como fluoróforos. Moléculas luminescentes variam em comprimento de onda de luz que emitem, as características temporais da luz que emitem (por exemplo, seus períodos de tempo de redução de emissão), e sua res-

posta à energia de excitação. De acordo, moléculas luminescentes podem ser identificadas ou discriminadas a partir de outras moléculas luminescentes com base na detecção dessas propriedades. Tais técnicas de identificação ou discriminação podem ser utilizadas sozinhas ou em qualquer combinação adequada.

[0066] Em algumas modalidades, um fotodetector integrado como descrito no presente pedido pode medir ou discriminar vidas úteis de luminescência, tal como vidas úteis de fluorescência. As medições de vida útil de fluorescência são baseadas na excitação de uma ou mais moléculas fluorescentes, e medição de variação de tempo na luminescência emitida. A probabilidade de uma molécula fluorescente emitir um fóton depois que a molécula fluorescente alcança um estado excitado reduz de forma exponencial com o tempo. A taxa na qual a probabilidade diminui pode ser característica de uma molécula fluorescente, e pode ser diferente para diferentes moléculas fluorescentes. A detecção das características temporais de luz emitida por moléculas fluorescentes, pode permitir a identificação de moléculas fluorescentes e/ou discriminação de moléculas fluorescentes com relação uma à outra. As moléculas fluorescentes também são referidas aqui como marcadores luminescentes, ou simplesmente "marcadores".

[0067] Depois de alcançar um estado excitado, um marcador pode emitir um fóton com uma determinada probabilidade em um determinado momento. A probabilidade de um fóton ser emitido a partir de um marcador excitado pode diminuir com o tempo depois da excitação do marcador. A redução na probabilidade de um fóton ser emitido com o tempo pode ser representada por uma função de redução exponencial $p(t) = e^{-t/\tau}$, onde $p(t)$ é a probabilidade da emissão de fóton em um momento, t , e τ é um parâmetro temporal do marcador. O parâmetro temporal τ indica um momento após a excitação quando a probabilidade de o marcador emitir um fóton é um valor determinado. O parâme-

tro temporal, τ , é uma propriedade de um marcador que pode ser distinto de suas propriedades espectrais de absorção e emissão. Tal parâmetro temporal, τ , é referido como vida útil de luminescência, a vida útil de fluorescência ou simplesmente "vida útil" de um marcador.

[0068] A figura 1A representa a probabilidade de um fóton ser emitido como uma função de tempo para dois marcadores com vidas úteis diferentes. O marcador representado pela curva de probabilidade B possui uma probabilidade de emissão que reduz mais rapidamente do que a probabilidade de emissão para o marcador representado pela curva de probabilidade A. O marcador representado pela curva de probabilidade B possui um parâmetro temporal mais curto, τ , ou vida útil do que o marcador representado pela curva de probabilidade A. Os marcadores podem ter vidas úteis de fluorescência variando de 0,1 a 20 ns, em algumas modalidades. No entanto, as técnicas descritas aqui não estão limitadas às vidas úteis dos marcadores utilizados.

[0069] A vida útil de um marcador pode ser utilizada para distinguir entre dois marcadores, e/ou pode ser utilizada para identificar os marcadores. Em algumas modalidades, as medições de vida útil de fluorescência podem ser realizadas nas quais uma pluralidade de marcadores possuindo vidas úteis diferentes são excitados por uma fonte de excitação. Como um exemplo, quatro marcadores possuindo vidas úteis de 0,5, 1, 2 e 3 nano segundos, respectivamente, podem ser excitados por uma fonte de luz que emite luz possuindo um comprimento de onda selecionado (por exemplo, 635 nm, por meio de exemplo). Os marcadores podem ser identificados ou diferenciados um do outro com base na medição da vida útil da luz emitida pelos marcadores.

[0070] As medições de vida útil de fluorescência podem utilizar medições de intensidade relativas pela comparação de como a intensidade muda com o tempo, em oposição aos valores de intensidade absolutos. Como resultado disso, as medições de vida útil de fluores-

cência podem evitar algumas das dificuldades das medições de intensidade absoluta. As medições de intensidade absoluta podem depender da concentração de fluoróforos presentes e etapas de calibragem podem ser necessárias para variar as concentrações de fluoróforo. Em contraste, as medições de vida útil de fluorescência podem ser insensíveis à concentração de fluoróforos.

[0071] Marcadores luminescentes podem ser exógenos ou endógenos. Os marcadores exógenos podem ser marcadores luminescentes externos utilizados como um relator e/ou marcador para rotulação luminescente. Exemplos de marcadores exógenos podem incluir, moléculas fluorescentes, fluoróforos, tinta fluorescente, manchas fluorescentes, tinta orgânica, proteínas fluorescentes, enzimas, e/ou pontos quantum. Tais marcadores exógenos podem ser conjugados a uma sonda ou grupo funcional (por exemplo, molécula, íon e/ou ligações) que ligam especificamente a um alvo ou componente em particular. A anexação de um marcador ou relator exógeno a uma sonda permite a identificação do alvo através da detecção da presença de marcador ou relator exógeno. Exemplos de sondas podem incluir proteínas, ácidos nucleicos tal como moléculas de DNA ou moléculas de RNA, lipídeos e sondas de anticorpo. A combinação do marcador exógeno e um grupo funcional pode formar qualquer sonda, marcador e/ou rótulo adequado utilizados para detecção, incluindo sondas moleculares, sondas rotuladas, sondas de hibridização, sondas de anticorpo, sondas de proteína (por exemplo, sondas de aglutinação de biotina), rótulos de enzima, sondas fluorescentes, marcadores fluorescentes; e/ou relatores de enzima.

[0072] Enquanto os marcadores exógenos podem ser adicionados a uma amostra ou região, os marcadores endógenos já podem fazer parte da amostra ou região. Marcadores endógenos podem incluir qualquer marcador luminescente presente que possa se tornar lumi-

nescente ou "automaticamente fluorescente" na presença de energia de excitação. A fluorescência automática dos fluoróforos endógenos pode fornecer uma rotulação livre de rótulos e rotulação não invasiva sem exigir a introdução de fluoróforos endógenos. Exemplos de tais fluoróforos endógenos podem incluir hemoglobina, oxihemoglobina, lipídeos, colágeno e reticuladores de elastina, dinucleotídeo de adenina nicotinamida reduzida (NADH), flavinas oxidadas (FAD e FMN), lipofuscin, queratina, e/ou prophyryns, por meio de exemplo e não de limitação.

[0073] A diferenciação entre os marcadores pelas medições de vida útil pode permitir menos comprimentos de onda de luz de excitação a ser utilizada do que quando os marcadores são diferenciados pelas medições de espectros de emissão. Em algumas modalidades, sensores, filtros e/ou ótica de difração podem ser reduzidos em número ou eliminados quando da utilização de menos comprimentos de onda de luz de excitação e/ou luz luminescente. Em algumas modalidades, a rotulação pode ser realizada com marcadores que possuem diferentes vidas úteis, e os marcadores podem ser excitados pela luz possuindo o mesmo comprimento de onda de excitação ou espectro. Em algumas modalidades, uma fonte de luz de excitação pode ser utilizada e emite luz de um único comprimento de onda ou espectro, que pode reduzir o custo. No entanto, as técnicas descritas aqui não estão limitadas a esse respeito, visto que qualquer número de comprimentos de onda de luz de excitação ou espectro pode ser utilizado. Em algumas modalidades, um fotodetector integrado pode ser utilizado para determinar ambas a informação espectral e temporal referente à luz recebida. Em algumas modalidades uma análise quantitativa dos tipos de moléculas presentes pode ser realizada pela determinação de um parâmetro temporal, um parâmetro espectral, ou uma combinação de parâmetros temporais e espectrais da luminescência emitida a partir

de um marcador.

[0074] Um fotodetector integrado que detecta o tempo de chegada dos fótons incidentes pode reduzir as exigências de filtragem ótica adicional (por exemplo, filtragem espectral ótica). Como descrito abaixo, um fotodetector integrado de acordo com o presente pedido pode incluir um dreno para remover os portadores foto gerados em momentos particulares. Pela remoção dos portadores foto gerados dessa forma, os portadores de carga indesejados produzidos em resposta a um pulso de luz de excitação podem ser descartados sem a necessidade de filtragem ótica para evitar a recepção de luz do pulso de excitação. Tal fotodetector pode reduzir a complexidade de integração de desenho como um todo, componentes óticos e/ou de filtragem, e/ou custo.

[0075] Em algumas modalidades, uma vida útil de fluorescência pode ser determinada pela medição do perfil de tempo da luminescência emitida pela agregação de portadores de carga coletados em um ou mais compartimentos de tempo do fotodetector integrado para detectar valores de intensidade de luminescência como uma função de tempo. Em algumas modalidades, a vida útil de um marcador pode ser determinada pela realização de múltiplas medições onde o marcador é excitado em um estado excitado e então o momento de emissão de um fóton é medido. Para cada medição, a fonte de excitação pode gerar um pulso de luz de excitação direcionado para o marcador, e o tempo entre o pulso de excitação e o evento de fóton subsequente do marcador pode ser determinado. Adicionalmente ou alternativamente, quando um pulso de excitação ocorre repetidamente ou periodicamente, o tempo entre quando um evento de emissão de fóton ocorre e o pulso de excitação subsequente pode ser medido, e o tempo medido pode ser subtraído do intervalo de tempo entre os pulsos de excitação (isso é, o período da forma de onda de pulso de excitação) para determinar o tempo de evento de absorção de fóton.

[0076] Pela repetição de tais experiências com uma pluralidade de pulsos de excitação, o número de casos de um fóton ser emitido a partir do marcador dentro de um intervalo de tempo determinado após a excitação pode ser determinado, que é indicativo da probabilidade de um fóton ser emitido dentro de tal intervalo de tempo após a excitação. O número de eventos de emissão de fóton coletados pode ser baseado no número de pulsos de excitação emitidos para o marcador. O número de eventos de emissão de fóton através de um período de medição pode variar de 50-10.000.000 ou mais, em algumas modalidades, no entanto, as técnicas descritas aqui não estão limitadas a esse respeito. O número de casos de um fóton ser emitido a partir do marcador dentro de um intervalo de tempo determinado depois da excitação pode preencher um histograma representando o número de eventos de emissão de fóton que ocorrem dentro de uma série de intervalos de tempo discretos ou compartimentos de tempo. O número de compartimentos de tempo e/ou intervalo de tempo de cada compartimento pode ser determinado e/ou ajustado para identificar uma vida útil em particular e/ou um marcador em particular. O número de compartimentos de tempo e/ou intervalo de tempo de cada compartimento pode depender do sensor utilizado para detectar os fótons emitidos. O número de compartimentos de tempo pode ser 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 ou mais, tal como 16, 32, 64 ou mais. Um algoritmo de encaixe de curva pode ser utilizado para encaixar uma curva ao histograma gravado, resultando em uma função representando a probabilidade de um fóton ser emitido após a excitação do marcador em um momento determinado. Uma função de redução exponencial, tal como $p(t) = e^{-t/\tau}$, pode ser utilizada para encaixar de forma aproximada os dados de histograma. A partir de tal encaixe de curva, o parâmetro temporal ou vida útil pode ser determinado. A vida útil determinada pode ser comparada com vidas úteis conhecidas de marcadores para identificar o tipo de

marcador presente.

[0077] Uma vida útil pode ser calculada a partir dos valores de intensidade em dois intervalos de tempo. A figura 1B ilustra os perfis de intensidade ilustrativos com o tempo para um pulso de excitação ilustrativo (linha pontilhada) e emissão de fluorescência ilustrativa (linha sólida). No exemplo ilustrado na figura 1B, o fotodetector mede a intensidade através de pelo menos dois compartimentos de tempo. Os fótons que emitem energia de luminescência entre os momentos t_1 e t_2 são medidos pelo fotodetector como intensidade I_1 e energia de luminescência emitida entre os momentos t_3 e t_4 são medidas como I_2 . Qualquer número adequado de valores de intensidade pode ser obtido apesar de apenas dois serem ilustrados na figura 1B. Tais medições de intensidade podem então ser utilizadas para calcular uma vida útil. Quando um fluoróforo está presente em um momento, então o sinal de luminescência acondicionado em tempo pode ser encaixado em uma única redução exponencial. Em algumas modalidades, apenas dois compartimentos de tempo podem ser necessários para se identificar com precisão a vida útil para um fluoróforo. Quando dois ou mais fluoróforos estão presentes, então as vidas úteis individuais podem ser identificadas a partir de um sinal de luminescência combinado pelo encaixe do sinal de luminescência em múltiplas reduções exponenciais, tal como exponenciais duplos ou triplos. Em algumas modalidades, dois ou mais compartimentos de tempo podem ser necessários a fim de se identificar com precisão mais de uma vida útil de fluorescência de tal sinal de luminescência. No entanto, em alguns casos com múltiplos fluoróforos, uma vida útil de fluorescência média pode ser determinada pelo encaixe de uma redução exponencial singular ao sinal de luminescência.

[0078] Em alguns casos, a probabilidade de um evento de emissão de fóton, e, dessa forma, da vida útil de um marcador pode mudar

com base no entorno e/ou condições do marcador. Por exemplo, a vida útil de um marcador confinado em um volume com um diâmetro inferior ao comprimento de onda da luz de excitação pode ser menor do que quando o marcador não está no volume. As medições de vida útil com marcadores conhecidos sob condições similares a quando os marcadores são utilizados para rotulação podem ser realizadas. As vidas úteis determinadas a partir de tais medições com marcadores conhecidos podem ser utilizadas quando da identificação de um marcador.

Sequenciamento Utilizando Medições de Vida Útil de Luminescência

[0079] Pixels individuais de um fotodetector integrado podem ser capaz de medir a vida útil de fluorescência utilizada para identificar os marcadores e/ou relatores fluorescentes que rotulam um ou mais alvos, tal como moléculas ou locais específicos nas moléculas. Qualquer uma ou mais dessas moléculas de interesse podem ser rotuladas com um fluoróforo, incluindo proteínas, aminoácidos, enzimas, lipídeos, nucleotídeos, DNA e RNA. Quando combinados com os espectros de detecção de luz emitida ou outras técnicas de rotulação, a vida útil de fluorescência pode aumentar o número total de marcadores e/ou relatores de fluorescência que podem ser utilizados. A identificação com base na vida útil pode ser utilizada para métodos analíticos de molécula singular para fornecer informação sobre as características das interações moleculares nas misturas complexas onde tal informação seria perdida na montagem média e podem incluir interações de proteína-proteína, atividade enzimática, dinâmicas moleculares, e/ou difusão em membranas. Adicionalmente, os fluoróforos com vidas úteis de fluorescência diferentes podem ser utilizados para marcar os componentes alvo em vários métodos de teste que são baseados na presença de um componente rotulado. Em algumas modalidades, os componentes podem ser separados, tal como pela utilização de sistemas de mi-

cro fluidos com base na detecção de vidas úteis particulares dos fluoróforos.

[0080] A medição da vida útil de fluorescência pode ser utilizada em combinação com outros métodos analíticos. Como um exemplo, as vidas úteis de fluorescência podem ser utilizadas em combinação com as técnicas de transferência de energia de ressonância de fluorescência (FRET) para discriminar entre os estados e/ou ambientes dos fluoróforos doadores e receptores localizados em uma ou mais moléculas. Tais medições podem ser utilizadas para determinar a distância entre o doador e o receptor. Em alguns casos, a transferência de energia do doador para o receptor pode reduzir a vida útil do doador. Em outro exemplo, as medições de vida útil de fluorescência podem ser utilizadas em combinação com as técnicas de sequenciamento de DNA onde quatro fluoróforos possuindo vidas úteis diferentes podem ser utilizados para rotular os quatro nucleotídeos diferentes (A, T, G, C) em uma molécula de DNA com uma sequência desconhecida de nucleotídeos. As vidas úteis de fluorescência, em vez de espectros de emissão, dos fluoróforos podem ser utilizadas para identificar a sequência de nucleotídeos. Pela utilização da vida útil de fluorescência em vez de espectros de emissão para determinadas técnicas, a resolução da precisão e medição pode aumentar visto que artefatos decorrentes de medições de intensidade absoluta são reduzidos. Adicionalmente, as medições de vida útil podem reduzir a complexidade e/ou custo do sistema visto que menos comprimentos de onda de energia de excitação são necessários e/ou menos comprimentos de onda de energia de emissão precisam ser detectados.

[0081] Os métodos descritos aqui podem ser utilizados para sequenciamento de ácidos nucleicos, tal como sequenciamento de DNA ou sequenciamento de RNA. O sequenciamento de DNA permite a determinação da ordem e posição dos nucleotídeos em uma molécula de

ácido nucleico alvo. As tecnologias utilizadas para sequenciamento de DNA variam muito nos métodos utilizados para determinar a sequência de ácido nucleico além de na taxa, comprimento lido e incidência de erros no processo de sequenciamento. Um número de métodos de sequenciamento de DNA é baseado no sequenciamento por síntese, onde a identidade de um nucleotídeo é determinada à medida que o nucleotídeo é incorporado a uma sequência recém-sintetizada de ácido nucleico que é complementar ao ácido nucleico alvo. Muitos sequenciamentos pelos métodos de síntese exigem a presença de uma população de moléculas de ácido nucleico alvo (por exemplo, cópias de um ácido nucleico alvo) ou uma etapa de amplificação de ácido nucleico alvo para alcançar uma população de ácidos nucleicos alvo. Métodos aperfeiçoados de determinação da sequência de moléculas de ácido nucleico singular são desejados.

[0082] Tem havido avanços recentes no sequenciamento de moléculas singulares de ácido nucleico com alta precisão e longo comprimento de leitura. O ácido nucleico alvo utilizado na tecnologia de sequenciamento de molécula singular, por exemplo, a tecnologia SMRT desenvolvida pela Pacific Biosciences, é um gabarito de DNA de sequência única que é adicionado a um poço de amostras contendo pelo menos um componente da reação de sequenciamento (por exemplo, polimerase de DNA), imobilizado ou anexado a um suporte sólido tal como o fundo do poço de amostras. O poço de amostras também contém desoxirribonucleotídeos trifosfatos, também referidos como "dNTPs", incluindo adenina, citosina, guanina e dNTPs de timina, que soa conjugados pra detecção de rótulos, tal como fluoróforos. Preferivelmente, cada classe de dNTPs (por exemplo, dNTPs de adenina, dNTPs de citosina, dNTPs de guanina, e dNTPs de timina) são, cada um, conjugados com um rótulo de detecção distinto de modo que a detecção do sinal indique a identidade de dNTP que foi incorporada ao

ácido nucleico recém-sintetizado. O rótulo de detecção pode ser conjugado para dNTP em qualquer posição de modo que a presença do rótulo de detecção não iniba a incorporação de dNTP à sequência de ácido nucleico recém-sintetizada ou atividade de polimerase. Em algumas modalidades, o rótulo de detecção é conjugado ao fosfato terminal (o gama fosfato) de dNTP.

[0083] Qualquer polimerase pode ser utilizada para sequenciamento de DNA de molécula singular que seja capaz de sintetizar um ácido nucleico complementar a um ácido nucleico alvo. Exemplos de polimerases incluem polimerase I de DNA de E. coli, polimerase de DNA T7, polimerase de DNA T4 bacteriófaga, polimerase de DNA ϕ 29 (psi 29), e variações das mesmas. Em algumas modalidades, a polimerase é uma polimerase de subunidade única. Depois do emparelhamento base entre uma base de núcleo de um ácido nucleico alvo e dNTP complementar, a polimerase incorpora dNTP à sequência de ácido nucleico recém-sintetizado pela formação de uma ligação fosfodiéster entre a extremidade 3' hidroxila da sequência recém-sintetizada e o alfa fosfato de dNTP. Nos exemplos nos quais o rótulo de detecção conjugado com dNTP é um fluoróforo, sua presença é sinalizada pela excitação e um pulso de emissão é detectado durante a etapa de incorporação. Para rótulos de detecção que são conjugados com o fosfato terminal (gama) de dNTP, a incorporação de dNTP à sequência recém-sintetizada resulta na liberação de fosfatos beta e gama e rótulo de detecção, que está livre para difundir no poço de amostras, resultando em uma redução na emissão detectada do fluoróforo.

[0084] As técnicas descritas aqui não estão limitadas à detecção ou quantização das moléculas ou outras amostras, ou realização de sequenciamento. Em algumas modalidades, um fotodetector integrado pode realizar a formação de imagem para obter informação espacial referente a uma região, objeto ou cena e informação temporal referên-

cia à chegada de fótons incidentes utilizando a região, objeto ou cena. Em algumas modalidades, o fotodetector integrado pode realizar formação de imagem de vida útil de luminescência de uma região, objeto ou amostra, tal como a formação de imagem de vida útil de fluorescência.

Aplicações Adicionais

[0085] Apesar de o fotodetector integrado descrito aqui poder ser aplicado à análise de uma pluralidade de amostras biológicas e/ou químicas, como discutido acima, o fotodetector integrado pode ser aplicado a outros aplicativos, tal como aplicativos de formação de imagem, por exemplo. Em algumas modalidades, o fotodetector integrado pode incluir um conjunto de pixels que realiza a formação de imagem de uma região, objeto ou cena e pode detectar características temporais da luz recebida nos pixels individuais a partir de regiões diferentes da região, objeto ou cena. Por exemplo, em algumas modalidades o fotodetector integrado pode realizar a formação de imagem de tecido com base nas características temporais de luz recebida do tecido, que pode permitir que um médico realize um procedimento (por exemplo, cirurgia) para identificar uma região anormal ou doente do tecido (por exemplo, cancerosa ou pré-cancerosa). Em algumas modalidades, o fotodetector integrado pode ser incorporado a um dispositivo médico, tal como uma ferramenta de formação de imagem cirúrgica. Em algumas modalidades, a informação de domínio de tempo referente à luz emitida pelo tecido em resposta a um pulso de excitação de luz pode ser obtida para criar a imagem de e/ou caracterizar o tecido. Por exemplo, a formação de imagem e/ou caracterização do tecido e outros objetos pode ser realizada utilizando-se a formação de imagem de vida útil de fluorescência.

[0086] Apesar de o fotodetector integrado poder ser aplicado a um contexto de diagnóstico científico tal como pela realização de formação

de imagem ou análise de amostras biológicas e/ou químicas, ou formação de imagem de tecido, como descrito acima, tal fotodetector integrado pode ser utilizado em qualquer outro contexto adequado. Por exemplo, em algumas modalidades, tal fotodetector integrado pode criar a imagem de uma cena utilizando características temporais de luz detectadas nos pixels individuais. Um exemplo de um aplicativo para formação de imagem de uma cena é a formação de imagem de faixa ou formação de imagem de tempo de voo, onde a quantidade de tempo que a luz leva para alcançar o fotodetector é analisada para determinar a distância percorrida pela luz até o fotodetector. Tal técnica pode ser utilizada para realizar a formação de imagem tridimensional de uma cena. Por exemplo, uma cena pode ser iluminada com um pulso de luz emitido a partir de um local conhecido relativo ao fotodetector integrado, e a luz refletida detectada pelo fotodetector. A quantidade de tempo que a luz leva até alcançar o fotodetector integrado nos pixels respectivos do conjunto é medida para determinar as distâncias que a luz percorreu a partir de partes respectivas da cena até alcançar os pixels respectivos do fotodetector. Em algumas modalidades, o fotodetector integrado pode ser incorporado a um dispositivo eletrônico de consumo tal como uma câmera, telefone celular, ou computador tablet, por exemplo, para permitir que tais dispositivos capturem e processem as imagens ou vídeo com base na informação de faixa obtida.

[0087] Em algumas modalidades, o fotodetector integrado descrito no presente pedido pode ser utilizado para medir baixas intensidades de luz. Tal fotodetector pode ser adequado para aplicativos que exijam fotodetectores com uma alta sensibilidade, tal como aplicativos que possam utilizar simultaneamente técnicas de contagem de fótons singulares, por exemplo. No entanto, as técnicas descritas aqui não estão limitadas nesse aspecto, visto que o fotodetector integrado descrito nos presentes pedidos pode medir qualquer intensidade de luz ade-

quada.

Aplicativos de Vida Útil de Luminescência Adicionais

Formação de imagem e Caracterização Utilizando Vidas Úteis

[0088] Como mencionado acima, as técnicas descritas aqui não estão limitadas a rotulação, detecção e quantização utilizando fluoróforos exógenos. Em algumas modalidades, uma região, objeto ou amostra pode ter sua imagem criada e/ou caracterizada utilizando técnicas de formação de imagem de vida útil de fluorescência através do uso de um fotodetector integrado. Em tais técnicas, as características de fluorescência da região, objeto ou amostra propriamente ditas podem ser utilizadas para a formação de imagem e/ou caracterização. Marcadores exógenos ou marcadores endógenos podem ser detectados através de formação de imagem e/ou caracterização de vida útil. Os marcadores exógenos fixados a uma sonda podem ser fornecidos para a região, objeto ou amostra a fim de detectar a presença e/ou localização de um componente alvo em p articular. O marcador exógeno pode servir como um marcador e/ou relator como parte de uma sonda rotulada para detectar as partes da região, objeto ou amostra que contêm um alvo para a sonda rotulada. A fluorescência automática dos marcadores endógenos pode fornecer um contraste livre de rótulo e não invasivo para a resolução espacial que pode ser prontamente utilizada para a formação de imagem sem exigir a introdução de marcadores endógenos. Por exemplo, sinais de fluorescência automática de tecido biológico podem depender de e podem ser indicadores de composição bioquímica e estrutura do tecido.

[0089] As medições de vida útil de fluorescência podem fornecer uma medição quantitativa das condições que cercam o fluoróforo. A medição quantitativa das condições pode ser em adição à detecção ou contraste. A vida útil de fluorescência para um fluoróforo pode depender do ambiente circundante para o fluoróforo, tal como pH ou tempe-

ratura, e uma mudança no valor da vida útil do fluoróforo pode indicar uma mudança no ambiente que cerca do fluoróforo. Como um exemplo, a formação de imagem da vida útil da fluorescência pode mapear as mudanças em ambientes locais de uma amostra, tal como no tecido biológico (por exemplo, uma seção de tecido ou ressecção cirúrgica). As medições de vida útil de fluorescência de fluorescência automática dos fluoróforos endógenos podem ser utilizadas para detectar as mudanças físicas e metabólicas no tecido. Como exemplos, as mudanças na arquitetura, morfologia, oxigenação, pH, vascularidade, estrutura de célula e/ou estado metabólico de célula de tecido podem ser detectadas pela medição da fluorescência automática a partir da amostra e determinando uma vida útil a partir da autofluorescência medida. Tais métodos podem ser utilizados em aplicações clínicas, tal como monitoramento de biopsias orientadas por imagem ou cirurgias, e/ou endoscopia. Em algumas modalidades, um fotodetector integrado do presente pedido pode ser incorporado a uma ferramenta clínica, tal como um instrumento cirúrgico, por exemplo, para realizar a formação de imagem de vida útil de fluorescência. A determinação das vidas úteis de fluorescência com base na autofluorescência medida fornece um valor clínico como um método de formação de imagem livre de rótulos que permite que um médico monitore rapidamente o tecido e detecte pequenos cânceres e/ou lesões pré-cancerosas que não são aparentes para o olho nu. A formação de imagem de vida útil de fluorescência pode ser utilizada para detecção e delineação de células ou tecido malignos, tal como tumores ou células cancerosas que emitem luminescência possuindo uma vida útil de fluorescência maior do que o tecido saudável. Por exemplo, a formação de imagem de vida útil de fluorescência pode ser utilizada para detecção de câncer em tecido oticamente acessíveis, tal como o trato gastrointestinal, bexiga, pele ou superfície de tecido exposta durante cirurgia.

[0090] Em algumas modalidades, as vidas úteis de fluorescência podem ser utilizadas para técnicas microscópicas para fornecer contraste entre tipos ou estados diferentes de amostras. A microscopia de formação de imagem de vida útil de fluorescência (FLIM) pode ser realizada pela excitação de uma amostra com um pulso de luz, detectando o sinal de fluorescência à medida que o mesmo cai para determinar uma vida útil, e mapeando o tempo de redução na imagem resultante. Em tais imagens microscópicas, os valores de pixel na imagem podem ser baseados na vida útil de luminescência determinada para cada pixel no fotodetector coletando o campo de visão.

Formação de imagem de uma Cena ou Objeto Utilizando informação Temporal

[0091] Como discutido acima, um fotodetector integrado como descrito no presente pedido pode ser utilizado em contextos científicos e clínicos nos quais a temporização da luz emitida pode ser utilizada para detectar, quantificar, e/ou criar a imagem de uma região, objeto ou amostra. No entanto, as técnicas descritas aqui não estão limitadas a aplicações científicas e clínicas, visto que o fotodetector integrado pode ser utilizado em qualquer aplicação de formação de imagem que possa levar vantagem da informação temporal referente ao tempo de chegada dos fótons incidentes. Um exemplo de uma aplicação é a formação de imagem de tempo de voo.

Aplicações de Tempo de Voo

[0092] Em algumas modalidades, um fotodetector integrado pode ser utilizado nas técnicas de formação de imagem que são baseadas na medição de um perfil de tempo de luz espalhada ou refletida, incluindo medições de tempo de voo. Em tais medições de tempo de voo, um pulso de luz pode ser emitido em uma região ou amostra e a luz espalhada pode ser detectada pelo fotodetector integrado. A luz espalhada ou refletida pode ter um perfil de tempo distinto que pode indicar

características da região ou amostra. A luz espalhada de fundo pela amostra pode ser detectada e resolvida por seu tempo de voo na amostra. Tal perfil de tempo pode ser uma função de espalhamento de ponto temporal (TPSF). O perfil de tempo pode ser adquirido pela medição da intensidade integrada através de múltiplos compartimentos de tempo depois que o pulso de luz é emitido. As repetições dos pulsos de luz e o acúmulo da luz espalhada podem ser realizadas em uma taxa determinada para garantir que todos os TPSF anteriores sejam completamente extintos antes da geração de um pulso de luz subsequente. Os métodos de formação de imagem ótica difusa resolvidos em tempo podem incluir tomografia ótica difusa espectroscópica onde o pulso de luz pode ser luz infravermelha a fim de criar a imagem em uma profundidade adicional na amostra. Tais métodos de formação de imagem ótica difusa resolvidos em tempo podem ser utilizados para detectar tumores em um organismo ou em parte de um organismo, tal como na cabeça de uma pessoa.

[0093] Adicionalmente ou alternativamente, as medições de tempo de voo podem ser utilizadas para medir a distância ou uma faixa de distâncias com base na velocidade da luz e tempo entre um pulso de luz emitido e detecção da luz refletida a partir de um objeto. Tais técnicas de tempo de voo podem ser utilizadas em uma variedade de aplicativos, incluindo câmeras, sensores de detecção de proximidade em automóveis, interfaces homem-máquina, robótica e outras aplicações que possam utilizar informação tridimensionais coletada por tais técnicas.

Fotodetector Integrado para Portadores de Carga Fotogerados com Acondicionamento de Tempo

[0094] Algumas modalidades se referem a um circuito integrado possuindo um fotodetector que produz portadores de carga em resposta aos fótons incidentes e que é capaz de discriminar a temporização

na qual os portadores de carga são gerados pela chegada de fótons incidentes com relação a um tempo de referência (por exemplo, um evento de acionamento). Em algumas modalidades, uma estrutura de segregação de portador de carga segrega os portadores de carga gerados em momentos diferentes e direciona os portadores de carga para uma ou mais regiões de armazenamento de portador de carga (chamados "compartimentos") que agregam os portadores de carga produzidos dentro de diferentes períodos de tempo. Cada compartimento armazena os portadores de carga produzidos dentro de um intervalo de tempo selecionado. A leitura da carga armazenada em cada compartimento pode fornecer informação sobre o número de fótons que chega dentro de cada intervalo de tempo. Tal circuito integrado pode ser utilizado em qualquer uma dentre uma variedade de aplicações, tal como as descritas aqui.

[0095] Um exemplo de um circuito integrado possuindo uma região de fotodetecção e uma estrutura de segregação de portador de carga será descrito. Em algumas modalidades, o circuito integrado pode incluir um conjunto de pixels, e cada pixel pode incluir uma ou mais regiões de fotodetecção e uma ou mais estruturas de segregação de portador de carga, como discutido abaixo.

Visão Geral da Estrutura e Operação de Pixel

[0096] A figura 2A ilustra um diagrama de um pixel 100, de acordo com algumas modalidades. O pixel 100 inclui uma região de absorção de fóton/geração de portador 102 (também referida como uma região de fotodetecção), uma região de percurso/captura de portador 106, uma região de armazenamento de portador 108 possuindo uma ou mais regiões de armazenamento de portador de carga, também referidas aqui como "compartimentos de armazenamento de portador de carga" ou simplesmente "compartimentos" e um conjunto de circuito de leitura 110 para ler os sinais a partir dos compartimentos de armaze-

namento de portador de carga.

[0097] A região de absorção de fóton/geração de portador 102 pode ser uma região de material semicondutor (por exemplo, silício) que pode converter os fótons incidentes em portadores de carga fotogerados. A região de absorção de fóton/geração de portador 102 pode ser exposta à luz, e pode receber fótons incidentes. Quando um fóton é absorvido pela região de absorção de fóton/geração de portador 102, o mesmo pode gerar portadores de carga fotogerados, tal como um par de elétron/furo. Os portadores de carga fotogerados também são referidos aqui simplesmente como "portadores de carga".

[0098] Um campo elétrico pode ser estabelecido na região de absorção de fóton/geração de portador 102. Em algumas modalidades, o campo elétrico pode ser "estático" como distinguido do campo elétrico em alteração na região de percurso/captura de portador 106. O campo elétrico na região de absorção de fóton/geração de portador 102 pode incluir um componente lateral, um componente vertical, ou ambos um componente lateral ou vertical. O componente lateral do campo elétrico pode ser na direção descendente da figura 2A, como indicado pelas setas, que induz uma força nos portadores de carga fotogerados que aciona os mesmos na direção da região de percurso de portador/captura 106. O campo elétrico pode ser formado de várias formas.

[0099] Em algumas modalidades, um ou mais eletrodos podem ser formados através da região de absorção de fóton/geração de portador 102. Os eletrodos podem ter voltagens aplicadas aos mesmos para estabelecer um campo elétrico na região de absorção de fóton/geração de portador 102. Tais eletrodos podem ser chamados de "fotoportas". Em algumas modalidades, a região de absorção de fótons/geração de portador 102 pode ser uma região de silício que é totalmente exaurida de portadores de carga.

[00100] Em algumas modalidades, o campo elétrico na região de

absorção de fóton/geração de portador 102 pode ser estabelecido por uma junção, tal como uma junção PN. O material semiconductor da região de absorção de fóton/geração de portador 102 pode ser revestida para formar a junção PN com uma orientação e/ou formato que produzem um campo elétrico que induz uma força nos portadores de carga fotogerados que aciona os mesmos na direção da região de percurso/captura de portador 106. A produção do campo elétrico utilizando uma junção pode aperfeiçoar a eficiência quantum com relação ao uso de eletrodos sobrepondo a região de absorção de fóton/geração de portador 102 que pode impedir que uma parte dos fótons incidentes alcance a região de absorção de fóton/geração de portador 102. Utilizando-se uma junção é possível se reduzir a corrente escura com relação ao uso de fotoportas. Foi apreciado que a corrente escura pode ser gerada por imperfeições na superfície do substrato semiconductor que pode produzir os portadores. Em algumas modalidades, o terminal P do diodo de junção PN pode ser conectado a um terminal que configura sua voltagem. Tal diodo pode ser referido como um fotodiodo "pinned". Um fotodiodo pinned pode promover a recombinação de portador na superfície, devido ao terminal que configura sua voltagem e atrai os portadores, o que pode reduzir a corrente escura. Os portadores de carga fotogerados que são desejáveis de se capturar podem passar sob a área de recombinação na superfície. Em algumas modalidades, o campo elétrico lateral pode ser estabelecido utilizando-se uma concentração de revestimento classificado no material semiconductor.

[00101] Em algumas modalidades, uma região de geração de absorção/portador 102 que possui uma junção para produzir um campo elétrico pode ter uma ou mais das seguintes características:

uma região tipo n exaurida que é afunilada para longe do campo de tempo variável;

um implante tipo p cercando a região tipo n com um espaço para transitar o campo elétrico lateralmente para a região tipo n; e/ou

um implante de superfície tipo p que enterra a região tipo n e serve como uma região de recombinação para elétrons parasíticos.

[00102] Em algumas modalidades, o campo elétrico pode ser estabelecido na região de absorção de fóton/geração de portador 102 por uma combinação de uma junção e pelo menos um eletrodo. Por exemplo, uma junção e um eletrodo singular, ou dois ou mais eletrodos, podem ser utilizados. Em algumas modalidades, um ou mais eletrodos podem ser posicionados perto da região de percurso/captura de portador 106 para estabelecer o gradiente de potencial perto da região de percurso/captura de portador 106, que pode ser posicionada relativamente distante da junção.

[00103] Como ilustrado na figura 2A, um fóton pode ser capturado e um portador de carga 101A (por exemplo, um elétron) pode ser produzido no momento t1. Em algumas modalidades, um gradiente de potencial elétrico pode ser estabelecido ao longo da região de absorção de fóton/geração de portador 102 e a região de percurso/captura de portador 106 que faz com que o portador de carga 101A percorra na direção descendente da figura 2A (como ilustrado pelas setas ilustradas na figura 2A). Em resposta ao gradiente de potencial, o portador de carga 101A pode mover de sua posição no momento t1 para uma segunda posição no momento t2, uma terceira posição no momento t3, uma quarta posição no momento t4, e uma quinta posição no momento t5. O portador de carga 101A move, dessa forma, para dentro da região de percurso/captura de portador 106 em resposta ao gradiente de potencial.

[00104] A região de percurso/captura de portador 106 pode ser uma região semicondutora. Em algumas modalidades, a região de percurso/captura de portador 106 pode ser uma região semicondutora do

mesmo material que a região de absorção de fóton/geração de portador 102 (por exemplo, silício) com a exceção de que a região de percurso/captura do portador 106 pode ser protegida contra luz incidente (por exemplo, por um material opaco sobreposto, tal como uma camada metálica).

[00105] Em algumas modalidades, e como discutido adicionalmente abaixo, um gradiente de potencial pode ser estabelecido na região de absorção de fóton/geração de portador 102 e a região de percurso/captura de portador 106 pelos eletrodos posicionados acima dessas regiões. No entanto, as técnicas descritas aqui não estão limitadas quanto às posições particulares dos eletrodos utilizados para produzir um gradiente de potencial elétrico. Nem são as técnicas descritas aqui limitadas ao estabelecimento de um gradiente de potencial elétrico utilizando eletrodos. Em algumas modalidades, um gradiente de potencial elétrico pode ser estabelecido utilizando um perfil de revestimento espacialmente classificado e/ou uma junção PN. Qualquer técnica adequada pode ser utilizada para estabelecer um gradiente de potencial elétrico que faz com que os portadores de carga percorram ao longo da região de absorção de fóton/geração de portador 102 e a região de percurso/captura de portador 106.

[00106] Uma estrutura de segregação de portador de carga pode ser formada no pixel para permitir a segregação de portadores de carga produzidos em momentos diferentes. Em algumas modalidades, pelo menos uma parte da estrutura de segregação de portador de carga pode ser formada através da região de percurso/captura de portador 106. A estrutura de segregação de portador de carga pode incluir um ou mais eletrodos formados através da região de percurso/captura de portador 106, a voltagem do qual pode ser controlada pelo conjunto de circuitos de controle para mudar o potencial elétrico na região de percurso/captura de portador 106.

[00107] O potencial elétrico na região de percurso/captura de portador 106 pode ser alterado para permitir a captura de um portador de carga. O gradiente de potencial pode ser alterado pela alteração da voltagem em um ou mais eletrodos sobrepostos à região de percurso/captura de portador 106 para produzir uma proteção de potencial que pode confinar um portador dentro de uma região espacial predefinida. Por exemplo, a voltagem em um eletrodo sobreposto à linha tracejada na região de percurso/captura de portador 106 da figura 2A pode ser alterada no momento t_5 para elevar uma proteção de potencial ao longo da linha tracejada na região de percurso/captura de portador 106 da figura 2A, capturando, assim, o portador de carga 101A. Como ilustrado na figura 2A, o portador capturado no momento t_5 pode ser transferido para um compartimento "bin0" da região de armazenamento de portador 108. A transferência do portador para o compartimento de armazenamento de portador de carga pode ser realizada pela alteração do potencial na região de percurso/captura de portador 106 e/ou região de armazenamento de portador 108 (por exemplo, pela alteração da voltagem dos eletrodos sobrepostos a essas regiões) para fazer com que o portador percorra para dentro do compartimento de armazenamento de portador de carga.

[00108] A alteração do potencial em um determinado momento dentro de uma região espacial predeterminada da região de percurso/captura de portador 106 pode permitir o aprisionamento de um portador que foi gerado pela absorção de fóton que ocorreu dentro de um intervalo de tempo específico. Pelo aprisionamento dos portadores de carga fotogerados em momentos diferentes e/ou localizações diferentes, os momentos nos quais os portadores de carga foram gerados pela absorção de fótons podem ser discriminados. Nesse sentido, um portador de carga pode ser "acondicionado em tempo" pelo aprisionamento do portador de carga em um determinado momento e/ou espa-

ção depois da ocorrência de um evento de acionamento. O acondicionamento em tempo de um portador de carga dentro de um compartimento particular fornece informação sobre o tempo no qual o portador de carga fotogerado foi gerado pela absorção de um fóton incidente, e, dessa forma, da mesma forma, "compartimentos de tempo" com relação ao evento de acionamento, a chegada de fótons incidentes que produziram o portador de carga fotogerado.

[00109] A figura 2B ilustra a captura de um portador de carga em um ponto diferente no tempo e espaço. Como ilustrado na figura 2B, a voltagem em um eletrodo sobreposto à linha tracejada na região de percurso/captura de portador 106 pode ser alterada no momento t_9 para elevar uma proteção de potencial ao longo da linha tracejada na região de percurso/captura de portador 106 da figura 2B, capturando, assim, o portador 101B. Como ilustrado na figura 2B, o portador capturado no momento t_9 pode ser transferido para um compartimento "bin1" da região de armazenamento de portador 108. Visto que o portador de carga 101B é aprisionado no momento t_9 , o mesmo representa um evento de absorção de fóton que ocorreu em um momento diferente (isso é, momento t_6) do evento de absorção de fóton (isso é, em t_1) para o portador 101A, que é capturado no momento t_5 .

Pixel de Acondicionamento Direto

[00110] A figura 3 ilustra um exemplo de um pixel 200 no qual portadores de carga gerados na região de geração de portador/absorção de fóton 102 podem ser transferidos diretamente para um compartimento de armazenamento de carga na região de armazenamento de portador de carga 108. Tal pixel é chamado de "pixel de acondicionamento direto". Como ilustrado na figura 3, o pixel 200 não inclui uma região de captura/percurso de portador 106. Em vez de capturar os portadores no percurso de portador/região de captura 106, os portadores de carga podem ser transferidos diretamente a partir da região de

geração de portador/absorção de fóton 102 para dentro de um compartimento da região de armazenamento de portador de carga 108. O compartimento ao qual um portador de carga é transferido é baseado no momento de chegada de um fóton na região de geração de portador/absorção de fóton 102 que produz o portador de carga. A área de um pixel de acondicionamento direto pode ser reduzida, pelo menos em parte, devido à omissão da região de captura/percurso de portador 106. Vantajosamente, em algumas modalidades, um pixel de acondicionamento direto pode ocupar uma área menor de um chip semicondutor, que pode permitir formar muitos pixels no chip, tal como milhares ou milhões de pixels, ou mais. Fornecer um grande número de pixels em um chip pode permitir realizar um número grande de medições em paralelo, ou realizar a criação de imagens com alta resolução espacial. Alternativamente ou adicionalmente, um pixel de acondicionamento direto pode apresentar um consumo de energia reduzido. Visto que a carga e descarga de cada eletrodo de pixel pode consumir energia, o pixel 200 pode apresentar um consumo de energia reduzido devido à presença de menos eletrodos, isso é, os eletrodos para capturar os portadores de carga na região de captura/percurso de portador 106 podem ser omitidos.

[00111] A figura 3 ilustra um exemplo de um pixel 200 possuindo dois compartimentos na região de armazenamento de portador de carga 108: compartimento 0 e compartimento 1. Como discutido acima, o compartimento 1 pode agregar os portadores de carga recebidos em um período que segue um evento de acionamento, e o compartimento 0 pode agregar os portadores de carga recebidos em um período de tempo posterior a um evento de acionamento. No entanto, a região de armazenamento de carga 108 pode possuir qualquer número de compartimentos, tal como um compartilhamento, três compartimentos, quatro compartimentos ou mais.

[00112] A região de geração de portador/absorção de fóton 102 pode incluir uma região semicondutora, que pode ser formada a partir de qualquer semicondutor adequado, tal como silício, por exemplo. Em algumas modalidades, a região de geração de portador/absorção de fóton 102 pode incluir um fotodiodo, tal como um fotodiodo "pinned". O fotodiodo pode ser totalmente exaurido. Em algumas modalidades, o fotodiodo pode permanecer essencialmente exaurido de elétrons durante todo o tempo. Em algumas modalidades, o fotodiodo é configurado para coletar fótons singulares. Em tais modalidades, um único fotoelétron pode ser gerado e confinado no fotodiodo. Se formado por um processo CMOS, o fotodiodo pode ser totalmente exaurido pelos potenciais disponíveis dentro dos dispositivos produzidos por um processo CMOS. Os eletrodos 203, 205 e 206 podem ser acoplados ao diodo que cerca pelo menos parcialmente o perímetro do diodo, como ilustrado em maiores detalhes na figura 8. No entanto, deve-se notar que essa modalidade apresentada na figura 8 é meramente um exemplo de uma geometria adequada para eletrodos 203, 205 e 206. Os eletrodos 203 e 205 podem permitir a rápida transferência de carga de portadores confinados. Antes de se discutir a transferência de portadores de carga para os compartimentos, a rejeição de portadores indesejáveis pela transferência de portadores indesejáveis para dentro de uma região de rejeição 105 será descrita.

[00113] Com referência novamente à figura 3, o pixel de acondicionamento direto 200 pode incluir uma região de rejeição 105 para drenar ou de outra forma descartar os portadores de carga produzidos na região de geração de portador/absorção de fóton 102 durante um período de rejeição. Um período de rejeição pode ser temporizado para ocorrer durante um evento de acionamento, tal como um pulso de luz de excitação. Visto que um pulso de luz de excitação pode produzir um número de portadores de carga indesejados na região de geração de

portador/absorção de fóton 102, um gradiente de potencial pode ser estabelecido no pixel 200 para drenar tais portadores de carga para a região de rejeição 105 durante um período de rejeição. Como um exemplo, a região de rejeição 105 pode incluir uma área de difusão de alto potencial onde elétrons são drenados para uma voltagem de suprimento. A região de rejeição 105 pode incluir um eletrodo 206 que acopla por carga a região 102 diretamente na região de rejeição 105. Em algumas modalidades, o eletrodo 206 pode se sobrepor à região semicondutora. A voltagem do eletrodo 206 pode variar para estabelecer um gradiente de potencial desejado na região de geração de portador/absorção de fóton 102. Durante um período de rejeição, a voltagem do eletrodo 206 pode ser configurado para um nível que puxa portadores da região de geração de portador/absorção de fóton 102 para dentro do eletrodo 206, e para fora para a voltagem de suprimento. Por exemplo, a voltagem do eletrodo 206 pode ser configurada para uma voltagem positiva para atrair elétrons, de modo que sejam empurrados para longe da região de geração de portador/absorção de fóton 102 para a região de rejeição 105. Durante um período de rejeição, os eletrodos 203 e 205 podem ser configurados para um potencial que forma as proteções de potencial 202 e 204 para evitar que os portadores de carga indesejados cheguem aos compartimentos. A região de rejeição 105 pode ser considerada uma "região de rejeição lateral" visto que permite a transferência de portadores, lateralmente, da região 102 para um dreno. Em algumas modalidades, a rejeição ocorre na direção oposta da região de fotodetecção com relação aos compartimentos de armazenamento.

[00114] Seguindo o período de rejeição, o portador de carga fotogerado produzido na região de geração de portador/absorção de fóton 102 pode ser acondicionado em tempo. Os portadores de carga individuais podem ser direcionados para um compartimento com base em

seu momento de chegada. Para se fazer isso, o potencial elétrico entre a região de geração de portador/absorção de fóton 102 e a região de armazenamento de portador de carga 108 pode ser alterada em períodos de tempo respectivos para estabelecer um gradiente de potencial que faz com que os portadores de carga fotogerados sejam direcionados para os compartimentos de tempo respectivos. Por exemplo, durante um primeiro período de tempo, uma proteção de potencial 202 formada pelo eletrodo 203 pode ser abaixada, e um gradiente de potencial pode ser estabelecido a partir da região de geração de portador/absorção de fóton 102 para o compartimento 0, de modo que um portador gerado durante esse período seja transferido para o compartimento 0. Então, durante um segundo período de tempo, uma proteção de potencial 204 formada pelo eletrodo 205 pode ser abaixada, e um gradiente de potencial pode ser estabelecido a partir da região de geração de portador/absorção de fóton 102 para o compartimento 1, de modo que um portador gerado durante esse último período seja transferido para o compartimento 1.

[00115] A figura 4 ilustra um fluxograma de um método 2800 de pixel de operação 200 que inclui realizar uma pluralidade de medições 2820, de acordo com algumas modalidades. Em algumas modalidades, uma "medição" pode incluir receber um fóton e transferir o portador capturado para um nó de armazenamento de carga correspondendo a um período de tempo ou compartimento em particular. Uma medição pode ser repetida uma pluralidade de vezes para coletar informação estatística sobre os momentos nos quais os fótons chegam ao fotodetector. Tal método pode ser realizado, pelo menos parcialmente, por um dispositivo integrado como descrito aqui.

[00116] A etapa 2802 pode ser temporizada para que ocorra durante um evento de acionamento. Um evento de acionamento pode ser um evento que serve como uma referência de tempo para a chegada

de condicionamento em tempo de um fóton. O evento de acionamento pode ser um pulso ótico ou um pulso elétrico, por exemplo, e pode ser um evento singular ou um evento periódico repetido. No contexto de detecção de vida útil de fluorescência, o evento de acionamento pode ser a geração de um pulso de excitação de luz para excitar um fluoróforo. No contexto de formação de imagem de tempo de voo, o evento de acionamento pode ser um pulso de luz (por exemplo, de um flash) emitido por um dispositivo de formação de imagem compreendendo o fotodetector integrado. O evento de acionamento pode ser qualquer evento utilizado como um referência para a temporização de chegada dos fótons ou portadores.

[00117] A geração do pulso de excitação de luz pode produzir um número significativo de fótons, alguns dos quais pode alcançar o pixel 200 e pode produzir portadores de carga na área de absorção de fóton/geração de portador 102. Visto que a medição dos portadores foto-gerados a partir do pulso de excitação de luz não é desejável, os mesmos podem ser rejeitados direcionando-os para um dreno. Isso pode reduzir a quantidade de sinal indesejável que, do contrário, poderia precisar ser impedida de chegar pelos componentes óticos complexos, tal como o obturador ou filtro, o que pode adicionar complexidade ao desenho e/ou custo adicionais.

[00118] A etapa 2802 corresponde a um período de rejeição. A operação do pixel 200, durante a etapa 2802, é ilustrada na figura 5A. Na etapa 2802, o pixel 200 é operado para rejeitar os portadores de carga produzidos na região 102 pela transferência dos mesmos para a região de rejeição 105. Por exemplo, a etapa 2802 pode incluir controlar o eletrodo 206 para produzir um gradiente de potencial que aciona os portadores de carga produzidos na região 102 para a região de rejeição 105. Os portadores são rejeitados direcionando-se os mesmos na direção ascendente da figura 5A.

[00119] Na etapa 2804, a absorção de fóton e a geração de portador podem ser realizadas na região 102. Como discutido acima, em algumas aplicações, a probabilidade de recebimento de um fóton e de geração de um portador em resposta a um evento de acionamento pode ser baixa (por exemplo, cerca de 1 em 10.000). De acordo, a etapa 2804 pode não ser realizada para cada evento de acionamento, visto que frequentemente nenhum fóton pode ser recebido em resposta a um evento de acionamento. No entanto, em algumas modalidades, a quantidade de fótons recebida pode ser superior.

[00120] Durante a etapa 2804, uma proteção de potencial existe entre a região de fotodetecção 102 e a região de rejeição 105 para evitar que os portadores de carga fotogerados sejam rejeitados. Durante a etapa 2804, uma proteção de potencial 202 para o compartimento 0 pode ser abaixada, como ilustrado na figura 5B, ou pode ser elevada, como ilustrado na figura 5C. Se a proteção de potencial 202 para o compartimento 0 for baixada novamente, um proteção de carga pode passar diretamente para o compartimento 0 (etapa 2806). Se a proteção de potencial 202 para o compartimento 0 for elevada, um portador de carga pode ser confinado na região 102 até a etapa 2806.

[00121] Na etapa 2806, um portador (se presente) é transferido para o compartimento 0. A proteção de potencial 202 para o compartimento 0 é abaixada ou permanece abaixada. Se um portador de carga fotogerado for produzido no período de tempo que segue a etapa 2802, o abaixamento da proteção de potencial 202 permite que o portador de carga seja transferido para o compartimento 0. A proteção de potencial 202 pode ser elevada ou abaixada pelo controle da voltagem de um eletrodo 203 no limite entre a região 102 e o compartimento 0 (figura 3, figura 5B). Tal eletrodo pode ser posicionado sobre a região semicondutora que controla o potencial na região semicondutora. Em algumas modalidades, apenas um único eletrodo 203 pode ser dispo-

to no limite entre a região 102 e o compartimento 0 para controlar a proteção de potencial 202, o que permite ou evita a transferência de um portador de carga para o compartimento 0. No entanto, em algumas modalidades, a proteção de potencial 202 pode ser produzida por mais de um eletrodo. Diferentemente da região de captura de portador de carga 106 da figura 2A, os eletrodos 206, que produzem a proteção de potencial 202, podem não aprisionar uma proteção de carga em um local fora de um compartimento. Em vez disso, os eletrodos 206 podem controlar uma proteção de potencial 202 para permitir ou evitar que um portador de carga entre no compartimento 0. Além disso, diferentemente da região de captura de portador de carga 106, que produz um número de portadores de potencial entre a região 102 e um compartimento, a proteção de potencial 202 pode ser uma proteção de potencial singular entre a região 102 e o compartimento 0. Características iguais ou similares como descrito nesse parágrafo podem ser apresentadas no compartimento 1, proteção de potencial 204 e eletrodos 205 que produzem a proteção de potencial 204.

[00122] Em algumas modalidades, depois do período de rejeição, um gradiente de potencial pode ser formado que permite apenas que a carga flua em uma direção, isso é, na direção da região 102 para um compartimento de tempo. A carga flui para um dos compartimentos na direção descendente das figuras 5A-D. Um gradiente de potencial adequado pode ser estabelecido na região semicondutora para fazer com que os portadores gerados percorram a região semicondutora na direção descendente das figuras, na direção da região de armazenamento de portador 108. Tal gradiente de potencial pode ser estabelecido de qualquer forma adequada, tal como utilizando uma concentração de revestimento classificada e/ou um ou mais eletrodos nos potenciais selecionados. De acordo, um portador de carga fotogerado produzido na região 102, depois da etapa 2802, é transferido para o

compartimento 0, dessa forma, acondicionando em tempo a chegada do portador de carga fotogerado no compartimento 0.

[00123] Seguindo a etapa 2806, a proteção de potencial 202 para o compartimento 0 é elevada, como ilustrado na figura 5C. Opcionalmente, ambas a proteção de potencial 202 para o compartimento 0 e a proteção de potencial 204 para o compartimento 1 podem ser elevados por um período de tempo. Se ambas a proteção 202 e a proteção 204 forem elevadas, um portador de carga produzido seguindo-se a etapa 2806 pode ser confinado na região 102 até a etapa 2808.

[00124] Na etapa 2808, um portador (se presente) é transferido para o compartimento 1, como ilustrado na figura 5D. A proteção de potencial 204 para o compartimento 1 é abaixada. Se um portador de carga fotogerado for produzido no período de tempo após a etapa 2806, o abaixamento da proteção de potencial 204 permite que o portador de carga seja transferido para o compartimento 1. A proteção de potencial 204 pode ser elevada ou abaixada pelo controle da voltagem de um eletrodo 205 no limite entre a região 102 e o compartimento 1. Tal eletrodo pode ser posicionado através da região semicondutora. De acordo, um portador de carga fotogerado produzido na região 102 depois da etapa 2806 é transferido para o compartimento 1, dessa forma, acondicionando em tempo da chegada do portador de carga fotogerado no compartimento 1. Seguindo a etapa 2808, a proteção de potencial 202 pode ser elevada.

[00125] Seguindo a etapa 2808, a medição 2820 pode ser repetida n-1 vezes para obter informação (por exemplo, informação estatística) com referência aos períodos de tempo nos quais os fótons tendem a chegar depois de um evento de acionamento. Os portadores de carga acondicionados em tempo podem ser agregados aos compartimentos de armazenamento de carga correspondentes à medida que a medição 2820 é repetida. A repetição da medição 2820 pode permitir a

agregação de um número suficiente de portadores de carga nos compartimentos de armazenamento de portador de carga para fornecer resultados estatisticamente significativos. Por exemplo, no contexto da medição de vida útil de fluorescência, pode ser esperado que um evento de absorção de fóton em resposta a um fóton recebido de um fluoróforo possa ocorrer de forma relativamente rara. Por exemplo, pode-se esperar que tal evento ocorra uma vez a cada 10.000 medições. De acordo, um grande número de medições 720 pode precisar ser realizado para agregar um número suficiente de portadores de carga nos compartimentos de armazenamento de portador de carga de modo que os resultados sejam estatisticamente significativos e/ou apresentem uma razão de sinal para ruído suficiente. Em algumas modalidades, o número de medições n de um fluoróforo que pode ser realizado para a medição da vida útil de fluorescência pode ser de 50.000 ou mais, ou 100.000 ou mais, 200.000 ou mais, 300.000 ou mais, 400.000 ou mais, 500.000 ou mais, um milhão ou mais, dois milhões ou mais, cinco milhões ou mais, para permitir a captura e acondicionamento de um número suficiente de portadores de carga em cada compartimento (isso é, dezenas ou centenas, ou mais, em algumas modalidades). As medições podem ser repetidas em uma frequência na faixa de MHz, tal como entre 50 MHz e 100 MHz, entre 25 MHz e 200 MHz, entre 10 MHz e 500 MHz ou entre 1 MHz e 500 MHz, todas as faixas incluindo os pontos finais ou outra frequência. Em algumas modalidades, depois que a medição é repetida $n-1$ vezes, em torno de cem portadores (por exemplo, elétrons) podem ser acumulados nos compartimentos de tempo. No entanto, isso depende, obviamente, do número de fótons recebidos. Em algumas modalidades, o número de portadores acumulados nos compartimentos de tempo pode ser de cerca de 10 a 10.000, tal como entre 50 e 1.000, ou qualquer outro número adequado. O método 2800 pode ser realizado através de qualquer período de

tempo adequado, no qual os fótons devem ser capturados. No contexto de medição de vida útil de fluorescência, um período adequado para realizar o método 2800 pode ser de 10 milissegundos, por exemplo. Em algumas modalidades, uma medição 2820 pode ser repetida em uma frequência que está na faixa de MHz. Em algumas modalidades, os compartimentos de tempo podem ter uma resolução na escala de picossegundos ou nano segundos.

[00126] Uma vez que o número determinado de medições n foi realizado, o método prossegue para a etapa 2810 de leitura dos compartimentos de tempo. Na etapa 2810, a carga é transferida dos compartimentos para um nó de leitura 111, que pode incluir uma difusão de fluante. A carga pode ser transferida de compartimentos individuais sequencialmente para o nó de leitura 111. Para cada compartimento, a carga é transferida para o nó de leitura 111 e, então, pode ser convertida em uma voltagem utilizando o conjunto de circuitos de leitura 110, um exemplo do qual é ilustrado na figura 6. Para transferir a carga de cada compartimento, as voltagens nos eletrodos 213 e/ou 214 (figura 3) podem ser alteradas para abaixar uma proteção de potencial entre o compartimento e o nó de leitura 111. Um exemplo de uma sequência de leitura é a reconfiguração da voltagem do nó de leitura 111, então, a transferência da carga do compartimento 0 para o nó de leitura 111 pela alteração da voltagem no eletrodo 213 para abaixar uma proteção de potencial 212 entre o compartimento 0 e o nó de leitura 111. Um gradiente de potencial pode ser estabelecido fazendo com que a carga flua do compartimento 0 para o nó de leitura 111. Isso é ilustrado na figura 5E. A carga transferida para o nó de leitura 111 pode, então, ser convertida em uma voltagem e leitura. A voltagem do nó de leitura 111 pode, então, ser reconfigurada. Então, a carga é transferida do compartimento 1 para o nó de leitura 111 pela alteração da voltagem no eletrodo 215 para abaixar uma proteção de potencial 214 entre o com-

partimento 1 e o nó de leitura 111. Um gradiente de potencial pode ser estabelecido fazendo com que a carga flua do compartimento 1 para o nó de leitura 111. Isso é ilustrado na figura 5F.

[00127] A figura 6 ilustra uma vista transversal de um exemplo de pixel 200 ao longo da linha A-A1 na figura 3. Como ilustrado, os eletrodos 206, 203 e 213 são formados em ou sobre um substrato semicondutor. A luz é recebida de uma fonte de luz 120 na área de geração de portador/absorção de fóton 102. A fonte de luz 120 pode ser qualquer tipo de fonte de luz, incluindo uma amostra luminescente (por exemplo, conectada a um ácido nucleico) ou uma região ou cena a ser representada nos aplicativos de criação de imagem, por meio de exemplo e não de limitação. A fonte de luz 120 pode incluir luz de laser de excitação indesejada. Uma proteção de luz 121 impede que a luz alcance outra parte do substrato, por exemplo, para evitar que as cargas sejam geradas diretamente nos compartimentos de armazenamento ou nós de leitura pela luz de excitação perdida, ou outra luz perdida. A proteção de luz 121 pode ser formada a partir de qualquer material adequado, tal como camada metálica do circuito integrado, por meio de exemplo e não de limitação. A figura 6 ilustra a direção oposta da transferência de carga durante a rejeição (para a esquerda) e transferência para o compartimento (direita).

Conjunto de Circuitos de Leitura e Sequências Ilustrativos

[00128] Como ilustrado na figura 6, o pixel 200 pode incluir um conjunto de circuitos de leitura 110 que permite a leitura da carga armazenada nos compartimentos de armazenamento de carga da região de armazenamento de portador de carga 108. O pixel 200 pode ser um pixel ativo, de modo que o conjunto de circuitos de leitura 110 inclua um amplificador de leitura, ou um pixel passivo no qual o conjunto de circuitos de leitura 110 não inclua um amplificador de leitura. Qualquer tipo adequado de conjunto de circuitos de leitura de pixel ativo ou pixel

passivo pode ser utilizado. Se o conjunto de circuitos de leitura 110 incluir um amplificador de leitura, o amplificador de leitura pode recolher a carga acumulada em um compartimento de armazenamento de carga (por exemplo, compartimento 0, compartimento 1) como uma entrada e produzir uma voltagem representativa da carga no compartimento de armazenamento de carga como uma saída.

[00129] Se o conjunto de circuitos de leitura 110 incluir um amplificador de leitura, qualquer tipo adequado de amplificador pode ser utilizado. Exemplos de amplificadores adequados inclui amplificadores com base em uma configuração de fonte comum e amplificadores baseados em uma configuração de seguidor de fonte. Um exemplo do conjunto de circuitos de leitura 110, com base em uma configuração de seguidor de fonte, é ilustrado na figura 6. Como ilustrado na figura 6, a região de leitura 110 pode incluir um transistor de armazenador de seguidor de fonte sf, um transistor de reconfiguração rt, e um transistor de seleção de fileira rs. No entanto, as técnicas descritas aqui não são limitadas a qualquer configuração de amplificador em particular. Em algumas modalidades, um ou mais eletrodos de transferência 213, 215 podem ser parte do conjunto de circuitos de leitura 110.

[00130] Qualquer uma das técnicas de leitura adequadas pode ser utilizada, incluindo técnicas de redução de ruído. Em algumas modalidades, o conjunto de circuitos de leitura 110 pode ler os compartimentos de armazenamento de portador de carga utilizando a amostragem dupla correlacionada. A amostragem dupla correlacionada é a técnica na qual uma primeira amostra pode ser retirada de um nó em um nível de voltagem de reconfiguração que inclui uma quantidade indeterminada de ruído, e uma segunda amostra pode ser recolhida de um nível de sinal no nó incluindo o mesmo ruído indeterminado. O ruído pode ser subtraído pela subtração do nível de reconfiguração amostrado a partir do nível de sinal amostrado.

[00131] A leitura dos compartimentos de tempo pode incluir converter a quantidade de carga agregada em cada um dos compartimentos de armazenamento de carga em voltagens correspondentes, como discutido acima. A leitura de compartimentos de tempo pode ser realizada em qualquer taxa adequada, tal como 50 Hz a 100 Hz, 10 Hz a 500 Hz, ou outra taxa. Em algumas modalidades, a leitura dos compartimentos de armazenamento de portador de carga de um pixel pode ser realizada ao mesmo tempo que a coleta dos portadores de carga em um ou mais compartimentos de armazenamento de portador de carga do mesmo pixel.

[00132] Os eletrodos de transferência 213 e 215 podem ser acoplados por carga a cada compartimento separadamente. Um nó de leitura comum 111 pode ser acoplado por carga a todos os eletrodos de transferência. Como ilustrado na figura 6, o nó de leitura 111 pode ser conectado à fonte do transistor de reconfiguração r_t . Os drenos do transistor de reconfiguração r_t e o transistor de seleção de fileira r_s podem ser conectados a um suprimento de alta voltagem. As portas do transistor de reconfiguração r_t e do transistor de seleção de fileira r_s podem ser controladas por um circuito de acionamento de fileira. Em algumas modalidades, a fonte do transistor s_f pode ser conectada ao dreno do transistor de seleção de fileira r_s . A porta do transistor s_f pode ser conectada ao nó de leitura 111. Em algumas modalidades, a fonte do seguidor de fonte pode ser conectada à leitura de linha e linha.

Número e Temporização dos Compartimentos de Tempo

[00133] Qualquer número adequado de compartimentos de tempo pode ser utilizado. Na figura 3, um exemplo de um pixel com dois compartimentos de tempo foi ilustrado. No entanto, um pixel possuindo qualquer número adequado de compartimentos pode ser produzido com base na resolução temporal desejada e outros fatores. O aumento

do número de compartimentos pode aumentar a área ocupada por cada pixel, e pode ser alcançado pela redução do número total de pixels ou pela utilização de um processo de fabricação possuindo um tamanho de acessório menor. A utilização de um número pequeno de compartimentos pode permitir o aumento do número de pixels que podem encaixar em um chip. Em algumas modalidades, um compartimento único pode ser utilizado para determinar o número de fótons que chegam dentro de um período de tempo em particular.

[00134] A temporização para os compartimentos de tempo pode ser escolhida de qualquer forma adequada. Em algumas modalidades, a temporização para os compartimentos de tempo pode ser um fixo, de modo que a temporização seja igual em cada período de medição. A temporização pode ser configurada com base em um sinal de temporização global. Por exemplo, um sinal de temporização pode estabelecer o início de um período de medição, e os compartimentos de tempo podem ser controlados para iniciar e terminar com base em uma quantidade de tempo predeterminada tendo passado a partir do sinal de temporização. No contexto de medição de vida útil de fluorescência, a temporização para os compartimentos de tempo pode ser configurada com relação à temporização de um pulso de excitação com base na faixa possível de vidas úteis de fluorescência que se deve detectar. No contexto de formação de imagem de tempo de voo, a temporização dos compartimentos de tempo pode ser configurada com base em uma faixa de distância esperada para a cena que deve ter sua imagem criada. No entanto, em algumas modalidades, a temporização dos compartimentos de tempo pode ser variável e programável.

[00135] Em algumas modalidades, a temporização para os compartimentos de tempo pode ser configurada com base na temporização de um evento de acionamento que inicia um período de medição para uma medição 2820. No contexto de medição de vida útil de fluo-

cência, a temporização para os compartimentos de tempo pode ser configurada em resposta à detecção da temporização de um pulso de excitação que excita um fluoróforo. Por exemplo, quando um pulso de excitação de luz alcança o pixel 200, uma onda de portadores pode percorrer da região de absorção de fóton/geração de portador 102 até o dreno. O acúmulo de portadores fotogerados no dreno em resposta ao pulso de excitação pode causar uma mudança na voltagem do dreno. De acordo, em algumas modalidades do pulso de excitação pode ser detectado pela detecção da voltagem de dreno. Por exemplo, um comparador pode comparar a voltagem do dreno com um limite, e pode produzir um pulso quando a voltagem do dreno excede o limite. A temporização do pulso pode indicar a temporização do evento de acionamento e a temporização de compartimentos de tempo pode ser configurada com base nessa temporização. No entanto, as técnicas descritas aqui não são limitadas nesse aspecto, visto que qualquer técnica adequada pode ser utilizada para detectar o início de uma medição.

[00136] Em algumas modalidades, o dispositivo integrado pode ser programável para permitir a mudança de temporização dos compartimentos de tempo. Em algumas modalidades, a temporização dos compartimentos de tempo pode ser programada para um conjunto particular de medições a serem realizadas. Por exemplo, se o dispositivo integrado for utilizado para um primeiro tipo de teste utilizando um primeiro conjunto de marcadores possuindo vidas úteis dentro de uma primeira faixa, os compartimentos de tempo podem ser programados para valores adequados para discriminação das vidas úteis dos marcadores dentro dessa faixa. No entanto, se o dispositivo integrado for utilizado para outro tipo de teste que utilize marcadores diferentes possuindo vidas úteis diferentes, os compartimentos de tempo podem ser alterados pela programação dos mesmos de modo que correspon-

dam aos intervalos de tempo diferentes adequados para os marcadores utilizados no segundo tipo de teste. Em algumas modalidades, a temporização dos compartimentos de tempo pode ser controlada de forma adaptativa entre as medições com base nos resultados de um conjunto de medições.

Compartimentos de Armazenamento Ilustrativos

[00137] Existem várias formas de se implementar um compartimento de armazenamento de carga como um poço em potencial dentro da região semicondutora. Em algumas modalidades, o poço em potencial pode estar parcialmente dentro do eletrodo 203 ou 205. Existem dois tipos de transferência para mover a carga para dentro e para fora do poço. A transferência acumulada move a carga para dentro do poço. A transferência de leitura move a carga para fora do poço.

[00138] A seguir encontram-se possíveis características do poço em potencial;

[00139] O poço pode ter profundidade suficiente para armazenar a carga acumulada de pelo menos 100 elétrons para 10 ms a 30 C.

[00140] O eletrodo 203 ou 205 acopla por carga a região 102 ao poço.

[00141] O poço pode estar pelo menos parcialmente dentro do eletrodo 203 ou 205.

[00142] O poço pode estar em potencial mais alto durante a transferência acumulada do que a voltagem totalmente exaurida da região 102.

[00143] A voltagem de exaustão total do poço pode estar no potencial inferior ao nível de reconfiguração de difusão flutuante durante a transferência de leitura.

[00144] O potencial do poço pode ser modulado dinamicamente a fim de servir ambas as exigências de transferência de acúmulo e transferência de leitura.

[00145] Existem várias técnicas para se criar o poço de potencial para um compartimento, tal como o compartimento 0 ou o compartimento 1. Como um exemplo, um ou mais dos eletrodos 203, 205, 213 e 215 podem ser revestidos de forma complementar (revestidos e divididos). A figura 7 ilustra um eletrodo revestido e dividido 2302 possuindo uma região p⁺ e uma região n⁺. Como ilustrado na figura 7, a região n⁺ do eletrodo revestido dividido 2302 pode produzir um poço de potencial sob a região n⁺ que pode confinar os portadores de carga (por exemplo, elétrons). A figura 7 ilustra que manter a voltagem do eletrodo revestido e dividido 2302 alta pode produzir um gradiente de potencial como ilustrado por linhas tracejadas, que podem confinar os portadores de carga (por exemplo, elétrons) em um poço de potencial 2304. Abaixar a voltagem do eletrodo revestido e dividido 2302 pode elevar o potencial elétrico sob o eletrodo revestido e dividido 2302 para permitir a transferência da carga aprisionada no poço de potencial 2304 para um compartimento de armazenamento de carga, por exemplo.

[00146] O eletrodo 2302 pode ser revestido P⁺ no lado da região 102 e N⁺ no lado do compartimento. A diferença da função de trabalho pode criar um gradiente de voltagem, tal como 1 volt, por exemplo. Uma segunda opção serve para colocar um implante tipo n de canal embutido no local do poço que é modulado pelo eletrodo. Quando o eletrodo está no potencial alto, o potencial do poço aumenta além da região de coleta. Uma terceira opção é produzir um diodo réplica que é igual ao diodo da região 102. O diodo pode ser um diodo embutido, como com o diodo da região 102, que possui os mesmos implantes. Pode ser formado entre as proteções 202 ou 204 e o eletrodo de transferência 213. A voltagem de exaustão pode ser ajustada com o implante tipo n que se estende através da porta de transferência de leitura. A proteção de formação de eletrodo 202 ou 204 pode ser revestida N⁺

enquanto que o eletrodo de transferência de leitura pode ser revestido P+. Em algumas modalidades, uma combinação das técnicas descritas acima pode ser utilizada para formar o poço de potencial para um compartimento.

[00147] A figura 8 ilustra uma vista plana de um exemplo de um pixel de acondicionamento direto 200, de acordo com algumas modalidades. Como ilustrado, a região 102 pode possuir um formato circular, apesar de as técnicas descritas aqui não sejam limitadas a esse respeito.

[00148] A figura 9 ilustra uma vista plana de outro exemplo de um pixel de acondicionamento direto 200, de acordo com algumas modalidades. A figura 9 ilustra terminais metálicos sobrepostos e eletricamente conectados aos eletrodos de polissilício subjacentes. A região metálica cd é conectada à região de rejeição 105, região metálica b0 é conectada ao eletrodo 206, a região metálica b1 é conectada ao eletrodo 203, e a região metálica b2 é conectada ao eletrodo 205. A região metálica t1 conecta a um eletrodo de polissilício que serve como uma porta de transferência para o compartimento 0, que permite a transferência da carga armazenada no compartimento 0 para leitura. De forma similar, a região metálica t2 conecta a outro eletrodo de polissilício que serve como uma porta de transferência para o compartimento 1, que permite a transferência da carga armazenada no compartimento 1 para leitura.

[00149] Existem implantes tipo bolso que são posicionados na parte inferior dos eletrodos 203 e 205, como ilustrado com a camada "TG". A interseção entre a difusão e os implantes tipo bolso é rotulada com N = 0. Devido a esses implantes de parede lateral, as marcações em preto ocorrem onde o potencial de bolso ocorre. Nesse exemplo, um bolso se estende entre os eletrodos. No entanto, as técnicas e dispositivos descritos aqui não são limitados a esse aspecto.

[00150] A posição de um compartimento pode ser sob um eletrodo, em uma região não coberta pelo eletrodo, ou sob um eletrodo e em uma região não coberta por um eletrodo. Por exemplo, o compartimento 0 pode ser sob o eletrodo 203, na região não sob o eletrodo 203 entre o eletrodo 203 e o eletrodo de transferência de polissilício conectado a t1, ou sob o eletrodo 203 e em uma região não sob o eletrodo 203.

[00151] As figuras de 10 a 14 ilustram a concentração de revestimento no material semiconductor e o gradiente de potencial do pixel 200 em várias etapas do método 2800 para uma modalidade de um pixel 200.

[00152] A figura 10 ilustra o potencial durante o período de rejeição da etapa 2802, que também corresponde à figura 5A. A representação no canto inferior esquerdo ilustra o potencial ao longo da dimensão y da figura 8. A região de geração de portador/absorção de fóton 102 é centrada em $y = 0$. Como observado nas representações no canto inferior esquerdo e superior esquerdo, quando o eletrodo da região de rejeição para a esquerda de $y = 0$ sobe, o potencial cai na direção da região de rejeição na esquerda de $y = 0$. De acordo, os portadores são transferidos da região de geração de portador/absorção de fóton 102 para a região de rejeição 105. A representação no canto inferior direito ilustra a concentração de revestimento.

[00153] A figura 11 ilustra o potencial durante um período no qual as proteções de potencial para a região de rejeição e os compartimentos são elevados (como na figura 5C). Nesse estado, quaisquer portadores de carga produzidos em torno de $y = 0$.

[00154] A figura 12 ilustra o potencial durante as etapas 2806 e 2808 onde a carga pode ser transferida para um compartimento, correspondendo às figuras 5B e 5D. O potencial na dimensão y é similar para casos onde a carga é transferida para o compartimento 0 e o

compartimento 1. A esse respeito, a figura 12 não ilustra o gradiente ao longo da dimensão lateral da figura 8 que acionaria um portador na direção de um compartimento X do outro compartimento. Como ilustrado na figura 12, o potencial cai para a direita da região 102 na direção do compartimento, o que acionará qualquer portador que estiver presente dentro do compartimento correspondente.

[00155] As figuras 13 e 14 ilustram o potencial durante a fase de leitura. A figura 13 ilustra a transferência da carga armazenada em um compartimento para a difusão flutuante FD pelo abaixamento de uma proteção de potencial produzida por uma porta de transferência. A figura 14 ilustra a reconfiguração da difusão flutuante FD.

Rejeição Vertical

[00156] Os inventores reconheceram e apreciaram um problema que surge da fotogeração de portadores de carga profundos dentro de um substrato semicondutor. Visto que pode não haver um gradiente de potencial significativo profundo dentro do substrato, portadores que são gerados nessa região podem se mover lentamente e podem não tomar um caminho previsível. Em alguns casos, os portadores gerados profundos podem, por fim, percorrer a superfície e se tornarem confinados na região 102. A coleta de tais portadores na região 102 é indesejável, visto que não correspondem aos fótons que chegaram durante o período de medição atual, e, portanto, são ruído que deve ser rejeitado. Os inventores desenvolveram as estruturas e as técnicas para rejeitar os portadores gerados profundos que podem ser utilizados em um pixel de acondicionamento direto ou outro tipo de pixel. Antes de discutir tais estruturas e técnicas, a geração e o movimento dos portadores gerados profundamente serão discutidos.

[00157] Como ilustrado na figura 15, a profundidade de absorção é uma função do comprimento de onda de modo que comprimentos de onda maiores penetrem mais profundamente um semicondutor antes

de a luz ser absorvida. A profundidade de absorção é fornecida pela inversão do coeficiente de absorção, ou $1/a$. A intensidade decai exponencialmente para dentro do substrato de modo que a profundidade de absorção seja a distância para dentro do material no qual a luz cai para cerca de 36% da intensidade de superfície, $1/e$ ou 1 tau (τ). A luz de comprimento de onda curto (azul) possui um coeficiente de absorção grande de modo que seja absorvido dentro de uma distância curta da superfície, enquanto que a luz de comprimento de onda maior (vermelha) é absorvida em uma taxa mais baixa.

[00158] Um epi-wafer inclui uma região epitaxial levemente revestida (por exemplo, $2 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$), de 3 a 5 micrones de espessura, com alça altamente revestida. Não existe qualquer gradiente de potencial na área ativa de modo que o campo elétrico seja mínimo. Os portadores sofrem movimento a partir de 3 fontes:

Térmica;

Mudança;

Difusão

[00159] Sem qualquer campo elétrico ou gradiente de revestimento, os portadores colidem com átomos vibratórios do semiconductor em um processo estequiométrico. Os portadores interagem de forma eletrostática com revestimentos e outros portadores. O tempo médio entre as colisões livres a 300 K é de cerca de $1e^{-13}$ s com uma velocidade térmica de $1e^{-7}$ cm/s. O percurso livre de meio característico é de cerca de 10 nm.

[00160] A figura 16 ilustra o perfil de revestimento e o potencial para o fotodiodo da região 102. Uma região tipo n embutida, levemente revestida e totalmente exaurida de ($1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$) produz um campo elétrico que puxa os portadores para dentro da região de potencial mais alto. Os portadores gerados abaixo da região de exaustão difundem para dentro do campo elétrico antes de se tornarem confinados. O

processo de difusão é lento e faz com que os portadores cheguem bem depois de terem sido gerados.

[00161] A profundidade da região de diodo embutida pode ser limitada pelo processo CMOS no estágio no qual o implante é implementado (energia < 400 keV). A região ativa e a extensão do campo elétrico podem ser inferiores a 1,5 μm de profundidade, o que resulta em cerca de 20% de foto elétrons que entram em uma região com o campo elétrico plano. Em um ciclo de 10 ns, depois de simular 1 milhão de fótons, cerca de 1 a cada 40 fótons ainda estão no substrato depois da metade do ciclo, ou 5 ns. Dentro dos primeiros 100 ps, cerca de 1 a 10 fótons ainda estão atrasados. Isso representa um melhor caso de razão de rejeição de 10 para 1 utilizando uma latência de rejeição de 100 ps.

[00162] É desejável se drenar os portadores gerados profundamente e/ou pelo menos evitar que os mesmos alcancem a região de fotodiodo perto da superfície. Os inventores desenvolveram estruturas e técnicas para fazer isso. Em algumas modalidades, "portadores gerados profundamente" se referem a portadores gerados a mais de 1 micron abaixo da superfície. No entanto, a invenção não está limitada a esse respeito, visto que a profundidade na qual os portadores podem se tornar um problema pode variar de materiais e tecnologias de processos diferentes.

[00163] Uma técnica serve para formar um dreno ou proteção abaixo do fotodiodo que bloqueia os portadores gerados profundamente impedindo que entrem no fotodiodo. A figura 17 ilustra uma região revestida profundamente que pode impedir que os portadores gerados profundamente alcancem a superfície. A região revestida profundamente pode ser um implante profundo utilizando uma energia de 900 keV, ou qualquer outra energia adequada. Em algumas modalidades, o implante profundo pode ser não contínuo (tal como na figura 20, por

exemplo) para permitir que a superfície esteja no mesmo potencial que o fundo do substrato. A figura 18 ilustra uma simulação do movimento de elétron para 10 ns, ilustrando portadores que são puxados para dentro da região de poço n profundo.

[00164] Se a região de revestimento profundo for tipo n, a mesma pode ser conectada à região de rejeição e, dessa forma, uma voltagem de suprimento, para coletar e transferir os portadores gerados profundamente para um dreno. Se a região de revestimento profundo for do tipo p, a mesma pode formar uma proteção que bloqueia os portadores de revestimento profundo e impede que os mesmo alcancem o fotodiodo.

[00165] Portadores profundos podem ser rejeitados quando utilizando um substrato epitaxial de 3 a 5 um de espessura, ou qualquer outra espessura adequada. Os portadores fotogerados dentro de 1 um da superfície podem ser coletados na região N do diodo exaurido.

[00166] Duas técnicas separadas podem ser implementadas para manusear os portadores profundos:

[00167] Uma técnica é um dreno embutido. A figura 19 ilustra um exemplo, no qual uma camada embutida tipo N (dreno profundo) é orientada em alto potencial (por exemplo, 3 volts). Fotoelétrons profundos são puxados para dentro da camada embutida tipo N e drenados para longe dos contatos.

[00168] Outra técnica é uma proteção embutida. A figura 20 ilustra uma camada embutida tipo P+ (proteção profunda) em contato com o substrato. Os fotoelétrons profundos são repelidos da camada embutida tipo P+ e difundem em coletas tipo N e drenados para longe dos contatos. A camada embutida tipo P+ é não contínua e permite que a estrutura do diodo permaneça orientada para o potencial do substrato a partir do lado inferior no potencial baixo. Para uma comutação dinâmica dos eletrodos interfaceando o diodo, isso pode ser uma vanta-

gem visto que a voltagem de exaustão de diodo permanece fixa mesmo em alta frequência.

[00169] A região N e P nos lados esquerdo e direito do diodo embutido podem ser implementadas utilizando-se o processamento NWELL (NW) e P WELL (PW). As saídas N+ para NWELL podem ser implantes altamente revestidos de dreno de fonte padrão. A região N profunda pode ser um implante de fósforo de alta energia acima de 1000 keV. A região de P+ profunda pode ser um implante de boro de alta energia acima de 500 keV.

[00170] Outra técnica para drenar os portadores gerados profundamente é produzir um campo de mudança no substrato que puxa os portadores gerados profundamente para longe da superfície. O campo de mudança pode ser gerado pela produção de um gradiente de potencial vertical no substrato.

[00171] Outra técnica para evitar os portadores gerados profundamente para tornar a região semicondutora (por exemplo, uma região epitaxial) muito fina, tal como mais fino que três micrones, mais fino do que dois micrones ou mais fino que 1 micron.

Modalidades Adicionais

[00172] A figura 21 ilustra exemplos de materiais dos quais o circuito integrado pode ser fabricado. Um pixel pode ser formado em uma região semicondutora, que, em algumas modalidades, pode ser de silício. Regiões isolantes, tal como regiões de óxido de silício, podem isolar áreas do circuito integrado um do outro. Os eletrodos (por exemplos, os eletrodos 206, 203 e 213) podem se formados de polissilício ou outro condutor. Espaçadores isolantes podem ser posicionados nos lados dos eletrodos. Por exemplo, as regiões isolantes podem ser formadas de nitrito de silício. Um metal, tal como alumínio, pode ser disposto nos eletrodos para realizar o contato elétrico com os mesmos. No entanto, outros materiais podem ser utilizados, visto que

os dispositivos descritos aqui não estão limitados a materiais particulares.

[00173] A figura 22 ilustra um exemplo de um perfil de revestimento para um pixel 200, de acordo com algumas modalidades. A região de fotodetecção 102 inclui um fotodiodo possuindo uma região tipo P na superfície e uma região tipo N embutida. Os eletrodos 206 e 203 podem ser tipo N revestido. O eletrodo 213 pode ser tipo P revestido. A diferença no revestimento entre o eletrodo 203 e o eletrodo 213 pode criar uma diferença de função de trabalho que permite que um implante seja formado na região 108 para permitir o confinamento dos portadores de carga, em oposição a uma pluralidade de implantes. No entanto, isso é opcional, e em algumas modalidades, a região 108 pode incluir uma pluralidade de implantes. A região de armazenamento de carga 108 abaixo dos eletrodos 203 e/ou 213 é do tipo N revestido nesse exemplo. Uma região altamente revestida 301 pode ser formada na região semicondutora para o lado distante do eletrodo 213 oposto ao fotodiodo. Um implante de proteção 302 pode ser formado para evitar que os portadores entrem na região de armazenamento de carga 108 profundamente no substrato. No exemplo, o implante de proteção pode ser do tipo P.

[00174] O compartimento pode incluir um implante que abrange metade do eletrodo 203 através do eletrodo 213 na difusão. A proteção de compartimento para a saída pode ser formada pela diferença de função de trabalho entre um eletrodo de porta revestido P+ e N+. Isso pode formar uma diferença de proteção 1.1 V suficiente. Essa diferença pode ser estendida pela aplicação de uma voltagem de diferença entre o eletrodo 203 e o eletrodo 213. Por exemplo, o eletrodo 213 pode ser configurado para 0 V e o eletrodo 203 pode ser configurado para 0,4 V. Isso cria uma diferença de 1,5 V.

[00175] A proteção de potencial para a entrada pode ser formada

por um implante de boro na interface de diodo. O potencial de proteção é relativo à voltagem de exaustão máxima do implante de compartimento. A dose de implante de compartimento e energia pode determinar a profundidade do potencial máximo do compartimento. Isso pode ser sintonizado no processo para permitir uma proteção suficiente para o lado de entrada do compartimento. O lado de saída possui uma proteção robusta devido à diferença de função de trabalho e também é sintonizável pelas voltagens. A proteção de entrada é mais importante para sintonizar. A profundidade de potencial de compartimento pode ser sintonizada pela voltagem aplicada ao eletrodo 203. No entanto, isso também afeta a proteção para o diodo de entrada. A proteção para o diodo de entrada pode ser controlada por porta. Portanto, a dose de implante de compartimento e a energia pode ser sintonizada a fim de distribuir uma proteção suficiente no potencial de exaustão máxima de compartimento. Utilizar a mesma máscara que o implante de compartimento, um implante de boro de alta dose, profundo, pode formar uma proteção para o substrato que impede a coleta de elétrons perdidos.

[00176] A figura 23 ilustra uma sequência de processo ilustrativo para formar o pixel 200 com o perfil de revestimento ilustrado na figura 22. O processo pode incluir qualquer sequência adequada de implantes revestidos e/ou difusões. No entanto, deve-se apreciar que o processo da figura 23 é, por meio de exemplo, e outros processos adequados podem ser utilizados.

[00177] A figura 24 ilustra uma representação de um perfil de revestimento ilustrativo para arsênico, boro, fósforo, e Nt ao longo da linha $y = 0$ da figura 22. A profundidade dentro do substrato é ilustrada no eixo geométrico vertical e a concentração no eixo geométrico horizontal.

[00178] A figura 25 ilustra uma representação de potencial elétrico no pixel da figura 22, quando todas as proteções são fechadas pela

configuração das voltagens de todos os eletrodos em 0V. Como ilustrado, um poço de potencial é produzido permitindo o confinamento de portadores no compartimento.

[00179] A figura 26 ilustra uma representação do potencial elétrico no pixel da figura 22, quando a voltagem do eletrodo 213 é configurada para 3V. Elevar a voltagem no eletrodo 213 abaixa a proteção entre o compartimento e o nó de leitura 111.

[00180] A figura 27 ilustra curvas do potencial dentro do substrato à medida que as voltagens dos eletrodos 206, 203 e 213 variam.

Realização de Circuito Integrado Ilustrativo e Método de Formação de Fotodetector Integrado

[00181] Em algumas modalidades, o chip 1300 pode ser formado em um substrato de silício utilizando um processo CMOS (Semicondutor de Óxido de Metal Complementar) CMOS. No entanto, as técnicas descritas aqui não estão limitadas a esse respeito, visto que qualquer substrato adequado ou processo de fabricação pode ser utilizado. As figuras de 28 a 32 ilustram um processo ilustrativo de formação do fotodetector e quatro projetos de pixel diferentes d0-d3. A figura 28 ilustra o Nível 0 com difusão e regiões de poço N na região semicondutora, e uma camada de polieletródo sobreposta. A figura 29 ilustra o Nível 1, a figura 30 ilustra o Nível 2, a figura 31 ilustra o Nível 3 e a figura 32 ilustra o Nível 4.

Conjunto de Pixel/Arquitetura de Chip

[00182] A figura 33 ilustra um diagrama da arquitetura de chip, de acordo com algumas modalidades. Como ilustrado na figura 33, um circuito integrado ou chip 1300 pode incluir um conjunto de pixel 1302 incluindo uma pluralidade de pixel 100, um circuito de controle 1304 que inclui um circuito de temporização 1306, circuitos de geração de orientação de voltagem/corrente 1305 e uma interface 1308.

[00183] O conjunto de pixels 1302 inclui um conjunto de pixels 101

apresentado em qualquer padrão adequado, tal como um padrão retangular, por exemplo. O conjunto de pixel 1302 pode ter qualquer número adequado de pixels. O conjunto de pixel pode ter condutores de fileira e/ou coluna para leitura de fileiras ou colunas do conjunto de pixels 1302. Os pixels podem ser lidos em paralelo, em série, ou em uma combinação de ambos. Por exemplo, em algumas modalidades, uma fileira de pixels pode ser lida em paralelo, e cada fileira do conjunto de pixels pode ser lida sequencialmente. No entanto, as técnicas descritas aqui não estão limitadas nesse aspecto, visto que os pixels podem ser lidos de qualquer forma adequada.

[00184] O conjunto de pixels 1302 é controlado por um circuito de controle 1304. O circuito de controle 1304 pode ser qualquer tipo adequado de circuito de controle para controlar as operações no chip 1300, incluindo as operações do conjunto de pixel 1302. Em algumas modalidades, o circuito de controle 1304 pode incluir um microprocessador programado para controlar as operações do conjunto de pixels 1032 e qualquer outra operação no chip 1300. O circuito de controle pode incluir um meio legível por computador (por exemplo, memória) armazenando as instruções legíveis por computador (por exemplo, código) para fazer com que o microprocessador realize tais operações. Por exemplo, o circuito de controle 1304 pode controlar as voltagens de produção a serem aplicadas aos eletrodos da estrutura de segregação de portador de carga em cada pixel. O circuito de controle 1304 pode mudar as voltagens de um ou mais eletrodos, como discutido acima, para capturar os portadores, transferir portadores e realizar a leitura dos pixels no conjunto. O circuito de controle pode configurar a temporização das operações da estrutura de segregação de portador de carga com base em um esquema de temporização armazenado. O esquema de temporização armazenado pode ser fixo, programável e/ou adaptativo, como discutido acima.

[00185] O circuito de controle 1304 pode incluir um circuito de temporização 1306 para operações de temporização das estruturas de segregação de portador de carga dos pixels ou outras operações do chip. Em algumas modalidades, o circuito de temporização 1306 pode permitir a produção de sinais para controlar com precisão a temporização das mudanças de voltagem nas estruturas de segregação de portador de carga para temporizar com precisão os portadores de carga de compartimento. Em algumas modalidades, o circuito de temporização 1306 pode incluir um relógio de referência externo e/ou um circuito travado em retardo (DLL) para a configuração precisa da temporização dos sinais fornecidos para as estruturas de segregação de portador de carga. Em algumas modalidades, duas linhas de retardo de extremidade singular podem ser utilizadas, cada uma com metade do número de estágios alinhados em 180 graus fora de fase. No entanto, qualquer técnica adequada pode ser utilizada para controlar a temporização dos sinais no chip.

[00186] O chip 1300 pode incluir uma interface 1308 para enviar sinais do chip 1300, receber sinais no chip 1300, ou ambos. A interface 1308 pode permitir a leitura dos sinais percebidos pelo conjunto de pixels 1302. A leitura a partir do chip 1300 pode ser realizada utilizando uma interface analógica e/ou uma interface digital. Se a leitura a partir do chip 1300 for realizada utilizando uma interface digital, o chip 1300 pode ter um ou mais conversores de analógico para digital para converter os sinais lidos a partir do conjunto de pixels 1302 em sinais digitais. Em algumas modalidades, o circuito de leitura pode incluir um Amplificador de Ganho Programável. Um ou mais sinais de controle podem ser fornecidos para o chip 1300 a partir de uma fonte externa através da interface 1308. Por exemplo, tais sinais de controle podem controlar o tipo de medições a serem realizadas, que pode incluir a configuração da temporização dos compartimentos de tempo.

[00187] A análise dos sinais lidos a partir do conjunto de pixels 1302 pode ser realizada pelo conjunto de circuitos em chip ou fora de chip. Por exemplo, no contexto de medição de vida útil de fluorescência, a análise da temporização da chegada de fóton pode incluir a aproximação de uma vida útil de fluorescência de um fluoróforo. Qualquer tipo de análise pode ser realizado. Se a análise dos sinais lidos a partir do conjunto de pixels 1302 for realizada no chip, o chip 1300 pode ter qualquer conjunto de circuito de processamento adequado para realizar a análise. Por exemplo, o chip 1300 pode ter um microprocessador para realizar a análise que é parte de ou separada do circuito de controle 1304. Se a análise for realizada no chip, em algumas modalidades o resultado da análise pode ser enviado para um dispositivo externo ou fornecido de outra forma fora de chip através da interface 1308. Em algumas modalidades, toda ou uma parte da análise pode ser realizada fora do chip. Se a análise for realizada fora do chip, os sinais lidos a partir do conjunto de pixels 1302 e/ou resultado de qualquer análise realizada pelo chip 1300, podem ser fornecidos para um dispositivo externo através da interface 1308.

[00188] Em algumas modalidades, o chip 1300 pode incluir um ou mais dos seguintes:

- geradores de orientação de pixel, controlados digitalmente, em chip (DACs).

- amplificadores de ganho digitalmente programáveis em chip que convertem o sinal de voltagem de saída de pixel de extremidade singular em um sinal diferencial e aplica o ganho ao sinal

- geradores de orientação de amplificador controlado digitalmente que permitem o escalonamento da dissipação de energia com a taxa de saída.

[00189] A figura 34 é um diagrama em bloco de um dispositivo de computação ilustrativo 1000 que pode ser utilizado para implementar

um circuito de controle para controlar o conjunto de pixels ou para realizar a análise dos dados a partir dos pixels. O dispositivo de computação 1000 pode incluir um ou mais processadores 1001 e um ou mais meios de armazenamento legíveis por computador não transitórios e tangíveis (por exemplo, memória 1003). A memória 1003 pode armazenar, em um meio gravável em computador, não transitório e tangível, instruções de programa de computador que, quando executadas, implementam qualquer funcionalidade descrita acima. Os processadores 1001 podem ser acoplados à memória 1003 e podem executar tais instruções de programa de computador para fazer com que a funcionalidade seja realizada.

[00190] O dispositivo de computação 1000 também pode incluir uma interface de entrada/saída de rede (I/O) 1005 através da qual o dispositivo de computação pode se comunicar com outros dispositivos de computação (por exemplo, através de uma rede), e também pode incluir uma ou mais interfaces I/O 1007, através das quais o dispositivo de computação pode fornecer a saída para e receber a entrada de um usuário. As interfaces I/O de usuário podem incluir dispositivos tal como teclado, mouse, microfone, um dispositivo de exibição (por exemplo, um monitor ou tela de toque), alto falantes, uma câmera, e/ou vários outros tipos de dispositivos I/O.

[00191] As modalidades descritas acima podem ser implementadas em qualquer uma dentre várias formas. Por exemplo, as modalidades podem ser implementadas utilizando-se hardware, software, ou uma combinação dos mesmos. Quando implementado em software, o código de software pode ser executado em qualquer processador adequado (por exemplo, um microprocessador) ou coleção de processadores, sejam fornecidos em um único dispositivo de computação ou distribuídos entre vários dispositivos de computação. Deve-se apreciar que qualquer componente ou coleção de componentes que realize as fun-

ções descritas acima podem ser geralmente considerados como um ou mais controladores que controlam as funções discutidas acima. O um ou mais controladores podem ser implementados de várias formas, tal como hardware dedicado, ou com hardware de finalidade geral (por exemplo, um ou mais processadores) que é programado utilizando o microcódigo ou software para realizar as funções mencionadas acima.

[00192] Nesse aspecto, deve-se apreciar que uma implementação das modalidades descritas aqui compreende pelo menos um meio de armazenamento legível por computador (por exemplo, RAM, ROM, EEPROM, memória flash ou outra tecnologia de memória, CD-ROM, discos versáteis digitais (DVD) ou outro armazenamento em disco óptico, fitas magnéticas, armazenamento em disco magnético ou outros dispositivos de armazenamento magnético, ou outro meio de armazenamento legível por computador, não transitório, tangível) codificado com um programa de computador (isto é, uma pluralidade de instruções executáveis) que, quando executadas em um ou mais processadores, realizam as funções discutidas acima de uma ou mais modalidades. O meio legível por computador pode ser transportável de modo que o programa armazenado no mesmo possa ser carregado em qualquer dispositivo de computação para implementar aspectos das técnicas discutidas aqui. Adicionalmente, deve-se apreciar que a referência a um programa de computador que, quando executado, realiza qualquer uma das funções discutidas acima, não está limitado a um programa de aplicativo rodando em um computador hospedeiro. Em vez disso, os termos programa de computador e software são utilizados aqui em um sentido genérico para fazer referência a qualquer tipo de código de computador (por exemplo, software de aplicativo, firmware, microcódigo ou qualquer outra forma de instrução de computador) que possa ser empregado para programar um ou mais processadores para implementar aspectos das técnicas discutidas aqui.

Aspectos Adicionais

[00193] Vários aspectos da presente invenção podem ser utilizados sozinhos, em combinação, ou em uma variedade de disposições não especificamente discutidas nas modalidades descritas acima e é, portanto, não limitado nesse pedido aos detalhes e disposições dos componentes apresentados na descrição acima ou ilustrados nos desenhos. Por exemplo, aspectos descritos em uma modalidade podem ser combinados de qualquer forma com aspectos descritos em outras modalidades.

[00194] Além disso, a invenção pode ser consubstanciada como um método, do qual um exemplo foi fornecido. Os atos realizados como parte do método podem ser ordenados de qualquer forma adequada. De acordo, as modalidades podem ser construídas nas quais os atos são realizados em uma ordem diferente da ilustrada, que pode incluir a realização de alguns atos simultaneamente, apesar de ilustrados como atos sequenciais nas modalidades ilustrativas.

[00195] O uso de termos ordinais tal como "primeiro", "segundo", "terceiro", etc., nas reivindicações para modificar um elemento de reivindicação não conotam sozinhos qualquer propriedade, precedência, ou ordem de um elemento de reivindicação sobre outro ou ordem temporal na qual os atos de um método são realizados, mas são utilizados meramente como rótulos para distinguir um elemento de reivindicação possuindo um determinado nome de outro elemento possuindo um mesmo nome (mas, para uso do termo ordinal) para distinguir os elementos de reivindicação.

[00196] Além disso, a fraseologia e terminologia utilizadas aqui servem à finalidade de descrição e não devem ser consideradas limitadoras. O uso de "incluindo", "compreendendo", ou "possuindo", "contendo", "envolvendo" e suas variações, deve englobar os itens listados posteriormente e seus equivalentes também como itens adicionais.

REIVINDICAÇÕES

1. Circuito integrado, caracterizado pelo fato de que compreende:

uma região de fotodetecção configurada para receber fótons incidentes, a região de fotodetecção sendo configurada para produzir uma pluralidade de portadores de carga em resposta aos fótons incidentes;

pelo menos uma região de armazenamento de portador de carga; e

uma estrutura de segregação de portador de carga configurada para direcionar seletivamente os portadores de carga dentre a pluralidade de portadores de carga diretamente em pelo menos uma região de armazenamento de portador de carga com base nas vezes nas quais os portadores de carga são produzidos.

2. Circuito integrado, caracterizado pelo fato de que compreende:

Um pixel de acondicionamento direto, compreendendo:

uma região de fotodetecção configurada para receber fótons incidentes, a região de fotodetecção sendo configurada para produzir uma pluralidade de portadores de carga em resposta aos fótons incidentes;

pelo menos uma região de armazenamento de portador de carga; e

uma estrutura de segregação de portador de carga configurada para direcionar seletivamente os portadores de carga, dentre a pluralidade de portadores de carga, para dentro de pelo menos uma região de armazenamento de portador de carga, com base nas vezes em que os portadores de carga foram produzidos.

3. Circuito integrado, caracterizado pelo fato de que compreende:

Uma pluralidade de pixels, um primeiro pixel dentre a pluralidade de pixels sendo um pixel de acondicionamento direto, compreendendo:

Uma região de fotodetecção configurada para receber fótons incidentes, a região de fotodetecção sendo configurada para produzir uma pluralidade de portadores de carga em resposta aos fótons incidentes;

Uma pluralidade de regiões de armazenamento de portador de carga; e

Uma estrutura de segregação de portador de carga configurada para direcionar, seletivamente, os portadores de carga direta, dentre a pluralidade de regiões de armazenamento de portador de carga, com base nos momentos nos quais os portadores de carga são produzidos, e para agregar, na pluralidade de regiões de armazenamento de portador, os portadores de carga produzidos em uma pluralidade de períodos de medição.

4. Método de fotodetecção, caracterizado pelo fato de que compreende:

(A) o recebimento de fótons incidentes na região de fotodetecção; e

(B) o direcionamento seletivo dos portadores de carga dentre uma pluralidade de portadores de carga produzidos em resposta aos fótons incidentes diretamente da região de fotodetecção para dentro de pelo menos uma região de armazenamento de portador de carga com base nos momentos nos quais os portadores de carga são produzidos.

5. Circuito integrado, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 3, caracterizado pelo fato de que a estrutura de segregação de portador de carga compreende pelo menos um eletrodo em um limite entre a região de fotodetecção e uma primeira região de ar-

mazenamento de portador de carga da pelo menos uma região de armazenamento de portador de carga.

6. Circuito integrado, de acordo com a reivindicação 5, caracterizado pelo fato de que a estrutura de segregação de portador de carga compreende um único eletrodo no limite entre a região de fotodetecção e a primeira região de armazenamento de portador de carga.

7. Circuito integrado ou método de fotodetecção, de acordo com qualquer uma das reivindicações anteriores, caracterizado pelo fato de que nenhuma região de captura de portador de carga está presente no pixel de acondicionamento direto e/ou nenhuma região de captura de portador de carga está presente entre a região de fotodetecção e uma região de armazenamento de portador de carga.

8. Circuito integrado ou método de fotodetecção, de acordo com qualquer uma das reivindicações anteriores, caracterizado pelo fato de que os portadores de carga são transferidos para a pelo menos uma região de armazenamento de portador de carga sem capturar os portadores entre a região de fotodetecção e a pelo menos uma região de armazenamento de portador de carga.

9. Circuito integrado ou método de fotodetecção, de acordo com qualquer uma das reivindicações anteriores, caracterizado pelo fato de que uma região de rejeição de portador de carga descarta os portadores de carga produzidos na região de fotodetecção durante um período de rejeição.

10. Circuito integrado ou método de fotodetecção, de acordo com a reivindicação 9, caracterizado pelo fato de que os portadores de carga descartados são removidos da região de fotodetecção em uma direção diferente de uma direção na qual os portadores são direcionados da região de fotodetecção na direção de uma região de armazenamento de portador de carga.

11. Circuito integrado ou método de fotodetecção, de acor-

do com a reivindicação 9, caracterizado pelo fato de que uma região de rejeição de portador de carga descarta os portadores de carga produzidos na região de fotodetecção durante um período de rejeição pela alteração de uma voltagem de um eletrodo em um limite entre a região de fotodetecção e a região de rejeição de portador de carga.

12. Circuito integrado ou método de fotodetecção, de acordo com qualquer uma das reivindicações anteriores, caracterizado pelo fato de que os fótons singulares são transferidos para pelo menos uma região de armazenamento de portador de carga, e agregados a pelo menos uma região de armazenamento de portador de carga.

13. Circuito integrado ou método de fotodetecção, de acordo com qualquer uma das reivindicações anteriores, caracterizado pelo fato de que os portadores de carga mais profundos do que um micron abaixo da superfície de um substrato semiconductor são rejeitados.

14. Circuito integrado ou método de fotodetecção, de acordo com a reivindicação 13, caracterizado pelo fato de que os portadores de carga mais profundos do que um micron abaixo da superfície de um substrato semiconductor são rejeitados pelo menos parcialmente por um implante abaixo de um fotodiodo da região de fotodetecção.

15. Circuito integrado ou método de fotodetecção, de acordo com a reivindicação 14, caracterizado pelo fato de que o implante fornece uma proteção profunda ou um dreno profundo.

16. Circuito integrado ou método de fotodetecção, de acordo com a reivindicação 15, caracterizado pelo fato de que o implante é tipo N ou tipo P+.

17. Circuito integrado ou método de fotodetecção, de acordo com a reivindicação 13 ou 14, caracterizado pelo fato de que os portadores de carga mais profundos do que um micron abaixo da superfície de um substrato semiconductor são rejeitados por um campo de

mudança abaixo da superfície do substrato semiconductor.

18. Circuito integrado, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 3, caracterizado pelo fato de que a região de fotodetecção é formada em uma região epitaxial que é inferior a dois micrometros de profundidade.

19. Circuito integrado ou método de fotodetecção, de acordo com qualquer uma das reivindicações anteriores, caracterizado pelo fato de que a região de fotodetecção é uma região epitaxial compreendendo um fotodiodo.

20. Circuito integrado ou método de fotodetecção, de acordo com qualquer uma das reivindicações anteriores, caracterizado pelo fato de que os portadores de carga no fotodiodo são transferidos para uma região de rejeição durante um período de rejeição, então, uma primeira proteção de potencial para uma primeira região de armazenamento de portador de carga é abaixada, então, uma segunda proteção de potencial para uma segunda região de armazenamento de portador de carga é abaixada.

21. Circuito integrado ou método de fotodetecção, de acordo com a reivindicação 20, caracterizado pelo fato de que a primeira proteção de potencial é controlada por um primeiro eletrodo e a segunda proteção de potencial é controlada por um segundo eletrodo.

22. Circuito integrado ou método de fotodetecção, de acordo com qualquer uma das reivindicações anteriores, caracterizado pelo fato de que pelo menos uma região de armazenamento de portador de carga compreende uma pluralidade de regiões de armazenamento de portador de carga.

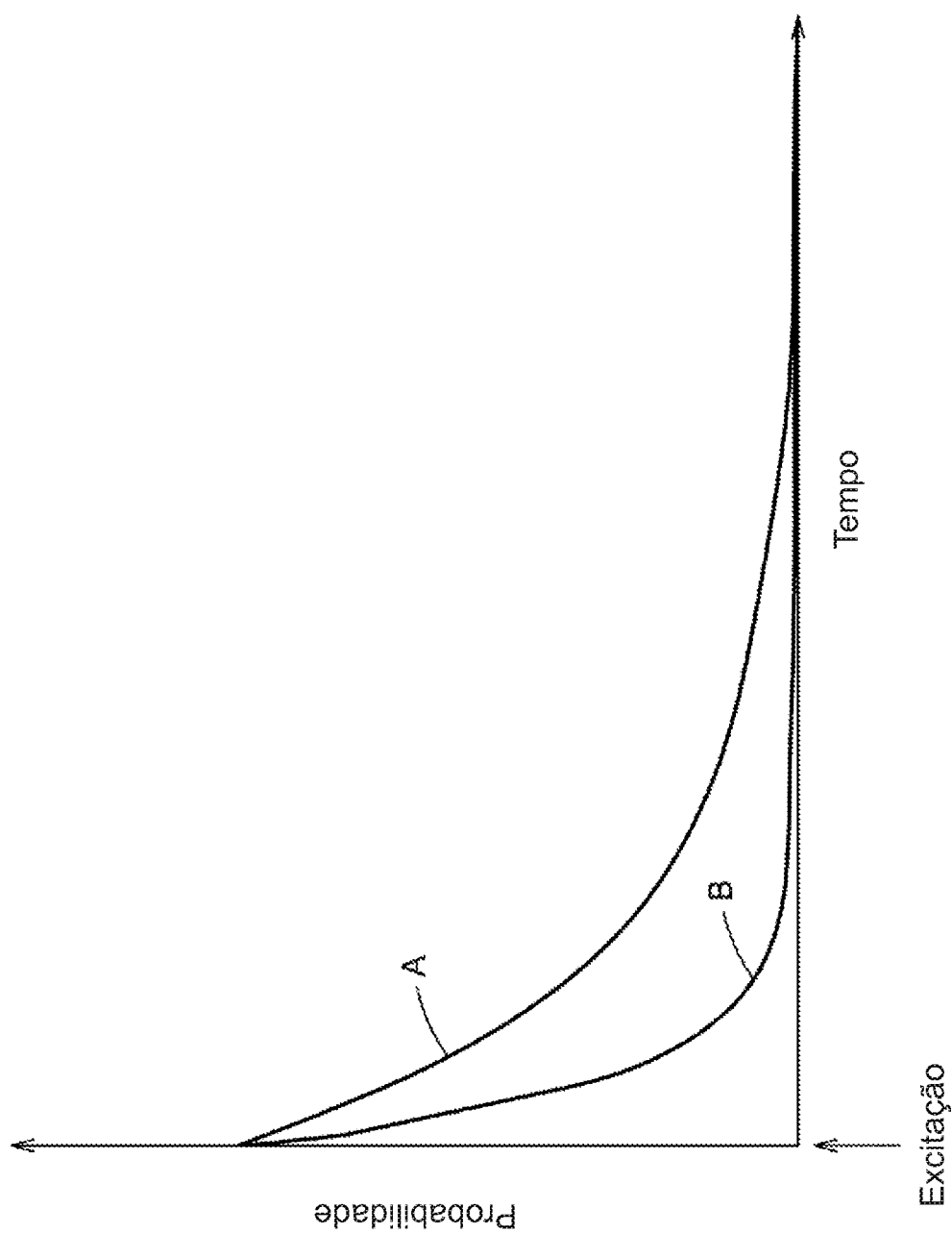


FIG. 1A

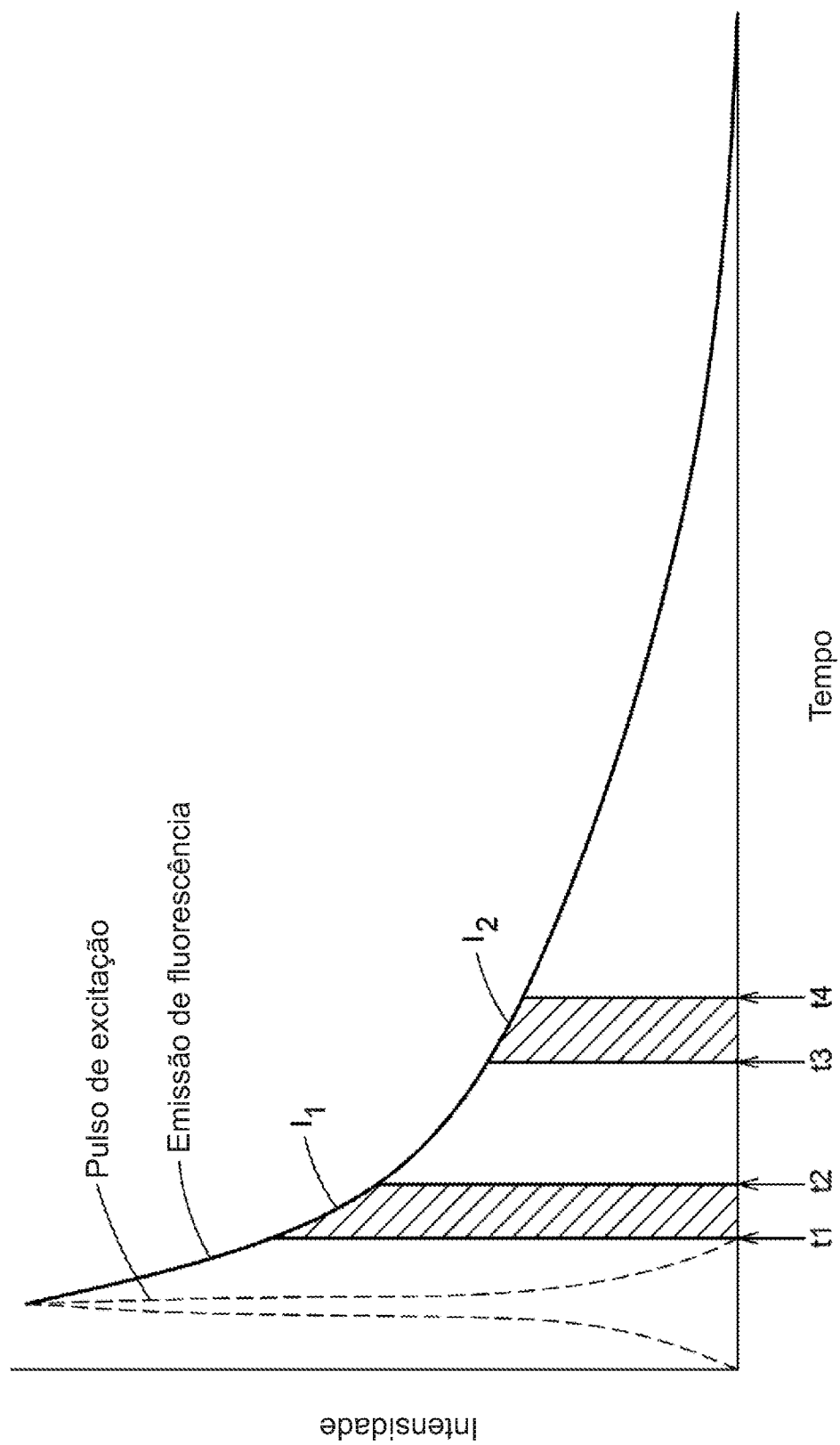


FIG. 1B

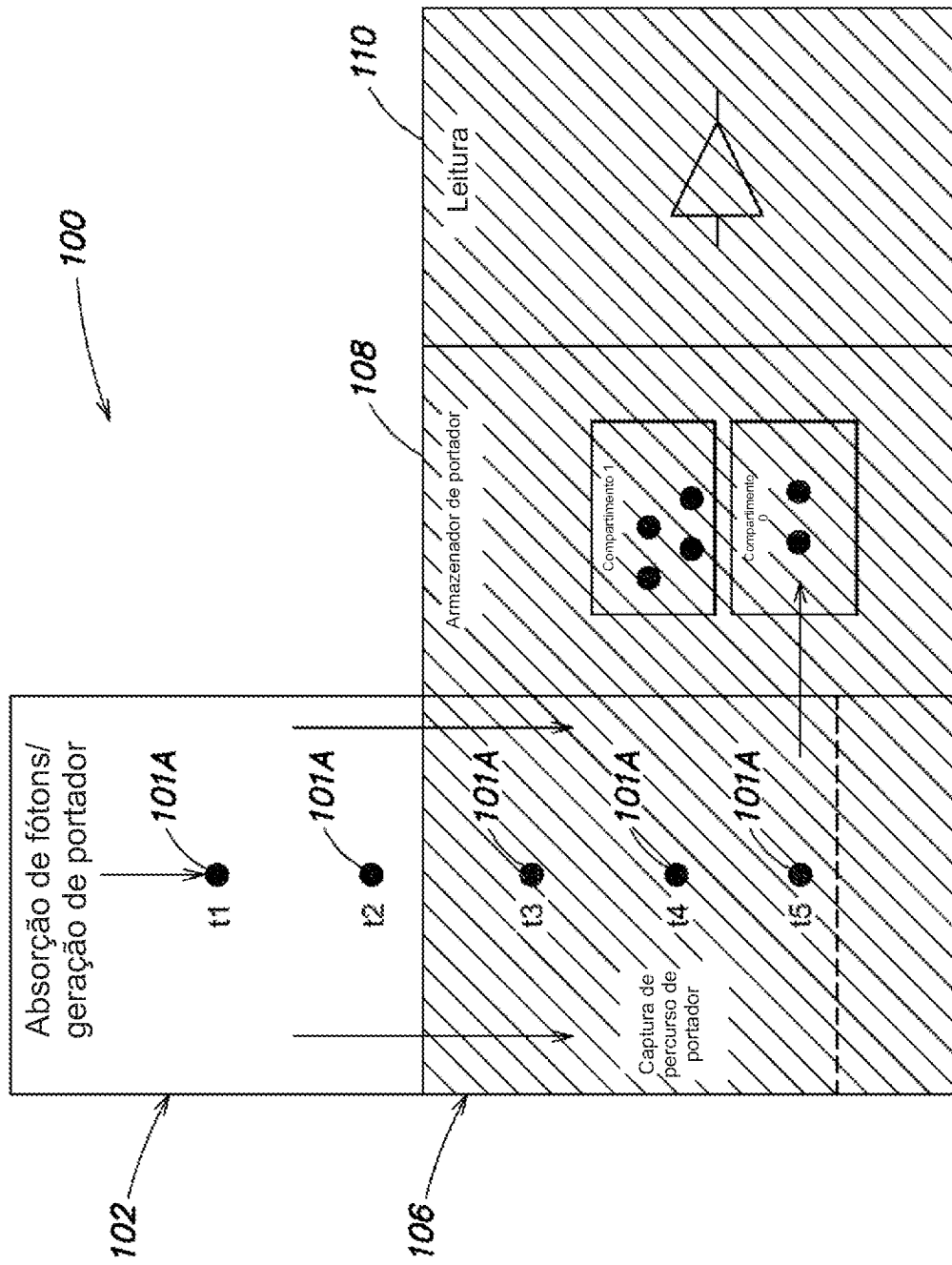


FIG. 2A

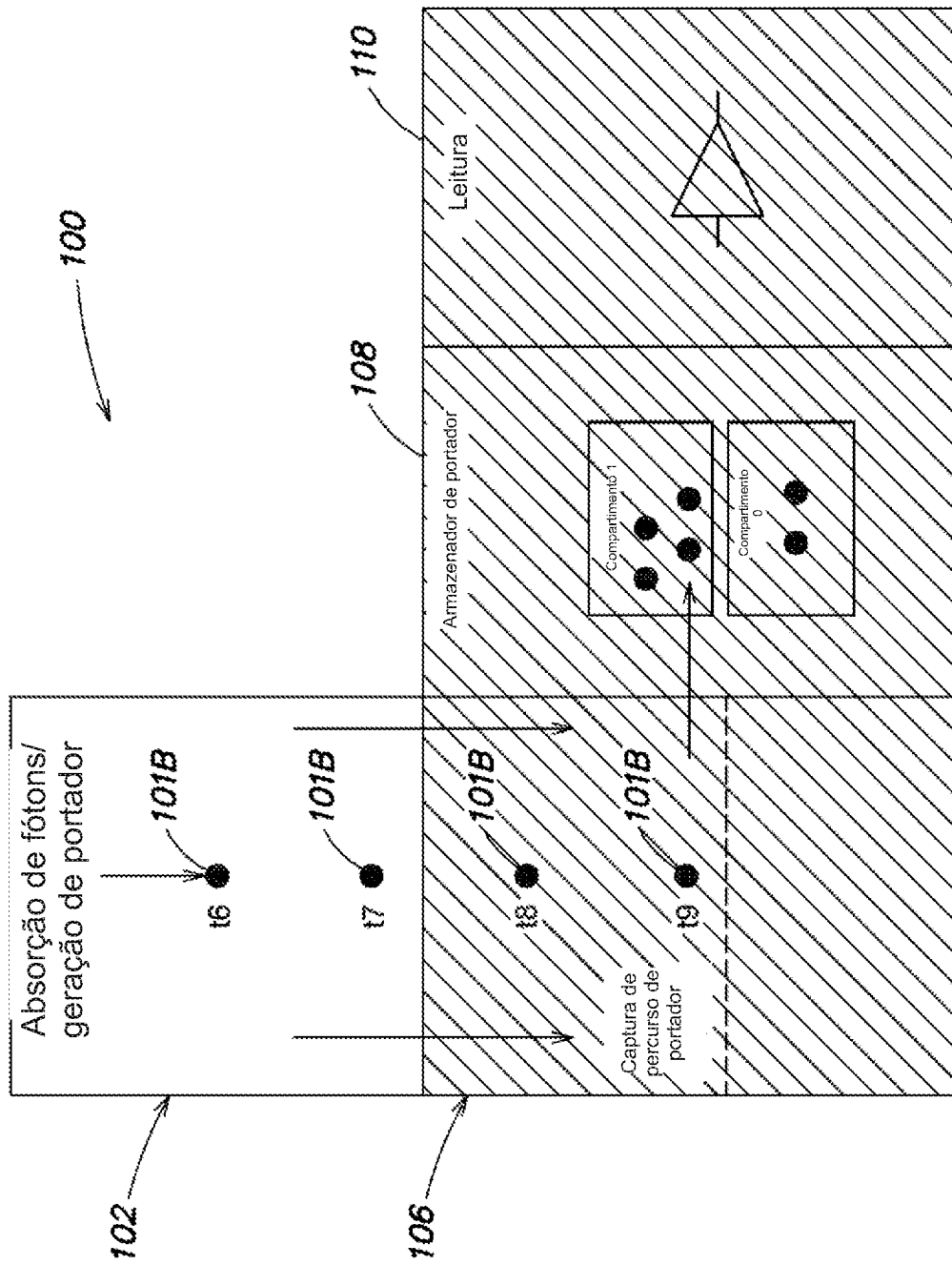


FIG. 2B

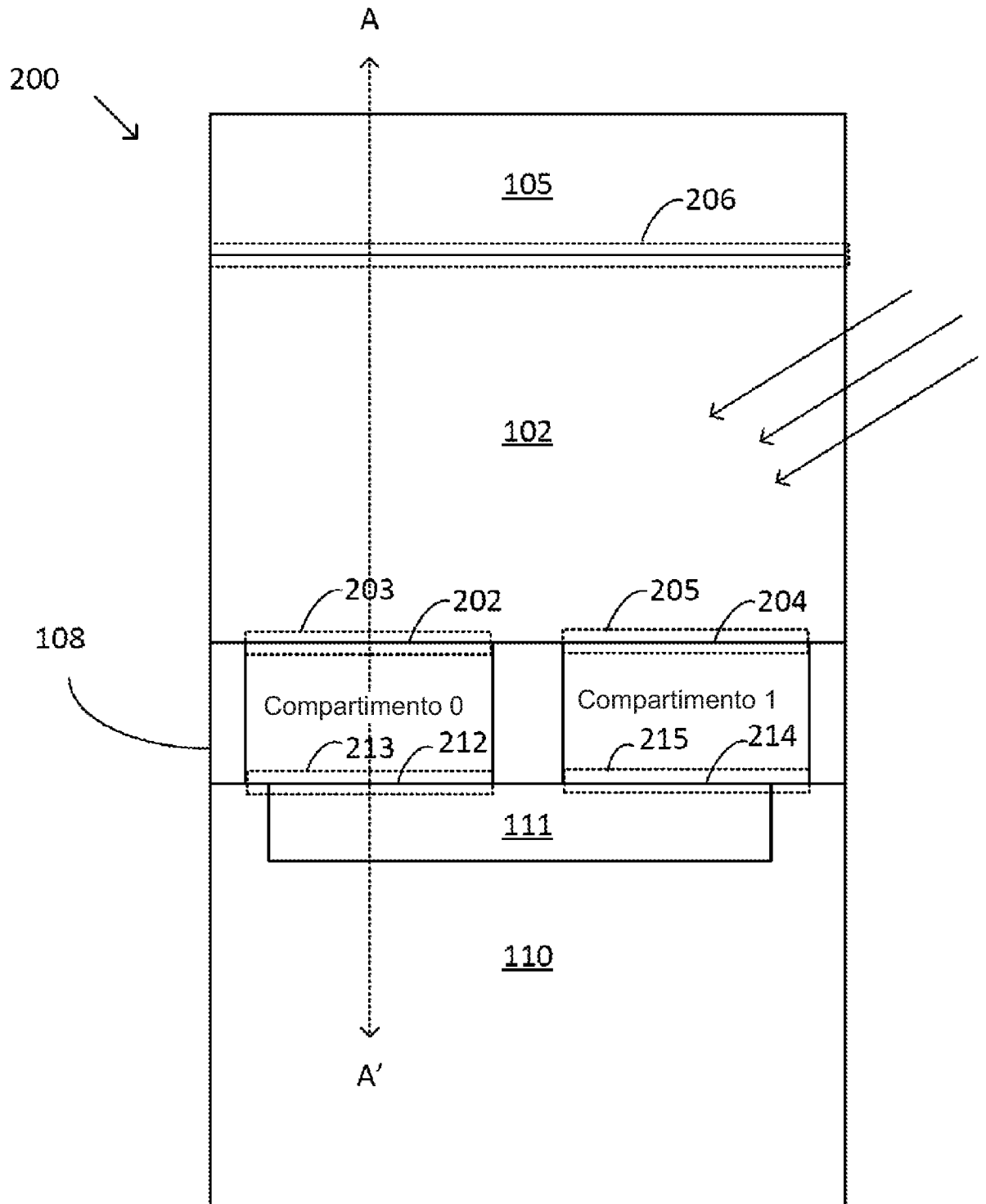


FIG. 3

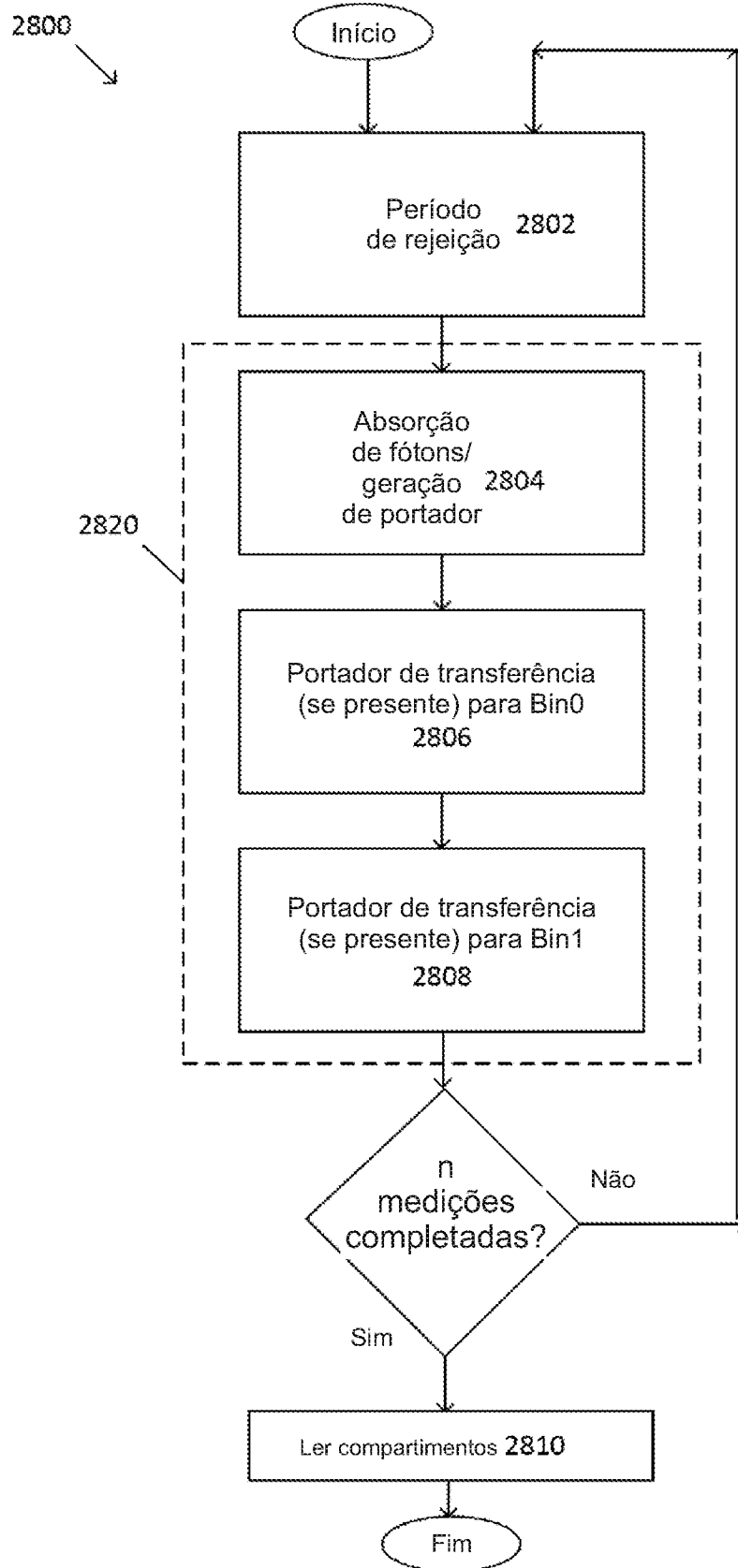


FIG. 4

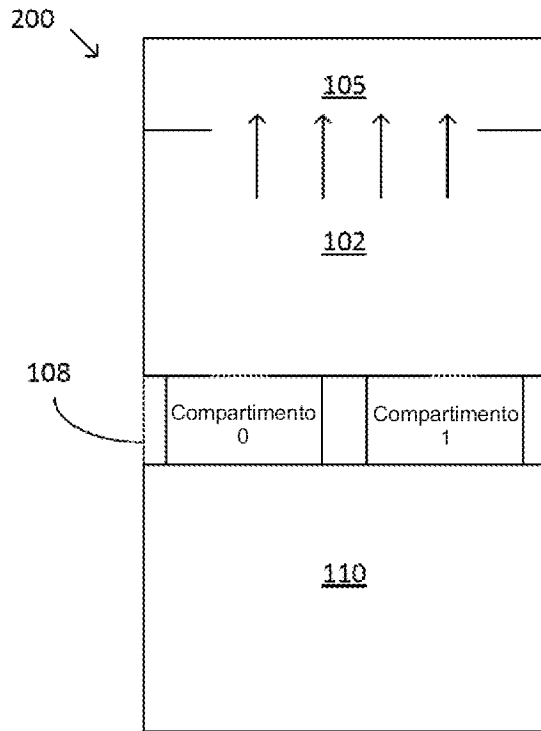


FIG. 5A

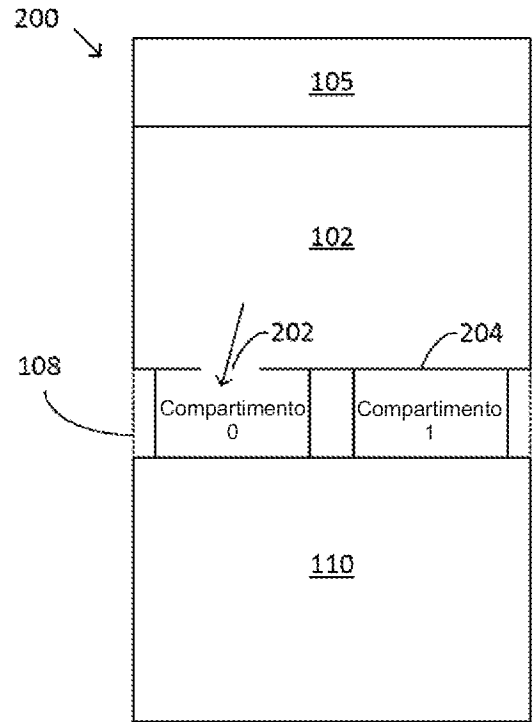


FIG. 5B

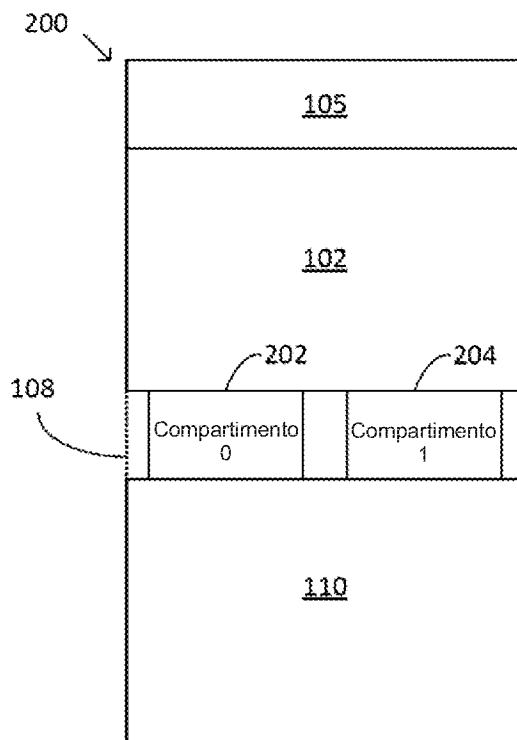


FIG. 5C

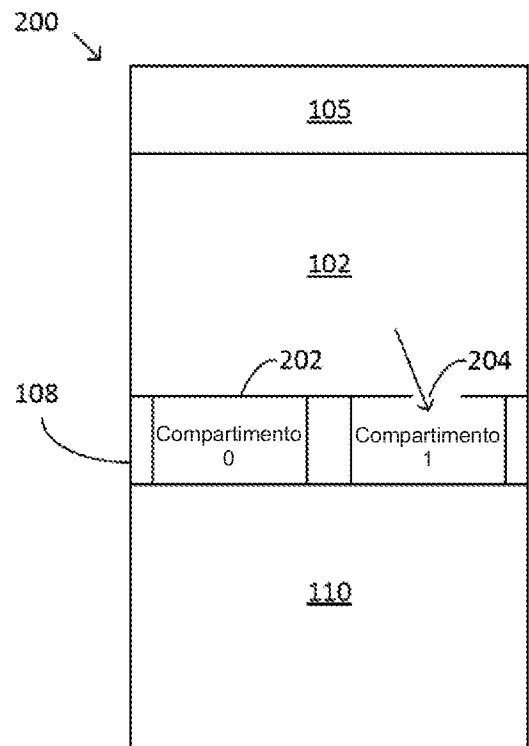


FIG. 5D

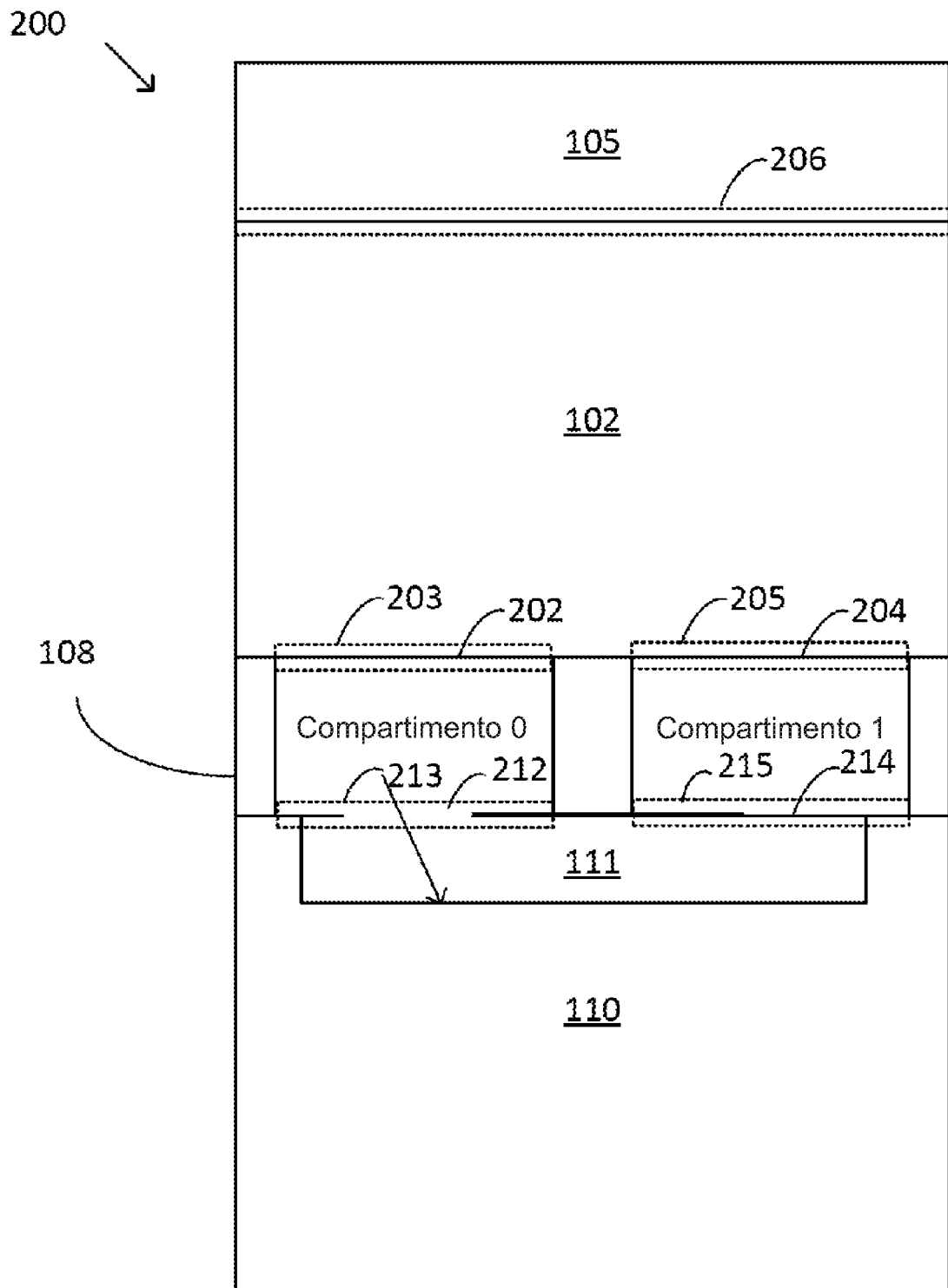


FIG.5E

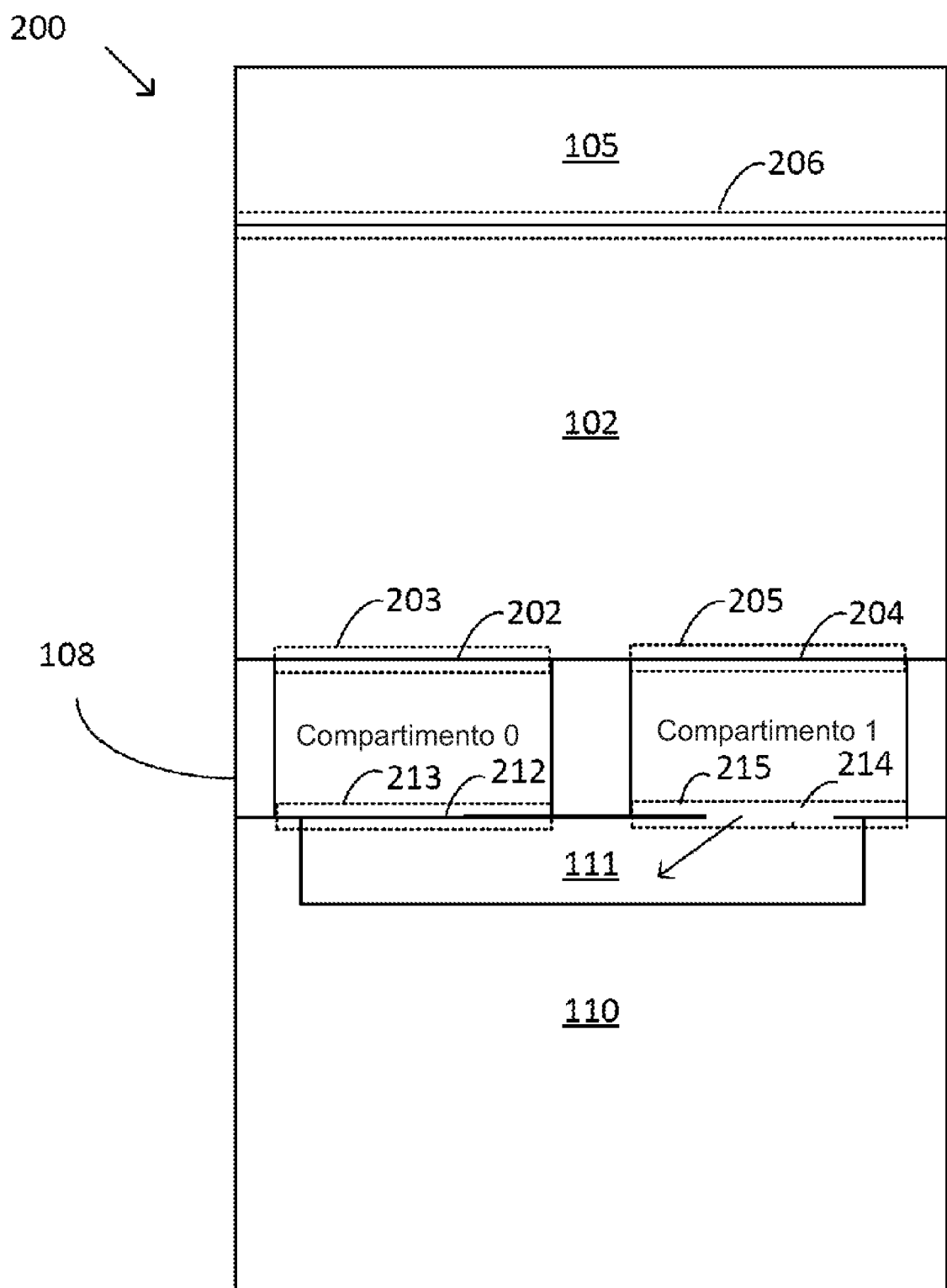
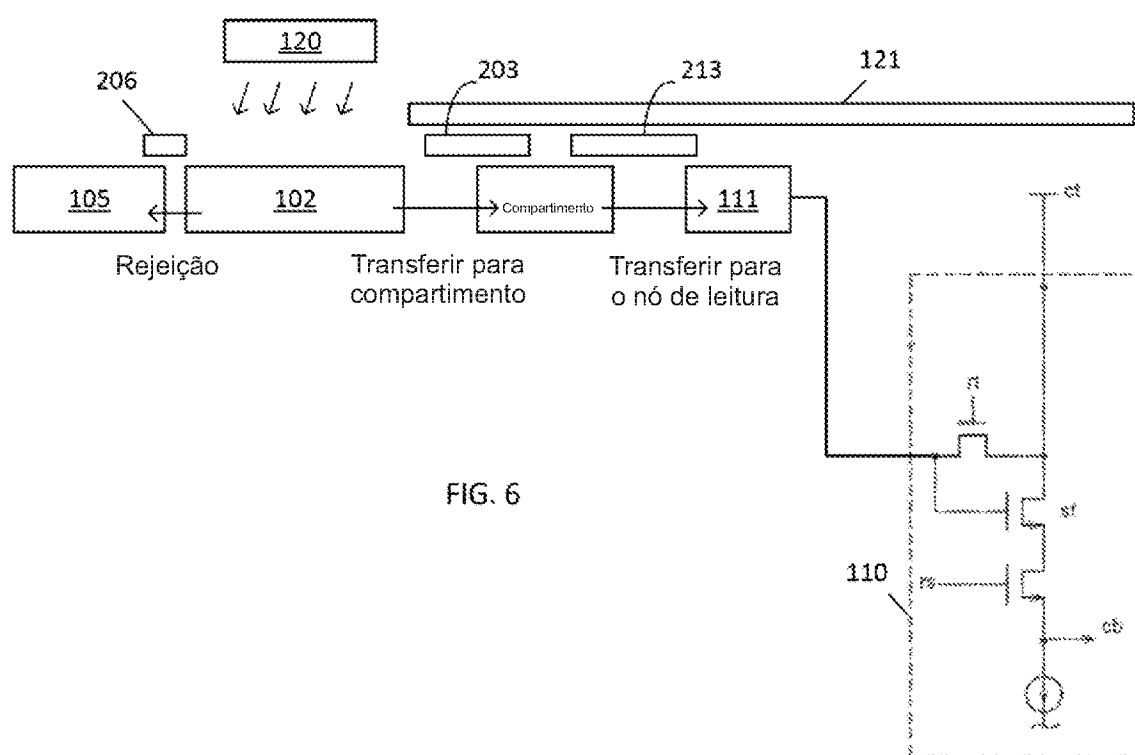


FIG. 5F



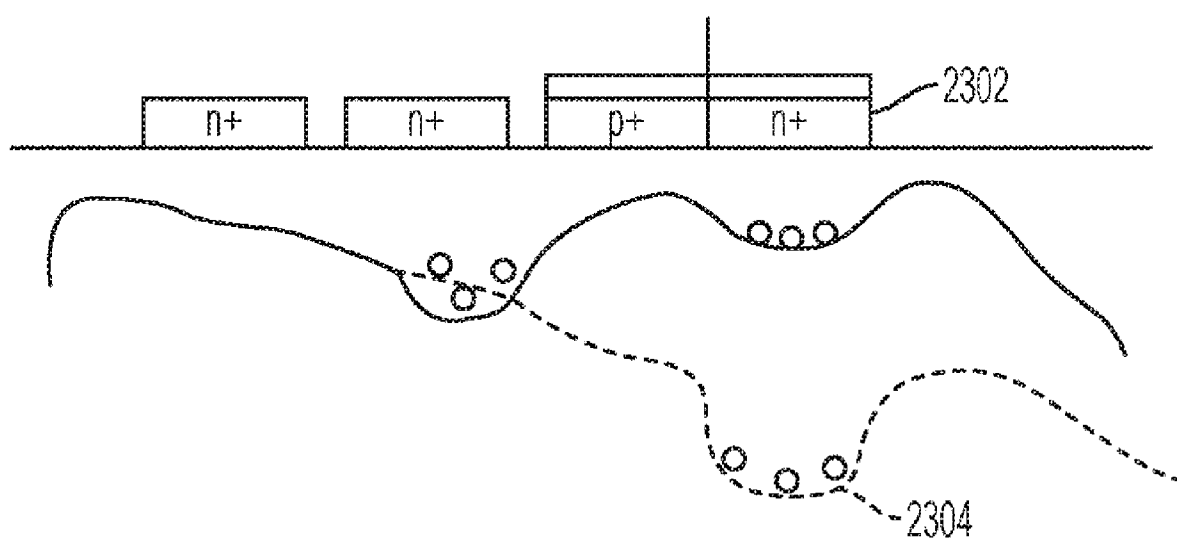


FIG. 7

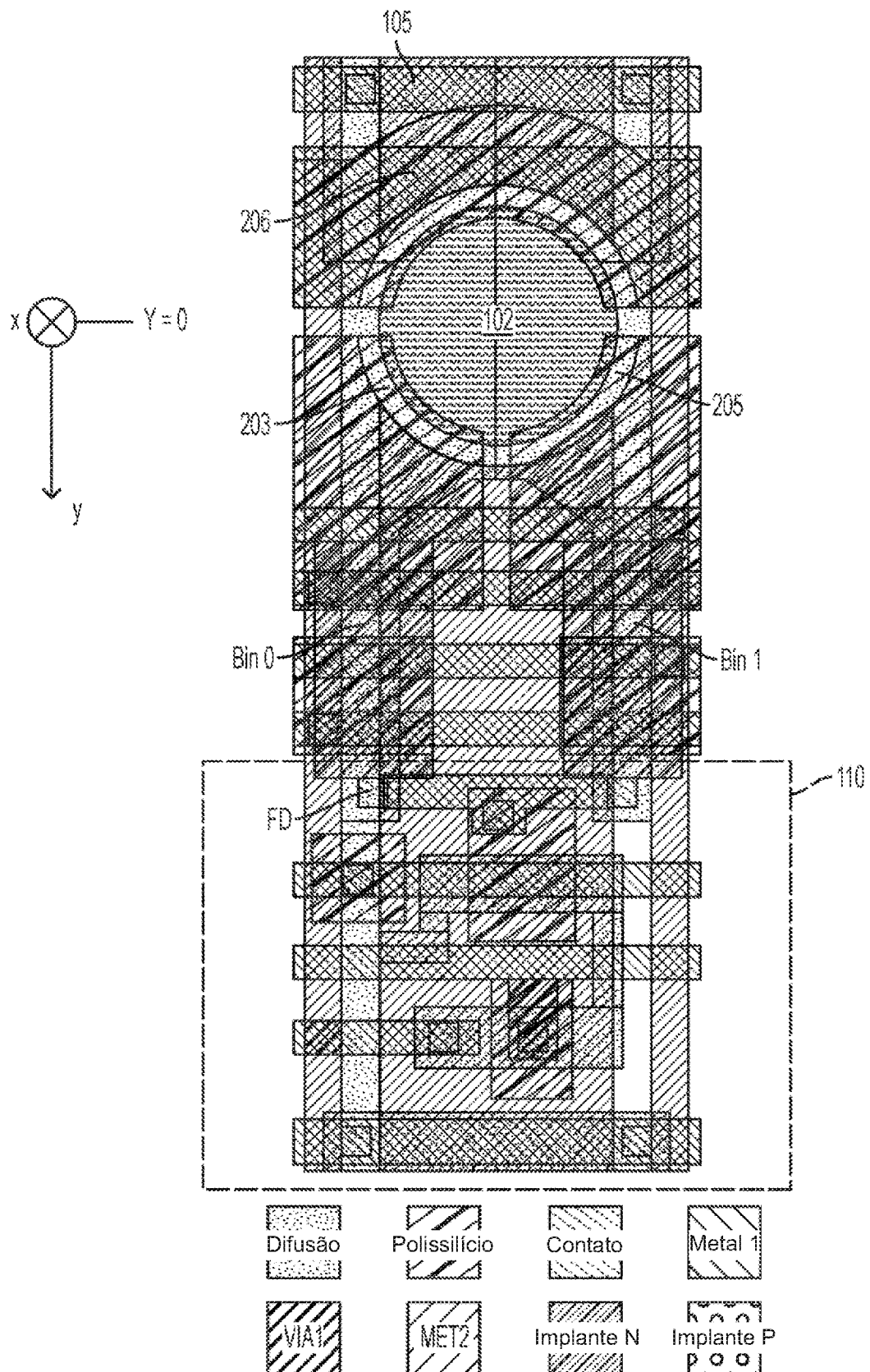


FIG. 8

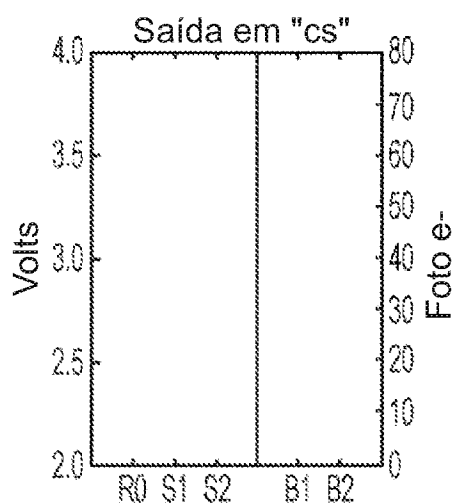


FIG. 9

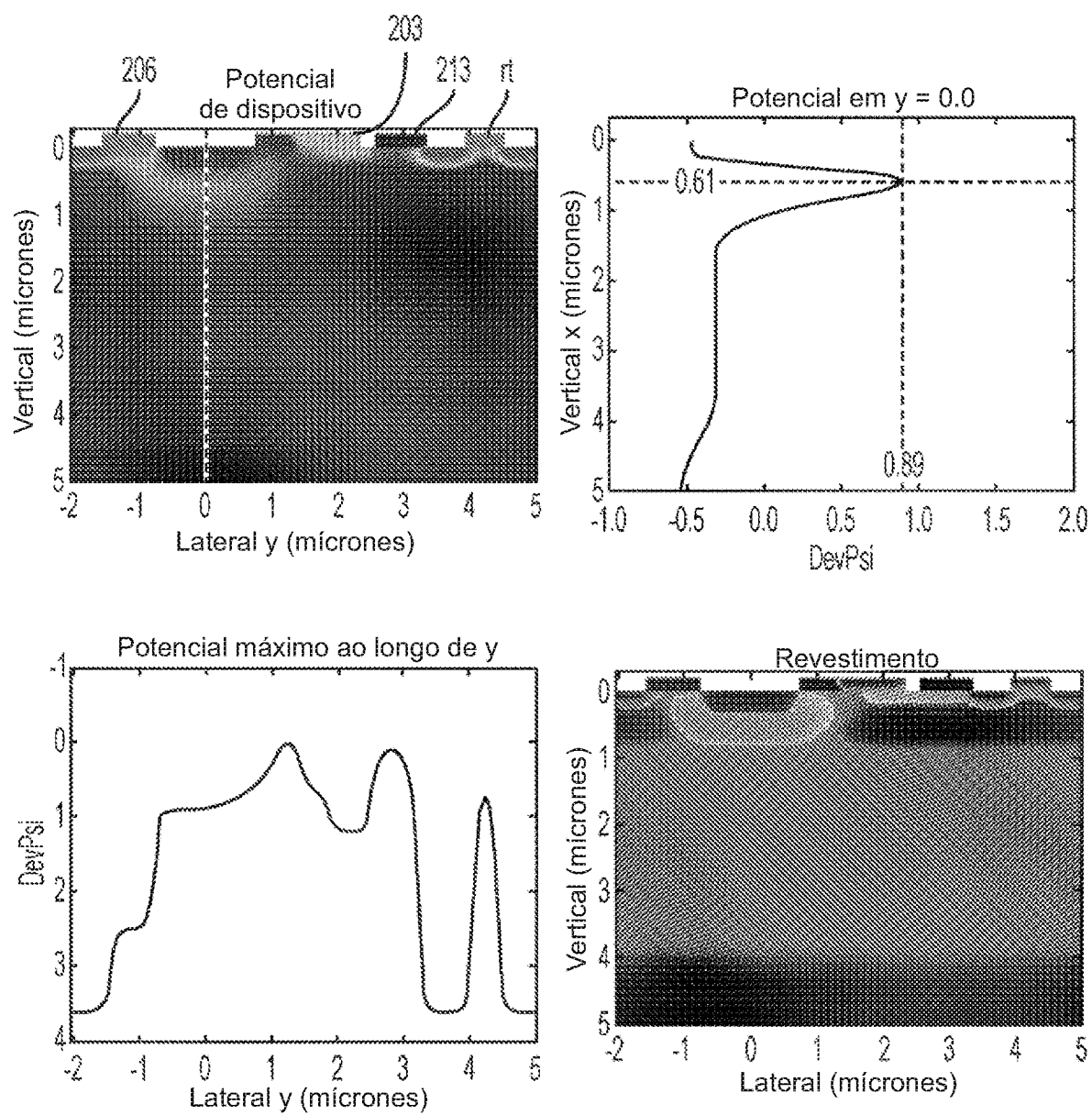


FIG. 10

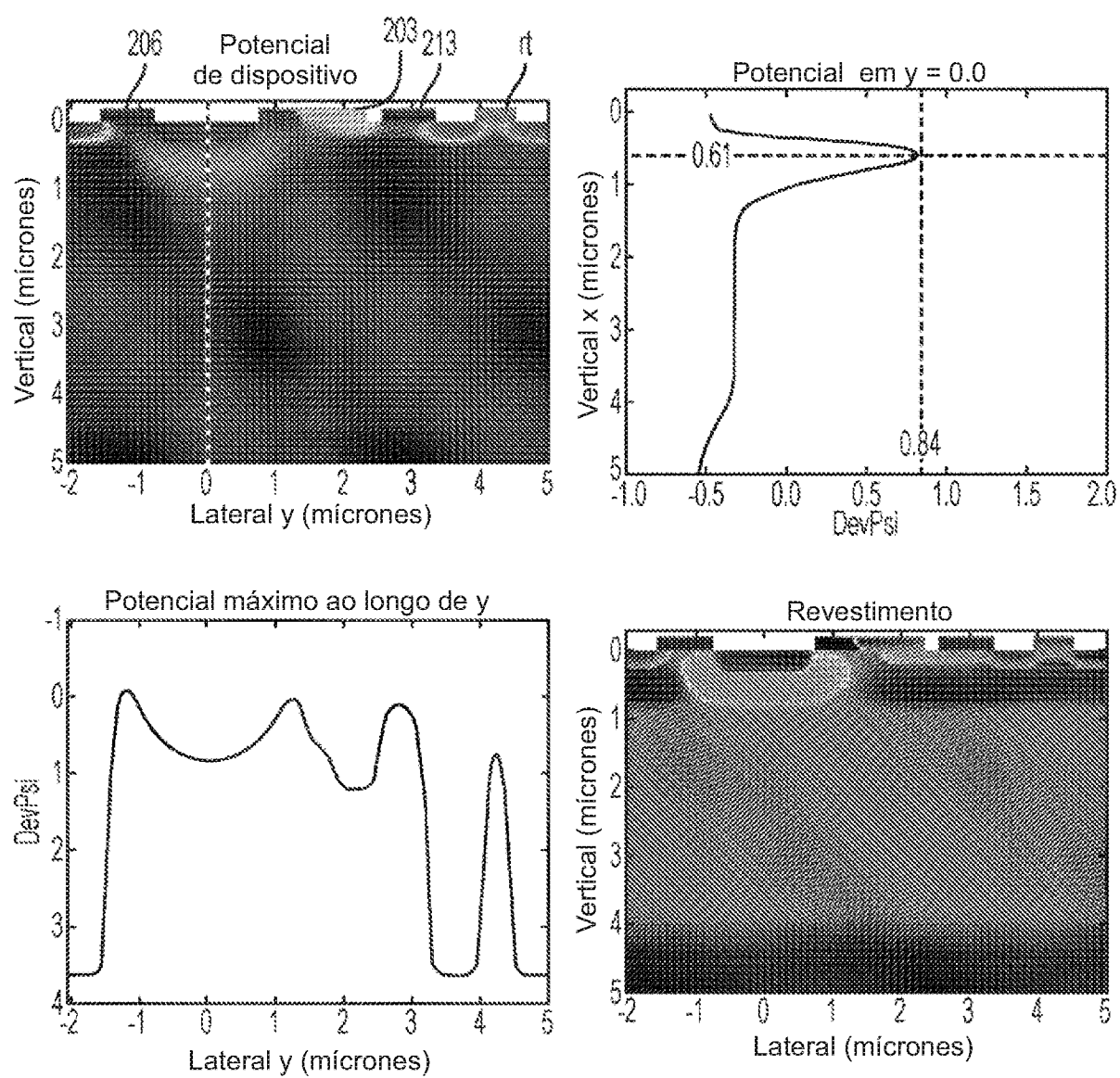


FIG. 11

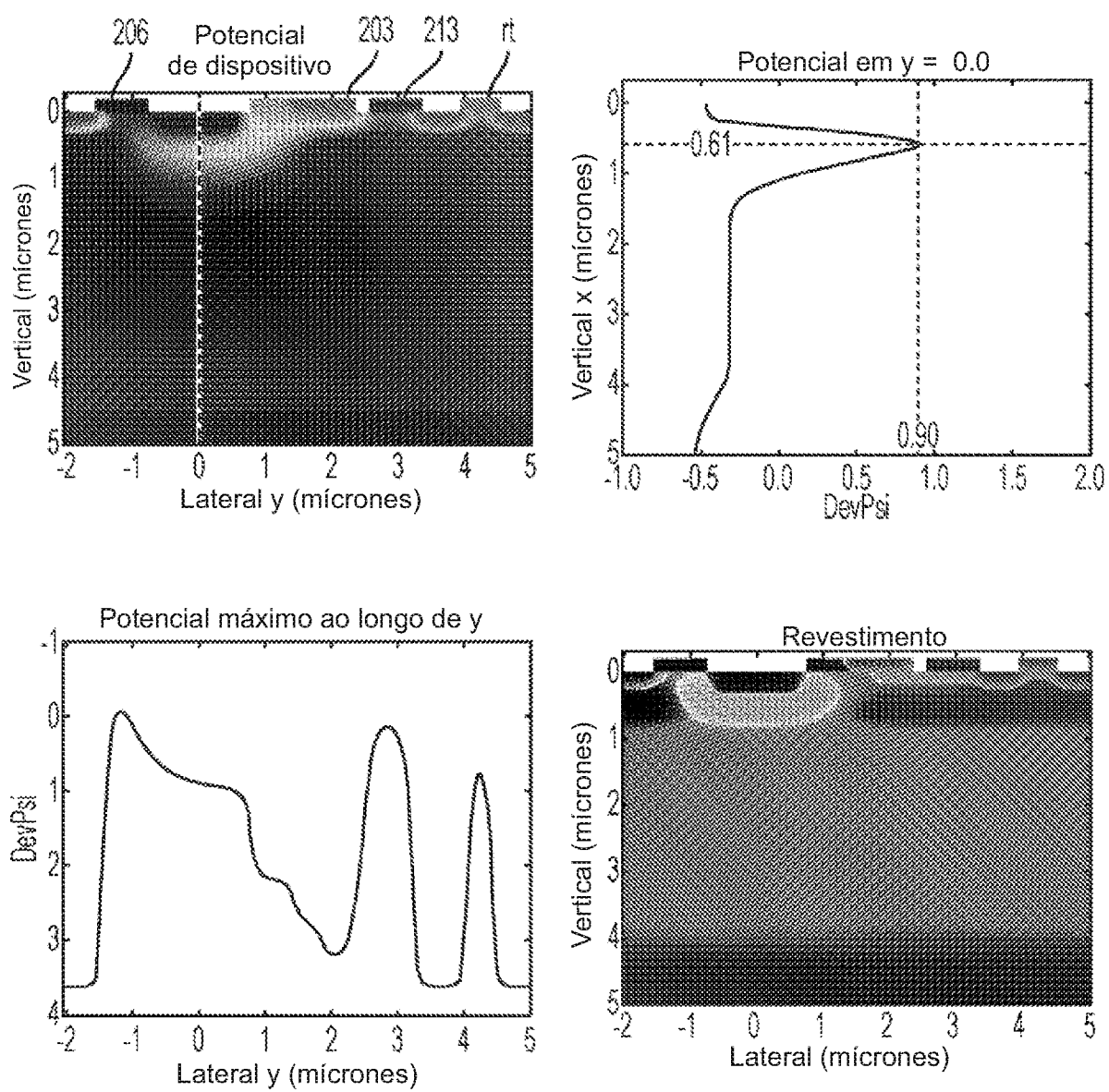


FIG. 12

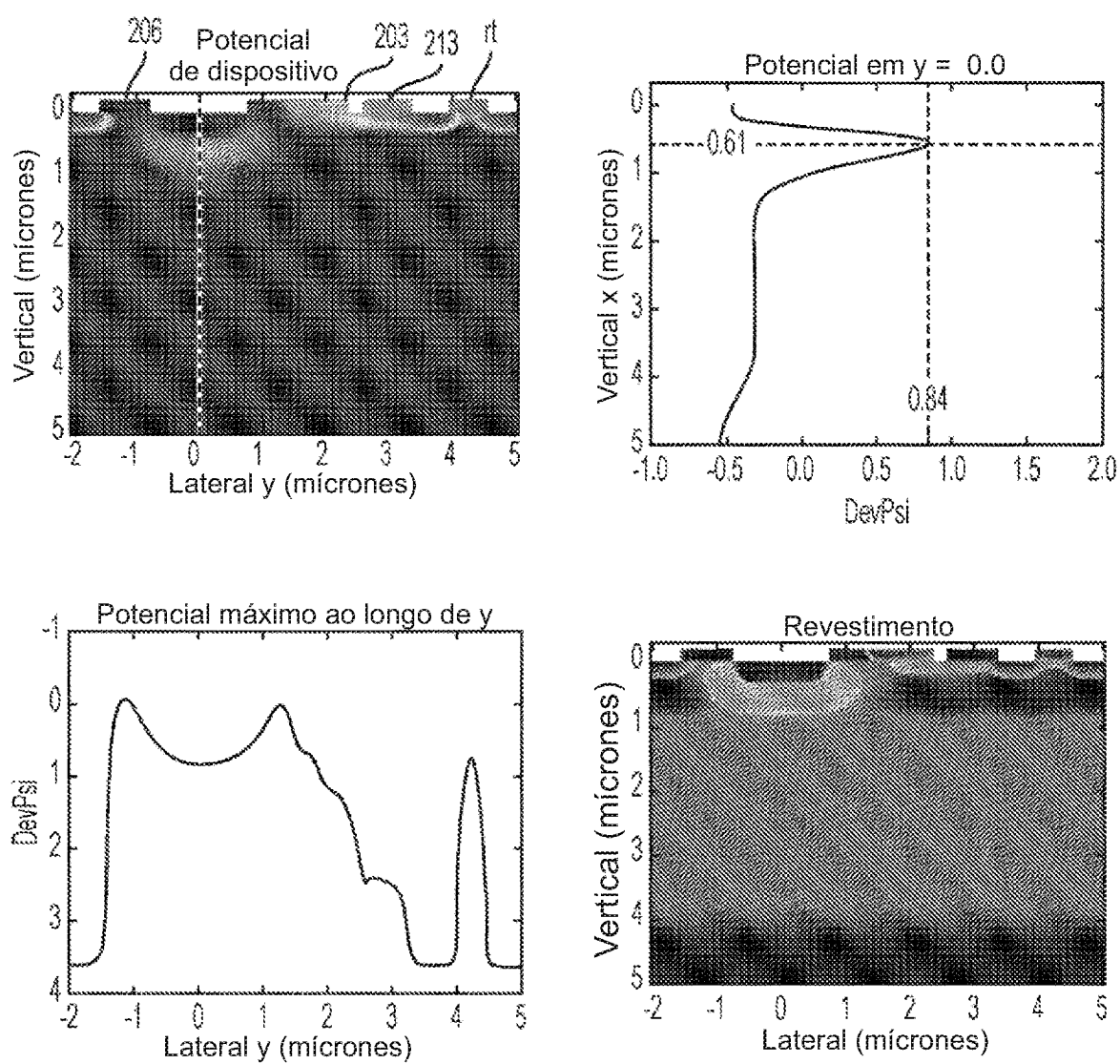


FIG. 13

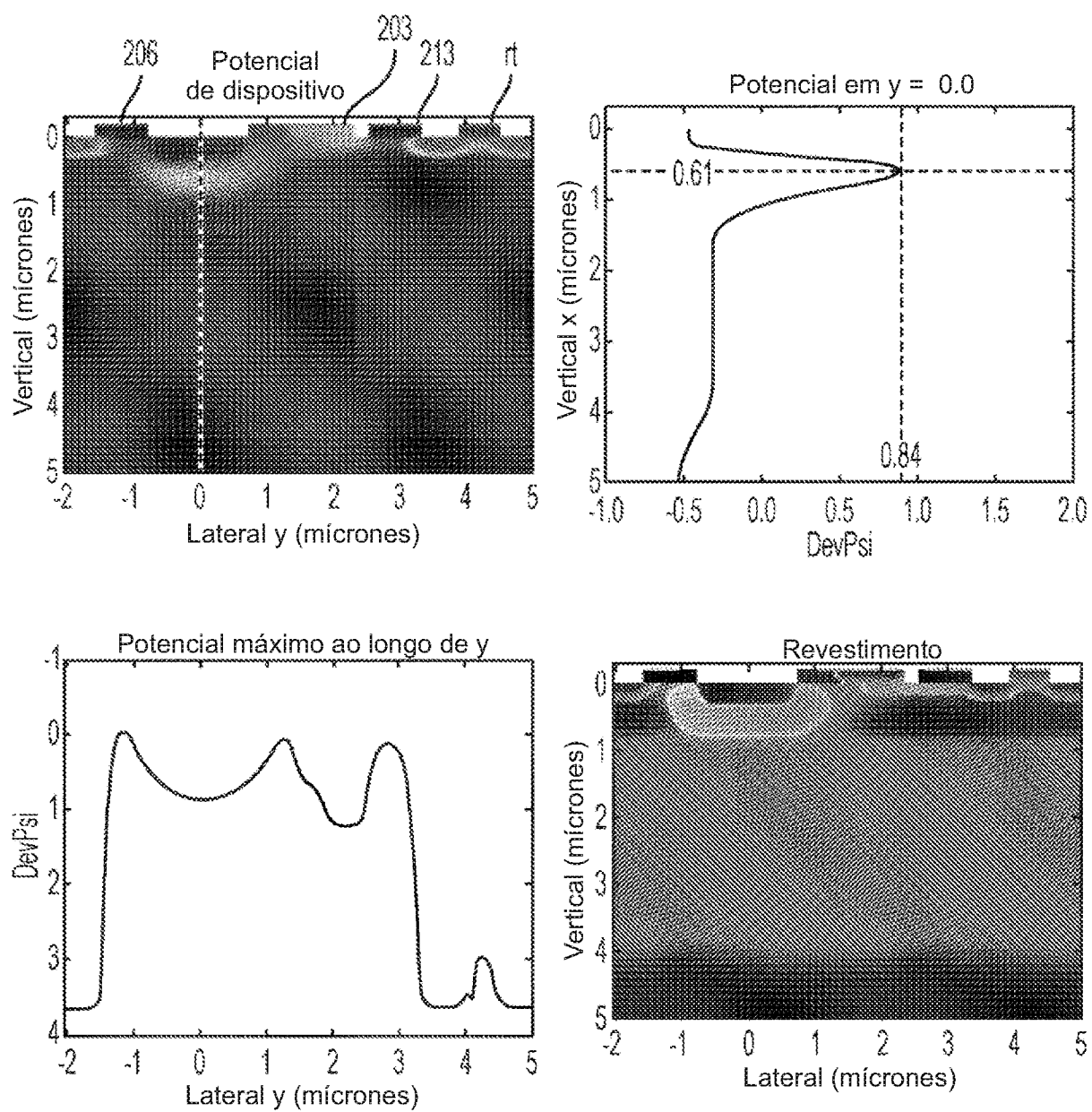


FIG. 14

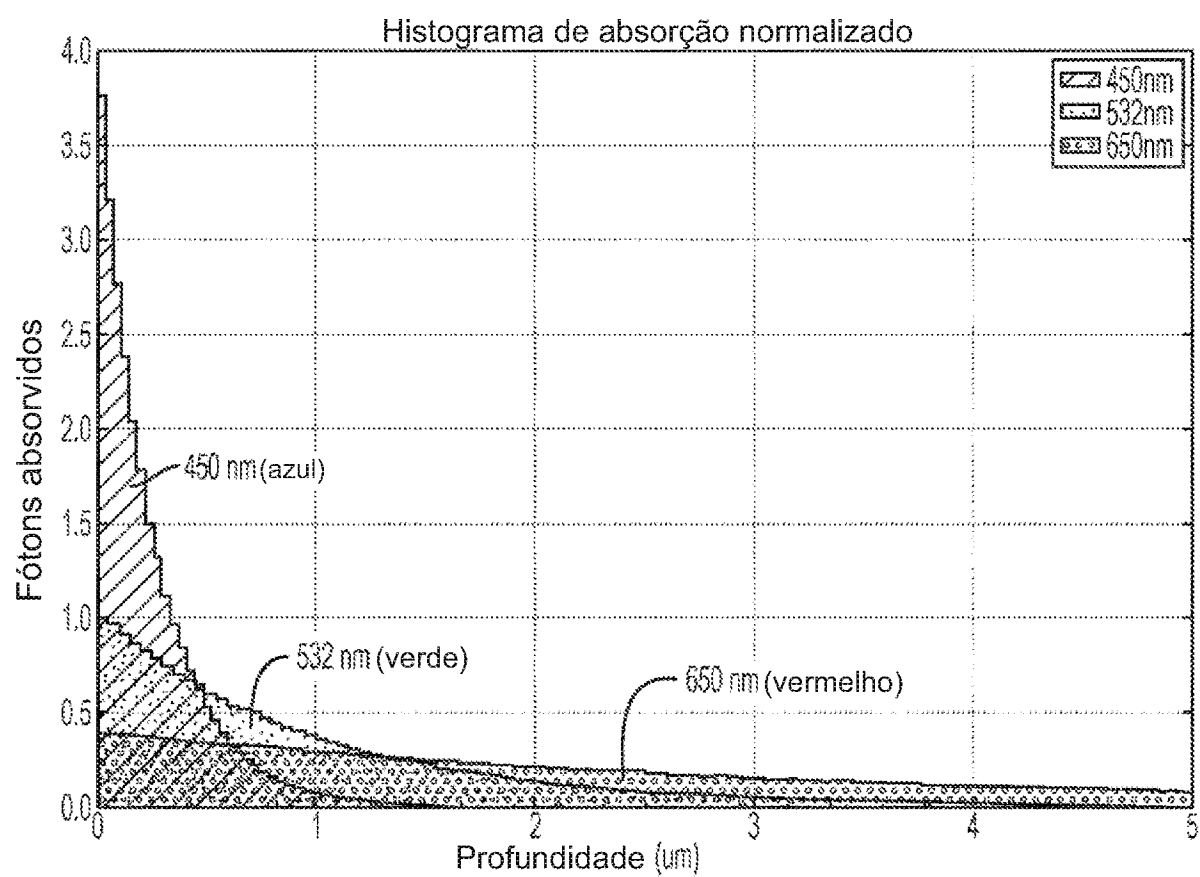


FIG. 15

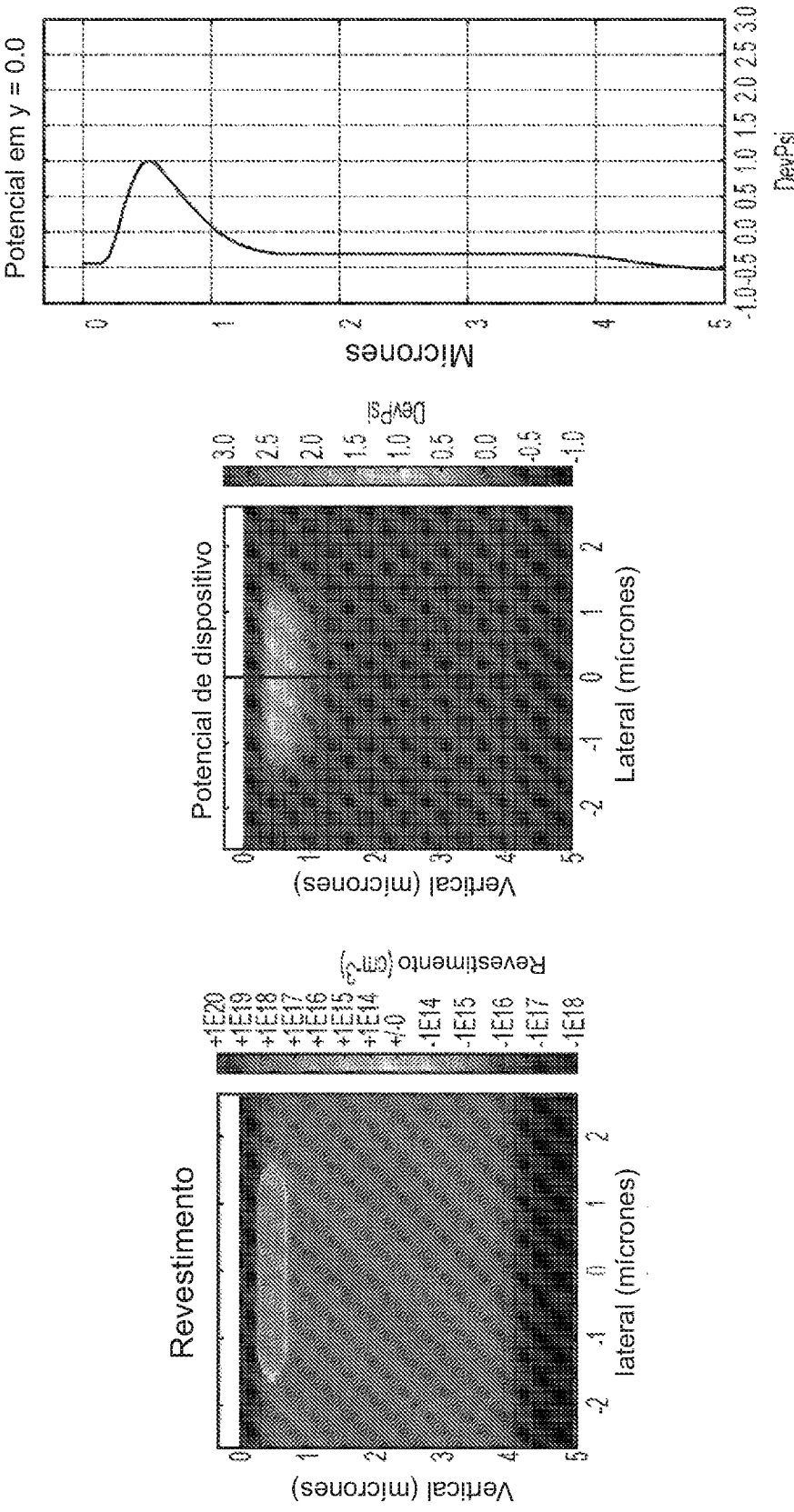


FIG. 16

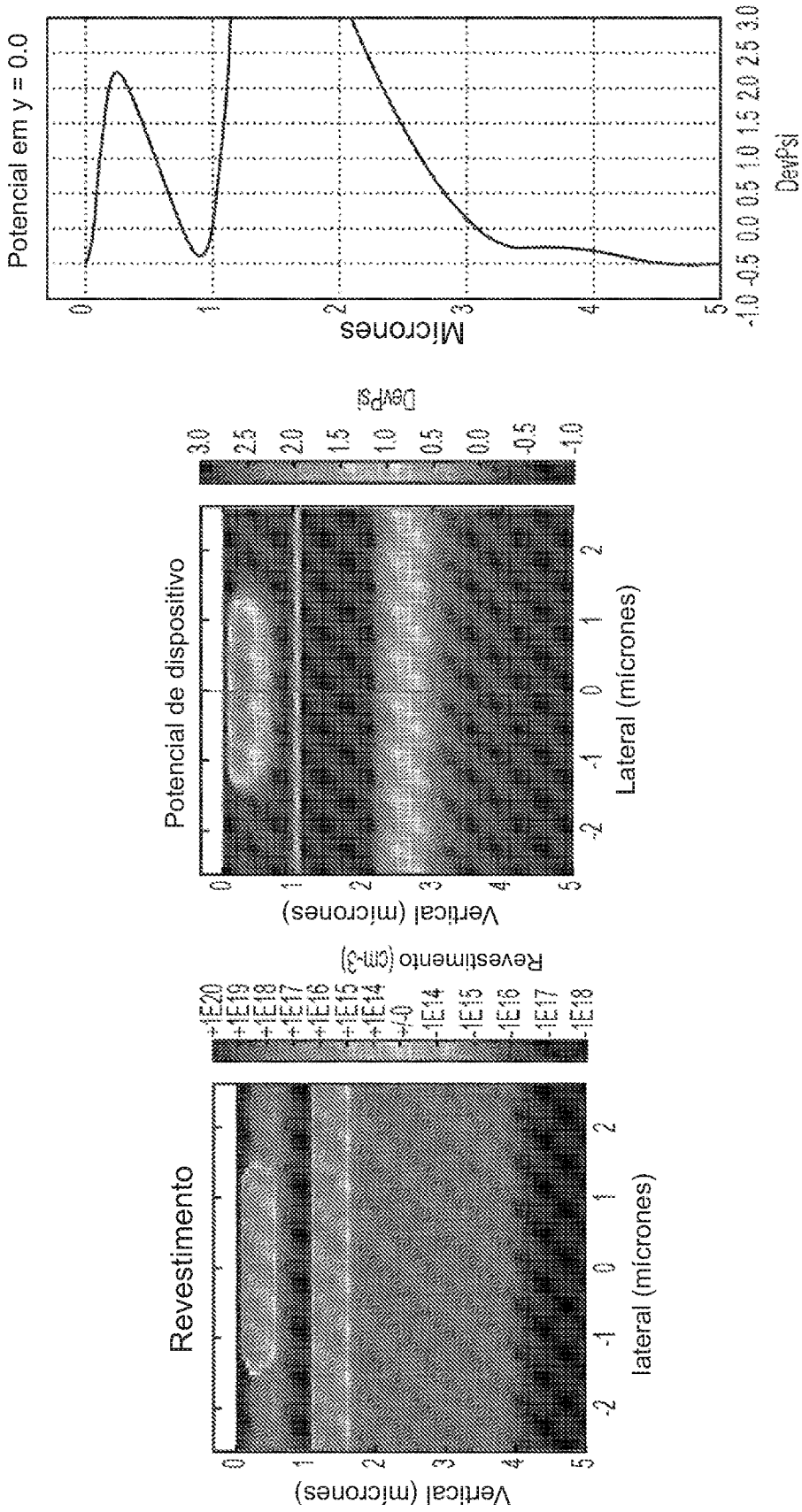


FIG. 17

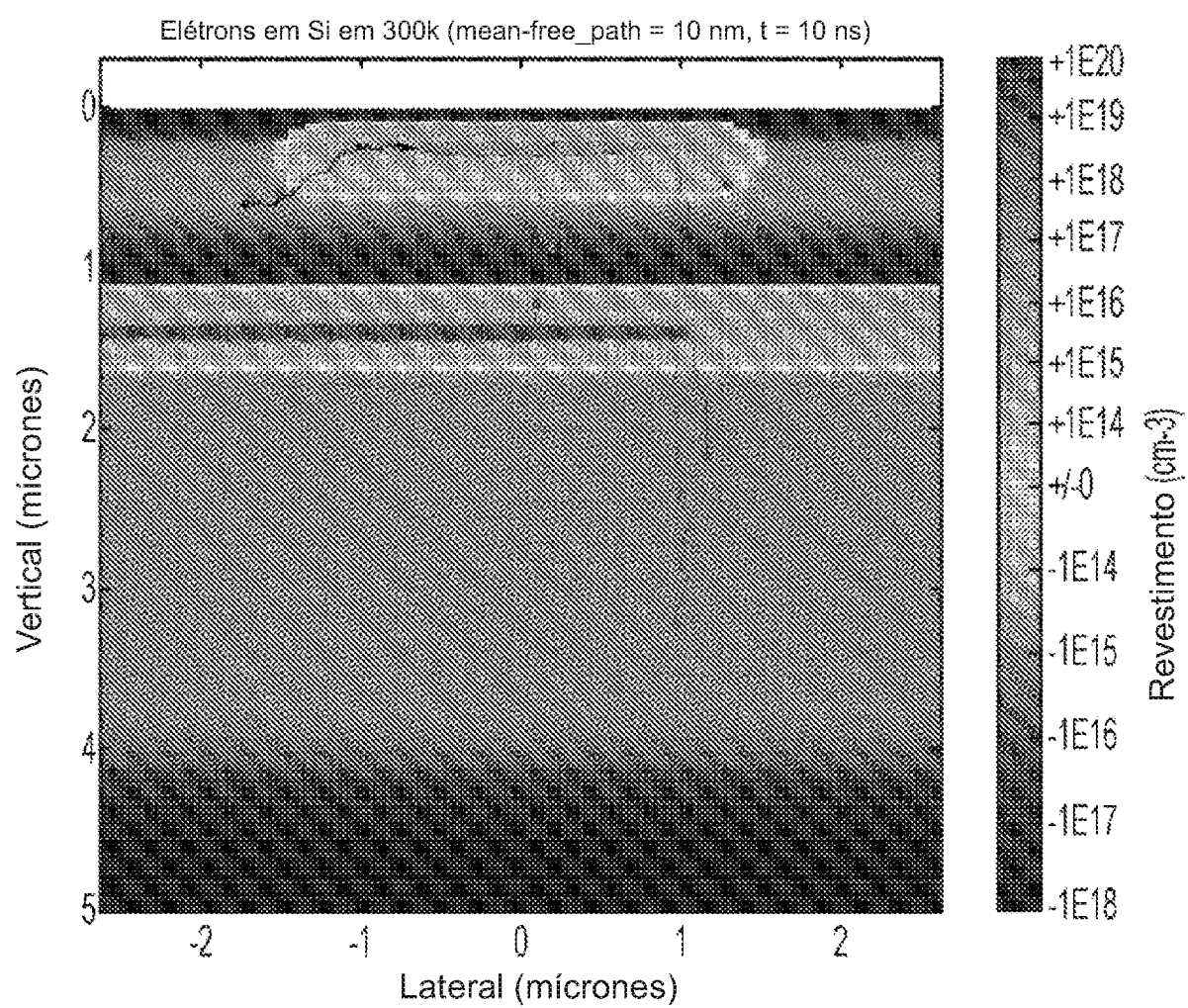


FIG. 18

Dreno embutido do tipo N

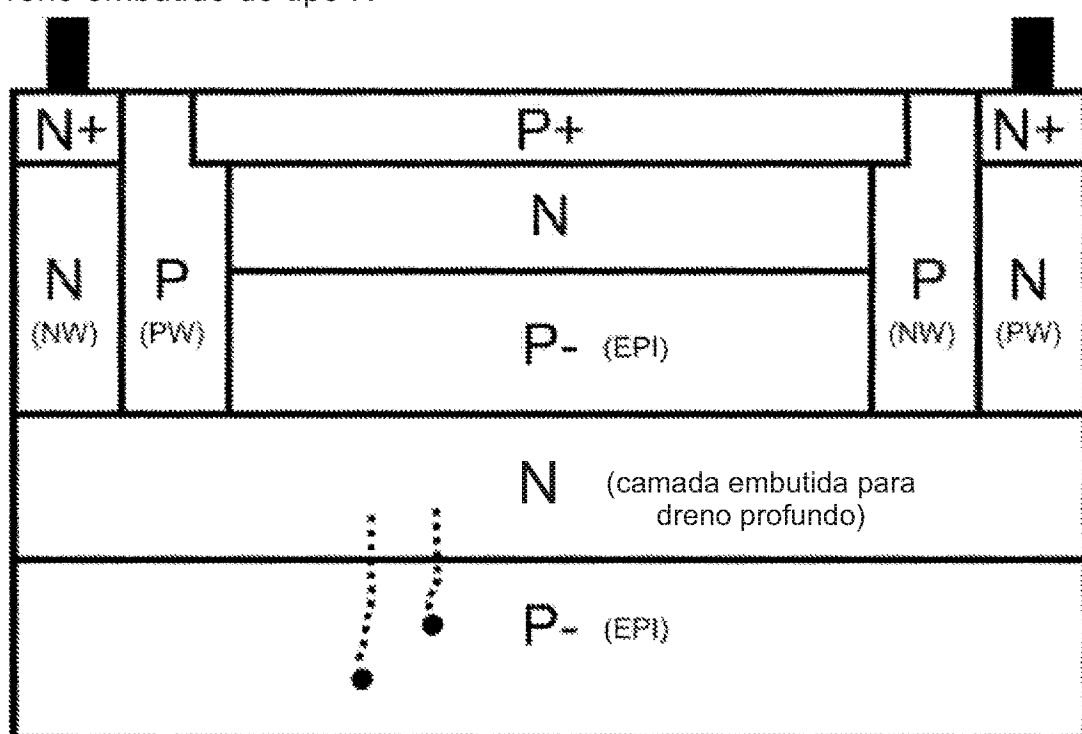


FIG. 19

Proteção embutida do tipo P

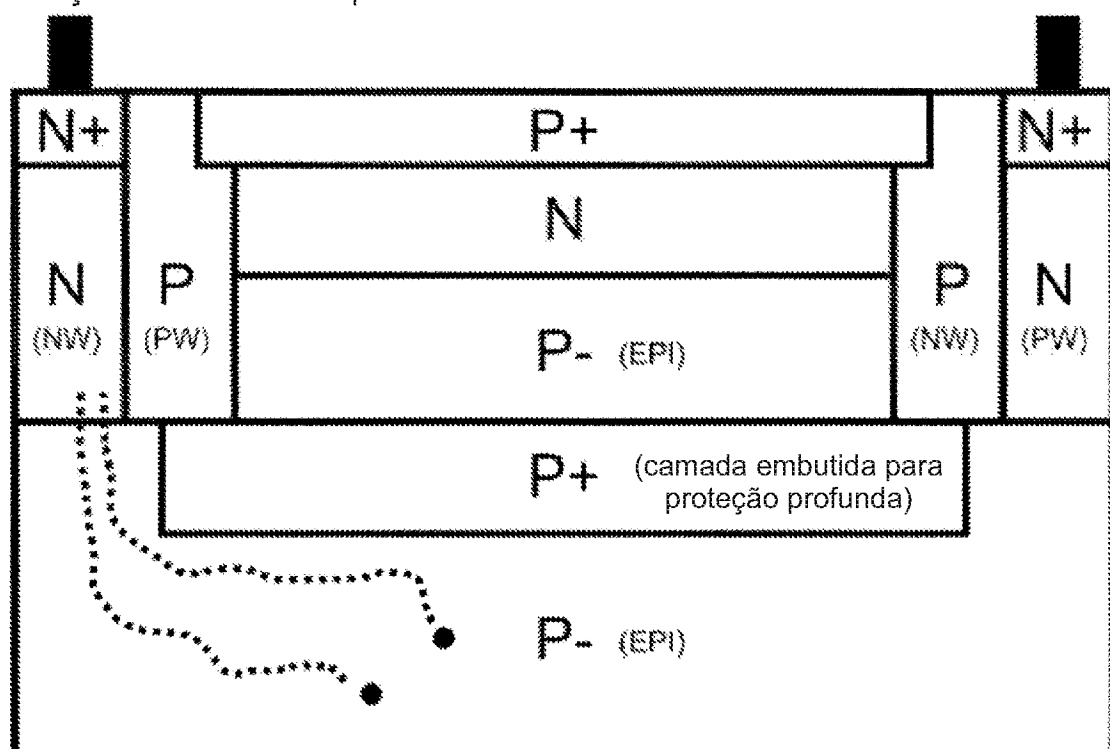


FIG. 20

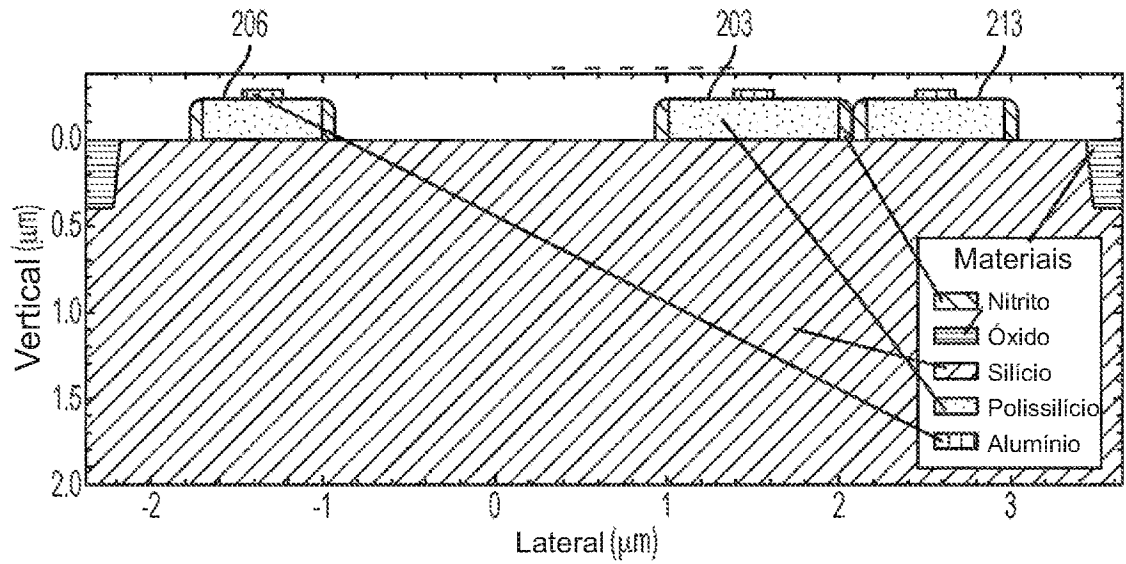


FIG. 21

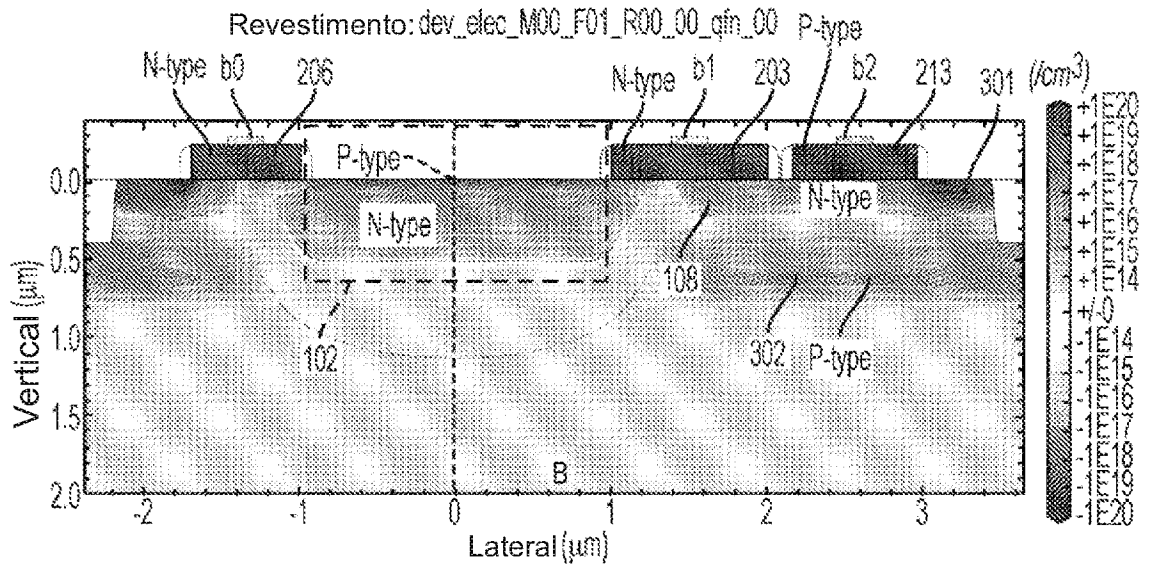


FIG. 22

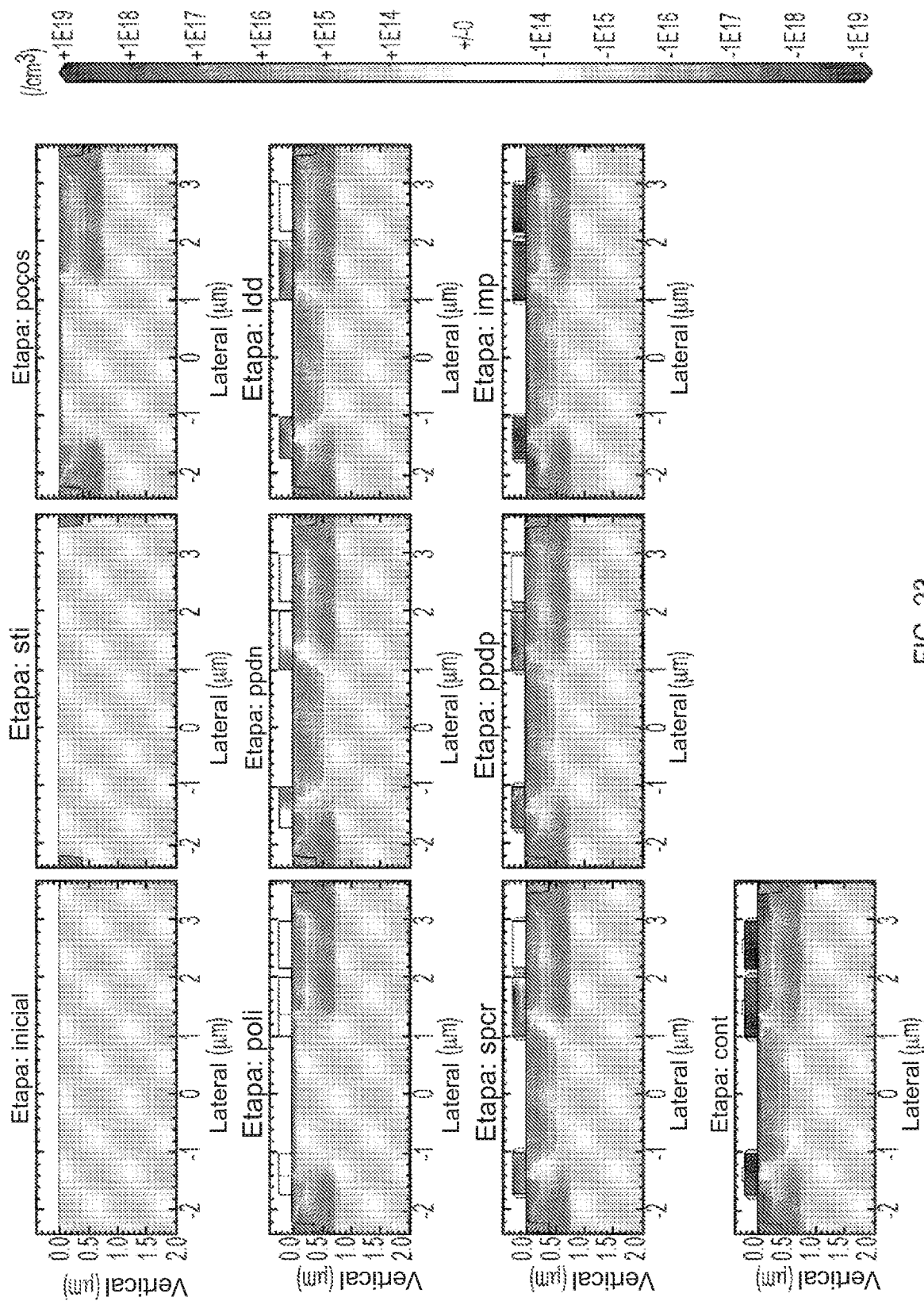


FIG. 23

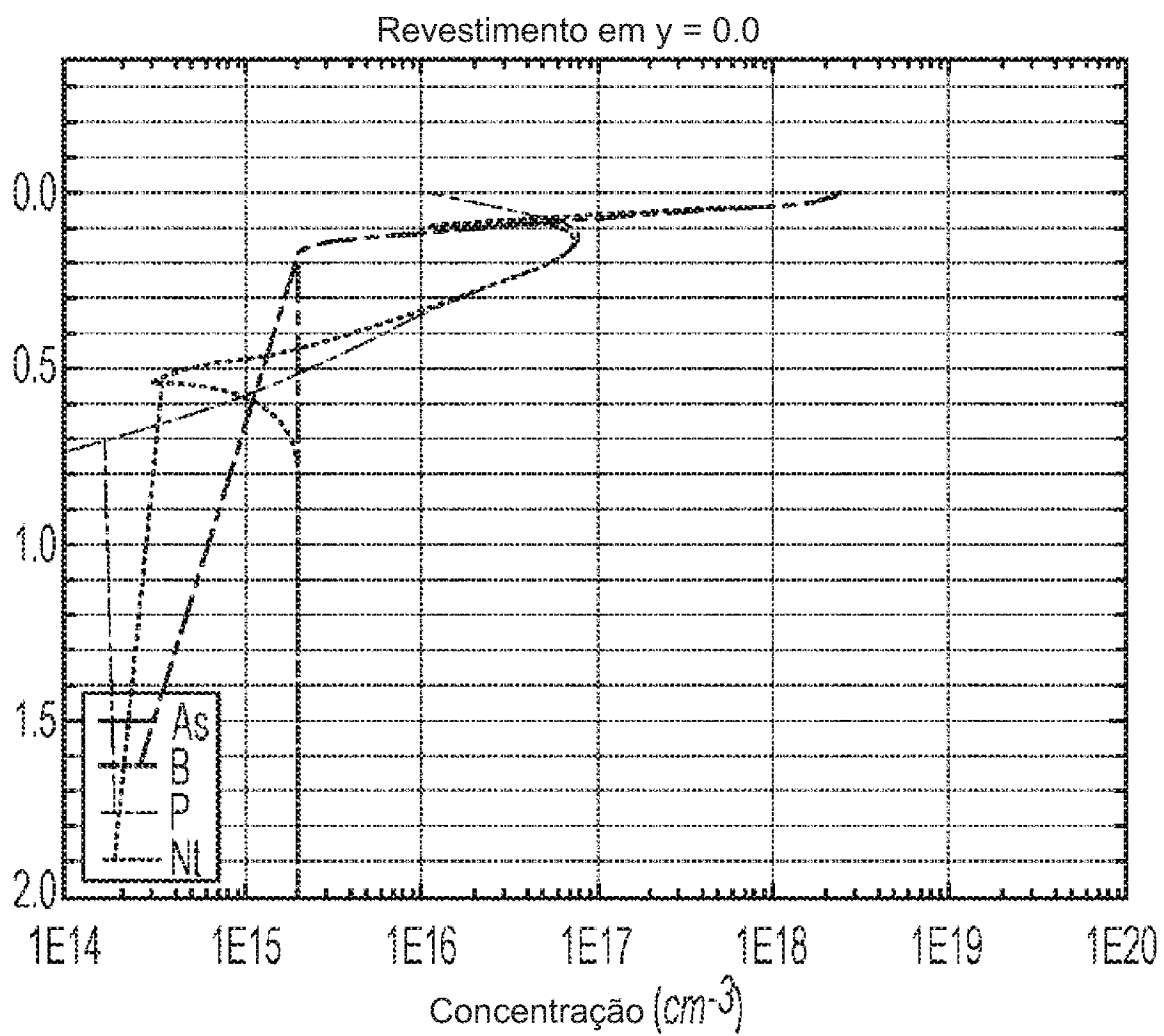


FIG. 24

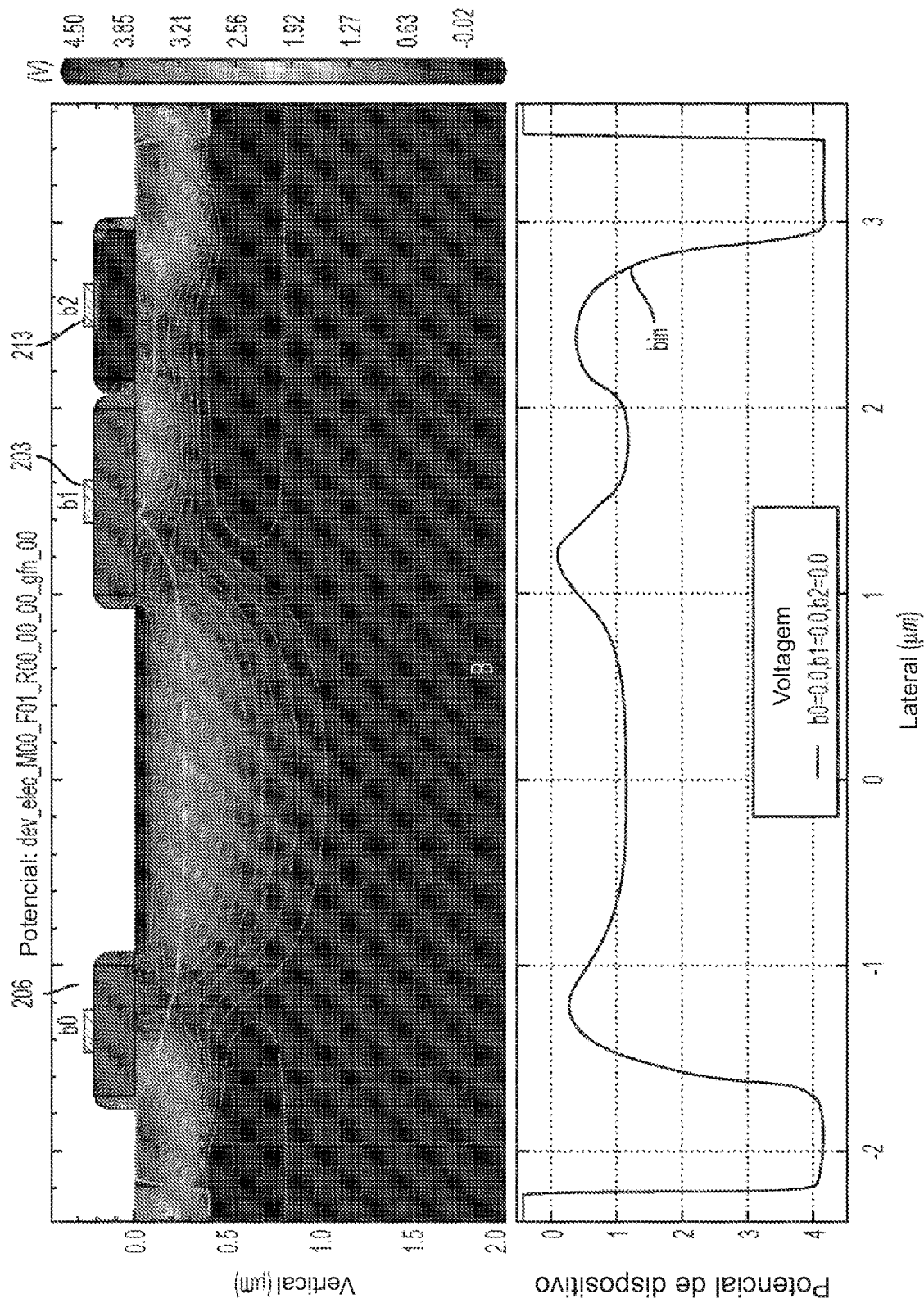


FIG. 25

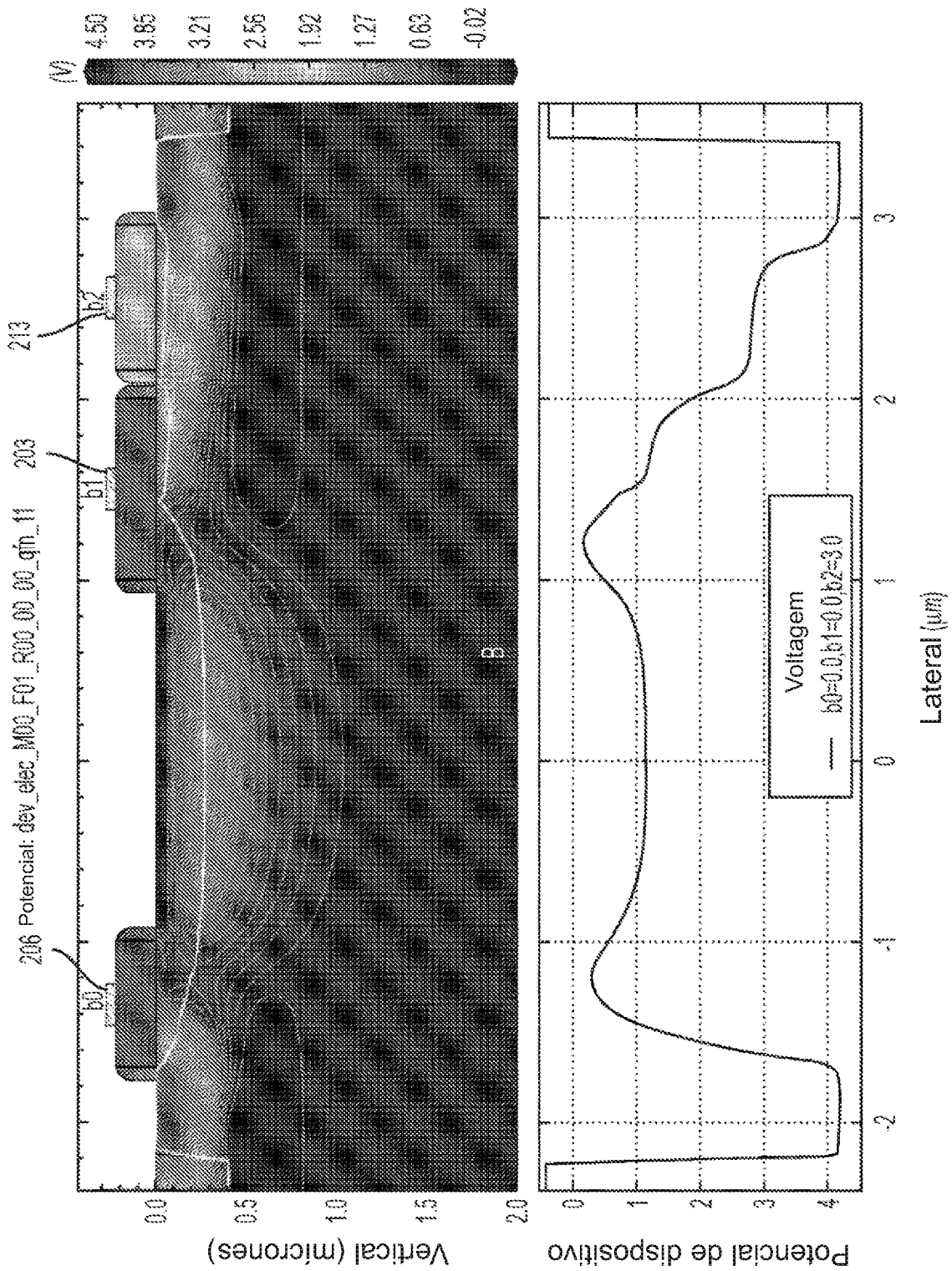


FIG. 26

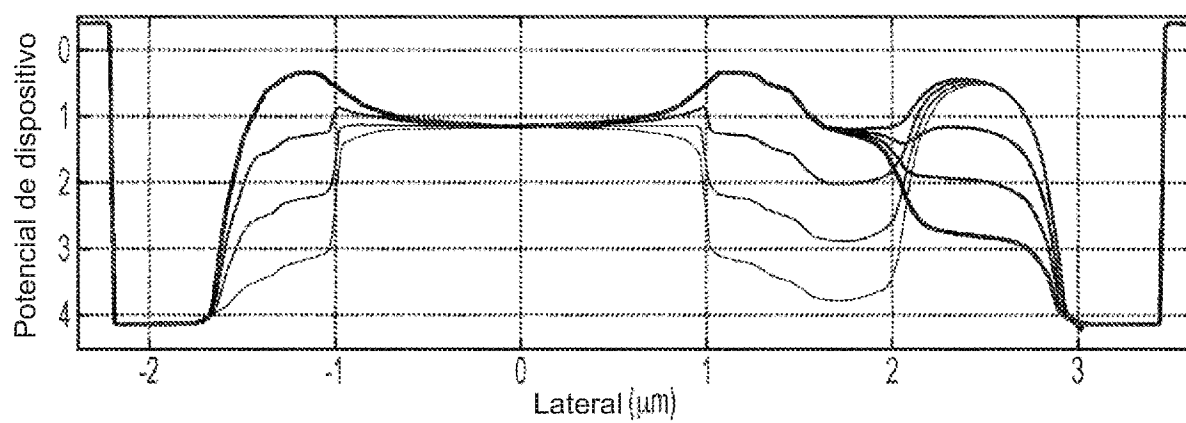
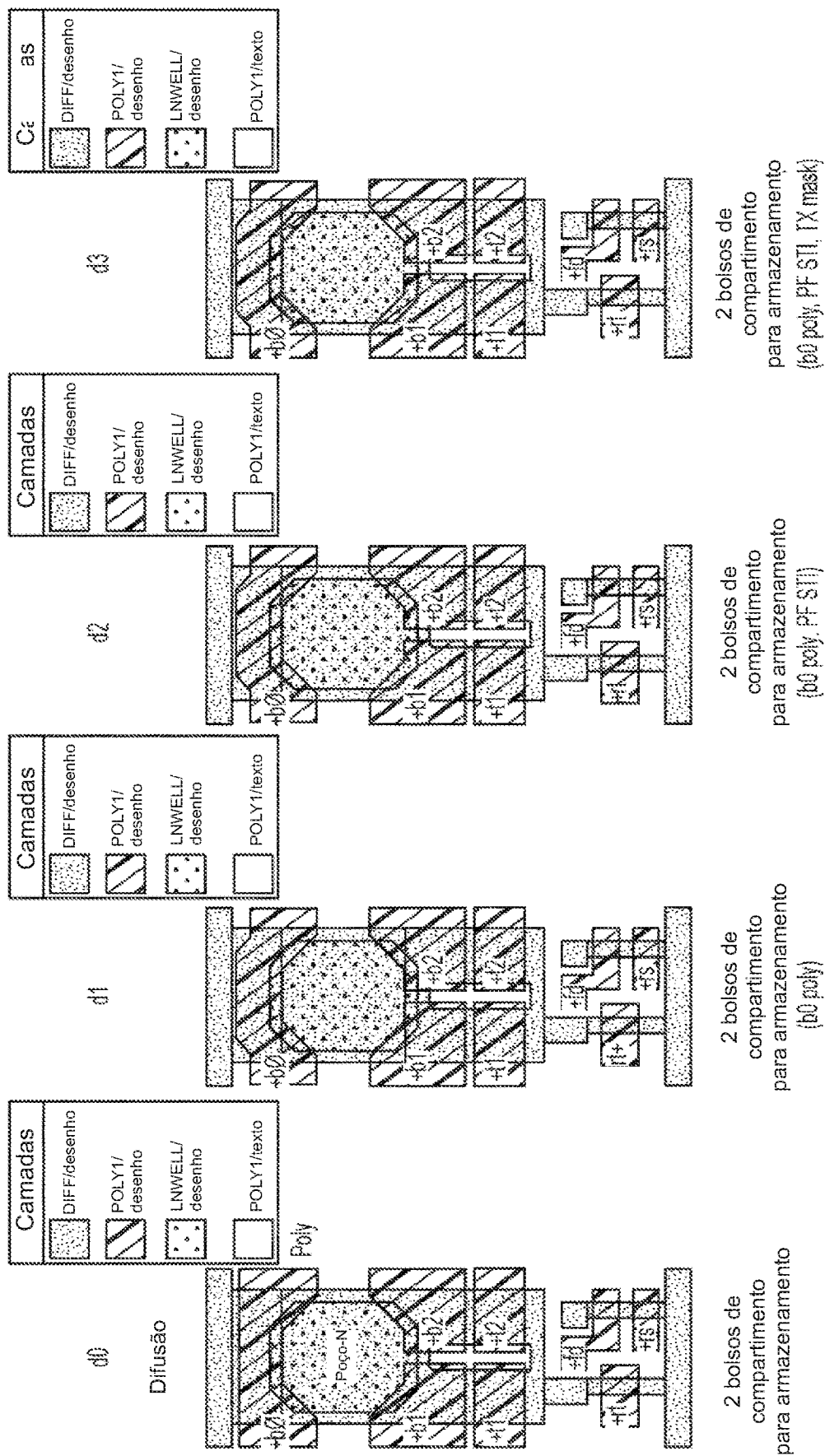
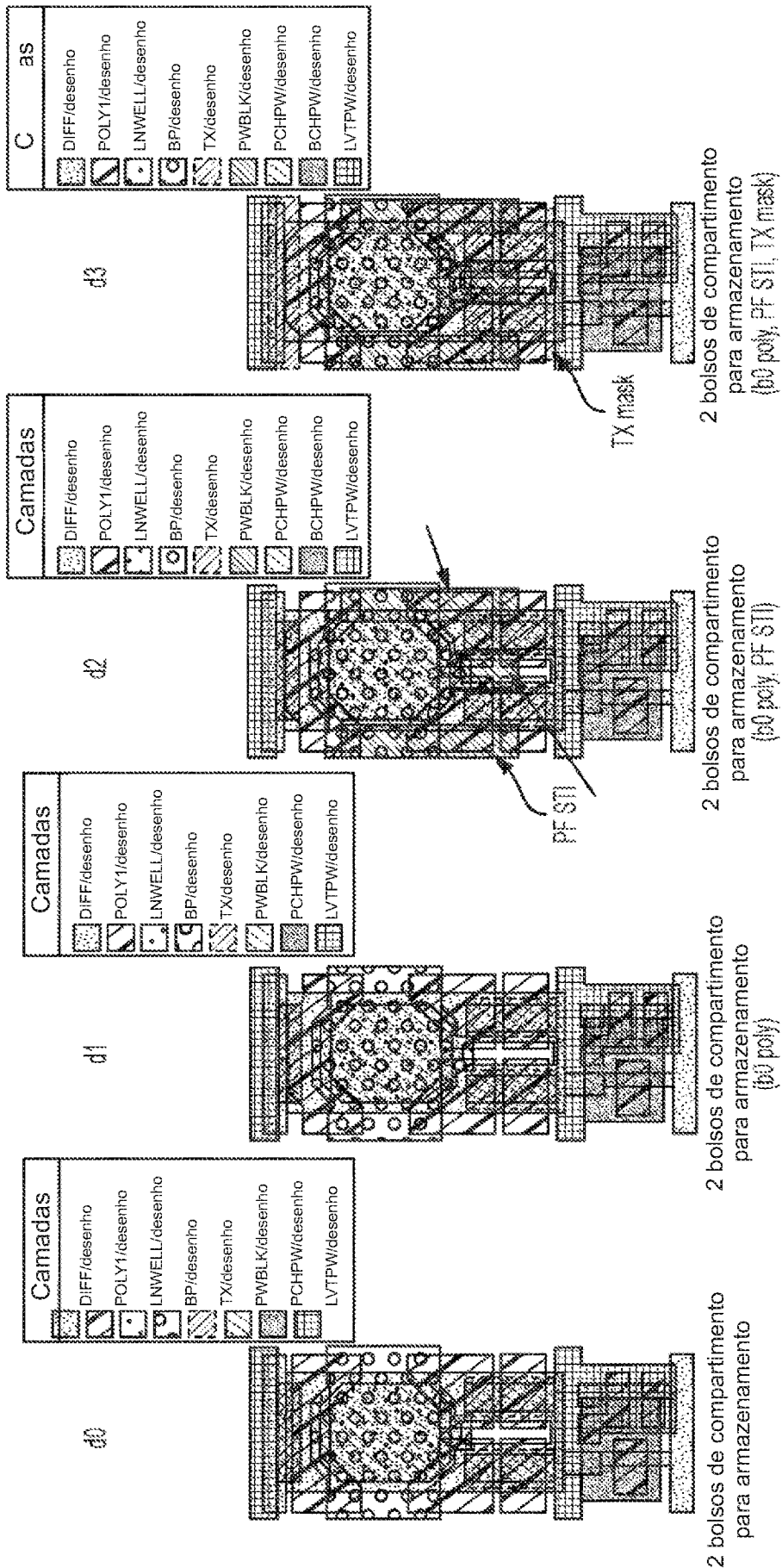


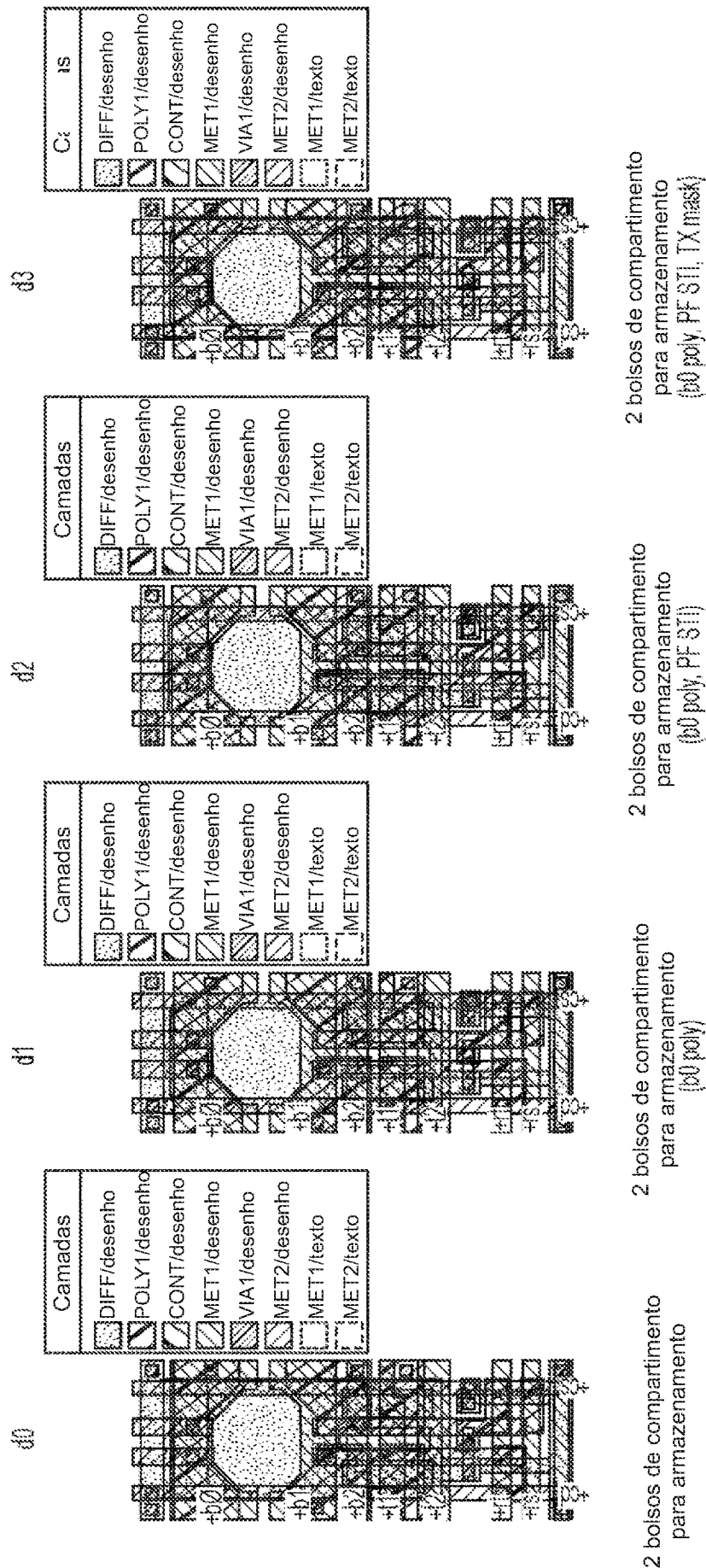
FIG. 27



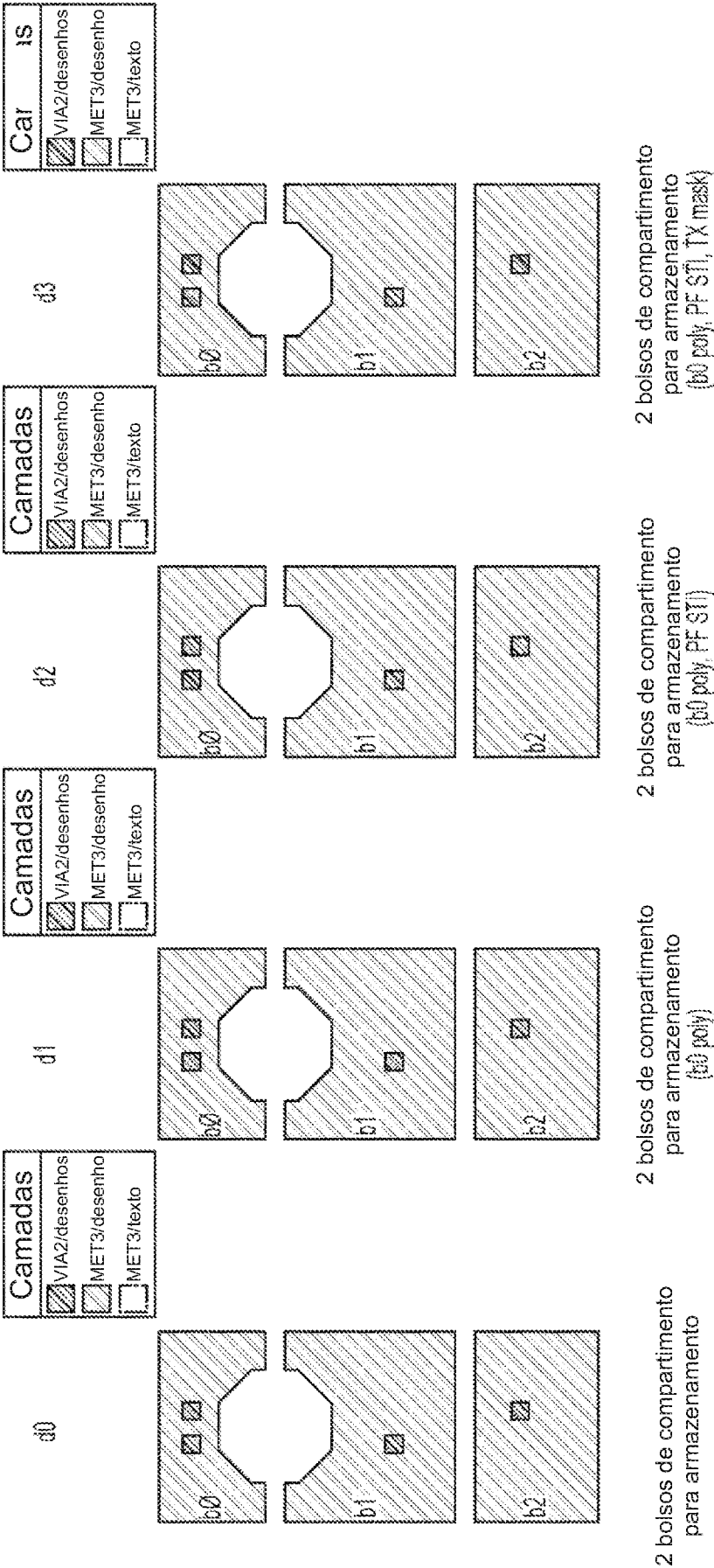
Nível 0
FIG. 28



Nível 1
FIG. 29

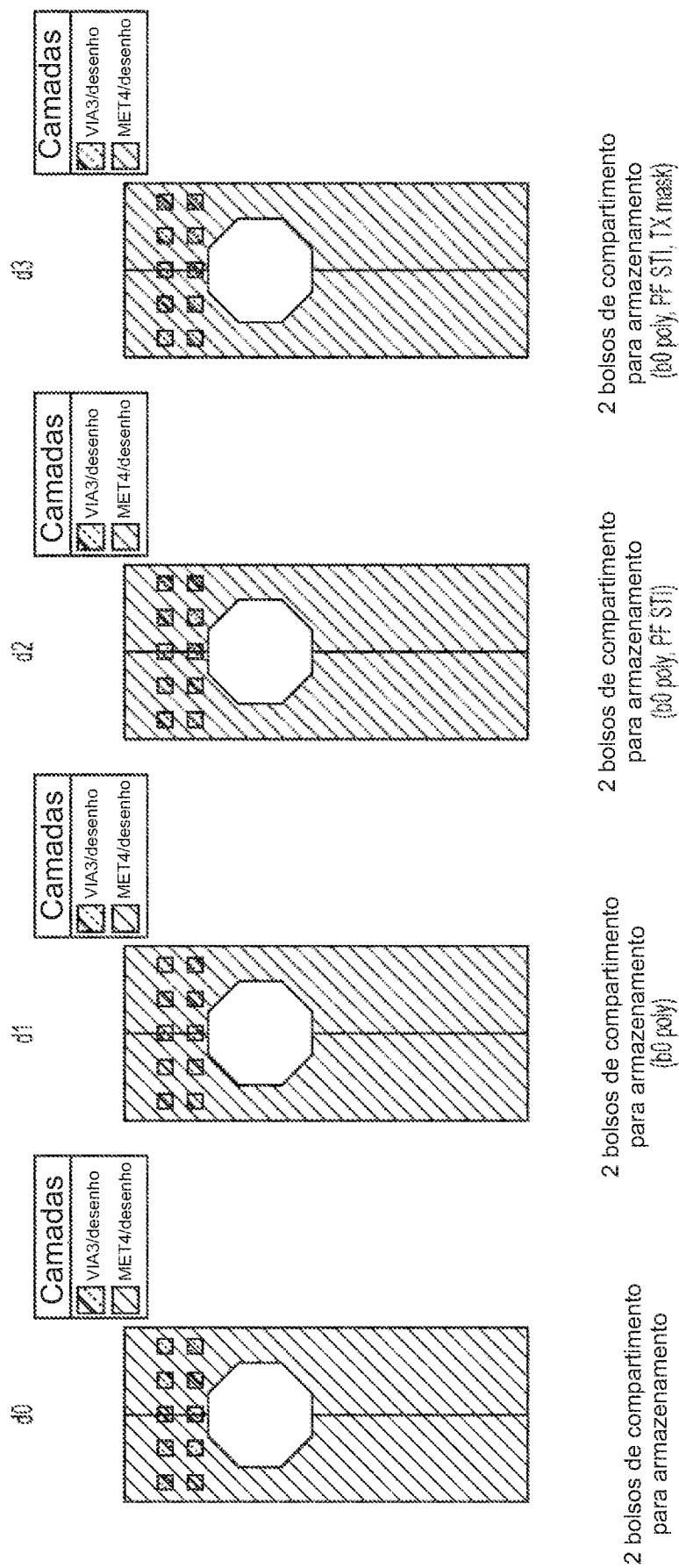


Nível 2
FIG. 30



Nível 3

FIG. 31



Nível 4
FIG. 32

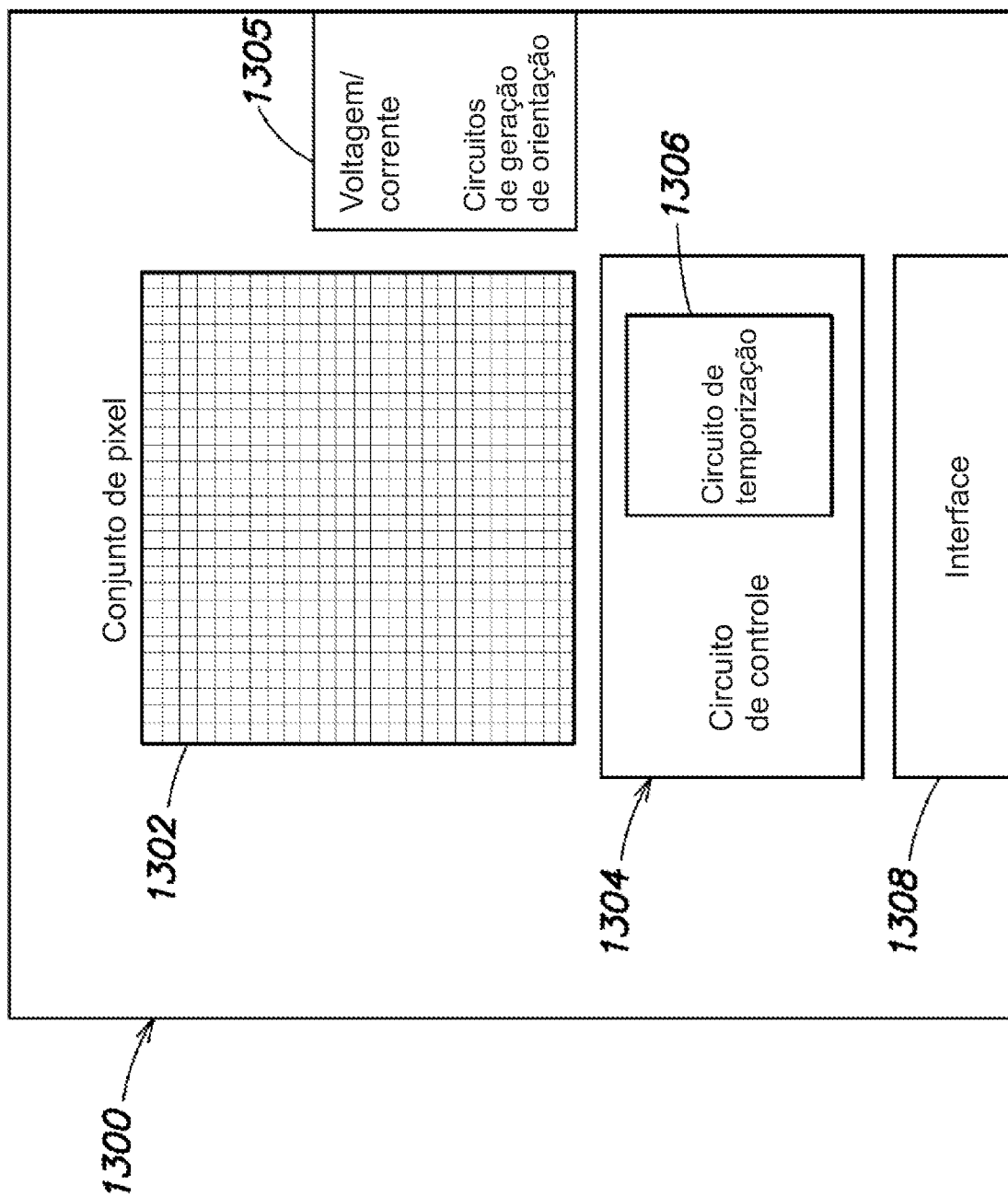


FIG. 33

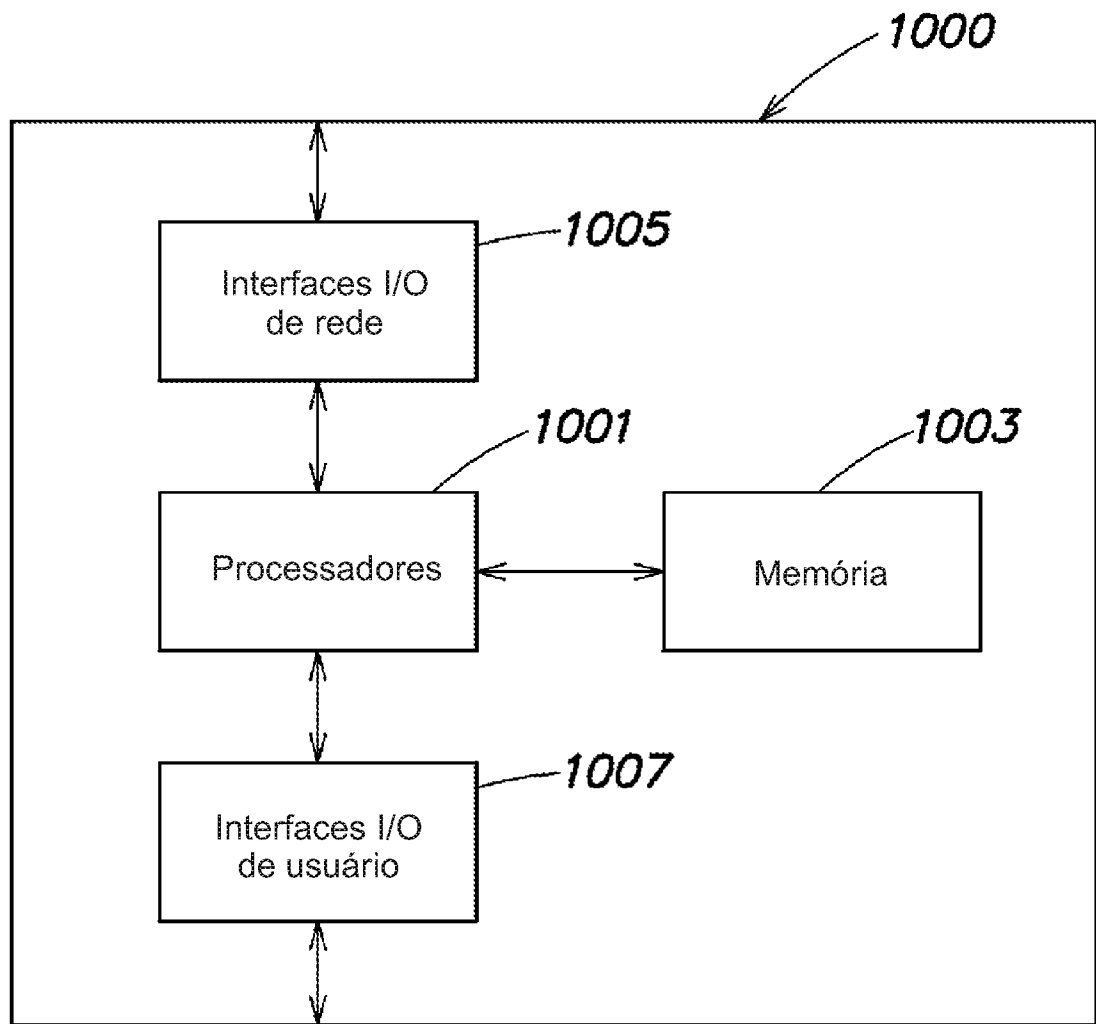


FIG. 34

RESUMO

Patente de Invenção: **"FOTODETECTOR INTEGRADO COM PIXEL DE ACONDICIONAMENTO DIRETO"**.

A presente invenção refere-se a um circuito integrado que inclui uma região de fotodetecção configurada para receber fótons incidentes. A região de fotodetecção é configurada para produzir uma pluralidade de portadores de carga em resposta aos fótons incidentes. O circuito integrado inclui pelo menos uma região de armazenamento de portador de carga. O circuito integrado também inclui uma estrutura de segregação de portador de carga configurada para direcionar seletivamente os portadores de carga dentre a pluralidade de portadores de carga diretamente para dentro de pelo menos uma região de armazenamento de portador de carga com base nos momentos em que os portadores de carga foram produzidos.