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

(11) BR 112016014406-6 B1

(22) Data do Depósito: 12/12/2014

(45) Data de Concessão: 04/01/2022

(54) Título: FABRICAÇÃO DE REGIÕES EMISSORAS DE CÉLULAS SOLARES COM ARQUITETURAS DIFERENCIADAS DAS REGIÕES TIPO P E TIPO N

(51) Int.Cl.: H01L 31/049.

(30) Prioridade Unionista: 20/12/2013 US 14/136,751.

(73) Titular(es): SUNPOWER CORPORATION.

(72) Inventor(es): SEUNG BUM RIM; DAVID D. SMITH; TAIQING QIU; STAFFAN WESTERBERG; KIERAN MARK TRACY; VENKATASUBRAMANI BALU.

(86) Pedido PCT: PCT US2014070163 de 12/12/2014

(87) Publicação PCT: WO 2015/094987 de 25/06/2015

(85) Data do Início da Fase Nacional: 17/06/2016

(57) Resumo: FABRICAÇÃO DE REGIÕES EMISSORAS DE CÉLULAS SOLARES COM ARQUITETURAS DIFERENCIADAS DAS REGIÕES TIPO P E TIPO N. A presente revelação apresenta métodos de fabricação de regiões emissoras de células solares com arquiteturas diferenciadas das regiões tipo P e tipo N e células solares resultantes. Em um exemplo, uma célula solar de contato posterior inclui um substrato que tem uma superfície de recepção de luz e uma superfície posterior. Uma primeira região emissora de silício policristalino de um primeiro tipo de condutividade é disposta sobre uma primeira camada dielétrica delgada disposta sobre a superfície posterior do substrato. Uma segunda região emissora de silício policristalino de um segundo tipo, diferente, de condutividade é disposto sobre uma segunda camada dielétrica delgada disposta sobre a superfície posterior do substrato. Uma terceira camada dielétrica delgada disposta lateralmente e diretamente entre a primeira e a segunda regiões emissoras de silício policristalino. Uma primeira estrutura de contato condutivo é disposta sobre a primeira região emissora de silício policristalino. Uma segunda estrutura de contato condutivo é disposta sobre a segunda região emissora de silício policristalino.

"FABRICAÇÃO DE REGIÕES EMISSORAS DE CÉLULAS SOLARES COM ARQUITETURAS DIFERENCIADAS DAS REGIÕES TIPO P E TIPO N"

CAMPO TÉCNICO

[0001] As modalidades da presente revelação estão no campo de energia renovável e, em particular, nos métodos de fabricação de regiões emissoras de células solares com arquiteturas diferenciadas das regiões tipo N e tipo P e células solares resultantes.

ANTECEDENTES

[0002] Células fotovoltaicas, comumente conhecidas como células solares, são dispositivos bem conhecidos para conversão direta de radiação solar em energia elétrica. Em geral, as células solares são fabricadas sobre uma pastilha semicondutora ou substrato semicondutor com o uso de técnicas de processamento de semicondutores para formar uma junção p-n próximo a uma superfície do substrato. A radiação solar que incide sobre a superfície do substrato e penetra em seu interior cria pares de elétron-buraco (espaços vazios sem elétrons) no volume do substrato. Os pares de elétron-buraco migram para as regiões de dopagem tipo p e de dopagem tipo n no substrato, gerando assim um diferencial de tensão entre as regiões dopadas. As regiões dopadas são conectadas às regiões condutoras sobre a célula solar para direcionar uma corrente elétrica da célula para um circuito externo acoplado à mesma.

[0003] Eficiência é uma característica importante de uma célula solar, pois está diretamente relacionada à capacidade da célula solar de gerar energia. De modo semelhante, a eficiência na produção de células solares está diretamente ligada à relação custo-eficácia de tais células solares. Consequentemente, as técnicas para aumentar a eficiência das células solares, ou técnicas para aumentar a eficiência na fabricação de células solares, são, em geral, desejáveis. Algumas modalidades da presente revelação possibilitam uma elevada eficiência de fabricação de células solares com o uso de processos inovadores de fabricação de estruturas de células solares. Algumas modalidades da presente revelação possibilitam uma elevada

eficiência de fabricação de células solares ao fornecer processos inovadores de fabricação de estruturas de células solares.

[0004] O documento US 2010/0139764 A1 descreve uma célula solar de contato posterior com regiões dopadas de polissilício formadas, como conhecido na técnica anterior.

SUMARIO DA INVENÇÃO

[0005] A presente invenção é definida nas reivindicações independentes 1 e 10. Outras formas de realização vantajosas são definidas nas reivindicações dependentes.

BREVE DESCRIÇÃO DOS DESENHOS

[0006] A Figura 1 ilustra uma vista em seção transversal de uma porção de uma célula solar de contato posterior, de acordo com uma modalidade da presente revelação.

[0007] A Figura 2 ilustra uma vista em seção transversal de uma porção de uma célula solar de contato posterior, de acordo com outra modalidade da presente inovação mas não parte da invenção.

[0008] A Figura 3 é um fluxograma que relaciona as operações em um método de fabricação de uma célula solar com referência às Figuras 5A a 5F, de acordo com uma modalidade da presente revelação.

[0009] A Figura 4 é um fluxograma que relaciona as operações em um método de fabricação de uma célula solar com referência às Figuras 5A a 5E e 6A a 6B, de acordo com uma modalidade da presente revelação.

[00010] As Figuras 5A a 5F ilustram vistas em seção transversal de vários estágios na fabricação de uma célula solar, de acordo com uma modalidade da presente revelação.

[00011] As Figuras 6A a 6B ilustram vistas em seção transversal de vários estágios na fabricação de uma célula solar, de acordo com outra modalidade da presente revelação.

DESCRIÇÃO DETALHADA

[00012] A descrição detalhada a seguir tem natureza meramente ilustrativa e não se destina a limitar as modalidades do assunto ou o presente pedido e os usos de tais modalidades. Para uso na presente descrição, a palavra "exemplificador(a)" significa "servir como um exemplo, caso ou ilustração". Qualquer implementação descrita na presente invenção como exemplificadora não deve ser necessariamente interpretada como preferencial ou vantajosa em relação a outras implementações. Além disso, não se pretende limitar a presente invenção a qualquer teoria expressa ou subentendida apresentada no campo técnico anterior, nos antecedentes, na breve descrição dos desenhos ou na descrição detalhada da invenção.

[00013] Este relatório descritivo inclui referências a "uma (1) modalidade" ou "uma modalidade". O uso das expressões "em uma (1) modalidade" ou "em uma modalidade" não se refere necessariamente à mesma modalidade. Recursos, estruturas ou características específicos podem ser combinados em qualquer forma adequada consistente com a presente revelação.

[00014] Terminologia. Os parágrafos abaixo fornecem definições e/ou contexto para os termos encontrados nesta revelação (incluindo as reivindicações em anexo):

[00015] "Compreendendo". Esse termo é aberto. Conforme usado nas reivindicações anexas, esse termo não exclui estrutura ou etapas adicionais.

[00016] "Configurado para". Várias unidades ou componentes podem ser descritos ou reivindicados como "configurados para" executar uma tarefa ou tarefas. Em tais contextos, "configurado para" é usado para conotar estrutura por meio da indicação de que as unidades/componentes incluem uma estrutura que executa essa tarefa ou tarefas durante o funcionamento. Assim, pode-se dizer que a unidade/componente é configurado para executar a tarefa mesmo quando a unidade/componente especificada não se encontra operacional (por exemplo, não está ligada/ativa). A menção de que uma unidade/circuito/componente é

"configurada(o) para" executar uma ou mais tarefas é expressamente destinada a não invocar o parágrafo sexto da Especificação 35 U.S.C. §112, para essa unidade/componente.

[00017] "Primeiro", "segundo", etc. Para uso na presente descrição, esses termos são utilizados como marcadores para os substantivos aos quais precedem e não implicam qualquer tipo de ordem (por exemplo, espacial, temporal, lógica, etc.). Por exemplo, a referência a uma "primeira" célula solar não necessariamente implica que essa célula solar é a primeira célula solar em uma sequência, pois o termo "primeira" é usado para diferenciar essa célula solar de outra célula solar (por exemplo, uma "segunda" célula solar).

[00018] "Acoplado" – A descrição abaixo se refere a elementos, nós ou recursos que são "acoplados" juntos. Para uso na presente descrição, a menos que expressamente declarado de outra forma, "acoplado" significa que um elemento/nó/recurso está unido direta ou indiretamente a (ou que se comunica direta ou indiretamente com) outro elemento/nó/recurso, e não necessariamente de maneira mecânica.

[00019] Além disso, certos termos podem também ser usados na descrição a seguir com o único propósito de referência e, portanto, não se destinam a ser limitadores. Por exemplo, termos como "superior", "inferior", "acima" e "abaixo" referem-se às direções nos desenhos aos quais é feita referência. Termos como "frente", "trás", "posterior", "lateral", "fora do centro" e "próximo ao centro" descrevem a orientação e/ou localização de porções do componente dentro de uma estrutura de referência consistente, porém arbitrária, que é tornada clara por referência ao texto e aos desenhos associados que descrevem o componente em discussão. Tal terminologia pode incluir as palavras especificamente mencionadas acima, derivados dessas palavras e palavras de significado similar.

[00020] Na presente revelação são descritos métodos de fabricação de regiões emissoras de células solares com arquiteturas diferenciadas das regiões tipo P e tipo N, bem como das células solares resultantes. Na descrição a seguir, são

apresentados diversos detalhes específicos, como operações específicas de fluxo de processo, a fim de fornecer um entendimento completo das modalidades da presente revelação. Ficará evidente para o versado na técnica que as modalidades da presente revelação podem ser praticadas sem esses detalhes específicos. Em outras instâncias, técnicas de fabricação bem conhecidas, como técnicas de litografia e moldagem (padronização), não serão descritas em detalhes para não obscurecer desnecessariamente as modalidades da presente revelação. Além disso, deve-se entender que as várias modalidades mostradas nas figuras são representações ilustrativas e não são necessariamente desenhadas em escala.

[00021] Serão agora descritas as células solares da presente invenção. Em uma modalidade, uma célula solar de contato posterior inclui um substrato que tem uma superfície de recepção de luz e uma superfície posterior. Uma primeira região emissora de silício policristalino de um primeiro tipo de condutividade é disposta sobre uma primeira camada dielétrica delgada disposta sobre a superfície posterior do substrato. Uma segunda região emissora de silício policristalino de um segundo tipo, diferente, de condutividade é disposto sobre uma segunda camada dielétrica delgada disposta sobre a superfície posterior do substrato. Uma terceira camada dielétrica delgada disposta lateralmente e diretamente entre a primeira e a segunda regiões emissoras de silício policristalino. Uma primeira estrutura de contato condutivo é disposta sobre a primeira região emissora de silício policristalino. Uma segunda estrutura de contato condutivo é disposta sobre a segunda região emissora de silício policristalino.

[00022] Na presente revelação são apresentados também os métodos de fabricação de células solares. Em uma modalidade, um método de fabricação de regiões emissoras tipo N e tipo P alternadas de uma célula solar envolve formar uma primeira camada de silício de um primeiro tipo de condutividade sobre uma primeira camada dielétrica delgada formada sobre uma superfície posterior de um substrato. Uma camada isolante é formada sobre a primeira camada de silício. A camada isolante e a primeira camada de silício são moldadas para formar primeiras

regiões de silício do primeiro tipo de condutividade tendo sobre as mesmas uma tampa isolante. Uma segunda camada dielétrica delgada é formada sobre lados expostos das primeiras regiões de silício. Uma segunda camada de silício de um segundo tipo, diferente, de condutividade é formada sobre uma terceira camada dielétrica delgada formada sobre a superfície posterior do substrato, e sobre a segunda camada dielétrica delgada e a tampa isolante das primeiras regiões de silício. A segunda camada de silício é moldada (dotada de um padrão) para formar segundas regiões de silício isoladas do segundo tipo de condutividade, e para formar aberturas de contato em regiões da segunda camada de silício acima da tampa isolante das primeiras regiões de silício. A tampa isolante é moldada através das aberturas de contato para expor porções das primeiras regiões de silício. Uma máscara é formada para expor apenas as porções expostas das primeiras regiões de silício e das segundas regiões de silício isoladas. Uma camada semente de metal ("metal seed") é formada sobre as porções expostas das primeiras regiões de silício e sobre as segundas regiões de silício isoladas. Uma camada de metal é galvanizada sobre a camada semente de metal para formar os contatos condutivos para as primeiras regiões de silício e as segundas regiões de silício isoladas.

[00023] Em uma outra modalidade, um método de fabricação de regiões emissoras tipo N e tipo P alternadas de uma célula solar envolve formar uma primeira camada de silício de um primeiro tipo de condutividade sobre uma primeira camada dielétrica delgada formada sobre uma superfície posterior de um substrato. Uma camada isolante é formada sobre a primeira camada de silício. A camada isolante e a primeira camada de silício são moldadas para formar primeiras regiões de silício do primeiro tipo de condutividade tendo sobre as mesmas uma tampa isolante. Uma segunda camada dielétrica delgada é formada sobre lados expostos das primeiras regiões de silício. Uma segunda camada de silício de um segundo tipo, diferente, de condutividade é formada sobre uma terceira camada dielétrica delgada formada sobre a superfície posterior do substrato, e sobre a segunda camada dielétrica delgada e a tampa isolante das primeiras regiões de silício. A segunda camada de

silício é moldada (dotada de um padrão) para formar segundas regiões de silício isoladas do segundo tipo de condutividade, e para formar aberturas de contato em regiões da segunda camada de silício acima da tampa isolante das primeiras regiões de silício. A tampa isolante é moldada através das aberturas de contato para expor porções das primeiras regiões de silício. Após a moldagem da segunda camada de silício e da tampa isolante, uma camada de silicieto metálico é formada a partir da segunda camada de silício e das porções expostas das primeiras regiões de silício. Uma camada de metal é galvanizada sobre a camada de silicieto metálico para formar contatos condutivos para as primeiras regiões de silício e as segundas regiões de silício isoladas.

[00024] Em um primeiro aspecto, uma ou mais modalidades aqui descritas referem-se à formação de regiões emissoras de polissilicone P+ e N+ para uma célula solar onde as respectivas estruturas das regiões emissoras de polissilicone P+ e N+ são diferentes entre si. Tal abordagem pode ser implementada para simplificar um processo de fabricação de célula solar. Além disso, a estrutura resultante pode fornecer uma tensão de ruptura menor e perdas de potência menores associadas, em comparação com outras arquiteturas de célula solar.

[00025] Em um segundo aspecto, uma ou mais modalidades aqui descritas referem-se à formação de silicieto para a fabricação de células solares. O material de silicieto pode ser incorporado em uma estrutura final da célula solar, como uma estrutura da célula solar de contato posterior ou de contato frontal. O uso de um material de silicieto para metalização de uma região emissora de polissilicone de uma célula solar pode proporcionar um processo mais simples de metalização para tais células solares. Por exemplo, conforme descrito com mais detalhes abaixo, uma técnica de silicieto é usada para remover eficazmente uma operação de mascaramento de um processo da camada semente de metal para formação de contato. Além disso, os problemas de alinhamento podem ser reduzidos, uma vez que o processo de silicieto é um processo autoalinhado.

[00026] Em um primeiro exemplo, a Figura 1 ilustra uma vista em seção transversal de uma porção de uma célula solar de contato posterior 100, de acordo com uma modalidade da presente revelação. Uma célula solar 100 inclui um substrato 102 com uma superfície de recepção de luz 104 e uma superfície posterior 106. Uma primeira região emissora de silício policristalino 108 de um primeiro tipo de condutividade é disposta sobre uma primeira camada dielétrica delgada 110 disposta sobre a superfície posterior 106 do substrato 102. Uma segunda região emissora de silício policristalino 112 de um segundo tipo, diferente, de condutividade é disposta sobre uma segunda camada dielétrica delgada 114 disposta sobre a superfície posterior 106 do substrato 102. Uma terceira camada dielétrica delgada 116 é disposta lateralmente e diretamente entre a primeira 108 e a segunda 112 regiões emissoras de silício policristalino. Uma primeira estrutura de contato condutivo 118 é disposta sobre a primeira região emissora de silício policristalino 108. Uma segunda estrutura de contato condutivo 120 é disposta sobre a segunda região emissora de silício policristalino 112.

[00027] Com referência novamente à Figura 1, em uma modalidade, a célula solar 100 inclui adicionalmente uma camada isolante 122 disposta sobre a primeira região emissora de silício policristalino 108. A primeira estrutura de contato condutivo 118 é disposta através da camada isolante 122. Adicionalmente, uma porção da segunda região emissora de silício policristalino 112 é sobreposta à camada isolante 122, mas é separada da primeira estrutura de contato condutivo 118. Em uma modalidade, uma camada de silício policristalino 124 adicional do segundo tipo de condutividade é disposta sobre a camada isolante 122, e a primeira estrutura de contato condutivo 118 é disposta através da camada de silício policristalino 124 do segundo tipo de condutividade e através da camada isolante 122, conforme representado na Figura 1. Conforme descrito com mais detalhes abaixo, em uma modalidade, a camada de silício policristalino 124 adicional e a segunda região emissora de silício policristalino 112 são formadas a partir de uma

mesma camada que é depositada como um manto e, então, marcada para fornecer as linhas de definição 126 na mesma.

[00028] Com referência novamente à Figura 1, em uma modalidade, a célula solar 100 inclui adicionalmente uma reentrância 128 disposta sobre a superfície posterior 106 do substrato 102. A segunda região emissora de silício policristalino 112 e a segunda camada dielétrica delgada 114 são dispostas na reentrância 128. Em tal modalidade, a reentrância 128 tem uma superfície texturizada, e a segunda região emissora de silício policristalino 112 e a segunda camada dielétrica delgada 114 são conformantes com a superfície texturizada, conforme representado na Figura 1. Em uma modalidade, então, a primeira região emissora de silício policristalino 108 e a primeira camada dielétrica delgada 110 são dispostas sobre uma porção plana da superfície posterior 106 do substrato 102, e a segunda região emissora de silício policristalino 112 e a segunda camada dielétrica delgada 114 são dispostas sobre uma porção texturizada da superfície posterior 106 do substrato, conforme representado na Figura 1. Deve-se observar, entretanto, que outras modalidades podem não incluir uma superfície texturizada, ou podem não incluir nenhuma reentrância.

[00029] Com referência novamente à Figura 1, em uma modalidade, a célula solar 100 inclui adicionalmente uma quarta camada dielétrica delgada 130 disposta sobre a superfície de recepção de luz 104 do substrato 102. Uma camada de silício policristalino 132 do segundo tipo de condutividade é disposta sobre a quarta camada dielétrica delgada 132. Uma camada de revestimento antirreflexivo (ARC, "anti-reflective coating") 134, como uma camada de nitreto de silício, é disposta sobre a camada de silício policristalino 132. Em tal modalidade, conforme descrito com mais detalhes abaixo, a quarta camada dielétrica delgada 132 é formada essencialmente pelo mesmo processo usado para formar a segunda camada dielétrica delgada 114, e a camada de silício policristalino 132 é formada essencialmente pelo mesmo processo para formar a segunda região emissora de silício policristalino 112.

[00030] Em uma modalidade, a primeira região emissora de silício policristalino 108 é uma região emissora de silício policristalino tipo P. A segunda região emissora de silício policristalino 112 é uma região emissora de silício policristalino tipo N. O substrato é um substrato de silício monocristalino tipo N. Em uma modalidade, a primeira camada dielétrica delgada 110, a segunda camada dielétrica delgada 114 e a terceira camada dielétrica delgada 116 incluem dióxido de silício. Entretanto, em outra modalidade, a primeira camada dielétrica delgada 110 e a segunda camada dielétrica delgada 114 incluem dióxido de silício, enquanto a terceira camada dielétrica delgada 116 inclui nitreto de silício. Em uma modalidade, a camada isolante 122 inclui dióxido de silício.

[00031] Em uma modalidade, a primeira estrutura de contato condutivo 118 e a segunda estrutura de contato condutivo 120 incluem, cada uma, uma camada semente de metal com base em alumínio disposta sobre a primeira 108 e sobre a segunda 112 regiões emissoras de silício policristalino, respectivamente. Em uma modalidade, cada uma dentre a primeira estrutura de contato condutivo 118 e a segunda estrutura de contato condutivo 120 inclui adicionalmente uma camada de metal, como uma camada de cobre, disposta sobre a camada semente de metal com base em alumínio.

[00032] Em um segundo exemplo, mas não parte da invenção, a Figura 2 ilustra uma vista em seção transversal de uma porção de uma célula solar de contato posterior 200, de acordo com outra modalidade da presente revelação. Uma célula solar 200 inclui um substrato 202 tendo uma superfície de recepção de luz 204 e uma superfície posterior . Uma primeira região emissora de silício policristalino 208 de um primeiro tipo de condutividade é disposta sobre uma primeira camada dielétrica delgada 210 disposta sobre a superfície posterior do substrato 202. Uma segunda região emissora de silício policristalino 212 de um segundo tipo, diferente, de condutividade é disposta sobre uma segunda camada dielétrica delgada 214 disposta sobre a superfície posterior do substrato 202. Uma terceira camada dielétrica delgada 216 é disposta lateralmente e diretamente entre a primeira 208 e

a segunda 212 regiões emissoras de silício policristalino. Uma primeira estrutura de contato condutivo 218 é disposta sobre a primeira região emissora de silício policristalino 208. Uma segunda estrutura de contato condutivo 220 é disposta sobre a segunda região emissora de silício policristalino 212.

[00033] De acordo com uma modalidade da presente revelação, a primeira 218 e a segunda 220 estruturas de contato condutivo incluem, cada uma, uma camada de silicieto metálico disposta sobre a primeira 208 e sobre a segunda 212 regiões emissoras de silício policristalino, respectivamente. Em tal modalidade, a camada de silicieto metálico é formada mediante o consumo de regiões expostas da primeira 208 e da segunda 212 regiões emissoras de silício policristalino em um processo de silicidação. Assim, todas as superfícies superiores expostas da primeira 208 e da segunda 212 regiões emissoras de silício policristalino, e quaisquer outras superfícies de silício expostas, são metalizadas, conforme representado na Figura 2. Em uma modalidade, a primeira 218 e a segunda 220 estruturas de contato condutivo incluem adicionalmente, cada uma, uma camada de metal (como cobre) disposta sobre a camada de silicieto metálico. Em uma modalidade específica, a camada de silicieto metálico inclui um material como, mas não se limitando a, silicieto de titânio ($TiSi_2$), silicieto de cobalto ($CoSi_2$), silicieto de tungstênio (WSi_2), ou silicieto de níquel (NiSi ou $NiSi_2$).

[00034] Com referência novamente à Figura 2, em uma modalidade, a célula solar 200 inclui adicionalmente uma camada isolante 222 disposta sobre a primeira região emissora de silício policristalino 208. A primeira estrutura de contato condutivo 218 é disposta através da camada isolante 222. Adicionalmente, uma porção da segunda região emissora de silício policristalino 212 é sobreposta à camada isolante 222, mas é separada da primeira estrutura de contato condutivo 218. Em uma modalidade, uma camada de silício policristalino 224 adicional do segundo tipo de condutividade é disposta sobre a camada isolante 222, e a primeira estrutura de contato condutivo 218 é disposta através da camada de silício policristalino 224 do segundo tipo de condutividade e através da camada isolante

222, conforme representado na Figura 2. Entretanto, em contraste ao mostrado na Figura 1, a superfície superior total da camada de silício policristalino 224 é metalizada. Conforme descrito com mais detalhes abaixo, em uma modalidade, a camada de silício policristalino 224 adicional e a segunda região emissora de silício policristalino 212 são formadas a partir de uma mesma camada que é depositada como um manto e, então, marcada para fornecer linhas de marcação 226 na mesma.

[00035] Com referência novamente à Figura 2, em uma modalidade, a superfície posterior do substrato 202 é essencialmente plana em sua totalidade. Entretanto, em outra modalidade, a segunda região emissora de silício policristalino 212 e a segunda camada dielétrica delgada 214 são dispostas em uma reentrância, conforme descrito anteriormente com referência à Figura 1. Em tal modalidade, a reentrância tem uma superfície texturizada, e a segunda região emissora de silício policristalino 212 e a segunda camada dielétrica delgada 214 são conformantes com a superfície texturizada.

[00036] referência novamente à Figura 2, em uma modalidade, a célula solar 200 inclui adicionalmente uma quarta camada dielétrica delgada 230 disposta sobre a superfície de recepção de luz 204 do substrato 202. Uma camada de silício policristalino 232 do segundo tipo de condutividade é disposta sobre a quarta camada dielétrica delgada 232. Embora não representado, em uma modalidade, uma camada de revestimento antirreflexivo (ARC), como uma camada de nitreto de silício, é disposta sobre a camada de silício policristalino 232. Em tal modalidade, conforme descrito com mais detalhes abaixo, a quarta camada dielétrica delgada 232 é formada essencialmente pelo mesmo processo usado para formar a segunda camada dielétrica delgada 214 e a camada de silício policristalino 232 é formada essencialmente pelo mesmo processo para formar a segunda região emissora de silício policristalino 212.

[00037] Em uma modalidade, o substrato 202, a primeira região emissora de silício policristalino 208, a segunda região emissora de silício policristalino 212 e as várias

camadas dielétricas são conforme descrito acima para o substrato 102, a primeira região emissora de silício policristalino 108, a segunda região emissora de silício policristalino 112 e as várias camadas dielétricas associadas à Figura 1.

[00038] Na presente revelação são apresentados também os métodos de fabricação de células solares. Em um primeiro fluxo de processo exemplificador, as Figuras 5A a 5F ilustram vistas em seção transversal de vários estágios na fabricação de uma célula solar, de acordo com uma modalidade da presente revelação. A Figura 3 é um fluxograma 300 que relaciona as operações em um método de fabricação de uma célula solar com referência às Figuras 5A a 5F, de acordo com uma modalidade da presente revelação.

[00039] Com referência à Figura 5A e à correspondente operação 302 do fluxograma 300, um método de fabricação de regiões emissoras tipo N e tipo P alternadas de uma célula solar envolve formar uma primeira camada de silício 506 de um primeiro tipo de condutividade sobre uma primeira camada dielétrica delgada 504 formada sobre uma superfície posterior de um substrato 502.

[00040] Em uma modalidade, o substrato 502 é um substrato de silicone monocristalino, como um substrato de silicone cristalino com dopagem tipo N em único volume. Deve-se entender, entretanto, que o substrato 502 pode ser uma camada, como uma camada de silício multicristalino, disposta sobre um substrato de célula solar global. Em uma modalidade, a primeira camada dielétrica delgada 504 é uma camada de óxido delgada, como uma camada dielétrica em túnel de óxido de silício, que tem uma espessura de aproximadamente 2 nanômetros ou menos.

[00041] Em uma modalidade, a primeira camada de silício 506 é uma camada de silício policristalino que é dopado para ter o primeiro tipo de condutividade através da dopagem *local*, da implantação de pós-deposição ou de uma combinação das mesmas. Em outra modalidade, a primeira camada de silício 506 é uma camada de silício amorfo, como uma camada de silício hidrogenado representado por a-Si:H, que é implantada com dopantes do primeiro tipo de condutividade após a deposição

da camada de silício amorfo. Em tal modalidade, a primeira camada de silício 506 é subsequentemente temperada (pelo menos em algum estágio subsequente do fluxo do processo) para finalmente formar uma camada de silício policristalino. Em uma modalidade, tanto para uma camada de silício policristalino como para uma camada de silício amorfo, se a implantação de pós-deposição for realizada, a implantação será feita com o uso de feixe de íons ou imersão de plasma. Em tal modalidade, uma máscara-sombra é usada para a implantação. Em uma modalidade específica, o primeiro tipo de condutividade é tipo P (por exemplo, formado com o uso de átomos de impureza de boro).

[00042] Com referência novamente à Figura 5A e agora à correspondente operação 304 do fluxograma 300, uma camada isolante 508 é formada sobre a primeira camada de silício 506. Em uma modalidade, a camada isolante 508 inclui dióxido de silício.

[00043] Com referência à Figura 5B e à correspondente operação 306 do fluxograma 300, a camada isolante 508 e a primeira camada de silício 506 são moldadas para formar uma primeira região de silício 510 do primeiro tipo de condutividade que tem uma tampa isolante 512 sobre a mesma. Em uma modalidade, um mascaramento litográfico ou de serigrafia e o subsequente processo de gravação são usados para moldar a camada isolante 508 e a primeira camada de silício 506. Em outra modalidade, um processo de ablação por laser (por exemplo, gravação direta) é usado para moldar a camada isolante 508 e a primeira camada de silício 506. Em qualquer caso, em uma modalidade, a primeira camada dielétrica delgada 504 é também moldada no processo, conforme representado na Figura 5B.

[00044] Com referência à Figura 5C, opcionalmente, as reentrâncias 514 podem ser formadas no substrato 502 durante (ou subsequente a) uma moldagem da camada isolante 508 e da primeira camada de silício 506. Além disso, em uma modalidade, as superfícies 516 das reentrâncias 514 são texturizadas. Em um processo igual ou similar, uma superfície de recepção de luz 501 do substrato 502

também pode ser texturizada, conforme representado na Figura 5C. Em uma modalidade, um corrosivo químico úmido baseado em hidróxido é usado para formar pelo menos uma porção das reentrâncias 514 e/ou para texturizar as porções expostas do substrato 502. Uma superfície texturizada pode ser uma que tem uma superfície no formato regular ou irregular para espalhar a luz de chegada, reduzindo a quantidade de luz refletida das superfícies expostas à luz e/ou de recepção de luz da célula solar. Deve-se observar, entretanto, que a texturização da superfície posterior e mesmo a formação de reentrância podem ser omitidas do fluxo do processo.

[00045] Com referência à Figura 5D e à correspondente operação 308 do fluxograma 300, uma segunda camada dielétrica delgada 518 é formada sobre lados expostos das primeiras regiões de silício 518. Em uma modalidade, a segunda camada dielétrica delgada 518 é formada em um processo de oxidação e é uma camada de óxido delgada como uma camada dielétrica em túnel de óxido de silício que tem uma espessura de aproximadamente 2 nanômetros ou menos. Em outra modalidade, a segunda camada dielétrica delgada 504 é formada em um processo de deposição e é uma camada delgada de nitreto de silício ou camada de oxinitreto de silício.

[00046] Com referência novamente à Figura 5D e agora à correspondente operação 310 do fluxograma 300, uma segunda camada de silício 520 de um segundo tipo, diferente, de condutividade é formada sobre uma terceira camada dielétrica delgada 522 formada sobre a superfície posterior do substrato 502 e sobre a segunda camada dielétrica delgada 518 e sobre a tampa isolante 512 das primeiras regiões de silício 510. A camada dielétrica delgada 522’ e a segunda camada de silício 520’ correspondentes do segundo tipo de condutividade podem ser formadas também sobre a superfície de recepção de luz 501 do substrato 502, em operações iguais ou similares de processo, conforme representado na Figura 5D. Adicionalmente, embora não representado, uma camada de ARC pode ser

formada sobre a segunda camada de silício 520' correspondente, conforme descrito anteriormente com referência à Figura 1.

[00047] Em uma modalidade, a terceira camada dielétrica delgada 518 é formada em um processo de oxidação e é uma camada delgada de óxido, como uma camada dielétrica em túnel de óxido de silício, que tem uma espessura de aproximadamente 2 nanômetros ou menos. Em uma modalidade, a segunda camada de silício 520 é uma camada de silício policristalino que é dopada para ter o segundo tipo de condutividade através da dopagem local, da implantação de pós-deposição ou de uma combinação das mesmas. Em outra modalidade, a segunda camada de silício 520 é uma camada de silício amorfo, como uma camada de silício hidrogenado representada por a-Si:H, que é implantada com dopantes do segundo tipo de condutividade após a deposição da camada de silício amorfo. Em tal modalidade, a segunda camada de silício 520 é subsequentemente temperada (pelo menos em algum estágio subsequente do fluxo do processo) para finalmente formar uma camada de silício policristalino. Em uma modalidade, tanto para uma camada de silício policristalino como para uma camada de silício amorfo, se a implantação de pós-deposição for realizada, a implantação será feita com o uso de feixe de íons ou imersão de plasma. Em tal modalidade, uma máscara-sombra é usada para a implantação. Em uma modalidade específica, o segundo tipo de condutividade é tipo N (por exemplo, formada com o uso de átomos de fósforo ou átomos de impureza de arsênio).

[00048] Com referência à Figura 5E e à correspondente operação 312 do fluxograma 300, a segunda camada de silício 520 é moldada para formar segundas regiões de silício isoladas 524 do segundo tipo de condutividade, e para formar uma abertura de contato 526 nas regiões da segunda camada de silício 520 acima da tampa isolante 512 das primeiras regiões de silício 510. Em uma modalidade, as regiões discretas de silício 525 podem permanecer como um artefato do processo de moldagem. Em uma modalidade, um processo de ablação por laser é usado para moldar a segunda camada de silício 520.

[00049] Com referência novamente à Figura 5E e agora à correspondente operação 314 do fluxograma 300, a tampa isolante 512 é moldada através das aberturas de contato 526 para expor porções das primeiras regiões de silício 510. Em uma modalidade, a tampa isolante 512 é moldada usando um processo de ablação por laser. Por exemplo, em uma modalidade, uma primeira passagem a laser é usada para moldar a segunda camada de silício 520, incluindo formar a abertura de contato 526. Uma segunda passagem a laser no mesmo local como abertura de contato 526 é usada para moldar a tampa isolante 512.

[00050] Com referência à Figura 5F, uma camada semente de metal 528 é formada sobre as porções expostas das primeiras regiões de silício 510 e sobre as segundas regiões de silício isoladas 524. Uma camada de metal 530 é galvanizada sobre a camada semente de metal para formar contatos condutivos 532 e 534, respectivamente, para as primeiras regiões de silício 510 e as segundas regiões de silício isoladas 524. Em uma modalidade, a camada semente de metal 528 é uma camada semente de metal com base em alumínio e a camada de metal 530 é uma camada de cobre. Em uma modalidade, uma máscara é primeiro formada para expor apenas as porções expostas das primeiras regiões de silício 510 e as segundas regiões de silício isoladas 524 a fim de direcionar a formação da camada semente de metal 528 para locais restritos.

[00051] Em um segundo fluxo de processo exemplificador, as Figuras 6A a 6B ilustram vistas em seção transversal de vários estágios na fabricação de uma outra célula solar, de acordo com uma modalidade da presente revelação. A Figura 4 é um fluxograma 400 que relaciona as operações em um método de fabricação de uma célula solar com referência às Figuras 5A a 5E e 6A a 6B, de acordo com uma modalidade da presente revelação. Consequentemente, o segundo fluxo do processo exemplificador move da estrutura da Figura 5E à estrutura da Figura 6A.

[00052] Com referência à Figura 6A, após a moldagem da segunda camada de silício 520 e da tampa isolante 512 (conforme descrito com referência à Figura 5E), uma camada de silicieto metálico 628 é formada a partir das superfícies expostas

da segunda camada de silício moldada e a partir das porções expostas das primeiras regiões de silício 510. Em uma modalidade, a camada de silicieto metálico é formada mediante a formação de uma camada de metal protetora sobre toda a estrutura da Figura 5E, do aquecimento da camada de metal protetora para reagir com o silício exposto e da formação de um silicieto metálico. As porções da camada de metal protetora não reagidas são então removidas, por exemplo, com o uso de um processo químico de limpeza a úmido que é seletivo para o material de silicieto formado. Em uma modalidade, a camada de silicieto metálico inclui um material como, mas não se limitando a, silicieto de titânio ($TiSi_2$), silicieto de cobalto ($CoSi_2$), silicieto de tungstênio (WSi_2), ou silicieto de níquel (NiSi ou $NiSi_2$). Em uma modalidade, uma têmpera de rápido processamento térmico (RTP, "rapid thermal processing") é usada para formar o silicieto. Nessa modalidade, dopantes nas camadas de silício da região emissora são ativados no mesmo processo de RTP. Em uma modalidade, o processo de RTP é realizado em um ambiente isento de oxigênio ou de baixo teor de oxigênio para reduzir a oxidação do silicieto metal. Entretanto, em outra modalidade, uma temperatura de processo de silicieto é mais baixa que a temperatura de uma têmpera separada para ativação de dopante.

[00053] Com referência à Figura 6B, uma camada de metal 630 é galvanizada sobre a camada de silicieto metálico para formar contatos condutivos 632 e 634, respectivamente, para as primeiras regiões de silício 510 e as segundas regiões de silício isoladas 524. Em uma modalidade, a camada de metal 630 é uma camada de cobre. Em uma modalidade, a camada de silicieto metálico é quimicamente ativada antes da galvanização de um metal sobre a mesma. Em uma outra modalidade, ao invés de galvanizar um metal, usa-se um processo de soldagem de folha de alumínio (Al) para concluir a formação de contato.

[00054] Deve-se observar que o processo de silicidação para formação de contato, descrito com referência às Figuras 6A e 6B, ao contrário da formação de contato descrita com referência à Figura 5F, usa uma máscara a menos. Em particular, uma camada semente não precisa ser direcionada por uma máscara no processo de

silicidação, uma vez que o silicieto será formado apenas nas regiões de silício exposto, que já foram moldadas. Assim, em uma modalidade, o processo de silicidação é um processo autoalinhado que pode ser implementado para mitigar os problemas de alinhamento e, possivelmente, reduzir o passo alcançável para a fabricação de contato da célula.

[00055] De modo geral, embora certos materiais sejam descritos especificamente acima, alguns materiais podem ser prontamente substituídos por outras modalidades que permanecem dentro do escopo das da invenção como reivindicada. Por exemplo, em uma modalidade, pode ser usado um substrato de material diferente, como um substrato de material dos grupos III a V, em vez de um substrato de silicone. Além disso, deve-se entender que, onde a dopagem tipo N+ e P+ é descrita especificamente, outras modalidades contempladas incluem o tipo de condutividade oposto, por exemplo, dopagem do tipo P+ e N+, respectivamente. Além disso, deve-se compreender que uma abordagem de silicidação que pode ser usada no lugar de uma camada semente de alumínio para formação de contato também pode ser aplicável às células solares de contato frontal.

[00056] [0054] Além disso, em uma modalidade, uma ferramenta de deposição química de vapor assistida por plasma (PECVD, "plasma enhanced chemical vapor deposition") pode ser usada para combinar muitas das operações do processo descrito acima em uma única passagem em uma ferramenta do processo. For exemplo, em tal modalidade, até quatro operações distintas de PECVD e uma operação de RTP podem ser realizadas em uma única passagem em uma ferramenta de agrupamento. As operações de PECVD podem incluir deposições de camadas, como a camada de polissilicone da parte posterior P+ descrita acima, ambas as camadas de polissilicone da parte posterior e frontal N+ e a camada de ARC.

[00057] Na presente revelação foram descritos métodos de fabricação de regiões emissoras de células solares com arquiteturas diferenciadas das regiões tipo P e tipo N, bem como das células solares resultantes.

[00058] Embora tenham sido descritas acima modalidades específicas, tais modalidades não se destinam a limitar o escopo da presente revelação, mesmo onde apenas uma única modalidade é descrita com relação a uma característica particular. Exemplos de características fornecidas na revelação destinam-se a serem ilustrativos em vez de restritivos, exceto onde especificado em contrário. A descrição acima tem por objetivo abranger tais alternativas, modificações e equivalentes como seria evidente a um versado na técnica tendo o benefício da presente invenção.

REIVINDICAÇÕES

1. "**CÉLULA SOLAR DE CONTATO POSTERIOR"** compreendendo um substrato (102, 502) que tem uma superfície de recepção de luz (104, 501) e uma superfície posterior (106), uma primeira região emissora de silício policristalino de um primeiro tipo de condutividade disposta sobre uma primeira camada dielétrica delgada (110,504) disposta sobre a superfície posterior (106) do substrato (102), uma segunda região emissora de silício policristalino (520) de um segundo tipo, diferente, de condutividade disposta sobre uma segunda camada dielétrica delgada (114, 522) disposta sobre a superfície posterior (106) do substrato (102) caracterizada por uma terceira camada dielétrica delgada (116, 518) disposta lateralmente e diretamente entre a primeira (108, 510) e a segunda (112, 520) regiões emissoras de silício policristalino, uma primeira estrutura de contato condutivo (118, 632) disposta sobre a primeira região emissora de silício policristalino (108, 510) e uma segunda estrutura de contato condutivo (120, 634) disposta sobre a segunda região emissora de silício policristalino (112, 520), onde a segunda região emissora de silício policristalino (112, 520) e a segunda camada dielétrica delgada (114, 522) estão dispostas em um recesso (128, 514) disposta no substrato (102, 502) e a segunda região emissora de silício policristalino (112 , 520) se sobrepõe à primeira região emissora de silício policristalino (108, 510).

2. "**CÉLULA SOLAR DE CONTATO POSTERIOR"** de acordo com a reivindicação 1, caracterizada por compreender adicionalmente uma camada isolante (122, 512) disposta sobre a primeira região emissora de silício policristalino (,), sendo que a primeira estrutura de contato condutivo (118, 632) é disposta através da camada isolante (122, 512) e sendo que uma porção da segunda região emissora de silício policristalino (112, 520) é sobreposta à camada isolante (122, 512), mas é separada da primeira estrutura de contato condutivo (118, 632).

3. "**CÉLULA SOLAR DE CONTATO POSTERIOR"** de acordo com a reivindicação 1, caracterizada por compreender adicionalmente uma camada isolante (122, 512) disposta sobre a primeira região emissora de silício policristalino (108, 510) e uma

camada de silício policristalino (124, 525) do segundo tipo de condutividade (122, 512) disposta sobre a camada isolante (118, 632), sendo que a primeira estrutura de contato condutivo é disposta através da camada de silício policristalino (124, 525) do segundo tipo de condutividade e através da camada isolante (122, 512).

4. "**CÉLULA SOLAR DE CONTATO POSTERIOR"** de acordo com a reivindicação 1, caracterizada por que a reentrância (128,514) tem uma ~~superfície~~ parte texturizada.

5. "**CÉLULA SOLAR DE CONTATO POSTERIOR"** de acordo com a reivindicação 1, caracterizada por que a primeira região emissora de silício policristalino (108, 510) e a primeira camada dielétrica delgada (110, 504) são dispostas sobre uma porção plana da superfície posterior (106) do substrato (102, 502), e sendo que a segunda região emissora de silício policristalino (112, 520) e a segunda camada dielétrica delgada (114, 522) são dispostas sobre uma porção texturizada da superfície posterior (106), do substrato (102, 502).

6. "**CÉLULA SOLAR DE CONTATO POSTERIOR"** de acordo com a reivindicação 1, caracterizada por que a primeira e a segunda estruturas de contato condutivo (632, 634) compreendem, cada uma, uma camada semente de metal com base em alumínio (528) disposta sobre a primeira e sobre a segunda regiões emissoras de silício policristalino (510, 520), respectivamente, e cada uma compreende uma camada de metal (530, 630) disposta sobre a camada semente de metal com base em alumínio (528).

7. "**CÉLULA SOLAR DE CONTATO POSTERIOR"** de acordo com a reivindicação 1, caracterizada por que a primeira e a segunda estruturas de contato condutivo (632, 634) compreendem, cada uma, uma camada de silicieto metálico (628) disposta sobre a primeira e sobre a segunda regiões emissoras de silício policristalino (510, 520), respectivamente, e cada uma compreende adicionalmente uma camada de metal (630) disposta sobre a camada de silicieto metálico.

8. "**CÉLULA SOLAR DE CONTATO POSTERIOR"** de acordo com a reivindicação 7, caracterizada por que a camada de silicieto metálico (628) compreende um

material selecionado do grupo que consiste em silicieto de titânio ($TiSi_2$), silicieto de cobalto ($CoSi_2$), silicieto de tungstênio (WSi_2) e silicieto de níquel (NiSi ou $NiSi_2$).

9. "**CÉLULA SOLAR DE CONTATO POSTERIOR"** de acordo com a reivindicação 1, caracterizada por compreender adicionalmente uma quarta camada dielétrica delgada (130) disposta sobre a superfície de recepção de luz (104) do substrato (102), uma camada de silício policristalino (132) do segundo tipo de condutividade disposta sobre a quarta camada dielétrica delgada (130) e uma camada de revestimento antirreflexivo (ARC) (134) disposta sobre a camada de silício policristalino (132) do segundo tipo de condutividade.

10. "**MÉTODO DE FABRICAÇÃO DE REGIÕES EMISSORAS TIPO N E TIPO P ALTERNADAS DE UMA CÉLULA SOLAR"** compreendendo a formação de uma primeira camada de silício (506) de um primeiro tipo de condutividade sobre uma primeira camada dielétrica delgada (504) formada sobre uma superfície posterior de um substrato (502), formação de uma camada isolante (508) sobre a primeira camada de silício (506), moldagem da camada isolante (508) e a primeira camada de silício (506) para formar primeiras regiões de silício (510) do primeiro tipo de condutividade tendo sobre as mesmas uma tampa isolante (512), formar uma segunda camada dielétrica delgada (518) nos lados expostos das primeiras regiões de silício (510) formação de uma segunda camada de silício (520) de um segundo tipo, diferente, de condutividade sobre uma terceira camada dielétrica delgada (522) formada sobre a superfície posterior do substrato (502), e sobre a segunda camada dielétrica delgada (518) e a tampa isolante (512) das primeiras regiões de silício (510), moldagem da segunda camada de silício (520) para formar segundas regiões de silício isoladas (524) do segundo tipo de condutividade, e para formar aberturas de contato (526) em regiões da segunda camada de silício (520) acima da tampa isolante (512) das primeiras regiões de silício (510), moldar a tampa isolante (512) através das aberturas de contato (526) para expor porções das primeiras regiões de silício (510), formar uma máscara para expor apenas as porções expostas das primeiras regiões de silício (510) e das segundas regiões de

silício isoladas (524), formar uma camada semente de metal (528) sobre as porções expostas das primeiras regiões de silício (510) e sobre as segundas regiões de silício isoladas (524), e galvanizar uma camada de metal (530) sobre a camada semente de metal (528) para formar contatos condutivos (532, 534) para as primeiras regiões de silício (510) e as segundas regiões de silício isoladas (524) caracterizado pela a segunda região de silício (524) e a terceira camada dielétrica delgada (522) são dispostas na reentrância (514) disposta no substrato (502).

11. **"MÉTODO"** de acordo com a reivindicação 10, caracterizado por que a moldagem da camada isolante (508) e da primeira camada de silício (506) compreende adicionalmente a moldagem da primeira camada dielétrica delgada (504), e sendo que a moldagem da camada isolante (508) da primeira camada de silício (506) e da primeira camada dielétrica delgada (504), a moldagem da segunda camada de silício (520) e da tampa isolante (512) compreende o uso de ablação por laser.

12. "**MÉTODO"** de acordo com a reivindicação 10, caracterizado por a camada semente de metal (528) ser uma camada de siliceto de metal, a referida camada após a moldagem da segunda camada de silício (520) e da tampa isolante (512), e a camada de silicieto metálico é formada a partir da segunda camada de silício (520) e das porções expostas das primeiras regiões de silício (510), e uma camada de metal (530) é colocada sobre a camada de silicieto metálico para formar contatos condutivos (532, 534) para as primeiras regiões de silício (510) e as segundas regiões de silício isoladas (524).

13.- "**MÉTODO"** de acordo com a reivindicação 12, caracterizado por que a formação da camada de silicieto metálico compreende a formação de uma camada de metal protetora, o aquecimento da camada de metal protetora e a remoção das porções não reagidas da camada de metal protetora.

14.- "**MÉTODO"** de acordo com qualquer uma das reivindicações 10 ou 12, sendo que a primeira e a segunda camadas de silício (506, 520) são formadas como camadas de silício amorfo, em que o método é caracterizado por compreender

adicionalmente temperar a primeira e a segunda camadas de silício (506, 520) para formar a primeira e a segunda camadas de silício policristalino, respectivamente.

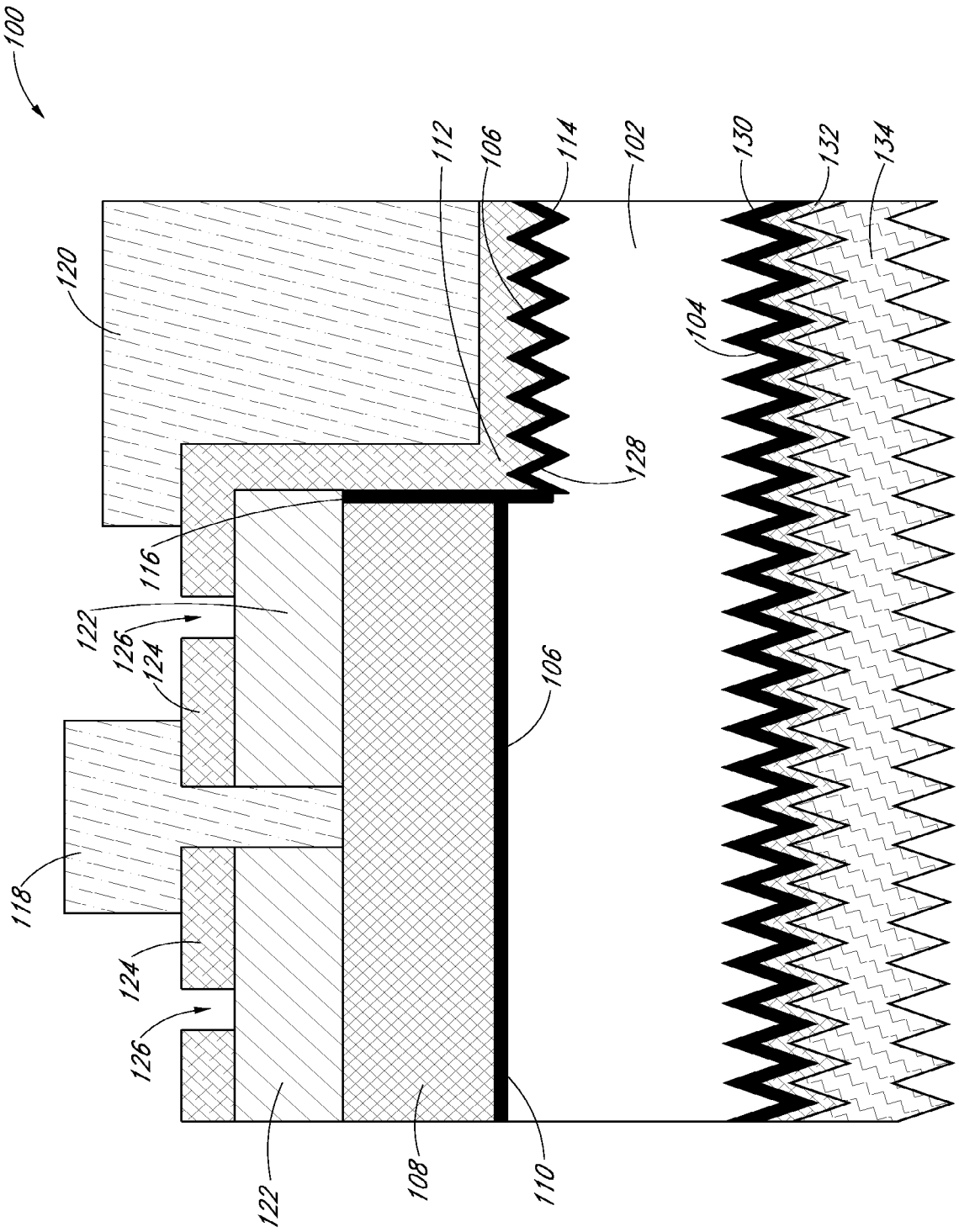

100
112
106
114
102
130
132
134
120
104
128
116
122
126
124
106
118
124
126
122
108
110

FIG. 1

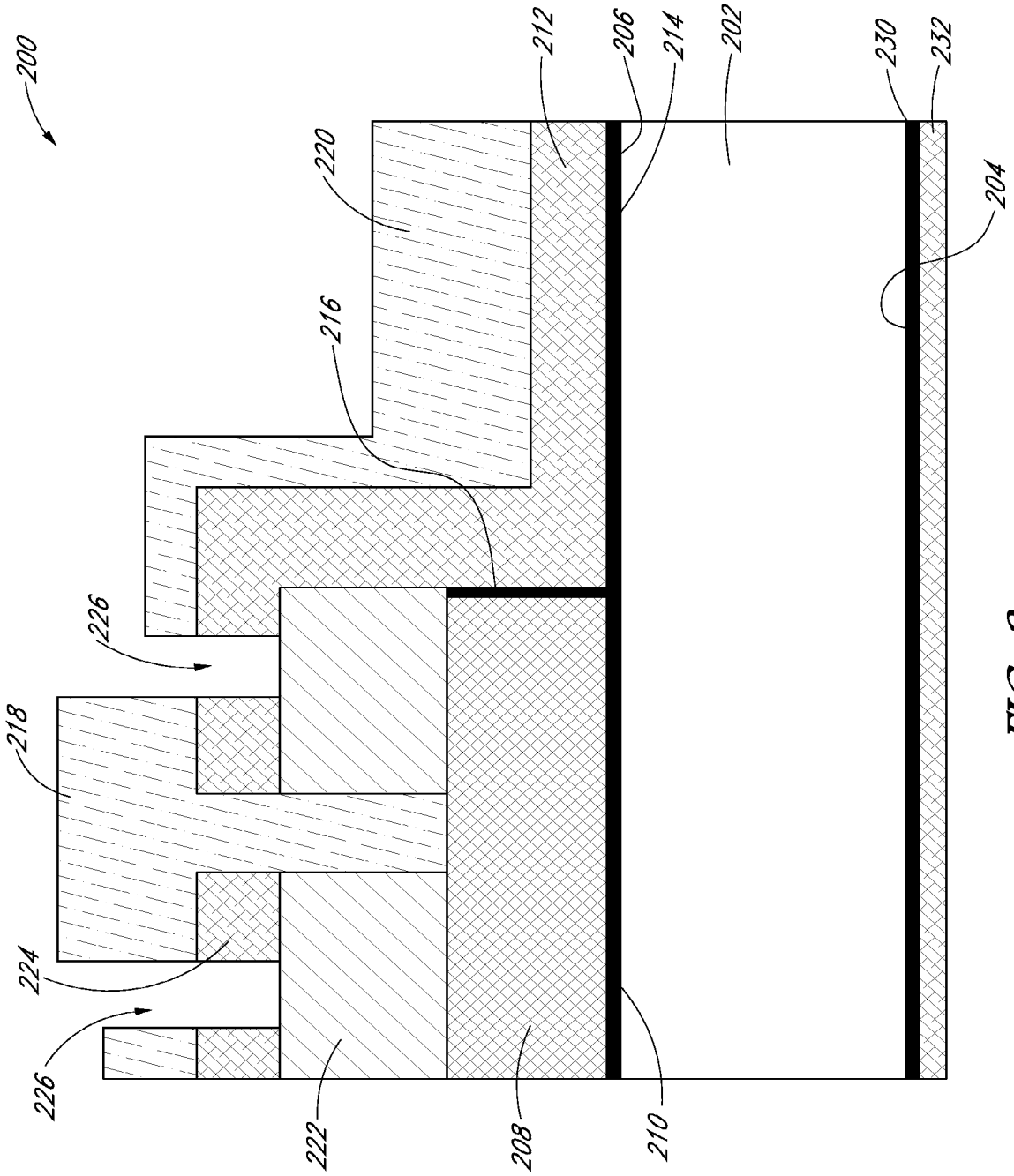

200
212
206
214
202
230
232
220
204
216
226
218
224
226
222
208
210

FIG. 2

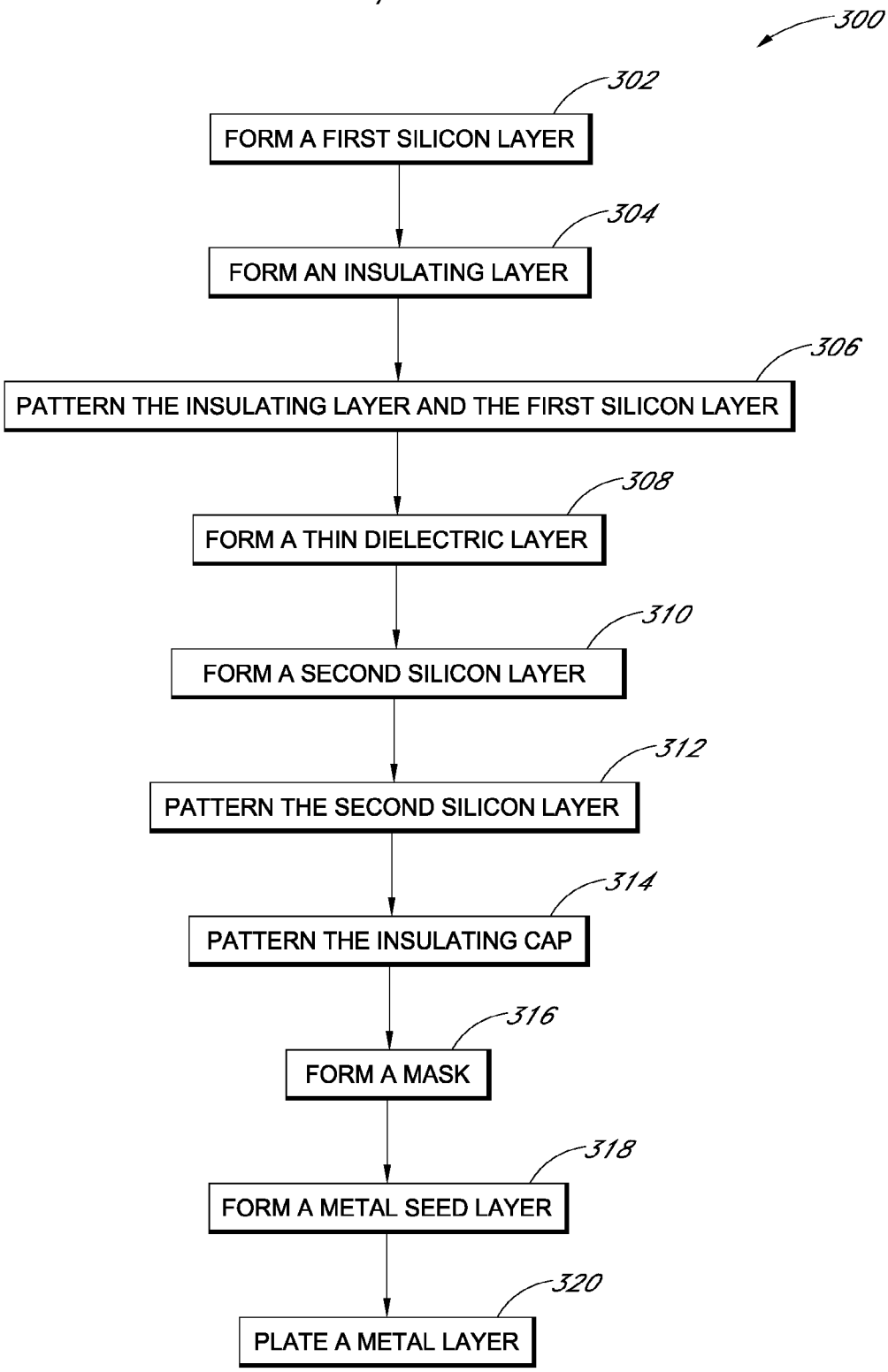

300
302
FORM A FIRST SILICON LAYER
304
FORM AN INSULATING LAYER
306
PATTERN THE INSULATING LAYER AND THE FIRST SILICON LAYER
308
FORM A THIN DIELECTRIC LAYER
310
FORM A SECOND SILICON LAYER
312
PATTERN THE SECOND SILICON LAYER
314
PATTERN THE INSULATING CAP
316
FORM A MASK
318
FORM A METAL SEED LAYER
320
PLATE A METAL LAYER

FIG. 3

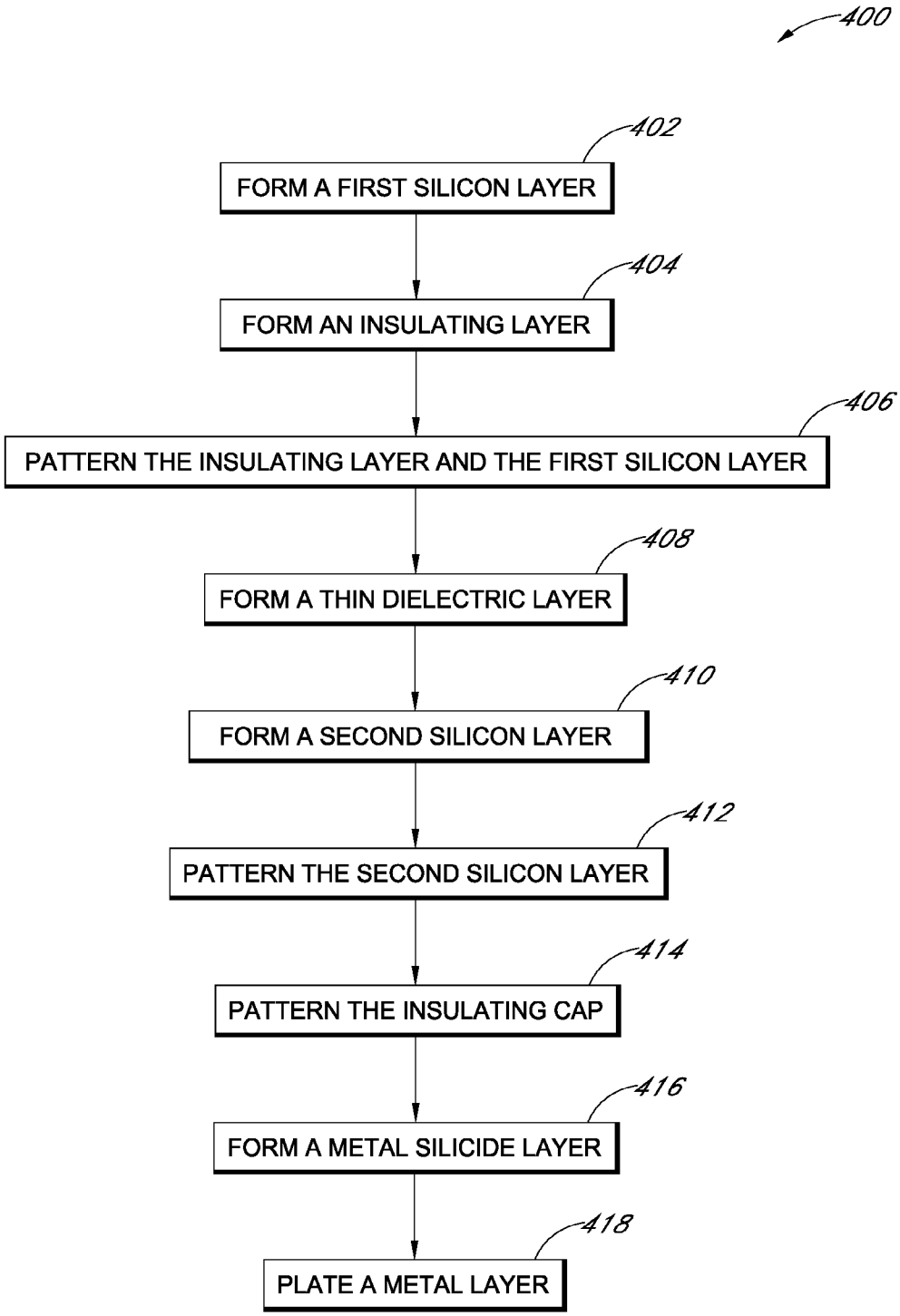

400
402
FORM A FIRST SILICON LAYER
404
FORM AN INSULATING LAYER
406
PATTERN THE INSULATING LAYER AND THE FIRST SILICON LAYER
408
FORM A THIN DIELECTRIC LAYER
410
FORM A SECOND SILICON LAYER
412
PATTERN THE SECOND SILICON LAYER
414
PATTERN THE INSULATING CAP
416
FORM A METAL SILICIDE LAYER
418
PLATE A METAL LAYER

FIG. 4

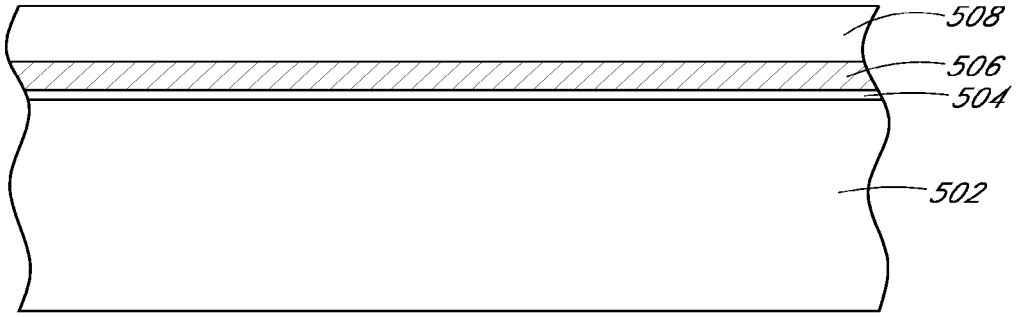


FIG. 5A

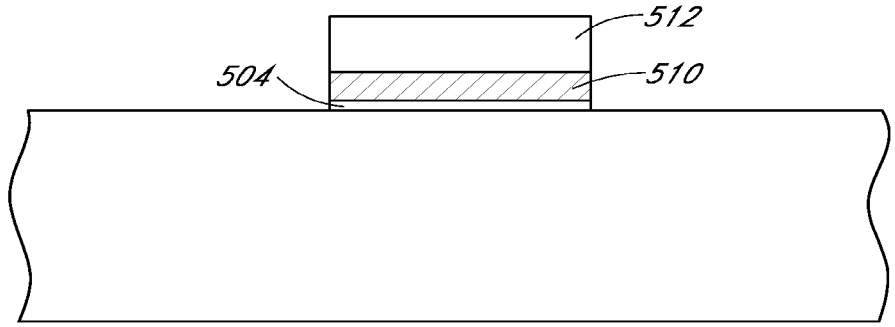


FIG. 5B

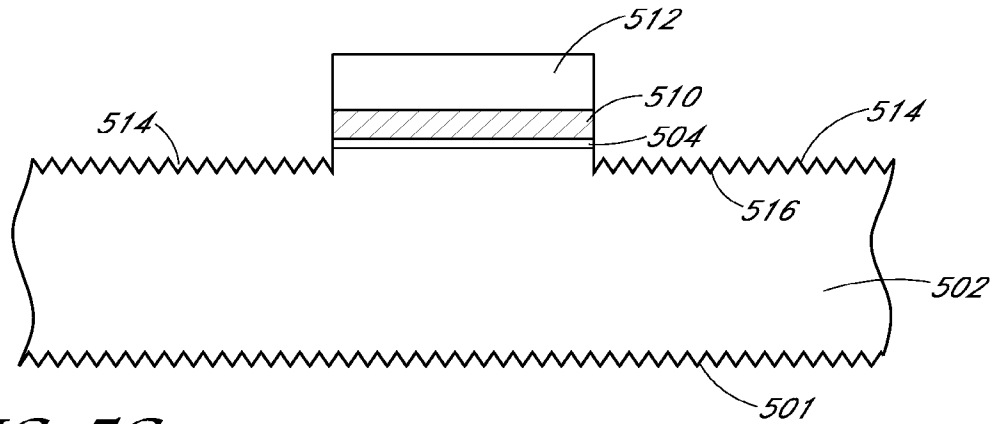


FIG. 5C

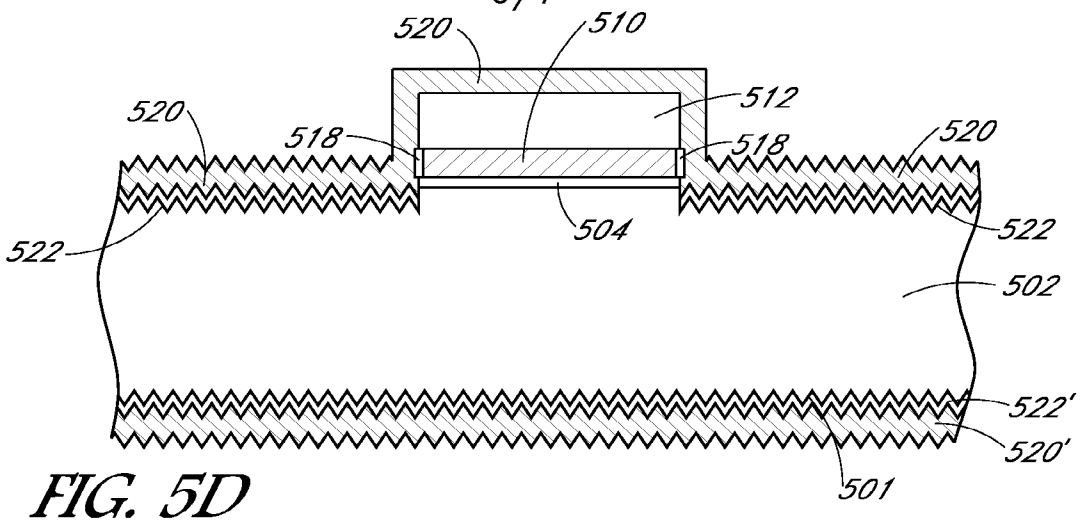


FIG. 5D

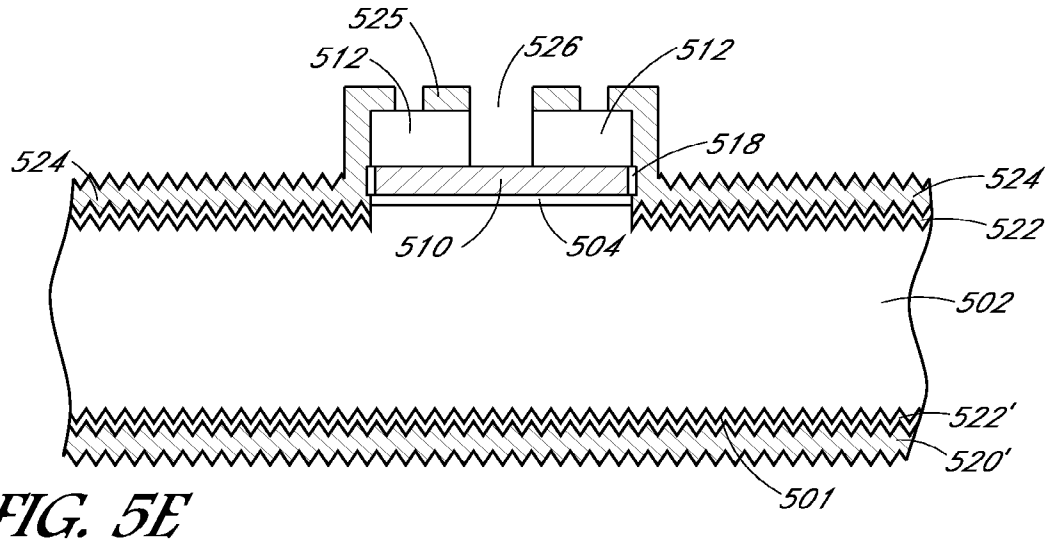


FIG. 5E

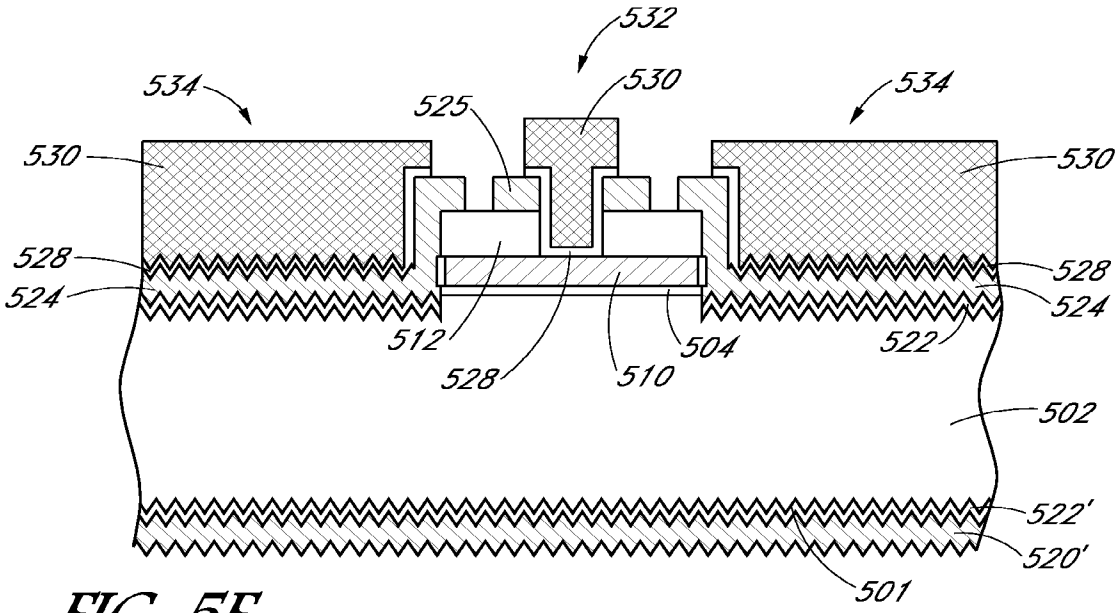


FIG. 5F

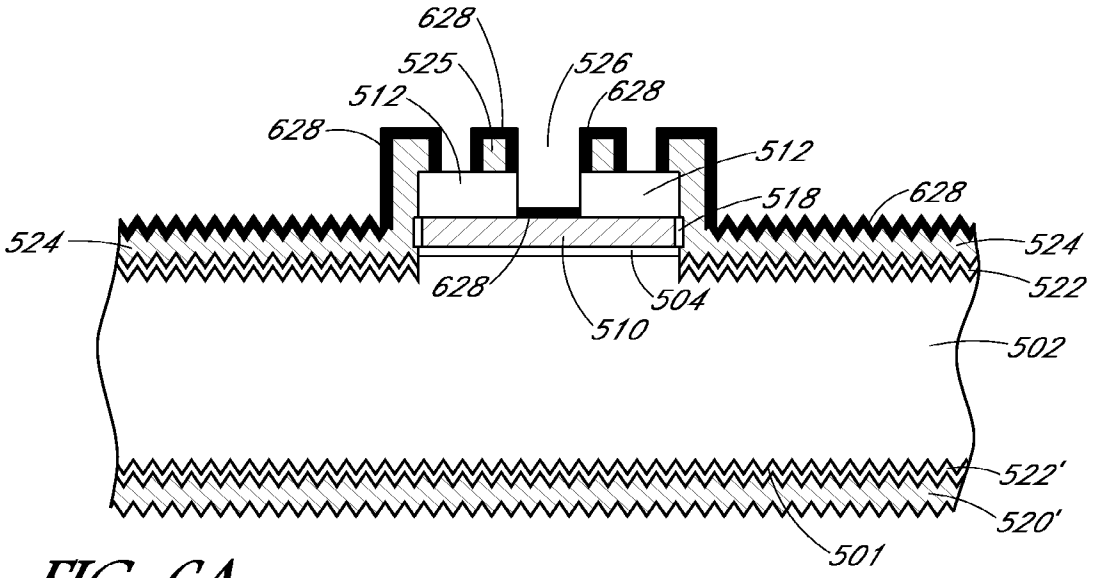

628
525
526
512
628
628
512
518
628
524
524
522
628
504
510
502
522'
520'
501

FIG. 6A

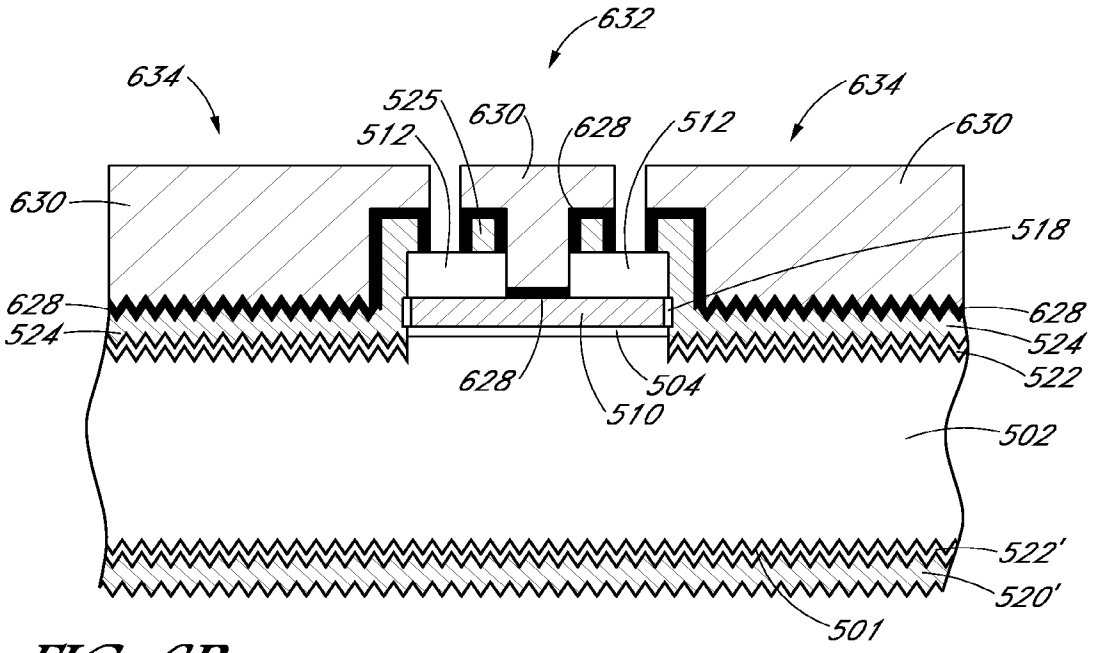

632
634
634
525
630
512
628
512
630
630
518
628
628
524
524
522
628
504
510
502
522'
520'
501

FIG. 6B