

ITALIAN PATENT OFFICE

Document No.

102011901964982A1

Publication Date

20130119

Applicant

STMICROELECTRONICS S.R.L.

Title

DISPOSITIVO DI FOTORIVELAZIONE CON COPERTURA PROTETTIVA E
ANTIRIFLESSO, E RELATIVO METODO DI FABBRICAZIONE

DESCRIZIONE

del brevetto per invenzione industriale dal titolo:

"DISPOSITIVO DI FOTORIVELAZIONE CON COPERTURA PROTETTIVA E ANTIRIFLESSO, E RELATIVO METODO DI FABBRICAZIONE"

di STMICROELECTRONICS S.R.L.

di nazionalità italiana

con sede: VIA C. OLIVETTI, 2

AGRATE BRIANZA (MB)

Inventore: MAZZILLO Massimo Cataldo

*** ***** ***

La presente invenzione è relativa ad un dispositivo di fotorivelazione provvisto di uno strato di copertura atto ad agire come strato antiriflesso e protettivo, e ad un relativo metodo di fabbricazione.

Le lunghezze d'onda delle radiazioni ultraviolette (UV) sono comprese tra circa 100 nm e circa 400 nm, e, entro questo intervallo, sono suddivise in tre bande: la banda A (UV-A), includente lunghezze d'onda comprese tra circa 315nm e 400 nm; la banda B (UV-B), includente lunghezze d'onda comprese tra circa 280 e 315 nm; e la banda C (UV-C), includente lunghezze d'onda comprese tra circa 100 e 280 nm. Recentemente, la crescita di applicazioni in cui radiazioni o segnali ultravioletti sono utilizzati ha fatto crescere l'interesse in dispositivi atti a rilevare lunghezze d'onda nell'intervallo

dell'ultravioletto, in particolare dispositivi aventi un elevato valore del rapporto segnale rumore ("signal-to-noise ratio"). Tali applicazioni comprendono, ad esempio, la rivelazione di agenti biologici tramite fluorescenza indotta, la sterilizzazione, monitoraggio di incendi in ambienti chiusi (tramite rilevazione della presenza di fiamme), comunicazioni mascherate non in linea di vista ("non line-of-sight covert communications"), e altre ancora.

Attualmente, tubi fotomoltiplicatori (PMT) sono largamente utilizzati per le suddette applicazioni. Tuttavia, i tubi fotomoltiplicatori noti hanno alcuni svantaggi che ne rendono l'impiego limitato o talvolta svantaggioso. Ad esempio, l'efficienza quantistica ("quantum efficiency") nell'intervallo delle lunghezze d'onda UV è bassa, hanno dimensioni elevate, hanno costi elevati, richiedono alte tensioni di polarizzazione, e sono fragili.

Negli anni recenti il progresso tecnologico nel campo delle tecnologie di crescita di materiale su substrati di vario tipo, e più in generale nel campo della lavorazione di semiconduttori con elevata ampiezza di banda proibita ("band gap"), come ad esempio il carburo di silicio (SiC), ha favorito lo sviluppo di rilevatori di radiazioni UV di tipo integrato, in materiale semiconduttore. Tali

rilevatori comprendono, ad esempio, fotodiodi p-i-n, fotodiodi a valanga ("avalanche photodiodes"), fotodiodi a barriera Schottky, fotorivelatori metallo-semiconduttore-metallo, e altri ancora.

I fotorivelatori a semiconduttore richiedono, per un funzionamento ottimizzato, una bassa corrente di buio, che è ottenibile utilizzando materiali di elevata qualità. In particolare, semiconduttori con elevata ampiezza di banda proibita (maggiore di quella del silicio) offrono una corrente di buio bassa (indicativamente alcuni ordini di grandezza inferiore a quella del silicio), ideale per l'applicazione summenzionata. Ancora più in particolare, il carburo di silicio di tipo 4H (noto come 4H-SiC), con valore di banda proibita pari a circa 3,26 eV, è stato utilizzato in ambito sperimentale per la rilevazione di radiazioni ultraviolette a lunghezza d'onda di 380 nm e inferiori, cioè al di sotto dell'intervallo del visibile (circa 400 nm), ed è risultato essere un ottimo candidato per lo sviluppo di rilevatori UV. Inoltre, poiché il 4H-SiC è un semiconduttore con banda proibita indiretta, fotorivelatori di questo tipo sono vantaggiosi anche ad alte temperature di utilizzo (si veda ad esempio M. Razeghi and A. Rogalski, "Semiconductor ultraviolet detectors", J. Appl. Phys., vol. 79, no. 10, pp. 7433-7473, 1996).

Per migliorare la sensitività a lunghezze d'onda

nell'intervallo ultravioletto, i diodi Schottky sono solitamente preferiti ai diodi a giunzione p-n o p-i-n, poiché la generazione dei portatori di carica avviene in corrispondenza della superficie del semiconduttore dove è presente un campo elettrico di "built-in" elevato (a causa, come noto, della regione di carica spaziale ("space charge region") alla giunzione metallo-semiconduttore. Inoltre, i diodi Schottky sono dispositivi a portatori maggioritari, che consentono di avere tipicamente una risposta più veloce rispetto ad una giunzione p-n. Inoltre, i diodi Schottky richiedono un processo di fabbricazione più semplice rispetto ai diodi a giunzione p-i-n.

Diodi Schottky di tipo convenzionale in carburo di silicio per applicazione nell'ultravioletto prevedono una superficie superiore provvista di un sottile strato metallico (Ni, Au, Pt) semitrasparente alle lunghezze d'onda di interesse (tipicamente nell'intervallo 20-50nm), con elevato valore della barriera Schottky (tipicamente 1.4-1.8 eV) (si veda ad esempio Yan et al., IEEE J. Quantum Electr. 40, 1315, (2004)). Lo strato metallico superficiale è generalmente depositato mediante tecnica di sputtering o PVD ("physical vapor deposition"). Tuttavia, la sensibilità di questi dispositivi è solitamente bassa per lunghezze d'onda al di sotto dei 300 nm, a causa dell'assorbimento delle radiazioni ultraviolette da parte dello strato

metallico. Per accrescere l'efficienza quantistica di fotorivelatori in SiC, è noto ridurre lo spessore del summenzionato strato metallico. Questo approccio tuttavia può causare un controllo difficoltoso dell'uniformità di spessore della barriera Schottky (che risulta essere estremamente sottile), con conseguenti problemi di scarsa stabilità termica e meccanica.

L'esposizione diretta dell'area attiva (cioè della regione di carica spaziale della giunzione metallo-semiconduttore) alle radiazioni che si desidera rivelare può essere una alternativa per migliorare la sensitività del fotorivelatore per basse lunghezze d'onda. Ad esempio, è risultata soddisfacente una forma di realizzazione di un diodo Schottky di tipo verticale basato su carburo di silicio 4H (4H-SiC) di tipo interdigitato, basato su effetto di "pinch-off" alla superficie (si veda ad esempio Mazzillo et al., IEEE Photon Technol. Lett., 21, 1782, (2009)). Tale dispositivo ha consentito un miglioramento dell'efficienza di rilevamento per basse lunghezze d'onda. Infatti, la geometria interdigitata lascia scoperte porzioni superficiali di area attiva del fotorivelatore, consentendo un elevato valore di efficienza di assorbimento anche a basse lunghezze d'onda, quando la profondità di penetrazione nel carburo di silicio è molto alta (si veda ad esempio A. Sciuto, F. Roccaforte, S. Di Franco and V.

Raineri, "High responsivity 4H-SiC Schottky UV photodiodes based on the pinch-off surface effect", Appl. Phys. Lett., Vol. 89, 081111, 2006).

Inoltre, l'utilizzo di uno strato epitassiale superficiale scarsamente drogato (con drogaggio compreso tra circa $1 \cdot 10^{14}$ ioni/cm³ e $5 \cdot 10^{14}$ ioni/cm³), può favorire il raggiungimento della condizione di pinch-off (cioè la condizione di massima efficienza di rivelazione di fotoni) tra regioni svuotate contigue attorno ai contatti interdigitati, a tensione inversa bassa (anche in regime fotovoltaico). Dunque, ad oggi, i fotodiodi Schottky interdigitati rappresentano nel campo della rivelazione UV, la soluzione più promettente per assicurare elevata rivelazione di fotoni in tutti gli intervalli di lunghezze d'onda UV, con basso consumo di potenza (si veda ad esempio M. Mazzillo, G. Condorelli, M. E. Castagna, G. Catania, A. Sciuto, F. Roccaforte and V. Raineri, "Highly efficient low reverse biased 4H-SiC Schottky photodiodes for UV-light detection", IEEE Photon. Technol. Lett., Vol. 21, No.23, 2009, pp.1782-1784).

Tuttavia, la superficie di area attiva esposta dei fotodiodi Schottky interdigitati deve essere protetta per evitare danneggiamenti alla stessa, ad esempio causati dalla presenza di polvere, da sostanze chimiche presenti nell'ambiente di utilizzo del fotorivelatore, dalla

manipolazione del fotorivelatore da parte di un operatore, ecc. Vengono tipicamente utilizzati uno o più strati dielettrici (ad esempio utilizzando una pluralità di materiali diversi, con differenti spessori), depositati sull'intera superficie del fotorivelatore, ed anche al di sopra delle metallizzazioni di contatto. Tali strati dielettrici devono essere opportunamente depositati a formare una copertura a protezione della superficie del fotorivelatore che garantisca allo stesso tempo una elevata efficienza di funzionamento del fotorivelatore stesso. Tale copertura deve essere antiriflettente, tale da ottimizzare l'accoppiamento ("matching") degli indici di rifrazione all'interfaccia alle diverse interfacce aria-copertura e copertura-semiconduttore.

È noto realizzare strutture antiriflesso e/o di protezione per fotorivelatori di ossido di silicio (SiO_2) e di nitruro di silicio (Si_3N_4).

In particolare, uno strato antiriflesso di ossido di silicio può essere formato su uno strato di carburo di silicio mediante ossidazione termica. Ulteriori metodi noti comprendono il deposito mediante PECVD ("Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition") e LPCVD ("Low Pressure Chemical Vapor Deposition").

Per quanto riguarda la crescita mediante ossidazione termica, la fetta di carburo di silicio viene disposta in

un forno di ossidazione, in cui viene immesso un gas come precursore. Utilizzando come gas precursore ossigeno (O_2), si esegue una ossidazione detta "secca". Tale processo è relativamente lento e può portare ad uno strato finale contenente difetti cristallografici. Immettendo nel forno di ossidazione una piccola quantità di acido cloridrico (HCl), o un altro gas contenente cloro (ad esempio TCE - "trichloroethylene"), è possibile ridurre il numero di difetti cristallografici dello strato cresciuto, ma si ha lo svantaggio di ottenere uno strato di ossido contenente una certa percentuale di cloro. Utilizzando invece come gas precursore vapore acqueo, si esegue una ossidazione di tipo "umido". Lo strato di ossido che si ottiene mediante il processo di ossidazione umida mostra una qualità minore rispetto allo strato di ossido ottenibile mediante ossidazione secca, ma la velocità di crescita è più elevata. Entrambi i processi richiedono elevate temperature, comprese tra 900 e 1200 °C.

Le tecniche PECVD e LPCVD consentono di depositare ossido di silicio a temperature inferiori, ma lo strato di ossido che si ottiene mostra una qualità strutturale povera, in particolare da un punto di vista stechiometrico e di densità.

Indipendentemente dalla particolare tecnica di deposito o crescita utilizzata, ulteriori svantaggi di uno

strato antiriflesso di ossido di silicio su carburo di silicio comprendono elevati stress all'interfaccia SiC-SiO₂ (in particolare per ossidi spessi), che possono causare la generazione di correnti di perdita ("leakage current") e, in casi estremi, la rottura dell'intera fetta.

Sono state studiate le prestazioni di diodi Schottky 4H-SiC per applicazioni di fotorivelazione in presenza di uno strato di SiO₂ cresciuto termicamente sulla superficie di SiC, con finalità protettive della stessa. È stato verificato che il pinch-off è influenzato in corrispondenza della regione superficiale da cariche di interfaccia (intrappolate) all'interfaccia SiC-SiO₂. L'effetto indesiderato causato da tali cariche intrappolate è ancora più evidente per bassi drogaggi superficiali, richiesti quando il dispositivo è operato a basse tensioni inverse. Si veda a tal fine A. Sciuto, F. Roccaforte, S. Di Franco, V. Raineri, S. Billotta and G. Bonanno, "Photocurrent gain in 4H-SiC interdigit Schottky UV detectors with a thermally grown oxide layer", Appl. Phys. Lett., Vol. 90, 223507, 2007.

Ulteriori svantaggi dovuti alla presenza dello strato protettivo di SiO₂ comprendono una riduzione del tempo di risposta del fotorivelatore, aumento della corrente di buio, e un aumento delle correnti di leakage.

Uno strato antiriflesso di nitruro di silicio può

essere formato su uno strato di carburo di silicio mediante tecnica di deposizione LPCVD o PECVD. Mediante tecnica LPCVD, il nitruro di silicio può essere depositato in modo uniforme e riproducibile. Lo strato ottenuto ha buone proprietà di copertura dei bordi e buona stabilità termica. Tuttavia, le temperature di deposito sono elevate (700-900°C). La tecnica PECVD consente una deposizione più rapida ad una temperatura più bassa (circa 400 °C) con pari vantaggi.

Tuttavia, a causa delle diversità di struttura cristallina tra il carburo di silicio e il nitruro di silicio, e/o a causa di difetti nella struttura cristallografica dello strato di nitruro di silicio, possono verificarsi tensioni nello strato di nitruro di silicio che possono anche causarne la rottura. Inoltre, ulteriori stress nello strato di nitruro di silicio sono causati da variazioni di temperatura, come evidenziato in letteratura (si veda ad esempio S. Sze, "VLSI Technology", McGraw-Hill, 1983).

Il nitruro di silicio (ad esempio depositato mediante tecnica PECVD) si è dimostrato maggiormente adatto all'uso come strato di passivazione. Il processo di crescita può essere regolato in modo tale che lo strato di nitruro di silicio cresciuto abbia stress ridotto. Tuttavia questo non esclude la possibile presenza di cariche intrappolate

all'interfaccia di SiC-Si₃N₄ (si veda ad esempio K. J. Park and G. N. Parsons, "Bulk and interface charge in low temperature silicon nitride for thin film transistors on plastic substrates", J. Vac. Sci. Technol., vol.22, no. 6 pp. 2256-2260, 2004). Inoltre, il nitruro di silicio ha una banda proibita superiore a quella dell'ossido di silicio. Ciò significa che il nitruro di silicio può avere un assorbimento molto elevato per lunghezze d'onda nell'intervallo 200-300 nm.

Risulta evidente che i problemi generati dall'utilizzo di strati protettivi di nitruro di silicio o ossido di silicio non sono limitati a dispositivi di fotorivelazione con substrato in carburo di silicio, ma si estendono a generici substrati di materiale semiconduttore, quali ad esempio silicio, gallio, arsenuro di gallio, nitruro di gallio, e altri ancora.

Infine, uno strato protettivo è comunque necessario in vista dell'incapsulamento ("packaging") del fotorivelatore.

Attualmente i packaging comprendono una struttura portante in metallo provvista di una finestra in quarzo di grado ultravioletto che consente l'accesso di fotoni all'area attiva del fotorivelatore. Tuttavia la finestra di quarzo ha un costo elevato. Packaging in plastica sono utilizzati per ridurre i costi, ma non garantiscono una ottima protezione da urti, vibrazioni e altri fattori

esterni. Inoltre non formano un adeguato strato protettivo ad elevata trasmissività nella regione ultravioletta, specialmente sotto i 300 nm.

Scopo della presente invenzione è fornire ("provide") un dispositivo di fotorivelazione con strato di copertura di tipo perfezionato, ed un relativo metodo di fabbricazione, in grado di superare gli inconvenienti dell'arte nota.

Secondo la presente invenzione vengono forniti un dispositivo di fotorivelazione con strato di copertura di tipo perfezionato, ed un relativo metodo di fabbricazione, come definiti nelle rivendicazioni allegate.

Per una migliore comprensione della presente invenzione, ne vengono ora descritte forme di realizzazione preferite, a puro titolo di esempio non limitativo e con riferimento ai disegni allegati, nei quali:

- la figura 1 mostra un dispositivo di fotorivelazione secondo una forma di realizzazione della presente invenzione;

- la figura 2 mostra un package alloggiante il dispositivo di fotorivelazione di figura 1;

- la figura 3 mostra un dispositivo di fotorivelazione secondo una ulteriore forma di realizzazione della presente invenzione;

- la figura 4 mostra un dispositivo di fotorivelazione

secondo una ulteriore forma di realizzazione della presente invenzione;

- le figure 5a e 5b mostrano caratteristiche corrente-tensione in polarizzazione, rispettivamente, diretta e inversa, del dispositivo di fotorivelazione secondo una qualsiasi delle forme di realizzazione delle figure 1, 3, 4 rispetto ad un dispositivo di fotorivelazione di tipo noto;

- le figure 6a e 6b mostrano curve di responsività ottica e di guadagno al variare della lunghezza d'onda di una radiazione luminosa incidente del dispositivo di fotorivelazione secondo una qualsiasi delle forme di realizzazione delle figure 1, 3, 4 rispetto ad un dispositivo di fotorivelazione di tipo noto;

- la figura 7 mostra la variazione del fattore di trasmissione al variare della lunghezza d'onda di una radiazione luminosa incidente del dispositivo di fotorivelazione secondo una qualsiasi delle forme di realizzazione delle figure 1, 3, 4 rispetto ad un dispositivo di fotorivelazione di tipo noto;

- la figura 8 mostra un sistema di monitoraggio di una sorgente ultravioletta comprendente il dispositivo di fotorivelazione secondo una qualsiasi delle forme di realizzazione delle figure 1, 3, 4; e

- la figura 9 mostra un dispositivo di fotorivelazione secondo una ulteriore forma di realizzazione della presente

invenzione.

La presente invenzione è relativa ad un dispositivo di fotorivelazione comprendente: un corpo semiconduttore, avente una superficie frontale; e una regione di area attiva estendentesi nel corpo semiconduttore affacciata alla superficie frontale, configurata per ricevere una radiazione luminosa e generare, per effetto fotoelettrico in risposta alla radiazione luminosa ricevuta, portatori di carica elettrica (in particolare, una coppia elettrone-lacuna che, sotto l'effetto di un campo elettrico, genera una corrente elettrica). Il dispositivo di fotorivelazione comprende inoltre uno strato di copertura ("covering layer") di polidimetilsilossano (PDMS) estendentesi sulla superficie frontale in corrispondenza della regione di area attiva in modo tale che la radiazione luminosa sia ricevuta dalla regione di area attiva attraverso lo strato di copertura. Lo strato di copertura offre protezione per la superficie frontale del corpo semiconduttore ed agisce come strato antiriflesso per la radiazione luminosa ricevuta. La radiazione luminosa è, in particolare, una radiazione UV. La particolare struttura fisica del dispositivo di fotorivelazione è indifferente ai fini della presente invenzione, a patto che tale dispositivo di fotorivelazione comprenda uno strato di copertura di PDMS estendentesi in modo tale che la radiazione luminosa sia ricevuta dalla

regione di area attiva attraverso lo strato di copertura.

La figura 1 mostra un fotorivelatore 1 secondo una forma di realizzazione della presente invenzione.

Il fotorivelatore 1 è, in particolare, un diodo Schottky con struttura dei contatti Schottky superficiali di tipo interdigitato.

Più in dettaglio, il fotorivelatore 1 comprende un substrato 2, di carburo di silicio, in particolare 4H-SiC, drogato N⁺ con dose di circa $1 \cdot 10^{19}$ ioni/cm³, avente un lato fronte ("front side") 2a ed un lato retro ("back side") 2b; uno strato di buffer 4, di carburo di silicio (in particolare 4H-SiC) drogato N⁺ con dose di circa $1 \cdot 10^{16}$ ioni/cm³, estendentesi al di sopra del lato fronte 2a del substrato 2 ed avente la funzione di interfaccia tra il substrato e strati superiori con funzione di adattamento del profilo del drogaggio; uno strato attivo 6, di carburo di silicio (in particolare 4H-SiC) drogato N⁻ con dose di circa $1 \cdot 10^{14}$ ioni/cm³, estendentesi al di sopra dello strato di buffer 4, e comprendente una regione di area attiva 8 del fotorivelatore 1 affacciata alla superficie superiore 6a dello strato attivo 6; e contatti Schottky 10, formati al di sopra della superficie superiore 6a dello strato attivo 6, aventi struttura di tipo interdigitato. In particolare, i contatti Schottky 10 lasciano esposte porzioni superficiali 8' dell'area attiva 8, configurate

per ricevere, in uso, una radiazione luminosa, in particolare ultravioletta (schematizzata in figura da frecce 12). Il fotorivelatore 1 comprende inoltre un terminale di contatto di retro 14, formato sul lato retro 2b del substrato 2 in contatto ohmico con quest'ultimo.

Più in dettaglio, la struttura interdigitata dei contatti Schottky 10 comprende una pluralità di elementi di forma allungata, (dita, "fingers") che si estendono sulla superficie superiore 6a a distanza l'una dall'altra (ciascun dito definendo, nell'ambito della presente descrizione, un contatto Schottky 10). In questo modo, tra un contatto Schottky 10 ed un altro contatto Schottky 10 adiacente si estende una porzione superficiale 8' dell'area attiva 8 direttamente esposta ad una eventuale radiazione luminosa incidente. Tali porzioni superficiali 8' di area attiva 8 estendentisi tra un contatto Schottky 10 ed un altro non sono dunque coperte da strutture metalliche (o in generale conduttive) che potrebbero ridurre considerevolmente l'intensità di radiazione luminosa ricevuta dall'area attiva.

Secondo la presente invenzione, il fotorivelatore 1 comprende inoltre uno strato di copertura 20 di PDMS (Polidimetilsilossano - "Polydimethylsiloxane"). Secondo la forma di realizzazione di figura 1, lo strato di copertura 20 si estende al di sopra della superficie superiore 6a

dello strato attivo 6, in corrispondenza delle ed in contatto diretto con le porzioni superficiali 8' dell'area attiva 8 tra i contatti Schottky 10, ed anche al di sopra dei contatti Schottky 10.

Lo strato di copertura 20 ha sia una funzione antiriflesso (meglio illustrata in seguito) che protettiva per la superficie del dispositivo (in particolare è atta a proteggere il fotorivelatore 1 da polvere, elementi contaminanti e in generale da fenomeni di invecchiamento derivanti dall'utilizzo).

Il substrato ha uno spessore compreso tra circa 200 μm e 400 μm ; lo strato di buffer 4 ha uno spessore compreso tra circa 0.5 μm e 1 μm ; lo strato attivo 6 ha uno spessore compreso tra circa 2 μm e 20 μm ; ciascun contatto Schottky ha uno spessore compreso tra circa 1 μm e 3 μm ; e lo strato di copertura 20 ha uno spessore compreso tra circa 50 μm e 3 mm.

In uso, il fotorivelatore 1 genera una corrente elettrica proporzionale all'intensità della radiazione luminosa che incide sull'area attiva 8 dello stesso. Il funzionamento si basa, come noto, sul meccanismo di assorbimento della radiazione elettromagnetica e di conseguente generazione di una coppia elettrone-lacuna nell'area attiva 8. Quindi, sotto l'azione di un campo elettrico esterno (applicato tra i contatti Schottky 10 e

il terminale di contatto di retro 14), è generata una corrente di fotoconduzione che scorre verticalmente attraverso lo strato attivo 6, lo strato di buffer 4 e il substrato 2. La polarizzazione applicata in uso tra contatti Schottky 10 e terminale di contatto di retro 14 ha valore, ad esempio, compreso tra 0 V e -20 V (polarizzazione inversa).

Come mostrato schematicamente in figura 2, il fotorivelatore 1 può essere inserito in un package 13, ad esempio di tipo plastico, provvisto di una finestra 15 che consente l'accesso della radiazione luminosa 12 verso l'area attiva 8 del fotorivelatore 1. Tuttavia, tale finestra 15 non necessita di particolari elementi di protezione che siano anche trasparenti alla radiazione luminosa 12 incidente. La protezione necessaria è fornita dallo strato di copertura 20. In questo modo si ottiene un vantaggio economico in quanto è possibile utilizzare package plastici privi di finestre in quarzo.

Il package 13 alloggia il fotorivelatore 1 in modo tale che quest'ultimo è affacciato alla finestra 15 in modo da ricevere la radiazione luminosa 12 in corrispondenza dalla regione di area attiva 8 attraverso lo strato di copertura 20. Lo strato di copertura 20 funge dunque da interfaccia tra l'area attiva 8 e l'ambiente esterno al package, attraverso la finestra 15.

La figura 3 mostra un fotorivelatore 1' secondo una forma di realizzazione alternativa a quella di figura 1. In questo caso, lo strato di copertura 20 di PDMS si estende al di sopra della superficie superiore 6a dello strato attivo 6 in corrispondenza delle porzioni superficiali 8' dell'area attiva 8, tra i contatti Schottky 10 e non al di sopra dei contatti Schottky 10. Lo strato di copertura 20 ha dunque uno spessore analogo allo spessore dei contatti Schottky 10.

Secondo una ulteriore forma di realizzazione della presente invenzione (fotorivelatore 1'', figura 4), lo strato di copertura 20 di PDMS si estende al di sopra della superficie superiore 6a dello strato attivo 6, in corrispondenza delle porzioni superficiali 8' dell'area attiva 8, tra i contatti Schottky 10 e parzialmente al di sopra dei contatti Schottky 10.

Sia il fotorivelatore 1' che il fotorivelatore 1'' possono essere alloggiati in un package 13 del tipo descritto con riferimento alla figura 2.

Il PDMS è un elastomero siliconico comprendente molecole aventi una struttura con unità siloxane (Si-O) ripetute, con almeno un legame silicio-carbonio. Le proprietà chimiche e fisiche dei polimeri siliconici possono essere ottimizzate regolando la concentrazione e il tipo di gruppi organici legati alle molecole di silicio. Il

gruppo metile (CH_3), che concorre a formare il polidimetilsilossano (PDMS), è noto ed utilizzato in varie applicazioni industriali. Le applicazioni più note del PDMS sono attualmente quelle in ambito microfluidico.

Il PDMS ha tuttavia anche ottime proprietà ottiche, per la sua trasparenza a lunghezze d'onda nello spettro del visibile e nello spettro ultravioletto. In particolare, la richiedente ha verificato che le caratteristiche di assorbimento del PDMS delle radiazioni UV non sono molto diversi da quelle del vetro di grado ultravioletto. La richiedente ha inoltre verificato che il PDMS ha caratteristiche di assorbimento nell'ultravioletto considerevolmente minori rispetto all'assorbimento di altre resine.

Inoltre, poiché il PDMS è un elastomero, il valore del modulo di Young (detto anche modulo elastico) del PDMS è molto inferiore di quello dell'ossido di silicio e del nitruro di silicio. Questo significa che il PDMS induce minori stress di interfaccia rispetto allo stress indotto dall'ossido di silicio o dal nitruro di silicio. Dunque, con riferimento alla figura 1 (ma lo stesso discorso vale per le figure 3 e 4), lo stress indotto all'interfaccia tra lo strato di copertura 20 e lo strato attivo 6, e lo stress indotto all'interfaccia tra lo strato di copertura 20 e i contatti Schottky 10, è basso. Di conseguenza, la

probabilità di rotture o variazioni fisiche dello strato di copertura 20 e/o dello strato attivo 6 e/o dei contatti Schottky 10 è molto minore rispetto a quanto noto nella tecnica in cui lo strato di copertura è fatto di SiO_2 o Si_3N_4 .

Ulteriori proprietà vantaggiose del PDMS includono il fatto che è chimicamente inerte e poco costoso.

Lo strato di copertura 20 è formato al termine delle fasi di fabbricazione del fotorivelatore 1. Fasi intermedie di fabbricazione del fotorivelatore 1 non sono qui descritte in dettaglio, in quanto sono note e non sono oggetto della presente invenzione.

Le fasi di fabbricazione descritte sono relative ad un processo di formazione del fotorivelatore 1 di figura 1. Tuttavia, quanto qui descritto è valido anche per il fotorivelatore 1' e 1''.

Il fotorivelatore 1 può essere fabbricato disponendo ("providing") il substrato 2, di 4H-SiC drogato N+. Quindi, sul lato fronte 2a del substrato 2 viene cresciuto epitassialmente lo strato di buffer 4, di 4H-SiC drogato N+. Il drogaggio può essere effettuato mediante impianto al termine della fase di crescita dello strato di buffer 4 o durante la fase di crescita epitassiale stessa, immettendo specie droganti di tipo N all'interno della camera in cui avviene la crescita epitassiale. Alternativamente alla

crescita epitassiale, lo strato di buffer 4 può essere formato mediante tecniche note di deposito di SiC (es., sputtering, CVD, ecc.).

Quindi, al di sopra dello strato di buffer 4, formato, ad esempio mediante crescita epitassiale, lo strato attivo 6, di 4H-SiC drogato N-. Anche in questo caso, il drogaggio può avvenire mediante impianto successivo alla crescita dello strato attivo 6 o immettendo specie droganti di tipo N nella camera in cui avviene la crescita epitassiale, in modo noto.

In seguito, si formano i contatti Schottky 10 sulla superficie superiore 6a dello strato attivo 6. I contatti Schottky 10 sono formati, ad esempio, depositando uno strato di metallo mediante tecnica di sputtering o altra tecnica opportuna, e modellando ("shaping"), attraverso fasi successive di litografia e attacco ("etching"), lo strato di metallo così depositato in modo da ottenere la struttura interdigitata desiderata. Alternativamente, i contatti Schottky 10 possono essere formati in altro materiale conduttore, diverso dal metallo, ad esempio polisilicio drogato, o altro materiale ancora.

Quindi, si forma il contatto di retro 14 sul lato retro 2b del substrato 2, in modo analogo a quanto descritto con riferimento alla formazione dei contatti

Schottky 10 (in questo caso tuttavia, fasi di litografia e attacco possono non essere necessarie).

La fase di formazione dello strato di copertura 20 secondo la presente invenzione comprende preparare una miscela ("mixture") comprendente una parte di elastomero base ("bulk elastomer") con una parte di agente curante ("curing agent"), in rapporto ("ratio") circa 1:1 (altri rapporti tra elastomero base e agente curante comunemente utilizzati comprendono 3:1, 10:1, 20:1, 30:1).

Si procede quindi con una fase di mescolamento e una successiva fase di degassamento, per eliminare dalla miscela aria in eccesso (al fine di evitare la formazione di bolle d'aria in fasi successive di processo). Questa ultima fase è eseguita inserendo la miscela di elastomero base e agente curante in camera sotto vuoto per un tempo opportuno a rimuovere tutta l'aria in eccesso (variabile a seconda della quantità della miscela e dell'aria in eccesso presente in essa).

Quindi, la miscela così ottenuta è colata ("poured") sulla superficie superiore 6a dello strato attivo 6 del fotorivelatore 1. Risulta evidente che, a seconda della forma di realizzazione di figura 1, 3, o 4, la fase di colare il PDMS liquido sulla superficie superiore 6a dello strato attivo 6 comprende colare il PDMS sull'intera superficie superiore 6a dello strato attivo 6 tra e al di

sopra dei contatti Schottky 10 (figura 1); oppure, colare il PDMS sulla superficie superiore 6a dello strato attivo 6 solo in corrispondenza degli spazi tra i contatti Schottky 10 e non al di sopra dei contatti Schottky 10 (figura 3); oppure, colare il PDMS sulla superficie superiore 6a dello strato attivo 6 in corrispondenza degli spazi tra i contatti Schottky 10 e solo parzialmente al di sopra dei contatti Schottky 10 (figura 4).

Alternativamente, le forme di realizzazione di figura 3 e figura 4 possono essere ottenute colando il PDMS sull'intera superficie superiore 6a dello strato attivo 6 tra e al di sopra dei contatti Schottky 10 ed in seguito rimuovendo il PDMS in eccesso al di sopra dei contatti Schottky 10 (ad esempio tramite opportune fasi di etching). Alternativamente, per regioni di area attiva 8' di ampie dimensioni, è possibile colare il PDMS in modo selettivo in corrispondenza di esse.

Quindi, si procede con una fase di trattamento termico a temperatura compresa tra circa 80 e 120 °C per un tempo compreso tra circa 30 minuti e 2 ore, in atmosfera inerte (cioè in ambiente con azoto, N₂), al fine di favorire la solidificazione del PDMS. Si fa qui notare che tale trattamento termico è utile per velocizzare la fase di solidificazione, ma non è necessario. Infatti, il PDMS solidifica anche a temperatura ambiente (in un tempo,

ovviamente, molto maggiore rispetto a quanto ottenibile con trattamento termico).

Si forma così il fotorivelatore 1 di figura 1 (e, analogamente, con le opportune varianti di processo descritte, i fotorivelatori 1' e 1" delle figure 2 e 3).

La richiedente ha verificato che le caratteristiche corrente-tensione (I-V) del fotorivelatore 1 in polarizzazione diretta e inversa (figure 4a, 4b), così come la responsività ottica (figure 5a, 5b), non variano in modo significativo rispetto a quelle ottenute utilizzando un fotorivelatore di tipo noto, analogo al fotorivelatore 1, ma privo dello strato di copertura 20.

La figura 5a mostra curve I-V in polarizzazione diretta relative a (curva 25) un fotorivelatore di tipo noto analogo al fotorivelatore 1 ma privo di strato di copertura 20 (cioè con porzioni superficiali 8' dell'area attiva 8 direttamente esposte), e (curva 26) al fotorivelatore 1 secondo la presente invenzione. Come si può notare, le curve sono sostanzialmente sovrapposte l'una all'altra, mostrando che il comportamento del fotorivelatore in polarizzazione diretta non è influenzato dalla presenza dello strato di copertura 20 di PDMS.

La figura 5b mostra curve I-V in polarizzazione inversa relative a (curva 27) un fotorivelatore di tipo noto analogo al fotorivelatore 1 ma privo di strato di

copertura 20 (cioè con porzioni superficiali 8' dell'area attiva 8 direttamente esposte), e (curva 28) al fotorivelatore 1 secondo la presente invenzione. Come si nota anche in questo caso, le curve 27 e 28 mostrano che il comportamento del fotorivelatore 1 è minimamente influenzato dalla presenza dello strato di copertura 20. Dalla curva 28 si nota che la corrente di buio (in polarizzazione inversa) si mantiene a valori bassi (alcuni pA), paragonabili a quelli della curva 27, confermando che lo stress indotto dalla presenza dello strato di copertura 20 nello strato attivo 6 (in particolare in corrispondenza della superficie 6a) è minimo.

La figura 6a mostra curve di responsività ottica relative a (curva 30) un fotorivelatore di tipo noto analogo al fotorivelatore 1 ma privo di strato di copertura 20 (cioè con porzioni superficiali 8' dell'area attiva 8 direttamente esposte), e (curva 31) al fotorivelatore 1 secondo la presente invenzione. Dalla figura 6a si nota che la presenza dello strato di copertura 20 migliora la responsività ottica del fotorivelatore 1, aumentandola. Questo effetto è evidente in modo particolare per basse lunghezze d'onda. Anche l'efficienza quantistica aumenta grazie alla presenza dello strato di copertura 20. La richiedente ha verificato che per radiazioni incidenti con lunghezze d'onda pari a 250 nm l'efficienza quantistica

passa da un valore del 22.4% (fotorivelatore noto, privo di strato di copertura 20) a un valore pari al 30% (fotorivelatore 1 di figura 1); per radiazioni incidenti con lunghezze d'onda pari a 290 nm l'efficienza quantistica passa da un valore del 40.2% (fotorivelatore noto, privo di strato di copertura 20) a un valore pari al 46.2% (fotorivelatore 1 di figura 1); e per radiazioni incidenti con lunghezze d'onda pari a 330 nm l'efficienza quantistica passa da un valore del 18.3% (fotorivelatore noto, privo di strato di copertura 20) a un valore pari al 20.5% (fotorivelatore 1 di figura 1).

La figura 6b mostra una curva di guadagno medio (in percentuale) della responsività ottica del fotorivelatore 1 secondo la presente invenzione rispetto al corrispondente guadagno di un fotorivelatore di tipo noto, analogo al fotorivelatore 1 ma privo di strato di copertura 20 (cioè con porzioni superficiali 8' dell'area attiva 8 direttamente esposte alla radiazione luminosa). Come si nota, la presenza dello strato di copertura 20 porta un considerevole beneficio al guadagno del fotorivelatore 1, in modo particolare sotto 270 nm.

L'elevato margine di errore associato a misure eseguite a basse lunghezze d'onda (<250nm) e elevate lunghezze d'onda (>330nm) è dovuto alla limitata

responsività dei fotorivelatori utilizzati per i test a queste lunghezze d'onda.

In ogni caso, dalle curve di figura 6b si può notare che il guadagno si mantiene elevato anche nel caso di fotorivelatore provvisto di strato di copertura 20. Questo significa che le perdite ottiche ascrivibili allo strato di copertura 20 sono irrilevanti.

Le curve delle figure 5a e 5b sono state acquisite ad una temperatura ambiente pari a circa 25 °C, utilizzando una sorgente di radiazioni UV di tipo tungsteno-alogeno provvista di un opportuno filtro atto a selezionare le lunghezze d'onda d'interesse, cioè comprese nell'intervallo 200-400nm circa.

Lo strato di copertura 20, di PDMS, risulta dunque avere eccellenti proprietà antiriflesso nell'intero intervallo ultravioletto, ed in particolare per lunghezze d'onda inferiori ai 260 nm dove l'assorbimento dello strato attivo 6 di 4H-SiC è molto alto, essendo la maggior parte del flusso luminoso incidente assorbito entro alcune decine di nanometri di profondità dalla superficie 6a dello strato attivo 6.

Inoltre, le basse temperature richieste per il processo di formazione dello strato di copertura 20 (il processo può infatti essere eseguito a temperatura ambiente), le temperature relativamente basse per il

processo termino di solidificazione dello strato di copertura 20, insieme con la bassa viscosità del PDMS, non incidono in modo significativo sulle proprietà e prestazioni elettriche del fotorivelatore secondo la presente invenzione. In particolare, le basse correnti di leakage confermano la sostanziale assenza di cariche all'interfaccia tra lo strato attivo 6 e lo strato di copertura 20 causate direttamente dalla presenza dello strato di copertura 20, e la sostanziale assenza di stress all'interfaccia tra lo strato attivo 6 e lo strato di copertura 20 tali da causare un significativo degrado delle prestazioni elettriche del fotorivelatore 1.

Inoltre, lo strato di copertura 20 non assolve solo alla funzione di protezione dello strato attivo 6 da agenti esterni che potrebbero causarne un degrado (polvere, contaminanti, ecc.) ma garantisce anche un miglioramento delle prestazioni del fotorivelatore 1 durante l'uso. Infatti, la presenza dello strato di copertura 20 comporta una riduzione della radiazione riflessa alla superficie superiore 6a dello strato attivo 6. Per verificare le proprietà antiriflesso dello strato di copertura 20, in prima approssimazione, è possibile calcolare la trasmissione della radiazione luminosa alle interfacce tra l'aria e lo strato di copertura 20 e tra lo strato di

copertura 20 e lo strato attivo 6, cioè, rispettivamente, alle interfacce aria/PDMS e PDMS/4H-SiC.

Per angoli di incidenza della radiazione luminosa sostanzialmente ortogonali alla superficie esposta dello strato di copertura 20, il fattore di trasmissione T_1 all'interfaccia aria/PDMS può essere calcolato utilizzando la formula (1):

$$T_1 = (4n_{\text{AIR}}n_{\text{PDMS}}) / (n_{\text{AIR}} + n_{\text{PDMS}})^2 \quad (1)$$

dove n_{AIR} è l'indice di rifrazione dell'aria ($n_{\text{AIR}} \approx 1$) e n_{PDMS} è l'indice di rifrazione dello strato di copertura 20 ed è funzione della lunghezza d'onda della radiazione incidente secondo una formula tipica approssimata (2):

$$n_{\text{PDMS}} = 1.395 + (7.52 \cdot 10^3) / \lambda_i^2 \quad (2)$$

dove λ_i è la lunghezza d'onda della radiazione incidente.

Analogamente, per angoli di incidenza della radiazione luminosa sostanzialmente ortogonali alla superficie 6a dello strato attivo 6, il fattore di trasmissione T_2 all'interfaccia PDMS/4H-SiC può essere calcolato utilizzando la formula (3):

$$T_2 = (4n_{\text{PDMS}}n_{\text{4H-SiC}}) / (n_{\text{PDMS}} + n_{\text{4H-SiC}})^2 \quad (3)$$

dove $n_{\text{4H-SiC}}$ è l'indice di rifrazione dello strato attivo 6 ed è funzione della lunghezza d'onda della radiazione incidente secondo la formula (4):

$$n_{\text{4H-SiC}} = 2.561 + (3.4 \cdot 10^4) / \lambda_i^2. \quad (4)$$

Il fattore di trasmissione totale è dato da $T_{TOT}=T_1 \cdot T_2$.

La figura 7 mostra la variazione del fattore di trasmissione totale T_{TOT} in funzione della lunghezza d'onda incidente λ_i , in un caso ideale in cui la dipendenza del fattore di trasmissione dallo spessore degli strati considerati non è tenuta in conto (tutti gli strati sono approssimati come aventi spessore infinito).

La curva 40 di figura 7 è relativa al fattore di trasmissione totale T_{TOT} misurato con riferimento ad un fotorivelatore provvisto dello strato di copertura 20 secondo la presente invenzione. La curva 41 di figura 7 è relativa ad un fattore di trasmissione misurato con riferimento ad un fotorivelatore privo dello strato di copertura 20 (dunque all'interfaccia aria/4H-SiC).

Come si può notare, per tutte le lunghezze d'onda di interesse (UV), la presenza dello strato di copertura 20 garantisce un miglioramento del fattore di trasmissione totale T_{TOT} . Lo strato di copertura 20 è dunque efficace anche come strato antiriflesso.

La presenza dello strato di copertura 20 di PDMS, insieme con la struttura interdigitata del fotorivelatore 1, 1', 1'' (che lascia esposte alla radiazione incidente porzioni dell'area attiva 8) fornisce elevata efficienza quantistica di rilevamento per radiazioni ultraviolette.

Lo strato di copertura 20 ha inoltre una funzione protettiva degli strati sottostanti. Inoltre, lo strato di copertura 20 assolve anche la funzione di uno strato di passivazione.

La figura 8 mostra un sistema 100 che utilizza il fotorivelatore 1 secondo la presente invenzione.

Il sistema 100 è, secondo una forma di realizzazione, un sistema di sterilizzazione che utilizza una radiazione ultravioletta come radiazione sterilizzante, per sterilizzare, ad esempio, un generico dispositivo medico (indicato in figura con il riferimento 120).

Il sistema 100 comprende una sorgente di radiazione ultravioletta 102, ad esempio includente una lampada a mercurio o a LED, configurata per emettere una radiazione ultravioletta 103 nell'intervallo di lunghezze d'onda incluso tra 200 e 400 nm; ed un blocco di monitoraggio 104, configurato per ricevere e monitorare la radiazione ultravioletta 103. Il monitoraggio della radiazione ultravioletta 103 è necessario al fine di controllare costantemente l'eventuale deperimento della sorgente di radiazione ultravioletta 102, che potrebbe inficiare la corretta sterilizzazione.

Il blocco di monitoraggio 104 comprende il fotorivelatore 1 di figura 1 (ad esempio alloggiato nel package 13), disposto in modo tale da ricevere, in

corrispondenza dell'area attiva attraverso lo strato di copertura 20, la radiazione ultravioletta 103; mezzi di polarizzazione 110 accoppiati al fotorivelatore 1 per polarizzare, durante l'uso, il fotorivelatore 1 (in particolare includenti un generatore di tensione collegato tra i contatti Schottky 10 ed il terminale di polarizzazione di retro 14); e mezzi di elaborazione 112, accoppiati al fotorivelatore 1 per acquisire il segnale di corrente generato dal fotorivelatore 1 in risposta alla radiazione ultravioletta 103. I mezzi di elaborazione 112 comprendono, ad esempio, un amplificatore 114 atto a generare con un certo guadagno un segnale di tensione correlato al flusso di corrente generato dal fotorivelatore 1, e mezzi di calcolo 116, ad esempio un microcontrollore, atti a prelevare il segnale di tensione generato dall'amplificatore 114 e confrontare tale segnale con un valore di soglia predefinito. Se tale segnale di tensione ha valore superiore alla soglia predefinita, la sorgente di radiazione ultravioletta 102 opera correttamente (la radiazione ultravioletta 103 ha intensità sufficientemente elevata da soddisfare le esigenze di sterilizzazione); viceversa, se il segnale di tensione ha valore inferiore alla soglia predefinita, allora la sorgente di radiazione ultravioletta 102 deve essere sostituita.

Alternativamente a quanto descritto, il blocco di monitoraggio 104 può includere indifferentemente il fotorivelatore 1' di figura 3, il fotorivelatore 1" di figura 4, o, in generale qualsiasi altro fotorivelatore comprendente uno strato di copertura di PDMS secondo la presente invenzione (ad esempio il fotorivelatore 200 descritto nel seguito con riferimento alla figura 9).

L'utilizzo, nel sistema 100, di un fotorivelatore comprendente uno strato di copertura di PDMS secondo la presente invenzione risulta vantaggioso in quanto la richiedente ha verificato che le caratteristiche di invecchiamento dello strato di copertura di PDMS in risposta ad alti flussi luminosi sono basse, rendendo fotorivelatori provvisti di tale strato di copertura di PDMS ideali per applicazioni di questo tipo.

Risulta infine chiaro che a quanto qui descritto ed illustrato possono essere apportate modifiche e varianti senza per questo uscire dall'ambito di protezione della presente invenzione, come definito nelle rivendicazioni allegate.

In particolare, la presente invenzione non è limitata a strutture di carburo di silicio 4H, ma è estesa a strutture di carburo di silicio con diversa struttura cristallografica, ad esempio, ma non solo, 3C-SiC, 6H-SiC.

Inoltre, il drogaggio degli strati che formano il fotorivelatore 1, 1', 1" può essere di tipo P.

Inoltre, la presente invenzione non è limitata a fotorivelatori in carburo di silicio, ma può applicarsi a fotorivelatori la cui area attiva è formata in strati di materiale diverso dal SiC, ad esempio comprendenti materiali semiconduttori atti all'utilizzo in campo ottico per fotorivelazione, in particolare in campo ultravioletto quali ossido di titanio (TiO₂), leghe di alluminio gallio e nitruro (AlGaN), e altre ancora. Inoltre la presente invenzione non è limitata a fotorivelatori atti a rivelare una radiazione ultravioletta, ma è estesa a fotorivelatori atti a rivelare radiazioni aventi altre lunghezze d'onda (nell'infrarosso o nel visibile ad esempio). Materiali semiconduttori atti all'utilizzo in campo ottico per fotorivelazione a lunghezze d'onda diverse dall'ultravioletto comprendono ad esempio silicio (Si), germanio (Ge), arsenuro di gallio (GaAs) e altri materiali ancora quali InP, InGaAs, InGaAsP, ecc.

Infine, uno strato di copertura in PDMS del tipo descritto secondo la presente invenzione può essere formato su dispositivi diversi dal fotorivelatore 1, 1', 1", ad esempio può essere applicato a generici rivelatori fotoconduttivi, fotodiodi a giunzione p-n e p-i-n, fotodiodi con generazione di portatori a valanga,

dispositivi con generazione di portatori a valanga a singolo fotone (SPAD - single photon avalanche diode), e altri ancora. La struttura del fotodiodo descritta con riferimento alle figure 1, 3, e 4 non è pertanto limitativa della presente invenzione.

La figura 9 mostra, ad esempio, un fotorivelatore 200 (fotodiodo) comprendente un contatto di polarizzazione 201 formato sul lato retro 203', e un contatto di polarizzazione 202 formato sul lato fronte 203'' di un corpo semiconduttore 203. Il contatto di polarizzazione 202 che si estende sul lato fronte 203'' ha, in vista dall'alto, forma ad esempio circolare o poligonale e definisce internamente una porzione 204' di area attiva 204 completamente esposta. In questo caso, dunque, non è presente una struttura interdigitata dei contatti Schottky del tipo mostrato con riferimento alle figure 1, 2, e 3. Il fotorivelatore 200 comprende inoltre uno strato di copertura 210 di PDMS estendentesi in corrispondenza dell'area attiva 204, al di sopra di essa. Le fasi di formazione dello strato di copertura 210 sono analoghe a quelle già descritte per la formazione dello strato di copertura 20. Anche le proprietà ed i vantaggi associati allo strato di copertura 210 sono gli stessi già descritti con riferimento allo strato di copertura 20. Durante l'uso del fotorivelatore 200, una radiazione luminosa (in

particolare, con riferimento ad una forma di utilizzo, ultravioletta) è ricevuta dall'area attiva 204 attraverso lo strato di copertura 210.

Inoltre, il fotorivelatore 200 può essere alloggiato in un package 13 del tipo descritto con riferimento alla figura 2.

RIVENDICAZIONI

1. Dispositivo di fotorivelazione (1; 1'; 1"; 200), comprendente:

- un corpo semiconduttore (2, 4, 6), avente una superficie frontale (6a); e

- una regione di area attiva (8, 8'), estendentesi nel corpo semiconduttore affacciata alla superficie frontale, configurata per ricevere una radiazione luminosa (12) e generare, in risposta alla radiazione luminosa ricevuta, portatori di carica elettrica,

caratterizzato dal fatto di comprendere inoltre uno strato di copertura ("covering layer") (20) di polidimetilsilossano estendentesi sulla superficie frontale in corrispondenza della regione di area attiva in modo tale che la radiazione luminosa sia ricevuta dalla regione di area attiva attraverso lo strato di copertura.

2. Dispositivo di fotorivelazione secondo la rivendicazione 1, in cui la radiazione luminosa (12) è una radiazione ultravioletta.

3. Dispositivo di fotorivelazione secondo la rivendicazione 1 o 2, in cui lo strato di copertura (20) si estende in contatto diretto con la regione di area attiva (8, 8') affacciata alla superficie frontale (6a) del corpo semiconduttore (2, 4, 6).

4. Dispositivo di fotorivelazione secondo una

qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, comprendente inoltre un terminale di conduzione (10) estendentesi sulla superficie frontale (6a) in contatto elettrico diretto con la regione di area attiva (8, 8'), il terminale di conduzione avendo una struttura interdigitata includente una pluralità di dita ("fingers"), lo strato di copertura (20) estendendosi tra dette dita del terminale di conduzione.

5. Dispositivo di fotorivelazione secondo la rivendicazione 4, in cui lo strato di copertura (20) si estende inoltre parzialmente o completamente al di sopra del terminale di conduzione (10).

6. Dispositivo di fotorivelazione secondo una qualsiasi delle rivendicazioni 1-3, comprendente inoltre un terminale di conduzione (10) estendentesi sulla superficie frontale (6a) lateralmente alla regione di area attiva (8, 8'), lo strato di copertura (20) estendendosi parzialmente o completamente al di sopra del terminale di conduzione (10).

7. Dispositivo di fotorivelazione secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, in cui il corpo semiconduttore (2, 4, 6) comprende:

- un substrato (2), di materiale semiconduttore avente un primo valore di drogaggio;
- uno strato di buffer (4), di materiale

semiconduttore avente il primo valore di drogaggio, estendentesi sul substrato;

- uno strato attivo (6), di materiale semiconduttore avente un secondo valore di drogaggio minore del primo valore di drogaggio, estendentesi sullo strato di buffer e alloggiante l'area attiva (8, 8'),

detto materiale semiconduttore comprendendo almeno uno tra: carburo di silicio, germanio, silicio, fosforuro di indio, nitrato di gallio, arsenato di gallio, fosforato di alluminio gallio e indio, e loro miscele.

8. Package (13) comprendente una struttura incapsulante provvista di una finestra (15) atta a consentire l'accesso di una radiazione luminosa (12) all'interno del package, il package alloggiando un dispositivo di fotorivelazione (1; 1'; 1"; 200) secondo una qualsiasi delle rivendicazioni 1-7, il dispositivo di fotorivelazione essendo affacciato a detta finestra in modo tale da ricevere la radiazione luminosa in corrispondenza dalla regione di area attiva (8, 8') attraverso lo strato di copertura (20).

9. Sistema (100) di monitoraggio di una sorgente (102) di radiazione luminosa ultravioletta (103), comprendente:

- un dispositivo di fotorivelazione (1; 1'; 1"; 200) secondo una qualsiasi delle rivendicazioni 1-7, configurato per generare una corrente elettrica in risposta alla

ricezione della radiazione luminosa ultravioletta (103);

- mezzi di polarizzazione (110) elettricamente accoppiati al dispositivo di fotorivelazione per polarizzare il dispositivo di fotorivelazione;

- mezzi di elaborazione (114, 116) configurati per ricevere detta corrente elettrica e fornire, sulla base di parametri di detta corrente elettrica ricevuta, dati di monitoraggio associati ad almeno una caratteristica di funzionamento della sorgente (102).

10. Metodo di fabbricazione di un dispositivo di fotorivelazione (1; 1'; 1"; 200), comprendente le fasi di:

- disporre ("providing") un corpo semiconduttore (2, 4, 6) avente una superficie frontale (6a); e

- formare una regione di area attiva (8, 8') nel corpo semiconduttore affacciata alla superficie frontale, detta regione di area attiva essendo configurata per ricevere una radiazione luminosa (12) e generare, in risposta alla radiazione luminosa ricevuta, portatori di carica elettrica,

caratterizzato dal fatto di comprendere inoltre la fase di formare uno strato di copertura ("cover") (20) di polidimetilsilossano sulla superficie frontale in corrispondenza della regione di area attiva, in modo tale che la radiazione luminosa sia ricevuta dalla regione di area attiva attraverso lo strato di copertura.

11. Metodo secondo la rivendicazione 10, in cui la fase di formare lo strato di copertura (20) comprende formare lo strato di copertura in contatto diretto con la regione di area attiva (8, 8') affacciata alla superficie frontale (6a) del corpo semiconduttore (2, 4, 6).

12. Metodo secondo la rivendicazione 10 o 11, comprendente inoltre la fase di formare un terminale di conduzione (10) sulla superficie frontale (6a) in contatto elettrico diretto con la regione di area attiva (8, 8'), il terminale di conduzione avendo una struttura interdigitata includente una pluralità di dita ("fingers"), la fase di formare lo strato di copertura comprendendo formare lo strato di copertura tra dette dita del terminale di conduzione.

13. Metodo secondo la rivendicazione 12, in cui la fase di formare lo strato di copertura (20) comprendendo formare lo strato di copertura (20) parzialmente o completamente al di sopra del terminale di conduzione (10).

14. Metodo secondo la rivendicazione 10 o 11, comprendente inoltre la fase di formare un terminale di conduzione (10) sulla superficie frontale (6a) lateralmente alla regione di area attiva (8, 8'), la fase di formare lo strato di copertura (20) comprendendo formare lo strato di copertura (20) parzialmente o completamente al di sopra del terminale di conduzione (10).

15. Metodo secondo una qualsiasi delle rivendicazioni 10-14, in cui la fase di formare il corpo semiconduttore (2, 4, 6) comprende le fasi di:

- disporre ("providing") un substrato (2), di materiale semiconduttore avente un primo valore di drogaggio;

- formare uno strato di buffer (4), di materiale semiconduttore avente il primo valore di drogaggio sul substrato;

- formare uno strato attivo (6), di materiale semiconduttore avente un secondo valore di drogaggio minore del primo valore di drogaggio, sullo strato di buffer,

la fase di formare l'area attiva (8, 8') comprendendo formare l'area attiva nello strato attivo (6),

detto materiale semiconduttore comprendendo almeno uno tra: carburo di silicio, germanio, silicio, fosforuro di indio, nitrato di gallio, arsenuro di gallio, fosforuro di alluminio gallio e indio, e loro miscele.

16. Metodo secondo una qualsiasi delle rivendicazioni 10-115, in cui la fase di formare lo strato di copertura comprende le fasi di:

- miscelare ("mixing") elastomero base di polidimetilsilossano con un agente curante, formando una miscela di polidimetilsilossano;

- rimuovere aria in eccesso dalla miscela di

polidimetilsilossano;

- colare la miscela di polidimetilsilossano sulla superficie superiore (6a) del dispositivo di fotorivelazione (1; 1'; 1"; 200);

- eseguire un trattamento termico per favorire la solidificazione della miscela di polidimetilsilossano.

p.i.: STMICROELECTRONICS S.R.L.

Elena CERBARO

CLAIMS

1. A photodetector device (1; 1'; 1"; 200), comprising:

- a semiconductor body (2, 4, 6), having a front surface
5 (6a); and

- an active-area region (8, 8'), which extends in the
semiconductor body facing the front surface and is configured
for receiving a light radiation (12) and generating, in
response to the light radiation received, electric charge
10 carriers,

said device being characterized in that it further
comprises a polydimethylsiloxane cover layer (20), which
extends on the front surface in the active-area region so that
the light radiation is received by the active-area region
15 through the cover layer.

2. The photodetector device according to claim 1, wherein the
light radiation (12) is a ultraviolet radiation.

20 3. The photodetector device according to claim 1 or claim 2,
wherein the cover layer (20) extends in direct contact with
the active-area region (8, 8') facing the front surface (6a)
of the semiconductor body (2, 4, 6).

25 4. The photodetector device according to any one of the
preceding claims, further comprising a conduction terminal
(10), which extends on the front surface (6a) in direct
electrical contact with the active-area region (8, 8'), the
conduction terminal having an interdigitated structure
30 including a plurality of fingers, the cover layer (20)
extending between said fingers of the conduction terminal.

5. The photodetector device according to claim 4, wherein the
cover layer (20) moreover extends partially or completely over
35 the conduction terminal (10).

6. The photodetector device according to any one of claims 1-3, further comprising a conduction terminal (10), which extends on the front surface (6a) laterally to the active-area region (8, 8'), the cover layer (20) extending partially or
5 completely over the conduction terminal (10).

7. The photodetector device according to any one of the preceding claims, wherein the semiconductor body (2, 4, 6) comprises:

10 - a substrate (2), made of semiconductor material having a first doping value;

 - a buffer layer (4), made of semiconductor material having the first doping value, which extends on the substrate;

 - an active layer (6), made of semiconductor material
15 having a second doping value lower than the first doping value, which extends on the buffer layer and houses the active area (8, 8'),

 said semiconductor material comprising at least one among: silicon carbide, germanium, silicon, indium phosphide,
20 gallium nitride, gallium arsenide, aluminium gallium and indium phosphide, and mixtures thereof.

8. A package (13), comprising an encapsulating structure provided with a window (15) adapted to enable access of a
25 light radiation (12) within the package, the package housing a photodetector device (1; 1'; 1"; 200) according to any one of claims 1-7, the photodetector device facing said window in such a way as to receive the light radiation at the active-area region (8, 8') through the cover layer (20).

30

9. A system (100) for monitoring a source (102) of ultraviolet light radiation (103), comprising:

 - a photodetector device (1; 1'; 1"; 200) according to any one of claims 1-7, configured for generating an electric
35 current in response to reception of the ultraviolet light radiation (103);

- biasing means (110), electrically coupled to the photodetector device for biasing the photodetector device; and

- processing means (114, 116) configured for receiving said electric current and supplying, on the basis of parameters of said electric current received, monitoring data associated to at least one characteristic of operation of the source (102).

10. A method for manufacturing a photodetector device (1; 1'; 1"; 200), comprising the steps of:

- providing a semiconductor body (2, 4, 6) having a front surface (6a); and

- forming an active-area region (8, 8') in the semiconductor body facing the front surface, said active-area region being configured for receiving a light radiation (12) and generating, in response to the light radiation received, electric charge carriers,

said method being characterized in that it further comprises the step of forming a polydimethylsiloxane cover layer (20) on the front surface in the active-area region, so that the light radiation is received by the active-area region through the cover layer.

11. The method according to claim 10, wherein the step of forming the cover layer (20) comprises forming the cover layer in direct contact with the active-area region (8, 8') facing the front surface (6a) of the semiconductor body (2, 4, 6).

12. The method according to claim 10 or claim 11, further comprising the step of forming a conduction terminal (10) on the front surface (6a) in direct electrical contact with the active-area region (8, 8'), the conduction terminal having an interdigitated structure including a plurality of fingers, the step of forming the cover layer comprising forming the cover layer between said fingers of the conduction terminal.

13. The method according to claim 12, wherein the step of forming the cover layer (20) comprises forming the cover layer (20) partially or completely over the conduction terminal (10).

5

14. The method according to claim 10 or claim 11, further comprising the step of forming a conduction terminal (10) on the front surface (6a) alongside the active-area region (8, 8'), the step of forming the cover layer (20) comprising forming the cover layer (20) partially or completely over the conduction terminal (10).

10

15. The method according to any one of claims 10-14, wherein the step of forming the semiconductor body (2, 4, 6) comprises the steps of:

15

providing a substrate (2), made of semiconductor material having a first doping value;

- forming on the substrate a buffer layer (4), made of semiconductor material having the first doping value; and

20

- forming on the buffer layer an active layer (6), made of semiconductor material having a second doping value lower than the first doping value,

the step of forming the active area (8, 8') comprising forming the active area in the active layer (6),

25

said semiconductor material comprising at least one among: silicon carbide, germanium, silicon, indium phosphide, gallium nitride, gallium arsenide, aluminium gallium and indium phosphide, and mixtures thereof.

16. The method according to any one of claims 10-15, wherein the step of forming the cover layer comprises the steps of:

30

- mixing a polydimethylsiloxane-based elastomer with a curing agent, to form a polydimethylsiloxane mixture;

- removing air in excess from the polydimethylsiloxane mixture;

35

- pouring the polydimethylsiloxane mixture on the top surface (6a) of the photodetector device (1; 1'; 1"; 200);

- performing a thermal treatment to favour solidification of the polydimethylsiloxane mixture.

40

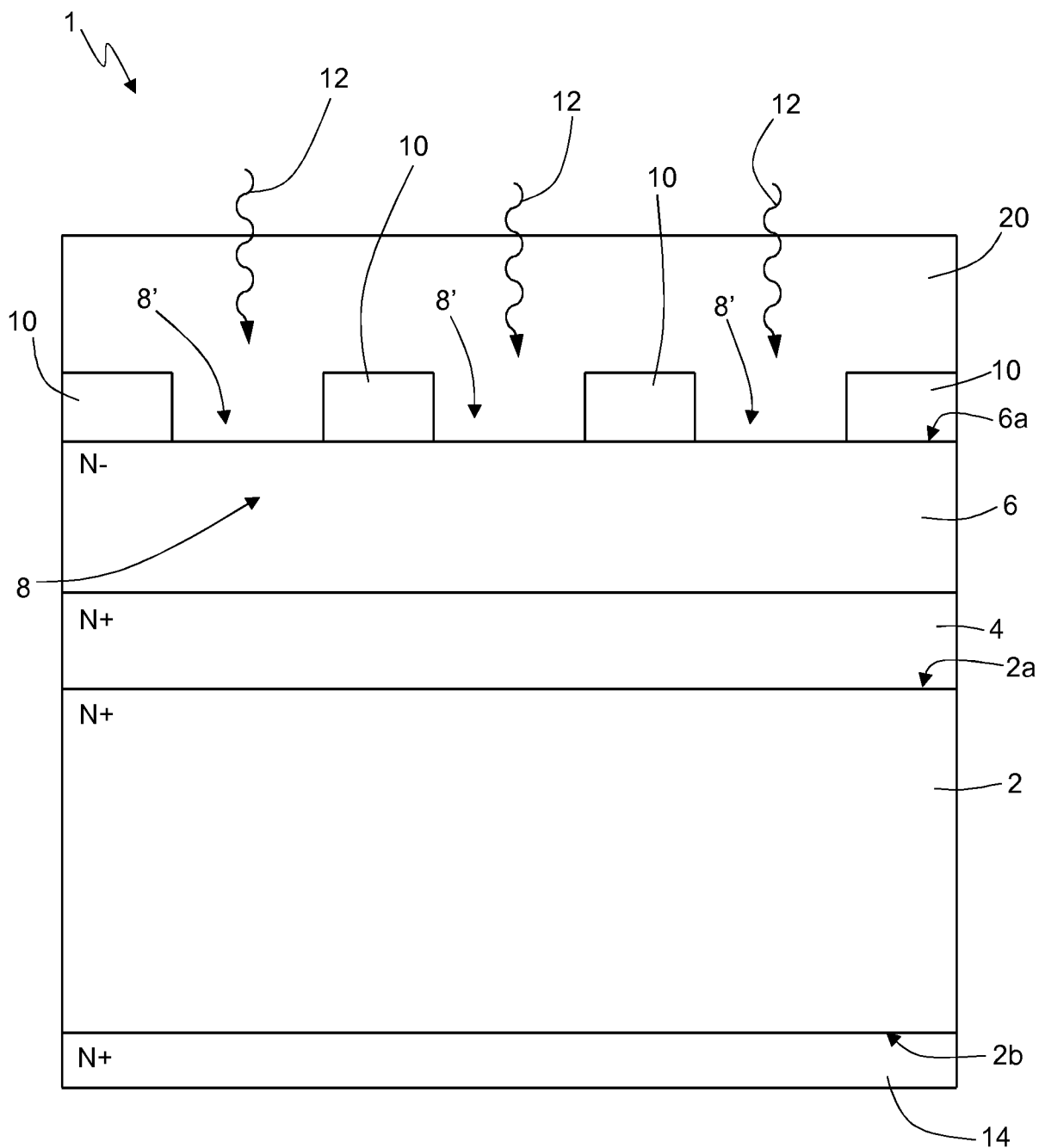


Fig.1

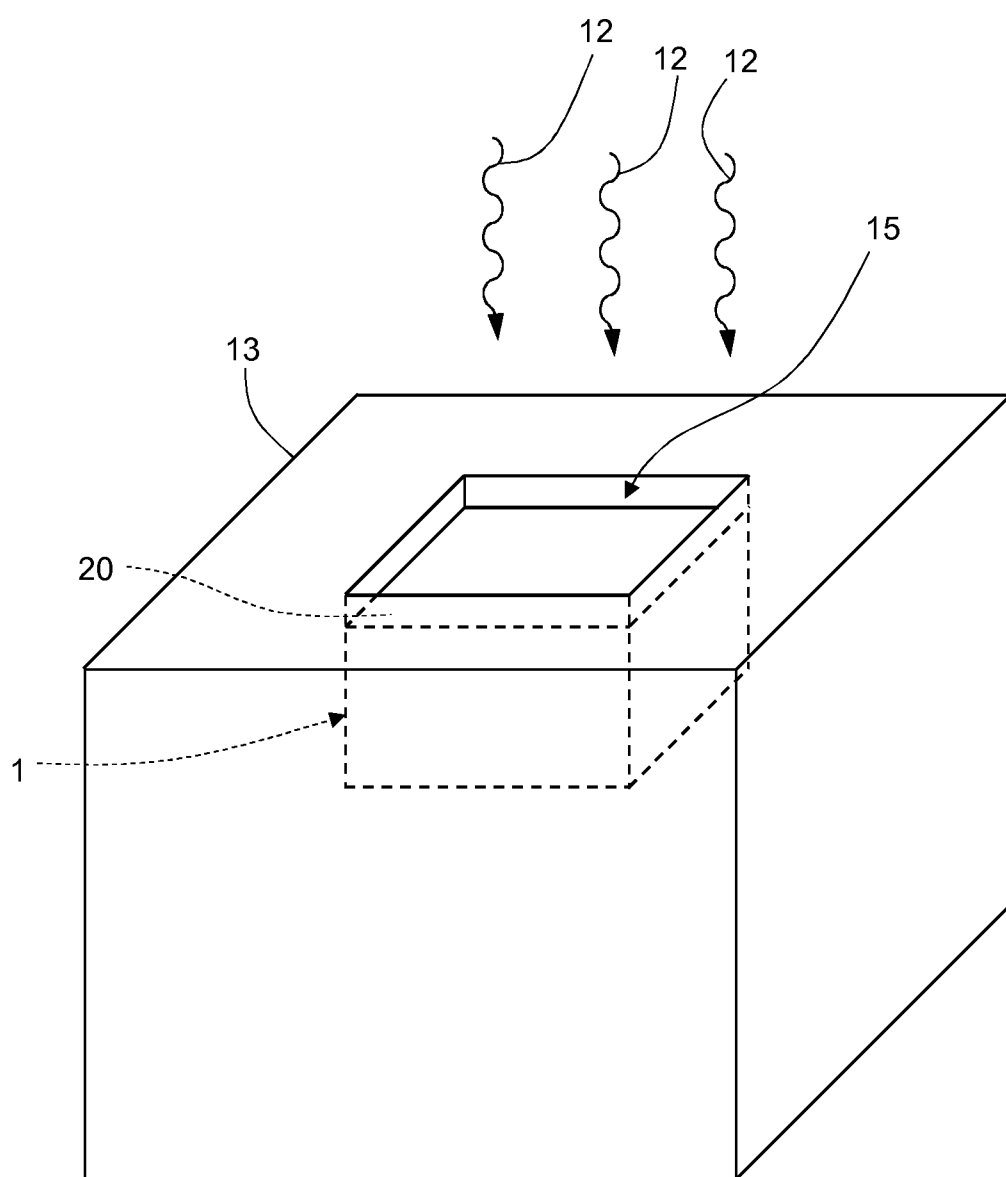


Fig.2

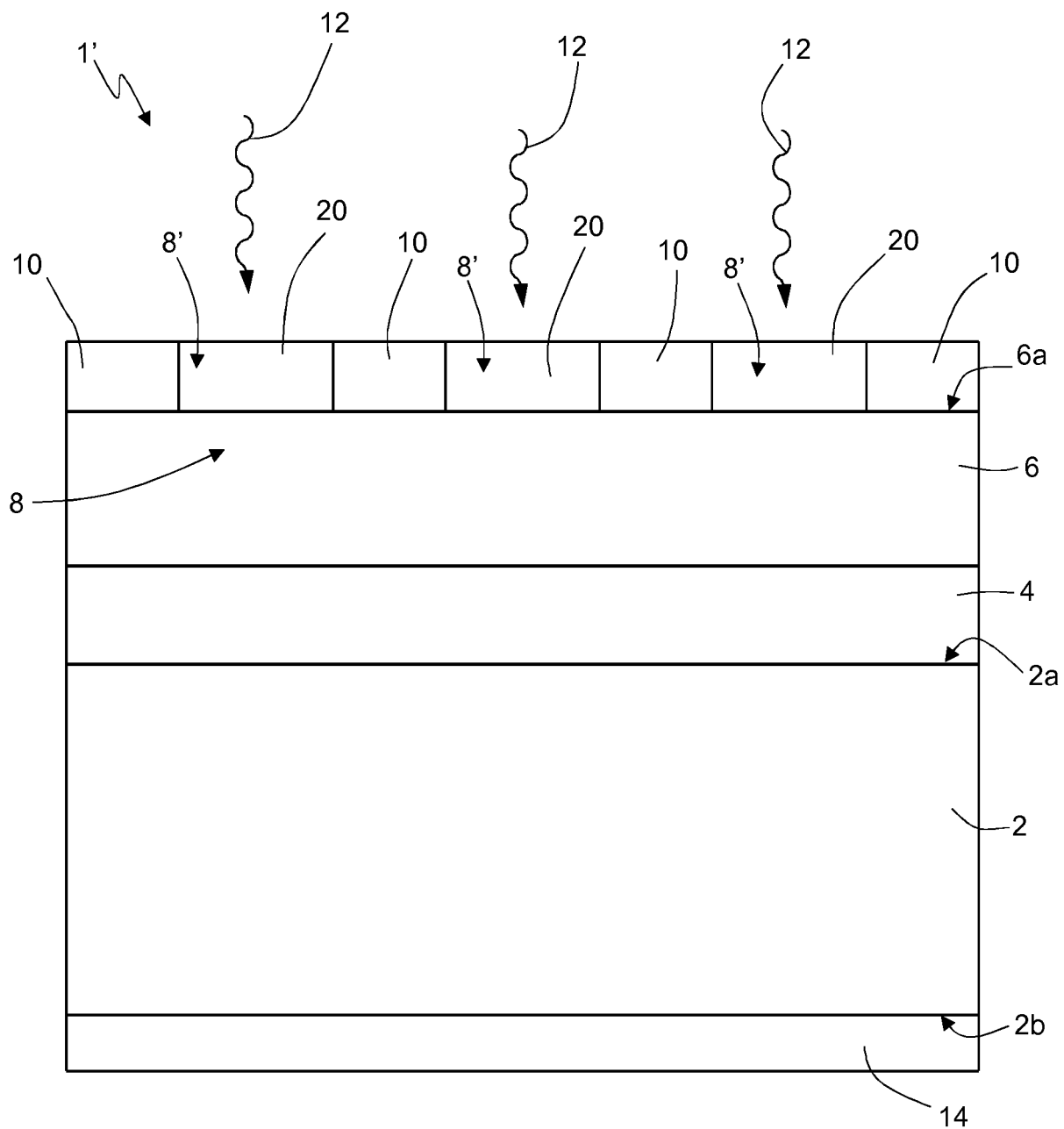


Fig.3

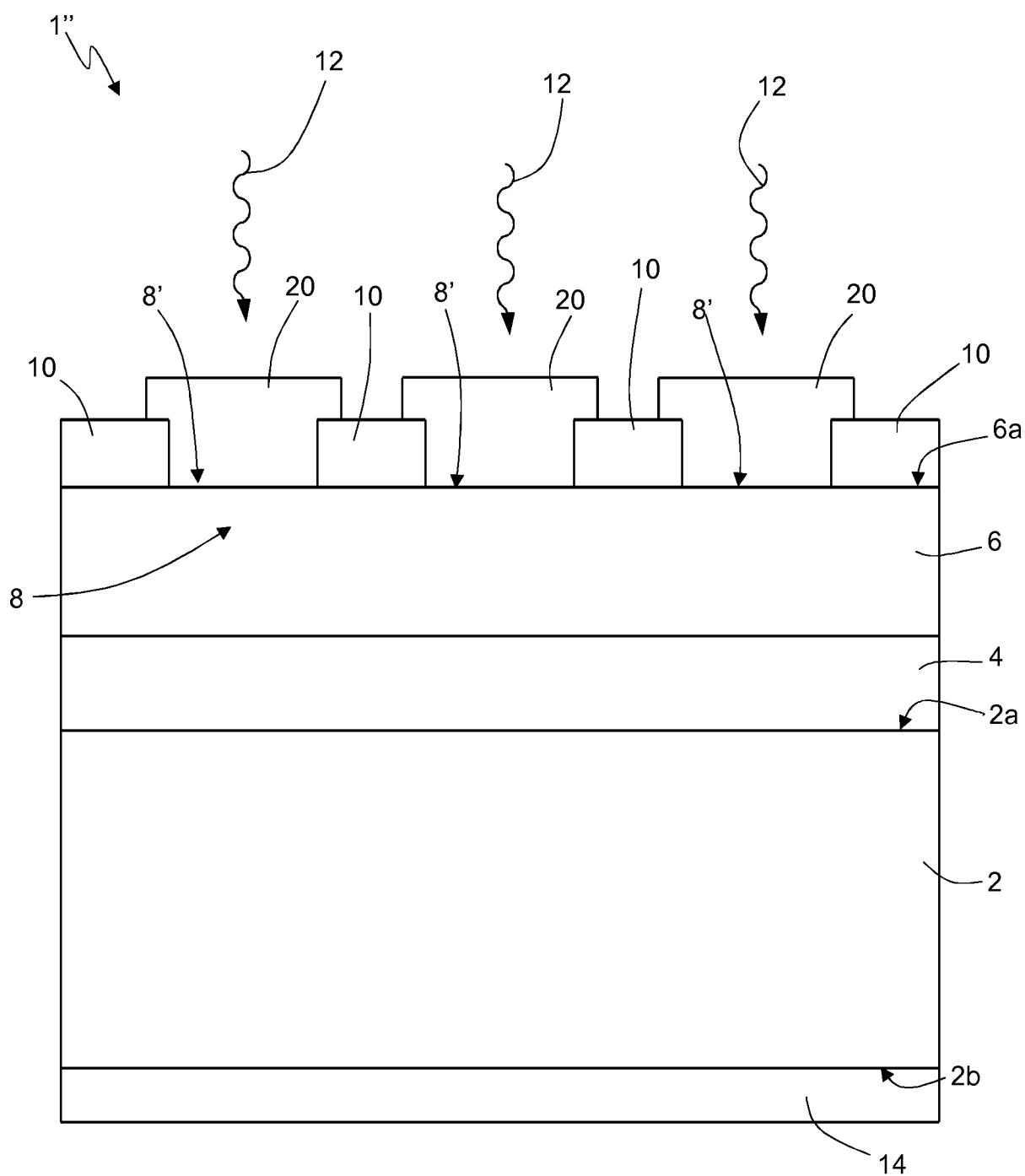


Fig.4

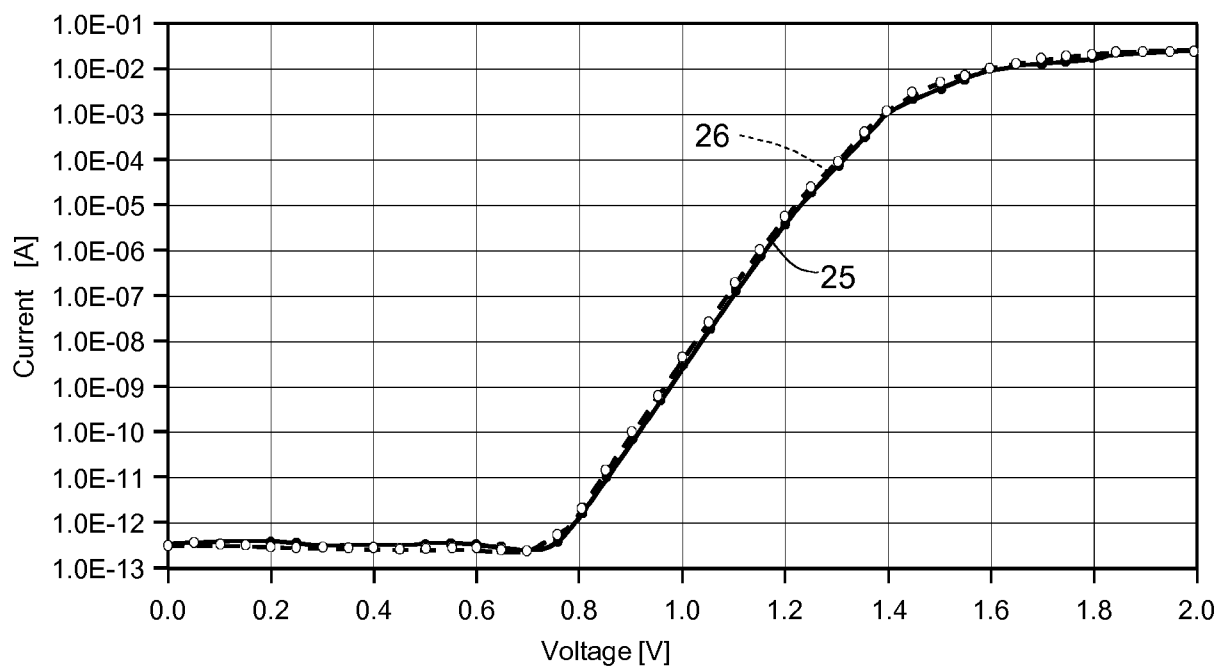


Fig.5a

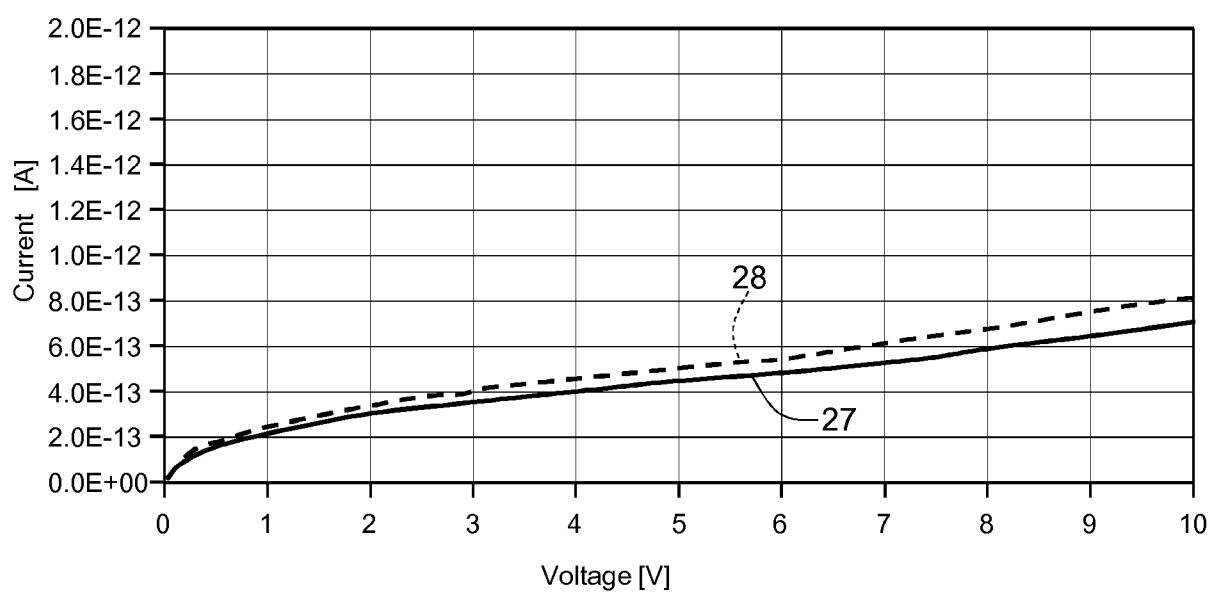


Fig.5b

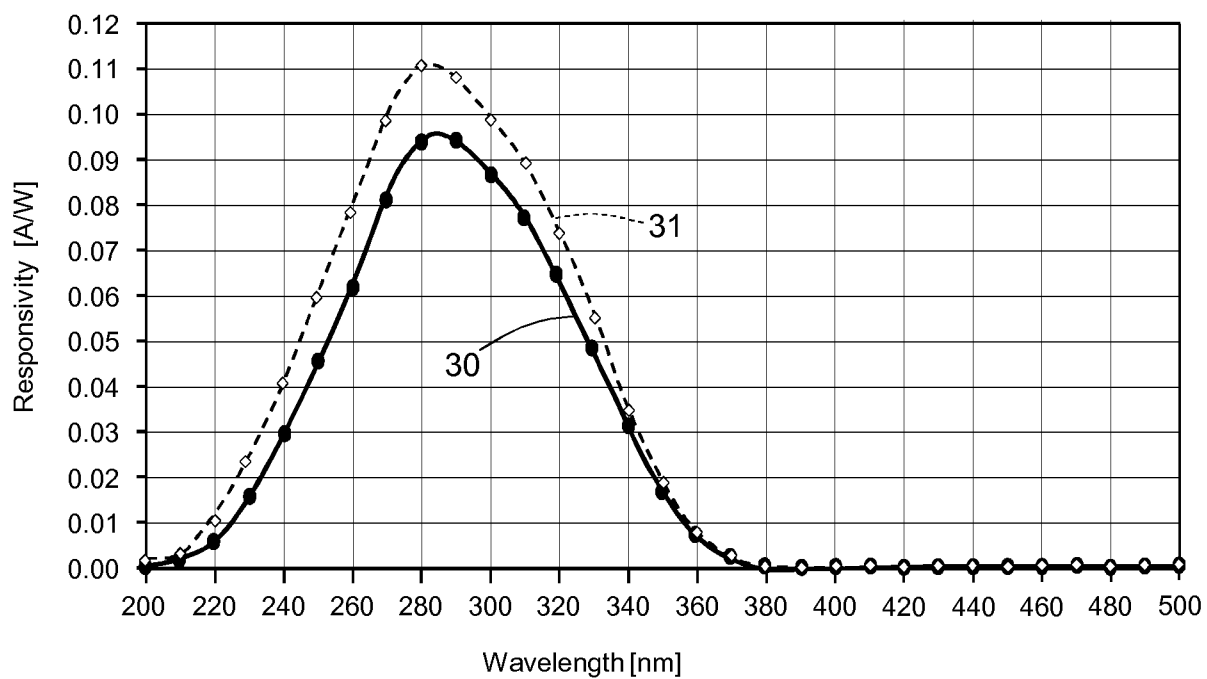


Fig.6a

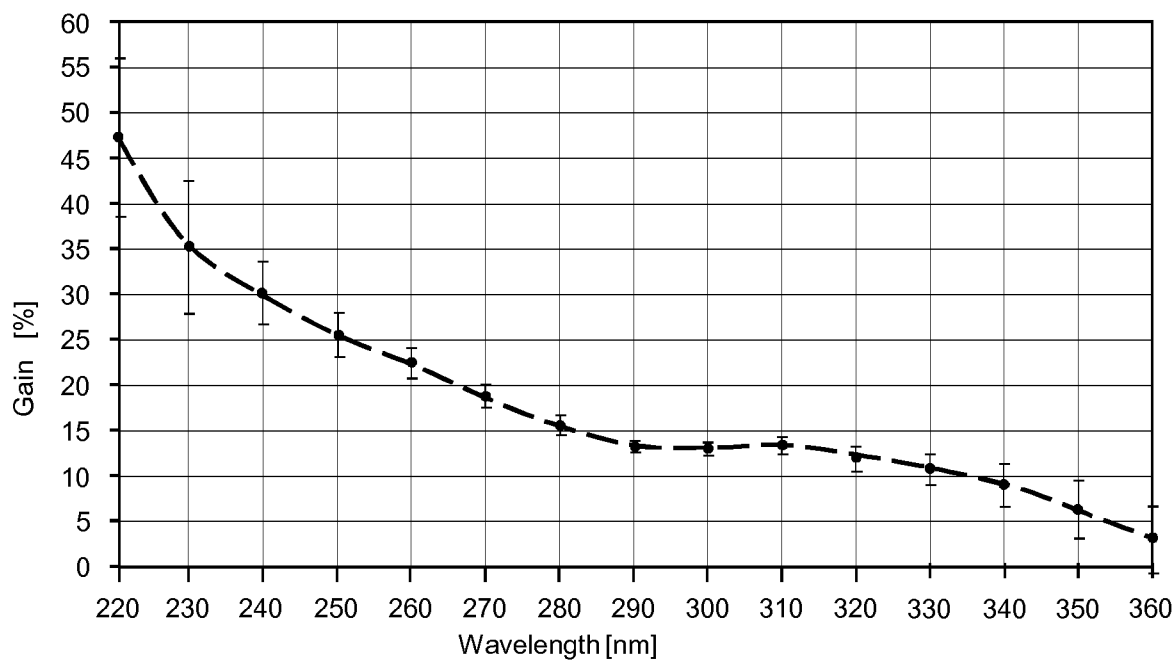


Fig.6b

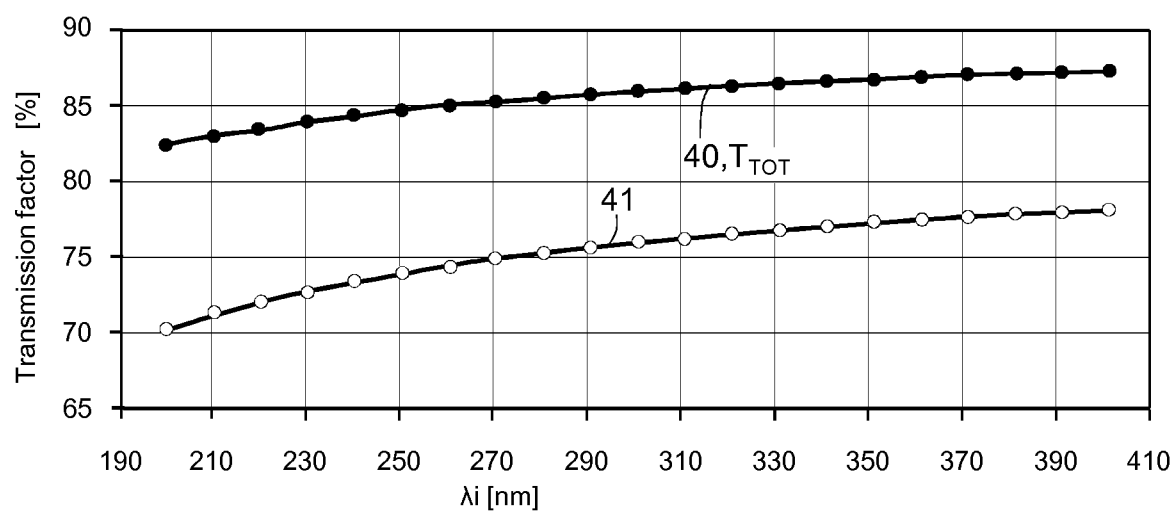


Fig.7

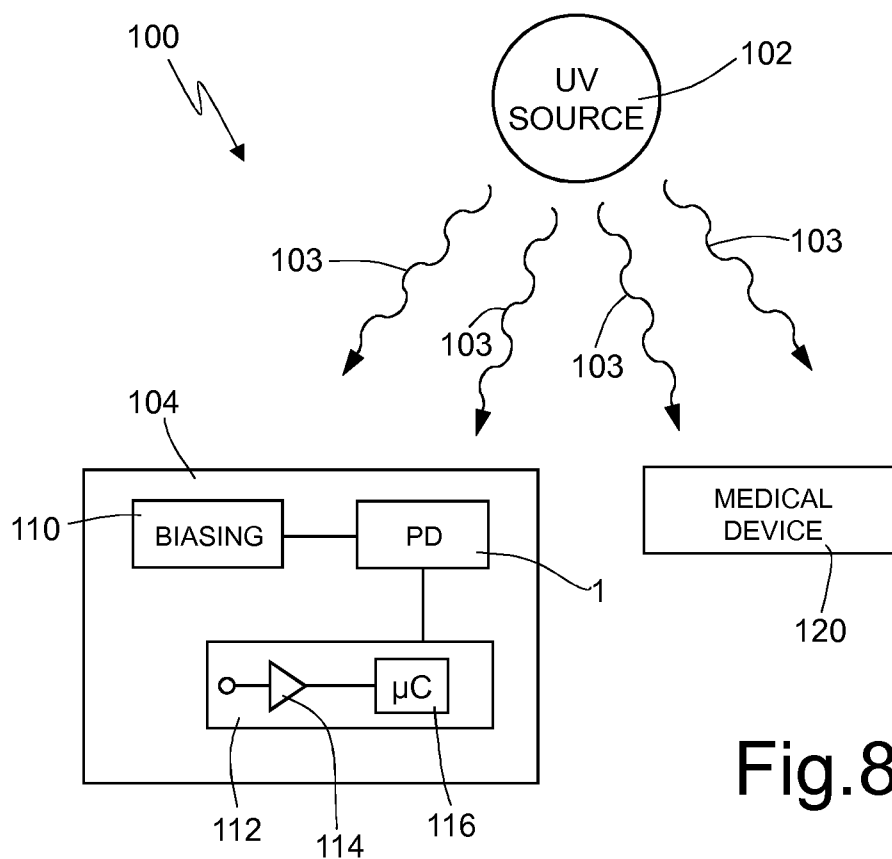


Fig.8

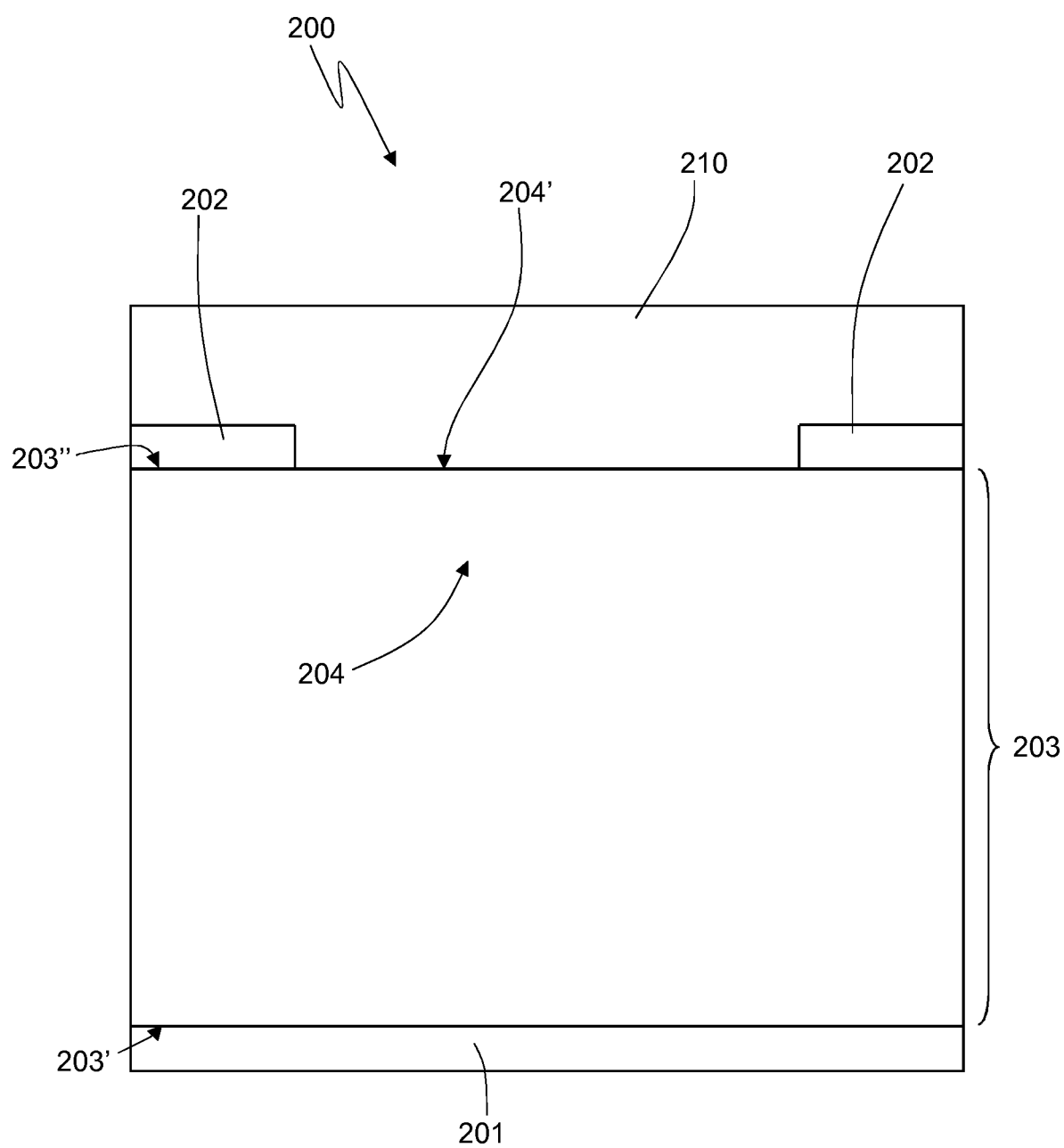


Fig.9