



(10) **DE 10 2015 114 135 A1** 2017.03.02

(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2015 114 135.3**
 (22) Anmeldetag: **26.08.2015**
 (43) Offenlegungstag: **02.03.2017**

(51) Int Cl.: **H01L 31/0463 (2014.01)**
H01L 31/18 (2006.01)

(71) Anmelder:
Calyxo GmbH, 06766 Bitterfeld-Wolfen, DE

(56) Ermittelter Stand der Technik:

(72) Erfinder:
Becker, Frank, 04105 Leipzig, DE; Bauer, Michael, Dr., 04129 Leipzig, DE; Schelhase, Stefan, Dr., 04107 Leipzig, DE

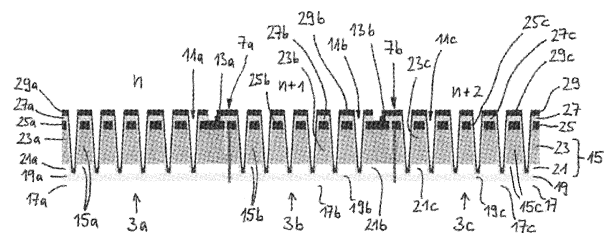
DE	10 2008 060 404	A1
DE	10 2014 015 911	A1
US	4 872 925	A
US	4 981 525	A

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Photovoltaische Vorrichtung und Verfahren zur Herstellung einer photovoltaischen Vorrichtung**

(57) Zusammenfassung: Die vorliegende Erfindung betrifft eine photovoltaische Vorrichtung (1) und ein Verfahren zur Herstellung einer photovoltaischen Vorrichtung (1). Die photovoltaische Vorrichtung (1) weist ein Substrat (17) mit einer großen Hauptfläche (H) auf, auf der zumindest zwei entlang einer Grenze in Reihe verschaltete Solarzellen (3a, 3b, 3c) benachbart zueinander angeordnet sind, wobei die beiden Solarzellen (3a, 3b, 3c) jeweils eine Rückkontaktschicht (25a, 25b, 25c), eine transparente leitfähige Schicht (19a, 19b, 19c) und eine optisch aktive Schicht (15, 15a, 15b, 15c, 21, 21a, 21b, 21c, 23, 23a, 23b, 23c) aufweisen, wobei die Reihenverschaltung eine Kontaktierung (11b, 11c) der Rückkontaktschicht (25a, 25b) einer ersten Solarzelle (3a, 3b) der beiden Solarzellen (3a, 3b, 3c) mit der transparenten leitfähigen Schicht (19b, 19c), einer zweiten Solarzelle (3b, 3c) der beiden Solarzellen (3a, 3b, 3c) aufweist, wobei die Kontaktierung (11b, 11c) parallel zu der großen Hauptfläche (H) des Substrats (17) als zweidimensionales Raster einzelner Kontakte (11a, 11b, 11c) ausgebildet ist.



Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft eine photovoltaische Vorrichtung nach dem Oberbegriff von Anspruch 1 und Verfahren zur Herstellung einer photovoltaischen Vorrichtung nach dem Oberbegriff von Anspruch 7.

[0002] Solche photovoltaischen Vorrichtungen bestehen üblicherweise aus einer Vielzahl von Solarzellen jeweils mit zumindest einer optisch aktiven Schicht, die mit einander verschaltet sind. Dabei wird die Kontaktschicht auf der Lichteintrittsseite vorzugsweise als transparente leitende Schicht (TCO) ausgebildet, die allerdings dennoch eine vergleichsweise schlechte Leitfähigkeit besitzt, um eine möglichst hohe Lichttransmission zu ermöglichen. Häufig wird daher eine Reihenverschaltung gewählt, um widerstandsbedingte Leistungsverluste klein zu halten. Dadurch wird der Strom einseitig in die jeweilige Solarzelle eingebracht.

[0003] Eine solche Reihenverschaltung kann durch eine Prozessführung mit drei unterschiedlichen Strukturierungsschritten P1, P2, P3, beispielsweise in Form von LASER-Strukturierungslinien, erzielt werden. Im Rahmen eines sogenannten Superstrataufbaues der Solarzelle wird dabei beispielsweise in dem ersten Strukturierungsschritt (P1) die TCO-Schicht, die als Frontkontaktschicht wirkt, durchtrennt. In dem zweiten Strukturierungsschritt (P2) wird zwischen Frontkontakt- und Rückkontaktschicht eine Öffnung und anschließende Verbindung hergestellt und in dem dritten Strukturierungsschritt (P3) wird die Rückkontaktschicht durchtrennt, so dass die monolithisch ausgebildeten Schichten eine erste und eine zweite benachbart angeordnete Solarzelle innerhalb einer photovoltaischen Vorrichtung (Solarmodul) bilden, wobei der Frontkontakt der einen Solarzelle mit dem Rückkontakt der benachbarten Solarzelle verbunden sind, der Rückkontakt der einen jedoch elektrisch isoliert von dem Frontkontakt der anderen Solarzelle ausgebildet ist.

[0004] Mit diesem Konzept sind allerdings Nachteile verbunden. Zum einen hat die unsymmetrische Stromeinbringung einen negativen Einfluss auf die Verlustleistung ($P = R \times I^2$). Zum anderen steht die Fläche zwischen den P1- und P3-Strukturierungslinien nicht der Ladungsträgergeneration zur Verfügung. Außerdem führt die Reihenverschaltung der Einzelzellen zu unerwünscht hohen Arbeitsspannungen, die durch komplexe parallele Schaltungen kompensiert werden müssen, wobei diese Verschaltungen aufgrund passiver Kontaktierungszellen weitere Wirkungsgradverluste bewirken.

[0005] Zur Verbesserung wurde in der WO 2014/152556 A1 für den Superstrataufbau vorgeschlagen, statt der drei Strukturierungsschritte P1,

P2, P3 nur zwei Strukturierungsschritte vorzunehmen, wobei zur Isolierung benachbarter Solarzellen ein Isolierungsschritt vorgenommen wird, mit dem die Rückkontaktschicht, die optisch aktive Schicht und die TCO-Schicht durchtrennt werden. Außerdem wird ein Kontaktierungsschritt vorgenommen, bei dem die Rückkontaktschicht und die optisch aktive Schicht durchtrennt und die TCO-Schicht mit der Rückkontaktschicht einer benachbarten Solarzelle verbunden wird. Dabei werden diese Kontakte in die Mitte der jeweiligen Solarzelle gelegt. Dadurch kann die Totfläche vermindert werden, da nun keine Fläche zwischen P1 und P3 vorliegt. Außerdem werden die negativen Einflüsse einer asymmetrischen Stromeinbringung vermieden, da die Stromeinbringung nun symmetrisch erfolgt, wodurch sich der Serienwiderstand verringert, da der Strom nun nur noch den halben Weg durch jede Solarzelle zurücklegen muss.

[0006] Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, den Wirkungsgrad photovoltaischer Einrichtungen weiter zu erhöhen. Insbesondere soll dazu die Totfläche verringert werden.

[0007] Diese Aufgabe wird gelöst mit der erfindungsgemäßen photovoltaischen Vorrichtung nach Anspruch 1 und dem erfindungsgemäßen Verfahren zur Herstellung einer photovoltaischen Vorrichtung nach Anspruch 7. Vorteilhafte Weiterbildungen sind in den abhängigen Unteransprüchen und der Beschreibung angegeben.

[0008] Die Erfinder haben erkannt, dass sich die gestellte Aufgabe in überraschender Weise dadurch besonders einfach lösen lässt, wenn keine linienförmige Kontaktierung zwischen zwei benachbarten Solarzellen erfolgt, wie dies bisher, insbesondere auch bei der WO 2014/152556 A1 gelehrt wird, sondern eine flächige Kontaktierung vorgenommen wird, wobei ein zweidimensionales Raster einzelner Kontakte die flächige Kontaktierung bildet.

[0009] Damit können zum einen die Abstände zwischen zwei benachbarten Solarzellen wesentlich vergrößert werden, so dass die durch die Solarzellentrennung bedingten Totflächen verringert werden können. Während bisher die Solarzellenbreite, also der Abstand zwischen zwei Isolierungen zwischen benachbarten Solarzellen 5 mm bis 15 mm betrug, kann er jetzt beispielsweise 30 mm betragen. Zum anderen werden die Serienwiderstände weiter verringert, da der Stromweg durch die jeweilige Zelle noch weiter herabgesetzt wird.

[0010] Die erfindungsgemäße photovoltaische Vorrichtung mit einem Substrat mit einer großen Hauptfläche, auf der zumindest zwei entlang einer Grenze in Reihe verschaltete Solarzellen benachbart zueinander angeordnet sind, wobei die beiden Solarzellen jeweils eine Rückkontaktschicht, eine transparente

leitfähige Schicht und eine optisch aktive Schicht aufweisen, wobei die Reihenverschaltung eine Kontaktierung der Rückkontaktschicht einer ersten Solarzelle der beiden Solarzellen mit der transparenten leitfähigen Schicht einer zweiten Solarzelle der beiden Solarzellen aufweist, zeichnet sich also dadurch aus, dass die Kontaktierung parallel zu der großen Hauptfläche des Substrats als zweidimensionales Raster einzelner Kontakte ausgebildet ist.

[0011] In einer vorteilhaften Weiterbildung ist das Raster regelmäßig ausgebildet, bevorzugt mit einem lateralen Abstand zwischen zwei benachbarten Kontakten von 1 bis 20 mm, vorzugsweise 3 bis 10 mm, insbesondere 4 bis 7 mm. Dadurch wird der Serienwiderstand deutlich verringert. Es sind zwar auch Raster von weniger als 1 mm möglich, jedoch wird hierzu ein Lithographieverfahren erforderlich, was vergleichsweise teuer ist, weshalb diese Ausgestaltung nicht bevorzugt wird.

[0012] In einer weiteren vorteilhaften Weiterbildung sind die einzelnen Kontakte im Querschnitt punktförmig, bevorzugt mit einer Querschnittsbreite von höchstens 500 µm, vorzugsweise höchstens 300 µm, insbesondere höchstens 200 µm ausgebildet. Dadurch können die Totflächen deutlich verringert werden. Bevorzugt sind vor allem Kontakt mit möglichst geringer Dimension im Bereich 1 µm bis 100 µm, vorzugsweise 50 µm bis 10 µm, insbesondere von 15 µm.

[0013] Die Form der Kontakte ist vorzugsweise quadratisch, kreisförmig, rechteckig oder elliptisch.

[0014] In einer weiteren vorteilhaften Weiterbildung beträgt die Breite der Solarzellen senkrecht zu der Grenze zwischen den Solarzellen mindestens 3 mm, bevorzugt mindestens 15 mm, insbesondere mindestens 39 mm. Dabei sind Breiten von bis zu 100 mm, bevorzugt von bis zu 600 mm, insbesondere von bis zu 1000 mm und darüber hinaus möglich.

[0015] In einer weiteren vorteilhaften Weiterbildung steht die Kontaktierung der Frontkontaktschicht der zweiten Solarzelle mit der Rückkontaktschicht der ersten Solarzelle in leitender Verbindung. Von der Rückkontaktschicht der zweiten Solarzelle, die über eine Isolierungsschicht isoliert ist, bildet die Frontkontaktschicht bevorzugt mit der transparenten leitfähigen Schicht vertikal verlaufende einzelne Kontakte aus. Dadurch kann die Kontaktierung besonders einfach und prozesssicher vorgenommen werden.

[0016] In diesem Zusammenhang ist es vorteilhaft, wenn sich die Isolierungsschicht zwischen Frontkontaktschicht und optisch aktiver Schicht erstreckt, da dann Kurzschlüsse wirksam verhindert werden können. Dies ist vor allem für den Superstrataufbau vor-

teilhaft, beim Substrataufbau kann dagegen hierauf verzichtet werden.

[0017] Das erfindungsgemäße Verfahren zur Herstellung einer photovoltaische Vorrichtung mit einem Substrat mit einer großen Hauptfläche, auf der zumindest zwei entlang einer Grenze in Reihe verschalteten Solarzellen benachbart zueinander angeordnet sind, wobei die beiden Solarzellen jeweils eine Rückkontaktschicht, eine transparente leitfähige Schicht und eine optisch aktive Schicht aufweisen, wobei die Reihenverschaltung eine Kontaktierung der Rückkontaktschicht einer ersten Solarzelle der beiden Solarzellen mit der transparenten leitfähigen Schicht einer zweiten Solarzelle der beiden Solarzellen aufweist, zeichnet sich dadurch aus, dass die Kontaktierung parallel zu der großen Hauptfläche des Substrats als zweidimensionales Raster einzelner Kontakte ausgebildet wird.

[0018] In einer vorteilhaften Weiterbildung ist vorgesehen, dass die Rückkontaktschicht einheitlich für alle Solarzellen aufgebracht und anschließend im Bereich der herzustellenden einzelnen Kontakte entfernt wird, wobei die Entfernung bevorzugt mittels LASER-Bestrahlung erfolgt. Dadurch ist die Kontaktierung besonders einfach möglich.

[0019] In einer weiteren vorteilhaften Weiterbildung ist vorgesehen, dass eine Entfernung der Rückkontaktschicht und der optisch aktiven Schicht bis zur transparenten leitenden Schicht erfolgt, wobei keine senkrechte Strukturierung, sondern eine gegenüber der senkrechten geneigte Strukturierung vorgenommen wird. Dann kann die aufzubringende Isolierungsschicht zur Kontaktierung der transparenten leitenden Schicht mittels eines flächigen Belichtungsprozesses durch die transparente leitende Schicht sehr einfach und kostengünstig wieder geöffnet werden, ohne dass eine exakte Ausrichtung erforderlich wäre und ohne dass die Kantenisolierung verloren ginge. Die Neigung der gebildeten Strukturierungskante beträgt vorzugsweise entweder $0,1^\circ$ bis 30° , bevorzugt 3° bis 20° , insbesondere 12° bis 19° gegenüber der Normalen der Hauptfläche, weil sich dann die Kantenisolierung leicht wieder schließen kann, indem beispielsweise ein verwendeter Lack Schwerkraft bedingt nachläuft, oder bei Winkeln von 70° bis 89° , bevorzugt 75° bis 85° , insbesondere 78° bis 82° , beim flächigen Belichten die Kantenisolation nicht beschädigt werden kann.

[0020] In einer weiteren vorteilhaften Weiterbildung ist vorgesehen, dass an der Grenze zwischen zwei Solarzellen eine Durchtrennung einer substratnahen leitenden Schicht und eine Durchtrennung einer substratfernen leitenden Schicht vorgenommen wird, wobei die Durchtrennung bevorzugt als P1- und P3- oder als P1-, P2- und P3-Strukturierungsschritte oder als einheitlich durchgehender Isolierungsschritt vor-

genommen wird und insbesondere als LASER-Strukturierung erfolgt.

[0021] In einer weiteren vorteilhaften Weiterbildung ist vorgesehen, dass die erfindungsgemäße photovoltaische Vorrichtung hergestellt wird.

[0022] In einer weiteren vorteilhaften Weiterbildung ist vorgesehen, dass auf dem Substrat die transparente leitende Schicht, darüber die optisch aktive Schicht, darüber die Rückkontaktschicht, darüber eine Isolierungsschicht und darüber eine Frontkontaktschicht angeordnet werden, wobei die Grenze zwischen zwei benachbarten Solarzellen durch eine Durchtrennung der transparenten leitenden Schicht und der Rückkontaktschicht gebildet wird, wobei nach Aufbringung der Rückkontaktschicht mit einem Strukturierungsschritt die Rückkontaktschicht und die optisch aktive Schicht jeweils lokal zur Bildung jeweils eines Kontaktes entfernt werden, nach Aufbringung der Isolierungsschicht diese lokal an den Stellen der jeweiligen Kontakte wieder entfernt wird und zwischen den Kontakten und der Grenze zwischen zwei Solarzellen die Isolierungsschicht durch Bildung eines dritten Strukturierungsgrabens entfernt wird, nach Aufbringung der Frontkontaktschicht diese in einem Strukturierungsschritt entlang der Grenze so strukturiert wird, dass die Frontkontaktschicht in Richtung zur Grenze eine direkte leitende Verbindung mit der Rückkontaktschicht aufweist und in Richtung zu den Kontakten keine direkte leitende Verbindung zu der Rückkontaktschicht besteht, wobei bevorzugt vorgesehen ist, dass vor Aufbringung der Rückkontaktschicht die optisch aktive Schicht und die transparente leitende Schicht in einem Strukturierungsschritt entlang der Grenze zwischen zwei Solarzellen entfernt werden und der gebildete erste Strukturierungsgraben mit einem Isolationsmaterial verfüllt wird und nach Aufbringung der Rückkontaktschicht die Rückkontaktschicht in einem Strukturierungsschritt entlang der Grenze zwischen zwei Solarzellen entfernt wird und der gebildete zweite Strukturierungsgraben mit dem Material der Isolierungsschicht verfüllt wird. Auch hier könnten alternativ allerdings auch eine P1-, P2-, P3-Strukturierung oder einer Strukturierung mit einheitlich durchgehendem Isolierungsschritt vorgenommen werden. Dadurch kann die Erfindung im Superstrataufbau verwirklicht werden.

[0023] In einer weiteren vorteilhaften Weiterbildung ist vorgesehen, dass auf dem Substrat eine Frontkontaktschicht, darüber eine Isolierungsschicht, darüber die Rückkontaktschicht und darüber die optisch aktive Schicht angeordnet werden, wobei die Grenze zwischen zwei benachbarten Solarzellen durch eine Durchtrennung der Frontkontaktschicht und der transparenten leitenden Schicht gebildet wird, wobei nach Aufbringung der Frontkontaktschicht diese entlang der Grenze zwischen zwei Solarzellen entfernt wird, um einen erste Strukturierungsgraben zu

bilden, der mit Material der Isolierungsschicht verfüllt wird, nach Aufbringung der Isolierungsschicht diese entlang der Grenze zwischen zwei Solarzellen entfernt wird, um einen zweiten Strukturierungsgraben zu bilden, wobei der zweite Strukturierungsgraben benachbart zum ersten Strukturierungsgraben angeordnet und mit Material der Rückkontaktschicht verfüllt wird, nach Aufbringung der Rückkontaktschicht jeweils lokal zur Bildung jeweils eines Kontaktes entfernt wird, vor Aufbringung der transparenten leitfähigen Schicht die optisch aktive Schicht und die Isolierungsschicht lokal an den Stellen der jeweiligen Kontakte wieder entfernt werden, nach Aufbringung der transparenten leitfähigen Schicht diese in einem Strukturierungsschritt zwischen zwei Solarzellen entfernt wird, um einen dritten Strukturierungsgraben zu bilden, der bevorzugt mit einem Isolationsmaterial verfüllt wird. Auch hier könnten alternativ allerdings auch eine P1-, P2-, P3-Strukturierung oder einer Strukturierung mit einheitlich durchgehendem Isolierungsschritt vorgenommen werden. Dadurch kann die Erfindung im Substrataufbau verwirklicht werden.

[0024] Die Kennzeichen und weitere Vorteile der Erfindung werden im Rahmen der folgenden Beschreibung eines bevorzugten Ausführungsbeispiels im Zusammenhang mit den Figuren deutlich werden. Dabei zeigen rein schematisch:

[0025] Fig. 1a und Fig. 1b die erfindungsgemäße photovoltaische Vorrichtung nach einer ersten bevorzugten Ausgestaltung in einer Draufsicht von oben und in einer Ausschnittsdarstellung hierzu,

[0026] Fig. 2 die erfindungsgemäße photovoltaische Vorrichtung nach Fig. 1 in einer teilweisen Schnittansicht,

[0027] Fig. 3a bis Fig. 3e die Abfolge der Schritte zur Herstellung der erfindungsgemäßen photovoltaische Vorrichtung nach Fig. 1,

[0028] Fig. 4 den Schritt nach Fig. 3d in einer alternativen Ausführung,

[0029] Fig. 5a und Fig. 5b teilweise Schnittansichten zu alternativen Isolierungen zwischen einzelnen Solarzellen,

[0030] Fig. 6a bis Fig. 6d eine alternative Abfolge von Schritten zur Herstellung der erfindungsgemäßen photovoltaischen Vorrichtung nach einer zweiten bevorzugten Ausgestaltung,

[0031] Fig. 7 die erfindungsgemäße photovoltaische Vorrichtung nach einer dritten bevorzugten Ausgestaltung in einer teilweisen Schnittansicht und

[0032] Fig. 8 die erfindungsgemäße photovoltaische Vorrichtung nach einer dritten bevorzugten Ausgestaltung in einer teilweisen Schnittansicht.

[0033] In Fig. 1a und Fig. 1b ist die erfindungsgemäße photovoltaische Vorrichtung 1 gemäß einer ersten bevorzugten Ausgestaltung von oben rein schematisch gezeigt. Fig. 2 zeigt eine teilweise Schnittansicht entsprechend Fig. 1b.

[0034] Es ist zu erkennen, dass die Vorrichtung 1 zahlreiche Solarzellen 3 im Superstrataufbau, also zur Sonnenlichteinleitung durch das Substrat, umfasst, die streifenförmig nebeneinander angeordnet sind, wobei diese in Reihe miteinander verschaltet sind. Genauer gesagt handelt es sich um 30 Solarzellen 3, die jeweils eine Länge l von 585 mm und eine Breite b von 39,5 mm aufweisen. Mittels der Anschlussdose 5, die mit der ersten Solarzelle 3' und der letzten Solarzelle 3'' verbunden ist, kann der erzeugte Strom abgegriffen werden, wobei eine Stromstärke von 6,2 A bei einer Spannung von 25 V erreicht wird. Es ist zu erkennen, dass im Vergleich zu bisherigen Lösungen keine komplexe Parallelverschaltung erforderlich ist.

[0035] In Fig. 1b ist für drei frei ausgewählte Solarzellen 3a, 3b, 3c, die direkt nebeneinander unter Zwischenschaltung jeweiliger Isolierungen 7a, 7b angeordnet sind, die Kontaktierung der Solarzellen 3a, 3b, 3c untereinander rein schematisch dargestellt. Es ist zu erkennen, dass jede Solarzelle 3a, 3b, 3c ein zweidimensionales Raster regelmäßig über die Hauptfläche H der jeweiligen Solarzelle 3a, 3b, 3c verteilt angeordnete erste, mit „+“ dargestellte Kontakte 11a, 11b, 11c aufweist und einen zweiten Kontakt 13a, 13b, 13c, der hier nur zum besseren Verständnis als eine Vielzahl von „-“ dargestellt ist, tatsächlich jedoch als Kontaktierungslinie ausgebildet ist. Dabei sind die ersten Kontakte 11a, 11b, 11c einer weiter links angeordneten Solarzelle 3a, 3b, 3c jeweils mit den zweiten Kontakten 13a, 13b, 13c einer jeweils dazu rechts benachbart angeordneten Solarzelle 3a, 3b, 3c über die jeweilige Isolierung 7a, 7b hinweg elektrisch leitend verbunden, während die ersten Kontakte 11a, 11b, 11c von den zweiten Kontakten 13a, 13b, 13c derselben Solarzelle 3a, 3b, 3c isoliert sind, so dass der Stromfluss durch die Solarzelle 3a, 3b, 3c über die optisch aktive Schicht 15a, 15b, 15c erfolgen muss.

[0036] Der weitere Schichtaufbau der Solarzellen 3a, 3b, 3c ist entsprechend Fig. 2 der Folgende, wobei der Einfachheit halber nicht alle ersten Kontakte 11a, 11b, 11c gezeigt sind: auf einem transparenten Substrat 17a, 17b, 17c, beispielsweise einem Glassubstrat, ist eine transparente leitfähige Schicht (TCO) 19a, 19b, 19c, beispielsweise Zinnoxid, auf der eine Kadmiumsulfid-Schicht 21a, 21b, 21c und darauf eine Kadmiumtellurid-Schicht 23a, 23b, 23c angeordnet sind, darauf befinden sich eine Rück-

kontaktschicht 25a, 25b, 25c, eine Isolierungsschicht 27a, 27b, 27c und eine Frontkontaktschicht 29a, 29b, 29c.

[0037] Die Kadmiumsulfid-Schicht 21a, 21b, 21c und die Kadmiumtellurid-Schicht 23a, 23b, 23c bilden die optisch aktive Schicht 15a, 15b, 15c, die allerdings auch aus nur einer Schicht oder auch aus mehr als zwei Schichten bestehen kann. Weiterhin können in dem gezeigten Schichtaufbau auch ein oder mehrere Bufferschichten, beispielsweise zur Passivierung von Defekten, vorgesehen werden. Beispielsweise könnte die transparente leitfähige Schicht 19a, 19b, 19c aus mehreren Lagen bestehen, insbesondere aus zwei Unterschichten, der eigentlichen transparenten leitfähigen Schicht und einer Bufferschicht. Außerdem könnte auch der Rückkontakt 25a, 25b, 25c aus mehreren Lagen aufgebaut sein, insbesondere aus zwei Unterschichten, dem eigentlichen Rückkontakt und einer Bufferschicht.

[0038] Die einzelnen Schichten der Solarzellen liegen jeweils als einheitlich monolithisch abgeschiedenen Schichten 19, 21, 23, 25, 27, 29 vor, die teilweise von den Kontaktierungs-Strukturierungen 31 sowie den P1- 33 und den P3-Strukturierungen 35 unterbrochen sind. Die jeweilig benachbart angeordneten P1- 33 und P3-Strukturierungen 35 bilden dabei die Isolierungen 7a, 7b zwischen den Solarzellen 3a, 3b, 3c und die Kontaktierungs-Strukturierungen 31 bilden die rasterförmig angeordneten ersten Kontakte 11a, 11b, 11c. Die zweiten Kontakte 13a, 13b bestehen jeweils als elektrisch leitende Verbindungen zwischen den Rückkontaktschichten 25a, 25b der jeweils links angeordneten Solarzelle 3a, 3b mit den Frontkontaktschichten 29b, 29c der jeweiligen rechts davon angeordneten Solarzellen 3b, 3c.

[0039] In den Fig. 3a bis Fig. 3a ist die Abfolge der Schritte zur Herstellung der erfindungsgemäßen photovoltaische Vorrichtung 1 gezeigt, wobei der Einfachheit halber nur der Bereich einer ersten Kontaktierung 11 mit einer benachbart angeordneten zweiten Kontaktierung gezeigt 13 wird.

[0040] Es ist zu erkennen, dass die einzelnen Schichten 19, 21, 23 nacheinander auf dem Glassubstrat monolithisch abgeschieden werden. Anschließend wird durch LASER-Bestrahlung ein erster Strukturierungsgraben 31 erzeugt, der sich linienförmig parallel zur Länge l erstreckt, und mit einem geeigneten elektrischen Isolierungsmaterial 33, beispielsweise ein geeigneter Lack, verfüllt wird, wodurch die P1-Strukturierung erzeugt wird. Der Strukturierungsgraben 31 ist dabei bewusst etwas in das Glassubstrat 17 hineingeführt, um eine optimale Isolierung zu erzielen.

[0041] Nach Aufbringung der Rückkontaktschicht 25 wird mittels LASER-Bestrahlung ein zweiter Struktu-

rierungsgraben **35** erzeugt, der sich linienförmig parallel zur Länge l erstreckt, und zwar für eine ebenfalls optimale elektrische Isolierung etwas in die Kadmiuntellurid-Schicht **23** hinein.

[0042] In **Fig. 3b** ist zu erkennen, dass mittels LASER-Bestrahlung lokale Strukturierungen in Form quadratischer lochartiger Vertiefungen **37** erzeugt wurden, die sich als ein zweidimensionales Raster parallel und senkrecht zur Länge l erstrecken, wobei der Abstand der Vertiefungen ca. 5 mm und die Breite der Vertiefungen **37** beim Übergang zur TCO-Schicht **19** ca. 50 μm betragen. Diese Vertiefungen **37** (der Übersichtlichkeit halber ist in **Fig. 3b** bis **Fig. 3e** nur eine Vertiefung **37** gezeigt) durchdringen im Gegensatz zum zweiten Strukturierungsgraben **35** allerdings nicht die TCO-Schicht **19**. Außerdem verlaufen die Kanten **39a**, **39b** der Vertiefungen **37** nicht parallel zur Oberflächennormalen der großen Hauptfläche H , sondern mit einer Neigung α von $0,1^\circ$ bis 30° , bevorzugt 3° bis 20° , insbesondere 12° bis 19° oder 70° bis 89° , bevorzugt 75° bis 85° , insbesondere 78° bis 82° .

[0043] Entsprechend **Fig. 3c** wird eine elektrische Isolierungsschicht **27** in Form eines Dielektrikums aufgebracht, die den zweiten Strukturierungsgraben **35** verfüllt und dadurch die P3-Strukturierung gebildet. Und es wird die Oberfläche des Grundes **47** der Vertiefungen **37** bedeckt.

[0044] Wie in **Fig. 3d** zu erkennen ist, wird die aufgebraachte Isolierungsschicht **27** von beiden Seiten belichtet **41**, **43**, nämlich einmal mittels einer Maske (nicht gezeigt) von oben, um die Isolierungsschicht **27** zwischen der P1-, P3-Strukturierung und den links davon direkt benachbart angeordneten Vertiefungen **37** linienförmig parallel zur Länge l im Rahmen eines dritten Strukturierungsgrabens **45** entfernt. Außerdem wird durch Belichtung von unten **43** die Isolierungsschicht am Grund **47** der Vertiefungen **37** lokal entfernt. Durch die Neigung α der Kanten **39a**, **39b** der Vertiefungen **37** erfolgt die Belichtung nur am Grund **47**, so dass die Kanten **39a**, **39b** der Vertiefungen **37** weiterhin von der Isolierungsschicht **27** bedeckt bleiben. Gegebenenfalls kann für die Isolierungsschicht **27** ein Lack verwendet werden, der etwas nachläuft, so dass auch die an den Grund **47** angrenzenden Bereiche der Kanten **39a**, **39b** der Vertiefungen **37** sicher mit der Isolierungsschicht **27** bedeckt bleiben. Durch die Neigung α ist daher keine exakt ausgerichtete Belichtung mittels einer angepassten Maske erforderlich, sondern es reicht eine großflächige Belichtung **43** von unten, was die Herstellung wesentlich vereinfacht und verbilligt. Nach entsprechender Entwicklung liegt dann eine ausgehärtete Isolierungsschicht **27** vor.

[0045] Abschließend wird entsprechend **Fig. 3e** die Frontkontaktschicht **29** aufgebracht, wobei eine Mas-

ke (nicht gezeigt) verwendet wird, um in dem Bereich **49** keine Kontaktierung der Rückkontaktschicht **25** herzustellen. Zugleich bildet sich die zweite Kontaktierung **13** aus, die die Rückkontaktschicht **25a** der linken Solarzelle **3n** mit der Frontkontaktschicht **29b** der rechten benachbart angeordneten Solarzelle **3n + 1** elektrisch leitend verbindet. Am Grund **47** der Vertiefungen **37** kontaktiert die Frontkontaktschicht **29a** die TCO-Schicht **19a** der linken Solarzelle **3n** in Form eines ersten Kontaktes **11**.

[0046] Als Substrate **17** kommen beispielsweise Floatglas, Kalknatronglas, Polymere und andere geeignete Materialien in Betracht. Als transparente leitfähige Schicht **19** eignen sich Zinnoxid, Zinkoxid, Kadmiunstannat, deren dotierte Varianten, Kombinationen dieser Materialien und andere geeignete Materialien. Als optisch aktive Schicht **15** kommen ein oder mehrere n-typ und/oder ein oder mehrere p-typ Halbleiter in Betracht, die einen p-n-Übergang (oder alternativ einen p-i-n-Übergang) ausbilden. Im vorliegenden Fall wird n-typ Kadmiumsulfid **21** und p-typ Kadmiuntellurid **23** bevorzugt. Die Rückkontaktschicht **25** kann genauso wie die Frontkontaktschicht **29** eines der Materialien Aluminium, Chrom, Gold, Kupfer, Molybdän, Nickel, Palladium, Silber, Titan, Wolfram oder Kombinationen davon oder andere geeignete Materialien aufweisen. Die vorgenannten Schichten **15**, **19**, **21**, **23**, **25**, **29** werden vorzugsweise durch ein Sputterverfahren abgeschieden, aber auch andere geeignete Verfahren sind möglich. Als Isolierungsschicht **27** kommen aushärtbare Lacke und andere geeignete Materialien in Frage, die beispielsweise mit einem Tintenstrahlverfahren, aber auch mittels Sputtern oder einem Rollercoater aufgebracht werden können.

[0047] Dadurch besteht zum einen eine Reihenverschaltung der Solarzellen **3n**, **3n + 1** über die mittels der P1-, P3-Strukturierungen ausgebildeten Isolierung **7** hinweg. Zum anderen wird der Strom durch die Vorrichtung **1** über das zweidimensionale Raster an ersten Kontakte **11** geleitet, so dass nur sehr geringe Widerstandsbedingte Verluste auftreten und zugleich die Totflächen minimiert sind.

[0048] Genauer gesagt weisen die Solarzellen **3** eine Breite b von 39,5 mm gegenüber einer bei konventionellen Vorrichtungen verwendeten Breite von 5 mm auf. Auch die Vorrichtung der WO 2014/152556 A1 weist eine Breite von 5 mm auf. Damit auf der Gesamtbreite der Vorrichtung **1** von 1185 mm 30 Solarzellen **3** vor, während bei herkömmlichen Vorrichtungen jeweils 237 Solarzellen vorliegen. Daraus folgt, dass bei der erfindungsgemäßen Vorrichtung **1** nur 29 Isolierungen **7** bestehen, bei herkömmlichen Vorrichtungen dagegen 236 Isolierungen. Die Breite der P1-, P2- und P3-Strukturierungen beträgt üblicherweise jeweils ca. 50 μm , wobei die jeweiligen Strukturierungsgräben jeweils ca.

25 µm beabstandet werden müssen. Auch die Isolierungsstrukturierung der WO 2014/152556 A1 weist eine solche Breite auf. Damit ist die Totfläche für eine Isolierung mit Isolierungsstrukturierung 50 µm breit, bei einer P1-, P3-Strukturierung ca. 50 µm + 25 µm + 50 µm = 125 µm breit und bei einer P1-, P2-, P3-Strukturierung ca. 50 µm + 25 µm + 50 µm + 25 µm + 50 µm = 200 µm breit. Die gesamte Totflächenbreite beträgt somit bei einer herkömmlichen Vorrichtung mit P1-, P2-, P3-Strukturierung ca. 200 µm × 236 = 47.200 µm, bei einer herkömmlichen Vorrichtung mit Isolierungsstrukturierung ca. 50 µm × 236 = 11.800 µm und bei der erfindungsgemäßen Vorrichtung **1** mit P1-, P2-, P3-Strukturierung ca. 200 µm × 29 = 5.800 µm, mit P1-, P3-Strukturierung ca. 125 µm × 29 = 3.625 µm und bei einer Isolierungsstrukturierung ca. 50 µm × 29 = 1.450 µm. Die Totfläche kann somit durch die erfindungsgemäße Ausbildung um zumindest ca. 50% und bis zu ca. 87% gesenkt werden. Damit ist ein Wirkungsgradgewinn von zumindest ca. 0,1% abs, maximal ca. 0,8% abs gegenüber Vorrichtungen mit P1-, P2-, P3-Strukturierung verbunden. Der Wirkungsgradgewinn gegenüber Vorrichtungen mit Isolierungsstrukturierung beträgt zumindest ca. 0,1% abs und im Maximum ca. 1,4% abs.

[0049] Weiterhin liegen die ersten Kontakte **11** als quadratische Punkte von ca. 50 µm bis 150 µm Seitenlänge vor, wobei der Abstand der Kontakte untereinander und zu den Isolierungen **7** jeweils ca. 5 mm beträgt. Damit ist gegenüber herkömmlichen Vorrichtungen mit P1-, P2-, P3-Strukturierung ein Wirkungsgradgewinn von zumindest ca. 0,2% abs, maximal ca. 1,0% abs gegenüber Vorrichtungen mit P1-, P2-, P3-Strukturierung verbunden.

[0050] Insgesamt kann damit gegenüber herkömmlichen Vorrichtungen mit P1-, P2-, P3-Strukturierung der Wirkungsgrad um bis zu 2,0% abs erhöht werden, d. h. um zwei bis sechs Leistungsklassen 2,5 W. Aber auch gegenüber der herkömmlichen Lösung mit Isolierungsstrukturierung kann der Wirkungsgrad um bis zu 1,0% abs erhöht werden, d. h. um drei Leistungsklassen 2,5 W.

[0051] In **Fig. 4** ist eine Alternative zum Herstellungsschritt nach **Fig. 3d** gezeigt. Dabei erfolgt keine flächige Belichtung **43** von unten, sondern die Belichtung **51** erfolgt durch eine Maske (nicht gezeigt) bzw. als LASER-Punktbelichtung von oben. Dadurch kann die Bedeckung der an den Grund **47** angrenzenden Bereiche der Kanten **39a**, **39b** der Vertiefungen **37** mit der Isolierungsschicht **27** ebenfalls sichergestellt werden. Allerdings ist dafür ein höherer Ausrichtungsaufwand erforderlich.

[0052] In den **Fig. 5a** und **Fig. 5b** sind alternative Ausgestaltungen der Isolierung **7'**, **7''** zwischen zwei Solarzellen **3n**, **3n + 1** gezeigt. Es ist zu erkennen, dass die Isolierung **7'** in **Fig. 5a** als klassische P1-,

P2-, P3-Strukturierung ausgebildet ist, während die Isolierung **7''** als Isolierungsstrukturierung entsprechend WO 2014/152556 A1 hergestellt wurde.

[0053] In den **Fig. 6a** bis **Fig. 6d** ist eine alternative Abfolge von Schritten zur Herstellung der erfindungsgemäßen photovoltaischen Vorrichtung **100** nach einer zweiten bevorzugten Ausgestaltung näher dargestellt.

[0054] Es ist zu erkennen, dass hier die Anfangsschritte identisch sind (vgl. **Fig. 6a** und **Fig. 3b**). Nach Einbringung des zweiten Strukturierungsgrabens **35** und der Vertiefungen **37** erfolgt allerdings ein Zwischenschritt (vgl. **Fig. 6b**), bei dem die Rückkontaktschicht **25** im Bereich **101** wieder lokal entfernt wird. Alternativ könnte die Aufbringung der Rückkontaktschicht **25** auch gleich unter Zuhilfenahme einer entsprechenden Maske erfolgen, so dass die Bereiche **101** ausgespart bleiben. Nach anschließender Aufbringung der Isolierungsschicht **103** (vgl. **Fig. 6c**) und der Frontkontaktschicht **105** (vgl. **Fig. 6d**) unter selektiver Aussparung des Bereichs **107** entsprechend den Ausführungen zu **Fig. 3c** bis **Fig. 3e** liegt hier eine größere horizontale Beabstandung zwischen Rückkontaktschicht **25** und Frontkontaktschicht **105** vor, die noch wirksamer vor Kurzschlüssen schützt.

[0055] In **Fig. 7** ist die erfindungsgemäße photovoltaische Vorrichtung **150** nach einer dritten bevorzugten Ausgestaltung in einer teilweisen Schnittansicht dargestellt.

[0056] Es ist zu erkennen, dass die Vorrichtung **150** zahlreiche Solarzellen im Substrataufbau, also zur Sonnenlichteinleitung entgegengesetzt vom Substrat, umfasst, die streifenförmig nebeneinander angeordnet sind, wobei diese in Reihe miteinander verschaltet sind. Der Anschaulichkeit halber sind im Vergleich zu den **Fig. 1** bis **Fig. 2** nur zwei Solarzellen **151n**, **151n + 1** gezeigt und auch nur ein erster Kontakt **153**.

[0057] Diese Vorrichtung **150** wurde dadurch hergestellt, dass auf einem Glassubstrat **155** eine Frontkontaktschicht **157** abgeschieden und anschließend eine P1-Strukturierung vorgenommen wurde. Dann wurde als Isolierungsschicht **159** ein Dielektrikum in Form eines Lackes aufgebracht, belichtet und entwickelt, so dass die P1-Strukturierung verfüllt und die P2-Strukturierung gebildet wurden. Anschließend wurde die Rückkontaktschicht **161** aufgebracht und mittels einer LASER-Strukturierung lokal im Bereich **162** entfernt. Danach wurden die optisch aktive Schicht **163** und eine Bufferschicht **165** aufgebracht und die Bufferschicht **165**, die optisch aktive Schicht **163**, die Rückkontaktschicht **161** und die Isolierungsschicht **159** wurden mit einer weiteren LASER-Strukturierung mit einem geringeren Durchmesser als die vorherige LASER-Strukturierung bis zur Frontkon-

taktschicht **157** entfernt, um Vertiefungen **167** auszubilden, wobei die Rückkontaktschicht von den Vertiefungen **167** durch die optisch aktive Schicht **163** getrennt ist. Durch Aufbringung der TCO-Schicht **169** wird die Frontkontaktschicht **157** kontaktiert. Schließlich werden die TCO-Schicht **169**, die Bufferschicht **165**, die optisch aktive Schicht **163**, die Rückkontaktschicht **161** und ein Teil der Isolierungsschicht **159** in einem P3-Strukturierungsschritt durchtrennt und der sich ausbildende Strukturierungsgraben **171** wird gegebenenfalls mit einem elektrischen Isolator verfüllt (nicht gezeigt).

[0058] Die in **Fig. 8** in einer teilweisen Schnittansicht gezeigte erfindungsgemäße photovoltaische Vorrichtung **200** nach einer dritten bevorzugten Ausgestaltung unterscheidet sich von der Vorrichtung **150** nach **Fig. 7** dadurch, dass die LASER-Strukturierung zur Erzeugung des Bereichs **162** in **Fig. 7** entfallen ist, stattdessen nach dem LASER-Strukturierungsschritt zur Erzeugung der Vertiefungen **167** und vor Aufbringung der TCO-Schicht **201** eine weitere Isolierungsschicht **203** aufgebracht und so belichtet und ausgehärtet wird, dass diese Isolierungsschicht im Wesentlichen nur vertikal an den Kanten **205a**, **205b** der Vertiefungen **167** vorliegt, den Grund **207** der Vertiefungen **167** jedoch teilweise nicht bedeckt, so dass dort die TCO-Schicht **201** die Frontkontaktschicht **157** kontaktieren kann. Die Rückkontaktschicht **209** und die optisch aktive Schicht **211** grenzen dabei direkt an die weitere Isolierungsschicht **203** an.

[0059] Aus der vorstehenden Darstellung ist deutlich geworden, dass mit der vorliegenden Erfindung der Wirkungsgrad photovoltaischer Vorrichtungen **1**, **100**, **150**, **200** deutlich verbessert werden kann. Es liegen keine toten Kontaktierungszellen vor und außer den beiden Anschlüssen für die Anschlussdose **5** zu den Kontaktzellen **3'**, **3''** sind keine zusätzlichen Kontaktbänder und Silberleitkleber erforderlich. Für die beschriebene Fläche der Vorrichtung **1** von 585 mm × 1185 mm können nun Leistungen von 6,2 A × 25 V erzielt werden. Aufgrund der wesentlich geringeren Anzahl an Solarzellen **3** und damit Isolierungen **7** kann der Durchsatz wesentlich erhöht werden, weil die Zahl der Strukturierungsschritte deutlich verringert wird.

[0060] Fehlstellen in den Vorrichtungen **1**, **100**, **150**, **200** können nachträglich einfach beseitigt werden, beispielsweise durch Ausschneiden, Auslasern oder Ausbrennen, wobei unterstützend bildgebende Verfahren, wie Elektrolumineszenz, Thermographie oder Photolumineszenz eingesetzt werden können, um diese Fehlstellen zu lokalisieren.

[0061] Soweit nichts anders angegeben ist, können sämtliche Merkmale der vorliegenden Erfindung frei miteinander kombiniert werden. Auch die in der Figurenbeschreibung beschriebenen Merkmale können,

soweit nichts anderes angegeben ist, als Merkmale der Erfindung frei mit den übrigen Merkmalen kombiniert werden. Dabei können gegenständliche Merkmale auch als Verfahrensmerkmale Verwendung finden und Verfahrensmerkmale als gegenständliche Merkmale.

Bezugszeichenliste

1	photovoltaische Vorrichtung nach erster bevorzugter Ausgestaltung
3	Solarzellen im Superstrataufbau
3a, 3b, 3c	Solarzellen
3'	erste Solarzelle
3''	letzte Solarzelle
3n, 3n + 1, 3n + 2	benachbart angeordnete Solarzellen
5	Anschlussdose
7a, 7b	Isolierungen zwischen benachbarten Solarzellen 3a , 3b , 3c
11, 11a, 11b, 11c	erste Kontakte, „+“
13, 13a, 13b, 13c	zweite Kontakte, „-“
15, 15a, 15b, 15c	optisch aktive Schicht
17, 17a, 17b, 17c	optisch transparentes Substrat, Glassubstrat
19, 19a, 19b, 19c	transparente leitfähige Schicht (TCO), Zinnoxid
21, 21a, 21b, 21c	Kadmiumsulfid-Schicht
23, 23a, 23b, 23c	Kadmiumtellurid-Schicht
25, 25a, 25b, 25c	Rückkontaktschicht
27, 27a, 27b, 27c	Isolierungsschicht
29, 29a, 29b, 29c	Frontkontaktschicht
31	Kontaktierungs-Strukturierungen
33	P1-Strukturierungen
35	P3-Strukturierungen
37	35a, 35b lokale Strukturierungen in Form quadratischer lochartiger Vertiefungen
39a, 39b	Kanten der Vertiefungen 37
41, 43	Belichtung
45	dritter Strukturierungsgraben
47	Grund der Vertiefungen 37
49	Bereich der Frontkontaktschicht
51	Belichtung
7', 7''	Isolierung zwischen zwei Solarzellen 3n , 3n + 1

100	photovoltaische Vorrichtung nach zweiter bevorzugter Ausgestaltung
101	Bereich der Rückkontaktschicht 25
103	Isolierungsschicht
105	Frontkontaktschicht
107	Bereich
150	photovoltaische Vorrichtung nach dritter bevorzugter Ausgestaltung
151n, 151n + 1	benachbarte Solarzellen im Substrataufbau
153	erster Kontakt
155	Glassubstrat
157	Frontkontaktschicht
159	Isolierungsschicht
161	Rückkontaktschicht
162	Bereich der Rückkontaktschicht 161
163	optisch aktive Schicht
165	Bufferschicht
167	Vertiefungen
169	TCO-Schicht
171	Strukturierungsgraben
200	photovoltaische Vorrichtung nach dritter bevorzugter Ausgestaltung
201	TCO-Schicht eine weitere
203	Isolierungsschicht
205a, 205b	Kanten der Vertiefungen 167
207	Grund der Vertiefungen 167
209	Rückkontaktschicht
211	optisch aktive Schicht
l	Länge der Solarzellen 3
b	Breite der Solarzellen 3
α	Neigung der Kanten 39a, 39b
H	Hauptfläche des Substrates 17
N	Normale der Hauptfläche H

ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

Zitierte Patentliteratur

- WO 2014/152556 A1 [0005, 0008, 0048, 0048, 0052]

Patentansprüche

1. Photovoltaische Vorrichtung (1) mit einem Substrat (17) mit einer großen Hauptfläche (H), auf der zumindest zwei entlang einer Grenze in Reihe verschaltete Solarzellen (3a, 3b, 3c) benachbart zueinander angeordnet sind, wobei die beiden Solarzellen (3a, 3b, 3c) jeweils eine Rückkontaktschicht (25a, 25b, 25c), eine transparente leitfähige Schicht (19a, 19b, 19c) und eine optisch aktive Schicht (15, 15a, 15b, 15c, 21, 21a, 21b, 21c, 23, 23a, 23b, 23c) aufweisen, wobei die Reihenverschaltung eine Kontaktierung (11b, 11c) der Rückkontaktschicht (25a, 25b) einer ersten Solarzelle (3a, 3b) der beiden Solarzellen (3a, 3b, 3c) mit der transparenten leitfähigen Schicht (19b, 19c) einer zweiten Solarzelle (3b, 3c) der beiden Solarzellen (3a, 3b, 3c) aufweist, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Kontaktierung (11b, 11c) parallel zu der großen Hauptfläche (H) des Substrats (17) als zweidimensionales Raster einzelner Kontakte (11a, 11b, 11c) ausgebildet ist.

2. Photovoltaische Vorrichtung (1) nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Raster regelmäßig ausgebildet ist, bevorzugt mit einem lateralen Abstand zwischen zwei benachbarten Kontakten (11a, 11b, 11c) von 1 bis 20 mm, vorzugsweise 3 bis 10 mm, insbesondere 4 bis 7 mm.

3. Photovoltaische Vorrichtung (1) nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass die einzelnen Kontakte (11a, 11b, 11c) im Querschnitt punktförmig, bevorzugt mit einer Querschnittsbreite von höchstens 500 µm, vorzugsweise höchstens 300 µm, insbesondere höchstens 200 µm ausgebildet sind.

4. Photovoltaische Vorrichtung (1) nach einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Breite (b) der Solarzellen (3a, 3b, 3c) senkrecht zu der Grenze zwischen den Solarzellen (3a, 3b, 3c) mindestens 3 mm, bevorzugt mindestens 15 mm, insbesondere mindestens 39 mm beträgt.

5. Photovoltaische Vorrichtung (1) nach einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Kontaktierung (11a, 11b, 11c) eine Frontkontaktschicht (29b, 29c) der zweiten Solarzelle (3b, 3c) aufweist, die mit der Rückkontaktschicht (25a, 25b) der ersten Solarzelle (3a, 3b) in leitender Verbindung steht und von der Rückkontaktschicht (25b, 25c) der zweiten Solarzelle (3b, 3c) über eine Isolierungsschicht (27b, 27c) isoliert ist, wobei die Frontkontaktschicht (29b, 29c) bevorzugt mit der transparenten leitfähigen Schicht (19b, 19c) vertikal verlaufende einzelne Kontakte (11b, 11c) ausbildet.

6. Photovoltaische Vorrichtung (1) nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass sich die Isolierungsschicht (27b, 27c) zwischen Frontkontakt-

schicht (29b, 29c) und optisch aktiver Schicht (15b, 15c) erstreckt.

7. Verfahren zur Herstellung einer photovoltaische Vorrichtung (1) mit einem Substrat (17) mit einer großen Hauptfläche (H), auf der zumindest zwei entlang einer Grenze in Reihe verschalteten Solarzellen (3a, 3b, 3c) benachbart zueinander angeordnet sind, wobei die beiden Solarzellen (3a, 3b, 3c) jeweils eine Rückkontaktschicht (25a, 25b, 25c), eine transparente leitfähige Schicht (19a, 19b, 19c) und eine optisch aktive Schicht (15, 15a, 15b, 15c, 21, 21a, 21b, 21c, 23, 23a, 23b, 23c) aufweisen, wobei die Reihenverschaltung eine Kontaktierung (11b, 11c) der Rückkontaktschicht (25a, 25b) einer ersten Solarzelle (3a, 3b) der beiden Solarzellen (3a, 3b, 3c) mit der transparenten leitfähigen Schicht (19b, 19c) einer zweiten Solarzelle (3b, 3c) der beiden Solarzellen (3a, 3b, 3c) aufweist, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Kontaktierung (11b, 11c) parallel zu der großen Hauptfläche (H) des Substrats (17) als zweidimensionales Raster einzelner Kontakte (11a, 11b, 11c) ausgebildet wird.

8. Verfahren nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Rückkontaktschicht (25a, 25b, 25c) einheitlich für alle Solarzellen (3a, 3b, 3c) aufgebracht und anschließend im Bereich der herzustellenden einzelnen Kontakte (11a, 11b, 11c) entfernt wird, wobei die Entfernung bevorzugt mittels LASER-Bestrahlung erfolgt.

9. Verfahren nach Anspruch 7 oder 8, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine Entfernung der Rückkontaktschicht (25a, 25b) und der optisch aktiven Schicht (15a, 15b, 21a, 21b, 23a, 23b) bis zur transparenten leitenden Schicht (19a, 19b) erfolgt, wobei eine gegenüber der Senkrechten geneigte Strukturierung vorgenommen wird, wobei die Neigung (α) der gebildeten Strukturierungskante (39a, 39b) vorzugsweise entweder $0,1^\circ$ bis 30° , bevorzugt 3° bis 20° , insbesondere 12° bis 19° oder 70° bis 89° , bevorzugt 75° bis 85° , insbesondere 78° bis 82° gegenüber der Normale (N) der Hauptfläche (H) beträgt.

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 7 bis 9, **dadurch gekennzeichnet**, dass an der Grenze (7a, 7b, 7c) zwischen zwei Solarzellen (3a, 3b, 3c) eine Durchtrennung einer substratnahen leitenden Schicht (19a, 19b, 19c) und eine Durchtrennung einer substratfernen leitenden Schicht (25a, 25b, 25c) vorgenommen wird, wobei die Durchtrennung bevorzugt als P1- (31) und P3- (35), insbesondere als P1-, P2- und P3-LASER-Strukturierungsschritte vorgenommen wird.

11. Verfahren nach einem der Ansprüche 7 bis 10, **dadurch gekennzeichnet**, dass die photovoltaische Vorrichtung (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 6 hergestellt wird.

12. Verfahren nach einem der Ansprüche 7 bis 11, **dadurch gekennzeichnet**, dass auf dem Substrat (17) die transparente leitende Schicht (19), darüber die optisch aktive Schicht (15, 21, 23), darüber die Rückkontaktschicht (25), darüber eine Isolierungsschicht (27) und darüber eine Frontkontaktschicht (29) angeordnet werden, wobei die Grenze (7a, 7b, 7c) zwischen zwei benachbarten Solarzellen (3a, 3b, 3c) durch eine Durchtrennung der transparenten leitenden Schicht (19) und der Rückkontaktschicht (25) gebildet wird, wobei nach Aufbringung der Rückkontaktschicht (25) mit einem Strukturierungsschritt die Rückkontaktschicht (25) und die optisch aktive Schicht (15, 21, 23) jeweils lokal (37) zur Bildung jeweils eines Kontaktes (11a, 11b, 11c) entfernt werden, nach Aufbringung der Isolierungsschicht (27) diese lokal (47) an den Stellen der jeweiligen Kontakte (11a, 11b, 11c) wieder entfernt wird und zwischen den Kontakten (11a, 11b, 11c) und der Grenze (7a, 7b, 7c) zwischen zwei Solarzellen (3a, 3b, 3c) die Isolierungsschicht (27a, 27b, 27c) durch Bildung eines dritten Strukturierungsgrabens (45) entfernt wird, nach Aufbringung der Frontkontaktschicht (29) diese in einem Strukturierungsschritt (49) entlang der Grenze (7a, 7b, 7c) so strukturiert wird, dass die Frontkontaktschicht (29a, 29b, 29c) in Richtung zur Grenze (7a, 7b, 7c) eine direkte leitende Verbindung mit der Rückkontaktschicht (25a, 25b, 25c) aufweist und in Richtung zu den Kontakten (11a, 11b, 11c) keine direkte leitende Verbindung zu der Rückkontaktschicht (25a, 25b, 25c) besteht, wobei bevorzugt vorgesehen ist, dass vor Aufbringung der Rückkontaktschicht (25) die optisch aktive Schicht (15, 21, 23) und die transparente leitende Schicht (19) in einem Strukturierungsschritt (31) entlang der Grenze (7a, 7b, 7c) zwischen zwei Solarzellen (3a, 3b, 3c) entfernt werden und der gebildete erste Strukturierungsgraben (31) mit einem Isolationsmaterial (33) verfüllt wird und nach Aufbringung der Rückkontaktschicht (25) die Rückkontaktschicht (25) in einem Strukturierungsschritt (35) entlang der Grenze (7a, 7b, 7c) zwischen zwei Solarzellen (3a, 3b, 3c) entfernt wird und der gebildete zweite Strukturierungsgraben (35) mit dem Material der Isolierungsschicht (27) verfüllt wird.

13. Verfahren nach einem der Ansprüche 7 bis 11, **dadurch gekennzeichnet**, dass auf dem Substrat (155) eine Frontkontaktschicht (157), darüber eine Isolierungsschicht (159), darüber die Rückkontaktschicht (161; 209) und darüber die optisch aktive Schicht (163; 211) angeordnet werden, wobei die Grenze zwischen zwei benachbarten Solarzellen durch eine Durchtrennung der Frontkontaktschicht (157) und der transparenten leitenden Schicht (169; 201) gebildet wird, wobei nach Aufbringung der Frontkontaktschicht (157) diese entlang der Grenze zwischen zwei Solarzellen entfernt wird, um einen erste Strukturierungsgraben

(P1) zu bilden, der mit Material der Isolierungsschicht (159) verfüllt wird, nach Aufbringung der Isolierungsschicht (159) diese entlang der Grenze zwischen zwei Solarzellen entfernt wird, um einen zweiten Strukturierungsgraben (P2) zu bilden, wobei der zweite Strukturierungsgraben (P2) benachbart zum ersten Strukturierungsgraben (P1) angeordnet und mit Material der Rückkontaktschicht (161; 209) verfüllt wird, nach Aufbringung der Rückkontaktschicht (161; 209) mit einem Strukturierungsschritt die Rückkontaktschicht (161; 209) jeweils lokal (162) zur Bildung jeweils eines Kontaktes (153) entfernt wird, vor Aufbringung der transparenten leitfähigen Schicht (169; 201) die optisch aktive Schicht (163; 211) und die Isolierungsschicht (159, 203) lokal (167) an den Stellen der jeweiligen Kontakte (153) wieder entfernt werden, nach Aufbringung der transparenten leitfähigen Schicht (169; 201) diese in einem Strukturierungsschritt (171) zwischen zwei Solarzellen entfernt wird, um einen dritten Strukturierungsgraben (P3) zu bilden, der bevorzugt mit einem Isolationsmaterial verfüllt wird.

Es folgen 17 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

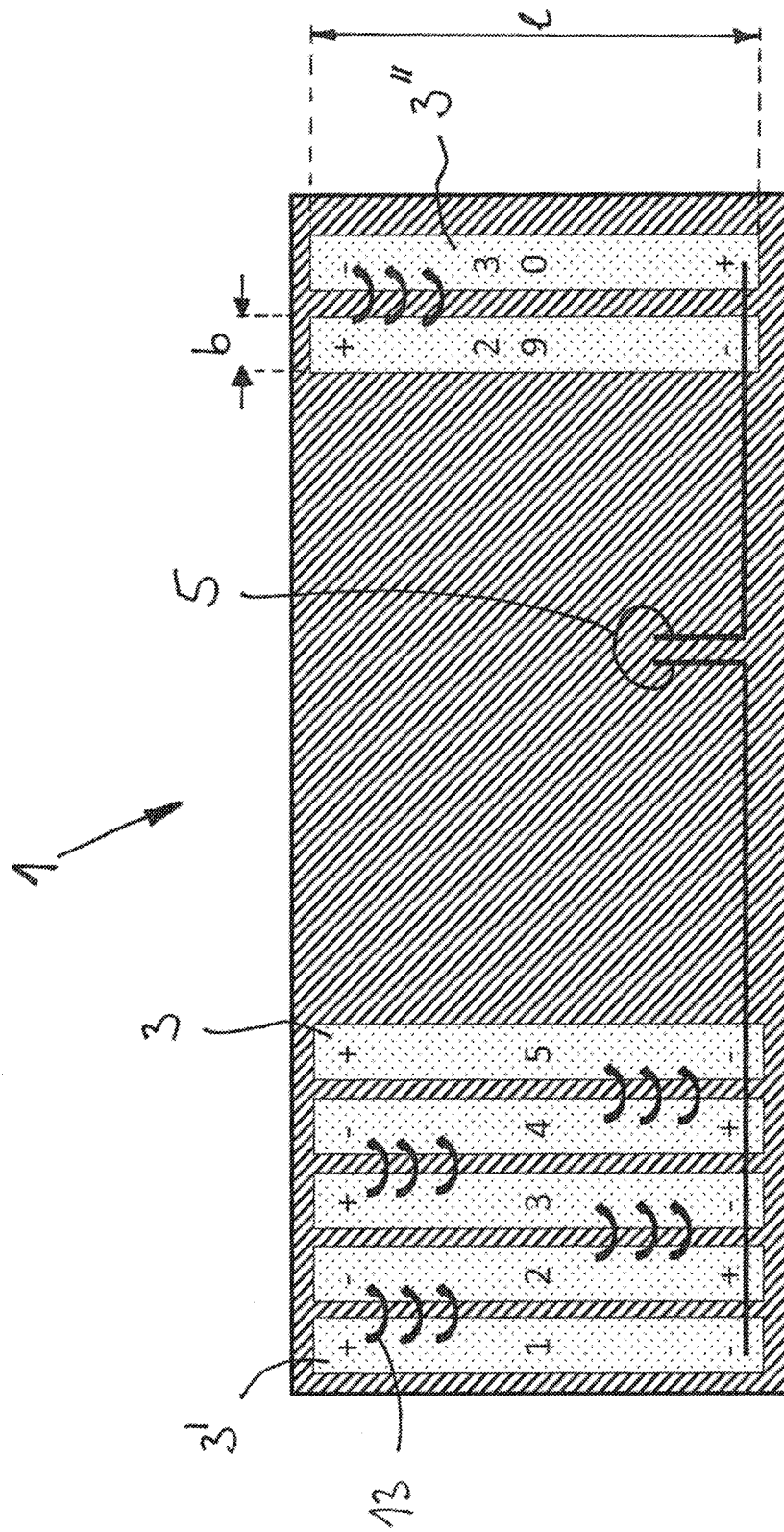


Fig. 1a

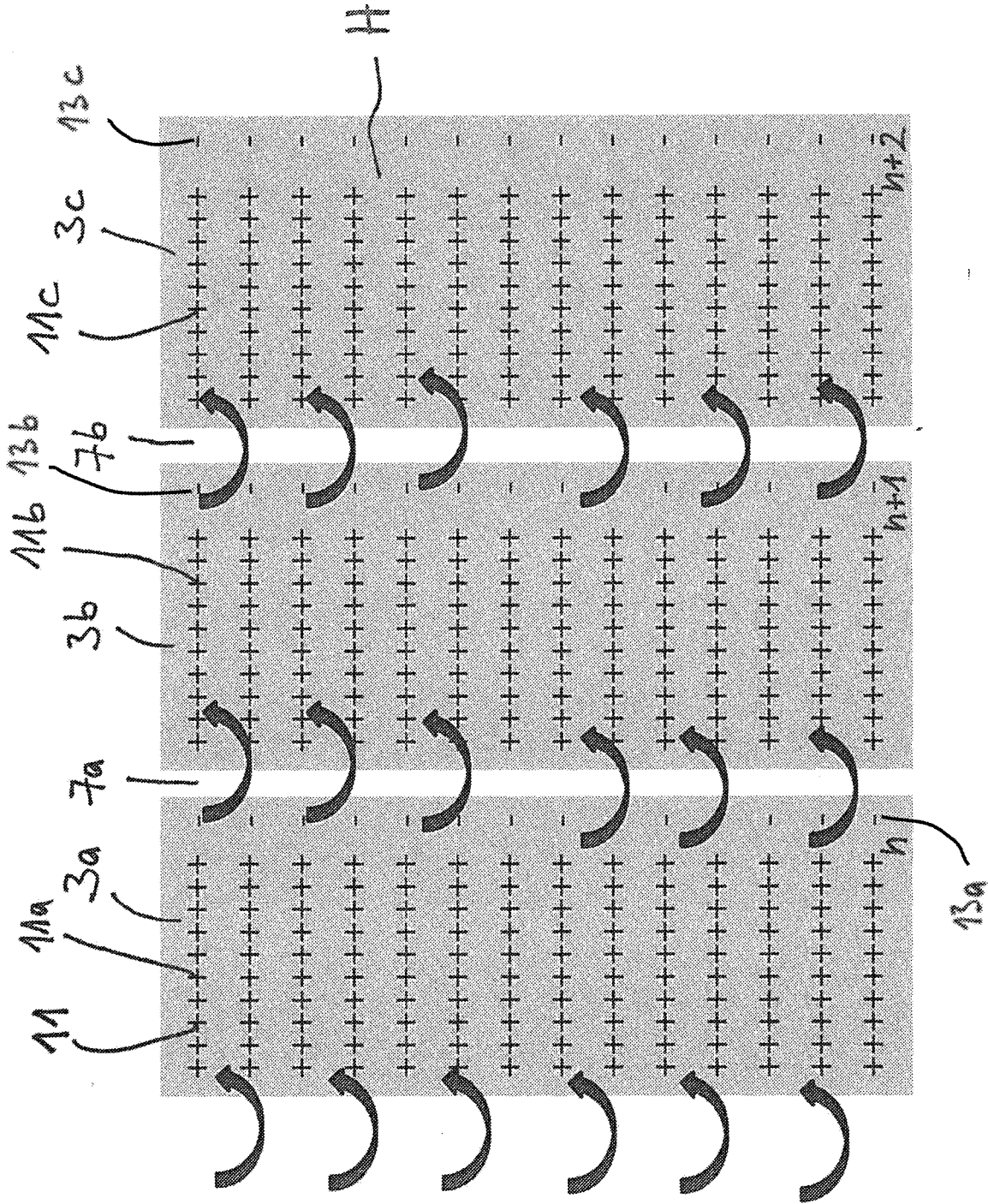


Fig. 16

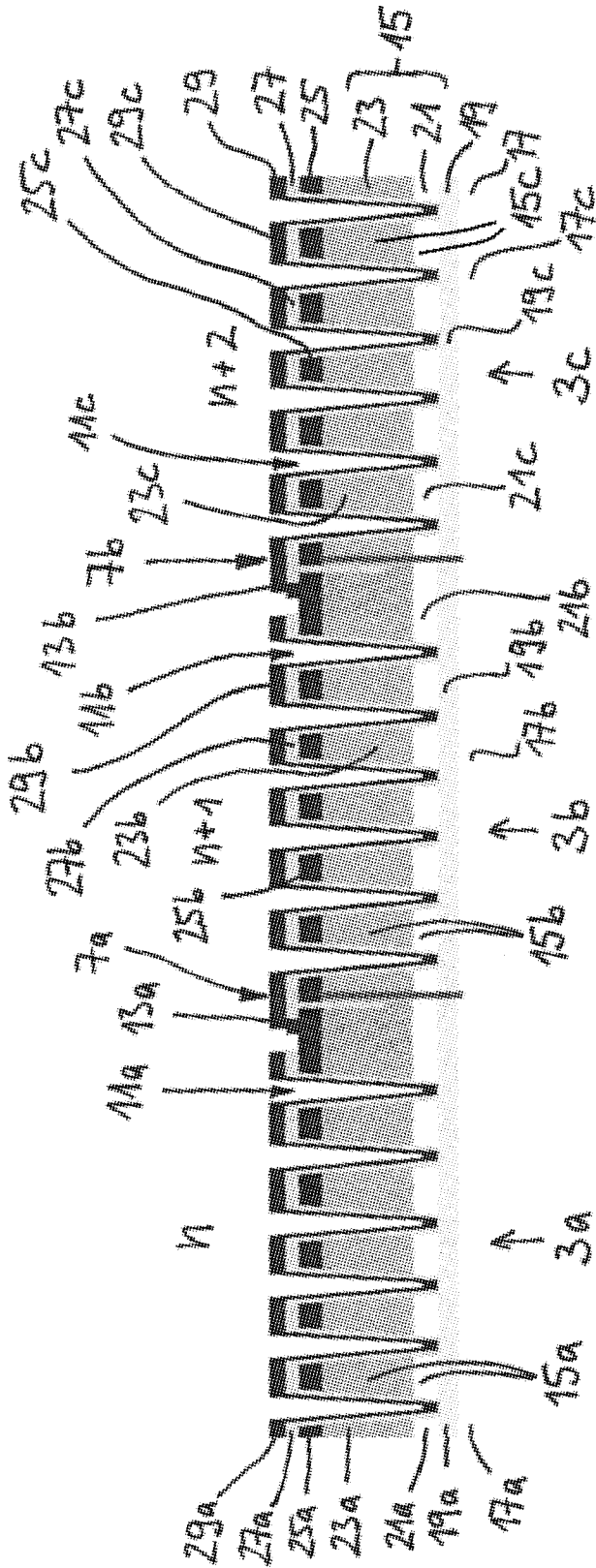


Fig. 2

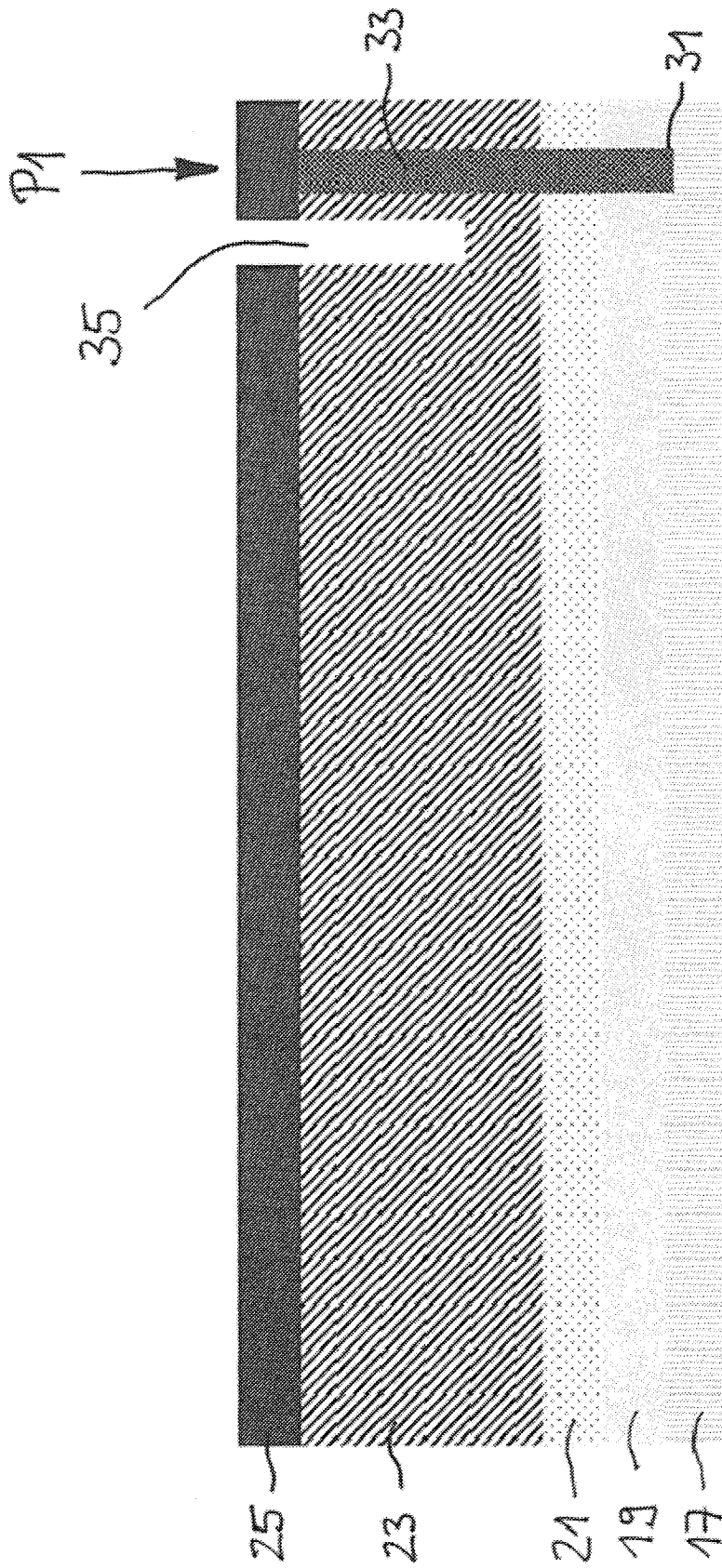


Fig. 3a

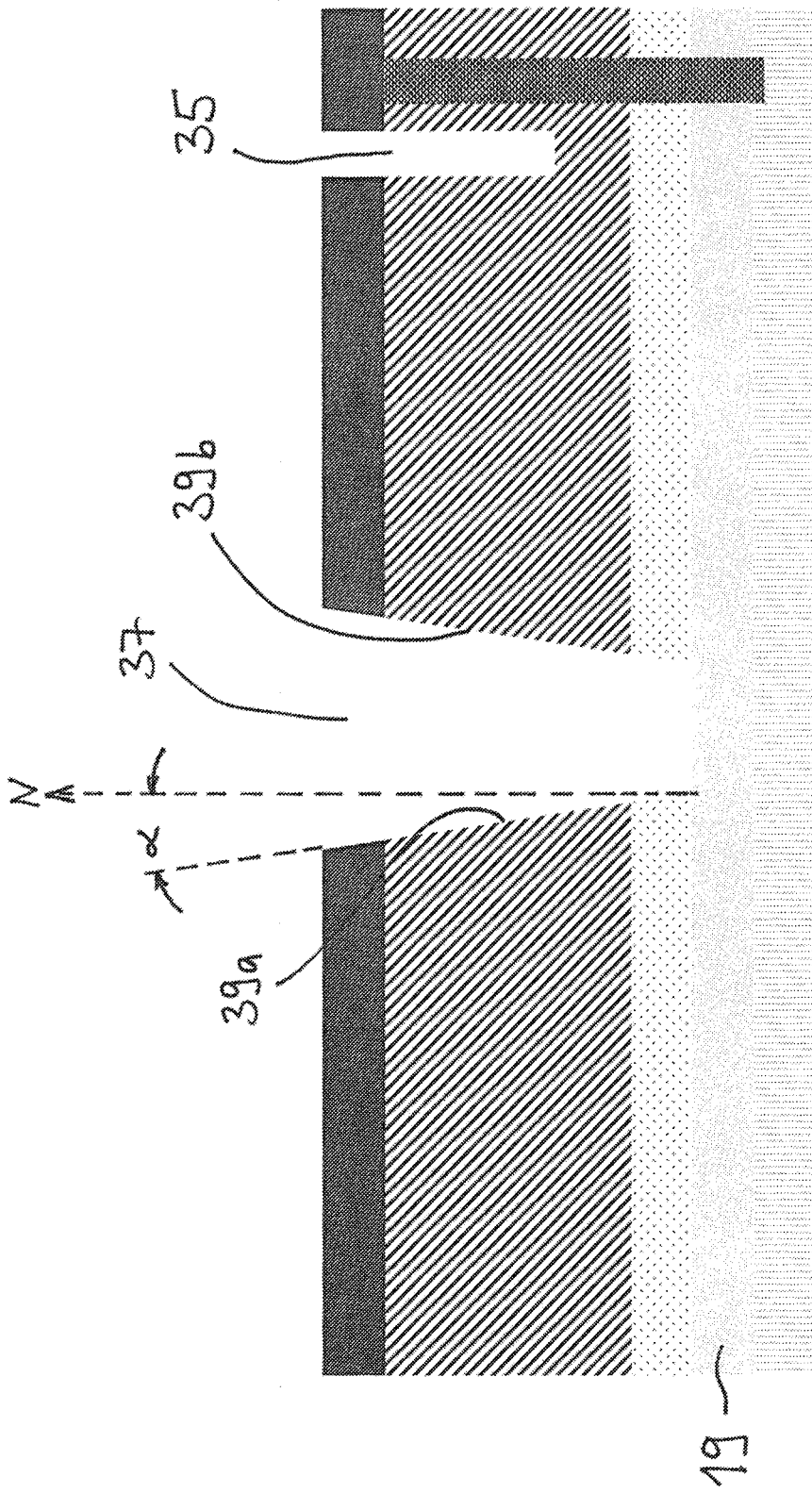


Fig. 3b

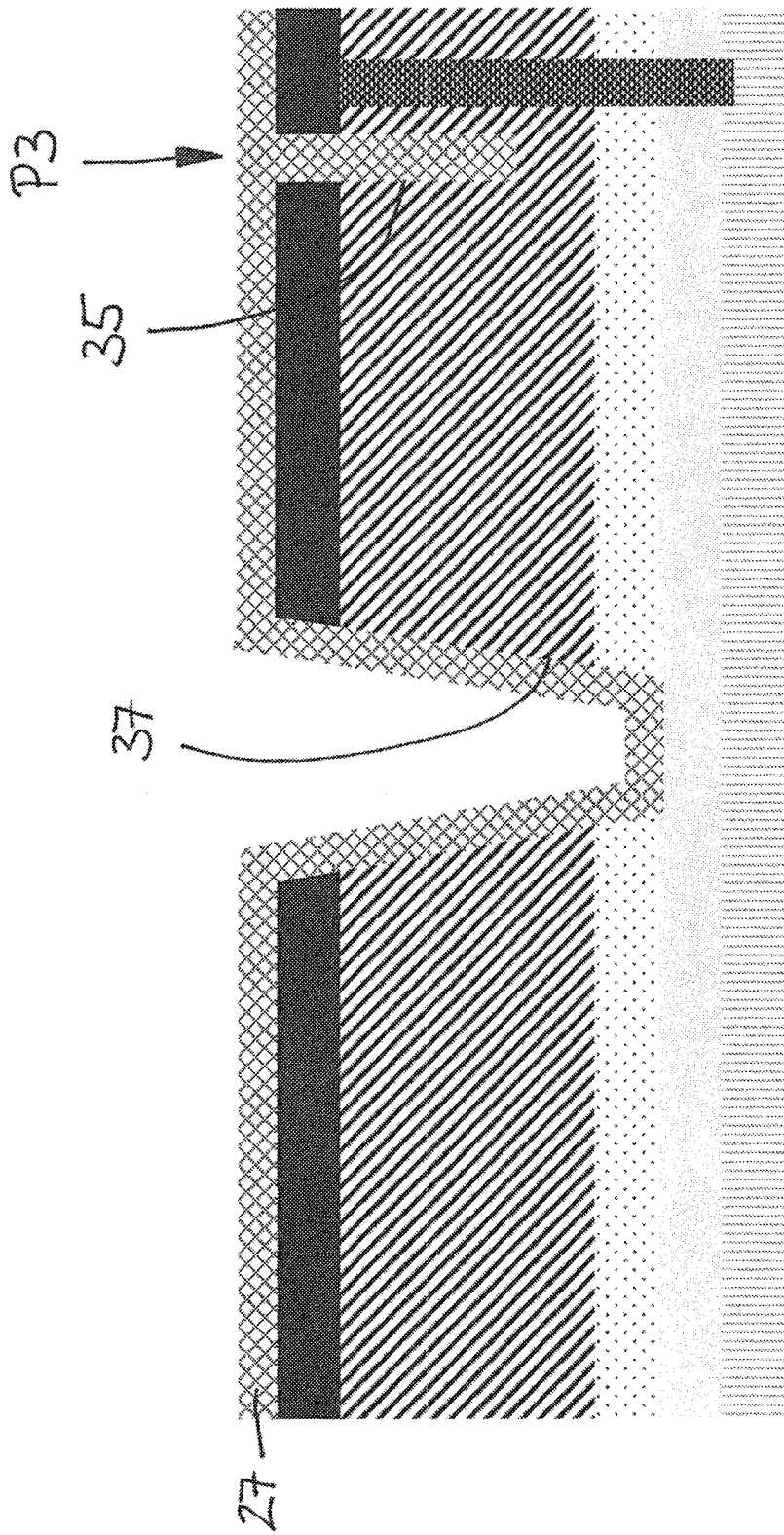


Fig. 3c

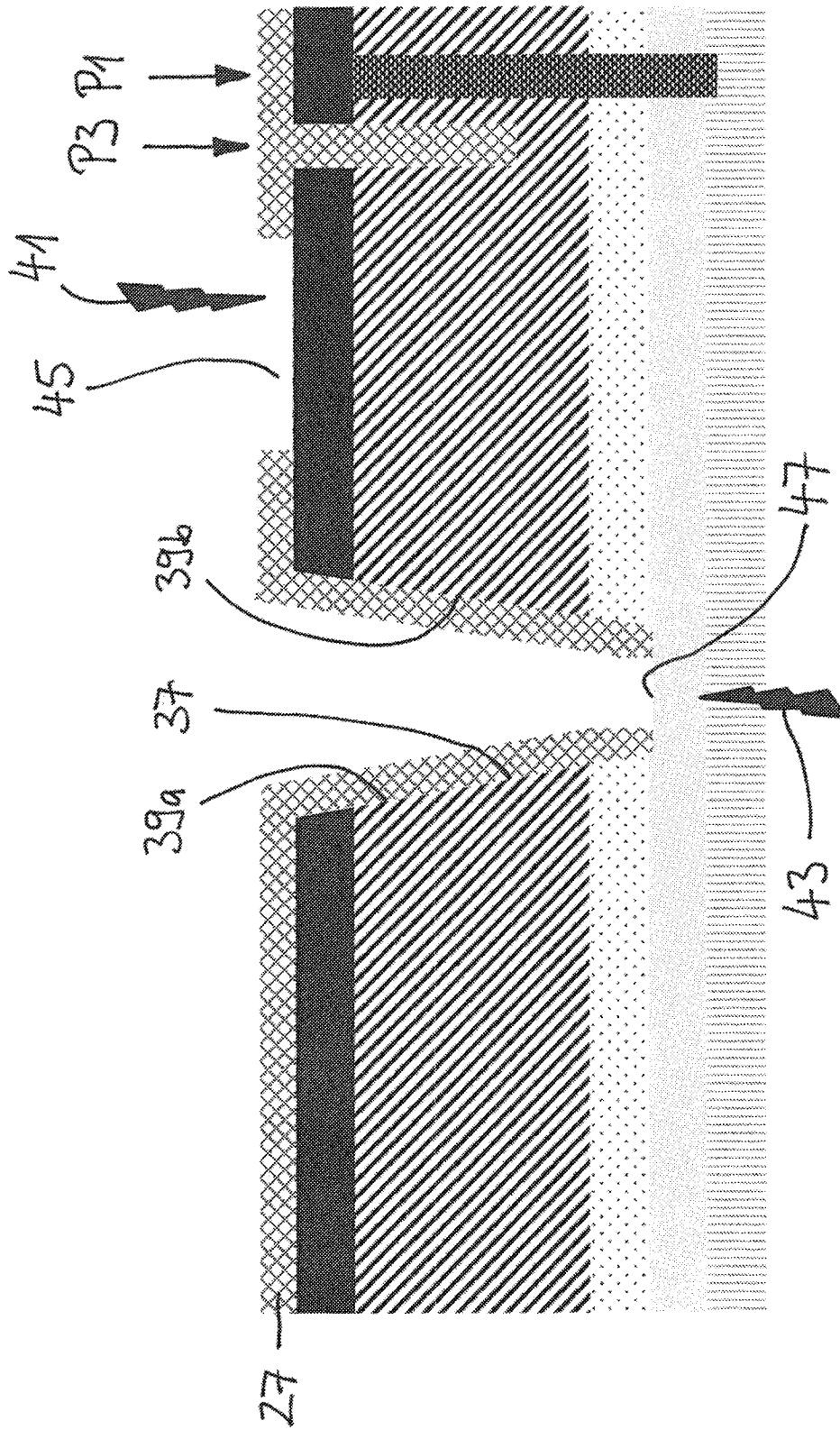


Fig. 3d

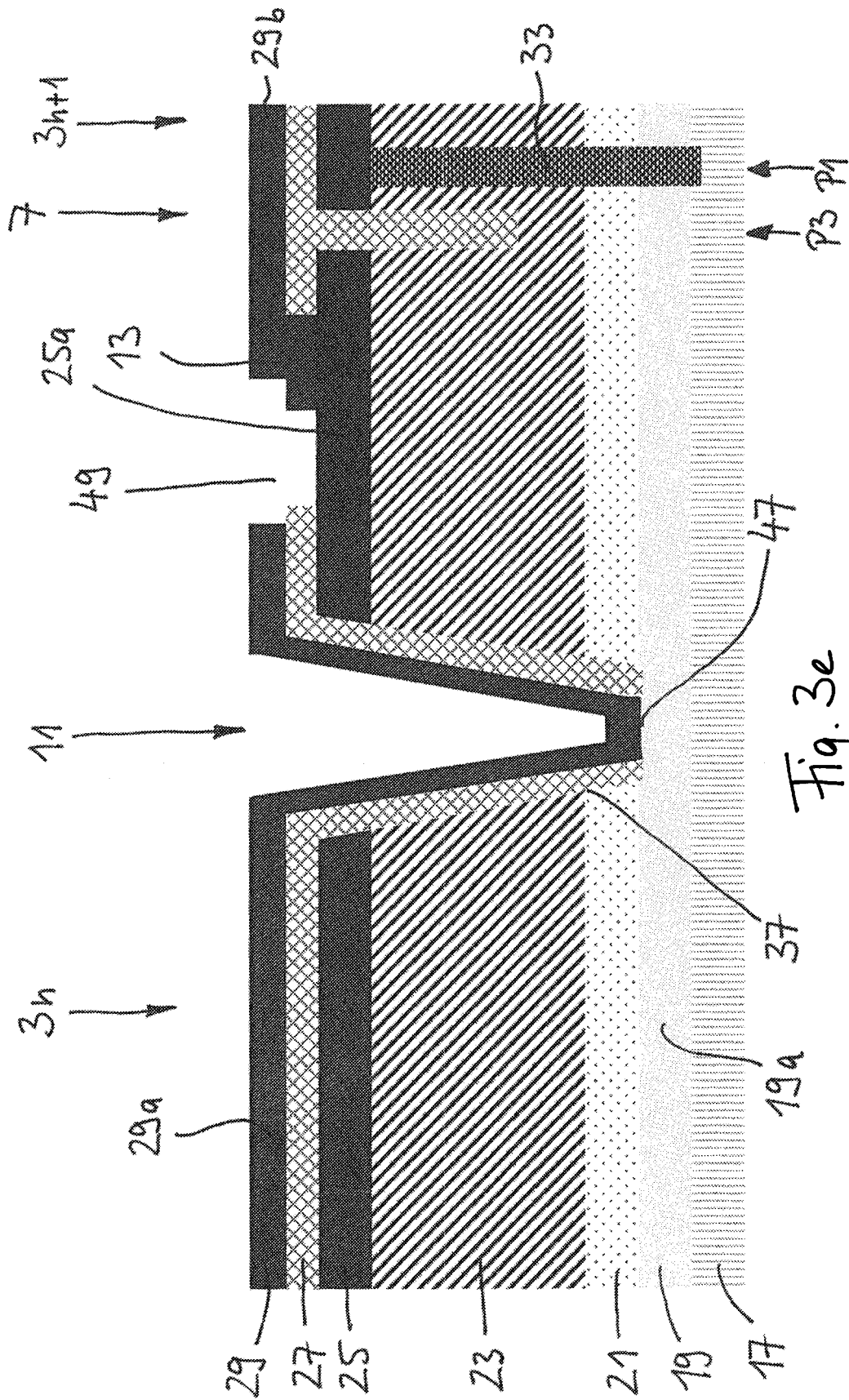


Fig. 3e

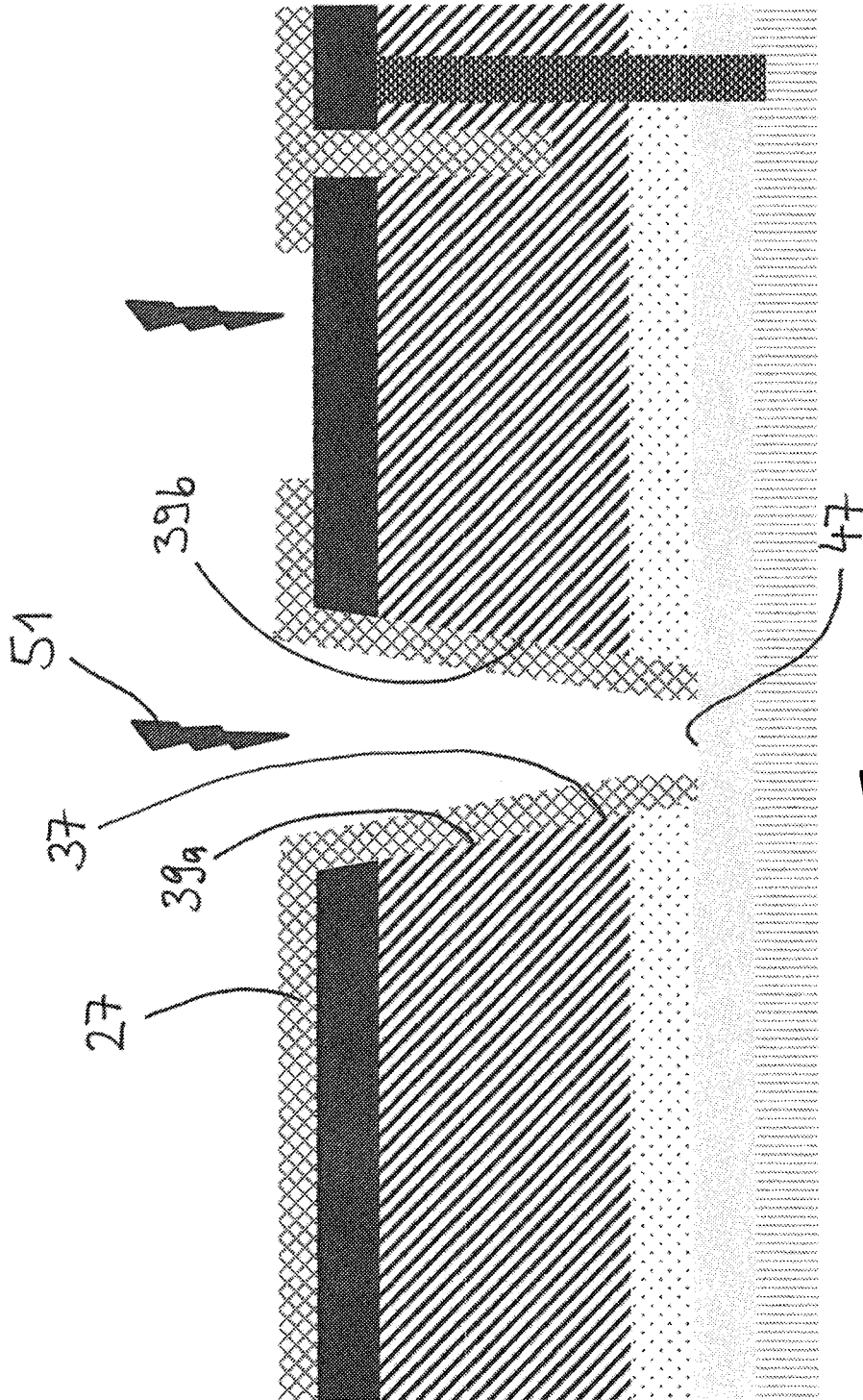


Fig. 4

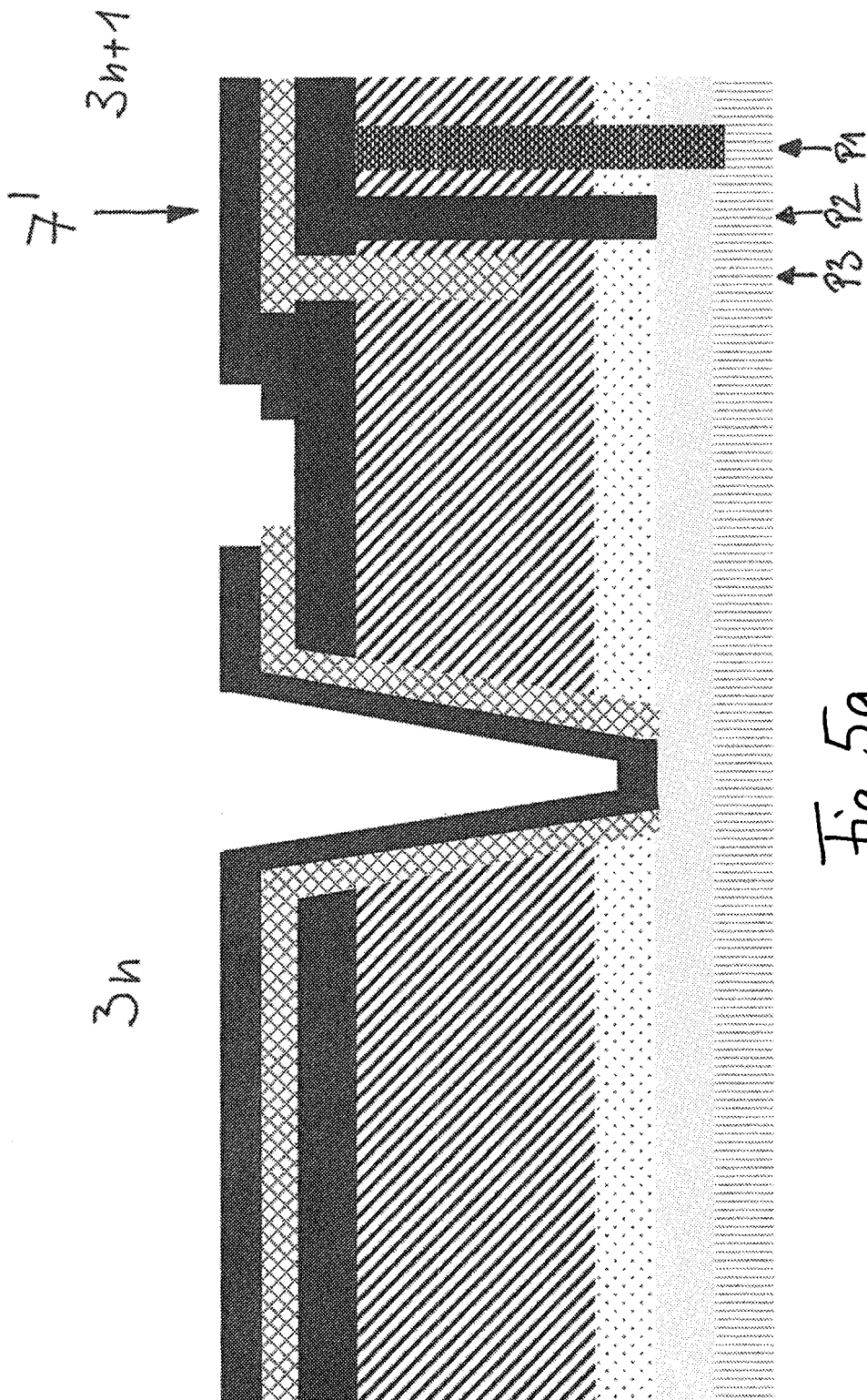


Fig. 5a

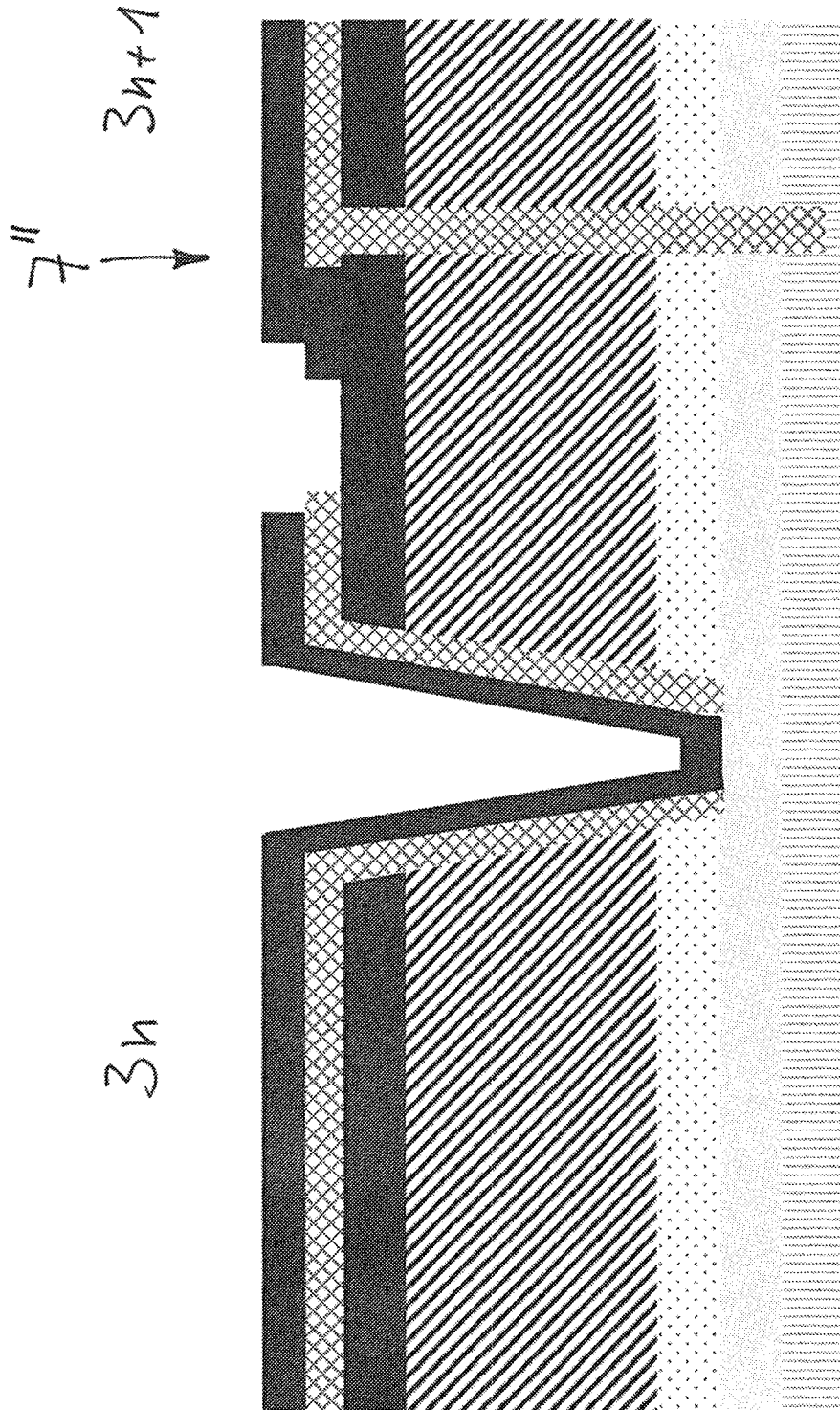


Fig. 5b

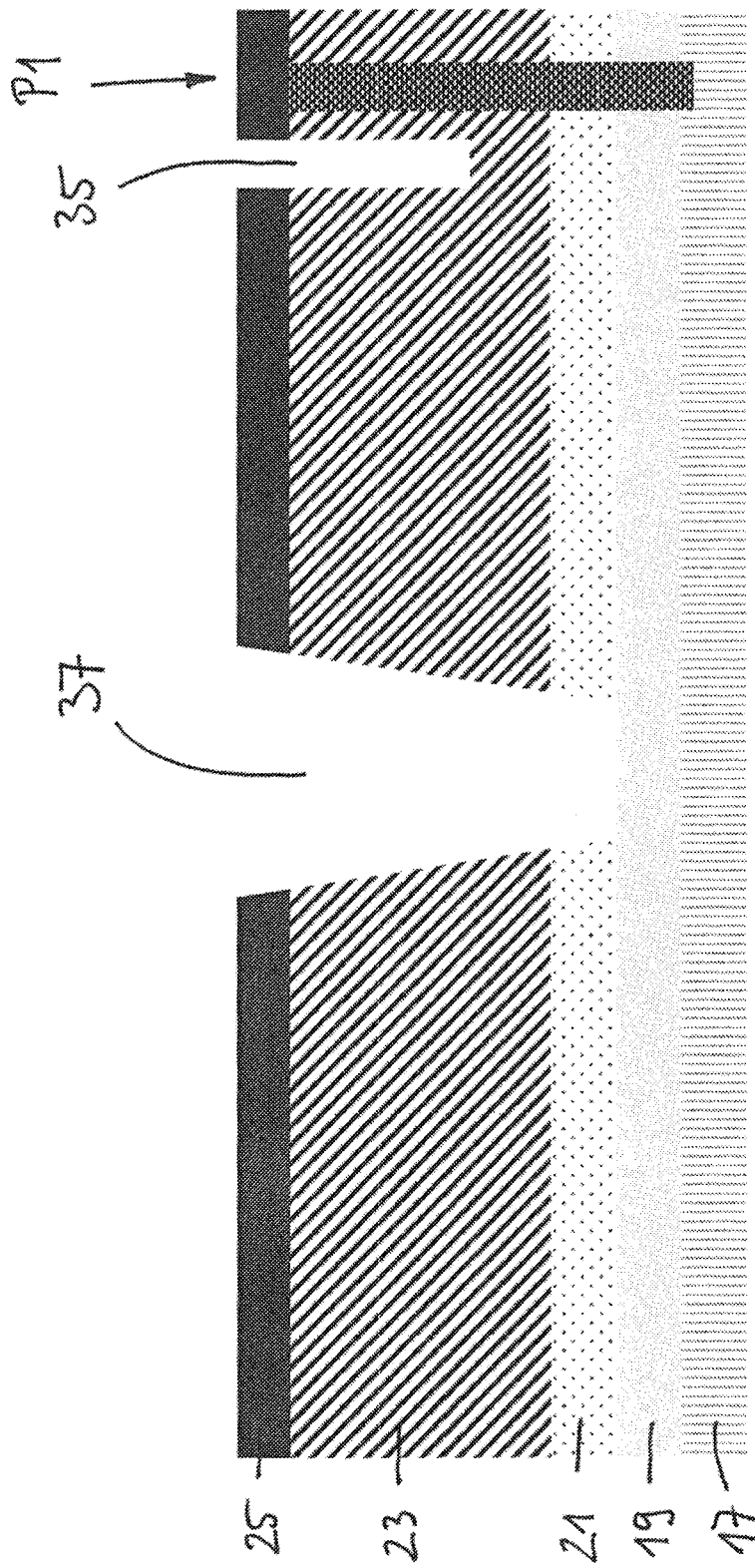


Fig. 6a

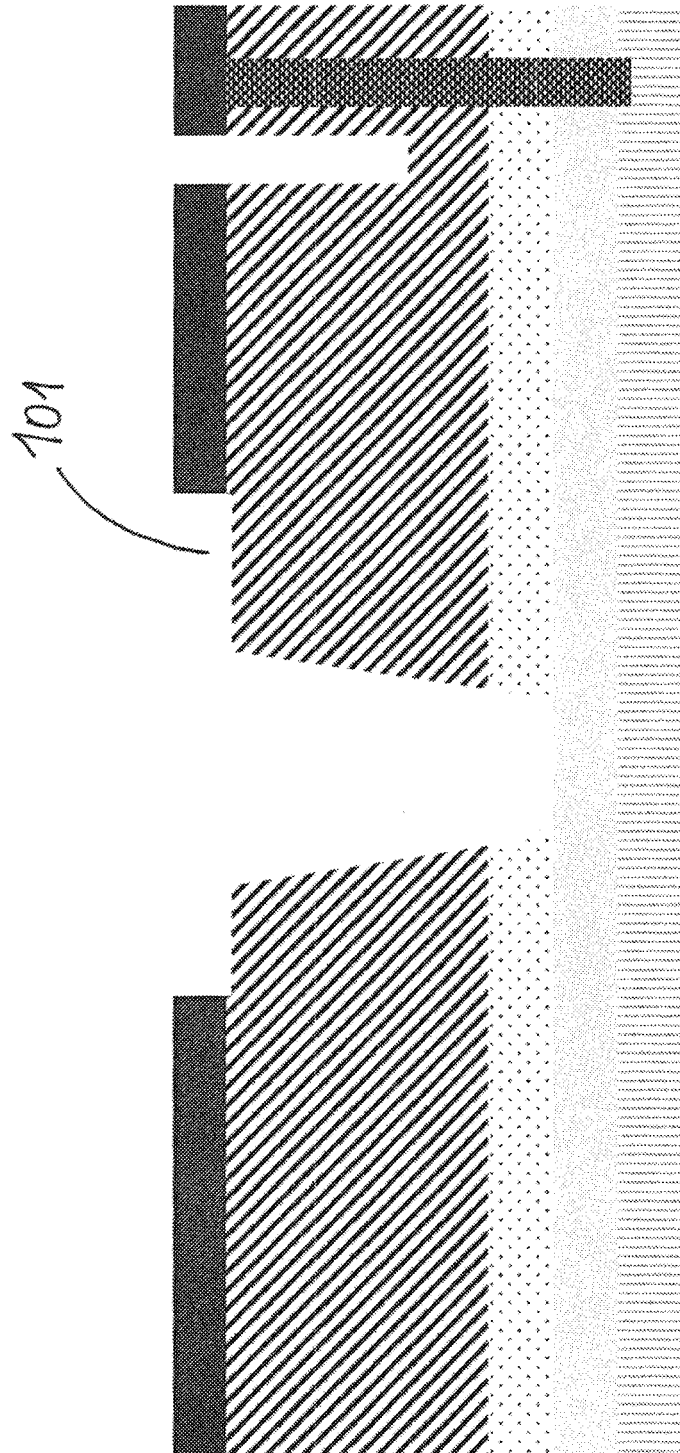


Fig. 6b

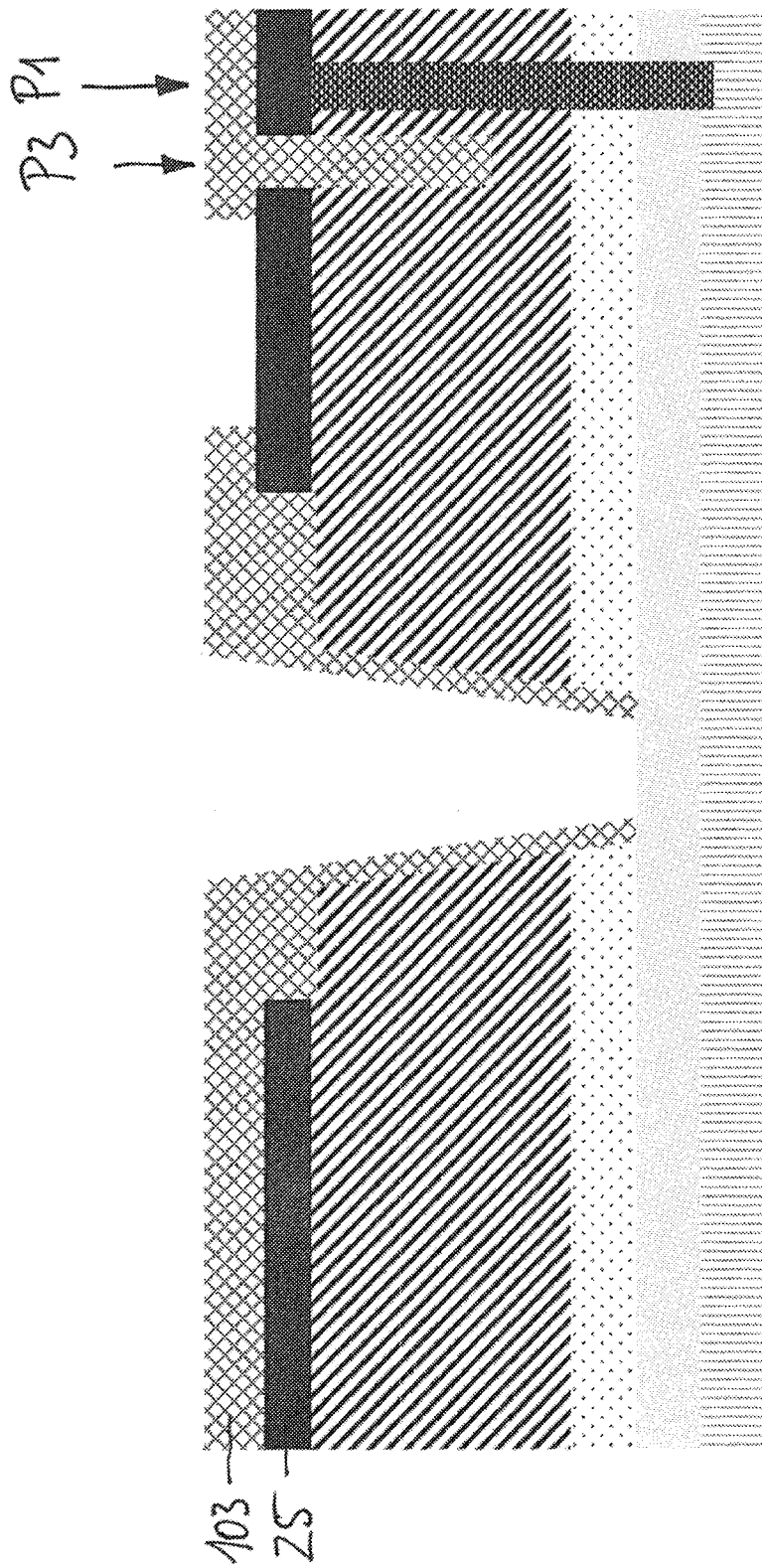


Fig. 6c

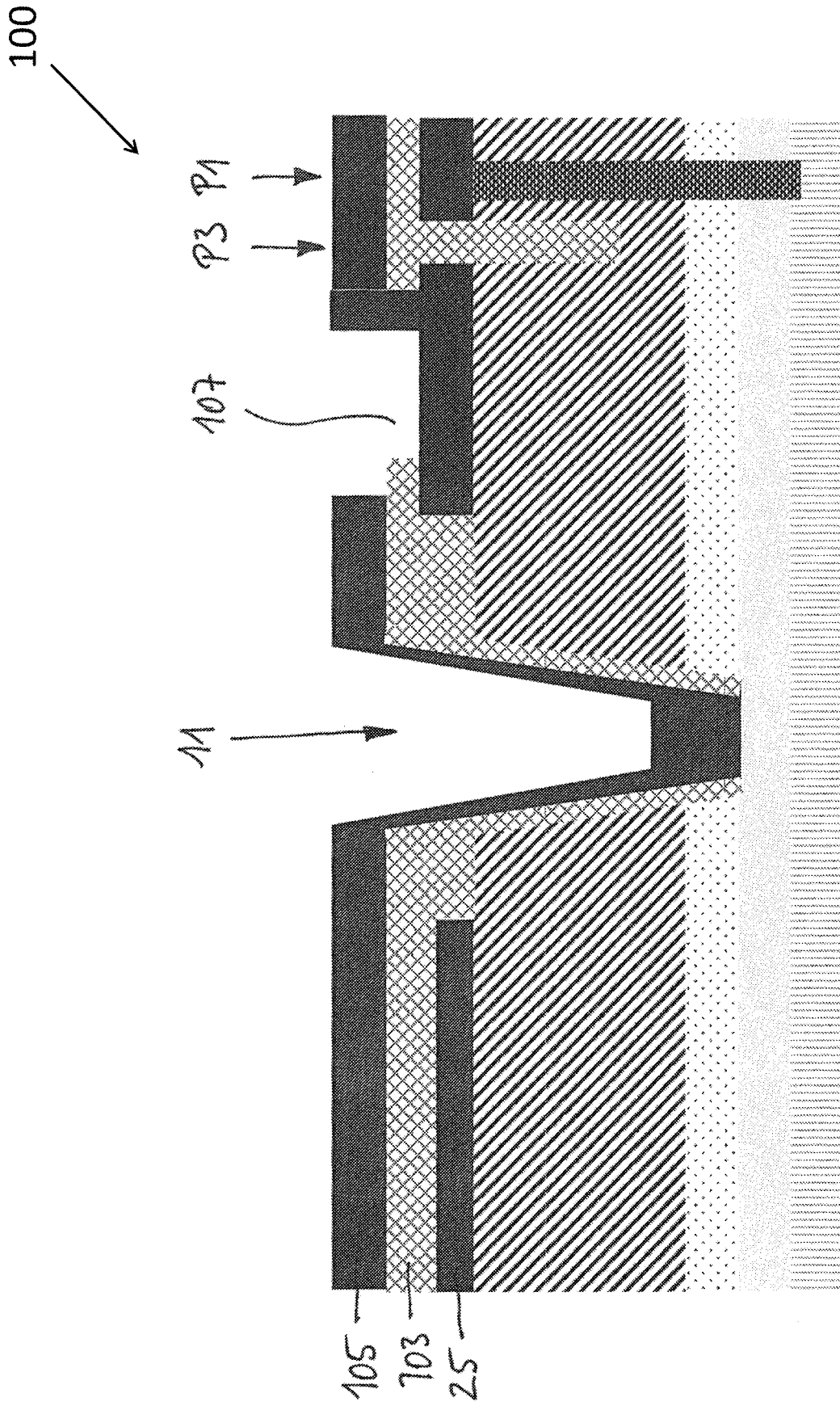


Fig. 6d

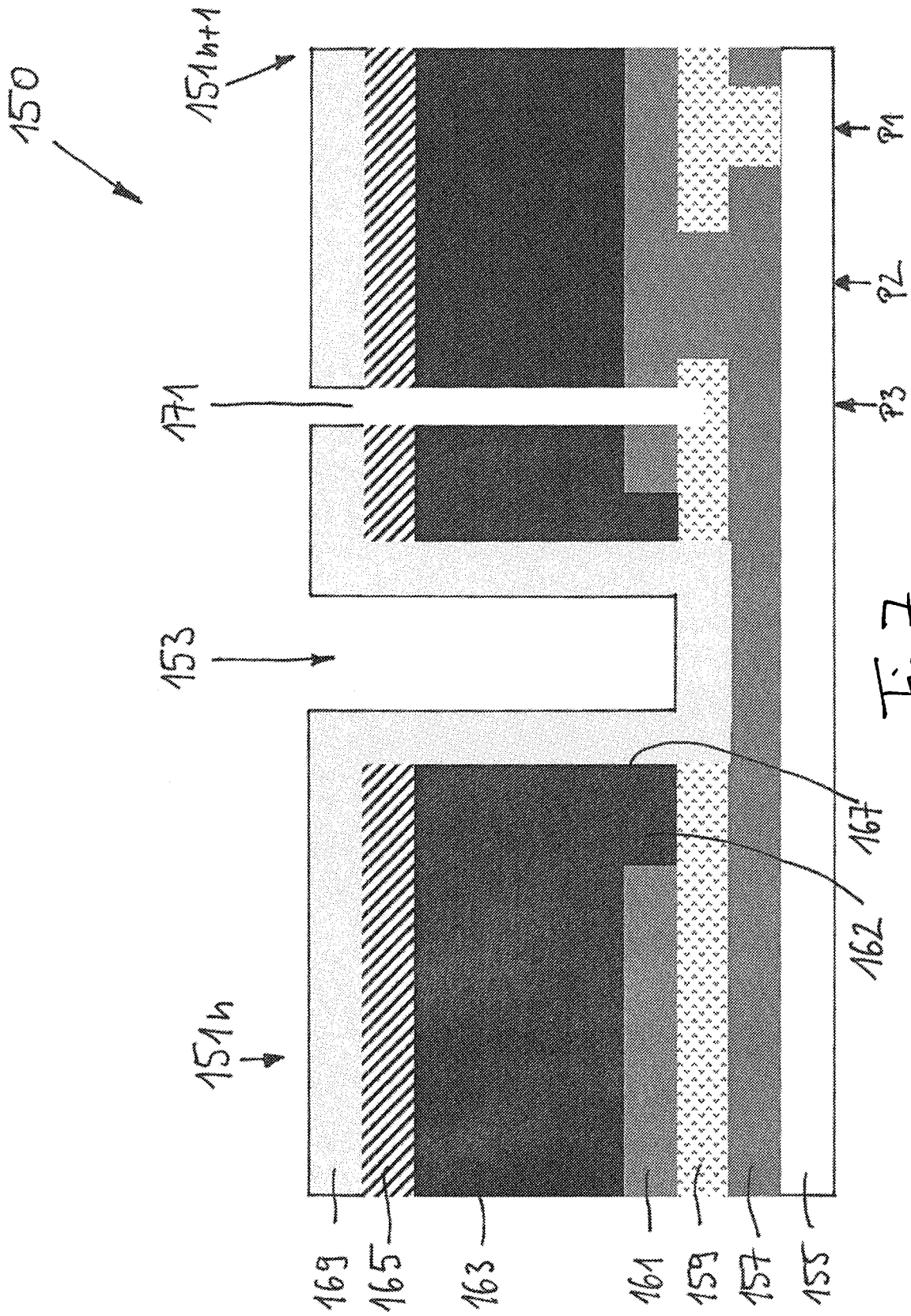


Fig. 7

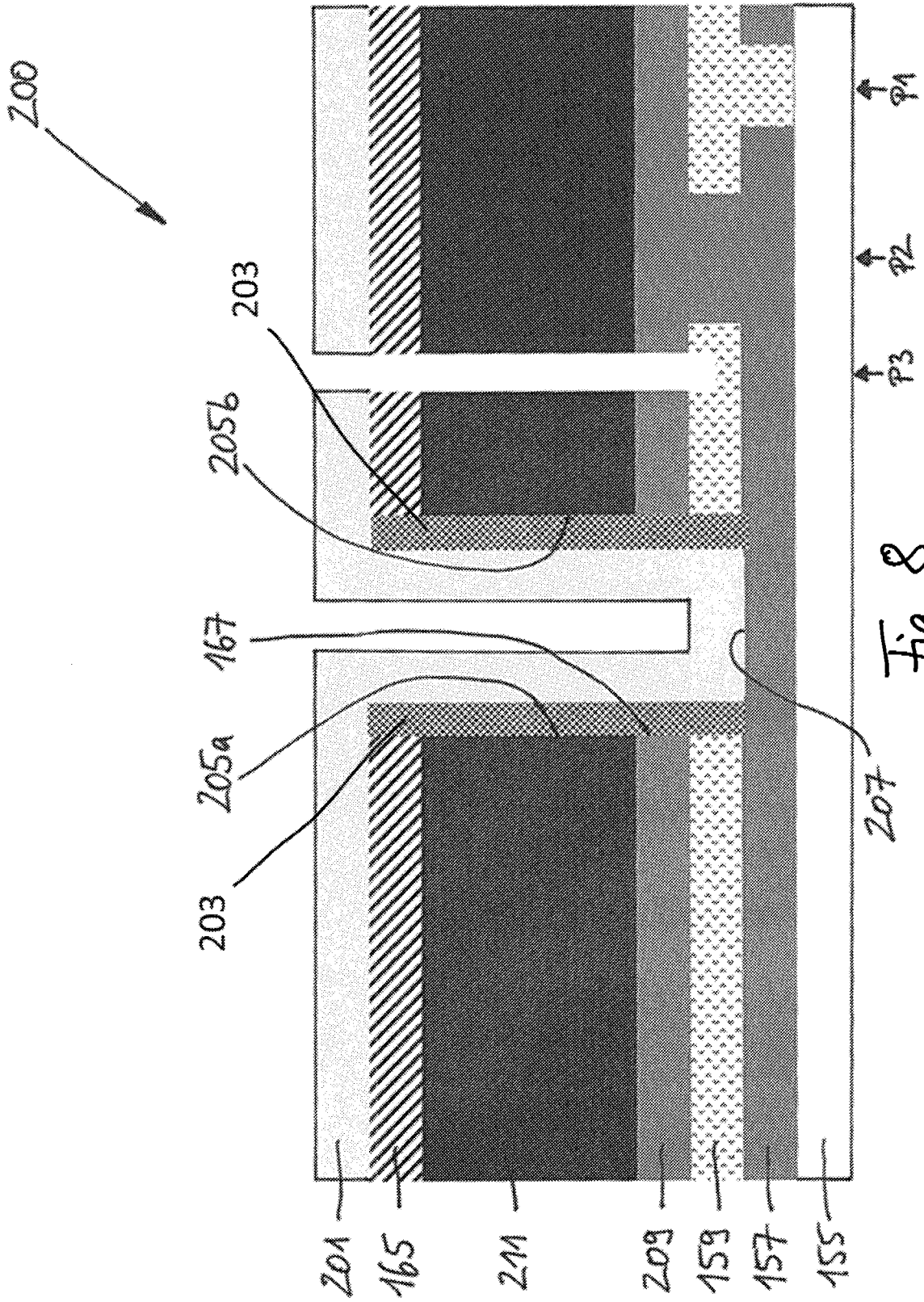


Fig. 8