



SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT
EIDGENÖSSISCHES INSTITUT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

(11) CH

707 923 A2

(51) Int. Cl.: H01L 31/0352 (2006.01)
H01L 31/18 (2006.01)

Patentanmeldung für die Schweiz und Liechtenstein

Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

(12) **PATENTANMELDUNG**

(21) Anmeldenummer: 00602/14

(22) Anmeldedatum: 17.04.2014

(43) Anmeldung veröffentlicht: 31.10.2014

(30) Priorität: 24.04.2013 US 13/869,121

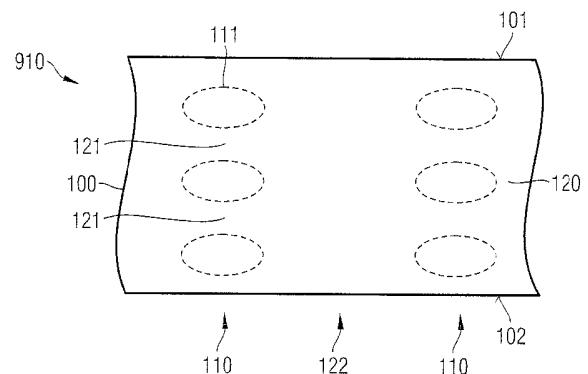
(71) Anmelder:
Infineon Technologies Austria AG, Siemensstrasse 2
9500 Villach (AT)

(72) Erfinder:
Armin Willmeroth, 86163 Augsburg (DE)
Dr. Hans-Joachim Schulze, 82024 Taufkirchen (DE)

(74) Vertreter:
Hansjörg KLEY, Aeckerwiesenstr. 9
8400 Winterthur (CH)

(54) **Strahlungsumwandlungsvorrichtung und Verfahren zum Herstellen einer Strahlungsumwandlungsvorrichtung.**

(57) Die Erfindung betrifft eine Strahlungsumwandlungsvorrichtung (910), wie zum Beispiel eine Photovoltaikzelle, eine Photodiode oder eine Halbleiter-Strahlungsnachweissvorrichtung, umfassend einen Halbleiterteilbereich (100) mit ersten Kompensationszonen (111) eines ersten Leitungstyps und einem Basisteilbereich (120), der die ersten Kompensationszonen (111) voneinander trennt. Die ersten Kompensationszonen (111) sind in Säulenstrukturen (110) angeordnet. Jede Säulenstruktur (110) beinhaltet räumlich voneinander getrennte erste Kompensationszonen (111) und erstreckt sich in einer mit Bezug auf eine Hauptoberfläche (101) des Halbleiterteilbereichs (100) vertikalen Richtung. Zwischen benachbarten der Säulenstrukturen (110) beinhaltet der Basisteilbereich (120) zweite Kompensationszonen (122) eines zweiten komplementären Leitungstyps. Die Strahlungsumwandlungsvorrichtung kombiniert eine hohe Strahlungshärte mit einer kosteneffektiven Herstellung.



Beschreibung

[0001] In Strahlungsumwandlungsvorrichtungen erzeugt einfallende Strahlung Elektron-Loch-Paare, indem sie Elektronen aus dem Valenzband in das Leitungsband anhebt. Die erzeugten Elektron-Loch-Paare werden entsprechend ihrer Polarität voneinander getrennt und wandern zu den entsprechenden Elektroden, wo sie einen elektrischen Strom induzieren. Der Strahlungsumwandlungsmechanismus kann in Halbleiterstrahlungsdetektoren, photovoltaischen Zellen und Photodetektoren genutzt werden. Es ist wünschenswert verbesserte Strahlungsumwandlungsvorrichtungen bereit zu stellen. Die Aufgabe wird gelöst durch die Lehre der unabhängigen Patentansprüche. Weiterbildungen sind Gegenstand der abhängigen Patentansprüche.

ZUSAMMENFASSUNG

[0002] Gemäss einer Ausführungsform umfasst eine Strahlungsumwandlungsvorrichtung einen Halbleiterteilbereich mit ersten Kompensationszonen eines ersten Leitungstyps und einen Basisteilbereich, der die ersten Kompensationszonen voneinander trennt. Die ersten Kompensationszonen sind in Säulenstrukturen angeordnet, wobei jede Säulenstruktur mindestens zwei der ersten Kompensationszonen umfasst und erstreckt sich in einer mit Bezug auf eine Hauptoberfläche des Halbleiterteilbereichs vertikalen Richtung. Zwischen benachbarten der Säulenstrukturen umfasst der Basisteilbereich zweite Kompensationszonen eines zweiten Leitungstyps, der komplementär zum ersten Leitungstyp ist.

[0003] Eine Strahlungsumwandlungsvorrichtung gemäss einer weiteren Ausführungsform umfasst einen Halbleiterteilbereich mit in streifenförmigen Säulenstrukturen angeordnete erste Kompensationszonen eines ersten Leitungstyps und zwischen benachbarten Säulenstrukturen zweite Kompensationszonen eines zweiten, komplementären Leitungstyps. Jede Säulenstruktur umfasst mindestens zwei der ersten Kompensationszonen und erstreckt sich in Bezug auf eine Hauptoberfläche des Halbleiterteilbereichs in einer vertikalen Richtung und einer ersten lateralen Richtung. Eine erste Elektrodenstruktur mit einer Vielzahl von Streifen grenzt direkt an den Halbleiterteilbereich an. Jedem Streifen sind mindestens zwei der Säulenstrukturen zugeordnet.

[0004] Eine Strahlungsumwandlungsvorrichtung gemäss einer weiteren Ausführungsform umfasst einen Halbleiterteilbereich mit ersten Kompensationszonen eines ersten Leitungstyps und einen Basisteilbereich. Die ersten Kompensationszonen sind in Säulenstrukturen angeordnet, wobei sich jede Säulenstruktur in Bezug auf die Hauptoberfläche des Halbleiterteilbereichs in einer vertikalen Richtung erstreckt. Der Basisteilbereich umfasst einen Hintergrundteilbereich und zweite Kompensationszonen eines zweiten, komplementären Leitungstyps zwischen benachbarten der Säulenstrukturen. Die zweiten Kompensationszonen bilden sich in vertikaler Richtung erstreckende weitere Säulenstrukturen. Vertikale Dotierstoffprofile der zweiten Kompensationszonen sind Gauss-Verteilungen.

[0005] Gemäss einer weiteren Ausführungsform umfasst ein Verfahren zum Herstellen einer Strahlungsumwandlungsvorrichtung epitaktisches Aufwachsen einer Abfolge von Halbleiterschichten auf einem Halbleitersubstrat. In mindestens zwei der Halbleiterschichten werden Dotierstoffe eines ersten Leitungstyps in freiliegende erste Abschnitte einer Prozessoberfläche einer vorhergehenden der Halbleiterschichten vor dem Aufwachsen der nachfolgenden der Halbleiterschichten auf die vorhergehende eingebracht. Die Halbleiterschichten werden getempert um erste Kompensationszonen aus den eingebrachten Dotierstoffen zu bilden. Das Tempern wird abgebrochen, bevor die ersten Kompensationszonen sich strukturell miteinander verbinden.

[0006] Der Fachmann wird zusätzliche Merkmale und Vorteile nach Lesen der folgenden Detailbeschreibung und Betrachtung der begleitenden Zeichnungen erkennen.

KURZE BESCHREIBUNG DER ABBILDUNGEN

[0007] Die begleitenden Abbildungen dienen dem weiteren Verständnis der Erfindung und sind in dieser Beschreibung eingeschlossen und bilden einen Teil dieser Beschreibung. Die Abbildungen veranschaulichen die Ausführungsformen der Erfindung und dienen gemeinsam mit der Beschreibung zur Erläuterung der Prinzipien der Erfindung. Andere Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung und viele der beabsichtigten Vorteile der vorliegenden Erfindung sind so leichter zu erkennen, da sie mit Bezug auf die folgende detaillierte Beschreibung besser zu verstehen sind.

- | | |
|---------|---|
| FIG. 1A | ist ein vereinfachtes Blockschema einer Strahlungsnachweisvorrichtung gemäss einer Ausführungsform. |
| FIG. 1B | ist ein vereinfachtes Blockschema einer Solargeneratorvorrichtung gemäss einer weiteren Ausführungsform. |
| FIG. 1C | ist eine schematische Querschnittsansicht eines Teilbereichs einer Strahlungsumwandlungsvorrichtung gemäss einer Ausführungsform. |
| FIG. 2A | ist eine schematische Querschnittsansicht eines Teilbereichs einer Strahlungsumwandlungsvorrichtung gemäss einer Ausführungsform, die einen gleichförmig n-dotierten Basisteilbereich vorsieht. |

- FIG. 2B ist eine schematische graphische Darstellung der Ladungsträgerverteilung in der Strahlungsumwandlungsvorrichtung aus FIG. 2A ohne zwischen den Elektroden angelegte Spannung.
- FIG. 2C ist eine schematische graphische Darstellung der Ladungsträgerverteilung in der Strahlungsumwandlungsvorrichtung aus FIG. 2A im rückwärts vorgespannten Zustand.
- FIG. 2D ist eine schematische Querschnittsansicht eines Teilbereichs einer Strahlungsumwandlungsvorrichtung gemäss einer Ausführungsform, die einen gleichförmig p-dotierten Basisteilbereich vorsieht.
- FIG. 3A ist eine schematische Querschnittsansicht eines Teilbereichs einer Strahlungsumwandlungsvorrichtung gemäss einer Ausführungsform, die implantierte erste und zweite Kompensationszonen vorsieht.
- FIG. 3B ist eine schematische graphische Darstellung der elektrischen Feldprofile in der Strahlungsumwandlungsvorrichtung aus FIG. 3A ohne zwischen den Elektroden angelegte Spannung.
- FIG. 3C ist eine schematische graphische Darstellung der elektrischen Feldprofile in der Strahlungsumwandlungsvorrichtung aus FIG. 3A in rückwärts vorgespanntem Zustand.
- FIG. 4A ist eine schematische Querschnittsansicht eines Teilbereichs einer Strahlungsumwandlungsvorrichtung gemäss einer Ausführungsform, die räumlich getrennte implantierte Kompensationszonen der beiden Dotierstofftypen vorsieht.
- FIG. 4B ist eine schematische Querschnittsansicht eines Teilbereichs einer Strahlungsumwandlungsvorrichtung gemäss einer Ausführungsform, die verbundene implantierte Kompensationszonen beider Dotierstofftypen vorsieht.
- FIG. 4C ist eine schematische Querschnittsansicht eines Teilbereichs einer Strahlungsumwandlungsvorrichtung gemäss einer Ausführungsform, die p- und n-Elektroden auf derselben Seite vorsieht.
- FIG. 5A ist eine schematische Draufsicht eines Teilbereichs einer Strahlungsumwandlungsvorrichtung gemäss einer Ausführungsform, die eine Elektrode mit einem zwei Säulenstrukturen zugeordneten einzelnen Streifen vorsieht.
- FIG. 5B ist eine schematische Querschnittsansicht der Strahlungsumwandlungsvorrichtung aus FIG. 5A.
- FIG. 6 ist eine schematische Draufsicht eines Teilbereichs einer Strahlungsumwandlungsvorrichtung gemäss einer Ausführungsform, die eine Elektrode mit streifenförmige Säulenstrukturen kreuzenden Streifen vorsieht.
- FIG. 7A ist eine schematische Querschnittsansicht eines Halbleitersubstrats zum Veranschaulichen eines Verfahrens zum Herstellen einer Strahlungsumwandlungsvorrichtung gemäss einer Ausführungsform nach dem Einbringen der Dotierstoffe in Abschnitte einer mittels Epitaxie aufgewachsenen ersten Halbleiterschicht.
- FIG. 7B ist eine schematische Querschnittsansicht des Halbleitersubstrats aus FIG. 7A nach dem Aufwachsen einer Abfolge von Halbleiterschichten.
- FIG. 7C ist eine schematische Querschnittsansicht des Halbleitersubstrats aus FIG. 7B nach dem Tempern.
- FIG. 8A ist eine schematische Querschnittsansicht eines Halbleitersubstrats zum Veranschaulichen eines Verfahrens zum Herstellen einer Strahlungsumwandlungsvorrichtung gemäss einer Ausführungsform nach dem Einbringen der Dotierstoffe beiden Typs in Abschnitte einer mittels Epitaxie aufgewachsenen ersten Halbleiterschicht.
- FIG. 8B ist eine schematische Querschnittsansicht des Halbleitersubstrats aus FIG. 8A nach dem Aufwachsen einer Abfolge von Halbleiterschichten.
- FIG. 8C ist eine schematische Querschnittsansicht des Halbleitersubstrats aus FIG. 8B nach dem Tempern.
- FIG. 9 ist ein vereinfachter Flussplan eines Verfahrens zum Herstellen einer Strahlungsumwandlungsvorrichtung gemäss einer weiteren Ausführungsform.

DETAILLIERTE BESCHREIBUNG

[0008] In der folgenden Detailbeschreibung wird Bezug genommen auf die begleitenden Zeichnungen, die einen Teil der Offenbarung bilden und in denen für Veranschaulichungszwecke spezifische Ausführungsbeispiele gezeigt sind, in denen die Erfindung ausgeführt werden kann. Es ist zu verstehen, dass andere Ausführungsbeispiele herangezogen und struk-

turelle oder logische Änderungen gemacht werden können, ohne von dem Bereich der vorliegenden Erfindung abzuweichen. Beispielsweise können Merkmale, die für ein Ausführungsbeispiel veranschaulicht oder beschrieben sind, bei oder im Zusammenhang mit anderen Ausführungsbeispielen verwendet werden, um zu noch einem weiteren Ausführungsbeispiel zu gelangen. Es ist beabsichtigt, dass die vorliegende Erfindung derartige Abwandlungen und Veränderungen einschliesst. Die Beispiele sind mittels einer spezifischen Sprache beschrieben, die nicht als den Bereich der beigefügten Patentansprüche begrenzend aufzufassen ist. Die Zeichnungen sind nicht massstabsgetreu und dienen lediglich für Veranschaulichungszwecke. Zur Klarheit sind entsprechende Elemente mit den gleichen Bezugszeichen in den verschiedenen Zeichnungen versehen, falls nicht etwas anderes festgestellt wird.

[0009] Die Begriffe «haben», «enthalten», «umfassen», «aufweisen» und ähnliche Begriffe sind offene Begriffe, und diese Begriffe geben das Vorhandensein der angegebenen Strukturen, Elemente oder Merkmale an, schliessen jedoch nicht zusätzliche Elemente oder Merkmale aus. Die unbestimmten und bestimmten Artikel umfassen den Plural sowie den Singular, falls sich aus dem Zusammenhang nicht klar etwas anderes ergibt.

[0010] Der Begriff oder Ausdruck «elektrisch verbunden» beschreibt eine niederohmige Verbindung zwischen den elektrisch verbundenen Elementen, beispielsweise einen direkten Kontakt zwischen den betreffenden Elementen oder eine Verbindung über ein Metall und/oder einen hochdotierten Halbleiter. Der Ausdruck «elektrisch gekoppelt» schliesst ein, dass ein oder mehrere dazwischen liegende und zur Signalübertragung geeignete Elemente zwischen den «elektrisch gekoppelten» Elementen vorhanden sein können, bspw. Elemente die so steuerbar sind, dass sie zeitweise eine niederohmige Verbindung in einem ersten Zustand und eine hochohmige Entkopplung in einem zweiten Zustand herstellen können.

[0011] Manche Figuren stellen relative Dotierkonzentrationen durch die Angabe oder «+» neben dem Dotiertyp dar. Beispielsweise bedeutet «n-» eine Dotierkonzentration, die kleiner ist als die Dotierkonzentration einer «n»-Dotierzzone, während eine «n+»-Dotierzzone eine grössere Dotierkonzentration als die «n»-Dotierzzone besitzt. Jedoch bedeutet die Angabe der relativen Dotierkonzentration nicht, dass Dotierzonen mit derselben relativen Dotierkonzentration dieselbe absolute Dotierkonzentration haben müssen, sofern nichts anderes ausgesagt ist. Beispielsweise können zwei verschiedene «n»-Zonen die gleiche oder verschiedene absolute Dotierkonzentrationen besitzen.

[0012] FIG. 1A zeigt ein Strahlungsmessgerät 901, das auf einer als Strahlungsnachweisvorrichtung ausgelegter Halbleiterstrahlungsumwandlungsvorrichtung 910 basiert. Die Strahlungsumwandlungsvorrichtung 910 kann eine rückwärts vorgespannte Halbleiterdiode sein, die im nicht leitenden Zustand betrieben wird. Eine Gleichspannungsquelle 940 und ein Verstärkerschaltkreis 920 können elektrisch an die Elektroden der Strahlungsumwandlungsvorrichtung gekoppelt sein. Eine Auswertungseinheit 930 kann elektrisch an den Ausgangsanschluss des Verstärkerschaltkreises 920 gekoppelt sein.

[0013] Die Gleichspannungsquelle 940 spannt die Halbleiterumwandlungsvorrichtung 910 rückwärts vor und erzeugt in der Strahlungsumwandlungsvorrichtung 910 eine Verarmungszone. Einfallende Strahlung 990 fällt auf eine Strahlungsaufnehmende Oberfläche der Strahlungsumwandlungsvorrichtung 910. Die einfallende Strahlung 990 kann ionisierende Strahlung, zum Beispiel Gamma-Strahlung, Betastrahlung oder Röntgenstrahlung, oder nicht ionisierende Strahlung, zum Beispiel ultraviolettes Licht, sichtbares Licht oder Infrarotlicht sein und erzeugt Elektron-Loch-Paare. In der Verarmungszone wandern die erzeugten Elektronen und Löcher zu den entsprechenden Elektroden und induzieren zwischen den Elektroden einen Strompuls. Der Verstärkerschaltkreis 920 kann den induzierten Strom verstärken und die Auswertungseinheit 930 kann den verstärkten Strom weiter prozessieren und analysieren.

[0014] Die Sensitivität der Strahlungsnachweisvorrichtung 910 kann durch eine die intrinsische Ladungsträgerdichte verringernende Kühlungsanordnung und/oder durch Anlegen einer vergleichsweise hohen Spannung zwischen den Elektroden, so dass die beschleunigten Elektronen die Erzeugung weiterer Elektron-Loch-Paare auslösen, erhöht werden. Jede der Elektroden kann aufgeteilt sein und unterschiedlich ausgelesen werden, um Ortsinformationen bezüglich der einfallenden Strahlung zu erhalten.

[0015] FIG. 1B bezieht sich auf eine Solargeneratorvorrichtung 902, der eine als photovoltaische Zelle ausgelegte Strahlungsumwandlungsvorrichtung 910 benutzt. Der Ausgangsstrom der Strahlungsumwandlungsvorrichtung kann in einen Ladungsregler 950 eingespeist werden, der das Laden einer Pufferbatterie 960 steuert oder Strom an eine Nutzlast 970 liefert, z.B. einen DC/AC Wandler.

[0016] FIG. 1C bezieht sich auf eine Strahlungsumwandlungsvorrichtung 910, die als photovoltaische Zelle, Photodiode oder als Strahlungsnachweisvorrichtung ausgebildet sein kann. Die Strahlungsumwandlungsvorrichtung 910 umfasst einen Halbleiterteilbereich 100, der aus einkristallinem Halbleitermaterial ausgebildet ist. Gemäss einer Ausführungsform ist das Halbleitermaterial ein Siliziumkristall (Si), ein Germaniumkristall (Ge), ein Siliziumcarbidkristall (SiC) oder ein Silizium-Germanium-Kristall (SiGe). Gemäss einer weiteren Ausführungsform kann das einkristalline Halbleitermaterial beispielsweise Galliumnitrid (GaN) oder Galliumarsenid (GaAs) sein.

[0017] Der Halbleiterteilbereich 100 hat eine Hauptoberfläche 101 und eine Rückseitenoberfläche 102, die im Wesentlichen parallel zur Hauptoberfläche 101 ist. Der Abstand zwischen der Hauptoberfläche 101 und der rückseitigen Oberfläche 102 kann zwischen 50 µm und einigen mm liegen. Eine auf Silizium basierende Strahlungsnachweisvorrichtung kann eine Dicke von mindestens 150 µm und maximal 400 µm haben, zum Beispiel etwa 250 µm. Die Form des Halbleiterteilbereichs 100 kann ein Rechteck mit einer Kantenlänge im Bereich einiger mm oder ein Kreis mit einem Durchmesser von

einigen mm sein. Die Normale zur Hauptoberfläche 101 definiert eine vertikale Richtung und Richtungen orthogonal zu der normalen Richtung sind laterale Richtungen.

[0018] Der Halbleiterteilbereich 100 umfasst erste Kompensationszonen 111 eines ersten Leitungstyps, die in Säulenstrukturen 110 angeordnet sind. Jede Säulenstruktur 110 erstreckt sich in einer vertikalen Richtung und umfasst mindestens zwei erste Kompensationszonen 111. Einige oder alle der ersten Kompensationszonen III einer Säulenstruktur 110 sind räumlich voneinander getrennt.

[0019] Ein Basisteilbereich 120 trennt die ersten Kompensationszonen 111 voneinander. Der Basisteilbereich 120 umfasst zweite Kompensationszonen 122 eines zweiten Leitungstyps, der komplementär zum ersten Leitungstyp ist. Die zweiten Kompensationszonen 122 sind zwischen benachbarten Säulenstrukturen 110 gebildet. Der Basisteilbereich 120 umfasst ausserdem Abschnitte 121, die die ersten Kompensationszonen 101 in der vertikalen Richtung voneinander trennen.

[0020] Die Abschnitte 121 können den zweiten Leitungstyp haben, der entgegengesetzt dem Leitungstyp der ersten Kompensationszonen III ist. Beispielsweise können die Abschnitte 121 umfassende Basisteilbereich 120 und die zweiten Kompensationszonen 122 eine gleichförmige Hintergrunddotierstoffkonzentration bzw. Hintergrundfremdstoffkonzentration haben. Gemäss anderen Ausführungsformen haben die Abschnitte 121 des Basisteilbereich 120 den gleichen Leitungstyp wie die ersten Kompensationszonen 111, aber unterscheiden sich von den ersten Kompensationszonen 111 deutlich in Bezug auf die Dotierstoffkonzentration bzw. Fremdstoffkonzentration und das vertikale Dotierstoffprofil bzw. Fremdstoffprofil.

[0021] Beispielsweise können die ersten Kompensationszonen III in einer vertikalen Richtung voneinander trennenden Abschnitte 121 des Basisteilbereichs 120 eine mittlere Nettodotierstoffkonzentration haben, so dass sie in einem Operationszustand vollständig verarmt sind, zum Beispiel durch Anlegen einer Sperrvorspannung von mindestens 10 V. Die mittlere Nettodotierstoffkonzentration in den ersten Kompensationszonen 111 ist mindestens 20-mal oder sogar mindestens 40-mal grösser als die mittlere Dotierstoffkonzentration in den Abschnitten 121 des Basisteilbereichs 120.

[0022] Das vertikale Dotierstoffprofil der Abschnitte 121 des Basisteilbereichs 120 kann sich signifikant von dem vertikalen Dotierstoffprofil in den ersten Kompensationszonen 111 unterscheiden. Beispielsweise können die vertikalen Dotierstoffprofile der ersten Kompensationszonen 111 Gauss-Verteilungen annähern, wohingegen die Dotierstoffverteilung in den Abschnitten 121 näherungsweise gleichförmig ist.

[0023] Wenn die Strahlungsumwandlungsvorrichtung 910 rückwärts vorgespannt ist, verarmt das zwischen den ersten und zweiten Kompensationszonen 111, 122 angelegte elektrische Feld einen überwiegenden Teil des Halbleiterteilbereichs 101 auch bei einer in dem Basisteilbereich 120 vorliegenden Hintergrunddotierstoffkonzentration, die im Vergleich zu einer intrinsischen Schicht einer pin-Diode hoch ist. Die erhöhte Hintergrunddotierstoffkonzentration erhöht die Vorrichtungsrüstbarkeit in Bezug auf Strahlungsschäden, die die Nettodotierstoffkonzentration allmählich hin zu einer höheren Akzeptorkonzentration verschieben, so dass nur noch ein kleinerer Teilbereich eines originalen Nachweisvolumens verarmt werden kann. Während konventionelle Strahlungsumwandlungsvorrichtungen basierend auf pin-Dioden allmählich an Sensitivität verlieren, da der verarmte Teilbereich schrumpft, ist der Langzeiteinfluss der Strahlungsschäden auf die Sensitivität von Strahlungsumwandlungsvorrichtung und die Effizienz von photovoltaischen Zellen, die auf den Kompensationszonen 111 basieren, niedrig.

[0024] Verglichen mit Ansätzen, die Säulenstrukturen mit verbundenen Kompensationszonen verwenden, werden signifikant weniger epitaktische Schichten und/oder kürzere Temperzeiten zum Diffundieren der implantierten Dotierstoffe bzw. Fremdstoffe benötigt. Die Herstellung der Strahlungsumwandlungsvorrichtung 910 ist erheblich vereinfacht und kosteneffektiver.

[0025] In den FIG. 2A bis 2D hat ein Halbleiterteilbereich 100 einer Strahlungsumwandlungsvorrichtung 910 eine Hauptoberfläche 101, die die Strahlungsempfangende Oberfläche sein kann, und eine rückseitige Oberfläche 102 parallel zu der Hauptoberfläche 101. Der Halbleiterteilbereich 100 kann eine rechteckige oder kreisförmige Form haben. Säulenstrukturen 110 erstrecken sich in der vertikalen Richtung zwischen der Hauptoberfläche 101 und der Rückseitenoberfläche 102. Die Säulenstrukturen 110 können beispielsweise Pfeilerartig oder streifenartig sein. Gemäss einer Ausführungsform ist ein Querschnitt der Säulenstrukturen 110 parallel zur Hauptoberfläche 101 ein Kreis, ein Oval, eine Ellipse oder ein Rechteck, zum Beispiel ein Quadrat mit abgerundeten Ecken. Gemäss der dargestellten Ausführungsform sind die Säulenstrukturen 110 streifenförmig und haben in einer ersten lateralen Richtung parallel zur Hauptoberfläche 101 eine Länge, die signifikant grösser ist als eine Breite in einer zweiten lateralen Richtung orthogonal zur ersten lateralen Richtung.

[0026] Jede Säulenstruktur 101 umfasst zwei oder mehr erste Kompensationszonen 111, die räumlich voneinander getrennt sind. Die ersten Kompensationszonen 111 haben den ersten Leitungstyp und sind in einem Basisteilbereich 120 eingebettet. Abschnitte des Basisteilbereichs 120 zwischen benachbarten Säulenstrukturen 110 sieht zweite Kompensationszonen 122 eines zweiten Leitungstyps vor, der entgegengesetzt zum ersten Leitungstyp ist. Weitere Abschnitte 121 des Basisteilbereichs 120 teilen die ersten Kompensationszonen 111 entlang der vertikalen Richtung.

[0027] Die Dotierstoffe bzw. Netto-Dotierstoffe in der ersten Kompensationszone 111 kompensieren die Dotierstoffe der zweiten Kompensationszonen 122 so, dass durch Anlegen einer ausreichend hohen Rückwärtssperrspannung die Bereiche zwischen benachbarten Säulenstrukturen 110 vollständig verarmt sein können. Die hierdurch entstandenen Ver-

armungszonen stellen das Nachweisvolumen dar, in dem die einfallende Strahlung freie Ladungsträger erzeugt und die freien Ladungsträger zu den entsprechenden Elektroden transportiert werden.

[0028] Die benötigte Betriebsrückwärtssperrspannung (Detektionsspannung) hängt von der Dotierstoffkonzentration in den und der Dimension der ersten und zweiten Kompensationszonen 111, 122 ab.

[0029] Gemäss einer Ausführungsform ist die Dotierstoffladung des ersten Leitungstyps in den ersten Kompensationszonen 111 höher als die Dotierstoffladung des zweiten Leitungstyps in den zweiten Kompensationszonen 122. In einer zur Hauptoberfläche 101 parallelen und die ersten Kompensationszonen 111 schneidenden Ebene übersteigt die Anzahl an Dotierstoffatomen des ersten Leitungstyps die Anzahl der Dotierstoffatome des zweiten Leitungstyps.

[0030] Eine typische Detektionsspannung, die typischerweise zwischen 5% und 95% der Durchbruchspannung liegt, verarmt die zweiten Kompensationszonen 122 vollständig, aber verarmt die ersten Kompensationszonen 111 nicht vollständig. Die Detektionsspannung und die laterale Ausdehnung der ersten Kompensationszonen 111 kann so angeglichen werden, dass die laterale Breite des zurückbleibenden nicht verarmten Teilbereichs der ersten Kompensationszonen III kleiner ist als eine in den ersten Kompensationszonen 111 vorherrschende Ladungsträgerdiffusionslänge. Die Breite des nicht verarmten Teilbereichs kann zum Beispiel kleiner als 50% der Diffusionslänge oder kleiner als 10% der Diffusionslänge sein. Auf diese Weise wird eine Rekombination von durch Strahlung erzeugten freien Ladungsträgern in den ersten Kompensationszonen 111 minimiert und die Nachweissensitivität maximiert.

[0031] Beispielsweise kann ein Verhältnis zwischen einer mittleren Nettodotierstoffkonzentration in den ersten Kompensationszonen 111 und einer mittleren Nettodotierstoffkonzentration in den zweiten Kompensationszonen 122 zwischen 2 und 10^5 liegen, wobei gemäss einer Ausführungsform die Dotierstoffkonzentration in dem Basisteilbereich 120 mindestens $1,5 \times 10^{13} \text{ cm}^{-3}$ oder sogar $5 \times 10^{13} \text{ cm}^{-3}$ für Si, oder mindestens $2,5 \times 10^{14} \text{ cm}^{-3}$ für Ge und maximal $1,5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ für Si und maximal $2,5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ für Ge sein. Die Säulenstrukturen 110 können gleichmässig beabstandet sein. Für eine Siliziumvorrichtung kann der Abstand d zwischen dem Zentrum der benachbarten Säulenstrukturen 110 zwischen 10 μm und 200 μm liegen, zum Beispiel zwischen 20 μm und 160 μm .

[0032] Eine erste Elektrodenstruktur 210 ist in direktem Kontakt mit der Hauptoberfläche 101 angeordnet und grenzt direkt an den Halbleiterteilbereich 100 an. Die erste Elektrodenstruktur 210 kann eine kontinuierliche, gleichförmige Schicht sein, die einen geschlossenen Abschnitt der Hauptoberfläche 101 bedeckt. Gemäss einer weiteren Ausführungsform umfasst die erste Elektrodenstruktur 210 eine Vielzahl von Streifen, wobei jeder Streifen einer oder mehreren Säulenstrukturen 210 so zugeordnet ist, dass der entsprechende Streifen die zugeordneten Säulenstrukturen 110 mit einem an die erste Elektrodenstruktur angelegten Potential versorgt, wenn die Detektionsspannung angelegt ist.

[0033] Gemäss der dargestellten Ausführungsform ist jeder einzelne Streifen einer einzelnen Säulenstruktur 110 zugeordnet. Gemäss weiteren Ausführungsformen ist jeder der einzelnen Streifen mindestens zwei der Säulenstrukturen zugeordnet. Gemäss weiteren Ausführungsformen verlaufen die Streifen in einer zweiten lateralen Richtung, die die erste laterale Richtung schneidet. Beispielsweise ist die zweite laterale Richtung orthogonal zur ersten lateralen Richtung.

[0034] Stark dotierte erste Kontaktzonen 118 des ersten Leitungstyps sind in direkt an die erste Elektrodenstruktur 210 angrenzenden Abschnitten des Halbleiterteilbereichs 100 vorgesehen, um einen niederohmigen Kontakt (Schottky-Kontakt) zwischen der ersten Elektrodenstruktur 210 und dem Halbleiterteilbereich 100 auszubilden. Für p-Typ Silizium (p-Si) ist die Dotierstoffkonzentration in den ersten Kontaktzonen 118 beispielsweise mindestens 10^{16} cm^{-3} und für n-Typ Silizium (n-Si) mindestens $3 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$.

[0035] Die ersten Kontaktzonen 118 können entlang der Säulenstrukturen 110 ausgerichtet sein. Beispielsweise kann jede Kontaktzone 118 vollständig in der vertikalen Projektion von einer der Säulenstrukturen 110 angeordnet sein. Gemäss einer anderen Ausführungsform überlappen einige oder alle der Kontaktzonen 118 nur teilweise mit der vertikalen Projektion der einen, zwei oder mehreren Säulenstrukturen 110. Die ersten Kontaktzonen 118 können von den nächsten ersten Kompensationszonen 111 beabstandet sein oder mit ihnen überlappen.

[0036] Der Halbleiterteilbereich 100 umfasst eine oder mehrere direkt an die Rückseitenoberfläche 102 angrenzende zweite Kontaktzonen 128 des zweiten Leitungstyps. Die zweiten Kontaktzonen 128 sehen einen ohmschen Kontakt zu einer zweiten Elektrodenstruktur 220 vor. Die zweite Elektrodenstruktur 220 kann eine geschlossene Fläche der Rückseitenoberfläche 102 bedecken. Gemäss anderer Ausführungsformen kann die zweite Elektrodenstruktur Streifen umfassen, wobei jeder Streifen teilweise oder vollständig mit der vertikalen Projektion von mindestens einer der zweiten Kompensationszonen 122 überlappt.

[0037] Jeder der ersten und zweiten Elektrodenstrukturen 210, 220 kann eine oder mehrere Lagen umfassen, wobei jede Lage Aluminium Al, Kupfer Cu oder eine Aluminium-Kupfer-Legierung, zum Beispiel AlCu oder AlSiCu umfassen kann. Gemäss weiteren Ausführungsformen ist mindestens eine der ersten Elektrodenstrukturen 210, 220 aus einem transparenten leitenden Material vorgesehen, beispielsweise ein Zinnoxid. Mindestens eine der ersten und zweiten Elektrodenstrukturen 210, 220 kann eine oder mehrere Lagen umfassen, die als Hauptbestandteile Nickel Ni, Gold Au, Silber Ag, Titan Ti, Tantal Ta oder Palladium Pd enthalten.

[0038] Der Basisteilbereich 120, der die zweiten Kompensationszonen 122 und die ersten Kompensationszonen 111 in vertikaler Richtung trennenden Abschnitte 121 umfasst, hat eine näherungsweise gleichförmige Dotierstoffverteilung.

Vertikale Dotierstoffprofile der ersten Kompensationszonen III sind näherungsweise Gauss-Verteilungen. Gemäss der dargestellten Ausführungsform ist der erste Leitungstyp p-Typ und der zweite Leitungstyp n-Typ.

[0039] FIG. 2B zeigt die Ladungsträgerverteilung in der Strahlungsumwandlungsvorrichtung 910 aus FIG. 2A im Ruhezustand ohne angelegte Rückwärtssperrespannung. FIG. 2C zeigt die Ladungsträgerverteilung mit einer zwischen den ersten und zweiten Elektrodenstrukturen 210, 220 angelegten ausreichend hohen Rückwärtssperrespannung. Obwohl die ersten Kompensationszonen 111 nicht miteinander verbunden sind, ist der Basisteilbereich 120 zwischen den ersten Kompensationszonen 111 vollständig verarmt und ein überwiegender Teilbereich des Halbleiterteilbereichs 100 bewirkt ein Umwandeln einfallender Strahlung in elektrischen Strom.

[0040] Anders als in Superjunction IGFET (insulated gate field effect transistor) Vorrichtungen werden Strahlungsumwandlungsvorrichtungen nicht in Vorwärts- oder An-Zustand betrieben, so dass die Tatsache, dass die ersten Kompensationszonen 111 mindestens teilweise floaten bzw. elektrisch unbestimmt sind, die Funktion der Vorrichtung nicht negativ beeinflusst.

[0041] Die ersten Kompensationszonen III können durch Wiederholung einer Abfolge ausgebildet werden, die umfasst (i) Aufwachsen von Halbleiterschichten durch Epitaxie und (ii) Einbringen von Dotierstoffen in vertikal ausgerichteten Oberflächen von Abschnitten der vertikal aufgewachsenen Halbleiterschichten, ebenso wie ein abschliessendes Tempern, um die Diffusion der implantierten Dotierstoffe zu steuern. Während strukturell verbundene erste Kompensationszonen III eine ausreichend hohe Anzahl an epitaktischen Schichten und/oder eine ausreichend lange Ausheilung benötigen, um sicherzustellen, dass sich die ersten Kompensationszonen III verbinden, kommen die auf nicht verbundene erste Kompensationszonen 111 setzenden Ausführungsformen mit einer niedrigeren Anzahl an epitaktischen Schichten und/oder einer verringerten Temperatur aus, so dass die Herstellung der Strahlungsumwandlungsvorrichtung 910 vereinfacht und weniger kostenintensiv ist.

[0042] Die Strahlungsumwandlungsvorrichtung 910 aus FIG. 2D entspricht der Strahlungsumwandlungsvorrichtung aus FIG. 2A, wobei der erste Dotierstofftyp n-Typ ist und der zweite Dotierstofftyp p-Typ ist. Zusätzlich kann der Basisteilbereich 120 eine p-Typ Pufferschicht 125 umfassen, die eine angelegte Spannung aufnimmt. Eine Dotierstoffkonzentration in der Pufferschicht 125 kann niedriger sein als in Teilbereichen des Basisteilbereichs 120 ausserhalb der Pufferschicht 125. Die Pufferschicht 125 kann epitaktisch aufgewachsen werden und während des Aufwachsens in-situ dotiert werden. Da Strahlenschäden die Akzeptorkonzentration allmählich steigern, schliesst die Ausführungsform einen Wechsel des Leitungstyps in niedrig dotierten Abschnitten des Basisteilbereichs 120 innerhalb der Betriebslebensdauer aus.

[0043] Die Strahlungsumwandlungsvorrichtung 910 aus den FIG. 3A bis 3C unterscheidet sich von der Strahlungsumwandlungsvorrichtung 910 aus FIG. 2A darin, dass die ersten Kontaktzonen 118 direkt an die am dichtesten an der Hauptoberfläche 101 gelegenen ersten Kompensationszonen 111 angrenzen. Zusätzlich dazu entstehen die zweiten Kompensationszonen 122 mindestens teilweise durch Einbringen von Dotierstoff des zweiten Leitungstyps in die Oberfläche der epitaktischen Halbleiterschichten, zum Beispiel durch maskierte oder unmaskierte Implantationen. Vertikale Dotierstoffprofile der zweiten Kompensationszonen 122 entsprechen ungefähr einer Gauss-Verteilung. Ausbilden eines signifikanten Teils, zum Beispiel 50% oder mehr als 90%, der Dotierstoffe der zweiten Kompensationszonen 122 durch Implantationsprozesse anstelle von in-situ Dotieren während des epitaktischen Wachstums kann die Präzision der Kompensation erhöhen.

[0044] Wenn im Laufe des Betriebs die Strahlung allmählich mehr Akzeptoratome erzeugt und das Dotierniveau in einem leicht dotierten Hintergrundteilbereich 126 des Basisteilbereichs 120 ausserhalb der zweiten Kompensationszonen 122 von n-Typ zu p-Typ verschiebt, so können die stärker dotierten n-dotierten zweiten Kompensationszonen 122 immer noch das vollständige Verarmen der Abschnitte des Basisteilbereichs 120 zwischen benachbarten Säulenstrukturen 110 sicherstellen.

[0045] FIG. 3B zeigt das elektrische Feld der Strahlungsumwandlungsvorrichtung 910 aus FIG. 3A vor der Alterung und FIG. 3C das elektrische Feld für dieselbe Vorrichtung 910 nach einer simulierten Alterung, wobei die Flächenkonzentration von p-Typ Dotierstoff nach Alterung mit $2 \times 10^{13} \text{ cm}^{-2}$ angenommen ist, wobei zu vermuten ist, dass dies signifikant höher ist als p-Typ Flächenkonzentrationen, die durch reguläre Alterungsprozesse erreicht werden.

[0046] Zusätzlich resultiert die Alterung in einem elektrischen Feldgradienten, der in mancherlei Hinsicht vorteilhaft ist. Beispielsweise ist eine maximale Feldstärke, die an den Rändern der Säulenstrukturen 110 auftritt, reduziert. Der Effekt kann die Strahlungshärte einer Abschlussstruktur in einem Randteilbereich der Strahlungsumwandlungsvorrichtung 910 verbessern. Im Fall von p-typ Basis Epitaxie kann die Alterung sogar in einem noch vorteilhafteren elektrischen Feldgradienten resultieren, da die elektrische Feldstärke allmählich entlang der Grenzfläche der Säulenstrukturen 110 der Basisteilbereiche 120 abfällt und das maximale elektrische Feld verstärkt in einem lateralen Schichtabschnitt des Basisteilbereichs 120 parallel zu und direkt an den zweiten Kontaktzonen 128 erscheint.

[0047] Gemäss einer Ausführungsform können die n-Typ ersten Kompensationszonen 111 durch schnell diffundierende Donatortyp-Dotierstoffe vorgesehen werden, zum Beispiel Schwefel S oder Selen Se, so dass das Temperatur/Zeitbudget des Diffusionsprozesses signifikant verringert werden kann. Zusätzlich dazu erhöhen Donatormaterialien wie Schwefel S und Selen Se, die einen Energiezustand tief in der Bandlücke des Siliziums vorsehen, die Diffusionslänge in dem Detektorvolumen als Resultat der effektiv verringerten freien Ladungsträgerkonzentration.

[0048] In FIG. 4A umfasst der Basisteilbereich 120 der Strahlungsumwandlungsvorrichtung 910 zweite Kompensationszonen 122, wobei die vertikalen Dotierstoffprofile näherungsweise Gauss-Verteilungen sind. Zwei oder mehr zweite Kompensationszonen 122 sind entlang der vertikalen Richtung ausgerichtet und bilden weitere Säulenstrukturen, die von den Säulenstrukturen 110 getrennt sind. Ein gleichförmig dotierter Hintergrundteilbereich 126 des Basisteilbereichs 120 kann die Säulenstrukturen 110 mit den ersten Kompensationszonen 111 und die weiteren Säulenstrukturen mit den zweiten Kompensationszonen 122 voneinander trennen. Die Säulenstrukturen 110 können mit ersten Kontaktzonen 118 verbunden sein und die weiteren Säulenstrukturen können mit einer oder mehreren zweiten Kontaktzonen 128 verbunden sein.

[0049] Die Nettodotierstoffkonzentration in den zweiten Kompensationszonen 122 kann im Wesentlichen der Dotierstoffkonzentration in den entsprechenden ersten Kompensationszonen III entsprechen. Der übrig bleibende Hintergrundteilbereich 126 kann intrinsisch, n-Typ oder p-Typ sein. Der Basisteilbereich 120 kann auch bei vergleichsweise hohen Dotierstoffkonzentrationen in den Kompensationszonen 111, 122 vollständig verarmt sein.

[0050] Die ersten Kompensationszonen III von jeder Säulenstruktur 110 können durch die gleichförmig dotierten Hintergrundteilbereich 126 des Basisteilbereichs 120 voneinander getrennt sein, und die zweiten Kompensationszonen 122 von jeder weiteren Säulenstruktur können durch den gleichförmig dotierten Hintergrundteilbereich 126 voneinander getrennt sein.

[0051] Gemäss der Ausführungsform von FIG. 4B sind die ersten Kompensationszonen 111 von jeder Säulenstruktur 110 strukturell miteinander verbunden oder überlappen miteinander und die zweiten Kompensationszonen 122 von jeder weiteren Säulenstruktur sind strukturell miteinander verbunden oder überlappen miteinander.

[0052] FIG. 4C bezieht sich auf eine Strahlungsumwandlungsvorrichtung 910 die sowohl erste als auch zweite Elektroden 210, 220 an der Hauptoberfläche 101 vorsieht. Nicht-transparente Elektrodenmaterialien können für beide, die ersten und zweiten Elektroden 210, 220 verwendet werden, wobei die Rückseitenoberfläche 120 die Strahlungsempfangende Oberfläche bildet, durch die die Strahlung in den Halbleiterteilbereich 100 eintritt.

[0053] Die FIG. 5A und 5B beziehen sich auf eine Strahlungsumwandlungsvorrichtung 910 mit einem Halbleiterteilbereich 100, der in Säulenstrukturen 110 streifenförmig angeordnete erste Kompensationszonen 111 eines ersten Leitungstyps umfasst. Die ersten Kompensationszonen III von jeder Säulenstruktur 110 können miteinander verbunden sein oder können voneinander getrennt sein. Zwischen benachbarten Säulenstrukturen 110 können zweite Kompensationszonen 122 eines zweiten, komplementären Leitungstyps weitere Säulenstrukturen bilden. Jede Säulenstruktur 110 erstreckt sich in einer vertikalen Richtung und in einer in Bezug auf eine Hauptoberfläche 101 des Halbleiterteilbereichs 100 ersten lateralen Richtung. Eine erste Elektrodenstruktur 210 grenzt an der Hauptoberfläche 101 direkt an den Halbleiterteilbereich 100 an und umfasst eine Vielzahl von Streifen. Jeder Streifen ist mindestens zwei Säulenstrukturen 110 zugeordnet. Gemäss der dargestellten Ausführungsform grenzen die Streifen direkt an erste Kontaktzonen 118 an, wobei jeder der ersten Kontaktzonen 118 zwei parallelen Säulenstrukturen 110 zugeordnet ist.

[0054] Gemäss der in FIG. 6 gezeigte Ausführungsform verlaufen die Streifen der ersten Elektrode 210 in einer die erste laterale Richtung orthogonal schneidenden zweiten lateralen Richtung, wobei die erste laterale Richtung durch die streifenförmigen Säulenstrukturen 110 festgelegt ist. Stark dotierte erste Kontaktzonen 118 verlaufen parallel zu den Streifen, um einen Schottky-Kontakt zwischen der ersten Elektrodenstruktur 210 und den Säulenstrukturen 110 vorzusehen.

[0055] Ein erster Abstand d1 der Streifen der ersten Elektroden 210 ist von einem zweiten Abstand d2 der Säulenstrukturen 110 entkoppelt. Gemäss einer Ausführungsform ist der zweite Abstand d2 der Säulenstrukturen 110 signifikant kleiner, zum Beispiel maximal die Hälfte, als der erste Abstand d1, um sowohl ein hohes Dotierniveau in dem Detektorbereich und einen hohen Abstand der Streifen der ersten Elektrodenstruktur 210 zu erreichen, was die Herstellung der Strahlungsumwandlungsvorrichtung vereinfacht und verlässlicher macht.

[0056] Die Fig. 7A bis 7C beziehen sich auf die Herstellung einer Strahlungsumwandlungsvorrichtung. Auf einem Halbleiterbasissubstrat 100a wird eine Halbleiterschicht 100b epitaktisch aufgewachsen. Das Kristallgitter der aufgewachsenen Halbleiterschicht 100b wächst deckungsgleich zum Kristallgitter in dem Basissubstrat 100a. Eine Maskenschicht wird auf der aufgewachsenen Halbleiterschicht 100b abgeschieden und durch einen photolithografischen Prozess strukturiert, um eine Dotierstoffmaske 310 mit Öffnungen 315 zu erhalten. Die aufgewachsene Halbleiterschicht 100b kann eine intrinsische Schicht, eine leicht p-dotierte oder leicht n-dotierte Schicht sein. Dotierstoffe eines ersten Leitungstyps, zum Beispiel p-Typ, werden durch die Öffnungen 315 in der Dotierstoffmaske 310 in die freiliegenden ersten Oberflächenabschnitte der aufgewachsenen Halbleiterschicht 100b eingebracht, um Implantationszonen 111a zu bilden. Die Implantationsenergie wird so gewählt, dass die Dotierstoffe in unmittelbarer Nähe zur freiliegenden Oberfläche des aufgewachsenen Halbleiterschicht 100b implantiert werden.

[0057] FIG. 7A zeigt die Implantationszonen 111a nahe bei der freiliegenden Oberfläche des aufgewachsenen Halbleiterschicht 100b in durch die Implantationsmaske 310 freiliegenden ersten Abschnitten. Die Implantationsmaske 310 wird entfernt und ein Zyklus, der (i) Aufwachsen einer Halbleiterschicht durch Epitaxie und (ii) Ausbilden einer Implantationsmaske mit entlang der Öffnungen in der ersten Implantationsmaske 310 ausgerichteten Öffnungen (iii) Implantation von Dotierstoffen des ersten Leitungstyps und (iv) Entfernen der Implantationsmaske umfasst, wird mehrfach wiederholt.

[0058] FIG. 7B zeigt einen Halbleiterteilbereich 100, der durch sukzessives Aufwachsen von fünf Halbleiterschichten 100b bis 100f durch Epitaxie auf dem Basissubstrat 100a erhalten wird. In der ersten bis vierten Halbleiterschicht 100b bis 100e

sind implantierte Zonen 111a bis 111d entlang der vertikalen Richtung orthogonal zu einer Hauptoberfläche 101 des erhaltenen Halbleiterteilbereichs 100 ausgereichtet. Ein Tempern wird ausgeführt, so dass die Dotierstoffe der implantierten Zonen 111a bis 111d ausdiffundieren, um in Säulenstrukturen 110 angeordnete erste Kompensationszonen 111 zu bilden. Das Tempern wird beendet, bevor die ersten Kompensationszonen 111 miteinander überlappen. Dann werden erste Kontaktzonen 118 des ersten Leitungstyps gebildet, die direkt an die Hauptoberfläche 101 angrenzen. Zweite Kontaktzonen 118 des zweiten Leitungstyps können an der Rückseitenoberfläche 102 vorgesehen sein. Elektrodenstrukturen 210, 220 werden so vorgesehen, dass sich Schottky Kontakte mit den ersten und zweiten Kontaktzonen 118, 128 bilden.

[0059] FIG. 7C zeigt die resultierende Strahlungsumwandlungsvorrichtung 910 ähnlich der Strahlungsumwandlungsvorrichtung aus FIG. 2A. Gemäss einer weiteren Ausführungsform kann jeder Zyklus eine unmaskierte Implantation von Dotierstoffen des zweiten Leitungstyps vor oder nach dem maskierten Implant der Dotierstoffe des ersten Leitungstyps umfassen, um die Strahlungsumwandlungsvorrichtung aus FIG. 3A zu erhalten.

[0060] Fig. 8A bis 8C beziehen sich auf ein weiteres Verfahren, das eine die Implantationszonen 111 aus FIG. 7A bedeckende zweite Implantationsmaske 302 vorsieht. In jedem Zyklus werden Dotierstoffe des zweiten Leitungstyps, der komplementär zum ersten Leitungstyp ist, in die epitaktische Halbleiterschicht 100b implantiert, um weitere implantierte Zonen 122a des zweiten Leitungstyps in einigen oder allen der epitaktischen Halbleiterschichten 100b bis 100f zu bilden. Die Abfolge der Implantationen des ersten und zweiten Leitungstyps können für jede Halbleiterschicht 100b bis 100f umgekehrt werden.

[0061] Gemäss FIG. 9 umfasst ein Verfahren zur Herstellung einer Strahlungsumwandlungsvorrichtung epitaktisches Aufwachsen einer Abfolge von Halbleiterschichten auf einem Halbleitersubstrat (802), wobei Dotierstoffe eines ersten Leitungstyps in erste Abschnitte einer freiliegenden Oberfläche in jeder der aufgewachsenen Halbleiterschichten vor dem Aufwachsen der folgenden der Halbleiterschichten eingebracht werden (804). Die aufgewachsenen Halbleiterschichten werden getempert, um erste Kompensationszonen aus den eingebrachten Dotierstoffen zu bilden (806). Die ersten Kompensationszonen bleiben getrennt durch einen Basisteilbereich, wobei zweite Kompensationszonen eines zweiten komplementären Leitungstyps die ersten Kompensationszonen in einer lateralen Richtung trennen und weitere Abschnitte des Basisteilbereichs die ersten Kompensationszonen in einer vertikalen Richtung voneinander trennen.

[0062] Obwohl spezifische Ausführungsbeispiele hier veranschaulicht und beschrieben sind, ist es für den Fachmann selbstverständlich, dass eine Vielzahl von alternativen und/oder äquivalenten Ausführungen für die gezeigten und beschriebenen spezifischen Ausführungsbeispiele herangezogen werden kann, ohne von dem Bereich der vorliegenden Erfindung abzuweichen. Diese Anmeldung soll alle Anpassungen oder Veränderungen der hier diskutierten spezifischen Ausführungsbeispiele abdecken. Daher ist beabsichtigt, dass diese Erfindung lediglich durch die Patentansprüche und deren Äquivalente begrenzt ist.

Patentansprüche

1. Eine Strahlungsumwandlungsvorrichtung (910), die aufweist:
einen Halbleiterteilbereich (100), der erste Kompensationszonen (111) eines ersten Leitungstyps, und einen die ersten Kompensationszonen (111) voneinander trennenden Basisteilbereich (120) umfasst,
wobei die ersten Kompensationszonen (111) in Säulenstrukturen (110) angeordnet sind, jede Säulenstruktur (110) mindestens zwei der ersten Kompensationszonen (111) aufweist und sich in einer in Bezug auf eine Hauptoberfläche (101) des Halbleiterteilbereichs (100) vertikalen Richtung erstreckt, und
der Basisteilbereich (120) zwischen benachbarten der Säulenstrukturen (110) zweite Kompensationszonen (122) eines zweiten, komplementären Leitungstyps aufweist.
2. Die Strahlungsumwandlungsvorrichtung (910) gemäss Anspruch 1, wobei Abschnitte (121) des Basisteilbereichs (120), die die ersten Kompensationszonen (111) in vertikaler Richtung trennen, eine gleichförmige Dotierstoffverteilung haben.
3. Die Strahlungsumwandlungsvorrichtung (910) gemäss einem der Ansprüche 1 und 2, wobei Abschnitte (121) des Basisteilbereichs (120), die die ersten Kompensationszonen (111) in der vertikalen Richtung trennen, eine mittlere NettoDotierstoffkonzentration von maximal einem Zwanzigstel einer mittleren Nettodotierstoffkonzentration in den ersten Kompensationszonen (111) haben.
4. Die Strahlungsumwandlungsvorrichtung gemäss einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei Abschnitte (121) des Basisteilbereichs (120), die die ersten Kompensationszonen (111) in der vertikalen Richtung voneinander trennen, den zweiten Leitungstyp haben.
5. Die Strahlungsumwandlungsvorrichtung (910) gemäss einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei die zweiten Kompensationszonen (122) und die Abschnitte (121) des Basisteilbereichs (120), die die ersten Kompensationszonen (111) in einer vertikalen Richtung voneinander trennen, eine gleichförmige Dotierstoffverteilung haben und Dotierstoffprofile der ersten Kompensationszonen (111) entlang der vertikalen Richtung näherungsweise Gauss-Verteilungen sind.
6. Die Strahlungsumwandlungsvorrichtung (910) gemäss einem der Ansprüche 1 bis 5, wobei Dotierstoffprofile der zweiten Kompensationszone (122) entlang der vertikalen Richtung näherungsweise Gauss-Verteilungen sind.

7. Die Strahlungsumwandlungsvorrichtung (910) gemäss Anspruch 6, wobei Abschnitte des Basisteilbereichs (120), die die zweiten Kompensationszonen (122) in einer vertikalen Richtung voneinander trennen, den ersten Leitungstyp haben.
8. Die Strahlungsumwandlungsvorrichtung (910) gemäss einem der Ansprüche 1 bis 7, wobei die Säulenstrukturen (110) streifenförmig sind und sich in einer mit Bezug auf die Hauptoberfläche (101) ersten lateralen Richtung erstrecken.
9. Die Strahlungsumwandlungsvorrichtung (910) gemäss Anspruch 8, die weiter aufweist:
eine in direktem Kontakt mit der Hauptoberfläche (101) angeordnete erste Elektrodenstruktur (210).
10. Die Strahlungsumwandlungsvorrichtung (910) gemäss Anspruch 9, wobei die erste Elektrodenstruktur (210) eine Vielzahl von Streifen aufweist, die in einer die erste laterale Richtung schneidenden zweiten lateralen Richtung verlaufen.
11. Die Strahlungsumwandlungsvorrichtung (910) gemäss Anspruch 9, wobei die erste Elektrodenstruktur (210) eine Vielzahl von Streifen aufweist, die parallel zu der ersten lateralen Richtung verlaufen.
12. Die Strahlungsumwandlungsvorrichtung (910) gemäss Anspruch 11, wobei jeder der Streifen mindestens zwei der Säulenstrukturen (110) zugewiesen ist.
13. Die Strahlungsumwandlungsvorrichtung (910) gemäss einem der Ansprüche 9 bis 12, wobei der Halbleiterteilbereich (100) einen ersten Kontaktbereich (118) des ersten Leitungstyps aufweist, der erste Kontaktbereich (118) eine mittlere Nettodotierstoffkonzentration hat, die einen ohmschen Kontakt mit der ersten Elektrodenstruktur (210) herstellt und der erste Kontaktbereich (118) direkt an eine erste Kompensationszonen (111) der zugeordneten Säulenstrukturen (110) und die erste Elektrodenstruktur (210) angrenzt.
14. Die Strahlungsumwandlungsvorrichtung (910) gemäss einem der Ansprüche 1 bis 13, wobei der Halbleiterteilbereich (100) einen zweiten Kontaktbereich (128) des zweiten Leitungstyps aufweist, der zweite Kontaktbereich (128) eine mittlere Nettodotierstoffkonzentration hat, die einen ohmschen Kontakt zu einer zweiten Elektrodenstruktur (220) herstellt und der zweite Kontaktbereich (128) direkt an den Basisteilbereich (120) und die zweite Elektrodenstruktur (220) angrenzt.
15. Die Strahlungsumwandlungsvorrichtung (910) gemäss Anspruch 14, wobei der zweite Kontaktbereich (128) direkt an die Hauptoberfläche (101) angrenzt.
16. Die Strahlungsumwandlungsvorrichtung (910) gemäss Anspruch 14, wobei der zweite Kontaktbereich (128) direkt an eine der Hauptoberfläche (101) gegenüberliegende Oberfläche (102) des Halbleiterteilbereichs (100) angrenzt.
17. Eine Strahlungsumwandlungsvorrichtung (910), die aufweist:
einen Halbleiterteilbereich (100), der in streifenförmigen Säulenstrukturen (110) angeordnete erste Kompensationszonen (111) eines ersten Leitungstyps und zwischen benachbarten der Säulenstrukturen (110) zweite Kompensationszonen (122) eines zweiten, komplementären Leitungstyps aufweist, jede Säulenstruktur (110) mindestens zwei der ersten Kompensationszonen (111) umfasst und sich mit Bezug auf eine Hauptoberfläche (101) in einer vertikalen Richtung und in einer ersten lateralen Richtung des Halbleiterteilbereichs (100) erstreckt; und
eine erste Elektrodenstruktur (210), die eine direkt an den Halbleiterteilbereich angrenzende Vielzahl von Streifen aufweist, wobei jeder Streifen mindestens zwei der Säulenstrukturen (110) zugeordnet ist.
18. Die Strahlungsumwandlungsvorrichtung (910) gemäss Anspruch 17, wobei die Streifen in einer die erste laterale Richtung schneidenden zweiten lateralen Richtung verlaufen.
19. Die Strahlungsumwandlungsvorrichtung (910) gemäss Anspruch 17, wobei die Streifen parallel zu der ersten lateralen Richtung verlaufen und jeder Streifen zwischen zwei benachbarten der Säulenstrukturen (110) verläuft.
20. Die Strahlungsumwandlungsvorrichtung (910), die aufweist:
einen Halbleiterteilbereich (100), der erste Kompensationszonen (111) eines ersten Leitungstyps und einen Basisteilbereich (120) aufweist, wobei
die ersten Kompensationszonen (111) in Säulenstrukturen (110) angeordnet sind, wobei jede Säulenstruktur (110) sich in einer mit Bezug auf eine Hauptoberfläche (101) des Halbleiterteilbereichs (100) vertikalen Richtung erstreckt, und
der Basisteilbereich (120) einen Hintergrundteilbereich (126) und zwischen benachbarten der Säulenstrukturen zweite Kompensationszonen (122) eines zweiten, komplementären Leitungstyps aufweist, die zweiten Kompensationszonen (122) sich in der vertikalen Richtung erstreckende weitere Säulenstrukturen ausbilden und vertikale Dotierstoffprofile der zweiten Kompensationszonen (122) Gauss-Verteilungen sind.
21. Die Strahlungsumwandlungsvorrichtung (910) gemäss Anspruch 20, wobei jede der Säulenstrukturen (110) mindestens zwei räumlich getrennte erste Kompensationszonen (111) umfasst.
22. Ein Verfahren zum Herstellen einer Strahlungsumwandlungsvorrichtung, das umfasst:
epitaktisches Aufwachsen einer Abfolge von Halbleiterschichten (100b-100f) auf ein Halbleitersubstrat (100a);
Einbringen, in mindestens zwei der Halbleiterschichten, von Dotierstoffen eines ersten Leitungstyps in freiliegende Abschnitte einer Prozessoberfläche einer vorhergehenden der Halbleiterschichten vor dem Aufwachsen einer nachfolgenden der Halbleiterschichten auf der vorhergehenden; und

CH 707 923 A2

Tempern der aufgewachsenen Halbleiterschichten (100b-100f) zur Bildung erster Kompensationszonen (111) aus den eingebrachten Dotierstoffen, wobei das Tempern beendet wird, bevor die ersten Kompensationszonen (111) sich strukturell verbinden.

FIG 1A

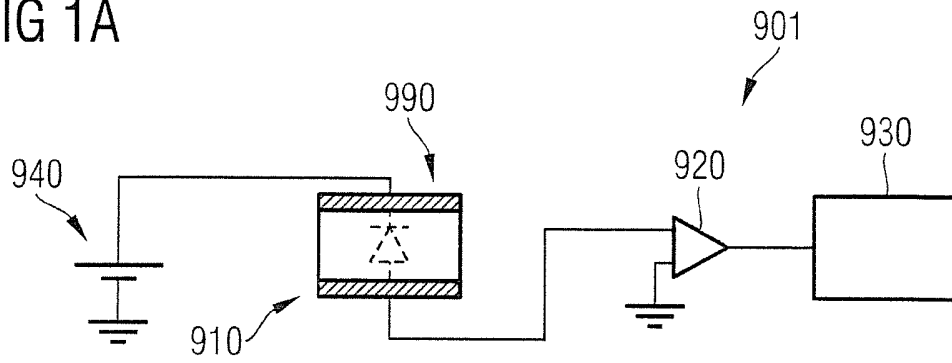


FIG 1B

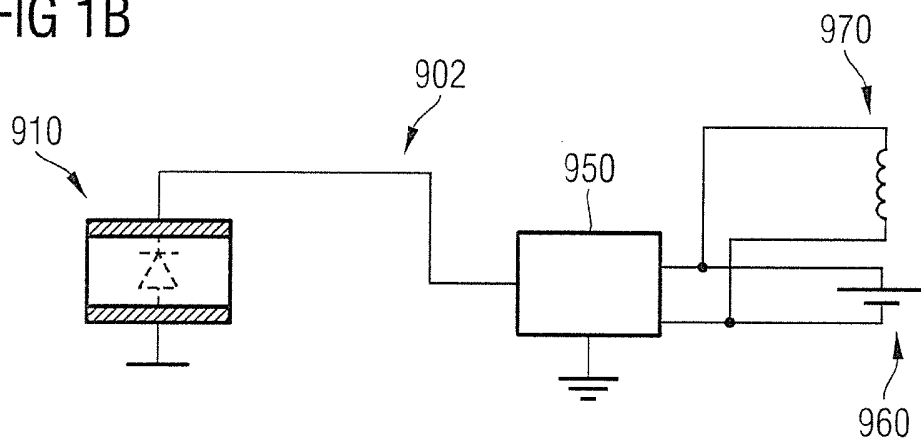


FIG 1C

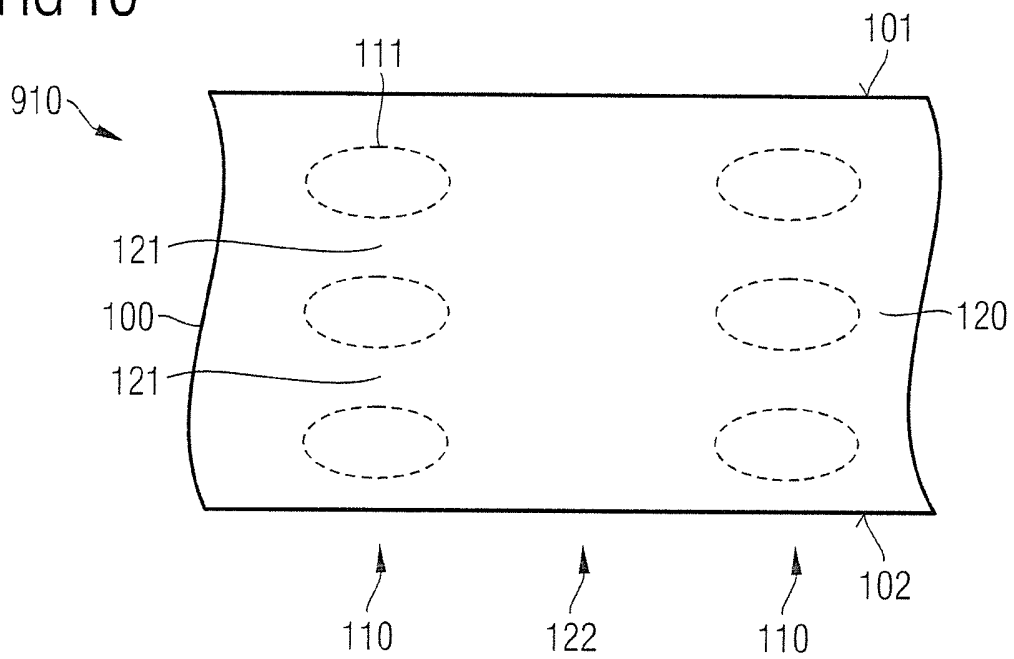


FIG 2A

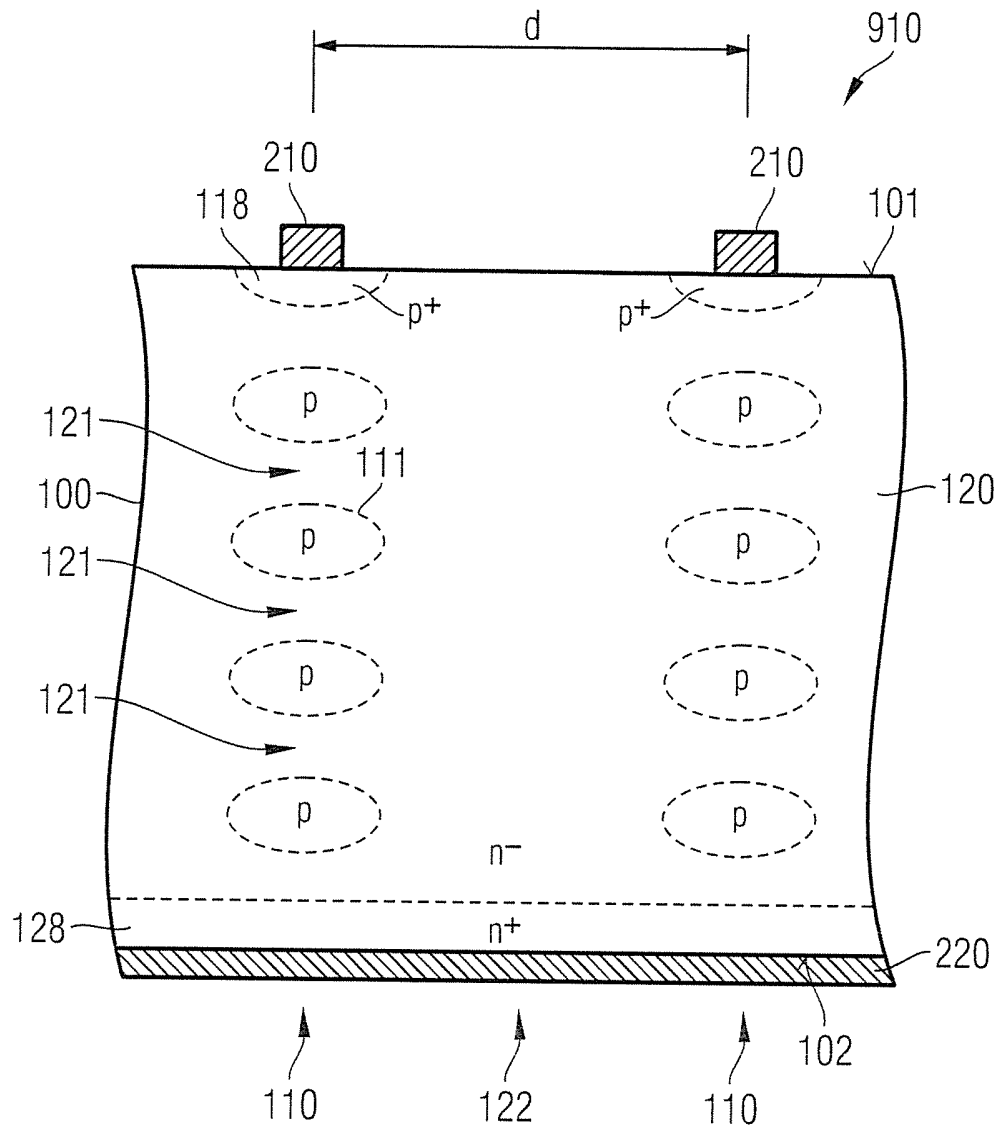


FIG 2B

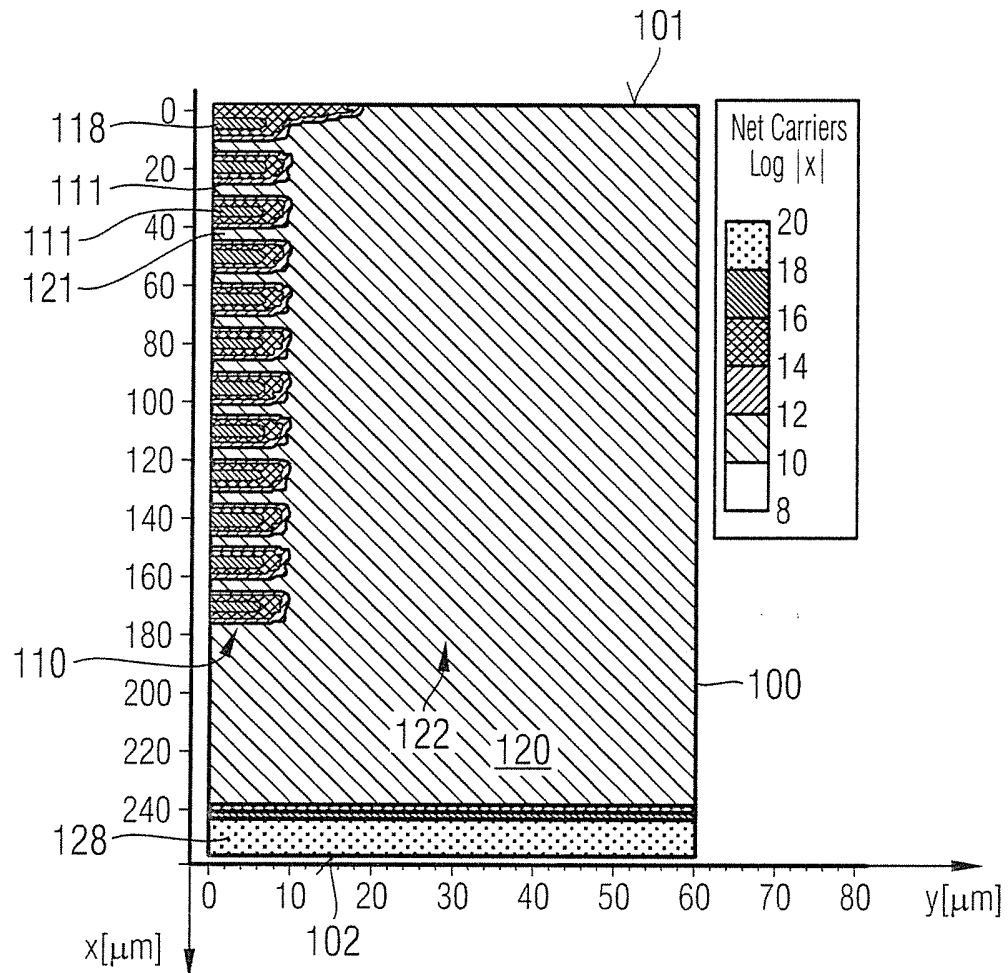


FIG 2C

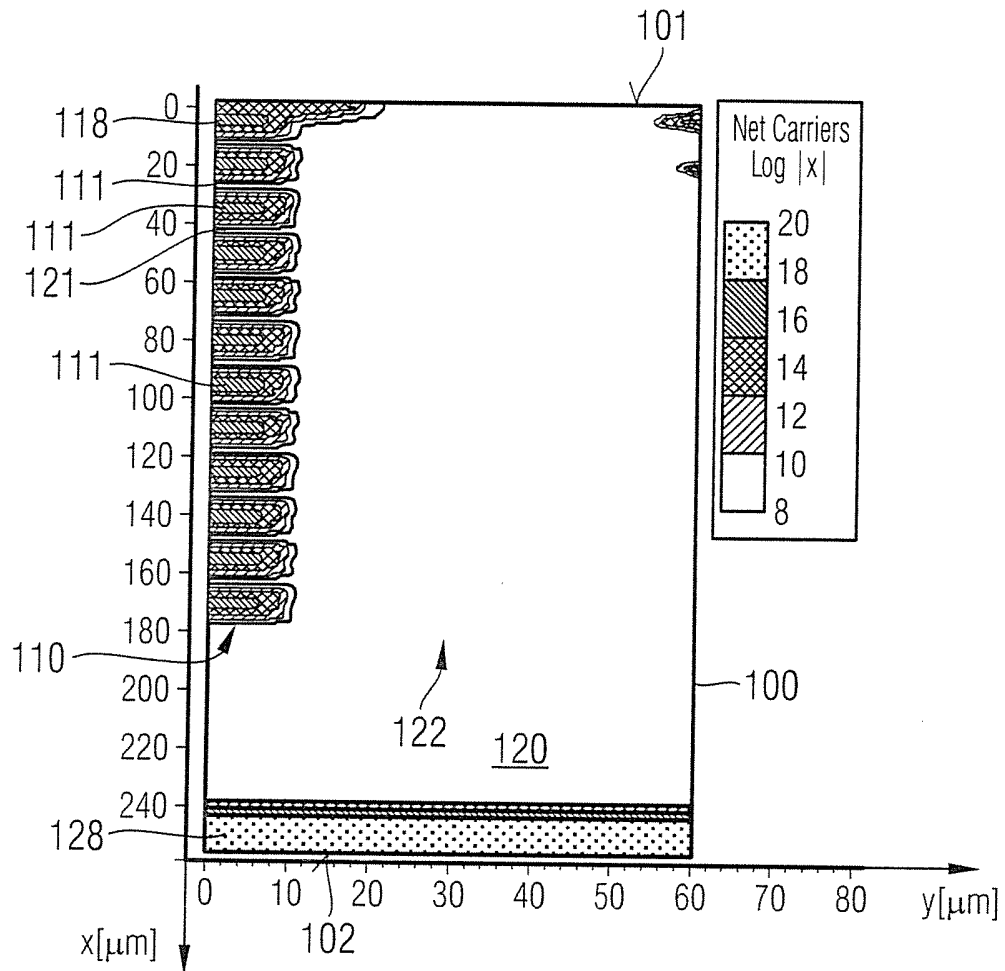


FIG 2D

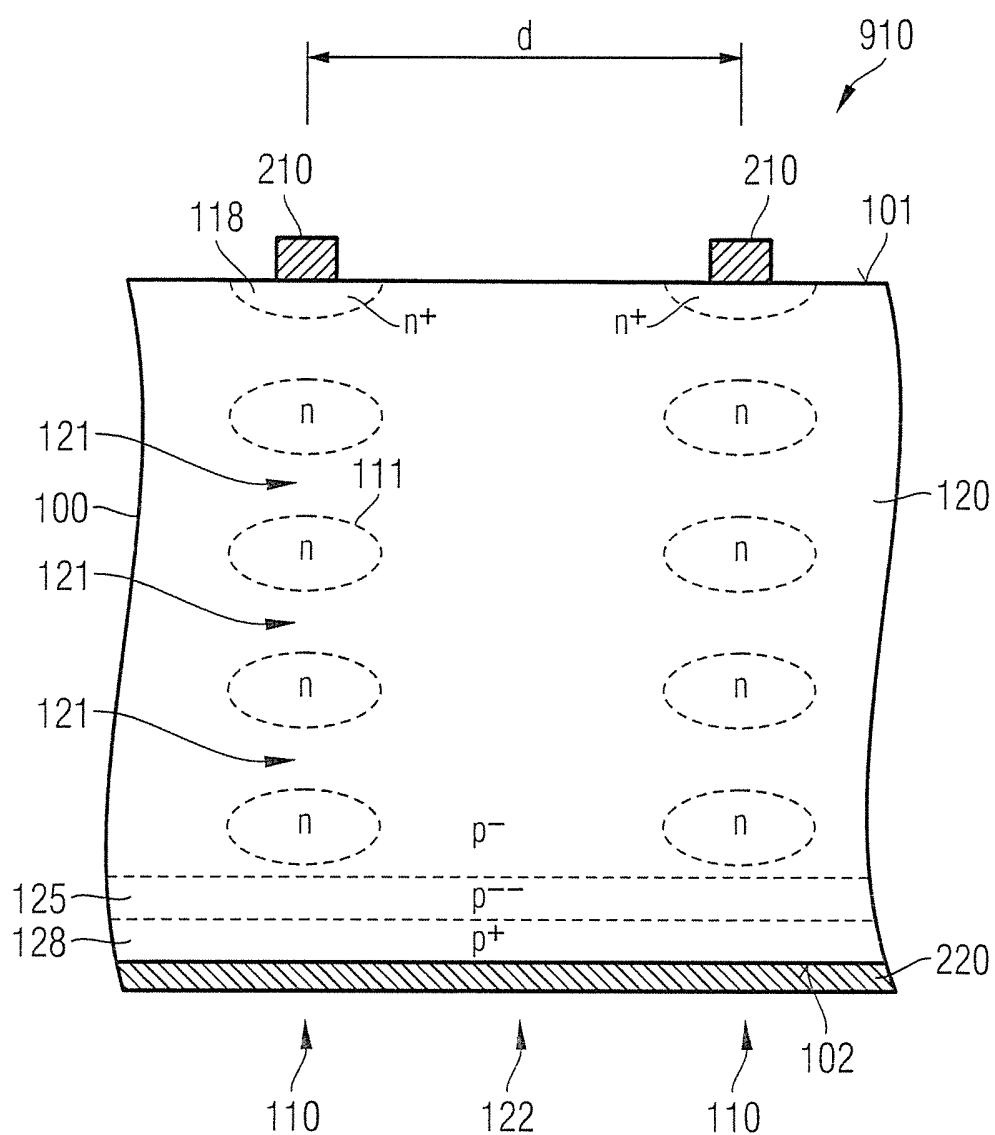


FIG 3A

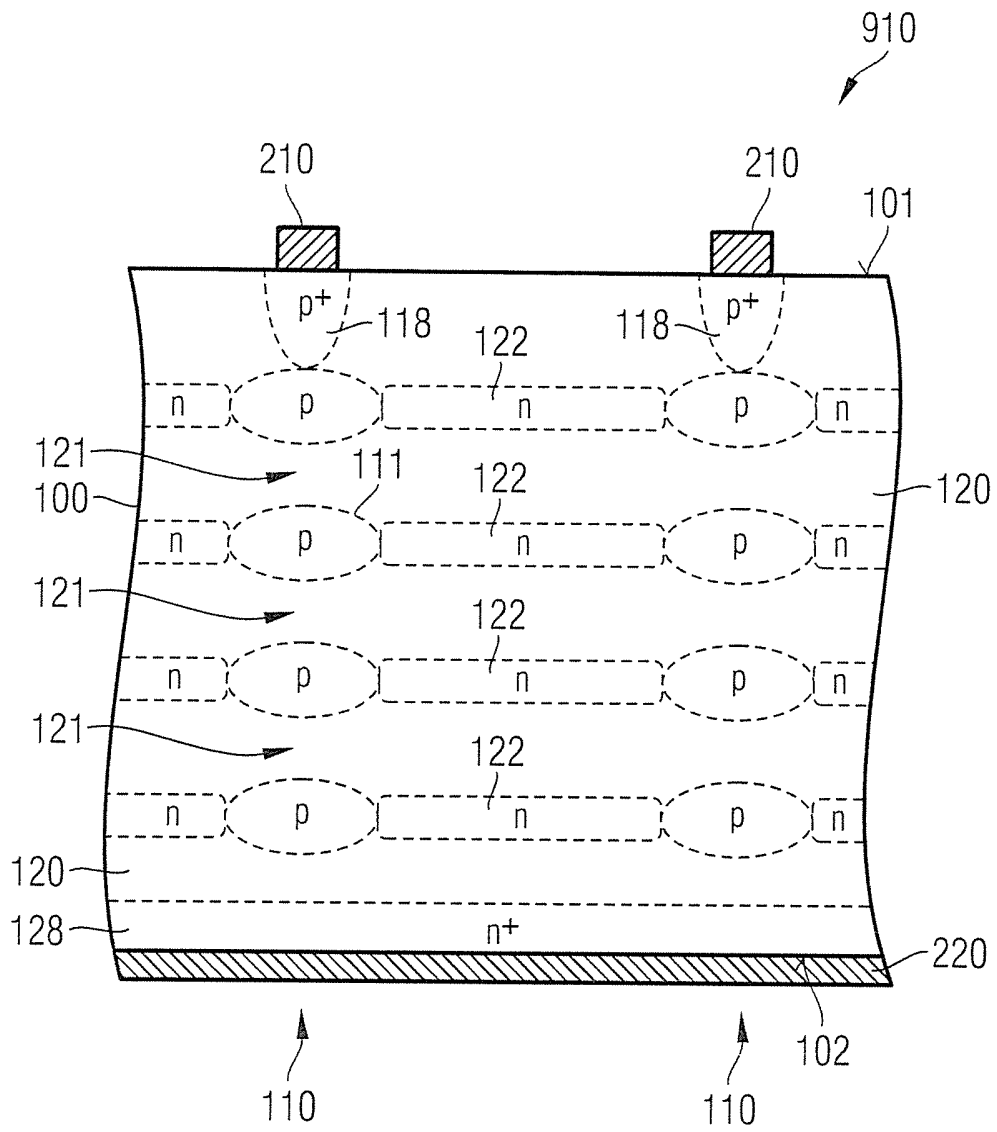


FIG 3B

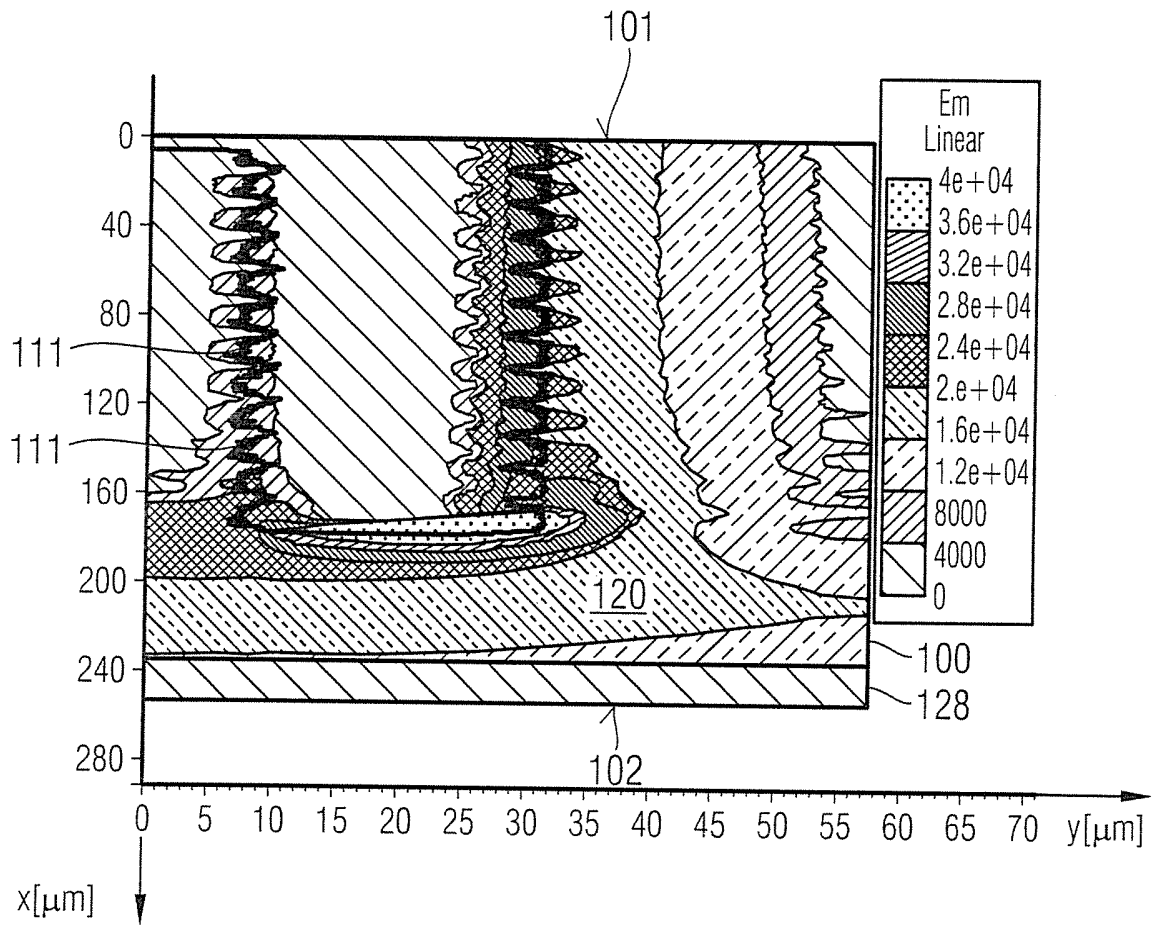


FIG 3C

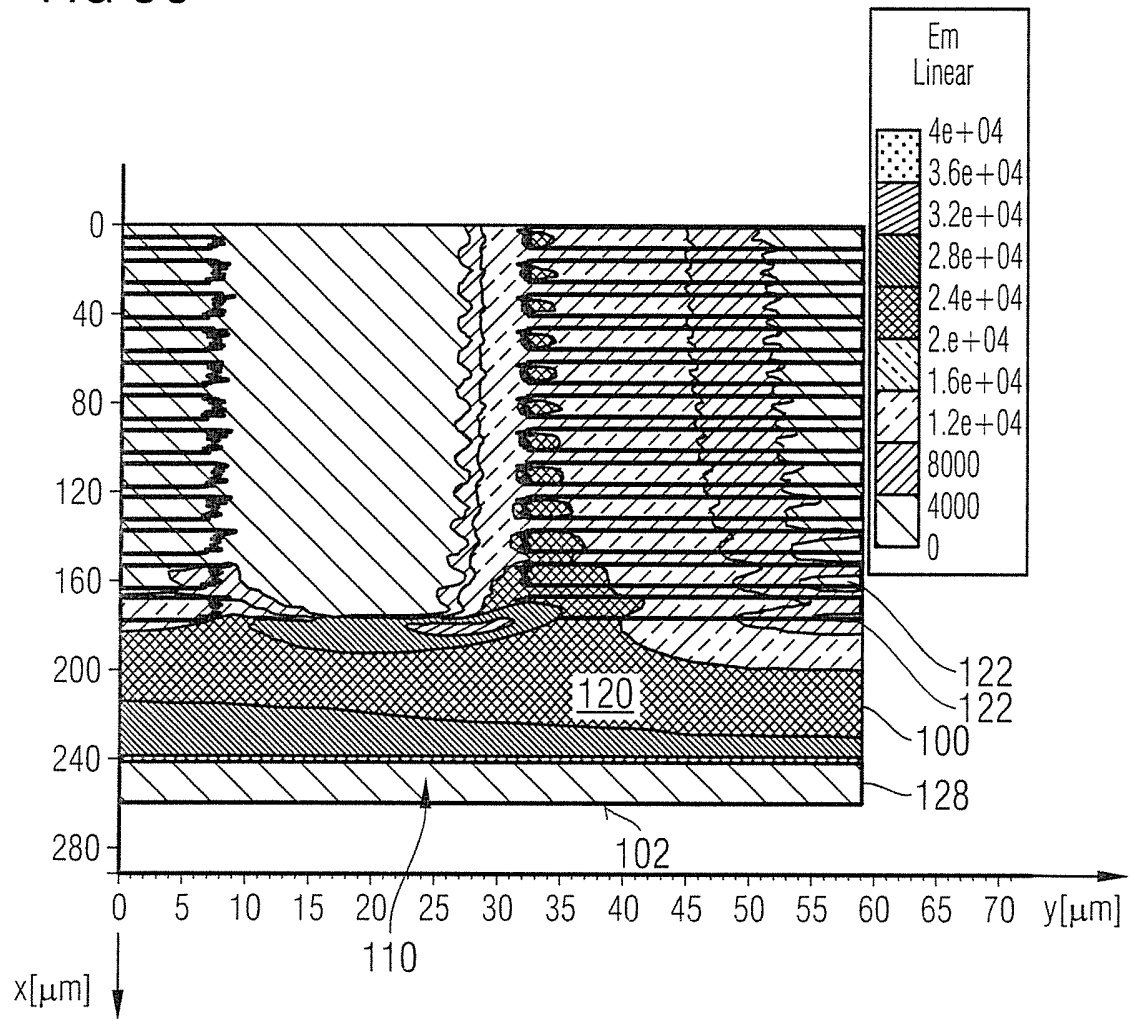


FIG 4A

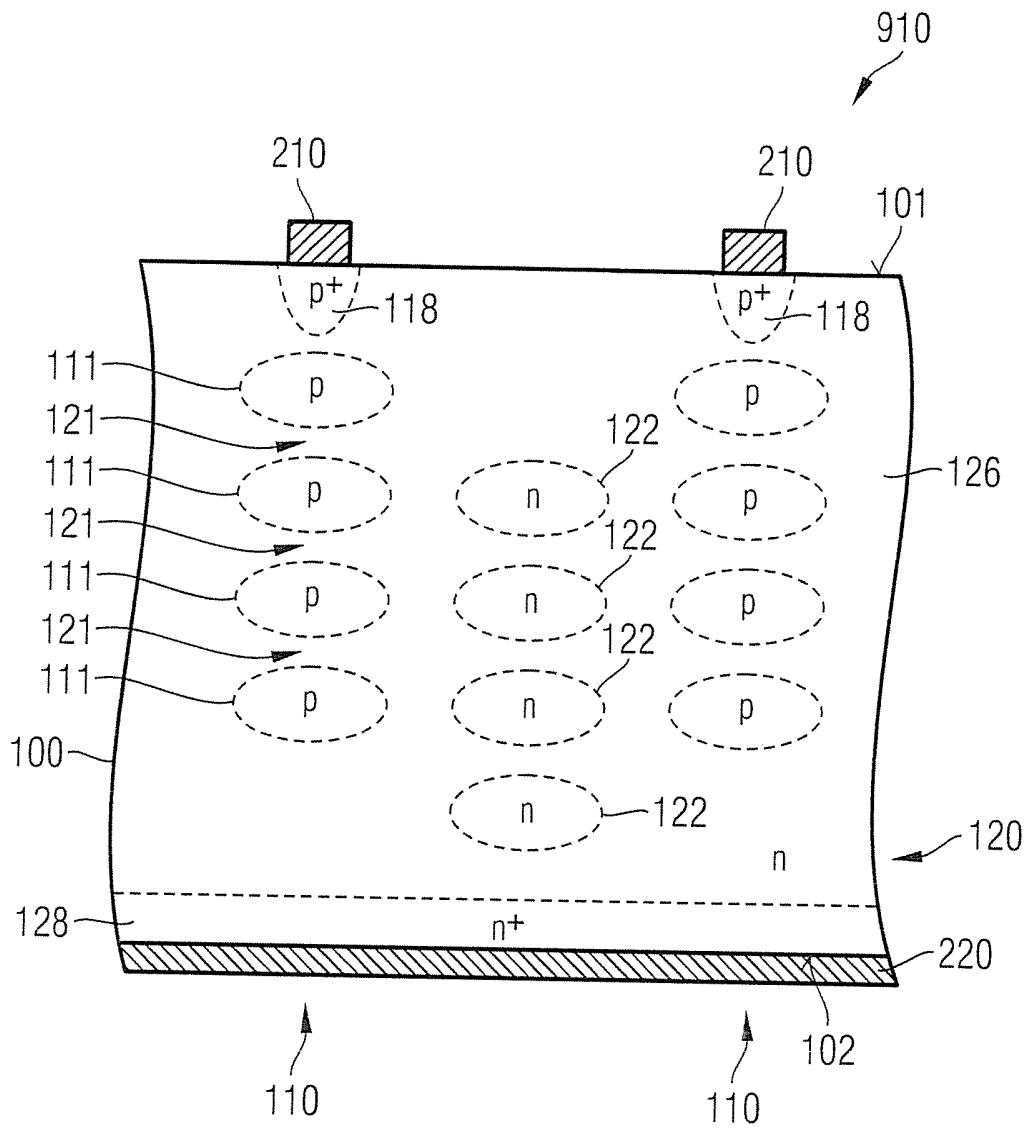


FIG 4B

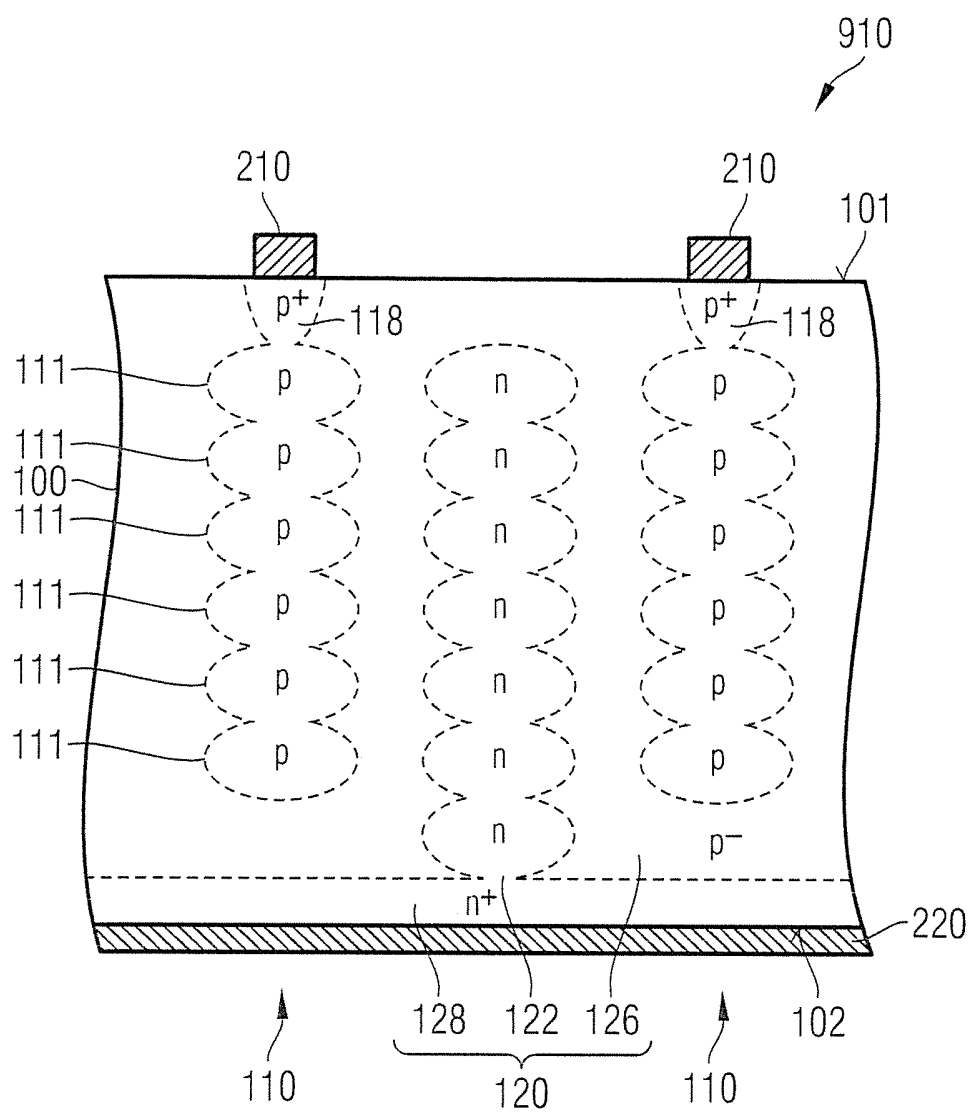


FIG 4C

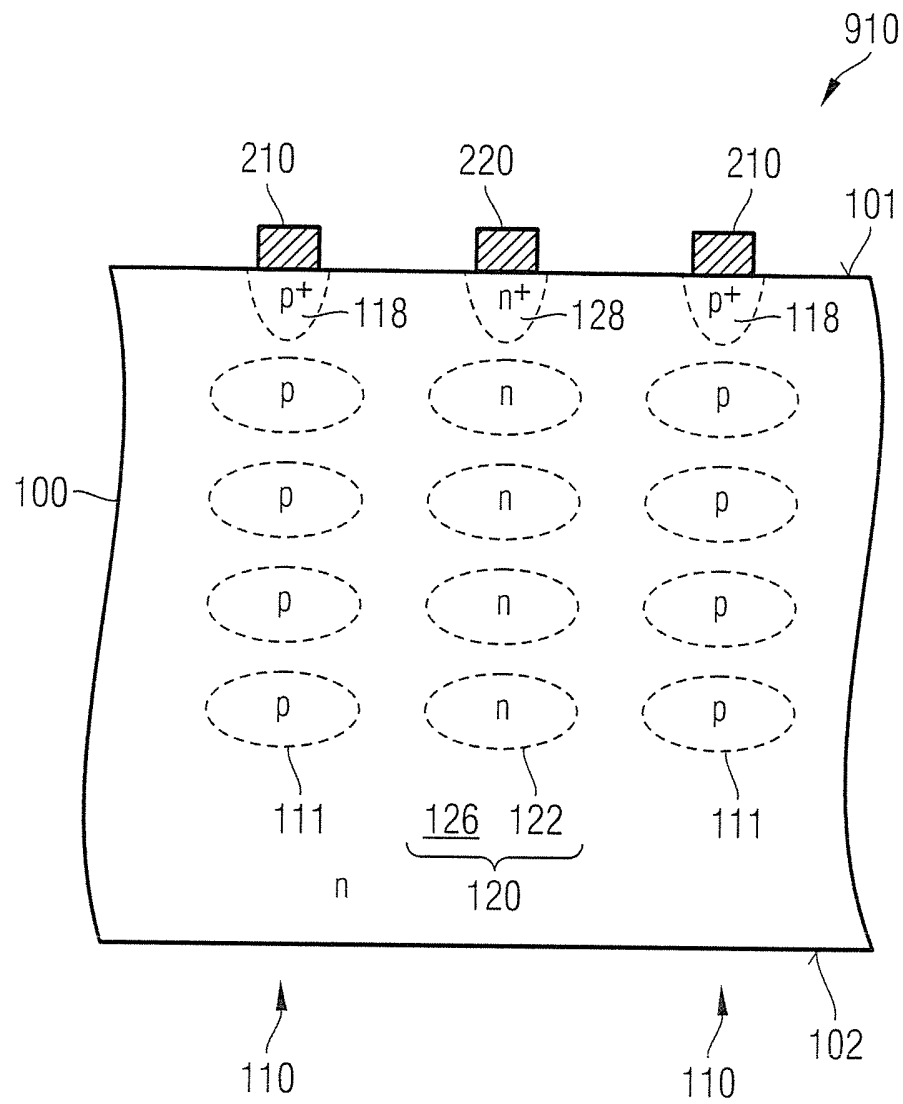


FIG 5A

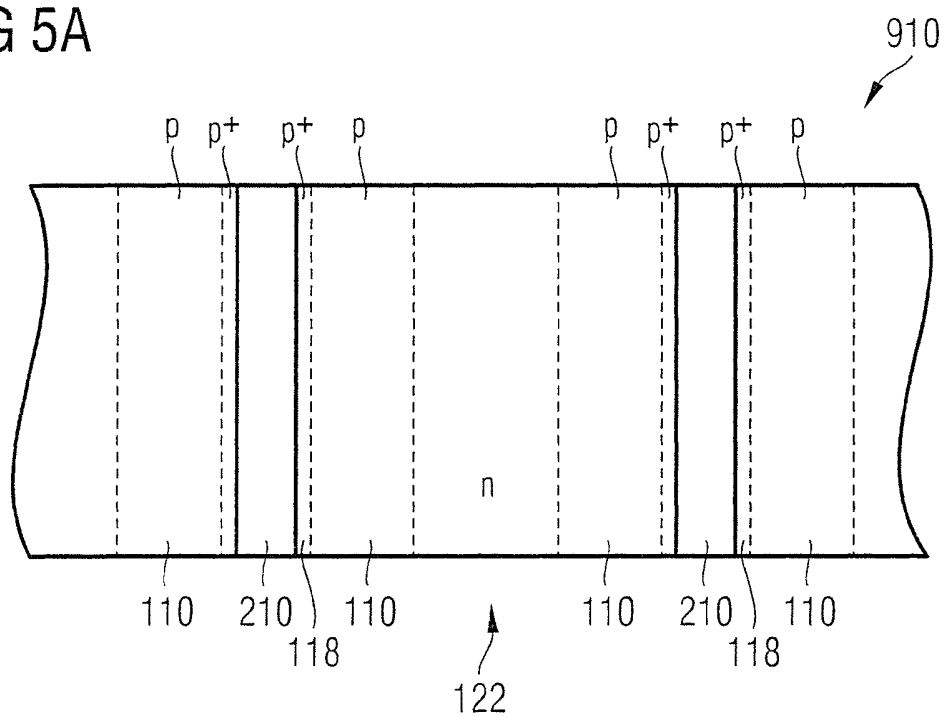


FIG 5B

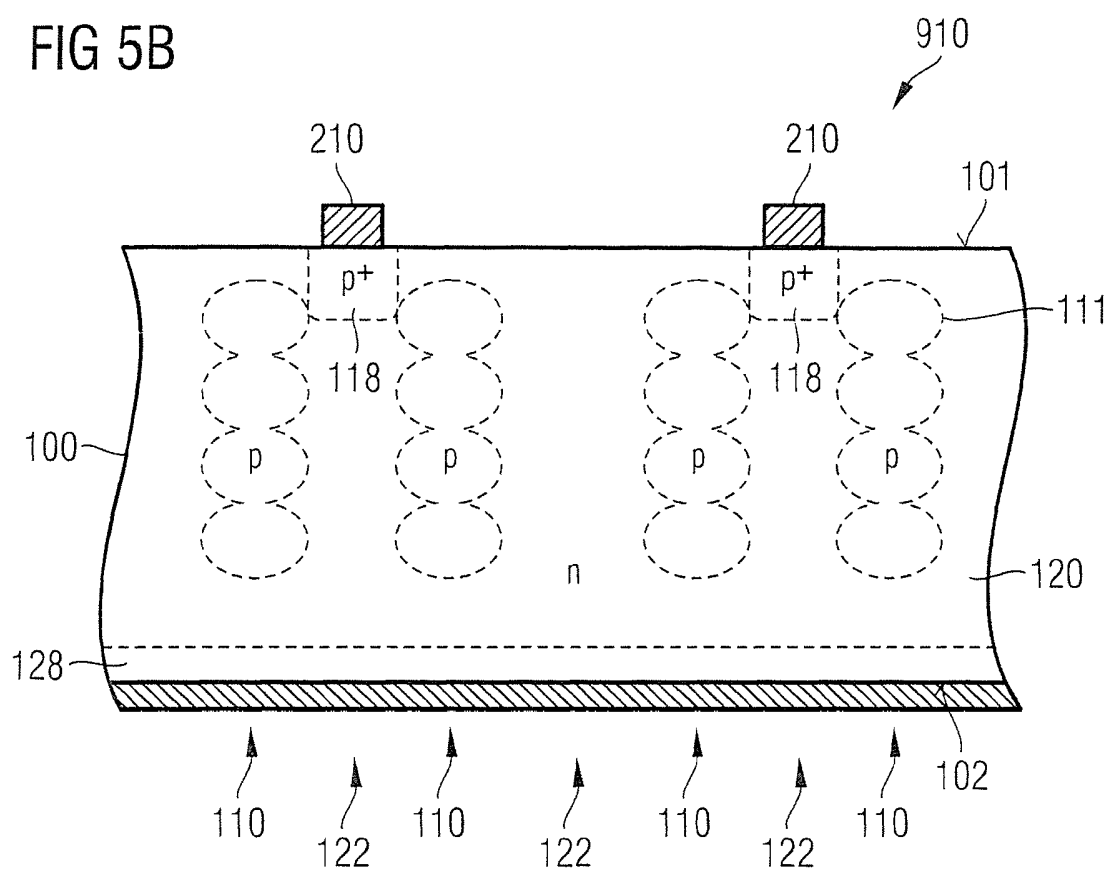


FIG 6

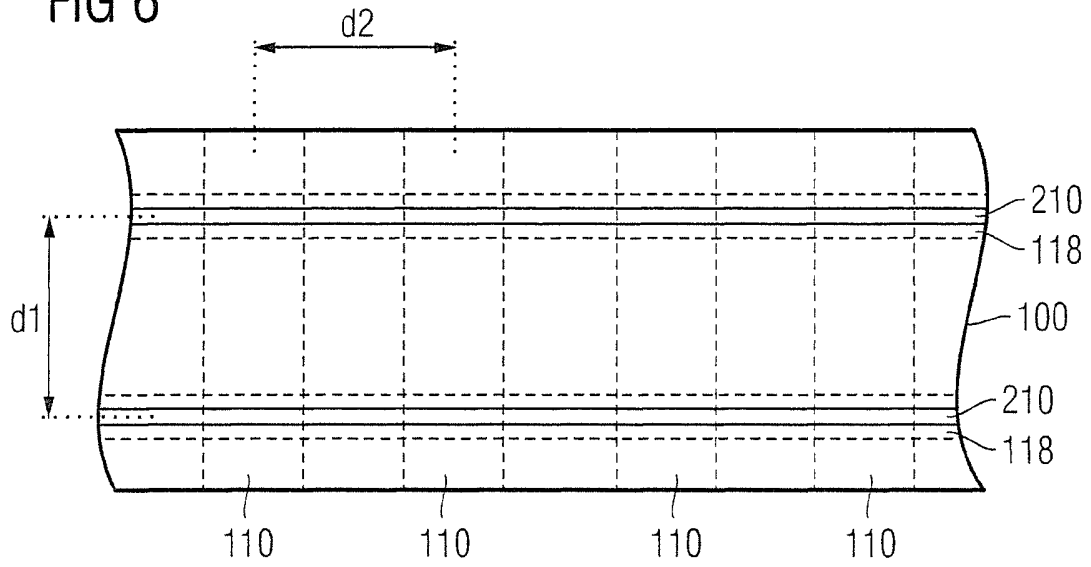


FIG 7A

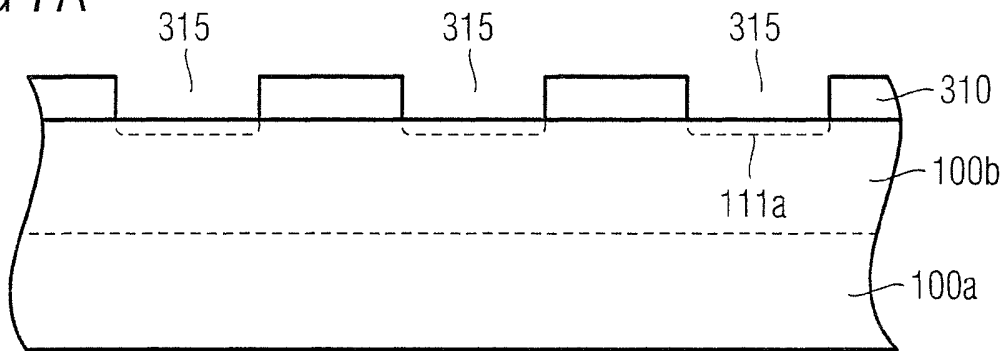


FIG 7B

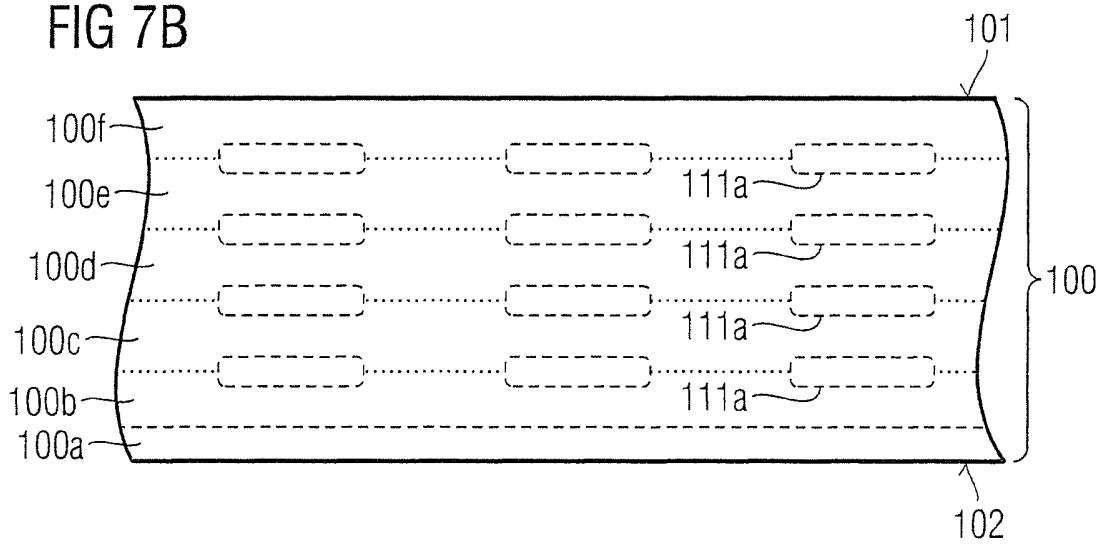


FIG 7C

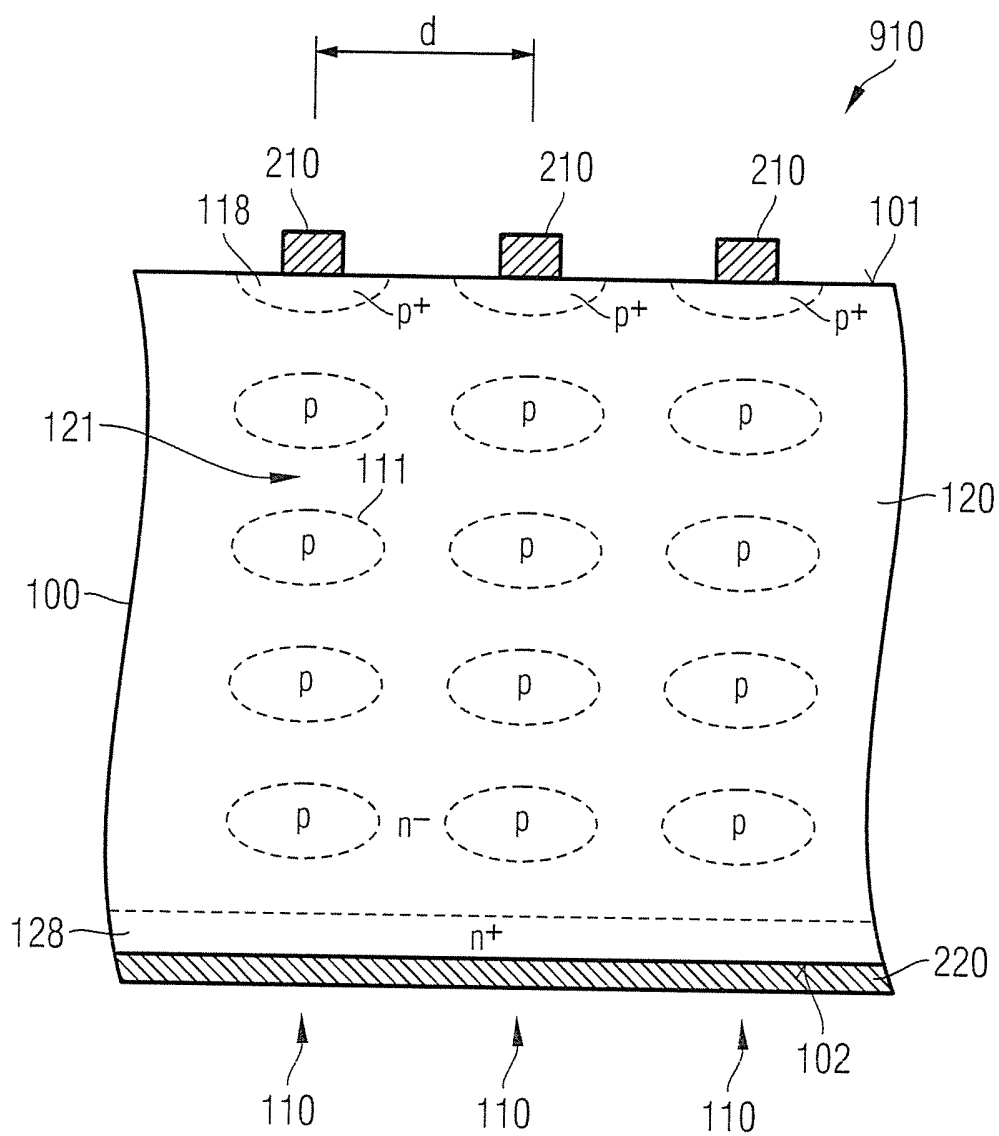


FIG 8A

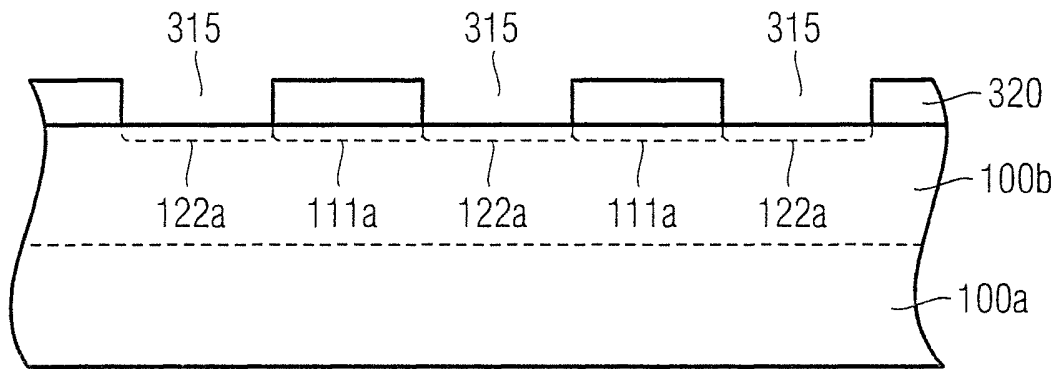


FIG 8B

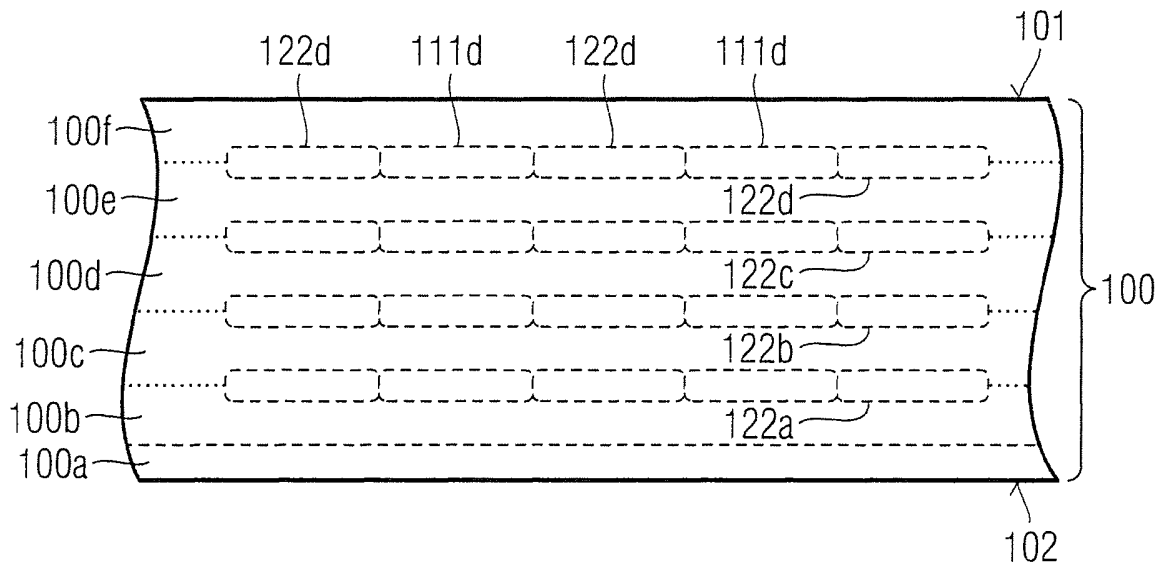


FIG 8C

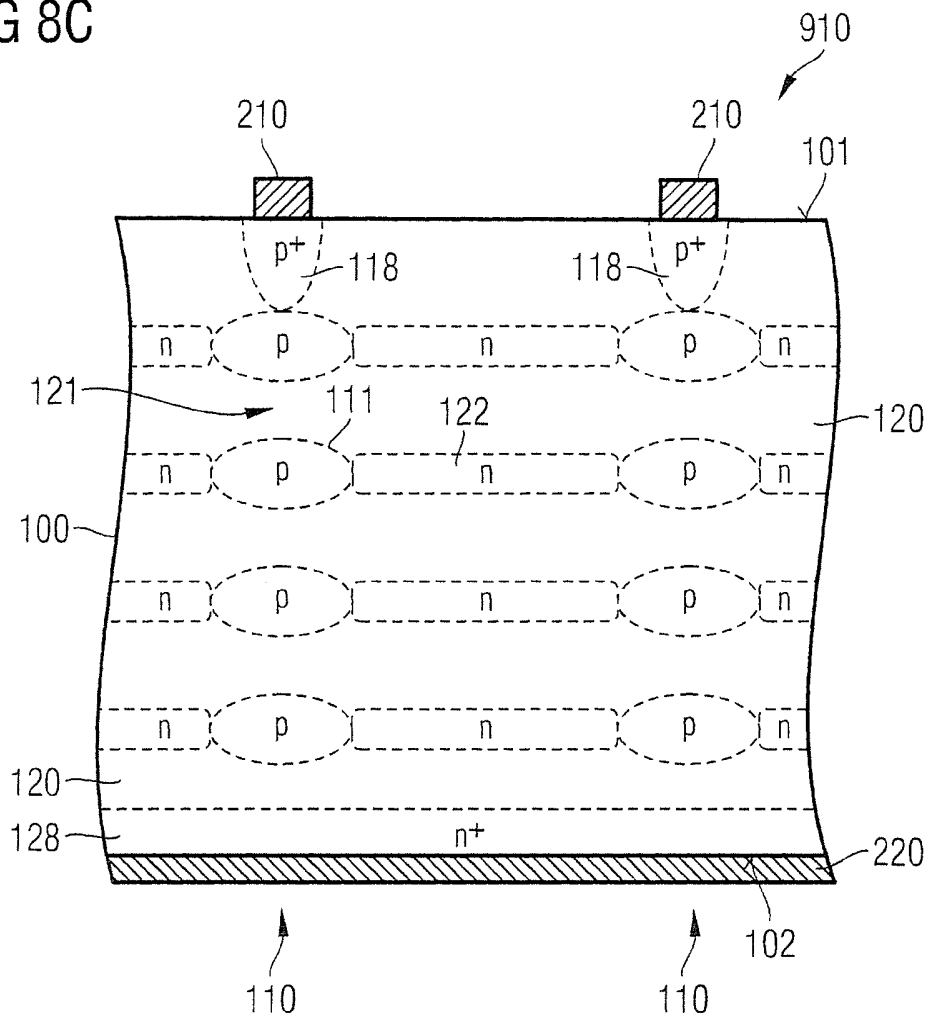


FIG 9

