

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
28. Februar 2002 (28.02.2002)

PCT

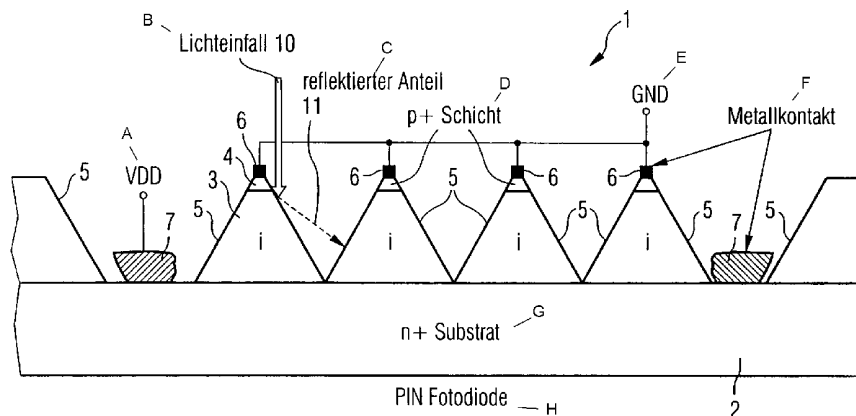
(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 02/17404 A1

- (51) Internationale Patentklassifikation⁷: **H01L 31/0236**, 31/0352 (72) **Erfinder; und**
(75) **Erfinder/Anmelder (nur für US): BENEDIX, Alexander** [DE/DE]; Helmut-Kaeutner-Strasse 15, 81739 München (DE). **KLEHN, Bernd** [DE/DE]; Maikammerer Strasse 17, 81539 München (DE).
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP01/08448
- (22) Internationales Anmeldedatum: 21. Juli 2001 (21.07.2001) (74) **Anwälte: WILHELM, Jürgen** usw.; Patentanwaltskanzlei, Wilhelm & Beck, Nymphenburger Strasse 139, 80636 München (DE).
- (25) Einreichungssprache: Deutsch
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch (81) **Bestimmungsstaaten (national):** JP, KR, US.
- (30) Angaben zur Priorität: 100 40 459.6 18. August 2000 (18.08.2000) DE (84) **Bestimmungsstaaten (regional):** europäisches Patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, TR).
- (71) **Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): INFINEON TECHNOLOGIES AG** [DE/DE]; St.-Martin-Strasse 53, 81669 München (DE). **Veröffentlicht:**
— mit internationalem Recherchenbericht

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) **Title:** PIN PHOTODIODE IN A VERTICALLY STRUCTURED SERIES OF LAYERS, AND METHOD FOR PRODUCING A PIN DIODE

(54) **Bezeichnung:** PIN-FOTODIODE IN EINER VERTIKAL STRUKTURIERTEN SCHICHTENFOLGE UND VERFAHREN ZUR HERSTELLUNG EINER PIN-DIODE



A ... VDD

E ... GND

B ... INCIDENCE OF LIGHT

F ... METAL CONTACT

C ... REFLECTED PORTION

G ... n+ SUBSTRATE

D ... p+ LAYER

H ... PIN PHOTODIODE

(57) **Abstract:** The invention relates to a PIN photodiode comprising a series of layers consisting of a first layer having a first type of conductivity, of an intrinsic layer, and of a second layer having a second type of conductivity. At least the intrinsic layer of the series of layers comprises a vertical structuring against whose lateral walls light can strike. The method for producing this PIN photodiode provides that a vertical structuring is effected on the series of layers in order to form lateral walls, whereby the intrinsic layer is exposed to permit light to strike the same.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 02/17404 A1



Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft eine PIN-Fotodiode mit einer Schichtenfolge mit einer ersten Schicht eines ersten Leitfähigkeitstyps, einer intrinsischen Schicht und einer zweiten Schicht eines zweiten Leitfähigkeitstyps. Zumindest die intrinsische Schicht der Schichtenfolge weist eine vertikale Strukturierung auf, auf deren Seitenwände Licht einfallen kann. Das Verfahren zum Herstellen dieser PIN-Fotodiode sieht vor, dass auf die Schichtenfolge eine vertikale Strukturierung durchgeführt wird, so dass Seitenwände gebildet werden, wobei die intrinsische Schicht freigelegt wird, so dass Licht auf die intrinsische Schicht einfallen kann.

Beschreibung

PIN-Fotodiode in einer vertikal strukturierten Schichtenfolge und Verfahren zur Herstellung einer PIN-Diode.

5

Die Erfindung betrifft eine PIN-Fotodiode und ein Verfahren zu deren Herstellung.

10

PIN-Fotodioden basieren üblicherweise auf vertikal eingeordneten PIN-Strukturen. Dabei wird die Raumladungszone, in der bei Photoneneinstrahlung Ladungsträgerpaare erzeugt werden, vergrößert, indem eine intrinsische hochohmige Schicht zwischen eine p- und eine n-Schicht eingebracht wird. Die Bestrahlung der intrinsischen Schicht, in der die Ladungsträgerpaare hauptsächlich erzeugt werden, erfolgt von der Oberfläche des Schichtenaufbaus. Da sich auf dieser Oberfläche Strukturen befinden, die eine vollständige oder teilweise Abschattung bewirken, wird nur ein Teil der Photoneinstrahlung in Ladungsträgerpaare umgewandelt, so dass der spektrale Wirkungsgrad der Fotodiode vermindert ist.

20

Es ist Aufgabe der Erfindung, eine PIN-Fotodiode zur Verfügung zu stellen, die sehr effektiv ist und einfach aufgebaut werden kann.

25

Diese Aufgabe wird durch die PIN-Fotodiode gemäß Anspruch 1 sowie das Herstellungsverfahren nach Anspruch 7 gelöst. Erfindungsgemäße Weiterbildungen sind in den abhängigen Ansprüchen angegeben.

30

Die erfindungsgemäße PIN-Fotodiode weist eine Schichtenfolge aus Halbleitermaterial auf. Diese Schichtenfolge weist eine erste Schicht eines ersten Leitfähigkeitstyps, eine intrinsische Schicht und eine zweite Schicht eines zweiten Leitfähigkeitstyps auf. Die Schichtenfolge ist wenigstens teilweise mit einer vertikalen Strukturierung versehen, d.h. die Oberfläche der Schichtenfolge ist mit geometrischen Formen,

35

z.B. Gräben, versehen, die ganz oder teilweise durch die Schichten der Schichtenfolge hindurchreichen. Durch die vertikale Strukturierung wird die intrinsische Schicht wenigstens abschnittsweise freigelegt. Auf diese Weise ist es möglich, dass Photonen direkt auf die intrinsische Schicht treffen, in der sie Ladungsträgerpaare ausbilden. Dabei werden die Photonen nicht durch eine darüberliegende Schicht oder eine eventuell darauf aufgebrachte Kontaktierung abgeschirmt. Daraus folgt eine Verbesserung des Verhältnisses von Kontaktabschattungsfläche zu Einstrahlfläche.

Vorzugsweise verläuft die vertikale Strukturierung schräg zur Schichtenfolge, so dass die Kontaktabschattungsfläche auf der ersten Schicht bezüglich der freigelegten Abschnitte der intrinsischen Schicht klein wird. Ein weiterer Vorteil ist, dass durch gegenüberliegende, schräg ausgerichtete Seitenwände ein reflektierter Anteil von eingestrahlttem Licht auf die gegenüberliegende, schräg verlaufende Seitenwand eingestrahlt wird. Dadurch wird der Wirkungsgrad der Fotodiode weiter erhöht, da der Anteil von in die Umgebung reflektiertem Licht vermindert wird.

Es kann weiterhin vorgesehen sein, dass die Schichtenfolge eine im wesentlichen pyramidenförmige bzw. kegelförmige Struktur aufweist. Dies hat den Vorteil, dass die erste Schicht, die sich an der Spitze der pyramidenförmigen bzw. kegelförmigen Struktur befindet, klein gegenüber den freigelegten Bereiche der intrinsischen Schicht ist, wodurch die Abschattung durch diese Struktur gering ist. Weiterhin hat diese Struktur den Vorteil, dass einfallendes Licht, das an einer Seitenwand reflektiert wird, unter einem anderen Winkel auf die gegenüberliegende Seitenwand einfällt, in der es dann absorbiert wird.

In einer bevorzugten Ausführungsform wird die unterste Schicht in einem Siliziumsubstrat gebildet, auf dem dann die

intrinsische Schicht und eine weitere dotierte Schicht eines anderen Leitfähigkeitstyps aufgebracht wird.

Erfindungsgemäß wird dann eine PIN-Fotodiode so hergestellt,
5 dass eine vertikale Strukturierung vorgenommen wird, wodurch
zumindest die intrinsische Schicht teilweise freigelegt wird.
Dabei umfassen die vertikalen Strukturen vorzugsweise die
erste und die intrinsische Schicht und lassen die zweite
Schicht vorzugsweise unberührt. Dadurch ist es möglich, eine
10 erfindungsgemäße PIN-Fotodiode, die effektiv ist, einfach
herzustellen.

Vorzugsweise werden die Seitenwände der vertikalen Strukturierungen schräg ausgeführt, so dass kegelförmige, pyramidenförmige- oder V-grabenförmige Strukturen in der Schichtenfolge entstehen. Dies erfolgt vorzugsweise durch einen selektiven anisotropen Ätzprozess, der z.B. verschiedene Ätzgeschwindigkeiten aufweist, die abhängig von der Kristallrichtung sind.

20 In einer bevorzugten Ausführungsform ist vorgesehen, dass die erste Schicht und die intrinsische Schicht auf einem (100)-Siliziumsubstrat hergestellt werden, wobei zum Ausbilden der vertikalen Strukturierung eine Ätzmaske in (110)-Richtung auf der Oberfläche der Schichtenfolge strukturiert wird. Beim anschließenden Ätzen mit einem anisotropen Ätzmittel, z.B. Kaliumhydroxid, entstehen Seitenwände mit einem Winkel von 54,7° zur (100)-Oberfläche. Dies hat den Vorteil, dass diese Struktur mit einem anisotropen Ätzverfahren hergestellt werden kann, dass sich an den Kristallrichtungen des Halbleitermaterials orientiert. Es gewährleistet weiterhin eine besonders einfache und leicht zu beherrschende Herstellung des abgeschrägten Bereichs der Schichtenfolge.

35 Gemäß einer weiteren Ausführungsform ist vorgesehen, dass die erste Schicht und/oder die intrinsische Schicht epitaktisch auf ein Substratmaterial aufgewachsen werden. Diese haben den

Vorteil, dass die so aufgewachsenen Schichten sehr exakt in ihrer Dicke und Qualität bestimmt werden können.

Die Erfindung wird dann anhand der beigefügten Zeichnungen
5 näher erläutert. Es zeigen:

- Fig.1 einen Querschnitt einer Ausführungsform der erfindungsgemäßen PIN-Fotodiode;
Fig.2 eine Aufsicht auf die Halbleiterstruktur entsprechend dem Fig.1 gezeigten Querschnitt;
10 Fig.3 einen Herstellungsprozess für die in Fig. 1 gezeigte PIN-Fotodiode, wobei Fig. 3a, 3b und 3c Querschnitte durch die Halbleiterstruktur gemäß der Erfindung nach verschiedenen Prozessschritten wiedergeben.
15

Die in den Figuren gezeigten Halbleiterstrukturen sind nicht maßstäblich.

- 20 Als Halbleitermaterial für die in der Zeichnung gezeigten erfindungsgemäßen PIN-Fotodiode dient vorzugsweise Silizium. Sie wird dabei vorzugsweise mit Hilfe der Standard-Planartechnik gefertigt, bei der eine Abfolge von jeweils ganzflächig an der Scheibenoberfläche wirkenden Einzelprozesse
25 durchgeführt wird, die über geeignete Maskierungsschichten gezielt zur lokaler Veränderung des Halbleitermaterials führen.

- Die in Fig.1 gezeigte PIN-Fotodiode 1 ist auf einer Oberfläche eines n-dotierten Siliziumsubstrats 2 ausgebildet. Die
30 Dotierungskonzentration des Siliziumsubstrats 2 ist hoch und liegt vorzugsweise zwischen etwa 10^{18} bis 10^{21} cm^{-3} . Auf dem Substrat 2 ist eine Schicht 3 aus intrinsischem Silizium, d.h. Silizium ohne Dotierung, aufgebracht, auf der sich eine
35 Schicht aus hochdotiertem p^+ -Silizium befindet. Die intrinsische Schicht 3 und die p^+ -dotierte-Schicht 4 sind mit einer vertikalen Strukturierung versehen, wodurch Seitenwände 5

gebildet werden. Die Seitenwände 5 verlaufen schräg zur Schichtenfolge. Die p^+ -Siliziumschicht weist weiterhin eine Kontaktierung 6 auf, die beim Betrieb der PIN-Fotodiode mit Masse GND oder einer niedrigen Spannung verbunden ist. Die

5 Dicke der intrinsischen Schicht 3 und der p^+ -Siliziumschicht 4 ist vorzugsweise so gewählt, dass einerseits die vertikale Strukturierung sich nahezu durch die gesamte intrinsische Schicht 3 bis zur Grenzlinie zwischen intrinsische Schicht 3 und dem Substrat 2 erstreckt und dass andererseits eine aus-

10 reichend große Dachfläche der so entstandenen pyramidenförmigen Strukturen verbleibt, um die p^+ -Siliziumschicht 4 sicher zu kontaktieren. Es ist weiterhin vorgesehen, dass zwischen bestimmten Bereichen von einer oder mehreren pyramidenförmigen Strukturen Metallkontakte 7 auf dem n^+ -Silizium-

15 substrat 2 vorgesehen sind. Dazu sind zwischen den pyramidenförmigen Strukturen in einem bestimmten Bereich die intrinsische Schicht 3 und p^+ -Silizium-Schicht 4 entfernt, so dass das n^+ -Substrat 2 freigelegt ist, in dem dann die Metallkontakte 7 zur Kontaktierung des n^+ -Substrats 2 aufgebracht werden. Über die Metallkontakte 7 wird die PIN-Fotodiode mit Vdd

20 oder einer hohen Spannung verbunden.

Fällt nun ein Lichtstrahl 10 auf einen freigelegten intrinsischen Bereich auf einer Seitenwand 5, so erzeugt der absor-

25 bierte Anteil Ladungsträgerpaare, die durch die Raumladungszonen von n^+ -Schicht und p^+ -Schicht getrennt werden und die somit einen Stromfluss durch die PIN-Fotodiode 1 ermöglichen. Ein Teil 11 des Lichtstrahls wird reflektiert. Der reflektierte Anteil 11 des Lichtstrahls 10 wird aufgrund des Ein-

30 fallwinkels von der abgeschrägten Fläche auf die gegenüberliegende abgeschrägte Fläche einer gegenüberliegenden Seitenwand 5 gelenkt. Dort fällt dieser reflektierte Lichtanteil 11 unter einem zumeist geringeren (zur Flächennormalen) Winkel ein und wird größtenteils unter Erzeugung von Ladungsträger-

35 paaren dort absorbiert. Durch diese Struktur wird erreicht, dass ein Lichtstrahl zu fast 100% im intrinsischen Gebiet absorbiert wird.

Die Wahl der Schichtdicke der intrinsischen Schicht bietet die Möglichkeit, einen optimalen Kompromiss aus spektraler Empfindlichkeit und Geschwindigkeit der PIN-Fotodiode 1 zu bestimmen, indem die effektive Einstrahlfläche erhöht wird, d.h. das Verhältnis der Kontaktabschattungsfläche der Kontaktierung der p^+ -Silizium-Schicht zur Gesamteinstrahlfläche wird verbessert. Weiterhin wird die Reflektion des eingestrahnten Lichtes stark vermindert, da ein großer Anteil des reflektierten Lichtes in gegenüberliegende schräge Seitenwände eingestrahlt wird.

Die pyramidenförmige Struktur der intrinsischen Schicht und der P-Silizium-Schicht hat vorzugsweise ein rechteckigen, besonders bevorzugt einen quadratischen Grundriss, kann aber auch andere Grundrisse, wie z.B. runde, aufweisen. Durch einen Feldaufbau aus pyramidenförmigen Strukturen, d.h. die Pyramiden werden z.B. nebeneinander angeordnet, können die elektrischen Parameter der PIN-Fotodiode 1 durch parallel und/oder seriell Verschalten der Kontaktierungen der p^+ -Silizium-Schicht festgelegt werden. In Fig.2 ist beispielsweise eine solche Feldanordnung von in Form eines Schachbrettmusters nebeneinanderliegenden pyramidenförmigen Strukturen gezeigt. Die Kontaktierung der n^+ -Substrat-Schicht wird vorzugsweise neben einer solchen Feldanordnung durchgeführt, indem ebene Bereiche vorgesehen werden, in denen die Substratschicht freigelegt ist. Die verbliebenen Inseln der p^+ -Schicht werden in der gezeigten Ausführungsform über Längsleitungen 13 miteinander verbunden.

Fig.3a bis 3c zeigen ein mögliches Herstellungsverfahren für die in Fig.1 dargestellte PIN-Fotodiode 1. Auf der Oberfläche eines n^+ -dotierten Siliziumssubstrats 2 wird eine Schichtenfolge gebildet, die aus einer intrinsischen Silizium-Schicht 3 und einer p^+ -dotierten Silizium-Schicht 4 besteht. Vorzugsweise erfolgt die Herstellung der Schichtenstruktur durch epitaktisches Aufwachsen z.B. unter Verwendung von $Si_2H_2Cl_2$,

P_2H_6 und AsH_3 enthaltenen Prozessgasen im Temperaturbereich von 800°C bis 1000°C und im Druckbereich von 500 Pa bis 2000 Pa. Die Siliziumschichten werden dabei so aufgewachsen, dass eine (100)-Oberfläche entsteht. Ein Querschnitt durch die gesamte Schichtenfolge ist in Fig.3a gezeigt.

In einem nächsten Prozessschritt wird die aufgebrachte Schichtenfolge durch anisotropes Ätzen unter Verwendung einer fotolithographisch gebildeten Maske strukturiert. Hierzu wird in einem ersten Schritt eine Ätzmaske erzeugt. Diese Ätzmaske kann z.B. aus Siliziumdioxid bestehen, das ganzflächig auf der Scheibenoberfläche abgeschieden und anschließend über ein Fotolithographie-Prozess strukturiert wird. Beim Fotolithographie-Prozess wird eine Fotolackschicht auf der Ätzmaskenschicht abgeschieden, die dann über eine Maske belichtet wird, um quadratische Bereiche mit einer Breite von z.B. 100 nm festzulegen. Alternativ kann die Fotolackschicht auch direkt, z.B. mit einem Elektronenstrahl, beschrieben werden. Anschließend wird der Fotolack entwickelt und gehärtet und dann mittels eines ersten Ätzvorgangs die Ätzmaske strukturiert, so dass entsprechend den belichteten Strukturen quadratische Bereiche auf der Schichtenoberfläche zurückbleiben. Anschließend wird dann die Fotolackschicht wieder vollständig entfernt. Ein Querschnitt durch die Scheibenstrukturen nach diesem Prozessschritt ist im Fig. 3b gezeigt. Es verbleibt die Maskierungsschicht 12 aus Siliziumoxid auf der Schichtenfolge.

Nach dem Erstellen der Ätzmaske wird über ein weiteren anisotropen Ätzschritt die Pyramiden-Struktur der PIN-Fotodiode geätzt. Eine solche anisotrope Ätzung ergibt sich aus der Tatsache, dass aufgrund des kristallinen Aufbaus des Siliziums (100)- und (110)-Kristallebenen deutlich schneller abgetragen werden, als die (111)-Ebene. Für die anisotropische Siliziumätzung eignen sich z.B. Alkalilaugen wie KOH, NaOH oder LiOH oder auch eine sogenannte EDP-Lösung. Es lassen sich jedoch auch trocken-chemische Ätzverfahren, z.B. ein

reaktives Ionenätzen einsetzen, wobei die Ätzgasmischung, z.B. BCl_3 , Cl_2 , HBr und/oder HCl enthalten kann.

Durch den Ätzprozess entsteht eine pyramidenförmige Struktur der Schichtenfolge aus intrinsischer Schicht und p^+ -Silizium-Schicht 4, wie in Fig. 3c und in der Aufsicht der Fig. 2 gezeigt ist, die vorzugsweise etwa auf Höhe des Übergangs zwischen n^+ -Substrat 2 und intrinsischer Schicht 3 ihre Basis hat. Die anisotrope Ätzung der Schichtenfolge sorgt dabei für ein definierten Winkel zur (110)-Oberfläche des n^+ -dotierten Siliziumssubstrat 2 von $54,7^\circ$. Selbstverständlich ist es möglich, dass die pyramidenförmige Struktur ihre Basis auch in der intrinsischen Schicht bzw. in der n^+ -Schicht haben kann, ohne die Funktion der PIN-Diode einzuschränken.

Das vorgestellte Verfahren zum Ausbilden der Schichtenfolge der PIN-Fotodiode 1 ermöglicht es, Strukturen in verschiedenen Größenbereichen, z.B. auch im Sub-100 nm Bereich, auszubilden. Vorteilhaft ist hier insbesondere die leichte Anwendbarkeit und Beherrschbarkeit des anisotropen Ätzprozesses, mit dem sich auf einfache Weise die abgeschrägte Fläche der intrinsischen Schicht 3 herstellen lässt. Der Einsatz epitaktischer Verfahren zum Schichtenaufbau sorgt darüber hinaus für eine genau definierte Dicke der intrinsischen Schicht 3, da sich die Schichtdicke sehr genau einstellen lässt.

Es liegt weiterhin im Rahmen der Erfindung, über die oben genannte Ausführungsform hinaus die angegebenen Abmessungen, Konzentration, Materialien und Prozesse in geeigneter Weise zu modifizieren, um die erfindungsgemäße PIN-Fotodiode zu erzeugen. Insbesondere ist es dabei möglich, den Leitfähigkeitstyp der dotierten Gebiete in der PIN-Struktur komplementär auszuführen. Darüber hinaus können die angegebenen Materialien zur Ausbildung der verschiedenen Schichten durch andere, in diesem Zusammenhang bekannte Materialien ersetzt werden. Außerdem können in geeigneter Weise die vorgestellten Her-

stellungsprozesse abgeändert werden, ohne den Bereich der Erfindung zu verlassen.

Die in der vorstehenden Beschreibung, den Zeichnungen und den
5 Ansprüchen offenbarten Merkmale der Erfindung können sowohl
einzeln als auch in beliebiger Kombination für die Verwirk-
lichung der Erfindung in ihren verschiedenen Ausgestaltungen
von Bedeutung sein.

10

Patentansprüche

1. PIN-Fotodiode aufweisend eine Schichtenfolge mit einer ersten Schicht (2) eines ersten Leitfähigkeitstyps, einer
5 intrinsischen Schicht (3) und einer zweiten Schicht (4) eines zweiten Leitfähigkeitstyps,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t,
dass zumindest die intrinsische Schicht (3) der Schichten-
folge wenigstens teilweise eine vertikale Strukturierung (5)
10 aufweist, auf die Licht einfallen kann.
2. PIN-Fotodiode nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet,
dass die vertikale Strukturierung (5) der intrinsischen
Schicht schräg zur Schichtenfolge verläuft.
- 15 3. PIN-Fotodiode nach einem der Ansprüche 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass wenigstens die intrinsische Schicht (3) und die zweite Schicht eine im wesentlichen pyramidenförmige oder kegelförmige Struktur aufweist.
- 20 4. PIN-Fotodiode nach einem der Ansprüche 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die erste Schicht (2) der Schichtenfolge in einem Siliziumsubstrat (2) ausgebildet ist.
- 25 5. PIN-Fotodiode nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die zweite Schicht (4) und die intrinsische Schicht (3) auf einer (100)-Oberfläche des Substrates (2) ausgebildet sind, wobei die Seitenwände (5) der vertikalen Strukturierung in (111)-Richtung verlaufen und
30 einen Winkel von $54,7^\circ$ zur (100)-Oberfläche des Substrats (2) aufweisen.
6. PIN-Fotodiode nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die zweite Schicht (4) eine
35 ebene Oberfläche zur Kontaktierung (6) aufweist.

7. Fotodiodenarray mit PIN-Fotodioden nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die PIN-Fotodioden aneinandergrenzend vorzugsweise schachbrettartig angeordnet sind, wobei die erste Schicht (2) der PIN-Fotodioden als gemeinsame Schicht ausgebildet ist.

8. Verfahren zum Herstellen einer PIN-Fotodiode mit einer Schichtenfolge aus Halbleitermaterial, die eine erste Schicht (2) eines ersten Leitfähigkeitstyp, eine intrinsische Schicht (3) und eine zweite Schicht (4) eines zweiten Leitfähigkeitstyp aufweist,
dadurch gekennzeichnet,
dass die intrinsische Schicht (3) durch eine vertikale Strukturierung wenigstens teilweise freigelegt wird, so dass Licht auf die intrinsische Schicht (3) einfallen kann.

9. Verfahren nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass die vertikale Strukturierung der intrinsischen Schicht (3) schräg verläuft.

10. Verfahren nach Anspruch 8 oder 9, dadurch gekennzeichnet, dass die intrinsische Schicht (3) und die zweite Schicht (4) im wesentlichen pyramidenförmig bzw. kegelförmig strukturiert werden.

11. Verfahren nach einem der Ansprüche 8 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass die vertikale Strukturierung der Schichtenfolge mit Hilfe eines selektiven anisotropen Ätzprozess ausgeführt wird.

12. Verfahren nach einem der Ansprüche 8 bis 11, dadurch gekennzeichnet, dass mit einem anisotropen Ätzverfahren kegelförmige, pyramidenförmige und/oder V-grabenförmige Strukturen auf der Oberfläche der Schichtenfolge hergestellt werden.

13. Verfahren nach einem der Ansprüche 8 bis 12, dadurch gekennzeichnet, dass die zweite Schicht (4) und die intrinsische Schicht (3) auf einem (100)-Siliziumsubstrat (2) hergestellt werden, wobei zum Ausbilden der vertikalen Strukturierung eine Ätzmaske in (110)-Richtung auf der (100)-Oberfläche strukturiert wird und beim anschließenden Ätzen eine Seitenwand (5) mit einem Winkel von $54,7^\circ$ zur (100)-Oberfläche des Siliziumsubstrats (2) gebildet wird.
- 10 14. Verfahren nach einem der Ansprüche 8 bis 13, dadurch gekennzeichnet, dass die zweite Schicht (4) und/oder die intrinsische Schicht (3) epitaktisch aufgewachsen werden.
- 15 15. Verfahren nach einem der Ansprüche 8 bis 14, dadurch gekennzeichnet, dass auf einem Halbleitersubstrat ein Fotodiodenarray ausgebildet ist, wobei die erste Schicht (2) der PIN-Fotodioden als gemeinsame Schicht ausgebildet wird.

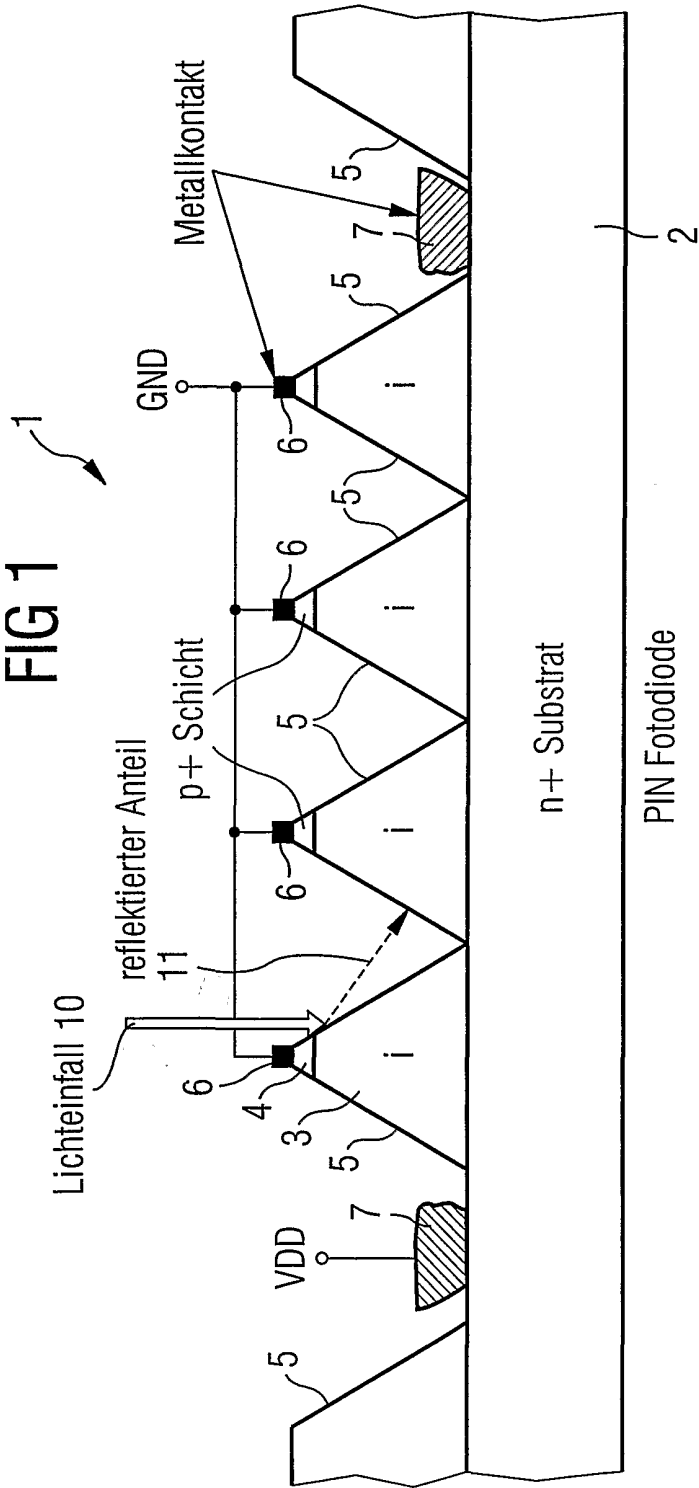


FIG 2

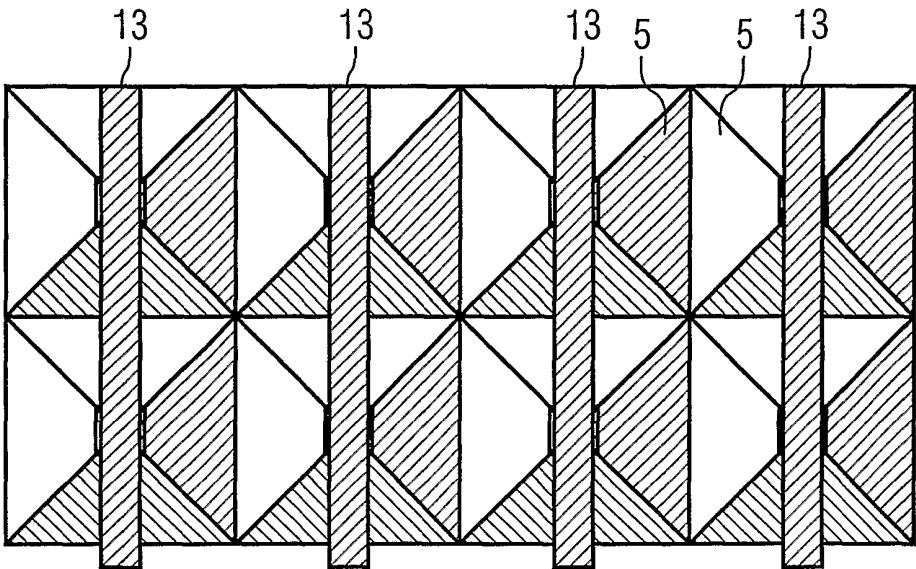


FIG 3a

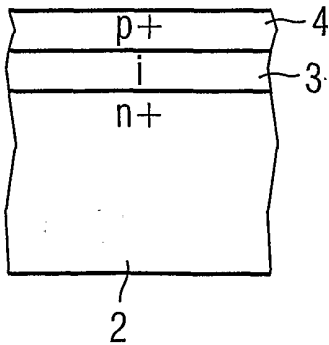


FIG 3b

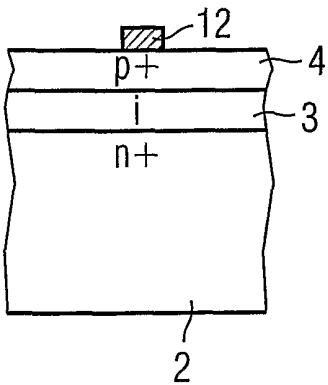
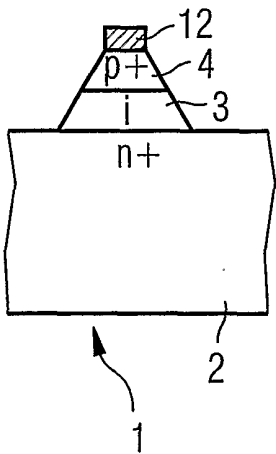


FIG 3c



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No
PCT/EP 01/08448

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
IPC 7 H01L31/0236 H01L31/0352

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
IPC 7 H01L

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data, PAJ

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 5 248 621 A (SANO MASAFUMI) 28 September 1993 (1993-09-28) claims 1,2,6; figures 1,2 ---	1-15
X	EP 0 831 536 A (CANON KK) 25 March 1998 (1998-03-25) figure 1A ---	1,2,4,6
X	US 4 644 091 A (HAYASHI YUTAKA ET AL) 17 February 1987 (1987-02-17) figure 2 ---	1
A	US 4 135 950 A (RITTNER EDMUND S) 23 January 1979 (1979-01-23) abstract; figure 2 --- -/--	

☒ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

° Special categories of cited documents:

- *A* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- *E* earlier document but published on or after the international filing date
- *L* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- *O* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- *P* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- *T* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- *X* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- *Y* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- * & * document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

26 November 2001

Date of mailing of the international search report

04/12/2001

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Werner, A

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

In tional Application No
PCT/EP 01/08448

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 3 150 999 A (GUNTHER RUDENBERG HERMANN ET AL) 29 September 1964 (1964-09-29) figures 1,2 -----	

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/EP 01/08448

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 5248621	A	28-09-1993	JP 2989055 B2 JP 4355970 A JP 11238893 A	13-12-1999 09-12-1992 31-08-1999
EP 0831536	A	25-03-1998	AU 730686 B2 AU 3833597 A EP 0831536 A2 JP 10150209 A US 6177711 B1	08-03-2001 26-03-1998 25-03-1998 02-06-1998 23-01-2001
US 4644091	A	17-02-1987	JP 1980768 C JP 6080837 B JP 60049679 A DE 3431603 A1 FR 2551267 A1 IT 1179083 B	17-10-1995 12-10-1994 18-03-1985 14-03-1985 01-03-1985 16-09-1987
US 4135950	A	23-01-1979	NONE	
US 3150999	A	29-09-1964	NONE	

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP 01/08448

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
IPK 7 H01L31/0236 H01L31/0352

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierte Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
IPK 7 H01L

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal, WPI Data, PAJ

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	US 5 248 621 A (SANO MASAFUMI) 28. September 1993 (1993-09-28) Ansprüche 1,2,6; Abbildungen 1,2 ---	1-15
X	EP 0 831 536 A (CANON KK) 25. März 1998 (1998-03-25) Abbildung 1A ---	1,2,4,6
X	US 4 644 091 A (HAYASHI YUTAKA ET AL) 17. Februar 1987 (1987-02-17) Abbildung 2 ---	1
A	US 4 135 950 A (RITTNER EDMUND S) 23. Januar 1979 (1979-01-23) Zusammenfassung; Abbildung 2 --- -/--	



Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen



Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

A Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

E älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

L Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

O Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

P Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

T Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

X Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

Y Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

Z Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

26. November 2001

Absenddatum des internationalen Recherchenberichts

04/12/2001

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2260 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Werner, A

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCI/EP 01/08448

C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie°	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	US 3 150 999 A (GUNTHER RUDENBERG HERMANN ET AL) 29. September 1964 (1964-09-29) Abbildungen 1,2 -----	

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP 01/08448

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 5248621 A	28-09-1993	JP 2989055 B2	13-12-1999
		JP 4355970 A	09-12-1992
		JP 11238893 A	31-08-1999
EP 0831536 A	25-03-1998	AU 730686 B2	08-03-2001
		AU 3833597 A	26-03-1998
		EP 0831536 A2	25-03-1998
		JP 10150209 A	02-06-1998
		US 6177711 B1	23-01-2001
US 4644091 A	17-02-1987	JP 1980768 C	17-10-1995
		JP 6080837 B	12-10-1994
		JP 60049679 A	18-03-1985
		DE 3431603 A1	14-03-1985
		FR 2551267 A1	01-03-1985
		IT 1179083 B	16-09-1987
US 4135950 A	23-01-1979	KEINE	
US 3150999 A	29-09-1964	KEINE	