

(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
8. Dezember 2016 (08.12.2016)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2016/193436 A1

- (51) Internationale Patentklassifikation:
H01L 31/101 (2006.01) *H01L 31/107* (2006.01)
G02B 6/12 (2006.01)
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2016/062661
- (22) Internationales Anmeldedatum:
3. Juni 2016 (03.06.2016)
- (25) Einreichungssprache: Deutsch
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch
- (30) Angaben zur Priorität:
10 2015 210 343.9 4. Juni 2015 (04.06.2015) DE
- (71) Anmelder: **FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT ZUR FÖRDERUNG DER ANGEWANDTEN FORSCHUNG E.V.** [DE/DE]; Hansastraße 27c, 80686 München (DE).
- (72) Erfinder: **RUNGE, Patrick**; Orber Straße 4a, 14193 Berlin (DE). **BECKERWERTH, Tobias**; Rochowstraße 8, 10245 Berlin (DE). **SEIFERT, Sten**; Piesporter Straße 25a, 13088 Berlin (DE).
- (74) Anwalt: **MAIKOWSKI & NINNEMANN PATENTANWÄLTE PARTNERSCHAFT MBB**; 15 09 20, Postfach 15 09 20, 10671 Berlin (DE).

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

- (54) Title: SEMICONDUCTOR PHOTODIODE
- (54) Bezeichnung : HALBLEITERFOTODIODE

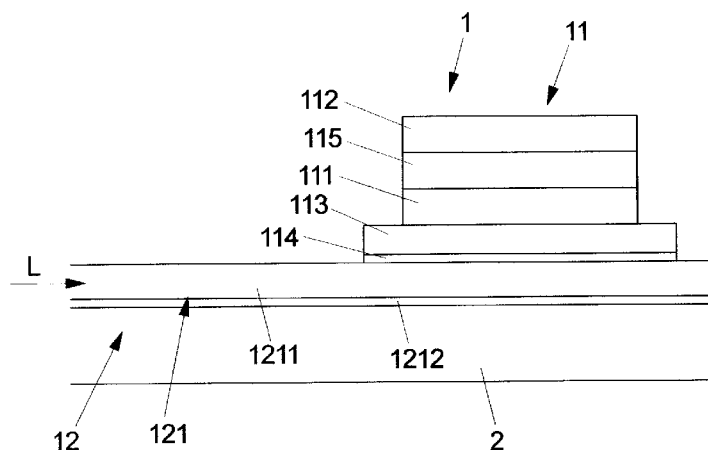


FIG. 1

(57) **Abstract:** The invention relates to a semiconductor photodiode comprising a light-absorbing layer (111); an optical waveguide (12) by means of which the light (L) can be coupled into said light-absorbing layer (111) in an evanescent manner; and a doped contact layer (113) arranged between said light-absorbing layer (111) and optical waveguide (12). According to the invention, the optical waveguide (12) is doped in at least some sections generating a diffusion barrier that counteracts diffusion of the dopant of the contact layer (113) into the optical waveguide (12). The invention also relates to a method for producing a semiconductor photodiode.

(57) **Zusammenfassung:** Die Erfindung betrifft eine Halbleiterfotodiode, mit einer lichtabsorbierenden Schicht (111); einem optischen Wellenleiter (12), über den Licht (L) evaneszent in die lichtabsorbierende Schicht (111) einkoppelbar ist, und einer zwischen der lichtabsorbierenden Schicht (111) und dem optischen Wellenleiter (12) angeordneten dotierten Kontaktschicht (113). Erfindungsgemäß weist der optische Wellenleiter (12) zumindest abschnittsweise eine Dotierung

auf, die eine einem Eindiffundieren von Dotierstoff der Kontaktschicht (113) in den optischen Wellenleiter (12) entgegenwirkende Diffusionsbarriere erzeugt. Die Erfindung betrifft auch ein Verfahren zum Herstellen einer Halbleiterfotodiode.



Veröffentlicht:

- *mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)*

5

10

Halbleiterfotodiode

15

20

Beschreibung

25

Die Erfindung betrifft eine Halbleiterfotodiode gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1 sowie ein Verfahren zum Herstellen einer Halbleiterfotodiode gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 16.

30

Aus dem Stand der Technik sind Halbleiterfotodioden bekannt, die etwa zum Empfang von optischen Datensignalen eingesetzt werden. Derartige Halbleiterfotodioden weisen insbesondere eine p-i-n-Diodenstruktur auf, in die Licht z.B. über einen integriert-optischen Wellenleiter eingekoppelt wird. Darüber hinaus sind Avalanche-Fotodioden (Lawinen-Fotodioden) bekannt, die neben einer intrinsischen Schicht (Absorberschicht) eine Multiplikatorschicht zum Verstärken der in der Absorberschicht erzeugten Ladungsträger aufweisen.

Eine derartige Lawinen-Fotodiode ist zum Beispiel in dem Artikel M. Nada et al., „Design and Performance of High-Speed Avalanche Photodiodes for 100-Gb/s Systems and Beyond“, IEEE J. Lightwave Technol. 33, 984 (2015) offenbart. Um ein Einkoppeln von Licht über den n-Kontakt und die Multiplikatorschicht zu vermeiden, ist der n-Kontakt oberhalb der Absorberschicht angeordnet, während sich der p-Kontakt unterhalb der Absorberschicht befindet. Derartige Diodenstrukturen können jedoch den Nachteil haben, dass ein Ausdiffundieren von Dotierstoff insbesondere der p-Kontaktschicht in angrenzende Schichten auftritt.

Das von der Erfindung zu lösende Problem besteht darin, eine möglichst zuverlässige und dennoch effiziente Halbleiterfotodiode zu schaffen.

Dieses Problem wird durch die Halbleiterfotodiode mit den Merkmalen des Anspruchs 1 sowie durch das Verfahren gemäß Anspruch 16 gelöst. Weiterbildungen der Erfindung sind in den abhängigen Ansprüchen angegeben.

Danach wird eine Halbleiterfotodiode bereitgestellt, mit

- einer lichtabsorbierenden Schicht;
- einem optischen Wellenleiter, über den Licht evaneszent in die lichtabsorbierende Schicht einkoppelbar ist;
- einer zwischen der lichtabsorbierenden Schicht und dem optischen Wellenleiter angeordneten dotierten Kontaktschicht,
- wobei der optische Wellenleiter zumindest abschnittsweise eine Dotierung aufweist, die einem Eindiffundieren von Dotierstoff der Kontaktschicht in den optischen Wellenleiter (und insbesondere auch einem Ausdiffundieren von Dotierstoff der Kontaktschicht aus der Kontaktschicht heraus) entgegenwirkende Diffusionsbarriere erzeugt.

Der optische Wellenleiter ist ein integrierter Wellenleiter, d.h. er ist durch mindestens eine auf einem Substrat angeordnete Halbleiterschicht in an sich bekannter Weise ausgebildet. Der Wellenleiter ist zudem so beschaffen und relativ zu der lichtabsorbierenden Schicht (der Absorberschicht) angeordnet, dass Licht aus dem Wellenleiter in die lichtabsorbierende Schicht per evaneszenter Kopplung überkoppeln kann.

Insbesondere erfolgt die evaneszente Kopplung über einen Abschnitt des Wellenleiters, der sich unterhalb der lichtabsorbierenden Schicht befindet. Somit breitet sich das aus dem Wellenleiter in die lichtabsorbierende Schicht überkoppelnde Licht insbesondere unter einem Winkel zum Wellenleiter (zum Beispiel zumindest näherungsweise senkrecht) bis in die lichtabsorbierende Schicht hinein aus und tritt zumindest teilweise durch die zwischen der lichtabsorbierenden Schicht und dem optischen Wellenleiter angeordnete dotierte Kontaktschicht hindurch.

Die Dotierung des optischen Wellenleiters sorgt für ein Blockieren einer Diffusion des Dotierstoffs der Kontaktschicht aus der Kontaktschicht heraus und in den optischen Wellenleiter hinein und wirkt so insbesondere einer Verschlechterung der elektrischen Eigenschaften der Fotodiode entgegen. Es kann somit eine möglichst hohe intrinsische Empfindlichkeit der Fotodiode erreicht werden, wodurch weniger Gain (elektrische Verstärkung) erforderlich ist, was wiederum zu weniger Rauschen und damit zu einer möglichen höheren HF-Bandbreite der Fotodiode führt.

Die Dotierung des optischen Wellenleiters beeinflusst jedoch nur in geringem Maße seine optischen Eigenschaften, so dass eine effiziente evaneszente Kopplung aus dem Wellenleiter hinaus in die lichtabsorbierende Schicht hinein trotz der Dotierung möglich ist. Beispielsweise kann die Erfindung die Realisierung einer Lawinen-Fotodiode ermöglichen, die einen Kopplungskoeffizienten für die Kopplung zwischen dem Wellenleiter und der lichtabsorbierenden Schicht aufweist, die mit demjenigen einer p-i-n-Fotodiode vergleichbar ist.

Die Dotierung des Wellenleiters erstreckt sich insbesondere zumindest in einem der lichtabsorbierenden Schicht zugewandten Bereich des Wellenleiters und zwar insbesondere entlang dessen Längsrichtung. Möglich ist, dass die Dotierung über die gesamte Länge des Wellenleiters vorhanden ist. Denkbar ist jedoch auch, dass sich die Dotierung nur über einen Teil der Wellenleiterlänge erstreckt; z.B. ist nur der Bereich des Wellenleiters mit der Dotierung versehen, der sich unterhalb der lichtabsorbierenden Schicht befindet.

Möglich ist zudem, dass nur die Kernschicht (bzw. die Kernschichten) des optischen Wellenleiters die Dotierung aufweist und eine Mantelschicht des Wellenleiters zumindest im Wesentlichen undotiert bleibt. Dies ist jedoch nicht zwingend. Vielmehr kann

sich die Dotierung auch nur in einer Mantelschicht des Wellenleiters befinden oder sowohl in der Kern- als auch in der Mantelschicht. Es wird zudem darauf hingewiesen, dass der optische Wellenleiter, d.h. seine Kern- und/oder Mantelschicht(en), neben der Dotierung zur Erzeugung der Diffusionsbarriere natürlich weitere Dotierungen aufweisen kann.

Bei der Dotierung des optischen Wellenleiters handelt es sich insbesondere um eine zur Dotierung der Kontaktschicht komplementäre Dotierung. Beispielsweise ist die Kontaktschicht p-dotiert, so dass der optische Wellenleiter zum Erzeugen der Diffusionsbarriere entsprechend mit einer n-Dotierung versehen wird. Es ist allerdings prinzipiell auch der umgekehrte Fall denkbar, nämlich, dass die Kontaktschicht n-dotiert und der Wellenleiter p-dotiert ist.

Wie oben bereits angedeutet, kann der optische Wellenleiter in einem ersten, der Kontaktschicht zugewandten Bereich (z.B. des Wellenleiterkerns) die als Diffusionsbarriere wirkende Dotierung und in einem zweiten Bereich (z.B. ebenfalls des Wellenleiterkerns) keine oder eine von der Dotierung zur Erzeugung der Diffusionsbarriere verschiedene Dotierung aufweisen. Beispielsweise sind der erste und der zweite Bereich aus demselben Material ausgebildet. Denkbar ist jedoch auch, dass der zweite Bereich aus einem anderen Material als der erste Bereich ausgebildet ist.

So umfasst der erste Bereich z.B. den Wellenleiterkern und der zweite Bereich den Wellenleitermantel. Beispielsweise wird zumindest ein Teil des Wellenleitermantels durch ein dotiertes Substrat der Fotodiode ausgebildet, so dass der zweite Bereich durch einen Abschnitt des Substrats gebildet ist. Denkbar ist, dass es sich bei dem Substrat um ein semi-isolierendes Substrat handelt und der zweite Bereich des Wellenleiters folglich ebenfalls semi-isolierend ausgebildet ist.

Möglich ist zudem, dass sich zwischen der Kontaktschicht und dem optischen Wellenleiter eine Blockierschicht befindet, die als zusätzliche Diffusionsbarriere einem Eindiffundieren von Dotierstoff der Kontaktschicht in den optischen Wellenleiter entgegenwirkt. Die Blockierschicht weist analog zum optischen Wellenleiter insbesondere eine Dotierung auf, die komplementär zur Dotierung der Kontaktschicht ist. Insbesondere weist die Blockierschicht eine n-Dotierung auf.

Gemäß einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung befindet sich auf einer der Kontaktschicht abgewandten Seite der lichtabsorbierenden Schicht eine weitere, komplementär dotierte Kontaktschicht. Die weitere Kontaktschicht ist entsprechend insbesondere n-dotiert, wenn die zwischen dem Wellenleiter und der lichtabsorbierenden Schicht angeordnete Kontaktschicht eine p-Dotierung aufweist.

Bei der erfindungsgemäßen Halbleiterfotodiode handelt es sich insbesondere um eine Lawinen-Fotodiode (Avalanche-Fotodiode), wobei insbesondere eine Multiplikator-schicht auf einer der Kontaktschicht abgewandten Seite der lichtabsorbierenden Schicht und insbesondere zwischen der lichtabsorbierenden Schicht und der weiteren Kontaktschicht angeordnet ist.

Der optische Wellenleiter ist insbesondere in an sich bekannter Weise in Form eines Rippen- oder Streifenwellenleiters ausgebildet. Darüber hinaus kann der optische Wellenleiter, wie oben bereits erwähnt, zumindest teilweise (etwa seine mindestens eine Kernschicht) auf einem (insbesondere semi-isolierenden) Substrat angeordnet (z.B. auf dem Substrat aufgewachsen) und/oder zumindest teilweise (etwa seine mindestens eine Mantelschicht) durch das (insbesondere semi-isolierende) Substrat ausgebildet sein.

Denkbar ist beispielsweise, dass ein Substrat aus Indiumphosphid verwendet wird, wobei die Kontaktschicht und der optische Wellenleiter, zumindest sein Wellenleiterkern, aus einer InGaAsP-Schicht ausgebildet sind. Die Erfindung ist natürlich nicht auf bestimmte Materialien beschränkt. Denkbar ist z.B. auch, dass ein Siliziumsubstrat verwendet wird.

Gemäß einer weiteren Variante der Erfindung ist der Brechungsindex der Kontaktschicht größer als der Brechungsindex des optischen Wellenleiters oder der Brechungsindex der lichtabsorbierenden Schicht ist größer als der Brechungsindex des optischen Wellenleiters. Dies dient insbesondere dazu, eine möglichst effiziente Kopplung zwischen dem optischen Wellenleiter und der lichtabsorbierenden Schicht zu realisieren.

Die erfindungsgemäße Halbleiterfotodiode kann z.B. als Empfänger in der optischen Nachrichtentechnik (d.h. als Komponente eines Datenübertragungssystems) einge-

setzt werden (insbesondere als Empfänger für kurze Übertragungsstrecken, etwa im Burst-Mode-Betrieb).

5 Die Erfindung betrifft auch ein Verfahren zum Herstellen einer Halbleiterfotodiode, insbesondere wie oben beschrieben, mit den Schritten:

- Erzeugen einer lichtabsorbierenden Schicht;
- Erzeugen eines optischen Wellenleiters derart, dass über den optischen Wellenleiter Licht evaneszent in die lichtabsorbierende Schicht einkoppelbar ist;
- 10 - Erzeugen einer dotierten Kontaktschicht zwischen der lichtabsorbierenden Schicht und dem optischen Wellenleiter; und
- Dotieren des optischen Wellenleiters derart, dass eine Diffusionsbarriere entsteht, die einem Eindiffundieren von Dotierstoff der Kontaktschicht in den optischen Wellenleiter entgegenwirkt.

15

Die Erfindung wird im Folgenden anhand eines Ausführungsbeispiels unter Bezugnahme auf die Figur näher erläutert. Die Figur zeigt eine Schnittansicht durch eine erfindungsgemäße Halbleiterfotodiode.

20 Danach weist die in Figur 1 dargestellte Halbleiterfotodiode 1 einen Diodenabschnitt 11 sowie einen optischen Wellenleiter 12 auf, in den Licht L eingekoppelt und zu dem Diodenabschnitt 11 geführt wird. Der Wellenleiter 12 weist mindestens eine auf einem Substrat 2 (z.B. aus semi-isolierendem InP) aufgewachsene Kernschicht 121 (z.B. eine InGaAsP-Schicht) auf, wobei ein an die Kernschicht 121 angrenzender Abschnitt des

25 Substrats 2 eine Mantelschicht des Wellenleiters 12 ausbildet. Die Erfindung ist natürlich nicht auf eine spezielle Ausgestaltung des Wellenleiters 12 beschränkt. Denkbar ist z.B., dass zusätzliche Schichten zur Ausbildung des Wellenleiterkerns und/oder des Wellenleitermantels vorhanden sind.

30 Der Diodenabschnitt 11 der Halbleiterfotodiode 1 ist auf einem Teilbereich (insbesondere einem Endbereich) des Wellenleiters 12 angeordnet, wobei Licht durch evaneszente Kopplung aus dem Wellenleiter 12 in den Diodenabschnitt 11 überkoppelt. Insbesondere koppelt Licht aus dem Wellenleiter 12 in eine (insbesondere intrinsische) lichtabsorbierende Schicht 111 (z.B. eine InGaAs-Schicht) des Diodenabschnitts 11 ein.

35

Die lichtabsorbierende Schicht 111 ist eine Schicht eines Schichtpakets, das eine Lawinen-Fotodiode ausbildet und das entsprechend neben der lichtabsorbierenden Schicht 111 eine hochdotierte n-Kontaktschicht 112 (z.B. eine n^{++} -InAlAs-Schicht) sowie eine zwischen der lichtabsorbierenden Schicht 111 (dem Absorber) und dem optischen Wellenleiter 12 angeordnete hochdotierte p-Kontaktschicht 113 (z.B. in Form einer p^{++} -InGaAsP-Schicht) umfasst. In dieser Konfiguration befindet sich somit der n-Kontakt (gebildet durch die n-Kontaktschicht 112) der Fotodiode oben, während der p-Kontakt (gebildet durch die p-Kontaktschicht 113) als innere Schicht des Schichtpaketes ausgeformt ist.

Das Schichtpaket des Diodenabschnitts 11 weist darüber hinaus eine zwischen der lichtabsorbierenden Schicht 111 und der n-Kontaktschicht 112 angeordnete Multiplikatorschicht 115 (z.B. in Form einer InAlAs-Schicht) auf, die zum Verstärken der in der lichtabsorbierenden Schicht 111 bei Lichteinfall erzeugten Ladungsträger dient. Die Funktionsweise einer Lawinen-Fotodiode ist jedoch an sich bekannt, so dass darauf an dieser Stelle nicht weiter eingegangen wird. Mit dem Anordnen der n-Kontaktschicht oben und der p-Kontaktschicht unten wird vermieden, dass das Licht aus dem Wellenleiter 12 durch den n-Kontakt und die Multiplikatorschicht 115 hindurch in die lichtabsorbierende Schicht 111 einkoppeln muss (was mit höheren optischen Verlusten verbunden wäre).

Die p-Kontaktschicht 113 ist hoch dotiert, wodurch die Gefahr besteht, dass Dotiermaterial (z.B. Zn) aus der p-Kontaktschicht 113 heraus in den darunterliegenden Wellenleiter 12 eindiffundiert, wodurch die Leistung der Fotodiode 1 beeinträchtigt würde. Gleichzeitig kann es in umgekehrter Richtung zu einem Eindiffundieren eines Dotierstoffs des Wellenleiters 12, insbesondere eines Dotierstoffs (z.B. Fe) des Substrats 2, in den Diodenabschnitt 11 (insbesondere in die p-Kontaktschicht 113 und möglicherweise auch in die lichtabsorbierende Schicht 111) kommen. Die Möglichkeit eines Diffundierens von Dotierstoff aus der p-Kontaktschicht 113 und/oder des Wellenleiters 12 besteht insbesondere bei nicht miteinander verträglichen Dotierstoffen wie etwa Zn und Fe.

Aus diesem Grund ist zumindest eine dem Diodenabschnitt 11 (und damit der Kontaktschicht 113) zugewandte (obere) Teilschicht 1211 der Kernschicht 121 des optischen Wellenleiters 12 mit einer Dotierung versehen, die einem Eindiffundieren von Dotierstoff der Kontaktschicht 113 in den Wellenleiter 12 hinein entgegenwirkt. Bei der Dotierung handelt es sich um eine zur Dotierung der p-Kontaktschicht 113 komplementäre Dotie-

5 rung, d.h. um eine n-Dotierung. Eine untere Teilschicht 1212 der Kernschicht 121 weist diese n-Dotierung nicht oder nur in geringerer Konzentration auf. Denkbar ist jedoch, dass die Teilschicht 1212 semi-isolierend ausgebildet ist, d.h. eine andere Dotierung aufweist. So handelt es sich bei der oberen Teilschicht 1211 z.B. um eine n⁺-InGaAsP-Schicht und bei der unteren Teilschicht 1212 um eine semi-isolierende InGaAsP-Schicht. Beispielsweise weist die diffusionsblockierende obere Teilschicht 1211 des Wellenleiters eine Dicke im Bereich von 100 bis 200 nm auf.

10 Die n-Dotierung des Wellenleiters 12 erzeugt im Wesentlichen eine Veränderung der elektrischen Eigenschaften des Wellenleiters 12, d.h. den erwähnten Blockiereffekt gegenüber einem Ausdiffundieren von Dotierstoff aus der p-Kontaktschicht 113 und/oder aus dem Wellenleiter 12, während die optischen Eigenschaften des Wellenleiters 12, die in erster Linie durch die Materialzusammensetzung der Wellenleiterschichten vorgegeben sind, durch die Dotierung nur in geringem Maße verändert werden. Insbesondere wird die
15 evaneszente Kopplung des Lichtes in den Diodenabschnitt 12 hinein durch die Dotierung des Wellenleiters 12 nicht oder nur in geringem Maße beeinträchtigt.

Zwischen der p-Kontaktschicht 113 und dem optischen Wellenleiter 12 ist zudem eine Blockierschicht 114 angeordnet, die analog zum Wellenleiter 12 eine zur Dotierung der p-Kontaktschicht 113 komplementäre Dotierung (also eine n-Dotierung) aufweist, um ein
20 Eindiffundieren von Dotierstoff der p-Kontaktschicht 113 in den optischen Wellenleiter 12 weiter entgegenzuwirken. Insbesondere besteht die Blockierschicht 114 aus demselben Material wie die obere (diffusionsblockierende) Teilschicht 1211 des Wellenleiters 12, z.B. aus n⁺-InGaAsP. Die Blockierschicht 114 ist jedoch nur optional, d.h. als Diffusionsbarriere könnte auch die Dotierung des Wellenleiters 12 ausreichen. Möglich ist insbesondere, dass die Blockierschicht 114 eine geringere Dicke aufweist als der dotierte, diffusionsblockierende Bereich (d.h. die Teilschicht 1211) des Wellenleiters 12.
25

Bezugszeichenliste

1	Halbleiterfotodiode
2	Substrat
11	Diodenabschnitt
12	optischer Wellenleiter
111	lichtabsorbierende Schicht
112	n-Kontaktschicht
113	p-Kontaktschicht
114	Blockierschicht
115	Multiplikatorschicht
1211	obere Teilschicht
1212	untere Teilschicht

Patentansprüche

1. Halbleiterfotodiode, mit

- einer lichtabsorbierenden Schicht (111);
- 5 - einem optischen Wellenleiter (12), über den Licht (L) evaneszent in die lichtabsorbierende Schicht (111) einkoppelbar ist;
- einer zwischen der lichtabsorbierenden Schicht (111) und dem optischen Wellenleiter (12) angeordneten dotierten Kontaktschicht (113),

10 **dadurch gekennzeichnet**, dass

der optische Wellenleiter (12) zumindest abschnittsweise eine Dotierung aufweist, die eine einem Eindiffundieren von Dotierstoff der Kontaktschicht (113) in den optischen Wellenleiter (12) entgegenwirkende Diffusionsbarriere erzeugt.

15

2. Halbleiterfotodiode nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die zumindest abschnittsweise Dotierung des optischen Wellenleiters (12) komplementär zur Dotierung der Kontaktschicht (113) ist.

20 3. Halbleiterfotodiode nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass es sich bei der Dotierung der Kontaktschicht (113) um eine p-Dotierung handelt.

25 4. Halbleiterfotodiode nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass es sich bei der Dotierung des optischen Wellenleiters (12) zum Erzeugen der Diffusionsbarriere um eine n-Dotierung handelt.

30 5. Halbleiterfotodiode nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der optische Wellenleiter (12) in einem ersten, der Kontaktschicht (113) zugewandten Bereich (1211) die als Diffusionsbarriere wirkende Dotierung und in einem zweiten Bereich (1212) eine weitere Dotierung aufweist.

35 6. Halbleiterfotodiode nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass der zweite Bereich (1212) aufgrund der weiteren Dotierung semi-isolierend ausgebildet ist.

7. Halbleiterfotodiode nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass sich zwischen der Kontaktschicht (113) und dem optischen Wellenlei-

ter (12) eine Blockierschicht (114) befindet, die als zusätzliche Diffusionsbarriere einem Eindiffundieren von Dotierstoff der Kontaktschicht (113) in den optischen Wellenleiter (12) entgegenwirkt.

- 5 8. Halbleiterfotodiode nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Blockierschicht (114) eine zur Dotierung der Kontaktschicht (113) komplementäre Dotierung, insbesondere eine n-Dotierung, aufweist.
- 10 9. Halbleiterfotodiode nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass auf einer der Kontaktschicht (113) abgewandten Seite der lichtabsorbierenden Schicht (111) eine weitere, komplementär dotierte Kontaktschicht (112) angeordnet ist.
- 15 10. Halbleiterfotodiode nach Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet**, dass die weitere Kontaktschicht (112) n-dotiert ist.
- 20 11. Halbleiterfotodiode nach einem der vorhergehenden Ansprüche soweit rückbezogen auf Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Halbleiterfotodiode (1) als Lawinen-Fotodiode ausgebildet ist, wobei eine Multiplikatorschicht (115) auf einer der Kontaktschicht (113) abgewandten Seite der lichtabsorbierenden Schicht (111) und zwischen der lichtabsorbierenden Schicht (111) und der weiteren Kontaktschicht (112) angeordnet ist.
- 25 12. Halbleiterfotodiode nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der optische Wellenleiter (12) in Form eines Rippen- oder Streifenwellenleiters ausgebildet ist.
- 30 13. Halbleiterfotodiode nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der optische Wellenleiter (12) zumindest teilweise auf einem semi-isolierenden Substrat (2) angeordnet, insbesondere aufgewachsen, und/oder zumindest teilweise durch das semi-isolierende Substrat (2) ausgebildet ist.
- 35 14. Halbleiterfotodiode nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **gekennzeichnet durch** ein Substrat (2) aus Indiumphosphid, wobei die Kontaktschicht (113) und der optische Wellenleiter (12) zumindest teilweise aus einer InGaAsP-Schicht ausgebildet sind.

15. Halbleiterfotodiode nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Brechungsindex der Kontaktschicht (113) größer ist als der Brechungsindex des optischen Wellenleiters (12) und/oder der Brechungsindex der lichtabsorbierenden Schicht (111) größer ist als der Brechungsindex des optischen Wellenleiters (12).

16. Verfahren zum Herstellen einer Halbleiterfotodiode, insbesondere nach einem der vorhergehenden Ansprüche, mit den Schritten:

- Erzeugen einer lichtabsorbierenden Schicht (111);
- Erzeugen eines optischen Wellenleiters (12) derart, dass über den optischen Wellenleiter (12) Licht evaneszent in die lichtabsorbierende Schicht (111) einkoppelbar ist;
- Erzeugen einer dotierten Kontaktschicht (113) zwischen der lichtabsorbierenden Schicht (111) und dem optischen Wellenleiter (12),

gekennzeichnet durch

Dotieren des optischen Wellenleiters (12) derart, dass eine Diffusionsbarriere entsteht, die einem Eindiffundieren von Dotierstoff der Kontaktschicht (113) in den optischen Wellenleiter (12) entgegenwirkt.

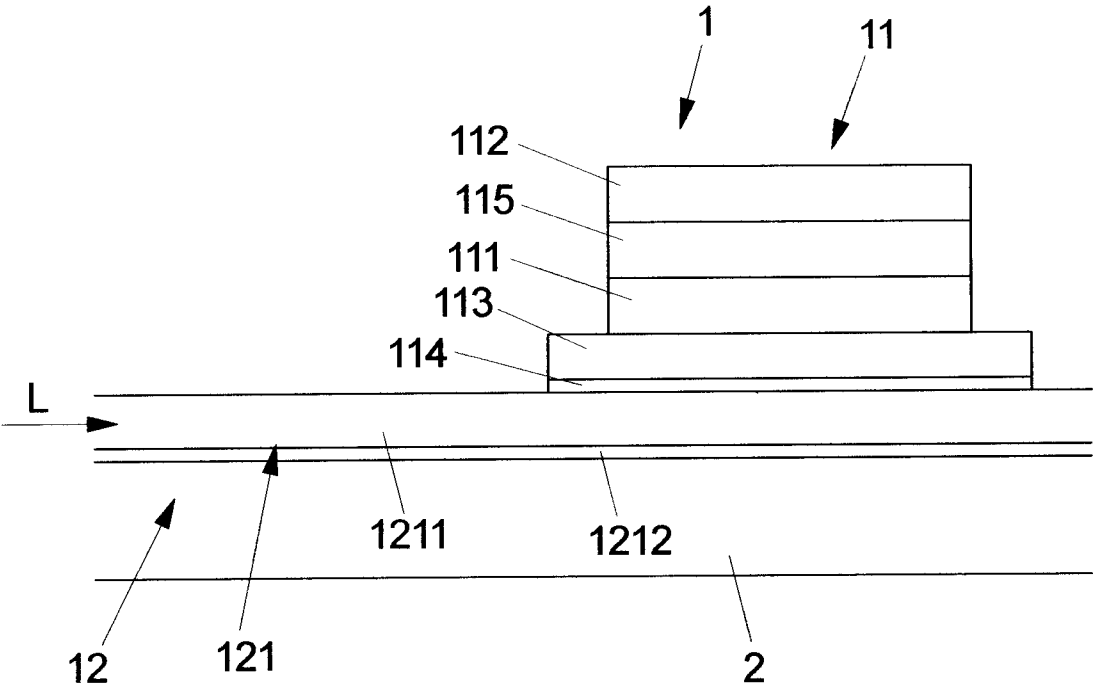


FIG.1

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2016/062661

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. H01L31/101 G02B6/12 H01L31/107
ADD.

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)
H01L G02B

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 practicable, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data, INSPEC

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	NADA M ET AL: "High-power-tolerant InAlAs avalanche photodiode for 25 Gbit/s applications", ELECTRONICS LETTERS, IEE STEVENAGE, GB, vol. 49, no. 1, 3 January 2013 (2013-01-03), pages 62-63, XP006043951, ISSN: 0013-5194, DOI: 10.1049/EL.2012.3922 the whole document ----- -/--	1,3, 9-11,13, 14,16



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family 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 application or patent 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

25 August 2016

Date of mailing of the international search report

01/09/2016

Name and mailing address of the ISA/

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

Authorized officer

Visentin, Alberto

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No

PCT/EP2016/062661

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	NADA MASAHIRO ET AL: "Design and Performance of High-Speed Avalanche Photodiodes for 100-Gb/s Systems and Beyond", JOURNAL OF LIGHTWAVE TECHNOLOGY, IEEE SERVICE CENTER, NEW YORK, NY, US, vol. 33, no. 5, 1 March 2015 (2015-03-01), pages 984-990, XP011575181, ISSN: 0733-8724, DOI: 10.1109/JLT.2014.2377034 [retrieved on 2015-03-09] cited in the application the whole document	1,3, 9-11,13, 14,16
A	NADA MASAHIRO ET AL: "High-speed high-power-tolerant avalanche photodiode for 100-Gb/s applications", 2014 IEEE PHOTONICS CONFERENCE, IEEE, 12 October 2014 (2014-10-12), pages 172-173, XP032712819, DOI: 10.1109/IPCON.2014.6995303 [retrieved on 2014-12-22] the whole document	1,3,6, 8-11,14, 16
A	ZHOU GAN ET AL: "PDL optimization in waveguide MQW pin photodiodes", 2013 13TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON NUMERICAL SIMULATION OF OPTOELECTRONIC DEVICES (NUSOD), IEEE, 1 September 2014 (2014-09-01), pages 181-182, XP032668971, ISSN: 2158-3234, DOI: 10.1109/NUSOD.2014.6935416 ISBN: 978-1-4673-6309-9 [retrieved on 2014-10-24] the whole document	1,14,16
A	EP 0 278 408 A2 (SIEMENS AG [DE]) 17 August 1988 (1988-08-17) the whole document	1,4, 12-16
A	CN 103 489 953 A (INST SEMICONDUCTORS CAS) 1 January 2014 (2014-01-01) claims 1-9; figures 1-6	1,9, 11-16
	-/--	

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2016/062661

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	ZHOU GAN ET AL: "Modeling of Multiple-Quantum-Well p-i-n Photodiodes", IEEE JOURNAL OF QUANTUM ELECTRONICS, IEEE SERVICE CENTER, PISCATAWAY, NJ, USA, vol. 50, no. 4, 1 April 2014 (2014-04-01), pages 220-227, XP011540255, ISSN: 0018-9197, DOI: 10.1109/JQE.2014.2305015 [retrieved on 2014-02-19] Section IV Simulation Results; figure 2	1,16
A,P	----- RUNGE P ET AL: "Waveguide integrated InP-based photodetector for 100Gbaud applications operating at wavelengths of 1310nm and 1550nm", 2015 EUROPEAN CONFERENCE ON OPTICAL COMMUNICATION (ECOC), VIAJES EL CORTE INGLES, VECISA, 27 September 2015 (2015-09-27), pages 1-3, XP032820214, DOI: 10.1109/ECOC.2015.7341912 [retrieved on 2015-11-30] the whole document -----	1,12-14, 16

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2016/062661

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
EP 0278408	A2	17-08-1988	NONE

CN 103489953	A	01-01-2014	NONE

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
 INV. H01L31/101 G02B6/12 H01L31/107
 ADD.

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

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
 H01L G02B

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, INSPEC

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	NADA M ET AL: "High-power-tolerant InAlAs avalanche photodiode for 25 Gbit/s applications", ELECTRONICS LETTERS, IEE STEVENAGE, GB, Bd. 49, Nr. 1, 3. Januar 2013 (2013-01-03) , Seiten 62-63, XP006043951, ISSN: 0013-5194, DOI: 10.1049/EL.2012.3922 das ganze Dokument ----- -/--	1,3, 9-11,13, 14,16



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" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. 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 Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

25. August 2016

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

01/09/2016

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde

Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
 NL - 2280 HV Rijswijk
 Tel. (+31-70) 340-2040,
 Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Visentin, Alberto

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	NADA MASAHIRO ET AL: "Design and Performance of High-Speed Avalanche Photodiodes for 100-Gb/s Systems and Beyond", JOURNAL OF LIGHTWAVE TECHNOLOGY, IEEE SERVICE CENTER, NEW YORK, NY, US, Bd. 33, Nr. 5, 1. März 2015 (2015-03-01), Seiten 984-990, XP011575181, ISSN: 0733-8724, DOI: 10.1109/JLT.2014.2377034 [gefunden am 2015-03-09] in der Anmeldung erwähnt das ganze Dokument -----	1,3, 9-11,13, 14,16
A	NADA MASAHIRO ET AL: "High-speed high-power-tolerant avalanche photodiode for 100-Gb/s applications", 2014 IEEE PHOTONICS CONFERENCE, IEEE, 12. Oktober 2014 (2014-10-12), Seiten 172-173, XP032712819, DOI: 10.1109/IPCON.2014.6995303 [gefunden am 2014-12-22] das ganze Dokument -----	1,3,6, 8-11,14, 16
A	ZHOU GAN ET AL: "PDL optimization in waveguide MQW pin photodiodes", 2013 13TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON NUMERICAL SIMULATION OF OPTOELECTRONIC DEVICES (NUSOD), IEEE, 1. September 2014 (2014-09-01), Seiten 181-182, XP032668971, ISSN: 2158-3234, DOI: 10.1109/NUSOD.2014.6935416 ISBN: 978-1-4673-6309-9 [gefunden am 2014-10-24] das ganze Dokument -----	1,14,16
A	EP 0 278 408 A2 (SIEMENS AG [DE]) 17. August 1988 (1988-08-17) das ganze Dokument -----	1,4, 12-16
A	CN 103 489 953 A (INST SEMICONDUCTORS CAS) 1. Januar 2014 (2014-01-01) Ansprüche 1-9; Abbildungen 1-6 ----- -/--	1,9, 11-16

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	ZHOU GAN ET AL: "Modeling of Multiple-Quantum-Well p-i-n Photodiodes", IEEE JOURNAL OF QUANTUM ELECTRONICS, IEEE SERVICE CENTER, PISCATAWAY, NJ, USA, Bd. 50, Nr. 4, 1. April 2014 (2014-04-01), Seiten 220-227, XP011540255, ISSN: 0018-9197, DOI: 10.1109/JQE.2014.2305015 [gefunden am 2014-02-19] Section IV Simulation Results; Abbildung 2 -----	1,16
A,P	RUNGE P ET AL: "Waveguide integrated InP-based photodetector for 100Gbaud applications operating at wavelengths of 1310nm and 1550nm", 2015 EUROPEAN CONFERENCE ON OPTICAL COMMUNICATION (ECOC), VIAJES EL CORTE INGLES, VECISA, 27. September 2015 (2015-09-27), Seiten 1-3, XP032820214, DOI: 10.1109/ECOC.2015.7341912 [gefunden am 2015-11-30] das ganze Dokument -----	1,12-14, 16

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2016/062661

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
EP 0278408	A2	17-08-1988	KEINE

CN 103489953	A	01-01-2014	KEINE
