

(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
04. Juni 2020 (04.06.2020)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2020/109562 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:
H01L 31/107 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2019/083110

(22) Internationales Anmeldedatum:
29. November 2019 (29.11.2019)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2018 130 478.1
30. November 2018 (30.11.2018) DE

(71) Anmelder: **FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT ZUR
FÖRDERUNG DER ANGEWANDTEN FORSCHUNG
E.V.** [DE/DE]; Hansastraße 27c, 80686 München (DE).

(72) Erfinder: **BECKERWERTH, Tobias**; Rochowstraße 8,
10245 Berlin (DE). **RUNGE, Patrick**; Orber Straße 4a,
14193 Berlin (DE).

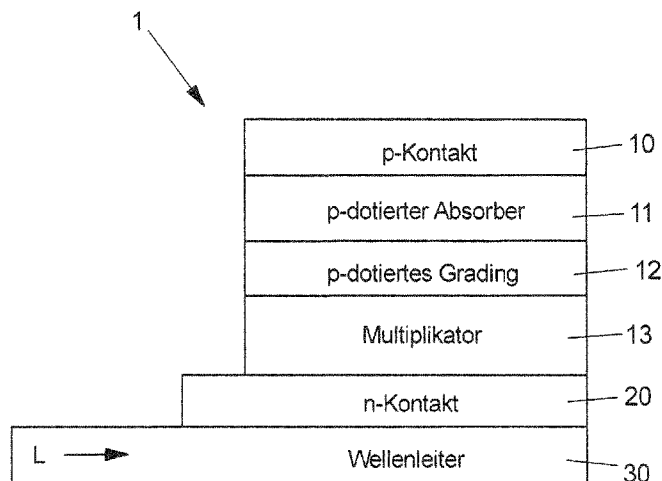
(74) Anwalt: **MAIKOWSKI & NINNEMANN PATENTAN-
WÄLTE PARTNERSCHAFT MBB**; Postfach 15 09 20,
10671 Berlin (DE).

(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, DJ, DK, DM,
DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT,
HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN,
KP, KR, KW, 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,

(54) Title: AVALANCHE PHOTODIODE

(54) Bezeichnung: LAWINEN-FOTODIODE

FIG 1



10 p-contact
11 p-doped absorber
12 p-doped grading
13 multiplier
20 n-contact
30 waveguide

(57) Abstract: The invention relates to an avalanche photodiode having: at least one absorber layer (11), in which free charge carriers are generated under the effect of light; at least one multiplier layer (13), in which the charge carriers generated in the absorber layer (11) are multiplied; at least one first and second doped contact layer (10, 20), wherein the contact layers (10, 20) have mutually complementary dopings and the second contact layer (20) is located on a side of the multiplier layer (13) facing away from the absorber layer (11); at least one intermediate layer (12) between the absorber layer (11) and the multiplier layer (13); and an integrated optical waveguide (30), via which light can be coupled into the absorber layer (11). According to the invention, the absorber layer (11) is designed and doped in a complementary manner to the second contact layer (20) such that it is at least substantially undepleted.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

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).

Veröffentlicht:

- mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)

(57) **Zusammenfassung:** Die Erfindung betrifft eine Lawinen-Fotodiode, mit mindestens einer Absorberschicht (11), in der unter Einwirkung von Licht freie Ladungsträger erzeugt werden; mindestens einer Multiplikatorschicht (13), in der eine Vervielfältigung der in der Absorberschicht (11) erzeugten Ladungsträger erfolgt; mindestens einer ersten und zweiten dotierten Kontaktschicht (10, 20), wobei die Kontaktschichten (10, 20) zueinander komplementäre Dotierungen aufweisen und sich die zweite Kontaktschicht (20) auf einer der Absorberschicht (11) abgewandten Seite der Multiplikatorschicht (13) befindet; mindestens einer Zwischenschicht (12) zwischen der Absorberschicht (11) und der Multiplikatorschicht (13); und einem integriert-optischen Wellenleiter (30), über den Licht in die Absorberschicht (11) einkoppelbar ist. Erfindungsgemäß ist die Absorberschicht (11) derart ausgebildet und komplementär zu der zweiten Kontaktschicht (20) dotiert ist, dass sie zumindest im Wesentlichen unverarmt ist.

5

10

Lawinen-Fotodiode

15 Beschreibung

Die Erfindung betrifft eine Lawinen-Fotodiode gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1 sowie ein Verfahren zum Herstellen einer Lawinen-Fotodiode gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 22.

20

Aus dem Stand der Technik sind Lawinen-Fotodioden (Avalanche-Fotodioden) bekannt, die neben einer intrinsischen Absorberschicht, in der unter Einwirkung von Licht freie Ladungsträger erzeugt werden, eine Multiplikatorschicht aufweisen, in der eine Vervielfältigung der in der Absorberschicht erzeugten Ladungsträger erfolgt. Darüber hinaus umfassen die bekannten Lawinen-Fotodioden eine dotierte „Ladungsschicht“ („Charge-Schicht“), mit der der Feldstärkeverlauf in der Fotodiode eingestellt wird. Dieses Fotodioden-Konzept wird als SACM („Separation of Absorption, Charge and Multiplication“) bezeichnet. Eine derartige Lawinen-Fotodiode ist zum Beispiel aus dem Artikel M. Nada et al., "Linearity improvement of high-speed avalanche photodiodes using thin depleted absorber operating with higher order modulation format", OPTICS EXPRESS 27715, Vol. 23, No. 21 (2015) bekannt. Um ein zu hohes Rauschen zu vermeiden und einen möglichst schnellen Ladungsträgertransport zu ermöglichen, sind bei der Dotierung und der Dicke der Ladungsschicht jedoch nur sehr geringe Herstellungstoleranzen erlaubt, was die Herstellung der Diode erschwert.

35

Die Einkopplung des Lichts in eine Lawinen-Fotodiode kann über einen Wellenleiter erfolgen, wobei zum Beispiel eine evaneszente Einkopplung des Lichts in die Absorberschicht erfolgen kann; vgl. zum Beispiel die DE 10 2015 210 343.

- 5 Das von Erfindung zu lösende Problem besteht darin, die Herstellung einer Lawinen-Fotodiode zu vereinfachen.

Dieses Problem wird durch die Bereitstellung der Lawinen-Fotodiode mit den Merkmalen des Anspruchs 1 sowie des Verfahrens mit den Merkmalen des Anspruchs 22 gelöst. Weiterbildungen der Erfindung sind in den abhängigen Ansprüchen angegeben.

10

Danach wird eine Lawinen-Fotodiode bereitgestellt, mit

- mindestens einer Absorberschicht, in der unter Einwirkung von Licht freie Ladungsträger erzeugt werden;
- 15 - mindestens einer Multiplikatorschicht, in der eine Vervielfältigung der in der Absorberschicht erzeugten Ladungsträger erfolgt;
- mindestens einer ersten und zweiten dotierten Kontaktschicht, wobei die Kontaktschichten zueinander komplementäre Dotierungen aufweisen und sich die zweite Kontaktschicht auf einer der Absorberschicht abgewandten Seite der Multiplikatorschicht befindet;
- 20 - mindestens einer Zwischenschicht zwischen der Absorberschicht und der Multiplikatorschicht; und
- einem integriert-optischen Wellenleiter, über den Licht in die Absorberschicht einkoppelbar ist, wobei
- 25 - die Absorberschicht derart ausgebildet und komplementär zu der zweiten Kontaktschicht dotiert ist, dass sie zumindest im Wesentlichen unverarmt ist.

Bei der Absorberschicht handelt es sich somit nicht um eine intrinsische Halbleiterschicht, sondern um eine Halbleiterschicht mit einer externen Dotierung; d. h. die Absorberschicht wurde mit einem Dotierstoff versehen. Beispielsweise beträgt die Dotierstoffkonzentration der Absorberschicht mindestens $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ oder mindestens $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$. Durch diese Dotierung der Absorberschicht und der Dotierung der Zwischenschicht entsteht insbesondere eine Raumladungszone, die sich zumindest im Wesentlichen nur in der (insbesondere intrinsischen) Multiplikatorschicht erstreckt und die Absorberschicht entsprechend zumin-

30

dest im Wesentlichen unverarmt ist. Somit kann z.B. auch ohne eine Ladungsschicht zwischen der Absorber- und der Multiplikatorschicht einer ausreichend hohe Feldstärke im Bereich der Multiplikatorschicht erzeugt werden. Beispielsweise findet zumindest näherungsweise der gesamte Spannungsabfall in der Multiplikatorschicht statt, so dass die Kapazität der Lawinen-Fotodiode insbesondere durch die Dicke und die Fläche der Multiplikatorschicht bestimmt wird. Falls die erfindungsgemäße Lawinen-Fotodiode mehrere Absorberschichten aufweist, so befinden sich diese z.B. sämtlich auf derselben Seite der Multiplikatorschicht (während auf der anderen Seite der Multiplikatorschicht keine Absorberschichten vorhanden ist). Insbesondere umfasst die Lawinen-Fotodiode jedoch nur eine einzige Absorberschicht.

Mit der Dotierung der Absorberschicht dem möglichen Wegfall der Ladungsschicht erhöhen sich die Fertigungstoleranzen und es vereinfacht sich die Herstellung der Lawinen-Fotodiode. Denkbar ist insbesondere, dass die Herstellung der Schichten der Lawinen-Fotodiode (insbesondere der Absorberschicht und der Zwischenschicht) größere Herstellungstoleranzen in Bezug auf die Dotierung und/oder die Dicke dieser Schichten erlaubt. Darüber hinaus muss die Dotierung und/oder die Dicke der Absorber- und/oder der Zwischenschicht bei einer Änderung der Materialzusammensetzung und/oder der Dicke der Multiplikatorschicht nicht unbedingt angepasst werden. Denkbar ist auch, dass aufgrund der Dotierung der Absorberschicht die Kennlinie der Lawinen-Fotodiode linearer als bei herkömmlichen Lawinen-Fotodioden verläuft; insbesondere, da möglichen Raumladungseffekten, die auf das Vorhandensein von Löchern in der Absorberschicht zurückgehen, entgegengewirkt wird.

Es wird angemerkt, dass in der unverarmten Absorberschicht die Diffusion der dominierende Transportprozess sein kann. Um dennoch möglichst niedrige Transitzeiten in Bezug auf den Ladungsträgertransport zwischen der Absorber- und der Multiplikatorschicht zu erhalten, ist es denkbar, dass die Absorber- und die Zwischenschicht möglichst dünn ausgebildet werden. Insbesondere wird die Gesamtdicke der Absorber- und der Zwischenschicht so gewählt, dass die Transitzeit für den Transport der in der Absorberschicht erzeugten Elektronen-Loch-Paare bis zu der Multiplikatorschicht durch Diffusion vergleichbar ist mit der entsprechenden Transitzeit einer konventionellen SCAM-Lawinen-Fotodiode. Beispielsweise beträgt die Dicke der Absorber- und Zwischenschicht zusammen weniger als 500 nm, weniger als 450 nm oder weniger als 400 nm.

Die Zwischenschicht ist insbesondere zum Angleichen mindestens einer Bandkanten zwischen der Absorberschicht und der Multiplikatorschicht ausgebildet. Denkbar ist auch, dass die Zwischenschicht komplementär zu der zweiten Kontaktschicht dotiert ist.

- 5 Denkbar ist auch, dass die Multiplikatorschicht ein Dotierprofil (d.h. eine sich in Dickenrichtung der Schicht verändernde Dotierung) aufweist, wobei die Polarität der Dotierung (n-dotiert oder p-dotiert) der Polarität der Dotierung der zweiten Kontaktschicht entspricht. Beispielsweise nimmt die Dotierung zur zweiten Kontaktschicht hin zu.
- 10 Über den integriert-optischen Wellenleiter ist Licht beispielsweise evaneszent in die Absorberschicht einkoppelbar. Mit Hilfe der evaneszenten Lichteinkopplung kann z.B. ein großer Teil oder zumindest im Wesentlichen sogar die gesamte Fläche der Absorberschicht genutzt werden, so dass auch bei geringerer Dicke der Absorberschicht eine Diode mit hoher Empfindlichkeit realisierbar ist. Denkbar ist allerdings auch, dass der Wellenleiter so aus-
- 15 gebildet ist, dass Licht über eine Stirnseite des Wellenleiters in die Absorberschicht einkoppelbar ist. Beispielsweise grenzt eine Stirnseite des Wellenleiters an die Absorberschicht oder zumindest an mindestens eine der beiden Kontaktschichten und/oder die Multiplikatorschicht an, wobei Licht über diese Stirnseite (und insbesondere über eine Stirnseite der Absorberschicht) in die Absorberschicht eingekoppelt werden kann. Die Lichtein-
- 20 kopplung per integriert-optischem Wellenleiter erlaubt z.B. eine Integration der Diode in integrierte photonische Schaltkreise (PICs).

- Möglich ist, dass es sich bei der Dotierung der ersten Kontaktschicht um eine p-Dotierung und bei der Dotierung der zweiten Kontaktschicht um eine n-Dotierung handelt. Beispiels-
- 25 weise weisen die Absorberschicht und/oder die Zwischenschicht jeweils eine Dotierstoffkonzentration von mindestens $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ oder von mindestens $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ auf, wie oben bereits erwähnt.

- Die Multiplikatorschicht ist hingegen beispielsweise als eine zumindest im Wesentlichen verarmte Schicht ausgebildet. Insbesondere handelt es sich bei der Multiplikatorschicht um
- 30 eine intrinsische Schicht.

Gemäß einer anderen Weiterbildung der Erfindung ist die Zwischenschicht aus einem anderen Material ausgebildet als die Absorberschicht und/oder die Multiplikatorschicht. Denk-

bar ist, dass die Zwischenschicht zumindest abschnittsweise eine Bandlücke aufweist, deren Größe zwischen der Größe der Bandlücke der Absorberschicht und der Größe der Bandlücke der Multiplikatorschicht liegt. Beispielsweise ist die Zwischenschicht in Form einer Anpassungsschicht (Grading-Schicht) ausgebildet. Eine derartige Anpassungsschicht dient insbesondere zur Anpassung der Bandlücke der Absorberschicht und der Bandlücke der Multiplikatorschicht. So kann sich die Materialzusammensetzung der Anpassungsschicht von der Absorberschicht bis zu der Multiplikatorschicht so verändern, dass sich die Bandlücke der Anpassungsschicht von der Absorberschicht bis zu der Multiplikatorschicht (insbesondere kontinuierlich oder zumindest im Wesentlichen kontinuierlich) vergrößert.

Möglich ist jedoch auch, dass es sich bei der Zwischenschicht nicht um eine Anpassungsschicht handelt. Beispielsweise ist die Zwischenschicht aus demselben Material wie die Multiplikatorschicht ausgebildet, wobei die Zwischenschicht jedoch höher dotiert ist als die Multiplikatorschicht bzw. die Multiplikatorschicht überhaupt nicht (extern) dotiert ist. Die Zwischenschicht weist somit insbesondere im Vergleich mit der Bandlücke der Absorberschicht deutlich höhere Bandlücke der Multiplikatorschicht auf und ist somit nicht zur Lichtabsorption ausgebildet. Beispielsweise ist die Zwischenschicht hier vielmehr nach Art einer Charge-Schicht ausgebildet.

Die Zwischenschicht grenzt insbesondere unmittelbar an die Multiplikatorschicht an. Denkbar ist auch, dass mehrere Zwischenschichten vorhanden sind. Zudem können auch mehrere Absorberschichten und/oder mehrere Multiplikatorschichten vorgesehen sein.

In einem weiteren Ausführungsbeispiel der Erfindung befindet sich die zweite Kontaktschicht zwischen dem Wellenleiter und der Multiplikatorschicht. Denkbar ist, dass die zweite Kontaktschicht wie oben bereits erwähnt eine n-Dotierung und die erste Kontaktschicht eine p-Dotierung aufweist. Die erste Kontaktschicht befindet sich in diesem Fall insbesondere (z.B. unmittelbar angrenzend) oberhalb der Absorberschicht.

Möglich ist jedoch auch, dass sich die zweite, insbesondere n-dotierte Kontaktschicht nicht zwischen dem Wellenleiter und der Multiplikatorschicht befindet, sondern oberhalb der Multiplikatorschicht; insbesondere unmittelbar angrenzend an die Multiplikatorschicht. In diesem Fall kann sich die Absorberschicht unterhalb der Multiplikatorschicht befinden (insbesondere unmittelbar an diese angrenzend), wobei zum Beispiel die erste, insbesondere p-

dotierte Kontaktschicht unterhalb der Absorberschicht angeordnet ist (insbesondere unmittelbar angrenzend an die Absorberschicht). Beispielsweise befindet sich die erste Kontaktschicht in diesem Fall zwischen der Absorberschicht und dem Wellenleiter.

- 5 Es wird angemerkt, dass ein „integriert-optischer“ Wellenleiter insbesondere zumindest teilweise (etwa seine mindestens eine Kernschicht) auf einem (insbesondere zumindest näherungsweise planen) Substrat angeordnet (z.B. auf dem Substrat aufgewachsen) und/oder zumindest teilweise (etwa seine mindestens eine Mantelschicht) durch das Substrat ausgebildet ist. Insbesondere sind die Absorberschicht, die Multiplikatorschicht, die
10 Zwischenschicht und die Kontaktschichten auf demselben Substrat angeordnet (insbesondere aufgewachsen) wie der Wellenleiter. Denkbar ist beispielsweise, dass ein Substrat aus Indiumphosphid verwendet wird, wobei der optische Wellenleiter, zumindest sein Wellenleiterkern, z.B. aus einer InGaAsP-Schicht ausgebildet ist. Die Erfindung ist natürlich nicht auf bestimmte Materialien beschränkt. Denkbar ist z.B. auch, dass ein Silizium-Substrat verwendet wird. Der Wellenleiter der erfindungsgemäßen Lawinen-Fotodiode ist bei-
15 spielsweise in Form eines Rippen- oder Streifenwellenleiters ausgebildet

Die erfindungsgemäße Lawinen-Fotodiode kann z.B. als Empfänger in der optischen Nachrichtentechnik (d.h. als Komponente eines Datenübertragungssystems) eingesetzt werden
20 (insbesondere als Empfänger für kurze Übertragungsstrecken, etwa im Burst-Mode-Betrieb). Denkbar ist auch der Einsatz als Einzelphotonenempfänger (SPAD) im Bereich der Quantenkommunikation.

Die Erfindung betrifft auch ein Verfahren zum Herstellen einer Lawinen-Fotodiode, insbesondere oben beschrieben, mit den Schritten:

- 25 - Erzeugen mindestens einer Absorberschicht, in der unter Einwirkung von Licht freie Ladungsträger erzeugt werden;
- Erzeugen mindestens einer Multiplikatorschicht, in der eine Vervielfältigung der in der Absorberschicht erzeugten Ladungsträger erfolgt;
30 - Erzeugen mindestens einer ersten und zweiten dotierten Kontaktschicht, wobei die Kontaktschichten zueinander komplementäre Dotierungen aufweisen und sich die zweite Kontaktschicht auf einer der Absorberschicht abgewandten Seite der Multiplikatorschicht befindet;
- Erzeugen mindestens einer Zwischenschicht zwischen der Absorberschicht und der
35 Multiplikatorschicht; und

- Erzeugen eines integriert-optischen Wellenleiters, über den Licht in die Absorberschicht einkoppelbar ist, wobei
- die Absorberschicht derart ausgebildet und komplementär zu der zweiten Kontaktschicht dotiert erzeugt wird, dass sie zumindest im Wesentlichen unverarmt ist.

5

Die oben im Zusammenhang mit der erfindungsgemäßen Lawinen-Fotodiode erläuterten Ausführungsbeispiele können analog natürlich auch zur Weiterbildung des erfindungsgemäßen Verfahrens verwendet werden. Beispielsweise wird der Wellenleiter so ausgebildet, dass Licht evaneszent in die Absorberschicht einkoppelbar ist. Denkbar ist jedoch auch wie oben bereits erwähnt, dass der Wellenleiter so ausgestaltet wird, dass Licht über eine Stirnseite des optischen Wellenleiters in die Absorberschicht eingekoppelt wird.

10

Die Erfindung wird im Folgenden anhand von Ausführungsbeispielen unter Bezugnahme auf die Figuren näher erläutert. Es zeigen:

15

Figur 1 schematisch eine Schnittansicht einer Lawinen-Fotodiode gemäß einem Ausführungsbeispiel der Erfindung;

Figur 2 eine Abwandlung der Figur 1;

20

Figur 3 schematisch die Bandstruktur der Lawinen-Fotodiode aus Figur 1; und

Figur 4 eine Lawinen-Fotodiode gemäß einem weiteren Ausführungsbeispiel der Erfindung.

25

Die in Figur 1 dargestellte erfindungsgemäße Halbleiter-Lawinen-Fotodiode 1 umfasst mehrere Halbleiterschichten; insbesondere eine Absorberschicht 11 zur Lichtabsorption sowie eine Multiplikatorschicht 13. In der Absorberschicht 11 werden in an sich bekannter Weise unter Einwirkung von Licht freie Ladungsträger erzeugt, die in die Multiplikatorschicht 13 gelangen und dort vervielfältigt werden. Zwischen der Absorberschicht 11 und der Multiplikatorschicht 13 befindet sich eine Zwischenschicht in Form einer die Grading-Schicht 12, die zur Anpassung der Bandlücken der Absorberschicht 11 und der Multiplikatorschicht 13 dient. Insbesondere verändert sich die Zusammensetzung und damit die

30

Bandlücke der Grading-Schicht 12 von der Absorberschicht 11 bis zu der Multiplikatorschicht 13 (vgl. zum Beispiel das Bandschema der Fotodiode 1 in Figur 2).

5 Darüber hinaus umfasst die Lawinen-Fotodiode 1 eine erste Kontaktschicht in Form einer hochdotierten p-Kontaktschicht 10, die oberhalb der Absorberschicht 11 und insbesondere angrenzend an die Absorberschicht 11 angeordnet ist. Eine zweite Kontaktschicht in Form einer hochdotierten n-Kontaktschicht 20 ist auf einer der Absorberschicht 11 abgewandten Seite der Multiplikatorschicht 13 angeordnet; und zwar zwischen der Multiplikatorschicht 13 und einem integriert-optischen Wellenleiter 30. Bei der Absorberschicht 11 handelt es
10 sich beispielsweise um eine InGaAs-Schicht, während die Multiplikatorschicht 13 etwa aus InAlAs besteht.

In den optischen Wellenleiter 30 wird das zu detektierende Licht L eingekoppelt, wobei das eingekoppelte Licht in dem Wellenleiter 30 zu dem Abschnitt der Lawinen-Fotodiode 1 geführt wird, in dem sich die Schichten 11 bis 13 befinden. Zudem ist der Wellenleiter 30 so
15 beschaffen, dass zumindest ein Teil des in ihm geführten Lichts evaneszent in den Abschnitt der Fotodiode 1 mit den Schichten 11 bis 13 und somit insbesondere in die Absorberschicht 11 überkoppelt. Der optische Wellenleiter 30 weist insbesondere mindestens eine auf einem Substrat (nicht dargestellt) aufgewachsene Kernschicht auf, wobei bei-
20 spielsweise ein an die Kernschicht angrenzender Abschnitt des Substrats eine Mantelschicht des Wellenleiters 30 ausbildet. Das Substrat ist insbesondere aus Indiumphosphid gebildet. Die Erfindung ist allerdings selbstverständlich nicht auf eine spezielle Ausgestaltung des Wellenleiters 30 beschränkt.

25 Sowohl die Absorberschicht 11 als auch die Grading-Schicht 12 weisen eine (externe) p-Dotierung auf, wobei die Grading-Schicht 12 unmittelbar an die Multiplikatorschicht 13 angrenzt. Beispielsweise beträgt die Dotierstoffkonzentration jeweils mindestens $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$.

30 Eine Ladungsschicht (Charge-Schicht) zwischen der Grading-Schicht 12 und der Multiplikatorschicht 13 ist nicht vorhanden. Aufgrund ihrer Dotierung erstreckt sich jedoch eine sich nach Anlegen einer Sperrspannung an die Kontaktschichten 10, 20 ausbildende Raumladungszone nicht in die Absorberschicht 11 hinein. Vielmehr bildet sich die Raumladungszone zumindest im Wesentlichen nur im Bereich der Multiplikatorschicht 13 aus,
35 so dass die Absorberschicht 11 zumindest im Wesentlichen unverarmt ist. Die Dotierung

der Absorberschicht 11 und der Wegfall der sonst üblichen Charge-Schicht ermöglichen eine Herstellung der Lawinen-Fotodiode mit größeren Herstellungstoleranzen, wie oben bereits ausgeführt.

- 5 In dem in Figur 2 dargestellten zweiten Ausführungsbeispiel der Erfindung sind der p-Kontakt und der n-Kontakt sowie die Absorberschicht 11 und die Multiplikatorschicht 13 vertauscht. Somit befindet sich die n-dotierte zweite Kontaktschicht 20 nicht unterhalb, sondern oberhalb der Multiplikatorschicht 13, wobei sie insbesondere von oben an die Multiplikatorschicht 13 angrenzt. Entsprechend ist die p-dotierte erste Kontaktschicht 10 zwischen der p-dotierten Absorberschicht 11 und dem optischen Wellenleiter 30 angeordnet.

- Die Bandstruktur der in Figur 1 dargestellten Lawinen-Fotodiode 1 ist schematisch in Figur 3 gezeigt. Darin kennzeichnet z.B. für die Absorberschicht 11, die Grading-Schicht 12 und die Multiplikatorschicht 13 jeweils die obere Linie die Lage des Leitungsbandes LB und die untere Linie die Lage des Valenzbandes VB. Die Dicken der Schichten 11 bis 13 sind mit „d_{abs}“ (für die Absorberschicht 11), „d_{grad}“ (für die Grading-Schicht 12) und „d_{mult}“ (für die Multiplikatorschicht 13) bezeichnet.

- Figur 3 ist zu entnehmen, dass die Bandlücke der Multiplikatorschicht 13 größer ist als die Bandlücke der Absorberschicht 11, wobei die Grading-Schicht 12 eine sich von der Absorberschicht 11 bis Multiplikatorschicht 13 verändernde Materialzusammensetzung aufweist, die zu einem Anstieg der Bandlücke von der Absorberschicht 11 bis zu der Multiplikatorschicht 13 führt. Wie oben bereits erläutert, erstreckt sich die Raumladungszone im Bereich der Multiplikatorschicht 13 und nicht in der Absorberschicht 11, so dass der vorherrschende oder sogar einzige Transportmechanismus in Bezug auf die erzeugten Ladungsträger in der Absorberschicht 11 die Diffusion ist (mit Pfeilen D gekennzeichnet). In der Multiplikatorschicht 13 hingegen werden Ladungsträger auch oder vorwiegend durch Drift (Pfeil DR) bewegt.

- Figur 4 bezieht sich auf eine Abwandlung der Fig. 1, wonach der integriert-optische Wellenleiter 30 nicht zur evaneszenten Einkopplung in die Absorberschicht 11 ausgebildet ist. Vielmehr grenzt eine Stirnseite 310 des Wellenleiters 30 an eine Seite 110 u.a. der Absorberschicht 11 an, so dass eine Lichteinkopplung in die Absorberschicht 11 nach Art einer Stoßkopplung („Buttjoint“) erfolgt. Vorliegend ist der Wellenleiter 30 zusammen mit den Schichten 10-13, 20 auf einem Substrat 100 angeordnet und grenzt daher auch an die unterhalb der Absorberschicht 11 befindlichen Schichten 11-13 und 20 an. Denkbar ist

auch, dass der Wellenleiter 30 zumindest teilweise auch an die oberhalb der Absorberschicht 11 angeordnete p-Kontaktschicht 10 angrenzt.

Es wird darauf hingewiesen, dass natürlich auch die Diode des Ausführungsbeispiels der
5 Fig. 2 anstelle des evaneszent koppelnden Wellenleiters einen integriert-optischen Wellenleiter nach Art der Fig. 4 aufweisen kann.

* * * * *

Patentansprüche

1. Lawinen-Fotodiode, mit

- mindestens einer Absorberschicht (11), in der unter Einwirkung von Licht freie Ladungsträger erzeugt werden;
- mindestens einer Multiplikatorschicht (13), in der eine Vervielfältigung der in der Absorberschicht (11) erzeugten Ladungsträger erfolgt;
- mindestens einer ersten und zweiten dotierten Kontaktschicht (10, 20), wobei die Kontaktschichten (10, 20) zueinander komplementäre Dotierungen aufweisen und sich die zweite Kontaktschicht (20) auf einer der Absorberschicht (11) abgewandten Seite der Multiplikatorschicht (13) befindet;
- mindestens einer Zwischenschicht (12) zwischen der Absorberschicht (11) und der Multiplikatorschicht (13); und
- einem integriert-optischen Wellenleiter (30), über den Licht in die Absorberschicht (11) einkoppelbar ist,

dadurch gekennzeichnet, dass

die Absorberschicht (11) derart ausgebildet und komplementär zu der zweiten Kontaktschicht (20) dotiert ist, dass sie zumindest im Wesentlichen unverarmt ist.

2. Lawinen-Fotodiode nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Zwischenschicht (12) zum Angleichen mindestens einer Bandkanten zwischen der Absorberschicht (11) und der Multiplikatorschicht (13) ausgebildet ist.

3. Lawinen-Fotodiode nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Zwischenschicht (12) komplementär zu der zweiten Kontaktschicht (20) dotiert ist.

4. Lawinen-Fotodiode nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass es sich bei der Dotierung der ersten Kontaktschicht (10) um eine p-Dotierung und bei der Dotierung der zweiten Kontaktschicht (20) um eine n-Dotierung handelt.

5. Lawinen-Fotodiode nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Absorberschicht (11) und/oder die Zwischenschicht (12) jeweils eine

Dotierstoffkonzentration von mindestens $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ oder von mindestens $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ aufweisen.

- 5 6. Lawinen-Fotodiode nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass sie nur eine einzige Absorberschicht (11) aufweist.
7. Lawinen-Fotodiode nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass sie mehrere Absorberschichten aufweist, wobei sämtliche Absorberschichten der Lawinen-Fotodiode auf derselben Seite der Multiplikatorschicht (13) angeordnet sind.
- 10 8. Lawinen-Fotodiode nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Multiplikatorschicht (13) ein Dotierprofil aufweist, wobei die Polarität der Dotierung der Polarität der Dotierung der zweiten Kontaktschicht (20) entspricht.
- 15 9. Lawinen-Fotodiode nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Dotierung zur zweiten Kontaktschicht (20) hin zunimmt.
- 20 10. Lawinen-Fotodiode nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Wellenleiter (30) so ausgebildet ist, dass über ihn Licht evaneszent in die Absorberschicht (11) einkoppelbar ist oder der Wellenleiter (30) so ausgebildet ist, dass Licht über eine Stirnseite (310) des Wellenleiters (30) in die Absorberschicht (11) einkoppelbar ist.
- 25 11. Lawinen-Fotodiode nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Wellenleiter (30) so ausgebildet ist, dass Licht über eine Stirnseite (310) des Wellenleiters (30) und eine Stirnseite der Absorberschicht in die Absorberschicht (11) einkoppelbar ist.
- 30 12. Lawinen-Fotodiode nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass es sich bei der Multiplikatorschicht (13) um eine zumindest im Wesentlichen verarmte Schicht handelt.
- 35 13. Lawinen-Fotodiode nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Zwischenschicht (12) aus einem anderen Material ausgebildet ist als die Absorberschicht (11).

14. Lawinen-Fotodiode nach Anspruch 13, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Zwischenschicht (12) zumindest abschnittsweise eine Bandlücke aufweist, die zwischen der Bandlücke der Absorberschicht (11) und der Bandlücke der Multiplikatorschicht (13) liegt.
- 5 15. Lawinen-Fotodiode nach Anspruch 14, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Zwischenschicht (12) in Form einer Grading-Schicht ausgebildet ist.
- 10 16. Lawinen-Fotodiode nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Zwischenschicht (12) aus einem anderen Material ausgebildet ist als die Multiplikatorschicht (13).
- 15 17. Lawinen-Fotodiode nach einem der Ansprüche 1 bis 15, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Zwischenschicht (12) aus demselben Material wie die Multiplikatorschicht (13) ausgebildet ist.
- 20 18. Lawinen-Fotodiode nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Zwischenschicht (12) unmittelbar an die Multiplikatorschicht (13) angrenzt.
- 25 19. Lawinen-Fotodiode nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass sich die zweite Kontaktschicht (20) zwischen dem Wellenleiter (30) und der Multiplikatorschicht (13) befindet.
- 30 20. Lawinen-Fotodiode nach einem der Ansprüche 1 bis 18, **dadurch gekennzeichnet**, dass sich die zweite Kontaktschicht (20) oberhalb der Multiplikatorschicht (13) befindet und/oder die erste Kontaktschicht (10) zwischen dem Wellenleiter (30) und der Absorberschicht (11) angeordnet ist.
- 35 21. Lawinen-Fotodiode nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Dicke der Absorberschicht (11) und der Zwischenschicht (12) zusammen 400, 450 oder 500 nm nicht übersteigt.
22. Verfahren zum Herstellen einer Lawinen-Fotodiode, insbesondere nach einem der vorhergehenden Ansprüche, mit den Schritten:
- Erzeugen mindestens einer Absorberschicht (11), in der unter Einwirkung von Licht freie Ladungsträger erzeugt werden;

- Erzeugen mindestens einer Multiplikatorschicht (13), in der eine Vervielfältigung der in der Absorberschicht (11) erzeugten Ladungsträger erfolgt;
- Erzeugen mindestens einer ersten und zweiten dotierten Kontaktschicht (10, 20), wobei die Kontaktschichten (10, 20) zueinander komplementäre Dotierungen aufweisen und sich die zweite Kontaktschicht (20) auf einer der Absorberschicht (11) abgewandten Seite der Multiplikatorschicht (13) befindet;
- Erzeugen mindestens einer Zwischenschicht (12) zwischen der Absorberschicht (11) und der Multiplikatorschicht (3); und
- Erzeugen eines integriert-optischen Wellenleiters (30), über den Licht in die Absorberschicht (11) einkoppelbar ist,

dadurch gekennzeichnet, dass

- die Absorberschicht (11) derart ausgebildet und komplementär zu der zweiten Kontaktschicht (20) dotiert erzeugt wird, dass sie zumindest im Wesentlichen unverarmt ist.

FIG 1

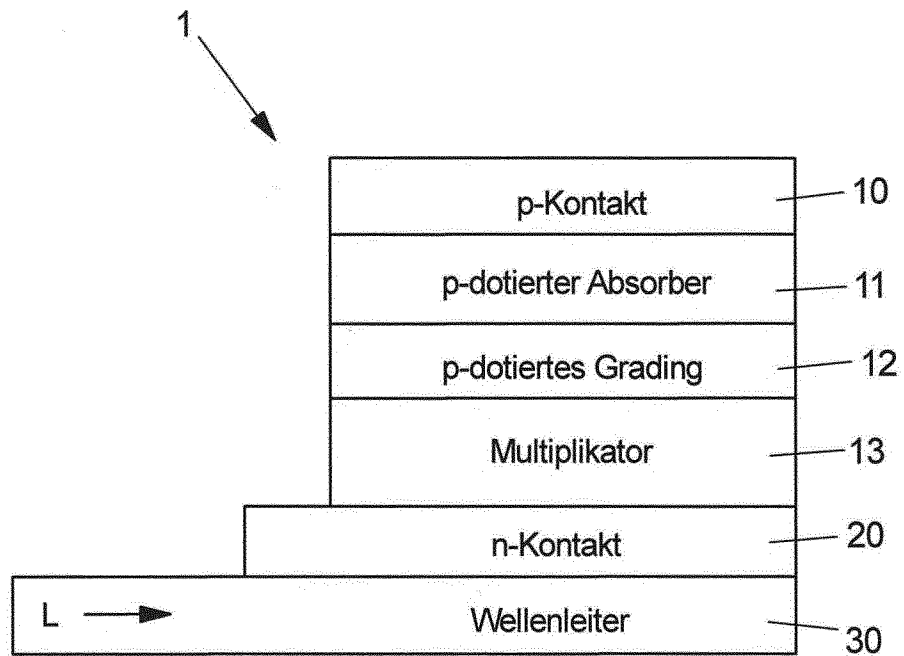


FIG 2

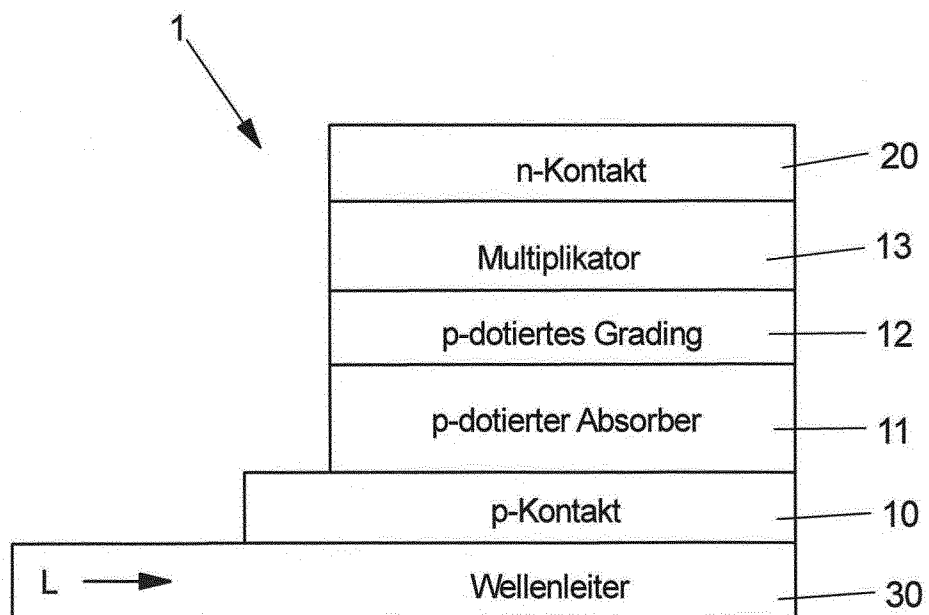


FIG 3

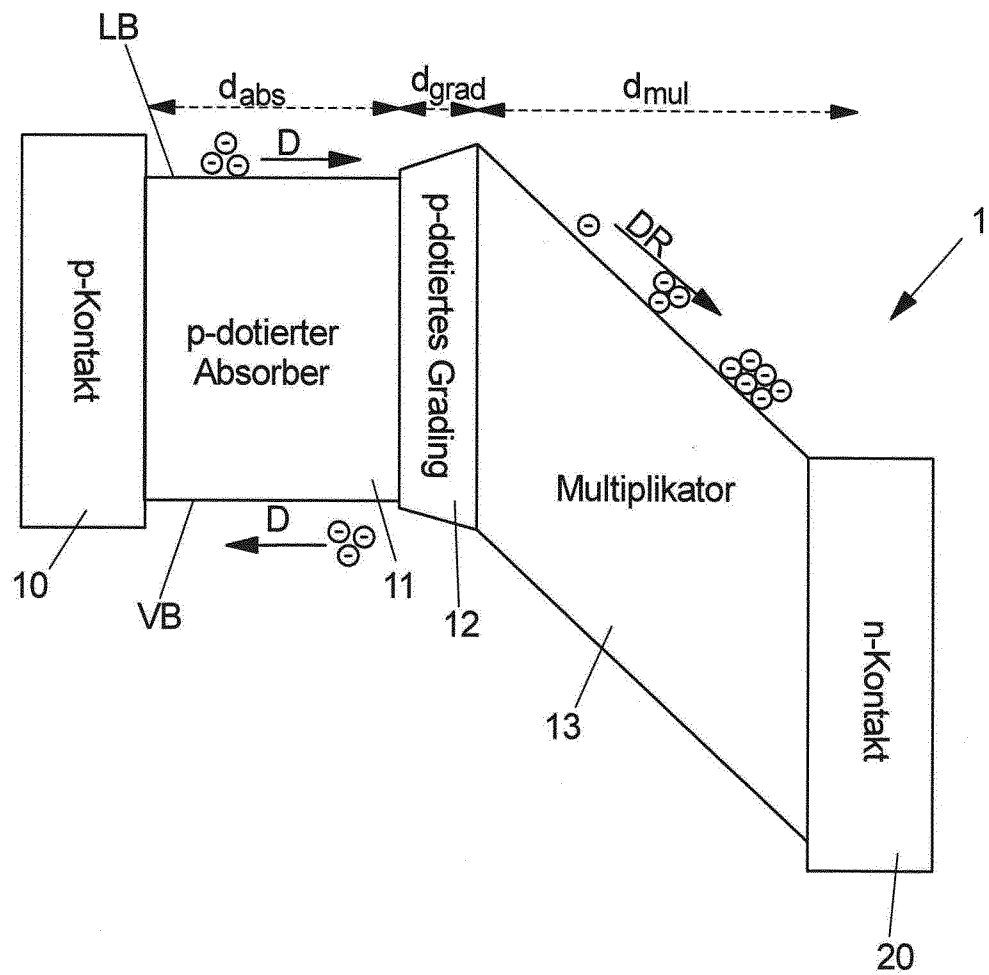
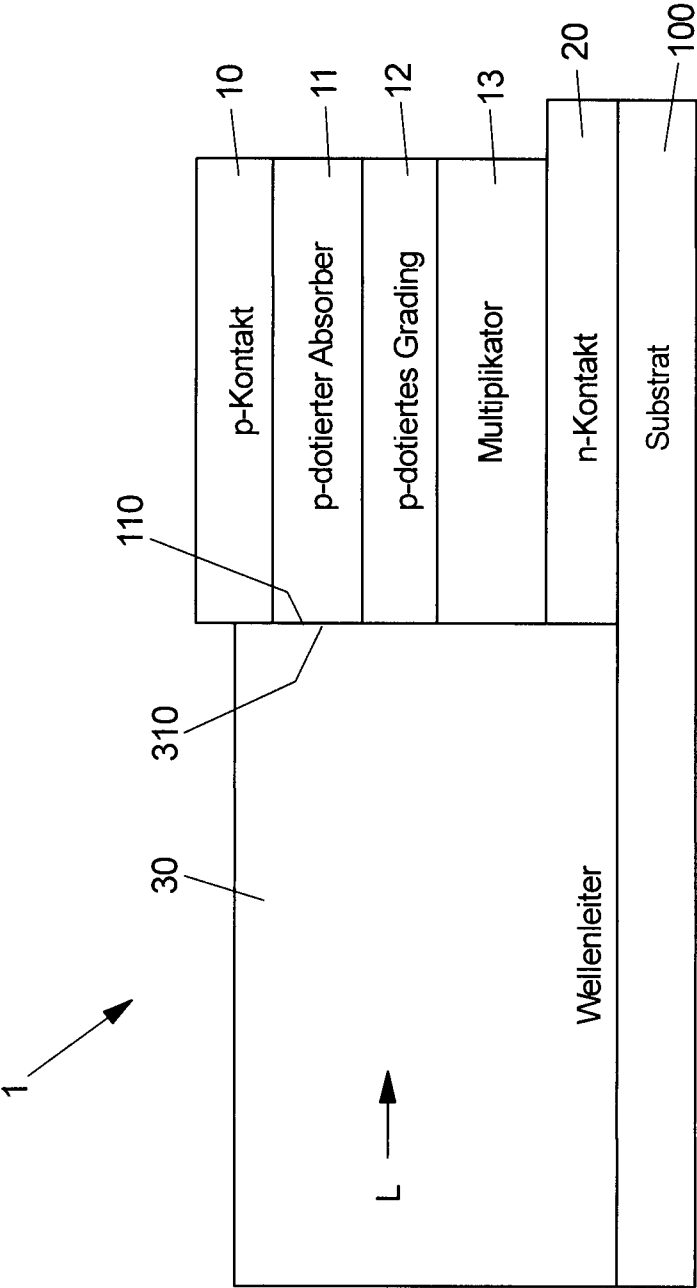


FIG 4



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/EP2019/083110

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**H01L 31/107**(2006.01)i

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

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

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	KAZUHIRO SHIBA ET AL. "Theoretical and Experimental Study on Waveguide Avalanche Photodiodes With an Undepleted Absorption Layer for 25-Gb/s Operation" <i>JOURNAL OF LIGHTWAVE TECHNOLOGY, IEEE, USA</i> , Vol. 29, No. 2, 07 January 2011 (2011-01-07), pages 153-161 DOI: 10.1109/JLT.2010.2096498 ISSN: 0733-8724, XP011341276 abstract; figures 1, 4, 5, 6 page 153, left-hand column - right-hand column subsection B. "Effect of the Undepleted Absorption Layer"; page 156, left-hand column - page 157, left-hand column section III. "FABRICATED DEVICE STRUCTURE"; page 157, left-hand column - page 158, right-hand column	1-22
X	JP 2001237454 A (NEC CORP) 31 August 2001 (2001-08-31) abstract; figures 1,2,3 paragraphs [0001] - [0022], [0023] - [0027], [0035] - [0037], [0041] - [0046], [0047] - [0048]	1-22



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

10 March 2020

Date of mailing of the international search report

16 March 2020

Name and mailing address of the ISA/EP

European Patent Office
p.b. 5818, Patentlaan 2, 2280 HV Rijswijk
Netherlands

Telephone No. (+31-70)340-2040

Facsimile No. (+31-70)340-3016

Authorized officer

Sagol, Bülent Erol

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/EP2019/083110

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	JP 2007311455 A (NEC CORP) 29 November 2007 (2007-11-29) abstract; figures 1-4,5-6 paragraphs [0001], [0012] - [0022], [0023], [0024] - [0030], [0036] - [0042], [0044] - [0051]	1-8,10-16,18-20,22
X	US 2005051861 A1 (SHI JIN-WEI [TW] ET AL) 10 March 2005 (2005-03-10) abstract; figures 1,2,5,6,7 paragraphs [0002], [0007] - [0010], [0020] - [0022], [0023], [0026] - [0027]	1-4,6,7,10-20,22
A	US 2018219120 A1 (HUANG ZHIHONG [US] ET AL) 02 August 2018 (2018-08-02) the whole document	1-22
A	Ning Li. "High-output-power photodetectors for analog optical links and avalanche photodiodes with undepleted absorber" <i>Dissertation</i> , December 2005 (2005-12), pages 1-151, Retrieved from the Internet: https://repositories.lib.utexas.edu/bitstream/handle/2152/2264/lin60886.pdf?sequence=2&isAllowed=y [retrieved on 2020-03-06] XP055674286 the whole document	1-22

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/EP2019/083110

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
JP	2001237454	A	31 August 2001	JP	3610910	B2	19 January 2005
				JP	2001237454	A	31 August 2001
JP	2007311455	A	29 November 2007	NONE			
US	2005051861	A1	10 March 2005	JP	3826129	B2	27 September 2006
				JP	2005086192	A	31 March 2005
				TW	I228320	B	21 February 2005
				US	2005051861	A1	10 March 2005
US	2018219120	A1	02 August 2018	US	2018219120	A1	02 August 2018
				WO	2017019013	A1	02 February 2017

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
INV. 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

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

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	KAZUHIRO SHIBA ET AL: "Theoretical and Experimental Study on Waveguide Avalanche Photodiodes With an Undepleted Absorption Layer for 25-Gb/s Operation", JOURNAL OF LIGHTWAVE TECHNOLOGY, IEEE, USA, Bd. 29, Nr. 2, 7. Januar 2011 (2011-01-07), Seiten 153-161, XP011341276, ISSN: 0733-8724, DOI: 10.1109/JLT.2010.2096498 Zusammenfassung; Abbildungen 1,4,5,6 Seite 153, linke Spalte - rechte Spalte Unterabschnitt B. "Effect of the Undepleted Absorption Layer"; Seite 156, linke Spalte - Seite 157, linke Spalte Abschnitt III. "FABRICATED DEVICE STRUCTURE"; Seite 157, linke Spalte - Seite 158, -/--	1-22



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

10. März 2020

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

16/03/2020

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

Sagol, Bülent Erol

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
	rechte Spalte	
X	----- JP 2001 237454 A (NEC CORP) 31. August 2001 (2001-08-31) Zusammenfassung; Abbildungen 1,2,3 Absätze [0001] - [0022], [0023] - [0027], [0035] - [0037], [0041] - [0046], [0047] - [0048]	1-22
X	----- JP 2007 311455 A (NEC CORP) 29. November 2007 (2007-11-29) Zusammenfassung; Abbildungen 1-4,5-6 Absätze [0001], [0012] - [0022], [0023], [0024] - [0030], [0036] - [0042], [0044] - [0051]	1-8, 10-16, 18-20,22
X	----- US 2005/051861 A1 (SHI JIN-WEI [TW] ET AL) 10. März 2005 (2005-03-10) Zusammenfassung; Abbildungen 1,2,5,6,7 Absätze [0002], [0007] - [0010], [0020] - [0022], [0023], [0026] - [0027]	1-4,6,7, 10-20,22
A	----- US 2018/219120 A1 (HUANG ZHIHONG [US] ET AL) 2. August 2018 (2018-08-02) das ganze Dokument	1-22
A	----- Ning Li: "High-output-power photodetectors for analog optical links and avalanche photodiodes with undepleted absorber", Dissertation, Dezember 2005 (2005-12), Seiten 1-151, XP055674286, Gefunden im Internet: URL:https://repositories.lib.utexas.edu/bitstream/handle/2152/2264/lin60886.pdf?sequence=2&isAllowed=y [gefunden am 2020-03-06] das ganze Dokument -----	1-22

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2019/083110

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
JP 2001237454 A	31-08-2001	JP 3610910 B2 JP 2001237454 A	19-01-2005 31-08-2001

JP 2007311455 A	29-11-2007	KEINE	

US 2005051861 A1	10-03-2005	JP 3826129 B2 JP 2005086192 A TW I228320 B US 2005051861 A1	27-09-2006 31-03-2005 21-02-2005 10-03-2005

US 2018219120 A1	02-08-2018	US 2018219120 A1 WO 2017019013 A1	02-08-2018 02-02-2017
