



(10) **DE 10 2011 075 103 B4** 2014.04.10

(12)

Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2011 075 103.3**
(22) Anmeldetag: **02.05.2011**
(43) Offenlegungstag: **08.11.2012**
(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: **10.04.2014**

(51) Int Cl.: **H01L 31/10** (2006.01)
H01L 31/109 (2006.01)
H01L 31/108 (2006.01)

Innerhalb von neun Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

(73) Patentinhaber:
Forschungsverbund Berlin e.V., 12489, Berlin, DE

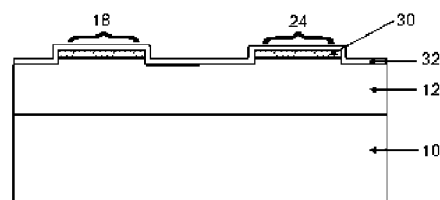
(74) Vertreter:
**Gulde Hengelhaupt Ziebig & Schneider, 10179,
Berlin, DE**

(72) Erfinder:
**Weyers, Markus, Dr., 15745, Wildau, DE; Knigge,
Andrea, Dr., 15711, Königs Wusterhausen, DE;
Würfl, Hans-Joachim, Dr., 15738, Zeuthen, DE**

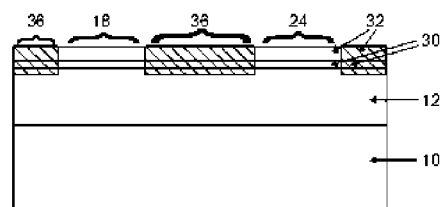
(56) Ermittelter Stand der Technik:
siehe Folgeseiten

(54) Bezeichnung: **Photodetektor**

(57) Hauptanspruch: Photodetektor, aufweisend:
ein Trägersubstrat (10);
eine Absorberschicht (12) aus einem ersten halbleitenden Material;
eine erste Elektrodenstruktur (14) mit einer Vielzahl von Fingern (18),
eine zweite Elektrodenstruktur (20) mit einer Vielzahl von Fingern (24), wobei die Finger (18) der ersten Elektrodenstruktur (14) und die Finger (24) der zweiten Elektrodenstruktur (20) berührungslos ineinander greifen,
einen ersten Kontakt (26) und einen zweiten Kontakt (28), wobei der erste Kontakt (26) vom zweiten Kontakt (28) beabstandet ist,
dadurch gekennzeichnet, dass
die Finger (18) der ersten Elektrodenstruktur (14) und die Finger (24) der zweiten Elektrodenstruktur (20) eine Deckschicht (30) aus einem zweiten halbleitenden Material aufweisen, wobei die Deckschicht (30) auf der Absorberschicht (12) angeordnet ist und die Absorberschicht (12) im Bereich der Finger (18, 24) direkt kontaktiert, und das erste halbleitende Material und das zweite halbleitende Material derart ausgebildet sind, dass sich an der Grenzschicht zwischen der Absorberschicht (12) und der Deckschicht (30) im Bereich der Finger (18, 24) ein zweidimensionales Elektronengas ausbildet.



a)



b)



(56) Ermittelter Stand der Technik:

DE	196 15 495	A1
GB	2 310 756	A
US	7 705 415	B1
US	2006 / 0 289 761	A1
EP	2 023 403	A1

Darling, R B; Nabet, B; Samaras, J E; Ray, S; Carter, E L: Epitaxial n+ Layer GaAs Mesa-Finger Interdigital Surface Photodetectors. In: IEEE Electron Device Letters, Vol. 10, No. 10, Oktober 1989, Seite 461-463, ISSN 0741-3106

Jiang, H.; Egawa, T.; Ishikawa, H.; Shao, C; Jimbo, T.: Visible-Blind Metal-Semiconductor-Metal Photodetectors Based on Undoped AlGaIn/GaN High Electron Mobility Transistor Structure. In: Japanese Journal of Applied Physics, 2004, Vol. 43, No. 5B, L683-685 – ISSN 0021-4922

M. Marso, J. Bernát, M. Wolter, P. Javorka, A. Fox, P. Kordos: MSM Diodes Based on an AlGaIn/GaN HEMT Layer Structure for Varactor and Photodiode Application. In: Advanced Semiconductor Devices And Microsystems (ASAM), 2002. 4th Conference on 14-16 Oct 2002, Piscataway, NJ, USA, IEEE, Seite 295-298, ISBN 978-0-7803-7276-4

Nabet, B.: A Heterojunction Metal-Semiconductor-Metal Photodetector. In: IEEE Photonics Technology Letters, 1997, Vol. 9, No. 2, S. 223-225 – ISSN 1041-1135

Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft einen Photodetektor, insbesondere einen UV-Photodetektor mit einer hohen Empfindlichkeit und einem geringen Dunkelstrom.

Stand der Technik

[0002] Ultraviolette Strahlung (nachfolgend auch UV-Strahlung) kann durch Lichtabsorption im Halbleiter nachgewiesen werden. Halbleiterbasierte UV-Photodetektoren können als Photoleiter, als Schottky-Photodiode oder als Metall-Halbleiter-Metall-Detektor (nachfolgend auch MSM-Detektor) ausgebildet sein.

[0003] Ein typischer Photodetektor besteht aus einer Schicht eines geeigneten Halbleitermaterials, das auf ein Substrat gewachsen wurde. Weiterhin werden Kontakte angebracht, die mit einem Auslese-Schaltkreis verbunden werden können. Da die absorbierten Photonen in der Regel nur in der Nähe der Kontakte oder im Bereich zwischen den Kontakten nachgewiesen werden können, werden Photodetektoren in vielen Fällen von oben beleuchtet. Ein inhärenter Nachteil eines solchen Detektors ist jedoch, dass der Bereich unter den herkömmlicherweise verwendeten Metallkontakten abgeschattet wird.

[0004] Ein Photoleiter besteht aus einer geeigneten Halbleiterschicht, beispielsweise Aluminium-Gallium-Nitrid, und zwei ohmschen Kontakten, an die eine Spannung angelegt wird. Durch die Spannung entsteht ein elektrisches Feld und es kann je nach Leitfähigkeit der Halbleiterschicht zwischen den Kontakten ein Strom fließen. Wird die Leitfähigkeit der Halbleiterschicht durch Beleuchtung aufgrund photogenerierter Ladungsträger erhöht, lässt sich ein zusätzlicher Photostrom messen. Im Photoleiter trägt das gesamte Gebiet zwischen den Kontakten zum Gesamtstrom bei. Die Wege bis zu den Kontakten sind relativ weit, so dass zum einen die Antwortzeiten relativ lang sind, zum anderen wegen Laufzeitunterschieden der beiden Ladungsträgerarten Gewinnmechanismen auftreten können. Letztere ermöglichen Quantenausbeutewerte von über 100%. Aus diesem Grund bietet der Photoleiter zwar eine sehr hohe Empfindlichkeit im Vergleich zu anderen Detektorarten, aber kein lineares Verhalten der Empfindlichkeit. Außerdem erfahren auch thermisch generierte Ladungsträger den Gewinnmechanismus, weshalb Photoleiter nachteilhafterweise einen hohen Dunkelstrom aufweisen. Weiterhin wird der Dunkelstrom nachteilhafterweise nicht durch Potentialbarrieren z. B. an der Grenzfläche Metall/Halbleiter reduziert.

[0005] Eine Schottky-Photodiode besteht aus einer Halbleiterschicht mit einem großflächigen Schottky-Kontakt und einem ohmschen Kontakt. Hier liegt die

Raumladungszone direkt unter dem Schottky-Kontakt, weshalb dieser semitransparent sein muss. Der semitransparente Metallkontakt führt nachteilhafterweise zu einer Abschwächung des zu messenden Signals durch Absorption. Weiterhin kann der Kontakt durch Energiezufuhr zunehmend einen ohmschen Charakter erhalten, was zur Degradation des Bauelements führt (Erhöhung des Leckstroms). Die Notwendigkeit einer vergrabenen dotierten Schicht als rückseitige Elektrode erfordert bei diesen Detektoren einen aufwändigen Prozess mit Freilegung und Kontaktierung dieser Schicht, deren begrenzte Leitfähigkeit zudem die Abmessungen der Bauelemente beschränkt. Bezüglich der Parameter Bandbreite, Linearität und Dunkelstrom bzw. Kontrast zeigen Schottky-Photodioden ein ähnliches Verhalten wie MSM-Detektoren.

[0006] MSM-Detektoren bestehen aus einer Halbleiterschicht mit zwei ineinandergreifenden Schottky-Kontakten. An die Kontakte wird eine Spannung angelegt, sodass einer der Schottky-Kontakte unter Sperrspannung und der andere Schottky-Kontakt unter Durchlassspannung stehen. Der Nachweis der Photonen erfolgt hier nach dem gleichen Prinzip wie bei einem p-n-Übergang über die Trennung der Elektron-Loch-Paare in der Raumladungszone und dem daraus resultierenden Photostrom. Die Breite der Raumladungszone wird mit zunehmender Sperrspannung größer, weshalb sich die Eigenschaften wie Bandbreite und Empfindlichkeit über die angelegte Spannung variieren lassen. Um eine maximale aktive Detektorfläche und somit eine höchstmögliche Empfindlichkeit zu erreichen, werden die Metallkontakte in einer Fingerstruktur angeordnet. Dabei müssen die Abstände der Finger und die angelegte Spannung so gewählt werden, dass möglichst der gesamte Bereich zwischen den Kontakten als Detektorfläche wirkt, d. h. alle Elektron-Loch-Paare innerhalb der Diffusionslänge der Raumladungszone erzeugt werden, damit sie zum Photostrom beitragen können.

[0007] Weitere Photodetektoren sind aus Nabet, B.: „A Heterojunction Metall-Semiconductor-Metall Photodetector“, IEEE Photonics Technology Letters, 1997, Vol. 9, No. 2. S. 223–225, und der US 7 705 415 B1 und der EP 2 023 403 A1 bekannt.

[0008] Bei herkömmlichen MSM-Photodetektoren reduzieren die abschattenden Metallfinger nachteilhafterweise die Photoempfindlichkeit. Weiterhin kann eine Degradation der metallischen Kontakte auf dem Halbleiter (beispielsweise GaN als Absorber) mit zunehmendem ohmschen Anteil nicht ausgeschlossen werden. Auch kann eine freiliegende Halbleiter-Oberfläche (beispielsweise GaN) unter UV-Bestrahlung zu erhöhten Leckströmen entlang der Oberfläche und damit zu erhöhten Dunkelströmen führen.

[0009] Weiterhin ist es aus Jiang et al. „Visible-Blind Metal-Semiconductor-Metal Photodetectors Based on Undoped AlGa_N/Ga_N High Electron Mobility Heterostructure“, Jpn. J. Appl. Phys. 43, L683–1685 (2004) bekannt, zwischen der Halbleiter-Absorberschicht und den Metallkontakten eine zusätzliche AlGa_N-Schicht einzuführen, die eine stabile Barriere zum Halbleiter (Absorber) bildet. Der Metallkontakt wird dann auf dieser AlGa_N-Schicht gebildet. Die Empfindlichkeit eines solchen MSM-Detektors ist jedoch weiterhin aufgrund der Abschattungseffekte durch die Metallfinger stark begrenzt.

Offenbarung der Erfindung

[0010] Es ist daher Aufgabe der vorliegenden Erfindung, einen UV-Photodetektor anzugeben, der die Nachteile des Standes der Technik überwindet. Insbesondere soll der erfindungsgemäße UV-Photodetektor eine hohe Empfindlichkeit und einen geringen Dunkelstrom aufweisen. Weiterhin soll der erfindungsgemäße UV-Photodetektor kostengünstig herstellbar sein. Darüber hinaus soll der erfindungsgemäße UV-Photodetektor eine hohe Bandbreite bzw. eine hohe Detektivität aufweisen, um beispielsweise in der optischen Kommunikation eingesetzt werden zu können.

[0011] Diese Aufgaben werden erfindungsgemäß durch die Merkmale des Patentanspruchs 1 und des Patentanspruchs 5 gelöst. Zweckmäßige Ausgestaltungen der Erfindung sind in den Unteransprüchen enthalten. Die Merkmale des Oberbegriffes des Anspruchs 1 sind aus der oben genannten Literaturstelle Nabet B. et al. bekannt. Die Merkmale des Oberbegriffes des Anspruchs 5 sind aus der EP 2 023 403 A1 bekannt.

[0012] Die Idee der vorliegenden Erfindung besteht darin, einen MSM-Photodetektor dahingehend weiterzubilden, dass auf der Absorberschicht, die vorzugsweise aus Ga_N (Gallium-Nitrid) oder AlGa_N (Aluminium-Gallium-Nitrid) besteht, eine Barrierschicht (nachfolgend auch als Deckschicht bezeichnet) ausgebildet wird, wobei zwischen der Deckschicht und der Absorberschicht ein leitfähiger Kanal durch ein zweidimensionales Elektronengas (2DEG) entsteht. Dazu muss die Deckschicht einen höheren Gehalt an Aluminium aufweisen, als die darunter liegende Absorberschicht. Wenn die Schichten die üblicherweise benutzte metallpolare c-Achsen-Orientierung aufweisen, dann sammeln sich durch die Überlagerung von spontaner und piezoelektrischer Polarisation an der Grenzfläche zwischen Absorber und Deckschicht Elektronen an, die den leitfähigen Kanal bilden. Erfindungsgemäß wird der leitfähige Schichtenstapel aus Absorberschicht und Deckschicht fingerförmig strukturiert, wobei die Leitfähigkeit zwischen den Fingern reduziert werden muss, um geringe Dunkelströme sicherzustellen. Da der

leitfähige Kanal im Grenzbereich zwischen Absorberschicht und Deckschicht entsteht, bedeutet eine fingerförmige Strukturierung des Schichtenstapels nicht notwendigerweise, dass beide Schichten (Absorberschicht und Deckschicht) fingerförmig strukturiert sein müssen. Es reicht vielmehr aus, dass lediglich die Deckschicht fingerförmig strukturiert ist. Es ist alternativ möglich, beide Schichten (Absorberschicht und Deckschicht) fingerförmig zu strukturieren, wobei die Absorberschicht in diesem Fall vorzugsweise nur oberflächennah in Finger strukturiert wird.

[0013] Grundsätzlich ist es bevorzugt, dass die Absorberschicht zwischen der Deckschicht und dem Substrat angeordnet ist, also die Deckschicht über der Absorberschicht angeordnet ist. Es ist jedoch auch möglich, dass die Deckschicht zwischen der Absorberschicht und dem Substrat angeordnet ist, wobei die Deckschicht in einer solchen Ausführungsvariante unter der Absorberschicht angeordnet ist. Das Merkmal „Deckschicht auf der Absorberschicht angeordnet“ kann also bedeuten, dass die Deckschicht die Absorberschicht von oben oder von unten her bedeckt.

[0014] Die Strukturierung des zweidimensionalen Elektronengases kann bevorzugt durch Entfernung der Deckschicht (Ätzung) oder durch geeignete flache Ionenimplantation erfolgen, wobei dadurch die Leitfähigkeit des 2DEG im Bereich zwischen den Fingern zerstört bzw. ausreichend herabgesetzt wird.

[0015] In der bevorzugten Variante der Erfindung wird das 2DEG als Zuleitung verwandt und auf einen Metallkontakt im Bereich der Finger (Detektionsbereich) vollständig verzichtet. Damit werden sämtliche Abschattungseffekte unterdrückt.

[0016] Das erfindungsgemäße Prinzip der Zuleitung über ein 2DEG lässt sich für längere Wellenlängen auch auf Photodetektoren mit einer Absorberschicht aus InGa_N statt Ga_N, für kürzere Wellenlängen auch auf Photodetektoren mit einer Absorberschicht aus AlGa_N statt Ga_N übertragen. Im letzteren Fall besteht die Deckschicht dann vorzugsweise auch aus AlGa_N, muss jedoch dann einen höheren Al-Gehalt als die Absorberschicht aufweisen.

[0017] Alle erfindungsgemäßen Bauformen weisen vorzugsweise eine im UV transparente Schutzschicht (vorzugsweise AlO_x) zur Stabilisierung der Oberfläche durch Vermeidung von Kontakt mit oxidierenden Medien (Luft) und zur besseren Einkopplung bei einer Arbeitswellenlänge auf. Dabei ist die optische Dicke der Schutzschicht an die gewünschte Arbeitswellenlänge anzupassen.

[0018] Der erfindungsgemäße Detektor umfasst gemäß einem ersten Aspekt der Erfindung ein Trägersubstrat; eine Absorberschicht aus einem ers-

ten halbleitenden Material; eine erste (vorzugsweise kammförmig ausgebildete) Elektrodenstruktur mit einer Vielzahl von Fingern, eine zweite (vorzugsweise kammförmig) ausgebildete Elektrodenstruktur mit einer Vielzahl von Fingern, wobei die Finger der ersten Elektrodenstruktur und die Finger der zweiten Elektrodenstruktur berührungslos ineinander greifen, sowie einen ersten Kontakt und einen zweiten Kontakt, wobei der erste Kontakt vom zweiten Kontakt beabstandet ist, wobei die Finger der ersten Elektrodenstruktur und die Finger der zweiten Elektrodenstruktur jeweils eine Deckschicht aus einem zweiten halbleitenden Material aufweisen und die Deckschicht auf der Absorberschicht angeordnet ist und die Absorberschicht im Bereich der Finger direkt kontaktiert, und wobei das erste halbleitende Material und das zweite halbleitende Material derart ausgebildet sind, dass sich an der Grenzschicht zwischen der Absorberschicht und der Deckschicht im Bereich der Finger ein zweidimensionales Elektronengas ausbildet.

[0019] Die Idee besteht also darin, die Finger durch zwei halbleitende Schichten (Absorberschicht und Deckschicht) auszubilden, wobei die halbleitenden Materialien derart gewählt sind, dass ein leitfähiger Kanal (2DEG) entsteht. Ein 2DEG im Sinne der vorliegenden Erfindung weist eine Elektronenbeweglichkeit größer als $100 \text{ cm}^2/\text{Vs}$, bevorzugter größer als $500 \text{ cm}^2/\text{Vs}$, noch bevorzugter größer als $1000 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ und noch bevorzugter größer als $1200 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ auf. Weiterhin weist ein 2DEG eine Schichtkonzentration an freien Elektronen größer 10^{10} cm^{-2} , bevorzugter größer 10^{11} cm^{-2} , noch bevorzugter größer 10^{12} cm^{-2} und noch bevorzugter größer 10^{13} cm^{-2} auf. Erfindungsgemäß sind die Bereiche zwischen den Fingern derart ausgestaltet, dass sich dort kein 2DEG befindet. Dies kann zum einen erreicht werden, indem die Elektronenbeweglichkeit kleiner als $100 \text{ cm}^2/\text{Vs}$, bevorzugter kleiner als $50 \text{ cm}^2/\text{Vs}$, noch bevorzugter kleiner als $30 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ und noch bevorzugter kleiner als $10 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ ist. Alternativ kann das 2DEG auch durch Entfernung der Deckschicht und damit verbunden der Polarisationsladungen beseitigt werden. Dazu muss die Schichtkonzentration an freien Elektronen auf kleiner 10^{11} cm^{-2} , bevorzugt kleiner 10^{10} cm^{-2} abgesenkt werden.

[0020] Vorzugsweise ist die Absorberschicht von der Deckschicht im Bereich zwischen den Fingern freigelegt. Dies kann in einer bevorzugten Variante durch Ätzung der Deckschicht im Bereich zwischen den Fingern erfolgen, wobei das 2DEG entfernt wird. Alternativ ist es bevorzugt, dass die Deckschicht die Absorberschicht sowohl im Bereich zwischen den Fingern als auch im Bereich der Finger überdeckt, wobei die Deckschicht durch (flache) Ionenimplantation derart behandelt wird, dass die Beweglichkeit an der Grenzfläche zwischen Deckschicht und Absorberschicht ausreichend herabgesetzt und damit der leitfähige Kanal dort zerstört wird.

[0021] Vorzugsweise ist die Absorberschicht aus Galliumnitrid, Indium-Galliumnitrid oder Aluminium-Galliumnitrid ausgebildet. Vorzugsweise ist die Deckschicht aus Aluminiumgalliumnitrid ausgebildet. Der Aluminium-Gehalt der Deckschicht muss dabei höher sein als der Aluminium-Gehalt des Absorbers. Vorzugsweise ist eine Schutzschicht vorgesehen, die die erste Elektrodenstruktur und die zweite Elektrodenstruktur vollständig überdeckt. Alternativ ist es bevorzugt, dass die Schutzschicht nur zwischen den Fingern (wenn diese ein Metall aufweisen) aufgebracht wird.

[0022] Vorzugsweise ist die Schutzschicht aus Aluminiumoxid, Siliziumdioxid oder Siliziumnitrid oder Kombinationen dieser Materialien ausgebildet. Vorzugsweise weisen der erste Kontakt und/oder der zweite Kontakt ein Metall auf. Noch bevorzugter bestehen der erste Kontakt und/oder der zweite Kontakt aus verschiedenen Metallschichten oder einer Metalllegierung.

[0023] Vorzugsweise sind der erste Kontakt und/oder der zweite Kontakt als ohmscher Kontakt ausgebildet, d. h. die Austrittsarbeit des Metalls des Kontakts ist kleiner als die Austrittsarbeit des den Kontakt direkt kontaktierenden Halbleiters.

[0024] Vorzugsweise weisen die Finger eine Länge zwischen 30 und $1000 \mu\text{m}$, bevorzugter zwischen 50 und $150 \mu\text{m}$ auf. Vorzugsweise weisen die Finger eine Breite zwischen 2 und $30 \mu\text{m}$, bevorzugter zwischen 10 und $20 \mu\text{m}$ auf. Vorzugsweise beträgt der Abstand zwischen den Fingern zwischen 2 und $15 \mu\text{m}$, bevorzugter zwischen 5 und $8 \mu\text{m}$. Vorzugsweise beträgt die Dicke der Absorberschicht zwischen 0.1 und $10 \mu\text{m}$, bevorzugter zwischen 1.0 und $5 \mu\text{m}$. Vorzugsweise beträgt die Dicke der Deckschicht zwischen 2 und 100 nm , bevorzugter zwischen 10 und 30 nm . Die Anzahl der Finger je Elektrodenstruktur beträgt gemäß einer bevorzugten Ausführungsvariante der Erfindung zwischen 2 und 50 , bevorzugter zwischen 3 und 10 .

[0025] Vorzugsweise weisen die Finger der ersten und zweiten Elektrodenstrukturen kein Metall auf, wodurch Abschattungseffekte besonders effizient vermieden werden können.

[0026] Vorzugsweise erstreckt sich die Absorberschicht über den gesamten Bereich der ersten und zweiten Elektrodenstruktur sowie des ersten und zweiten Kontakts. Vorzugsweise sind die Absorberschicht, die Deckschicht (und ggf. die Schutzschicht) als planare Schichten mit uniformer Schichtdicke ausgebildet. Vorzugsweise sind die Absorberschicht und/oder die Deckschicht aus undotierten halbleitenden Materialien ausgebildet.

[0027] Die Herstellung der erfindungsgemäßen UV-Detektoren erfolgt vorzugsweise durch Ausbilden einer Epitaxiestruktur: Substrat, ggf. Bufferschicht, Absorberschicht (vorzugsweise GaN) und Deckschicht (vorzugsweise AlGaIn). Das Ausbilden der Epitaxiestruktur sowie die Strukturierungsschritte sind mit der gleichzeitigen Ausbildung weiterer elektronischer Bauelementen kombinierbar (Integration Elektronik und optische Detektion möglich, optische Schalter). Die Strukturierung der Deckschicht zur Bildung der Finger bzw. (kammförmigen) Fingerstruktur erfolgt durch Ätzung oder durch Implantation (bevorzugt mittels Maske). In beiden Fällen wird eine Zerstörung der Leitfähigkeit und damit des 2DEG zwischen den Fingern realisiert, wodurch in den nicht behandelten Bereichen die (leitfähige) Fingerstruktur ausgebildet wird.

[0028] Die Ankontaktierung der Finger mit Metall erfolgt nur im (dem jeweiligen Kontakt zugewandten) Außenbereich der Finger, beispielsweise im Bereich der Schiene (sofern vorhanden).

[0029] Nachfolgend wird optional ein ganzflächiger Isolator (Schutzschicht) abgeschieden. Der Isolator bietet Schutz vor Umgebungseinflüssen. Weiterhin besteht die Möglichkeit der Auslegung als Antireflexionsschicht, d. h. Erhöhung der Empfindlichkeit durch bessere Einkopplung des nachzuweisenden Lichts. Der Isolator kann vor der Implantation aufgebracht werden, um eine Kontamination der Oberfläche nach der Implantation zu vermeiden.

[0030] Der Vorteil des erfindungsgemäßen 2DEG-Photodetektors gegenüber herkömmlichen MSM-Detektoren besteht darin, dass keine Abschattung des einfallenden Lichts durch Metallfinger erfolgt und somit eine große aktive Fläche, d. h. eine hohe Quantenausbeute realisiert werden kann. Weiterhin weist das 2DEG eine hohe Elektronenbeweglichkeit, d. h. der erfindungsgemäße 2DEG-Photodetektor weist eine hohe Bandbreite auf. Aufgrund der Ausschaltung von Oberflächenzuständen bei implantierten Photodetektoren kann ein kleiner Dunkelstrom realisiert werden.

[0031] In einer alternativen Ausführungsvariante der Erfindung wird ein MSM-Detektor unter Beibehaltung von Metallfingern dahingehend weitergebildet, dass zwischen der Absorberschicht und den Metallfingern (im Bereich der Finger) eine Deckschicht aus einem halbleitenden Material angeordnet wird, wobei die Bandlücke des halbleitenden Materials der Deckschicht höher als die Bandlücke des halbleitenden Materials der Absorberschicht ist, so dass ein Dunkelstrom effizient verringert werden kann. Dazu umfasst der erfindungsgemäße Detektor gemäß einem zweiten Aspekt der Erfindung ein Trägersubstrat; eine Absorberschicht aus einem ersten halbleitenden Material; eine erste (vorzugsweise kammförmig) ausge-

bildete Elektrodenstruktur mit einer Vielzahl von Fingern, eine zweite (vorzugsweise kammförmig) ausgebildete Elektrodenstruktur mit einer Vielzahl von Fingern, wobei die Finger der ersten Elektrodenstruktur und die Finger der zweiten Elektrodenstruktur berührungslos ineinander greifen, einen ersten Kontakt und einen zweiten Kontakt, wobei der erste Kontakt vom zweiten Kontakt beabstandet ist, und wobei die Kontakte und die Finger ein Metall aufweisen oder durch ein Metall oder eine Metalllegierung ausgebildet sind, wobei zwischen den Fingern und der Absorberschicht eine Deckschicht aus einem zweiten halbleitenden Material angeordnet ist, wobei die Deckschicht die Absorberschicht im Bereich der Finger direkt kontaktiert, und das erste halbleitende Material eine kleinere Bandlücke als das zweite halbleitende Material aufweist, wobei die Absorberschicht von der Deckschicht im Bereich zwischen den Fingern freigelegt, oder die Deckschicht alternativ (im Falle einer Implantation) die Absorberschicht sowohl im Bereich zwischen den Fingern als auch im Bereich der Finger überdeckt, wobei die Deckschicht (durch flache Ionenimplantation) derart ausgebildet ist, dass die Leitfähigkeit in der Deckschicht und im Bereich zwischen Deckschicht und Absorberschicht zerstört bzw. ausreichend herabgesetzt ist, also kleiner als $100 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ beträgt.

[0032] Vorzugsweise sind der erste Kontakt (und die dazugehörige Elektrodenstruktur) und/oder der zweite Kontakt (und die dazugehörige Elektrodenstruktur) direkt auf der Deckschicht angeordnet und als Schottky-Kontakt ausgebildet. In einer alternativen Ausführungsvariante ist einer der Kontakte (und die dazugehörige Elektrodenstruktur) als Schottky-Kontakt und der Kontakt (und die dazugehörige Elektrodenstruktur) als ohmscher Kontakt ausgebildet.

[0033] Vorzugsweise erstreckt sich die Absorberschicht über den gesamten Bereich der ersten und zweiten Elektrodenstruktur sowie des ersten und zweiten Kontakts. Vorzugsweise sind die Absorberschicht und/oder die Deckschicht aus undotierten halbleitenden Materialien ausgebildet.

[0034] Vorzugsweise ist die Absorberschicht aus Galliumnitrid, Indium-Galliumnitrid oder Aluminium-Galliumnitrid ausgebildet. Vorzugsweise ist die Deckschicht aus Aluminiumgalliumnitrid ausgebildet. Vorzugsweise ist eine Schutzschicht vorgesehen, die die erste Elektrodenstruktur und die zweite Elektrodenstruktur vollständig überdeckt. Vorzugsweise ist die Schutzschicht aus Aluminiumoxid, Siliziumdioxid oder Siliziumnitrid oder Kombinationen dieser Materialien ausgebildet. Vorzugsweise weisen der erste Kontakt und/oder der zweite Kontakt ein Metall auf. Noch bevorzugter bestehen der erste Kontakt und/oder der zweite Kontakt aus einem Metall oder einer Metalllegierung.

[0035] Vorzugsweise weisen die Finger eine Länge zwischen 30 und 1000 μm , bevorzugter zwischen 50 und 150 μm auf. Vorzugsweise weisen die Finger eine Breite zwischen 2 und 30 μm , bevorzugter zwischen 10 und 20 μm auf. Vorzugsweise beträgt der Abstand zwischen den Fingern zwischen 2 und 15 μm , bevorzugter zwischen 5 und 8 μm . Vorzugsweise beträgt die Dicke der Absorberschicht zwischen 0.1 und 10 μm , bevorzugter zwischen 1.0 und 5 μm . Vorzugsweise beträgt die Dicke der Deckschicht zwischen 2 und 100 nm, bevorzugter zwischen 10 und 30 nm. Die Anzahl der Finger je Elektrodenstruktur beträgt gemäß einer bevorzugten Ausführungsvariante der Erfindung zwischen 2 und 50, bevorzugter zwischen 3 und 10.

[0036] Vorzugsweise erstreckt sich die Absorberschicht über den gesamten Bereich der ersten und zweiten Elektrodenstruktur sowie des ersten und zweiten Kontakts. Vorzugsweise sind die Absorberschicht, die Deckschicht (und ggf. die Schutzschicht) als planare Schichten mit uniformer Schichtdicke ausgebildet. Vorzugsweise sind die Absorberschicht und/oder die Deckschicht aus undotierten halbleitenden Materialien ausgebildet.

Kurzbeschreibung der Zeichnungen

[0037] Die Erfindung wird nachfolgend anhand von Ausführungsbeispielen näher erläutert.

[0038] Es zeigen:

[0039] Fig. 1 eine Draufsicht eines erfindungsgemäßen UV-Photodetektors,

[0040] Fig. 2a den UV-Photodetektor der Fig. 1 mit durch Ätzung strukturierter Deckschicht in schematischer geschnittener Darstellung entlang der Schnittlinie A-A',

[0041] Fig. 2b den UV-Photodetektor der Fig. 1 mit durch Implantation strukturierter Deckschicht in schematischer geschnittener Darstellung entlang der Schnittlinie A-A',

[0042] Fig. 3 eine Draufsicht eines weiteren Designs eines erfindungsgemäßen UV-Photodetektors,

[0043] Fig. 4 die Empfindlichkeit des in Fig. 3 gezeigten Detektors in Abhängigkeit von der Wellenlänge,

[0044] Fig. 5 den Photostrom einer beispielhaften Ausführung des in Fig. 3 gezeigten Detektors in Abhängigkeit von der angelegten Spannung,

[0045] Fig. 6 die zeitliche Auflösung des Photostroms des Ausführungsbeispiels des in Fig. 3 ge-

zeigten Detektors bei optischem Schalten mit 10 Hz bei einer Wellenlänge von 345 nm,

[0046] Fig. 7 eine Draufsicht eines erfindungsgemäßen UV-Photodetektors gemäß einer alternativen Ausführungsvariante,

[0047] Fig. 8a den UV-Photodetektor der Fig. 7 mit durch Ätzung strukturierter Deckschicht in schematischer geschnittener Darstellung entlang der Schnittlinie A-A', und

[0048] Fig. 8b den UV-Photodetektor der Fig. 7 mit durch Implantation strukturierter Deckschicht in schematischer geschnittener Darstellung entlang der Schnittlinie A-A'.

Ausführliche Beschreibung der Zeichnungen

[0049] Die Fig. 1, Fig. 2a und Fig. 2b zeigen ein Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen UV-Photodetektors. Auf dem Substrat **10** wird eine (hier nicht gezeigte) Nukleationsschicht mit einer Dicke von 50 nm aufgebracht. Auf dieser Nukleationsschicht wird eine undotierte 1.6 μm dicke GaN-Absorberschicht **12** aufgebracht. Danach wird auf der Absorberschicht **12** eine 20 nm dicke Deckschicht **30** aus undotiertem AlGaIn mit einem Aluminiumgehalt von 25% aufgebracht. Sämtliche Schichten werden im vorliegenden Ausführungsbeispiel mittels metallorganischer Gasphasenepitaxie aufgewachsen. Die Kontakte **26**, **28** sind beispielsweise aus Titan, Aluminium oder einer Titan-Aluminium-Legierung ausgebildet. Die Ankontaktierung der Finger **18**, **24** durch die metallhaltigen Kontakte **26**, **28** erfolgt nur im Außenbereich der Finger **18**, **24**, z. B. im Bereich der Schienen **16**, **22** (siehe Fig. 3). Die Finger **18**, **24** weisen eine Länge von 70 μm und eine Breite zwischen 10 und 20 μm auf. Der Abstand benachbarter Finger beträgt zwischen 5 und 8 μm .

[0050] Durch die zusätzliche fingerförmig strukturierte Deckschicht **30** wird in der Grenzschicht zwischen Absorberschicht **12** und Deckschicht **30** ein 2DEG erzeugt, das einen leitfähigen Kanal realisiert, wodurch auf die Verwendung von Metall in den Fingern **18**, **24** erfindungsgemäß verzichtet werden kann. Dadurch werden die Abschattungseffekte verringert und die Empfindlichkeit des Detektors erhöht. Gleichzeitig wird der Dunkelstrom durch die fingerförmige Strukturierung der Deckschicht **30** reduziert. Die Struktur in der Deckschicht **30** kann durch Ätzung in den Bereichen zwischen den Fingern (Fig. 2a) oder durch Implantation in den Bereichen zwischen den Fingern (Fig. 2b) erzeugt werden. Mit anderen Worten ist das 2DEG lediglich in den Fingern, jedoch nicht zwischen den Fingern vorhanden. Weiterhin ist eine Schutzschicht **32** vorgesehen, die die Schichten **12** und **30** im gesamten photosensitiven Gebiet überdeckt.

[0051] Fig. 3 zeigt eine alternative Ausgestaltung des erfindungsgemäßen UV-Photodetektors. Während die Metallkontakte **26**, **28** die Schienen in der Ausführungsvariante der Fig. 1 nahezu vollständig überdecken, sind die Schienen **16**, **22** in der Ausführungsvariante der Fig. 3 nicht von den Metallkontakten **26**, **28** überdeckt. Weiterhin ist es nicht zwingend erforderlich, die Metallkontakte **26**, **28** symmetrisch zu den Elektrodenstrukturen **14**, **20** anzuordnen. Die Schichtdicken und Materialien entsprechen denen der Fig. 1. Die Finger **18**, **24** weisen eine Länge von 70 µm auf. Die Finger **18** der ersten Elektrodenstruktur weisen eine Breite von 20 µm und die Finger **24** der zweiten Elektrodenstruktur weisen eine Breite von 10 µm auf. Der Abstand benachbarter Finger beträgt 5 µm und der Abstand zwischen den Fingerenden und der Schiene der jeweils anderen Elektrodenstruktur beträgt 8 µm. Das photosensitive Gebiet weist eine Fläche von 160 µm × 100 µm auf. Das sich an der Grenzfläche zwischen der Absorberschicht **12** und der Deckschicht **30** ausbildende 2DEG weist eine Ladungsträgerdichte von $8 \cdot 10^{12} \text{ cm}^{-2}$ und eine Elektronenmobilität von $1800 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ auf.

[0052] Fig. 4 zeigt die Empfindlichkeit des in Fig. 3 gezeigten Detektors in Abhängigkeit von der Wellenlänge bei einer optischen Eingangsleistung von $100 \mu\text{W}/\text{cm}^2$. Es ist erkennbar, dass der UV-Photodetektor eine maximale Empfindlichkeit bei 312 nm (maximale Empfindlichkeit beträgt $70 \text{ A}/\text{mW}$ für eine Spannung von 100 V) und eine Grenzwellenlänge von 365 nm aufweist, ab der die Empfindlichkeit stark abfällt. Der Kontrast der Empfindlichkeit für UV-Strahlung zur Empfindlichkeit für sichtbare VIS-Strahlung beträgt 10^4 .

[0053] Fig. 5 zeigt den Photostrom des in Fig. 3 gezeigten Detektors in Abhängigkeit von der angelegten Spannung für unterschiedliche optische Eingangsleistungen zwischen $4 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ und $100 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ bei einer Wellenlänge von 355 nm. Da eine Sättigung des Photostroms bei 80 V eintritt, kann ein optisches Schalten des Detektors auf einen bestimmten Photostrom bei höheren Spannungen durch die optische Eingangsleistung eingestellt werden. Da der Dunkelstrom im gezeigten Messbereich unter 50 nA liegt, kann ein UV Signal mit einem Kontrast von 5 Größenordnungen detektiert werden.

[0054] Fig. 6 zeigt die zeitliche Auflösung des Photostroms des in Fig. 3 gezeigten Detektors bei optischem Schalten mit 10 Hz bei einer Wellenlänge von 345 nm. Die Ansprechzeit des Photodetektors beträgt ca. 6 ms.

[0055] Die Fig. 7, Fig. 8a und Fig. 8b zeigen einen erfindungsgemäßen UV-Photodetektor gemäß einer alternativen Ausführungsvariante. Während die UV-Photodetektoren der Fig. 1 bis Fig. 3 gerade auf Me-

tallkontakte im Bereich der Finger **18**, **24** vollständig verzichten, um Abschattungseffekte zu verringern, wird ein MSM-Detektor unter Beibehaltung von Metallfingern dahingehend weitergebildet, dass zwischen der Absorberschicht **12** und den Metallfingern **34** (d. h. das Metall befindet sich nicht nur im Bereich der Kontakte **26**, **28**, sondern auch im Bereich der Finger **18**, **24**) eine Deckschicht **30** aus einem halbleitenden Material angeordnet wird, wobei diese Deckschicht **30** fingerförmig strukturiert ist. Die Strukturierung der Deckschicht **30** kann durch Ätzung in den Bereichen zwischen den Fingern (Fig. 8a) oder durch Implantation in den Bereichen zwischen den Fingern (Fig. 8b) erzeugt werden. Mit anderen Worten ist die Deckschicht **30** lediglich in den Fingern, jedoch nicht zwischen den Fingern vorhanden. Daher bestehen die Finger in diesem Fall aus den Schichten **12**, **30** und **34**. Weiterhin ist eine Schutzschicht **32** vorgesehen, die die Schichten **12** und **30** im gesamten photosensitiven Gebiet überdeckt. Die Metallschicht **34** der Finger **18**, **24** muss jedoch nicht notwendigerweise von der Schutzschicht **32** überdeckt werden.

[0056] Durch die fingerförmige Strukturierung der Deckschicht **30** wird die Leitfähigkeit in der Deckschicht **30** und im Bereich zwischen Deckschicht **30** und Absorberschicht **12** (zwischen den Fingern **18**, **24**) zerstört bzw. ausreichend herabgesetzt, so dass der Dunkelstrom des UV-Photodetektors im Vergleich zu einem herkömmlichen MSM-Detektor (ohne Deckschicht zwischen der Absorberschicht und den Metallfingern) vorteilhafterweise reduziert werden kann.

Bezugszeichenliste

10	Trägersubstrat
12	Absorberschicht
14	(Kammförmig ausgebildete) erste Elektrodenstruktur
16	Schiene der ersten Elektrodenstruktur
18	Finger der ersten Elektrodenstruktur
20	(Kammförmig ausgebildete) zweite Elektrodenstruktur
22	Schiene der zweiten Elektrodenstruktur
24	Finger der zweiten Elektrodenstruktur
26	Erster Kontakt
28	Zweiter Kontakt
30	Deckschicht
32	Schutzschicht
34	Metallschicht
36	Implantationsbereich
A-A	Schnittlinie

Patentansprüche

1. Photodetektor, aufweisend:
ein Trägersubstrat (**10**);
eine Absorberschicht (**12**) aus einem ersten halbleitenden Material;

eine erste Elektrodenstruktur (14) mit einer Vielzahl von Fingern (18),

eine zweite Elektrodenstruktur (20) mit einer Vielzahl von Fingern (24), wobei die Finger (18) der ersten Elektrodenstruktur (14) und die Finger (24) der zweiten Elektrodenstruktur (20) berührungslos ineinander greifen,

einen ersten Kontakt (26) und einen zweiten Kontakt (28), wobei der erste Kontakt (26) vom zweiten Kontakt (28) beabstandet ist,

dadurch gekennzeichnet, dass

die Finger (18) der ersten Elektrodenstruktur (14) und die Finger (24) der zweiten Elektrodenstruktur (20) eine Deckschicht (30) aus einem zweiten halbleitenden Material aufweisen, wobei die Deckschicht (30) auf der Absorberschicht (12) angeordnet ist und die Absorberschicht (12) im Bereich der Finger (18, 24) direkt kontaktiert, und das erste halbleitende Material und das zweite halbleitende Material derart ausgebildet sind, dass sich an der Grenzschicht zwischen der Absorberschicht (12) und der Deckschicht (30) im Bereich der Finger (18, 24) ein zweidimensionales Elektronengas ausbildet.

2. Photodetektor nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Finger (18, 24) der ersten und zweiten Elektrodenstrukturen (14, 20) kein Metall aufweisen.

3. Photodetektor nach einem der Ansprüche 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass der erste Kontakt (26) und/oder der zweite Kontakt (28) durch ein Metall, verschiedene Metallschichten oder durch eine Metalllegierung ausgebildet sind.

4. Photodetektor nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Deckschicht (30) über der Absorberschicht (12) oder unter der Absorberschicht (12) angeordnet ist.

5. Photodetektor, aufweisend:

ein Trägersubstrat (10);

eine Absorberschicht (12) aus einem ersten halbleitenden Material;

eine erste Elektrodenstruktur (14) mit einer Vielzahl von Fingern (18),

eine zweite Elektrodenstruktur (20) mit einer Vielzahl von Fingern (24), wobei die Finger (18) der ersten Elektrodenstruktur (14) und die Finger (24) der zweiten Elektrodenstruktur (20) berührungslos ineinander greifen,

einen ersten Kontakt (26) und einen zweiten Kontakt (28), wobei der erste Kontakt (26) vom zweiten Kontakt (28) beabstandet ist, und wobei die Kontakte (26, 28) und die Finger (18, 24) ein Metall (34) aufweisen oder durch ein Metall (34) oder eine Metalllegierung ausgebildet sind, wobei

zwischen den Fingern (18, 24) und der Absorberschicht (12) eine Deckschicht (30) aus einem zweiten halbleitenden Material angeordnet ist, wobei die

Deckschicht (30) die Absorberschicht (12) im Bereich der Finger (18, 24) direkt kontaktiert, und das erste halbleitende Material eine kleinere Bandlücke als das zweite halbleitende Material aufweist,

dadurch gekennzeichnet, dass

die Absorberschicht (12) von der Deckschicht (30) im Bereich zwischen den Fingern (18, 24) freigelegt ist, oder dass die Deckschicht (30) die Absorberschicht (12) sowohl im Bereich zwischen den Fingern (18, 24) als auch im Bereich der Finger (18, 24) überdeckt, wobei das erste halbleitende Material und/oder das zweite halbleitende Material im Bereich zwischen den Fingern (18, 24) derart ausgebildet sind, dass die Elektronenbeweglichkeit an der Grenzschicht zwischen der Absorberschicht (12) und der Deckschicht (30) im Bereich zwischen den Fingern (18, 24) kleiner als $100 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ beträgt.

6. Photodetektor nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass der erste Kontakt (26) und/oder der zweite Kontakt (28) direkt auf der Deckschicht (30) angeordnet und als Schottky-Kontakt (26, 28, 34) ausgebildet sind.

7. Photodetektor nach mindestens einem der Ansprüche 5 oder 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Finger (18, 24) direkt auf der Deckschicht (30) angeordnet und als Schottky-Kontakt (30, 34) ausgebildet sind.

8. Photodetektor nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Absorberschicht (12) aus Galliumnitrid, Indium-Galliumnitrid oder Aluminium-Galliumnitrid ausgebildet ist und/oder die Deckschicht (30) aus Aluminiumgalliumnitrid ausgebildet ist.

9. Photodetektor nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine Schutzschicht (32) vorgesehen ist, wobei die Schutzschicht (32) die erste Elektrodenstruktur (14) und die zweite Elektrodenstruktur (20) vollständig überdeckt.

10. Photodetektor nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Finger (18, 24) eine Länge zwischen 30 und 1000 μm , eine Breite zwischen 2 und 30 μm aufweisen und/oder der Abstand zwischen den Fingern zwischen 2 und 15 μm beträgt.

11. Photodetektor nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Dicke der Absorberschicht (12) zwischen 0.1 und 10 μm und die Dicke der Deckschicht (30) zwischen 2 und 100 nm beträgt.

Es folgen 8 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

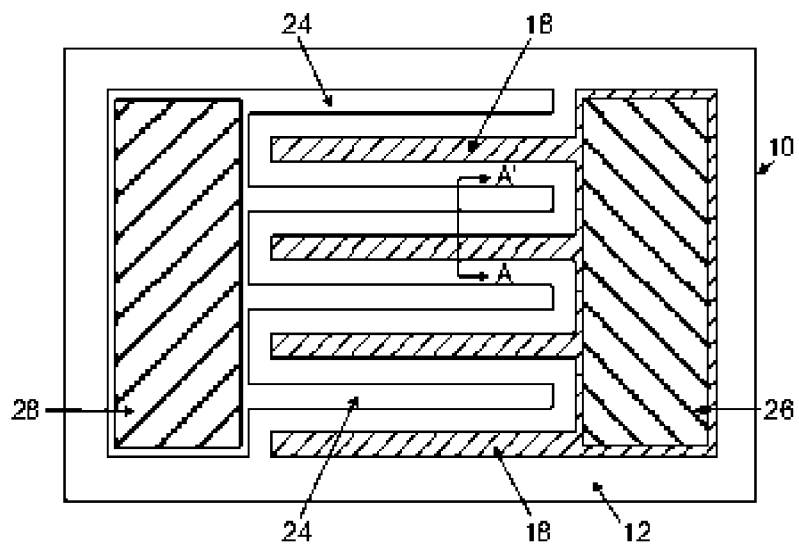
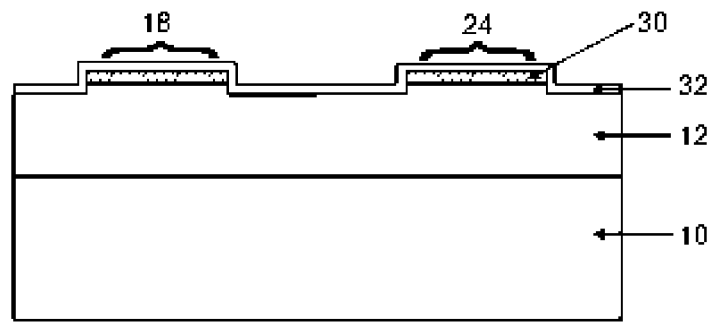
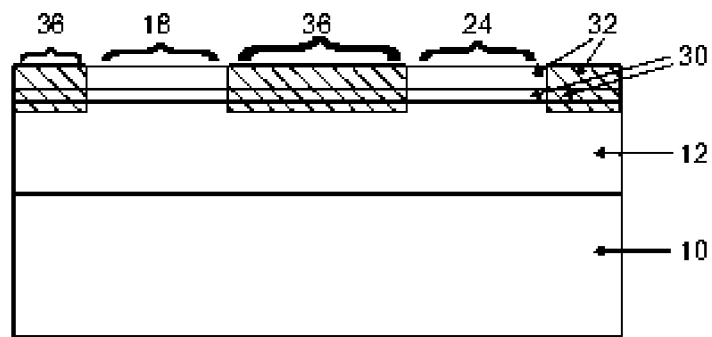


Fig. 1



a)



b)

Fig. 2

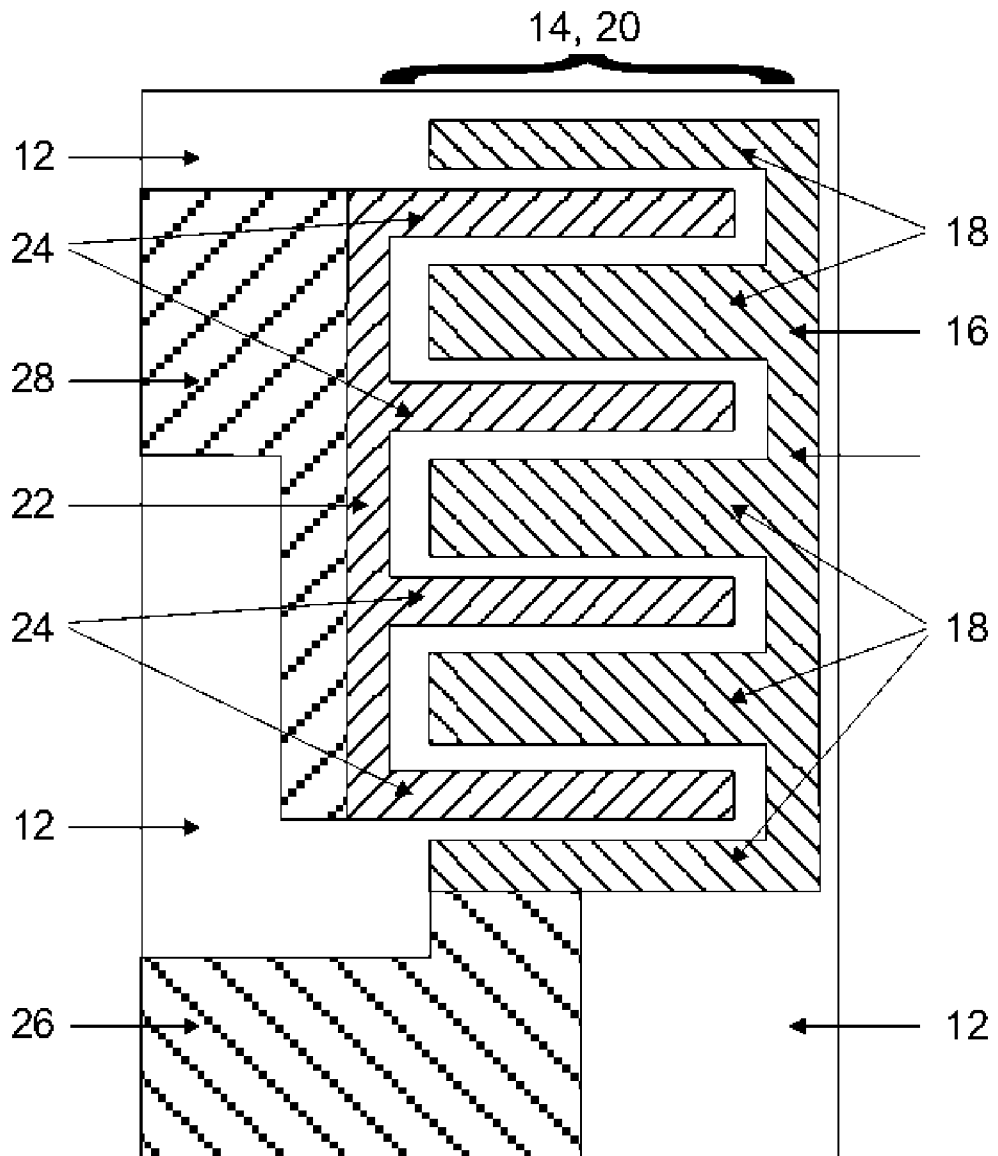


Fig. 3

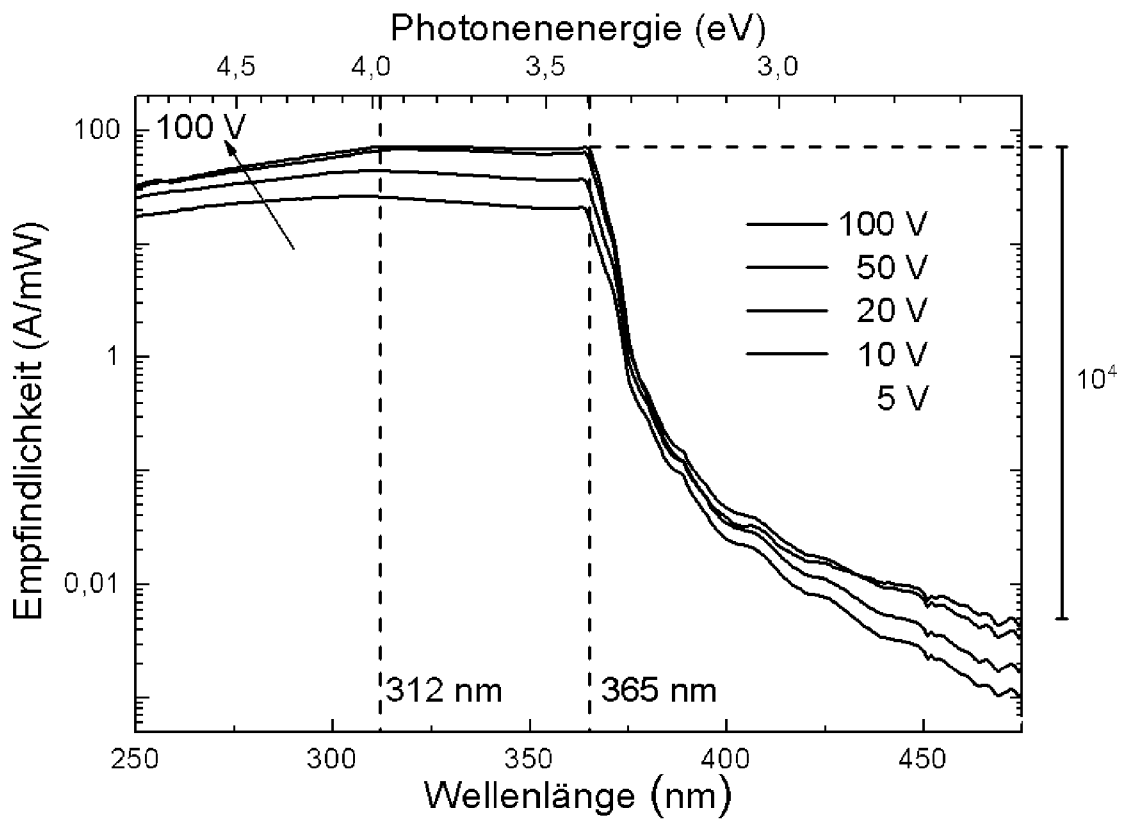


Fig. 4

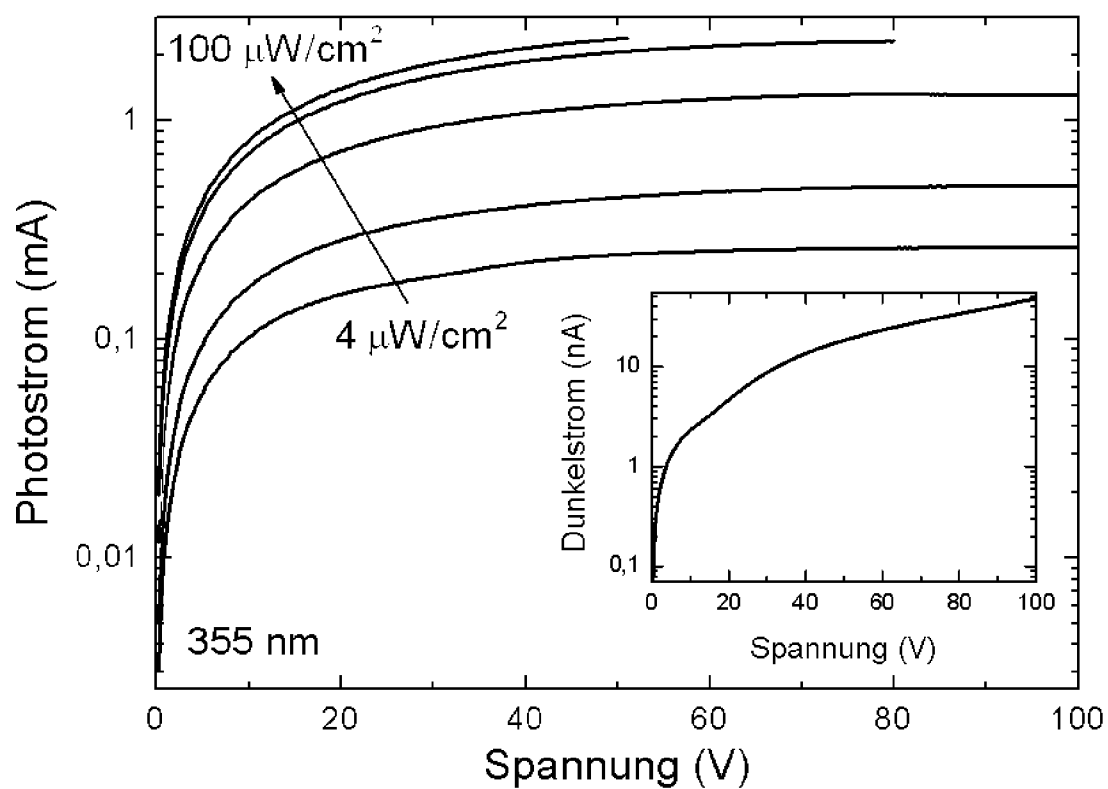


Fig. 5

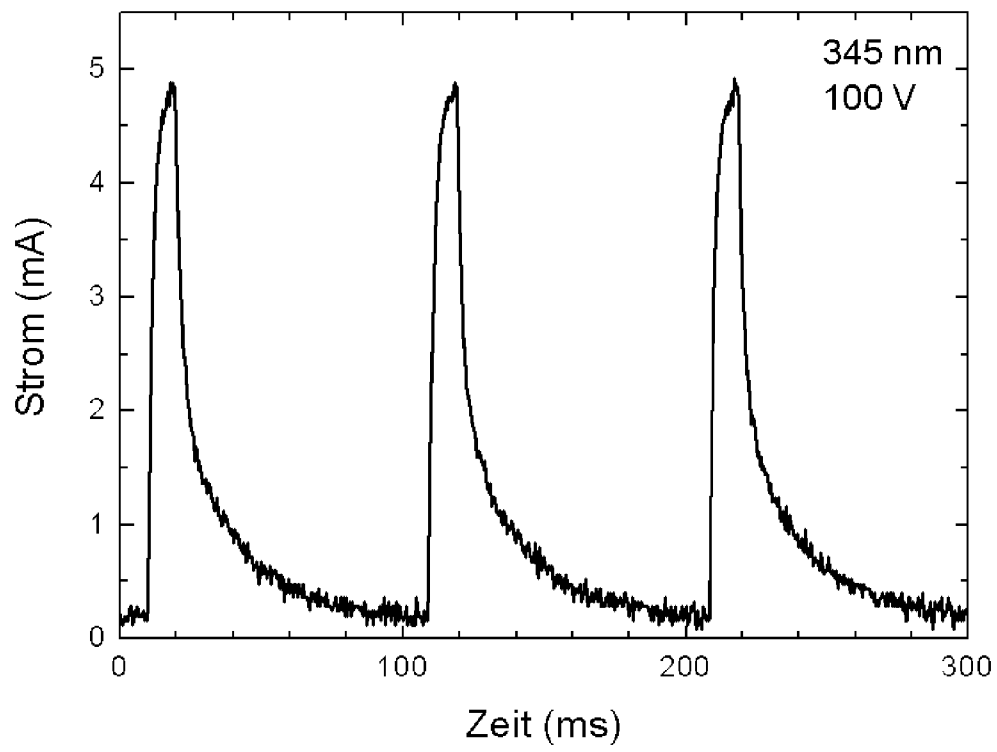


Fig. 6

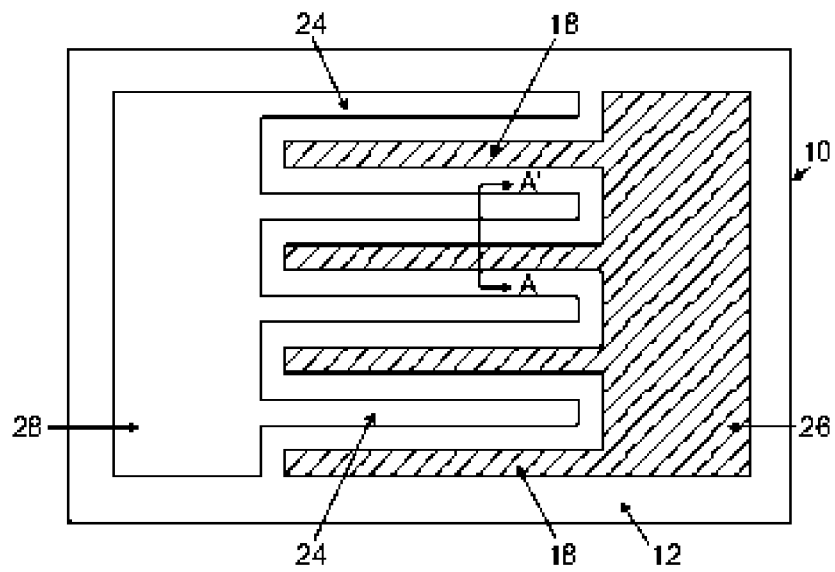
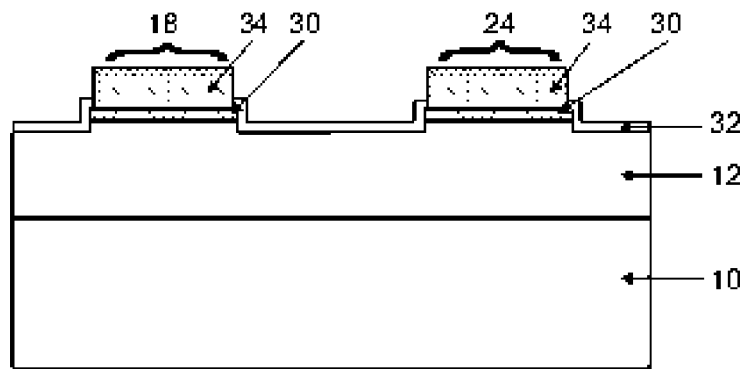
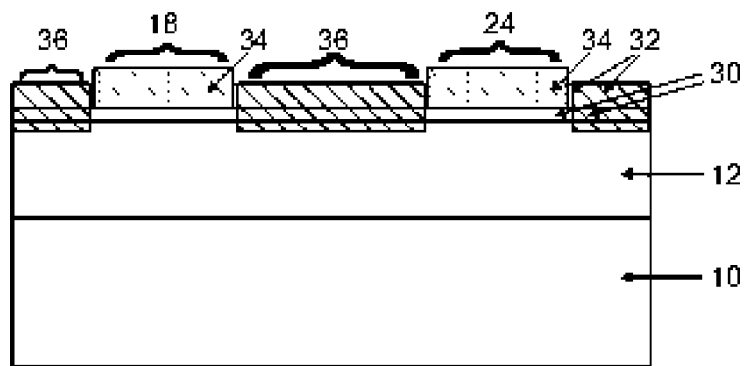


Fig. 7



a)



b)

Fig. 8