



(10) **DE 11 2018 004 549 T5** 2020.05.28

(12)

Veröffentlichung

der internationalen Anmeldung mit der
(87) Veröffentlichungs-Nr.: **WO 2019/077424**
in der deutschen Übersetzung (Art. III § 8 Abs. 2
IntPatÜG)

(21) Deutsches Aktenzeichen: **11 2018 004 549.8**

(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/IB2018/057288**

(86) PCT-Anmeldetag: **21.09.2018**

(87) PCT-Veröffentlichungstag: **25.04.2019**

(43) Veröffentlichungstag der PCT Anmeldung
in deutscher Übersetzung: **28.05.2020**

(51) Int Cl.: **H01L 31/109** (2006.01)
H01L 33/00 (2010.01)

(30) Unionspriorität:
15/784,384 **16.10.2017** **US**

(71) Anmelder:
**International Business Machines Corporation,
Armonk, N.Y., US**

(74) Vertreter:
**LifeTech IP Spies & Behrndt Patentanwälte PartG
mbB, 80687 München, DE**

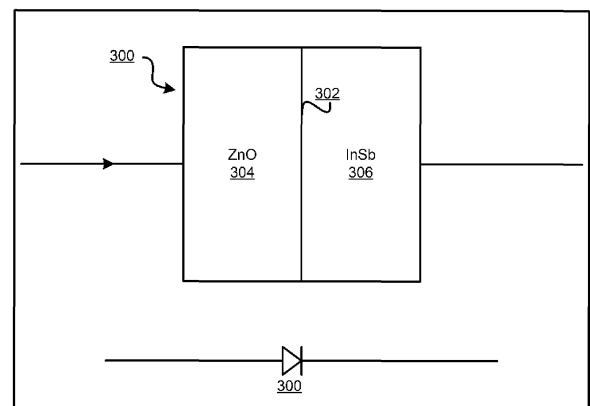
(72) Erfinder:
**De Souza, Joel Pereira, Yorktown Heights,
NY, US; Li, Ning, Yorktown Heights, N.Y., US;
Yao, Yao, Yorktown Heights, NY, US; Sadana,
Devendra, Yorktown Heights, NY, US; Lee, Yun
Seog, Yorktown Heights, N.Y., US**

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.

(54) Bezeichnung: **Heteroübergangsdiode mit einem Halbleiter mit schmaler Bandlücke**

(57) Zusammenfassung: Eine Halbleitereinheit wird gebildet unter Verwendung einer n-Schicht von Zinkoxid, einer p-Schicht, die aus einem Material mit schmaler Bandlücke gebildet wird. Für das Material mit schmaler Bandlücke werden ein Element der Gruppe 3A und ein Element der Gruppe 5A verwendet. Zwischen der n-Schicht und der p-Schicht wird ein Übergang gebildet, wobei der Übergang als eine Heteroübergangsdiode zu betreiben ist, die eine Gleichrichtereigenschaft in einem Temperaturbereich aufweist, wobei der Temperaturbereich eine Obergrenze bei Raumtemperatur aufweist.



Beschreibung

TECHNISCHES GEBIET

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft allgemein ein Verfahren, eine Vorrichtung zur Herstellung einer Diode mit einem Halbleiter mit schmaler Bandlücke, die mit Gleichrichtereigenschaften bei Raumtemperatur arbeitet. Insbesondere betrifft die vorliegende Erfindung eine Heteroübergangsdiode mit schmaler Bandlücke und ein Verfahren zu deren Herstellung.

HINTERGRUND

[0002] Eine Übergangsdiode ist eine grundlegende Halbleitereinheit, welche eine niedrige Impedanz für eine Polarisierung oberhalb einer Schwellenspannung bei Vorwärtspolarisation (d.h. eine an einen p-Halbleiter angelegte positive Spannung und eine an einen n-Halbleiter angelegte negative Spannung) aufweist, typischerweise 0,6 V für Silicium-p-n-Dioden, und eine viel höhere Impedanz bei umgekehrter Polarisierung aufweist. Im Wesentlichen ist eine ideale Diode in eine Richtung des Stromflusses ein elektrischer Leiter und in die entgegengesetzte Richtung ein Isolator.

[0003] Eine Photodetektordiode ist eine Diode, die leitungsempfindlich auf Lichtabsorption reagiert. Photodetektordioden sind für eine Reaktion auf Licht spezieller Wellenlängenbereiche konstruiert, z.B., ohne darauf beschränkt zu sein, sichtbares Licht, Ultraviolett- und Infrarotlicht. Beispielsweise leiten Röntgenstrahlendetektor- und Gammastrahlendetektordioden nach dem Erfassen anderer Hochenergiephotonen.

[0004] In der Festkörperphysik ist eine Bandlücke, auch als Energielücke bezeichnet, ein Energiebereich in einem Feststoff, wo keine Elektronenzustände existieren können. In Schaubildern der elektronischen Bandstruktur von Feststoffen bezieht sich die Bandlücke im Allgemeinen auf die Energiedifferenz (in Elektronenvolt „eV“) zwischen der Obergrenze des Valenzbands und der Untergrenze des Leitungsbands in Isolatoren und Halbleitern. Die Bandlücke ist die minimale Energie, die benötigt wird, um ein Valenzelektron, das an ein Atom in einem Feststoff gebunden ist, zu einem Leitungselektron werden zu lassen, welches sich innerhalb des Kristallgitters frei bewegen kann und als ein Ladungsträger zum Leiten von elektrischem Strom dienen kann.

KURZDARSTELLUNG

[0005] Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung stellen ein Verfahren, eine Einheit und ein Photodetektorsystem bereit. Eine Ausführungsform der vorliegenden Erfindung nimmt die Form einer Halbleitereinheit ein, welche umfasst: eine n-dotierte Zinkoxidschicht und eine p-Schicht, die aus einem Materi-

al mit schmaler Bandlücke aus Elementen der Gruppen **3A** und **5A** des Periodensystems ausgebildet ist; und einen Übergang zwischen der n-Schicht und der p-Schicht, wobei der Übergang als eine Heteroübergangsdiode zu betreiben ist, die eine Gleichrichtereigenschaft in einem Temperaturbereich aufweist, wobei der Temperaturbereich eine Obergrenze bei Raumtemperatur aufweist, wodurch eine Heteroübergangsdiode bereitgestellt wird, die bei Raumtemperatur zu betreiben ist.

[0006] Das Element der Gruppe **3A** kann Indium sein und das Element der Gruppe **5A** kann Antimon sein. Somit stellt die Ausführungsform spezielle Arten von Materialien für die Heteroübergangsdiode bereit, die bei Raumtemperatur zu betreiben ist.

[0007] Das Material mit schmaler Bandlücke kann Indiumantimonid (InSb) aufweisen.

[0008] Die p-Schicht kann einen Einkristall des Materials mit schmaler Bandlücke aufweisen.

[0009] Die n-Schicht kann mit Aluminium dotiertes Zinkoxid aufweisen.

[0010] Eine Ausführungsform der vorliegenden Erfindung umfasst ferner eine Fensterstruktur, wobei die Fensterstruktur ermöglicht, dass Licht die n-Schicht erreicht, wodurch zusätzliche Strukturen für die Heteroübergangsdiode bereitgestellt werden, die für die Photodetektion verwendbar sind.

[0011] Eine Ausführungsform der vorliegenden Erfindung umfasst ein Herstellungsverfahren zur Herstellung der Halbleitereinheit.

Figurenliste

[0012] Die neuen Merkmale, die als charakteristische Eigenschaften der Erfindung angesehen werden, sind in den anhängenden Patentansprüchen ausgeführt. Die Erfindung selbst jedoch sowie ein bevorzugter Verwendungsmodus, weitere Aufgaben und Vorteile davon, sind am besten unter Bezugnahme auf die folgende detaillierte Beschreibung der beispielhaften Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung in Verbindung mit den begleitenden Zeichnungen zu verstehen, wobei:

Fig. 1 ein Energiebanddiagramm eines Halbleiters zeigt;

Fig. 2 ein Energiebanddiagramm für einen Photodetektor zeigt;

Fig. 3 ein schematisches Blockschaubild einer beispielhaften Diode zeigt, welche unter Verwendung des p-n-Übergangs gebildet wird und welche die vorliegende Erfindung verkörpert;

Fig. 4 ein schematisches Blockschaubild einer beispielhaften Realisierung einer Heteroübergangs-Photodetektordiode mit schmaler Bandlücke, welche die vorliegende Erfindung verkörpert und welche bei Raumtemperatur betrieben werden kann, gemäß einer beispielhaften Ausführungsform zeigt;

Fig. 5 ein schematisches Blockschaubild einer anderen beispielhaften Realisierung einer Heteroübergangs-Photodetektordiode mit schmaler Bandlücke zeigt;

Fig. 6 ein Energiebanddiagramm des Heteroübergangs, der durch mit Al dotiertes ZnO und p-InSb gebildet wird, bei Raumtemperatur und im Gleichgewicht gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung zeigt;

Fig. 7 ein Schaubild eines Betriebs einer Heteroübergangsdiode zeigt, welche die vorliegende Erfindung verkörpert; und

Fig. 8 ein Ablaufplan eines beispielhaften Verfahrens zur Herstellung einer Heteroübergangsdiode mit schmaler Bandlücke, welche die vorliegende Erfindung verkörpert und welche eine Photodetektionsfunktion bei Raumtemperatur aufweist.

DETAILLIERTE BESCHREIBUNG

[0013] **Fig. 1** zeigt ein vereinfachtes Schaubild, welches die Bandlücke veranschaulicht. **E_v** ist das maximale Energieniveau des Valenzbands eines Materials, **E_c** ist das minimale Energieniveau des Leitungsbands desselben Materials und **E_g** ist die Energielücke - d.h., die Bandlückenenergie - für ein Elektron aus dem Valenzband, um in das Leitungsband zu springen, um das Material elektrisch leitend zu machen.

[0014] **Fig. 2** zeigt ein Schaubild eines durch Licht angeregten Überwindens der Bandlücke. Ein Elektron kann aus dem Valenzband in das Leitungsband springen, wenn das Material Photonen ausgesetzt wird, deren Energie die Bandlücke **E_g** übersteigt.

[0015] Dioden mit schmaler Bandlücke sind wünschenswert für Licht langer Wellenlängen, z.B. länger als 1 Mikrometer. Hier ist eine schmale Bandlücke als kleiner als 1 eV definiert.

[0016] Eine Bandlücke, die nicht schmal ist (z.B. größer als 1 eV in einigen der obigen Beispiele), ist eine große oder hohe Bandlücke. Je schmaler die Bandlücke, desto weniger Energie wird benötigt, damit das Material leitend wird. Im Fall von Photodetektordioden gilt, je schmaler die Bandlücke, desto weniger Energie benötigen die Photonen, um eine Leitfähigkeit der Diode auszulösen.

[0017] Derzeit sind einige Photodetektordioden mit schmaler Bandlücke erhältlich. Die derzeit erhältlichen Photodetektordioden mit einer schmalen Bandlücke sind schwierig zu benutzen, da sie eine Kühlung auf Flüssigstickstoff-Temperaturen von 77 Kelvin oder -196 Grad Celsius ($^{\circ}\text{C}$) benötigen, damit diese Dioden eine thermische Erzeugung von Ladungsträgern verringern und somit das Signal-Rausch-Verhältnis erhöhen.

[0018] Eine Diode weist einen elektrischen Übergang zwischen einem n-Material (auch als n-dotiertes Material bezeichnet) und einem p-Material (auch als p-dotiertes Material bezeichnet). Der Übergang wird als ein p-n-Übergang bezeichnet.

[0019] Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung, welche eine p-n-Diode mit einem Halbleiter mit schmaler Bandlücke bereitstellen, können bei Raumtemperatur Gleichrichtereigenschaften zeigen, was eine Erfassung von Photonen langer Wellenlängen bei Raumtemperatur ermöglicht, oder ohne dass ein Kühlen auf sehr niedrige Temperaturen erforderlich ist.

[0020] Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung bekämpfen und lösen daher allgemein das oben beschriebene Erfordernis, dass eine Heteroübergangsdiode mit schmaler Bandlücke bei niedrigen Temperaturen arbeiten muss. Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung stellen außerdem ein Herstellungsverfahren für eine Heteroübergangsdiode unter Verwendung eines Halbleiters mit schmaler Bandlücke bereit, wobei die Heteroübergangsdiode eine Gleichrichtereigenschaft bei Raumtemperatur zeigt.

[0021] Eine Vorrichtung, welche die vorliegende Erfindung verkörpert, ist eine Heteroübergangsdiode, die durch einen Halbleiter mit großer Bandlücke und einen Halbleiter mit schmaler Bandlücke gebildet wird und bei Raumtemperatur und darunter arbeiten kann. Eine andere Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist ein Herstellungsverfahren für die Vorrichtung. Eine Ausführungsform der vorliegenden Erfindung kann als eine Modifikation eines bestehenden Halbleiter-Herstellungssystems - z.B. eines Photolithographiesystems -, als eine separate Anwendung, die in Verbindung mit einem bestehenden Halbleiter-Herstellungssystem arbeitet, eine selbständige Anwendung oder eine Kombination davon konfiguriert sein. Beispielsweise bewirkt die Anwendung, dass das Halbleiter-Herstellungssystem die Schritte eines hierin beschriebenen Verfahrens ausführt, um eine Heteroübergangsdiode mit schmaler Bandlücke herzustellen, die bei Raumtemperatur arbeiten kann, wie hierin beschrieben.

[0022] Lediglich zur Verdeutlichung der Beschreibung, und ohne irgendeine Beschränkung anzudeu-

ten, werden Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung beschrieben, bei denen eine Halbleitereinheit des Diodentyps verwendet wird, bei welcher der neue p-n-Übergang verwendet wird, der hierin beschrieben wird. Eine Ausführungsform kann mit einer Halbleitereinheit eines anderen Typs realisiert werden, wo ein Überwinden einer schmalen Bandlücke mit Lichtstrahlung niedriger Energie bei Raumtemperatur erwünscht ist, und solche anderen Halbleitereinheiten sind vom Umfang der vorliegenden Erfindung umfasst.

[0023] Ferner werden in den Figuren vereinfachte Schaubilder eines p-n-Übergangs verwendet. Bei einer tatsächlichen Herstellung können zusätzliche Strukturen, die hierin nicht dargestellt oder beschrieben werden, oder andere Strukturen als die hierin dargestellten und beschriebenen vorliegen, ohne vom Umfang der vorliegenden Erfindung abzuweichen. In ähnlicher Weise kann innerhalb des Umfangs der vorliegenden Erfindung eine dargestellte oder beschriebene Struktur in der beispielhaften Halbleitereinheit aus denselben Materialien hergestellt werden, aber über andere Methodiken, um eine ähnliche Operation oder ein ähnliches Ergebnis zu erhalten, wie hierin beschrieben.

[0024] Unterschiedlich schattierte Abschnitte in der zweidimensionalen Zeichnung der beispielhaften Strukturen, Schichten und Formationen sollen unterschiedliche Strukturen, Schichten und Formationen bei der beispielhaften Herstellung darstellen, wie hierin beschrieben. Die unterschiedlichen Strukturen, Schichten und Formationen können unter Verwendung der beschriebenen Materialien oder geeigneter Äquivalente für die beschriebenen Materialien hergestellt werden, solange die äquivalenten Materialien dieselben oder ähnliche Eigenschaften der Materialien, der resultierenden Einheit oder beider zeigen, wie hierin beschrieben.

[0025] Eine spezielle Form, Stelle, Position oder Abmessung einer hierin abgebildeten Form soll die Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung nicht beschränken, sofern nicht eine solche Eigenschaft ausdrücklich als ein Merkmal einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung beschrieben wird. Die Form, Stelle, Position, Abmessung oder eine beliebige Kombination davon wird nur zur Verdeutlichung der Zeichnungen und der Beschreibung ausgewählt und kann überdimensioniert, minimiert oder auf andere Weise gegenüber einer tatsächlichen Form, Stelle, Position oder Abmessung geändert sein, die bei der tatsächlichen Photolithographie verwendet werden könnte, um eine Aufgabe gemäß Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung zu erfüllen.

[0026] Ferner werden Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung in Bezug auf spezielle tatsächliche oder hypothetische Halbleitereinheiten nur

als Beispiele beschrieben. Die hierin beschriebenen Schritte können in ähnlicher Weise zur Herstellung einer Vielfalt von planaren und nicht-planaren Halbleitereinheiten angepasst werden und solche Anpassungen sind vom Umfang der vorliegenden Erfindung umfasst. Die speziellen Anordnungen von Kontakten werden ebenfalls nur als Beispiele verwendet, um verschiedene Operationen von Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung zu beschreiben. Der Fachmann ist in der Lage, eine Ausführungsform der vorliegenden Erfindung anzuwenden, um in ähnlicher Weise für elektrischen Zugriff auf den p-n-Übergang für andere Zwecke auf andere Arten zu sorgen, und solche Anpassungen sind ebenfalls vom Umfang der vorliegenden Erfindung umfasst.

[0027] Eine Ausführungsform der vorliegenden Erfindung bewirkt, wenn sie in einer Anwendung realisiert wird, dass bei einem Herstellungsverfahren bestimmte Schritte ausgeführt werden, wie hierin beschrieben. Die Schritte des Herstellungsverfahrens sind in den verschiedenen Figuren dargestellt. Bei einem bestimmten Herstellungsverfahren müssen nicht alle Schritte notwendig sein. Bei einigen Herstellungsverfahren können die Schritte in anderer Reihenfolge realisiert werden, es können bestimmte Schritte kombiniert werden, bestimmte Schritte weggelassen oder ersetzt werden oder es kann eine Kombination dieser und anderer Manipulationen von Schritten durchgeführt werden, ohne vom Umfang der vorliegenden Erfindung abzuweichen.

[0028] Ein Verfahren einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung, das hierin beschrieben wird, umfasst, wenn es realisiert wird, um auf einer Einheit oder einem Datenverarbeitungssystem ausgeführt zu werden, eine wesentliche Verbesserung der Funktionalität dieser Einheit oder dieses Datenverarbeitungssystems bei der Herstellung einer Heteroübergangs-Photodetektordiode mit schmaler Bandlücke, die bei Raumtemperatur und darunter arbeiten kann. Somit liegt eine wesentliche Verbesserung solcher Einheiten oder Datenverarbeitungssysteme durch Ausführung eines Verfahrens einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung in einer verbesserten Herstellung eines Heteroübergangs mit einem Halbleiter mit schmaler Bandlücke mit Gleichrichtereigenschaften bei Raumtemperatur und darunter.

[0029] Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung werden in Bezug auf bestimmte Arten von Einheiten, elektrische Eigenschaften, Strukturen, Formationen, Schichten, Orientierungen, Richtungen, Schritte, Operationen, Ebenen, Strukturen, Abmessungen, Anzahlen, Datenverarbeitungssysteme, Umgebungen, Komponenten und Anwendungen lediglich als Beispiele beschrieben. Jegliche speziellen Ausprägungen dieser und anderer ähnlicher Artefakte sollen die Erfindung nicht beschränken. Innerhalb

des Umfangs der vorliegenden Erfindung kann eine beliebige geeignete Ausprägung dieser und anderer ähnlicher Artefakte ausgewählt werden.

[0030] Ferner können Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung in Bezug auf beliebige Arten von Daten, Datenquellen oder Zugriff auf eine Datenquelle über ein Datennetzwerk realisiert werden. Innerhalb des Umfangs der vorliegenden Erfindung können beliebige Arten von Datenspeichereinheiten die Daten für eine Ausführungsform der Erfindung liefern, entweder lokal an einem Datenverarbeitungssystem oder über ein Datennetzwerk. Wo eine Ausführungsform der vorliegenden Erfindung unter Verwendung einer mobilen Einheit beschrieben wird, können innerhalb des Umfangs der vorliegenden Erfindung beliebige Arten von Datenspeichereinheiten, die für eine Verwendung mit der mobilen Einheit geeignet sind, die Daten für eine solche Ausführungsform liefern, entweder lokal an der mobilen Einheit oder über ein Datennetzwerk.

[0031] Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung werden unter Verwendung von speziellem Code, speziellen Entwürfen, Architekturen, Protokollen, Layouts, Schemas und Werkzeugen lediglich als Beispiele beschrieben und beschränken die vorliegende Erfindung nicht. Ferner werden die Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung in einigen Fällen unter Verwendung spezieller Software, Werkzeuge und Datenverarbeitungsumgebungen lediglich als Beispiel zur Verdeutlichung der Beschreibung beschrieben. Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung können in Verbindung mit anderen Strukturen, Systemen, Anwendungen oder Architekturen angewendet werden, die vergleichbar sind oder einem ähnlichen Zweck dienen. Beispielsweise können innerhalb des Umfangs der vorliegenden Erfindung andere vergleichbare mobile Einheiten, Strukturen, Systeme, Anwendungen oder Architekturen dafür in Verbindung mit einer solchen Ausführungsform der Erfindung verwendet werden. Eine Ausführungsform der vorliegenden Erfindung kann in Hardware, Software oder einer Kombination davon realisiert sein.

[0032] Die Beispiele der vorliegenden Erfindung in der vorliegenden Beschreibung werden lediglich zur Verdeutlichung der Beschreibung der vorliegenden Erfindung verwendet und beschränken diese nicht. Weitere Daten, Operationen, Handlungen, Aufgaben, Aktivitäten und Manipulationen sind aus der vorliegenden Beschreibung ersichtlich und sind innerhalb des Umfangs der vorliegenden Erfindung vorgesehen.

[0033] Alle hierin aufgelisteten Vorteile sind lediglich Beispiele und sollen die vorliegende Erfindung nicht beschränken. Weitere oder andere Vorteile können durch spezielle Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung realisiert werden. Ferner kann ei-

ne bestimmte Ausführungsform der vorliegenden Erfindung einige, alle oder keine der oben aufgelisteten Vorteile aufweisen.

[0034] Bezug nehmend auf **Fig. 3**, zeigt diese Figur in schematisches Blockschaubild einer beispielhaften Diode, die unter Verwendung des p-n-Übergangs gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung gebildet wird. Die Diode **300** umfasst einen p-n-Übergang **302**. Der Übergang **302** wird unter Verwendung von mit Aluminium dotiertem Zinkoxid (ZnO:Al oder AZO) als n-Halbleitermaterial **304** und Indiumantimonid (InSb) als p-Halbleitermaterial **306** gebildet. Indium ist ein Element der Gruppe **3A** des Periodensystems, Antimon ist ein Element der Gruppe **5A** des Periodensystems. Andere Legierungen, welche Elemente der Gruppen **2B** und/oder **3A** und der Gruppen **5A** und/oder **6A** aufweisen, können ebenso gebildet werden und ein ähnliches Verhalten zeigen wie das hierin beschriebene InSb. AZO wurde ausgewählt, weil es für sichtbares Licht und für Infrarotlicht durchlässig ist und eine höhere Bandlücke aufweist, um die Bildung eines Heteroübergangs zu ermöglichen.

[0035] Die spezielle Weise, in welcher die Materialien **304** und **306** aufgebaut sind, um den Übergang **302** zu bilden, ist realisierungsspezifisch und kann geändert werden, ohne vom Umfang der vorliegenden Erfindung abzuweichen. Eine Realisierung unter Verwendung der spezifizierten Materialien **304** und **306** zum Bilden des Übergangs **302** ist vom Umfang der vorliegenden Erfindung umfasst, auch wenn (i) das Material **304** (oder **306**) eingebettet, durchtränkt, dotiert oder auf andere Weise mit anderen Materialien vermischt wird; (ii) zusätzliche Strukturen, Schichten, Materialien gebildet werden oder an oder in Nachbarschaft zu dem Übergang **302** verwendet werden; (iii) zusätzliche Strukturen, Schichten, Materialien gebildet werden oder auf anderen Seiten als den Seiten des Materials **304** (oder **306**) verwendet werden, die dem Übergang **302** zugewandt sind; oder eine Kombination davon zutrifft.

[0036] Bezug nehmend auf **Fig. 4**, zeigt diese Figur ein schematisches Blockschaubild einer beispielhaften Realisierung einer Heteroübergangs-Photodetektordiode mit schmaler Bandlücke, die bei Raumtemperatur betrieben werden kann. Die Halbleitereinheit **400** ist ein detaillierteres Beispiel für die Diode **300** in **Fig. 3**. Die Halbleitereinheit **400** weist eine Schicht **404** auf, welche mit Aluminium (Al) dotiertes ZnO umfasst. Ein nicht-beschränkendes beispielhaftes Verfahren zum Dotieren von ZnO mit Al ist die Anwendung der Methode der Atomschichtabscheidung (Atomic Layer Deposition, ALD). Das Material **406** umfasst InSb, dotiert mit Akzeptor-Dotierstoffen wie Be, Zn, oder Cd.

[0037] Der Übergang **402** ist ein Beispiel für den Übergang **302** in **Fig. 3**. Der Übergang **402** kann als ein alternativer Ansatz durch elektrisches Verbinden einer Fläche des Materials **404** direkt mit einer Fläche des Materials **406** gebildet werden.

[0038] Gegebenenfalls kann auch eine Schicht eines geeigneten Materials **408**, z.B. Aluminiumoxid (Al_2O_3), als eine Zwischenschicht zwischen den Materialien **404** und **406** am Übergang **402** abgeschieden werden, z.B. durch ALD, um die Oberflächenpassivierung des Materials **406** zu verbessern und somit die Gleichrichtereigenschaften der Diode zu verbessern.

[0039] Die Schichten **410** und **412** sind gegebenenfalls so hergestellt, dass Anordnungen von Kontakten ermöglicht werden. Die auf den Schichten **410** und **412** angeordneten Kontakte (nicht dargestellt) sind zum elektrischen Verbinden der Halbleitereinheit **400** mit anderen Komponenten in einer elektrischen Schaltung zu verwenden. Die Schichten **410** und **412** können aus einem beliebigen Material oder Materialien, die für diesen Zweck geeignet sind, und über eine beliebige Herstellungsmethode gebildet werden. Als einige nichtbeschränkende Beispiele ist die Schicht **410** so dargestellt, dass sie unter Verwendung von Al hergestellt ist, und die Schicht **412** ist so dargestellt, dass sie unter Verwendung einer Doppelschicht hergestellt ist, die Chrom (Cr) und Gold (Au) aufweist.

[0040] Bezug nehmend auf **Fig. 5**, zeigt diese Figur ein schematisches Blockschaubild einer anderen Realisierung einer Heteroübergangs-Photodetektordiode mit schmaler Bandlücke, welche die vorliegende Erfindung verkörpert und bei Raumtemperatur betrieben werden kann. Die Halbleitereinheit **500** ist ein Beispiel für die Einheit **400** in **Fig. 4** mit einer Modifikation. In der Einheit **500** ist die Schicht **410** so ausgebildet, dass ein Fenster **502** erzeugt wird. Im Wesentlichen ist das Fenster **502** eine geeignete Struktur oder eine Abwesenheit einer solchen, welche ermöglicht, dass Licht die Schicht **404** erreicht. In der dargestellten nicht-beschränkten Formation ist das Fenster **502** einfach eine Lücke in der Schicht **410**, durch welche Licht hindurch gelangen und die Schicht **406** erreichen kann.

[0041] Bezug nehmend auf **Fig. 6**, zeigt diese Figur ein wahrscheinliches Energiebanddiagramm des Heteroübergangs, der durch mit Al dotiertes ZnO und p-InSb bei Raumtemperatur und im Gleichgewicht gebildet wird (die Schicht **408** ist nicht vorhanden). Bei der dargestellten graphischen Auftragung **600** wurde eine Realisierung der Halbleitereinheit **400** oder **500** verwendet. Wie für die Schicht **406** zu sehen ist, stellt diese, wenn sie aus dem p-Material InSb aufgebaut ist, vorteilhafterweise eine sehr schmale Bandlücke mit $E_g = 0,17$ eV bei Raumtemperatur bereit. Wenn die Schicht **406** mit der Schicht **404** (ZnO, dotiert mit

Aluminium, $E_g = 3,57$ eV) konfiguriert ist, wird der so gebildete p-n-Heteroübergang bei 0,17 eV bei Raumtemperatur durch Licht ausgelöst.

[0042] Bezug nehmend auf **Fig. 7**, zeigt diese Figur ein Schaubild eines Betriebs einer Heteroübergangsdiode, welche die vorliegende Erfindung verkörpert, bei Raumtemperatur. Bei den Messungen, die im Dunkeln bei Raumtemperatur vorgenommen wurden und in den graphischen Auftragungen **700** dargestellt sind, wurde eine Realisierung der Halbleitereinheit **400** oder **500** verwendet. Die graphische Auftragung **700** zeigt, dass die Halbleitereinheit **400** oder **500** das Verhalten einer Gleichrichterdiode zeigt. Der Leckstrom (Strom durch die Einheit, wenn die Einheit umgekehrt polarisiert ist (d.h. eine positive Spannung, angelegt an ein n-Material)) ist ebenfalls niedrig für die InSb-Diode mit schmaler Bandlücke. Messungen, die bei Raumtemperatur für die graphische Auftragung **702** im Dunkeln und unter Beleuchtung mit sichtbarem Licht durchgeführt wurden, zeigen die wünschenswerten Photodetektionseigenschaften mit schmaler Bandlücke der Einheit **400** oder **500** bei Verwendung von InSb als p-Material in der Schicht **406**. Diese Photodetektion würde sich auf längere Wellenlängen im Infrarot-Spektralbereich erstrecken, wenn man die schmale Bandlückenenergie des InSb bedenkt. Die speziellen Realisierungen und Messungen, die in **Fig. 7** abgebildet sind, sollen die vorliegende Erfindung nicht beschränken. Mit realisierungsspezifischen Variationen einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung können verschiedene Messungen erhalten werden, aber wenn die Schicht **406** mit InSb konfiguriert ist, wie hierin beschrieben, sollten sogar die realisierungsspezifischen Variationen eine Photodetektionsfunktion mit schmaler Bandlücke bei Raumtemperatur zeigen, die mit der in **Fig. 6** und **Fig. 7** dargestellten innerhalb industriell akzeptierter Toleranzen vergleichbar ist.

[0043] Bezug nehmend auf **Fig. 8**, zeigt diese Figur einen Ablaufplan eines beispielhaften Verfahrens, welches die vorliegende Erfindung verkörpert, zur Herstellung einer Heteroübergangsdiode mit schmaler Bandlücke, die eine Photodetektionsfunktion bei Raumtemperatur zeigt. Das Verfahren **800** kann als ein Herstellungsverfahren realisiert werden, welches in Verbindung mit einem Halbleiter-Herstellungssystem durchgeführt wird.

[0044] Ein p-InSb-Wafer wird gereinigt, um organische Verunreinigungen zu entfernen (Block **802**). Gegebenenfalls wird durch ein Verfahren der Atomschichtabscheidung (ALD) bei Temperaturen von 100 °C bis 350 °C, wobei $T = 200$ °C eine bevorzugte Temperatur ist, Al_2O_3 bis zu einer Dicke von 0,2 nm bis 1,5 nm abgeschieden (Block **804**). Eine bevorzugte Dicke beträgt 0,5 nm.

[0045] Es wird mit Al dotiertes Zinkoxid (AZO) abgeschieden (Block **806**). Das AZO wird durch ALD bei $T = 180\text{ °C}$ bis zur Dicke von 100 nm abgeschieden. Das AZO kann auch durch Sputtern abgeschieden werden. Die ALD-Temperatur könnte im Bereich von 100 °C bis 300 °C liegen, die bevorzugte Temperatur beträgt 180 °C . Die Dicke ist nicht entscheidend und kann eine beliebige Dicke größer als 10 nm und geringer als einige Mikrometer sein, da die Schicht für sichtbares Licht und Infrarotlicht durchlässig sein muss.

[0046] Es wird ein Photolithographieverfahren durchgeführt, um den AZO-Bereich zu definieren, und anschließend erfolgt ein AZO-Ätzen und eine Wafer-Reinigung (Block **808**). Es wird ein Photolithographieverfahren durchgeführt, um den Bereich für einen Kontakt mit dem n-Halbleiter zu definieren (Block **810**). Durch thermische Verdampfung wird eine Aluminium-Dünnschicht für einen Kontakt mit dem AZO abgeschieden (Block **812**). Alternative Verfahren zur Dünnschichtabscheidung umfassen Elektronenstrahlverdampfung oder Abscheidung durch Sputtern. Die Dicke des Al liegt vorzugsweise im Bereich von 50 nm bis 500 nm. Das Aluminium wird abgehoben und es wird eine Wafer-Reinigung durchgeführt (Block **814**). Die Rückseite des Wafers wird metallisiert (Block **816**). Anschließend endet das Verfahren **800**. Die Metallisierung des Blocks **816** kann für einen Ohm'schen Kontakt zu p-InSb mit Cr, gefolgt von Au, erfolgen. Die Dicke des Chroms beträgt vorzugsweise 10 nm und die Dicke des Aluminiums beträgt vorzugsweise 50 nm. Cr wird verwendet, um die Haftung des Au zu verbessern. Die Dicke des Au ist nicht entscheidend und kann viel höher sein.

Patentansprüche

1. Eine Halbleitereinheit, aufweisend:
eine n-Schicht von Zinkoxid, dotiert mit Aluminium;
eine p-Schicht, die aus einem Material mit schmaler Bandlücke ausgebildet ist, welches ein Element der Gruppe 3A und ein Element der Gruppe 5A aufweist;
und
einen Übergang zwischen der n-Schicht und der p-Schicht, wobei der Übergang als eine Heteroübergangsdiode zu betreiben ist, die eine Gleichrichtereigenschaft in einem Temperaturbereich aufweist, wobei der Temperaturbereich eine Obergrenze bei Raumtemperatur aufweist.

2. Die Halbleitereinheit nach Anspruch 1, wobei das Element der Gruppe 3A Indium ist, das Element der Gruppe 5A Antimon ist.

3. Die Halbleitereinheit nach Anspruch 2, wobei das Material mit schmaler Bandlücke Indiumantimonid (InSb) aufweist.

4. Die Halbleitereinheit nach Anspruch 1, wobei die p-Schicht einen Einkristall des Materials mit schmaler Bandlücke aufweist.

5. Die Halbleitereinheit nach Anspruch 1, ferner aufweisend:
eine Fensterstruktur, wobei die Fensterstruktur ermöglicht, dass Licht die p-Schicht erreicht.

6. Die Halbleitereinheit nach Anspruch 5, wobei ein Material des Fensters mit Al dotiertes ZnO aufweist.

7. Ein Verfahren, aufweisend:
Bilden einer n-Schicht von Zinkoxid, dotiert mit Aluminium, unter Verwendung eines Halbleiter-Herstellungssystems;
Bilden einer p-Schicht, die aus einem Material mit schmaler Bandlücke gebildet wird, welches ein Element der Gruppe 3A und ein Element der Gruppe 5A aufweist, unter Verwendung des Halbleiter-Herstellungssystems; und
Bilden eines Übergangs zwischen der n-Schicht und der p-Schicht unter Verwendung des Halbleiter-Herstellungssystems, wobei der Übergang als eine Heteroübergangsdiode zu betreiben ist, die eine Gleichrichtereigenschaft in einem Temperaturbereich aufweist, wobei der Temperaturbereich eine Obergrenze bei Raumtemperatur aufweist.

8. Das Verfahren nach Anspruch 7, wobei das Element der Gruppe 3A Indium ist, das Element der Gruppe 5A Antimon ist.

9. Das Verfahren nach Anspruch 8, wobei das Material mit schmaler Bandlücke Indiumantimonid (InSb) aufweist.

10. Das Verfahren nach Anspruch 7, wobei die p-Schicht einen Einkristall des Materials mit schmaler Bandlücke aufweist.

11. Das Verfahren nach Anspruch 7, ferner aufweisend:
eine Fensterstruktur, wobei die Fensterstruktur ermöglicht, dass Licht die n-Schicht erreicht.

12. Das Verfahren nach Anspruch 11, wobei ein Material des Fensters mit Al dotiertes ZnO aufweist.

13. Das Verfahren nach Anspruch 7, wobei der Temperaturbereich einen Bereich nichtgekühlter Raumtemperaturen aufweist.

14. Das Verfahren nach Anspruch 7, wobei eine Bandlücke eine Messung von Energie ist, die von dem Elektron benötigt wird, um bei einer bestimmten Temperatur aus einem Valenzband in ein Leitungsband zu springen, und wobei die schmale Bandlücke einen Bandlückenwert aufweist, der unterhalb eines Schwellenwerts liegt.

15. Das Verfahren nach Anspruch 7, ferner aufweisend:

Abscheiden einer Schicht eines Grenzflächenmaterials, welche mindestens eines aus (i) einer Fläche der p-Schicht und (ii) einer Fläche der n-Schicht berührt, als Teil des Bildens des Übergangs.

16. Das Verfahren nach Anspruch 15, wobei das Grenzflächenmaterial Aluminiumoxid (Al_2O_3) aufweist.

17. Das Verfahren nach Anspruch 7, wobei das dotierte Zinkoxid durch Atomschichtabscheidung (ALD) abgeschieden wird.

18. Das Verfahren nach Anspruch 7, ferner aufweisend:

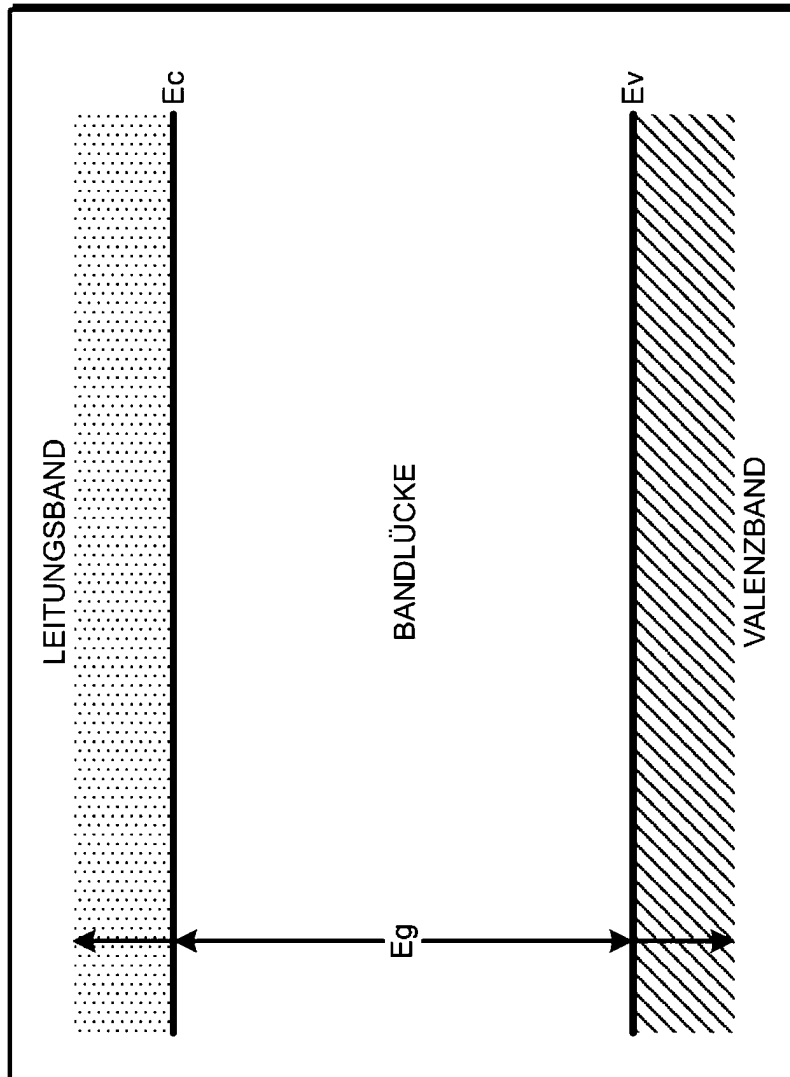
Abscheiden eines ersten Metalls auf einer Fläche der n-Schicht, wobei die Fläche sich von einer zweiten Fläche der p-Schicht unterscheidet, wobei die zweite Fläche in dem Übergang verwendet wird und das Metall beim Bilden einer elektrischen Verbindung mit einer ersten Seite des Übergangs verwendbar ist.

19. Das Verfahren nach Anspruch 7, wobei der Heteroübergang in dem Temperaturbereich sichtbares Licht erfasst.

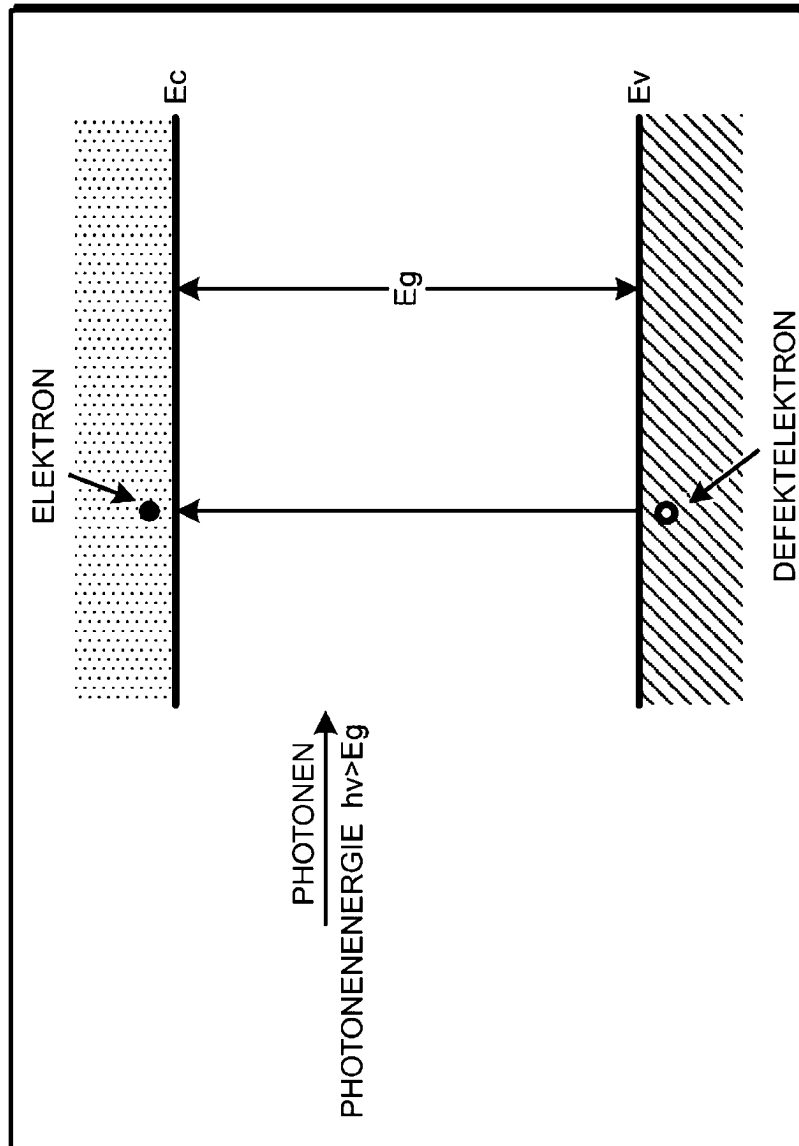
20. Ein Halbleiter-Herstellungssystem, welches eine Lithographiekomponente aufweist, wobei das Halbleiter-Herstellungssystem, wenn es so betrieben wird, dass es eine Halbleitereinheit herstellt, die Schritte eines Verfahrens nach einem der Ansprüche 7 bis 19 ausführt.

Es folgen 8 Seiten Zeichnungen

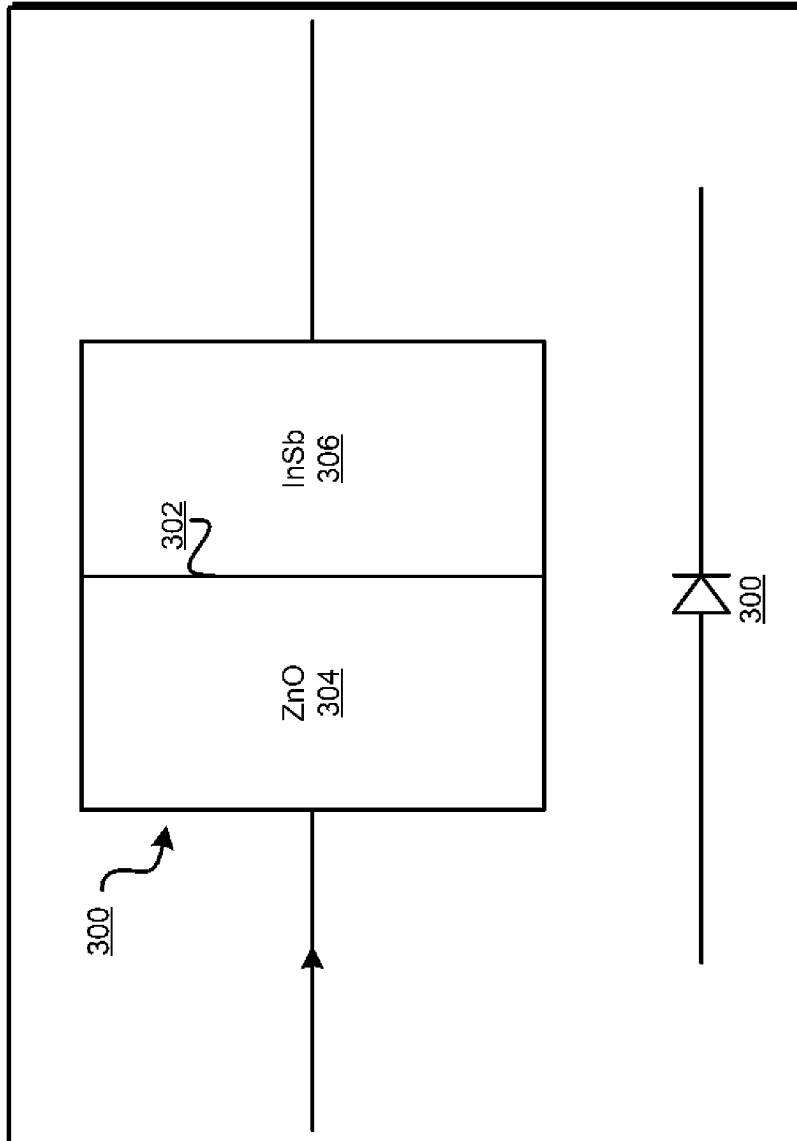
Anhängende Zeichnungen



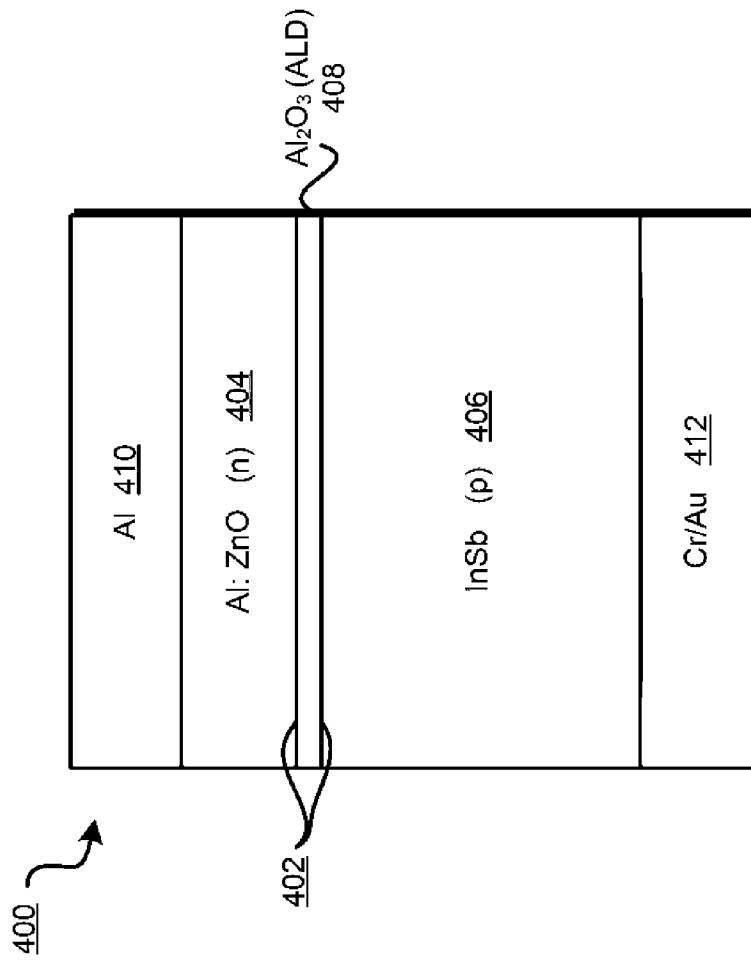
Figur 1
(Stand der Technik)



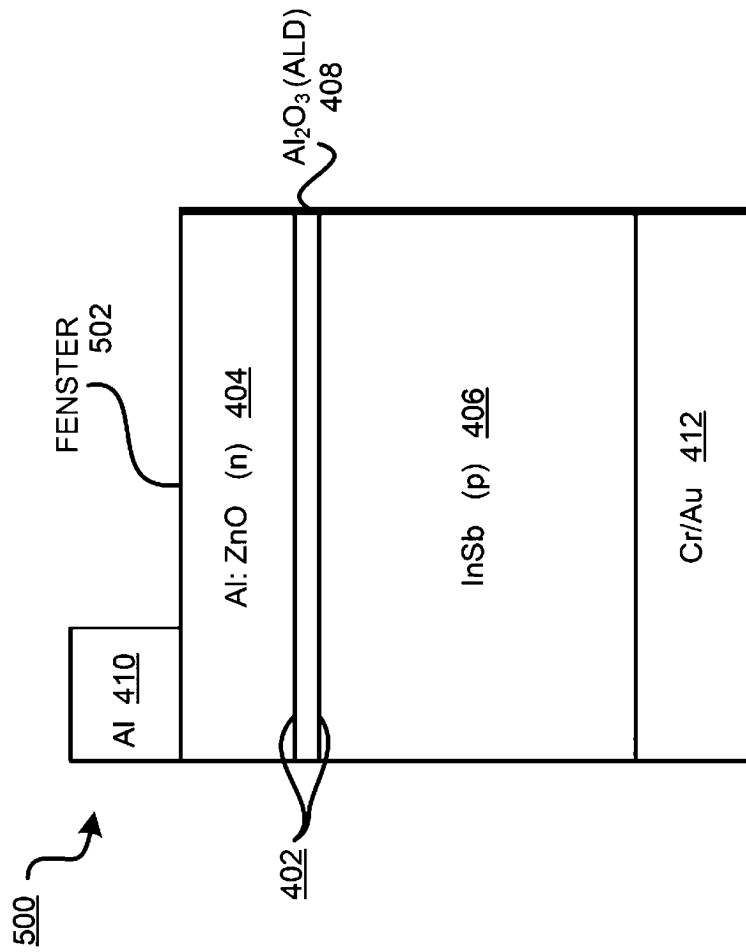
Figur 2
(Stand der Technik)



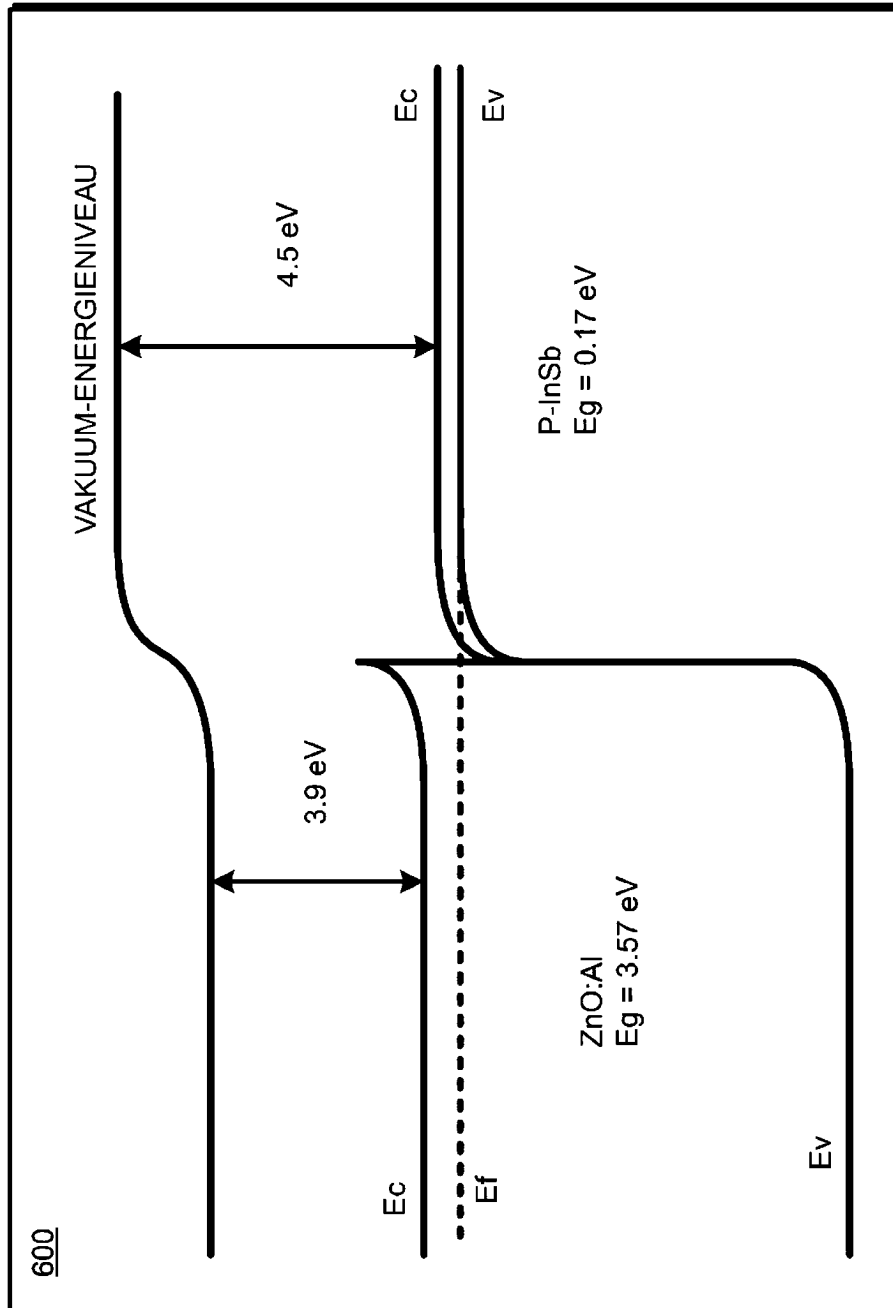
Figur 3



Figur 4

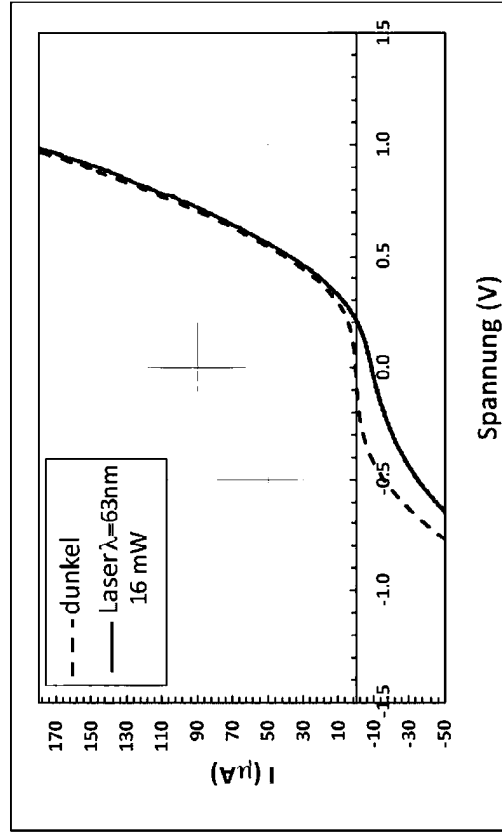


Figur 5

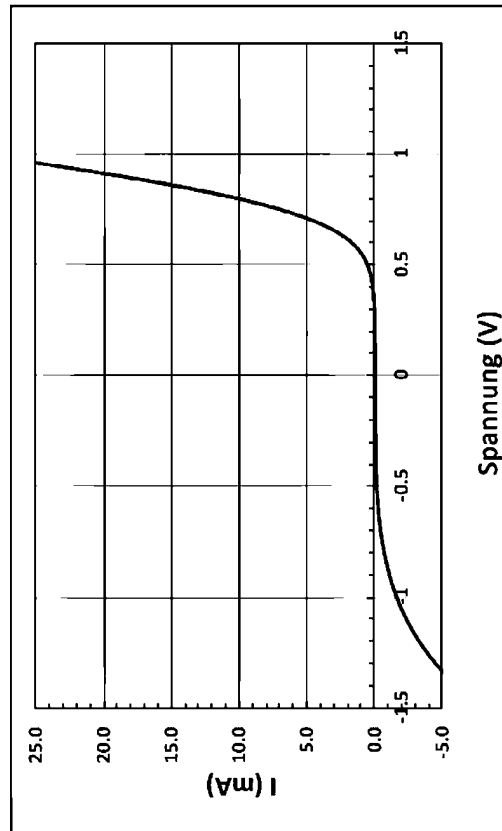


Figur 6

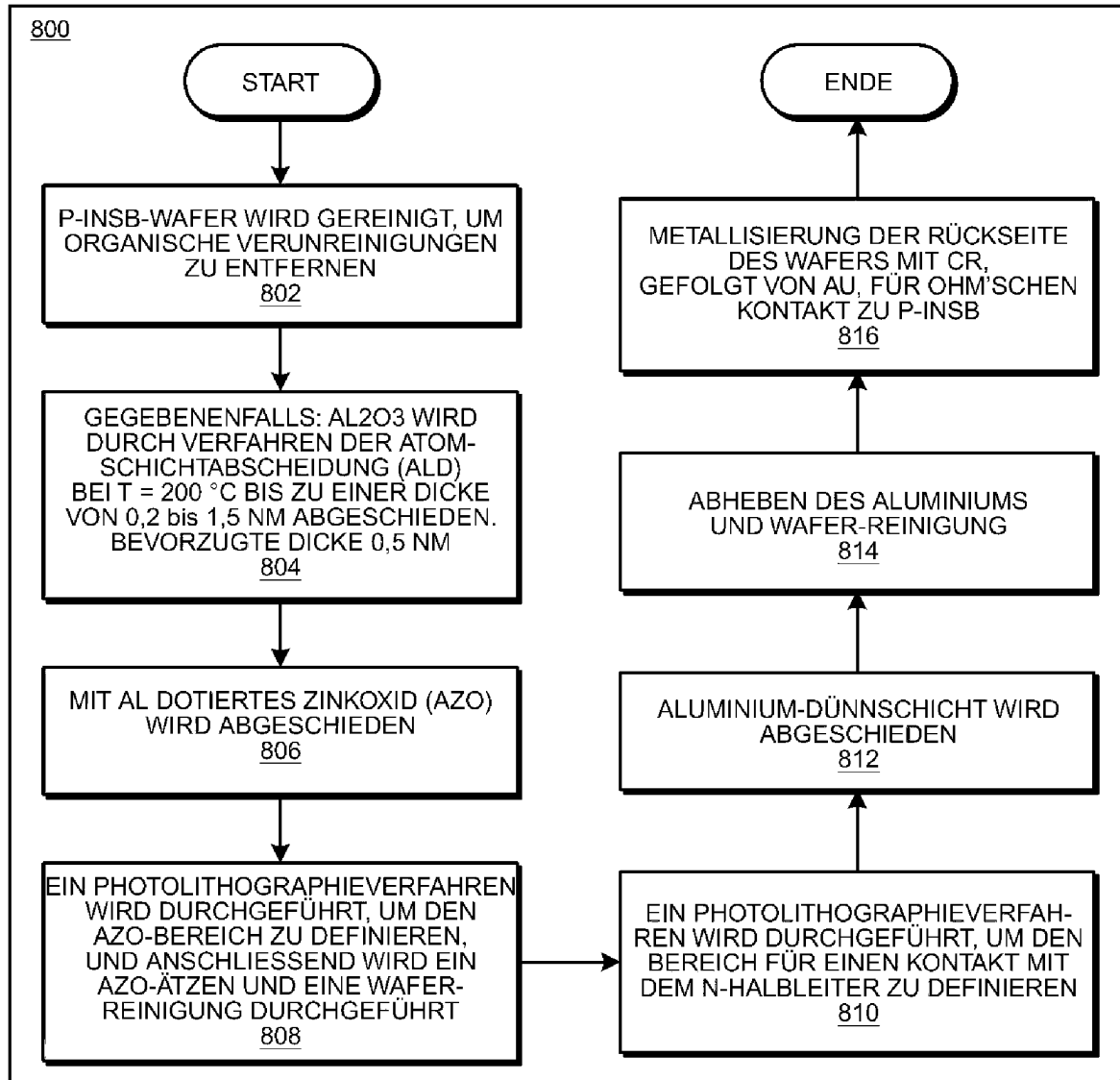
702



700



Figur 7



Figur 8