

# Urkunde

über die Erteilung des  
Patents Nr. 10 2014 117 449

**Bezeichnung:**

Hot-Carrier-Vorrichtung zur photoelektrischen Umwandlung und Verfahren dafür

**IPC:**

H01L 31/0352

**Inhaber/Inhaberin:**

National Taiwan University, Taipei, TW

**Erfinder/Erfinderin:**

Lin, Ching-Fuh, Taipei, TW; Chen, Hsin-Yi, Taipei, TW; Chao, Jiun-Jie, Taipei, TW; Syu, Hong-Jhang, Taipei, TW

**Tag der Anmeldung:**

27.11.2014

**Tag der Veröffentlichung der Patenterteilung:**

17.02.2022

Die Präsidentin des Deutschen Patent- und Markenamts

*Cornelia Rudloff-Schäffer*

Cornelia Rudloff-Schäffer

München, 17.02.2022





(10) DE 10 2014 117 449 B4 2022.02.17

(12) Patentschrift

(21) Aktenzeichen: 10 2014 117 449.6  
(22) Anmeldetag: 27.11.2014  
(43) Offenlegungstag: 02.06.2016  
(45) Veröffentlichungstag der Patenterteilung: 17.02.2022

(51) Int Cl.: **H01L 31/0352** (2006.01)  
H01L 31/068 (2006.01)  
H01L 27/30 (2006.01)  
H01L 51/46 (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:  
**National Taiwan University, Taipei, TW**

(74) Vertreter:  
**GMP Patentanwaltsgesellschaft und  
Rechtsanwaltsgesellschaft mbH, 20354 Hamburg,  
DE**

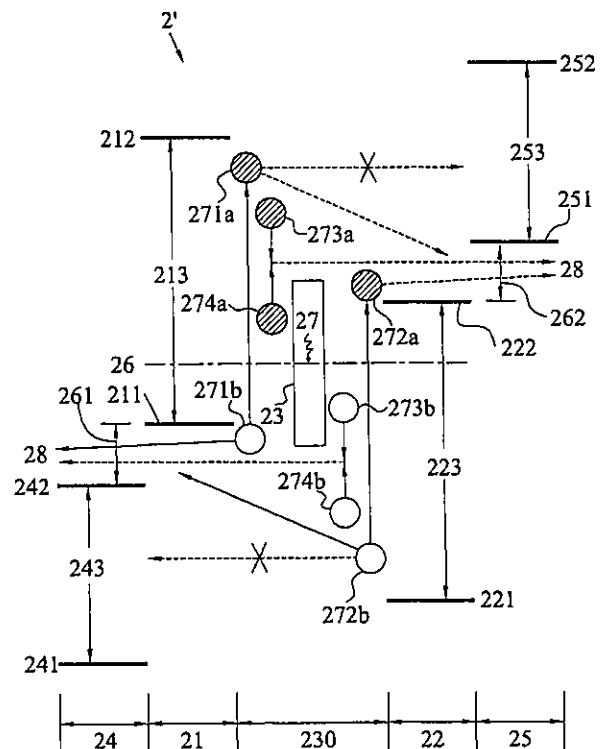
(72) Erfinder:  
**Lin, Ching-Fuh, Taipei, TW; Chen, Hsin-Yi, Taipei,  
TW; Chao, Jiun-Jie, Taipei, TW; Syu, Hong-Jhang,  
Taipei, TW**

(56) Ermittelter Stand der Technik:

DE	10 2013 106 800	A1
US	2012 / 0 141 799	A1
US	2013 / 0 193 404	A1
US	2014 / 0 209 154	A1
WO	2014/ 100 707	A1

(54) Bezeichnung: Hot-Carrier-Vorrichtung zur photoelektrischen Umwandlung und Verfahren dafür

(57) Hauptanspruch: Eine Hot-Carrier-Vorrichtung zur photoelektrischen Umwandlung (2, 2'), umfassend: eine P-Halbleiterschicht (21); eine N-Halbleiterschicht (22); eine anorganische lichtabsorbierende Leitschicht (23), die zwischen der P-Halbleiterschicht (21) und der N-Halbleiterschicht (22) gebildet ist; und eine zweite Halbleiterschicht (25), die auf der N-Halbleiterschicht (22) gebildet ist oder zwischen der N-Halbleiterschicht (22) und der anorganischen lichtabsorbierenden Leitschicht (23) gebildet ist, wobei mindestens eine der P-Halbleiterschicht (21) und der N-Halbleiterschicht (22) eine transparente oder teiltransparente Halbleiterschicht ist, wobei das Valenzband (251) der zweiten Halbleiterschicht (25) ein Energieniveau aufweist, das höher als das Energieniveau des Leitungsbandes (222) der N-Halbleiterschicht (22) ist, oder wobei das Valenzband (251) der zweiten Halbleiterschicht (25) ein Energieniveau aufweist, das niedriger als das Energieniveau des Leitungsbandes (222) der N-Halbleiterschicht (22) ist, und die Energiedifferenz zwischen dem Valenzband (251) der zweiten Halbleiterschicht (25) und dem Leitungsband (222) der N-Halbleiterschicht (22) geringer als 0,2 eV ist.



**Beschreibung****GEBIET DER ERFINDUNG**

**[0001]** Die vorliegende Erfindung betrifft eine Vorrichtung zur photoelektrischen Umwandlung und ein Verfahren dafür und insbesondere eine Hot-Carrier-Vorrichtung zur photoelektrischen Umwandlung und ein Verfahren dafür.

**ALLGEMEINER STAND DER TECHNIK**

**[0002]** Fig. 1 zeigt ein schematisches Diagramm einer herkömmlichen Vorrichtung zur photoelektrischen Umwandlung 1 und ein Verfahren zur photoelektrischen Umwandlung dafür. Wie in Fig. 1 gezeigt, umfasst die Vorrichtung zur photoelektrischen Umwandlung 1 eine P-Halbleiterschicht 11 und eine N-Halbleiterschicht 12.

**[0003]** Die P-Halbleiterschicht 11 weist ein erstes Valenzband 111, ein erstes Leitungsband 112 und eine erste Bandlücke 113 auf. Die N-Halbleiterschicht 12 weist ein zweites Valenzband 121, ein zweites Leitungsband 122 und eine zweite Bandlücke 123 auf. Eine Verarmungszone 13 ist auf dem PN-Übergang zwischen der P-Halbleiterschicht 11 und der N-Halbleiterschicht 12 gebildet. Ein inneres elektrisches Feld wird in der Verarmungszone 13 erzeugt.

**[0004]** Ein erstes Potenzialgefälle 131 wird zwischen dem ersten Valenzband 111 und dem zweiten Valenzband 121 gebildet, wobei alle drei unterhalb des Fermi-Niveaus 133 liegen. Ein zweites Potenzialgefälle 132 wird zwischen dem ersten Leitungsband 112 und dem zweiten Leitungsband 122 gebildet, wobei alle drei oberhalb des Fermi-Niveaus 133 liegen.

**[0005]** Wenn die Vorrichtung zur photoelektrischen Umwandlung 1 mehrere Photonen 14 absorbiert und Elektron-Loch-Paare wie beispielsweise ein erstes Elektron 141a und ein erstes Loch 141b und ein zweites Elektron 142a und ein zweites Loch 142b erzeugt, kann das erste Elektron 141a von dem ersten Valenzband 111 auf das erste Leitungsband 112 übergehen und das zweite Elektron 142a kann von dem zweiten Valenzband 121 auf das zweite Leitungsband 122 übergehen.

**[0006]** Anschließend, aufgrund des Diffusionseffekts, können das erste Elektron 141a und das zweite Elektron 142a auf das zweite Potenzialgefälle 132 der Verarmungszone 13 gelangen und das erste Loch 141b und das zweite Loch 142b können unter das erste Potenzialgefälle 131 der Verarmungszone 13 gelangen. Danach, mit dem inneren elektrischen Feld in der Verarmungszone 13, werden das erste Elektron 141a, das zweite Elektron 142a, das erste

Loch 141b und das zweite Loch 142b gesondert auf einen äußeren Kreis 15 übertragen, wodurch sie elektrische Energie erzeugen.

**[0007]** Ein Nachteil einer solchen herkömmlichen Vorrichtung zur photoelektrischen Umwandlung ist, dass sowohl die P-Halbleiterschicht als auch die N-Halbleiterschicht Bandlücken aufweisen. Zum Beispiel ist die Bandlücke einer P-Halbleiterschicht oder einer N-Halbleiterschicht, die aus Silicium (Si) hergestellt ist, etwa 1,1 eV (Elektronenvolt). Daher ist der Lichtabsorptionsbereich der Vorrichtung zur photoelektrischen Umwandlung durch die Bandlücken eingeschränkt, sodass einige Photonen nicht durch die Vorrichtung zur photoelektrischen Umwandlung absorbiert werden können, was in einer Verringerung der Anzahl von Photonen, die absorbiert werden, und in einer gescheiterten Erzeugung einer großen Menge von Elektronen und Löchern resultiert.

**[0008]** Außerdem werden die Elektronen und Löcher mit einer geringeren Geschwindigkeit und mit geringerem Einfang nach außen geleitet, was zu hohem Energieverlust, niedrigerer Spannung und Stromstärke und geringerer Effizienz der photoelektrischen Umwandlung führt. Dadurch kann die Vorrichtung zur photoelektrischen Umwandlung nur eine geringe Anzahl energiearmer Elektronen und Löcher (Cold-Carrier) erhalten und erzeugt Elektrizität von niedriger Spannung und geringer Stromstärke.

**[0009]** Daher gibt es Bedarf daran, eine Vorrichtung zur photoelektrischen Umwandlung und ein Verfahren dafür zu entwickeln, um die vorstehenden Probleme zu bewältigen.

**[0010]** Aus der WO 2014 100 707 A1 ist eine Solarzelle zur photoelektrischen Umwandlung von Sonnenenergie bekannt, die durch zusätzliche laterale strukturierte Schichten zum Einen die Lichtabsorption bei der Erzeugung von Elektron-Loch-Paaren verbessert wird und zum Anderen Energieverluste durch Streuung heißer Elektronen an Phononen reduziert werden.

**[0011]** Die US 2014 209 154 A1 offenbart lichtabsorbierende Schichten, deren Absorption durch eingebettete metallische Nanostrukturen vorteilhaft erhöht ist.

**[0012]** Die nachveröffentlichte DE 10 2013 106 800 A1 offenbart optoelektronische Bauelemente mit organischen funktionellen Schichtenstrukturen. Darin kommen unter anderem Zwischenschichten mit Ladungsträgerpaar-Erzeugungs-Strukturen aus Graphen zum Einsatz.

**[0013]** Die US-Patentveröffentlichung US 2013 / 0 193 404 A1 offenbart eine „Photokonversionsvorrich-

tion mit verbesserter Photonenabsorption“. Infrarot-Photokonversionsvorrichtung, umfassend einen Kollektor mit mindestens einer aktiven Schicht, die aus einem einzelnen Blatt aus dotiertem einschichtigem, zweischichtigem oder mehrschichtigem Graphen besteht, das als Nanoscheiben oder Nanobänder strukturiert ist. Die einzelne Schicht aus dotiertem Graphen weist ein hohes Absorptionsvermögen auf und somit kann die Effizienz von Vorrichtungen wie Photovoltaikzellen, Photodetektoren und Lichtemissionsvorrichtungen durch Verwendung von Graphen als zentrales absorbierendes oder emittierendes Element verbessert werden. Diese Geräte werden abstimmbare, weil ihre Spitzenabsorptions- oder Emissionswellenlänge durch elektrostatische Dotierung des Graphens verändert wird.

**[0014]** Die US-Patentveröffentlichung US 2012 / 0 141 799 A1 offenbart „Film auf Graphen auf einem Substrat und Verfahren und Vorrichtungen dafür“. Eine Struktur mit einer aus einem Halbleitermaterialfilm gebildeten Graphenmaterialschiicht, die auf einem Substrat angeordnet ist, wird bereitgestellt. Die Struktur besteht aus einer Heterostruktur, die einen Halbleitermaterialfilm, ein Substrat und eine Graphenmaterialschiicht umfasst, die aus einer oder mehreren Graphenschichten besteht, die sich zwischen dem Halbleitermaterialfilm und dem Substrat befinden. Die Struktur kann ferner eine Graphengrenzflächenübergangsschiicht an der Halbleitermaterialfilmgrenzfläche mit der Graphenmaterialschiicht und/oder eine Substratübergangsschiicht an der Graphenmaterialschiichtgrenzfläche mit dem Substrat umfassen. Daher gibt es Bedarf daran, eine Vorrichtung zur photoelektrischen Umwandlung und ein Verfahren dafür zu entwickeln, um die vorstehenden Probleme zu bewältigen.

#### KURZDARSTELLUNG DER ERFINDUNG

**[0015]** Eine Hot-Carrier-Vorrichtung zur photoelektrischen Umwandlung, umfassend: eine P-Halbleiterschicht; eine N-Halbleiterschicht; eine anorganische lichtabsorbierende Leitschiicht, die zwischen der P-Halbleiterschicht und der N-Halbleiterschicht gebildet ist; und eine zweite Halbleiterschicht, die auf der N-Halbleiterschicht gebildet ist oder zwischen der N-Halbleiterschicht und der anorganischen lichtabsorbierenden Leitschiicht gebildet ist, wobei mindestens eine der P-Halbleiterschicht und der N-Halbleiterschicht eine transparente oder teiltransparente Halbleiterschicht ist, wobei das Valenzband der zweiten Halbleiterschicht ein Energieniveau aufweist, das höher als das Energieniveau des Leitungsbandes der N-Halbleiterschicht ist, oder wobei das Valenzband der zweiten Halbleiterschicht ein Energieniveau aufweist, das niedriger als das Energieniveau des Leitungsbandes der N-Halbleiterschicht ist, und die Energiedifferenz zwischen dem Valenzband der zweiten Halbleiterschicht und dem

Leitungsband der N-Halbleiterschicht geringer als 0,2 eV ist.

**[0016]** Ein Hot-Carrier-Verfahren zur photoelektrischen Umwandlung, das folgende Schritte umfasst: Bereitstellen einer Hot-Carrier-Vorrichtung zur photoelektrischen Umwandlung, die eine P-Halbleiterschicht, eine N-Halbleiterschicht und eine anorganische lichtabsorbierende Leitschiicht, die zwischen der P-Halbleiterschicht und der N-Halbleiterschicht gebildet ist, umfasst; Absorbieren von Photonen durch die anorganische lichtabsorbierende Leitschiicht, um Elektronen und Löcher zu erzeugen; jeweiliges Verschieben der Elektronen und Löcher auf die N-Halbleiterschicht und die P-Halbleiterschicht durch ein elektrisches Feld oder Diffusion, sodass die Elektronen und die Löcher jeweils nach außen geleitet werden, um elektrische Energie zu erzeugen; und Bilden einer zweiten Halbleiterschicht auf der N-Halbleiterschicht oder zwischen der N-Halbleiterschicht und der anorganischen lichtabsorbierenden Leitschiicht, wobei mindestens eine der P-Halbleiterschicht und der N-Halbleiterschicht eine transparente oder teiltransparente Halbleiterschicht ist, wobei das Valenzband der zweiten Halbleiterschicht ein Energieniveau aufweist, das höher als das Energieniveau des Leitungsbandes der N-Halbleiterschicht ist, oder wobei das Valenzband der zweiten Halbleiterschicht ein Energieniveau aufweist, das niedriger als das Energieniveau des Leitungsbandes der N-Halbleiterschicht ist, und die Energiedifferenz zwischen dem Valenzband der zweiten Halbleiterschicht und dem Leitungsband der N-Halbleiterschicht geringer als 0,2 eV ist.

**[0017]** Eine Hot-Carrier-Vorrichtung zur photoelektrischen Umwandlung, umfassend: eine P-Halbleiterschicht; eine N-Halbleiterschicht; eine anorganische lichtabsorbierende Leitschiicht, die zwischen der P-Halbleiterschicht und der N-Halbleiterschicht gebildet ist; und eine erste Halbleiterschicht, die auf der P-Halbleiterschicht gebildet ist oder zwischen der P-Halbleiterschicht und der anorganischen lichtabsorbierenden Leitschiicht gebildet ist, wobei mindestens eine der P-Halbleiterschicht und der N-Halbleiterschicht eine transparente oder teiltransparente Halbleiterschicht ist, wobei das Leitungsband der ersten Halbleiterschicht ein Energieniveau aufweist, das niedriger als das Energieniveau des Valenzbandes der P-Halbleiterschicht ist, oder wobei das Leitungsband der ersten Halbleiterschicht ein Energieniveau aufweist, das höher als das Energieniveau des Valenzbandes der P-Halbleiterschicht ist, und die Energiedifferenz zwischen dem Leitungsband der ersten Halbleiterschicht und dem Valenzband der P-Halbleiterschicht geringer als 0,2 eV ist.

**[0018]** Aus dem Vorstehenden wird ersichtlich, dass die Hot-Carrier-Vorrichtung zur photoelektrischen Umwandlung und das Verfahren zur photoelektri-

schen Umwandlung der vorliegenden Erfindung das Bilden der anorganischen lichtabsorbierenden Leitschicht und der N-Halbleiterschicht zum Absorbieren von Photonen umfasst und die Elektronen und Löcher jeweils nach außen geleitet werden, um elektrische Energie zu erzeugen. Daher kann die vorliegende Erfindung Photonen beliebiger Wellenlängen absorbieren, die Anzahl absorbierter Photonen erhöhen und bewirken, dass große Mengen energiereicher Elektronen und Löcher (Hot-Carrier) schnell nach außen geleitet werden, wodurch die Effizienz der photoelektrischen Umwandlung gesteigert wird und elektrische Energie mit einer hohen Leerlaufspannung und einer hohen Stromstärke erzeugt wird.

#### Figurenliste

**[0019]** Die vorliegende Erfindung kann durch Lesen der nachfolgenden detaillierten Beschreibung der bevorzugten Ausführungsformen, unter Bezugnahme auf die beigefügten Zeichnungen, vollständiger verstanden werden, wobei:

**Fig. 1** ein schematisches Diagramm ist, das die Grundstruktur einer herkömmlichen Vorrichtung zur photoelektrischen Umwandlung und ein Verfahren zur photoelektrischen Umwandlung dafür darstellt;

**Fig. 2** ein schematisches Diagramm ist, das die Grundstruktur einer Hot-Carrier-Vorrichtung zur photoelektrischen Umwandlung und ein Verfahren zur photoelektrischen Umwandlung dafür darstellt;

**Fig. 3A** ein schematisches Diagramm ist, das die Grundstruktur einer Hot-Carrier-Vorrichtung zur photoelektrischen Umwandlung und ein Verfahren zur photoelektrischen Umwandlung dafür gemäß einer zweiten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung darstellt;

**Fig. 3B** und **Fig. 3C** schematische Diagramme sind, die Alternativen der Grundstruktur einer Hot-Carrier-Vorrichtung zur photoelektrischen Umwandlung und ein Verfahren zur photoelektrischen Umwandlung dafür gemäß der zweiten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung darstellen;

**Fig. 4A** ein schematisches Diagramm ist, das die P-Halbleiterschicht und die erste Halbleiterschicht gemäß der vorliegenden Erfindung darstellt;

**Fig. 4B** ein schematisches Diagramm ist, das die N-Halbleiterschicht und die zweite Halbleiterschicht gemäß der vorliegenden Erfindung darstellt; und

**Fig. 5** ein schematisches Diagramm ist, das die Grundstruktur einer Hot-Carrier-Vorrichtung zur photoelektrischen Umwandlung und ein Verfah-

ren zur photoelektrischen Umwandlung dafür zur Erläuterung einer dritten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung darstellt.

#### DETAILLIERTE BESCHREIBUNG DER AUSFÜHRUNGSFORMEN

**[0020]** **Fig. 2** stellt die Grundstruktur einer Hot-Carrier-Vorrichtung zur photoelektrischen Umwandlung 2 und ein Verfahren zur photoelektrischen Umwandlung dafür dar. Wie in **Fig. 2** gezeigt, ist die Hot-Carrier-Vorrichtung zur photoelektrischen Umwandlung 2 ein photoelektrisches Umwandlungselement und umfasst eine P-Halbleiterschicht 21, eine N-Halbleiterschicht 22 und eine anorganische lichtabsorbierende Leitschicht 23. Sowohl die P-Halbleiterschicht 21 als auch die N-Halbleiterschicht 22 können anorganische Halbleiterschichten oder organische Halbleiterschichten sein, oder eine ist eine anorganische Halbleiterschicht und die andere ist eine organische Halbleiterschicht.

**[0021]** Die P-Halbleiterschicht 21 weist ein erstes Valenzband 211, ein erstes Leitungsband 212 und eine erste Bandlücke 213, die zwischen dem ersten Valenzband 211 und dem ersten Leitungsband 212 gebildet ist, auf. Das erste Valenzband 211 und das erste Leitungsband 212 liegen jeweils unterhalb und oberhalb des Fermi-Niveaus 26. Eine P-Halbleiterschicht mit einem energiereicheren ersten Leitungsband 212 kann gewählt werden, um Rekombination zu verhindern, die durch Elektronen, die in die P-Halbleiterschicht eindiffundieren, verursacht wird, wodurch die gesammelten Ladungsträger reduziert werden könnten.

**[0022]** Die N-Halbleiterschicht 22 weist ein zweites Valenzband 221, ein zweites Leitungsband 222 und eine zweite Bandlücke 223, die zwischen dem zweiten Valenzband 221 und dem zweiten Leitungsband 222 gebildet ist, auf. Das zweite Valenzband 221 und das zweite Leitungsband 222 liegen jeweils unterhalb und oberhalb des Fermi-Niveaus 26. Eine N-Halbleiterschicht mit einem energieärmeren zweiten Valenzband 221 kann gewählt werden, um Rekombination zu verhindern, die durch Löcher, die in die N-Halbleiterschicht eindiffundieren, verursacht wird, wodurch die gesammelten Ladungsträger reduziert werden könnten.

**[0023]** Die anorganische lichtabsorbierende Leitschicht 23 ist zwischen der P-Halbleiterschicht 21 und der N-Halbleiterschicht 22 zum Absorbieren mehrerer Photonen bereitgestellt, um Elektron-Loch-Paare wie beispielsweise ein erstes Elektron 271a und ein erstes Loch 271b und ein zweites Elektron 272a und ein zweites Loch 272b zu erzeugen.

**[0024]** Mit einem elektrischen Feld oder Diffusionseffekt bewegen sich das erste Elektron 271a, das

zweite Elektron 272a und dergleichen so, dass sie über dem zweiten Leitungsband 222 der N-Halbleiterschicht 22 sind, wohingegen das erste Loch 271b, das zweite Loch 272b und dergleichen sich unter das erste Valenzband 211 der P-Halbleiterschicht 21 bewegen. Folglich werden das erste Elektron 271a, das zweite Elektron 272a, das erste Loch 271b und das zweite Loch 272b und dergleichen gesondert auf einen äußeren Kreis 28 übertragen, wodurch große Mengen von Hot-Carriern mit hoher Energie wie das erste Elektron 271a, das zweite Elektron 272a, das erste Loch 271b und das zweite Loch 272b erhalten werden und elektrische Energie, die eine hohe Leerlaufspannung und eine hohe Stromstärke aufweist, erzeugt wird.

**[0025]** Die anorganische lichtabsorbierende Leitschicht 23 kann aus einem Material wie Metall, Graphit, Graphen usw. hergestellt sein. Ihre Dicke kann weniger als 50 nm ( $1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$ ) oder weniger als oder gleich eine Länge von fünf Mal der mittleren freien Weglänge des ersten Elektrons 271a, ersten Lochs 271b oder dergleichen innerhalb der anorganischen lichtabsorbierenden Leitschicht 23 sein. Wenn die Dicke der anorganischen lichtabsorbierenden Leitschicht 23 geringer als die mittlere freie Weglänge ist, bedeutet das, dass das erste Elektron 271a, das erste Loch 271b und dergleichen vor einem Zusammenstoß mit den Atomen (bevor die Energie verbraucht ist) nach außen geleitet werden, sodass das erste Elektron 271a, das erste Loch 271b und dergleichen, die nach außen geleitet werden, hohe Energie aufweisen.

**[0026]** Des Weiteren, wenn die Absorption von mehr Photonen 27 gewünscht ist, kann die P-Halbleiterschicht 21 oder die N-Halbleiterschicht 22 in eine Nanostruktur umgewandelt werden, wobei die anorganische lichtabsorbierende Leitschicht 23 derart auf der Fläche dieser Nanostruktur gebildet ist, dass sie mit der Nanostruktur übereinstimmt. Dies erhöht die äquivalente lichtabsorbierende Dicke und verstärkt somit die Lichtabsorption der Hot-Carrier-Vorrichtung zur photoelektrischen Umwandlung 2. Unterdessen liegt die anorganische lichtabsorbierende Leitschicht 23 sehr nah an der benachbarten P-Halbleiterschicht 21 oder N-Halbleiterschicht 22, sodass der zurückzulegende Weg für das erste Loch 271b, das erste Elektron 271a und dergleichen bis zu der P-Halbleiterschicht 21 oder der N-Halbleiterschicht 22 weniger als oder nahezu die mittlere freie Weglänge ist.

**[0027]** Da die Dicke der anorganischen lichtabsorbierenden Leitschicht 23 nahe der mittleren freien Weglänge des ersten Elektrons 271a, des ersten Lochs 271b und dergleichen ist, durchlaufen diese, wenn das erste Elektron 271a und das erste Loch 271b jeweils auf die P-Halbleiterschicht 21 und die N-Halbleiterschicht 22 bewegt werden, keine mehr-

malige Phononenstreuung und behalten daher höhere Energie, und das erste Elektron 271a, das erste Loch 271b und dergleichen werden die sogenannten Hot-Carrier.

**[0028]** Andererseits, wenn das erste Elektron 271a und das erste Loch 271b eine geringere Energie aufweisen, kann ein wenig Energie von den energiereicheren Hot-Carriern auf energieärmere Hot-Carrier durch Trägerzusammenstöße übertragen werden. Daraus ergibt sich, dass die anorganische lichtabsorbierende Leitschicht 23 nicht unbedingt eine Bandlücke aufweisen muss, das heißt, sie kann das ganze Spektrum des Sonnenlichts oder verschiedener Arten von Licht absorbieren.

**[0029]** Fig. 3A ist ein schematisches Diagramm, das die Grundstruktur einer Hot-Carrier-Vorrichtung zur photoelektrischen Umwandlung 2' und ein Verfahren zur photoelektrischen Umwandlung dafür gemäß einer zweiten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung darstellt. Die Hot-Carrier-Vorrichtung zur photoelektrischen Umwandlung 2' und das Verfahren zur photoelektrischen Umwandlung ähneln der Hot-Carrier-Vorrichtung zur photoelektrischen Umwandlung 2 und dem Verfahren zur photoelektrischen Umwandlung, wie in Fig. 2 beschrieben, wobei die Hauptunterschiede zwischen ihnen im Folgenden genannt sind.

**[0030]** Wie in Fig. 3A gezeigt, umfasst die Hot-Carrier-Vorrichtung zur photoelektrischen Umwandlung 2' ferner eine erste Halbleiterschicht 24 und eine zweite Halbleiterschicht 25, die aus einem N-Halbleiter oder P-Halbleiter hergestellt sind.

**[0031]** Die erste Halbleiterschicht 24 ist auf der P-Halbleiterschicht 21 gebildet und umfasst ein drittes Valenzband 241, ein drittes Leitungsband 242 und eine dritte Bandlücke 243, die zwischen dem dritten Valenzband 241 und dem dritten Leitungsband 242 gebildet ist. Das Energieniveau des dritten Leitungsbandes 242 der ersten Halbleiterschicht 24 ist niedriger als das erste Valenzband 211 der P-Halbleiterschicht 21, sodass ein erster Energieniveaukanal 261 zwischen dem dritten Leitungsband 242 und dem ersten Valenzband 211 gebildet wird. Das erste Loch 271b zu einem vierten Loch 274b und dergleichen können durch den ersten Energieniveaukanal 261 hindurch auf den äußeren Kreis 28 geleitet werden, wodurch eine große Menge energiereicher Hot-Carrier erhalten wird (das erste Loch 271b zu dem vierten Loch 274b und dergleichen). Eine P-Halbleiterschicht mit einem energiereicheren ersten Leitungsband 212 kann gewählt werden, um Elektronen daran zu hindern, in die P-Halbleiterschicht einzudiffundieren, wodurch die gesammelten Ladungsträger reduziert werden könnten.

**[0032]** Des Weiteren, wenn die Energie des vierten Lochs 274b größer ist als das Energieniveau des ersten Energieniveaukanals 261, kann das vierte Loch 274b nicht durch die erste Halbleiterschicht 24 oder die dritte Bandlücke 243 hindurchtreten. In diesem Fall kann die Energie zwischen einem energieärmeren dritten Loch 273b und dem energiereicheren vierten Loch 274b umverteilt werden, sodass das vierte Loch 274b durch den ersten Energieniveaukanal 261 hindurch auf den äußeren Kreis 28 geleitet werden kann. Als solches kann die Anzahl der Löcher, die auf den äußeren Kreis 28 geleitet werden, erhöht werden.

**[0033]** In gleicher Weise, wenn die Energie des zweiten Lochs 272b größer als das Energieniveau des ersten Energieniveaukanals 261 ist, kann das zweite Loch 272b nicht durch die erste Halbleiterschicht 24 oder die dritte Bandlücke 243 hindurchtreten. In diesem Fall kann die Energie zwischen einem energieärmeren Loch und dem energiereicheren zweiten Loch 272b umverteilt werden, sodass das zweite Loch 272b durch den ersten Energieniveaukanal 261 hindurch auf den äußeren Kreis 28 geleitet werden kann, wodurch die Anzahl der Löcher, die auf den äußeren Kreis 28 geleitet werden können, erhöht wird.

**[0034]** Außerdem ist die zweite Halbleiterschicht 25 auf der N-Halbleiterschicht 22 gebildet und umfasst ein viertes Valenzband 251, ein viertes Leitungsband 252 und eine vierte Bandlücke 253, die zwischen dem vierten Valenzband 251 und dem vierten Leitungsband 252 gebildet ist. Das Energieniveau des vierten Valenzbandes 251 der zweiten Halbleiterschicht 25 ist höher als das zweite Leitungsband 222 der N-Halbleiterschicht 22, sodass ein zweiter Energieniveaukanal 262 zwischen dem vierten Valenzband 251 und dem zweiten Leitungsband 222 gebildet ist. Das erste Elektron 271a zu einem vierten Elektron 274a und dergleichen können durch den zweiten Energieniveaukanal 262 hindurch auf den äußeren Kreis 28 geleitet werden, wodurch eine große Menge energiereicher Hot-Carrier erhalten wird (das erste Elektron 271a zu dem vierten Elektron 274a und dergleichen). Eine N-Halbleiterschicht mit einem energieärmeren zweiten Valenzband 221 kann gewählt werden, um Löcher daran zu hindern, in die N-Halbleiterschicht einzudiffundieren, was die gesammelten Ladungsträger reduzieren könnte.

**[0035]** Des Weiteren, wenn die Energie des dritten Elektrons 273a größer als das Energieniveau des zweiten Energieniveaukanals 262 ist, kann das dritte Elektron 273a nicht durch die zweite Halbleiterschicht 25 oder die vierte Bandlücke 253 hindurchtreten. In diesem Fall kann die Energie zwischen einem energieärmeren vierten Elektron 274a und dem energiereicheren dritten Elektron 273a umver-

teilt werden, sodass das dritte Elektron 273a durch den zweiten Energieniveaukanal 262 auf den äußeren Kreis 28 geleitet werden kann, wodurch die Anzahl von Elektronen, die auf den äußeren Kreis 28 geleitet werden können, erhöht wird.

**[0036]** In gleicher Weise, wenn die Energie des ersten Elektrons 271a größer als das Energieniveau des zweiten Energieniveaukanals 262 ist, kann das erste Elektron 271a nicht durch die zweite Halbleiterschicht 25 oder die vierte Bandlücke 253 hindurchtreten. In diesem Fall kann die Energie zwischen einem energieärmeren Elektron und dem energiereicheren ersten Elektron 271a umverteilt werden, sodass das erste Elektron 271a durch den zweiten Energieniveaukanal 262 hindurch auf den äußeren Kreis 28 geleitet werden kann, wodurch die Anzahl von Elektronen, die auf den äußeren Kreis 28 geleitet werden können, erhöht wird.

**[0037]** In der zweiten Ausführungsform kann die Energieumverteilung gleichzeitig sowohl auf die Elektronen als auch die Löcher oder nur auf die Elektronen oder die Löcher angewendet werden. Da Elektronen im Allgemeinen über einen breiteren Energiebereich verteilt sind, wird Energieumverteilung in der Praxis üblicherweise auf Elektronen angewendet, wodurch der Hot-Carrier-Vorrichtung zur photoelektrischen Umwandlung 2' ermöglicht wird, mehr Hot-Carrier (Elektronen) zu erzeugen.

**[0038]** Fig. 3B und Fig. 3C sind schematische Diagramme, die Alternativen der Grundstruktur einer Hot-Carrier-Vorrichtung zur photoelektrischen Umwandlung 2' und das photoelektrische Umwandlungsverfahren dafür gemäß der zweiten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung zeigen. Die Hot-Carrier-Vorrichtungen zur photoelektrischen Umwandlung 2' aus Fig. 3B und Fig. 3C gleichen der in Fig. 3A beschriebenen Vorrichtung, weisen jedoch einige nachfolgend genannte Unterschiede auf.

**[0039]** Wie in Fig. 3A gezeigt, ist die erste Halbleiterschicht 24 auf der P-Halbleiterschicht 21 gebildet, wohingegen, wie in Fig. 3B gezeigt, die erste Halbleiterschicht 24 zwischen der P-Halbleiterschicht 21 und der anorganischen lichtabsorbierenden Leitschicht 23 gebildet ist.

**[0040]** In gleicher Weise, wie in Fig. 3A gezeigt, ist die zweite Halbleiterschicht 25 auf der N-Halbleiterschicht 22 gebildet, wohingegen, wie in Fig. 3B dargestellt, die zweite Halbleiterschicht 25 zwischen der N-Halbleiterschicht 22 und der anorganischen lichtabsorbierenden Leitschicht 23 gebildet ist.

**[0041]** Das heißt, dass die Reihenfolge der ersten Halbleiterschicht 24 und der P-Halbleiterschicht 21 umgekehrt werden kann. Des Weiteren kann die Rei-

henfolge der zweiten Halbleiterschicht 25 und der N-Halbleiterschicht 22 umgekehrt werden. Drei Ausführungsformen hinsichtlich der vorstehenden Reihenfolgen sind in **Fig. 3A**, **Fig. 3B** und **Fig. 3C** dargestellt. Gemäß der vorliegenden Erfindung können mehr als 3 Zusammenstellungen aus den vorstehenden Offenbarungen abgeleitet werden.

**[0042]** **Fig. 4A** stellt eine Alternative der P-Halbleiterschicht 21 und der ersten Halbleiterschicht 24 der vorliegenden Erfindung dar, die anstelle der P-Halbleiterschicht 21 und der ersten Halbleiterschicht 24 verwendet werden können, wie in **Fig. 3** gezeigt. Die P-Halbleiterschichten 21 und die ersten Halbleiterschichten 24, wie in **Fig. 4A** und **Fig. 3** gezeigt, sind gleichartig, weisen jedoch einige nachfolgend genannte Unterschiede auf.

**[0043]** Wie in **Fig. 4A** gezeigt, kann, für die P-Halbleiterschicht 21 und die erste Halbleiterschicht 24, wenn das dritte Leitungsband 242 der ersten Halbleiterschicht 24 höher als das erste Valenzband 211 der P-Halbleiterschicht 21 ist, das erste Loch 271b auf dem ersten Valenzband 211 der P-Halbleiterschicht 21 theoretisch nicht direkt durch die erste Halbleiterschicht 24 hindurchgehen. Jedoch kann, wenn der Energieunterschied zwischen dem dritten Leitungsband 242 der ersten Halbleiterschicht 24 und dem ersten Valenzband 211 der P-Halbleiterschicht 21 geringer als 0,1-0,2 eV ist, das erste Loch 271b durch Phononenzusammenstoß auf das dritte Leitungsband 242 der ersten Halbleiterschicht 24 springen, wo es durch das dritte Leitungsband 242 oder einen Energieniveaukanal hindurch zu dem äußeren Kreis 28 geleitet wird.

**[0044]** Zusätzlich, was das energieärmere dritte Loch 273b und das energiereichere vierte Loch 274b betrifft, die nicht auf dem ersten Valenzband 211 der P-Halbleiterschicht 21 sind, können diese ebenfalls durch Energieumverteilung auf das erste Valenzband 211 der P-Halbleiterschicht 21 bewegt werden und durch Phononenzusammenstoß auf das dritte Leitungsband 242 der ersten Halbleiterschicht 24 springen, wodurch sowohl dem dritten Loch 273b als auch dem vierten Loch 274b ermöglicht wird, über das dritte Leitungsband 242 oder den ersten Energieniveaukanal 261 auf den externen Kreis 28 geleitet zu werden.

**[0045]** Aus **Fig. 3A** und **Fig. 4A** wird ersichtlich, dass die Hot-Carrier-Vorrichtung zur photoelektrischen Umwandlung 2' der vorliegenden Erfindung die entsprechende P-Halbleiterschicht 21 und die erste Halbleiterschicht 24 zum Sammeln von Löchern (Hot-Carriern) wählen kann.

**[0046]** **Fig. 4B** ist ein schematisches Diagramm, das eine Alternative der N-Halbleiterschicht 22 und der zweiten Halbleiterschicht 25 der vorliegenden Erfin-

dung darstellt, die verwendet werden kann, um die N-Halbleiterschicht 22 und die zweite Halbleiterschicht 25 zu ersetzen, wie in **Fig. 3** gezeigt. Die N-Halbleiterschicht 22 und die zweite Halbleiterschicht 25, wie in **Fig. 4B** und **Fig. 3** gezeigt, sind gleichartig, weisen jedoch einige nachfolgend genannte Unterschiede auf.

**[0047]** Wie in **Fig. 4B** gezeigt, kann, für die N-Halbleiterschicht 22 und die zweite Halbleiterschicht 25, wenn das vierte Valenzband 251 der zweiten Halbleiterschicht 25 niedriger als das zweite Leitungsband 222 der N-Halbleiterschicht 22 ist, das erste Elektron 271a auf dem zweiten Leitungsband 222 der N-Halbleiterschicht 22 theoretisch nicht direkt durch die zweite Halbleiterschicht 25 hindurchtreten. Jedoch, wenn der Energieunterschied zwischen dem vierten Valenzband 251 der zweiten Halbleiterschicht 25 und dem zweiten Leitungsband 222 der N-Halbleiterschicht 22 geringer als 0,1-0,2 eV ist, kann das erste Elektron 271a durch Phononenzusammenstoß auf das vierte Valenzband 251 der zweiten Halbleiterschicht 25 springen, wo es durch das vierte Valenzband 251 oder einen Energieniveaukanal hindurch zu dem äußeren Kreis 28 geleitet wird.

**[0048]** Zusätzlich, was das energiereichere dritte Elektron 273a und das energieärmere vierte Elektron 274a betrifft, die nicht auf dem zweiten Leitungsband 222 der N-Halbleiterschicht 22 sind, können diese ebenfalls durch Energieumverteilung auf das vierte Valenzband 251 der N-Halbleiterschicht 22 bewegt werden und durch Phononenzusammenstoß auf das vierte Valenzband 251 der zweiten Halbleiterschicht 25 springen, wodurch sowohl dem dritten Elektron 273a als auch dem vierten Elektron 274a ermöglicht wird, über das vierte Leitungsband 251 oder einen Energieniveaukanal auf den externen Kreis 28 geleitet zu werden.

**[0049]** Aus **Fig. 3A** und **Fig. 4B** oben wird ersichtlich, dass die Hot-Carrier-Vorrichtung zur photoelektrischen Umwandlung 2' der vorliegenden Erfindung die entsprechende N-Halbleiterschicht 22 und die zweite Halbleiterschicht 25 zum Sammeln von Elektronen (Hot-Carriern) wählen kann.

**[0050]** In **Fig. 4A** und **Fig. 4B** kann die Energieumverteilung gleichzeitig sowohl auf die Elektronen als auch die Löcher oder nur auf die Elektronen oder die Löcher angewendet werden. Da Elektronen im Allgemeinen über einen breiteren Energiebereich verteilt sind, wird eine Energieumverteilung in der Praxis üblicherweise auf Elektronen angewendet, wodurch der Hot-Carrier-Vorrichtung zur photoelektrischen Umwandlung 2' ermöglicht wird, mehr Hot-Carrier (Elektronen) zu erzeugen.

**[0051]** Fig. 5 zeigt ein schematisches Diagramm einer Hot-Carrier-Vorrichtung zur photoelektrischen Umwandlung 2" und das Verfahren zur photoelektrischen Umwandlung dafür zur Erläuterung einer dritten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung. Wie in Fig. 5 gezeigt, kann die Hot-Carrier-Vorrichtung zur photoelektrischen Umwandlung 2" eine das elektrische Feld verstärkende P-Schicht 23a und das elektrische Feld verstärkende N-Schicht 23b umfassen.

**[0052]** Das Material der das elektrische Feld verstärkenden P-Schicht kann  $\text{MoO}_3$  oder  $\text{MoO}_x$  sein. Sie kann zwischen der P-Halbleiterschicht 21 und der anorganischen lichtabsorbierenden Leitschicht 23 gebildet sein, um die Stärke des inneren elektrischen Feldes zwischen der P-Halbleiterschicht 21 und der anorganischen lichtabsorbierenden Leitschicht 23 zu verstärken, wodurch es Hot-Carriern wie dem ersten Loch 271b und dergleichen ermöglicht wird, schnell auf die P-Halbleiterschicht 21 abgetrennt zu werden.

**[0053]** Das Material der das elektrische Feld verstärkenden N-Schicht kann PFN (Poly [(9,9-bis-(3'-(N,N-dimethylamino)propyl)-2,7-fluoren)-alt-2,7-(9,9-dioctylfluoren)]) sein. Sie kann zwischen der N-Halbleiterschicht 22 und der anorganischen lichtabsorbierenden Leitschicht 23 gebildet sein, um die Stärke des inneren elektrischen Feldes zwischen der N-Halbleiterschicht 22 und der anorganischen lichtabsorbierenden Leitschicht 23 zu verstärken, wodurch es Hot-Carriern wie dem ersten Elektron 271a und dergleichen ermöglicht wird, schnell auf die N-Halbleiterschicht 22 abgetrennt zu werden.

**[0054]** Dadurch kann die Hot-Carrier-Vorrichtung zur photoelektrischen Umwandlung 2" der vorliegenden Erfindung eine große Anzahl von Hot-Carriern mit einer hohen Leerlaufspannung und einer hohen Stromstärke wie beispielsweise das erste Elektron 271a und das erste Loch 271b erzeugen. Diese Hot-Carrier wie das erste Elektron 271a und das erste Loch 271b werden ferner durch das innere elektrische Feld, Energieniveaukanäle, Phononenzusammenstoß und/oder Energieumverteilung auf den äußeren Kreis 28 geleitet, wie in Fig. 2 bis Fig. 4B vorstehend beschrieben.

**[0055]** Gemäß dem beschreibenden Beispiel der vorliegenden Erfindung können die vorstehend diskutierten Materialien zum Verstärken des elektrischen Feldes andere als  $\text{MoO}_x$  oder PFN sein. Die vorliegende Erfindung ist nicht auf  $\text{MoO}_x$  oder PFN beschränkt, sondern schließt auch andere Materialien ein.

**[0056]** Aus dem Vorstehenden wird ersichtlich, dass die Hot-Carrier-Vorrichtung zur photoelektrischen

Umwandlung und das Verfahren zur photoelektrischen Umwandlung der vorliegenden Erfindung wenigstens die folgenden Vorteile aufweisen.

(1) Da die anorganische lichtabsorbierende Leitschicht keine Bandlücke einer P- oder N-Halbleiterschicht, wie die vom Stand der Technik, aufweist, kann die anorganische lichtabsorbierende Leitschicht der vorliegenden Erfindung, die zwischen der P-Halbleiterschicht und der N-Halbleiterschicht gebildet ist, Photonen beliebiger Wellenlängen absorbieren, wodurch die Menge der absorbierten Photonen erhöht wird, sodass große Mengen von Elektronen und Löchern erzeugt werden.

(2) Die Dicke der anorganischen lichtabsorbierenden Leitschicht ist sehr dünn - 50 nm oder weniger oder kleiner als oder gleich fünf Mal die mittlere freie Weglänge der Elektronen oder Löcher innerhalb der anorganischen lichtabsorbierenden Leitschicht, sodass die Elektronen und Löcher durch das elektrische Feld oder den Diffusionseffekt ungeachtet ihrer Energie schnell auf den äußeren Kreis geleitet werden können. Als solches können die Elektronen oder die Löcher bei einer hohen Geschwindigkeit mit einem großen Einfang und geringem Energieverlust geleitet werden, wodurch große Mengen energiereicher Elektronen und Löcher (Hot-Carrier) erhalten werden und elektrische Energie mit einer hohen Leerlaufspannung und einer hohen Stromstärke erzeugt wird.

(3) Ein erster Energieniveaukanal ist zwischen der P-Halbleiterschicht und der ersten Halbleiterschicht gebildet und ein zweiter Energieniveaukanal ist zwischen der N-Halbleiterschicht und der zweiten Halbleiterschicht gebildet, sodass die Elektronen und die Löcher jeweils über den ersten und den zweiten Energieniveaukanal auf den äußeren Kreis geleitet werden. Dadurch können große Mengen von energiereichen Elektronen und Löchern schnell eingefangen werden, sodass die Effizienz der photoelektrischen Umwandlung gesteigert wird und elektrische Energie mit einer hohen Leerlaufspannung und einer hohen Stromstärke erzeugt wird.

(4) Eine das elektrische Feld verstärkende P-Schicht und/oder eine das elektrische Feld verstärkende N-Schicht sind/ist auf einer oder beiden Seiten der anorganischen lichtabsorbierenden Leitschicht gebildet, um die Stärke des inneren elektrischen Feldes zu verstärken, sodass die Hot-Carrier (Löcher und Elektronen) jeweils schnell auf die P-Halbleiterschicht und die N-Halbleiterschicht abgetrennt werden können.

### Patentansprüche

1. Eine Hot-Carrier-Vorrichtung zur photoelektrischen Umwandlung (2, 2'), umfassend:  
 eine P-Halbleiterschicht (21);  
 eine N-Halbleiterschicht (22);  
 eine anorganische lichtabsorbierende Leitschicht (23),  
 die zwischen der P-Halbleiterschicht (21) und der N-Halbleiterschicht (22) gebildet ist; und eine zweite Halbleiterschicht (25), die auf der N-Halbleiterschicht (22) gebildet ist oder zwischen der N-Halbleiterschicht (22) und der anorganischen lichtabsorbierenden Leitschicht (23) gebildet ist, wobei mindestens eine der P-Halbleiterschicht (21) und der N-Halbleiterschicht (22) eine transparente oder teiltransparente Halbleiterschicht ist, wobei das Valenzband (251) der zweiten Halbleiterschicht (25) ein Energieniveau aufweist, das höher als das Energieniveau des Leitungsbandes (222) der N-Halbleiterschicht (22) ist, oder wobei das Valenzband (251) der zweiten Halbleiterschicht (25) ein Energieniveau aufweist, das niedriger als das Energieniveau des Leitungsbandes (222) der N-Halbleiterschicht (22) ist, und die Energiedifferenz zwischen dem Valenzband (251) der zweiten Halbleiterschicht (25) und dem Leitungsband (222) der N-Halbleiterschicht (22) geringer als 0,2 eV ist.

2. Hot-Carrier-Vorrichtung zur photoelektrischen Umwandlung (2, 2') nach Anspruch 1, wobei mindestens eine der P-Halbleiterschicht (21) und der N-Halbleiterschicht (22) die transparente oder teiltransparente Halbleiterschicht ist, damit Photonen durch die transparente oder halbtransparente Halbleiterschicht hindurch auf die anorganische lichtabsorbierende Leitschicht (23) treten können, um die Elektronen und Löcher zu erzeugen.

3. Hot-Carrier-Vorrichtung zur photoelektrischen Umwandlung (2, 2') nach Anspruch 1, wobei sowohl die P-Halbleiterschicht (21) als auch die N-Halbleiterschicht (22) anorganische Halbleiterschichten oder organische Halbleiterschichten sind, oder eine der P-Halbleiterschicht (21) und der N-Halbleiterschicht (22) eine anorganische Halbleiterschicht und die andere eine organische Halbleiterschicht ist.

4. Hot-Carrier-Vorrichtung zur photoelektrischen Umwandlung (2, 2') nach Anspruch 1, wobei die anorganische lichtabsorbierende Leitschicht (23) aus Metall, Graphit oder Graphen hergestellt ist.

5. Hot-Carrier-Vorrichtung zur photoelektrischen Umwandlung (2, 2') nach Anspruch 1, wobei die anorganische lichtabsorbierende Leitschicht (23) eine Dicke von weniger als 50 nm oder nicht mehr als fünf Mal eine mittlere freie Weglänge von Elektronen und Löchern innerhalb der anorganischen lichtabsorbierenden Leitschicht (23) aufweist.

6. Hot-Carrier-Vorrichtung zur photoelektrischen Umwandlung (2, 2') nach Anspruch 1, die ferner eine erste Halbleiterschicht (24) umfasst, die auf der P-Halbleiterschicht (21) gebildet ist oder zwischen der P-Halbleiterschicht (21) und der anorganischen lichtabsorbierenden Leitschicht (23) gebildet ist, wobei das Leitungsband (242) der ersten Halbleiterschicht (24) ein Energieniveau aufweist, das niedriger als das Energieniveau des Valenzbandes (211) der P-Halbleiterschicht (21) ist.

7. Hot-Carrier-Vorrichtung zur photoelektrischen Umwandlung (2, 2') nach Anspruch 1, die ferner eine erste Halbleiterschicht (24) umfasst, die auf der P-Halbleiterschicht (21) gebildet ist oder zwischen der P-Halbleiterschicht (21) und der anorganischen lichtabsorbierenden Leitschicht (23) gebildet ist, wobei das Leitungsband (242) der ersten Halbleiterschicht (24) ein Energieniveau aufweist, das höher als das Energieniveau des Valenzbandes (211) der P-Halbleiterschicht (21) ist, und die Energiedifferenz zwischen dem Leitungsband (242) der ersten Halbleiterschicht (24) und dem Valenzband (211) der P-Halbleiterschicht (21) geringer als 0,2 eV ist.

8. Hot-Carrier-Vorrichtung zur photoelektrischen Umwandlung (2, 2') nach Anspruch 1, die ferner eine das elektrische Feld verstärkende P-Schicht (23a) umfasst, die zwischen der P-Halbleiterschicht (21) und der anorganischen lichtabsorbierenden Leitschicht (23) gebildet ist.

9. Hot-Carrier-Vorrichtung zur photoelektrischen Umwandlung (2, 2') nach Anspruch 1, die ferner eine das elektrische Feld verstärkende N-Schicht (23b) umfasst, die zwischen der N-Halbleiterschicht (22) und der anorganischen lichtabsorbierenden Leitschicht (23) gebildet ist.

10. Hot-Carrier-Verfahren zur photoelektrischen Umwandlung, das folgende Schritte umfasst:  
 Bereitstellen einer Hot-Carrier-Vorrichtung zur photoelektrischen Umwandlung (2, 2'), die eine P-Halbleiterschicht (21), eine N-Halbleiterschicht (22) und eine anorganische lichtabsorbierende Leitschicht (23), die zwischen der P-Halbleiterschicht (21) und der N-Halbleiterschicht (22) gebildet ist, umfasst;  
 Absorbieren von Photonen durch die anorganische lichtabsorbierende Leitschicht (23), um Elektronen und Löcher zu erzeugen;  
 jeweiliges Verschieben der Elektronen und Löcher auf die N-Halbleiterschicht (22) und die P-Halbleiterschicht (21) durch ein elektrisches Feld oder Diffusion, sodass die Elektronen und die Löcher jeweils nach außen geleitet werden, um elektrische Energie zu erzeugen; und  
 Bilden einer zweiten Halbleiterschicht (25) auf der N-Halbleiterschicht (22) oder zwischen der N-Halbleiterschicht (22) und der anorganischen lichtabsorbierenden Leitschicht (23).

bierenden Leitschicht (23), wobei mindestens eine der P-Halbleiterschicht (21) und der N-Halbleiterschicht (22) eine transparente oder teiltransparente Halbleiterschicht ist, wobei das Valenzband (251) der zweiten Halbleiterschicht (25) ein Energieniveau aufweist, das höher als das Energieniveau des Leitungsbandes (222) der N-Halbleiterschicht (22) ist, oder wobei das Valenzband (251) der zweiten Halbleiterschicht (25) ein Energieniveau aufweist, das niedriger als das Energieniveau des Leitungsbandes (222) der N-Halbleiterschicht (22) ist, und die Energiedifferenz zwischen dem Valenzband (251) der zweiten Halbleiterschicht (25) und dem Leitungsband (222) der N-Halbleiterschicht (22) geringer als 0,2 eV ist.

11. Hot-Carrier-Verfahren zur photoelektrischen Umwandlung nach Anspruch 10, wobei mindestens eine der P-Halbleiterschicht (21) und der N-Halbleiterschicht (22) die transparente oder teiltransparente Halbleiterschicht ist, damit die Photonen durch die transparente oder halbtransparente Halbleiterschicht hindurch auf die anorganische lichtabsorbierende Leitschicht (23) treten können, um Elektronen und Löcher zu erzeugen.

12. Hot-Carrier-Verfahren zur photoelektrischen Umwandlung nach Anspruch 10, wobei sowohl die P-Halbleiterschicht (21) als auch die N-Halbleiterschicht (22) anorganische Halbleiterschichten oder organische Halbleiterschichten sind, oder eine der P-Halbleiterschicht (21) und der N-Halbleiterschicht (22) eine anorganische Halbleiterschicht und die andere eine organische Halbleiterschicht ist.

13. Hot-Carrier-Verfahren zur photoelektrischen Umwandlung nach Anspruch 10, wobei die anorganische lichtabsorbierende Leitschicht (23) aus Metall, Graphit oder Graphen hergestellt ist.

14. Hot-Carrier-Verfahren zur photoelektrischen Umwandlung nach Anspruch 10, wobei die anorganische lichtabsorbierende Leitschicht (23) eine Dicke von weniger als 50 nm oder nicht mehr als fünf Mal eine mittlere freie Weglänge von Elektronen und Löchern innerhalb der anorganischen lichtabsorbierenden Leitschicht (23) aufweist.

15. Hot-Carrier-Verfahren zur photoelektrischen Umwandlung nach Anspruch 10, das ferner das Bilden einer ersten Halbleiterschicht (24) auf der P-Halbleiterschicht (21) oder zwischen der P-Halbleiterschicht (21) und der anorganischen lichtabsorbierenden Leitschicht (23) umfasst, um einen ersten Energieniveaukanal (261) zwischen dem Leitungsband (242) der ersten Halbleiterschicht (24) und dem Valenzband (211) der P-Halbleiterschicht (21) zu bilden, damit die Löcher durch den ersten Energieniveaukanal (261) hindurch auf einen äußeren Kreis (28) geleitet werden, wobei das Leitungsband

(242) der ersten Halbleiterschicht (24) ein Energieniveau aufweist, das niedriger als das Energieniveau des Valenzbandes (211) der P-Halbleiterschicht (21) ist.

16. Hot-Carrier-Verfahren zur photoelektrischen Umwandlung nach Anspruch 15, wobei, wenn die Energie der Löcher höher als das Energieniveau des ersten Energieniveaukanals (261) ist, die Energie der Löcher sich dem Energieniveau des ersten Energieniveaukanals (261) durch Energieumverteilung anpasst, sodass die Löcher durch den ersten Energieniveaukanal (261) hindurchtreten können.

17. Hot-Carrier-Verfahren zur photoelektrischen Umwandlung nach Anspruch 10, wobei, wenn die Energie der Elektronen höher als ein Energieniveau des zweiten Energieniveaukanals (262) ist, die Energie der Elektronen sich dem Energieniveau des zweiten Energieniveaukanals (262) durch Energieumverteilung anpasst, sodass die Elektronen durch den zweiten Energieniveaukanal (262) hindurchtreten können.

18. Hot-Carrier-Verfahren zur photoelektrischen Umwandlung nach Anspruch 10, das ferner das Bilden einer ersten Halbleiterschicht (24) auf der P-Halbleiterschicht (21) oder zwischen der P-Halbleiterschicht (21) und der anorganischen lichtabsorbierenden Leitschicht (23) umfasst, wobei das Energieniveau des Leitungsbandes (242) der ersten Halbleiterschicht (24) höher als das Energieniveau des Valenzbandes (211) der P-Halbleiterschicht (21) ist und die Energiedifferenz zwischen dem Leitungsband (242) der ersten Halbleiterschicht (24) und dem Valenzband (211) der P-Halbleiterschicht (21) geringer als 0,2 eV ist.

19. Hot-Carrier-Verfahren zur photoelektrischen Umwandlung nach Anspruch 10, das ferner das Bilden einer das elektrische Feld verstärkenden P-Schicht zwischen der P-Halbleiterschicht (21) und der anorganischen lichtabsorbierenden Leitschicht (23) umfasst.

20. Hot-Carrier-Verfahren zur photoelektrischen Umwandlung nach Anspruch 10, das ferner das Bilden einer das elektrische Feld verstärkenden N-Schicht zwischen der N-Halbleiterschicht (22) und der anorganischen lichtabsorbierenden Leitschicht (23) umfasst.

21. Eine Hot-Carrier-Vorrichtung zur photoelektrischen Umwandlung (2, 2'), umfassend:  
eine P-Halbleiterschicht (21);  
eine N-Halbleiterschicht (22);  
eine anorganische lichtabsorbierende Leitschicht (23), die zwischen der P-Halbleiterschicht (21) und der N-Halbleiterschicht (22) gebildet ist; und  
eine erste Halbleiterschicht (24), die auf der P-Halb-

leiterschicht (21) gebildet ist oder zwischen der P-Halbleiterschicht (21) und der anorganischen lichtabsorbierenden Leitschicht (23) gebildet ist, wobei mindestens eine der P-Halbleiterschicht (21) und der N-Halbleiterschicht (22) eine transparente oder teiltransparente Halbleiterschicht ist, wobei das Leitungsband (242) der ersten Halbleiterschicht (24) ein Energieniveau aufweist, das niedriger als das Energieniveau des Valenzbandes (211) der P-Halbleiterschicht (21) ist, oder wobei das Leitungsband (242) der ersten Halbleiterschicht (24) ein Energieniveau aufweist, das höher als das Energieniveau des Valenzbandes (211) der P-Halbleiterschicht (21) ist, und die Energiedifferenz zwischen dem Leitungsband (242) der ersten Halbleiterschicht (24) und dem Valenzband (211) der P-Halbleiterschicht (21) geringer als 0,2 eV ist.

Es folgen 8 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

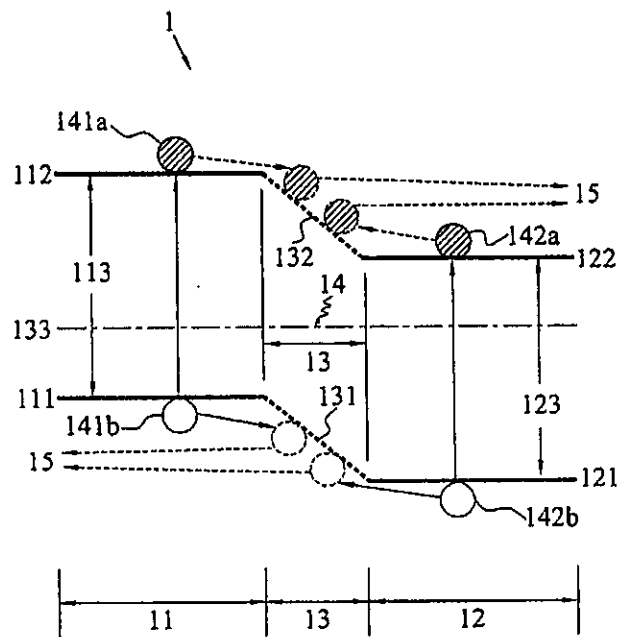


FIG. 1 (STAND DER TECHNIK)

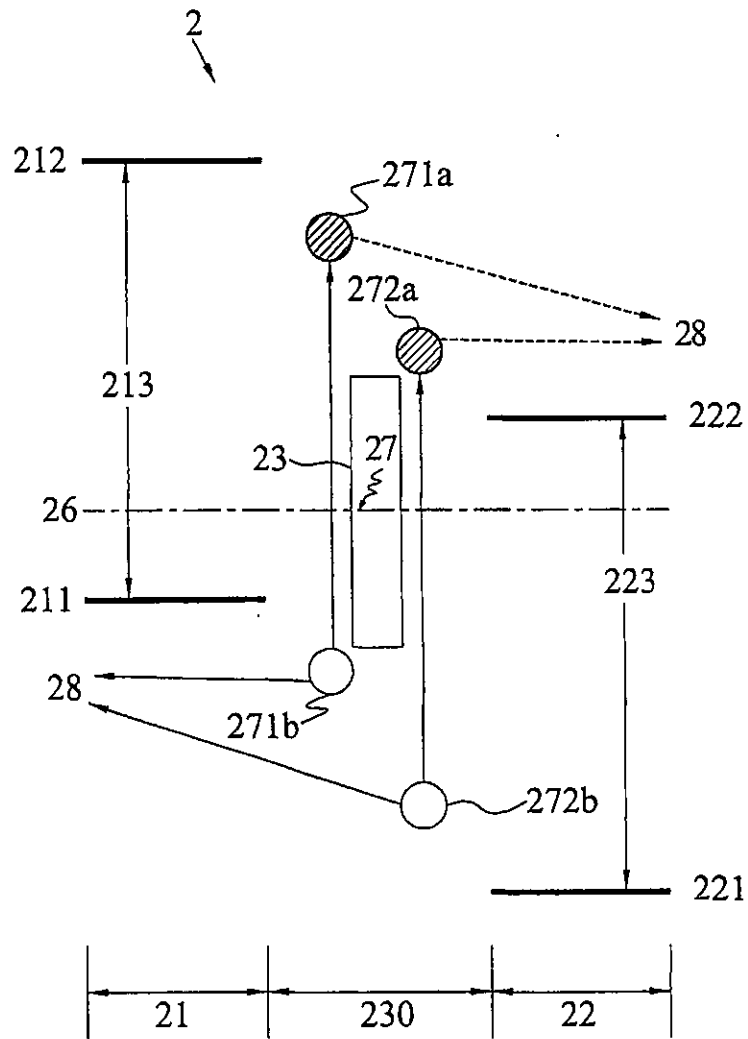


FIG. 2

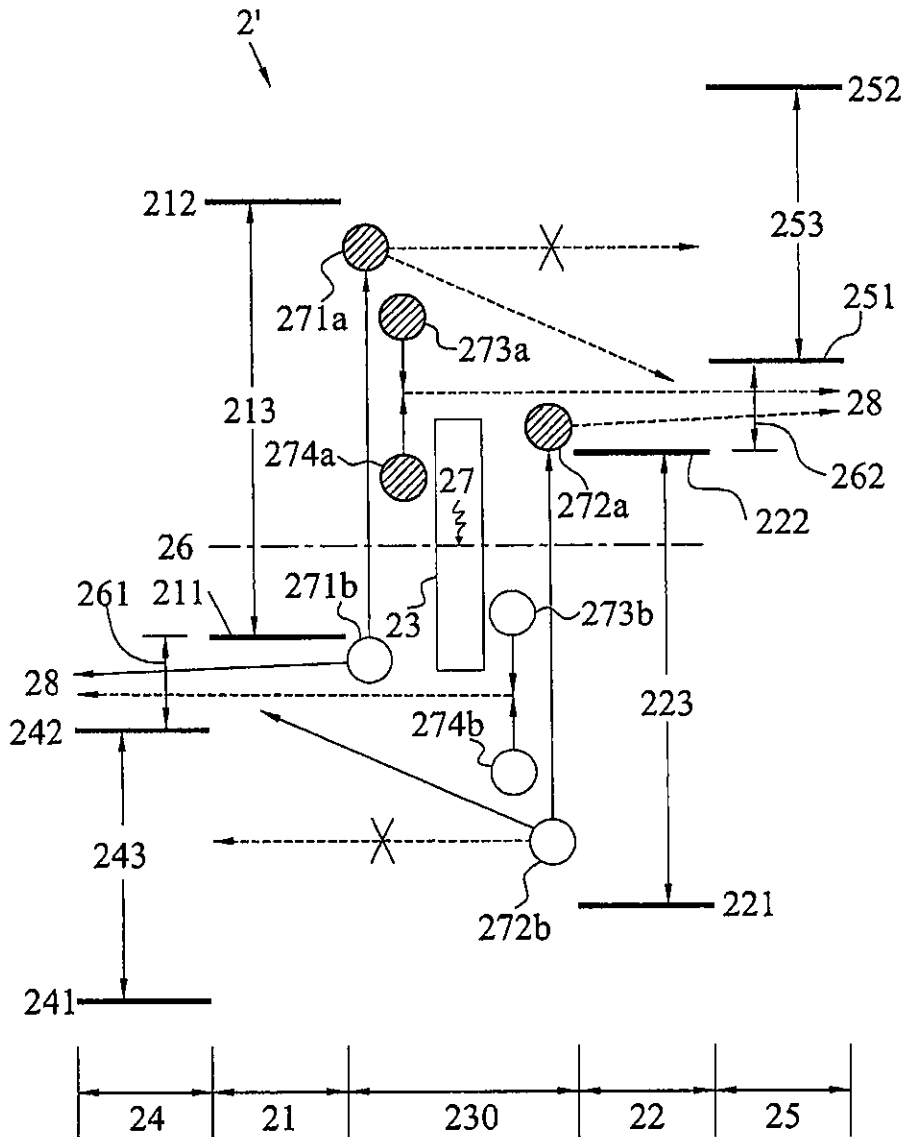


FIG. 3A

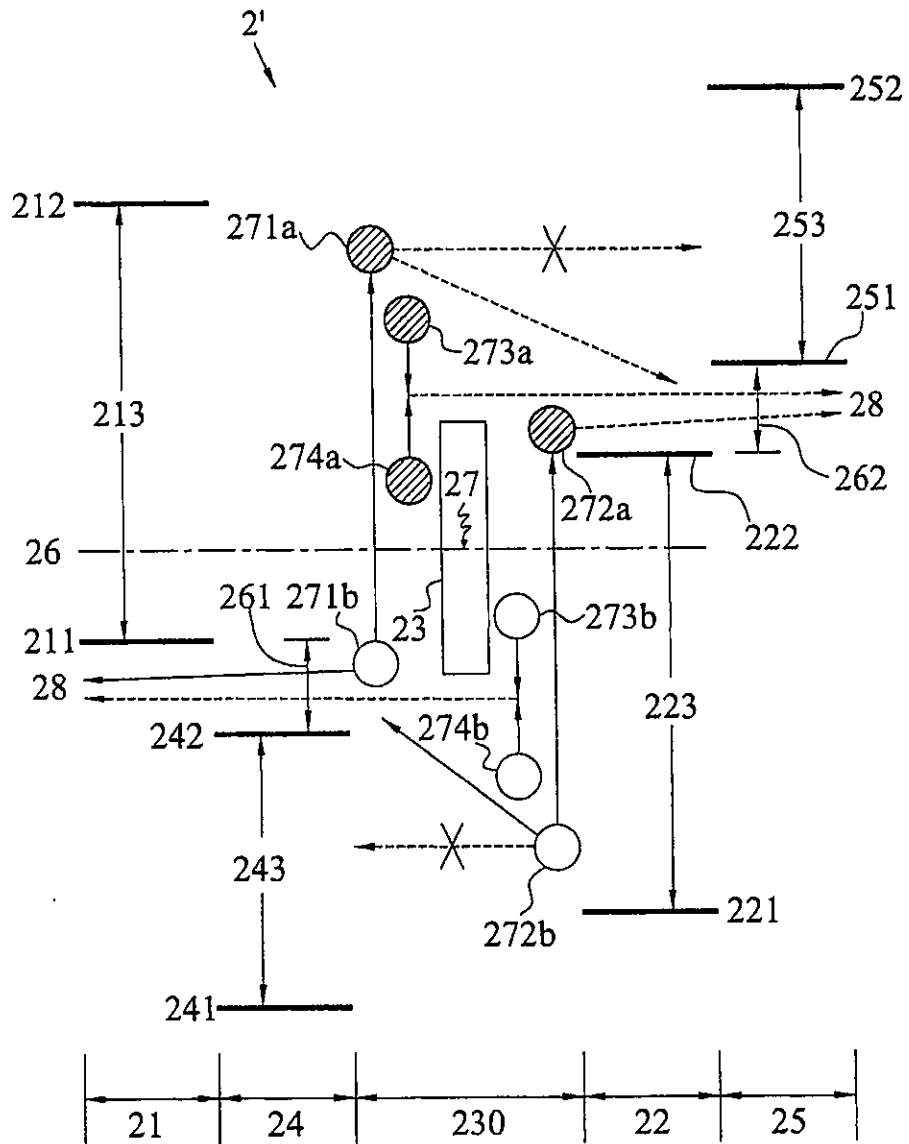


FIG. 3B

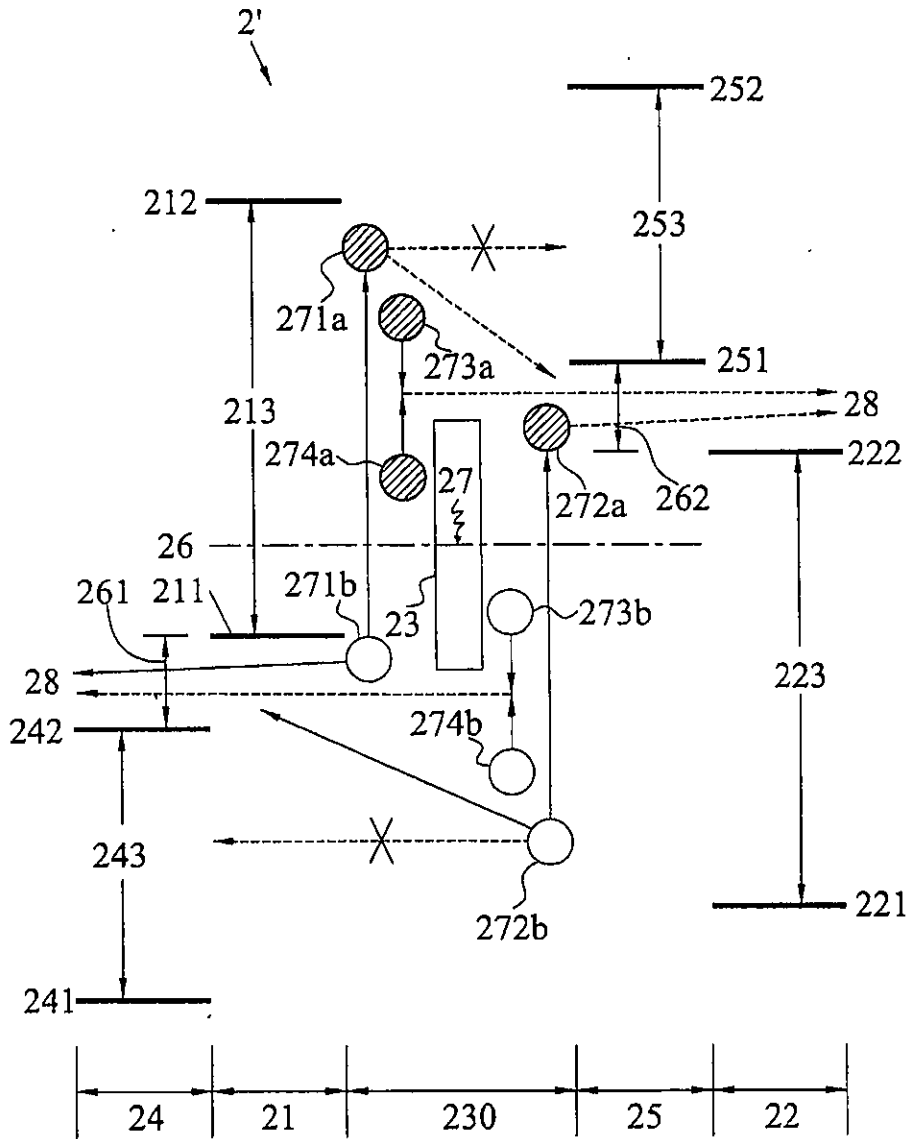


FIG. 3C

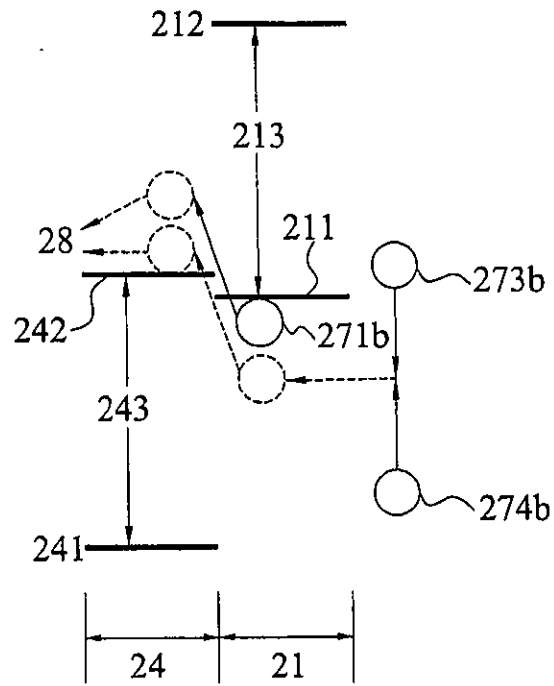


FIG. 4A

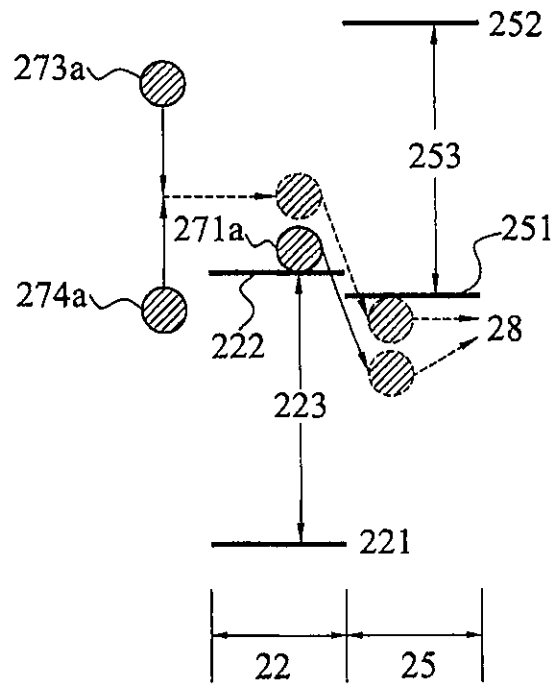


FIG. 4B

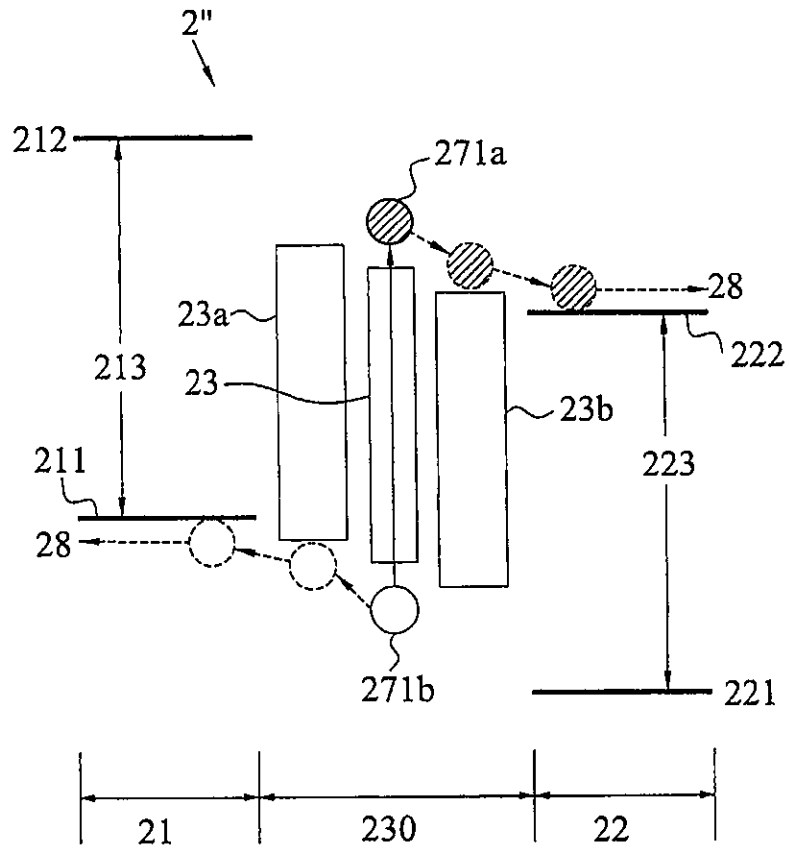


FIG. 5



(10) DE 10 2014 117 449 B4 2022.02.17

(12) Patentschrift

(21) Aktenzeichen: 10 2014 117 449.6  
(22) Anmeldetag: 27.11.2014  
(43) Offenlegungstag: 02.06.2016  
(45) Veröffentlichungstag der Patenterteilung: 17.02.2022

(51) Int Cl.: **H01L 31/0352** (2006.01)  
H01L 31/068 (2006.01)  
H01L 27/30 (2006.01)  
H01L 51/46 (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:  
**National Taiwan University, Taipei, TW**

(74) Vertreter:  
**GMP Patentanwaltsgesellschaft und  
Rechtsanwaltsgesellschaft mbH, 20354 Hamburg,  
DE**

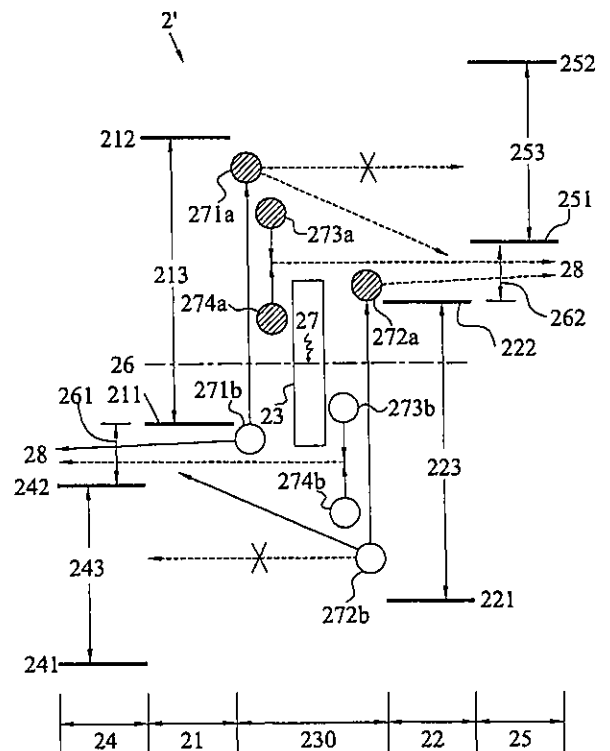
(72) Erfinder:  
**Lin, Ching-Fuh, Taipei, TW; Chen, Hsin-Yi, Taipei,  
TW; Chao, Jiun-Jie, Taipei, TW; Syu, Hong-Jhang,  
Taipei, TW**

(56) Ermittelter Stand der Technik:

DE	10 2013 106 800	A1
US	2012 / 0 141 799	A1
US	2013 / 0 193 404	A1
US	2014 / 0 209 154	A1
WO	2014/ 100 707	A1

(54) Bezeichnung: Hot-Carrier-Vorrichtung zur photoelektrischen Umwandlung und Verfahren dafür

(57) Hauptanspruch: Eine Hot-Carrier-Vorrichtung zur photoelektrischen Umwandlung (2, 2'), umfassend: eine P-Halbleiterschicht (21); eine N-Halbleiterschicht (22); eine anorganische lichtabsorbierende Leitschicht (23), die zwischen der P-Halbleiterschicht (21) und der N-Halbleiterschicht (22) gebildet ist; und eine zweite Halbleiterschicht (25), die auf der N-Halbleiterschicht (22) gebildet ist oder zwischen der N-Halbleiterschicht (22) und der anorganischen lichtabsorbierenden Leitschicht (23) gebildet ist, wobei mindestens eine der P-Halbleiterschicht (21) und der N-Halbleiterschicht (22) eine transparente oder teiltransparente Halbleiterschicht ist, wobei das Valenzband (251) der zweiten Halbleiterschicht (25) ein Energieniveau aufweist, das höher als das Energieniveau des Leitungsbandes (222) der N-Halbleiterschicht (22) ist, oder wobei das Valenzband (251) der zweiten Halbleiterschicht (25) ein Energieniveau aufweist, das niedriger als das Energieniveau des Leitungsbandes (222) der N-Halbleiterschicht (22) ist, und die Energiedifferenz zwischen dem Valenzband (251) der zweiten Halbleiterschicht (25) und dem Leitungsband (222) der N-Halbleiterschicht (22) geringer als 0,2 eV ist.



**Beschreibung****GEBIET DER ERFINDUNG**

**[0001]** Die vorliegende Erfindung betrifft eine Vorrichtung zur photoelektrischen Umwandlung und ein Verfahren dafür und insbesondere eine Hot-Carrier-Vorrichtung zur photoelektrischen Umwandlung und ein Verfahren dafür.

**ALLGEMEINER STAND DER TECHNIK**

**[0002]** Fig. 1 zeigt ein schematisches Diagramm einer herkömmlichen Vorrichtung zur photoelektrischen Umwandlung 1 und ein Verfahren zur photoelektrischen Umwandlung dafür. Wie in Fig. 1 gezeigt, umfasst die Vorrichtung zur photoelektrischen Umwandlung 1 eine P-Halbleiterschicht 11 und eine N-Halbleiterschicht 12.

**[0003]** Die P-Halbleiterschicht 11 weist ein erstes Valenzband 111, ein erstes Leitungsband 112 und eine erste Bandlücke 113 auf. Die N-Halbleiterschicht 12 weist ein zweites Valenzband 121, ein zweites Leitungsband 122 und eine zweite Bandlücke 123 auf. Eine Verarmungszone 13 ist auf dem PN-Übergang zwischen der P-Halbleiterschicht 11 und der N-Halbleiterschicht 12 gebildet. Ein inneres elektrisches Feld wird in der Verarmungszone 13 erzeugt.

**[0004]** Ein erstes Potenzialgefälle 131 wird zwischen dem ersten Valenzband 111 und dem zweiten Valenzband 121 gebildet, wobei alle drei unterhalb des Fermi-Niveaus 133 liegen. Ein zweites Potenzialgefälle 132 wird zwischen dem ersten Leitungsband 112 und dem zweiten Leitungsband 122 gebildet, wobei alle drei oberhalb des Fermi-Niveaus 133 liegen.

**[0005]** Wenn die Vorrichtung zur photoelektrischen Umwandlung 1 mehrere Photonen 14 absorbiert und Elektron-Loch-Paare wie beispielsweise ein erstes Elektron 141a und ein erstes Loch 141b und ein zweites Elektron 142a und ein zweites Loch 142b erzeugt, kann das erste Elektron 141a von dem ersten Valenzband 111 auf das erste Leitungsband 112 übergehen und das zweite Elektron 142a kann von dem zweiten Valenzband 121 auf das zweite Leitungsband 122 übergehen.

**[0006]** Anschließend, aufgrund des Diffusionseffekts, können das erste Elektron 141a und das zweite Elektron 142a auf das zweite Potenzialgefälle 132 der Verarmungszone 13 gelangen und das erste Loch 141b und das zweite Loch 142b können unter das erste Potenzialgefälle 131 der Verarmungszone 13 gelangen. Danach, mit dem inneren elektrischen Feld in der Verarmungszone 13, werden das erste Elektron 141a, das zweite Elektron 142a, das erste

Loch 141b und das zweite Loch 142b gesondert auf einen äußeren Kreis 15 übertragen, wodurch sie elektrische Energie erzeugen.

**[0007]** Ein Nachteil einer solchen herkömmlichen Vorrichtung zur photoelektrischen Umwandlung ist, dass sowohl die P-Halbleiterschicht als auch die N-Halbleiterschicht Bandlücken aufweisen. Zum Beispiel ist die Bandlücke einer P-Halbleiterschicht oder einer N-Halbleiterschicht, die aus Silicium (Si) hergestellt ist, etwa 1,1 eV (Elektronenvolt). Daher ist der Lichtabsorptionsbereich der Vorrichtung zur photoelektrischen Umwandlung durch die Bandlücken eingeschränkt, sodass einige Photonen nicht durch die Vorrichtung zur photoelektrischen Umwandlung absorbiert werden können, was in einer Verringerung der Anzahl von Photonen, die absorbiert werden, und in einer gescheiterten Erzeugung einer großen Menge von Elektronen und Löchern resultiert.

**[0008]** Außerdem werden die Elektronen und Löcher mit einer geringeren Geschwindigkeit und mit geringerem Einfang nach außen geleitet, was zu hohem Energieverlust, niedrigerer Spannung und Stromstärke und geringerer Effizienz der photoelektrischen Umwandlung führt. Dadurch kann die Vorrichtung zur photoelektrischen Umwandlung nur eine geringe Anzahl energiearmer Elektronen und Löcher (Cold-Carrier) erhalten und erzeugt Elektrizität von niedriger Spannung und geringer Stromstärke.

**[0009]** Daher gibt es Bedarf daran, eine Vorrichtung zur photoelektrischen Umwandlung und ein Verfahren dafür zu entwickeln, um die vorstehenden Probleme zu bewältigen.

**[0010]** Aus der WO 2014 100 707 A1 ist eine Solarzelle zur photoelektrischen Umwandlung von Sonnenenergie bekannt, die durch zusätzliche laterale strukturierte Schichten zum Einen die Lichtabsorption bei der Erzeugung von Elektron-Loch-Paaren verbessert wird und zum Anderen Energieverluste durch Streuung heißer Elektronen an Phononen reduziert werden.

**[0011]** Die US 2014 209 154 A1 offenbart lichtabsorbierende Schichten, deren Absorption durch eingebettete metallische Nanostrukturen vorteilhaft erhöht ist.

**[0012]** Die nachveröffentlichte DE 10 2013 106 800 A1 offenbart optoelektronische Bauelemente mit organischen funktionellen Schichtenstrukturen. Darin kommen unter anderem Zwischenschichten mit Ladungsträgerpaar-Erzeugungs-Strukturen aus Graphen zum Einsatz.

**[0013]** Die US-Patentveröffentlichung US 2013 / 0 193 404 A1 offenbart eine „Photokonversionsvorrich-

tion mit verbesserter Photonenabsorption“. Infrarot-Photokonversionsvorrichtung, umfassend einen Kollektor mit mindestens einer aktiven Schicht, die aus einem einzelnen Blatt aus dotiertem einschichtigem, zweischichtigem oder mehrschichtigem Graphen besteht, das als Nanoscheiben oder Nanobänder strukturiert ist. Die einzelne Schicht aus dotiertem Graphen weist ein hohes Absorptionsvermögen auf und somit kann die Effizienz von Vorrichtungen wie Photovoltaikzellen, Photodetektoren und Lichtemissionsvorrichtungen durch Verwendung von Graphen als zentrales absorbierendes oder emittierendes Element verbessert werden. Diese Geräte werden abstimmbare, weil ihre Spitzenabsorptions- oder Emissionswellenlänge durch elektrostatische Dotierung des Graphens verändert wird.

**[0014]** Die US-Patentveröffentlichung US 2012 / 0 141 799 A1 offenbart „Film auf Graphen auf einem Substrat und Verfahren und Vorrichtungen dafür“. Eine Struktur mit einer aus einem Halbleitermaterialfilm gebildeten Graphenmaterialschiicht, die auf einem Substrat angeordnet ist, wird bereitgestellt. Die Struktur besteht aus einer Heterostruktur, die einen Halbleitermaterialfilm, ein Substrat und eine Graphenmaterialschiicht umfasst, die aus einer oder mehreren Graphenschichten besteht, die sich zwischen dem Halbleitermaterialfilm und dem Substrat befinden. Die Struktur kann ferner eine Graphengrenzflächenübergangsschiicht an der Halbleitermaterialfilmgrenzfläche mit der Graphenmaterialschiicht und/oder eine Substratübergangsschiicht an der Graphenmaterialschiichtgrenzfläche mit dem Substrat umfassen. Daher gibt es Bedarf daran, eine Vorrichtung zur photoelektrischen Umwandlung und ein Verfahren dafür zu entwickeln, um die vorstehenden Probleme zu bewältigen.

#### KURZDARSTELLUNG DER ERFINDUNG

**[0015]** Eine Hot-Carrier-Vorrichtung zur photoelektrischen Umwandlung, umfassend: eine P-Halbleiterschicht; eine N-Halbleiterschicht; eine anorganische lichtabsorbierende Leitschiicht, die zwischen der P-Halbleiterschicht und der N-Halbleiterschicht gebildet ist; und eine zweite Halbleiterschicht, die auf der N-Halbleiterschicht gebildet ist oder zwischen der N-Halbleiterschicht und der anorganischen lichtabsorbierenden Leitschiicht gebildet ist, wobei mindestens eine der P-Halbleiterschicht und der N-Halbleiterschicht eine transparente oder teiltransparente Halbleiterschicht ist, wobei das Valenzband der zweiten Halbleiterschicht ein Energieniveau aufweist, das höher als das Energieniveau des Leitungsbandes der N-Halbleiterschicht ist, oder wobei das Valenzband der zweiten Halbleiterschicht ein Energieniveau aufweist, das niedriger als das Energieniveau des Leitungsbandes der N-Halbleiterschicht ist, und die Energiedifferenz zwischen dem Valenzband der zweiten Halbleiterschicht und dem

Leitungsband der N-Halbleiterschicht geringer als 0,2 eV ist.

**[0016]** Ein Hot-Carrier-Verfahren zur photoelektrischen Umwandlung, das folgende Schritte umfasst: Bereitstellen einer Hot-Carrier-Vorrichtung zur photoelektrischen Umwandlung, die eine P-Halbleiterschicht, eine N-Halbleiterschicht und eine anorganische lichtabsorbierende Leitschiicht, die zwischen der P-Halbleiterschicht und der N-Halbleiterschicht gebildet ist, umfasst; Absorbieren von Photonen durch die anorganische lichtabsorbierende Leitschiicht, um Elektronen und Löcher zu erzeugen; jeweiliges Verschieben der Elektronen und Löcher auf die N-Halbleiterschicht und die P-Halbleiterschicht durch ein elektrisches Feld oder Diffusion, sodass die Elektronen und die Löcher jeweils nach außen geleitet werden, um elektrische Energie zu erzeugen; und Bilden einer zweiten Halbleiterschicht auf der N-Halbleiterschicht oder zwischen der N-Halbleiterschicht und der anorganischen lichtabsorbierenden Leitschiicht, wobei mindestens eine der P-Halbleiterschicht und der N-Halbleiterschicht eine transparente oder teiltransparente Halbleiterschicht ist, wobei das Valenzband der zweiten Halbleiterschicht ein Energieniveau aufweist, das höher als das Energieniveau des Leitungsbandes der N-Halbleiterschicht ist, oder wobei das Valenzband der zweiten Halbleiterschicht ein Energieniveau aufweist, das niedriger als das Energieniveau des Leitungsbandes der N-Halbleiterschicht ist, und die Energiedifferenz zwischen dem Valenzband der zweiten Halbleiterschicht und dem Leitungsband der N-Halbleiterschicht geringer als 0,2 eV ist.

**[0017]** Eine Hot-Carrier-Vorrichtung zur photoelektrischen Umwandlung, umfassend: eine P-Halbleiterschicht; eine N-Halbleiterschicht; eine anorganische lichtabsorbierende Leitschiicht, die zwischen der P-Halbleiterschicht und der N-Halbleiterschicht gebildet ist; und eine erste Halbleiterschicht, die auf der P-Halbleiterschicht gebildet ist oder zwischen der P-Halbleiterschicht und der anorganischen lichtabsorbierenden Leitschiicht gebildet ist, wobei mindestens eine der P-Halbleiterschicht und der N-Halbleiterschicht eine transparente oder teiltransparente Halbleiterschicht ist, wobei das Leitungsband der ersten Halbleiterschicht ein Energieniveau aufweist, das niedriger als das Energieniveau des Valenzbandes der P-Halbleiterschicht ist, oder wobei das Leitungsband der ersten Halbleiterschicht ein Energieniveau aufweist, das höher als das Energieniveau des Valenzbandes der P-Halbleiterschicht ist, und die Energiedifferenz zwischen dem Leitungsband der ersten Halbleiterschicht und dem Valenzband der P-Halbleiterschicht geringer als 0,2 eV ist.

**[0018]** Aus dem Vorstehenden wird ersichtlich, dass die Hot-Carrier-Vorrichtung zur photoelektrischen Umwandlung und das Verfahren zur photoelektri-

schen Umwandlung der vorliegenden Erfindung das Bilden der anorganischen lichtabsorbierenden Leitschicht und der N-Halbleiterschicht zum Absorbieren von Photonen umfasst und die Elektronen und Löcher jeweils nach außen geleitet werden, um elektrische Energie zu erzeugen. Daher kann die vorliegende Erfindung Photonen beliebiger Wellenlängen absorbieren, die Anzahl absorbierter Photonen erhöhen und bewirken, dass große Mengen energiereicher Elektronen und Löcher (Hot-Carrier) schnell nach außen geleitet werden, wodurch die Effizienz der photoelektrischen Umwandlung gesteigert wird und elektrische Energie mit einer hohen Leerlaufspannung und einer hohen Stromstärke erzeugt wird.

#### Figurenliste

**[0019]** Die vorliegende Erfindung kann durch Lesen der nachfolgenden detaillierten Beschreibung der bevorzugten Ausführungsformen, unter Bezugnahme auf die beigefügten Zeichnungen, vollständiger verstanden werden, wobei:

**Fig. 1** ein schematisches Diagramm ist, das die Grundstruktur einer herkömmlichen Vorrichtung zur photoelektrischen Umwandlung und ein Verfahren zur photoelektrischen Umwandlung dafür darstellt;

**Fig. 2** ein schematisches Diagramm ist, das die Grundstruktur einer Hot-Carrier-Vorrichtung zur photoelektrischen Umwandlung und ein Verfahren zur photoelektrischen Umwandlung dafür darstellt;

**Fig. 3A** ein schematisches Diagramm ist, das die Grundstruktur einer Hot-Carrier-Vorrichtung zur photoelektrischen Umwandlung und ein Verfahren zur photoelektrischen Umwandlung dafür gemäß einer zweiten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung darstellt;

**Fig. 3B** und **Fig. 3C** schematische Diagramme sind, die Alternativen der Grundstruktur einer Hot-Carrier-Vorrichtung zur photoelektrischen Umwandlung und ein Verfahren zur photoelektrischen Umwandlung dafür gemäß der zweiten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung darstellen;

**Fig. 4A** ein schematisches Diagramm ist, das die P-Halbleiterschicht und die erste Halbleiterschicht gemäß der vorliegenden Erfindung darstellt;

**Fig. 4B** ein schematisches Diagramm ist, das die N-Halbleiterschicht und die zweite Halbleiterschicht gemäß der vorliegenden Erfindung darstellt; und

**Fig. 5** ein schematisches Diagramm ist, das die Grundstruktur einer Hot-Carrier-Vorrichtung zur photoelektrischen Umwandlung und ein Verfah-

ren zur photoelektrischen Umwandlung dafür zur Erläuterung einer dritten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung darstellt.

#### DETAILLIERTE BESCHREIBUNG DER AUSFÜHRUNGSFORMEN

**[0020]** **Fig. 2** stellt die Grundstruktur einer Hot-Carrier-Vorrichtung zur photoelektrischen Umwandlung 2 und ein Verfahren zur photoelektrischen Umwandlung dafür dar. Wie in **Fig. 2** gezeigt, ist die Hot-Carrier-Vorrichtung zur photoelektrischen Umwandlung 2 ein photoelektrisches Umwandlungselement und umfasst eine P-Halbleiterschicht 21, eine N-Halbleiterschicht 22 und eine anorganische lichtabsorbierende Leitschicht 23. Sowohl die P-Halbleiterschicht 21 als auch die N-Halbleiterschicht 22 können anorganische Halbleiterschichten oder organische Halbleiterschichten sein, oder eine ist eine anorganische Halbleiterschicht und die andere ist eine organische Halbleiterschicht.

**[0021]** Die P-Halbleiterschicht 21 weist ein erstes Valenzband 211, ein erstes Leitungsband 212 und eine erste Bandlücke 213, die zwischen dem ersten Valenzband 211 und dem ersten Leitungsband 212 gebildet ist, auf. Das erste Valenzband 211 und das erste Leitungsband 212 liegen jeweils unterhalb und oberhalb des Fermi-Niveaus 26. Eine P-Halbleiterschicht mit einem energiereicheren ersten Leitungsband 212 kann gewählt werden, um Rekombination zu verhindern, die durch Elektronen, die in die P-Halbleiterschicht eindiffundieren, verursacht wird, wodurch die gesammelten Ladungsträger reduziert werden könnten.

**[0022]** Die N-Halbleiterschicht 22 weist ein zweites Valenzband 221, ein zweites Leitungsband 222 und eine zweite Bandlücke 223, die zwischen dem zweiten Valenzband 221 und dem zweiten Leitungsband 222 gebildet ist, auf. Das zweite Valenzband 221 und das zweite Leitungsband 222 liegen jeweils unterhalb und oberhalb des Fermi-Niveaus 26. Eine N-Halbleiterschicht mit einem energieärmeren zweiten Valenzband 221 kann gewählt werden, um Rekombination zu verhindern, die durch Löcher, die in die N-Halbleiterschicht eindiffundieren, verursacht wird, wodurch die gesammelten Ladungsträger reduziert werden könnten.

**[0023]** Die anorganische lichtabsorbierende Leitschicht 23 ist zwischen der P-Halbleiterschicht 21 und der N-Halbleiterschicht 22 zum Absorbieren mehrerer Photonen bereitgestellt, um Elektron-Loch-Paare wie beispielsweise ein erstes Elektron 271a und ein erstes Loch 271b und ein zweites Elektron 272a und ein zweites Loch 272b zu erzeugen.

**[0024]** Mit einem elektrischen Feld oder Diffusionseffekt bewegen sich das erste Elektron 271a, das

zweite Elektron 272a und dergleichen so, dass sie über dem zweiten Leitungsband 222 der N-Halbleiterschicht 22 sind, wohingegen das erste Loch 271b, das zweite Loch 272b und dergleichen sich unter das erste Valenzband 211 der P-Halbleiterschicht 21 bewegen. Folglich werden das erste Elektron 271a, das zweite Elektron 272a, das erste Loch 271b und das zweite Loch 272b und dergleichen gesondert auf einen äußeren Kreis 28 übertragen, wodurch große Mengen von Hot-Carriern mit hoher Energie wie das erste Elektron 271a, das zweite Elektron 272a, das erste Loch 271b und das zweite Loch 272b erhalten werden und elektrische Energie, die eine hohe Leerlaufspannung und eine hohe Stromstärke aufweist, erzeugt wird.

**[0025]** Die anorganische lichtabsorbierende Leitschicht 23 kann aus einem Material wie Metall, Graphit, Graphen usw. hergestellt sein. Ihre Dicke kann weniger als 50 nm ( $1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$ ) oder weniger als oder gleich eine Länge von fünf Mal der mittleren freien Weglänge des ersten Elektrons 271a, ersten Lochs 271b oder dergleichen innerhalb der anorganischen lichtabsorbierenden Leitschicht 23 sein. Wenn die Dicke der anorganischen lichtabsorbierenden Leitschicht 23 geringer als die mittlere freie Weglänge ist, bedeutet das, dass das erste Elektron 271a, das erste Loch 271b und dergleichen vor einem Zusammenstoß mit den Atomen (bevor die Energie verbraucht ist) nach außen geleitet werden, sodass das erste Elektron 271a, das erste Loch 271b und dergleichen, die nach außen geleitet werden, hohe Energie aufweisen.

**[0026]** Des Weiteren, wenn die Absorption von mehr Photonen 27 gewünscht ist, kann die P-Halbleiterschicht 21 oder die N-Halbleiterschicht 22 in eine Nanostruktur umgewandelt werden, wobei die anorganische lichtabsorbierende Leitschicht 23 derart auf der Fläche dieser Nanostruktur gebildet ist, dass sie mit der Nanostruktur übereinstimmt. Dies erhöht die äquivalente lichtabsorbierende Dicke und verstärkt somit die Lichtabsorption der Hot-Carrier-Vorrichtung zur photoelektrischen Umwandlung 2. Unterdessen liegt die anorganische lichtabsorbierende Leitschicht 23 sehr nah an der benachbarten P-Halbleiterschicht 21 oder N-Halbleiterschicht 22, sodass der zurückzulegende Weg für das erste Loch 271b, das erste Elektron 271a und dergleichen bis zu der P-Halbleiterschicht 21 oder der N-Halbleiterschicht 22 weniger als oder nahezu die mittlere freie Weglänge ist.

**[0027]** Da die Dicke der anorganischen lichtabsorbierenden Leitschicht 23 nahe der mittleren freien Weglänge des ersten Elektrons 271a, des ersten Lochs 271b und dergleichen ist, durchlaufen diese, wenn das erste Elektron 271a und das erste Loch 271b jeweils auf die P-Halbleiterschicht 21 und die N-Halbleiterschicht 22 bewegt werden, keine mehr-

malige Phononenstreuung und behalten daher höhere Energie, und das erste Elektron 271a, das erste Loch 271b und dergleichen werden die sogenannten Hot-Carrier.

**[0028]** Andererseits, wenn das erste Elektron 271a und das erste Loch 271b eine geringere Energie aufweisen, kann ein wenig Energie von den energiereicheren Hot-Carriern auf energieärmere Hot-Carrier durch Trägerzusammenstöße übertragen werden. Daraus ergibt sich, dass die anorganische lichtabsorbierende Leitschicht 23 nicht unbedingt eine Bandlücke aufweisen muss, das heißt, sie kann das ganze Spektrum des Sonnenlichts oder verschiedener Arten von Licht absorbieren.

**[0029]** Fig. 3A ist ein schematisches Diagramm, das die Grundstruktur einer Hot-Carrier-Vorrichtung zur photoelektrischen Umwandlung 2' und ein Verfahren zur photoelektrischen Umwandlung dafür gemäß einer zweiten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung darstellt. Die Hot-Carrier-Vorrichtung zur photoelektrischen Umwandlung 2' und das Verfahren zur photoelektrischen Umwandlung ähneln der Hot-Carrier-Vorrichtung zur photoelektrischen Umwandlung 2 und dem Verfahren zur photoelektrischen Umwandlung, wie in Fig. 2 beschrieben, wobei die Hauptunterschiede zwischen ihnen im Folgenden genannt sind.

**[0030]** Wie in Fig. 3A gezeigt, umfasst die Hot-Carrier-Vorrichtung zur photoelektrischen Umwandlung 2' ferner eine erste Halbleiterschicht 24 und eine zweite Halbleiterschicht 25, die aus einem N-Halbleiter oder P-Halbleiter hergestellt sind.

**[0031]** Die erste Halbleiterschicht 24 ist auf der P-Halbleiterschicht 21 gebildet und umfasst ein drittes Valenzband 241, ein drittes Leitungsband 242 und eine dritte Bandlücke 243, die zwischen dem dritten Valenzband 241 und dem dritten Leitungsband 242 gebildet ist. Das Energieniveau des dritten Leitungsbandes 242 der ersten Halbleiterschicht 24 ist niedriger als das erste Valenzband 211 der P-Halbleiterschicht 21, sodass ein erster Energieniveaukanal 261 zwischen dem dritten Leitungsband 242 und dem ersten Valenzband 211 gebildet wird. Das erste Loch 271b zu einem vierten Loch 274b und dergleichen können durch den ersten Energieniveaukanal 261 hindurch auf den äußeren Kreis 28 geleitet werden, wodurch eine große Menge energiereicher Hot-Carrier erhalten wird (das erste Loch 271b zu dem vierten Loch 274b und dergleichen). Eine P-Halbleiterschicht mit einem energiereicheren ersten Leitungsband 212 kann gewählt werden, um Elektronen daran zu hindern, in die P-Halbleiterschicht einzudiffundieren, wodurch die gesammelten Ladungsträger reduziert werden könnten.

**[0032]** Des Weiteren, wenn die Energie des vierten Lochs 274b größer ist als das Energieniveau des ersten Energieniveaukanals 261, kann das vierte Loch 274b nicht durch die erste Halbleiterschicht 24 oder die dritte Bandlücke 243 hindurchtreten. In diesem Fall kann die Energie zwischen einem energieärmeren dritten Loch 273b und dem energiereicheren vierten Loch 274b umverteilt werden, sodass das vierte Loch 274b durch den ersten Energieniveaukanal 261 hindurch auf den äußeren Kreis 28 geleitet werden kann. Als solches kann die Anzahl der Löcher, die auf den äußeren Kreis 28 geleitet werden, erhöht werden.

**[0033]** In gleicher Weise, wenn die Energie des zweiten Lochs 272b größer als das Energieniveau des ersten Energieniveaukanals 261 ist, kann das zweite Loch 272b nicht durch die erste Halbleiterschicht 24 oder die dritte Bandlücke 243 hindurchtreten. In diesem Fall kann die Energie zwischen einem energieärmeren Loch und dem energiereicheren zweiten Loch 272b umverteilt werden, sodass das zweite Loch 272b durch den ersten Energieniveaukanal 261 hindurch auf den äußeren Kreis 28 geleitet werden kann, wodurch die Anzahl der Löcher, die auf den äußeren Kreis 28 geleitet werden können, erhöht wird.

**[0034]** Außerdem ist die zweite Halbleiterschicht 25 auf der N-Halbleiterschicht 22 gebildet und umfasst ein viertes Valenzband 251, ein viertes Leitungsband 252 und eine vierte Bandlücke 253, die zwischen dem vierten Valenzband 251 und dem vierten Leitungsband 252 gebildet ist. Das Energieniveau des vierten Valenzbandes 251 der zweiten Halbleiterschicht 25 ist höher als das zweite Leitungsband 222 der N-Halbleiterschicht 22, sodass ein zweiter Energieniveaukanal 262 zwischen dem vierten Valenzband 251 und dem zweiten Leitungsband 222 gebildet ist. Das erste Elektron 271a zu einem vierten Elektron 274a und dergleichen können durch den zweiten Energieniveaukanal 262 hindurch auf den äußeren Kreis 28 geleitet werden, wodurch eine große Menge energiereicher Hot-Carrier erhalten wird (das erste Elektron 271a zu dem vierten Elektron 274a und dergleichen). Eine N-Halbleiterschicht mit einem energieärmeren zweiten Valenzband 221 kann gewählt werden, um Löcher daran zu hindern, in die N-Halbleiterschicht einzudiffundieren, was die gesammelten Ladungsträger reduzieren könnte.

**[0035]** Des Weiteren, wenn die Energie des dritten Elektrons 273a größer als das Energieniveau des zweiten Energieniveaukanals 262 ist, kann das dritte Elektron 273a nicht durch die zweite Halbleiterschicht 25 oder die vierte Bandlücke 253 hindurchtreten. In diesem Fall kann die Energie zwischen einem energieärmeren vierten Elektron 274a und dem energiereicheren dritten Elektron 273a umver-

teilt werden, sodass das dritte Elektron 273a durch den zweiten Energieniveaukanal 262 auf den äußeren Kreis 28 geleitet werden kann, wodurch die Anzahl von Elektronen, die auf den äußeren Kreis 28 geleitet werden können, erhöht wird.

**[0036]** In gleicher Weise, wenn die Energie des ersten Elektrons 271a größer als das Energieniveau des zweiten Energieniveaukanals 262 ist, kann das erste Elektron 271a nicht durch die zweite Halbleiterschicht 25 oder die vierte Bandlücke 253 hindurchtreten. In diesem Fall kann die Energie zwischen einem energieärmeren Elektron und dem energiereicheren ersten Elektron 271a umverteilt werden, sodass das erste Elektron 271a durch den zweiten Energieniveaukanal 262 hindurch auf den äußeren Kreis 28 geleitet werden kann, wodurch die Anzahl von Elektronen, die auf den äußeren Kreis 28 geleitet werden können, erhöht wird.

**[0037]** In der zweiten Ausführungsform kann die Energieumverteilung gleichzeitig sowohl auf die Elektronen als auch die Löcher oder nur auf die Elektronen oder die Löcher angewendet werden. Da Elektronen im Allgemeinen über einen breiteren Energiebereich verteilt sind, wird Energieumverteilung in der Praxis üblicherweise auf Elektronen angewendet, wodurch der Hot-Carrier-Vorrichtung zur photoelektrischen Umwandlung 2' ermöglicht wird, mehr Hot-Carrier (Elektronen) zu erzeugen.

**[0038]** Fig. 3B und Fig. 3C sind schematische Diagramme, die Alternativen der Grundstruktur einer Hot-Carrier-Vorrichtung zur photoelektrischen Umwandlung 2' und das photoelektrische Umwandlungsverfahren dafür gemäß der zweiten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung zeigen. Die Hot-Carrier-Vorrichtungen zur photoelektrischen Umwandlung 2' aus Fig. 3B und Fig. 3C gleichen der in Fig. 3A beschriebenen Vorrichtung, weisen jedoch einige nachfolgend genannte Unterschiede auf.

**[0039]** Wie in Fig. 3A gezeigt, ist die erste Halbleiterschicht 24 auf der P-Halbleiterschicht 21 gebildet, wohingegen, wie in Fig. 3B gezeigt, die erste Halbleiterschicht 24 zwischen der P-Halbleiterschicht 21 und der anorganischen lichtabsorbierenden Leitschicht 23 gebildet ist.

**[0040]** In gleicher Weise, wie in Fig. 3A gezeigt, ist die zweite Halbleiterschicht 25 auf der N-Halbleiterschicht 22 gebildet, wohingegen, wie in Fig. 3B dargestellt, die zweite Halbleiterschicht 25 zwischen der N-Halbleiterschicht 22 und der anorganischen lichtabsorbierenden Leitschicht 23 gebildet ist.

**[0041]** Das heißt, dass die Reihenfolge der ersten Halbleiterschicht 24 und der P-Halbleiterschicht 21 umgekehrt werden kann. Des Weiteren kann die Rei-

henfolge der zweiten Halbleiterschicht 25 und der N-Halbleiterschicht 22 umgekehrt werden. Drei Ausführungsformen hinsichtlich der vorstehenden Reihenfolgen sind in **Fig. 3A**, **Fig. 3B** und **Fig. 3C** dargestellt. Gemäß der vorliegenden Erfindung können mehr als 3 Zusammenstellungen aus den vorstehenden Offenbarungen abgeleitet werden.

**[0042]** **Fig. 4A** stellt eine Alternative der P-Halbleiterschicht 21 und der ersten Halbleiterschicht 24 der vorliegenden Erfindung dar, die anstelle der P-Halbleiterschicht 21 und der ersten Halbleiterschicht 24 verwendet werden können, wie in **Fig. 3** gezeigt. Die P-Halbleiterschichten 21 und die ersten Halbleiterschichten 24, wie in **Fig. 4A** und **Fig. 3** gezeigt, sind gleichartig, weisen jedoch einige nachfolgend genannte Unterschiede auf.

**[0043]** Wie in **Fig. 4A** gezeigt, kann, für die P-Halbleiterschicht 21 und die erste Halbleiterschicht 24, wenn das dritte Leitungsband 242 der ersten Halbleiterschicht 24 höher als das erste Valenzband 211 der P-Halbleiterschicht 21 ist, das erste Loch 271b auf dem ersten Valenzband 211 der P-Halbleiterschicht 21 theoretisch nicht direkt durch die erste Halbleiterschicht 24 hindurchgehen. Jedoch kann, wenn der Energieunterschied zwischen dem dritten Leitungsband 242 der ersten Halbleiterschicht 24 und dem ersten Valenzband 211 der P-Halbleiterschicht 21 geringer als 0,1-0,2 eV ist, das erste Loch 271b durch Phononenzusammenstoß auf das dritte Leitungsband 242 der ersten Halbleiterschicht 24 springen, wo es durch das dritte Leitungsband 242 oder einen Energieniveaukanal hindurch zu dem äußeren Kreis 28 geleitet wird.

**[0044]** Zusätzlich, was das energieärmere dritte Loch 273b und das energiereichere vierte Loch 274b betrifft, die nicht auf dem ersten Valenzband 211 der P-Halbleiterschicht 21 sind, können diese ebenfalls durch Energieumverteilung auf das erste Valenzband 211 der P-Halbleiterschicht 21 bewegt werden und durch Phononenzusammenstoß auf das dritte Leitungsband 242 der ersten Halbleiterschicht 24 springen, wodurch sowohl dem dritten Loch 273b als auch dem vierten Loch 274b ermöglicht wird, über das dritte Leitungsband 242 oder den ersten Energieniveaukanal 261 auf den externen Kreis 28 geleitet zu werden.

**[0045]** Aus **Fig. 3A** und **Fig. 4A** wird ersichtlich, dass die Hot-Carrier-Vorrichtung zur photoelektrischen Umwandlung 2' der vorliegenden Erfindung die entsprechende P-Halbleiterschicht 21 und die erste Halbleiterschicht 24 zum Sammeln von Löchern (Hot-Carriern) wählen kann.

**[0046]** **Fig. 4B** ist ein schematisches Diagramm, das eine Alternative der N-Halbleiterschicht 22 und der zweiten Halbleiterschicht 25 der vorliegenden Erfin-

dung darstellt, die verwendet werden kann, um die N-Halbleiterschicht 22 und die zweite Halbleiterschicht 25 zu ersetzen, wie in **Fig. 3** gezeigt. Die N-Halbleiterschicht 22 und die zweite Halbleiterschicht 25, wie in **Fig. 4B** und **Fig. 3** gezeigt, sind gleichartig, weisen jedoch einige nachfolgend genannte Unterschiede auf.

**[0047]** Wie in **Fig. 4B** gezeigt, kann, für die N-Halbleiterschicht 22 und die zweite Halbleiterschicht 25, wenn das vierte Valenzband 251 der zweiten Halbleiterschicht 25 niedriger als das zweite Leitungsband 222 der N-Halbleiterschicht 22 ist, das erste Elektron 271a auf dem zweiten Leitungsband 222 der N-Halbleiterschicht 22 theoretisch nicht direkt durch die zweite Halbleiterschicht 25 hindurchtreten. Jedoch, wenn der Energieunterschied zwischen dem vierten Valenzband 251 der zweiten Halbleiterschicht 25 und dem zweiten Leitungsband 222 der N-Halbleiterschicht 22 geringer als 0,1-0,2 eV ist, kann das erste Elektron 271a durch Phononenzusammenstoß auf das vierte Valenzband 251 der zweiten Halbleiterschicht 25 springen, wo es durch das vierte Valenzband 251 oder einen Energieniveaukanal hindurch zu dem äußeren Kreis 28 geleitet wird.

**[0048]** Zusätzlich, was das energiereichere dritte Elektron 273a und das energieärmere vierte Elektron 274a betrifft, die nicht auf dem zweiten Leitungsband 222 der N-Halbleiterschicht 22 sind, können diese ebenfalls durch Energieumverteilung auf das vierte Valenzband 251 der N-Halbleiterschicht 22 bewegt werden und durch Phononenzusammenstoß auf das vierte Valenzband 251 der zweiten Halbleiterschicht 25 springen, wodurch sowohl dem dritten Elektron 273a als auch dem vierten Elektron 274a ermöglicht wird, über das vierte Leitungsband 251 oder einen Energieniveaukanal auf den externen Kreis 28 geleitet zu werden.

**[0049]** Aus **Fig. 3A** und **Fig. 4B** oben wird ersichtlich, dass die Hot-Carrier-Vorrichtung zur photoelektrischen Umwandlung 2' der vorliegenden Erfindung die entsprechende N-Halbleiterschicht 22 und die zweite Halbleiterschicht 25 zum Sammeln von Elektronen (Hot-Carriern) wählen kann.

**[0050]** In **Fig. 4A** und **Fig. 4B** kann die Energieumverteilung gleichzeitig sowohl auf die Elektronen als auch die Löcher oder nur auf die Elektronen oder die Löcher angewendet werden. Da Elektronen im Allgemeinen über einen breiteren Energiebereich verteilt sind, wird eine Energieumverteilung in der Praxis üblicherweise auf Elektronen angewendet, wodurch der Hot-Carrier-Vorrichtung zur photoelektrischen Umwandlung 2' ermöglicht wird, mehr Hot-Carrier (Elektronen) zu erzeugen.

**[0051]** Fig. 5 zeigt ein schematisches Diagramm einer Hot-Carrier-Vorrichtung zur photoelektrischen Umwandlung 2" und das Verfahren zur photoelektrischen Umwandlung dafür zur Erläuterung einer dritten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung. Wie in Fig. 5 gezeigt, kann die Hot-Carrier-Vorrichtung zur photoelektrischen Umwandlung 2" eine das elektrische Feld verstärkende P-Schicht 23a und das elektrische Feld verstärkende N-Schicht 23b umfassen.

**[0052]** Das Material der das elektrische Feld verstärkenden P-Schicht kann  $\text{MoO}_3$  oder  $\text{MoO}_x$  sein. Sie kann zwischen der P-Halbleiterschicht 21 und der anorganischen lichtabsorbierenden Leitschicht 23 gebildet sein, um die Stärke des inneren elektrischen Feldes zwischen der P-Halbleiterschicht 21 und der anorganischen lichtabsorbierenden Leitschicht 23 zu verstärken, wodurch es Hot-Carriern wie dem ersten Loch 271b und dergleichen ermöglicht wird, schnell auf die P-Halbleiterschicht 21 abgetrennt zu werden.

**[0053]** Das Material der das elektrische Feld verstärkenden N-Schicht kann PFN (Poly [(9,9-bis-(3'-(N,N-dimethylamino)propyl)-2,7-fluoren)-alt-2,7-(9,9-dioctylfluoren)]) sein. Sie kann zwischen der N-Halbleiterschicht 22 und der anorganischen lichtabsorbierenden Leitschicht 23 gebildet sein, um die Stärke des inneren elektrischen Feldes zwischen der N-Halbleiterschicht 22 und der anorganischen lichtabsorbierenden Leitschicht 23 zu verstärken, wodurch es Hot-Carriern wie dem ersten Elektron 271a und dergleichen ermöglicht wird, schnell auf die N-Halbleiterschicht 22 abgetrennt zu werden.

**[0054]** Dadurch kann die Hot-Carrier-Vorrichtung zur photoelektrischen Umwandlung 2" der vorliegenden Erfindung eine große Anzahl von Hot-Carriern mit einer hohen Leerlaufspannung und einer hohen Stromstärke wie beispielsweise das erste Elektron 271a und das erste Loch 271b erzeugen. Diese Hot-Carrier wie das erste Elektron 271a und das erste Loch 271b werden ferner durch das innere elektrische Feld, Energieniveaukanäle, Phononenzusammenstoß und/oder Energieumverteilung auf den äußeren Kreis 28 geleitet, wie in Fig. 2 bis Fig. 4B vorstehend beschrieben.

**[0055]** Gemäß dem beschreibenden Beispiel der vorliegenden Erfindung können die vorstehend diskutierten Materialien zum Verstärken des elektrischen Feldes andere als  $\text{MoO}_x$  oder PFN sein. Die vorliegende Erfindung ist nicht auf  $\text{MoO}_x$  oder PFN beschränkt, sondern schließt auch andere Materialien ein.

**[0056]** Aus dem Vorstehenden wird ersichtlich, dass die Hot-Carrier-Vorrichtung zur photoelektrischen

Umwandlung und das Verfahren zur photoelektrischen Umwandlung der vorliegenden Erfindung wenigstens die folgenden Vorteile aufweisen.

(1) Da die anorganische lichtabsorbierende Leitschicht keine Bandlücke einer P- oder N-Halbleiterschicht, wie die vom Stand der Technik, aufweist, kann die anorganische lichtabsorbierende Leitschicht der vorliegenden Erfindung, die zwischen der P-Halbleiterschicht und der N-Halbleiterschicht gebildet ist, Photonen beliebiger Wellenlängen absorbieren, wodurch die Menge der absorbierten Photonen erhöht wird, sodass große Mengen von Elektronen und Löchern erzeugt werden.

(2) Die Dicke der anorganischen lichtabsorbierenden Leitschicht ist sehr dünn - 50 nm oder weniger oder kleiner als oder gleich fünf Mal die mittlere freie Weglänge der Elektronen oder Löcher innerhalb der anorganischen lichtabsorbierenden Leitschicht, sodass die Elektronen und Löcher durch das elektrische Feld oder den Diffusionseffekt ungeachtet ihrer Energie schnell auf den äußeren Kreis geleitet werden können. Als solches können die Elektronen oder die Löcher bei einer hohen Geschwindigkeit mit einem großen Einfang und geringem Energieverlust geleitet werden, wodurch große Mengen energiereicher Elektronen und Löcher (Hot-Carrier) erhalten werden und elektrische Energie mit einer hohen Leerlaufspannung und einer hohen Stromstärke erzeugt wird.

(3) Ein erster Energieniveaukanal ist zwischen der P-Halbleiterschicht und der ersten Halbleiterschicht gebildet und ein zweiter Energieniveaukanal ist zwischen der N-Halbleiterschicht und der zweiten Halbleiterschicht gebildet, sodass die Elektronen und die Löcher jeweils über den ersten und den zweiten Energieniveaukanal auf den äußeren Kreis geleitet werden. Dadurch können große Mengen von energiereichen Elektronen und Löchern schnell eingefangen werden, sodass die Effizienz der photoelektrischen Umwandlung gesteigert wird und elektrische Energie mit einer hohen Leerlaufspannung und einer hohen Stromstärke erzeugt wird.

(4) Eine das elektrische Feld verstärkende P-Schicht und/oder eine das elektrische Feld verstärkende N-Schicht sind/ist auf einer oder beiden Seiten der anorganischen lichtabsorbierenden Leitschicht gebildet, um die Stärke des inneren elektrischen Feldes zu verstärken, sodass die Hot-Carrier (Löcher und Elektronen) jeweils schnell auf die P-Halbleiterschicht und die N-Halbleiterschicht abgetrennt werden können.

### Patentansprüche

1. Eine Hot-Carrier-Vorrichtung zur photoelektrischen Umwandlung (2, 2'), umfassend:  
 eine P-Halbleiterschicht (21);  
 eine N-Halbleiterschicht (22);  
 eine anorganische lichtabsorbierende Leitschicht (23),  
 die zwischen der P-Halbleiterschicht (21) und der N-Halbleiterschicht (22) gebildet ist; und eine zweite Halbleiterschicht (25), die auf der N-Halbleiterschicht (22) gebildet ist oder zwischen der N-Halbleiterschicht (22) und der anorganischen lichtabsorbierenden Leitschicht (23) gebildet ist, wobei mindestens eine der P-Halbleiterschicht (21) und der N-Halbleiterschicht (22) eine transparente oder teiltransparente Halbleiterschicht ist, wobei das Valenzband (251) der zweiten Halbleiterschicht (25) ein Energieniveau aufweist, das höher als das Energieniveau des Leitungsbandes (222) der N-Halbleiterschicht (22) ist, oder wobei das Valenzband (251) der zweiten Halbleiterschicht (25) ein Energieniveau aufweist, das niedriger als das Energieniveau des Leitungsbandes (222) der N-Halbleiterschicht (22) ist, und die Energiedifferenz zwischen dem Valenzband (251) der zweiten Halbleiterschicht (25) und dem Leitungsband (222) der N-Halbleiterschicht (22) geringer als 0,2 eV ist.

2. Hot-Carrier-Vorrichtung zur photoelektrischen Umwandlung (2, 2') nach Anspruch 1, wobei mindestens eine der P-Halbleiterschicht (21) und der N-Halbleiterschicht (22) die transparente oder teiltransparente Halbleiterschicht ist, damit Photonen durch die transparente oder halbtransparente Halbleiterschicht hindurch auf die anorganische lichtabsorbierende Leitschicht (23) treten können, um die Elektronen und Löcher zu erzeugen.

3. Hot-Carrier-Vorrichtung zur photoelektrischen Umwandlung (2, 2') nach Anspruch 1, wobei sowohl die P-Halbleiterschicht (21) als auch die N-Halbleiterschicht (22) anorganische Halbleiterschichten oder organische Halbleiterschichten sind, oder eine der P-Halbleiterschicht (21) und der N-Halbleiterschicht (22) eine anorganische Halbleiterschicht und die andere eine organische Halbleiterschicht ist.

4. Hot-Carrier-Vorrichtung zur photoelektrischen Umwandlung (2, 2') nach Anspruch 1, wobei die anorganische lichtabsorbierende Leitschicht (23) aus Metall, Graphit oder Graphen hergestellt ist.

5. Hot-Carrier-Vorrichtung zur photoelektrischen Umwandlung (2, 2') nach Anspruch 1, wobei die anorganische lichtabsorbierende Leitschicht (23) eine Dicke von weniger als 50 nm oder nicht mehr als fünf Mal eine mittlere freie Weglänge von Elektronen und Löchern innerhalb der anorganischen lichtabsorbierenden Leitschicht (23) aufweist.

6. Hot-Carrier-Vorrichtung zur photoelektrischen Umwandlung (2, 2') nach Anspruch 1, die ferner eine erste Halbleiterschicht (24) umfasst, die auf der P-Halbleiterschicht (21) gebildet ist oder zwischen der P-Halbleiterschicht (21) und der anorganischen lichtabsorbierenden Leitschicht (23) gebildet ist, wobei das Leitungsband (242) der ersten Halbleiterschicht (24) ein Energieniveau aufweist, das niedriger als das Energieniveau des Valenzbandes (211) der P-Halbleiterschicht (21) ist.

7. Hot-Carrier-Vorrichtung zur photoelektrischen Umwandlung (2, 2') nach Anspruch 1, die ferner eine erste Halbleiterschicht (24) umfasst, die auf der P-Halbleiterschicht (21) gebildet ist oder zwischen der P-Halbleiterschicht (21) und der anorganischen lichtabsorbierenden Leitschicht (23) gebildet ist, wobei das Leitungsband (242) der ersten Halbleiterschicht (24) ein Energieniveau aufweist, das höher als das Energieniveau des Valenzbandes (211) der P-Halbleiterschicht (21) ist, und die Energiedifferenz zwischen dem Leitungsband (242) der ersten Halbleiterschicht (24) und dem Valenzband (211) der P-Halbleiterschicht (21) geringer als 0,2 eV ist.

8. Hot-Carrier-Vorrichtung zur photoelektrischen Umwandlung (2, 2') nach Anspruch 1, die ferner eine das elektrische Feld verstärkende P-Schicht (23a) umfasst, die zwischen der P-Halbleiterschicht (21) und der anorganischen lichtabsorbierenden Leitschicht (23) gebildet ist.

9. Hot-Carrier-Vorrichtung zur photoelektrischen Umwandlung (2, 2') nach Anspruch 1, die ferner eine das elektrische Feld verstärkende N-Schicht (23b) umfasst, die zwischen der N-Halbleiterschicht (22) und der anorganischen lichtabsorbierenden Leitschicht (23) gebildet ist.

10. Hot-Carrier-Verfahren zur photoelektrischen Umwandlung, das folgende Schritte umfasst:  
 Bereitstellen einer Hot-Carrier-Vorrichtung zur photoelektrischen Umwandlung (2, 2'), die eine P-Halbleiterschicht (21), eine N-Halbleiterschicht (22) und eine anorganische lichtabsorbierende Leitschicht (23), die zwischen der P-Halbleiterschicht (21) und der N-Halbleiterschicht (22) gebildet ist, umfasst;  
 Absorbieren von Photonen durch die anorganische lichtabsorbierende Leitschicht (23), um Elektronen und Löcher zu erzeugen;  
 jeweiliges Verschieben der Elektronen und Löcher auf die N-Halbleiterschicht (22) und die P-Halbleiterschicht (21) durch ein elektrisches Feld oder Diffusion, sodass die Elektronen und die Löcher jeweils nach außen geleitet werden, um elektrische Energie zu erzeugen; und  
 Bilden einer zweiten Halbleiterschicht (25) auf der N-Halbleiterschicht (22) oder zwischen der N-Halbleiterschicht (22) und der anorganischen lichtabsorbierenden Leitschicht (23).

bierenden Leitschicht (23), wobei mindestens eine der P-Halbleiterschicht (21) und der N-Halbleiterschicht (22) eine transparente oder teiltransparente Halbleiterschicht ist, wobei das Valenzband (251) der zweiten Halbleiterschicht (25) ein Energieniveau aufweist, das höher als das Energieniveau des Leitungsbandes (222) der N-Halbleiterschicht (22) ist, oder wobei das Valenzband (251) der zweiten Halbleiterschicht (25) ein Energieniveau aufweist, das niedriger als das Energieniveau des Leitungsbandes (222) der N-Halbleiterschicht (22) ist, und die Energiedifferenz zwischen dem Valenzband (251) der zweiten Halbleiterschicht (25) und dem Leitungsband (222) der N-Halbleiterschicht (22) geringer als 0,2 eV ist.

11. Hot-Carrier-Verfahren zur photoelektrischen Umwandlung nach Anspruch 10, wobei mindestens eine der P-Halbleiterschicht (21) und der N-Halbleiterschicht (22) die transparente oder teiltransparente Halbleiterschicht ist, damit die Photonen durch die transparente oder halbtransparente Halbleiterschicht hindurch auf die anorganische lichtabsorbierende Leitschicht (23) treten können, um Elektronen und Löcher zu erzeugen.

12. Hot-Carrier-Verfahren zur photoelektrischen Umwandlung nach Anspruch 10, wobei sowohl die P-Halbleiterschicht (21) als auch die N-Halbleiterschicht (22) anorganische Halbleiterschichten oder organische Halbleiterschichten sind, oder eine der P-Halbleiterschicht (21) und der N-Halbleiterschicht (22) eine anorganische Halbleiterschicht und die andere eine organische Halbleiterschicht ist.

13. Hot-Carrier-Verfahren zur photoelektrischen Umwandlung nach Anspruch 10, wobei die anorganische lichtabsorbierende Leitschicht (23) aus Metall, Graphit oder Graphen hergestellt ist.

14. Hot-Carrier-Verfahren zur photoelektrischen Umwandlung nach Anspruch 10, wobei die anorganische lichtabsorbierende Leitschicht (23) eine Dicke von weniger als 50 nm oder nicht mehr als fünf Mal eine mittlere freie Weglänge von Elektronen und Löchern innerhalb der anorganischen lichtabsorbierenden Leitschicht (23) aufweist.

15. Hot-Carrier-Verfahren zur photoelektrischen Umwandlung nach Anspruch 10, das ferner das Bilden einer ersten Halbleiterschicht (24) auf der P-Halbleiterschicht (21) oder zwischen der P-Halbleiterschicht (21) und der anorganischen lichtabsorbierenden Leitschicht (23) umfasst, um einen ersten Energieniveaukanal (261) zwischen dem Leitungsband (242) der ersten Halbleiterschicht (24) und dem Valenzband (211) der P-Halbleiterschicht (21) zu bilden, damit die Löcher durch den ersten Energieniveaukanal (261) hindurch auf einen äußeren Kreis (28) geleitet werden, wobei das Leitungsband

(242) der ersten Halbleiterschicht (24) ein Energieniveau aufweist, das niedriger als das Energieniveau des Valenzbandes (211) der P-Halbleiterschicht (21) ist.

16. Hot-Carrier-Verfahren zur photoelektrischen Umwandlung nach Anspruch 15, wobei, wenn die Energie der Löcher höher als das Energieniveau des ersten Energieniveaukanals (261) ist, die Energie der Löcher sich dem Energieniveau des ersten Energieniveaukanals (261) durch Energieumverteilung anpasst, sodass die Löcher durch den ersten Energieniveaukanal (261) hindurchtreten können.

17. Hot-Carrier-Verfahren zur photoelektrischen Umwandlung nach Anspruch 10, wobei, wenn die Energie der Elektronen höher als ein Energieniveau des zweiten Energieniveaukanals (262) ist, die Energie der Elektronen sich dem Energieniveau des zweiten Energieniveaukanals (262) durch Energieumverteilung anpasst, sodass die Elektronen durch den zweiten Energieniveaukanal (262) hindurchtreten können.

18. Hot-Carrier-Verfahren zur photoelektrischen Umwandlung nach Anspruch 10, das ferner das Bilden einer ersten Halbleiterschicht (24) auf der P-Halbleiterschicht (21) oder zwischen der P-Halbleiterschicht (21) und der anorganischen lichtabsorbierenden Leitschicht (23) umfasst, wobei das Energieniveau des Leitungsbandes (242) der ersten Halbleiterschicht (24) höher als das Energieniveau des Valenzbandes (211) der P-Halbleiterschicht (21) ist und die Energiedifferenz zwischen dem Leitungsband (242) der ersten Halbleiterschicht (24) und dem Valenzband (211) der P-Halbleiterschicht (21) geringer als 0,2 eV ist.

19. Hot-Carrier-Verfahren zur photoelektrischen Umwandlung nach Anspruch 10, das ferner das Bilden einer das elektrische Feld verstärkenden P-Schicht zwischen der P-Halbleiterschicht (21) und der anorganischen lichtabsorbierenden Leitschicht (23) umfasst.

20. Hot-Carrier-Verfahren zur photoelektrischen Umwandlung nach Anspruch 10, das ferner das Bilden einer das elektrische Feld verstärkenden N-Schicht zwischen der N-Halbleiterschicht (22) und der anorganischen lichtabsorbierenden Leitschicht (23) umfasst.

21. Eine Hot-Carrier-Vorrichtung zur photoelektrischen Umwandlung (2, 2'), umfassend:  
eine P-Halbleiterschicht (21);  
eine N-Halbleiterschicht (22);  
eine anorganische lichtabsorbierende Leitschicht (23), die zwischen der P-Halbleiterschicht (21) und der N-Halbleiterschicht (22) gebildet ist; und  
eine erste Halbleiterschicht (24), die auf der P-Halb-

leiterschicht (21) gebildet ist oder zwischen der P-Halbleiterschicht (21) und der anorganischen lichtabsorbierenden Leitschicht (23) gebildet ist, wobei mindestens eine der P-Halbleiterschicht (21) und der N-Halbleiterschicht (22) eine transparente oder teiltransparente Halbleiterschicht ist, wobei das Leitungsband (242) der ersten Halbleiterschicht (24) ein Energieniveau aufweist, das niedriger als das Energieniveau des Valenzbandes (211) der P-Halbleiterschicht (21) ist, oder wobei das Leitungsband (242) der ersten Halbleiterschicht (24) ein Energieniveau aufweist, das höher als das Energieniveau des Valenzbandes (211) der P-Halbleiterschicht (21) ist, und die Energiedifferenz zwischen dem Leitungsband (242) der ersten Halbleiterschicht (24) und dem Valenzband (211) der P-Halbleiterschicht (21) geringer als 0,2 eV ist.

Es folgen 8 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

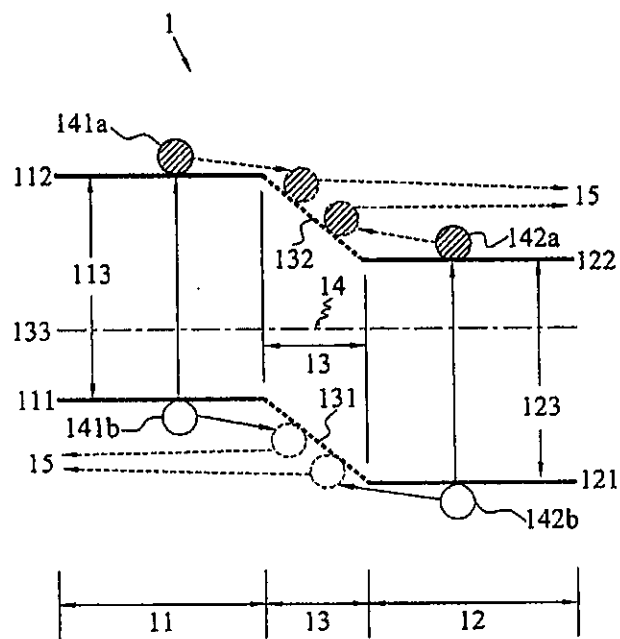


FIG. 1 (STAND DER TECHNIK)

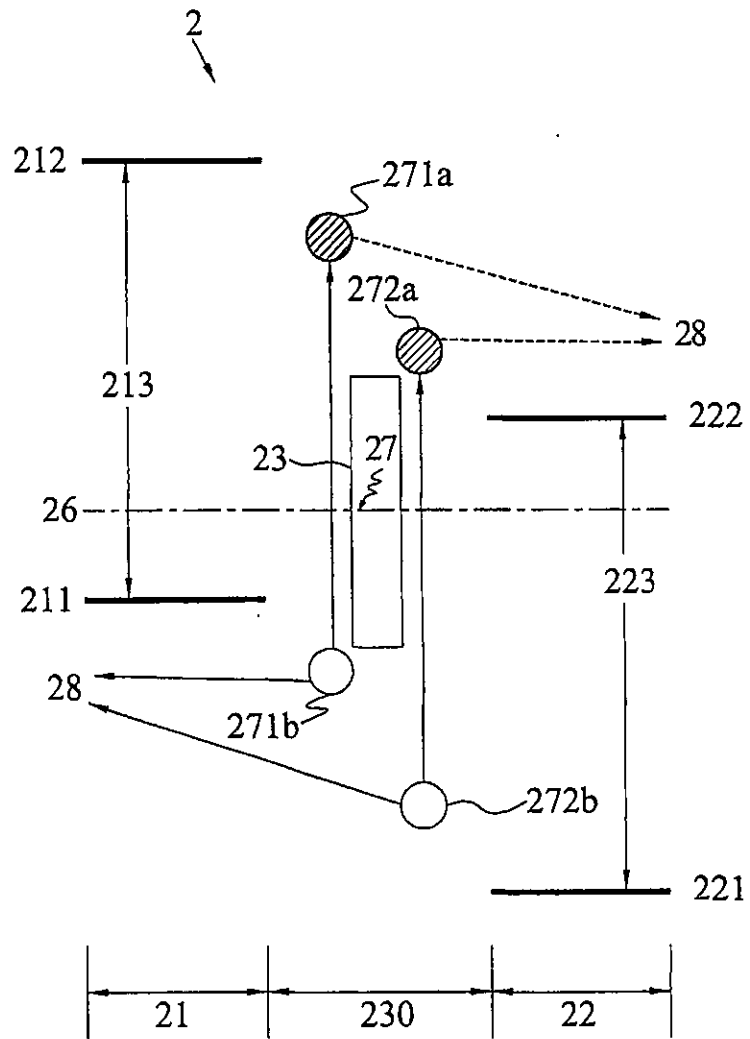


FIG. 2





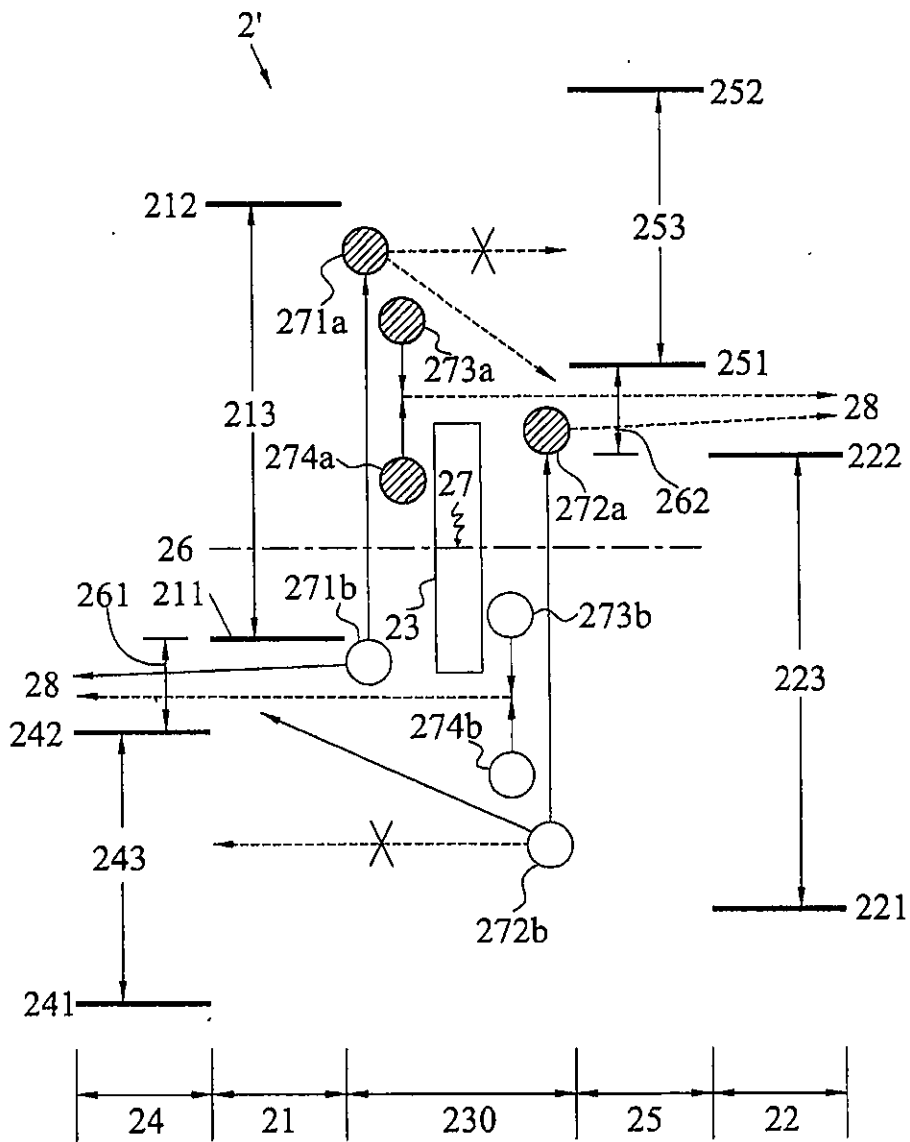


FIG. 3C

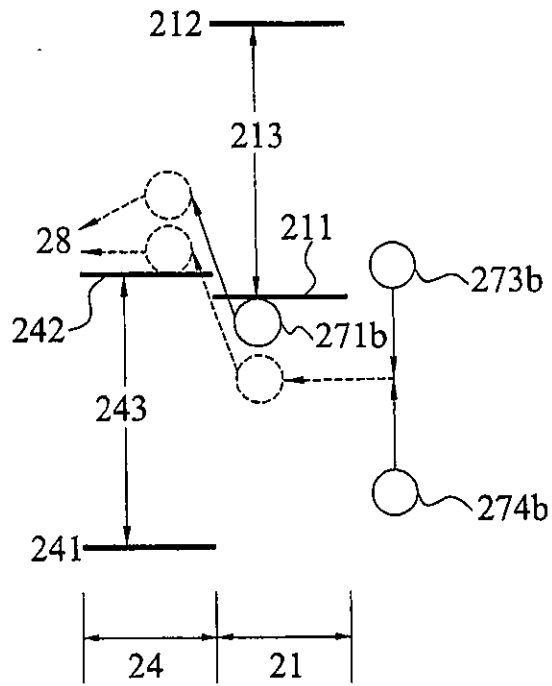


FIG. 4A

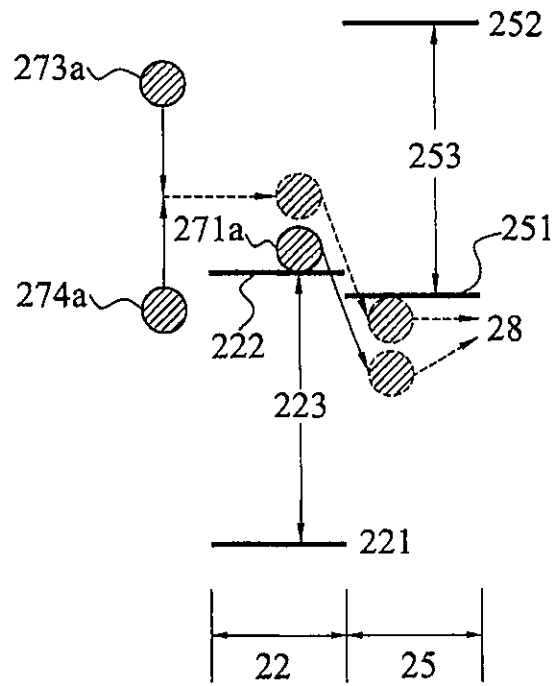


FIG. 4B

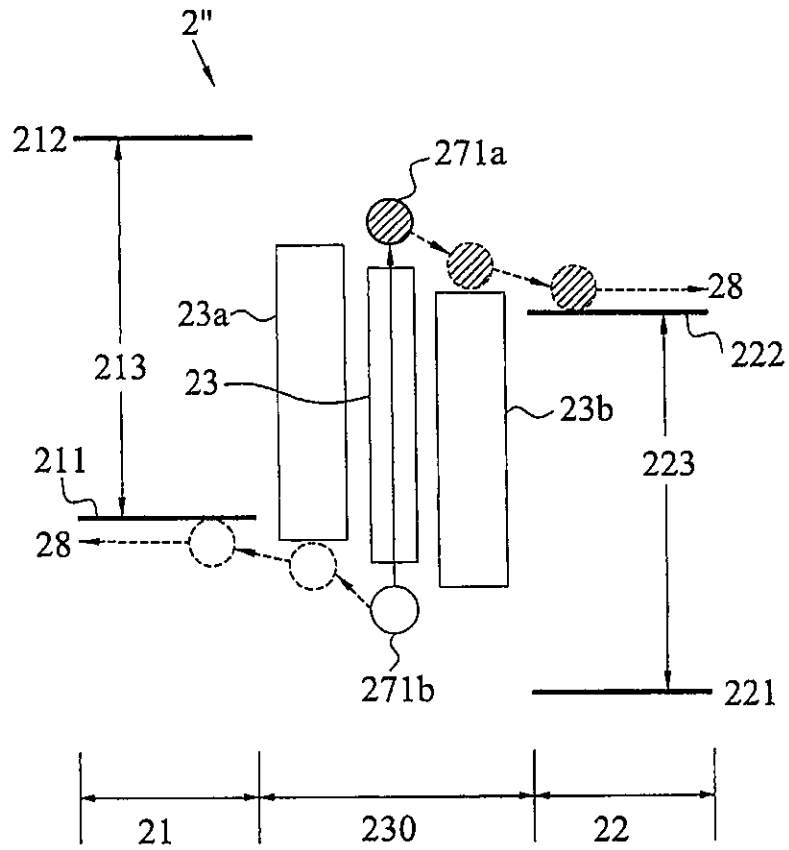


FIG. 5