

(12) **Gebrauchsmusterschrift**

(21)	Anmeldenummer:	GM 50182/2022	(51)	Int. Cl.:	<b>H01L 31/0236</b> (2006.01)
(22)	Anmeldetag:	13.12.2022			<b>H01L 31/0352</b> (2006.01)
(24)	Beginn der Schutzdauer:	15.02.2025			<b>H01L 31/18</b> (2006.01)
(45)	Veröffentlicht am:	15.02.2025			H01L 31/0216 (2006.01)
					H01L 31/0224 (2006.01)
					H01L 31/036 (2006.01)
					H01L 31/068 (2006.01)

(30) Priorität:  
10.06.2022 CN CN202210656583.8 beansprucht.

(56) Entgegenhaltungen:  
CN 113675298 A  
US 2013327381 A1  
KR 20120032238 A

(73) Gebrauchsmusterinhaber:  
ZHEJIANG JINKO SOLAR CO., LTD.  
314416 Haining (CN)  
JINKO SOLAR CO., LTD.  
334100 Shangrao (CN)

(72) Erfinder:  
WANG Zhao  
314416 Zhejiang (CN)  
YANG Jie  
314416 Zhejiang (CN)  
SHEN Mengchao  
314416 Zhejiang (CN)  
WANG Lipeng  
314416 Zhejiang (CN)

(74) Vertreter:  
Israiloff Peter Dipl.-Ing. Dr. techn.  
1010 Wien (AT)  
Barger Werner Dipl.-Ing.  
1010 Wien (AT)

(54) **SOLARZELLE UND VERFAHREN ZU DEREN HERSTELLUNG, PHOTOVOLTAIKMODUL**

(57) Ausführungsformen der vorliegenden Offenbarung betreffen das Gebiet der Solarzellen und insbesondere eine Solarzelle und ein Verfahren zu deren Herstellung, und ein Photovoltaikmodul. Die Solarzelle umfasst Folgendes: einen p-Typ-Emitter (10), der auf einer ersten Oberfläche eines n-Typ-Substrats (100) gebildet ist und einen ersten Abschnitt (11) und einen zweiten Abschnitt (12), wobei eine obere Oberfläche des ersten Abschnitts Pyramidenstrukturen (1) und eine obere Oberfläche des zweiten Abschnitts (12) zweite Pyramidenstrukturen (2) umfasst, deren Kanten gerade sind. Eine Übergangsoberfläche (13) ist jeweils auf mindestens einer Kante von jeder ersten Pyramidenstruktur (1) gebildet und jede von oberen Oberflächen von mindestens einem Teil der ersten Pyramidenstrukturen (1) umfasst eine kugelförmige oder kugelhähnliche Unterstruktur (14). Eine Tunnelschicht (150) und eine dotierte leitfähige

Schicht (160) sind der Reihe nach über einer zweiten Oberfläche des n-Typ-Substrats (100) gebildet. Die vorliegende Offenbarung kann die photoelektrische Umwandlungsleistung von Solarzellen verbessern.

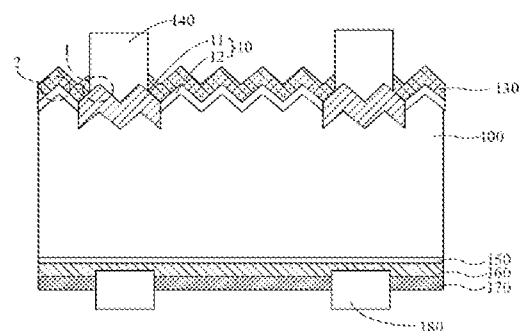


Fig. 1

## Beschreibung

### SOLARZELLE UND PHOTOVOLTAIKMODUL

#### TECHNISCHES GEBIET

**[0001]** Ausführungsformen der vorliegenden Offenbarung betreffen das Gebiet der Solarzellen und insbesondere eine Solarzelle und ein Verfahren zur Herstellung der Solarzelle, und ein Photovoltaikmodul.

#### ALLGEMEINER STAND DER TECHNIK

**[0002]** Solarzellen weisen gute photoelektrische Umwandlungsfähigkeiten auf. In Solarzellen ist ein Diffusionsprozess auf der Oberfläche von Silizium-Wafern erforderlich, um p-n-Übergänge herzustellen. In bestehenden Solarzellen werden für gewöhnlich Bordiffusionsprozesse auf der Oberfläche von Silizium-Wafern durchgeführt, um einen Emitter auf der Oberfläche von Silizium-Wafern zu bilden. Einerseits bildet der Emitter einen p-n-Übergang mit dem Silizium-Wafer und andererseits ist der Emitter auch elektrisch mit einer Metallelektrode verbunden, derart dass die Ladungsträger, die im Emitter transportiert werden, durch die Metallelektrode eingefangen werden können. Daher weist der Emitter einen großen Einfluss auf die photoelektrische Umwandlungsleistung der Solarzellen auf.

**[0003]** Die photoelektrische Umwandlungsleistung der bestehenden Solarzellen ist schlecht.

#### KURZDARSTELLUNG

**[0004]** Ausführungsformen der vorliegenden Offenbarung stellen eine Solarzelle und ein Verfahren zu deren Herstellung und ein Photovoltaikmodul bereit, was zumindest zur Verbesserung der photoelektrischen Umwandlungsleistung einer Solarzelle führt.

**[0005]** Einige Ausführungsformen der vorliegenden Offenbarung stellen eine Solarzelle bereit, die Folgendes umfasst: ein n-Typ-Substrat, einen p-Typ-Emitter, der auf einer ersten Oberfläche des n-Typ-Substrats gebildet ist, und eine Tunnelschicht und eine dotierte leitfähige Schicht, die der Reihe nach über einer zweiten Oberfläche des n-Typ-Substrats in einer Richtung weg von dem n-Typ-Substrat gebildet sind. Der p-Typ-Emitter umfasst einen ersten Abschnitt und einen zweiten Abschnitt, der erste Abschnitt weist erste Pyramidenstrukturen auf, die auf einer oberen Oberfläche des ersten Abschnitts gebildet sind, und der zweite Abschnitt weist zweite Pyramidenstrukturen auf, die auf einer oberen Oberfläche des zweiten Abschnitts gebildet sind. Eine Übergangsoberfläche ist jeweils auf mindestens einer Kante jeder ersten Pyramidenstruktur gebildet, die Übergangsoberfläche ist mit zwei benachbarten geneigten Oberflächen von jeder ersten Pyramidenstruktur verbunden und die Übergangsoberfläche ist in Bezug auf eine Mitte jeder ersten Pyramidenstruktur konkav oder konvex. Eine Unterstruktur ist auf jeder von oberen Oberflächen von zumindest einem Teil der ersten Pyramidenstrukturen gebildet und eine Form der Unterstruktur ist kugelförmig oder kugelähnlich. Kanten von jeder zweiten Pyramidenstruktur sind gerade. Ein Schichtwiderstand des ersten Abschnitts liegt in einem Bereich von 10 Ohm/sq bis 500 Ohm/sq, eine Dotierungskonzentration an der oberen Oberfläche des ersten Abschnitts liegt in einem Bereich von  $1E^{17}$  Atom/cm<sup>3</sup> bis  $8E^{19}$  Atom/cm<sup>3</sup>. Ein Schichtwiderstand des zweiten Abschnitts liegt in einem Bereich von 100 Ohm/sq bis 1000 Ohm/sq und eine Dotierungskonzentration an der oberen Oberfläche des zweiten Abschnitts liegt in einem Bereich von  $1E^{16}$  Atom/cm<sup>3</sup> bis  $5E^{19}$  Atom/cm<sup>3</sup>.

**[0006]** In einem Beispiel liegen Höhen der ersten Pyramidenstrukturen in einem Bereich von 0,1 µm bis 5 µm und Größen von Böden der ersten Pyramidenstrukturen liegen in einer beliebigen Abmessung in einem Bereich von 0,5 µm bis 5 µm.

**[0007]** In einem Beispiel ist ein Dotierungselement im ersten Abschnitt des p-Typ-Emitters von einem gleichen Leitfähigkeitstyp wie ein Dotierungselement im zweiten Abschnitt des p-Typ-Emitters, und das Dotierungselement im ersten Abschnitt und das Dotierungselement im zweiten Ab-

schnitt sind jeweils ein dreiwertiges Element.

**[0008]** In einem Beispiel umfassen das Dotierungselement im ersten Abschnitt und das Dotierungselement im zweiten Abschnitt Bor oder Gallium.

**[0009]** In einem Beispiel ist der Schichtwiderstand des ersten Abschnitts niedriger als der Schichtwiderstand des zweiten Abschnitts.

**[0010]** In einem Beispiel ist die Dotierungskonzentration an der oberen Oberfläche des ersten Abschnitts nicht niedriger als die Dotierungskonzentration an der oberen Oberfläche des zweiten Abschnitts.

**[0011]** In einem Beispiel ist eine Übergangstiefe des ersten Abschnitts nicht kleiner als eine Übergangstiefe des zweiten Abschnitts.

**[0012]** In einem Beispiel ist ein Verhältnis der Übergangstiefe des ersten Abschnitts zur Übergangstiefe des zweiten Abschnitts nicht kleiner als 2.

**[0013]** In einem Beispiel liegt die Übergangstiefe des ersten Abschnitts in einem Bereich von  $0,2\ \mu\text{m}$  bis  $10\ \mu\text{m}$  und die Übergangstiefe des zweiten Abschnitts liegt in einem Bereich von  $0,05\ \mu\text{m}$  bis  $5\ \mu\text{m}$ .

**[0014]** In einem Beispiel liegt eine Differenz zwischen der Dotierungskonzentration an der oberen Oberfläche des ersten Abschnitts und einer Dotierungskonzentration an einer unteren Oberfläche des ersten Abschnitts in einem Bereich von  $8\text{E}^{19}\ \text{Atom}/\text{cm}^3$  bis  $1\text{E}^{17}\ \text{Atom}/\text{cm}^3$ .

**[0015]** In einem Beispiel liegt eine Differenz zwischen der Dotierungskonzentration an der oberen Oberfläche des zweiten Abschnitts und einer Dotierungskonzentration an einer unteren Oberfläche des zweiten Abschnitts in einem Bereich von  $5\text{E}^{19}\ \text{Atom}/\text{cm}^3$  bis  $1\text{E}^{16}\ \text{Atom}/\text{cm}^3$ .

**[0016]** In einem Beispiel ist zumindest ein Teil von mindestens einer geneigten Oberfläche von jeder ersten Pyramidenstruktur in Bezug auf eine Mitte von jeder ersten Pyramidenstruktur konkav oder konvex.

**[0017]** In einem Beispiel umfasst die Solarzelle ferner eine erste Metallelektrode, wobei die erste Metallelektrode auf der ersten Oberfläche des n-Typ-Substrats gebildet ist und elektrisch mit dem ersten Abschnitt des p-Typ-Emitters verbunden ist.

**[0018]** In einem Beispiel ist eine Breite der ersten Metallelektrode kleiner oder gleich einer Breite des ersten Abschnitts des p-Typ-Emitters.

**[0019]** Einige Ausführungsformen der vorliegenden Offenbarung stellen ein Photovoltaikmodul bereit, das Folgendes umfasst: mindestens eine erste Zellenfolge, die durch Verbinden einer Vielzahl von Solarzellen gebildet ist, wie in einer der vorhergehenden Ausführungsformen beschrieben; mindestens eine Einkapselungsschicht, die dazu ausgestaltet ist, eine Oberfläche der mindestens einen Zellenfolge zu bedecken; und mindestens eine Abdeckplatte, die dazu ausgestaltet ist, eine Oberfläche der mindestens einen Einkapselungsschicht zu bedecken, die von der mindestens einen Zellenfolge abgewandt ist.

## KURZE BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

**[0020]** Eine oder mehrere Ausführungsformen werden beispielhaft unter Bezugnahme auf (eine) entsprechende begleitende Zeichnung/en veranschaulicht und diese beispielhaften Veranschaulichungen stellen keine Einschränkung der Ausführungsformen dar. Sofern nichts anderes angegeben wird, stellen die begleitenden Zeichnungen keine Einschränkung des Maßstabs dar.

**[0021]** Figur 1 ist eine schematische Strukturveranschaulichung einer Solarzelle gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Offenbarung.

**[0022]** Figur 2 ist eine schematische Strukturveranschaulichung eines Photovoltaikmoduls gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Offenbarung.

**[0023]** Figur 3 ist eine schematische Strukturveranschaulichung, die dem Vorgang des Bereit-

stellens eines n-Typ-Ausgangssubstrats in einem Herstellungsverfahren für eine Solarzelle gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Offenbarung entspricht.

- [0024]** Figur 4 ist eine schematische Strukturveranschaulichung, die dem Vorgang des Bildens einer ersten Dünnschicht in dem Herstellungsverfahren gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Offenbarung entspricht.
- [0025]** Figur 5 ist eine schematische Strukturveranschaulichung, die dem Vorgang des Bildens eines ersten Abschnitts des p-Typ-Emitters in dem Herstellungsverfahren gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Offenbarung entspricht.
- [0026]** Figur 6 ist eine schematische Strukturveranschaulichung, die dem Vorgang des Bildens einer zweiten Dünnschicht in dem Herstellungsverfahren gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Offenbarung entspricht.
- [0027]** Figur 7 ist eine schematische Strukturveranschaulichung, die dem Vorgang des Bildens einer Antireflexionsschicht in dem Herstellungsverfahren gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Offenbarung entspricht.
- [0028]** Figur 8 ist eine schematische Strukturveranschaulichung, die dem Vorgang des Bildens einer ersten Metallelektrode in dem Herstellungsverfahren gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Offenbarung entspricht.
- [0029]** Figur 9 ist eine schematische Strukturveranschaulichung, die dem Vorgang des Bildens einer Tunnelschicht und einer dotierten leitfähigen Schicht in dem Herstellungsverfahren gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Offenbarung entspricht.

#### DETAILLIERTE BESCHREIBUNG DER AUSFÜHRUNGSFORMEN

**[0030]** Aus dem Stand der Technik kann bekannt sein, dass die bestehenden Solarzellen eine schlechte photoelektrische Umwandlungsleistung aufweisen.

**[0031]** Durch Analyse wurde herausgefunden, dass einer der Gründe für die schlechte photoelektrische Umwandlungsleistung der bestehenden Solarzellen ist, dass der Emitter für gewöhnlich elektrisch mit einer Metallelektrode verbunden ist, derart dass die Metallelektrode Ladungsträger im Emitter einfangen kann. Zum Vermindern des Kontaktwiderstands zwischen der Metallelektrode und dem Emitter sollte der Schichtwiderstand des Emitters vermindert werden. Derzeit wird zum Vermindern des Schichtwiderstands des Emitters für gewöhnlich die Dotierungskonzentration des Emitters erhöht. Wenn die Dotierungskonzentration des Emitters zunimmt, wird das Dotierungselement in dem Emitter indes zu viel, derart dass das Dotierungselement in dem Emitter ein starkes Rekombinationszentrum wird, wodurch die Erhöhung der Auger-Rekombination verursacht wird. Somit verschlechtert sich die Passivierungsleistung des Emitters, wodurch wiederum die photoelektrische Umwandlungsleistung der Solarzelle schlecht wird.

**[0032]** Ausführungsformen der vorliegenden Offenbarung stellen eine Solarzelle bereit, die einen p-Typ-Emitter umfasst, der auf einer ersten Oberfläche eines n-Typ-Substrats gebildet ist. Ein erster Abschnitt weist erste Pyramidenstrukturen auf, die auf einer oberen Oberfläche des ersten Abschnitts des p-Typ-Emitters gebildet sind. Eine Übergangsoberfläche ist jeweils auf mindestens einer Kante von jeder ersten Pyramidenstruktur gebildet. Die Übergangsoberfläche ist mit zwei benachbarten geneigten Oberflächen von jeder ersten Pyramidenstruktur verbunden und die Übergangsoberfläche ist in Bezug auf eine Mitte jeder ersten Pyramidenstruktur konkav oder konvex. Eine Unterstruktur ist auf jeder von oberen Oberflächen von zumindest einem Teil der ersten Pyramidenstrukturen gebildet. Mit anderen Worten, jede von zumindest einem Teil der ersten Pyramidenstrukturen weist einen Mikrodefekt auf. Ein solcher Mikrodefekt kann eine gewisse Kristalländerung bilden, wodurch ein Defektennergiepegel gebildet wird, derart dass die Dotierungskonzentration des ersten Abschnitts des p-Typ-Emitters niedrig gehalten werden kann, während der Schichtwiderstand des ersten Abschnitts des p-Typ-Emitters in hohem Maße vermindert werden kann. Auf diese Weise kann die Erzeugung von Auger-Rekombination vermindert

werden und die photoelektrische Umwandlungsleistung der Solarzelle kann verbessert werden. Darüber hinaus sind Kanten von jeder zweiten Pyramidenstruktur des zweiten Abschnitts des p-Typ-Emitters gerade, mit anderen Worten, jede zweite Pyramidenstruktur ist eine normale Pyramidenstruktur. Auf diese Weise kann der Schichtwiderstand des zweiten Abschnitts des p-Typ-Emitters relativ hoch sein, wodurch die Erzeugung von Rekombinationszentren vermindert und die Leerlaufspannung und der Kurzschlussstrom der Solarzelle verbessert werden.

**[0033]** Ausführungsformen der vorliegenden Offenbarung werden nachfolgend im Detail unter Bezugnahme auf die begleitenden Zeichnungen beschrieben. Der Fachmann sollte verstehen, dass in den Ausführungsformen der vorliegenden Offenbarung viele technische Details für den Leser bereitgestellt werden, um die vorliegende Offenbarung besser zu verstehen. Die in der vorliegenden Offenbarung beanspruchten technischen Lösungen können indes sogar ohne diese technischen Details und mit verschiedenen Abwandlungen und Varianten auf der Grundlage der folgenden Ausführungsformen ausgeführt werden.

**[0034]** Figur 1 ist eine schematische Strukturveranschaulichung einer Solarzelle gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Offenbarung.

**[0035]** Unter Bezugnahme auf Figur 1 umfasst die Solarzelle Folgendes: ein n-Typ-Substrat 100, einen p-Typ-Emitter 10, der auf einer ersten Oberfläche des n-Typ-Substrats 100 gebildet ist, und eine Tunnelschicht 150 und eine dotierte leitfähige Schicht 160, die der Reihe nach über einer zweiten Oberfläche des n-Typ-Substrats 100 in einer Richtung weg von dem n-Typ-Substrat 100 gebildet sind. Der p-Typ-Emitter 10 umfasst einen ersten Abschnitt 11 und einen zweiten Abschnitt 12, der erste Abschnitt 11 weist erste Pyramidenstrukturen 1 auf, die auf einer oberen Oberfläche des ersten Abschnitts 11 gebildet sind, und der zweite Abschnitt 12 weist zweite Pyramidenstrukturen 2 auf, die auf einer oberen Oberfläche des zweiten Abschnitts 12 gebildet sind. Eine Übergangsoberfläche ist jeweils auf mindestens einer Kante von jeder ersten Pyramidenstruktur 1 gebildet, die Übergangsoberfläche ist mit zwei benachbarten geneigten Oberflächen von jeder ersten Pyramidenstruktur 1 verbunden und die Übergangsoberfläche ist in Bezug auf eine Mitte jeder ersten Pyramidenstruktur 1 konkav oder konvex. Eine Unterstruktur ist auf jeder von oberen Oberflächen von zumindest einem Teil der ersten Pyramidenstrukturen 1 gebildet und eine Form der Unterstruktur ist kugelförmig oder kugelähnlich. Kanten von jeder zweiten Pyramidenstruktur 2 sind gerade. Ein Schichtwiderstand des ersten Abschnitts 11 liegt in einem Bereich von 10 Ohm/sq bis 500 Ohm/sq, eine Dotierungskonzentration an der oberen Oberfläche des ersten Abschnitts 11 liegt in einem Bereich von  $1\text{E}^{17}$  Atom/cm<sup>3</sup> bis  $8\text{E}^{19}$  Atom/cm<sup>3</sup>. Ein Schichtwiderstand des zweiten Abschnitts 12 liegt in einem Bereich von 100 Ohm/sq bis 1000 Ohm/sq und eine Dotierungskonzentration an der oberen Oberfläche des zweiten Abschnitts 12 liegt in einem Bereich von  $1\text{E}^{16}$  Atom/cm<sup>3</sup> bis  $5\text{E}^{19}$  Atom/cm<sup>3</sup>.

**[0036]** Das n-Typ-Substrat 100 wird verwendet, um einfallendes Licht zu empfangen und photogenerierte Ladungsträger zu erzeugen. In einigen Ausführungsformen kann das n-Typ-Substrat 100 ein n-Typ-Siliziumsubstrat 100 sein und das Material des n-Typ-Siliziumsubstrats kann mindestens eines von einem monokristallinen Silizium, polykristallinen Silizium, amorphem Silizium oder mikrokristallinen Silizium sein. Das n-Typ-Substrat 100 ist ein n-Typ-Halbleitersubstrat 100, das heißt, das n-Typ-Substrat 100 ist mit n-Typ-Dotierungsionen dotiert und die n-Typ-Dotierungsionen können eines von Phosphorionen, Arsenionen oder Antimonionen sein.

**[0037]** In einigen Ausführungsformen kann die Solarzelle als eine Tunnel Oxide Passivated Contact (TOPCON) Zelle ausgestaltet sein. Die erste Oberfläche und die zweite Oberfläche des n-Typ-Substrats 100 sind einander entgegengesetzt angeordnet und sowohl die erste Oberfläche als auch die zweite Oberfläche des n-Typ-Substrats 100 können zum Empfangen von einfallendem Licht oder reflektiertem Licht verwendet werden. In einigen Ausführungsformen kann die erste Oberfläche die hintere Oberfläche des n-Typ-Substrats 100 sein und die zweite Oberfläche kann die vordere Oberfläche des n-Typ-Substrats 100 sein. In einigen anderen Ausführungsformen kann die erste Oberfläche die vordere Oberfläche des n-Typ-Substrats 100 sein und die zweite Oberfläche kann die hintere Oberfläche des n-Typ-Substrats 100 sein.

**[0038]** In einigen Ausführungsformen kann die zweite Oberfläche des n-Typ-Substrats 100 als

eine texturierte Pyramidenoberfläche gestaltet sein, derart dass der Reflexionsgrad der zweiten Oberfläche des n-Typ-Substrats 100 für einfallendes Licht niedrig ist, daher ist die Absorptions- und Nutzungsrate von Licht hoch. Die erste Oberfläche des n-Typ-Substrats 100 kann als eine texturierte Nichtpyramidenoberfläche, wie beispielsweise in einer Form gestapelter Stufen, gestaltet sein, derart dass die Tunneloxidschicht 110, die sich auf der ersten Oberfläche des n-Typ-Substrats 100 befindet, eine hohe Dichte und Gleichförmigkeit aufweist, daher weist die Tunneloxidschicht 110 einen guten Passivierungseffekt auf der ersten Oberfläche des n-Typ-Substrats 100 auf. In einigen Ausführungsformen kann die erste Oberfläche die hintere Oberfläche des n-Typ-Substrats 100 sein und die zweite Oberfläche kann die vordere Oberfläche des n-Typ-Substrats 100 sein. In einigen anderen Ausführungsformen kann die erste Oberfläche die vordere Oberfläche des n-Typ-Substrats 100 sein und die zweite Oberfläche kann die hintere Oberfläche des n-Typ-Substrats 100 sein.

**[0039]** Die Übergangsoberfläche ist jeweils auf mindestens einer Kante von jeder ersten Pyramidenstruktur 1 gebildet. Es versteht sich, dass eine Kante einen streifenartigen Ausbauchungsabschnitt einer ersten Pyramidenstruktur 1 bezeichnet, d. h. einen Abschnitt, wo benachbarte geneigte Oberflächen der ersten Pyramidenstruktur 1 verbunden sind, und nicht nur wörtlich „Linie“ bedeutet. In einem ersten Beispiel weist eine erste Pyramidenstruktur eine untere Oberfläche und eine Vielzahl von benachbarten geneigten Oberflächen auf, die mit der unteren Oberfläche verbunden sind, sind zwei benachbarte geneigter Oberflächen miteinander verbunden und ist eine Übergangsoberfläche zwischen den zwei benachbarten geneigten Oberflächen gebildet, das heißt, zumindest Teile der zwei benachbarten geneigten Oberflächen sind über die Übergangsoberfläche miteinander verbunden. In einigen Ausführungsformen ist eine Übergangsoberfläche auf einer Kante einer ersten Pyramidenstruktur 1 gebildet und die Übergangsoberfläche kann nur auf einem Teil der Kante gebildet sein oder kann auf der gesamten Kante gebildet sein. Das heißt, zwei benachbarte geneigte Oberflächen der ersten Pyramidenstruktur 1 sind durch die Übergangsoberfläche verbunden. In einigen anderen Ausführungsformen ist eine Übergangsoberfläche jeweils auf einer Vielzahl von Kanten einer ersten Pyramidenstruktur 1 gebildet und die Übergangsoberflächen können nur auf einem Teil einer Kante gebildet sein oder können auf der gesamten Kante gebildet sein. Die Ausführungsformen der vorliegenden Offenbarung schränken die spezifische Position der Übergangsoberfläche auf einer Kante nicht ein, solange die Übergangsoberfläche auf der Kante gebildet ist.

**[0040]** Es versteht sich, dass die ersten Pyramidenstrukturen 1 und die zweiten Pyramidenstrukturen 2 sich von der texturierten Struktur unterscheiden. In den Ausführungsformen der vorliegenden Offenbarung wird die Siliziumkristallmorphologie des ersten Abschnitts 11 des p-Typ-Emitters 10 durch Bilden der ersten Pyramidenstrukturen 1 und der zweiten Pyramidenstrukturen 2 auf der Oberfläche des p-Typ-Emitters 10 geändert, wodurch die Leistung des ersten Abschnitts 11 des p-Typ-Emitters 10 geändert wird.

**[0041]** Als ein Beispiel ist eine Übergangsoberfläche jeweils auf mindestens einer Kante von jeder ersten Pyramidenstruktur 1 gebildet, d. h. die mindestens eine Kante von jeder ersten Pyramidenstruktur 1 weist eine unregelmäßige Verformung auf, und eine kugelförmige oder kugelähnliche Unterstruktur ist auf jeder von oberen Oberflächen von mindestens einem Teil der ersten Pyramidenstrukturen 1 gebildet, derart dass die ersten Pyramidenstrukturen 1 Mikrodefekte aufweisen, und Änderungen in den Siliziumkristallen sind im ersten Abschnitt 11 des p-Typ-Emitters gebildet. Ferner sind Kanten von jeder zweiten Pyramidenstruktur 2 gerade, mit anderen Worten, es ist keine Verformung in den Kanten von jeder zweiten Pyramidenstruktur 2 vorhanden. Aufgrund der Verformung in der mindestens einen Kante von jeder ersten Pyramidenstruktur 1 und der Verformung in jeder von oberen Oberflächen von zumindest einem Teil der ersten Pyramidenstrukturen 1 liegt ein Schichtwiderstand des ersten Abschnitts 11 in einem Bereich von 10 Ohm/sq bis 500 Ohm/sq und eine Dotierungskonzentration an der oberen Oberfläche des ersten Abschnitts 11 liegt in einem Bereich von  $1E^{17}$  Atom/cm<sup>3</sup> bis  $8E^{19}$  Atom/cm<sup>3</sup>. Da keine Verformung in den Kanten von jeder zweiten Pyramidenstruktur 2 vorhanden ist, liegt ein Schichtwiderstand des zweiten Abschnitts 12 in einem Bereich von 100 Ohm/sq bis 1000 Ohm/sq und eine Dotierungskonzentration an der oberen Oberfläche des zweiten Abschnitts 12 liegt in einem Bereich

von  $1\text{E}^{16}$  Atom/cm<sup>3</sup> bis  $5\text{E}^{19}$  Atom/cm<sup>3</sup>. Es ist offensichtlich, dass der Schichtwiderstand des ersten Abschnitts 11 viel niedriger ist als der Schichtwiderstand des zweiten Abschnitts 12, aber die Dotierungskonzentration an der oberen Oberfläche des ersten Abschnitts 11 unterscheidet sich nicht viel von der Dotierungskonzentration an der oberen Oberfläche des zweiten Abschnitts 12. Es ist ersichtlich, dass aufgrund der Mikrodefekte der ersten Pyramidenstrukturen 1 der Schichtwiderstand des ersten Abschnitts 11 viel niedriger ist als der Schichtwiderstand des zweiten Abschnitts 12, wodurch der ohmsche Kontakt des ersten Abschnitts 11 des p-Typ-Emitters 10 in hohem Maße verbessert wird. Gleichzeitig wird die Dotierungskonzentration des ersten Abschnitts 11 des p-Typ-Emitters 10 niedrig gehalten, derart dass die Erzeugungen von Rekombinationszentren im ersten Abschnitt 11 des p-Typ-Emitters 10 vermindert werden können, der gute Passivierungseffekt des p-Typ-Emitters 10 aufrechterhalten werden kann und die Erzeugungen von Auger-Rekombination vermindert werden können. Auf diese Weise kann die photoelektrische Umwandlungsleistung der Solarzelle verbessert werden. In einigen Ausführungsformen liegen Höhen der ersten Pyramidenstrukturen 1 in einem Bereich von 0,1 µm bis 5 µm und Größen der Böden der ersten Pyramidenstrukturen 1 liegen in einer beliebigen Abmessung in einem Bereich von 0,5 µm bis 5 µm. Es versteht sich, dass, je größer die Höhen und die Größen der Böden der ersten Pyramidenstrukturen 1 im ersten Abschnitt 11 des p-Typ-Emitters 10 in einer beliebigen Abmessung sind, die Gesamtgrößen der ersten Pyramidenstruktur 1 desto größer sind, derart dass in einer Flächeneinheit eine Anzahl der ersten Pyramidenstrukturen 1 im ersten Abschnitt 11 des p-Typ-Emitters 10 kleiner ist. Je kleiner die Anzahl der ersten Pyramidenstrukturen 1, desto weniger der ersten Pyramidenstrukturen weisen Mikrodefekte auf, derart dass das Ausmaß der im ersten Abschnitt 11 des p-Typ-Emitters 10 erzeugten Kristallverformung geringer ist.

**[0042]** Dementsprechend ist, je kleiner die Größen der ersten Pyramidenstrukturen 1 sind, die Anzahl der ersten Pyramidenstrukturen 1 im ersten Abschnitt 11 des p-Typ-Emitters 10 pro Flächeneinheit desto größer, derart dass das Ausmaß der im ersten Abschnitt 11 des p-Typ-Emitters 10 erzeugten Kristallverformung größer ist. Basierend darauf werden die Höhen der ersten Pyramidenstrukturen 1 in einem Bereich von 0,1 µm bis 5 µm eingestellt und die Größen der Böden der ersten Pyramidenstrukturen 1 werden in einer beliebigen Abmessung in einem Bereich von 0,5 µm bis 5 µm eingestellt. Auf diese Weise ist einerseits die Anzahl der ersten Pyramidenstrukturen 1 relativ groß und das Ausmaß der im ersten Abschnitt 11 des p-Typ-Emitters 10 erzeugten Kristallverformung ist relativ groß, derart dass ein relativ hoher Defektenergiepegel erhalten wird, was dadurch zu einem niedrigeren Schichtwiderstand des ersten Abschnitts 11 des p-Typ-Emitters 10 führt und den ohmschen Kontakt verbessert. Andererseits kann innerhalb dieses Bereichs eine übermäßige Anzahl der ersten Pyramidenstrukturen 1 im ersten Abschnitt 11 des p-Typ-Emitters 10 vermieden werden, wodurch das Problem des Bildens eines übermäßig hohen Defektenergiepegels verhindert werden kann, wodurch starke Rekombinationszentren im p-Typ-Emitter 10 gebildet werden. Auf diese Weise kann die Passivierungsleistung des ersten Abschnitts 11 des p-Typ-Emitters 10 verbessert werden.

**[0043]** Eine Unterstruktur ist ferner auf jeder von zumindest einem Teil der ersten Pyramidenstrukturen 1 gebildet. Das Vorhandensein der Unterstrukturen macht das Ausmaß der Mikrodefekte in den ersten Pyramidenstrukturen 1 höher, derart dass der im ersten Abschnitt 11 des p-Typ-Emitters gebildete Defektenergiepegel höher ist, wodurch der Schichtwiderstand des ersten Abschnitts 11 des p-Typ-Emitters 10 weiter vermindert wird.

**[0044]** Unter Bezugnahme auf Figur 1 sind die Kanten von jeder zweiten Pyramidenstruktur 2 auf der oberen Oberfläche des zweiten Abschnitts 12 gestaltet, um gerade zu sein, mit anderen Worten in jeder zweiten Pyramidenstruktur 2 sind zwei benachbarte geneigte Oberflächen direkt verbunden und es tritt keine Verformung auf den Kanten auf, derart dass die zweite Pyramidenstruktur 2 eine regelmäßige vierflächige Struktur ist. Das heißt, im zweiten Abschnitt 12 des p-Typ-Emitters 10 tritt keine Änderung in der Kristallstruktur auf. Somit wird im zweiten Abschnitt 12 des p-Typ-Emitters 10 kein Defektenergiepegel gebildet, was dadurch nicht nur zu einem relativ hohen Schichtwiderstand des zweiten Abschnitts 12 des p-Typ-Emitters 10 führt, sondern auch die Bildung einer großen Anzahl von Rekombinationszentren im zweiten Abschnitt 12 des p-Typ-Emitters 10 verhindert. Auf diese Weise kann eine gute Passivierungsleistung des zweiten Ab-

schnitts 12 des p-Typ-Emitters 10 aufrechterhalten werden, die Leerlaufspannung und der Kurzschlussstrom der Solarzelle können relativ hoch sein und die photoelektrische Umwandlungsleistung der Solarzelle kann verbessert werden.

**[0045]** Unter Bezugnahme auf Figur 1 kann basierend auf den Differenzen zwischen den ersten Pyramidenstrukturen 1 und den zweiten Pyramidenstrukturen 2 der Schichtwiderstand des ersten Abschnitts 11 niedriger sein als der Schichtwiderstand des zweiten Abschnitts 12. Da die Kante/n einer ersten Pyramidenstruktur 1 sich verformt/verformen und mindestens ein Teil der ersten Pyramidenstrukturen 1 ferner Unterstrukturen umfasst, wird ein Defektenergiepegel im ersten Abschnitt 11 des p-Typ-Emitters 10 gebildet, derart dass der Schichtwiderstand des ersten Abschnitts 11 des p-Typ-Emitters 10 niedrig ist.

**[0046]** Währenddessen verformen sich die Kanten von jeder zweiten Pyramidenstruktur 2 nicht, derart dass kein Defektenergiepegel im zweiten Abschnitt 12 des p-Typ-Emitters 10 gebildet wird. Somit weist der zweite Abschnitt 12 des p-Typ-Emitters 10 einen relativ hohen Schichtwiderstand auf. In einigen Ausführungsformen kann der Schichtwiderstand des ersten Abschnitts 11 10 Ohm/sq ~ 50 Ohm/sq, 50 Ohm/sq ~ 75 Ohm/sq, 75 Ohm/sq ~ 100 Ohm/sq, 100 Ohm/sq ~ 150 Ohm/sq, 150 Ohm/sq ~ 200 Ohm/sq, 200 Ohm/sq ~ 300 Ohm/sq, 300 Ohm/sq ~ 400 Ohm/sq oder 400 Ohm/sq ~ 500 Ohm/sq betragen. Der Schichtwiderstand des zweiten Abschnitts 12 kann 100 Ohm/sq ~ 200 Ohm/sq, 200 Ohm/sq ~ 300 Ohm/sq, 300 Ohm/sq ~ 400 Ohm/sq, 400 Ohm/sq ~ 500 Ohm/sq, 500 Ohm/sq ~ 700 Ohm/sq, 700 Ohm/sq ~ 850 Ohm/sq, 850 Ohm/sq ~ 1000 Ohm/sq betragen. Der Schichtwiderstand des ersten Abschnitts 11 des p-Typ-Emitters 10 ist viel niedriger als derjenige des zweiten Abschnitts 12, somit kann ein verbesserter ohmscher Kontakt des ersten Abschnitts 11 des p-Typ-Emitters 10 erhalten werden, wodurch der Kontaktwiderstand zwischen dem ersten Abschnitt 11 des p-Typ-Emitters 10 und der Metallelektrode vermindert werden kann, wenn die Metallelektrode angeordnet ist, um sich in einem elektrischen Kontakt mit dem ersten Abschnitt 11 des p-Typ-Emitters 10 zu befinden, wodurch die Transporteffizienz von Ladungsträgern im ersten Abschnitt 11 des p-Typ-Emitters 10 und zweiten Abschnitt 12 des p-Typ-Emitters 10 verbessert wird. Darüber hinaus kann durch Einstellen des Widerstands des zweiten Abschnitts 12 des p-Typ-Emitters 10 auf 100 Ohm/sq ~ 1000 Ohm/sq die Rekombination von Ladungsträgern im zweiten Abschnitt 12 des p-Typ-Emitters 10 unterdrückt werden. In einigen Ausführungsformen ist ein Rekombinationsstrom im zweiten Abschnitt 12 des p-Typ-Emitters 10 niedriger als 20 fA/cm<sup>2</sup>, ein relativ niedriger Rekombinationsstrom führt zur Verminderung der Rekombination von Ladungsträgern, wodurch der Passivierungseffekt des Emitters verbessert wird. Auf diese Weise können die Leerlaufspannung, der Kurzschlussstrom und der photoelektrische Umwandlungswirkungsgrad der Solarzelle verbessert werden.

**[0047]** In einigen Ausführungsformen ist die Übergangstiefe des ersten Abschnitts 11 nicht geringer als diejenige des zweiten Abschnitts 12, das heißt, eine Dicke des ersten Abschnitts 11 ist relativ groß. Somit kann eine elektrische Verbindung zwischen der Metallelektrode und dem ersten Abschnitt 11 des p-Typ-Emitters 10 bereitgestellt werden, derart dass das Problem, dass die Paste zum Bilden der Metallelektrode in den p-Typ-Emitter 10 eindringt und das n-Typ-Ausgangssubstrat 100 während des Sinterns der Paste direkt kontaktiert, verhindert werden kann. Darüber hinaus ist die Übergangstiefe des zweiten Abschnitts 12 gestaltet, um flacher zu sein, das heißt, eine Dicke des zweiten Abschnitts 12 des p-Typ-Emitters 10 ist relativ klein, derart dass die Anzahl der Dotierungselemente im zweiten Abschnitt 12 niedriger als die Anzahl der Dotierungselemente im ersten Abschnitt 11 ist. Mit anderen Worten, die Dotierungskonzentration des zweiten Abschnitts 12 des p-Typ-Emitters 10 ist niedriger. Daher weist im Vergleich zum ersten Abschnitt 11 des p-Typ-Emitters 10 der zweite Abschnitt 12 des p-Typ-Emitters 10 einen besseren Passivierungseffekt auf, was zur Verminderung der Rekombination von Ladungsträgern und Verbesserung der Leerlaufspannung und des Kurzschlussstroms der Solarzelle führt.

**[0048]** In einigen Ausführungsformen ist ein Verhältnis der Übergangstiefe des ersten Abschnitts 11 zur Übergangstiefe des zweiten Abschnitts 12 nicht kleiner als 2. Als ein Beispiel liegt das Verhältnis der Übergangstiefe des ersten Abschnitts 11 zur Übergangstiefe des zweiten Abschnitts 12 in einem Bereich von 2 bis 5. Zum Beispiel kann das Verhältnis 2, 2,5, 3, 3,5, 4, 4,5 oder 5 betragen. Die Übergangstiefe des ersten Abschnitts 11 ist viel tiefer als diejenige des



zweiten Abschnitts 12, derart dass die Übergangstiefe des ersten Abschnitts 11 des p-Typ-Emitters 10 tiefer ist. Auf diese Weise kann, wenn die Metallelektrode elektrisch mit dem ersten Abschnitt 11 des p-Typ-Emitters 10 verbunden ist, sichergestellt werden, dass die Paste während des Sinterns nicht durch den ersten Abschnitt 11 des p-Typ-Emitters 10 brennen wird, um das Problem des Beschädigens des p-n-Übergangs aufgrund des Kontakts zwischen der Metallelektrode und dem n-Typ-Substrat 100 zu verhindern, wodurch eine gute photoelektrische Umwandlungsleistung der Solarzelle sichergestellt wird.

**[0049]** In einigen Ausführungsformen liegt die Übergangstiefe des ersten Abschnitts 11 in einem Bereich von  $0,2\ \mu\text{m}$  bis  $10\ \mu\text{m}$  und die Übergangstiefe des zweiten Abschnitts 12 liegt in einem Bereich von  $0,05\ \mu\text{m}$  bis  $5\ \mu\text{m}$ . Innerhalb dieses Bereichs ist die Übergangstiefe des ersten Abschnitts 11 nicht zu tief, um das Problem zu vermeiden, dass der Gehalt an Dotierungselement im ersten Abschnitt 11 des p-Typ-Emitters 10 aufgrund übermäßiger Dicke des ersten Abschnitts 11 zu hoch ist, um ein starkes Rekombinationszentrum zu bilden. Darüber hinaus ist innerhalb dieses Bereichs die Übergangstiefe des zweiten Abschnitts 12 relativ flach und es sind relativ wenige Dotierungselemente im zweiten Abschnitt 12 des p-Typ-Emitters 10 vorhanden, derart dass ein guter Passivierungseffekt des p-Typ-Emitters 10 aufrechterhalten werden kann.

**[0050]** In einigen Ausführungsformen ist ein Dotierungselement im ersten Abschnitt 11 des p-Typ-Emitters 10 von einem gleichen Leitfähigkeitstyp wie ein Dotierungselement im zweiten Abschnitt 12 des p-Typ-Emitters 10, und das Dotierungselement im ersten Abschnitt 11 und das Dotierungselement im zweiten Abschnitt 12 sind jeweils ein dreiwertiges Element. Mit anderen Worten, jeder von dem ersten Abschnitt 11 des p-Typ-Emitters 10 und dem zweiten Abschnitt 12 des p-Typ-Emitters 10 umfasst nur eines der dreiwertigen Elemente, d. h. der erste Abschnitt 11 und der zweite Abschnitt 12 sind mit einem einzigen Element dotiert. Somit umfassen der erste Abschnitt 11 und der zweite Abschnitt 12 des p-Typ-Emitters 10 kein Verunreinigungselement, wodurch das Problem der Ladungsträgerrekombination aufgrund von Verunreinigungselementen, die Rekombinationszentren werden, verhindert wird.

**[0051]** In einigen Ausführungsformen umfassen das Dotierungselement im ersten Abschnitt 11 und das Dotierungselement im zweiten Abschnitt 12 jeweils Bor oder Gallium. Der erste Abschnitt 11 und der zweite Abschnitt 12 sind gestaltet, um nur eine Art von Dotierungselement zu umfassen, derart dass der erste Abschnitt 11 und der zweite Abschnitt 12 des p-Typ-Emitters 10 hoch-effiziente Dotierungsschichten werden, somit ist kein Verunreinigungselement im ersten Abschnitt 11 und zweiten Abschnitt 12 des p-Typ-Emitters 10 vorhanden oder eine Menge des Verunreinigungselements ist sehr gering. Auf diese Weise kann das Problem, dass das Verunreinigungselement ein Rekombinationszentrum wird, vermieden werden, wodurch die Rekombination von Ladungsträgern unterdrückt und die Anzahl der Ladungsträger erhöht werden.

**[0052]** In einigen Ausführungsformen ist die Dotierungskonzentration an der oberen Oberfläche des ersten Abschnitts 11 nicht niedriger als die Dotierungskonzentration an der oberen Oberfläche des zweiten Abschnitts 12 des p-Typ-Emitters 10. Da die Übergangstiefe des ersten Abschnitts 11 größer ist als diejenige des zweiten Abschnitts 12, umfasst der erste Abschnitt 11 des p-Typ-Emitters 10 mehr Dotierungselemente. In einigen Ausführungsformen kann die Dotierungskonzentration an der oberen Oberfläche des ersten Abschnitts 11  $1\text{E}^{17}\ \text{Atom}/\text{cm}^3$  bis  $7\text{E}^{17}\ \text{Atom}/\text{cm}^3$ ,  $7\text{E}^{17}\ \text{Atom}/\text{cm}^3$  bis  $1\text{E}^{18}\ \text{Atom}/\text{cm}^3$ ,  $1\text{E}^{18}\ \text{Atom}/\text{cm}^3$  bis  $6\text{E}^{18}\ \text{Atom}/\text{cm}^3$ ,  $6\text{E}^{18}\ \text{Atom}/\text{cm}^3$  bis  $1\text{E}^{19}\ \text{Atom}/\text{cm}^3$  oder  $1\text{E}^{19}\ \text{Atom}/\text{cm}^3$  bis  $8\text{E}^{19}\ \text{Atom}/\text{cm}^3$  betragen; und die Dotierungskonzentration an der oberen Oberfläche des zweiten Abschnitts 12 kann  $1\text{E}^{16}\ \text{Atom}/\text{cm}^3$  bis  $1\text{E}^{17}\ \text{Atom}/\text{cm}^3$ ,  $1\text{E}^{17}\ \text{Atom}/\text{cm}^3$  bis  $1\text{E}^{18}\ \text{Atom}/\text{cm}^3$ ,  $1\text{E}^{18}\ \text{Atom}/\text{cm}^3$  bis  $1\text{E}^{19}\ \text{Atom}/\text{cm}^3$  oder  $1\text{E}^{19}\ \text{Atom}/\text{cm}^3$  bis  $5\text{E}^{19}\ \text{Atom}/\text{cm}^3$  betragen. Die Dotierungskonzentration an der oberen Oberfläche des ersten Abschnitts 11 ist gestaltet, um relativ hoch zu sein, wodurch sichergestellt werden kann, dass der Schichtwiderstand des ersten Abschnitts 11 relativ niedrig ist. Gleichzeitig ist die Dotierungskonzentration an der oberen Oberfläche des zweiten Abschnitts 12 gestaltet, um relativ niedrig zu sein, wodurch vermieden werden kann, dass übermäßige Dotierungselemente aufgrund der Tatsache, dass im zweiten Abschnitt 12 zu viele Dotierungselemente vorhanden sind, Rekombinationszentren werden. Auf diese Weise kann die Rekombination von Ladungsträgern unterdrückt werden und der Kurzschlussstrom und die Leerlaufspannung der Solarzelle können

verbessert werden. Es ist ersichtlich, dass die Dotierungskonzentration an der oberen Oberfläche des ersten Abschnitts 11 relativ nahe an der Dotierungskonzentration an der oberen Oberfläche des zweiten Abschnitts 12 ist. In einigen Ausführungsformen kann die Dotierungskonzentration an der oberen Oberfläche des ersten Abschnitts 11 gleich der Dotierungskonzentration an der oberen Oberfläche des zweiten Abschnitts 12 sein. Somit wird die Dotierungskonzentration an der oberen Oberfläche des ersten Abschnitts 11 vermindert und der Schichtwiderstand des ersten Abschnitts 11 ist viel niedriger als derjenige des zweiten Abschnitts 12. Auf diese Weise können sowohl ein relativ niedriger Schichtwiderstand des ersten Abschnitts 11 als auch eine relativ niedrige Dotierungskonzentration des ersten Abschnitts 11 erreicht werden, wodurch der ohmsche Kontakt des p-Typ-Emitters 10 verbessert wird und ein guter Passivierungseffekt des p-Typ-Emitters 10 aufrechterhalten werden kann.

**[0053]** In einigen Ausführungsformen nimmt in einer Richtung von der oberen Oberfläche des p-Typ-Emitters 10 zur unteren Oberfläche des p-Typ-Emitters 10 die Dotierungskonzentration im Inneren des ersten Abschnitts 11 des p-Typ-Emitters 10 allmählich ab und die Dotierungskonzentration im Inneren des zweiten Abschnitts 12 des p-Typ-Emitters 10 nimmt allmählich ab. Das heißt, jeder von dem ersten Abschnitt 11 des p-Typ-Emitters 10 und dem zweiten Abschnitt 12 des p-Typ-Emitters 10 weist einen absteigenden Dotierungskonzentrationsgradienten auf, was zum Transport von Ladungsträgern im ersten Abschnitt 11 des p-Typ-Emitters 10 und zweiten Abschnitt 12 des p-Typ-Emitters 10 von einem Bereich mit einer relativ hohen Dotierungskonzentration zu einem Bereich mit einer relativ niedrigen Dotierungskonzentration bis in das n-Typ-Substrat 100 führt. Auf diese Weise kann die Transportgeschwindigkeit von Ladungsträgern erhöht werden und die Leerlaufspannung der Solarzelle kann verbessert werden.

**[0054]** In einigen Ausführungsformen beträgt die Differenz zwischen der Dotierungskonzentration an der oberen Oberfläche des ersten Abschnitts 11 und der Dotierungskonzentration an der unteren Oberfläche des ersten Abschnitts 11  $8E^{19}$  Atom/cm<sup>3</sup> bis  $1E^{17}$  Atom/cm<sup>3</sup>. Innerhalb dieses Bereichs ist einerseits die Differenz bei der Dotierungskonzentration im Inneren des ersten Abschnitts 11 des p-Typ-Emitters 10 relativ hoch, wodurch der Transport von Ladungsträgern erleichtert wird. Andererseits kann verhindert werden, dass die Differenz bei der Dotierungskonzentration im Inneren des ersten Abschnitts 11 des p-Typ-Emitters 10 zu klein ist, wodurch eine übermäßige Gesamtdotierungskonzentration des ersten Abschnitts 11 aufgrund der geringen Differenz zwischen der Dotierungskonzentration an der oberen Oberfläche und der Dotierungskonzentration im ersten Abschnitt 11 verhindert wird.

**[0055]** In einigen Ausführungsformen beträgt die Differenz zwischen der Dotierungskonzentration an der oberen Oberfläche des zweiten Abschnitts 12 und der Dotierungskonzentration an der unteren Oberfläche des zweiten Abschnitts 12  $5E^{19}$  Atom/cm<sup>3</sup> bis  $1E^{16}$  Atom/cm<sup>3</sup>. Innerhalb dieses Bereichs wird die Dotierungskonzentration im Inneren des zweiten Abschnitts 12 des p-Typ-Emitters 10 nicht zu niedrig, derart dass der normale Transport von Ladungsträgern im zweiten Abschnitt 12 des p-Typ-Emitters 10 sichergestellt werden kann. Darüber hinaus kann innerhalb dieses Bereichs die Gesamtdotierungskonzentration des zweiten Abschnitts 12 des p-Typ-Emitters 10 niedrig gehalten werden, somit kann das Auftreten von Auger-Rekombination im zweiten Abschnitt 12 des p-Typ-Emitters 10 verhindert werden.

**[0056]** In einigen Ausführungsformen ist zumindest ein Teil mindestens einer geneigten Oberfläche der ersten Pyramidenstruktur 1 in Bezug auf eine Mitte der ersten Pyramidenstruktur 1 konkav oder konvex, das heißt, mindestens eine geneigte Oberfläche der ersten Pyramidenstruktur 1 weist eine unregelmäßige Verformung auf. Diese unregelmäßige Verformung führt zu Dislokationen und nicht abgesättigten Bindungen im ersten Abschnitt 11 des p-Typ-Emitters 10, wodurch ein tiefer Energiepegel im Inneren des ersten Abschnitts 11 des p-Typ-Emitters 10 gebildet wird, wodurch der Schichtwiderstand des ersten Abschnitts 11 des p-Typ-Emitters 10 weiter vermindert wird.

**[0057]** In einigen Ausführungsformen ist das Verhältnis einer Breite des zweiten Abschnitts 12 zu einer Breite des ersten Abschnitts 11 größer als 5,6. Das heißt, der zweite Abschnitt 12 des p-Typ-Emitters 10 mit relativ höherem Schichtwiderstand macht einen höheren Anteil aus, da der

zweite Abschnitt 12 des p-Typ-Emitters 10 eine bessere Passivierungsleistung aufweist und die Rekombination von Ladungsträgern unterdrücken kann, und die Gesamtpassivierungsleistung des p-Typ-Emitters 10 ist gut. Ferner kann, da der erste Abschnitt 11 des p-Typ-Emitters 10 nur elektrisch mit der Metallelektrode verbunden werden muss, um den ohmschen Kontakt mit der Metallelektrode zu verbessern, die Breite des ersten Abschnitts 11 des p-Typ-Emitters 10 eingestellt werden, um klein zu sein, derart dass der ohmsche Kontakt verbessert wird und eine relativ gute Passivierungsleistung des Emitters aufrechterhalten wird.

**[0058]** In einigen Ausführungsformen umfasst die Solarzelle ferner eine erste Metallelektrode 140, die erste Metallelektrode 140 ist auf der ersten Oberfläche des n-Typ-Substrats 100 gebildet und ist elektrisch mit dem ersten Abschnitt 11 des p-Typ-Emitters 10 verbunden. Da die Ladungsträger im p-Typ-Emitter 10 zur ersten Metallelektrode 140 transportiert werden, die elektrisch mit dem ersten Abschnitt 11 des p-Typ-Emitters 10 verbunden ist, und der Schichtwiderstand des ersten Abschnitts 11 des p-Typ-Emitters 10 relativ niedrig ist, derart dass der Kontaktwiderstand zwischen dem ersten Abschnitt 11 des p-Typ-Emitters 10 und der ersten Metallelektrode 140 niedrig ist. In einigen Ausführungsformen kann der Metallrekombinationsstrom im ersten Abschnitt 11 des p-Typ-Emitters 10 so hoch wie  $700 \text{ fA/cm}^2$  sein, wodurch die Transportrate von Ladungsträgern im p-Typ-Emitter 10 zur ersten Metallelektrode 140 erhöht wird. Darüber hinaus dringt, da der erste Abschnitt 11 des p-Typ-Emitters 10 eine relativ tiefe Übergangstiefe aufweist, die leitfähige Paste während der Herstellung der ersten Metallelektrode 140 nicht einfach in den ersten Abschnitt 11 des p-Typ-Emitters 10 ein. Auf diese Weise kann eine Beschädigung der Struktur des p-n-Übergangs vermieden werden, was zum Aufrechterhalten der guten photoelektrischen Umwandlungsleistung der Solarzelle führt.

**[0059]** In einigen Ausführungsformen ist eine Breite der ersten Metallelektrode 140 kleiner oder gleich der Breite des ersten Abschnitts 11 des p-Typ-Emitters 10, derart dass die erste Metallelektrode 140 vom ersten Abschnitt 11 des p-Typ-Emitters 10 eingekapselt sein kann, d. h. die Seitenoberflächen und die untere Oberfläche der ersten Metallelektrode 140 mit dem ersten Abschnitt 11 des p-Typ-Emitters 10 in Kontakt sind. Da der Schichtwiderstand des ersten Abschnitts 11 des p-Typ-Emitters 10 relativ niedriger ist, kann der Kontaktwiderstand zwischen der ersten Metallelektrode 140 und dem p-Typ-Emitter 10 durch Gestalten der ersten Metallelektrode 140, um durch den ersten Abschnitt 11 des p-Typ-Emitters 10 eingekapselt zu sein, weiter verbessert werden, wodurch die Einfangeffizienz von Ladungsträgern durch die erste Metallelektrode 140 verbessert wird.

**[0060]** In einigen Ausführungsformen umfasst die Solarzelle ferner eine Antireflexionsschicht 130, die sich auf der oberen Oberfläche des p-Typ-Emitters 10 befindet, und die erste Metallelektrode 140 dringt in die Antireflexionsschicht 130 ein, um sich elektrisch mit dem p-Typ-Emitter 10 zu verbinden. Die Antireflexionsschicht 130 wird zum Vermindern der Reflexion von einfallendem Licht durch das Substrat verwendet. In einigen Ausführungsformen kann die Antireflexionsschicht 130 eine einschichtige Struktur oder eine mehrschichtige Struktur sein und das Material der Antireflexionsschicht 130 kann mindestens eines von Magnesiumfluorid, Siliziumoxid, Aluminiumoxid, Siliziumoxinitrid, Siliziumnitrid und Titanoxid sein.

**[0061]** Die Tunnelschicht 150 wird verwendet, um Grenzflächenpassivierung der zweiten Oberfläche des Substrats zu erreichen. In einigen Ausführungsformen kann das Material der Tunnelschicht 150 ein dielektrisches Material sein, wie beispielsweise ein beliebiges von Siliziumoxid, Magnesiumfluorid, Siliziumoxid, amorphem Silizium, polykristallinem Silizium, Siliziumcarbid, Siliziumnitrid, Siliziumoxinitrid, Aluminiumoxid und Titanoxid.

**[0062]** Die dotierte leitfähige Schicht 160 wird dazu verwendet, Feldpassivierung zu bilden. In einigen Ausführungsformen kann das Material der dotierten leitfähigen Schicht 160 dotiertes Silizium sein. In einigen Ausführungsformen umfassen die dotierte leitfähige Schicht 160 und das Substrat Dotierungselemente vom gleichen Leitfähigkeitstyp. Das dotierte Silizium kann eines oder mehrere von n-Typ-dotiertem Polysilizium, n-Typ-dotiertem mikrokristallinem Silizium und n-Typ-dotiertem amorphem Silizium und Siliziumkarbid umfassen.

**[0063]** In einigen Ausführungsformen umfasst die Solarzelle ferner eine erste Passivierungs-

schicht 170, die sich auf einer Oberfläche der dotierten leitfähigen Schicht 160 entfernt von dem Substrat befindet. In einigen Ausführungsformen kann das Material der ersten Passivierungsschicht 170 eines oder mehrere von Magnesiumfluorid, Siliziumoxid, Aluminiumoxid, Siliziumoxinitrid, Siliziumnitrid und Titanoxid sein. In einigen Ausführungsformen kann die erste Passivierungsschicht 170 eine einschichtige Struktur sein.

**[0064]** In einigen anderen Ausführungsformen kann die erste Passivierungsschicht 170 eine mehrschichtige Struktur sein.

**[0065]** In einigen Ausführungsformen umfasst die Solarzelle ferner eine zweite Metallelektrode 180, die in die erste Passivierungsschicht 170 eindringt, um eine elektrische Verbindung mit der dotierten leitfähigen Schicht 160 zu bilden.

**[0066]** In der Solarzelle, wie in den vorhergehenden Ausführungsformen beschrieben, ist ein p-Typ- Emitter 10 auf einer ersten Oberfläche eines n-Typ-Substrats 100 gebildet. Ein erster Abschnitt 11 weist erste Pyramidenstrukturen 1 auf, die auf dem ersten Abschnitt 11 des p-Typ-Emitters 10 gebildet ist. Eine Übergangsoberfläche ist jeweils auf mindestens einer Kante von jeder ersten Pyramidenstruktur 1 gebildet. Die Übergangsoberfläche ist mit zwei benachbarten geneigten Oberflächen von jeder ersten Pyramidenstruktur 1 verbunden und die Übergangsoberfläche ist in Bezug auf eine Mitte jeder ersten Pyramidenstruktur 1 konkav oder konvex. Eine Unterstruktur ist auf jeder von oberen Oberflächen von zumindest einem Teil der ersten Pyramidenstrukturen 1 gebildet. Mit anderen Worten, jede von zumindest einem Teil der ersten Pyramidenstrukturen 1 weist einen Mikrodefekt auf. Ein solcher Mikrodefekt kann eine gewisse Kristalländerung bilden, wodurch ein Defektenergiepegel gebildet wird, derart dass die Dotierungskonzentration des ersten Abschnitts 11 des p-Typ- Emitters 10 niedrig gehalten werden kann, während der Schichtwiderstand des ersten Abschnitts 11 des p-Typ-Emitters 10 in hohem Maße vermindert werden kann. Auf diese Weise kann die Erzeugung von Auger-Rekombination vermindert werden und die photoelektrische Umwandlungsleistung der Solarzelle kann verbessert werden. Darüber hinaus sind Kanten von jeder zweiten Pyramidenstruktur 2 des zweiten Abschnitts 12 des p-Typ-Emitters 10 gerade, mit anderen Worten, eine zweite Pyramidenstruktur ist eine normale Pyramidenstruktur. Auf diese Weise kann der Schichtwiderstand des zweiten Abschnitts 12 des p-Typ-Emitters 10 relativ hoch sein, wodurch die Erzeugung von Rekombinationszentren vermindert und die Leerlaufspannung und der Kurzschlussstrom der Solarzelle verbessert werden.

**[0067]** Ausführungsformen der vorliegenden Offenbarung stellen ferner ein Photovoltaikmodul bereit, unter Bezugnahme auf Figur 2 umfasst das Photovoltaikmodul Folgendes: mindestens eine erste Zellenfolge, die durch Verbinden einer Vielzahl von Solarzellen 101 verbunden ist, wie in den vorhergehenden Ausführungsformen bereitgestellt; mindestens eine Einkapselungsschicht 102, die zum Bedecken einer Oberfläche der mindestens einen Zellenfolge verwendet wird; und mindestens eine Abdeckplatte 103, die zum Bedecken einer Oberfläche der mindestens einen Einkapselungsschicht 102 verwendet wird, die von der mindestens einen Zellenfolge abgewandt ist. Die Solarzellen 101 sind elektrisch in einer Form eines einzelnen Teils oder mehrerer Teile verbunden, um eine Vielzahl von Zellenfolgen zu bilden, und die Vielzahl von Zellenfolgen sind elektrisch in Reihe und/oder parallel geschaltet.

**[0068]** In einigen Ausführungsformen können die Vielzahl von Zellenfolgen elektrisch durch leitfähige Bänder 104 verbunden sein. Die Einkapselungsschichten 102 bedecken die vordere und die hintere Oberfläche der Solarzelle 101. Als ein Beispiel kann die Einkapselungsschicht 102 ein organischer Einkapselungsklebfilm, wie beispielsweise ein Klebfilm aus Ethylen-Vinylacetat-Copolymer (EVA), ein Klebfilm aus Polyethylen-Octen-Coelastomer (POE) oder ein Klebfilm aus Polyethylenterephthalat (PET) und dergleichen, sein. In einigen Ausführungsformen kann die Abdeckplatte 103 eine Abdeckplatte 103 mit einer lichtdurchlässigen Funktion sein, wie beispielsweise eine Glasabdeckplatte, eine Kunststoffabdeckplatte oder dergleichen. Als ein Beispiel kann die Oberfläche der Abdeckplatte 103, die der Einkapselungsschicht 102 zugewandt ist, eine konkav-konvexe Oberfläche sein, wodurch die Nutzungsrate von einfallendem Licht erhöht wird.

**[0069]** Eine andere Ausführungsform der vorliegenden Offenbarung stellt ferner ein Herstellungsverfahren für eine Solarzelle bereit, die Solarzelle, wie in den vorhergehenden Ausführungsfor-

men bereitgestellt, kann durch Implementieren des Verfahrens erhalten werden. Das Herstellungsverfahren, das durch diese Ausführungsform der vorliegenden Offenbarung bereitgestellt wird, wird nachfolgend unter Bezugnahme auf die begleitenden Zeichnungen im Detail beschrieben.

**[0070]** Figur 3 bis 9 sind schematische Strukturveranschaulichungen, die den Vorgängen des Herstellungsverfahrens für die durch diese Ausführungsform der vorliegenden Offenbarung bereitgestellte Solarzelle entsprechen.

**[0071]** Ein n-Typ-Substrat 100 wird bereitgestellt.

**[0072]** Das n-Typ-Substrat 100 wird verwendet, um einfallendes Licht zu empfangen und photogenerierte Ladungsträger zu erzeugen. In einigen Ausführungsformen kann das n-Typ-Substrat 100 ein n-Typ-Siliziumsubstrat sein und das Material des n-Typ-Siliziumsubstrats kann mindestens eines von einem monokristallinen Silizium, polykristallinen Silizium, amorphem Silizium oder mikrokristallinen Silizium sein. Das n-Typ-Substrat 100 ist ein n-Typ-Halbleitersubstrat, das heißt, das n-Typ-Substrat 100 ist mit n-Typ-Dotierungsionen dotiert und die n-Typ-Dotierungsionen können eines von Phosphorionen, Arsenionen oder Antimonionen sein.

**[0073]** Unter Bezugnahme auf Figur 3 bis 7 ist ein p-Typ-Emitter 10 auf einer ersten Oberfläche des n-Typ-Substrats 100 gebildet, wobei der p-Typ-Emitter 10 einen ersten Abschnitt 11 und einen zweiten Abschnitt 12 umfasst, erste Pyramidenstrukturen 1 auf einer oberen Oberfläche des ersten Abschnitts 11 gebildet sind, eine Übergangsoberfläche jeweils auf mindestens einer Kante der ersten Pyramidenstruktur 1 gebildet ist, die Übergangsoberfläche mit zwei benachbarten geneigten Oberflächen von jeder ersten Pyramidenstruktur 1 verbunden ist und die Übergangsoberfläche in Bezug auf eine Mitte jeder ersten Pyramidenstruktur 1 konkav oder konvex ist. Eine Unterstruktur ist auf jeder von oberen Oberflächen von zumindest einem Teil der ersten Pyramidenstrukturen 1 gebildet und eine Form der Unterstruktur ist kugelförmig oder kugelähnlich. Zweite Pyramidenstrukturen 2 sind auf einer oberen Oberfläche des zweiten Abschnitts 12 gebildet, Kanten von jeder zweiten Pyramidenstruktur 2 sind gerade. Ein Schichtwiderstand des ersten Abschnitts 11 liegt in einem Bereich von 10 Ohm/sq bis 500 Ohm/sq, eine Dotierungskonzentration an der oberen Oberfläche des ersten Abschnitts 11 liegt in einem Bereich von  $1E^{17}$  Atom/cm<sup>3</sup> bis  $8E^{19}$  Atom/cm<sup>3</sup>, ein Schichtwiderstand des zweiten Abschnitts 12 liegt in einem Bereich von 100 Ohm/sq bis 1000 Ohm/sq und eine Dotierungskonzentration an der oberen Oberfläche des zweiten Abschnitts 12 liegt in einem Bereich von  $1E^{16}$  Atom/cm<sup>3</sup> bis  $5E^{19}$  Atom/cm<sup>3</sup>.

**[0074]** Eine Übergangsoberfläche ist jeweils auf mindestens einer Kante von jeder gebildeten ersten Pyramidenstruktur 1 gebildet, d. h. die mindestens eine Kante von jeder ersten Pyramidenstruktur 1 weist eine unregelmäßige Verformung auf, und eine kugelförmige oder kugelähnliche Unterstruktur ist auf jeder von oberen Oberflächen von mindestens einem Teil der ersten Pyramidenstrukturen 1 gebildet, derart dass die ersten Pyramidenstrukturen 1 Mikrodefekte aufweisen, und Änderungen in den Siliziumkristallen sind im ersten Abschnitt 11 des p-Typ-Emitters gebildet. Ferner sind Kanten von jeder zweiten Pyramidenstruktur 2 gerade, mit anderen Worten, es ist keine Verformung in den Kanten von jeder zweiten Pyramidenstruktur 2 vorhanden. Aufgrund der Verformung in der mindestens einen Kante von jeder ersten Pyramidenstruktur 1 und der Verformung in jeder von oberen Oberflächen von zumindest einem Teil der ersten Pyramidenstrukturen 1 liegt ein Schichtwiderstand des ersten Abschnitts 11 in einem Bereich von 10 Ohm/sq bis 500 Ohm/sq, und liegt eine Dotierungskonzentration an der oberen Oberfläche des ersten Abschnitts 11 in einem Bereich von  $1E^{17}$  Atom/cm<sup>3</sup> bis  $8E^{19}$  Atom/cm<sup>3</sup>. Da keine Verformung in den Kanten von jeder zweiten Pyramidenstruktur 2 vorhanden ist, liegt ein Schichtwiderstand des zweiten Abschnitts 12 in einem Bereich von 100 Ohm/sq bis 1000 Ohm/sq und eine Dotierungskonzentration an der oberen Oberfläche des zweiten Abschnitts 12 liegt in einem Bereich von  $1E^{16}$  Atom/cm<sup>3</sup> bis  $5E^{19}$  Atom/cm<sup>3</sup>. Es ist offensichtlich, dass der Schichtwiderstand des ersten Abschnitts 11 viel niedriger ist als der Schichtwiderstand des zweiten Abschnitts 12, aber die Dotierungskonzentration an der oberen Oberfläche des ersten Abschnitts 11 unterscheidet sich nicht viel von der Dotierungskonzentration an der oberen Oberfläche des zweiten Abschnitts 12. Es ist ersichtlich, dass aufgrund der Mikrodefekte der ersten Pyramidenstrukturen 1 der

Schichtwiderstand des ersten Abschnitts 11 viel niedriger ist als der Schichtwiderstand des zweiten Abschnitts 12, wodurch der ohmsche Kontakt des ersten Abschnitts 11 des p-Typ-Emitters 10 in hohem Maße verbessert wird. Gleichzeitig wird die Dotierungskonzentration des ersten Abschnitts 11 des p-Typ-Emitters 10 niedrig gehalten, derart dass die Erzeugungen von Rekombinationszentren im ersten Abschnitt 11 des p-Typ-Emitters 10 vermindert werden können, der gute Passivierungseffekt des p-Typ-Emitters 10 aufrechterhalten werden kann und die Erzeugungen von Auger-Rekombination vermindert werden können. Auf diese Weise kann die photoelektrische Umwandlungsleistung der Solarzelle verbessert werden.

**[0075]** In einigen Ausführungsformen umfasst das Verfahren zum Bilden des p-Typ-Emitters 10 die folgenden Vorgänge.

**[0076]** Unter Bezugnahme auf Figur 3 wird ein n-Typ-Ausgangssubstrat 20 bereitgestellt und das n-Typ-Ausgangssubstrat 20 wird als eine Grundlage zum Bilden des n-Typ-Substrats 100 und des p-Typ-Emitters 10 verwendet. Daher können die Materialien des n-Typ-Ausgangssubstrats 20 und des n-Typ-Substrats 100 gleich sein.

**[0077]** In einigen Ausführungsformen kann die erste Oberfläche des n-Typ-Ausgangssubstrats 20 als eine texturierte Pyramidenoberfläche gestaltet sein, derart dass der Reflexionsgrad einer ersten Oberfläche des n-Typ-Ausgangssubstrats 20 für einfallendes Licht niedrig und die Absorptions- und Nutzungsrate von Licht hoch ist. In einigen Ausführungsformen ist das n-Typ-Ausgangssubstrat 20 ein n-Typ-Ausgangshalbleitersubstrat, das heißt, das n-Typ-Ausgangssubstrat 20 ist mit n-Typ-Dotierungen dotiert und die n-Typ-Dotierungen können Phosphorionen, Arsenionen oder Antimonionen sein.

**[0078]** Das Verfahren zum Bilden des p-Typ-Emitters 10 umfasst unter Bezugnahme auf Figur 4 und 5 ferner das Abscheiden einer dreiwertigen Dotierungsquelle auf einer oberen Oberfläche des n-Typ-Ausgangssubstrats 20. Die dreiwertige Dotierungsquelle umfasst ein dreiwertiges Element. Die dreiwertige Dotierungsquelle, die sich auf der oberen Oberfläche des n-Typ-Ausgangssubstrats 20 befindet, wird verwendet, um anschließend in das n-Typ-Ausgangssubstrat 20 diffundiert zu werden, um den p-Typ-Emitter 10 zu bilden. Die dreiwertige Dotierungsquelle ist gestaltet, um ein dreiwertiges Element zu umfassen, d. h. das n-Typ-Ausgangssubstrat 20 wird mit einem einzigen Element dotiert, derart dass der gebildete p-Typ-Emitter 10 ein Element eines einzigen Typs umfasst und daher eine hocheffiziente Dotierungsschicht wird. Sie ist so gestaltet, dass kein Verunreinigungselement im ersten Abschnitt 11 des p-Typ-Emitters 10 und zweiten Abschnitt 12 des p-Typ-Emitters 10 vorhanden ist oder eine Menge des Verunreinigungselements sehr gering ist. Auf diese Weise kann das Problem, dass Rekombination von Ladungsträgern aufgrund der Tatsache, dass das Verunreinigungselement, ein Rekombinationszentrum wird, vermieden werden. In einigen Ausführungsformen kann die dreiwertige Dotierungsquelle eine Borquelle sein und kann zum Beispiel Bortrichlorid oder Bortribromid sein.

**[0079]** Unter Bezugnahme auf Figur 4 umfasst das Abscheiden der dreiwertigen Dotierungsquelle auf der oberen Oberfläche des n-Typ-Ausgangssubstrats 20 das Bilden einer ersten Dünnschicht 110. Die erste Dünnschicht 110 umfasst die dreiwertige Dotierungsquelle und mindestens eines von Bor, Sauerstoff, Silizium oder Chlor. Eine Abscheidungsdauer liegt in einem Bereich von 20 s bis 800 s und eine Temperatur liegt in einem Bereich von 600 °C bis 900 °C. In einigen Ausführungsformen können, wenn die dreiwertige Dotierungsquelle eine Borquelle ist, die Hauptkomponenten der ersten Dünnschicht 110 Siliziumoxid und Boroxid umfassen und die dreiwertige Dotierungsquelle kann in der ersten Dünnschicht 110 in einer Form von Boroxid gespeichert sein. Da Siliziumoxid eine hohe Härte aufweist, kann es das n-Typ-Ausgangssubstrat 20 während des Dotierungsprozesses schützen.

**[0080]** Darüber hinaus aggregieren sich, da die Dicke der ersten Dünnschicht 110 relativ gering ist, wenn eine relativ dünne erste Dünnschicht 110 relativ viele dreiwertige Dotierungsquellen umfasst, die dreiwertigen Dotierungsquellen in der ersten Dünnschicht 110, wodurch die Konzentration der dreiwertigen Dotierungsquelle erhöht wird. Auf diese Weise wird, wenn die dreiwertige Dotierungsquelle anschließend durch den Dotierungsprozess in das n-Typ-Ausgangssubstrat 20 diffundiert wird, der Dotierungsprozess erleichtert und es ist einfacher, den ers-

ten Abschnitt 11 des p-Typ-Emitters 10 mit relativ hoher Dotierungskonzentration zu bilden, wodurch der Schichtwiderstand des ersten Abschnitts 11 des p-Typ-Emitters 10 vermindert wird. Darüber hinaus wird, da die Dicke der ersten Dünnschicht 110 relativ gering ist, die dreiwertige Dotierungsquelle, die in der ersten Dünnschicht 110 aufgenommen werden kann, nicht zu viel, derart dass verhindert werden kann, dass übermäßige dreiwertige Dotierungsquellenelemente in das n-Typ-Ausgangssubstrat 20 dotiert werden. Auf diese Weise kann das Problem, dass relativ viele dreiwertige Dotierungsquellenelemente aufgrund der Tatsache, dass zu viele dreiwertige Dotierungsquellenelemente in dem n-Typ-Ausgangssubstrat 20 enthalten sind, starke Rekombinationszentren werden, was zu einer schlechten Passivierungsfähigkeit des gebildeten ersten Abschnitts 11 des p-Typ-Emitters 10 führt, verhindert werden.

**[0081]** In einigen Ausführungsformen kann ein Verfahren zum Bilden der ersten Dünnschicht 110 das Abscheiden einer dreiwertigen Dotierungsquelle auf der ersten Oberfläche des n-Typ-Ausgangssubstrats 20 umfassen. In einigen Ausführungsformen kann Bortrichlorid als die dreiwertige Dotierungsquelle auf der ersten Oberfläche des n-Typ-Ausgangssubstrats 20 durch chemische Gasphasenabscheidung oder Aufschleudern abgeschieden werden.

**[0082]** Als ein Beispiel kann das Verfahren zum Bilden der ersten Dünnschicht 110 Folgendes umfassen: Durchführen eines Schiffchenzuführprozesses auf dem n-Typ-Ausgangssubstrat 20; nach dem Schiffchenzuführprozess des n-Typ-Ausgangssubstrats 20, Erhöhen einer Temperatur auf eine erste voreingestellte Temperatur und Abscheiden einer dreiwertigen Dotierungsquelle auf der ersten Oberfläche des n-Typ-Ausgangssubstrats 20, wobei die erste voreingestellte Temperatur 500 °C bis 900 °C betragen kann; dann Erhöhen der Temperatur auf eine zweite voreingestellte Temperatur, wobei die zweite voreingestellte Temperatur höher als die erste voreingestellte Temperatur ist, zum Beispiel kann die zweite voreingestellte Temperatur 900 °C bis 1300 °C betragen; und Durchführen eines Übergangsdruckverfahrens in einer Stickstoffatmosphäre, wodurch die Dichte und Gleichförmigkeit der gebildeten ersten Dünnschicht 110 verbessert werden können. In einigen Ausführungsformen kann beim Abscheiden der dreiwertigen Dotierungsquelle eine kleine Menge von Sauerstoff, zum Beispiel 100 sccm bis 2000 sccm, eingeführt werden, was zur weiteren Bildung einer ersten Dünnschicht 110 mit relativ hoher Dichte führt.

**[0083]** Unter Bezugnahme auf Figur 5 wird nach dem Abscheiden der dreiwertigen Dotierungsquelle ein voreingestellter Bereich der oberen Oberfläche des n-Typ-Ausgangssubstrats 20 unter Verwendung eines Prozesses zur Behandlung mit einer äußeren Energiequelle behandelt und die durch den Prozess zur Behandlung mit der äußeren Energiequelle behandelte dreiwertige Dotierungsquelle wird in ein Inneres des n-Typ-Ausgangssubstrats 20 diffundiert, um den ersten Abschnitt 11 des p-Typ-Emitters 10 in dem voreingestellten Bereich des n-Typ-Ausgangssubstrats 20 zu bilden und eine obere Oberfläche des ersten Abschnitts 11 des p-Typ-Emitters 10 liegt von dem n-Typ-Ausgangssubstrat 20 frei. Der Prozess zur Behandlung mit der äußeren Energiequelle wird auf dem voreingestellten Bereich durchgeführt, derart dass die dreiwertige Dotierungsquelle in dem voreingestellten Bereich der ersten Dünnschicht 110 in das Innere des n-Typ-Ausgangssubstrats 20 diffundiert wird. Gleichzeitig wird mit dem Prozess der Behandlung mit der äußeren Energiequelle die Struktur der voreingestellten Region an der oberen Oberfläche des n-Typ-Ausgangssubstrats 20 geändert, um die ersten Pyramidenstrukturen 1 zu bilden. Es sei erwähnt, dass die Struktur des n-Typ-Ausgangssubstrats 20 eine regelmäßige vierflächige Struktur ist, bevor der Prozess der Behandlung mit der äußeren Energiequelle durchgeführt wird. Nach dem Prozess der Behandlung mit der äußeren Energiequelle verformt sich mindestens eine Kante von jeder ersten Pyramidenstruktur 1, um eine Übergangsoberfläche zu bilden, und eine Unterstruktur wird auf jeder von oberen Oberflächen von zumindest einem Teil der ersten Pyramidenstrukturen gebildet. Nachdem der voreingestellte Bereich des n-Typ-Ausgangssubstrats 20 mit der dreiwertigen Dotierungsquelle dotiert wurde, weist die obere Oberfläche des gebildeten ersten Abschnitts 11 des p-Typ-Emitters 10 die ersten Pyramidenstrukturen 1 auf. Auf diese Weise kann ein tiefer Energiepegel im ersten Abschnitt 11 des p-Typ-Emitters 10 gebildet werden, somit kann der Schichtwiderstand des ersten Abschnitts 11 des p-Typ-Emitters 10 vermindert werden.

**[0084]** In einigen Ausführungsformen umfasst der Prozess der Behandlung mit der äußeren Energiequelle einen Laserdotierungsprozess. Im Laserdotierungsprozess liegt eine Wellenlänge des Laserlichts in einem Bereich von 300 nm bis 1000 nm, zum Beispiel 300 nm bis 500 nm, 500 nm bis 750 nm, 750 nm bis 900 nm oder 900 nm bis 1000 nm. Durch Steuern einer Fokusposition und Wellenlänge der Laserparameter können strukturelle Morphologien an unterschiedlichen Positionen der ersten Pyramidenstrukturen 1 geändert werden. Darüber hinaus lassen sich aufgrund des einfachen Betriebs des Laserprozesses die Laserparameter einfach steuern, derart dass die Morphologien der gebildeten Pyramidenstrukturen 1 sind, wie erwartet. Durch Einstellen der Wellenlänge und Energiedichte des Laserlichts innerhalb dieses Bereichs tritt Verformung auf mindestens einer Kante von jeder ersten Pyramidenstruktur 1 auf und eine kugelförmige oder kugelähnliche Unterstruktur wird auf jeder von oberen Oberflächen von zumindest einem Teil der ersten Pyramidenstrukturen 1 gebildet. Aufgrund der Mikrodefekte der gebildeten ersten Pyramidenstrukturen 1 werden Kristalländerungen im ersten Abschnitt 11 des p-Typ-Emitters 10 gebildet, wodurch ein Defektenergiepegel gebildet wird, derart dass die Dotierungskonzentration des ersten Abschnitts 11 des p-Typ-Emitters 10 niedrig gehalten werden kann, während der Schichtwiderstand des ersten Abschnitts 11 in hohem Maße vermindert werden kann. Auf diese Weise können nicht nur der ohmsche Kontakt in hohem Maße verbessert, sondern auch ein guter Passivierungseffekt des ersten Abschnitts 11 des p-Typ-Emitters 10 aufrechterhalten werden und die Kurzschlussspannung und der Leerlaufstrom der Solarzelle können verbessert werden.

**[0085]** In einer anderen Ausführungsform kann der Prozess der Behandlung mit der äußeren Energiequelle auch Plasmabestrahlung oder einen gerichteten Ionenimplantationsprozess umfassen.

**[0086]** In einigen Ausführungsformen umfasst das Verfahren nach dem Bilden des ersten Abschnitts 11 des p-Typ-Emitters 10 Folgendes: Durchführen eines Reinigungsvorgangs auf der ersten Oberfläche des n-Typ-Ausgangssubstrats 20 zum Entfernen der ersten Dünnschicht 110. Auf diese Weise können die verbleibenden dreiwertigen Dotierungsquellen in der ersten Dünnschicht 110 und die absorbierten Verunreinigungen auf der Oberfläche des n-Typ-Ausgangssubstrats 20 entfernt werden, was zur Verhinderung von Ableitung führt. Ferner enthält die erste Dünnschicht 110 eine große Anzahl an dreiwertigen Dotierungsquellen und diese dreiwertigen Dotierungsquellen werden in dem nachfolgenden Hochtemperaturprozess zum Bilden der zweiten Dünnschicht in nicht aktivierte dreiwertige Dotierungsquellen, wie beispielsweise nicht aktiviertes Bor, umgewandelt. Das Vorhandensein von nicht aktivierten dreiwertigen Dotierungsquellen wird die Rekombination von Ladungsträgern auf der Oberfläche des n-Typ-Ausgangssubstrats 20 erhöhen, wodurch der photoelektrische Umwandlungswirkungsgrad der Solarzelle beeinträchtigt wird. Daher kann das Entfernen der ersten Dünnschicht 110 vor dem Vorgang des Bildens der zweiten Dünnschicht auch das Vermindern des Gehalts der nicht aktivierten dreiwertigen Dotierungsquellen auf der Oberfläche des n-Typ-Ausgangssubstrats 20 nach dem anschließenden Bilden der zweiten Dünnschicht vermindern, wodurch die Rekombination von Ladungsträgern auf der Oberfläche des n-Typ-Ausgangssubstrats 20 vermindert wird und der photoelektrische Umwandlungswirkungsgrad der Solarzelle verbessert wird. Als ein Beispiel kann der Reinigungsvorgang das Reinigen der Oberfläche des n-Typ-Ausgangssubstrats 20 mit Alkalilösung oder Säurelösung umfassen, wobei die Alkalilösung mindestens eines von wässriger KOH- oder H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-Lösung sein kann und die Säurelösung mindestens eines von wässriger HF- oder HCl-Lösung sein kann.

**[0087]** Nach dem Bilden des ersten Abschnitts 11 des p-Typ-Emitters 10 wird unter Bezugnahme auf Figur 6 bis 7 eine Hochtemperaturbehandlung auf dem n-Typ-Ausgangssubstrat 20 durchgeführt, um den p-Typ-Emitter 10 im n-Typ-Ausgangssubstrat 20 zu bilden, und die obere Oberfläche des p-Typ-Emitters 10 liegt von dem n-Typ-Ausgangssubstrat 20 frei. Als ein Beispiel wird das n-Typ-Substrat 100 in einem Bereich des n-Typ-Ausgangssubstrats 20 ohne den p-Typ-Emitter 10 gebildet und der zweite Abschnitt 12 des p-Typ-Emitters 10 wird in einem Bereich des p-Typ-Emitters 10 ohne den voreingestellten Bereich gebildet. Da der Prozess zur Behandlung mit der äußeren Energiequelle nur auf der Oberfläche des voreingestellten Bereichs des n-Typ-Ausgangssubstrats 20 durchgeführt wird, werden die dreiwertigen Dotierungsquellen in der ersten



Dünnschicht 110, die dem voreingestellten Bereich entsprechen, in das Innere des n-Typ-Ausgangssubstrats 20 diffundiert. Somit ist die Übergangstiefe des gebildeten ersten Abschnitts 11 des p-Typ-Emitters 10 größer als die Übergangstiefe des zweiten Abschnitts 12 des p-Typ-Emitters 10. Somit kann die Metallelektrode angeordnet sein, um in elektrischer Verbindung mit dem ersten Abschnitt 11 des p-Typ-Emitters 10 zu sein. Auf diese Weise kann das Problem, dass die Paste zum Bilden der Metallelektrode in den p-Typ-Emitter 10 eindringt und das n-Typ-Ausgangssubstrat 20 während des Sinterprozesses direkt kontaktiert, verhindert werden. Darüber hinaus ist die Übergangstiefe des zweiten Abschnitts 12 gestaltet, um flach zu sein, das heißt, die Dicke des zweiten Abschnitts 12 des p-Typ-Emitters 10 ist klein, derart dass die Anzahl der Dotierungselemente im zweiten Abschnitt 12 niedriger als die Anzahl der Dotierungselemente im ersten Abschnitt 11 ist, das heißt, die Dotierungskonzentration des zweiten Abschnitts 12 des p-Typ-Emitters 10 ist niedriger. Daher weist im Vergleich zum ersten Abschnitt 11 des p-Typ-Emitters 10 der zweite Abschnitt 12 des p-Typ-Emitters 10 einen besseren Passivierungseffekt auf, was zur Verminderung der Rekombination von Ladungsträgern und zur Verbesserung der Leerlaufspannung und des Kurzschlussstroms der Solarzelle führt.

**[0088]** Nach dem Durchführen der Hochtemperaturbehandlung auf dem n-Typ-Ausgangssubstrat 20 wird ein Teil der dreiwertigen Dotierungsquellen in das n-Typ-Ausgangssubstrat 20 dotiert, derart dass ein Teil des n-Typ-Ausgangssubstrats 20 in den zweiten Abschnitt 12 des p-Typ-Emitters 10 umgewandelt wird. Das heißt, der Abschnitt des n-Typ-Ausgangssubstrats 20 ohne den ersten Abschnitt 11 des p-Typ-Emitters 10 und den zweiten Abschnitt 12 des p-Typ-Emitters 10 entspricht dem n-Typ-Substrat 100.

**[0089]** Unter Bezugnahme auf Figur 6 wird in einigen Ausführungsformen beim Vorgang des Durchführens von Hochtemperaturbehandlung auf dem n-Typ-Ausgangssubstrat 20 Sauerstoff bei einer Strömungsrate von 500 sccm bis 50000 sccm während einer Dauer in einem Bereich von 5 min bis 300 min und unter einer Temperatur im Bereich von 800 °C bis 1200 °C eingeführt, um eine zweite Dünnschicht 120 zu bilden. Eine Dicke der zweiten Dünnschicht 120 ist kleiner als eine Dicke der ersten Dünnschicht 110. Die Menge des im Prozess des Bildens der zweiten Dünnschicht 120 eingeführten Sauerstoffs ist relativ groß, derart dass der Sauerstoff mit mehr dreiwertigen Dotierungsquellen reagieren kann, somit ist die Dicke der gebildeten zweiten Dünnschicht 120 größer als die Dicke der ersten Dünnschicht 110. Auf diese Weise aggregieren sich einerseits, wenn die dünnere erste Dünnschicht 110 mehr dreiwertige Dotierungsquellen umfasst, die dreiwertigen Dotierungsquellen in der ersten Dünnschicht 110, wodurch die Konzentration der dreiwertigen Dotierungsquellen erhöht wird, was zur Laserdotierung führt, und da die erste Dünnschicht 110 relativ dünn ist, ist es für das Laserlicht einfach, in das n-Typ-Ausgangssubstrat 20 einzudringen. Andererseits ist die zweite Dünnschicht 120 dicker, wodurch sichergestellt werden kann, dass die Menge an dreiwertigen Dotierungsquellen, die von der zweiten Dünnschicht 120 in einem Bereich ohne den voreingestellten Bereich der ersten Oberfläche des n-Typ-Ausgangssubstrats 20 absorbiert werden, relativ groß ist. Auf diese Weise können die Dotierungskonzentration an der oberen Oberfläche des ersten Abschnitts 11 des p-Typ-Emitters 10 und die Dotierungskonzentration an der oberen Oberfläche des zweiten Abschnitts 12 des p-Typ-Emitters 10 vermindert werden und die Passivierungsleistung kann verbessert werden.

**[0090]** Unter Bezugnahme auf Figur 7 umfasst das Verfahren in einigen Ausführungsformen ferner Folgendes: Durchführen des Reinigungsvorgangs auf dem n-Typ-Ausgangssubstrat 20 zum Entfernen der zweiten Dünnschicht 120; Bilden einer Antireflexionsschicht 130 auf der ersten Oberfläche des n-Typ-Ausgangssubstrats 20 und die Antireflexionsschicht 130 befindet sich auf der oberen Oberfläche des p-Typ-Emitters 10. In einigen Ausführungsformen kann die Antireflexionsschicht 130 eine einschichtige Struktur oder eine mehrschichtige Struktur sein und das Material der Antireflexionsschicht 130 kann mindestens eines von Magnesiumfluorid, Siliziumoxid, Aluminiumoxid, Siliziumoxinitrid, Siliziumnitrid oder Titanoxid sein. In einigen Ausführungsformen kann die Antireflexionsschicht 130 durch ein Verfahren zur plasmaunterstützten chemischen Gasphasenabscheidung (Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition - PECVD) gebildet werden.

**[0091]** Unter Bezugnahme auf Figur 8 umfasst das Verfahren in einigen Ausführungsformen fer-

ner Folgendes: Bilden einer ersten Metallelektrode 140, die elektrisch mit dem ersten Abschnitt 11 des p-Typ-Emitters 10 verbunden wird. Die erste Metallelektrode 140 befindet sich auf der ersten Oberfläche des n-Typ-Ausgangssubstrats 20. Da der Schichtwiderstand des ersten Abschnitts 11 des p-Typ-Emitters 10 niedrig ist, wird die erste Metallelektrode 140 angeordnet, um elektrisch mit dem ersten Abschnitt 11 des p-Typ-Emitters 10 verbunden zu werden. Auf diese Weise kann der Kontaktwiderstand zwischen der ersten Metallelektrode 140 und dem ersten Abschnitt 11 des p-Typ-Emitters 10 vermindert werden, wodurch der Transport von Ladungsträgern in der ersten Metallelektrode 140, die in die Antireflexionsschicht 130 eindringt, erleichtert wird. Grund hierfür ist, dass die Ladungsträger im ersten Abschnitt 11 des p-Typ-Emitters 10 und zweiten Abschnitt 12 des p-Typ-Emitters 10 zur ersten Metallelektrode 140 im Kontakt mit dem ersten Abschnitt 11 des p-Typ-Emitters 10 transportiert werden und von ihr eingefangen werden. Das heißt, es ist erwünscht, dass die Elektronen im ersten Abschnitt 11 und zweiten Abschnitt 12 zur ersten Metallelektrode 140 im Kontakt mit dem ersten Abschnitt 11 des p-Typ-Emitters 10 transportiert werden. Daher kann der Transport von Ladungsträgern durch die Verbesserung des Kontaktwiderstands zwischen der ersten Metallelektrode 140 und dem ersten Abschnitt 11 des p-Typ-Emitters 10 in hohem Maße verbessert werden.

**[0092]** In einigen Ausführungsformen umfasst das Verfahren zum Bilden der ersten Metallelektrode 140 Folgendes: Drucken leitfähiger Paste auf eine obere Oberfläche der Antireflexionsschicht 130 im voreingestellten Bereich, das leitfähige Material in der leitfähigen Paste kann mindestens eines von Silber, Aluminium, Kupfer, Zinn, Gold, Blei oder Nickel sein; und Sintern der leitfähigen Paste, zum Beispiel kann das Sintern unter einer Spitzentemperatur von 750 °C bis 850 °C durchgeführt werden, um in die Antireflexionsschicht 130 einzudringen, um die erste Metallelektrode 140 zu bilden.

**[0093]** Unter Bezugnahme auf Figur 9 werden eine Tunnelschicht 150 und eine dotierte leitfähige Schicht 160 über einer zweiten Oberfläche des n-Typ-Substrats 100 in einer Richtung weg von dem n-Typ-Substrat 100 gebildet.

**[0094]** Die Tunnelschicht 150 wird zum Ausführen der Grenzflächenpassivierung der zweiten Oberfläche des n-Typ-Substrats 100 verwendet. In einigen Ausführungsformen kann die Tunnelschicht 150 unter Verwendung eines Abscheidungsprozesses, wie beispielsweise eines chemischen Gasphasenabscheidungsprozesses, gebildet werden. In einigen anderen Ausführungsformen kann die Tunnelschicht 150 unter Verwendung eines Prozesses zur Erzeugung vor Ort gebildet werden. Als ein Beispiel kann in einigen Ausführungsformen das Material der Tunnelschicht 150 ein beliebiges von Siliziumoxid, Magnesiumfluorid, amorphem Silizium, polykristallinem Silizium, Siliziumcarbid, Siliziumnitrid, Siliziumoxinitrid, Aluminiumoxid und Titanoxid sein.

**[0095]** Die dotierte leitfähige Schicht 160 wird dazu verwendet, Feldpassivierung zu bilden. In einigen Ausführungsformen kann das Material der dotierten leitfähigen Schicht 160 dotiertes Silizium sein. In einigen Ausführungsformen umfassen die dotierte leitfähige Schicht 160 und das n-Typ-Substrat 100 Dotierungselemente mit dem gleichen Leitfähigkeitstyp, das dotierte Silizium kann eines oder mehrere von n-Typ-dotiertem Polysilizium, n-Typ-dotiertem mikrokristallinem Silizium, n-Typ-dotiertem amorphem Silizium und Siliziumkarbid umfassen. In einigen Ausführungsformen kann die dotierte leitfähige Schicht 160 unter Verwendung eines Abscheidungsprozesses gebildet werden. Als ein Beispiel kann intrinsisches Polysilizium auf der Oberfläche der Tunnelschicht 150 entfernt von dem n-Typ-Substrat 100 abgeschieden werden, um eine Polysiliziumschicht zu bilden, und Phosphorionen können auf die Arten der Ionenimplantation und Quelldiffusion dotiert werden, um eine n-Typ-dotierte Polysiliziumschicht zu bilden. Die n-Typ-dotierte Polysiliziumschicht dient als die dotierte leitfähige Schicht 160.

**[0096]** Unter Bezugnahme auf Figur 1 umfasst das Verfahren ferner das Bilden einer ersten Passivierungsschicht 170 auf einer Oberfläche der dotierten leitfähigen Schicht 160 entfernt von dem n-Typ-Substrat 100. In einigen Ausführungsformen kann das Material der ersten Passivierungsschicht 170 eines oder mehrere von Magnesiumfluorid, Siliziumoxid, Aluminiumoxid, Siliziumoxinitrid, Siliziumnitrid und Titanoxid sein. In einigen Ausführungsformen kann die erste Passivierungsschicht 170 eine einschichtige Struktur sein. In einigen anderen Ausführungsformen kann

die erste Passivierungsschicht 170 eine mehrschichtige Struktur sein. Als ein Beispiel kann die erste Passivierungsschicht 170 unter Verwendung eines PECVD-Verfahrens gebildet werden.

**[0097]** In einigen Ausführungsformen umfasst das Verfahren ferner das Bilden einer zweiten Metallelektrode 180, die in die erste Passivierungsschicht 170 eindringt, um eine elektrische Verbindung mit der dotierten leitfähigen Schicht 160 zu bilden. Als ein Beispiel kann das Verfahren zum Bilden der zweiten Metallelektrode 180 das gleiche wie das Verfahren zum Bilden der ersten Metallelektrode 140 sein und das Material der ersten Metallelektrode 140 kann das gleiche wie das Material der zweiten Metallelektrode 180 sein.

**[0098]** Im Herstellungsverfahren für eine Solarzelle, wie durch die vorhergehenden Ausführungsformen bereitgestellt, weist die mindestens eine Kante, die von jeder ersten Pyramidenstruktur 1 gebildet wird, eine unregelmäßige Verformung auf, und eine kugelförmige oder kugelähnliche Unterstruktur ist auf jeder von oberen Oberflächen von mindestens einem Teil der ersten Pyramidenstrukturen 1 gebildet, derart dass die ersten Pyramidenstrukturen 1 Mikrodefekte aufweisen, und Änderungen in den Siliziumkristallen sind im ersten Abschnitt 11 des p-Typ-Emitters gebildet. Ferner sind Kanten von jeder zweiten Pyramidenstruktur 2 gerade, mit anderen Worten, es ist keine Verformung in den Kanten von jeder zweiten Pyramidenstruktur 2 vorhanden. Aufgrund der Mikrodefekte der ersten Pyramidenstrukturen 1 ist der Schichtwiderstand des ersten Abschnitts 11 viel niedriger als der Schichtwiderstand des zweiten Abschnitts 12, wodurch der ohmsche Kontakt des ersten Abschnitts 11 des p-Typ-Emitters 10 in hohem Maße verbessert wird. Gleichzeitig wird die Dotierungskonzentration des ersten Abschnitts 11 des p-Typ-Emitters 10 niedrig gehalten, derart dass die Erzeugungen von Rekombinationszentren im ersten Abschnitt 11 des p-Typ-Emitters 10 vermindert werden können, der gute Passivierungseffekt des p-Typ-Emitters 10 aufrechterhalten werden kann und die Erzeugungen von Auger-Rekombination vermindert werden können. Auf diese Weise kann die photoelektrische Umwandlungsleistung der Solarzelle verbessert werden.

#### VERGLEICHBSBEISPIEL

**[0099]** Das Vergleichsbeispiel stellt eine Solarzelle bereit, die Folgendes umfasst: ein Substrat; einen Emitter, der auf einer ersten Oberfläche des Substrats gebildet ist, der Emitter umfasst einen ersten Abschnitt 11 (siehe Figur 1) und einen zweiten Abschnitt 12 (siehe Figur 1), eine obere Oberfläche des ersten Abschnitts 11 umfasst eine dritte Pyramidenstruktur, deren Kanten gerade sind, und eine obere Oberfläche des zweiten Abschnitts 12 umfasst eine vierte Pyramidenstruktur, deren Kanten gerade sind. Eine Dotierungskonzentration des ersten Abschnitts 11 ist höher als eine Dotierungskonzentration des zweiten Abschnitts 12 und ein Schichtwiderstand des ersten Abschnitts 11 ist niedriger als ein Schichtwiderstand des zweiten Abschnitts 12.

**[00100]** Im Vergleich mit der Struktur der Solarzelle gemäß Ausführungsformen der vorliegenden Offenbarung wie in Figur 1 gezeigt, besteht der Unterschied zwischen der Struktur der Solarzelle gemäß dem Vergleichsbeispiel und derjenigen gemäß den Ausführungsformen der vorliegenden Offenbarung darin, dass im Vergleichsbeispiel die Kanten der dritten Pyramidenstruktur auf der oberen Oberfläche des ersten Abschnitts gerade sind. Basierend auf dem Vergleichsexperiment werden die Parameter gemäß den Ausführungsformen der vorliegenden Offenbarung und diejenigen gemäß dem Vergleichsbeispiel verglichen, wie in Tabelle 1 gezeigt:

	Leerlaufspannung Uoc (V)	Kurzschlussstromdichte Jsc (mA/cm <sup>2</sup> )	Füllfaktor FF (%)	Umwandlungswirkungsgrad Eff (%)
Ausführungsformen der vorliegenden Offenbarung	0,720	41,81	83,3	25,07
Vergleichsbeispiel	0,713	41,62	83,2	24,69

Tabelle 1

**[00101]** Aus Tabelle 1 ist ersichtlich, dass im Vergleich zum Vergleichsbeispiel jedes von der Leerlaufspannung, der Kurzschlussstromdichte, dem Füllfaktor und dem Umwandlungswirkungsgrad der Solarzelle gemäß Ausführungsformen der vorliegenden Offenbarung höher ist, derart dass die Solarzelle gemäß Ausführungsformen der vorliegenden Offenbarung einen besseren Umwandlungswirkungsgrad aufweist. Es ist ersichtlich, dass aufgrund der Mikrodefekte der ersten Pyramidenstrukturen 1 der Schichtwiderstand des ersten Abschnitts 11 (siehe Figur 1) in hohem Maße vermindert wird, wodurch der ohmsche Kontakt des ersten Abschnitts 11 des p-Typ-Emitters 10 (siehe Figur 1) in hohem Maße verbessert wird. Gleichzeitig ist die Dotierungskonzentration des ersten Abschnitts 11 des p-Typ-Emitters 10 relativ niedrig, derart dass die Erzeugungen von Rekombinationszentren im ersten Abschnitt 11 des p-Typ-Emitters 10 vermindert werden können, ein guter Passivierungseffekt des p-Typ-Emitters 10 aufrechterhalten werden kann und die Erzeugungen von Auger-Rekombination vermindert werden können. Auf diese Weise kann die photoelektrische Umwandlungsleistung der Solarzelle verbessert werden.

**[00102]** Obgleich die vorliegende Offenbarung mit Ausführungsbeispielen offenbart wird, werden diese nicht zum Einschränken der Patentansprüche verwendet. Jeder Fachmann kann einige mögliche Änderungen und Abwandlungen vornehmen, ohne vom Gedanken der vorliegenden Offenbarung abzuweichen. Der Schutzbereich der vorliegenden Offenbarung ist abhängig vom durch die Patentansprüche definierten Schutzzumfang.

**[00103]** Der Fachmann wird verstehen, dass die vorhergehenden Ausführungsformen beispielhafte Implementierungen zum Ausführen der vorliegenden Offenbarung sind. Daher ist der Patentschutzbereich der vorliegenden Offenbarung immer noch abhängig vom durch die beigefügten Patentansprüche begrenzten Schutzzumfang.

## Ansprüche

1. Solarzelle, umfassend:  
ein n-Typ-Substrat (100);  
einen p-Typ-Emitter (10), der auf einer ersten Oberfläche des n-Typ-Substrats (100) gebildet ist; und  
eine Tunnelschicht (150) und eine dotierte leitfähige Schicht (160), die der Reihe nach über einer zweiten Oberfläche des n-Typ-Substrats (100) in einer Richtung weg von dem n-Typ-Substrat (100) gebildet sind;  
dadurch gekennzeichnet, dass der p-Typ-Emitter (10) einen ersten Abschnitt (11) und einen zweiten Abschnitt (12) umfasst, der erste Abschnitt (11) erste Pyramidenstrukturen (1) aufweist, die auf einer oberen Oberfläche des ersten Abschnitts (11) gebildet sind, und der zweite Abschnitt (12) zweite Pyramidenstrukturen (2) aufweist, die auf einer oberen Oberfläche des zweiten Abschnitts (12) gebildet sind;  
wobei eine Übergangsoberfläche jeweils auf mindestens einer Kante jeder ersten Pyramidenstruktur (1) gebildet ist, die Übergangsoberfläche mit zwei benachbarten geneigten Oberflächen von jeder ersten Pyramidenstruktur (1) verbunden ist und die Übergangsoberfläche in Bezug auf eine Mitte jeder ersten Pyramidenstruktur (1) konkav oder konvex ist;  
wobei eine Unterstruktur auf jeder von oberen Oberflächen von zumindest einem Teil der ersten Pyramidenstrukturen (1) gebildet ist und eine Form der Unterstruktur kugelförmig oder kugelhähnlich ist;  
wobei Kanten von jeder zweiten Pyramidenstruktur (2) gerade sind; und  
wobei ein Schichtwiderstand des ersten Abschnitts (11) in einem Bereich von 10 Ohm/sq bis 500 Ohm/sq liegt, eine Dotierungskonzentration an der oberen Oberfläche des ersten Abschnitts (11) in einem Bereich von  $1\text{E}^{17}$  Atom/cm<sup>3</sup> bis  $8\text{E}^{19}$  Atom/cm<sup>3</sup> liegt; ein Schichtwiderstand des zweiten Abschnitts (12) in einem Bereich von 100 Ohm/sq bis 1000 Ohm/sq liegt und eine Dotierungskonzentration an der oberen Oberfläche des zweiten Abschnitts (12) in einem Bereich von  $1\text{E}^{16}$  Atom/cm<sup>3</sup> bis  $5\text{E}^{19}$  Atom/cm<sup>3</sup> liegt.
2. Solarzelle nach Anspruch 1, wobei ein Dotierungselement im ersten Abschnitt (11) des p-Typ-Emitters (10) von einem gleichen Leitfähigkeitstyp ist wie ein Dotierungselement im zweiten Abschnitt (12) des p-Typ-Emitters (10) und das Dotierungselement im ersten Abschnitt (11) und das Dotierungselement im zweiten Abschnitt (12) jeweils ein dreiwertiges Element sind; und  
wobei das Dotierungselement im ersten Abschnitt (11) und das Dotierungselement im zweiten Abschnitt (12) jeweils Bor oder Gallium umfassen.
3. Solarzelle nach Anspruch 1 oder 2, wobei der Schichtwiderstand des ersten Abschnitts (11) niedriger ist als der Schichtwiderstand des zweiten Abschnitts (12).
4. Solarzelle nach einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei die Dotierungskonzentration an der oberen Oberfläche des ersten Abschnitts (11) nicht niedriger ist als die Dotierungskonzentration an der oberen Oberfläche des zweiten Abschnitts (12).
5. Solarzelle nach einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei eine Übergangstiefe des ersten Abschnitts (11) nicht niedriger ist als eine Übergangstiefe des zweiten Abschnitts (12).
6. Solarzelle nach Anspruch 5, wobei ein Verhältnis der Übergangstiefe des ersten Abschnitts (11) zur Übergangstiefe des zweiten Abschnitts (12) nicht kleiner als 2; und wobei die Übergangstiefe des ersten Abschnitts (11) in einem Bereich von 0,2 µm bis 10 µm liegt und die Übergangstiefe des zweiten Abschnitts (12) in einem Bereich von 0,05 µm bis 5 µm liegt.
7. Solarzelle nach einem der Ansprüche 1 bis 6, wobei eine Differenz zwischen der Dotierungskonzentration an der oberen Oberfläche des ersten Abschnitts (11) und einer Dotierungskonzentration an einer unteren Oberfläche des ersten Abschnitts (11) in einem Bereich von  $8\text{E}^{19}$  Atom/cm<sup>3</sup> bis  $1\text{E}^{17}$  Atom/cm<sup>3</sup> liegt; oder  
eine Differenz zwischen der Dotierungskonzentration an der oberen Oberfläche des zweiten Abschnitts (12) und einer Dotierungskonzentration an einer unteren Oberfläche des zweiten

Abschnitts (12) in einem Bereich  $5E^{19}$  Atom/cm<sup>3</sup> bis  $1E^{16}$  Atom/cm<sup>3</sup> liegt.

8. Solarzelle nach einem der Ansprüche 1 bis 7, wobei zumindest ein Teil von mindestens einer geneigten Oberfläche von jeder ersten Pyramidenstruktur (1) in Bezug auf eine Mitte von jeder ersten Pyramidenstruktur (1) konkav oder konvex ist.
9. Solarzelle nach einem der Ansprüche 1 bis 8, die ferner eine erste Metallelektrode (140) umfasst, wobei die erste Metallelektrode (140) auf der ersten Oberfläche des n-Typ-Substrats gebildet ist und elektrisch mit dem ersten Abschnitt (11) des p-Typ-Emitters (10) verbunden ist; und  
wobei eine Breite der ersten Metallelektrode (140) kleiner oder gleich einer Breite des ersten Abschnitts (11) des p-Typ-Emitters (10) ist.
10. Photovoltaikmodul, dadurch gekennzeichnet, dass es Folgendes umfasst: mindestens eine Zellenfolge, die durch Verbinden einer Vielzahl von Solarzellen (101) nach einem der Ansprüche 1 bis 9 gebildet wird;  
mindestens eine Einkapselungsschicht (102), die dazu ausgestaltet ist, eine Oberfläche der mindestens einen Zellenfolge zu bedecken; und  
mindestens eine Abdeckplatte (103), die dazu ausgestaltet ist, eine Oberfläche der mindestens einen Einkapselungsschicht zu bedecken, die von der mindestens einen Zellenfolge abgewandt ist.

**Hierzu 4 Blatt Zeichnungen**

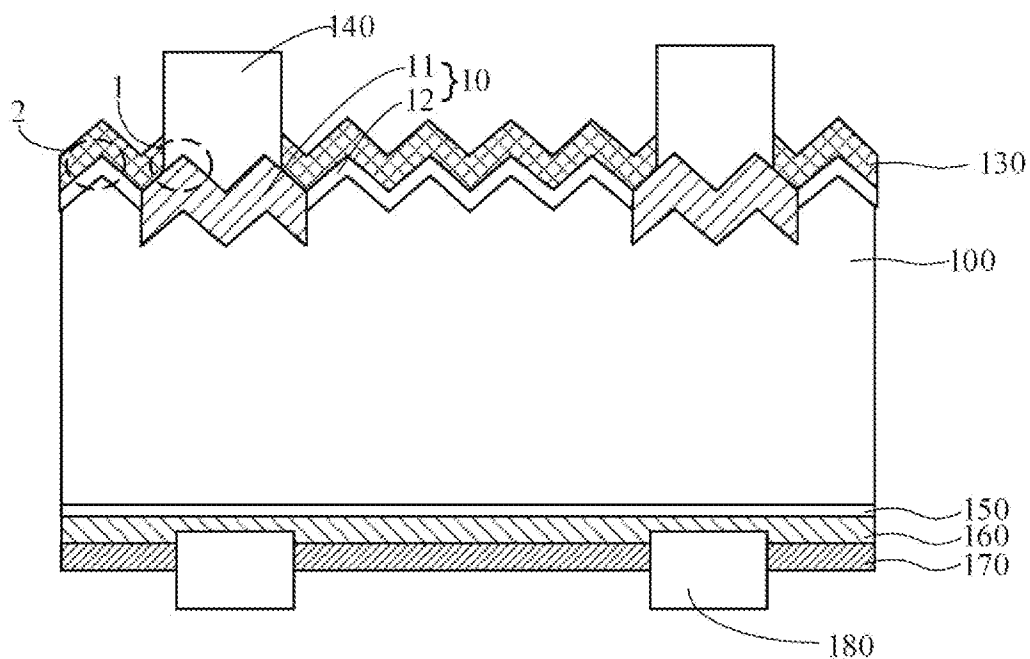


Fig. 1

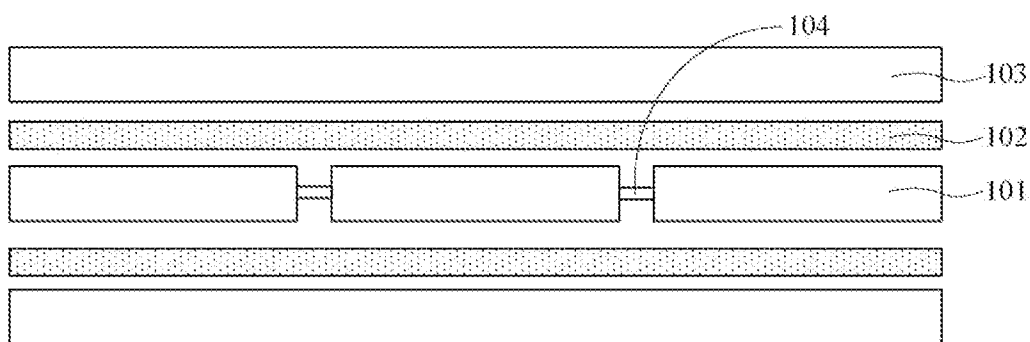
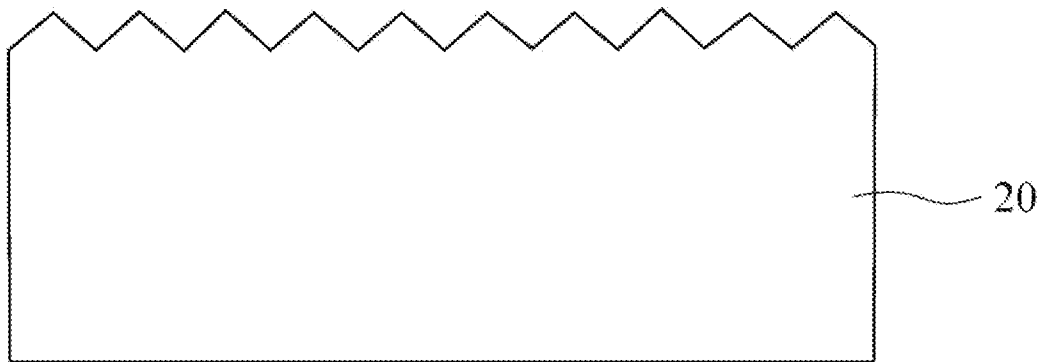


Fig. 2



**Fig. 3**

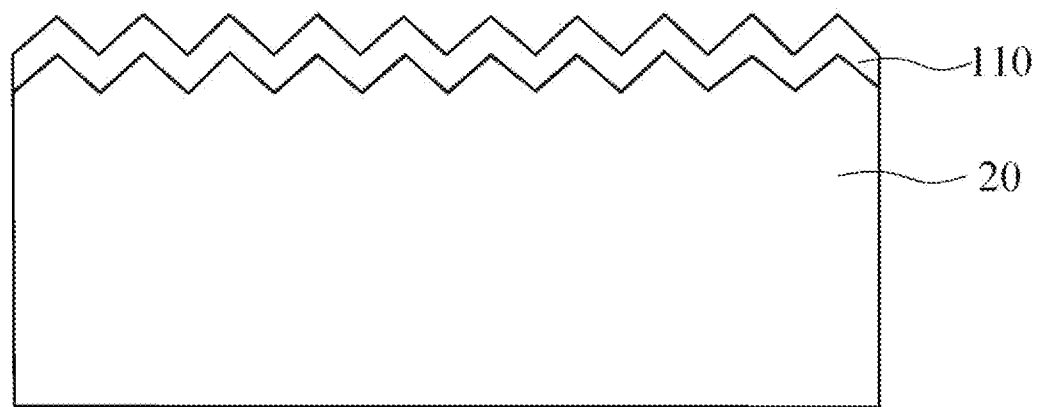


Fig. 4

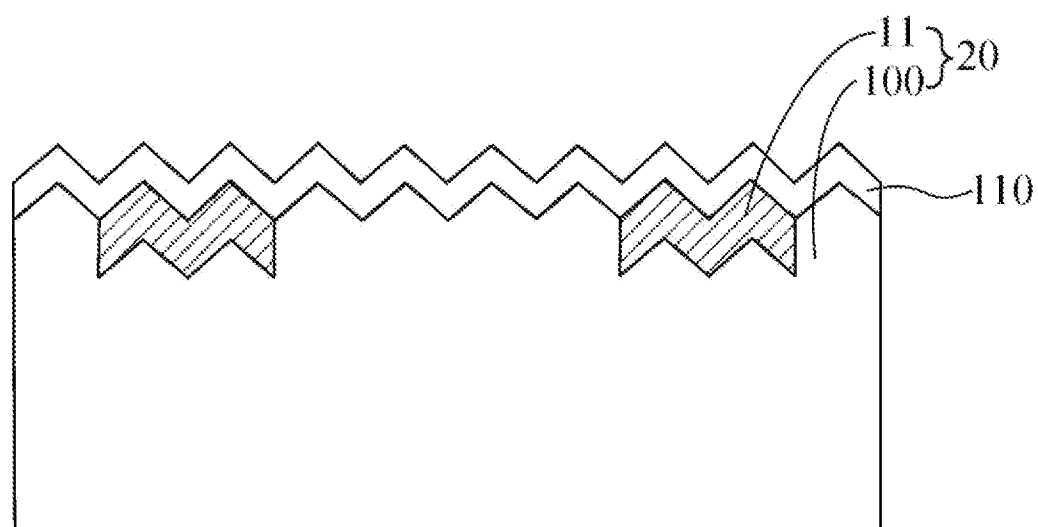


Fig. 5



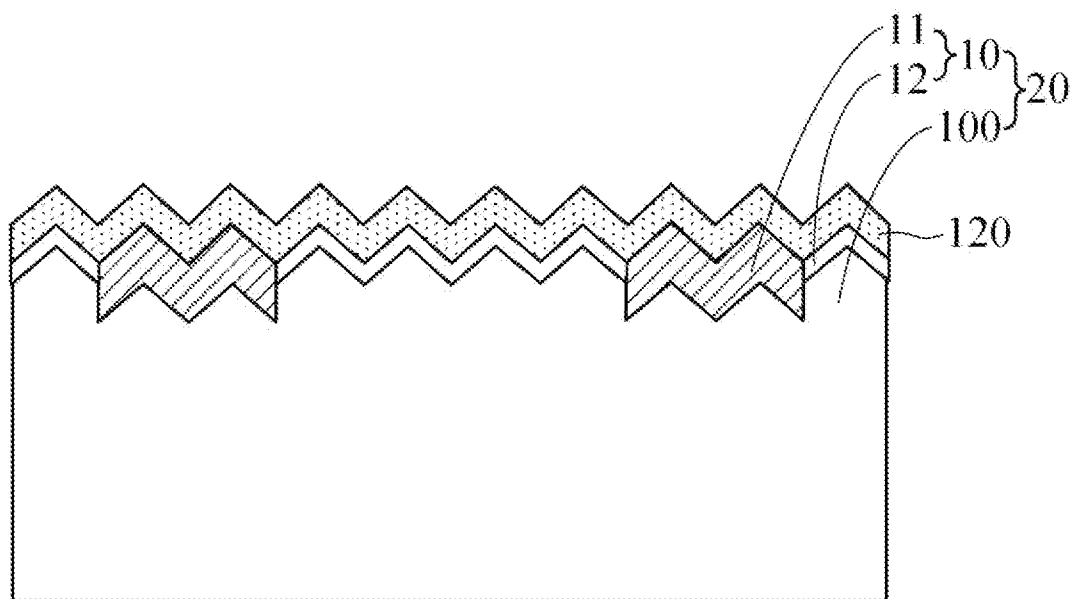


Fig. 6

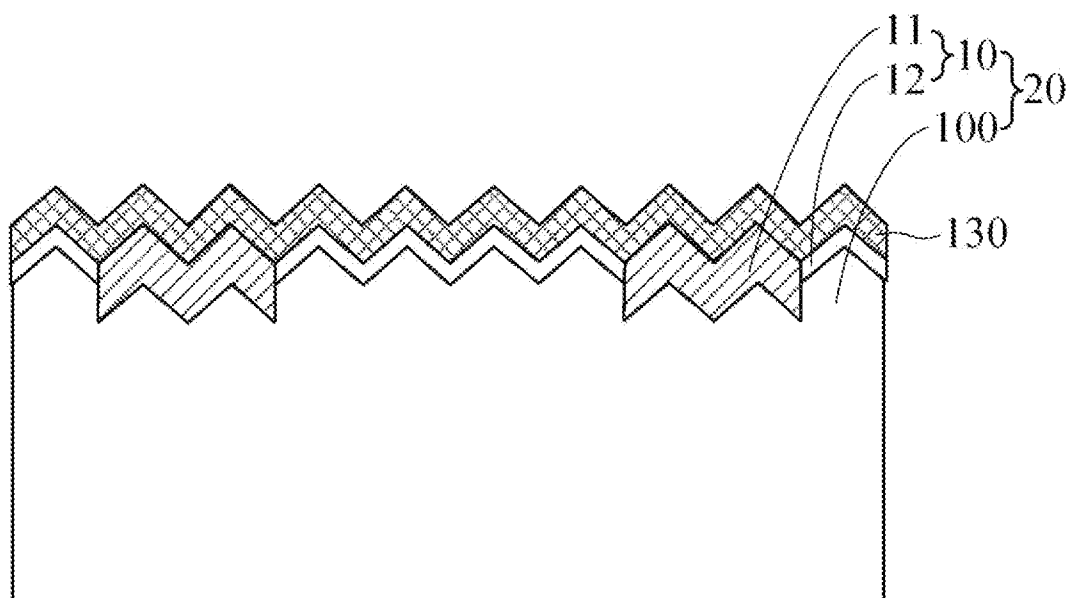


Fig. 7

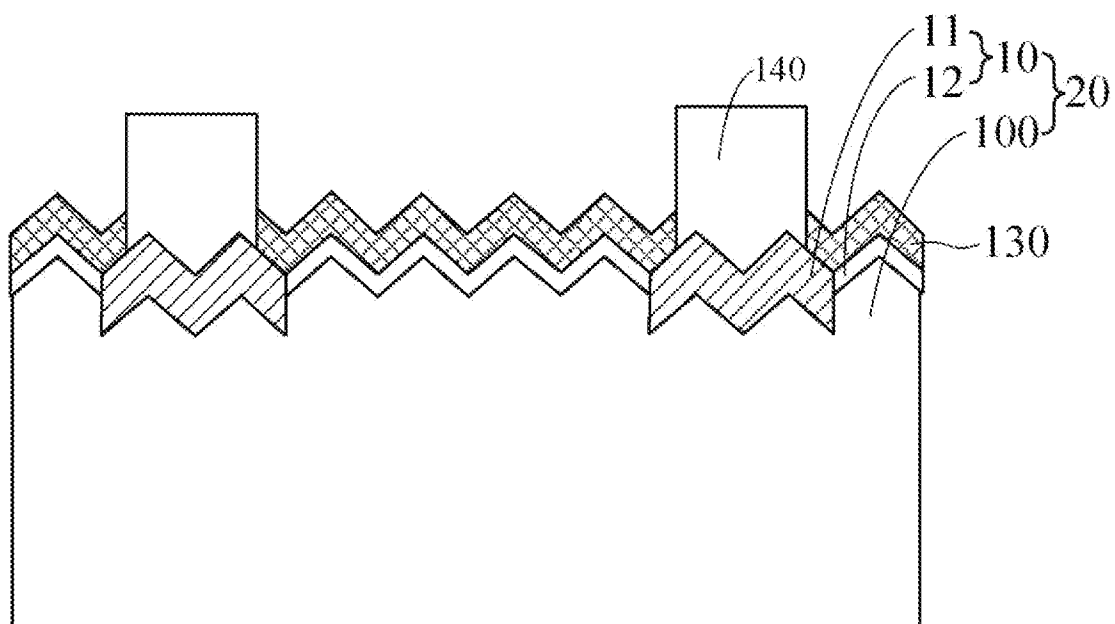


Fig. 8

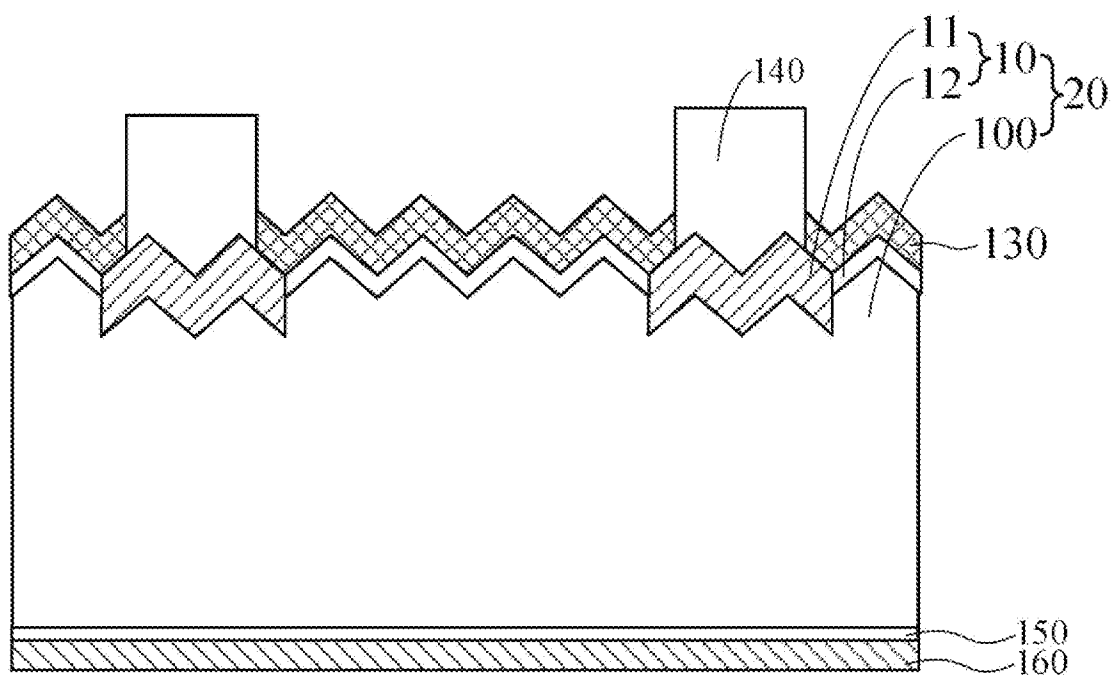


Fig. 9

Klassifikation des Anmeldungsgegenstands gemäß IPC:

**H01L 31/0236** (2006.01); **H01L 31/0352** (2006.01); **H01L 31/18** (2006.01); **H01L 31/0216** (2006.01); **H01L 31/0224** (2006.01); **H01L 31/036** (2006.01); **H01L 31/068** (2006.01)

Klassifikation des Anmeldungsgegenstands gemäß CPC:

**H01L 31/02363** (2013.01); **H01L 31/0236** (2013.01); **H01L 31/035281** (2013.01); **H01L 31/1804** (2024.01); **H01L 31/02167** (2013.01); **H01L 31/022425** (2013.01); **H01L 31/036** (2013.01); **H01L 31/068** (2013.01); **Y02E 10/547** (2020.08); **Y02P 70/50** (2015.11)

Recherchierter Prüfstoff (Klassifikation):

H01L, Y02E, Y02P

Konsultierte Online-Datenbank:

EPODOC

Dieser Recherchenbericht wurde zu den am **30.07.2024** eingereichten Ansprüchen **1-10** erstellt.

Kategorie <sup>*)</sup>	Bezeichnung der Veröffentlichung: Ländercode, Veröffentlichungsnummer, Dokumentart (Anmelder), Veröffentlichungs- datum, Textstelle oder Figur soweit erforderlich	Betreffend An- spruch
A	CN 113675298 A (UNIV SHANGHAI JIAOTONG, JIANGSU LINYANG PHOTOVOLTAIC TECH CO LTD) 19. November 2021 (19.11.2021)  das ganze Dokument; (übersetzt) [online] [abgerufen am 05.08.2024]. Abgerufen von EPOQUE: {TXPMTCEA}.	1-10
A	US 2013327381 A1 (CHUNG INDO ET AL.) 12. Dezember 2013 (12.12.2013)  das ganze Dokument.	1-10
A	KR 20120032238 A (LG ELECTRONICS INC) 05. April 2012 (05.04.2012)  das ganze Dokument; (übersetzt) [online] [abgerufen am 05.08.2024]. Abgerufen von EPOQUE: {TXPKREA}.	1-10

Datum der Beendigung der Recherche:  
05.08.2024

Seite 1 von 1

Prüfer(in):

ROBISCH Nicolas

<sup>\*)</sup> **Kategorien** der angeführten Dokumente:

- X** Veröffentlichung **von besonderer Bedeutung**: der Anmeldungsgegenstand kann allein aufgrund dieser Druckschrift nicht als neu bzw. auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden.
- Y** Veröffentlichung **von Bedeutung**: der Anmeldungsgegenstand kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren weiteren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese **Verbindung für einen Fachmann naheliegend** ist.

- A** Veröffentlichung, die den allgemeinen **Stand der Technik** definiert.
- P** Dokument, das von **Bedeutung** ist (Kategorien **X** oder **Y**), jedoch **nach dem Prioritätstag** der Anmeldung veröffentlicht wurde.
- E** Dokument, das **von besonderer Bedeutung** ist (Kategorie **X**), aus dem ein „**älteres Recht**“ hervorgehen könnte (früheres Anmeldedatum, jedoch nachveröffentlicht, Schutz ist in Österreich möglich, würde Neuheit in Frage stellen).
- &** Veröffentlichung, die Mitglied der selben **Patentfamilie** ist.