



(10) **DE 11 2011 102 890 T5** 2013.06.06

(12)

## Veröffentlichung

der internationalen Anmeldung mit der  
(87) Veröffentlichungs-Nr.: **WO 2012/055737**  
in deutscher Übersetzung (Art. III § 8 Abs. 2 IntPatÜG)  
(21) Deutsches Aktenzeichen: **11 2011 102 890.3**  
(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/EP2011/068254**  
(86) PCT-Anmeldetag: **19.10.2011**  
(43) Veröffentlichungstag der PCT Anmeldung  
in deutscher Übersetzung: **06.06.2013**

(51) Int Cl.: **H01L 31/18** (2013.01)

(30) Unionspriorität:  
**12/911,833**                      **26.10.2010**      **US**

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

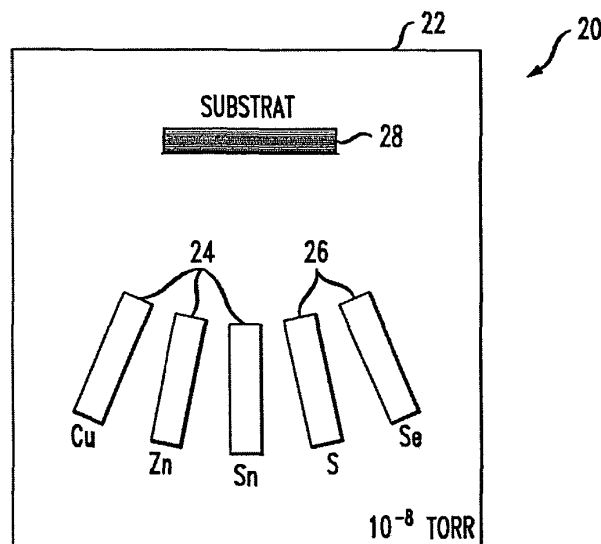
(74) Vertreter:  
**RICHARDT PATENTANWÄLTE GbR, 65185,**  
**Wiesbaden, DE**

(72) Erfinder:  
**Supratik, Guha, Yorktown Heights, N.Y., US;**  
**Wang, Kejia, Yorktown Heights, N.Y., US**

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

(54) Bezeichnung: **Kesteritschichtfertigung für Dünnschicht-Solarzellen**

(57) Zusammenfassung: Eine Kesteritschicht wird auf ein Substrat vakuumabgeschieden und geglüht. Die Abscheidung wird bei einer niedrigen Temperatur durchgeführt, um eine gute Steuerung der Zusammensetzung und eine effiziente Metallausnutzung zu gewährleisten. Das Glühen wird eine kurze Zeit lang bei einer hohen Temperatur durchgeführt. Wärmeverdampfung, Elektronenstrahlverdampfung oder Zerstäubung können als Teil eines Abscheidungsprozesses in einer Hochvakuumumgebung verwendet werden.



**Beschreibung**

## Technisches Gebiet

**[0001]** Die vorliegende Erfindung betrifft die physikalischen Wissenschaften und insbesondere Fertigungstechniken und dergleichen.

## Hintergrund

**[0002]** Gegenwärtig sind Kupfer-Indium-Gallium-(Di)selenid, auch als  $\text{Cu}_2\text{InGa}(\text{S}, \text{Se})_4$  oder CIGS bekannt, und Cadmium-Tellurid ( $\text{CdTe}$ ) die Hauptmaterialien, die zur Verwendung in Dünnschicht-Solarzellen entwickelt wurden. Was das CIGS-Material anbetrifft, sind die Preise für Indium und Gallium hoch. Aufgrund der zunehmenden Nachfrage nach Indium-Zink-Oxid (ITO) zur Verwendung in Flachbildschirmen sind die Preise für Indium in den letzten Jahren stetig gestiegen. Was  $\text{CdTe}$  anbetrifft, ist Cadmium toxisch und Tellur ziemlich selten. Absorbermaterialien, die Kupfer, Zink, Zinn und Schwefel und/oder Selen enthalten, bieten eine wirtschaftlichere Alternative, da sie an Stelle von Gallium und Indium, die im CIGS-Material zu finden sind, Kupfer und Zink verwenden, die relativ reichlich vorhanden sind.

## Kurzbeschreibung der Erfindung

**[0003]** Prinzipien der Erfindung stellen Techniken zur Bildung einer Absorberschicht auf ein Substrat bereit; zum Beispiel, um  $\text{Cu}_2\text{ZnSn}(\text{S}_x\text{Se}_{4-x})$ -Dünnschichten ("CZTSSe") auf Substrate für Solarzellenanwendungen abzuscheiden, wobei  $x$  von null bis vier variiert. In einem Aspekt umfasst ein beispielhaftes Verfahren das Bereitstellen eines Substrats, das Aussetzen des Substrats einer Hochvakuumumgebung, das Abscheiden von Kupfer, Zink, Zinn und mindestens einem von Schwefel und Selen auf eine Oberfläche des Substrats durch Wärmeverdampfung, während die Temperatur des Substrats auf einen Bereich gehalten wird, der niedrig genug ist, damit ein Wiederverdampfen des auf dem Substrat abgeschiedenen Materials nicht wesentlich ist, wodurch eine Absorberschicht gebildet wird, die für Solarzellen-Anwendungen geeignet ist, und das Glühen der auf dem Substrat abgeschiedenen Absorberschicht bei einer zweiten Temperatur, die wesentlich höher ist als die Temperatur, die während des Abscheidungsschritts gehalten wird.

**[0004]** In einem weiteren Aspekt umfasst ein beispielhaftes Verfahren die Schritte des Bereitstellens eines Substrats mit einer im Wesentlichen planen Oberfläche, das Vakuumabscheiden von Kupfer, Zink, Zinn und mindestens einem von Schwefel und Selen auf der im Wesentlichen planen Oberfläche des Substrats, während die Temperatur des Substrats auf einen Bereich gehalten wird, der niedrig genug ist, damit ein Wiederverdampfen des auf

dem Substrat abgeschiedenen Materials nicht wesentlich ist, wodurch eine Absorberschicht gebildet wird, die für Solarzellen-Anwendungen geeignet ist, das Glühen der auf dem Substrat vakuumabgeschiedenen Absorberschicht bei einer Temperatur über  $300^\circ\text{C}$ , das Bereitstellen einer Emitterschicht auf der Absorberschicht, und das Bereitstellen einer Fensterschicht über der Emitterschicht.

**[0005]** In einem weiteren Aspekt der Erfindung umfasst ein beispielhaftes Verfahren das Bereitstellen eines Substrats mit einer im Wesentlichen planen Oberfläche; das Halten der Temperatur des Substrats zwischen  $100$  und  $200^\circ\text{C}$ ; das Vakuumabscheiden von Cu, Zn, Sn und mindestens einem von S und Se auf der im Wesentlichen planen Oberfläche des Substrats, wodurch auf der im Wesentlichen planen Oberfläche eine Absorberschicht gebildet wird, die für Solarzellen-Anwendungen geeignet ist, und das Glühen der auf dem Substrat vakuumabgeschiedenen Absorberschicht bei einer Temperatur zwischen  $300$  und  $600^\circ\text{C}$ .

**[0006]** Hierin bedeutet das "Erleichtern" eines Vorgangs, dass ein Vorgang durchgeführt, erleichtert, unterstützt oder veranlasst wird. So können, zum Beispiel und auf nicht einschränkende Weise, Anweisungen, die auf einem Prozessor ausgeführt werden, eine Aktion erleichtern, der von einer Herstellungs- oder Testausrüstung durchgeführt wird, oder auch Anweisungen, die auf einem entfernten Prozessor ausgeführt werden, indem geeignete Daten oder Befehle übertragen werden, um den durchzuführenden Vorgang zu veranlassen oder zu unterstützen. Um jeden Zweifel auszuschließen, wenn ein „Aktor“ einen Vorgang auf andere Weise erleichtert, als indem er ihn durchführt, wird der Vorgang dennoch von derselben Entität oder Kombination von Entitäten durchgeführt.

**[0007]** Eine oder mehrere Ausführungsformen der Erfindung oder Elemente davon (zum Beispiel die Computersteuerung eines Abscheidungs-, Glüh- oder zugehörigen Herstellungs- oder Testprozesses) können in Form eines Computerprodukts realisiert werden, das ein computerlesbares Speichermedium mit computernutzbarem Programmcode zur Durchführung der angegebenen Verfahrensschritte aufweist. Ferner können eine oder mehrere Ausführungsformen der Erfindung oder Elemente davon in Form eines Systems (oder einer Vorrichtung) realisiert werden, das (die) einen Speicher und mindestens einen Prozessor aufweist, der mit dem Speicher verbunden ist und betreibbar ist, um beispielhafte Verfahrensschritte durchzuführen. In einem weiteren Aspekt können eine oder mehrere Ausführungsformen der Erfindung oder Elemente davon in Form von Mitteln zur Durchführung eines oder mehrerer der hierin beschriebenen Verfahrensschritte realisiert werden; die Mittel können (i) Hardware-Modul(e), (ii)

Software-Modul(e) oder (iii) eine Kombination aus Hardware- und Software-Modulen aufweisen, jedes von (i) bis (iii) realisiert die spezifischen Techniken, die hierin dargelegt werden, und die Software-Module werden auf einem computerlesbaren Speichermedium (oder mehreren solcher Medien) gespeichert.

**[0008]** Techniken der vorliegenden Erfindung können wesentliche vorteilhafte technische Wirkungen aufweisen. Zum Beispiel können eine oder mehrere Ausführungsformen einen oder mehrere der folgenden Vorteile bieten:

- der Fluss jedes Elements kann während der Vakuumabscheidung einzeln gesteuert werden, um eine präzise Zusammensetzung zu erreichen;
- das Substrat kann während der Abscheidung erwärmt werden;
- alle Elemente, aus denen das Kesteritmaterial besteht, können gleichzeitig abgeschieden werden;
- die verwendeten Verfahren sind alle umweltsicher.

#### Kurze Beschreibung der Zeichnungen

**[0009]** Ausführungsformen der Erfindung werden nun lediglich beispielhaft Bezug nehmend auf die beiliegenden Zeichnungen beschrieben, wobei:

**[0010]** [Fig. 1](#) eine schematische Darstellung eines Systems zur Abscheidung einer Absorberschicht durch Wärmeverdampfung ist;

**[0011]** [Fig. 2](#) bis [Fig. 10](#) die aufeinanderfolgenden Schritte eines beispielhaften Prozessablaufs zeigen;

**[0012]** [Fig. 11](#) eine Solarzelleneinheit zeigt, die dem beispielhaften Prozessablauf gemäß gefertigt wurde;

**[0013]** [Fig. 12](#) die Strom-Spannungs-Kennlinie einer erfindungsgemäß gefertigten Solarzelle zeigt;

**[0014]** [Fig. 13](#) die Quanteneffizienz-Spektren einer erfindungsgemäß gefertigten Solarzelle zeigt; und

**[0015]** [Fig. 14](#) ein Computersystem veranschaulicht, das zur Realisierung eines oder mehrerer Aspekte und/oder Elemente der Erfindung geeignet ist.

#### Ausführliche Beschreibung

**[0016]** Kesterit, auch als  $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_x\text{Se}_{4-x}$  oder CZTSSe bekannt, verspricht kostengünstige, erneuerbare Solarzellen, da alle verwendeten Elemente billig und auf der Erde reichlich vorhanden sind. Im Gegensatz zu CIGS-Absorbern, die die relativ teuren Elemente Indium und Gallium erfordern, sind Zink und Zinn zu vertretbaren Preisen leicht verfügbar, und Kesterit-Dünnschichten wurden durch verschiedene Techniken einschließlich Wärmeverdamp-

fung, Lösungsprozesse, Elektroplattierung, Zerstäubung und dergleichen abgeschieden. Lösungsprozesse können Hydrazin erfordern, das sowohl explosiv als auch toxisch ist. Zerstäubungstechniken und Elektroplattierung beinhalten typischerweise die Abscheidung einer Cu/Zn/Sn-Legierung, gefolgt von einem mehr als zwei Stunden langen Glühen mit  $\text{H}_2\text{S}$  oder S.

**[0017]** Die meisten Fertigungsabläufe erfordern ein Hochtemperaturglühen ( $> 500^\circ\text{C}$ ), um große Körner für die Kesterit-Absorberschicht wachsen zu lassen. Gängige Verfahren, die für das Hochtemperaturglühen verwendet werden, schließen das Glühen in einem Ofen mit strömendem  $\text{H}_2\text{S}$ -Gas und das Glühen im Inneren eines geschlossenen Rohrs mit ausreichendem S-Dampfdruck ein. Solche Verfahren können Probleme mit einem oder mehreren von der Temperaturgleichmäßigkeit, dem Verlust von Sn, S und/oder Se bei hoher Temperatur, der Oberflächenebenheit und der Korngrößenregelung mit sich bringen. Überdies erfordern sie typischerweise eine lange Zeit für den Glühprozess, z. B. 1 bis 3 Stunden bei Glüh-temperatur mit zusätzlich 1 bis 3 Stunden Abkühlzeit. An Stelle des Hochtemperaturglühens besteht ein anderer Ansatz darin, Materialien bei hoher Substrattemperatur ( $> 400^\circ\text{C}$ ) abzuscheiden. Dieses Verfahren erfordert kein Langzeitglühen, doch der Sn/Zn-Verlust ist signifikant und die Materialausnutzung unzureichend. Eine oder mehrere Ausführungsformen der Erfindung benötigen nur fünf (5) bis zwanzig (20) Minuten Glühzeit mit einer Wärmeplatte. Eine geschlossene  $\text{H}_2\text{S}$ -Kammer ist nicht erforderlich.

**[0018]** Wärmeverdampfung ist eine Technik, die allgemein das Erwärmen einer festen Quelle beinhaltet, um Atome oder Cluster aus Atomen zu erzeugen, die unter Hochvakuumbedingungen zu einem erwärmten Substrat migrieren. Die Atome diffundieren auf der Substratoberfläche und bilden darauf eine Dünnschicht. Systeme zur Durchführung der Wärmeverdampfung weisen gewöhnlich Effusionszellen auf, die auf den Substratheizer fokussiert sind. Die Effusionszellen enthalten die Elemente, die zur Bildung der Dünnschicht verwendet werden. Ein Mechanismus zum Drehen des Substrats kann vorgesehen sein, um die Gleichmäßigkeit der Dünnschichtbildung zu erhöhen. Systeme, die Abscheidungstechniken durch Wärmeverdampfung verwenden, sind dem Fachmann bekannt. In [Fig. 1](#) wird eine schematische Darstellung eines Systems **20** gezeigt, um die Elemente des Kesterits durch Wärmeverdampfung abzuscheiden. In dieser Anmeldung wird der Begriff "Kesterit" verwendet, um die Kombination aus Kupfer, Zink, Zinn und mindestens einem von Schwefel und Selen zu bezeichnen. Kesterit kann Schwefel und kein Selen, Selen und keinen Schwefel oder sowohl Schwefel als auch Selen enthalten. Der Begriff CZTS wird dementsprechend benutzt, um Kesterit zu bezeichnen, das Schwefel, aber kein Selen

enthält, während CZTSe benutzt wird, um Kesterit zu bezeichnen, das Selen, aber keinen Schwefel enthält. Kesterit, das sowohl Schwefel als auch Selen enthält, wird als CZTSSe bezeichnet. Die Prinzipien der Erfindung gelten für die Bildung von CZTS-, CZTSe- und CZTSSe-Absorberschichten, die in Solarzellenanwendungen verwendet werden können. Das System **20** weist eine Vakuumkammer **22** auf, die in der Lage ist, ein Hochvakuum aufrechtzuerhalten. Im beispielhaften Prozess, der im Folgenden beschrieben wird, wird die Kammer auf  $10^{-8}$  Torr gehalten. Ein Bereich von  $10^{-6}$  Torr bis  $10^{-8}$  Torr wird bevorzugt, obwohl auch andere Vakuumbereiche akzeptable Ergebnisse ergeben können. Für das Kupfer, Zink und Zinn werden Effusionszellen **24** bereitgestellt. Cracking-Zellen **26** werden für Schwefel und Selen bereitgestellt. Wenn Selen aus der auf dem Substrat **28** zu bildenden Absorberschicht ausgelassen werden soll, ist nur eine Cracking-Zelle erforderlich. Bevorzugt wird eine Vorrichtung zum Drehen des Substrats **28** verwendet, auch wenn sie in der Zeichnung nicht dargestellt ist.

**[0019]** Fig. 2 bis Fig. 10 zeigen beispielhafte Bearbeitungsschritte eines bevorzugten Verfahrens, das angewandt wird, um mit den Prinzipien der Erfindung eine fotovoltaische Einheit herzustellen. Das Substrat **28** im beispielhaften Verfahren weist Kalknatronglas (SLG) **30** mit einer Dicke von ein bis drei mm auf, das durch Zerstäubung mit Molybdän beschichtet ist. Die Molybdänschicht **32**, die in diesem Beispiel eine Dicke von etwa 600 nm bis 1  $\mu$ m hat, formt eine im Wesentlichen plane Substratoberfläche, wie in Fig. 3 gezeigt. Das Substrat **28** wird in die Vakuumkammer **22** gelegt und auf 100 bis 200°C erwärmt. Im beispielhaften Prozess wurde die Substrattemperatur auf unter 200°C, bevorzugt auf 110°C gehalten und mit 10 bis 20 U/min gedreht.

**[0020]** Das Kupfer, Zink und Zinn werden bevorzugt in einer Hochvakuumumgebung aus den Effusionszellen **24** durch Wärmeverdampfung auf die Molybdänschicht abgeschieden, obwohl Zerstäubungsprozesse und Elektronenstrahlverdampfung andere Vakuumabscheidungsverfahren sind, die alternativ dazu eingesetzt werden können. Es ist anzumerken, dass zur Durchführung der Wärmeverdampfung Standardtiegel statt Effusionszellen verwendet werden können. Im beispielhaften Prozess wird jedes Element mit einer Rate von 3 bis 5 nm/Minute abgeschieden. Die Abscheidungsrate des Kupfers, Zinks und Zinns wird durch die Zelltemperatur gesteuert, wodurch stöchiometrisch korrekte Mengen dieser Elemente gewährleistet werden. Die niedrige Substrattemperatur verringert ein Wiederverdampfen, so dass Verluste der abgeschiedenen Materialien durch Wiederverdampfen nicht wesentlich sind, wodurch die Herstellung stöchiometrischer Dünnschichten erleichtert wird.

**[0021]** Falls zur Bildung der CZTSSe-Absorberschicht **34** beide Elemente verwendet werden, werden der Schwefel und das Selen in der Behälterzone (nicht gezeigt) der Cracking-Zellen **26** gespeichert und erwärmt. Nadelventile (nicht gezeigt) werden verwendet, um den S/Se-Fluss zu steuern. Die Cracking-Zone jeder Cracking-Zelle kann zum Beispiel  $S_8$  zu  $S_4$  oder  $S_2$  spalten, oder  $Se_4$  zu  $Se_2$ . Alle Elemente, aus denen die CZTSSe-Absorberschicht besteht, werden gemeinsam verdampft und gleichzeitig mit der obigen Rate abgeschieden, was die in Fig. 4 gezeigte Struktur ergibt. Die Co-Verdampfung des Kupfers, Zinks und Zinns wird gesteuert, um die präzise Zusammensetzung der resultierenden Absorberschicht zu gewährleisten. Wie oben erläutert, verringert die relativ niedrige Temperatur des Substrats Verdampfungsverluste dieser Elemente, insbesondere Zinn und Zink, wodurch die Steuerung der Stöchiometrie erleichtert wird. Es ist schwierig, Verdampfungsverluste dieser Elemente in Prozessen, die hohe Substrattemperaturen von 300°C oder mehr erfordern, genau auszugleichen. Die genaue Steuerung der Schwefel- und/oder Selenmengen gilt als weniger kritisch, weshalb sie in Mengen bereitgestellt werden können, die die angestrebte stöchiometrische Zusammensetzung der Absorberschicht übersteigen. Die Dicke der im beispielhaften Prozess gebildeten CZTSSe-Absorberschicht liegt zwischen 650 und 3.000 nm. Für den Fachmann versteht es sich, dass die Abscheidung der jeweiligen Elemente der Absorberschicht mit elementaren Formen der abzuscheidenden Materialien oder anderen Formen einschließlich, ohne darauf beschränkt zu sein, ZnS, ZnSe, CuS, SnS und SnSe erfolgen kann. Der oben beschriebene Vakuumabscheidungsprozess gewährleistet eine ebene Oberfläche, eine gute Steuerung der Zusammensetzung ohne nennenswerten Zinnverlust und ist ein sicherer, sauberer Prozess. Er wird deshalb bevorzugt. Ein oder mehrere Elemente können in einer derartigen Hochvakuumumgebung und bei niedriger Substrattemperatur durch Zerstäubung oder Elektronenstrahlverdampfung abgeschieden werden, statt durch Wärmeverdampfung.

**[0022]** Als Nächstes Bezug nehmend auf Fig. 5, wird das Substrat, das nun die abgeschiedene CZTSSe-Schicht **34** aufweist, einem Kurzzeitglühprozess unterzogen, in welchem es weniger als dreißig (30) Minuten lang auf einer Wärmeplatte auf 300 bis 600°C erwärmt wird. Bevorzugt wird es etwa fünf bis zwanzig Minuten lang auf eine Temperatur über 500°C erhitzt, bevorzugt auf 500 bis 550°C. Im beispielhaften Prozess wird es fünf Minuten lang auf 540°C erhitzt. Die beschleunigte thermische Ausheilung kann in einer Inertgasumgebung wie z. B. Stickstoff oder Argon erfolgen. S- oder Se-Dampf können während des Glühens zugeführt werden. Alternativ dazu kann während des Glühprozesses  $H_2S$ - oder  $H_2Se$ -Dampf zugeführt werden. Es hat sich erwiesen, dass Verluste der abgeschiedenen Materialien wäh-

rend dieses Hochtemperaturglühens nicht signifikant sind, was höchstwahrscheinlich darauf zurückzuführen ist, dass die Materialien während des Abscheidungsprozesses kleine Körner bilden. Die Kombination der niedrigen Substrattemperatur während der Vakuumabscheidung und des anschließenden Kurzzeitglühens bei einer wesentlich höheren Temperatur erleichtert die Vermeidung von Materialverlusten, die gute Steuerung der Zusammensetzung und die schnelle Bearbeitung. Die zum Glühen verwendete Temperatur sollte den Schmelzpunkt des Substrats nicht übersteigen. Andere Substrate als Kalknatronglas mit anderen Schmelzpunkten können verwendet werden.

**[0023]** Nach dem Glühen können Solarzelleneinheiten mit zusätzlichen Fertigungsschritten hergestellt werden, umfassend das Züchten einer Emitterschicht **36** durch chemische Badabscheidung von CdS (60 bis 70 nm Dicke) oder eines anderen Materials, (siehe [Fig. 6](#)); das Abscheiden einer Dünnschicht **38** aus i-ZnO (80 bis 100 nm) ([Fig. 7](#)); das Abscheiden einer transparenten Leitoxid(TCO)-Schicht **40** (siehe [Fig. 8](#)) wie z. B. einer Al-ZnO- oder ITO(Indium-Zinn-Oxid)-Schicht durch Zerstäubung; das Bilden eines oberen Metallkontakts oder einer Elektrode **42** (z. B. Ni/Al) durch Verdampfung mithilfe einer Lochmaske; und das Abtrennen der photovoltaischen Einheiten durch mechanisches Ritzen/Laserritzen ([Fig. 10](#)). Das mechanische Ritzen kann mit verschiedenen Metallklingen z. B. aus Edelstahl durchgeführt werden. CZTSSe ist ein weiches Material und lässt sich leicht physisch entfernen, ohne dass das Mo-Substrat beschädigt wird. Beim Laserritzen sollte die Laserphotonenenergie höher sein als die Bandlückenenergie der CZTSSe-Dünnschicht. Ein Grünlaser mit einer Wellenlänge von 532 nm zum Beispiel ist eine gute Wahl zum Ritzen einer CZTSSe-Dünnschicht. Ein typischer Arbeitsbereich für die Laserleistung ist 0,05 bis 10 J/cm<sup>2</sup>. Die tatsächlich verwendete Leistung hängt von der Laserwellenlänge und der Laserimpulsdauer ab.

**[0024]** [Fig. 11](#) zeigt Schnittansichten einer photovoltaischen Einheit, die dem beispielhaften Prozess gemäß gefertigt werden kann. Die Figur stellt die Schichten, wie sie in einem Bild gezeigt werden, das mit einem Rasterelektronenmikroskop aufgenommen wurde, und deren Entsprechung mit den verschiedenen Schichten dar, die oben beschrieben wurden.

**[0025]** Im Folgenden werden nicht einschränkende Versuchsergebnisse erläutert. In [Fig. 12](#) wird die I-V (Strom-Spannungs)-Kennlinie einer CZTS-Solarzelle im Dunklen und mit Kunstlichtbeleuchtung gezeigt. [Fig. 13](#) zeigt die Spektren der externen und internen Quanteneffizienz.

**[0026]** Aus der obigen Erläuterung geht hervor, dass ein beispielhaftes Verfahren allgemein ausge-

drückt eine Niedertemperatur-Vakuumabscheidung mit einem kurzzeitigen Hochtemperaturglühen kombiniert, um auf einem Substrat einen Kesteritabsorber zu bilden, der für Solarzellenanwendungen verwendbar ist. In einer bevorzugten Ausführungsform wird die Niedertemperaturabscheidung durch Zerstäubung und/oder Wärmeverdampfung und/oder Elektronenstrahlverdampfung oder kombinierte Verfahren in einer Hochvakuumumgebung durchgeführt. Wärmeverdampfung ist eine bevorzugte Technik zur Steuerung der Zusammensetzung und zur effizienten Ausnutzung der Metallbestandteile. Das Hochtemperaturglühen kann mit einer Wärmeplatte oder anderen Heizverfahren so durchgeführt werden, dass die Absorberschicht kurzzeitig gegläht wird, bevorzugt innerhalb von dreißig Minuten und noch bevorzugt in zwanzig Minuten oder weniger. Dieses Glühen kann ohne Spezialofen und ohne H<sub>2</sub>S durchgeführt werden. In einer oder mehreren Ausführungsformen kann die Wärmezufuhr das direkte Zuführen der Wärme zum Substrat **28** durch den Kontakt mit der Wärmeplatte (nicht gezeigt) einschließen. In derartigen Fällen wird die Wärme durch Wärmeleitung durch das Substrat **104** der Kesterit-Dünnschicht **34** indirekt zugeführt.

**[0027]** Aus der obigen Erläuterung geht auch hervor, dass ein beispielhaftes Verfahren (zum Beispiel zur Herstellung von Solarzellen) allgemein ausgedrückt aufweist das Bereitstellen eines Substrats, das Aussetzen des Substrats einer Hochvakuumumgebung, das Erwärmen des Substrats auf eine erste Temperatur, das Abscheiden von Kupfer, Zink, Zinn und mindestens einem von Schwefel und Selen durch Wärmeverdampfung, Elektronenstrahlverdampfung und/oder Zerstäubung auf eine Oberfläche des erwärmten Substrats, um eine für Solarzellenanwendungen geeignete Absorberschicht zu bilden, und das Glühen des Substrats bei einer zweiten Temperatur, die wesentlich höher ist als die erste Temperatur. Insbesondere liegt die erste Temperatur zwischen 100 und 200°C, sodass Wiederverdampfungsverluste nicht wesentlich sind und daher nicht problematisch werden, während die zweite Temperatur 300°C oder mehr beträgt, um das Kurzzeitglühen zu erleichtern.

**[0028]** Zusätzliche Schritte umfassen das Züchten einer Emitterschicht nach dem Glühen, das Abscheiden einer transparenten Leitoxidschicht auf der Emitterschicht, das Abscheiden eines oberen Metallkontakts auf der transparenten Leitoxidschicht und die Abtrennung der Einheiten, um eine Vielzahl von Solarzellen zu erhalten.

**[0029]** Ein oder mehrere der oben beschriebenen Verfahren, Techniken und/oder Prozesse können zum Beispiel in der Fertigung von Produkten wie Solarzellen und dergleichen verwendet werden.



## Beispielhafte Details zu Systemen und Herstellungsprodukten

**[0030]** Wie der Fachmann erkennen wird, können Aspekte (z. B. zur Steuerung eines Abscheidungs-, Glüh-, Herstellungs- oder Testprozesses) der vorliegenden Erfindung als System, Verfahren oder Computerprogrammprodukt ausgeführt werden. Daher können bestimmte Aspekte der vorliegenden Erfindung die Form einer kompletten Hardware-Ausführungsform, einer kompletten Software-Ausführungsform (einschließlich Firmware, speicherresidenter Software, Mikrocode usw.) oder einer Ausführungsform annehmen, die Software- und Hardwareaspekte kombiniert, die hierin alle allgemein als "Schaltung", "Modul" oder "System" bezeichnet werden können. Überdies können Aspekte der vorliegenden Erfindung die Form eines Computerprogrammprodukts annehmen, das in einem computerlesbaren Medium oder in mehreren computerlesbaren Medien mit einem darauf verkörpertem computerlesbaren Programmcode verkörpert ist.

**[0031]** Eine oder mehrere Ausführungsformen von Teilen der Erfindung oder Elementen davon können in Form einer Vorrichtung realisiert werden, die einen Speicher und mindestens einen Prozessor aufweist, der mit dem Speicher verbunden ist und betreibbar ist, um beispielhafte Verfahrensschritte durchzuführen oder zu erleichtern.

**[0032]** Eine oder mehrere Ausführungsformen können Software verwenden, die auf einem Universalcomputer oder einer Workstation ausgeführt wird. Auf [Fig. 12](#) Bezug nehmend, kann solch eine Realisierung zum Beispiel einen Prozessor **1402**, einen Speicher **1404** und eine Eingabe-/Ausgabeschnittstelle verwenden, die zum Beispiel einen Bildschirm **1406** und eine Tastatur **1408** aufweist. Der Begriff "Prozessor", wie er hierin verwendet wird, soll jede Verarbeitungseinheit wie zum Beispiel eine mit einer CPU (Zentraleinheit) und/oder andere Formen von Verarbeitungsschaltungen einschließen. Ferner kann sich der Begriff "Prozessor" auf mehr als einen Einzelprozessor beziehen. Der Begriff "Speicher" soll Speicher einschließen, der einem Prozessor oder einer CPU zugeordnet ist, wie zum Beispiel RAM-Speicher (Arbeitsspeicher), ROM-Speicher (Nur-Lese-Speicher), eine Festspeichereinheit (zum Beispiel eine Festplatte), eine entnehmbare Speichereinheit (zum Beispiel eine Diskette), ein Flash-Speicher und dergleichen. Zusätzlich soll der Begriff "Eingabe-/Ausgabeschnittstelle", wie er hierin verwendet wird, zum Beispiel einen oder mehrere Mechanismen einschließen, um Daten in die Verarbeitungseinheit einzugeben (zum Beispiel eine Maus), und einen oder mehrere Mechanismen, um die Ergebnisse dieser Verarbeitungseinheit (zum Beispiel einen Drucker) auszugeben. Der Prozessor **1402**, der Speicher **1404** und die Eingabe-/Ausgabeschnittstelle wie z. B. der Bildschirm

**1406** und die Tastatur **1408** können als Teil einer Datenverarbeitungseinheit **1412** zum Beispiel über einen Bus **1410** miteinander verbunden sein. Geeignete Zwischenverbindungen, zum Beispiel über den Bus **1410**, können auch zu einer Netzwerkschnittstelle **1414** wie z. B. einer Netzwerkkarte bereitgestellt werden, die zum Anschluss an ein Computernetzwerk vorgesehen ist, und zu einer Schnittstelle für Speichermedien **1416** wie z. B. ein Disketten- oder einem CD-ROM-Laufwerk, die für den Zugriff auf Speichermedien **1418** vorgesehen ist.

**[0033]** Schnittstellen für Sensoren (z. B. Druck, Kraft, Temperatur), Betätigungselementen und dergleichen können zur Steuerung eines Glüh-, Herstellungs-, und/oder Testprozesses oder jedes Teils davon bereitgestellt werden.

**[0034]** Demnach kann Computersoftware mit Befehlen oder Code zur Durchführung der Verfahren der Erfindung, wie hierin beschrieben, in einem oder mehreren der zugehörigen Speichereinheiten (zum Beispiel ROM, fester oder entnehmbarer Speicher) gespeichert sein und, wenn sie verfügbar ist, teilweise oder ganz (zum Beispiel in den RAM) geladen und von einer CPU ausgeführt werden. Solch eine Software kann, ohne darauf beschränkt zu sein, Firmware, residente Software, Mikrocode und dergleichen einschließen.

**[0035]** Ein Datenverarbeitungssystem, das zum Speichern und/oder Ausführen von Programmcode geeignet ist, wird mindestens einen Prozessor **1402** aufweisen, der über einen Systembus **1410** direkt oder indirekt mit Speicherelementen **1404** verbunden ist. Die Speicherelemente können lokalen Speicher, der während der eigentlichen Ausführung des Programmcodes verwendet wird, Massenspeicher und Cache-Speicher einschließen, die für die temporäre Speicherung mindestens bestimmter Teile des Programmcodes sorgen, um die Häufigkeit zu verringern, mit welcher der Code während der Realisierung aus dem Massenspeicher abgerufen werden muss.

**[0036]** Eingabe-Ausgabe- oder E/A-Geräte (einschließlich, ohne darauf beschränkt zu sein, Tastaturen **1408**, Bildschirme **1406**, Zeigegeräte und dergleichen) können entweder direkt (z. B. über den Bus **1410**) oder durch dazwischenliegende E/A-Controller (der Klarheit halber nicht dargestellt) mit dem System verbunden sein.

**[0037]** Auch Netzwerkadapter wie die Netzwerkschnittstelle **1414** können mit dem System verbunden sein, um über dazwischenliegende private oder öffentliche Netzwerke die Verbindung des Datenverarbeitungssystems mit anderen Datenverarbeitungssystemen oder fernen Druckern oder Speichereinheiten zu erlauben. Modems, Kabelmodems und Ether-

netkarten sind nur einige der Netzwerkadapertypen, die aktuell verfügbar sind.

**[0038]** Wie hierin verwendet, einschließlich in den Ansprüchen, weist ein "Server" ein physisches Datenverarbeitungssystem (zum Beispiel, das System **1412**, wie in [Fig. 6](#) gezeigt) auf, auf welchem ein Serverprogramm läuft. Es versteht sich, dass ein physischer Server einen Bildschirm und eine Tastatur aufweisen kann oder nicht.

**[0039]** Wie erwähnt, können Aspekte der vorliegenden Erfindung die Form eines Computerprogrammprodukts annehmen, das in einem computerlesbaren Medium oder in mehreren computerlesbaren Medien mit einem darauf verkörperten computerlesbaren Programmcode verkörpert ist. Jede Kombination eines computerlesbaren Mediums oder mehrerer computerlesbarer Medien kann verwendet werden. Das computerlesbare Medium kann ein computerlesbarer Signalträger oder ein computerlesbares Speichermedium sein. Ein computerlesbares Speichermedium kann zum Beispiel, ohne darauf beschränkt zu sein, ein elektronisches, magnetisches, optisches, elektromagnetisches, Infrarot- oder Halbleiter-System, eine entsprechende Vorrichtung oder Einheit oder jede geeignete Kombination des Vorstehenden sein. Der Speichermedien-Block **1418** ist ein nicht einschränkendes Beispiel. Spezifischere Beispiele (eine nicht erschöpfende Liste) des computerlesbaren Speichermediums schließen folgendes ein: eine elektrische Verbindung mit einem oder mehreren Leiter(n), eine tragbare Computerdiskette, eine Festplatte, einen Arbeitsspeicher (RAM), einen Nur-Lese-Speicher (ROM), einen löschbaren programmierbaren Nur-Lese-Speicher (EPROM oder Flash-Speicher), eine Glasfaser, eine CD-ROM, eine optische Speichereinheit, eine magnetische Speichereinheit oder jede geeignete Kombination des Vorstehenden. Im Kontext dieses Dokuments kann ein computerlesbares Speichermedium jedes materielle Medium sein, das ein Programm zur Verwendung durch oder in Verbindung mit einem Befehlsausführungssystem oder einer entsprechenden Vorrichtung oder Einheit enthalten oder speichern kann.

**[0040]** Ein computerlesbarer Signalträger kann ein verbreitetes Datensignal mit einem computerlesbaren Programmcode sein, der zum Beispiel im Basisband oder als Teil einer Trägerwelle darin verkörpert ist. Solch ein verbreitetes Signal kann verschiedene Formen annehmen, einschließlich, ohne darauf beschränkt zu sein, elektromagnetisch, optisch oder jede geeignete Kombination daraus. Ein computerlesbarer Signalträger kann jedes computerlesbare Medium sein, das kein computerlesbares Speichermedium ist und ein Programm zur Verwendung durch oder in Verbindung mit einem Befehlsausführungssystem oder einer entsprechenden Vorrichtung oder Einheit übertragen, verbreiten oder transportieren kann.

**[0041]** Der Programmcode, der auf einem computerlesbaren Medium verkörpert ist, kann durch jedes geeignete Medium übertragen werden, einschließlich, ohne darauf beschränkt zu sein, drahtlos, Drahtleitung, Glasfaserkabel, HF usw., oder jede geeignete Kombination des Vorstehenden.

**[0042]** Der Computerprogrammcode zur Durchführung von Operationen für Aspekte der vorliegenden Erfindung kann in jeder Kombination einer oder mehrerer Programmiersprachen geschrieben sein, einschließlich einer objektorientierten Programmiersprache wie Java, Smalltalk, C++ oder dergleichen und konventioneller prozeduraler Programmiersprachen wie die Programmiersprache "C" oder ähnliche Programmiersprachen. Der Programmcode kann gänzlich auf dem Computer des Benutzers, teilweise auf dem Computer des Benutzers, als eigenständiges Softwarepaket, teilweise auf dem Computer des Benutzers und teilweise auf einem fernen Computer oder gänzlich auf dem fernen Computer oder Server ausgeführt werden. Im letzteren Szenario kann der ferne Computer durch jede Art von Netzwerk einschließlich eines lokalen Netzwerks (LAN) oder eines Weitverkehrsnetzes (WAN) mit dem Computer eines Benutzers verbunden sein, oder die Verbindung kann zu einem externen Computer hergestellt werden (zum Beispiel über das Internet durch einen Internet-Diensteanbieter).

**[0043]** Aspekte der vorliegenden Erfindung werden hierin Bezug nehmend auf Ablaufpläne und/oder Blockschaubilder von Verfahren, Vorrichtungen (Systemen) und Computerprogrammprodukten gemäß Ausführungsformen der Erfindung beschrieben. Es versteht sich, dass jeder Block der Ablaufpläne und/oder Blockschaubilder und Kombinationen von Blöcken in den Ablaufplänen und/oder Blockschaubildern durch Computerprogrammbefehle realisiert werden können. Diese Computerprogrammbefehle können einem Prozessor eines Universalcomputers, Spezialcomputers oder einer sonstigen programmierbaren Datenverarbeitungsvorrichtung zur Herstellung einer Maschine so bereitgestellt werden, dass die Befehle, die über den Prozessor des Computers oder der sonstigen programmierbaren Datenverarbeitungsvorrichtung ausgeführt werden, Mittel zur Durchführung der Funktionen/Vorgänge ergeben, die im Block oder in Blöcken der Ablaufpläne und/oder Blockschaubilder angegeben sind.

**[0044]** Diese Computerprogrammbefehle können auch in einem computerlesbaren Medium gespeichert sein, das einen Computer, eine andere programmierbare Datenverarbeitungsvorrichtung oder sonstige Einheiten anweisen kann, auf eine bestimmte Weise zu funktionieren, sodass die Befehle, die im computerlesbaren Medium gespeichert sind, ein Herstellungsprodukt mit Befehlen ergeben, die die Funktionen/Vorgänge realisieren, die die im Block oder in

Blöcken der Ablaufpläne und/oder Blockschaubilder angegeben sind.

**[0045]** Die Computerprogrammbefehle können auch in einen Computer, in eine andere programmierbare Datenverarbeitungsvorrichtung oder in sonstige Einheiten geladen werden, um die Durchführung einer Reihe von Arbeitsgängen auf dem Computer, der anderen programmierbaren Vorrichtung oder sonstigen Einheiten zu bewirken, um einen computergestützten Prozess zu ergeben, sodass die Befehle, die auf dem Computer oder der sonstigen programmierbaren Vorrichtung ausgeführt werden, Prozesse zur Ausführung der Funktionen/Vorgänge ergeben, die im Block oder in Blöcken der Ablaufpläne und/oder Blockschaubilder angegeben sind.

**[0046]** Die Ablaufpläne und Blockschaubilder in den Figuren veranschaulichen die Architektur, die Funktionalität und den Betrieb möglicher Implementierungen von Systemen, Verfahren und Computerprogrammprodukten nach verschiedenen Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung. In diesem Zusammenhang kann jeder Block in den Ablaufplänen oder Blockschaubildern ein Codemodul, ein Code-segment oder einen Codeteil darstellen, das einen oder mehrere ausführbare Befehle zur Realisierung der spezifizierten logischen Funktion(en) umfasst. Es ist auch anzumerken, dass die in den Blöcken genannten Funktionen in einigen alternativen Realisierungen in einer anderen Reihenfolge als der in der Figur genannten auftreten können. Zum Beispiel können zwei Blöcke, die aufeinanderfolgend dargestellt sind, tatsächlich im Wesentlichen gleichzeitig ausgeführt werden, oder die Blöcke können abhängig von der beteiligten Funktionalität manchmal in umgekehrter Reihenfolge ausgeführt werden. Es ist auch anzumerken, dass jeder Block der Blockschaubildern und/oder Ablaufplänen und Kombinationen von Blöcken in den Blockschaubildern und/oder Ablaufplänen durch Systeme auf der Basis von Spezialhardware, die die spezifizierten Funktionen oder Vorgänge durchführen, oder durch Kombinationen von Spezialhardware und Computerbefehlen ausgeführt werden können.

**[0047]** Es ist anzumerken, dass jedes der Verfahren, die hierin beschrieben werden, einen zusätzlichen Schritt des Bereitstellens eines Systems umfassen kann, das einzelne Softwaremodule aufweist, die auf einem computerlesbaren Speichermedium verkörpert sind; die Module können zum Beispiel Module einschließen, um das Glühen, die Herstellung oder das Testen wie hierin beschrieben durchzuführen, zu steuern und/oder zu erleichtern (z. B. Steuerung einer Wärmequelle für das Glühen). Die Verfahrensschritte können dann wie oben beschrieben mit getrennten Softwaremodulen und/oder Untermodulen des Systems durchgeführt werden, die auf einem oder mehreren Hardware-Prozessoren **1402** ausge-

führt werden. Ferner kann ein Computerprogrammprodukt ein computerlesbares Speichermedium aufweisen, mit Code, der geeignet ist, zur Durchführung eines oder mehrerer der hierin beschriebenen Verfahrensschritte ausgeführt zu werden, einschließlich der Bereitstellung des Systems mit den einzelnen Softwaremodulen.

**[0048]** In jedem Fall versteht es sich, dass die Komponenten, die hierin veranschaulicht werden, in verschiedenen Formen von Hardware, Software oder Kombinationen daraus realisiert werden können; zum Beispiel anwendungsspezifische integrierte Schaltung(en) (ASICs), Funktionsschaltungen, ein oder mehrere auf geeignete Weise programmierte Universaldigitalcomputer mit zugehörigem Speicher und dergleichen. Aufgrund der Lehren der Erfindung, die hierin gegeben wurden, wird der Fachmann in der Lage sein, andere Realisierungen der Komponenten der Erfindung in Betracht zu ziehen.

**[0049]** Die hierin verwendete Terminologie dient lediglich der Beschreibung bestimmter Ausführungsformen und soll die Erfindung in keiner Weise einschränken. Die Singularformen "ein, eine" und "der, die, das", wie sie hierin verwendet werden, schließen auch die Pluralformen ein, sofern der Kontext nicht eindeutig etwas anderes besagt. Ferner versteht es sich, dass die Ausdrücke "aufweist" und/oder "aufweisend," wenn sie in dieser Patentschrift verwendet werden, das Vorhandensein der genannten Eigenschaften, ganzer Zahlen, Schritte, Operationen, Elemente und/oder Komponenten angeben, aber das Vorhandensein oder den Zusatz einer oder mehrerer anderer Eigenschaften, ganzer Zahlen, Schritte, Operationen, Elemente, Komponenten und/oder Gruppen davon nicht ausschließen.

**[0050]** Die entsprechenden Strukturen, Materialien, Vorgänge und Entsprechungen aller Mittel oder Schritt-plus-Funktion-Elemente in den folgenden Ansprüchen sollen alle Strukturen, Materialien und Vorgänge zur Durchführung der Funktion in Kombination mit anderen beanspruchten Elementen einschließen, wie spezifisch beansprucht. Die Beschreibung der vorliegenden Erfindung soll der Veranschaulichung und Beschreibung dienen, ohne aber erschöpfend oder auf die Erfindung in der offenbarten Form beschränkt zu sein. Dem Fachmann werden viele Modifikationen und Varianten einfallen, ohne vom Umfang und Geist der Erfindung abzuweichen.

**[0051]** Die Ausführungsform wurde gewählt und beschrieben, um die Prinzipien der Erfindung und die praktische Anwendung am besten zu erklären, und um anderen Fachleuten das Verständnis der Erfindung für verschiedene Ausführungsformen mit verschiedenen Modifikationen zu ermöglichen, wie sie



für die vorgesehene spezifische Anwendung geeignet sind.

### Patentansprüche

1. Verfahren, aufweisend:  
Bereitstellen eines Substrats;  
Aussetzen des Substrats einer Hochvakuumumgebung;  
Abscheiden von Kupfer, Zink, Zinn und mindestens einem von Schwefel und Selen auf eine Oberfläche des Substrats durch Wärmeverdampfung, während die Temperatur des Substrats auf einen Bereich gehalten wird, der niedrig genug ist, damit ein Wiederverdampfen des auf dem Substrat abgeschiedenen Materials nicht wesentlich ist, wodurch eine Absorberschicht gebildet wird, die für Solarzellen-Anwendungen geeignet ist, und  
Glühen der auf dem Substrat abgeschiedenen Absorberschicht bei einer zweiten Temperatur, die wesentlich höher ist als die Temperatur, die während des Abscheidungs schritts gehalten wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei der Temperaturbereich während des Abscheidens zwischen 100 und 200°C liegt und die zweite Temperatur über 500°C ist.
3. Verfahren nach Anspruch 2, wobei das Substrat in Anwesenheit von Schwefel geglüht wird.
4. Verfahren nach Anspruch 2, wobei das Kupfer, Zink und Zinn durch Effusionszellen abgeschieden werden.
5. Verfahren nach Anspruch 4, wobei Schwefel und/oder Selen über eine Cracking-Zelle abgeschieden werden.
6. Verfahren nach Anspruch 5, wobei das Kupfer, Zink, Zinn und Schwefel und/oder Selen gleichzeitig auf dem Substrat abgeschieden werden.
7. Verfahren nach Anspruch 6, wobei das Substrat Glas aufweist, das eine Oberfläche mit einer Molybdänbeschichtung aufweist, wobei die Absorberschicht auf der Molybdänbeschichtung abgeschieden wird.
8. Verfahren nach Anspruch 1, außerdem aufweisend die Schritte des:  
Bereitstellens einer Emitterschicht auf der Absorberschicht, und  
Abscheidens einer Fensterschicht auf der Emitterschicht.
9. Verfahren nach Anspruch 1, außerdem aufweisend das Bereitstellen von einem oder mehreren von Kupfer, Zink, Zinn und mindestens einem von Schwe-

fel und Selen in nicht elementarer Form vor der Wärmeverdampfung.

10. Verfahren nach Anspruch 1, wobei das Kupfer, Zink, Zinn und mindestens eines von Schwefel und Selen mit einer Rate zwischen etwa drei und fünf nm/Minute abgeschieden werden.
11. Verfahren, aufweisend:  
Bereitstellen eines Substrats mit einer im Wesentlichen planen Oberfläche;  
Vakuumabscheiden von Kupfer, Zink, Zinn und mindestens einem von Schwefel und Selen auf der im Wesentlichen planen Oberfläche des Substrats, während die Temperatur des Substrats auf einen Bereich gehalten wird, der niedrig genug ist, damit ein Wiederverdampfen des auf dem Substrat abgeschiedenen Materials nicht wesentlich ist, wodurch eine Absorberschicht gebildet wird, die für Solarzellen-Anwendungen geeignet ist;  
Glühen der auf dem Substrat vakuumabgeschiedenen Absorberschicht bei einer Temperatur über 300°C;  
Bereitstellen einer Emitterschicht auf der Absorberschicht, und  
Bereitstellen einer Fensterschicht über der Emitterschicht.
12. Verfahren nach Anspruch 11, wobei mindestens eines von Kupfer, Zink, Zinn und mindestens eines von Schwefel und Selen in elementarer Form auf der im Wesentlichen planen Oberfläche vakuumabgeschieden wird.
13. Verfahren nach Anspruch 11, außerdem aufweisend das Steuern des Flusses jedes von Kupfer, Zink, Zinn und mindestens einem von Schwefel und Selen, während diese auf der im Wesentlichen planen Oberfläche des Substrats vakuumabgeschieden werden.
14. Verfahren nach Anspruch 11, wobei die im Wesentlichen plane Oberfläche des Substrats Molybdän aufweist.
15. Verfahren nach Anspruch 11, wobei das Substrat auf zwischen 100 und 200°C gehalten wird, wenn das Kupfer, Zink, Zinn und mindestens einem von Schwefel und Selen auf der im Wesentlichen planen Oberfläche vakuumabgeschieden werden.
16. Verfahren nach Anspruch 15, wobei Schwefel über eine Cracking-Zelle auf der im Wesentlichen planen Oberfläche des Substrats abgeschieden wird und gleichzeitig Kupfer, Zink und Zinn über Effusionszellen auf der im Wesentlichen planen Oberfläche vakuumabgeschieden werden.

17. Verfahren nach Anspruch 15, wobei das Substrat Glas aufweist und die im Wesentlichen plane Oberfläche des Substrats Molybdän aufweist.

18. Verfahren nach Anspruch 16, wobei der Schwefel, das Kupfer, Zink und Zinn mit einer Rate von 3 bis 5 nm/Minute in einem Vakuum, das auf zwischen  $10^{-6}$  und  $10^{-8}$  Torr gehalten wird, vakuumabgeschieden werden.

19. Verfahren nach Anspruch 16, wobei die Emitterschicht CdS aufweist und durch chemische Badabscheidung bereitgestellt wird und die Fensterschicht i-ZnO und Al-ZnO aufweist, wobei die Fensterschicht durch Zerstäubung bereitgestellt wird.

20. Verfahren, aufweisend:  
Bereitstellen eines Substrats mit einer im Wesentlichen planen Oberfläche;  
Halten der Temperatur des Substrats zwischen 100 und 200°C;  
Vakuumabscheiden von Cu, Zn, Sn und von mindestens einem von S und Se auf der im Wesentlichen planen Oberfläche des Substrats, wodurch auf der im Wesentlichen planen Oberfläche eine Absorberschicht gebildet wird, die für Solarzellen-Anwendungen geeignet ist, und  
Glühen der auf dem Substrat vakuumabgeschiedenen Absorberschicht bei einer Temperatur zwischen 300 und 600°C.

21. Verfahren nach Anspruch 20, wobei die im Wesentlichen plane Oberfläche Molybdän aufweist.

22. Verfahren nach Anspruch 20, aufweisend das Glühen der Absorberschicht zwischen fünf und zwanzig Minuten lang bei einer Temperatur größer als 500°C.

23. Verfahren nach Anspruch 20, außerdem aufweisend das Bereitstellen einer Emitterschicht auf der Absorberschicht und einer Fensterschicht über der Emitterschicht.

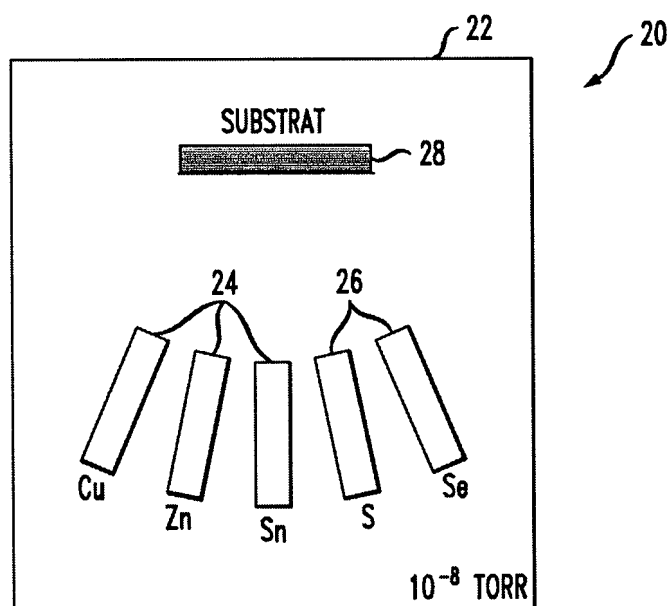
24. Verfahren nach Anspruch 20, wobei die Elemente, aus denen die Absorberschicht besteht, durch Wärmeverdampfung in einem Vakuum abgeschieden werden, das auf zwischen  $10^{-6}$  und  $10^{-8}$  Torr gehalten wird.

25. Verfahren nach Anspruch 20, wobei mindestens eines der Elemente, aus denen die Absorberschicht besteht, durch Zerstäubung abgeschieden wird.

Es folgen 6 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

*FIG. 1*



BEISPIELHAFTER PROZESSABLAUF

**FIG. 2**



KALKNATRONGLAS (1-3 mm DICK)



**FIG. 3**



BESCHICHTEN MIT Mo DURCH  
ZERSTÄUBUNG (600 nm BIS 1  $\mu$ m)



**FIG. 4**



ABSCHEIDEN VON Cu, Zn, Sn, S, Se  
DURCH WÄRMEVERDAMPFUNG



**FIG. 5**



GLÜHEN BEI HOHER TEMPERATUR  
AUF EINER WÄRMEPLATTE,  
TYPISCHERWEISE 5 MINUTEN LANG  
BEI 540 °C



**FIG. 6**



ZÜCHTEN VON 60-70 nm DICKEM  
CdS DURCH CHEMISCHE BADAB-  
SCHEIDUNG



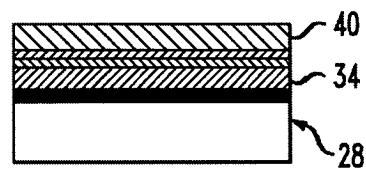
**FIG. 7**



ABSCHEIDEN EINER i-ZnO-DÜNN-  
SCHICHT (80 - 100 nm)

BEISPIELHAFTER PROZESSABLAUF

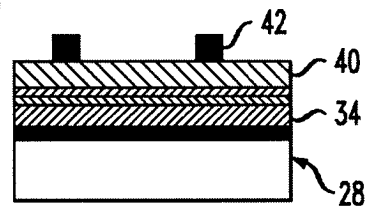
**FIG. 8**



ABSCHEIDEN EINER TCO-SCHICHT  
(Al-ZnO ODER ITO) DURCH ZERSTÄUBUNG



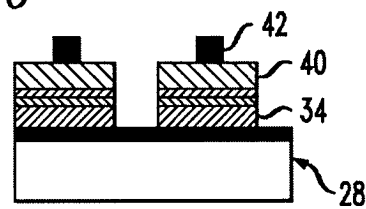
**FIG. 9**



BILDEN EINER OBEREN ELEKTRODE DURCH  
VERDAMPFUNG VON Ni/Al DURCH EINE  
LOCHMASKE



**FIG. 10**



ABTRENNEN DER EINHEITEN DURCH  
MECHANISCHES RITZEN/LASERRITZEN



**FIG. 11**  
GEFERTIGTE EINHEIT

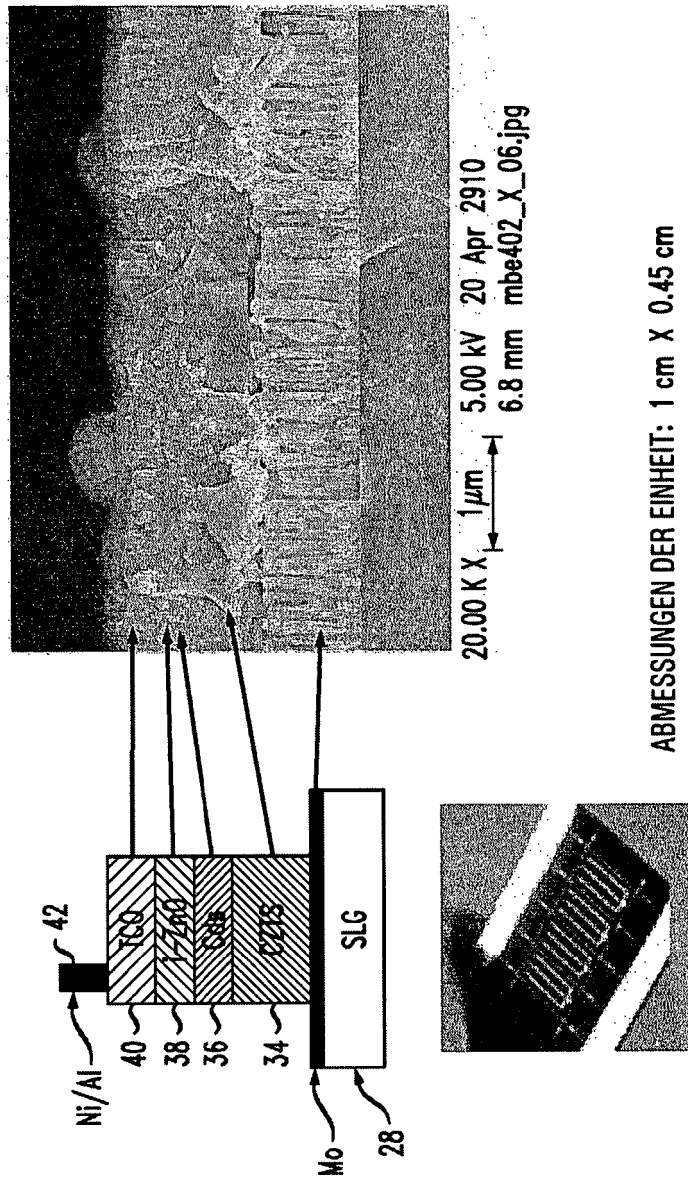


FIG. 12

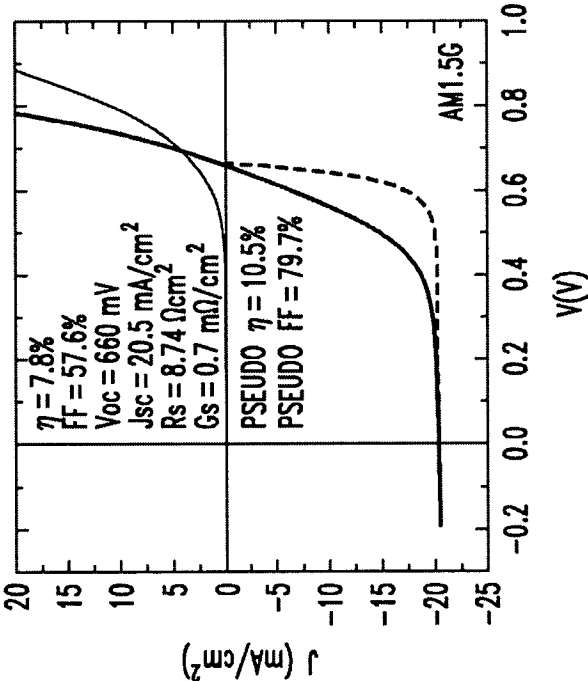


FIG. 13

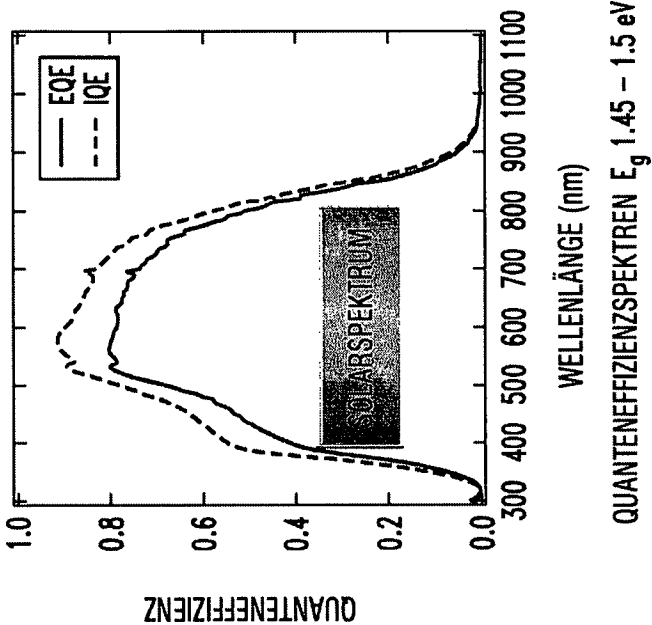


FIG. 14

