



(12) **Veröffentlichung**

der internationalen Anmeldung mit der  
(87) Veröffentlichungs-Nr.: **WO 2023/144866**  
in der deutschen Übersetzung (Art. III § 8 Abs. 2  
IntPatÜbkG)  
(21) Deutsches Aktenzeichen: **11 2022 006 511.7**  
(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/JP2022/002578**  
(86) PCT-Anmeldetag: **25.01.2022**  
(87) PCT-Veröffentlichungstag: **03.08.2023**  
(43) Veröffentlichungstag der PCT Anmeldung  
in deutscher Übersetzung: **07.11.2024**

(51) Int Cl.: **H01L 31/043** (2014.01)  
**H01L 31/048** (2014.01)  
**H01L 31/078** (2012.01)

(71) Anmelder:  
**KABUSHIKI KAISHA TOSHIBA, Tokyo, JP;**  
**Toshiba Energy Systems & Solutions**  
**Corporation, Kawasaki-shi, Kanagawa, JP**

(74) Vertreter:  
**EDER SCHIESCHKE & PARTNER mbB,**  
**Patentanwälte, 80796 München, DE**

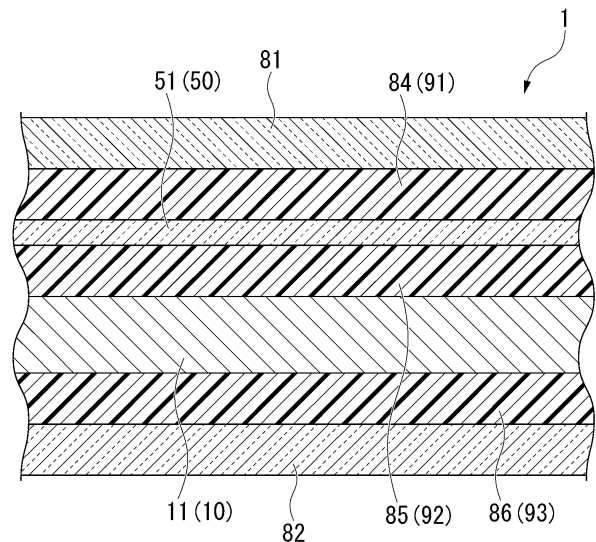
(72) Erfinder:  
**Shiokawa, Miyuki, Kawasaki-shi, Kanagawa, JP;**  
**Yamashita, Katsuya, Kawasaki-shi, Kanagawa,**  
**JP; Gotanda, Takeshi, Kawasaki-shi, Kanagawa,**  
**JP; Tobari, Tomohiro, Kawasaki-shi, Kanagawa,**  
**JP; Saita, Yutaka, Kawasaki-shi, Kanagawa, JP**

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

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

(54) Bezeichnung: **SOLARZELLE UND VERFAHREN ZUR HERSTELLUNG VON SOLARZELLEN**

(57) Zusammenfassung: Eine Solarzelle einer Ausführungsform umfasst ein erstes Solarzellenpanel, ein zweites Solarzellenpanel, eine erste Dichtungsschicht, eine zweite Dichtungsschicht, eine dritte Dichtungsschicht und ein erstes Schutzelement. Die Dicke der ersten Dichtungsschicht beträgt 50 µm oder mehr und 400 µm oder weniger. Die Dicke der zweiten Dichtungsschicht beträgt 30 µm oder mehr und 400 µm oder weniger. Die Dicke der dritten Dichtungsschicht beträgt 50 µm oder mehr und 400 µm oder weniger. Die Dicke des ersten Schutzelements beträgt 25 µm oder mehr und 200 µm oder weniger. Die Dicke der Solarzelle beträgt 350 µm oder mehr und 1140 µm oder weniger an einem Abschnitt, an dem das erste Solarzellenpanel und das zweite Solarzellenpanel einander überlappen, bei Betrachtung in einer normalen Richtung einer lichtempfangenden Oberfläche des ersten Solarzellenpanels.



**Beschreibung****[Lösung des Problems]**

[Technischer Bereich]

**[0001]** Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung beziehen sich auf eine Solarzelle und ein Verfahren zur Herstellung von Solarzellen.

[Stand der Technik]

**[0002]** Es gibt eine Tandem-Solarzelle, in der Solarzellenpaneele übereinander angeordnet sind. Die Tandem-Solarzelle umfasst ein erstes Solarzellenpanel und ein zweites Solarzellenpanel eines lichtdurchlässigen Typs, die auf einer Seite der lichtempfangenden Oberfläche des ersten Solarzellenpanels angeordnet sind. Das erste Solarzellenpanel und das zweite Solarzellenpanel sind aus Halbleitermaterialien mit unterschiedlichen Absorptionswellenlängenbereichen gebildet. Im Vergleich zu Solarzellen aus dem Stand der Technik kann die Tandem-Solarzelle Licht mit einem breiten Wellenlängenbereich in elektrische Energie umwandeln und hat einen hohen Energieumwandlungswirkungsgrad. Aus diesem Grund eignet sich die Tandem-Solarzelle als Stromquelle für ein bewegliches Objekt, wie etwa ein Flugzeug oder ein Mobilitätsfahrzeug.

**[0003]** Wenn die Tandem-Solarzelle auf einem beweglichen Objekt oder ähnlichem montiert ist, ist das Gewicht der Tandem-Solarzelle abhängig von der Vorrichtung, auf der die Tandem-Solarzelle montiert ist. Die Tandem-Solarzelle wird durch Übereinanderschichten eines Dichtungselements und eines Schutzelements auf einem Solarzellenpanel gebildet und daher können die Konfigurationen des Dichtungselements und des Schutzelements unter dem Gesichtspunkt der Gewichtsreduzierung verbessert werden. Wenn jedoch die Tandem-Solarzelle zur Gewichtsreduzierung ausgedünnt wird, können Unebenheiten auf einer Oberfläche auftreten, die die Effizienz der Stromerzeugung verringern können.

[Zitierliste]

[Patentdokument]

**[0004]** [Patentdokument 1] Neu veröffentlichte japanische Übersetzung Nr. WO2019/180854 der internationalen PCT-Veröffentlichung für Patentanmeldungen

[Zusammenfassung der Erfindung]

[Technisches Problem]

**[0005]** Ein Ziel der vorliegenden Erfindung ist es, eine Solarzelle mit hohem Wirkungsgrad und geringem Gewicht sowie ein Verfahren zur Herstellung von Solarzellen bereitzustellen.

**[0006]** Eine Solarzelle gemäß einer Ausführungsform umfasst ein erstes Solarzellenpanel, ein zweites Solarzellenpanel, eine erste Dichtungsschicht, eine zweite Dichtungsschicht, eine dritte Dichtungsschicht und ein erstes Schutzelement. Bei dem zweiten Solarzellenpanel handelt es sich um einen lichtdurchlässigen Typ, das so angeordnet ist, dass es einer lichtempfangenden Oberfläche des ersten Solarzellenpanels gegenüberliegt. Die erste Dichtungsschicht ist auf dem zweiten Solarzellenpanel auf einer dem ersten Solarzellenpanel abgewandten Seite angeordnet. Eine Dicke der ersten Dichtungsschicht beträgt 50  $\mu\text{m}$  oder mehr und 400  $\mu\text{m}$  oder weniger. Die zweite Dichtungsschicht ist zwischen dem ersten Solarzellenpanel und dem zweiten Solarzellenpanel angeordnet. Die zweite Dichtungsschicht ist so angeordnet, dass sie in direktem Kontakt mit dem ersten Solarzellenpanel und dem zweiten Solarzellenpanel steht. Eine Dicke der zweiten Dichtungsschicht beträgt 30  $\mu\text{m}$  oder mehr und 400  $\mu\text{m}$  oder weniger. Die dritte Dichtungsschicht ist auf dem ersten Solarzellenpanel auf einer der zweiten Dichtungsschicht abgewandten Seite angeordnet. Eine Dicke der dritten Dichtungsschicht beträgt 50  $\mu\text{m}$  oder mehr und 400  $\mu\text{m}$  oder weniger. Das erste Schutzelement ist auf der ersten Dichtungsschicht auf einer dem zweiten Solarzellenpanel abgewandten Seite angeordnet. Eine Dicke des ersten Schutzelements beträgt 25  $\mu\text{m}$  oder mehr und 200  $\mu\text{m}$  oder weniger. Eine Dicke der Solarzelle beträgt 350  $\mu\text{m}$  oder mehr und 1140  $\mu\text{m}$  oder weniger an einem Abschnitt, an dem das erste Solarzellenpanel und das zweite Solarzellenpanel einander überlappen, bei Betrachtung in einer normalen Richtung einer lichtempfangenden Oberfläche des ersten Solarzellenpanels.

[Kurzbeschreibung der Zeichnungen]

**Fig. 1** ist eine Draufsicht, die eine Schichtstruktur einer Tandem-Solarzelle gemäß einer Ausführungsform zeigt.

**Fig. 2** ist eine Entwicklungsansicht der Tandem-Solarzelle gemäß der Ausführungsform.

**Fig. 3** ist eine Draufsicht, die ein unteres Modul der Ausführungsform zeigt.

**Fig. 4** ist eine Draufsicht, die ein oberes Modul der Ausführungsform zeigt.

**Fig. 5** ist eine Draufsicht, die eine Positionsbeziehung zwischen dem unteren Modul und dem oberen Modul der Ausführungsform zeigt.

**Fig. 6** ist eine Querschnittsansicht der Tandem-Solarzelle entlang der Linie VI-VI von **Fig. 1**.

**Fig. 7** ist ein Diagramm, das ein Beispiel für einen Erhitzungsschritt gemäß einer Ausführungsform zeigt.

**Fig. 8** ist eine Entwicklungsansicht einer Vorrichtung mit einer Tandem-Solarzelle gemäß einem Modifikationsbeispiel der Ausführungsform.

[Beschreibung der Ausführungsformen]

**[0007]** Nachfolgend werden eine Solarzelle und ein Verfahren zur Herstellung von Solarzellen mit Bezug auf die Zeichnungen beschrieben. In der folgenden Beschreibung werden die gleichen Bezugszeichen für Bestandteile mit gleichen oder ähnlichen Funktionen verwendet. Darüber hinaus kann auf eine doppelte Beschreibung dieser Bestandteile verzichtet werden.

**[0008]** **Fig. 1** ist eine Draufsicht, die eine Schichtstruktur einer Tandem-Solarzelle gemäß einer Ausführungsform zeigt. **Fig. 2** ist eine Entwicklungsansicht der Tandem-Solarzelle gemäß der Ausführungsform. In **Fig. 1** sind einige Schichten weggeschnitten, um eine Anordnungsstruktur der Tandem-Solarzelle 1 zu zeigen.

**[0009]** Wie in den **Fig. 1** und **2** gezeigt, ist die Tandem-Solarzelle 1 in Form einer rechteckigen Platte ausgebildet. Nachfolgend wird die Dickenrichtung der Tandem-Solarzelle 1 einfach als „Dickenrichtung“ bezeichnet. Der Einfachheit halber werden hier eine +X-Richtung, eine -X-Richtung, eine +Y-Richtung und eine -Y-Richtung, die orthogonal zur Dickenrichtung sind, definiert. Die -X-Richtung ist eine Richtung, die der +X-Richtung entgegengesetzt ist. Wenn die +X-Richtung und die -X-Richtung nicht voneinander unterschieden werden, werden sie einfach als „X-Richtung“ bezeichnet. Die +Y-Richtung und die -Y-Richtung sind Richtungen orthogonal zur X-Richtung. Die -Y-Richtung ist eine Richtung, die der +Y-Richtung entgegengesetzt ist. In einem Fall, in dem die +Y-Richtung und die -Y-Richtung nicht voneinander unterschieden werden, werden sie einfach als „Y-Richtung“ bezeichnet. Darüber hinaus wird eine Seite in einer Richtung in Dickenrichtung als „Vorderseite“ und eine Seite in einer der Vorderseite abgewandten Richtung als „Rückseite“ bezeichnet.

**[0010]** Die Tandem-Solarzelle 1 umfasst ein unteres Modul 10 mit einer Photovoltaikzelle 12, die eine Rückzelle bildet, ein oberes Modul 50 mit einer Photovoltaikzelle 52, die an der Vorderseite des unteren Moduls 10 angeordnet ist und eine Vorderzelle bildet, und ein Gehäuse 80, das das untere Modul 10 und das obere Modul 50 beinhaltet. Die Tandem-Solarzelle 1 ist eine Solarzelle mit vier Anschlüssen, bei der jeweils ein Strom aus dem unteren Modul 10 und dem oberen Modul 50 entnommen wird.

**[0011]** **Fig. 3** ist eine Draufsicht, die das untere Modul der Ausführungsform zeigt. In **Fig. 3** ist die äußere Form des Gehäuses 80 durch eine Strichpunktlinie Linie dargestellt.

**[0012]** Wie in **Fig. 3** dargestellt, umfasst das untere Modul 10 eine Vielzahl von unteren Solarzellenpaneelen 11 (erste Solarzellenpaneele, andere Solarzellenpaneele), die miteinander in Reihe geschaltet sind. Alle unteren Solarzellenpaneele 11 sind entlang einer gemeinsamen XY-Ebene angeordnet. Mindestens eine Photovoltaikzelle 12 ist in dem unteren Solarzellenpanel 11 ausgebildet. In dem unteren Solarzellenpanel 11 kann eine einzelne Photovoltaikzelle 12 oder eine Vielzahl von Photovoltaikzellen 12, die miteinander in Reihe und parallel geschaltet sind, ausgebildet sein. Bei der Photovoltaikzelle 12 handelt es sich um eine Photovoltaikzelle auf Siliziumbasis, bei der Si, ein indirekter Übergangshalbleiter, als lichtabsorbierende Schicht verwendet wird. Die Photovoltaikzelle 12 ist beispielsweise eine kristalline Silizium-Photovoltaikzelle mit Rückkontakt, die eine n-Typ-Elektrode und eine p-Typ-Elektrode auf der Rückseite der lichtabsorbierenden Schicht aufweist. Bei der Photovoltaikzelle 12 kann es sich auch um eine Photovoltaikzelle eines anderen Typs handeln, z. B. um eine kristalline Silizium-Photovoltaikzelle. Als Photovoltaikzelle 12 wird beispielsweise eine Photovoltaikzelle auf Siliziumbasis, wie eine einkristalline, polykristalline, Heteroübergangs- oder amorphe Photovoltaikzelle, eine CIS-basierte oder CIGS-basierte Verbund-Photovoltaikzelle oder Ähnliches verwendet. Darüber hinaus kann eine Zellelektrodenstruktur (eine p-Elektrode und eine n-Elektrode) der Photovoltaikzelle 12 eine Kombination aus einer metallischen Durchkontaktierungsstruktur und einer doppelseitigen Lichtempfangsstruktur sein. Das untere Solarzellenpanel 11 ist so angeordnet, dass seine lichtempfangende Oberfläche zur Vorderseite hin ausgerichtet ist. Das heißt, eine normale Richtung der lichtempfangenden Oberfläche des unteren Solarzellenpanels 11 ist die Dickenrichtung. Jedes untere Solarzellenpanel 11 hat eine rechteckige Form mit einem Seitenpaar, das sich in X-Richtung erstreckt, und dem verbleibenden Seitenpaar, das sich in Y-Richtung erstreckt, in einer Draufsicht in Dickenrichtung gesehen. In der vorliegenden Ausführungsform hat jedes untere Solarzellenpanel 11 eine rechteckige Form, wobei die X-Richtung in der Draufsicht eine Längsrichtung darstellt.

**[0013]** Das untere Modul 10 umfasst mehrere untere Panelreihen 11R (mindestens ein erstes Solarzellenpanel), die jeweils aus mehreren miteinander in Reihe geschalteten unteren Solarzellenpaneelen 11 bestehen. In jeder unteren Panelreihe 11R sind die unteren Solarzellenpaneele 11 in der X-Richtung in Abständen angeordnet. Die äußere Form der gesamten unteren Panelreihe 11R hat eine rechteckige Form mit der X-Richtung als Längsrichtung in

der Draufsicht. Die unteren Panelreihen 11R sind in der Y-Richtung in Abständen angeordnet. Dadurch ist die Mehrzahl der unteren Solarzellenpaneele 11 in X- und Y-Richtung angeordnet. Die äußere Form der gesamten Vielzahl von ausgerichteten unteren Solarzellenpaneele 11 hat eine rechteckige Form mit der X-Richtung als Längsrichtung. Im dargestellten Beispiel umfasst das untere Modul 10 fünf untere Panelreihen 11R, die jeweils aus vier unteren Solarzellenpanels 11 bestehen. Die Anzahl der unteren Solarzellenpaneele 11 ist jedoch nicht besonders begrenzt. Im Folgenden wird unter Bezugnahme auf die untere Panelreihe 11R, die von den mehreren unteren Panelreihen 11R am weitesten in +Y-Richtung positioniert ist, die untere Panelreihe 11R, die sich an einer N-ten Position in -Y-Richtung befindet, als „N-te untere Panelreihe 11R“ bezeichnet. Dasselbe gilt für eine obere Panelreihe 51R, die später beschrieben wird.

**[0014]** Das untere Solarzellenpanel 11 umfasst einen negativen Elektrodenanschluss 13, der elektrisch mit der n-Typ-Elektrode verbunden ist, und einen positiven Elektrodenanschluss 14, der elektrisch mit der p-Typ-Elektrode verbunden ist. Wenn es sich bei der Photovoltaikzelle 12 um eine Rückkontakt-Photovoltaikzelle handelt, befinden sich der negative Elektrodenanschluss 13 und der positive Elektrodenanschluss 14 auf der Rückseite des unteren Solarzellenpanels 11. Der negative Elektrodenanschluss 13 ist an einem Endabschnitt des unteren Solarzellenpanels 11 in einer ungeraden unteren Panelreihe 11R in der +X-Richtung vorgesehen und ist an einem Endabschnitt des unteren Solarzellenpanels 11 in einer geraden unteren Panelreihe 11R in der -X-Richtung vorgesehen. Der positive Elektrodenanschluss 14 ist an einem Endabschnitt jedes unteren Solarzellenpanels 11 auf einer dem negativen Elektrodenanschluss 13 abgewandten Seite vorgesehen.

**[0015]** Das untere Modul 10 umfasst einen Zwischenverbinder 16, einen Panelreihen-Endverbinder 17 und eine untere Busleitung 20.

**[0016]** Der Zwischenverbinder 16 verbindet benachbarte untere Solarzellenpaneele 11 in der unteren Panelreihe 11R miteinander in Reihe. Der Zwischenverbinder 16 wird aus einer Metallplatte gebildet. Der Zwischenverbinder 16 besteht beispielsweise aus einer Kupferplatte, einem Kupferdraht oder einer Kupferfolie mit Lötsschichten auf beiden Hauptflächen. Der Zwischenverbinder 16 erstreckt sich über einen Zwischenraum zwischen einem Paar unterer Solarzellenpaneele 11, die in der Draufsicht in X-Richtung nebeneinander liegen. Der Zwischenverbinder 16 ist mit dem negativen Elektrodenanschluss 13 des einen unteren Solarzellenpanels 11 und dem positiven Elektrodenanschluss 14 des anderen unteren Solarzellenpanels 11 verbunden.

**[0017]** Der Panelreihen-Endverbinder 17 ist mit einem Anschluss verbunden, mit dem der Zwischenverbinder 16 zwischen dem negativen Elektrodenanschluss 13 und dem positiven Elektrodenanschluss 14 des unteren Solarzellenpanels 11 jeder unteren Panelreihe 11R nicht verbunden ist. Das heißt, der Panelreihen-Endverbinder 17 ist jeweils mit dem negativen Elektrodenanschluss 13 und dem positiven Elektrodenanschluss 14 verbunden, die die elektrischen Endabschnitte der unteren Panelreihe 11R sind. Der Panelreihen-Endverbinder 17 ist aus einer Metallplatte gebildet. Der Panelreihen-Endverbinder 17 besteht beispielsweise aus demselben Material wie der Zwischenverbinder 16. Der Panelreihen-Endverbinder 17 ragt in der Draufsicht in X-Richtung aus der unteren Panelreihe 11R heraus.

**[0018]** Die untere Busleitung 20 ist in einer Draufsicht in der Nähe der gesamten Mehrzahl der unteren Solarzellenpaneele 11 angeordnet. In der vorliegenden Ausführungsform ist die Umgebung der gesamten Mehrzahl von unteren Solarzellenpaneelen 11 die Umgebung eines einzelnen rechteckigen Panels, wenn die Mehrzahl von unteren Solarzellenpaneelen 11 als einzelnes rechteckiges Panel betrachtet wird. Die untere Busleitung 20 wird aus einer Metallplatte gebildet. Die untere Busleitung 20 besteht beispielsweise aus einer Kupferplatte, die auf beiden Hauptoberflächen mit Lötsschichten versehen ist. Die untere Busleitung 20 erstreckt sich in Y-Richtung. Die unteren Busleitungen 20 sind so angeordnet, dass sie nicht miteinander in Kontakt kommen. Die untere Busleitung 20 umfasst eine Inter-Panel-Busleitung 21 und eine Anschluss-Busleitung 22.

**[0019]** Die Inter-Panel-Busleitung 21 verbindet die benachbarten unteren Panelreihen 11R über den Panelreihen-Endverbinder 17 in Reihe miteinander. Die Inter-Panel-Busleitungen 21 sind auf beiden Seiten der unteren Panelreihe 11R in der +X-Richtung und der -X-Richtung in der Draufsicht angeordnet. Die Inter-Panel-Busleitung 21 in der +X-Richtung verbindet eine n-te untere Panelreihe 11R und eine (n + 1)-te untere Panelreihe 11R miteinander in Reihe, wobei n eine gerade Zahl ist. Insbesondere ist die Inter-Panel-Busleitung 21 in der +X-Richtung mit dem Panelreihen-Endverbinder 17 in der +X-Richtung verbunden, der mit der n-ten unteren Panelreihe 11R verbunden ist, und mit dem Panelreihen-Endverbinder 17 in der +X-Richtung, der mit der (n + 1)-ten unteren Panelreihe 11R verbunden ist. Die Inter-Panel-Busleitung 21 in -X-Richtung verbindet eine m-te untere Panelreihe 11R und eine (m + 1)-te untere Panelreihe 11R miteinander in Reihe, wobei m eine ungerade Zahl ist. Insbesondere ist die Inter-Panel-Busleitung 21 in -X-Richtung mit dem Panelreihen-Endverbinder 17 in -X-Richtung verbunden, der mit der m-ten unteren Panelreihe 11R verbunden ist, und mit dem Panelreihen-Endverbinder 17 in -X-Richtung verbunden, der mit der (m + 1)-ten unteren Panelreihe 11R verbunden ist.

binder 17 in -X-Richtung, der mit der (m + 1)-ten unteren Panelreihe 11R verbunden ist.

**[0020]** Die Anschluss-Busleitung 22 ist mit dem Panelreihen-Endverbinder 17 verbunden, der nicht an die Inter-Panel-Busleitung 21 der Panelreihen-Endverbinder 17 angeschlossen ist. Das heißt, wenn mehrere untere Solarzellenpaneele 11, die in Reihe miteinander verbunden sind, als eine Solarzelle betrachtet werden, ist die Anschluss-Busleitung 22 über den Panelreihen-Endverbinder 17 mit dem negativen Elektrodenanschluss 13 und dem positiven Elektrodenanschluss 14 verbunden, die die elektrischen Endabschnitte der einen Solarzelle sind. Die Anschluss-Busleitungen 22 sind auf beiden Seiten der unteren Panelreihe 11R in der +X-Richtung und der -X-Richtung in einer Draufsicht angeordnet. Die Anschluss-Busleitung 22 in der +X-Richtung ist mit dem Panelreihen-Endverbinder 17 in der +X-Richtung verbunden, der mit einer ersten unteren Panelreihe 11R verbunden ist. Die Anschluss-Busleitung 22 in der +X-Richtung erstreckt sich in der +Y-Richtung von einem Verbindungsabschnitt mit dem Panelreihen-Endverbinder 17 und wird aus dem Gehäuse 80 herausgeführt. In einem Fall, in dem die Anzahl der unteren Panelreihen 11R N beträgt, ist die Anschluss-Busleitung 22 in -X-Richtung mit dem Panelreihen-Endverbinder 17 in -X-Richtung verbunden, der mit einer N-ten unteren Panelreihe 11R verbunden ist. Die Anschluss-Busleitung 22 in der -X-Richtung erstreckt sich in der -Y-Richtung von einem Verbindungsabschnitt mit dem Panelreihen-Endverbinder 17 und wird aus dem Gehäuse 80 herausgeführt.

**[0021]** Die untere Busleitung 20 erstreckt sich in der +Y-Richtung in Bezug auf jede untere Panelreihe 11R, die mit der unteren Busleitung 20 verbunden ist. Zum Beispiel erstreckt sich die Inter-Panel-Busleitung 21 in der +X-Richtung in der +Y-Richtung in Bezug auf eine m-te untere Panelreihe 11R von einem Verbindungsabschnitt mit der m-ten unteren Panelreihe 11R und ist mit einer (m - 1)-ten unteren Panelreihe 11R verbunden, wobei m eine ungerade Zahl ist. Ferner erstreckt sich die Inter-Panel-Busleitung 21 in der +X-Richtung in der +Y-Richtung in Bezug auf die (m - 1)-te untere Panelreihe 11R von einem Verbindungsabschnitt mit der (m - 1)-ten unteren Panelreihe 11R.

**[0022]** Das untere Modul 10 umfasst das flexible Substrat 30 und eine Bypass-Diode 40. Das flexible Substrat 30 ist für jede untere Panelreihe 11R vorgesehen. Das flexible Substrat 30 ist mit der unteren Panelreihe 11R parallel verbunden, um eine Bypass-Leitung für die untere Panelreihe 11R zu bilden. Das flexible Substrat 30 ist über die untere Busleitung 20 und den Panelreihen-Endverbinder 17 mit dem negativen Elektrodenanschluss 13 und dem positiven Elektrodenanschluss 14 verbunden, die

die elektrischen Endabschnitte der unteren Panelreihe 11R bilden. Das flexible Substrat 30 ist an der Rückseite der unteren Panelreihe 11R angeordnet und überlappt das untere Solarzellenpanel 11 in der Draufsicht. Das flexible Substrat 30 erstreckt sich in der Längsrichtung (d. h. in X-Richtung) der unteren Panelreihe 11R mit einer konstanten Breite in der Draufsicht.

**[0023]** Das flexible Substrat 30 ist so angeordnet, dass beide Hauptflächen in Dickenrichtung ausgerichtet sind. Das flexible Substrat 30 umfasst eine Verdrahtung 31 und ein Basiselement 32, das die Verdrahtung 31 stützt. Die Verdrahtung 31 besteht zum Beispiel aus einer Kupferfolie oder ähnlichem. Die Verdrahtung 31 erstreckt sich im Wesentlichen über die gesamte Länge des flexiblen Substrats 30. Das Basiselement 32 besteht aus einem Isoliermaterial wie z. B. Polyimid in Form einer Folie. Das Basiselement 32 legt die Verdrahtung 31 an beiden Endabschnitten des flexiblen Substrats 30 zur Vorderseite hin frei. Die Verdrahtung 31 ist an beiden Endabschnitten des flexiblen Substrats 30 zur Vorderseite hin von dem Basiselement 32 freigelegt. Es kann jedoch auch eine Konfiguration verwendet werden, bei der die Verdrahtung 31 sowohl auf der Vorder- als auch auf der Rückseite des Basiselements 32 freiliegt, indem freie Leitungen in der Nähe beider Endabschnitte des flexiblen Substrats 30 verwendet werden. Die Verdrahtung 31 ist mit der Rückseite der unteren Busleitung 20 an beiden Endabschnitten des flexiblen Substrats 30 verbunden.

**[0024]** Die Bypass-Diode 40 ist auf dem flexiblen Substrat 30 montiert. Die Bypass-Diode 40 ist mit einem mittleren Teil der Verdrahtung 31 verbunden. Die Bypass-Diode 40 führt eine Gleichrichtung in der Verdrahtung 31 durch. Die Bypass-Diode 40 ist mit der Rückseite der Verdrahtung 31 verbunden und ragt aus dem flexiblen Substrat 30 nach hinten heraus.

**[0025]** Fig. 4 ist eine Draufsicht, die das obere Modul der Ausführungsform zeigt. In Fig. 4 ist die äußere Form des Gehäuses 80 durch eine Strichpunktlinie dargestellt.

**[0026]** Wie in Fig. 4 gezeigt, hat das obere Modul 50 eine Vielzahl von oberen Solarzellenpaneelen 51 (zweite Solarzellenpaneele). Alle oberen Solarzellenpaneele 51 sind entlang einer gemeinsamen XY-Ebene angeordnet. Die oberen Solarzellenpaneele 51 sind in der gleichen Anzahl vorhanden wie die unteren Solarzellenpaneele 11. In dem oberen Solarzellenpanel 51 ist eine Photovoltaikzelle 52 ausgebildet. In dem oberen Solarzellenpanel 51 können jedoch auch mehrere in Reihe und parallel geschaltete Photovoltaikzellen vorhanden sein. Bei der Photovoltaikzelle 52 handelt es sich um eine Photovoltaikzelle des Übertragungstyps, bei der ein

Halbleiter des Direktübertragungstyps für eine lichtabsorbierende Schicht verwendet wird. Die Photovoltaikzelle 52 hat eine lichtabsorbierende Schicht mit einer breiteren Bandlücke als die lichtabsorbierende Schicht der Photovoltaikzelle 12 des unteren Moduls 10. Die lichtabsorbierende Schicht der Photovoltaikzelle 52 enthält Kupferoxid (Cu<sub>2</sub>O) als Halbleiter des Direktübertragungstyps. Die Photovoltaikzelle 52 hat eine Konfiguration, bei der eine p-Elektrode, eine p-lichtabsorbierende Schicht, eine n-Verbindungsschicht und eine n-Elektrode in dieser Reihenfolge auf der Vorderseite eines Glassubstrats angeordnet sind. Die p-Elektrode liegt auf der Vorderseite an einem Endabschnitt des oberen Solarzellenpanels 51 in +Y-Richtung frei. Die n-Elektrode liegt auf der Vorderseite an einem Endabschnitt des oberen Solarzellenpanels 51 in der -Y-Richtung frei. Die p-Elektrode und die n-Elektrode dienen als Anschlüsse für die Entnahme eines Stroms an der Vorderseite des oberen Solarzellenpanels 51. Das obere Solarzellenpanel 51 ist so angeordnet, dass seine lichtempfangende Oberfläche zur Vorderseite hin ausgerichtet ist. Das heißt, eine normale Richtung der lichtempfangenden Oberfläche des oberen Solarzellenpanels 51 ist die Dickenrichtung.

**[0027]** Das obere Modul 50 umfasst eine Vielzahl von oberen Panelreihen 51R, die jeweils aus einer Vielzahl von oberen Solarzellenpaneelen 51 bestehen, die parallel miteinander verbunden sind. In jeder oberen Panelreihe 51R sind die oberen Solarzellenpaneele 51 in X-Richtung in Abständen angeordnet. Die äußere Form der gesamten oberen Panelreihe 51R hat eine rechteckige Form mit der X-Richtung als Längsrichtung in der Draufsicht. Die oberen Panelreihen 51R sind in Reihe miteinander verbunden. Die oberen Panelreihen 51R sind in Y-Richtung in Abständen angeordnet. Dadurch ist die Mehrzahl der oberen Solarzellenpaneele 51 in X- und Y-Richtung angeordnet. Die äußere Form der gesamten Vielzahl von ausgerichteten oberen Solarzellenpaneelen 51 hat eine rechteckige Form mit der X-Richtung als Längsrichtung. Die oberen Solarzellenpaneele 51 sind so angeordnet, dass sie die unteren Solarzellenpaneele 11 einzeln überlappen. Im gezeigten Beispiel umfasst das obere Modul 50 daher fünf obere Panelreihen 51R, die jeweils aus vier oberen Solarzellenpaneelen 51 bestehen.

**[0028]** Fig. 5 ist eine Draufsicht, die eine Positionsbeziehung zwischen dem unteren Modul und dem oberen Modul der Ausführungsform zeigt.

**[0029]** Wie in Fig. 5 gezeigt, ist jedes obere Solarzellenpanel 51 so angeordnet, dass es der lichtempfangenden Oberfläche (der Vorderseitenoberfläche) des unteren Solarzellenpanels 11 des unteren Moduls 10 gegenüberliegt. Das obere Solarzellenpanel 51 ist so geformt, dass es gleich groß oder größer ist als das untere Solarzellenpanel 11. Das obere

Solarzellenpanel 51 überlappt das gesamte untere Solarzellenpanel 11 in einer Draufsicht. Die Photovoltaikzelle 52 des oberen Solarzellenpanels 51 überlappt in der Draufsicht die gesamte Photovoltaikzelle 12 des unteren Solarzellenpanels 11. Mit anderen Worten, die gesamte Photovoltaikzelle 12 des unteren Solarzellenpanels 11 befindet sich in der Draufsicht innerhalb des Umrisses der Photovoltaikzelle 52 des oberen Solarzellenpanels 51.

**[0030]** Wie in Fig. 4 dargestellt, umfasst das obere Modul 50 einen Zwischenverbinder 60 und eine obere Busleitung 70. Der Zwischenverbinder 60 besteht beispielsweise aus einem Kupferdraht, einer Kupferplatte, einer Kupferfolie oder einem leitenden Band, das auf beiden Hauptoberflächen mit Lot beschichtet ist. Für jede obere Panelreihe 51R ist ein Paar von Zwischenverbindern 60 vorgesehen. Der Zwischenverbinder 60 umfasst einen ersten Zwischenverbinder 61, der mit der p-Elektrode des oberen Solarzellenpanels 51 verbunden ist, und einen zweiten Zwischenverbinder 62, der mit der n-Elektrode des oberen Solarzellenpanels 51 für jede obere Panelreihe 51R verbunden ist. Jeder Zwischenverbinder 60 erstreckt sich in einer Ausrichtungsrichtung (d.h. der X-Richtung) der oberen Solarzellenpaneele 51 in der oberen Panelreihe 51R mit einer konstanten Breite in einer Draufsicht. Der erste Zwischenverbinder 61 ist mit der Oberfläche eines Endabschnitts des oberen Solarzellenpanels 51 jeder oberen Panelreihe 51R in der +Y-Richtung verbunden. Der erste Zwischenverbinder 61 verbindet die p-Elektroden der oberen Solarzellenpaneele 51 jeder oberen Panelreihe 51R miteinander. Der zweite Zwischenverbinder 62 ist mit der Oberfläche eines Endabschnitts des oberen Solarzellenpanels 51 jeder oberen Panelreihe 51R in der -Y-Richtung verbunden. Der zweite Zwischenverbinder 62 verbindet die n-Elektroden der oberen Solarzellenpaneele 51 jeder oberen Panelreihe 51R miteinander. Der Zwischenverbinder 60 ist zweckmäßigerweise so angeordnet, dass er die Photovoltaikzelle 12 des unteren Solarzellenpanels 11 in der Draufsicht nicht überlappt.

**[0031]** Der Zwischenverbinder 60 erstreckt sich in der +X-Richtung oder der -X-Richtung in Bezug auf die obere Panelreihe 51R. Der erste Zwischenverbinder 61, der mit einer ungeraden oberen Panelreihe 51R verbunden ist, erstreckt sich in die -X-Richtung in Bezug auf die obere Panelreihe 51R. Der erste Zwischenverbinder 61, der mit einer geradzahlig oberen Panelreihe 51R verbunden ist, erstreckt sich in der +X-Richtung in Bezug auf die obere Panelreihe 51R. Der zweite Zwischenverbinder 62, der mit der ungeraden oberen Panelreihe 51R verbunden ist, erstreckt sich in der +X-Richtung in Bezug auf die obere Panelreihe 51R. Der zweite Zwischenverbinder 62, der mit der geradzahlig oberen Panelreihe 51R verbunden ist, erstreckt sich in der

-X-Richtung in Bezug auf die obere Panelreihe 51R. Der Zwischenverbinder 60 ist mit der oberen Busleitung 70 an einem Teil verbunden, der in X-Richtung über die obere Panelreihe 51R hinausragt.

**[0032]** Die oberen Busleitungen 70 sind auf beiden Seiten der oberen Panelreihe 51R in der +X-Richtung und der -X-Richtung in einer Draufsicht angeordnet. Die obere Busleitung 70 ist in einer Draufsicht in der Nähe der gesamten Mehrzahl der oberen Solarzellenpaneele 51 angeordnet. In der vorliegenden Ausführungsform ist die Umgebung der gesamten Mehrzahl der oberen Solarzellenpaneele 51 die Umgebung eines einzelnen rechteckigen Paneels in einem Fall, in dem die Mehrzahl der oberen Solarzellenpaneele 51 als einzelnes rechteckiges Panel betrachtet wird. Die obere Busleitung 70 ist an derselben Position in X-Richtung angeordnet wie die untere Busleitung 20. Die obere Busleitung 70 ist aus einer Metallplatte gebildet. Die obere Busleitung 70 besteht beispielsweise aus demselben Material wie die untere Busleitung 20. Die obere Busleitung 70 erstreckt sich in Y-Richtung. Die oberen Busleitungen 70 sind so angeordnet, dass sie nicht miteinander in Kontakt kommen. Die obere Busleitung 70 umfasst eine Inter-Panel-Busleitung 71 und eine Anschluss-Busleitung 72.

**[0033]** Die Inter-Panel-Busleitung 71 verbindet die benachbarten oberen Panelreihen 51R über den Zwischenverbinder 60 in Reihe miteinander. Die Inter-Panel-Busleitungen 71 sind auf beiden Seiten der oberen Panelreihe 51R in +X-Richtung und in -X-Richtung in der Draufsicht angeordnet. Die Inter-Panel-Busleitung 71 in der +X-Richtung ist mit einem Endabschnitt des zweiten Zwischenverbinders 62 in der +X-Richtung verbunden, der mit einer m-ten oberen Panelreihe 51R verbunden ist, und mit einem Endabschnitt des ersten Zwischenverbinders 61 in der +X-Richtung, der mit einer (m + 1)-ten oberen Panelreihe 51R verbunden ist, wobei m eine ungerade Zahl ist. Die Inter-Panel-Busleitung 71 in der -X-Richtung ist mit einem Endabschnitt des zweiten Zwischenverbinders 62 in der -X-Richtung verbunden, der mit der n-ten oberen Panelreihe 51R verbunden ist, und mit einem Endabschnitt des ersten Zwischenverbinders 61 in der -X-Richtung, der mit einer (n + 1)-ten oberen Panelreihe 51R verbunden ist, wobei n eine gerade Zahl ist.

**[0034]** Wenn mehrere obere Solarzellenpaneele 51, die in Reihe und parallel miteinander verbunden sind, als eine Solarzelle betrachtet werden, ist die Anschluss-Busleitung 72 über den Zwischenverbinder 60 mit der p-Elektrode und der n-Elektrode verbunden, die die elektrischen Endabschnitte der einen Solarzelle sind. Die Anschluss-Busleitungen 72 sind auf beiden Seiten der oberen Panelreihe 51R in der +X-Richtung und der -X-Richtung in einer Draufsicht angeordnet. Die Anschluss-Busleitung 72 in der -X-

Richtung ist mit einem Endabschnitt des ersten Zwischenverbinders 61 in der -X-Richtung verbunden, der mit einer ersten oberen Panelreihe 51R verbunden ist. Die Anschluss-Busleitung 72 in der -X-Richtung erstreckt sich in der +Y-Richtung von einem Verbindungsabschnitt mit dem ersten Zwischenverbinder 61 und wird aus dem Gehäuse 80 herausgeführt. In einem Fall, in dem die Anzahl der oberen Panelreihen 51R N beträgt, ist die Anschluss-Busleitung 72 in der +X-Richtung mit einem Endabschnitt des zweiten Zwischenverbinders 62 in der +X-Richtung verbunden, der mit einer N-ten oberen Panelreihe 51R verbunden ist. Die Anschluss-Busleitung 72 in der +X-Richtung erstreckt sich in der -Y-Richtung von einem Verbindungsabschnitt mit dem zweiten Zwischenverbinder 62 und wird aus dem Gehäuse 80 herausgeführt.

**[0035]** Obwohl nicht dargestellt, kann eine Bypass-Diode mit jedem oberen Solarzellenpanel 51 parallel geschaltet werden. So kann beispielsweise eine Bypass-Diode für jede obere Panelreihe 51R vorgesehen sein. In diesem Fall können die Bypass-Dioden mit dem ersten Zwischenverbinder 61 und dem zweiten Zwischenverbinder 62 an Positionen in der +X-Richtung oder der -X-Richtung der obersten Panelreihe 51R verbunden werden.

**[0036]** Wie in **Fig. 1** dargestellt, beherbergt das Gehäuse 80 das untere Modul 10 mit der Anschluss-Busleitung 22 der unteren Busleitung 20 herausgeführt und das obere Modul 50 mit der oberen Busleitung 70 herausgeführt. Das Gehäuse 80 umfasst eine vordere Abdeckung 81 (ein erstes Schutzteil) und eine hintere Abdeckung 82 (ein zweites Schutzteil). Die vordere Abdeckung 81 ist an der Vorderseite des unteren Moduls 10 und des oberen Moduls 50 angeordnet. Die hintere Abdeckung 82 ist auf der Rückseite des unteren Moduls 10 und des oberen Moduls 50 angeordnet.

**[0037]** Die vordere Abdeckung 81 ist eine einschichtige Schicht, die aus einem Harz auf Fluorbasis besteht und eine lichtdurchlässige Eigenschaft hat. Das Harz auf Fluorbasis ist zum Beispiel ein Tetrafluorethylen-Ethylen-Copolymer (ETFE), ein Chlortrifluorethylen-Ethylen-Copolymer (ECTFE) oder ähnliches. Die vordere Abdeckung 81 hat eine rechteckige Form mit einem Paar von Seiten, die sich in der X-Richtung erstrecken, und dem verbleibenden Paar von Seiten, die sich in der Y-Richtung erstrecken, in einer Draufsicht. Die vordere Abdeckung 81 ist so angeordnet, dass sie in der Draufsicht einen Teil des unteren Moduls 10 mit Ausnahme eines Endes der Anschluss-Busleitung 22 und einen Teil des oberen Moduls 50 mit Ausnahme eines Endes jeder oberen Busleitung 70 vollständig überlappt. Im Folgenden wird ein Teil des unteren Moduls 10 und des oberen Moduls 50, der die vordere Abdeckung 81 in einer Draufsicht überlappt,

als Hauptteil bezeichnet. Die Vorderseitenfläche der Frontabdeckung 81 bildet eine Lichteinfallfläche der Tandem-Solarzelle 1.

**[0038]** Wie die vordere Abdeckung 81 ist auch die hintere Abdeckung 82 eine einschichtige Schicht aus einem Harz auf Fluorbasis, die lichtdurchlässig ist. Die hintere Abdeckung 82 ist so geformt, dass sie in der Draufsicht die gleiche Form und Größe wie die vordere Abdeckung 81 hat. Die hintere Abdeckung 82 ist so angeordnet, dass sie die vordere Abdeckung 81 in einer Draufsicht vollständig überlappt.

**[0039]** Wie in **Fig. 2** dargestellt, weist das Gehäuse 80 ein Dichtungselement 83 auf. Das Dichtungselement 83 ist zwischen der vorderen Abdeckung 81 und der hinteren Abdeckung 82 angeordnet. Das Dichtungselement 83 besteht aus einem Harzmaterial, das eine lichtdurchlässige Eigenschaft und eine isolierende Eigenschaft hat. Das Dichtungselement 83 wird gebildet, indem mehrere Isolierschichten 90 zwischen der vorderen Abdeckung 81 und der hinteren Abdeckung 82 übereinander angeordnet werden und durch eine Wärmebehandlung miteinander verbunden werden. Jede Isolierschicht 90 ist eine einlagige Schicht, die mindestens eines der folgenden Materialien enthält: ein Ethylen-Vinylacetat-Copolymer, ein Harz auf Polyolefinbasis und ein Harz auf Ionomerbasis.

**[0040]** **Fig. 6** ist eine Querschnittsansicht der Tandem-Solarzelle entlang der Linie VI-VI von **Fig. 1**.

**[0041]** Wie in **Fig. 2** und **Fig. 6** gezeigt, umfasst die Mehrzahl der Isolierschichten 90 eine erste Isolierschicht 91 (ein erstes Dichtungselement), die zwischen dem oberen Modul 50 und der vorderen Abdeckung 81 angeordnet ist, eine zweite Isolierschicht 92 (ein zweites Dichtungselement), die zwischen dem unteren Modul 10 und dem oberen Modul 50 angeordnet ist, und eine dritte Isolierschicht 93 (ein drittes Dichtungselement), die zwischen dem unteren Modul 10 und der hinteren Abdeckung 82 angeordnet ist. Somit sind das untere Modul 10 und das obere Modul 50 zwischen den Schichten der Isolierschichten 90 angeordnet. Das flexible Substrat 30 ist in die dritte Isolierschicht 93 eingebettet. Wie die vordere Abdeckung 81 und die hintere Abdeckung 82 überlappt jede Isolierschicht 90 in der Draufsicht den gesamten Hauptteil des unteren Moduls 10 und des oberen Moduls 50. Darüber hinaus überlappen sich die Isolierschichten 90 an der Außenseite des unteren Moduls 10 und des oberen Moduls 50 in der Draufsicht.

**[0042]** Wie in **Fig. 6** dargestellt, umfasst das Dichtungselement 83 eine erste Dichtungsschicht 84, eine zweite Dichtungsschicht 85 und eine dritte Dichtungsschicht 86. Die erste Dichtungsschicht 84 ist so

angeordnet, dass sie von einer dem unteren Solarzellenpanel 11 abgewandten Seite aus in direktem Kontakt mit dem oberen Solarzellenpanel 51 steht. Die erste Dichtungsschicht 84 ist ein Teil der ersten Isolierschicht 91, der das obere Solarzellenpanel 51 in der Draufsicht überlappt. Die zweite Dichtungsschicht 85 ist zwischen dem unteren Solarzellenpanel 11 und dem oberen Solarzellenpanel 51 angeordnet. Die zweite Dichtungsschicht 85 ist so angeordnet, dass sie in direktem Kontakt mit dem unteren Solarzellenpanel 11 und dem oberen Solarzellenpanel 51 steht. Die zweite Dichtungsschicht 85 ist ein Teil der zweiten Isolierschicht 92, der in der Draufsicht das untere Solarzellenpanel 11 und das obere Solarzellenpanel 51 überlappt. Somit ist nur die zweite Dichtungsschicht 85 zwischen dem unteren Solarzellenpanel 11 und dem oberen Solarzellenpanel 51 angeordnet. Die dritte Dichtungsschicht 86 ist so angeordnet, dass sie auf einer der zweiten Dichtungsschicht 85 abgewandten Seite in direktem Kontakt mit dem unteren Solarzellenpanel 11 steht. Die dritte Dichtungsschicht 86 ist ein Teil der dritten Isolierschicht 93, der das untere Solarzellenpanel 11 in der Draufsicht überlappt.

**[0043]** Die Dicke der einzelnen Komponenten der Tandem-Solarzelle 1 wird unter Bezugnahme auf **Fig. 6** beschrieben. Die Dicke der vorderen Abdeckung 81 beträgt 25  $\mu\text{m}$  oder mehr und 200  $\mu\text{m}$  oder weniger, vorzugsweise 50  $\mu\text{m}$  oder mehr und 150  $\mu\text{m}$  oder weniger, und noch bevorzugter 50  $\mu\text{m}$  oder mehr und 100  $\mu\text{m}$  oder weniger. Die Dicke der ersten Dichtungsschicht 84 beträgt 50  $\mu\text{m}$  oder mehr und 400  $\mu\text{m}$  oder weniger, vorzugsweise 50  $\mu\text{m}$  oder mehr und 200  $\mu\text{m}$  oder weniger und besonders bevorzugt 100  $\mu\text{m}$  oder mehr und 200  $\mu\text{m}$  oder weniger. Die Dicke des oberen Solarzellenpanels 51 beträgt 30  $\mu\text{m}$  oder mehr und 150  $\mu\text{m}$  oder weniger, und vorzugsweise 35  $\mu\text{m}$  oder mehr und 80  $\mu\text{m}$  oder weniger. Die Dicke des oberen Solarzellenpanels 51 entspricht zum Beispiel der Dicke eines Glassubstrats. Die Dicke der zweiten Dichtungsschicht 85 beträgt 30  $\mu\text{m}$  oder mehr und 400  $\mu\text{m}$  oder weniger, vorzugsweise 35  $\mu\text{m}$  oder mehr und 200  $\mu\text{m}$  oder weniger, und noch bevorzugter 100  $\mu\text{m}$  oder mehr und 200  $\mu\text{m}$  oder weniger. Die Dicke des unteren Solarzellenpanels 11 beträgt 100  $\mu\text{m}$  oder mehr und 150  $\mu\text{m}$  oder weniger. Die Dicke des unteren Solarzellenpanels 11 entspricht zum Beispiel der Dicke eines Siliziumwafers (eines Siliziumsubstrats). Die Dicke der dritten Dichtungsschicht 86 beträgt 50  $\mu\text{m}$  oder mehr und 400  $\mu\text{m}$  oder weniger, vorzugsweise 50  $\mu\text{m}$  oder mehr und 200  $\mu\text{m}$  oder weniger, und noch bevorzugter 100  $\mu\text{m}$  oder mehr und 200  $\mu\text{m}$  oder weniger. In einem Fall, in dem das flexible Substrat 30 in die dritte Dichtungsschicht 86 eingebettet ist, ist die Dicke der dritten Dichtungsschicht 86 eine Dicke, die das flexible Substrat 30 umfasst. Die Dicke der rückseitigen Abdeckung 82 beträgt 25  $\mu\text{m}$  oder mehr und 200  $\mu\text{m}$  oder weniger, vorzugsweise 50

µm oder mehr und 150 µm oder weniger und noch bevorzugter 50 µm oder mehr und 100 µm oder weniger. Außerdem beträgt die Dicke der Tandem-Solarzelle 1 375 µm oder mehr und 1290 µm oder weniger an einem Abschnitt, an dem das untere Solarzellenpanel 11 und das obere Solarzellenpanel 51 einander in der Draufsicht überlappen. Die Dicke der einzelnen Abschnitte der Tandem-Solarzelle 1 wird beispielsweise mit einem REM-Querschnitt oder ähnlichem gemessen.

**[0044]** Es wird ein Verfahren zur Herstellung der Tandem-Solarzelle 1 beschrieben.

**[0045]** In der vorliegenden Ausführungsform wird die Tandem-Solarzelle 1 durch Erhitzen eines geschichteten Körpers 2 gebildet, in dem die vordere Abdeckung 81, die hintere Abdeckung 82, das untere Modul 10, das obere Modul 50 und die oben beschriebene Isolierschicht 90 übereinander angeordnet und miteinander verbunden werden. Das Herstellungsverfahren der vorliegenden Ausführungsform umfasst einen Vorwärmsschritt, einen Anordnungsschritt und einen Erwärmungsschritt. [0041]

**[0046]** Zunächst wird der Vorwärmsschritt durchgeführt. Im Vorwärmsschritt wird mindestens eine der ersten Isolierschicht 91, der zweiten Isolierschicht 92 und der dritten Isolierschicht 93 allein erwärmt, um die Isolierschicht im Voraus schrumpfen zu lassen. Im Vorwärmsschritt ist es zweckmäßig, zwischen der zu erwärmenden Isolierschicht und einem Heizkörper eine Fluorharzschicht anzuordnen, um ein Verschweißen der Isolierschicht mit dem Heizkörper zu verhindern. Der Vorwärmsschritt kann in Abhängigkeit von der Dicke oder dem Material des Schutzkörpers oder der Isolierschicht entfallen. Insbesondere in dem weiter unten beschriebenen Erwärmungsschritt muss der Vorwärmungsschritt nicht durchgeführt werden, wenn die Dicke des Schutzelements auf einer Heizflächenseite des ersten Schutzelements und des zweiten Schutzelements mehr als 100 µm (vorzugsweise 150 µm oder mehr) beträgt oder wenn die Dicke der Isolierschicht mehr als 100 µm beträgt.

**[0047]** Anschließend wird der Anordnungsschritt durchgeführt. In dem Anordnungsschritt wird der geschichtete Körper 2 gebildet, in dem die vordere Abdeckung 81, die erste Isolierschicht 91, das obere Modul 50, die zweite Isolierschicht 92, das untere Modul 10, die dritte Isolierschicht 93 und die hintere Abdeckung 82 in dieser Reihenfolge übereinander angeordnet werden. Das obere Modul 50 ist so angeordnet, dass das obere Solarzellenpanel 51 der lichtempfangenden Oberfläche des unteren Solarzellenpanels 11 zugewandt ist. Die erste Isolierschicht 91 überlappt das obere Modul 50 von einer dem unteren Modul 10 abgewandten Seite. Eine

zweite Isolierschicht 92 überlappt das untere Modul 10 und das obere Modul 50 zwischen dem unteren Solarzellenpanel 11 und dem oberen Solarzellenpanel 51. Die dritte Isolierschicht 93 überlappt das untere Modul 10 von einer der zweiten Isolierschicht 92 abgewandten Seite. Die hintere Abdeckung 82 überlappt die dritte Isolierschicht 93 von einer dem unteren Modul 10 abgewandten Seite. Die vordere Abdeckung 81 überlappt die erste Isolierschicht 91 von einer dem oberen Modul 50 abgewandten Seite. Auf diese Weise wird der geschichtete Körper 2 gebildet. Die Reihenfolge, in der die Schritte des Überlappens der Elemente ausgeführt werden, ist nicht besonders begrenzt, solange der geschichtete Körper 2, in dem die Elemente in der oben genannten Reihenfolge angeordnet sind, gebildet werden kann. Zum Beispiel überlappen die vordere Abdeckung 81, die erste Isolierschicht 91, das obere Modul 50, die zweite Isolierschicht 92, das untere Modul 10, die dritte Isolierschicht 93 und die hintere Abdeckung 82 in dieser Reihenfolge, um den geschichteten Körper 2 zu bilden.

**[0048]** Dabei überlappen sich die Isolierschichten 90 an der Außenseite des unteren Moduls 10 und des oberen Moduls 50 in einer Draufsicht. Dadurch überlappen sich die erste Isolierschicht 91 und die zweite Isolierschicht 92 unmittelbar an der Außenseite des oberen Moduls 50. Darüber hinaus überlappen sich die zweite Isolierschicht 92 und die dritte Isolierschicht 93 direkt an der Außenseite des unteren Moduls 10.

**[0049]** Die Dicke jeder Isolierschicht 90 beträgt 50 µm oder mehr und 400 µm oder weniger, vorzugsweise 50 µm oder mehr und 200 µm oder weniger, und noch bevorzugter 100 µm oder mehr und 200 µm oder weniger. In einem Fall, in dem der Vorwärmsschritt durchgeführt wird, ist die Dicke jeder Isolierschicht 90 eine Dicke vor dem Vorwärmsschritt. Die Dicke der vorderen Abdeckung 81, der hinteren Abdeckung 82, des unteren Solarzellenpanels 11 und des oberen Solarzellenpanels 51 ist die gleiche wie die der Tandem-Solarzelle 1 des fertigen Produkts.

**[0050]** Anschließend wird der Erwärmungsschritt durchgeführt. Im Erwärmungsschritt wird der geschichtete Körper 2 erhitzt, um die Isolierschicht 90 zu schmelzen. Die geschmolzene Isolierschicht 90 wird mit dem Element verbunden, das die Isolierschicht 90 überlappt. Infolgedessen werden das untere Modul 10, das obere Modul 50, die vordere Abdeckung 81, die hintere Abdeckung 82, die erste Isolierschicht 91, die zweite Isolierschicht 92 und die dritte Isolierschicht 93 miteinander verbunden. Außerdem sind die erste Isolierschicht 91 und die zweite Isolierschicht 92 an der Außenseite des oberen Moduls 50 in der Draufsicht miteinander verschweißt, um miteinander verbunden zu werden.

Weiterhin sind die zweite Isolierschicht 92 und die dritte Isolierschicht 93 an der Außenseite des unteren Moduls 10 in der Draufsicht miteinander verschweißt und integriert. Dadurch sind die erste Isolierschicht 91, die zweite Isolierschicht 92 und die dritte Isolierschicht 93 durchgängig miteinander verbunden und bilden so das Dichtungselement 83.

**[0051]** Fig. 7 ist ein Diagramm, das ein Beispiel für einen Erwärmungsschritt gemäß einer Ausführungsform zeigt.

**[0052]** Wie in Fig. 7 dargestellt, wird im Erwärmungsschritt der geschichtete Körper 2 erwärmt, indem eine Heizvorrichtung 100 in Kontakt mit dem geschichteten Körper 2 gebracht wird. Die Heizvorrichtung 100 umfasst einen Glaskörper 101, der in direkten Kontakt mit dem geschichteten Körper 2 kommt, und einen Erhitzer 102, der den Glaskörper 101 erwärmt. Der Glaskörper 101 ist aus Silikatglas gebildet. Der Glaskörper 101 ist z. B. eine Glasplatte. Der Glaskörper 101 weist eine ebene Heizfläche 103 auf, die mit der vorderen Abdeckung 81 oder der hinteren Abdeckung 82 (im dargestellten Beispiel die hintere Abdeckung 82) des geschichteten Körpers 2 in Kontakt kommt, und eine ebene Heizfläche 104, die einer der Heizfläche 103 gegenüberliegenden Seite zugewandt ist. Die Heizfläche 103 ist so groß, dass sie mit der gesamten Oberfläche der vorderen Abdeckung 81 oder der hinteren Abdeckung 82 in Kontakt kommt. Der Erhitzer 102 ist aus einem Metall gefertigt. Der Erhitzer 102 kommt mit der beheizten Oberfläche 104 des Glaskörpers 101 in Berührung. Es ist wünschenswert, dass der Erhitzer 102 mit mindestens dem gesamten Bereich der beheizten Oberfläche 104 in Kontakt kommt, der mit dem Kontaktabschnitt zwischen der Heizfläche 103 und dem geschichteten Körper 2 übereinstimmt, wenn man ihn in einer normalen Richtung der Heizfläche 103 betrachtet. Zum Beispiel kommt der Erhitzer 102 mit der gesamten beheizten Oberfläche 104 in Kontakt.

**[0053]** Im Erwärmungsschritt kann der geschichtete Körper 2 zwischen dem Glaskörper 101 und einem Druckelement 105 von beiden Seiten in Dickenrichtung eingeklemmt werden. Es ist wünschenswert, dass das Druckelement 105 mit der gesamten Oberfläche der vorderen Abdeckung 81 oder der hinteren Abdeckung 82 (im dargestellten Beispiel die vordere Abdeckung 81) in Kontakt kommt. Beispielsweise drückt das Druckelement 105 durch sein Eigengewicht auf den geschichteten Körper 2. Auf das Druckelement 105 kann aber auch eine äußere Kraft zum Pressen des geschichteten Körpers 2 aufgebracht werden. Zusätzlich zur Erwärmung des geschichteten Körpers 2 durch die Heizvorrichtung 100 kann der geschichtete Körper 2 auch durch ein Hochtemperatur-Druckelement 105 erwärmt werden. In diesem Fall kann das Druckelement 105, ähnlich wie

die Heizvorrichtung 100, aus einem Glaskörper und einem Heizelement gebildet werden.

**[0054]** Auf diese Weise wird die Tandem-Solarzelle 1 gebildet. Darüber hinaus wird durch den Erwärmungsschritt der vorliegenden Ausführungsform die Isolierschicht 90 geschmolzen, um die Dichtungsschichten 84, 85 und 86 mit den oben erwähnten Dicken zu bilden.

**[0055]** Wie oben beschrieben, wird die Tandem-Solarzelle 1 der vorliegenden Ausführungsform gebildet, indem die erste Isolierschicht 91, die zweite Isolierschicht 92 und die dritte Isolierschicht 93 erhitzt und das untere Modul 10, das obere Modul 50, die erste Isolierschicht 91, die zweite Isolierschicht 92, die dritte Isolierschicht 93, die vordere Abdeckung 81 und die hintere Abdeckung 82 miteinander verbunden werden. Dabei ist die Dicke jeder Isolierschicht 90 auf 50 µm oder mehr und 400 µm oder weniger, die Dicke der vorderen Abdeckung 81 auf 25 µm oder mehr und 200 µm oder weniger und die Dicke der hinteren Abdeckung 82 auf 25 µm oder mehr und 200 µm oder weniger eingestellt. Infolgedessen beträgt bei der Tandem-Solarzelle 1 eines fertigen Produkts die Dicke der ersten Dichtungsschicht 84 50 µm oder mehr und 400 µm oder weniger, die Dicke der zweiten Dichtungsschicht 85 30 µm oder mehr und 400 µm oder weniger und die Dicke der dritten Dichtungsschicht 86 50 µm oder mehr und 400 µm oder weniger. Es wurde geprüft, dass es durch Einstellen der Dicke der Tandem-Solarzelle 1 an dem Abschnitt, an dem das untere Solarzellenpanel 11 und das obere Solarzellenpanel 51 in einer planaren Ansicht überlappen, auf 375 µm oder mehr und 1290 µm oder weniger, während die Dicke jeder Schicht der Tandem-Solarzelle 1 innerhalb des obigen Bereichs gehalten wird, möglich ist, die Tandem-Solarzelle 1 ohne Falten in der vorderen Abdeckung 81 und ohne Defizite in den Dichtungsschichten 84, 85 und 86 zu bilden. Daher ist es möglich, eine Abnahme des Stromerzeugungswirkungsgrads der Tandem-Solarzelle 1 zu unterdrücken, während die Tandem-Solarzelle 1 dünner wird. Daher kann eine Tandem-Solarzelle 1 mit hohem Wirkungsgrad und geringem Gewicht erhalten werden.

**[0056]** Wenn, die Dicke der zweiten Dichtungsschicht 85 30 µm oder mehr beträgt, beträgt der Widerstandswert in Dickenrichtung der zweiten Dichtungsschicht 85 insbesondere dann  $3,0 \times 10^{11}$  [Ω] oder mehr, wenn für die zweite Dichtungsschicht 85 ein Material mit einem Volumenwiderstand von  $1,0 \times 10^{14}$  [Ω·cm] oder mehr verwendet wird. Durch die Einstellung der Dicke der zweiten Dichtungsschicht 85 auf 30 µm oder mehr, wie in der vorliegenden Ausführungsform, kann daher die Isolierung zwischen dem unteren Solarzellenpanel 11 und dem oberen

Solarzellenpanel 51 in der verdünnten Tandem-Solarzelle 1 gewährleistet werden.

**[0057]** Darüber hinaus wird die Dicke des unteren Solarzellenpanels 11 auf 100  $\mu\text{m}$  oder mehr und 150  $\mu\text{m}$  oder weniger und die Dicke des oberen Solarzellenpanels 51 auf 30  $\mu\text{m}$  oder mehr und 150  $\mu\text{m}$  oder weniger festgelegt. Dadurch ist es möglich, die Biegefestigkeit durch Ausdünnen der Solarzellenpaneele 11 und 51 zu gewährleisten und auch die Festigkeit gegenüber thermischer Belastung während der Erwärmung sicherzustellen. Daher kann eine gedünnte Tandem-Solarzelle 1 mit ausgezeichneter praktischer Festigkeit erhalten werden.

**[0058]** Die vordere Abdeckung 81 ist eine Schicht, die ein Harz auf Fluorbasis enthält und eine lichtdurchlässige Eigenschaft hat. Gemäß dieser Konfiguration ist es möglich, sowohl das obere Solarzellenpanel 51 als auch das untere Solarzellenpanel 11 abzudichten und gleichzeitig die Dämpfung des auf das obere Solarzellenpanel 51 und das untere Solarzellenpanel 11 einfallenden Lichts zu unterdrücken und die elektrische Isolierung sicherzustellen. Da die vordere Abdeckung 81 der vorliegenden Ausführungsform eine einschichtige Schicht ist, kann insbesondere das Gewicht der vorderen Abdeckung im Vergleich zu einem Fall, in dem die vordere Abdeckung eine mehrschichtige Schicht ist, reduziert werden. Daher kann die Tandem-Solarzelle 1 leicht gemacht werden.

**[0059]** Das untere Solarzellenpanel 11 hat eine Halbleiterschicht vom indirekten Übergangstyp. Das obere Solarzellenpanel 51 verfügt über eine Halbleiterschicht des Direktübertragungstyps. Entsprechend dieser Konfiguration kann der Absorptionswellenlängenbereich des unteren Solarzellenpanels 11 und der Absorptionswellenlängenbereich des oberen Solarzellenpanels 51 unterschiedlich gestaltet werden. Daher ist es möglich, eine Solarzelle zu bilden, die einen höheren Wirkungsgrad hat als eine Solarzelle mit einem Solarzellenpanel, das nur einen Typ von Halbleiterschicht aufweist.

**[0060]** Außerdem sind im oberen Solarzellenpanel 51 eine p-Elektrode und eine n-Elektrode auf der Vorderseite des Glassubstrats ausgebildet. Gemäß dieser Konfiguration, kann selbst wenn die zweite Dichtungsschicht 85 zwischen dem oberen Solarzellenpanel 51 und dem unteren Solarzellenpanel 11 dünn ist, die elektrische Isolierung zwischen dem oberen Solarzellenpanel 51 und dem unteren Solarzellenpanel 11 durch das Glassubstrat gewährleistet werden. Durch Ausdünnen der zweiten Dichtungsschicht 85 kann die Tandem-Solarzelle 1 daher leichter gemacht werden.

**[0061]** Des Weiteren, beträgt der Widerstandswert in Dickenrichtung des Glassubstrats  $2,0 \times 10^9$  [ $\Omega$ ]

oder mehr, wenn die Dicke des Glassubstrats des oberen Solarzellenpanels 51 30  $\mu\text{m}$  oder mehr beträgt, bei einem Volumenwiderstand des Glassubstrats von  $7,9 \times 10^{11}$  [ $\Omega \cdot \text{cm}$ ] oder mehr. Daher kann die Isolierung zwischen dem unteren Solarzellenpanel 11 und dem oberen Solarzellenpanel 51 in der gedünnten Tandem-Solarzelle 1 zuverlässiger gewährleistet werden.

**[0062]** Darüber hinaus umfasst das Verfahren zur Herstellung der Tandem-Solarzelle 1 der vorliegenden Ausführungsform den Erwärmungsschritt, bei dem der geschichtete Körper 2, der durch das untere Solarzellenpanel 11, das obere Solarzellenpanel 51, die erste Isolierschicht 91, die zweite Isolierschicht 92, die dritte Isolierschicht 93, die hintere Abdeckung 82 und die vordere Abdeckung 81 gebildet wird, erwärmt wird, indem der geschichtete Körper 2 in Kontakt mit dem beheizten Glaskörper 101 gebracht wird. Da Glas eine wesentlich geringere Wärmeleitfähigkeit als ein Metallwerkstoff hat, kann bei diesem Verfahren eine schnelle Wärmeübertragung auf den geschichteten Körper 2 unterdrückt werden, verglichen mit einem Verfahren, bei dem der geschichtete Körper durch Kontakt des geschichteten Körpers mit einem beheizten Metallkörper erhitzt wird. Aus diesem Grund kann der geschichtete Körper 2 gleichmäßig erwärmt werden, so dass das Auftreten lokaler Defekte in der Tandem-Solarzelle 1 verhindert werden kann.

**[0063]** Darüber hinaus umfasst das Verfahren zur Herstellung der Tandem-Solarzelle 1 der vorliegenden Ausführungsform den Vorwärmsschritt, in dem mindestens eine der ersten Isolierschicht 91, der zweiten Isolierschicht 92 und der dritten Isolierschicht 93 allein erwärmt wird. Bei diesem Verfahren kann die Isolierschicht, die zuvor thermisch geschrumpft wurde, im Erwärmungsschritt verwendet werden, so dass die thermische Verkleinerung der Isolierschicht im Erwärmungsschritt unterdrückt werden kann, wodurch das Auftreten von Fehlern wie Falten und Defiziten in den Dichtungsschichten 84, 85 und 86 unterdrückt wird. Dies ist besonders wirksam, wenn die Isolierschicht aus einem thermoplastischen Harz oder einem Material mit einer relativ großen thermischen Schrumpfrate gebildet ist.

**[0064]** Wenn die Dicke der Isolierschicht, die bei dem Erwärmungsschritt am nächsten an der Heizvorrichtung 100 angeordnet ist (die dritte Isolierschicht 93 in der vorliegenden Ausführungsform), unter den Isolierschichten 100  $\mu\text{m}$  oder weniger beträgt, kann nach dem Erwärmungsschritt ein fehlerhafter Abschnitt mit einer Dicke von etwa 30  $\mu\text{m}$  oder weniger auftreten, der eine Stufe oder einen Hohlraum umfasst. Infolgedessen kommt es zu einer Abnahme der Fähigkeit der Dichtungsschicht Wasserdampf zu blockieren, zu Elektrodenkorrosion

und zu einer Ausdehnung der Luft im Defekt aufgrund von Luftdruckänderungen.

**[0065]** Außerdem wird im Erwärmungsschritt in einem Fall, in dem die Dicke des Schutzelements auf der Heizflächenseite mehr als 100 µm (vorzugsweise 150 µm oder mehr) beträgt, die Verkleinerung der Isolierschicht durch die Festigkeit des Schutzelements unterdrückt, aber in einem Fall, in dem die Dicke des Schutzmaterials 100 µm oder weniger beträgt, treten Falten wahrscheinlicher in der Isolierschicht auf. Daher ist es im Erwärmungsschritt in einem Fall, in dem die Dicke des Schutzteils oder der Isolierschicht auf der Heizflächenseite im Erwärmungsprozess 100 µm oder weniger beträgt, möglich, das Auftreten der oben genannten Defekte durch die Durchführung des Vorwärmungsschritts wirksam zu unterdrücken, und daher ist es vorzuziehen, den Vorwärmungsprozess durchzuführen.

**[0066]** Ein Änderungsbeispiel der Ausführungsform wird unter Bezugnahme auf **Fig. 8** beschrieben. **Fig. 8** ist eine Entwicklungsansicht einer Vorrichtung, die eine Tandem-Solarzelle gemäß dem Modifikationsbeispiel der Ausführungsform umfasst.

**[0067]** In der obigen Ausführungsform ist das Dichtungselement 83 angeordnet auf der hinteren Abdeckung 82. Wie bei der in **Fig. 8** gezeigten Tandem-Solarzelle 1A kann das Dichtungselement 83 jedoch an einem Teil einer Vorrichtung 200 angeordnet sein, an dem die Tandem-Solarzelle 1A montiert werden soll, anstatt an der rückseitigen Abdeckung 82. In diesem Fall wird die Tandem-Solarzelle 1A an der Vorrichtung 200, auf der die Tandem-Solarzelle 1A montiert werden soll, durch Klebstoff oder dergleichen befestigt. Das Dichtungselement 83 ist beispielsweise auf der Oberseite der Tragflächen eines Flugzeugs, dem Dach eines Mobilitätsfahrzeugs oder dergleichen angeordnet. Auch in diesem Fall ist die Dicke des unteren Solarzellenpanels 11, des oberen Solarzellenpanels 51, der ersten Dichtungsschicht 84, der zweiten Dichtungsschicht 85, der dritten Dichtungsschicht 86 und der vorderen Abdeckung 81 dieselbe wie in der obigen Ausführungsform. Darüber hinaus beträgt die Dicke der Tandem-Solarzelle 1A 350 µm oder mehr und 1140 µm oder weniger an einem Abschnitt, an dem das untere Solarzellenpanel 11 und das obere Solarzellenpanel 51 einander in einer Draufsicht überlappen. Infolgedessen weist die Tandem-Solarzelle 1A die gleichen Effekte auf wie die Tandem-Solarzelle 1 der Ausführungsform.

**[0068]** Die Tandem-Solarzelle 1A des vorliegenden Ausführungsbeispiels kann nach demselben Herstellungsverfahren wie die Tandem-Solarzelle 1 der Ausführungsform hergestellt werden. In diesem Fall ist es vorteilhaft, die Heizvorrichtung 100 im Erwärmungsschritt mit der vorderen Abdeckung 81 des

geschichteten Körpers in Kontakt zu bringen, in dem die vordere Abdeckung 81, das untere Modul 10, das obere Modul 50 und die Isolierschicht 90 übereinander angeordnet sind.

**[0069]** In der obigen Ausführungsform ist die vordere Abdeckung 81 eine einlagige Schicht aus einem Harz auf Fluorbasis, aber die vorliegende Erfindung ist nicht auf diese Konfiguration beschränkt. Die vordere Abdeckung kann eine einschichtige Schicht aus witterungsbeständigem Polyethylenterephthalat sein. Darüber hinaus kann die vordere Abdeckung eine Struktur aufweisen, bei der eine Grundierung, eine Deckschicht oder ähnliches auf eine der oben genannten einschichtigen Schichten aufgebracht wird. Darüber hinaus kann die vordere Abdeckung aus einer mehrschichtigen Schicht bestehen, die ein Harz auf Fluorbasis und/oder ein witterungsbeständiges Polyethylenterephthalat enthält. Beispielsweise ist die mehrschichtige Schicht eine Schicht, in der eine Schicht aus einem Harz auf Fluorbasis auf der Lichteinfallseite und eine Schicht aus witterungsbeständigem Polyethylenterephthalat auf der Seite des Dichtungselements miteinander verbunden sind. Solange die vordere Abdeckung eine lichtdurchlässige Schicht ist, die mindestens eines der beiden Materialien Fluorharz und witterungsbeständiges Polyethylenterephthalat enthält, ist es in jeder der oben genannten Konfigurationen möglich, das obere Solarzellenpanel 51 und das untere Solarzellenpanel 11 abzudichten und gleichzeitig die Dämpfung des auf das obere Solarzellenpanel 51 und das untere Solarzellenpanel 11 einfallenden Lichts zu unterdrücken und die elektrische Isolierung zu gewährleisten. Die vordere Abdeckung kann jedoch auch aus einem transparenten Harzmaterial, Glas oder ähnlichem bestehen, das nicht aus den oben genannten Materialien besteht. Die hintere Abdeckung ist ähnlich wie die vordere Abdeckung.

**[0070]** In der obigen Ausführungsform sind alle unteren Solarzellenpaneele 11 in Reihe miteinander verbunden, aber die vorliegende Erfindung ist nicht auf diese Konfiguration beschränkt. Die mehreren unteren Solarzellenpaneele können parallel zueinander oder in einer Kombination aus Reihen- und Parallelschaltung miteinander verbunden sein. Ferner kann das untere Modul mit einem einzigen unteren Solarzellenpanel vorgesehen sein.

**[0071]** Ferner ist in der obigen Ausführungsform die Vielzahl der oberen Solarzellenpaneele 51 miteinander in einer parallelen und seriellen Kombination verbunden, aber die vorliegende Erfindung ist nicht auf diese Konfiguration beschränkt. Die Vielzahl der oberen Solarzellenpaneele können miteinander in Reihe oder parallel verbunden werden. Ferner kann das obere Modul mit einem einzigen oberen Solarzellenpanel vorgesehen sein.

**[0072]** In der obigen Ausführungsform ist die Tandem-Solarzelle 1 eine Solarzelle mit vier Anschlüssen, aber die vorliegende Erfindung ist nicht auf diese Konfiguration beschränkt. Die Tandem-Solarzelle kann eine Solarzelle mit zwei Anschlüssen sein, bei der das untere Modul und das obere Modul in Reihe miteinander verbunden sind. Darüber hinaus sind die Positionen des positiven Elektrodenanschlusses und des negativen Elektrodenanschlusses in der Tandem-Solarzelle nicht besonders begrenzt.

**[0073]** Ferner ist in der obigen Ausführungsform das flexible Substrat 30 des unteren Moduls 10 auf der Rückseite des unteren Solarzellenpanels 11 angeordnet, aber die vorliegende Erfindung ist nicht auf diese Konfiguration beschränkt. Zum Beispiel kann das flexible Substrat in der Nähe der unteren Panelreihe 11R angeordnet sein, um das untere Solarzellenpanel 11 nicht zu überlappen. Zum Beispiel kann das flexible Substrat entlang der unteren Panelreihe 11R an einer Position angeordnet sein, die in Y-Richtung in Bezug auf die untere Panelreihe 11R verschoben ist, die mit dem flexiblen Substrat parallel verbunden ist.

**[0074]** In der obigen Ausführungsform ist die Photovoltaikzelle 12 des unteren Solarzellenpanels 11 eine Rückseitenkontakt-Photovoltaikzelle mit einer n-Typ-Elektrode und einer p-Typ-Elektrode auf der Rückseite, aber die vorliegende Erfindung ist nicht auf diese Konfiguration beschränkt. Zum Beispiel kann die Photovoltaikzelle des unteren Solarzellenpanels eine Struktur mit einer n-Elektrode auf der Vorderseite und einer p-Elektrode auf der Rückseite haben. In diesem Fall kann der Zwischenverbinder, der die beiden unteren Solarzellenpaneele verbindet, ein drahtähnliches Element sein, das die p-Elektrode auf der Rückseite des einen unteren Solarzellenpanels mit der n-Elektrode auf der Vorderseite des anderen unteren Solarzellenpanels verbindet.

**[0075]** Gemäß mindestens einer der oben beschriebenen Ausführungsformen ist es durch Festlegen der Dicke an dem Abschnitt, an dem das untere Solarzellenpanel und das obere Solarzellenpanel in Dickenrichtung gesehen überlappen, auf 350  $\mu\text{m}$  oder mehr und 1140  $\mu\text{m}$  oder weniger möglich, die Tandem-Solarzelle zu bilden, die keine Falten in der vorderen Abdeckung und keine Defizite in der Dichtungsschicht aufweist. Daher ist es möglich, eine Abnahme der Stromerzeugungseffizienz der Tandem-Solarzelle zu unterdrücken, während die Tandem-Solarzelle dünner wird. Daher kann eine Tandem-Solarzelle mit hohem Wirkungsgrad und geringem Gewicht erhalten werden.

**[0076]** Obwohl bestimmte Ausführungsformen beschrieben wurden, sind diese Ausführungsformen nur beispielhaft dargestellt worden und sollen den

Umfang der Erfindungen nicht einschränken. In der Tat können die hier beschriebenen neuen Ausführungsformen in einer Vielzahl von anderen Formen verkörpert werden; außerdem können verschiedene Auslassungen, Ersetzungen und Änderungen in der Form der hier beschriebenen Ausführungsformen vorgenommen werden, ohne vom Geist der Erfindungen abzuweichen. Die beigefügten Ansprüche und ihre Äquivalente sollen solche Formen oder Modifikationen abdecken, die in den Anwendungsbereich und den Geist der Erfindungen fallen würden.

**ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG**

*Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.*

**Zitierte Patentliteratur**

- WO2019/180854 [0004]

**Patentansprüche**

1. Solarzelle, umfassend:
  - ein erstes Solarzellenpanel;
  - ein zweites Solarzellenpanel eines lichtdurchlässigen Typs, das so angeordnet ist, dass es einer lichtempfangenden Oberfläche des ersten Solarzellenpanels gegenüberliegt;
  - eine erste Dichtungsschicht, die auf dem zweiten Solarzellenpanel auf einer dem ersten Solarzellenpanel abgewandten Seite angeordnet ist und eine Dicke von 50  $\mu\text{m}$  oder mehr und 400  $\mu\text{m}$  oder weniger aufweist;
  - eine zweite Dichtungsschicht, die zwischen dem ersten Solarzellenpanel und dem zweiten Solarzellenpanel angeordnet ist, so dass sie in direktem Kontakt mit dem ersten Solarzellenpanel und dem zweiten Solarzellenpanel steht, und eine Dicke von 30  $\mu\text{m}$  oder mehr und 400  $\mu\text{m}$  oder weniger aufweist;
  - eine dritte Dichtungsschicht, die auf dem ersten Solarzellenpanel auf einer der zweiten Dichtungsschicht abgewandten Seite angeordnet ist und eine Dicke von 50  $\mu\text{m}$  oder mehr und 400  $\mu\text{m}$  oder weniger aufweist; und
  - ein erstes Schutzelement, das auf der ersten Dichtungsschicht auf einer dem zweiten Solarzellenpanel abgewandten Seite angeordnet ist und eine Dicke von 25  $\mu\text{m}$  oder mehr und 200  $\mu\text{m}$  oder weniger aufweist, wobei eine Dicke an einem Abschnitt, an dem sich das erste Solarzellenpanel und das zweite Solarzellenpanel bei Betrachtung in einer normalen Richtung der lichtempfangenden Oberfläche des ersten Solarzellenpanels gegenseitig überlappen, 350  $\mu\text{m}$  oder mehr und 1140  $\mu\text{m}$  oder weniger beträgt.
2. Solarzelle nach Anspruch 1, weiter umfassend ein zweites Schutzelement, das auf der dritten Dichtungsschicht auf einer dem ersten Schutzelement abgewandten Seite angeordnet ist und eine Dicke von 25  $\mu\text{m}$  oder mehr und 200  $\mu\text{m}$  oder weniger aufweist, wobei eine Dicke an einem Abschnitt, an dem das erste Solarzellenpanel und das zweite Solarzellenpanel überlappen, bei Betrachtung in einer normalen Richtung der lichtempfangenden Oberfläche des ersten Solarzellenpanels 375  $\mu\text{m}$  oder mehr und 1290  $\mu\text{m}$  oder weniger beträgt.
3. Solarzelle nach Anspruch 1 oder 2, wobei eine Dicke des ersten Solarzellenpanels 100  $\mu\text{m}$  oder mehr und 150  $\mu\text{m}$  oder weniger beträgt, und wobei eine Dicke des zweiten Solarzellenpanels 30  $\mu\text{m}$  oder mehr und 150  $\mu\text{m}$  oder weniger beträgt.
4. Solarzelle nach einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei das erste Schutzelement eine lichtdurchlässige Schicht ist, die ein Harz auf Fluorbasis und/oder ein witterungsbeständiges Polyethylenterephthalat enthält, und wobei jede der ersten Versiegelungsschicht, der zweiten Versiegelungsschicht und der dritten Versiegelungsschicht eine Schicht ist, die ein Ethylen-Vinylacetat-Copolymer und/oder ein Harz auf Polyolefinbasis und/oder ein Harz auf Ionomerbasis enthält.

5. Solarzelle nach Anspruch 4, wobei das erste Schutzelement eine einschichtige Schicht ist.

6. Solarzelle nach Anspruch 4, wobei das erste Schutzelement eine mehrschichtige Schicht ist.

7. Solarzelle nach einem der Ansprüche 1 bis 6, wobei das erste Solarzellenpanel eine Halbleiterschicht vom indirekten Übergangstyp aufweist, und wobei das zweite Solarzellenpanel eine Halbleiterschicht vom direkten Übergangstyp aufweist.

8. Verfahren zur Herstellung einer Solarzelle, wobei ein zweites Solarzellenpanel eines lichtdurchlässigen Typs so angeordnet ist, dass es einer lichtempfangenden Oberfläche des ersten Solarzellenpanels gegenüberliegt, wobei ein erstes Dichtungselement mit einer Dicke von 50  $\mu\text{m}$  oder mehr und 400  $\mu\text{m}$  oder weniger das zweite Solarzellenpanel auf einer dem ersten Solarzellenpanel abgewandten Seite überlappt, wobei ein zweites Dichtungselement mit einer Dicke von 50  $\mu\text{m}$  oder mehr und 400  $\mu\text{m}$  oder weniger das erste Solarzellenpanel und das zweite Solarzellenpanel zwischen dem ersten Solarzellenpanel und dem zweiten Solarzellenpanel überlappt, wobei ein drittes Dichtungselement mit einer Dicke von 50  $\mu\text{m}$  oder mehr und 400  $\mu\text{m}$  oder weniger das erste Solarzellenpanel auf einer dem zweiten Dichtungselement abgewandten Seite überlappt, wobei ein erstes Schutzelement mit einer Dicke von 25  $\mu\text{m}$  oder mehr und 200  $\mu\text{m}$  oder weniger das erste Dichtungselement auf einer dem zweiten Solarzellenpanel abgewandten Seite überlappt, und wobei das erste Dichtungselement, das zweite Dichtungselement und das dritte Dichtungselement erwärmt werden, das erste Solarzellenpanel, das zweite Solarzellenpanel, das erste Dichtungselement, das zweite Dichtungselement, das dritte Dichtungselement und das erste Schutzelement miteinander verbunden werden und eine Dicke an einem Abschnitt, an dem das erste Solarzellenpanel und das zweite Solarzellenpanel einander überlappen, bei Betrachtung in einer normalen Richtung der lichtempfangenden Oberfläche des ersten Solarzellenpanels, 350  $\mu\text{m}$  oder mehr und 1140  $\mu\text{m}$  oder weniger beträgt.

9. Verfahren zur Herstellung von Solarzellen nach Anspruch 8, einen Erwärmungsschritt umfassend

send, bei dem ein geschichteter Körper, in dem das erste Solarzellenpanel, das zweite Solarzellenpanel, das erste Dichtungselement, das zweite Dichtungselement, das dritte Dichtungselement und das erste Schutzelement angebracht sind, erwärmt wird, indem der geschichtete Körper in Kontakt mit einem erwärmten Glaskörper gebracht wird.

Es folgen 8 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

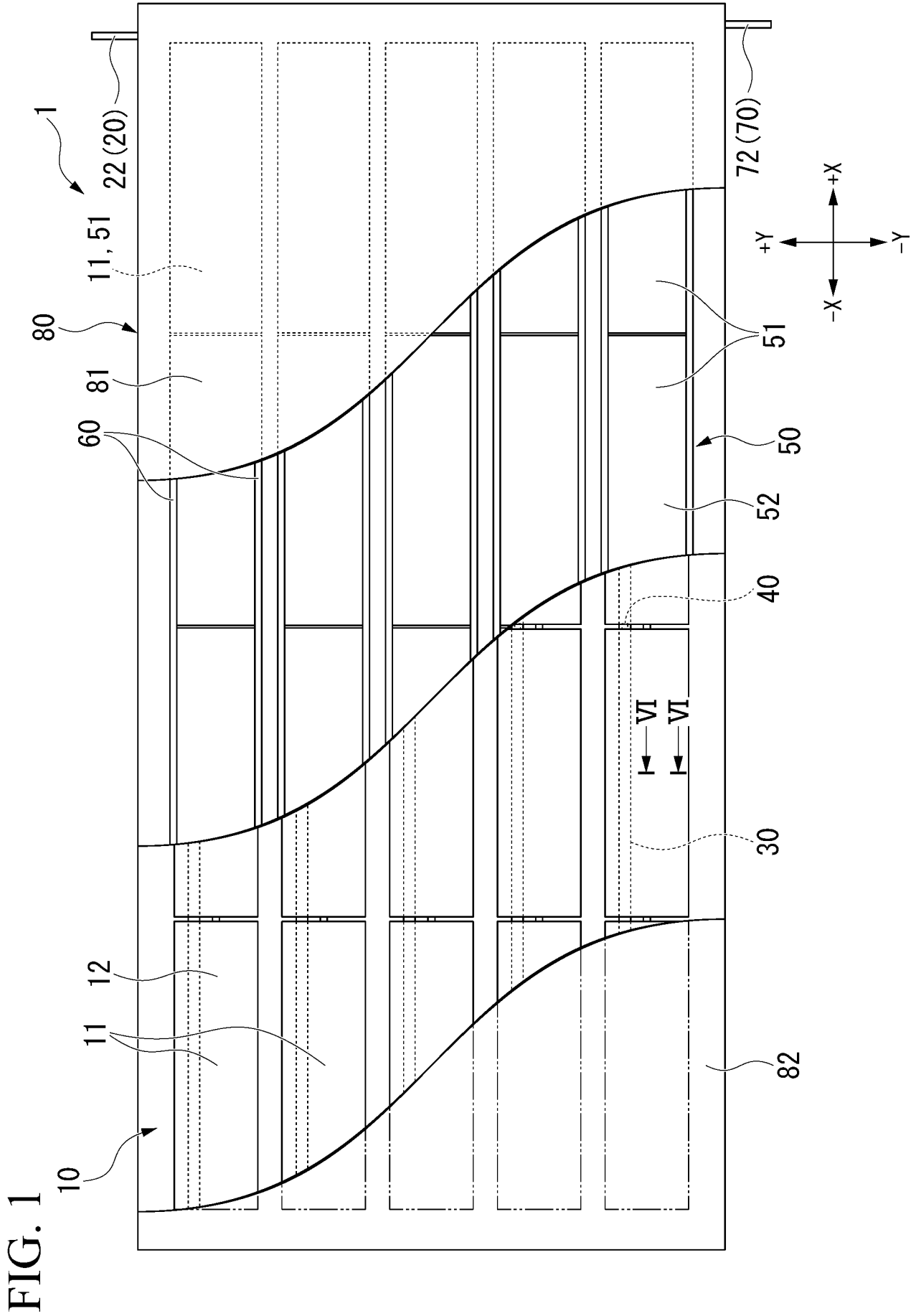


FIG. 2

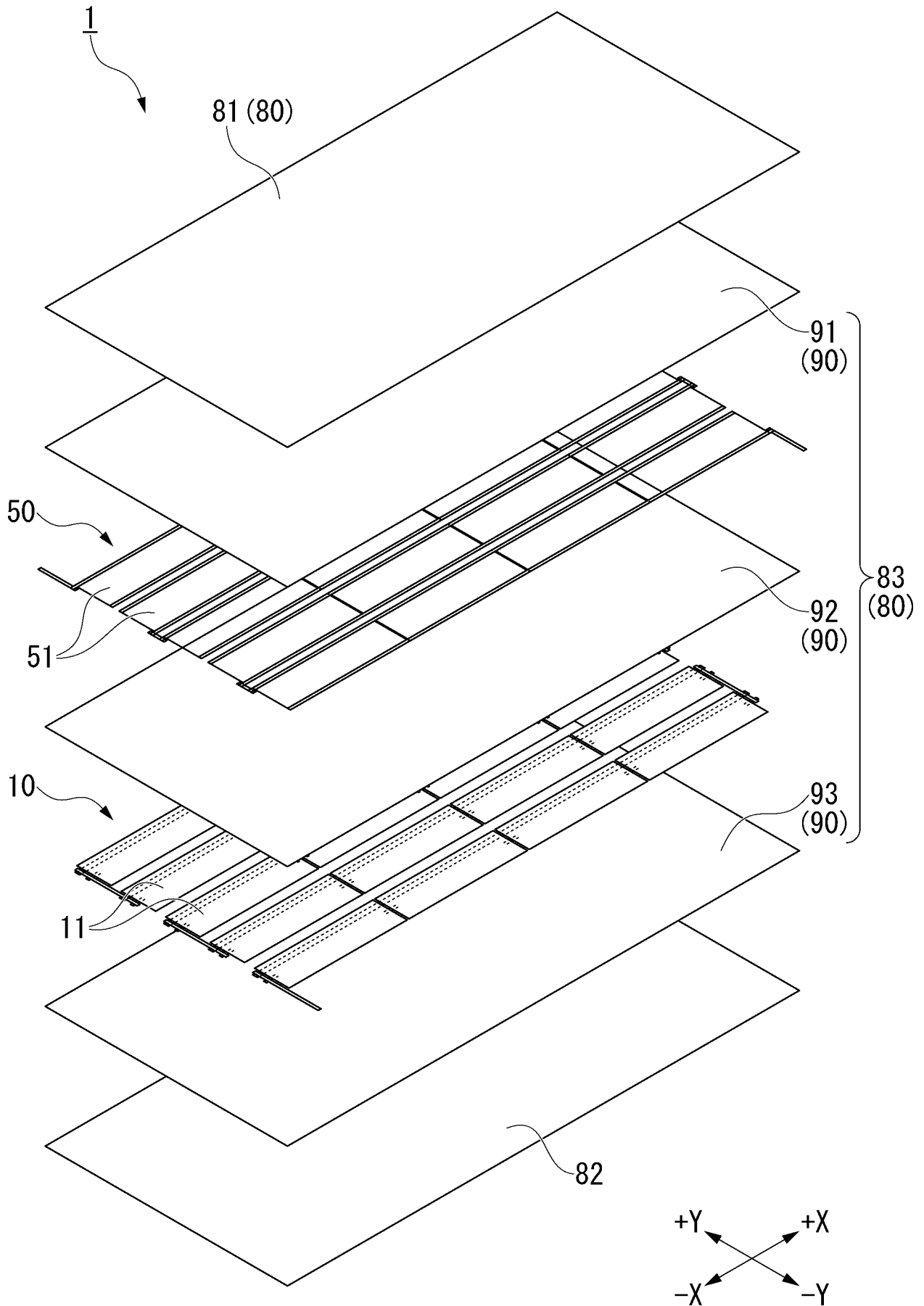
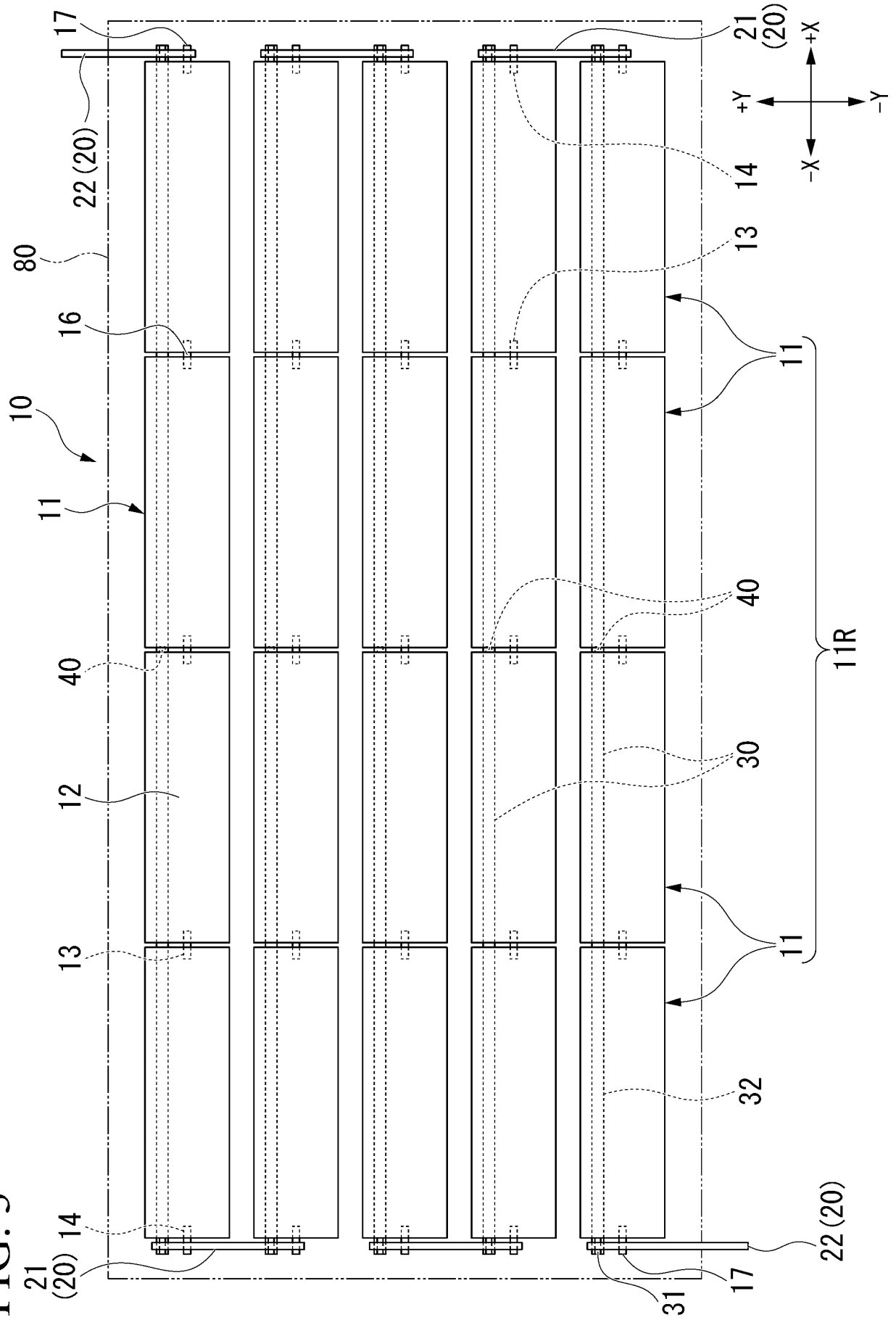


FIG. 3



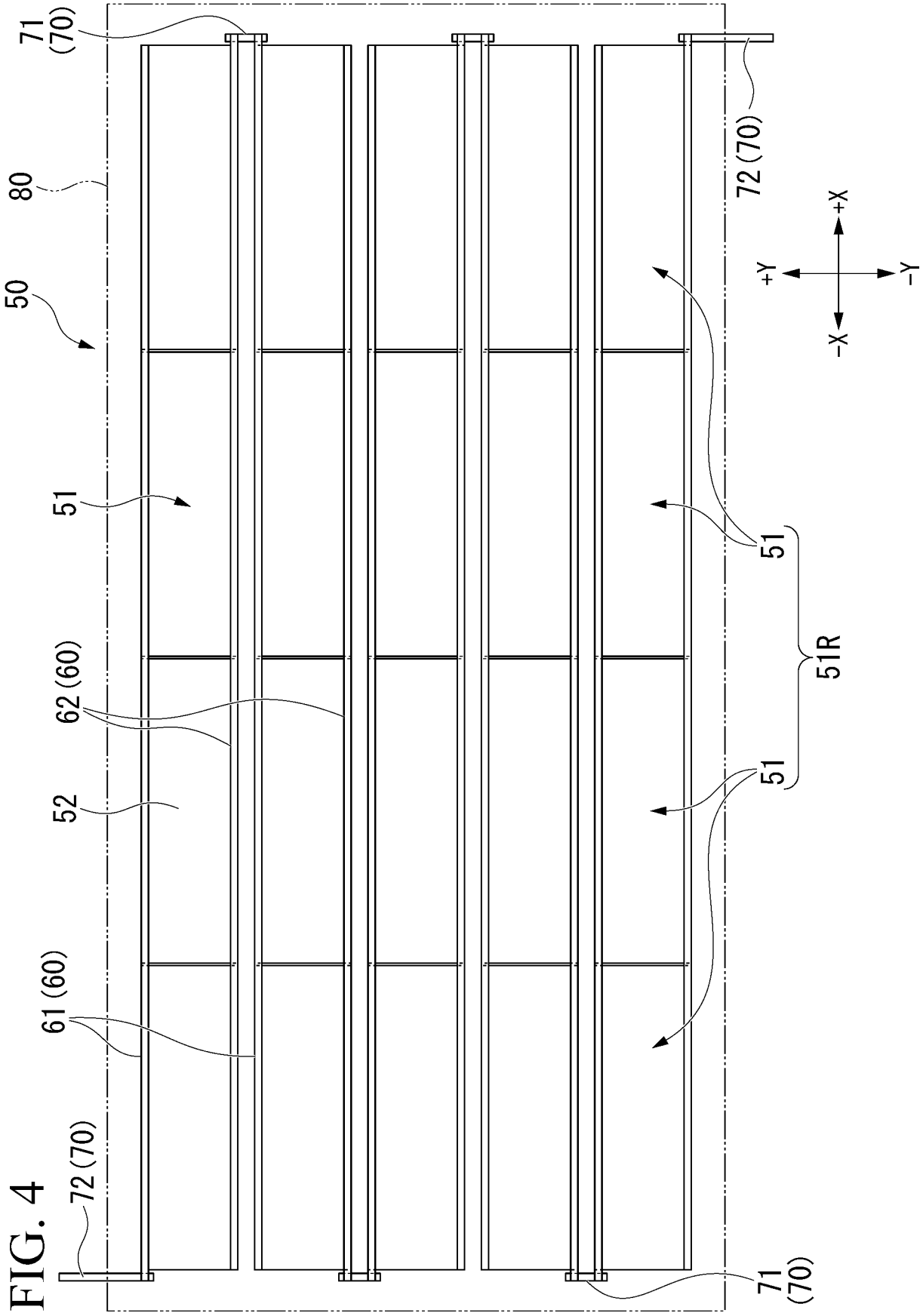


FIG. 5

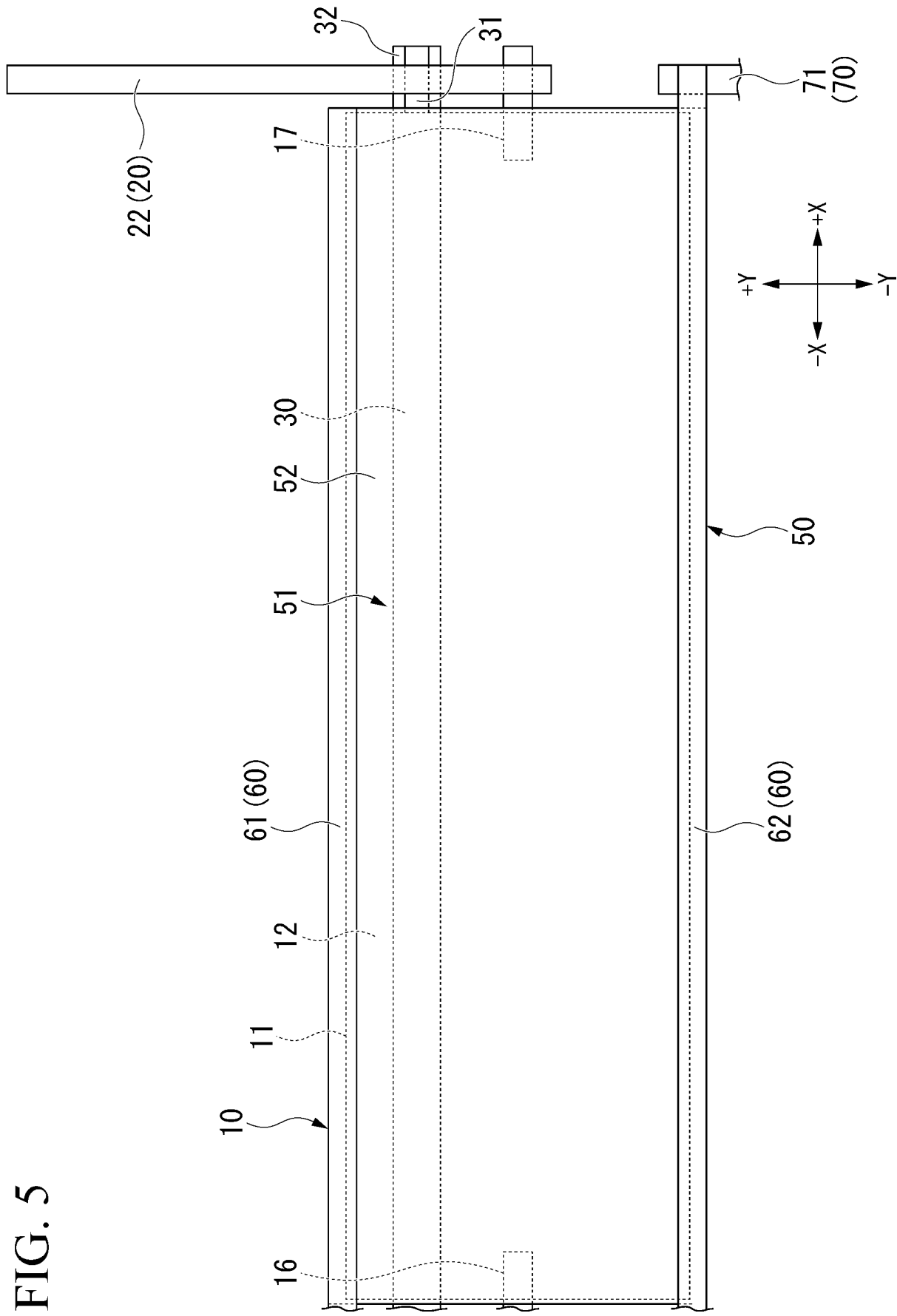


FIG. 6

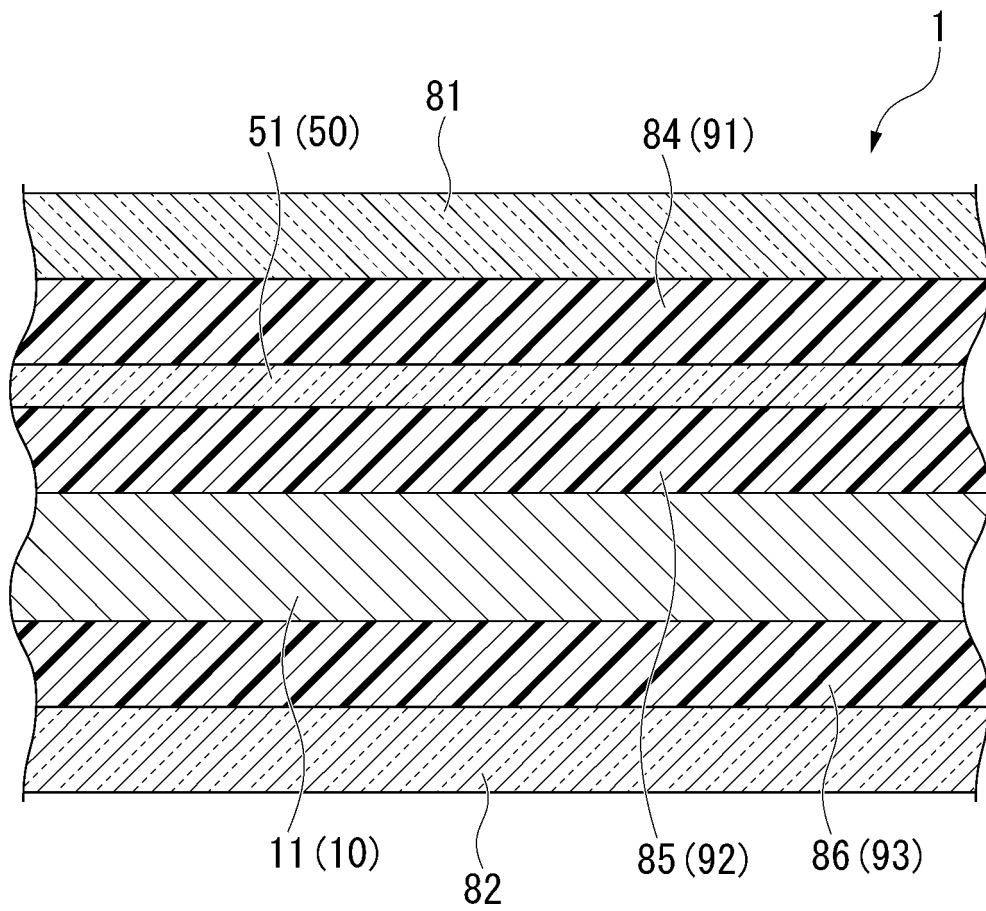


FIG. 7

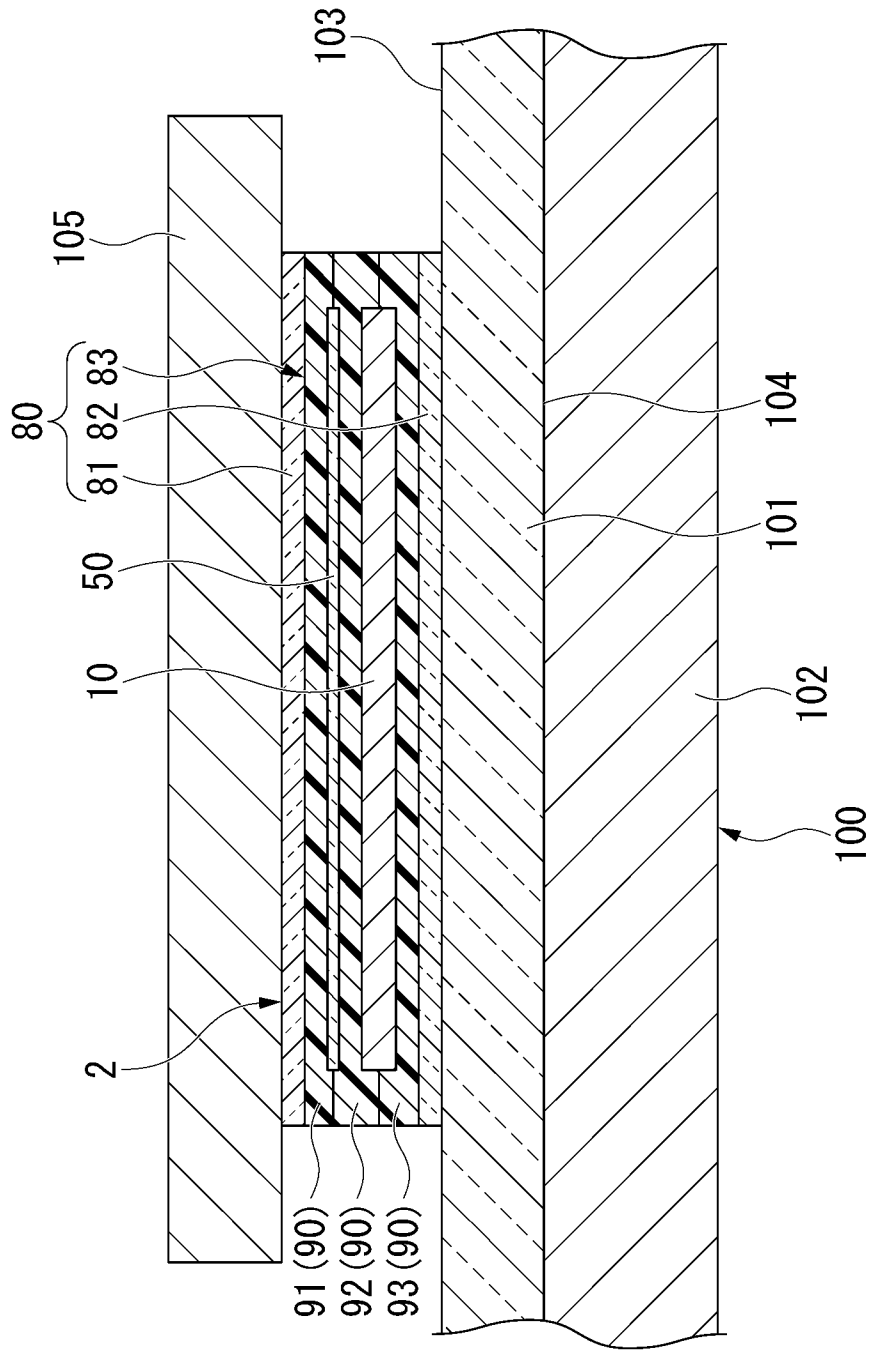


FIG. 8

