(51) Int. Cl. 2: H 01 L 31/06
F 24 J 3/02

(19) BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND
DEUTSCHES PATENTAMT

Behördeneigentum

DT 26 33 878 A 1

(11) Offenlegungsschrift 26 33 878

(21) Aktenzeichen: P 26 33 878.3
(22) Anmeldetag: 28. 7. 76
(43) Offenlegungstag: 17. 2. 77

(30) Unionspriorität:
(32) (33) (31) 28. 7. 75 USA 599473

(54) Bezeichnung: Energiewandler

(71) Anmelder: Kilby, Jack St. Clair, Dallas, Tex. (V.St.A.)

(74) Vertreter: Prinz, E., Dipl.-Ing.; Hauser, G., Dr.rer.nat.; Leiser, G., Dipl.-Ing.; Pat.-Anwälte, 8000 München

(72) Erfinder: Kilby, Jack S., Dallas, Tex.; Lathrop, Jay W., Clemson, S.C.; Porter, Wilbur A., College Station, Tex. (V.St.A.)

DT 26 33 878 A 1

Patentanwälte

Dipl.-Ing. E. Prinz - Dipl.-Chem. Dr. G. Hauser - Dipl.-Ing. G. Leiser

Ernsbergerstrasse 19

8 München 60

2633878

Unser Zeichen: K 1001

26. Juli 1976

Jack St.Clair Kilby
7723 Midbury, Dallas, Texas, V.St.A.

Energiewandler

Die Erfindung bezieht sich auf die wirksame Umwandlung und Speicherung der Energie von Lichtquellen wie der Sonne. Auf Sperrschicht-Photozellen fallendes Licht erzeugt eine Spannung, die bewirkt, daß durch einen mit den Quellen in Kontakt stehenden Elektrolyten ein Strom fließt, der eine chemische Reaktion im Elektrolyten hervorruft.

Die Notwendigkeit, fossile Brennstoffe als Energiequelle zu ersetzen, ist bekannt. Zur Umwandlung und Anwendung der Sonnenenergie sind viele Systeme und Verfahren vorgeschlagen worden. Zur Erde gelangen zwar große Sonnenenergiemengen, doch müssen zur Erzeugung großer Energiemengen relativ große Flächen erfaßt werden. Etwa 107 kWh pro Quadratmeter und pro Monat erreichen die Erde bei einer geographischen Breite von 35°.

Da die empfangene Strahlung nicht kontinuierlich ist, müssen Vorrichtungen zum Speichern der empfangenen Energie vorgesehen werden. Für diesen Zweck sind Felder aus großflächigen Sonnenzellen vorgeschlagen worden, die an Speicher-

batteriegruppen angeschlossen sind, doch treten bei praktisch ausgeführten Systemen vier Hauptprobleme auf.

1. Herkömmliche Verfahren zur Herstellung wirksamer Sonnenzellen erfordern große Mengen an Halbleitermaterial, damit ein relativ kleines Volumen aktiven Materials erhalten wird.

2. Halbleiterzellen sind grundsätzlich Niederspannungsbauelemente, so daß Verbindungen erforderlich sind, die für Tausende von Ampère für Kapazitäten im Kilowattbereich geeignet sind.

3. Da es zur Erzielung brauchbarer Ausgangswerte aus großflächigen Anordnungen erforderlich ist, viele Sonnenstrahlung empfangende Zellen parallel zu schalten, können Risse oder Ableitungsverluste in einer einzigen Zelle das Leistungsverhalten eines großflächigen Feldes ernsthaft beeinträchtigen. Dies führt zu zusätzlichen Kosten bei der Herstellung und zu Zuverlässigkeitsproblemen des fertiggestellten Feldes.

4. Da die von der Sonne kommende Energie so gespeichert werden muß, daß sie bei Bedarf verfügbar ist, werden herkömmliche Sonnenzellensysteme dazu verwendet, Speicherbatterien aufzuladen. Solche Batterien sind teuer, umfangreich und schwierig zu warten.

In jüngerer Zeit ist eine Anordnung vorgeschlagen worden, in der herkömmliche Sonnenzellen dazu verwendet werden, eine Zelle zum elektrolythischen Dissoziieren von Wasser zu betreiben. Der aus der Zelle kommende Wasserstoff wird

dann für die spätere Benutzung gespeichert. Dieses Verfahren trägt zwar zu einer Verbesserung der oben erwähnten Speicherschwierigkeiten bei, doch ist es keine Lösung der ersten drei Probleme. Zur Vereinfachung des Problems der Verbindungen ist versucht worden, großflächige Plättchen aus monokristallinem Silizium zu verwenden. In einem völlig neuen Ansatz ist die Erfindung in einem System verkörpert, bei dem alle oben erwähnten Probleme beseitigt sind.

Die Erfindung bezieht sich allgemein auf die Umwandlung von Sonnenenergie durch direktes Betreiben von Halbleiter-Sonnengeneratoren, die zur Hervorrufung einer chemischen Reaktion direkt mit einem Elektrolyten in Verbindung stehen und von diesem befeuchtet werden. Insbesondere bezieht sich die Erfindung auf die wirksame Umwandlung und Speicherung von Sonnenenergie sowie der wirksamen Anwendung von Materialien für diesen Zweck.

Nach der Erfindung ist eine Anordnung aus getrennten Elementen vorgesehen, von denen jedes aus einem Halbleiterkörper besteht, der einen Photoelement-Generator bildet. Unter dem Ausdruck Generator wird hier eine Vorrichtung oder eine Gruppe von Vorrichtungen verstanden, die unabhängig von der Anwesenheit oder der Abwesenheit des Elektrolyten eine Spannung erzeugt. Ein vorteilhaftes Merkmal dieser Anordnung besteht darin, daß fehlerhafte Elemente zulässig sind. Es sind Einrichtungen zum Beleuchten der Halbleiterübergänge vorgesehen, während die beleuchteten Elemente mit einem Elektrolyten befeuchtet werden, damit bei dem zu oder von den Elementen durch den Elektrolyten fliessenden Strom eine chemische Reaktion erzeugt wird.

Insbesondere wird ein optisch-chemischer Energiewandler geschaffen, bei dem eine Schicht einzelner Halbleiterelemente

gebildet wird, die jeweils Übergänge zwischen dem Material des Hauptkörpers und dem Material der Oberfläche mit entgegengesetzten Leitungstypen enthalten. Einige der Halbleiterkörper bestehen aus p-leitendem Material und einige bestehen aus n-leitendem Material. Einer ersten Stirnfläche der Schicht zugeordnete Leiter schalten die Spannungen in Serie, die von wenigstens zwei Elementen mit Halbleiterkörpern des entgegengesetzten Leitungstyps erzeugt werden. Ein Gehäuse, das einen Elektrolyten enthält, umschließt die Schicht so, daß die Übergänge durch den Elektrolyten beleuchtet werden, wobei die optische Energie auf die der ersten Fläche gegenüberliegende Fläche auftrifft, damit das Fließen eines Stroms durch den Elektrolyten zur Erzeugung chemischer Reaktionsprodukte in dem Gehäuse hervorgerufen wird.

In einer den Elektrolyten enthaltenden Anordnung ist die zu beleuchtende Schicht so untergebracht, daß die optische Energie auf eine aktive Fläche der Elemente auftrifft, damit ein durch den Elektrolyten fliessender elektrischer Strom erzeugt wird.

Der Elektrolyt ist dabei so gewählt, daß durch eine Reaktion Wasserstoffgas freigesetzt wird, das gesammelt und gespeichert werden kann, bis es benötigt wird.

Die Erfindung wird nun an Hand der Zeichnung beispielshalber erläutert. Es zeigen:

Fig.1 einen Abschnitt eines optisch-chemischen Wandlers,

Fig.2 das elektrische Ersatzschaltbild des Abschnitts' des Wandlers nach Fig.1,

Fig.3 einen Abschnitt einer zweiten Ausführungsform eines optisch-chemischen Wandlers,

Fig.4 das elektrische Ersatzschaltbild des Wandlerabschnitts von Fig.3,

Fig.5 die Strom-Spannungs-Kennlinie der Elektroden-Elektrolyt-Grenzfläche des Wandlers von Fig.4,

Fig.6 ein vereinfachtes Ersatzschaltbild der Schaltung von Fig.4,

Fig.7 einen Abschnitt einer dritten Ausführungsform eines optisch-chemischen Wandlers,

Fig.8 das elektrische Ersatzschaltbild des Wandlerabschnitts von Fig.7,

Fig.9 eine Schnittansicht einer herkömmlichen Halbleiter-Sperrschicht-Photozelle,

Fig.10 eine Darstellung zur Veranschaulichung der wirksameren Anwendung des Halbleitermaterials gemäß der Erfindung,

Fig.11 eine Schnittansicht eines Teils eines photoelektrischen streifenförmigen Generators gemäß einer Ausführungsform der Erfindung,

Fig.12 eine perspektivische Darstellung eines länglichen, rohrförmigen, elektrolytischen Wandlers nach der Erfindung,

Fig.13 ein Funktionsblockschaltbild einer Anordnung nach der Erfindung und

Fig.14 eine Darstellung zur Veranschaulichung der Herstellung eines photoelektrischen streifenförmigen Generators.

In Fig.1 ist ein Teil eines optisch-chemischen Wandlers 10 dargestellt. Eine Sonnenzelle 11 ist so angebracht, daß ihre Oberfläche von einem Elektrolyten 13 überströmt ist. Die Abdeckung des Wandlers 10 besteht aus einer lichtdurchlässigen Platte aus einem Material wie Glas mit einer Unterfläche 14. Die Oberfläche der Sonnenzelle 11 wird von Lichtstrahlen 15 und 16 bestrahlt.

Die Sonnenzelle 11 ist eine Halbleiterzelle, deren Körper 11a aus einem Material wie Silizium gebildet ist. Unter Anwendung herkömmlicher Oxidmaskierungs- und Dotierungsverfahren ist eine diffundierte Schicht 11b gebildet, so daß der Übergang 11c entsteht, der sich gemäß der Darstellung über einen Abschnitt der Zellenoberfläche erstreckt. Der Halbleiterkörper kann beispielsweise aus n-leitendem Silizium mit einem spezifischen Widerstand von 0,5 bis 1,0 Ohm·cm bestehen, und er kann eine diffundierte p-leitende Schicht mit einer Oberflächenkonzentration von $10^{19}/cm^3$ und einer Übergangstiefe von 0,5 bis 1,0 µm aufweisen. Es können lichtdurchlässige Elektroden 11d und 11e angebracht sein. Elektroden aus Edelmetall wie Platin oder Palladium können durch Aufstäuben einer Schicht dieses Metalls auf die Oberfläche mit einer Dicke von 150 Å und durch Sintern bei 250°C für die Dauer von 5 Minuten gebildet werden. Als Alternative können auch dickere, lichtundurchlässige Elektroden aus diesen Metallen verwendet werden, die nur einen Teil der

freiliegenden Oberfläche bedecken. Die Sonnenzelle 11 ist zwischen Isolierkörpern 11g angebracht.

Bei Bestrahlung durch die Lichtstrahlen 15 und 16 wird am Übergang 11c eine Spannung von 0,4 bis 0,6 Volt erzeugt. Diese Spannung erscheint an den Elektroden 11d und 11e der Sonnenzelle; sie bewirkt das Fließen eines Stroms durch den Elektrolyten 13, wie die gestrichelten Linien 18 anzeigen.

Der Elektrolyt 13 ist eine Flüssigkeit, in der das Fließen eines Stroms eine brauchbare Reaktion bei der aus der Zelle verfügbaren Spannung erzeugt. Wenn beispielsweise eine Sonnenzelle aus Silizium verwendet wird, kann als Elektrolyt Nitrosylchlorid (NOCl) verwendet werden. In diesem Fall wird an der Katode 11e Stickoxid erzeugt, und an der Anode 11d wird Chlor erzeugt. Diese Produkte sind Gase; sie werden mit Hilfe einer halbdurchlässigen Membran 17 voneinander getrennt gehalten, die am Isolator 17a befestigt ist. Das Stickoxid wird über einen Auslaß 19 abgeführt, und das Chlor wird dem Auslaß 20 entnommen. Die Zufuhr des frischen Elektrolyten 13 erfolgt über die Öffnung 21. Der Wandler 10 kann kontinuierlich arbeiten und auf die Zelle 11 auftreffende Lichtenergie absorbieren, damit das Fließen eines Stroms im Elektrolyten 13 verursacht wird, der eine chemische Reaktion im Elektrolyten hervorruft; dabei kann wenigstens eines der Reaktionsprodukte erzeugt, gesammelt und gespeichert werden.

Es sind keine äußeren elektrischen Anschlußverbindungen erforderlich. Wenn mehrere Zellen im gleichen Elektrolyten eingetaucht sind, sind zwischen ihnen keine Verbindungen erforderlich. Dies ist in Fig.2 dargestellt. Wegen der

Unabhängigkeit der Zellen 11, 11' und 11" voneinander führt eine unterbrochene oder eine kurzgeschlossene Zelle nicht zu einer Verschlechterung des Verhaltens der anderen Zellen in der Lösung. Wenn beispielsweise 100 Zellen in der gleichen Lösung eingetaucht sind, von denen fünf fehlerhaft sind, dann beträgt die Abgabe der Zellen95% der Abgabe, die erhalten wird,wenn alle Zellen einwandfrei arbeiten.

Obgleich manche Reaktionen durch die Spannung einer einzigen Zelle betrieben werden können, erfordern andere wünschenswerte Reaktionen höhere Spannungen.

In den Figuren 3 und 4 ist ein Wandler 110 dargestellt, in dem zwei Zellen 111 und 112 in Serie geschaltet sind. Die Zellen 111 und 112 sind zwischen Isolierblöcken 111g angebracht, wobei ihre Oberfläche von einem Elektrolyten 113 befeuchtet wird. Die Abdeckung des Wandlers 110 besteht aus einer lichtdurchlässigen Platte mit einer Unterfläche 114. Die Oberflächen der Zellen 111 und 112 werden von Lichtstrahlen 115 und 116 bestrahlt.

Die Zelle 111 ist eine zweischichtige Halbleitervorrichtung mit einem n-leitenden Halbleiterkörper, der in ähnlicher Weise wie bei der Zelle 11 von Fig.1 gebildet ist. Bei Bestrahlung durch den Lichtstrahl 115 wird am Übergang 111c der Zelle 111 eine Spannung von 0,4 bis 0,6 Volt erzeugt.

Die Zelle 112 enthält einen p-leitenden Halbleiterkörper 112a mit einer Oberflächendiffusion 112b zur Erzeugung eines Übergangs 112c. Diese Oberflächendiffusion bildet vorzugsweise eine n-leitende Schicht mit einer Oberflächenkonzentration von etwa $10^{19}/cm^3$ und einer Übergangstiefe von etwa 0,5 bis 1,0 µm. Lichtdurchlässige Elektroden 111d und 112d

aus Platin oder Palladium können mittels des für die Zelle 11 von Fig.1 angewendeten Verfahrens aufgebracht werden.

Bei einer Bestrahlung durch die Lichtstrahlen 116 erzeugt die Zelle 112 am Übergang 112c eine Spannung von etwa 0,5 Volt. Eine Metallschicht 122, die beispielsweise aus Aluminium bestehen kann, bildet einen ohmschen Kontakt mit der Unterfläche der Zellen 111 und 112. Eine N^+-Diffusion 111f und eine P^+-Diffusion 112f können zur Sicherstellung eines ohmschen Kontaktanschlusses an die Zellen verwendet werden. Der Betrieb der Zellen läuft in der Weise ab, daß beim Bestrahlen mit Lichtenergie, wie durch die Lichtstrahlen 115 und 116 angezeigt ist, Strom aus der Zelle 111 über den Leiter 122 zur Zelle 112 und über einen Weg 118 durch den Elektrolyten wieder zurückfließt.

Da die Zelle 111 in Serie zur Zelle 112 geschaltet ist, wird zwischen der Elektrode 111d und der Elektrode 112d eine Spannung von etwa 1 Volt erzeugt, wenn die Zellen belichtet werden. Der Elektrolyt 113 ist eine Flüssigkeit, in der das Fließen eines Stroms bei dieser Spannung die gewünschte Reaktion hervorruft.

In einer bevorzugten Ausführungsform kann der Elektrolyt 113 aus einer 10%igen Lösung aus Jodwasserstoffsäure (HI) in Wasser bestehen. In diesem Fall erzeugt der durch den Elektrolyten fliessende Strom an der Katode 112d Wasserstoff und an der Anode 111d Jodid-Ionen. Der Wasserstoff kann über eine Auslaßöffnung 120 dem Wandler 110 entnommen werden. Die Jodid-Ionen bleiben in der Lösung, und sie können durch die Öffnung 121 abgeführt werden. Durch die Öffnung 119 kann neuer Elektrolyt zugeführt werden. In diesem Fall arbeitet der Wandler 110 beim Auftreffen der optischen Energie der Strahlen 115 und 116 auf die Zellen 111 und 112 in der

Weise, daß ein im Elektrolyt 113 fliessender Strom verursacht wird, der die Erzeugung von Wasserstoff und Jodid aus dem Elektrolyten bewirkt. Da nur eines der Endprodukte ein Gas ist, ist zum Trennen der Endprodukte keine Membran erforderlich. Bei manchen Reaktionen kann es jedoch erwünscht sein, eine Membran einzufügen, damit die Diffusion von Ionen zwischen den Elektroden verhindert wird, die eine Form eines chemischen Kurzschlusses darstellen könnte. Es kann aber auch erwünscht sein, zu diesem Zweck eine räumliche Trennung zwischen den Anoden und Katoden vorzunehmen.

Wie in Fig.4 dargestellt ist, können im gleichen Elektrolyten 113 zusätzliche Zellenpaare eingetaucht sein.
Ein Metalleiter 122 kann so angebracht werden, daß er einen unteren Kontakt für alle Zellen in der Lösung bildet, falls es erwünscht ist; es könnte aber auch einLeiter für jedes Zellenpaar vorgesehen sein. Ein Ersatzschaltbild für den Fall, bei dem alle Zellen mit dem unteren Kontakt 122 verbunden sind, ist in Fig.4 dargestellt. Bei den Zellen 111 besteht der Halbleiterkörper aus n-leitendem Material, während er bei den Zellen 112 aus p-leitendem Material besteht. Die Zellen werden von den Lichtstrahlen 115 bzw. 116 erregt.

Jede mit dem Elektrolyten 113 in Kontakt stehende Zelle sieht eine nichtlineareImpedanz Z, deren Kennlinie so verläuft, wie in Fig.5 dargestellt ist. Bei einer Jodwasserstoffsäurelösung liegt V_o bei etwa 1,5 Volt.

Eine Näherung dieser Schaltung ist in Fig.6 dargestellt, in der die in Durchlaßrichtung vorgespannten Impedanzen durch Dioden ersetzt sind, während die in Sperrichtung

vorgespannten Impedanzen durch einen kleinen Widerstand ersetzt sind.

Aus dieser Schaltung ist offensichtlich, daß einige Zellen unterbrochen oder kurzgeschlossen sein können, ohne daß andere Zellen im Wandler 110 von Fig.3 beeinflußt werden. Wenn eine Zelle einer Polarität unterbrochen ist, geht ihr Ausgangssignal zwar verloren, doch hat dies keine Auswirkungen auf die Ausgangssignale der anderen Zellen in der Lösung. Ebenso gilt, daß bei Kurzschluß einer Zelle einer Polarität eine Vorspannung dieserZelle von 0,5 Volt bezüglich der Lösung eintritt. Fig.5 läßt erkennen, daß unter diesen Bedingungen ein geringer Strom fließt, doch werden auch hier andereZellen nicht beeinflußt. Aus diesem Grund können bei Verwendung von 100 N-Zellen und 100 P-Zellen in der Zusammenschaltung nach Fig.4 5% der N-Zellen und 5% der P-Zellen ausfallen, ohne daß der Abgabewert um mehr als 5% herabgesetzt wird.

Für weitere erwünschte Reaktionen können noch höhere Spannungen erzeugt werden. Beispielsweise erfordert die wirksame Elektrolyse von Wasser mehr als 2 Volt. Dies kann mit Hilfe der in Fig.7 dargestellten Anordnung erreicht werden. In diesem Fall liefern zwei Zellenpaare die erforderliche Spannung. Jedes Zellenpaar kann demZellenpaar von Fig.3 entsprechen. Ein solches Zellenpaar ist in den Figuren 7 und 8 als Zellenpaar 211 und 212 dargestellt, während das andere Zellenpaar aus den Zellen 211' und 212' besteht. Die Zellen 211, 212, 211' und 212' sind zwischen isolierenden Blöcken 211g befestigt. Zwischen Zellenpaaren ist mit Hilfe einer Metallschicht 223, die einen ohmschen Kontakt mit den Oberflächenschichten der Zellen 212 und 211' bildet, eine Serienverbindung hergestellt.

Diese Schicht besteht aus Aluminium.

Alle vier Zellen sind Lichtstrahlen 215, 216, 215' und 216' ausgesetzt. Die Zellen erzeugen eine Spannung von etwa 2 Volt zwischen der Anode 211d und der Katode 212'd.Die zwei in der Mitte liegenden Zellen 212 und 211' sind zwar dem Licht, jedoch nicht der Lösung ausgesetzt; sie sind mit Hilfe einer lichtdurchlässigen Epoxydschicht 224 geschützt.

Falls als Elektrolyt Wasser verwendet wird, werden an der Katode 212'd Wasserstoff und an der Anode 211d Sauerstoff freigesetzt.Da diese beiden Produkte Gase sind, wird eine halbdurchlässige Membran 217 verwendet. Der Wasserstoff wird über die Öffnung 220 abgeführt, und der Sauerstoff wird über die Öffnung 219 abgeführt. Frisches Wasser wird über die Öffnung 221 zugeführt, so daß eine kontinuierliche Reaktion aufrechterhalten wird.

Die angegebenen Ausführungsbeispiele dienen lediglich der Veranschaulichung; es können ohne weiteres Modifikationen und Substitutionen vorgenommen werden.Anstelle von Silizium können auch andere Halbleitermaterialien wie Galliumarsenid und Germanium verwendet werden. Es sind zwar Sperrschicht-Photozellen mit PN-Übergang beschrieben worden, doch können auch andere Strukturen wie Schottky-Sperrschichtbauelemente und MOS-Bauelemente zur Erzeugung einer Spannung aus einer Lichtquelle eingesetzt werden. Die für manche Reaktionen erforderlichen höheren Spannungen können durch Serienschaltung gleicher Zellen und auch durch das beschriebene Mischen der Zellenpolaritäten erhalten werden. Die angegebenen Beispiele verdeutlichen, daß die Reaktionen, die erhalten werden können,

nicht auf eine Klasse chemischer Verbindungen beschränkt sind.

Es ist zu erkennen, daß eine beträchtliche Reduzierung der Zellenverbindungen erzielt worden ist. Es ist nicht notwendig, schwere Verbindungen der Zellen anzubringen. Die einzellige Anordnung von Fig.1 erfordert keine internen Verbindungen, und die zweizellige Ausführungsform von Fig.3 erfordert nur eine Verbindung. Diese Vereinfachung ermöglicht es, wirtschaftliche Anordnungen aus einer großen Anzahl kleiner Zellen in Erwägung zu ziehen. Dies stellt eine beträchtliche Weiterentwicklung herkömmlicher Versuche dar, bei denen gewöhnlich angestrebt wurde niedrigere Kosten durch noch größere Übergangsflächen zu erreichen.

Die Verwendung kleinerer Zellen ermöglicht höhere Wirkungsgrade. Diese Tatsache wird durch den Vergleich der Teildarstellungen von Halbleiterstrukturen in Fig.9 und Fig.10 veranschaulicht. Fig.9 zeigt eine herkömmliche ebene Zellenstruktur mit einem Übergang 41 in einer Tiefe von etwa 1 µm unter der Oberfläche. Von Lichtstrahlen 42 erzeugte Ladungsträger werden in der Zelle in einer Tiefe bis zu 100 µm erzeugt, doch werden nur diejenigen erfaßt, die innerhalb einer Diffusionslänge eines Übergangs erzeugt werden. Bei qualitativ hochwertigen Siliziumkristallen beträgt die Diffusionslänge etwa 35 µm. Eine Schicht 43 mit etwa dieser Dicke ist in Fig.9 dargestellt. Die Schicht 43 repräsentiert den aktiven Abschnitt des Bauelements. Die Schaffung einer aktiven Schicht mit dieser Dicke erfordert die Anwendung ziemlich dicker Plättchen, und Silizium wird gewöhnlich mit einer Dicke von 300 µm geschnitten, damit sich die notwendige Festigkeit zur Handhabung ergibt. Bei solchen

Plättchen werden nur etwa 35/300 oder 12% des Materials zur Erzeugung von Strom ausgenutzt. Wenn die Plättchen von größeren Kristallen abgesägt werden, und wenn die Sägeverluste berücksichtigt werden, dann beträgt der Nutzanteil des Plättchens etwa 4% des Ausgangsmaterials.

Eine wesentlich wirksamere Struktur ist in Fig.10 dargestellt. Bei einer Kugel mit einem Durchmesser von 100 µm liegen mehr als 97% des Materials innerhalb der Diffusionslänge eines Übergangs, während bei Kugeln mit einem Durchmesser von 200 µm etwa 73% des Materials innerhalb der Diffusionslänge liegen und daher potentiell nutzbar sind. Obgleich Kugeln für diesen Zweck besonders vorteilhaft sind, sind die Wirkungsgrade kleiner Würfel und rechtwinkliger Körper ebenfalls wesentlich besser als die Wirkungsgrade ebener Flächen, die bei herkömmlichen Strukturen angewendet werden.

Es ist schwierig, kleine Zellen mit Verbindungsverfahren zu verwenden, die zwei Verbindungen pro Zelle und schwere Leitungen zum Führen der von einem Feld erzeugten großen Ströme erfordern. Eine Herabsetzung der pro Zelle erforderlichen Kontakte ermöglicht es, andere Verbindungsverfahren in Erwägung zu ziehen. Eine für diesen Zweck geeignete Struktur ist in Fig.11 dargestellt. Bei dieser Ausführungsform bilden mehrere Teilkugeln 30 bis 34 einen Abschnitt einer Reihe eines Plättchens aus solchen Kugeln. Die Kugeln 30, 32 und 33 enthalten Kerne aus p-leitendem Halbleitermaterial. Die Kugeln 31 und 34 besitzen Kerne aus n-leitendem Material. Die Kerne sind mit Oberflächen - diffusionen 30a bis 34a versehen, die in jeder Kugel PN-Über-

gänge bilden. Diese Übergänge sind ebenfalls kugelförmig. Die unterschiedlich großen Kugeln 30 bis 34 sind in einer Matrix 35 aus Isoliermaterial integriert, die aus einem Silikonharz bestehen kann. Die unteren Teile jeder Kugel sind entfernt, damit das Kernmaterial freigelegt wird. Die Isoliermatrix 35 trennt die Kugeln voneinander, und sie bedeckt und schützt die von den Diffusionsschichten gebildeten Übergänge. Ein aus Metall bestehender Leiter 36 bildet mit dem Kern jeder der Kugeln 30 bis 34 einen ohmschen Kontakt, und er verbindet die Kugeln in einer Anordnung, die mit der Anordnung von Fig.3 vergleichbar ist. Eine zweite Schicht 37 bildet einen gemeinsamen Träger für die gesamte Isoliermatrix; sie bildet eine Schutzschicht für den Leiter 36. Die aus Silikonharz bestehende Matrix 35 und die anderen jeder Kugel zugeordneten Oberflächenmaterialien sind lichtdurchlässig, so daß die einfallende Lichtenergie die gesamte obere Hälfte jeder der Kugeln 30 bis 34 bestrahlt. Es treten auch Reflexionen am Leiter 36 auf, und reflektiertes Licht erreicht die unteren Hälften der Kugeln. Die Oberflächen der Kugeln sind mit Elektroden 30b bis 34b versehen, und sie liegen so frei, daß sie einzeln vom Elektrolyten befeuchtet werden, wenn sie in einem Wandler angebracht werden.

Fig.12 zeigt eine Ausführungsform eines Wandlers, bei dem ein Streifen oder eine Platte aus Sonnenzellen gemäß Fig.11 so untergebracht ist, daß Sonnenstrahlung in elektrischen Strom umgewandelt wird und auf diese Weise eine chemische Reaktion im Wandler hervorgerufen wird. Ein längliches elliptisches Rohr 50 aus Glas weist einen Grundabschnitt 51 auf, auf dem ein länglicher Streifen 52 aus Sonnenzellen aufliegt. Der obere Abschnitt 53 ist in ausgewählter Weise geformt, damit eine Zylinderlinsenwirkung

erzielt wird, damit die einfallende Strahlung 54 gebrochen wird und auf die Oberfläche des Sonnenzellenstreifens 52 auftrifft.

Ein Ausführungsbeispiel eines vollständigen Systems, bei dem solche Rohre angewendet werden, ist in Fig.13 dargestellt. Mehrere Rohre 50 sind so angebracht, daß ihre Achsen schräg verlaufen . Die Sonnenzellenstreifen 52 liegen auf den Bodenflächen der Rohre 50. In der bevorzugten Ausführungsform besteht der Elektrolyt aus einer wässrigen Jodwasserstofflösung; die in jedem Rohr ablaufende Reaktion kann folgendermaßen geschrieben werden:

$$2HI + H_2O + \text{Elektrische Energie} \rightarrow H_2 + I_2 + H_2O \qquad (1)$$

Das auf diese Weise erzeugte Jod I_2 kann so betrachtet werden, als existiere es als Trijodid(I_3^-), das durch Reaktion mit dem erzeugten Jodid (I) Ionen aus HI erzeugt. Auf jeden Fall werden die Produkte dieser Reaktion, nämlich Wasserstoff und Trijodid-Ionen mit Hilfe von Anschlüssen 56 und 58 abgeführt. Der im Anschluß 56 gesammelte Wasserstoff wird zu einer Speichereinheit 60 transportiert, wo er entweder komprimiert und als Gas gespeichert oder in Form eines Hydrids gespeichert wird. Ein geeignetes Hydridspeicherverfahren ist von mehreren Autoren wie den Autoren Wiswall and Reilly aus dem Brookhaven National Laboratory beschrieben worden.

Das Jodid wird im Elektrolyten gespeichert, und es kann mit Hilfe von Rohren 57 zum Anschluß 58 transportiert werden.

Falls es erwünscht ist, kann aus dem System dadurch elektrische Energie erhalten werden, daß der Wasserstoff

und das Jodid in einer Brennstoffzelle 61 wieder kombiniert werden. Brennstoffzellen für Wasserstoff-halogene sind von der Firma W.Glass of Ionics, Inc. Cambridge, Mass. gebaut worden; sie sind im Abschlußbericht des Kontrakts AF 19(604)-8508 beschrieben. In der Brennstoffzelle läuft die folgende Reaktion ab:

$$H_2 + I_2 + H_2O \rightarrow 2HI + H_2O + \text{Elektrische Energie} \qquad (2)$$

Der Wasserstoff wird mit Hilfe des Rohres 59 zur Brennstoffzelle 61 transportiert, während das Jodid in einer wässrigen Lösung vom Rohr 62 transportiert wird. Da die in der Gruppe von Rohren 50 enthaltene Lösung von den Sonnenstrahlen 54 auch erwärmt wird, kann mit Hilfe eines herkömmlichen Wärmeaustauschers 63 Energie in Form von Wärme vom System abgenommen werden. Die Rekombinationsprodukte aus der Brennstoffzelle 61 können über einen Anschluß 64 und Rohre 65 in die Rohre 50 zurückgeführt werden.

Die Anordnung von Fig.13 ist ein geschlossenes System, das kontinuierlich arbeiten kann.Mit Materialien wie Jodwasserstoffsäure ist es wirksam, weil die Ladereaktion ohne merkliches Elektroden-Überpotential ausgeführt werden kann, während die Entladereaktion ohne merkliche Elektrodenpolarisierung ausgeführt werden kann. Die Reaktionen

$$H_2 + I_2 + H_2O \rightarrow 2HI + H_2O + \text{Elektrische Energie} \qquad (3)$$

können so ausgeführt werden, daß sich eine sehr enge Annäherung an die thermodynamische Reversibilität ergibt,

so daß ein sehr wirksames Energiespeicher- und Energieversorgungssystem erhalten wird.

Bei anderen Anwendungsfällen kann es erwünscht sein, Systeme dieser Art zur Wasserstofferzeugung einzusetzen. Falls es erwünscht ist, kann der Wasserstoff dem Anschluß 56 oder der Speichereinheit 60 entnommen werden, wie die Linie 60a anzeigt. Wenn dem System Wasserstoff entnommen wird, ist eine Modifizierung des Systems erforderlich. Dies kann dadurch erreicht werden, daß die Brennstoffzelle 61 durch eine Einheit ersetzt wird, in der Schwefelwasserstoff in Form von Bläschen durch die Trijodid-Ionen geschickt wird , so daß neue Jodwasserstoffsäure gebildet wird, die wieder über den Anschluß 64 zu den Sonnenenergiewandlern zurückgeführt wird. Falls es erwünscht ist, kann der Schwefelwasserstoff aus dem Wasserstoff am Anschluß 56 erzeugt werden; er kann auch aus einer externen Quelle zugeführt werden.

Die Anwendung solcher Systeme erfordert wahrscheinlich zehn oder sogar hunderte von Quadratmetern der Sonnenzellenstreifen. Die wirksame Herstellung dieser Elemente des Systems ist daher von äußerst großer Bedeutung. Solche Streifen müssen auf einer wirtschaftlich tragbaren Basis mit wirksamer Ausnutzung der Materialien hergestellt werden können. Streifen dieser Art können zwar unter Verwendung von Dünnfilmverfahren hergestellt werden, doch können höhere Wirkungsgrade bei Verwendung kleiner Teilchen erzielt werden.

Fig.14 zeigt ein Herstellungsverfahren zur Herstellung der Sonnenzellenstreifen, wie sie in Fig.11 dargestellt sind.

Beim Schritt 1 werden Siliziumkugeln 301 bis 305 gebildet. Die Kugeln können zwar durch Schleifen hergestellt werden, doch ist es auch möglich, ein Verfahren anzuwenden, das dem zur Herstellung von Bleischrot angewendeten Verfahren gleicht. Silizium, das mit etwa $5 \times 10^{17}/cm^3$ dotiert ist, wird in einem Rohr geschmolzen und durch eine Düse gepreßt. Dabei entstehen Siliziumtröpfchen, die über eine Strecke von etwa 2,5m fallen können. Während dieses Falls verfestigt sich das Silizium, und es bildet eine im Grunde kugelige Form mit einem kleinen Konus, der von den sich zuletzt verfestigenden Abschnitt der Kugel absteht. Diese Abweichung von der Kugelform ist bei dem Verfahren bedeutungslos, doch kann es erwünscht sein, die Störstellenkonzentration durch Erwärmen der Kugeln auf 1300°C für die Dauer von 12 Stunden wieder zu verteilen. Für die Struktur von Fig.11 sind sowohl p-leitende Kugeln als auch n-leitende Kugeln erforderlich; beide Typen können auf diese Weise erhalten werden. Obgleich manche Kugeln interne Korngrenzen enthalten, und somit keine echten Einkristalle sind, sind die meisten Kugeln für diesen Anwendungsfall geeignet. Die Kugeln können dann hinsichtlich ihres Durchmessers sortiert werden. Es kann zwar jeder Durchmesser verwendet werden, doch ist es vorteilhaft, mit Kugeln zu arbeiten, die jeweils gleichzeitig nur eine begrenzte Schwankungsbreite hinsichtlich ihrer Größe haben. Beispielsweise werden bei dem zu beschreibenden Herstellungsverfahren die Kugeln in Gruppen sortiert, die innerhalb einer Durchmesserschwankung von 25 µm liegen.

Beim Schritt 2 werden die Kugeln 301 bis 305 so diffundiert, daß die notwendigen Übergänge zwischen Oberflächenschichten 301a

bis 305a und dem Restkörper des Materials entstehen. Die p-leitenden Kugeln erhalten eine n-leitende Oberflächenschicht. Dies kann durch Gasdiffusion mit einer Phosphorquelle erhalten werden. Die gewünschten Oberflächenschichten 301a bis 305a weisen vorzugsweise Übergangstiefen von etwa 0,5 bis 1,0 µm und Oberflächenkonzentrationen von etwa $10^{19}/cm^3$ auf. Die n-leitenden Kugeln erhalten eine p-leitende Oberflächenschicht bei Anwendung eines ebensolchen Diffusionsprozesses mit einerBorquelle. Die resultierenden P-Schichten haben ebenfalls eine Übergangstiefe von etwa 0,5 bis 1,0 µm und eine Oberflächenkonzentration von etwa $10^{19}/cm^3$. Für diesen Zweck geeignete Diffusionsverfahren sind dem Halbleiterfachmann bekannt.

Beim Schritt 3 werden auf die Oberflächen der Kugeln Metallkontakte 301b bis 305b aufgebracht. Die Auswahl eines Metalls kann zwar vom Elektrolyten abhängen, doch eignet sich Platin für die Verwendung bei jedem der hier angegebenen Beispiele. Eine dünne lichtdurchlässige Platinschicht wird durch Aufsprühen einer Schichtdicke von 150 Å auf die Oberfläche der Kugeln gebildet. Die Kugeln werden in der Aufsprühanordnung bewegt, damit eine Bedeckung der gesamten Oberfläche gewährleistet wird. Das Platin wird dann bei 250°C für die Dauer von 5 Minuten gesintert, so daß ein ohmscher Kontakt mit der Oberflächenschicht beider Kugeltypen entsteht.

Beim Schritt 4 werden auf die Kugeln dünne Isolationsüberzüge 301c bis 305c aufgebracht. Eine Schicht von 12,5 µm eines Acrylmaterials, wie es von der Firma DuPont mit der Bezeichnung Krylon Acrylic 1302 hergestellt

und vertrieben wird, eignet sich für diesen Zweck. Die Schicht ist nicht erforderlich, wenn (a) die Kugeln im anschließenden Verarbeitungsvorgang im Abstand voneinander gehalten werden oder (b) p-leitende Kugeln nicht mit n-leitenden Kugeln in Kontakt stehen.

Beim Schritt 5 können die p-leitenden Kugeln und die n-leitenden Kugeln gemischt und auf einem zeitweise verwendeten Träger verstreut werden. Die Kugeln 301 bis 305 werden auf einem zeitweise verwendeten Träger 307 gehalten, der zuvor mit einer Paraffinwachsschicht 308 mit einer Dicke von 50 µm überzogen worden ist. Der Träger 307 wird leicht erwärmt, und die Kugeln werden in die Wachsschicht eingedrückt. Während der folgenden Schritte werden die Kugeln vom Wachs 308 an ihrer Stelle gehalten.

Beim Schritt 6 werden der Träger und die Kugeln mit einer Schicht aus einer isolierenden Verbindung 309 übergossen. Die Auswahl dieses Materials hängt zum Teil von den ausgewählten Elektrolyten ab, da es sich beim Gebrauch nicht verschlechtern sollte. Für die angegebenen Ausführungsbeispiele hat sich ein lichtdurchlässiges Silikonharz der Firma General Electric Company, Katalognummer RTV-108 als zufriedenstellend erwiesen. Ein lichtdurchlässiges Harz ist deshalb erwünscht, weil es ermöglicht, daß mehr Licht zur Oberfläche der Kugeln gelangt. Nachdem das Harz 309 gehärtet ist, wird die Oberfläche entfernt, so daß die Kerne der Kugeln 301 bis 305 freigelegt werden.

Beim Schritt 7 werden die freigelegten Kerne geätzt, wobei als Ätzmittel Salpetersäure (HNO_3) und Fluorwasserstoff in einem Volumenverhältnis von 250 zu 4 unter Zusatz von Trialkylamin bei 5% der Lösung verwendet wird.

Dadurch wird eine Siliziumschicht 310 mit einer Dicke von etwa 12,5 µm entfernt, und die Übergänge werden gereinigt. Durch Anwendung eines Ätzmittels mit Vorzugskonzentrationseigenschaften können die Übergänge noch weiter vertieft werden, als es in einer Zeichnung im Maßstab von Fig.14 dargestellt werden kann.

Nach dem Ätzen wird beim Schritt 8 die Oberfläche der Platte erwärmt, so daß die scharfen Kanten des Silikonharzes an der Oberfläche der Kugeln umklappen und die freiliegenden Übergänge schützen. Die Platte wird dann in eine Ionenplattierungsanordnung eingesetzt, wie sie in "Electronic Packaging and Production", Mai 1975, Seiten 39 bis 45 von Hale, White & Meyer beschrieben ist; auf der gesamten Oberfläche der Platte wird dabei eine vorzugsweise aus Aluminium bestehende Metallschicht 311 mit einer Dicke von 1,25 µm (50 Mikroinch) gebildet. Die Schicht 311 steht mit den Kernen aller Kugeln 301 bis 305 in Kontakt. Falls es erwünscht ist, kann die durch Entfernen der Schicht 310 freigelegte Oberfläche mechanisch abgetragen oder einer Ionenimplantationsquelle vor der Ionenplantierung ausgesetzt werden, damit die Erzielung der ohmschen Kontakte erleichtert wird.

Nach dem Entfernen aus der Metallisierungsanordnung wird die Platte im Schritt 9 mit einer weiteren Materialschicht 312 zur Erhöhung der Festigkeit und zum Schützen der Metallschicht überzogen. Die Schicht 312 kann ebenfalls aus einem Silikonharz bestehen, das dem Silikonharzmaterial 309 entspricht, obgleich hier Lichtdurchlässigkeit nicht erforderlich ist. Nach dem Aufbringen und Härten der Schicht 312 wird der Träger 307 entfernt. Die untere Fläche der Platte wird dann in einem Lösungsmittel wie Trichloräthylen gewaschen,

damit das Paraffinwachs 308 und der Acryllack des Schritts 4 von der freiliegenden Oberfläche der Kugeln 301 bis 305 entfernt werden.

Es ist zu erkennen, daß die sich bei Vollendung des Schritts 9 ergebende Struktur der Struktur von Fig.11 gleicht. Nach Beendigung des Prozesses werden die resultierenden Platten in Streifen 52 nach Fig.12 zerschnitten und in Rohre 50 für die Verwendung als Sonnenenergiewandler eingefügt.

Ferner ist zu erkennen, daß alle erforderlichen Vorgänge chargenweise oder kontinuierlich ausgeführt werden können. Vom wirtschaftlichen Standpunkt aus sind kontinuierliche Vorgänge gewöhnlich vorteilhafter; sie können bei dem beschriebenen Verfahren leicht angewendet werden. In diesem Fall wäre der zeitweise verwendeteTräger 307 ein breites Band aus Edelstahl, das zum Befördern der Platte durch die aufeinanderfolgenden Verfahrensschritte verwendet würde; im Anschluß daran würde die Struktur von dem Band als kontinuierlicher Streifen gemäß dem Schritt 9 vom Band abgenommen. Der Streifen wird dann so angebracht, daß er auf der den Schichten 311 und 312 gegenüberliegenden Fläche Strahlung empfängt.

Es wird zwar angenommen, daß die Verwendung kleiner Kugeln besonders vorteilhaft ist, doch können Sperrschicht- Photozellen jeder beliebigen Art vorteilhaft angewendet werden. Beispielsweise wäre es möglich, Streifen 52 unter Anwendung von Dünnfilmverfahren herzustellen. In diesem Fall würden dann Filmschichten aus einem Halbleitermaterial auf dünnen Metallplatten angebracht, wie in "Applied Physics Letters", Band 25, Nr.10, November 1974, Seiten 583 bis 584 von Fang,

Ephrath und Nowak beschrieben ist;auch die Aufbringung eines Halbleitermaterials wie Silizium auf einem Substrat, wie Saphir mit Hilfe dem Fachmann bekannter Verfahren ist möglich. Wenn die Halbleiterfilme in unabhängige kleinflächige Photoelemente unterteilt werden, würde der Betrieb, bei dem Fehler zulässig sind, aufrechterhalten werden.

Die Sperrschicht-Photozellen sind hinsichtlich ihrer Form nicht eingeschränkt;auch eine Beschränkung auf PN-Übergänge liegt nicht vor. Beispielsweise könnten Bauelemente mit Schottky-Sperrschichten verwendet werden. Schottky-Sperrschichten bestehen aus einer Metallschicht, die direkt auf der Oberfläche eines Halbleiterkörpers angebracht ist. Das Material des Halbleiterkörpers und das Metall sind so gewählt, daß an der Grenzfläche zwischen dem Metall und dem Halbleiter eine Sperrschicht entsteht, die leitend wird, wenn sie beleuchtet wird. Sperrschicht-Photoelemente sind bekannt; sie können mit Schottky-Sperrschichtübergängen hergestellt werden. Verfahren zur Herstellung von Schottky-Sperrschichtzellen sind in "Proceedings of IEEE", Januar 1975, Seiten 206 bis 207 von Anderson und Milano beschrieben. Für die hier beschriebenen Elektrolyten sollte anstelle der von Anderson und Milano verwendeten Aluminiumkontakte Platin verwendet werden.

In jedem Fall werden ausgewählte Bereiche der Sperrschicht-Photozellen von dem Elektrolyten befeuchtet, in dem die chemische Reaktion stattfindet. Unter "Befeuchten" wird hier verstanden, daß ein Elektrolyt mechanisch und elektrisch wenigstens mit ausgewählten Flächen der Photozellen in Kontakt steht.

In den beschriebenen Zeichnungen ist zu erkennen, daß das auf die Photozellen auftreffende Licht den Elektrolyten durchdringt. Dies ist zwar eine zweckmässige geometrische Anordnung, die bevorzugt wird, doch ist ohne weiteres zu erkennen, daß die Photozellen so konstruiert werden können, daß sie das Licht auf andere Weise als durch den Elektrolyten empfangen, während sie immer noch vom Elektrolyten befeuchtet werden, damit Strom zur Erzeugung der gewünschten chemischen Reaktion aus den Zellen fließt.

Die Erfindung ist hier im Zusammenhang mit bevorzugten Ausführungsbeispielen beschrieben worden, doch ist für den Fachmann ohne weiteres zu erkennen, daß im Rahmen der Erfindung auch weitere Abwandlungen möglich sind.

Patentansprüche

1. Energiewandler, gekennzeichnet durch wenigstens ein Photoelement und einen damit in Verbindung stehenden Elektrolyten zur Erzielung chemischer Veränderungen in dem Elektrolyten beim Anlegen einer Strahlungsenergie an das Photoelement.

2. Wandler nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das Photoelement Halbleiterübergänge enthält, die zwischen Halbleitern des entgegengesetzten Leitungstyps gebildet sind.

3. Wandler nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das Photoelement Schottky-Sperrschicht-Übergänge enthält.

4. Wandler nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß mehrere Photoelemente vorgesehen sind, und daß mehrere Photoelemente in Serie geschaltet sind.

5. Wandler nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß mehrere Photoelemente vorgesehen sind, und daß wenigstens ein Photoelement einen P-Halbleiter über einen N-Halbleiter enthält, während andere Photoelemente einen N-Halbleiter über einen P-Halbleiter enthalten.

6. Wandler nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß Vorrichtungen zur Entnahme wenigstens eines elektrochemischen Produkts vorgesehen sind.

7. Wandler nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß Vorrichtungen zum Neutralisieren des elektrochemischen

Reaktionsprodukts zur Erzeugung elektrischer Energie vorgesehen sind.

8. Sonnenenergiewandler mit mehreren Photoelementen, Vorrichtungen zum Belichten der Photoelemente zum Veranlassen der Erzeugung elektrischer Potentiale durch die Photoelemente und Vorrichtungen zum Aufnehmen eines Elektrolyten, dadurch gekennzeichnet, daß der in die Aufnahmevorrichtungen eingeführte Elektrolyt abhängig von dem durch ihn fliessenden und von den Photoelementen erzeugten Strom eine erwünschte chemische Änderung erfährt.

9. Wandler nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß in Anwesenheit des Elektrolyten das die Entwicklung der elektrischen Potentiale verursachende Licht wenigstens teilweise den Elektrolyten durchdringt.

10. Wandler nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß mehrere Photoelemente in einer oder mehreren Schichten angeordnet sind.

11. Wandler nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß die Photoelemente elektrisch voneinander getrennt sind.

12. Wandler nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß ausgewählte Photoelemente in Serie miteinander geschaltet sind.

13. Wandler nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß ausgewählte Photoelemente paarweise in Serie miteinander verbunden sind.

14. Wandler nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß die Photoelemente in einer oder mehreren Schichten angeordnet sind und aus Halbleitermaterial bestehen, daß jedes Photoelement einen Übergang zwischen dem Material des Halb-

leiterkörpers und dem Material der Oberfläche, das einen zum Material des Halbleiterkörpers entgegengesetzten Leitungstyp aufweist, enthält, wobei einige der Halbleiterkörper aus p-leitendem Material bestehen, während die übrigen Halbleiterkörper aus n-leitendem Material bestehen, und daß einer ersten Fläche einer Schicht Leitervorrichtungen zugeordnet sind, die die von wenigstens zwei Photoelementen mit Halbleiterkörpern vom entgegengesetzten Leitungstyp erzeugten Spannungen in Serie schalten.

15. Wandler nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, daß die Vorrichtungen zum Aufnehmen des Elektrolyten die eine oder die mehreren Schichten umschließen.

16. Wandler nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, daß die Vorrichtungen zum Belichten der Photoelemente Einrichtungen zum Lenken des Lichts auf eine der ersten Fläche gegenüberliegende Fläche enthalten.

17. Wandler nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, daß die gewünschte chemische Änderung im Elektrolyten die Bildung eines oder mehrerer Gase umfaßt und daß die Vorrichtungen zur Aufnahme des Elektrolyten Einrichtungen zum Trennen des einen oder der mehreren Gase und zum Ableiten aus den Elektrolytaufnahmevorrichtungen nach außen enthalten.

18. Wandler nach Anspruch 17, dadurch gekennzeichnet, daß der Elektrolyt aus Nitrosylchlorid (NOCl) besteht und daß das oder die Gase Stickoxid und Chlor sind.

19. Wandler nach Anspruch 17, dadurch gekennzeichnet, daß der Elektrolyt aus Jodwasserstoffsäure (HI) besteht, und

daß das oder die Gase aus Wasserstoff bestehen.

20. Wandler nach Anspruch 17, dadurch gekennzeichnet, daß der Elektrolyt aus Wasser (H_2O) besteht und daß das oder die Gase Wasserstoff und Sauerstoff sind.

21. Wandler nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, daß die eine oder die mehreren Schichten Verbindungsschichten sind und daß ein Abschnitt des Halbleiterkörpermaterials jedes Photoelements mit der Leitervorrichtung und mit Anschlußvorrichtungen auf einer der ersten Fläche gegenüberliegenden Fläche verbunden ist.

22. Wandler nach Anspruch 21, dadurch gekennzeichnet, daß die Anschlußvorrichtungen für optische Energie durchlässig sind.

23. Wandler nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß die Photoelemente im wesentlichen kugelförmig sind.

24. Wandler nach Anspruch 23, dadurch gekennzeichnet, daß die kugelförmigen Photoelemente an einem Teil eben sind.

25. Wandler nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, daß die aus p-leitendem Material bestehenden Halbleiterkörper über wenigstens einen Abschnitt ihrer Oberfläche eine N-Oberflächendiffusions aufweisen und daß die aus n-leitendem Material bestehenden Halbleiterkörper auf wenigstens einem Abschnitt ihrer Oberfläche eine P-Oberflächendiffusion aufweisen.

26. Wandler nach Anspruch 25, dadurch gekennzeichnet, daß auf Oberflächenbereichen beider Materialtypen Elektroden angebracht sind, die dem Elektrolyten ausgesetzt sind und mit diesem in Kontakt stehen, so daß durch den Elektrolyten ein Strom fließt.

27. Wandler nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, daß Vorrichtungen vorgesehen sind, mit deren Hilfe vier erzeugte Spannungen zur Erzielung einer höheren Betriebsspannung in Serie schaltbar sind.

28. Wandler nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, daß ein oder mehrere längliche Rohrglieder vorgesehen sind, und daß die Photoelemente in Schichten innerhalb der Rohrglieder so angeordnet sind, daß ausgewählte Oberflächen gegen eine Berührung durch den Elektrolyten, wenn dieser vorhanden ist, geschützt sind, während andere Oberflächen dem Elektrolyten ausgesetzt sind, wenn dieser vorhanden ist.

29. Wandler nach Anspruch 19, gekennzeichnet durch eine Wasserstoffspeichervorrichtung zum Aufnehmen und Speichern von im aktiven Zustand der Photoelemente erzeugten Wasserstoffgas, einen Wärmeaustauscher zum Abkühlen des Elektrolyten und eine an die Wasserstoffspeichervorrichtung angeschlossene Brennstoffzelle zum Rekombinieren von Wasserstoff und Jodid zur Abgabe elektrischer Energie aus der Brennstoffzelle.

30. Verfahren zum Umwandeln von Sonnenenergie, bei dem mehrere Photoelemente optischer Energie ausgesetzt werden,

dadurch gekennzeichnet, daß die elektrische Ausgangsgröße an einen unmittelbar angrenzenden Elektrolyten angelegt wird und daß die elektrische Ausgangsgröße veranlaßt wird, den Elektrolyten zu durchlaufen und im Elektrolyten chemische Veränderungen hervorzurufen.

31. Verfahren zur Herstellung eines Sonnenergiewandlers, bei dem Photoelemente gebildet werden, dadurch gekennzeichnet,

a) daß erste Halbleiterkörper aus einem Halbleitermaterial eines ersten Leitungstyps gebildet werden, die jeweils eine Oberflächenschicht aus einem Material eines zweiten Leitungstyps aufweisen,

b) daß zweite Halbleiterkörper aus einem Halbleitermaterial des zweiten Leitungstyps gebildet werden, die jeweils eine Oberflächenschicht aus einem Material des ersten Leitungstyps aufweisen,

c) daß die ersten und zweiten Halbleiterkörper lösbar zusammenhängend unter Durchdringung in einer Schicht auf einem zeitweise verwendeten Träger angebracht werden,

d) daß die Zwischenräume zwischen den Halbleiterkörpern über dem zeitweise verwendeten Träger ausgefüllt werden,

e) daß die Basisseite der einen Schicht gegenüber dem Träger bis zu einer Tiefe unterhalb der Oberflächenschichten der Halbleiterkörper abgetragen wird,

f) daß auf die Basisseite der einen Schicht eine leitende Schicht zum Verbinden des Halbleitermaterials aller ersten Halbleiterkörper des ersten Leitungstyps mit dem Material

aller zweiten Körper des zweiten Leitungstyps angebracht wird,

g) daß auf die leitende Schicht eine Trägerschicht aufgebracht wird und

h) daß die eine Schicht von dem zeitweise verwendeten Träger gelöst wird.

32. Verfahren nach Anspruch 31, dadurch gekennzeichnet, daß die Bildung der ersten und zweiten Halbleiterkörper dadurch erfolgt, daß ihr Material geschmolzen wird und daß dann daraus Tröpfchen gebildet werden, die zur Erzeugung im wesentlichen kugelförmiger Körper abgekühlt werden.

33. Verfahren nach Anspruch 31, dadurch gekennzeichnet, daß die ersten und zweiten Halbleiterkörper im wesentlichen eben gebildet werden, und daß Materialien in die Halbleiterkörper diffundiert werden, deren Leitungstyp dem Leitungstyp der Körper entgegengesetzt ist.

Leerseite

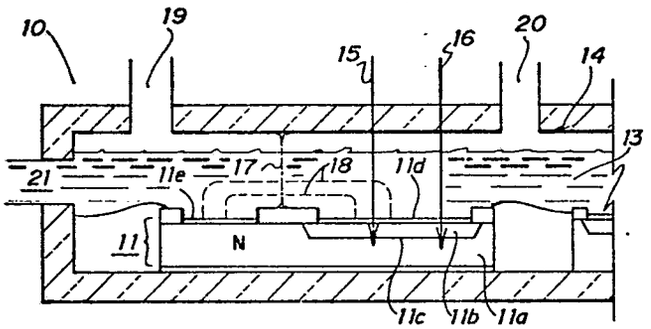


FIG. 1

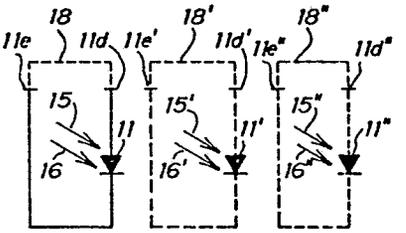


FIG. 2

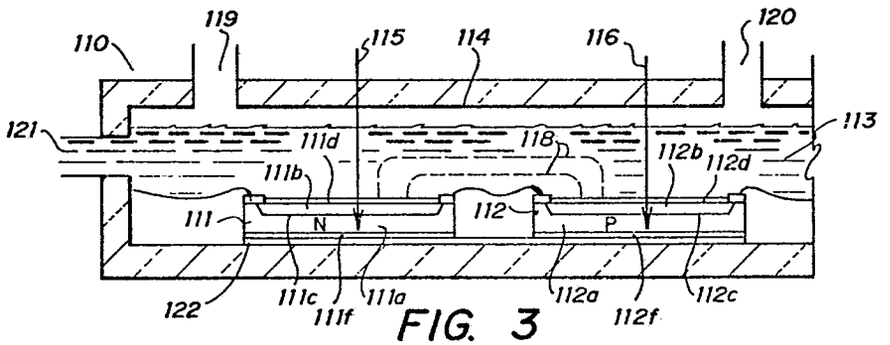


FIG. 3

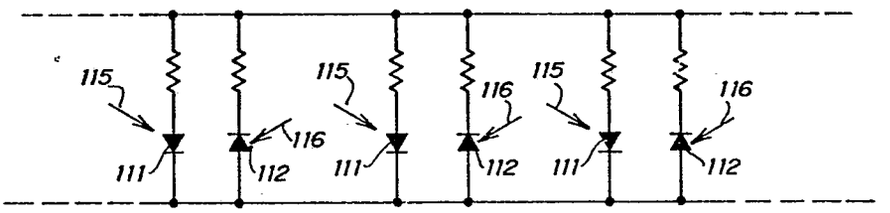


FIG. 4

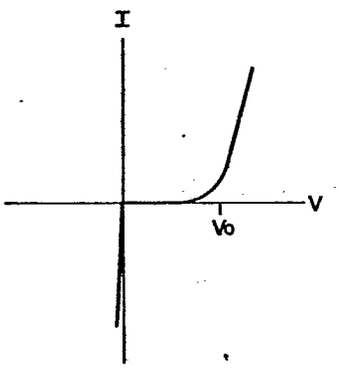


FIG. 5

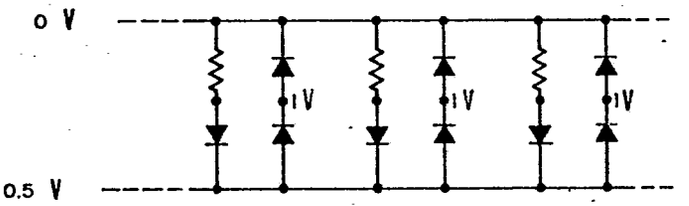


FIG. 6

H01L 31-06 AT:28.07.1976 OT:17.02.1977

709807/0765

ORIGINAL INSPECTED

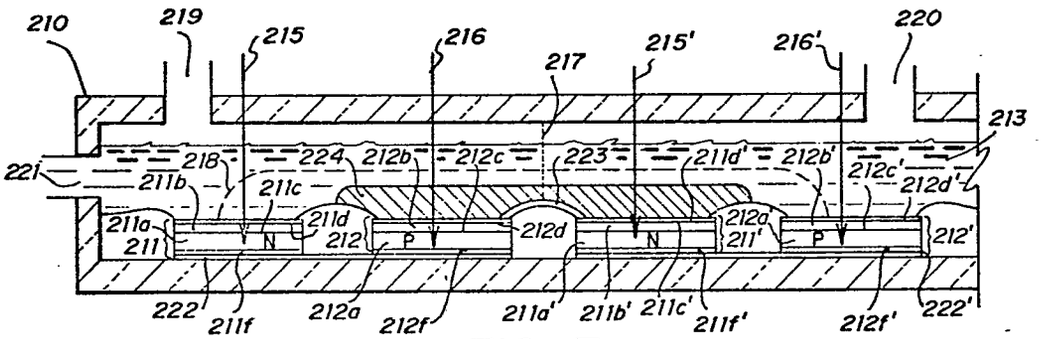


FIG. 7

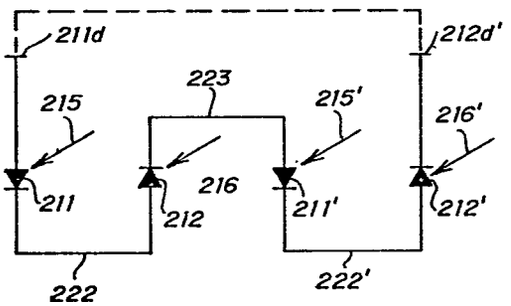


FIG. 8

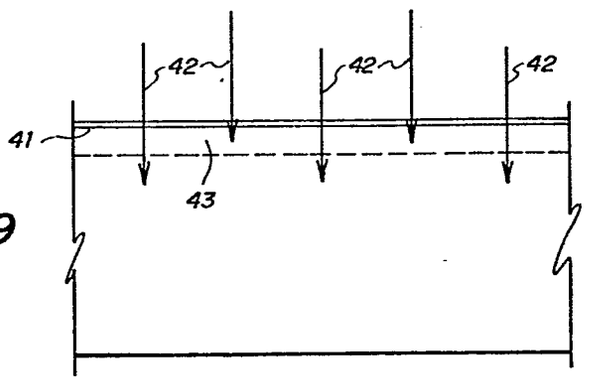


FIG. 9

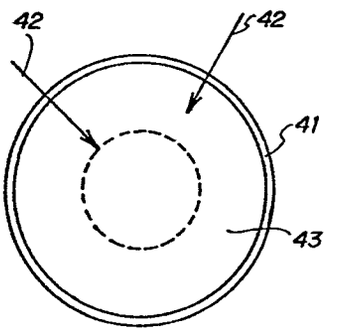


FIG. 10

Patentanmeldung vom 26.7.76
Jack St.Clair Kilby.....
"Energiewandler"

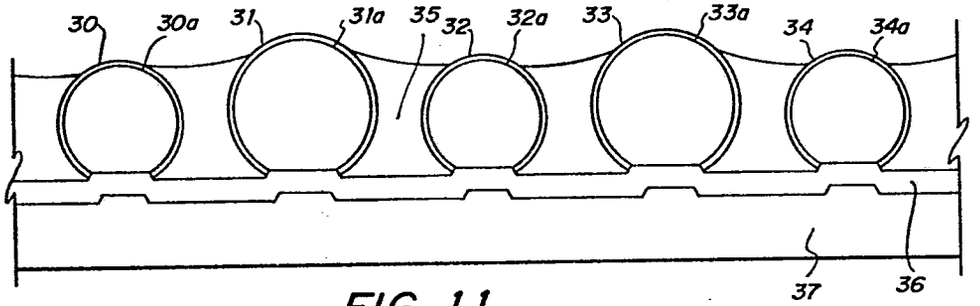


FIG. 11

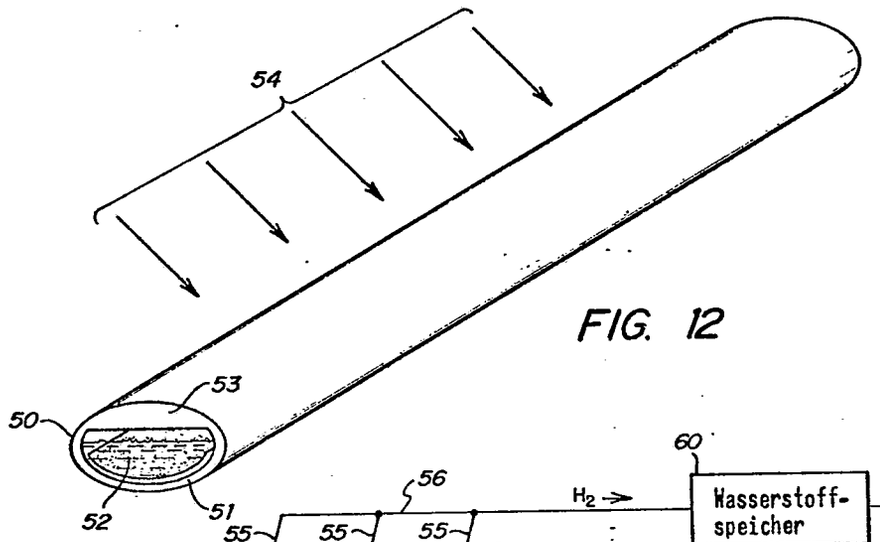


FIG. 12

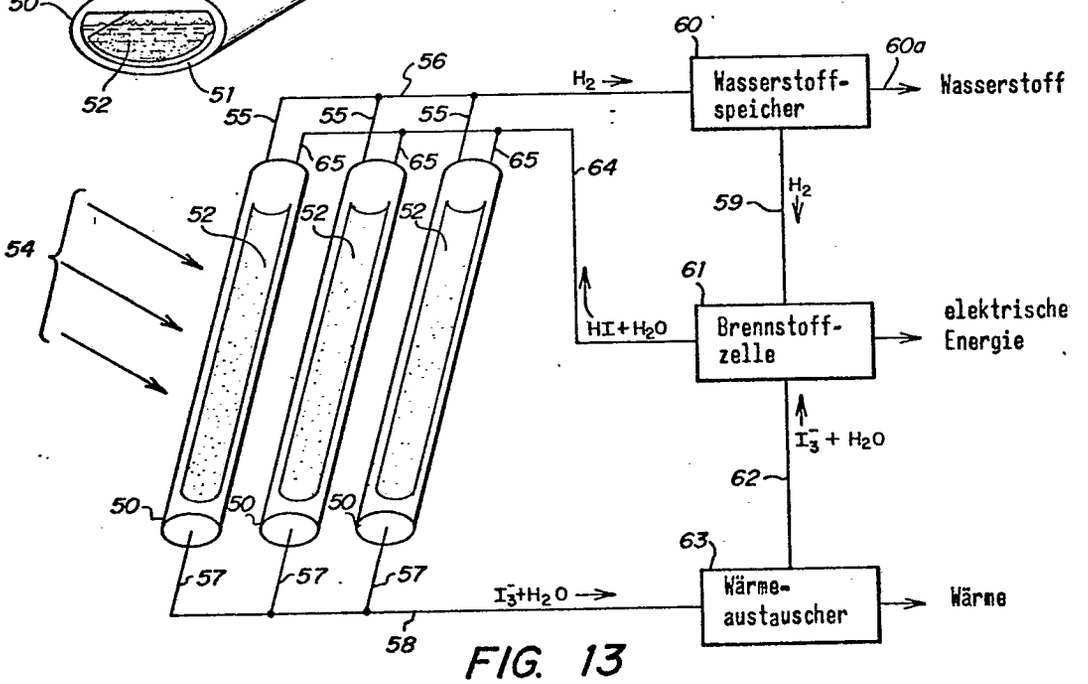


FIG. 13

709807/0765

Patentanmeldung vom 26.7.76
Jack St.Clair Kilby.....
"Energiewandler"

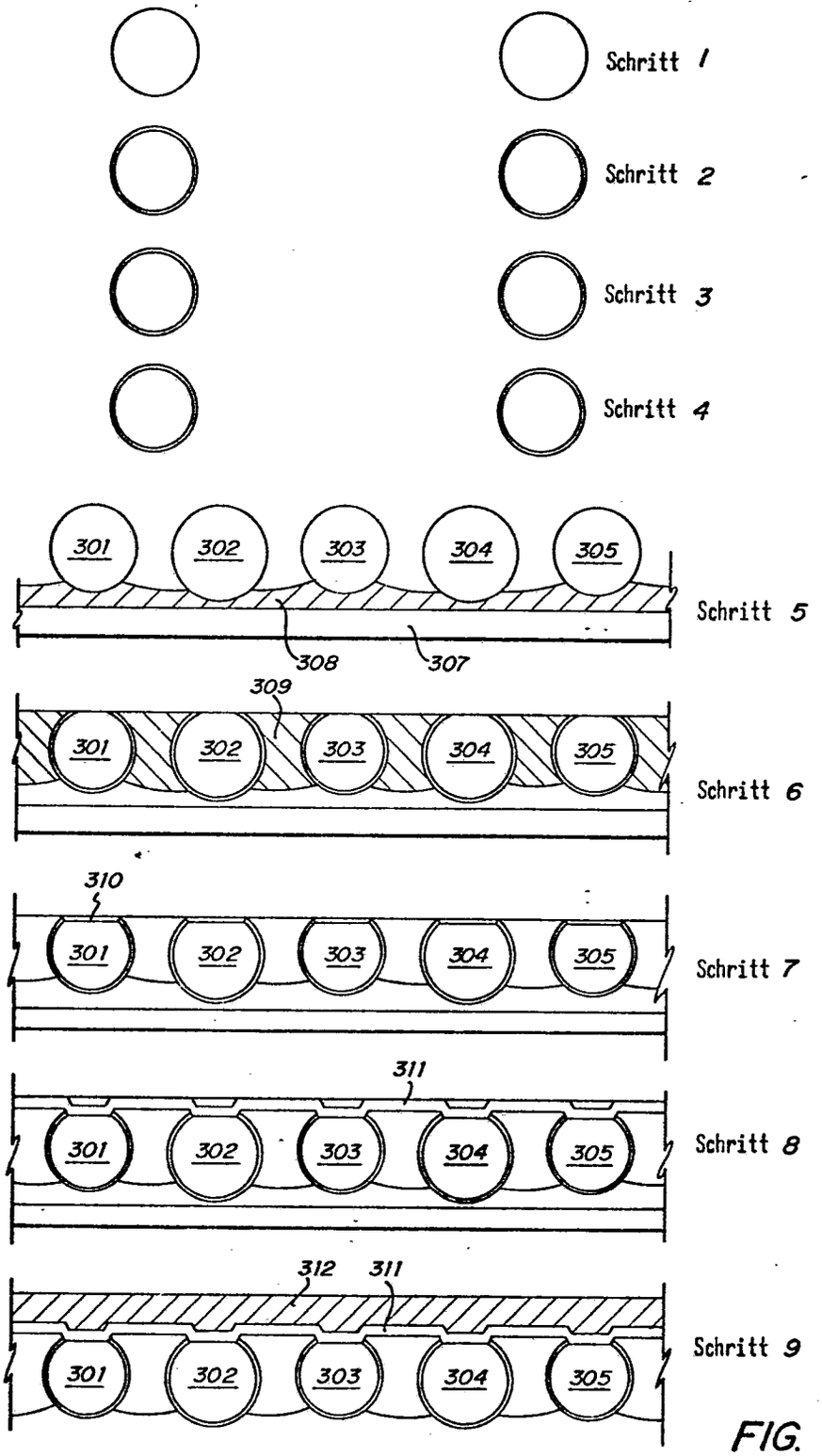


FIG. 14

709807/0765

Patentanmeldung vom 26.7.76
Jack St.Clair Kilby.....
"Energiewandler"