

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum  
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum  
20. November 2008 (20.11.2008)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
**WO 2008/138608 A1**

(51) Internationale Patentklassifikation:

C23C 16/32 (2006.01) H01L 31/0216 (2006.01)  
H01L 21/314 (2006.01) H01L 31/052 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2008/003876

(22) Internationales Anmeldedatum:  
14. Mai 2008 (14.05.2008)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:  
07009630.0 14. Mai 2007 (14.05.2007) EP

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT ZUR FÖRDERUNG DER ANGEWANDTEN

FORSCHUNG E.V. [DE/DE]; Hansastrasse 27c, 80686 München (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): DIMROTH, Frank [DE/DE]; Bauhöferstrasse 154, 79115 Freiburg (DE). FERNANDEZ, Jara [ES/DE]; Waldkircherstrasse 5, 79106 Freiburg (DE). JANZ, Stefan [AT/DE]; Rennweg 4, 79106 Freiburg (DE).

(74) Anwalt: PFENNING, MEINIG & PARTNER GBR; Theresienhöhe 13, 80339 München (DE).

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: SEMICONDUCTOR COMPONENT, METHOD FOR THE PRODUCTION THEREOF, AND USE THEREOF

(54) Bezeichnung: HALBLEITERBAUELEMENT, VERFAHREN ZU DESSEN HERSTELLUNG UND DESSEN VERWENDUNG

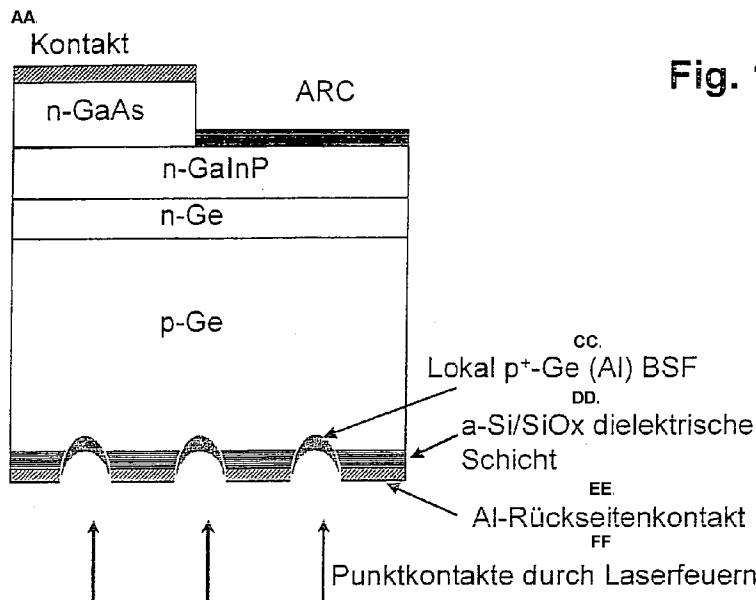


Fig. 1

(57) Abstract: The invention relates to a semiconductor element having at least one germanium-containing semiconductor layer. The semiconductor layer has at least one layer containing silicon carbide on the back thereof, which is to say on the side facing away from incident light, serving to reflect radiation and as backside passivation or a diffusion barrier. The invention further relates to a method for producing such semiconductor elements. The semiconductor elements according to the invention are used particularly as thermophotovoltaic cells or multiple solar cells on a germanium basis.

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Halbleiterbauelement, das mindestens eine Germanium-haltige Halbleiterschicht enthält. Die Halbleiterschicht weist rückseitig, d.h. auf der dem einfallenden Licht abgewandten Seite mindestens eine Siliciumcarbid enthaltende Schicht auf, die zum einen der Reflexion von Strahlung als auch als Rückseitenpassivierung oder als Diffusionsbarriere dient. Ebenso wird ein Verfahren zur Herstellung derartiger Halbleiterbauelemente

- AA... Contact
- CC... Local p+-Ge (Al) BSF
- DD... a-Si/SiOx dielectric layer
- EE... Al back contact
- FF... Point contacts produced by laser firing

beschrieben. Verwendung

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2008/138608 A1



BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SV, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MT, NL, NO, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

**(84) Bestimmungsstaaten** (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW,

**Veröffentlicht:**

— mit internationalem Recherchenbericht

Halbleiterbauelement, Verfahren zu dessen Herstellung  
und dessen Verwendung

Die Erfindung betrifft ein Halbleiterbauelement, das  
5 mindestens eine Germanium-haltige Halbleiterschicht  
enthält. Die Halbleiterschicht weist rückseitig, d.h.  
auf der dem einfallenden Licht abgewandten Seite min-  
destens eine Siliciumcarbid enthaltende Schicht auf,  
10 die zum einen der Reflexion von Strahlung als auch  
als Rückseitenpassivierung oder als Diffusionsbarriere  
dient. Ebenso wird ein Verfahren zur Herstellung  
derartiger Halbleiterbauelemente beschrieben. Verwen-  
dung finden die erfindungsgemäßen Halbleiterbauele-  
15 mente insbesondere als Thermophotovoltaikzellen oder  
Mehrfachsolarzellen auf Germanium-Basis.

In der Thermophotovoltaik werden Photovoltaikzellen  
dazu verwendet, die Strahlung eines Ermittlers mit  
einer typischen Temperatur von 1000 bis 1500°C in  
20 elektrischen Strom umzuwandeln. Als Wärmequelle in

einem solchen System können konventionelle Energiequellen wie Erdgas, oder regenerative Quellen wie konzentriertes Sonnenlicht verwendet werden. Aufgrund der im Vergleich zur Sonne niedrigen Emittertemperaturen werden in der Thermophotovoltaik Zellen mit geringerer Bandlückenenergie eingesetzt. Beispiele sind Photovoltaikzellen aus Galliumantimonid, Galliumindiumarsenidantimonid oder Germanium. Germanium ist aufgrund der geringen Kosten und der guten Verfügbarkeit ein besonders interessantes Material für die Thermophotovoltaik.

Aus dem Stand der Technik ist eine Thermophotovoltaikzelle auf Germanium-Basis mit einer Rückseitenpassivierung aus amorphem Silicium (EP 1 475 844 A2) und einem Rückseiten Spiegel aus amorphem Silicium (a-Si) und  $\text{SiO}_x$  bekannt (Fernandez, J., et al. Back-Surface Optimization of Germanium TPV Cells. in Proc. of 7th World TPV Conference. 2006. El Escorial, Spain). Diese Zelle weist einen Rückseitenkontakt aus Aluminium auf, der lokal mit einem Laser durch die dielektrischen Schichten getrieben wird. Die hier beschriebene Zelle und deren Verwendung ist in Fig. 1 schematisch dargestellt. Fig. 2 zeigt ein Reflexionspektrum dieser Thermophotovoltaikzelle. Hieraus ist zu erkennen, dass die höchste Reflektivität von bis zu 85 % im langwelligen Spektralbereich bei niedrigen Substratdotierungen von  $p=10^{15} \text{ cm}^{-3}$  mit dem dielektrischen Rückseiten Spiegel aus a-Si/ $\text{SiO}_x$  erreicht wird. Entscheidend für eine hohe Reflektivität des Rückseiten Spiegels sind der Unterschied im Brechungsindex der Materialien sowie eine optimale Anpassung der Schichtdicken. Der Brechungsindex von amorphem Silicium liegt bei etwa 3,6 bis 4,3 (bei 633 nm), der von Siliciumoxid bei etwa 1,4 (bei 633 nm).

Die US 4,495,262 beschreibt ein photosensitives Element und ein elektrofotographisches photosensitives Element mit einer photoleitfähigen Schicht, die amorphes hydrogenisiertes oder fluoriertes Siliciumgermanium und ein amorphes hydrogenisiertes und/oder fluoriertes Siliciumgermaniumcarbid enthält. Die Elemente weisen außerdem eine erste amorphe hydrogenisierte und/oder fluorierte Siliciumcarbidschicht auf, die auf der photoleitfähigen Schicht angeordnet ist.

Außerdem weisen sie eine zweite amorphe hydrogenisierte und/oder fluorierte Siliciumcarbidschicht auf, die unter der photoleitfähigen Schicht angeordnet ist.

Weitere auf Germanium basierende Solarzellen sind aus dem Bereich der Mehrfachsolarzellen mit mehreren seriell verschalteten pn-Übergängen bekannt, wie sie in Satelliten und terrestrischen PV-Konzentratorsystemen zum Einsatz kommen.

Fig. 3 zeigt den schematischen Aufbau der Schichtstruktur für eine III-V-Mehrfachsolarzelle, wie sie aus dem Stand der Technik bekannt ist (Bett et al., „Multi-junction Concentrator Solar Cells“ in: Luque et al., Concentrator Photovoltaics, ISBN: 978-3-540-68796-2), mit drei pn-Übergängen aus GaInP, GaInAs und Germanium. Die Germanium-Teilzelle wird durch eine Diffusion von Phosphor oder Arsen während des Wachstums der darüber liegenden Schichtstruktur in das p-dotierte Germanium-Substrat gebildet. Die Germanium-Teilzelle besteht typischerweise aus einem Emitter mit einer Dicke von 100 bis 500 nm. Die Basisdicke entspricht in etwa der Dicke des Germanium-Substrats und beträgt für die Anwendung im Weltraum zwischen 130 bis 170  $\mu\text{m}$ , für die Anwendung in terrestrischen Konzentratorsystemen 150 bis 500  $\mu\text{m}$ . Die

Rückseite der Germanium-Teilzelle ist vollständig mit einem Metall-Kontakt bedeckt. In diesem Fall trägt die Basis der Germanium-Solarzelle kaum zur Stromgeneration bei. Dies liegt zum einen daran, dass bei den heutigen Weltraum Solarzellen typischerweise Substratdotierungen von  $p > 10^{17} \text{ cm}^{-3}$  verwendet werden, wobei die Diffusionslänge für Minoritätsladungsträger in diesem Fall grundsätzlich kleiner ist als die Dicke der Basisschicht von etwa 150  $\mu\text{m}$ . Zum anderen ist die Rekombinationsgeschwindigkeit für Minoritätsladungsträger an der Grenzfläche zwischen dem Germanium und der Metallschicht sehr hoch.

In den heute eingesetzten III-V-Mehrfachsolarzellen wird die Rückseite der Germanium-Teilzelle nicht passiviert. Will man die Solarzelle in Zukunft weiter verbessern, so ist eine Rückseitenpassivierung der Ge-Zelle wichtig.

Eine hohe Reflektivität für Wellenlängen größer 1850 nm dient bei der Weltraumsolarzelle dazu, die Temperatur der Solarzelle zu senken. Diese langwelligen Photonen werden in den heutigen Weltraumsolarzellen typischerweise am Rückseitenkontakt absorbiert und tragen zur Erwärmung der Solarzelle bei. Durch den Reflektor aus Siliciumcarbid können diese Photonen aus der Solarzelle heraus und zurück in den Weltraum emittiert werden. Heute wird diese Funktion zum Teil von speziellen Deckgläsern für die Weltraumanwendung erfüllt, die auf der Vorderseite der Solarzelle angebracht werden. In Russell, J., et al., A new UVR/IRR Coverglass for triple junction cells, in Proceedings of the 4th World Conference on Photovoltaic Energy Conversion. 2006. Waikoloa, Hawaii, USA wird gezeigt, dass durch einen Infrarotspiegel auf dem Deckglas eine Reduktion der Solarzellentemperatur im Weltraum um

9 - 13 °C erwartet werden kann. Dies entspricht einer  
Verbesserung des absoluten Wirkungsgrads um 0.5 bis  
0.7 %. Der hier beschriebene Reflektor auf dem Deck-  
glas führt allerdings dazu, dass auch ein Teil der  
5 für die Dreifachsolarzelle nutzbaren Photonen reflek-  
tiert wird.

Ausgehend hiervon war es Aufgabe der vorliegenden Er-  
findung, bestehende Solarzellen auf Germanium-Basis  
10 zu verbessern und die beschriebenen Nachteile der  
Systeme aus dem Stand der Technik zu beseitigen. Ins-  
besondere sollen hierbei derartige Halbleiterbauele-  
mente auf einfache Weise so weitergebildet werden,  
dass zum einen eine Reflexion von Photonen, als auch  
15 eine Rückseitenpassivierung der Zelle bzw. eine Dif-  
fusionsbarriere realisiert wird.

Diese Aufgabe wird durch das Halbleiterbauelement mit  
den Merkmalen des Anspruchs 1 und das Verfahren zu  
20 dessen Herstellung mit den Merkmalen des Anspruchs 25  
gelöst. In den Ansprüchen 29 und 30 werden erfin-  
dungsgemäße Verwendungen angegeben. Die weiteren ab-  
hängigen Ansprüche zeigen vorteilhafte Weiterbildun-  
gen auf.

25 Erfindungsgemäß wird ein Halbleiterbauelement bereit-  
gestellt, das mindestens eine Halbleiterschicht mit  
einer einfallenden lichtzugewandten Vorderseite und  
einer Rückseite aufweist. Die Halbleiterschicht ent-  
30 hält dabei mindestens 50 At-% Germanium. Die Halblei-  
terschicht weist dabei zumindest rückseitig und zu-  
mindest bereichsweise mindestens eine Siliciumcarbid  
enthaltende Schicht auf.

35 Siliciumcarbid bringt dabei eine Vielzahl von Vortei-  
len mit, die es für den Einsatz in den erfindungsge-

mäßen Halbleiterbauelementen prädestinieren.

5 So zeichnet sich Siliciumcarbid durch eine besonders hohe Temperaturstabilität aus. Ebenso besitzt SiC hervorragende Eigenschaften bezüglich der Oberflächenpassivierung für Ge und Si-Ge. Darüberhinaus zeichnet Siliciumcarbid aus, dass es eine gute Diffusionsbarriere für Verunreinigungen aus benachbarten Schichten darstellt.

10

Diese mindestens eine Siliciumcarbid enthaltende Schicht kann dabei eine atomare bzw. elektrische Funktion und/oder eine optische Funktion aufweisen.

15

Die atomare bzw. elektrische Funktion bezieht sich auf eine elektrische Rückseitenpassivierung oder eine Diffusionsbarriere bei den erfindungsgemäßen Halbleiterbauelementen. Die Siliciumcarbid enthaltende Schicht kann dabei als Diffusionsbarriere für Metalle und Verunreinigungen aus Schichten, die unterhalb der Solarzelle liegen, dienen. Eine weitere atomare bzw. elektrische Funktion betrifft die Möglichkeit, dass die Siliciumcarbid enthaltende Schicht als Quelle für Wasserstoff oder Dotierstoffe dient.

25

Die optische Funktion der Siliciumcarbid enthaltenden Schicht betrifft die Reflexion von Photonen mit einer Energie nahe oder kleiner der Bandlückenenergie des Solarzellenmaterials. Hierdurch kann der Weg für bandkantennahes Licht mit einer geringen Absorption durch das Solarzellenmaterial etwa verdoppelt werden. Dies ist insbesondere für dünne Solarzellen von Vorteil. Zudem kann langwellige Infrarotstrahlung mit einer Energie kleiner als die Bandlücke der Solarzelle aus der Zelle herausreflektiert werden. Hierdurch wird eine Erwärmung der Zelle durch die Absorption

35

dieser Strahlung im Rückseitenkontakt vermieden. Dies ist insbesondere für Solarzellen im Weltraum, oder für die Thermophotovoltaik von Bedeutung.

5 Die mindestens eine Siliciumcarbid enthaltende Schicht stellt vorzugsweise einen Reflektor für Strahlung mit einer Wellenlänge  $> 1600$  nm dar. Die Siliciumcarbid-Schicht(en) weisen dabei einen Brechungsindex im Bereich von 1,6 bis 3,6 auf. Eine bevorzugte Variante sieht vor, dass das Halbleiterbauelement mehrere Siliciumcarbid enthaltende Schichten mit unterschiedlichen Brechungsindizes aufweist. In diesem Falle kann dann das Schichtsystem aus Siliciumcarbid enthaltenden Schichten als Bragg-Reflektor  
10 fungieren.  
15

Vorzugsweise weist die mindestens eine Siliciumcarbid enthaltende Schicht eine Dicke von 100 bis 500 nm auf. Sie besteht dabei vorzugsweise aus amorphem Siliciumcarbid oder enthält im Wesentlichen amorphes  
20 Siliciumcarbid.

Der Kohlenstoffgehalt der Siliciumcarbid-Schicht bzw. der im Wesentlichen aus Silicium und Kohlenstoff bestehenden Schicht liegt vorzugsweise im Bereich von 5 bis 95 At.-%. Bei einem Kohlenstoffgehalt der Siliciumcarbid-Schicht bzw. der im Wesentlichen aus Silicium und Kohlenstoff bestehenden Schicht von 5 At.-% beträgt der Brechungsindex dieser Schicht etwa 3,6,  
25 bei einem Kohlenstoffgehalt der Siliciumcarbid-Schicht von 95 At.-% bei etwa 1,6.  
30

Weiterhin ist es bevorzugt, dass die mindestens eine Siliciumcarbid enthaltende Schicht elektrisch leitfähig ist.  
35

In einer weiteren vorteilhaften Ausführungsform kann die mindestens eine Siliciumcarbid enthaltende Schicht dotiert sein. Als Dotierstoffe kommen hier beispielsweise Phosphor, Bor oder Stickstoff in Frage.

5

Die Halbleiterschicht weist vorzugsweise eine Dicke  $\geq 100 \mu\text{m}$  und  $< 700 \mu\text{m}$  auf.

10

Die Halbleiterschicht besteht dabei vorzugsweise aus Germanium oder  $\text{Si}_x\text{Ge}_{1-x}$  mit  $0 < x < 0,5$ .

15

Eine weitere bevorzugte Ausführungsform sieht vor, dass auf der der Halbleiterschicht abgewandten Seite der mindestens einen Siliciumcarbid enthaltenden Schicht zumindest bereichsweise eine dielektrische Schicht aufgebracht ist. Als dielektrische Materialien kommen hier z.B. Siliciumoxid, Siliciumnitrid, Magnesiumfluorid, Tantaloxid oder Mischungen hiervon in Frage.

20

Weiterhin kann auf der der Halbleiterschicht abgewandten Seite von der mindestens einen Siliciumcarbid enthaltenden Schicht oder von der dielektrischen Schicht zumindest bereichsweise eine elektrisch kontaktierende Schicht aufgebracht sein, die den elektrischen Kontakt zur Halbleiterschicht herstellt. Als kontaktierende Materialien kommen hier insbesondere Aluminium, Gold, Silber, Palladium, Titan, Nickel oder Legierungen hiervon in Frage. Die elektrisch kontaktierende Schicht steht dabei bereichsweise im unmittelbaren elektrischen Kontakt zu der Halbleiterschicht. Dies kann beispielsweise durch Lasergefeuerte oder photolithographisch definierte Punktkontakte realisiert werden. Ebenso ist es aber auch möglich, eine elektrisch leitfähige Siliciumcarbid-

35

Schicht zu verwenden, wodurch dann auf die beschriebenen Punktkontakte verzichtet werden kann.

Vorzugweise ist das Halbleiterbauelement eine Thermophotovoltaikzelle. In diesem Fall erfüllt die Siliciumcarbid enthaltende Schicht im wesentlichen drei Funktionen:

1. Reflexion von Wellenlängen zwischen 1600 bis 1850 nm, um die Absorption dieser Photonen in der Germanium Zelle zu erhöhen. Germanium hat eine Bandlückenenergie von 0,67 eV und absorbiert demnach Photonen mit einer Wellenlänge kleiner 1850 nm. Im Wellenlängenbereich zwischen 1600 bis 1850 nm ist Germanium ein indirekter Halbleiter mit einer geringen Absorption. Durch die Reflexion der Photonen in diesem Wellenlängenbereich zurück in die Germanium Zelle wird die Absorptionswahrscheinlichkeit erhöht.
2. Reflexion von Wellenlängen größer 1850 nm zurück zum Strahlungsemitter, um diese Photonen zu recyceln. Das langweilige Licht kann so dazu genutzt werden, den Emitter auf seiner hohen Temperatur zu halten. Anderenfalls würden diese Photonen im Rückseitenkontakt der Germanium-Zelle absorbiert werden und dort zu einer unerwünschten Erwärmung der Zelle beitragen.
3. Rückseitenpassivierung der Germanium-Zelle. Durch eine Siliciumcarbid-Schicht auf der Rückseite der Germanium Zellstruktur können Minoritätsträger an dieser Grenzschicht reflektiert werden. Die Oberflächenrekombination kann deutlich verbessert werden. Hierdurch lassen sich höhere Effizienzen für die Umwandlung der Strahlung in elektrische Energie erzielen.

Eine weitere bevorzugte Variante sieht vor, dass das Halbleiterbauelement eine III-V-Mehrfachsolarzelle auf Germaniumbasis ist.

5 Durch die erfindungsgemäße Siliciumcarbid enthaltende Schicht, die auf der Rückseite dieser Mehrfachsolarmzelle angeordnet ist, lässt sich das langwellige Sonnenlicht aus der Solarzelle herausreflektieren und es kann somit die Arbeitstemperatur der Solarzelle verringert werden. Weiter kann durch eine Reflexion von Wellenlängen zwischen 1600 bis 1850 nm zurück in die Germaniumzelle die Absorptionswahrscheinlichkeit dieser Photonen in der Germanium-Zelle erhöht werden.

10  
15 Weiterhin wurde festgestellt, dass sich die Siliciumcarbid enthaltende Schicht hervorragend zur Rückseitenpassivierung dieser Mehrfachsolarmzellen eignet. Dies bedeutet, dass eine Schicht aus Siliciumcarbid auf der Rückseite dieser Solarmzellen die Rekombinationsgeschwindigkeit für Minoritätsladungsträger verringert. Bei einem Ge-Wafer mit 500 µm Dicke und  $p = 2 \cdot 10^{15} \text{ cm}^{-3}$  erhöht sich die effektive Lebensdauer von 15 bis 20 µs ohne Passivierung auf 130 bis 200 µs nach der Abscheidung einer Siliciumcarbid-Schicht mit einer Dicke von 100 nm auf beiden Seiten des Substrats.

20  
25  
30 Erfindungsgemäß wird ebenso ein Verfahren zur Herstellung eines Halbleiterbauelements, wie es zuvor beschrieben wurde, bereitgestellt, bei dem ein Germanium-haltiger Wafer in eine Reaktionskammer eingebracht wird und mittels plasmaunterstützter chemischer Gasphasenabscheidung (PECVD), thermischer CVD (RTCVD) oder Sputtern mindestens eine Siliciumcarbid enthaltende Schicht abgeschieden wird.

35

Vorzugsweise erfolgt vor der Abscheidung eine Plasma-  
reinigung der Oberfläche des Substrats.

Als Prozessgase werden vorzugsweise Methan ( $\text{CH}_4$ ) und  
5 Silan ( $\text{SiH}_4$ ) verwendet. Über die Gasflüsse dieser  
beiden Prozessgase kann dabei die Stöchiometrie der  
Schichten und damit deren Funktion eingestellt wer-  
den.

10 Verwendung finden die beschriebenen Halbleiterbauele-  
mente sowohl als Thermovoltaikzellen als auch als  
III-V-Mehrfachsolarzellen.

Anhand der nachfolgenden Figuren soll der erfindungs-  
15 gemäße Gegenstand näher erläutert werden, ohne diesen  
auf die hier gezeigten speziellen Ausführungsformen  
einschränken zu wollen.

Fig. 1 zeigt anhand einer schematischen Darstel-  
20 lung den Aufbau einer Germanium-  
Thermophotovoltaikzelle,

Fig. 2 zeigt ein Reflexionsspektrum einer Germa-  
nium-Thermophotovoltaikzelle gemäß Fig.  
25 1,

Fig. 3 zeigt anhand einer schematischen Darstel-  
lung den Aufbau einer Dreifachsolarzelle  
gemäß dem Stand der Technik,

30 Fig. 4 zeigt den Einsatz eines erfindungsgemäßen  
Halbleiterbauelementes in Form einer Ger-  
manium-Thermophotovoltaikzelle in einem  
Thermophotovoltaiksystem,

35 Fig. 5 zeigt anhand einer schematischen Darstel-

lung eine Variante eines erfindungsgemä-  
ßen Halbleiterbauelements in Form einer  
Germanium-Thermophotovoltaikzelle,

5 Fig. 6 zeigt den schematischen Aufbau einer er-  
findungsgemäßen III-V-Mehrfachzellen-  
struktur.

10 In Fig. 4 soll schematisch die optische Funktion des  
erfindungsgemäßen Halbleiterbauelements verdeutlicht  
werden. Der Emitter 1 strahlt eine Schwarzkörper-  
strahlung 2 mit einer Temperatur von 1000 bis 1500 °C  
ab. Die Germanium-Thermophotovoltaikzelle 3 wandelt  
15 den Teil des Spektrums mit Wellenlängen bis 1850 nm  
in elektrischen Strom um. Das langwelligere Licht  
wird meist im Rückseitenkontakt 6 absorbiert und  
führt zu einer unerwünschten Erwärmung der Zelle. Da-  
her ist gemäß der vorliegenden Erfindung zwischen  
Photovoltaikzelle 3 und Rückseitenkontakt 6 eine Si-  
20 liciumcarbid enthaltende Schicht 5 als Rückseitenre-  
flektor enthalten. Dieser Rückseitenreflektor reflek-  
tiert Licht 4 mit einer Wellenlänge größer 1600 nm.

25 Fig. 5 zeigt im Detail den Aufbau einer erfindungsge-  
mäßigen Germanium-Thermophotovoltaikzelle. An der zum  
Licht gewandten Oberfläche ist ein Vorderseitenkon-  
takt 11 angeordnet, der durch Bereiche mit einer An-  
tireflexschicht 12 unterbrochen sein kann. Unterhalb  
dieser Schichten ist eine Fensterschicht bzw. Vorder-  
30 seitenpassivierung 13 angeordnet. Unter dieser wie-  
derum ist das Substrat bestehend aus einem Germanium-  
Emitter 14 und einer Germanium-Basis 15 angeordnet.  
Erfindungswesentlich ist die nun folgende Silicium-  
carbid enthaltende Schicht 16, die im vorliegenden  
35 Fall als Rückseitenpassivierung dient. Auf deren  
Rückseite ist ein Reflektor aus mehreren Schichten

mit unterschiedlichem Brechungsindex, der z.B. aus Siliciumcarbid-, Siliciumoxid- oder Siliciumnitrid-Schichten bestehen kann, angeordnet. An der Rückseite befindet sich schließlich eine Kontaktierung 18, die  
5 z.B. lasergefeuerte oder photolithographisch definierte Punktkontakte 19 aufweist. Im Falle einer leitfähigen Siliciumcarbid-Schicht kann auf diese Punktkontakte auch verzichtet werden.

10 Fig. 6 zeigt den Aufbau einer erfindungsgemäßen III-V-Mehrfachsolarzellenstruktur. Diese weist einen Vorderseitenkontakt 21 auf, der bereichsweise durch eine Antireflexschicht 22 unterbrochen ist. Auf der dem  
15 Licht abgewandten Seite schließt sich daran eine III-V-Mehrfachsolarzellenstruktur 23 an. Unter dieser ist eine Germanium-Teilzelle mit Germanium-Emitter 24 und Germanium-Basis 25 angeordnet. Auf deren Rückseite wiederum ist eine Siliciumcarbid enthaltende Schicht  
20 26 zur Rückseitenpassivierung angeordnet. Der aus mehreren Schichten mit unterschiedlichem Brechungsindex bestehende Reflektor 27 kann aus Siliciumcarbid, Siliciumoxid oder Siliciumnitrid bestehen. Auf der  
25 Rückseite ist schließlich noch eine Rückseitenkontaktierung 28 aus Aluminium angeordnet, die einen lasergefeuerten oder photolithographisch definierten Punktkontakt 29 aufweist.

## Patentansprüche

5

1. Halbleiterbauelement enthaltend mindestens eine mehr als 50 At-% Germanium enthaltende Halbleiterschicht (14, 15) mit einer dem einfallendem Licht zugewandten Vorderseite und einer Rückseite, wobei die Halbleiterschicht zumindest rückseitig und zumindest bereichsweise mindestens eine Siliciumcarbid enthaltende Schicht (16) aufweist.

10

15

2. Halbleiterbauelement nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die mindestens eine Siliciumcarbid enthaltende Schicht (16) eine Oberflächenpassivierungsschicht für die Halbleiterschicht ist.

20

3. Halbleiterbauelement nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die mindestens eine Siliciumcarbid enthaltende Schicht (16) ein Reflektor für Strahlung mit einer Wellenlänge größer 1600 nm ist.

25

4. Halbleiterbauelement nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die mindestens eine Siliciumcarbid enthaltende Schicht (16) einen Brechungsindex im Bereich von 1,6 bis 3,6 auf-

30

weist.

5. Halbleiterbauelement nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
5 dadurch gekennzeichnet, dass das Halbleiterbauelement mehrere Siliciumcarbid enthaltende Schichten (16) mit unterschiedlichen Brechungsindizes aufweist.
- 10 6. Halbleiterbauelement nach dem vorhergehenden Anspruch,  
dadurch gekennzeichnet, dass die Siliciumcarbid enthaltenden Schichten (16) als Bragg-Reflektor fungieren.
- 15 7. Halbleiterbauelement nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
dadurch gekennzeichnet, dass die mindestens eine Siliciumcarbid enthaltende Schicht (16) eine Dicke von 100 bis 500 nm aufweist.
- 20 8. Halbleiterbauelement nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
dadurch gekennzeichnet, dass die mindestens eine Siliciumcarbid enthaltende Schicht (16) aus amorphem Siliciumcarbid besteht oder dieses im wesentlichen enthält.
- 25 9. Halbleiterbauelement nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
30 dadurch gekennzeichnet, dass die mindestens eine Siliciumcarbid enthaltende Schicht (16) elekt-

risch leitfähig ist.

10. Halbleiterbauelement nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
5 dadurch gekennzeichnet, dass die mindestens eine Siliciumcarbid enthaltende Schicht (16) mit Phosphor, Bor und/oder Stickstoff dotiert ist.
11. Halbleiterbauelement nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
10 dadurch gekennzeichnet, dass das Halbleiterbauelement eine Reflektivität für Strahlung im Wellenlängenbereich von 1800 bis 4000 nm von mehr als 60 %, insbesondere von mehr als 80 % aufweist.  
15
12. Halbleiterbauelement nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
20 dadurch gekennzeichnet, dass die Halbleiterschicht (14, 15) eine Dicke größer oder gleich 100  $\mu\text{m}$  und kleiner 700  $\mu\text{m}$  aufweist.
13. Halbleiterbauelement nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
25 dadurch gekennzeichnet, dass die Halbleiterschicht (14, 15) mindestens 90 At-% Germanium enthält.
14. Halbleiterbauelement nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
30 dadurch gekennzeichnet, dass die Halbleiterschicht (14, 15) aus  $\text{Si}_x\text{Ge}_{1-x}$  mit  $0 < x < 0,5$

besteht.

15. Halbleiterbauelement nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
5 dadurch gekennzeichnet, dass die mindestens eine Siliciumcarbid enthaltende Schicht (16) flächig auf der Halbleiterschicht (14, 15) angeordnet ist.
- 10 16. Halbleiterbauelement nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
dadurch gekennzeichnet, dass auf der der Halbleiterschicht (14, 15) abgewandten Seite der  
15 mindestens einen Siliciumcarbid enthaltenden Schicht (16) zumindest bereichsweise eine dielektrische Schicht aufgebracht ist.
17. Halbleiterbauelement nach dem vorhergehenden Anspruch,  
20 dadurch gekennzeichnet, dass die dielektrische Schicht aus Siliciumoxid, Siliciumnitrid, Magnesiumfluorid, Tantaloxid oder Mischungen hiervon besteht oder diese im Wesentlichen enthält.
- 25 18. Halbleiterbauelement nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
dadurch gekennzeichnet, dass auf der der Halbleiterschicht abgewandten Seite der mindestens  
30 einen Siliciumcarbid enthaltenden Schicht oder der dielektrischen Schicht zumindest bereichsweise eine elektrisch kontaktierende Schicht (18) aufgebracht ist, die den elektrischen Kon-

takt zur Halbleiterschicht herstellt.

19. Halbleiterbauelement nach dem vorhergehenden Anspruch,  
5 dadurch gekennzeichnet, dass die elektrisch kontaktierende Schicht (18) aus Aluminium, Gold, Silber, Palladium, Titan, Nickel oder Legierungen hiervon besteht oder im wesentlichen enthält.  
10
20. Halbleiterbauelement nach einem der beiden vorhergehenden Ansprüche,  
dadurch gekennzeichnet, dass die elektrisch kontaktierende Schicht (18) bereichsweise in unmittelbarem elektrischen Kontakt mit der Halbleiterschicht steht.  
15
21. Halbleiterbauelement nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
20 dadurch gekennzeichnet, dass das Halbleiterbauelement eine Thermophotovoltaikzelle ist.
22. Halbleiterbauelement nach dem vorhergehenden Anspruch,  
25 dadurch gekennzeichnet, dass die Siliciumcarbid enthaltende Schicht (16) auf der Licht abgewandten Seite der Photovoltaikzelle angeordnet ist.
23. Halbleiterbauelement nach dem vorhergehenden Anspruch,  
30 dadurch gekennzeichnet, dass das Halbleiterbauelement eine Thermophotovoltaikzelle zur Umwandlung der Strahlung eines thermischen Emitters

mit einer Temperatur von 800 bis 2000 °C in elektrischen Strom ist.

- 5           24. Halbleiterbauelement nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
dadurch gekennzeichnet, dass das Halbleiterbauelement eine III-V-Mehrfachsolarzelle ist.
- 10           25. Verfahren zur Herstellung eines Halbleiterbauelementes nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem ein Germanium enthaltendes Substrat in eine Reaktionskammer eingebracht wird und mittels plasmaunterstützter chemischer Gasphasenabscheidung (PECVD), thermischer CVD (RTCVD)  
15           oder Sputtern mindestens eine Siliciumcarbid enthaltende Schicht abgeschieden wird.
- 20           26. Verfahren nach Anspruch 25,  
dadurch gekennzeichnet, dass vor der Abscheidung eine Plasmareinigung der Oberfläche des Substrats erfolgt.
- 25           27. Verfahren nach einem der Ansprüche 25 oder 26,  
dadurch gekennzeichnet, dass als Prozessgase Methan ( $\text{CH}_4$ ) und Silan ( $\text{SiH}_4$ ) verwendet werden.
- 30           28. Verfahren nach einem der Ansprüche 25 bis 27,  
dadurch gekennzeichnet, dass über die Gasflüsse der Prozessgase  $\text{CH}_4$  und  $\text{SiH}_4$  die Stöchiometrie der Schichten und damit deren Funktion eingestellt wird.

29. Verwendung des Halbleiterbauelementes nach einem der Ansprüche 1 bis 24 als Thermophotovoltaikzelle.
- 5 30. Verwendung des Halbleiterbauelementes nach einem der Ansprüche 1 bis 24 als III-V-Mehrfachsolarzelle.

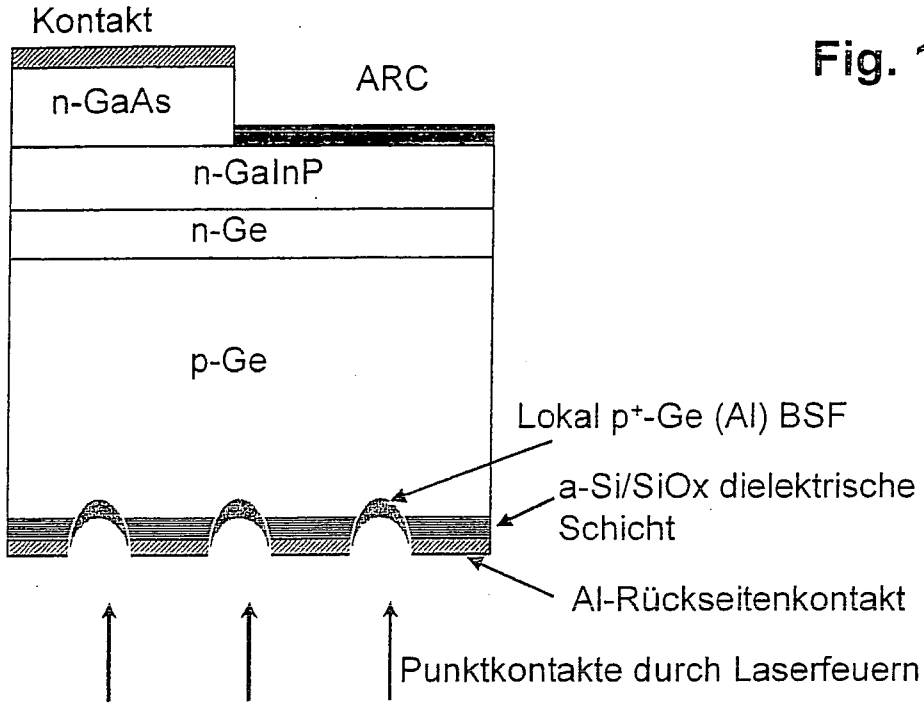


Fig. 1

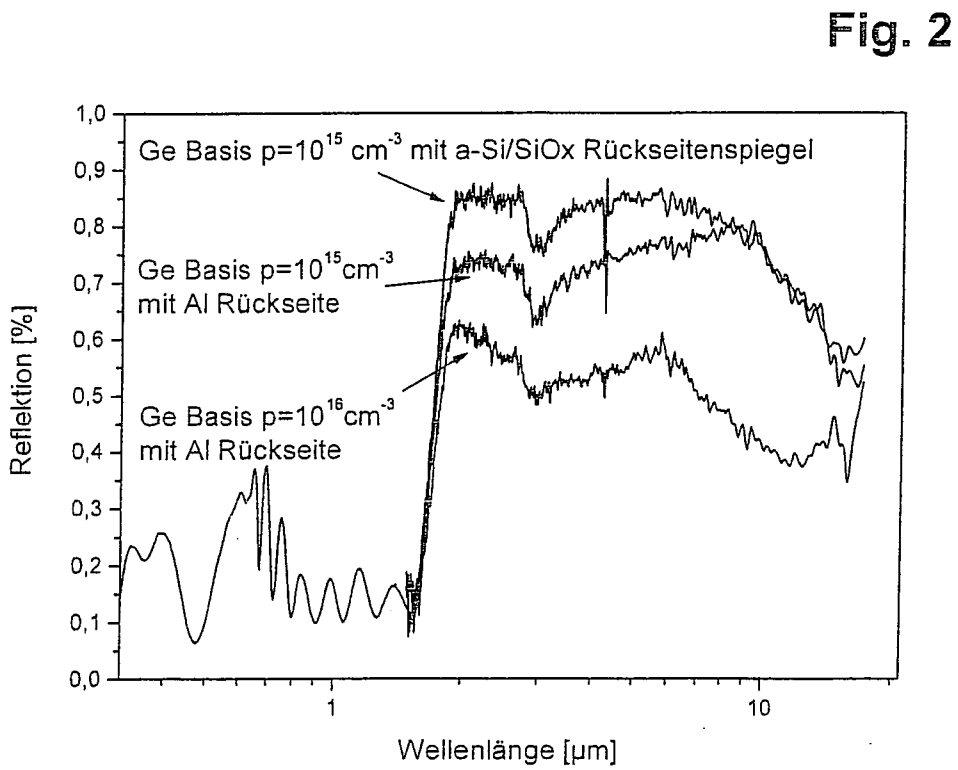


Fig. 2

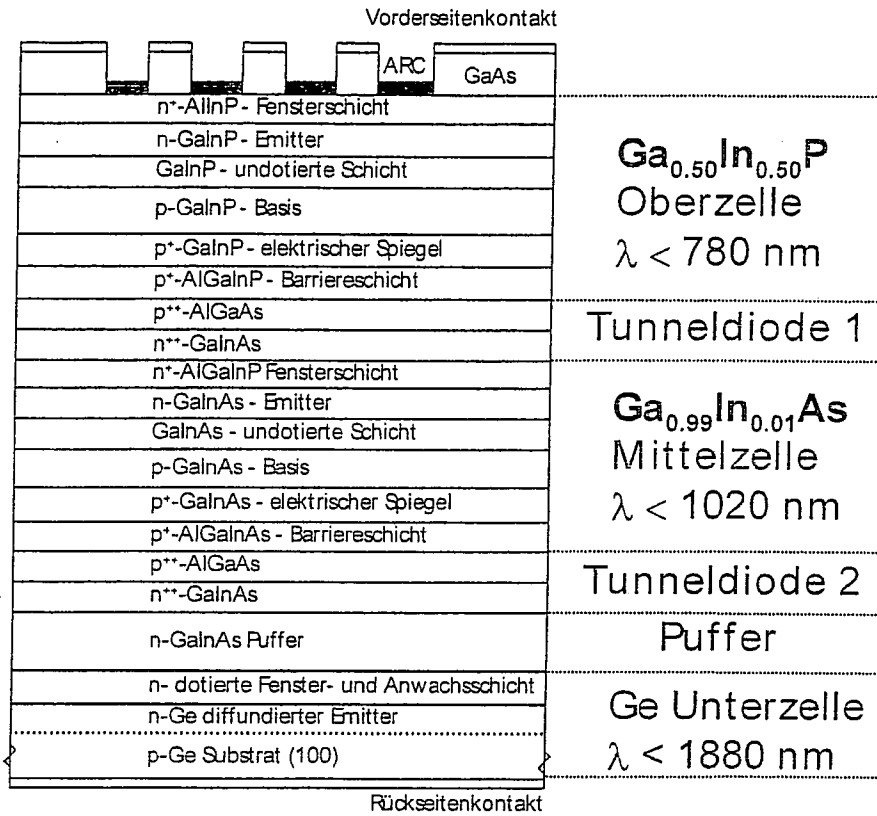


Fig. 3

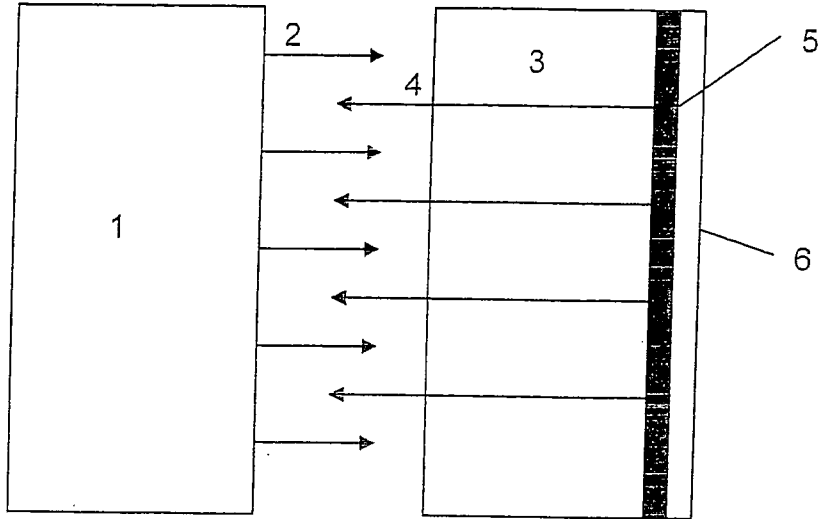


Fig. 4

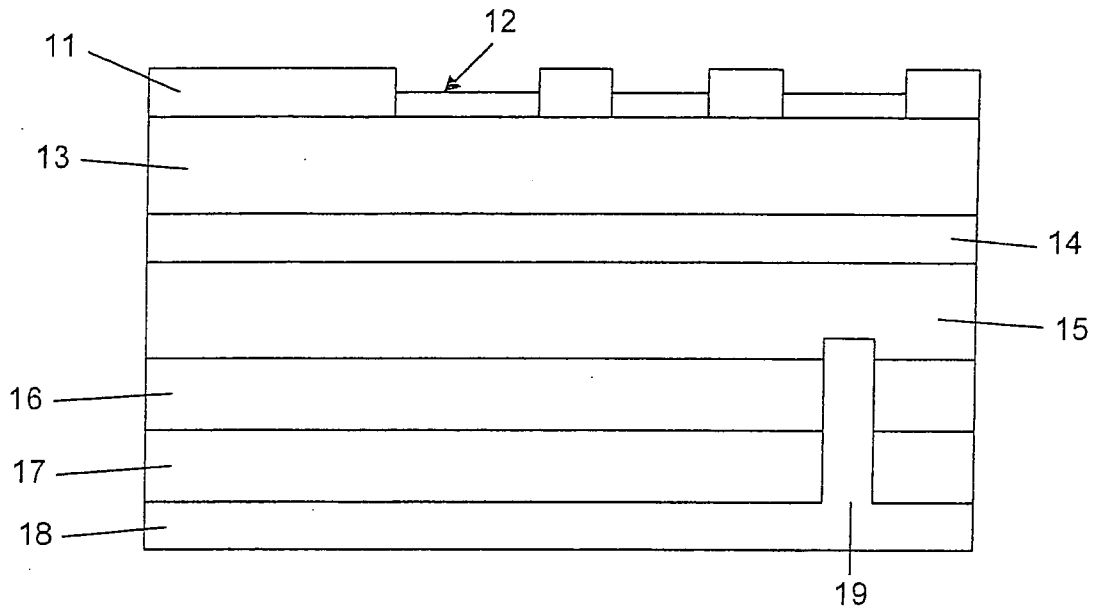


Fig. 5

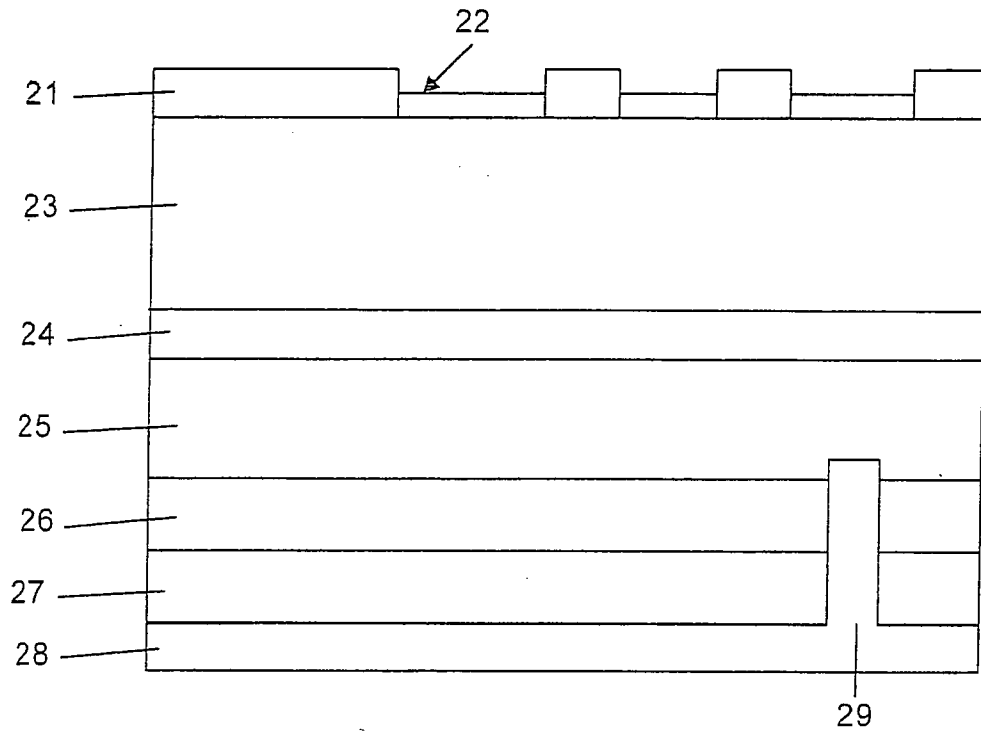


Fig. 6

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

International application No  
PCT/EP2008/003876

**A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**  
INV. C23C16/32 H01L21/314 H01L31/0216 H01L31/052

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

**B. FIELDS SEARCHED**

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)  
H01L

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data

**C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT**

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 4 495 262 A (MATSUZAKI MASATOSHI [JP] ET AL) 22 January 1985 (1985-01-22) abstract; figures 1-3 column 2, line 46 - column 6, line 5	1,2,4,7,8,14,15
Y	FERNANDEZ J ET AL: "Back-surface optimization of germanium TPV cells" WORLD CONFERENCE ON THERMOPHOTOVOLTAIC GENERATION OF ELECTRICITY, XX, XX, vol. 890, no. 1, 25 September 2006 (2006-09-25), pages 190-197, XP002457494 cited in the application the whole document	1-4,7,8,11-13,15-22,25,29
	-/--	

Further documents are listed in the continuation of Box C.

See patent family annex.

\* Special categories of cited documents :

- \*A\* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- \*E\* earlier document but published on or after the international filing date
- \*L\* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- \*O\* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- \*P\* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- \*T\* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- \*X\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- \*Y\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- \*&\* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

25 Juni 2008

Date of mailing of the international search report

03/07/2008

Name and mailing address of the ISA/

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Favre, Pierre

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No  
PCT/EP2008/003876

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	<p>VORONKIN M A ET AL: "Application of ion-plasma-sputtered silicon carbide films as antireflection coatings for germanium optics in the IR spectrum"            JOURNAL OF SUPERHARD MATERIALS, ALLERTON PRESS, NEW YORK, NY, US,            vol. 21, no. 5,            1 January 1999 (1999-01-01), pages 41-46,            XP008085504            ISSN: 1063-4576            the whole document</p> <p style="text-align: center;">-----</p>	<p>1-4,7,8,            11-13,            15-22,            25,29</p>
A	<p>JANZ S ET AL: "Amorphous SiC: Application for Silicon Solar Cells"            PROCEEDINGS OF THE EUROPEAN PHOTOVOLTAIC SOLAR ENERGY CONFERENCE, XX, XX,            4 September 2006 (2006-09-04), pages 660-663, XP002457495            paragraph [0001]            paragraph [01.1]            paragraph [02.3]            paragraph [02.4]            paragraph [03.1]            paragraph [03.2]            figures 1,3; tables 2-5</p> <p style="text-align: center;">-----</p>	<p>2-4,            7-11,            16-22,            25-28</p>

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2008/003876

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 4495262 A	22-01-1985	DE 3316649 A1 JP 58192044 A	10-11-1983 09-11-1983

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2008/003876

**A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES**

INV. C23C16/32 H01L21/314 H01L31/0216 H01L31/052

Nach der internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC

**B. RECHERCHIERTE GEBIETE**

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)

H01L

Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal, WPI Data

**C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN**

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	US 4 495 262 A (MATSUZAKI MASATOSHI [JP] ET AL) 22. Januar 1985 (1985-01-22) Zusammenfassung; Abbildungen 1-3 Spalte 2, Zeile 46 - Spalte 6, Zeile 5	1,2,4,7, 8,14,15
Y	FERNANDEZ J ET AL: "Back-surface optimization of germanium TPV cells" WORLD CONFERENCE ON THERMOPHOTOVOLTAIC GENERATION OF ELECTRICITY, XX, XX, Bd. 890, Nr. 1, 25. September 2006 (2006-09-25), Seiten 190-197, XP002457494 in der Anmeldung erwähnt das ganze Dokument	1-4,7,8, 11-13, 15-22, 25,29
	----- -/--	

Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen  Siehe Anhang Patentfamilie

\* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

\*A\* Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

\*E\* älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

\*L\* Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

\*O\* Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

\*P\* Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

\*T\* Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

\*X\* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

\*Y\* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann nahelegend ist

\*G\* Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

25. Juni 2008

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

03/07/2008

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde

Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Favre, Pierre

## C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
Y	<p>VORONKIN M A ET AL: "Application of ion-plasma-sputtered silicon carbide films as antireflection coatings for germanium optics in the IR spectrum"            JOURNAL OF SUPERHARD MATERIALS, ALLERTON PRESS, NEW YORK, NY, US,            Bd. 21, Nr. 5,            1. Januar 1999 (1999-01-01), Seiten 41-46,            XP008085504            ISSN: 1063-4576            das ganze Dokument</p>	<p>1-4,7,8,            11-13,            15-22,            25,29</p>
A	<p>JANZ S ET AL: "Amorphous SiC: Application for Silicon Solar Cells"            PROCEEDINGS OF THE EUROPEAN PHOTOVOLTAIC SOLAR ENERGY CONFERENCE, XX, XX,            4. September 2006 (2006-09-04), Seiten 660-663, XP002457495            Absatz [0001]            Absatz [01.1]            Absatz [02.3]            Absatz [02.4]            Absatz [03.1]            Absatz [03.2]            Abbildungen 1,3; Tabellen 2-5</p>	<p>2-4,            7-11,            16-22,            25-28</p>

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2008/003876

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 4495262      A	22-01-1985	DE      3316649 A1 JP      58192044 A	10-11-1983 09-11-1983
-----			