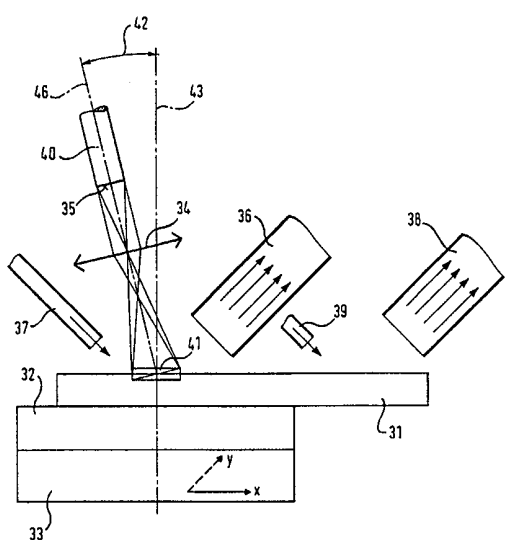


(51) Internationale Patentklassifikation ⁷ : H01L 27/142, 31/048, B23K 26/00, 26/06		A1	(11) Internationale Veröffentlichungsnummer: WO 00/60668									
		(43) Internationales Veröffentlichungsdatum:	12. Oktober 2000 (12.10.00)									
<p>(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP00/03132</p> <p>(22) Internationales Anmeldedatum: 7. April 2000 (07.04.00)</p> <p>(30) Prioritätsdaten:</p> <table border="0"> <tr> <td>199 15 640.9</td> <td>7. April 1999 (07.04.99)</td> <td>DE</td> </tr> <tr> <td>199 27 529.7</td> <td>16. Juni 1999 (16.06.99)</td> <td>DE</td> </tr> <tr> <td>199 33 703.9</td> <td>19. Juli 1999 (19.07.99)</td> <td>DE</td> </tr> </table> <p>(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten ausser US): SIEMENS SOLAR GMBH [DE/DE]; Frankfurter Ring 152, D-80807 München (DE).</p> <p>(72) Erfinder; und</p> <p>(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): VOGT, Helmut [DE/DE]; Knorrstrasse 83b, D-80807 München (DE). KARG, Franz [DE/DE]; Junkerstrasse 20, D-80689 München (DE).</p> <p>(74) Anwälte: ZANGS, Rainer, E. usw.; Hoffmann . Eitle, Arabellastrasse 4, D-81925 München (DE).</p>		199 15 640.9	7. April 1999 (07.04.99)	DE	199 27 529.7	16. Juni 1999 (16.06.99)	DE	199 33 703.9	19. Juli 1999 (19.07.99)	DE	<p>(81) Bestimmungsstaaten: AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, CA, CH, CN, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, NO, NZ, PL, PT, RO, RU, SD, SE, SG, SI, SK, SL, TJ, TM, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VN, YU, ZA, ZW, ARIPO Patent (GH, GM, KE, LS, MW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZW), eurasisches Patent (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches Patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE), OAPI Patent (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).</p> <p>Veröffentlicht <i>Mit internationalem Recherchenbericht. Vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche zugelassenen Frist; Veröffentlichung wird wiederholt falls Änderungen eintreffen.</i></p>	
199 15 640.9	7. April 1999 (07.04.99)	DE										
199 27 529.7	16. Juni 1999 (16.06.99)	DE										
199 33 703.9	19. Juli 1999 (19.07.99)	DE										
(54) Title: DEVICE AND METHOD FOR REMOVING THIN LAYERS ON A SUPPORT MATERIAL												
(54) Bezeichnung: VORRICHTUNG UND VERFAHREN ZUM ABTRAGEN VON DÜNNEN SCHICHTEN AUF EINEM TRÄGERMATERIAL												
(57) Abstract												
<p>The invention relates to a device and a method for removing thin layers on a support material, especially for removing barrier layers of a thin-layer solar cell. The aim of the invention is to provide an economical means of removing strips of up to a few millimetres in width without damaging the substrate of the thin-layer solar cell underlying the layer to be removed. To this end, a laser treatment device with a laser resonator and an optical system is provided. The optical system projects the treatment beam produced by the layer resonator over an area of 1 mm² to 1 cm² on the surface to be treated with an essentially homogenous distribution of power. Thin layers can be effectively removed from the substrate at pulse width of less than 100 ns and with a pulse energy density of 0.1 J/cm² to 10 J/cm².</p>												
<p>(57) Zusammenfassung</p> <p>Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung und ein Verfahren zum Abtragen von dünnen Schichten auf einem Trägermaterial, insbesondere zum Abtragen von Randschichten einer Dünnschicht-Solarzelle. Um eine kostengünstige Abtragung von Streifen bis zu einigen Millimetern Breite ohne Beschädigung des unter der abzutragenden Schicht liegenden Substrats einer Dünnschicht-Solarzelle zu ermöglichen, ist eine Laserbearbeitungsvorrichtung mit einem Laserresonator und einem Optischen System vorgesehen, das den durch den Laserresonator erzeugten Bearbeitungsstrahl auf der zu bearbeitenden Oberfläche über eine Fläche im Bereich von 1 mm² bis zu 1 cm² mit einer im Wesentlichen homogenen Leistungsverteilung abbildet. Bei Impulsdauern kleiner 100 ns und einer Impulsenergiedichte im Bereich von 0,1 J/cm² bis 10 J/cm² kann das Substrat wirkungsvoll von den Dünnschichten befreit werden.</p>												

LEDIGLICH ZUR INFORMATION

Codes zur Identifizierung von PCT-Vertragsstaaten auf den Kopfbögen der Schriften, die internationale Anmeldungen gemäss dem PCT veröffentlichen.

AL	Albanien	ES	Spanien	LS	Lesotho	SI	Slowenien
AM	Armenien	FI	Finnland	LT	Litauen	SK	Slowakei
AT	Österreich	FR	Frankreich	LU	Luxemburg	SN	Senegal
AU	Australien	GA	Gabun	LV	Lettland	SZ	Swasiland
AZ	Aserbaidshan	GB	Vereinigtes Königreich	MC	Monaco	TD	Tschad
BA	Bosnien-Herzegowina	GE	Georgien	MD	Republik Moldau	TG	Togo
BB	Barbados	GH	Ghana	MG	Madagaskar	TJ	Tadschikistan
BE	Belgien	GN	Guinea	MK	Die ehemalige jugoslawische Republik Mazedonien	TM	Turkmenistan
BF	Burkina Faso	GR	Griechenland			TR	Türkei
BG	Bulgarien	HU	Ungarn	ML	Mali	TT	Trinidad und Tobago
BJ	Benin	IE	Irland	MN	Mongolei	UA	Ukraine
BR	Brasilien	IL	Israel	MR	Mauretanien	UG	Uganda
BY	Belarus	IS	Island	MW	Malawi	US	Vereinigte Staaten von Amerika
CA	Kanada	IT	Italien	MX	Mexiko		
CF	Zentralafrikanische Republik	JP	Japan	NE	Niger	UZ	Usbekistan
CG	Kongo	KE	Kenia	NL	Niederlande	VN	Vietnam
CH	Schweiz	KG	Kirgisistan	NO	Norwegen	YU	Jugoslawien
CI	Côte d'Ivoire	KP	Demokratische Volksrepublik Korea	NZ	Neuseeland	ZW	Zimbabwe
CM	Kamerun			PL	Polen		
CN	China	KR	Republik Korea	PT	Portugal		
CU	Kuba	KZ	Kasachstan	RO	Rumänien		
CZ	Tschechische Republik	LC	St. Lucia	RU	Russische Föderation		
DE	Deutschland	LI	Liechtenstein	SD	Sudan		
DK	Dänemark	LK	Sri Lanka	SE	Schweden		
EE	Estland	LR	Liberia	SG	Singapur		

Vorrichtung und Verfahren zum Abtragen von dünnen Schichten
auf einem Trägermaterial

5

Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung und ein Verfahren zum Abtragen von dünnen Schichten auf einem Trägermaterial.

Beispielsweise kann es sich hier um die Entschichtung von beschichteten Keramiken oder Gläsern handeln. Insbesondere ist die Erfindung auf das Abtragen von Randschichten einer Dünnschichtsolarzelle gerichtet. Darüber hinaus betrifft die Erfindung ein Verfahren zum Verkapseln eines Dünnschicht-Solarmoduls bestehend aus einem mit Dünnschichten beschichteten Substrat.

15

Herkömmliche Solarmodule aus kristallinem Silizium basieren auf einer Waferherstellung und einer nachfolgenden elektrischen Verdrahtung. Hieraus entstehen relative kleine Leistungseinheiten von ca. 1 W Silizium-Wafern, die dann in der Regel zu 50 - 100 W Modulen verschaltet werden müssen.

20

Als Alternative zu diesen herkömmlichen Solarmodulen sind Dünnsfilmsolarzellen bekannt geworden, die auf Schichtdicken im Mikrometerbereich basieren. Die wesentlichen Elemente einer Dünnsfilmsolarzelle sind in Fig. 2 gezeigt und bestehen aus einem p/n-Übergang zwischen der Absorberschicht und der Fensterschicht.

25

Im Unterschied zur herkömmlichen Verdrahtung von Silizium-Wafern können Dünnsfilmzellen integriert verschaltet werden: im Anschluss an einzelne Beschichtungsschritte auf der Gesamtfläche werden a) die Rückelektrode b) die dazwischen liegende Zelle und c) die Frontelektrode in Längsstreifen unterteilt. Werden die drei Schnitte relativ zueinander

30

seitlich versetzt, bildet sich eine elektrische Verbindung zwischen Front- und Rückelektrode benachbarter Zellen. Für die einzelnen Schnitte können mechanische Ritzverfahren oder Verfahren mit Lasern angewendet werden. Auf diese Weise kann
5 kostengünstig ein Standard-Solarmodul für 12 V - Anwendungen hergestellt werden, das beispielsweise eine Ausdehnung von ca. 0,5 x 0,5 m² aufweist.

Die Lebensdauer eines derartigen Solarmoduls wird maßgeblich
10 dadurch beeinflusst, wie gut die Dünnschichten vor Witterungs- und anderen Umwelteinflüssen geschützt sind. Um eine möglichst lange Lebensdauer von 30 Jahren und mehr zu erreichen, müssen die Dünnschichten den extremen Einwirkungen von Sonnenstrahlen, Feuchtigkeit und Luftschadstoffen
15 dauerhaft standhalten. Die Anforderungen hinsichtlich Feuchtestabilität und Spannungsfestigkeit können daher nur erfüllt werden, wenn eine ausreichende Verkapselung der Dünnschicht-Solarzelle sowie eine ausreichende elektrische Isolation der stromführenden Komponenten gewährleistet ist.
20 Hierzu werden die stromführenden Komponenten einer Dünnschicht-Solarzelle mit einem Laminat eingekapselt. Die Einkapselung wird dadurch erreicht, dass nach Beschichtung des Substrats mit den stromführenden Schichten der Randbereich des Substrats wieder entschichtet und eine
25 Laminatschicht sodann über die gesamte Schicht aufgebracht wird. Hierdurch erreicht man im Randbereich eine korrosionsbeständige Verklebung von Laminatschicht und Substrat. Somit sind die inneren Bereiche zuverlässig gegen eine Feuchtedegradation geschützt.

30

Fig. 1 zeigt zur Verdeutlichung eine schematische Darstellung eines Schnitts durch eine verkapselte Solarzelle. Auf dem Substrat 4 sind demnach strukturierte Schichten 3 aufgebracht, die in den Randbereichen 5 entschichtet und

durch eine Laminatschicht 2 eingekapselt sind. Über der Laminatschicht 2 ist wiederum eine Schicht aus Fensterglas 1 aufgebracht.

5 Ein Problem bei einer derartigen Einkapselung einer Dünnschicht-Solarzelle ist die Entschichtung der Dünnschichten im Randbereich. Die herkömmlichen Entschichtungsverfahren, wie etwa die Sandstrahlbearbeitung oder die Entschichtung mit einer Schleifscheibe, führen
10 unvermeidlich auch zu einer Beschädigung des Substratrandes und zur Bildung von Mikrorissen in diesem Bereich. Aufgrund der großen Temperaturunterschiede in einem sich in Betrieb befindlichen Dünnschicht-Modul und den daraus entstehenden Zugspannungen erhöht sich die Bruchgefahr, so dass
15 Rissbildungen im Randbereich schließlich zu einer Beschädigung einer Solarzelle führen können. Die Randentschichtung muss also in dem üblicherweise einige Millimeter bis Zentimeter breiten Randbereich besonders schonend erfolgen.

20 Zur Bearbeitung von Solarzellen sind grundsätzlich chemische Abtragungsverfahren bekannt, die allerdings den Nachteil langer Prozesszeiten haben und aufwendige Prozessschritte nach sich ziehen.

25 Die Entfernung der beschriebenen Randbereiche erfolgt daher bislang weiter durch mechanische Verfahren wie Schleifen oder Sandstrahlen, da mit diesen Verfahren eine genaue Dosierung des Materialabtrages möglich ist. Neben der bereits
30 unerwünschten Beschädigung des Substratrandes und der Bildung von Mikrorissen haben diese Verfahren außerdem den Nachteil, daß im Nachgang in der Regel eine chemische Reinigung des Werkstücks im Ultraschallbad erforderlich ist, da durch die

Aufwirbelung der abgetragenen Schichten das Modul in unerwünschter Weise verschmutzt wird.

Es ist weiterhin bekannt, die oben beschriebenen Schritte zur integrierten Verschaltung eines Dünnschicht-Solarmoduls durch einen Laserstrahl herzustellen, um die sich hierdurch bildenden einzelnen Streifen dann seriell untereinander zu verschalten.

Beispielsweise ist aus US 4,734,550 ein Verfahren zur Bearbeitung von dünnen Schichten mit einem Laser bekannt. Als besondere Anwendung wird die Bearbeitung von mit der Dünnschichttechnik erzeugten photoelektrischen Schichten genannt. Das Bearbeitungsverfahren setzt sich zum Ziel, eine möglichst genaue Kerbe in die dünnen Schichten einzubringen. Hierzu wird der Bearbeitungsstrahl auf die Oberfläche des jeweiligen Werkstücks derart aufgebracht, dass die momentan gerade beaufschlagte Leistungsverteilung möglichst homogen bleibt. Dies wird durch einen rechteckig fokussierten Strahl mit flacher Intensitätsverteilung erreicht, wobei die Strahlführung zusätzlich derart gesteuert ist, dass die Überlappungsbereiche des rechteckig fokussierten Strahls in Bewegungsrichtung eine möglichst gleichmäßige Intensitätsverteilung ergeben. Mit diesem Verfahren sollen präzise und gleichmäßig tiefe Einkerbungen zur Serienverschaltung von Solarzellen hergestellt werden können.

Sämtliche Verfahren zur Serienverschaltung von Solarzellen haben eine möglichst geringe Spurbreite zum Ziel, um die elektrische Leistung des Solarmoduls möglichst wenig zu beeinträchtigen. In der US 4,734,550 sind beispielsweise Spurbreiten im Bereich von 50 μm erwähnt.

In Ergänzung dazu sind in Nakano, S., et al., "Laser Patterning Method for Integrated Type a-Si Solar Cell Submodules", In: Jap. J. of Appl. Phys. Vol. 25, No. 12, 1986, Seite 1936-1943, optimale Leistungsdichten angegeben, um Solarmodulen zur Serienverschaltung mit Laserstrahlen zu bearbeiten. Als geeignete Leistungsdichten werden hier Leistungsdichten im Bereich von $1 \cdot 10^6$ W/cm² bei einer Spurbreite von 50 µm genannt.

Da die Entschichtungsverfahren zur Serienverschaltung wie bereits erwähnt eine möglichst geringe Spurbreite zum Ziel haben, sind diese zur Randentschichtung von Solarmodulen ungeeignet, da für diese Anwendung Randstreifen im Bereich von einigen Millimetern entschichtet werden müssen. Deshalb werden zur Randentschichtung nach wie vor die oben erwähnten mechanischen Verfahren mit den ebenfalls erwähnten Nachteilen eingesetzt.

Aufgabe der Erfindung ist es daher, eine Vorrichtung und ein Verfahren zum Abtragen von Schichten an einer Solarzelle bereitzustellen, um eine kostengünstige Abtragung von Streifen bis zu einigen Millimetern Breite ohne Beschädigung des unter der abzutragenden Schicht liegenden Substrats zu ermöglichen.

Diese Aufgabe wird durch eine Vorrichtung mit den Merkmalen 1 bis 11 und ein Verfahren mit den Merkmalen 12 bis 22 gelöst.

Außerdem lässt sich die erfindungsgemäße Vorrichtung vorteilhafterweise für ein Verfahren zum Verkapseln eines Dünnschicht-Solarmoduls gemäß dem Patentanspruch 23 verwenden.

Die Erfindung beruht auf der Erkenntnis, dass im Gegensatz zu bisher bekannten Anwendungen ein Laserabtragsverfahren überraschenderweise auch für Abtragungsbreiten im Millimeterbereich verwendet werden kann. Gegenüber den

5 Verfahren zur Serienverschaltung von Solarmodulen wird die Bearbeitungsfläche des Laserstrahls über ein geeignetes optisches System in einem Bereich von ca. 1 mm^2 bis zu 1 cm^2 (also um einige Größenordnungen mehr) ausgeweitet. Überraschenderweise hat sich dabei gezeigt, dass selbst bei

10 einer derartig großen Ausweitung des Bearbeitungsstrahls noch eine zuverlässige Entschichtung von dünnen Schichten auf einem Trägermaterial möglich ist, wenn Lichtimpulse des Bearbeitungsstrahls mit Impulsdauern kleiner 100 ns und einer Impulsenergiedichte im Bereich von $0,1 \text{ J/cm}^2$ bis 10 J/cm^2

15 erzeugt werden. Vermutlich wurde bisher angenommen, dass bei einer derartigen Ausweitung des Bearbeitungsstrahls die ausgesendete Energie nicht mehr ausreichend absorbiert werden kann. Der Abtragsprozess ist nämlich auch bei den verwendeten Spurbreiten für die Serienverschaltung nicht

20 vollständig geklärt. Vermutlich erzeugen die Lichtimpulse in den obersten Mikrometern der Dünnschicht ein Plasma, dessen Ausdehnung eine Stosswelle nach sich zieht. Der erhitzte Werkstoff steht somit unter einem hohen Innendruck, so dass die Plasmaartikel aus dem bestrahlten Bereich

25 herausgeschleudert werden. Hierbei konnte nicht erwartet werden, dass bei einer Ausweitung des Bearbeitungsstrahls um mehrere Größenordnungen sich ähnlich gute Effekte noch erzielen lassen, wenn die übrigen Randparameter in geeigneten Bereichen ausgewählt werden. Entscheidend ist darüber hinaus,

30 dass der Bearbeitungsstrahl mit einer im wesentlichen homogenen Leistungsverteilung abgebildet wird. Üblicherweise kann bei dem Bearbeitungsstrahl eine gaußförmige Leistungsverteilung angenommen werden, allerdings lehrt die Erfindung, dass das optische System derart ausgebildet sein

muss, dass sich in weiten Bereichen über die Bearbeitungsfläche eine homogene Leistungsverteilung ergibt. Ansonsten konnten bei der erfindungsgemäßen Ausweitung des Bearbeitungsstrahls keine zufriedenstellenden

5 Abtragungsergebnisse erzielt werden.

Um die erfindungsgemäßen Abtragungsergebnisse zu erzielen, besteht eine weitere Erkenntnis der Erfindung schließlich darin, dass der Bearbeitungsstrahl gegenüber dem Werkstück

10 derart bewegt wird, dass jede abzutragende Flächeneinheit des Werkstücks mit einer im wesentlichen konstanten Energiemenge beaufschlagt wird.

Mit der erfindungsgemäßen Vorrichtung ist es insbesondere

15 möglich, ein Dünnschicht-Solarmodul bestehend aus einem mit Dünnschichten beschichteten Substrat auf wirtschaftliche Weise zu verkapseln. Das Substrat ist hierbei also zunächst ganzflächig mit Dünnschichten im Bereich von einigen μm beschichtet. Mit der erfindungsgemäßen Vorrichtung kann

20 sodann in einem ersten Schritt das Substrat in den Randbereichen wirkungsvoll entschichtet werden. Die erste Stellvorrichtung kann dabei derart angesteuert werden, dass der Bearbeitungsstrahl auf dem Trägermaterial in einer Hin- und Herbewegung parallele, sich leicht überdeckende

25 Schichtstreifen abträgt. In der Regel wird nämlich die Querschnittsbreite des Bearbeitungsstrahls immer noch geringer sein als die Breite des tatsächlich abzutragenden Bereichs, so dass durch eine derartige Ansteuerung der ersten Stellvorrichtung auf effektive Weise auch Randschichten mit

30 einigen Zentimetern Breite abgetragen werden können. Neben einer Hin- und Herbewegung des Bearbeitungsstrahls bietet sich auch eine quasi-rotierende Bewegung an, durch die parallele, sich leicht überdeckende Schichtstreifen abgetragen werden. Bei einem rechteckigen oder quadratischen

Dünnschicht-Solarmodul ist es beispielsweise denkbar, dass der Bearbeitungsstrahl in einem Umlauf jeweils einen Schichtstreifen im Bereich der Querschnittsbreite des Bearbeitungsstrahls abträgt. Auf diese Weise ist eine

5 Entschichtung größerer Bereiche möglich, ohne dass die erste Stellvorrichtung abrupte Geschwindigkeitsänderungen durchführen muss.

Soweit das Substrat bei Dünnschicht-Solarzellen aus einem

10 hinsichtlich des Bearbeitungsstrahls lichtdurchlässigen Material besteht, hat sich herausgestellt, dass eine Entschichtung nicht nur von der Schichtseite, sondern besonders vorteilhaft auch von der Substratseite her möglich ist. Mitunter lässt sich das Substrat auf diese Weise noch

15 schonender entschichten, allerdings muss hierfür gegebenenfalls ein spezieller Werkzeuggestisch mit geeigneten Ausschnitten vorgesehen werden, um alle gewünschten Bereiche entschichten zu können.

20 Bei Dünnschicht-Solarmodulen hat sich als weitere Anwendung schließlich eine partielle Entschichtung der strukturierten Schichten herausgestellt. Die strukturierten Schichten bestehen üblicherweise aus einer Frontelektrode, einer Absorberschicht und einer Rückelektrode, wobei die

25 Rückelektrode zur Kontaktierung in bestimmten Bereichen freigelegt werden muss. Nach Freilegen der Rückelektrode kann diese dann durch Metallbänder kontaktiert werden. Da in diesem Fall das Substrat nicht komplett entschichtet werden darf, entfällt hier die Möglichkeit der Bearbeitung von der

30 Substratseite, so dass hier immer von der Schichtseite her entschichtet werden muss.

Nach einer besonderen Ausführungsform ist hierbei vorgesehen, dass eine zweite Stellvorrichtung zum Einstellen eines

konstanten Bearbeitungswinkels zwischen der optischen Achse des Bearbeitungsstrahls und dem Lot jeder abzutragenden Flächeneinheit vorgesehen ist. In aufwendigen Versuchsreihen hat sich herausgestellt, dass die Einstellung des

5 Bearbeitungswinkels bei der Entschichtung eines Dünnschicht-Solarmoduls zwei Effekte haben kann: Zum einen kann durch die Einstellung des Bearbeitungswinkels erreicht werden, dass die Abtragungsgeschwindigkeit bzw. die Abtragungseffektivität optimiert wird. Soweit das Substrat mit mehreren Schichten

10 beschichtet ist, kann darüber hinaus durch die Einstellung des Bearbeitungswinkels eine gewisse Selektivität der abzutragenden Schichten erreicht werden. Insbesondere konnte bei einem Dünnschichtaufbau gemäß Fig. 2 in bisher noch nicht vollständig geklärter Weise ein Bearbeitungswinkel gefunden

15 werden, bei dem die Schicht der Frontelektrode und die Absorberschicht abgetragen werden konnten, während die Rückelektrode unbeschädigt blieb.

Um die aus Versuchsreihen ermittelten Bearbeitungswinkel

20 reproduzierbar einstellen zu können, ist nach einer bevorzugten Ausführungsform vorgesehen, dass die zweite Stellvorrichtung durch die Steuereinheit ebenfalls ansteuerbar ist. Insbesondere kann vorgesehen sein, dass die Steuereinheit eine Speichereinheit und eine Eingabeeinheit

25 aufweist, wobei in der Speichereinheit für jeden Typ des Entschichtungsprozesses ein optimaler Bearbeitungswinkel gespeichert ist und wobei bei Eingabe eines Typs eines Entschichtungsprozesses in die Eingabeeinheit die entsprechenden Steuersignale für einen optimalen

30 Bearbeitungswinkel von der Steuereinheit an die zweite Stellvorrichtung weitergeleitet werden.

Bei der Freilegung einer Rückelektrode einer Dünnschicht-Solarzelle hat sich herausgestellt, dass vorzugsweise ein

Winkel größer als 0° , insbesondere zwischen 5° und 10° , gewählt werden muss. Vermutlich führt die Schrägstellung der optischen Achse zum Einfallslot dazu, dass die unter der abzutragenden Schicht liegenden Schichten weniger zur
5 Absorption der Laserstrahlen neigen, so dass diese Schichten völlig beschädigungsfrei bleiben.

Zur vollständigen Abtragung aller Schichten hat sich herausgestellt, dass insbesondere bei einer geeigneten
10 Polarisation des Bearbeitungsstrahls als optimaler Bearbeitungswinkel der sogenannte Brewstersche Winkel gewählt werden kann, dessen Tangens gleich der Brechzahl der abzutragenden Schicht entspricht.

15 Nach einer bevorzugten Ausführungsform ist vorgesehen, dass die Lichtimpulse durch Modulation der Anregungsleistung erzeugt werden. Durch die Modulation der Anregungsleistung für das aktive Medium beim Laser lassen sich die erfindungsgemäßen Bearbeitungsparameter mit Impulsdauern
20 knapp unter 100 ns auf kostengünstige Weise noch bereitstellen. Kürzere Lichtimpulse und höhere Leistungen lassen sich allerdings mit der Methode der Gütemodulation erreichen. Auf diese Weise können Lichtimpulse im Bereich von 10 ns mit ausreichender Leistung bereitgestellt werden. Für
25 einige Anwendungen haben sich Impulsdauern im Bereich von 25 ns auch als besonders vorteilhaft erwiesen. Zur Realisierung noch kürzerer Impulszeiten kann schließlich auf das Verfahren der sogenannten Modenkopplung zurückgegriffen werden.

30 Nach einer weiteren bevorzugten Ausführungsform ist vorgesehen, dass der Bearbeitungsstrahl zur Modenmischung über eine Lichtleiterfaser geleitet wird, so dass sich als Leistungsverteilung ein annähernd kegelstumpfförmiges Leistungsprofil ergibt. Durch die Modenmischung in der

Lichtleiterfaser wird das an sich bekannte gaußförmige Leistungsprofil in ein trapezförmiges bzw. räumlich gesehen kegelstumpfförmiges Leistungsprofil überführt.

5 Nach einer weiteren bevorzugten Ausführungsform ist vorgesehen, dass die Vorschubgeschwindigkeit der Relativbewegung und die Impulswiederholrate der Lichtimpulse derart abgestimmt sind, dass eine Flächeneinheit nicht mehr mit dem Bearbeitungsstrahl beaufschlagt wird, sobald die
10 abzutragende Schicht entfernt ist. Beispielsweise kann die erste Stellvorrichtung derart angesteuert werden, dass sich bei der Relativbewegung eine Verfahrensgeschwindigkeit im Bereich von 1 cm/s ergibt und dabei die Impulsfolgenfrequenz des Laserresonators im Bereich von 50 Hz liegt.

15 Als besonders vorteilhaft hat es sich herausgestellt, dass eine Flächeneinheit im wesentlichen nur mit einem oder zumindest nur mit einigen wenigen Lichtimpulsen beaufschlagt wird. Das abzutragende Material einer Flächeneinheit sollte
20 also im wesentlichen mit einem Lichtimpuls "herausgesprengt" werden, damit das darunterliegende Substrat möglichst wenig beschädigt wird.

Die Wellenlänge des Laserresonators muss auf die abzutragende
25 Schicht derart abgestimmt sein, dass die Lichtimpulse von der abzutragenden Schicht im wesentlichen absorbiert und von dem Trägermaterial nicht absorbiert werden. Bei der Entschichtung von Dünnschicht-Solarzellen hat sich beispielsweise ein Laserresonator vom Typ Nd:YAG mit einer Wellenlänge 1,064 μm
30 bewährt.

Nach einer weiteren bevorzugten Ausführungsform ist eine Absaugvorrichtung zur Absaugung der entstehenden Stäube und Dämpfe vorgesehen. Auf diese Weise ist zum einen der Schutz

des Bedienpersonals vor den entstehenden Dämpfen und Stäuben gewährleistet, zum anderen können dadurch auch Niederschläge auf dem Werkstück vermieden werden, die die Oberflächenqualität der freizulegenden Schicht

5 beeinträchtigen könnten.

Nach einer bevorzugten Ausführungsform ist vorgesehen, dass die erste Stellvorrichtung aus einer mechanischen Führung besteht, mit der der Bearbeitungsstrahl samt dem optischen

10 System über das Werkstück geführt wird. In diesem Fall bleibt also das Werkstück ortsfest, während die optische Einrichtung beweglich geführt ist. Hierzu wird der Bearbeitungsstrahl vorzugsweise über eine Lichtleiterfaser geführt. Alternativ ist es allerdings auch denkbar, dass die erste

15 Stellvorrichtung aus verstellbaren Umlenkspiegeln besteht, über die der Bearbeitungsstrahl auf dem Werkstück geführt wird. Als Umlenkspiegel können beispielsweise zwei Umlenkspiegel mit senkrecht zueinander liegenden Drehachsen verwendet werden, so dass der Bearbeitungsstrahl einfach über

20 eine größere Ebene bewegt werden kann. Darüber hinaus ist es auch möglich, dass das optische System ortsfest gehalten ist, während das Werkstück, beispielsweise auf einem xy-Tisch, gegenüber dem feststehenden Bearbeitungsstrahl geführt wird. Schließlich sind auch Kombinationen der oben genannten

25 Prinzipien denkbar, bei denen sowohl der Bearbeitungsstrahl als auch das Werkstück beweglich geführt sind.

Neben der Verwendung zur Entschichtung von Dünnschicht-Solarzellen kann die erfindungsgemäße Vorrichtung

30 selbstverständlich zur Entschichtung sämtlicher Gläser oder Keramiken verwendet werden, die mit einer Dünnschicht beschichtet sind. Weitere Anwendungen könnten demnach sein:

- Heutige Isoliergläser für Fensterscheiben, sogenannte "K-Gläser", weisen zusätzlich aufgedampfte Schichten auf, um die Durchlässigkeit der Fensterscheiben gegenüber Wärmestrahlung zu verringern. Typische Isoliergläser bestehen aus mindestens zwei Einzelscheiben, die mit einem Rahmenprofil zu einer Doppelglasscheibe verklebt werden, so dass auch hier eine Randentschichtung erforderlich ist.
- 10 - In der gesamten Displaytechnik fallen ebenfalls vielfältig Entschichtungsprozesse an.
- Schließlich kommen weitere Anwendungen in Betracht, bei denen beschichtete Gläser weiterverarbeitet werden müssen. Ein mögliches Beispiel sind sogenannte "schaltbare Fenster", die bei Anlegen eines elektrischen Feldes ihre Lichtdurchlässigkeit ändern.

Im folgenden wird die Erfindung anhand verschiedener Ausführungsbeispiele mit Bezug auf die beiliegenden Zeichnungen näher erläutert. Es zeigen:

- Fig. 1 einen Querschnitt durch eine verkapselte Dünnschichtsolarzelle,
- Fig. 2 einen Querschnitt durch eine verkapselte Dünnschichtsolarzelle mit Schichtfolge und Kontaktierung der Rückelektrode,
- Fig. 3 eine erste Ausführungsform einer Vorrichtung zur Entschichtung von Solarzellen und
- Fig. 4 eine zweite Ausführungsform einer Vorrichtung zur Entschichtung von Solarzellen.

Fig. 1 zeigt einen Querschnitt durch eine verkapselte Dünnschichtsolarzelle. Die Solarzelle besteht im wesentlichen aus einem Substrat 4, den darauf aufgebracht und
5 strukturierten Schichten 3, einer Laminatschicht 2 und einer darauf aufgebracht Schicht Fensterglas. Die stromführenden Schichten 3 weisen eine Dicke von 0,1 - 5 μm auf und das Substrat 4 besteht vorzugsweise aus Floatglas. Um Strompfade zu den stromführenden Schichten 3 und eine Feuchtedegradation
10 der Schichten selbst zu vermeiden, darf der Randbereich 5 des Substrats 4 keine stromführenden Schichten enthalten. Der Randbereich 5 ist deshalb erfindungsgemäß entschichtet worden.

15 Fig. 2 zeigt einen Querschnitt durch eine verkapselte Dünnschichtsolarzelle mit Schichtfolge und Kontaktierung der Rückelektrode. Bei Substrat-Dünnschichtsolarzellen gliedert sich die Schichtfolge auf in die Rückelektrode 24, die Absorberschicht 23 und die Frontelektrode 22. Die Schichten
20 sind auf dem Substrat 25 aufgebracht und seitens der Frontelektrode 22 durch das Laminat 21 geschützt. Das Laminat 21 wird durch eine Schicht 20 aus Fensterglas abgeschlossen.

In Fig. 2 sind zwei Bereiche A und B markiert, die die
25 verschiedenen Ergebnisse möglicher Entschichtungsprozesse bei einer Dünnschicht-Solarzelle darstellen.

In dem Bereich A wurde eine komplette Entschichtung des Substrats vorgenommen, wobei das Substrat selber mit einer
30 beschädigungsfreien Oberfläche zurückbleibt. Im Bereich B wurde eine selektive Entschichtung der Frontelektrode und der Absorberschicht vorgenommen, so dass die Rückelektrode stehen bleibt. Zur Kontaktierung der Rückelektrode müssen die darüberliegenden Schichten selektiv entfernt werden, ohne die

Rücelektrode selbst wesentlich zu schädigen. Die freigelegten Bereiche werden dann mit Metallbändern 26 kontaktiert.

- 5 Bei der Entfernung der Schichten über den zu kontaktierenden Bereichen muss der Lichteinfall auf jeden Fall seitens der Schichtseite der Frontelektrode 22 erfolgen.

Für die Beurteilung der Qualität des Entschichtungsprozesses
10 wurden auf die freigelegten Rücelektrodenbereiche Metallbänder mit einem zur Zeit eingesetzten Standardkontaktierprozess aufgebracht. Die gute Haftung der Bänder zeigt, dass die erfindungsgemäße Entschichtung mit einer Laservorrichtung auch zur Freilegung der zu
15 kontaktierenden Bereiche der Rücelektrode geeignet ist. Die mechanische Entschichtung kann damit auch bei der Rücelektrodenfreilegung ersetzt werden.

Fig. 3 zeigt eine erste Ausführungsform einer Vorrichtung zur Entschichtung von Solarzellen. Die Entschichtung erfolgt mit
20 einem gepulsten Laser vom Typ Nd:YAG. Vorzugsweise wird der Laserresonator mit der Methode der Gütemodulation mit Impulsdauern im Bereich von 25 ns betrieben. Der Bearbeitungsstrahl wird mit Hilfe eines Lichtleiterkabels 40 zu einer Abbildungsoptik mit einer Fokussierlinse 34
25 geleitet. Der Ausgang 35 der Lichtleiterfaser 40 wird dabei über die Fokussierlinse 34 auf dem Werkstück 31 im Bearbeitungsbereich 41 abgebildet.

Die Impulsenergiedichte auf dem Werkstück ergibt sich bei
30 diesem Aufbau aus der Impulsenergie des Lasers, den optischen Verlusten sowie dem Abbildungsmaßstab der eingesetzten Optik. Die notwendige Impulsenergiedichte sowie die Verfahrensgeschwindigkeit des Laserstrahls relativ zum zu entschichtenden Werkstück bei vorgegebener Impulsfrequenz

sind abhängig vom zu entfernenden Schichtpaket. Zum Beispiel konnten die untersuchten Schichtpakete von Dünnschichtsolarmodulen mit Impulsenergiedichten in der Größenordnung von 1 J/cm^2 bei Verfahrensgeschwindigkeiten in der Größenordnung von 1 cm/s und einer Impulsfrequenz von 50 Hz entfernt werden.

Bei der Entschichtung der Rückelektrode gemäß Fig. 2 ist die notwendige Impulsenergiedichte sowie die Verfahrensgeschwindigkeit des Laserstrahls relativ zum zu entschichtenden Werkstück bei vorgegebener Impulsfrequenz ebenfalls abhängig vom Schichtpaket. Eine erfolgreiche Entschichtung der Rückelektrode von Dünnschichtsolarmodulen wurde beispielsweise mit Pulsenergiedichten in der Größenordnung von 1 J/cm^2 bei Verfahrensgeschwindigkeiten in der Größenordnung von 3 cm/s und einer Pulsfrequenz von 50 Hz erzielt.

Wie in Fig. 3 dargestellt, wird das Werkstück 31 dabei durch einen entsprechenden Werkzeugträger 32, bei dem es sich zum Beispiel um einen Vakuumspanntisch handeln kann, gehalten. Der Werkzeugträger 32 ist wiederum auf einem CNC-gesteuerten xy-Tisch 33 montiert. Der Tisch 33 mit dem Werkzeugträger 32 und dem Werkstück 31 kann mit konstanter Geschwindigkeit verfahren werden, so dass der Bearbeitungsbereich 41 zur Entschichtung der Solarzelle 31 entlang einer definierten Strecke bewegt werden kann. Entstehende Dämpfe und Stäube werden über Absaugvorrichtungen 36, 38 abgesaugt. Für besondere Anwendungsfälle sind Düsen 37, 39 vorgesehen, um die freizulegende Oberfläche vor Oxidation oder anderen chemischen Prozessen mit der Atmosphäre zu schützen. Als geeignetes Schutzgas hat sich hier vor allem Stickstoff herausgestellt. Die Düsen 37, 39 sind so eingestellt, dass im

Bearbeitungsbereich das Schutzgas gleichmäßig über die Oberfläche des Werkstücks strömt.

Optimale Bearbeitungsergebnisse ergeben sich, wenn die
5 optische Achse 46 der Abbildungsoptik gegenüber dem
Einfallslot 43 auf einen für den jeweiligen Anwendungsfall zu
bestimmenden optimalen Bearbeitungswinkel eingestellt wird.
Im Fall der Freilegung einer Rückelektrode einer
Dünnschichtsolarzelle haben sich beispielsweise Verkippwinkel
10 im Bereich von 5° - 10° als besonders günstig herausgestellt.

Fig. 4 zeigt eine zweite Ausführungsform zur Entschichtung
von Solarzellen. Der Aufbau zur Halterung der Solarzelle 31
wurde gegenüber dem ersten Ausführungsbeispiel beibehalten
15 und ist mit den gleichen Bezugszeichen gekennzeichnet. Ein
wesentlicher Unterschied der zweiten Ausführungsform gemäß
Fig. 4 zur ersten Ausführungsform besteht darin, dass die
Entschichtung gemäß Fig. 4 im Bereich von der unteren
Substratschicht erfolgt.

20

Diese Anwendung kommt bei allen Entschichtungsprozessen von
Solarzellen in Betracht, bei denen ein lichtdurchlässiges
Substrat vorliegt und das Substrat in bestimmten Bereichen
völlig freigelegt werden soll. Während bei einem Einfall von
25 der Schichtseite feine Haarrisse im Entschichtungsbereich
entstanden, konnte das Glassubstrat bei Lichteinfall von der
Substratseite entschichtet werden, ohne dass eine Schädigung
des Substrats im Lichtmikroskop zu erkennen war.

30 Der optische Aufbau gleicht ansonsten demjenigen gemäß der
ersten Ausführungsform, so dass entsprechend ebenfalls der
Bearbeitungsstrahl mit einem Lichtleiter 50 an eine
Abbildungsoptik mit einer Fokussierlinse 54 herangeführt
wird. Die Fokussierlinse bildet wiederum den Austrittsbereich

55 des Lichtleiters 50 auf das Werkstück 31 im Bearbeitungsbereich 51 ab.

Bei der Entschichtungsmethode gemäß der zweiten
5 Ausführungsform wurden beispielsweise gute Ergebnisse erzielt, wenn der Bearbeitungswinkel der optischen Achse 56 auf das Einfallslot eingestellt war.

Die beim Laserprozess erzeugten Stäube und Dämpfe werden auch
10 bei der zweiten Ausführungsform abgesaugt. Eine Nachreinigung wie bei den bisher eingesetzten Entschichtungsverfahren ist weder für die Variante von der Substratseite noch für die Variante von der Schichtseite erforderlich. Damit sind beide Varianten des neuen Laserentschichtungsverfahrens den
15 bisherigen mechanischen Verfahren vorzuziehen.

Besonders zu beachten ist bei der zweiten Ausführungsform gemäß Fig. 4 allerdings, dass für eine vollständige
Bearbeitung der Solarzelle von der Substratseite her
20 womöglich entsprechende Ausschnitte in dem xy-Tisch 33 und dem Werkzeugträger 32 vorgesehen sein müssen, damit der Bearbeitungsstrahl ungehindert alle zu entschichtenden Bereiche der Solarzelle 31 erreichen kann.

25 Insbesondere für Produkte, bei denen auch feinste Mikrorisse im Substrat bedenklich erscheinen, sollte daher die Variante mit Lichteinfall von der Substratseite eingesetzt werden. Bei weniger kritischen Anwendungen bzgl. Mikrorissen im Substrat - oder bei anderen Substrattypen - ist die hinsichtlich der
30 Werkstückhalterung einfachere Entschichtung mit Lichteinfall von der Schichtseite möglich. Besonders vorteilhaft ist es auch, wenn die Verfahren gemäß den Ausführungsformen in geeigneter Weise kombiniert werden. So können zum Beispiel für den Bruch empfindliche Randbereiche des Substrats gemäß

der zweiten Ausführungsform von der Substratseite her
entschichtet werden, da diese Randbereiche auch für diesen
Fall einfach zugänglich sind und somit entsprechende
Ausschnitte in dem Werkzeugträger und in dem Spanntisch nicht
5 benötigt werden. Für Spezialanwendungen zu entschichtende
Mittenbereiche können dagegen wiederum gemäß der ersten
Ausführungsform von der Schichtseite entschichtet werden.

PATENTANSPRÜCHE

1. Vorrichtung zum Abtragen von dünnen Schichten auf einem
5 Trägermaterial, insbesondere zum Abtragen von
Randschichten einer Dünnschichtsolarzelle,

mit einem Laserresonator zum Erzeugen eines aus
Lichtimpulsen bestehenden Bearbeitungsstrahls mit
10 Impulsdauern kleiner 100 ns und einer
Impulsenergiedichte im Bereich von 0,1 J/cm² bis 10
J/cm²,

mit einem optischen System, das den durch den
15 Laserresonator erzeugten Bearbeitungsstrahl auf der zu
bearbeitenden Oberfläche über eine Fläche im Bereich von
einem mm² bis zu einem cm² mit einer im wesentlichen
homogenen Leistungsverteilung abbildet,

20 mit einer ersten Stellvorrichtung für eine vorgegebene
Relativbewegung zwischen dem Werkstück und dem
Bearbeitungsstrahl, und

mit einer Steuereinheit, die die erste Stellvorrichtung
25 derart ansteuert, dass jede abzutragende Flächeneinheit
des Werkstücks mit einer im wesentlichen konstanten
Energienmenge beaufschlagt wird.
2. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet,
30 dass die Lichtimpulse durch Modulation der
Anregungsleistung erzeugt werden.

3. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Lichtimpulse mit der Methode der Gütemodulation erzeugt werden.
- 5 4. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 - 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Lichtimpulse vorzugsweise Impulsdauern im Bereich von 25 ns aufweisen.
- 10 5. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 - 4, dadurch gekennzeichnet, dass der Bearbeitungsstrahl zur Modenmischung über eine Lichtleiterfaser geleitet wird, so daß sich als Leistungsverteilung ein annähernd kegelstumpfförmiges Leistungsprofil ergibt.
- 15 6. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 - 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Vorschubgeschwindigkeit der Relativbewegung und die Impulswiederholrate der Lichtimpulse derart aufeinander abgestimmt sind, dass eine Flächeneinheit nicht mehr mit dem
20 Bearbeitungsstrahl beaufschlagt wird, sobald die abzutragende Schicht entfernt ist.
7. Vorrichtung nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass die erste Stellvorrichtung mit einer
25 Verfahrensgeschwindigkeit im Bereich von 1 cm/s verschoben wird und dabei die Impulsfolgenfrequenz des Laserresonators im Bereich von 50 Hz liegt.
8. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 6 - 7, dadurch
30 gekennzeichnet, dass eine Flächeneinheit im wesentlichen mit einem Lichtimpuls oder mit einigen wenigen Lichtimpulsen beaufschlagt wird.

9. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 - 8, dadurch gekennzeichnet, dass die Wellenlänge des Laserresonator auf die abzutragende Schicht derart abgestimmt ist, dass die Lichtimpulse von der abzutragenden Schicht im wesentlichen absorbiert und von dem Trägermaterial nicht absorbiert werden.
10. Vorrichtung nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass der Laserresonator vom Typ Nd:YAG mit einer Wellenlänge 1,064 μm ist.
11. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 - 10, dadurch gekennzeichnet, dass eine zweite Stellvorrichtung zum Einstellen eines konstanten Bearbeitungswinkels zwischen der optischen Achse des Bearbeitungsstrahls und dem Lot jeder abzutragenden Flächeneinheit vorgesehen ist.
12. Verfahren zum Abtragen von dünnen Schichten auf einem Trägermaterial, insbesondere zum Abtragen von Randschichten einer Dünnschichtsolarzelle, gekennzeichnet durch:
- Erzeugen eines aus Lichtimpulsen bestehenden Bearbeitungsstrahls mit Impulsdauern kleiner 100 ns und einer Impulsenergiedichte im Bereich von 0,1 J/cm² bis 10 J/cm²,
- Abbilden des Bearbeitungsstrahl auf der zu bearbeitenden Oberfläche über eine Fläche im Bereich von einem mm² bis zu einem cm² mit einer im wesentlichen homogenen Leistungsverteilung,
- Ausführen einer Relativbewegung zwischen dem Werkstück und dem Bearbeitungsstrahl derart, dass jede

abzutragende Flächeneinheit des Werkstücks mit einer im wesentlichen konstanten Energiemenge beaufschlagt wird.

- 5 13. Verfahren nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, dass die Lichtimpulse durch Modulation der Anregungsleistung erzeugt werden.
- 10 14. Verfahren nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, dass die Lichtimpulse mit der Methode der Gütemodulation erzeugt werden.
- 15 15. Verfahren nach einem der Ansprüche 12 - 14, dadurch gekennzeichnet, dass die Lichtimpulse vorzugsweise Impulsdauern im Bereich von 25 ns aufweisen.
- 20 16. Verfahren nach einem der Ansprüche 12 - 15, dadurch gekennzeichnet, dass der Bearbeitungsstrahl zur Modenmischung über eine Lichtleiterfaser geleitet wird, so dass sich als Leistungsverteilung ein annähernd kegelstumpfförmiges Leistungsprofil ergibt.
- 25 17. Verfahren nach einem der Ansprüche 12 - 16, dadurch gekennzeichnet, dass die Vorschubgeschwindigkeit der Relativbewegung und die Impulswiederholrate der Lichtimpulse derart aufeinander abgestimmt sind, dass eine Flächeneinheit nicht mehr mit dem Bearbeitungsstrahl beaufschlagt wird, sobald die abzutragende Schicht entfernt ist.
- 30 18. Verfahren nach Anspruch 17, dadurch gekennzeichnet, dass die erste Stellvorrichtung mit einer Verfahrensgeschwindigkeit im Bereich von 1 cm/s verschoben wird und dabei die Impulsfolgenfrequenz des Laserresonators im Bereich von 50 Hz liegt.

19. Verfahren nach einem der Ansprüche 17 - 18, dadurch gekennzeichnet, dass eine Flächeneinheit im wesentlichen mit einem Lichtimpuls oder mit einigen wenigen
5 Lichtimpulsen beaufschlagt wird.
20. Verfahren nach einem der Ansprüche 12 - 19, dadurch gekennzeichnet, dass die Wellenlänge des Laserresonator auf die abzutragende Schicht derart abgestimmt ist, dass
10 die Lichtimpulse von der abzutragenden Schicht im wesentlichen absorbiert und von dem Trägermaterial nicht absorbiert werden.
21. Verfahren nach Anspruch 20, dadurch gekennzeichnet, dass
15 der Laserresonator vom Typ Nd:YAG mit einer Wellenlänge 1,064 μm ist.
22. Verfahren nach einem der Ansprüche 12 - 21, dadurch gekennzeichnet, dass ein konstanter Bearbeitungswinkel
20 zwischen der optischen Achse des Bearbeitungsstrahls und dem Lot jeder abzutragenden Flächeneinheit eingestellt wird.
23. Verfahren zum Verkapseln eines Dünnschicht-Solarmoduls
25 bestehend aus einem mit Dünnschichten beschichteten Substrat,
- bei dem das Substrat in den Randbereichen mit einer Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 11
30 entschichtet wird und
- bei dem sodann das gesamte Substrat auf der Dünnschichtseite mit einer Laminatschicht derart

überzogen wird, dass die Dünnschichten durch das Substrat und die Laminatschicht verkapselt sind.

Fig. 1

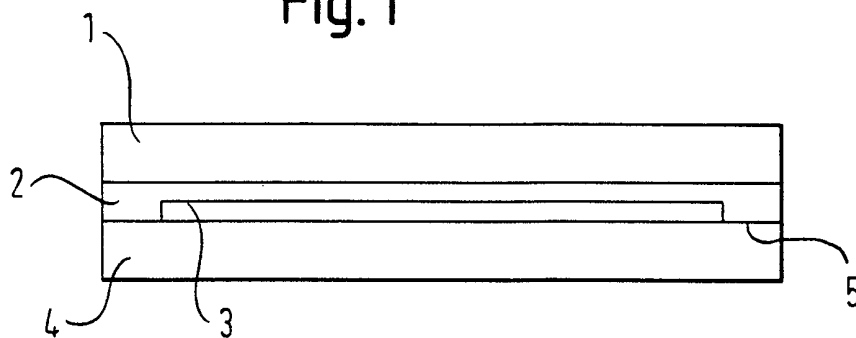


Fig. 2

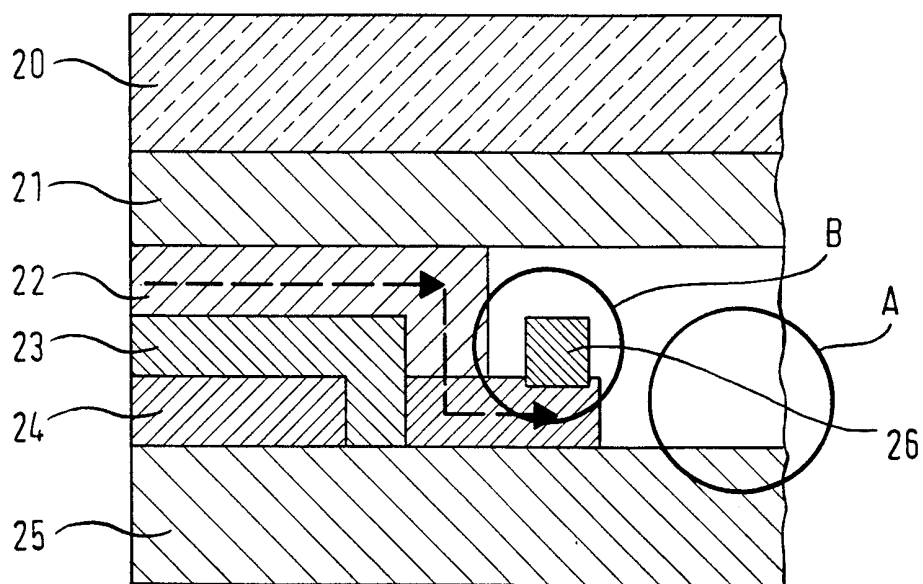


Fig. 3

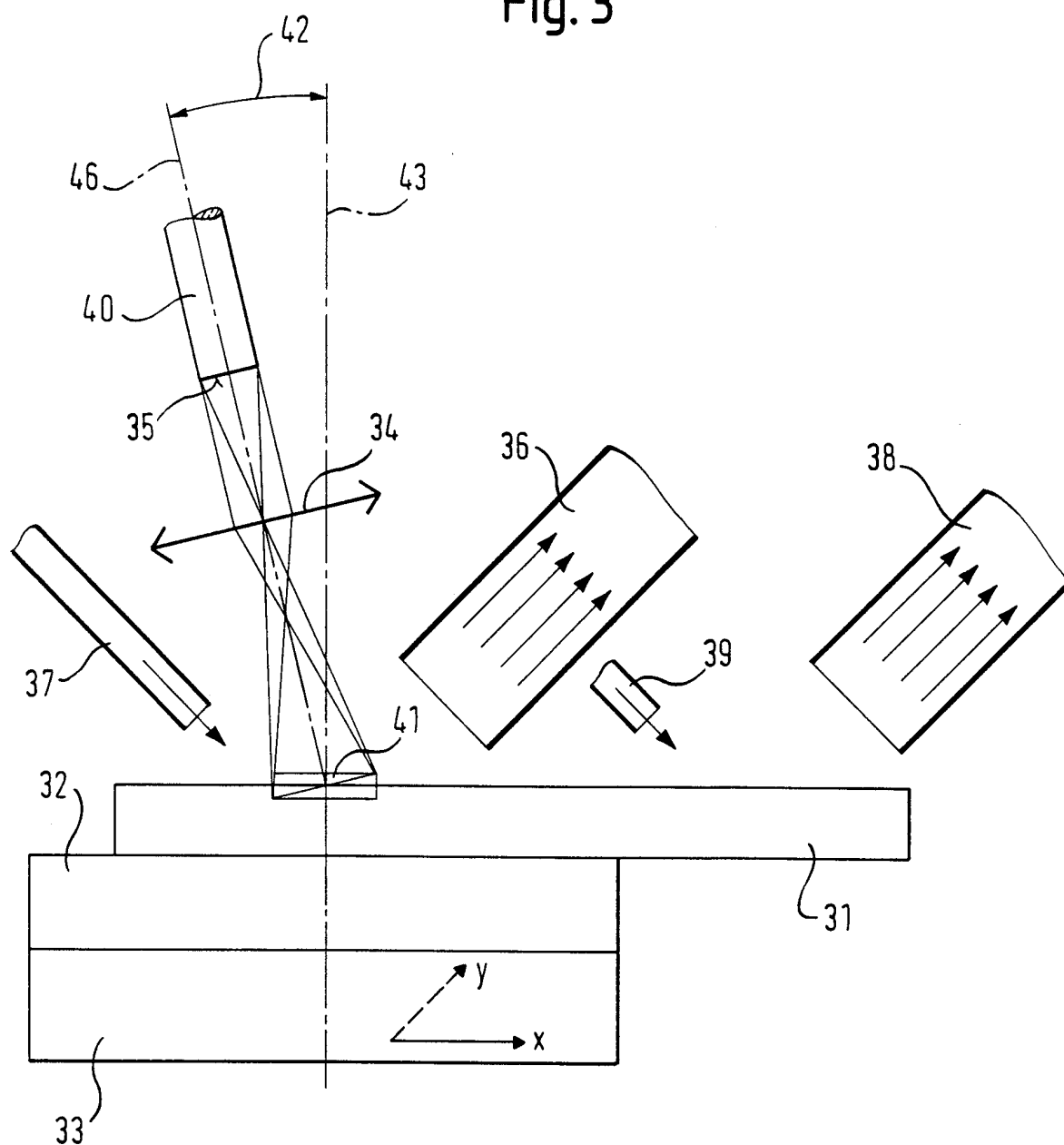
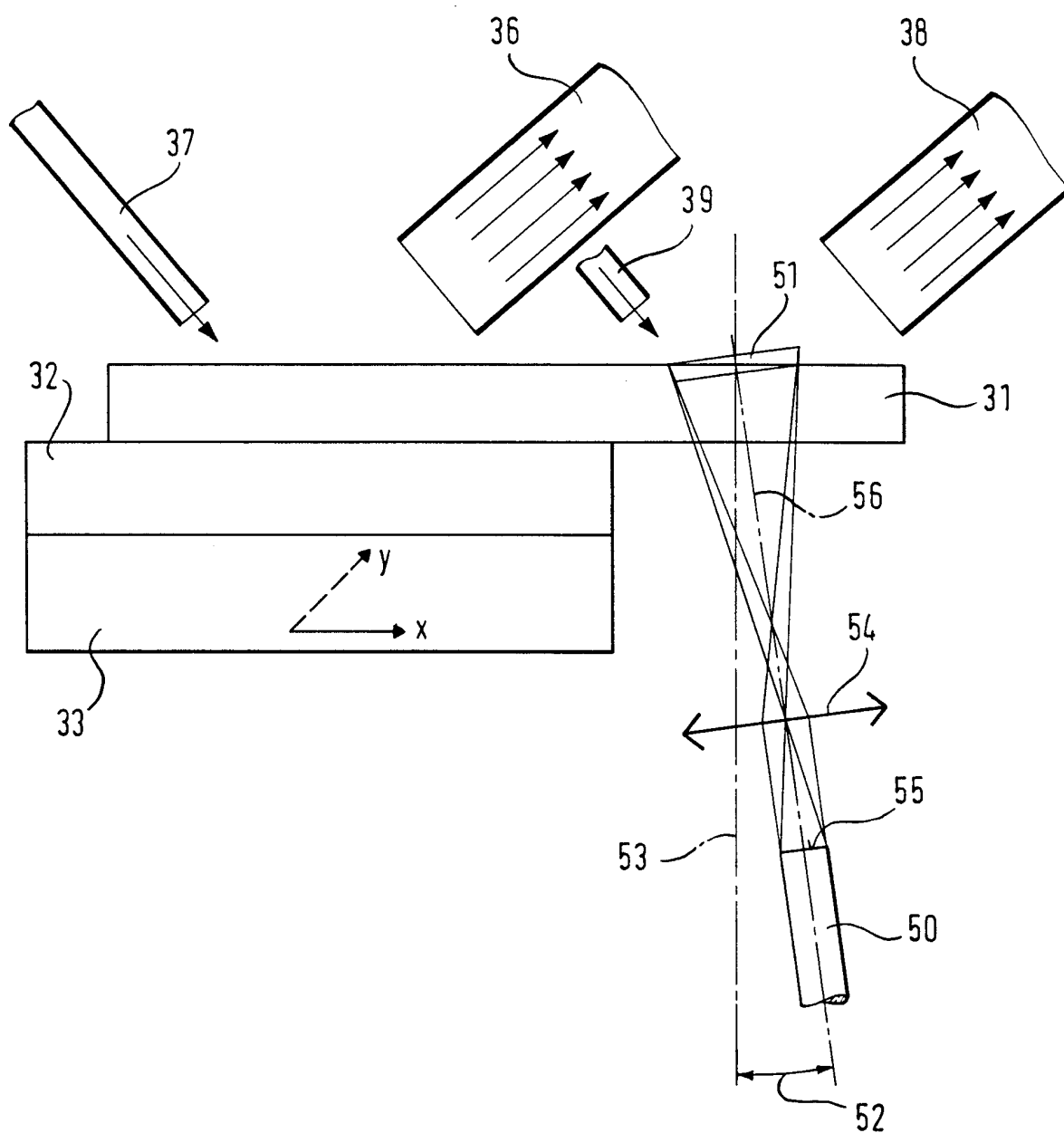


Fig. 4



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/EP 00/03132

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

IPC 7 H01L27/142 H01L31/048 B23K26/00 B23K26/06

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)

IPC 7 H01L B23K

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, PAJ, 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 5 151 135 A (MAGEE THOMAS J ET AL) 29 September 1992 (1992-09-29) column 3, line 9 -column 7, line 9; claims 1-10	1,6-9, 12,17-20
Y	---	1,4,6,9, 10,12, 15,17, 20,21
Y	EP 0 536 431 A (SIEMENS AG ;SIEMENS SOLAR GMBH (DE)) 14 April 1993 (1993-04-14) the whole document --- -/--	1,4,6,9, 10,12, 15,17, 20,21

☒ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in 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

29 August 2000

Date of mailing of the international search report

07/09/2000

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

Visentin, A

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/EP 00/03132

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 4 650 524 A (KIYAMA SEIICHI ET AL) 17 March 1987 (1987-03-17) the whole document ---	1,6, 8-10,12, 17,19-21
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 1998, no. 06, 30 April 1998 (1998-04-30) & JP 10 052780 A (MITSUBISHI HEAVY IND LTD), 24 February 1998 (1998-02-24) abstract ---	1,12
A	DE 37 05 500 A (SIEMENS AG) 1 September 1988 (1988-09-01) the whole document ---	1,12
A	US 4 734 550 A (IMAMURA SEIJI ET AL) 29 March 1988 (1988-03-29) the whole document ---	1,12
A	US 5 741 370 A (HANOKA JACK I) 21 April 1998 (1998-04-21) ---	
A	US 4 705 698 A (VAN DINE JOHN) 10 November 1987 (1987-11-10) -----	

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/EP 00/03132

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 5151135	A	29-09-1992	NONE	
EP 0536431	A	14-04-1993	DE 59103714 D JP 5218472 A US 5296674 A	12-01-1995 27-08-1993 22-03-1994
US 4650524	A	17-03-1987	JP 1868454 C JP 5003151 B JP 61006828 A JP 1961859 C JP 6050781 B JP 61014727 A JP 5066758 B JP 61042971 A FR 2566584 A	26-08-1994 14-01-1993 13-01-1986 25-08-1995 29-06-1994 22-01-1986 22-09-1993 01-03-1986 27-12-1985
JP 10052780	A	24-02-1998	NONE	
DE 3705500	A	01-09-1988	NONE	
US 4734550	A	29-03-1988	JP 62040986 A DE 3676906 D EP 0213546 A	21-02-1987 21-02-1991 11-03-1987
US 5741370	A	21-04-1998	AU 4581897 A EP 0958616 A WO 9750130 A US 5986203 A	14-01-1998 24-11-1999 31-12-1997 16-11-1999
US 4705698	A	10-11-1987	NONE	

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

internationales Aktenzeichen

PCT/EP 00/03132

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES

IPK 7 H01L27/142 H01L31/048 B23K26/00 B23K26/06

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)

IPK 7 H01L B23K

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, PAJ, 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 5 151 135 A (MAGEE THOMAS J ET AL) 29. September 1992 (1992-09-29) Spalte 3, Zeile 9 -Spalte 7, Zeile 9; Ansprüche 1-10	1,6-9, 12,17-20
Y	---	1,4,6,9, 10,12, 15,17, 20,21
Y	EP 0 536 431 A (SIEMENS AG ;SIEMENS SOLAR GMBH (DE)) 14. April 1993 (1993-04-14) das ganze Dokument	1,4,6,9, 10,12, 15,17, 20,21

	-/--	



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 naheliegend ist

"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

29. August 2000

Absenddatum des internationalen Recherchenberichts

07/09/2000

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

Visentin, A

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

internationales Aktenzeichen

PCT/EP 00/03132

C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	US 4 650 524 A (KIYAMA SEIICHI ET AL) 17. März 1987 (1987-03-17) das ganze Dokument ----	1,6, 8-10,12, 17,19-21
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 1998, no. 06, 30. April 1998 (1998-04-30) & JP 10 052780 A (MITSUBISHI HEAVY IND LTD), 24. Februar 1998 (1998-02-24) Zusammenfassung ----	1,12
A	DE 37 05 500 A (SIEMENS AG) 1. September 1988 (1988-09-01) das ganze Dokument ----	1,12
A	US 4 734 550 A (IMAMURA SEIJI ET AL) 29. März 1988 (1988-03-29) das ganze Dokument ----	1,12
A	US 5 741 370 A (HANOKA JACK I) 21. April 1998 (1998-04-21) ----	
A	US 4 705 698 A (VAN DINE JOHN) 10. November 1987 (1987-11-10) -----	

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP 00/03132

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung
US 5151135	A	29-09-1992	KEINE		
EP 0536431	A	14-04-1993	DE 59103714	D	12-01-1995
			JP 5218472	A	27-08-1993
			US 5296674	A	22-03-1994
US 4650524	A	17-03-1987	JP 1868454	C	26-08-1994
			JP 5003151	B	14-01-1993
			JP 61006828	A	13-01-1986
			JP 1961859	C	25-08-1995
			JP 6050781	B	29-06-1994
			JP 61014727	A	22-01-1986
			JP 5066758	B	22-09-1993
			JP 61042971	A	01-03-1986
			FR 2566584	A	27-12-1985
JP 10052780	A	24-02-1998	KEINE		
DE 3705500	A	01-09-1988	KEINE		
US 4734550	A	29-03-1988	JP 62040986	A	21-02-1987
			DE 3676906	D	21-02-1991
			EP 0213546	A	11-03-1987
US 5741370	A	21-04-1998	AU 4581897	A	14-01-1998
			EP 0958616	A	24-11-1999
			WO 9750130	A	31-12-1997
			US 5986203	A	16-11-1999
US 4705698	A	10-11-1987	KEINE		