(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
6. Dezember 2012 (06.12.2012)

WIPO | PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2012/163351 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:
B23K 26/00 (2006.01) *H01L 27/142* (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE2012/100168

(22) Internationales Anmeldedatum:
1. Juni 2012 (01.06.2012)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2011 103 481.5 3. Juni 2011 (03.06.2011) DE

(71) Anmelder *(für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US)*: **SOLARION AG** [DE/DE]; Ostende 5, 04288 Leipzig (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder *(nur für US)*: **BRAUN, Alexander** [DE/DE]; Ring 22, 04416 Markkleeberg (DE). **SCHEIT, Christian** [DE/DE]; Robert-Schumann-Str. 20, 04416 Markkleeberg (DE). **RAGNOW, Steffen** [DE/DE]; Mariannenstraße 34, 04315 Leipzig (DE). **ZIMMER, Klaus** [DE/DE]; Südstraße 22, 04539 Groitzsch (DE). **WEHRMANN, Anja** [DE/DE]; Haselberg 44, 04683 Naunhof (DE). **EHRHARDT, Martin** [DE/DE]; Püchauer Straße 3, 04318 Leipzig (DE).

(74) Anwalt: **RECHTSANWALTSGESELLSCHAFT MBH DR. JUR. PETER NENNING**; Petersstraße 39-41, 04109 Leipzig (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, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, 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, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

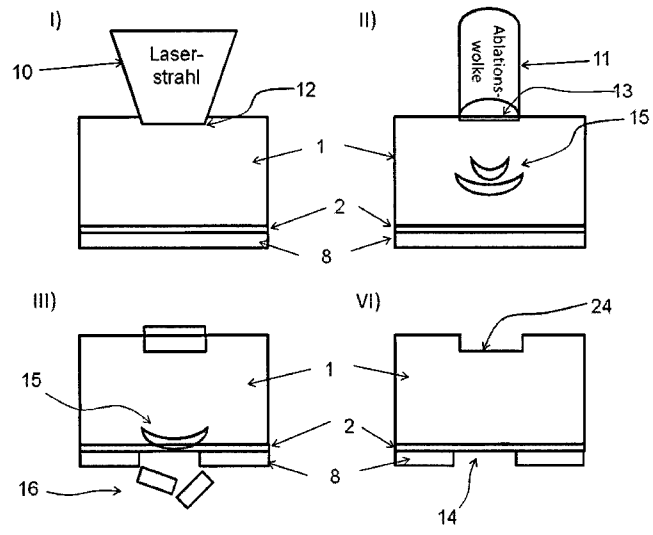
[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2012/163351 A1

(54) **Title**: SELECTIVE REMOVAL OF THIN FILMS BY MEANS OF PULSED LASER RADIATION IN ORDER TO STRUCTURE THE THIN FILMS

(54) **Bezeichnung** : SELEKTIVES ABTRAGEN DÜNNER SCHICHTEN MITTELS GEPULSTER LASERBESTRAHLUNG ZUR DÜNNSCHICHTSTRUKTURIERUNG

Abbildung 2:



10 Laser beam
11 Ablation cloud

(57) **Abstract**: The selective removal of thin films relates to a method for structuring chalcopyrite-based thin film solar cells by means of pulsed laser radiation by removing previously applied films. The invention relates to a structuring method that results in only low thermal loads on the film system to be structured due to laser irradiation. According to the invention, the structuring of the thin films is achieved in that a laser beam characterized by wavelength, pulse duration, and energy density distribution is directed at the side of the substrate opposite the thin film system and thus the removal of films of the thin film system is achieved. A preferred field of application is the structuring of thin film solar cells on a flexible substrate.

(57) **Zusammenfassung**: Das selektive Abtragen dünner Schichten betrifft ein Verfahren zur Strukturierung von Dünnschichtsolarzellen auf Chalkopyrit-Basis mittels gepulster Laserstrahlung durch den Abtrag zuvor aufgebrachter Schichten. Die Erfindung betrifft eine Strukturierungsmethode, die nur geringe thermische Belastungen des zu strukturierenden Schichtsystems durch Laserbestrahlung zur Folge hat. Erfindungsgemäß wird die Strukturierung

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(84) Bestimmungsstaaten *(soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart)*: ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Erklärungen gemäß Regel 4.17:

— *hinsichtlich der Identität des Erfinders (Regel 4.17 Ziffer i)*

— *hinsichtlich der Berechtigung des Anmelders, ein Patent zu beantragen und zu erhalten (Regel 4.17 Ziffer ii)*

— *hinsichtlich der Berechtigung des Anmelders, die Priorität einer früheren Anmeldung zu beanspruchen (Regel 4.17 Ziffer iii)*

— *Erfindererklärung (Regel 4.17 Ziffer iv)*

Veröffentlicht:

— *mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)*

— *vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche geltenden Frist; Veröffentlichung wird wiederholt, falls Änderungen eingehen (Regel 48 Absatz 2 Buchstabe h)*

der dünnen Schichten dadurch erzielt, dass ein durch Wellenlänge, Pulsdauer und Energiedichteverteilung charakterisierter Laserstrahl auf die dem Dünnschichtsystem gegenüberliegende Seite des Substrates gerichtet wird und so der Abtrag von Schichten des Dünnschichtsystems erzielt wird. Ein bevorzugtes Anwendungsgebiet ist die Strukturierung von Dünnschichtsolarzellen auf flexiblem Träger.

Selektives Abtragen dünner Schichten mittels gepulster Laserbestrahlung zur Dünnschichtstrukturierung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Abtrag von Materialien aus einem Schichtpaket, das sich auf einem Träger befindet, zur Herstellung von Mustern in Einzelschichten oder dem Schichtpaket sowie eine Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens.

[0001] Elektrische und elektronische Bauteile und Baugruppen können unter anderem als Dick- und auch als Dünnschichtsystem hergestellt werden. Im Regelfall sind definierte Muster in den dünnen Schichten erforderlich, um die beabsichtigte Funktionalität zu realisieren. Diese Muster können durch additive wie auch durch subtraktive Verfahren hergestellt werden.

[0002] Es ist bereits bekannt, dünne Schichten unterschiedlichen Aufbaus mittels PVD (physical vapour deposition)- und CVD (chemical vapour deposition)-Verfahren herzustellen. Sie können auf starre Träger, beispielsweise Glas, aber auch auf Folien, also dünne, flexible Träger aus Metall oder Polymer, abgeschieden werden.

[0003] Es kann technisch erforderlich sein, diese Schichten teilweise oder auch punktuell oder auch vollständig wieder abzutragen. Dies erfolgt insbesondere mit dem Ziel, die Geometrie der Schichten bei großflächiger Beschichtung einzustellen oder hierdurch die Funktionalität im Verlaufe der weiteren Verarbeitung zu erhöhen. Ein Beispiel ist die Entfernung von dünnen Schichten für die integrierte Verschaltung von Dünnschichtsolarzellen, beispielsweise auf Chalkopyrit-Basis. Ein weiteres Beispiel ist die flächige Abscheidung von dünnen Schichten für elektrooptische Anwendungen wie Dünnschicht (LCD)- Displays, organische Leuchtdioden (OLED) oder Dünnschichtsolarzellen.

[0004] Ein Abtrag dünner Schichten kann beispielsweise auch durch Ätzen, Laserbearbeitung, Photolithographie oder mechanische Bearbeitung, z. B. Fräsen, erfolgen.

[0005] Ätzprozesse wie nasschemisches Ätzen oder Plasmaätzen ermöglichen die zeitgleiche Strukturierung von großen Flächen, jedoch sind stabile Masken, die oft direkt auf den Schichten hergestellt werden müssen, erforderlich. Diese Masken müssen mit lithographischen Methoden, z. B. Photolithographie, hergestellt werden. Zur Herstellung

photolithographischer Masken sind spezielle Chemikalien und zusätzlich Prozessschritte erforderlich. Gleichfalls sind Probleme der Überdeckungsgenauigkeit bei der lithographischen Maskierung großer Flächen bekannt. Weitere Probleme resultieren aus der Justage der Masken, insbesondere, wenn sie zu unterschiedlichen Zeitpunkten im Herstellungsprozess verwendet werden. Mehrfach zu verwendende Masken für Ätzprozesse sind schwierig herstell- und anwendbar.

[0006] Der Materialabtrag bei Plasmaätzprozessen erfolgt hauptsächlich mittels chemischer Reaktionen, die erst die hohen Ätzraten ermöglichen. Daraus ist ersichtlich, dass für spezifische Materialien angepasste Ätzmittel erforderlich sind, die oftmals sehr reaktive, d. h. ggf. auch aggressive Chemikalien beinhalten. Andererseits kann beim Vorhandensein geeigneter Ätzmittel ein sehr sanfter, schädigungsarmer und schichtselektiver Abtrag erzielt werden. Für die Siliziumtechnologie werden oft Plasmaätzprozesse angewandt.

[0007] Das nasschemische Ätzen, bei dem das maskierte Werkstück ganzflächig mit der Ätzlösung in definierter Weise in Kontakt gebracht werden muss, ist ein rein chemisches Ätzverfahren. Die wesentlichen Randbedingungen dieses Verfahrens sind ebenfalls durch geeignete Chemikalien bestimmt, die allerdings gleichfalls sehr aggressiv sein können und sorgfältig nach dem Ätzen entfernt werden müssen. Auch hierbei kann ein schichtselektiver Abtrag möglich sein

[0008] Die Strukturierung von dünnen Schichten durch Ritzen, Fräsen oder ähnlichen Verfahren erfordert die Anwendung von kleinsten mechanischen Werkzeugen, mit denen tiefengenau Schichten oder Schichtpakete abgetragen werden müssen. Der eigentliche Abtragsprozess ist mechanischer Natur und kann unterschiedlich ausgeformt sein, beispielsweise Spanen beim Fräsen und Spannungen beim Ritzen. In jedem Fall müssen die mechanischen Spannungen von benachbarten Schichten und dem Substrat aufgenommen werden.

[0009] Zum Abtrag bzw. zur Strukturierung dünner Schichten ist Energie erforderlich, die auch durch Laserstrahlungsabsorption beigebracht werden kann. Die Energieabsorption bei Laserbestrahlung kann über unterschiedliche Prozesse erfolgen; so ist die Energieaufnahme von Metallen primär an die Absorption an freie Elektronen gekoppelt. In der

Folge von Relaxationsprozessen können weitere Vorgänge angeregt werden, zu denen die Wärmeleitung ins Material, Phasenübergänge wie Schmelzbildung, Strukturveränderungen, Verdampfen, Plasmabildung und mechanische Wirkungen, beispielsweise Schockwellen, gehören. Die Absorption von Laserstrahlung kann also zu einer Reihe von Primär- und Sekundärprozessen führen, die letztlich in einem Materialabtrag münden können.

[0010] Allerdings kann die Energiedeponierung unterschiedliche physikalische und/oder chemische Prozesse anregen, die auch zu einer Schädigung des verbleibenden oder umliegenden Materials führen können. Beispiel hierfür sind Schmelzprozesse, die zu einer Vermischung von Schichten und damit zur Zerstörung der schichtungsspezifischen Funktionalität führen können.

[0011] Die Übertragung der von Elektronen absorbierten Energie auf ein Gitter erfolgt im Bereich einiger Pikosekunden, so dass bei ultrakurzen Laserpulsen der Materialabtrag erst nach dem Puls erfolgt. Trotzdem wird auch bei diesen Lasertypen das Material erwärmt, auch wenn die erforderlichen Energiedichten zum Abtrag im Vergleich zu längeren Pulsen geringer sind. Diese Diskrepanz ergibt sich aus dem Fakt, dass die Wärmeleitung beim Abtrag mit ultrakurzen Laserpulsen weitgehend zu vernachlässigen ist. Andererseits wird die Verteilung der absorbierten Laserenergie durch die Absorption im Materialsystem bestimmt, die wiederum durch lineare und nichtlineare Prozesse bei der Bestrahlung des Materialsystems durch (ultra)kurze Laserpulse ausgelöst werden. Aufgrund der hohen Photonendichten, die beim Einsatz sehr kurzer Pulse erzeugt werden können, kommt es zu einem schnellen Abtrag des Materials, so dass kein oder nur ein geringer Wärmeeintrag in das verbleibende Material erfolgt und nur eine geringe thermisch geschädigte Randzone entsteht; die thermische Diffusionslänge, bezogen auf die Laserpulsdauer, ist klein gegenüber der Laserabtragstiefe. Trotzdem kann auch bei diesen Lasertypen die eingebrachte Energie zu Phasenwandlungen o. ä. führen und damit die Gefahr der Dünnschichtbeschädigung hervorrufen.

[0012] Der durch Laserbestrahlung hervorgerufene Abtrag wird oft durch physikalische Prozesse, die unter dem Begriff Ablation zusammengefasst werden, hervorgerufen, die zur Strukturierung von dünnen Schichten oder Oberflächen genutzt werden können. Für technische Prozesse wird oftmals gepulste Laserstrahlung mit einer Länge der Laser-

strahlungspulse im Bereich von Nanosekunden angewendet. Diese Nanosekundenlaser zeichnen sich durch geringe Kosten und gute Nutzungseigenschafen aus und sind für verschiedene Strahlungs- und Leistungsparameter verfügbar.

[0013] Es ist bekannt, dass Polymere (z. B. Polyimid) mit Hilfe von Licht oder Lasern abgetragen werden können. Bei der Bestrahlung von Polymeren durch gepulste Lichtquellen, z. B. Laser, wird der Materialabtrag oft durch den Begriff der Ablation – Laserablation – bezeichnet. Als Laserquellen werden in der Regel gepulste Laser mit Pulslängen kürzer als 1 µs und einer Wellenlänge, die von dem Material absorbiert wird, und sowohl im infraroten, sichtbaren oder auch ultravioletten Spektralbereich liegen kann (z. B. Excimerlaser und frequenzvervielfachte Nd:YAG-Laser), verwendet. Üblicherweise muss eine Schwellenergiedichte überschritten werden, um einen merklichen Materialabtrag zu erreichen. Mit zunehmender Energiedichte nimmt die Höhe des Materialabtrags zu. Durch die höhere eingebrachte Energie und den dadurch verstärkten Materialabtrag ist auch mit stärkeren sekundären Wirkungen zu rechnen. Die Abtragstiefe pro Laserimpuls, d. h. die Ablationstiefe, hängt auch vom Material ab und wird vor allem durch die Eindringtiefe der Photonen im zu bearbeitenden Material bestimmt. Der Polymerabtrag durch Laserablation erfordert also eine Strahlungsabsorption im Material durch lineare oder nichtlineare Prozesse.

[0014] Die sehr schnell verlaufenden Prozesse bei der Laserabsorption, wie zum Beispiel die Materialerwärmung im Nanosekundenbereich, haben eine Reihe sekundärer Vorgänge zur Folge. So werden zum Beispiel Wärmewellen, Schockwellen und akustische Wellen ausgelöst. Diese breiten sich in den Materialien aus und können zusätzliche Folgen auch in Materialbereichen haben, die nicht direkt durch den Laser bestrahlt werden. Beispiele, die die technische Nutzung von sekundären Wirkungen der Laserstrahlung haben, sind das Laserschockhärten und das Lasermikroskalpell in der Augenheilkunde.

[0015] Üblicherweise werden die Methoden, die den Schichtabtrag zur Folge haben, auf der Schichtseite angewandt, d. h. Ätzmittel, mechanisches Werkzeug oder Laserstrahl. Der Schichtabtrag mit dem Ziel, die besagten Schichten abzutragen, zu strukturieren und so mit den notwendigen Mustern zu versehen, ist also die primäre Wirkung und unmittelbare Folge der Anwendung der besagten Werkzeuge.

[0016] Die bekannten Verfahrensweisen haben jeweils spezifische Nachteile, die technischer, funktioneller oder ökonomischer Natur sein können, wie die folgenden ausgewählten Beispiele belegen. Im Falle des mechanischen Abtrags können auch benachbarte Schichten beschädigt werden, die eigentlich intakt bleiben sollen. Die Kontrolle über die Abtragstiefe ist schwierig und kaum im Sinne des selektiven Abtrags von dünnen Schichten zu realisieren.

[0017] Der Schichtabtrag durch Plasmaätzen ist durch die chemische Reaktion des aktivierten Ätzgases mit den Schichten charakterisiert und erfordert im Regelfall eine photolithographische Maskierung. Darüber hinaus muss - für dieses Verfahren erschwerend - berücksichtigt werden, dass bei Multischichtsystemen die Ätzprozesse unterschiedlicher Art sind und so unterschiedliche Chemikalien und Prozessparameter angewendet werden müssen. Nicht für jedes Material stehen technisch handhabbare Plasmaätzprozesse zur Verfügung. Weiterhin ist die Frage der Umweltverträglichkeit und der Kosten durch die Chemikalien ein mögliches Nutzungshindernis. Obwohl die Nutzung von flächigen, nichtlokalen Abtrags-verfahren Vorteile bietet, ist die vorhergehende Maskierung durch Photolithographie aufwendig.

[0018] Der Abtrag von Schichten mit Laserstrahlen hat den Nachteil, dass die verbleibenden Schichten miteinander verschmelzen können und für den eigentlichen Zweck unbrauchbar werden. Andere thermisch verursachte Wirkungen können ebenfalls die Anwendung einschränken. Darüber hinaus kann die Abtragsgeschwindigkeit nicht beliebig durch Skalierung der Laserbestrahlungsparameter (z. B. Leistung etc.) gesteigert werden, da thermische Akkumulationseffekte wirksam werden können, die nachteilige Folgen verursachen.

[0019] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren und eine Anordnung anzugeben, bei deren Anwendung die geschilderten Nachteile vermieden werden können. Insbesondere soll die Funktionsfähigkeit der Schichten nach der Strukturierung speziell im Bereich der Strukturierung erhalten bleiben, wenn einzelne Schichten oder Teile des Schichtenpakets abgetragen werden. Darüber hinaus kann in bestimmten Fällen eine ökonomischere Strukturierung erreicht werden und es können auch dann Strukturen hergestellt werden, wenn die Schichten nicht mehr in geeigneter Weise für

das Werkzeug zugänglich sind, was beispielsweise im Zuge der Weiterverarbeitung vorkommen kann.

[0020] Der Erfindung liegt die Erkenntnis zugrunde, dass der Abtrag dünner Schichten, wie sie unter anderem in CIGS-Dünnschichtsolarzellen vorhanden und in Abbildung 1 dargestellt sind, dann selektiv und schonend vorgenommen werden kann, wenn Laserstrahlen kurzzeitig mit definierten Parametern (E, $t_{puls,}$ λ usw.) auf die gegenüber der Beschichtung (Schicht oder Schichtsystem) liegenden Seite des Schichtträgers der Beschichtung angewandt werden. Die Absorption der Laserstrahlung soll dabei bevorzugt im Bereich der Oberfläche des Substratträgers oder davor erfolgen. Ein unmittelbarer Materialabtrag durch die Laserbestrahlung im Bereich der Rückseite oder an anderer Stelle der Anordnung, im Bereich des Schichtträgers und jedoch nicht des Schichtsystems, kann zur Erzielung des Abtrags der dünnen Schichten, also beispielsweise zur Solarzellenstrukturierung, erforderlich sein. Das Verfahren ist schematisch in Abbildung 2 dargestellt. Die Hauptschritte des Verfahrens sind die Laserbestrahlung der gegenüber der oder den Schichten liegenden Seite des Schichtträgers (1) mit kurzer Dauer, wobei eine starke Absorption eine überwiegend oberflächennahe Absorption zur Folge hat, sowie die Energiewandlung der eingestrahlten Laserenergie in andere Energieformen, wie beispielsweise mechanische Energie, wobei die gewandelte Energie nachfolgend den Schichtträger in Richtung der Schicht oder des Schichtsystems durchläuft

[0021] Die kurzzeitige Einwirkung der Laserstrahlung kann dadurch erreicht werden, dass der Laserstrahl selbst eine begrenzte zeitliche Dauer, die durch die Pulsdauer bestimmt ist, aufweist oder durch schnelle Bewegung des Laserstrahls über das Werkstück nur eine begrenzte Bestrahlungsdauer erzielt wird.

[0022] Die Wellenlänge der Laserstrahlung ist so zu wählen, dass eine sehr intensive Wechselwirkung in einem örtlich begrenzten Bereich des Schichtträgers oder in angebrachten Hilfsmaterialien (z. B. einer Hilfsschicht oder Hilfsfolie) erreicht wird. Dies wird insbesondere dann erreicht, wenn die Eigenschaften der Laserstrahlung gut den Absorptionseigenschaften des Schichtträgers angepasst sind.

[0023] Eine primäre Erwärmung der dünnen Schichten durch den Laserpuls wird erfindungsgemäß weitgehend vermieden, indem der Laserstrahl bevorzugt im Substratbereich, noch bevor er auf die Schichten auftreffen kann, absorbiert wird. Bei hochrepetierenden Lasern kann zwar eine thermische Aufheizung im Substratbereich erfolgen, jedoch vermindern die schlechte thermische Leitfähigkeit des oftmals elektrisch und damit auch thermisch isolierenden Schichtträgers die zu erwartenden negativen Wirkungen auf die Schichten.

[0024] Die Energie zur Schichtstrukturierung wird hauptsächlich durch sekundäre Prozesse geliefert. Diese können Druckwellen, mechanische Spannungen, Verformungen, Dehnungen oder ähnliches umfassen. Die Wirkung dieser sekundären Prozesse, die bei der Laserbestrahlung auftreten, kann durch geeignete technische Hilfsmittel oder eine geeignete Verfahrensführung beeinflusst und eben auch verstärkt werden.

[0025] Einzelne ausgewählte Stufen des Prozesses der Vorderseitenschicht-/materialstrukturierung durch Rückseitenablation sind schematisch in Abbildung 2 am Beispiel der selektiven Entfernung des CIGS-Absorberschichtsystems (8) von der Molybdänschicht (2) dargestellt. Nach Bestrahlung der Rückseite des Dünnschichtträgers mit einem gepulsten Laserstrahl (10) wird, wie in I) dargestellt, der Laserstrahl im Bereich der rückseitigen Schichtträgeroberfläche absorbiert. Hierdurch wird ein Laserablationsprozess ausgelöst, wodurch Energiewellen entstehen, die sich, ausgehend von dem bestrahlten Bereich, durch das Substrat in Richtung der dünnen Schichten bewegen. Diese Energiewellen können die bereits angesprochenen physikalischen Effekte, z. B. Schockwellen, einzeln oder in Kombination umfassen. Die dünnen Schichten werden durch die Energiewellen erfasst (siehe III), und durch Wechselwirkung mit dem Schichtsystem kommt es zum Abtrag im Wechselwirkungsbereich.

[0026] Der Schichtabtrag als Ergebnis der rückseitigen Bestrahlung ist in der rasterelektronenmikroskopischen (REM) Abbildung 3 am Beispiel der Strukturierung einer CIGS-Dünnschichtsolarzelle auf Polyimidfolienträger abgebildet. Auffallend ist die steile Strukturkante des CIGS-Absorberschichtpakets - bestehend aus (3), (4) und (5), die zusammen das aktive Schichtgebiet (8) bilden, die glatte Molybdänschichtoberfläche (2) und der leicht wellige Rand der Strukturierungskante (23). Diese Charakteristika sind Besonderheiten des Prozesses und werden in dieser Form nicht beim Vorderseitenrit-

zen durch direkte Bestrahlung des Dünnschichtsystems oder dünner Schichten beobachtet.

[0027] Die sekundären Wechselwirkungen aufgrund der Absorption und dem Materialabtrag durch die Laserbestrahlung, können auch dadurch beeinflusst werden, dass Hilfsstoffe an der Rückseite des Schichtträgers angebracht werden. Diese Hilfsstoffe können bezüglich der Laserstrahlung transparent, teilabsorbierend oder absorbierend sein.

[0028] Bei der Verwendung von transparenten Hilfsstoffen (17 in Abb. 4), die bevorzugt flüssig oder fest sein können, durchdringt der Laserstrahl den Hilfsstoff, wird durch den Schichtträger oder einem auf dem Schichtträger (1) angebrachten weiteren Hilfsstoff absorbiert und bewirkt die Prozesse, die zum Abtrag führen. Der angebrachte Hilfsstoff kann, je nach Ausführungsart, zur Verstärkung dieser Prozesse führen. Eine Ausführungsform ist in prinzipieller, schematischer Form in Abbildung 4 dargestellt. Insbesondere kann Wasser als ein flüssiger, transparenter Hilfsstoff Verwendung finden. Allerdings sind auch Anordnungen von unterschiedlichen transparenten Materialien möglich, wie in Abbildung 5 dargestellt ist. Hier wird ein starres Glas (17a) zusammen mit einem Wasserfilm (17) verwendet, um die zum Schichtabtrag führenden Ablationsprozesse zu verstärken.

[0029] Die zusätzliche Anordnung von absorbierenden Hilfsstoffen (18), in denen die zum Schichtabtrag führenden Prozesse durch die Laserbestrahlung ebenfalls ausgelöst werden können, wird in Abbildung 6 schematisch skizziert. Diese in der absorbierenden Hilfsschicht (18) entstehenden Energiewellen werden zum Schichtträger, beispielsweise durch einen innigen Kontakt, weitergeleitet. Das absorbierende Zusatzmaterial (18) kann fest oder flüssig sein. Im Fall fester absorbierender Hilfsstoffe, beispielsweise Polymerfolien, ist die Kopplung durch einen Flüssigkeitsfilm ähnlich zu Abbildung 5 erreichbar. Gleichfalls ist es möglich, die den Schichtabtrag bewirkenden Prozesse durch mehrere Laserstrahlen zu erreichen, die nicht notwendigerweise die gleichen Eigenschaften haben müssen und auch zeitlich und/oder räumlich versetzt zur Anwendung gebracht werden können.

[0030] Da die Laserstrahlungsabsorption, die den Material- bzw. den Dünnschichtabtrag als Folge eines Laserablationsprozesses im Bereich des Schichtträgers bewirkt und die primäre Ursache des Schichtabtrages ist, im Bereich der Rückseite des Dünnschichtträgers wesentliche Voraussetzung ist, muss entweder die Wellenlänge des Lasers so gewählt werden, dass eine hohe Absorption im Substrat erzielt wird, oder das Substrat oder die Hilfsstoffe können so gewählt werden, dass diese die Laserstrahlung gut absorbieren. Hierbei wird nicht nur das Ziel verfolgt, das Schichtsystem vor direkter Laserstrahleinwirkung zu bewahren, sondern auch die Abtragswirkung durch die geeignete Abstimmung von Laserwellenlänge und Absorber (Substrat oder Hilfsstoff) zu optimieren.

Neben der Wellenlänge können auch die Pulsdauer oder andere Eigenschaften der Laserstrahlung so gewählt werden, dass eine hohe Absorption der Laserstrahlung im Bereich der Schichtträgerrückseite erfolgt.

[0031] In der weiteren Ausgestaltung des Verfahrens können im Zuge der Strukturierung zusätzliche Kräfte und Spannungen (30, 31) eingebracht werden, die vorteilhaft auf den Strukturierungsprozess wirken. Diese Spannungen als Folge von Kräftewirkungen (F) können durch folgende Methoden erzielt werden: (i) seitliche Krafteinwirkung, vertikale und horizontale Kräfte; (ii) statische oder dynamische Felder, darunter vor allem Temperaturfeldverteilungen, Ultraschallfelder, Schwingungen bzw. Vibrationen oder akustische Felder; oder (iii) durch die geometrische Verformung des Werkstücks, beispielsweise Biegung oder Streckung. Ausgewählte Ausführungsbeispiele sind in Abbildung 7 und Abbildung 8 dargestellt.

[0032] Der geformte und ggf. gebündelte Laserstrahl, d. h. der Laserspot, kann über die Rückseite des Werkstücks entsprechend der auf der Schichtseite zu erzeugenden Muster bewegt werden, wobei die Geschwindigkeit, der Pulsüberlapp, die Laserstrahlgröße auf dem Werkstück und weitere Strahleigenschaften wie z. B. die Pulsenergie aufeinander abgestimmt werden.

[0033] Der Laserstrahl muss in geeigneter Weise geformt und bezüglich der Energiedichteverteilung optimiert werden, um die gewünschte Ausbildung der sekundären laserinduzierten Prozesse zu ermöglichen. Insbesondere muss die Form des Laserflecks, d. h. seine Länge und Breite, der erforderlichen Strukturierung angepasst wer-

den, die Intensitätsverteilung verändert, z. B. homogenisiert, werden, wodurch sich ein schnellerer Abtrag und damit eine schnellere Strukturierung erreichen lässt.

[0034] Das Verfahren ist umfassend erprobt und bietet viele Vorteile im Vergleich zu bekannten Verfahrensweisen. Es zeichnet sich vor allem dadurch aus, dass die direkte Bestrahlung des Dünnschichtsystems nicht notwendig ist und dadurch vor allem thermische Wirkungen auf das Dünnschichtsystem im laserbestrahlten Bereich, die zu einer schädlichen Beeinflussung der dünnen Schichten führen können, vermieden werden.

[0035] Vorteilhaft an dieser Erfindung ist weiterhin, dass durch diesen Laserprozess keine Verschmelzungen einzelner Schichten miteinander entstehen, weil der Laserstrahl diese Schichten nicht berührt. Zudem können die Abtragsreste technisch unaufwändig abgesaugt werden und schlagen sich nicht auf der Werkstückoberseite nieder.

[0036] Hierdurch lassen sich für die Strukturierung von CIGS-Dünnschichtsolarzellen beispielsweise Schmelzerscheinungen oder andere thermische Wirkungen, die beim Laserritzen mit kurzen und ultrakurzen Laserpulsen auftreten können, vermeiden und ein ähnlicher Abtrag, wie er vom mechanischen Ritzen bekannt ist, erzielt werden. Deshalb ist auch nicht mit der Ausbildung von anderen, laserinduziert entstehende Phasen zu rechnen.

[0037] Dadurch, dass sekundäre thermische Prozesse zur Strukturerzeugung genutzt werden können, sind die bei direkter Laserbestrahlung auftretenden Erscheinungen von Schichtveränderungen, beispielsweise Schmelzerscheinungen von dünnen Schichten bei CIGS-Dünnschichtsolarzellen – oder Degradationserscheinungen bei Schichten für organische Halbleiter – vermieden, wodurch Vorteile entstehen.

[0038] Weiterhin erfolgt der Materialabtrag nicht durch den sequenziellen Abtrag mit jedem Laserpuls durch die thermische Wirkung, wodurch sich die Materialeigenschaften beim Abtrag eines Schichtsystems nacheinander ändern können und hierdurch die Durchführung eines optimierten Prozesses schwierig oder technisch aufwendig würde, sondern es können die Eigenschaften des Schichtsystems selbst genutzt werden. Hierdurch kann beispielsweise ein selektiver Abtrag erreicht werden, wie er zur Freilegung

von Kontaktöffnungen notwendig ist. Weiterhin sind höhere Strukturierungsgeschwindigkeiten möglich, da die abgetragene Schichtdicke größer der Ablationsrate sein kann, der Laserfokus geeignet geformt werden kann und thermische Akkumulationen nicht erwartet werden können.

[0039] Bei der Strukturierung von Schichtpaketen unterschiedlicher Schicht- und Grenzflächeneigenschaften kann die gleichzeitige Ausbildung mehrerer Ritzgräben beobachtet werden (Abbildung 10), was Vorteile in der Prozessgeschwindigkeit bietet. Gleichzeitig wird die Lage beider Ritze durch ein und denselben Laserfokus definiert, wodurch ein selbstjustierender Prozess und eine Strukturierung mit hoher Überdeckungsgenauigkeit erreicht werden kann. Dies ist insbesondere dann vorteilhaft, wenn ein absoluter Lagebezug zu anderen Elementen nicht von wesentlicher Bedeutung ist, wenn große Substrate zu strukturieren sind und wenn das Werkstück im Verlaufe des Bearbeitungsprozesses Größen- und Dimensionsänderungen durchlaufen kann.

[0040] Eine Anordnung zur Durchführung des Verfahrens ist in Abbildung 17für die Strukturierung von Dünnschichtsolarzellen auf flexiblen Trägern dargestellt. In der dargestellten Form wird das zu strukturierende Band im Bereich der Laserbestrahlung frei geführt. Hierdurch werden zwei wesentliche Vorteile erzielt: Einerseits wird die Schichtseite mit dem aktiven Dünnschichtsystem nicht durch Reibung mit Komponenten der Anordnung beim Transportprozess beschädigt und andererseits kann das abgetragene Material gut entfernt werden. Insbesondere wird durch die Schwerkraft und durch Luft-/Gasströmungen bewirkt, dass nur wenig oder kein abgetragenes Material auf dem Solarzellenmaterial zurück bleibt.

[0041] Wesentliche Aspekte der vorgestellten technischen Lösung lassen sich wie folgt zusammen fassen. Es handelt sich in einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung um ein Verfahren zum Abtrag von Materialien aus einem Schichtpaket, wobei eine CIGS-Dünnschichtsolarzelle, bestehend aus einem Schichtträger (1), einem Rückkontakt (2), einem CIGS-Absorber (3), einer Cadmiumsulfidschicht (4) und einem Vorderseitenkontakt (5) auf einer zur Bearbeitung des Materials mit Laserstrahlen geeigneten Unterlage fixiert wird, derart fixiertes Material zunächst schichtträgerseitig mit einem Excimer-Laser (10) bestrahlt wird, der eine Wellenlänge von 248 nm - 532 nm und eine Pulsfrequenz von 6 ns bis 25 ns aufweist und mit 5 bis 100 Hz Pulswiederholungsfre-

quenz arbeitet, eine Laserleistung von 100 mW bis 300 mW verwendet wird bei einer Pulsenergie von 20 µJ, wobei der Excimer-Laserstrahl ein durch Projektion einer Maske bestimmtes Gebiet mit gleichmäßiger Energiedichte bestrahlt, wobei diese Fläche zwischen 100 x 100 bis 150 x 150 µm beträgt oder der Laserspot fokussiert wird mit Gaussverteilung d = 5 bis 10 µm und der Laserstrahl mit gleichbleibender Geschwindigkeit zwischen 2500 µm/sec und 7500 µm/sec über das Substrat geführt wird, wobei ein Schichtträger, ein Schichtpaket insgesamt oder Teile desselben abgetragen werden.

[0042] Das bezeichnete Schichtpaket besteht aus TCO, CIGS und MO mit Schichtdicken 200 nm, 1,5 µm und 800 nm, ist auf Polyimidsubstrat, nämlich Kaptonfolie aufgebracht, ein Excimer-Laserstrahl mit einer Wellenlänge von 248 nm und einer Pulsdauer von 25 ns bei einer Pulsfrequenz von 100 Hz wird auf die Substratseite gerichtet und das Substrat mit einer Geschwindigkeit von 2500 µm/sec bewegt, wobei es abgetragen wird unter gleichzeitiger Strukturierung des Schichtpaketes.

(0043] Dabei wird gegebenenfalls eine Maske eingesetzt, zum Beispiel der Abmaße 150 x 150 µm, die Geschwindigkeit des Vorbeiführens am Excimer-Laserstrahl beträgt 3 µm/sec und die CIGS-Schicht wird dabei abgetragen

[0044] Es kann zweckmäßig ein Neodym-YV04-Laser verwendet werden, der einen Laserstrahl der Wellenlänge 532 nm erzeugt, mit einer Pulsationszeit von 6 ns und einer Pulsfrequenz von 5 kHz arbeitet, einer Pulsenergie von 20 µJ und eine Laserleistung von 100 mW bringt, ein Laserspotdurchmesser infolge Gaussverteilung von etwa d =8,2 µm und der mit einer Geschwindigkeit von etwa 7,5 mm/sec über das Substrat geführt wird, wobei Polyimid an der Rückseite ebenso ablatiert wird wie die CIGS-Schicht, die gegenüber der Bestrahlungsstelle von der Molybdänschicht entfernt wird.

[0045] Unter Einsatz eines Nd:YVO4-Lasers der Parameter Wellenlänge 532 nm, Pulsationszeit ca.6 ns, Frequenz ca. 5 kHz bei einer Laserleistung von ca. 300 mW wird.die Molybdänschicht auf Polyimid strukturiert

[0046] In einer weiteren Variante mit den Voraussetzungen und Parametern
a) Schichtpaket, bestehend aus TCO, CIGS und MO mit Schichtdicken 200 nm, 1,5 µm und 800 nm,

b) Polyimidsubstrat Kaptonfolie
wird ein Excimer-Laserstrahl mit einer Wellenlänge von 248 nm und einer Pulsdauer von 25 ns bei einer Pulsfrequenz von 100 Hz auf die Substratseite gerichtet und das Substrat mit einer Geschwindigkeit von 2500 µm/sec bewegt ,wobei es abgetragen wird unter gleichzeitiger Strukturierung des Schichtpaketes, wobei zwei oder mehr Rückseitenablationsgruben (P3) entstehen, gegenüberliegend Laserritzgräben (20), die mit Leitpaste (50) oder mit Isolationspaste (51) verfüllt werden und damit eine Modulverschaltung ermöglicht wird.

[0047] Man kann auch derart vorgehen, dass eine fixierte Dünnschichtsolarzelle mit einem Excimer-Laser mit einer Wellenlänge von 248 nm, einer Pulsdauer von ca. 25 ns und einer Pulswiederholungsfrequenz von 100 Hz, einer Laserspotgröße von 100 x 100 mm bestrahlt wird und mit einer Geschwindigkeit von 2,5 mm/sec über das Polyimidsubstrat geführt wird, wobei die CIGS-Schicht vollständig entfernt wird und die Molybdänschicht unbeeindruckt bleibt.

[0048] Defektstellen können isoliert werden, wenn ein Excimer-Laser mit den Parametern Wellenlänge 248 nm, Pulsdauer ca. 25 ns und Pulswiederholungsfrequenz 100 Hz auf eine Defektstelle gerichtet wird, eine Laserspotgröße entsprechend der Defektstelle eingestellt wird und die Defektstelle mit einem Isolationsgraben (42) isoliert wird.

[0049] Verfahrenserleichternd erfolgt das Fixieren des Schichtträgers mit einer Vakuum-Ansaugvorrichtung und das ablatierte Material wird abgesaugt oder weggeblasen.

Ausführungsbeispiele

Ausführungsbeispiel 1

[0041] Es liegt eine CIGS-Dünnschichtsolarzelle vor. Die Solarzelle hat den in Abbildung 1 dargestellten Aufbau. Die TCO- und intrinsische Zinkoxid-Schichtdicke beträgt ca. 0,5µm, die CIGS-Schichtdicke ca. 2µm und die Molybdänschichtdicke 1µm. Das Solarzellensubstrat ist handelsübliche Kaptonfolie mit einer Dicke von 25 µm, auf die die Schichten aufgebracht sind.

[0042] Die Solarzelle wird auf einem Vakuum-Ansaugtisch in einer handelsüblichen Lasermaterialbearbeitungsanlage fixiert. Die Bestrahlung wird mit folgenden Parametern ausgeführt: Die Wellenlänge und die Pulsdauer des verwendeten Excimerlasers betragen 248 nm bzw. 25 ns. Die Pulswiederholfrequenz beträgt 100 Hz. Der Laserstrahl wird so geformt, dass im bestrahlten Gebiet, das durch Projektion einer rechteckigen Maske mit einem Objektiv bestimmt ist, eine gleichmäßige Energiedichte auftritt. Der Strahl wird mit gleichbleibender Geschwindigkeit über das Substrat geführt. Nun wird ein Laserstrahl auf die Werkstücksunterseite (Substratseite) gerichtet, fokussiert und bei gleichen Laserparametern das Werkstück mit etwa 2,5 mm/s bewegt.

[0052] Nach der Bestrahlung werden zwei Wirkungen festgestellt: (i) Durch den Laserbeschuss des Polyimidsubstrates wird dieses geringfügig abgetragen und (ii) auf der gegenüberliegenden Seite, der beschichteten Seite des Substrats, wird gegenüber dem Bereich der Lasereinwirkung ein Materialabtrag auf der Schichtseite des Werkstücks erzielt. Das Substrat wird auf der laserbestrahlten Rückseite abgetragen. Es werden keine nachteiligen Folgen – mechanische Beeinträchtigungen – des geringfügigen Abtrags beobachtet

[004353] Für den Fall einer CIGS-Dünnschichtsolarzelle, deren Schichtpaket auf ein Substrat aus einer 25 µm dicken Polyimidfolie aufgebracht worden ist, wird der Strahl eines Excimerlasers (t_{Puls} = ~ 25 ns, λ = 248 nm, f = 100 Hz) auf eine Fläche von 150 x 150 µm² bei 3 mm/s gerichtet. Bei geringem Pulsüberlapp von ca. 20 % und einer Laserfluenz von etwa 5 J/cm² erfolgt die Laserbestrahlung der Rückseite des CIGS-Dünnschichtsolarzellensubstrats. Das Ergebnis der Laserbestrahlung und des Substratabtrags ist bei den angegebenen Parametern der Abtrag und die Ablösung der CIGS-Schicht. Das rasterelektronenmikroskopische Abbild der strukturierten Oberfläche ist in Abbildung 3 zu sehen. Die Ritzkante (23) ist nahezu senkrecht und weist keine sichtbaren Spuren von Schmelzen oder anderen Schichtveränderungen auf. Der Verlauf der Ritzkante (23) in Richtung des Ritzens ist nicht vollständig gerade, wie es von der direkten Laserablation bekannt ist, wodurch ebenfalls klar ist, dass es sich um einen bisher nicht bekannten Prozess handelt, der indirekt den Laserablationsprozess, allerdings an der schichtabgewandten Seite des Schichtträgers nutzt, aber der bezweckte Schichtabtrag nicht durch einen Laserablationsabtrag im ursprünglichen Sinne, der aufgrund der direkten Absorption der Laserstrahlung erfolgt, zustande kommt.

[004454] Die Folge der Einzelprozesse, die zum Abtrag der Schichten führen, ist schematisch in Abbildung 2 dargestellt. Die wesentlichen Bestandteile, Anordnungen und Abläufe des Verfahrens sind dargestellt. Das von der Rückseite mit einem Laser (10) bestrahlte Substrat (1) absorbiert Teile der Laserstrahlung oberflächennah. Hierdurch kommt es durch photochemische bzw. photothermische Prozesse zur Ablation eines Materials im Bereich der Schichtträgerrückseite. Dies kann im einfachsten Fall der Schichtträger (1) selbst sein, wie hier dargestellt ist. Durch die Laserablation (11) werden sekundäre Prozesse ausgelöst, die schließlich zum Schichtabtrag führen. Dies können, wie in der Abbildung schematisch dargestellt, Schockwellen sein. Diese Energiewellen (15), z. B. Schockwellen, die einen Teil der Laserenergie tragen, dringen bis zu dem Schichtsystem (8) vor und können bei geeigneter Parameterwahl, ggf. zusammen mit anderen Prozessen, zum Schichtabtrag (16) führen. Hierbei erfolgt der Schichtabtrag bevorzugt an einer Grenzfläche; im Beispiel ist dies die Grenzfläche zwischen der Molybdänschicht des Rückkontaktes (2) und dem CIGS-Absorberschichtsystem (8). Die Eigenschaften der Schichten und der Grenzfläche sind wichtig für die Schichtablösung, so dass durch Einstellung der Eigenschaften von Schicht und Grenzfläche die Schichtstrukturierung (14) beeinflusst werden kann. Durch geeignete Formung und/oder Bewegung des Lasers lassen sich Muster zur Schichtstrukturierung (14) erzeugen.

Ausführungsbeispiel 2

[0055] Gleichartig zum Ausführungsbeispiel 1 wird eine CIGS-Dünnschichtsolarzelle entsprechend dem in Abbildung 1 gekennzeichneten Aufbau zur Strukturierung verwendet. Auch hier soll die CIGS-Schicht mit dem vorgeschlagenen Verfahren zum Laserritzen strukturiert werden, bei dem die CIGS-Schicht lokal und selektiv von der Molybdänschicht entfernt wird. Das technische Vorgehen ist adäquat. Im Ausführungsbeispiel 2 jedoch wird nun ein Neodym:YVO_4-Laser (Neodym-dotiertes Yttrium-Orthovanadat; Nd:YVO_4) mit folgenden Parametern verwendet: $t_{Puls} \sim 6$ ns, $\lambda = 532$ nm und $f = 5$ kHz. Der Laserstrahl, der außerdem eine gaussförmige Energiedichteverteilung besitzt, wird mittels eines Scanners ausgelenkt und hiernach mit einer speziellen Scanneroptik, die eine Brennweite von 50 mm besitzt, fokussiert. Folglich ist auch im Laserfokus, abweichend von Ausführungsbeispiel 1, keine gleichförmige Bestrahlung zu erwarten, sondern eine ebenfalls annähernd gaussförmige Verteilung mit einem Maxi-

mum der Energie im Zentrum des Laserspots, der einen Durchmesser von d ~ 8,2 µm aufweist. Die Laserleistung beträgt etwa 100 mW. Die Pulsenergie des Lasers beträgt etwa 20 µJ. Der Laserstrahl wird auf die Werkstücksunterseite (Substratrückseite) gerichtet und mit gleichbleibender Geschwindigkeit von ca. 7,5 mm/s über das Substrat geführt.

[004556] Auch hier wird die Ablation des Polyimides an der Rückseite und die lokale Schichtentfernung gegenüber der Bestrahlungsstelle beobachtet. Das Ergebnis des Abtrags wurde im Rasterelektronenmikroskop untersucht und ist in Abbildung 9 dargestellt. Man sieht einen Ritzgraben mit unregelmäßig ausgebrochenen Rändern, die ebenfalls keinerlei Schmelzspuren aufweist. In Übereinstimmung mit Ausführungsbeispiel 1 wird auf der Substratrückseite Material abgetragen, wodurch ein Graben gebildet wird. Erkennbar werden jedoch schmalere Ritzgräben – im Beispiel liegen diese im Bereich von 80 µm – erzielt, die offensichtlich auf den geringeren Fokusdurchmesser zurückzuführen sind.

Ausführungsbeispiel 3

[0057] Bei veränderten Strukturierungsparametern wird auch die Strukturierung einer Molybdänschicht auf Polyimid erreicht. In diesem Beispiel wird zur Strukturierung ein Nd:YVO4-Laser (t_{Puls} ~ 6 ns, λ = 532 nm und f = 5 kHz) verwendet. Die Laserleistung wird jedoch auf etwa 300 mW erhöht. Auch hier belegen die rasterelektronenmikroskopischen Abbildungen, dass die Breite der abgetragenen Schicht schwankt, aber keine Schmelzerscheinungen auftreten.

Ausführungsbeispiel 4

[004658] In Weiterführung des Ausführungsbeispiel 2 kann bei veränderten Strukturierungsparametern die gleichzeitige Strukturierung mehrerer Schichten erreicht werden. Die Prozessführung ist gleichartig dem Ausführungsbeispiel 1 und dem Ausführungsbeispiel 2. In diesem Beispiel wird zur Strukturierung ebenfalls ein Neodym:YVO4-Laser (t_{Puls} ~ 6 ns, λ = 532 nm und f = 5 kHz) verwendet. Die Laserleistung beträgt etwa 300 mW. Die weiteren Parameter werden ähnlich dem Ausführungsbeispiel 2 gewählt.

[0059] Die rasterelektronenmikroskopische Abbildung des Laserritzes (20) ist in Abbildung 10 dargestellt. Der Laserritz (20) besteht aus zwei Gräben: der breitere Graben rührt von der Entfernung des CIGS-Schichtsystems (8) her und der zentrale schmalere Graben ist der Ritz in der Molybdänschicht (2). Auch hier ist der Ritzgraben des CIGS-Schichtverbundes (8) mit unregelmäßig ausgebrochenen Rändern (23) zu sehen, die ebenfalls keinerlei Schmelzspuren aufweisen. Trotz der höheren Pulsenergie sind keine Schmelzerscheinungen am Rande der Ritzgräben sowohl für das Molybdän wie auch für das CIGS-Schichtpaket zu beobachten. Vorteilhaft hierbei sind (i) die höhere Effizienz der Strukturierung, da mehrere Schichten gleichzeitig strukturiert werden, (ii) die inhärent erzielte Überdeckungsgenauigkeit im Sinne eines selbstjustierenden Strukturierungsprozesses. In diesem Beispiel sind das die Laserritze (20) in der CIGS-Schicht (8) sowie in der Molybdänschicht (2). Dies bedeutet, dass zwei funktionelle Strukturierungsschritte – technische Vorkehrungen zueinander – ablaufen können, wodurch der Herstellungsprozess einfacher und zuverlässiger wird.

Aus diesem Beispiel lässt sich folgern, dass der Materialabtrag grenzflächenselektiv sein kann und an derjenigen Grenzfläche erfolgt, die die geringste Festigkeit aufweist. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass durch die Erzeugung und Weiterleitung der Sekundärenergie auf der Schichtseite ebenfalls eine spezifische Energiedichteverteilung auftritt, die entsprechende Schichtabtragsgebiete hervorruft. Der schicht-/grenzflächenselektive Abtrag kann die mögliche Kontaktierung der freigelegten Schichten für bestimmte Anwendungen, z. B. Dünnschichtsolarzellen, erleichtern.

Ausführungsbeispiel 5

[004760] Speziell zur Verwendung bei der Herstellung von CIGS-Dünnschichtsolarzellen und Solarmodulen lassen sich diese Strukturierungsvarianten vorteilhaft anwenden. Zur Erläuterung des Beispiels wird auf Abbildung 11 Bezug genommen, in der das Verschaltungsgebiet bei der externen seriellen Verschaltung speziell am Beispiel von CIGS-Solarzellen auf Polyimidfolie als Dünnschichtträgersubstrat (1) dargestellt ist. Von Bedeutung sind die beiden Strukturierungsgräben P3 und P4, die funktionell unterschiedliche Aufgaben bei der Herstellung der Verschaltung haben, aber den selektiven Abtrag von Schichten möglichst ohne Beeinflussung der Unterlage erfordern. In diesem Sinne lässt sich das Verfahren vorteilhaft einsetzen. Die durch die

Rückseitenablations-Vorderseitenstrukturierung hergestellten Ritzgräben werden nachfolgend mit Isolationspaste (51) bzw. Leitkleber (50) verfüllt, um die in Abbildung 11 dargestellte Verschaltung zu erreichen. In der Darstellung ist gleichfalls der Stromweg (100), der sich durch die Laserritze (20) und den Leitkleberauftrag (50) ergibt, eingezeichnet. Die rückseitig im Schichtträger durch den Prozess entstandenen Gruben (24) sind für die beabsichtigte Nutzung als Dünnschichtsolarzelle von untergeordneter Bedeutung.

[0061] Das CIGS-Dünnschichtsolarzellenmaterial wird in einem typischen PVD-Mehrschrittbeschichtungsprozess hergestellt. Es wird – vergleichend zur mechanischen Strukturierung mit einem Nadelwerkzeug – die Rückseitenablations-Vorderseitenstrukturierung zur Herstellung der P3-Gräben angewendet, um so die externe serielle Verschaltung vorzubereiten. Die P4-Strukturierung wird in diesem Beispiel in zwei Schritten erzielt, wobei zunächst eine P3-Strukturierung durch den erfindungsgemäßen Rückseitenlaserablations-Vorderseitendünnschichtstrukturierungsprozess erfolgt und danach die Molybdänschicht mit üblicher Laserablation im Zentrum des P3-Grabens aufgetrennt wird (P4-Ritz in Abbildung 11). Hierdurch wird vermieden, dass durch den verwendeten Nanosekundenlaser nachteilige Effekte durch den Strukturierungsprozess im Schichtstapel entstehen. Nach der Laserstrukturierung werden die entsprechenden Isolations- bzw. Leitpasten mit Dispensern bzw. Siebdruck aufgebracht und anschießend getrocknet. Die gleichartige Verfahrensweise zur Herstellung von CIGS-Minimodulen wird unter Nutzung des mechanischen Ritzens zur Strukturierung ausgeführt. Die Minimodule, die aus je 2 Zellen bestehen, werden danach auf ihre elektrischen Eigenschaften hin charakterisiert und getestet. Im Rahmen der Fehlerspanne ergeben sich keine Unterschiede in der Effizienz der Module im Vergleich zu mechanisch geritzten Modulen.

[004862] Das Ergebnis der Laserstrukturierung zur Vorbereitung der elektrischen Verschaltung mittels Leit-/Isolationspastenauftrag ist in Abbildung 12 dargestellt. Die lichtmikroskopische Abbildung nach den Laserstrukturierungsprozessen zeigt drei parallele Laserritze (20), wobei der mit P4 gekennzeichnete Ritz in diesem Beispiel eine zweifache Strukturierung umfasst. Zunächst wird mit der erfindungsgemäßen Rückseitenlaserablations-Vorderseitendünnschichtstrukturierung das CIGS-Schichtpaket (8)

strukturiert und damit das CIGS-Schichtsystem für alle drei Laserritze gleichartig entfernt. Hierdurch wird die Molybdänschicht des Rückkontaktes (2) freigelegt.

[0063] Danach wird mittels üblicher Laserablation durch die direkte Bestrahlung der Molybdänschicht (2) diese strukturiert. Die typischen Charakteristika der Rückseitenlaserablations-Vorderseitendünnschichtstrukturierung sind auch hier aufzufinden. Hingegen zeigt die Vorderseitenablation die typischen Schmelzerscheinungen und Debrisablagerungen.

[004964] Die gute Steuerbarkeit des Laserstrahles lässt sehr genaue Strukturierungen auch mit geringem Abstand zu, so dass damit in nahezu beliebiger Form Schichten lokal entfernt werden können. Dies eröffnet weitere Gestaltungsmöglichkeiten der integrierten Verschaltung als Kombination von Serien- und Parallelschaltung von Einzelzellsegmenten, die vorteilhafte Modulausführungen ermöglichen.

Ausführungsbeispiel 6

[0065] - Rückkontaktöffnung von Einzelzellen - Auch bei der Fertigung von Dünnschichtsolarzellen aus CIGS-Solarzellenmaterial sind üblicherweise Strukturierungsschritte notwendig. Diese Strukturierungen sind schematisch in Abbildung 13 skizziert. Diese Strukturierungen umfassen zumindest drei Anwendungsziele, nämlich die Trennung des Vorderseitenkontaktes zur elektrischen Isolation des Rückkontaktgebietes mittels Isolationsgrabens (42), die Freilegung des Rückkontaktes (43) zur Kontaktierung der Molybdänschicht für Einzelsolarzellen und die Randisolation (41) der Einzelsolarzelle.

[0066] Eine spezifische Ausführungsform einer CIGS-Solarzelle (40) mit den entsprechenden Öffnungen zur Freilegung des Rückkontaktes (43), zur Trennung des Vorderseitenkontaktes (42) und zur Randisolation (41) ist in Abbildung 13 schematisch dargestellt. Die geometrische Spezifikation der Strukturierungen, d.h. der Ritz für den Isolationsgraben (42) und zur Freilegung des Rückkontaktes (43), können gleichartig ausgeführt werden. Mit dem erfindungsgemäßen Verfahren wird durch die rückseitige Bestrahlung der Solarzelle auf der Schichtseite die CIGS-Schicht von der Molybdänschicht selektiv abgetrennt. Damit lassen sich die Funktionalitäten des Isolationsgrabens (42)

und der Rückkontaktöffnung (43) sicherstellen. Für eine Vielzahl von Anwendungen kann auch der Randisolationsgraben (41) so ausgeführt werden.

[005067] Die Strukturierung der Solarzellen wird folgendermaßen ausgeführt. Fertig prozessiertes CIGS-Dünnschichtsolarzellenmaterial wird in einem Stanzprozess so zurechtgeschnitten, dass die äußere Kontur der Solarzelle entsteht. Beim Stanzen können allerdings Kurzschlüsse im Randbereich entstehen, die die Effizienz der Solarzelle (40) vermindern. Nun wird die Solarzelle in einem Prozess der Beschichtung oder des Druckens mit Kontaktfingern (6) versehen. Dies wird im vorliegenden Fall durch den Auftrag eines Leitklebers erreicht, der gedruckt oder dispenst werden kann. Nach dem Aushärten sind die Kontaktfinger (6) und der Vorderseitenbusbar (44a) auf der Solarzellenoberfläche aufgebracht.

[0068] Nun erfolgt die Laserstrukturierung mit dem erfindungsgemäßen Verfahren der Rückseitenlaserablations-Vorderseitendünnschichtstrukturierung. Hierzu wird die Solarzelle mit der Schichtseite auf einen Vakuumtisch gelegt und mittels einer Membranpumpe angesaugt. Danach werden entsprechend dem Layout der Solarzelle, also beispielsweise einer Minizelle, in Übereinstimmung mit dem Schema in Abbildung 13, die entsprechenden Laserritze eingebracht. Dabei werden folgende Parameter angewandt: Excimerlaser mit einer Wellenlänge von 248 nm, einer Pulsdauer von ca. 25 ns und einer Pulswiederholfrequenz von 100 Hz; einer Laserspotgröße von 100 x 100 µm², der mit einer Geschwindigkeit von 2,5 mm/s über die Rückseite, d. h. das Polyimidsubstrat (1) bewegt wird. Hierdurch wird das CIGS-Schichtsystem (8) vollständig entfernt und dabei die Molybdänschicht (2) weitgehend unbeschädigt belassen.

[00519] Da für diese Anwendungsfälle, in denen ein höherer Strom zu erwarten ist, zur Verminderung des Kontaktwiderstandes größere Gebiete der Molybdänschicht (2) zu kontaktieren sind, muss auch ein größeres Gebiet von dem abgeschiedenen CIGS-Schichtsystem (8) befreit werden. Dies kann dadurch erreicht werden, dass entweder die Laserspotgröße erhöht wird oder ein kleiner Laserstrahlspot beispielsweise mäanderförmig geführt zur Strukturierung angewandt wird. Das lichtmikroskopische Bild in Abbildung 14 zeigt das Ergebnis einer solchen Vorgehensweise in Form einer großen freigelegten Fläche. Die ursprüngliche Strukturierungsbreite ist ebenfalls im Bild zu sehen.

[005270] Danach wird im Bereich der Rückkontaktöffnung ein Leitkleber aufgebracht, der den Rückkontakt elektrisch so kontaktiert, dass die Entnahme des elektrischen Stromes ermöglicht wird.

[0071] Abweichend von dem oben beschriebenen Verfahrensablauf kann die Strukturierung auch vor dem Aufbringen der Kontaktfinger (6) erfolgen. Dann muss das Drucken mit entsprechender Genauigkeit zu den eingebrachten Strukturen erfolgen. Allerdings können dann in einem Arbeitsschritt die Kontaktfinger (6) sowie die Busbars (44) aufgebracht werden. Andere Reihenfolgen der einzelnen Prozessschritte sind auch durchführbar.

[005372] Die Verfahren lassen sich in dieser oder leicht abgewandelter Form bei der Herstellung von CIGS-Dünnschichtsolarzellen und -solarmodulen vorteilhaft anwenden.

Ausführungsbeispiel 7

[0073] Prinzipnachweis der Entfernung von Defekten, die hier durch die unmittelbare Laserbestrahlung des Schichtpaketes mit einem Nanosekundenlaser an definierter Stelle hervorgerufen wurden, durch das Verfahren entsprechend Anspruch 1.

[005474] Dieses Beispiel zielt auf eine punktuelle, lokalisierte Strukturierung von CIGS-Dünnschichtsolarzellen. Beispielsweise kann die Aufgabe eines Strukturierungsprozesses darin bestehen, fehlerhafte Bereiche von großflächig hergestellten Bauteilen zu entfernen oder zu isolieren, so dass deren schädigende Folgen nicht wirksam werden.

[0075] In Bezug zu den mehrfach erwähnten CIGS-Dünnschichtsolarzellen lässt sich mit dem Verfahren lokal das CIGS/TCO-Schichtpaket mit den ggf. darin enthaltenen Fehlern entfernen. Hierdurch wird zwar die effektive Fläche der Solarzelle vermindert, jedoch nur in einem unbedeutenden Maße. Durch die Entfernung der Defekte, die eine

wesentliche, die Effizienz beeinflussende Wirkung haben, wird eine Verbesserung der Solarzelle erreicht.

[005576] Das Vorgehen und die Parameter sind adäquat den vorhergehenden Beispielen. In diesem Beispiel, schematisch dargestellt in Abbildung 16, wird zur Strukturierung ein Excimerlaser (t_{Puls} ~ 25 ns, λ = 248 nm, f = 100 Hz) verwendet. Mittels eines Bewegungssystems wird der Laserspot auf den Defekt gerichtet. Die Größe des bestrahlten Gebietes wird entsprechend der Defektgröße und den optimalen Strukturierungsbedingungen gewählt. Sind größere Defektgebiete zu entfernen, kann dies auf zwei Arten erfolgen: entweder wird die erforderliche Fläche vollständig durch Abrastern mit dem Laserspot entfernt, oder der Defektbereich (60) wird mit einem Isolationsgraben (42) umgeben, der das Defektgebiet von der übrigen Funktionsfläche (Solarzellenabsorberfläche) trennt.

[0077] Am folgenden Beispiel, dass in Abbildung 16 schematisch dargestellt ist, ist die Wirkung und die Effizienz der Verfahrensweise demonstriert. Es wird die Umrandung des Defektes (60) mit einem Isolationsgraben (42) als Methode zur elektrischen Isolation demonstriert. Zunächst wird eine Solarzelle mit einer Einrichtung verbunden, die die Messung der Strom-Spannungs-Kennlinie ermöglicht und es erfolgt die Bestimmung charakteristischer Solarzellenkennwerte. Folgende Kennwerte werden ermittelt: Parallelwiderstand R_p = 4,83 kΩ; Kurzschlusstrom I_{sc} = -0,00779 mA; Leerlaufspannung U_{oc} = 0,0314 V.

[005678] Danach wird mittels Laserstrahlung (10) hoher Leistung ein Defekt (60) in das Solarzellenschichtsystem eingebracht, der an den gemessenen verminderten Leistungsparametern bemessen werden kann. Zu diesem Zweck wird mit dem Excimerlaser von der Schichtseite aus die gesamte Zelle durchbohrt und danach werden die folgenden Kennwerte ermittelt: Parallelwiderstand R_p = 0,5695 kΩ; Kurzschlussstrom I_{sc} = -0.00733 A; Leerlaufspannung U_{oc} = 0 V.

[0079] Nun wird die Solarzelle mit dem erfindungsgemäßen Verfahren so strukturiert, dass um das durch die vorhergegangene Hochleistungslaserbestrahlung (10) erzeugte Defektgebiet (60) ein Isolationsgraben (42) entsteht, der den Vorderseitenkontakt entfernt und so elektrisch trennt, dass über das Defektgebiet kein nachteiliger Stromfluss

mehr möglich ist. Die nun nochmals ausgeführte Messung der elektrischen Kennwerte der CIGS-Solarzelle – es werden folgende Kennwerte ermittelt: Parallelwiderstand R_p = 4,85 kΩ; Kurzschlussstrom I_{sc} = -0,00599 mA; Leerlaufspannung U_{oc} = 0,025 V – ist der Nachweis, dass der – zuvor eingebrachte – Defekt keine Wirkung mehr hat und dass die Solarzelleneffizienz nicht nachteilig im Rahmen der Messbarkeit beeinflusst wird.

[005780] Die Kennwerte sind unter Schwachlichtbedingungen ermittelt. Durch die Flächenverminderung sind die Erhöhung des Parallelwiderstandes und die Verminderung des Kurzschlussstromes zu erklären. Insgesamt wird deutlich, dass trotz Flächenverminderung eine Effizienzverbesserung durch die Defektentfernung eintritt. Eine wesentliche Folge ist, dass die Ausbeute des Gesamtprozesses der Herstellung von Solarzellen deutlich verbessert werden kann.

Ausführungsbeispiel 8

[0081] CIGS-Solarzellenstrukturierung mit ultrakurzen Laserpulsen durch einen dicken Glasträger

[005882] Wie in Ausführungsbeispiel wird eine CIGS-Dünnschichtsolarzelle durch das erfindungsgemäße Verfahren strukturiert. Eine schematische Darstellung der Anordnung und Verfahrensweise dieses Ausführungsbeispiels ist in Abbildung 15 gegeben. Hierzu wird diese mittels einer Klebefolie vollflächig auf einem Glasträger fixiert. Zur Strukturierung wird ein sogenannter Pikosekundenlaser verwendet, der eine Wellenlänge von 1064 nm, eine Pulsdauer von ca. 15 ps und nach Fokussierung mittels einer Scanneroptik einen Fokusdurchmesser von ca. 25 µm aufweist. Das Werkstück wird auf einem Saugtisch so befestigt, dass der Glasträger dem Strahl zugewandt ist und der Strahl nach dem Durchdringen des Trägerglases zunächst auf die Klebefolie und dann auf den Schichtträger trifft.

[0083] Der Laser wird mit einer Pulswiederholrate von 200 kHz betrieben und eine Ausgangsleistung von ca. 1,35 W eingestellt. Zum Zweck der Erzeugung von Ritzen in der CIGS-Schicht wird nun der Laserstrahl mit dem Scanner mit einer Geschwindigkeit von ca. 250 mm/s über die Rückseite geführt.

[005984] Liefert der Laser keine Einzelpulse, wie dies auf die bisherigen Ausführungen zum Anwendungsbeispiel zutrifft, sondern Pulsgruppen mit einem zeitlichen Abstand der Pulse im Bereich von 20 ns, die im Intervall Pulswiederholrate auftreten, kann der beschriebene Strukturierungseffekt bei eine Laserleistung von ca. 1,6 W erreicht werden. Hieraus ist zu schlussfolgern, dass weitere Kombinationen von Laserparametern die Strukturierung in der beschriebenen Form ermöglichen.

[0085] Auch unter den genannten Bedingungen kann ein zusammenhängender Ritz der CIGS-Schicht erreicht werden. Wie in den vorhergehenden Ausführungsbeispielen wird auch auf der Rückseite eine Laserspur beobachtet. Allerdings ist zu bemerken, dass in diesem Fall das abgetragene Material nicht durch die aufgeklebte Glasscheibe entweichen kann, wodurch eine Beeinflussung der ablaufenden Prozesse und eine Veränderung der Verfahrensparameter erwartet werden kann. Der durch die Glasschicht begrenzte Abtransport der abgetragenen Produkte kann zu einer Verstärkung der Energiewandlung führen und damit den Prozess effizienter gestalten.

Aufgrund der Gelegenheit, durch Glas die Strukturierung durchzuführen, ergibt sich die Möglichkeit, bereits montierte Dünnschichtsolarzellen zu strukturieren, örtlich Anpassungen vorzunehmen oder Defektgebiete zu isolieren.

Ausführungsbeispiel 9

[006086] Es liegt eine PEN-Trägerfolie (Polyethylennaphthalat) mit einer Stärke von ca. 100 µm vor, auf welcher eine intrinsische Zinkoxid (i-ZnO)-Schicht mit einer Schichtdicke von 50 nm und auf dieser eine aluminiumdotierte Zinkoxid (Al:ZnO)-Schicht mit einer Schichtdicke von ca. 300 nm abgeschieden wird. Von der PEN-Folie sollen die ZnO-Schichten lokal und selektiv entfernt werden. Dazu wird das erfindungsgemäße Laserverfahren angewandt. Das Materialsystem wird mit der Schichtseite auf einem handelsüblichen Vakuum-Ansaugtisch so fixiert, dass der Schichtträger in Richtung der einfallenden Laserstrahlung weist. Die Bestrahlung der Probe wird mit folgenden Parametern durchgeführt: Die Wellenlänge und die Pulsdauer betragen $\lambda = 248$ nm und $t = 25$ ns. Die Pulswiederholfrequenz beträgt $f = 10$ Hz. Der Laserstrahl wird in der

Art geformt und fokussiert, dass das bestrahlte Gebiet auf der Trägerfolie eine rechteckige Form mit einer Größe von 100 µm x 100 µm hat, in welcher die Energieverteilung gleichförmig ist. Das zu bearbeitende Gebiet wird mit 40 Laserpulsen bestrahlt, welche eine Energiedichte von 10 J/cm² auf der Schichtträgerrückseite verursachen. Nach der Bestrahlung werden folgende Wirkungen festgestellt:

(i) durch die Laserbestrahlung wird die PEN-Folie abgetragen,

(ii) in der PEN-Folie ist eine Verfärbung außerhalb der Bearbeitungsstelle sichtbar und

(iii) die ZnO-Schichten, die sich auf der nichtbestrahlten Seite des Schichtträgers befinden, werden von der PEN-Trägerfolie lokal abgelöst.

Ausführungsbeispiel 10

[006187] Es liegt eine ca. 100 µm dicke PET (Polyethylenterephthalat)-Trägerfolie vor, auf der eine ca. 200 nm dicke ITO-Schicht und darauffolgend 150 nm organisches Halbleitermaterial aufgebracht werden. Mit dem erfindungsgemäßen Verfahren soll die organische Schicht lokal von der PET-Trägerfolie entfernt werden. Dazu wird der Materialverbund auf einem handelsüblichen Vakuum-Tisch fixiert. Die Bestrahlung erfolgt dabei mit einem Excimerlaser bei einer Wellenlänge von $\lambda = 248$ nm und einer Pulsdauer von $t = 25$ ns. Der Laserstrahl ist so geformt, dass der Laserspot auf der PET-Trägerfolie eine homogene Energieverteilung hat und die Spotgröße 100 µm x 100 µm ist. Mit einer Pulsfolgefrequenz von $f = 10$ Hz und einer Energiedichte von $F = 10$ J/cm² wird ein Punkt der PET-Trägerfolie mit 80 Laserpulsen bestrahlt. Als Ergebnis der Vorgehensweise kann beobachtet werden, dass die organischen Schichten, welche zusammen mit der ITO-Schicht auf der der laserbestrahlten Seite der PET-Trägerfolien gegenüberliegen Oberfläche aufgebracht wurden, entfernt werden. Zusätzlich kann ein Abtrag der PET-Trägerfolie beobachtet werden.

Ausführungsbeispiel 11 (3)

Gleichartig zum Ausführungsbeispiel 1 wird eine CIGS-Dünnschichtsolarzelle entsprechend dem in Abbildung 1 gekennzeichneten Aufbau zur Strukturierung verwendet.

Auch hier soll die CIGS-Schicht mit dem vorgeschlagenen Verfahren zum Laserritzen strukturiert werden, bei dem die CIGS-Schicht lokal und selektiv von der Molybdänschicht entfernt wird. Das technische Vorgehen ist adäquat. Im Ausführungsbeispiel 11 jedoch wird nun ein Excimerlaser mit folgenden Parametern verwendet: t_{Puls} ~ 14 ns, λ = 193 nm und f = 80 Hz.

Ausführungsbeispiel 12

Gleichartig zum Ausführungsbeispiel 11 wird eine CIGS-Dünnschichtsolarzelle entsprechend dem in Abbildung 1 gekennzeichneten Aufbau zur Strukturierung verwendet. Die CIGS- und Molybdänschichtdicke betragen hierbei jedoch jeweils ca. 3µm. Auch hier soll die CIGS-Schicht mit dem vorgeschlagenen Verfahren zum Laserritzen strukturiert werden, bei dem die CIGS-Schicht lokal und selektiv von der Molybdänschicht entfernt wird. Das technische Vorgehen ist adäquat. Es wird der selbe Laser wie in Ausführungsbeispiel 11 verwendet.

Ausführungsbeispiel 13

Gleichartig zum Ausführungsbeispiel 1 wird eine CIGS-Dünnschichtsolarzelle entsprechend dem in Abbildung 1 gekennzeichneten Aufbau zur Strukturierung verwendet. Auch hier soll die CIGS-Schicht mit dem vorgeschlagenen Verfahren zum Laserritzen strukturiert werden, bei dem die CIGS-Schicht lokal und selektiv von der Molybdänschicht entfernt wird. Das technische Vorgehen ist adäquat. Im Ausführungsbeispiel 13 jedoch wird nun ein Excimerlaser mit folgenden Parametern verwendet: t_{Puls} ~ 15 ns, λ = 249 nm und f = 100 Hz.

Ausführungsbeispiel 14

Gleichartig zum Ausführungsbeispiel 1 wird eine CIGS-Dünnschichtsolarzelle entsprechend dem in Abbildung 1 gekennzeichneten Aufbau zur Strukturierung verwendet. Auch hier soll die CIGS-Schicht mit dem vorgeschlagenen Verfahren zum Laserritzen strukturiert werden, bei dem die CIGS-Schicht lokal und selektiv von der Molybdänschicht entfernt wird. Das technische Vorgehen ist adäquat. Im Ausführungsbeispiel 14

jedoch wird nun ein Excimerlaser mit folgenden Parametern verwendet: t_{Puls} ~ 14 ns, λ = 351 nm und f = 100 Hz.

Ausführungsbeispiel 15

Gleichartig zum Ausführungsbeispiel 14 wird eine CIGS-Dünnschichtsolarzelle entsprechend dem in Abbildung 1 gekennzeichneten Aufbau zur Strukturierung verwendet. Die CIGS- und Molybdänschichtdicke betragen hierbei jeweils ca. 3µm. Auch hier soll die CIGS-Schicht mit dem vorgeschlagenen Verfahren zum Laserritzen strukturiert werden, bei dem die CIGS-Schicht lokal und selektiv von der Molybdänschicht entfernt wird. Das technische Vorgehen ist adäquat. Es wird er selbe Laser wie in Ausführungsbeispiel 14 verwendet.

Ausführungsbeispiel 16

Gleichartig zum Ausführungsbeispiel 1 wird eine CIGS-Dünnschichtsolarzelle entsprechend dem in Abbildung 1 gekennzeichneten Aufbau zur Strukturierung verwendet. Allerdings beträgt die Stärke der Kaptonfolie hierbei 50µm. Auch hier soll die CIGS-Schicht mit dem vorgeschlagenen Verfahren zum Laserritzen strukturiert werden, bei dem die CIGS-Schicht lokal und selektiv von der Molybdänschicht entfernt wird. Das technische Vorgehen ist adäquat. Es wird der selbe Laser wie in Ausführungsbeispiel 1 verwendet.

Legenden zu den Abbildungen

Abbildung 1: Schematische Darstellung des Querschnitts einer CIGS-Dünnschichtsolarzelle auf Polyimid.

Abbildung 2: Ausgewählte einzelne Stufen des Prozesses der Vorderseitenschicht-/materialstrukturierung durch Rückseitenablation sind schematisch am Beispiel der selektiven Entfernung des CIGS-Absorberschichtsystems (8) von der Molybdänschicht dargestellt. Die vier Schritte des Prozesses sind: I) die Bestrahlung der Rückseite mit einem gepulsten Laser, II) der Abtrag von Material an oder nahe der Rückseite des Dünnschichtträgers mit der Bildung von Energiewellen, z. B. Schockwellen, III) und IV) Wechselwirkung der Energiewellen (15) mit dem Schichtsystem (8), das zum Abtrag (14) im Wechselwirkungsbereich führt.

Abbildung 3: Rasterelektronenmikroskopische Abbildung der Kante (23) einer strukturierten bzw. geritzten CIGS-Dünnschichtsolarzelle, bei der das CIGS-Schichtsystem (3, 4 und 5 bzw. 8) vom Molybdänrückkontakt (2) durch die Bestrahlung mit einem Excimerlaser entfernt wurde.

Abbildung 4: Schematische Abbildung der Anordnung zum Prozess der Dünnschichtstrukturierung durch Rückseitenablation mit einem transparenten flüssigen Material (17), das mit der Rückseite des Dünnschichtträgers in Kontakt ist.

Abbildung 5: Schematische Abbildung der Anordnung zum Prozess der Dünnschichtstrukturierung durch Rückseitenablation mit einem Aufbau von mehreren transparenten Materialien, die mit der Rückseite des Dünnschichtträgers in Kontakt sind. Das Beispiel zeigt die gleichzeitige Verwendung von Wasser (17) und Glas (17a).

Abbildung 6: Beispielhafte, schematische Abbildung der Anordnung eines Hilfsabsorbers (18) für den Prozess der Dünnschichtstrukturierung durch Rückseitenablation. Das zusätzliche Absorbermaterial wird im Bereich der Rückseite des Schichtträgers (1) angebracht und mit dem Schichtträger geeignet gekoppelt.

Abbildung 7: Schematische Abbildung der Anordnung zum Prozess der Dünnschichtstrukturierung durch Rückseitenablation mit zusätzlicher Einleitung von Kräften oder Kraftwirkungen (F). Beispielhaft ist die einfache Streckung des Schichtträgers durch laterale Kräfte skizziert.

Abbildung 8: Schematische Abbildung der Anordnung zum Prozess der Dünnschichtstrukturierung durch Rückseitenablation mit zusätzlicher Auslösung von Kräften (30) oder Kraftwirkungen (F). Beispielhaft ist die Biegung eines flexiblen Schichtträgers skizziert, wodurch Schichtspannungen hervorgerufen werden können. Sowohl konkave wie auch konvexe Wölbungen (31) sind möglich.

Abbildung 9: Rasterelektronenmikroskopische Abbildung eines Strukturierungsgrabens, der mit dem erfindungsgemäßen Verfahren erzielt wurde. Durch die Bestrahlung mit einem Nd:YAG-Laser (t_{Puls} ~ 6 ns, λ = 532 nm) wurde das CIGS-Absorberschichtsystem (8 bestehend aus 3, 4 und 5) vom Molybdänrückkontakt (2) entfernt. Der so hergestellte Ritz kann zur Strukturierung einer Solarzelle genutzt werden.

Abbildung 10: Rasterelektronenmikroskopische Abbildung eines Laserritzes (20) in eine Solarzelle, bei dem neben dem CIGS-Absorberschichtsystem (8 bestehend aus 3, 4 und 5) auch die Molybdänschicht (2) im Zentrum unter Anwendung von Nd:YAG-Laserpulsen entfernt wurde.

Abbildung 11: Schematische Darstellung des Gebietes der Verschaltung bei der externen seriellen Verschaltung von CIGS-Solarzellensegmenten auf einem gemeinsamen Folienträger (1) mit dem Molybdän-Rückkontakt (2), dem Schichtpaket (8), bestehend aus dem CIGS-Absorber (3), Cadmiumsulfid (4) und dem TCO-Vorderseitenkontakt (5), den Laserritzen (20), die mit Leitpaste (50) bzw. Isolationspaste (51) verfüllt wurden, sowie die mit den Ritzschritten P3 und P4 erzeugten Rückseitenablationsgruben (24). Der Stromfluss (100) innerhalb des Solarzellensegments ist durch Pfeile gekennzeichnet.

Abbildung 12: Mikroskopische Abbildung des Verschaltungsgebietes zur Durchführung der externen seriellen Verschaltung von CIGS-Solarzellensegmenten durch Rückseitenablations-Vorderseitenstrukturierung und Leitpastenauftrag. Die Abbildung zeigt den

Zustand nach dem kompletten Dünnschichtabscheideprozess und dem Laserritzen. Insbesondere sind die mit P3 und P4 gekennzeichneten Laserritze (20) zu sehen. Hierbei wurde zunächst für alle drei Ritze der Rückseitenablations-Vorderseitenstrukturierungsprozess angewandt und danach die Molybdänschicht (2) in dem mit P4 gekennzeichneten Ritz mittels üblicher (Vorderseiten-) Laserablation im Zentrum des freigelegten CIGS-Schichtstapels (8) entfernt, um so die erforderliche Durchtrennung der Molybdänschicht (2) zu erzielen, wobei der Schichtträger (1) – hier Polyimid – freigelegt wird, dabei aber die CIGS-Schicht nicht zu schädigen, weil sonst parasitäre Widerstände auftreten, die zur Verminderung der Zelleffizienz führen.

Abbildung 13: Schematische Darstellung einer Ausführungsform von CIGS-Dünnschichtsolarzellen in Draufsicht, von der Beschichtungsseite aus, gesehen. Durch die Herstellung von weiteren Funktionselementen wird aus dem CIGS-Dünnschichtmaterial eine Solarzelle (40). Wesentliche Funktionsstrukturen sind: die Kontaktfinger (6), die Busbars für den Vorderseiten- (44a) und den Rückkontakt (44b), Isolationsritz (42) zur Trennung des Frontkontaktes und die Randisolation (41). Durch die Rückseitenablations-Vorderseitenstrukturierung können in CIGS-Dünnschichtsolarzellen die Strukturierungsaufgaben Isolationsgraben (42), die Freilegung des Rückkontaktes (43) sowie eine Kantenisolation (41) gelöst werden..

Abbildung 14: Mikroskopische Abbildung einer freigelegten Molybdänschicht (2), bei der durch das Verfahren der Rückseitenablations-Vorderseitenstrukturierung das CIGS-Schichtsystem (8) entfernt und durch die mehrfache Strukturierung benachbarter Gebiete eine zusammenhängende Fläche strukturiert wurde, die größer als der Laserfokusfleck ist.

Abbildung 15: Schematische Darstellung zur Nutzung des Verfahrens nach Montage von Halbprodukten im Verlaufe des weiteren Fertigungsprozesses. Hier bezieht sich das Beispiel auf Anwendung des erfindungsgemäßen Verfahrens bei der Modulfertigung, in dessen Rahmen die Dünnschichtsolarzellen beispielsweise auf Glas montiert werden. Die Montage kann beispielsweise durch eine dünne Kleberschicht (19) auf dem Trägerglas (17a) erfolgen, wie die Abbildung zeigt. Die Bestrahlung der Dünnschichtsolarzelle (9), bestehend aus der Trägerfolie (1) dem Molybdän-Rückkkontakt (2) und dem, bereits bekannten Schichtpaket (8) mit einem geeigneten Laserstrahl (10) in der

erfindungsgemäßen Form, ist wie dargestellt möglich. Die Kleberschicht (19) kann zusammen mit dem Trägerglas (17a) zur Verstärkung der Energiewandlung und damit zu einer besseren, effizienteren Strukturierung führen.

Abbildung 16: Schematische Darstellung zur Defektentfernung durch Anwendung der Rückseitenablations-Vorderseitenstrukturierung. Zur Demonstration der Wirksamkeit wird der schematisch dargestellte Ablauf überprüft. Eine CIGS-Minisolarzelle entsprechend Abbildung 13 – dargestellt in I) – wird, wie in II) zu sehen, mit einer hochenergetischen Laserpulsbestrahlung (10) mit einem Defekt (60) versehen. Durch das erfindungsgemäße Verfahren wird dieser Defekt (60) mit einem Isolationsgraben (42) umrandet – dies ist in III) zu sehen – und so elektrisch von dem intakten Solarzellengebieten isoliert, so dass kein Stromfluss mehr möglich ist. Der vergleichende Nachweis der Leistungsparameter Solarzelle entsprechend IV) ergibt, dass die durch den eingebrachten Defekt (60) verminderten Leistungsparameter fast vollständig durch den den Defekt umrandenden Isolationsgraben (42) beseitigt wird.

Abbildung 17: Schema zur Durchführung eines Prozesses der Laserstrukturierung zur Herstellung von Ritzgräben, Isolationsgräben, Freilegungsflächen oder Randisolationen mittels des erfindungsgemäßen Verfahrens.

Liste der Bezeichner und Abkürzungen

1	Solarzellensubstrat, Schichtträger	z.B. Polyimid
2	Rückkontakt	z.B. Molybdän
3	CIGS-Absorber	
4	Cadmiumsulfid	
5	Vorderseitenkontakt	z.B. TCO
6	Kontaktfinger	
8	Schichtpaket, bestehend aus CIGS- + CdS- + TCO-Schichten	
9	CIGS-Solarzelle	
10	Laserstrahl	
11	Laserablation	
12	Laserstrahlabsorption	
13	rückseitige Ablation; Rückseitenablation	
14	Schichtstrukturierung	
15	Energiewellen	
16	entfernte Schichtbestandteile	
17	transparenter Hilfsstoff	
17a	transparenter Hilfsstoff, hier Glasträger für Solarzellen	
18	zusätzliches Absorbermaterial	
19	Hilfsstoff, z. B. Kleber zum Fixieren von Solarzellen	
20	Laserritz	
23	Strukturierungskante,	z.B. Kante in CIGS-Absorber-, CsS- und TCO-Schicht
24	Rückseitenablationsgrube	
30	Kraft	

31 Biegung

40 Solarzelle
41 Randisolationsgraben
42 Isolationsgraben
43 Rückkontaktöffnung
44 Busbar
44a Busbar Vorderseitenkontakt
44b Busbar Rückseitenkontakt

50 Leitpaste
51 Isolationspaste

60 Defekt, laserinduzierter Defekt

100 Stromfluss

Patentansprüche

1. Selektives Abtragen dünner Schichten zur Dünnschichtsolarzellenstrukturierung, wobei eine kurzzeitige Laserbestrahlung von der schichtabgewandten Seite auf die Rückseite eines Schichtträgers angewandt wird, die Laserstrahlung im Bereich der Rückseite des Schichtträgers direkt oder durch einen Hilfsstoff überwiegend absorbiert wird, durch die Laserbestrahlung auch im Bereich der Rückseite des Schichtträgers ein Materialabtrag durch die Laserbestrahlung auftritt, die absorbierte Laserenergie zu Teilen durch den Schichtträger zu der Schicht oder den Schichten geleitet wird und die weitergeleitete Energie nichtelektromagnetischer Art den Abtrag der Schicht oder der Schichten bewirkt.

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei eine Schicht oder ein Schichtpaket, das aus einem Halbleitermaterial, einem Dielektrikum oder einen Metall bestehen kann, auf einem Schichtträger mit einer Dicke im Bereich von 10 µm bis 2 mm aufgebracht sind.

3. Verfahren nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche, wobei eine Schicht oder ein Schichtpaket einen organischen oder anorganischen Halbleiter umfasst, dabei das Halbleitermaterial ein organischer Halbleiter sein kann, wie sie in organischen Leuchtdioden, organischen Solarzellen oder der Plastikelektronik Verwendung finden, ein transparentes leitfähiges Oxid oder ein elementarer, binärer, ternärer oder quaternärer Halbleiter, wie CIGS, CIS, CISe, InAs oder GaAlAs, ist.

4. Verfahren nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Gesamtdicke der Schicht oder des Schichtpaketes, das mit der rückseitigen Bestrahlung des Sichtträgers abgetragen wird, kleiner als 10 µm ist, dass ein schichtselektiver Abtrag dadurch erreicht wird, dass die mechanische Festigkeit der Schichtübergänge so eingestellt wird, dass diese entsprechend niedriger als die Festigkeit der Schicht oder Schichten ist, dass die Gesamtdicke des Abtrags dadurch eingestellt wird, dass dort die Haftung in der Schicht oder in dem Schichtsystem am geringsten ist, dass der Schichtträger entweder eine Polymerfolie aus Polyimid (PI) – wie Kapton, Polyethylenterephthalat (PET) oder

Polykarbonat (PC) darstellt, eine Metallfolie oder ein Papier ist oder diese als Bestandteil enthält und vor der Oberfläche der schichtabgewandten Seite des Schichtträgers eine Hilfsschicht aus absorbierendem Material mit geringer Dicke angebracht wird und diese mechanisch mit dem Schichtträger verbunden ist.

5. Verfahren nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche, wobei die kurzzeitige Laserbestrahlung eine Dauer von bis zu 10 µs hat und entweder durch die Pulslänge eines Laserpulses, die Gesamtdauer einer Folge von Laserpulsen oder die Verweildauer des Laserspots bestimmt wird, wobei die kurzzeitige Laserbestrahlung mehrfach nacheinander angewendet werden kann, dabei die Laserstrahlung eine Wellenlänge aufweist, bei der eine hohe Absorption der Laserstrahlung im Bereich der Schichtträgerrückseite erreicht wird, was mit Wellenlängen der Laserstrahlung im Bereich von kleiner 550 nm oder größer 1 µm erzielt wird, die Größe des Laserflecks kleiner 1 mm^2 ist und bevorzugt eine Größe im Bereich von 5 μm^2 bis 200 μm^2 zu nutzen ist, die Energiedichte im Laserspot bevorzugt konstant ist oder in der Mitte ein Maximum aufweist, die Energiedichte des Laserflecks mindestens doppelt so hoch ist wie die minimale Energiedichte, die zur Laserablation und/oder zum Materialabtrag des Schichtträgers oder der absorbierenden Hilfsschichten führt, die in Richtung der schichtabgewandten Seite des Schichtträgers eingestrahlte Laserstrahlung direkt von dem Schichtträger, einer auf dem Schichtträger aufgebrachten Schicht oder Material absorbiert wird oder in einem mechanisch an den Schichtträger angebrachten Hilfsmaterial absorbiert wird, durch Wahl der Laserwellenlänge die Absorption der Laserstrahlung so weit gesteigert wird, dass sie zum Materialabtrag des Schichtträgers, der rückseitig zusätzlich aufgebrachten Schicht oder dem angebrachten Hilfsmaterial führt; für Polymere kurzwellige Laserstrahlen im UV- oder sichtbaren Wellenlängenbereich des Spektrums verwendet werden, der Schichtträger sich hinter einem transparenten Material befindet bzw. mit diesem durch weitere Hilfsstoffe verbunden ist und die Laserbestrahlung durch das transparente Material auf den Schichtträger trifft.

6. Verfahren nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche, wobei, eine CIGS-Dünnschichtsolarzelle, bestehend aus einem flexiblen Schichtträger (1), einem Rückkontakt (2), einem CIGS-Absorber (3), einer Cadmiumsulfidschicht (4)

und einem Vorderseitenkontakt (5) auf einer zur Bearbeitung des Materials mit Laserstrahlen geeigneten Unterlage fixiert wird oder durch äußere Kräfte gehalten wird, das derartig fixierte Material zunächst schichtträgerseitig mit einem Laser (10) bestrahlt wird, der eine Wellenlänge im Bereich von 193 nm bis 500 nm und eine Pulslänge im Bereich von 0,1 ns bis 100 ns aufweist, der Laserfokus einen Durchmesser im Bereich von 30 µm bis 200 µm aufweist und die Laserpulsenergie so eingestellt wird, dass die Energiedichte im Laserspot im Bereich von 0,1 J/cm² bis 50 J/cm² liegt und der Laserspot so bewegt wird, dass sich die Laserflecke aufeinanderfolgender Laserpulse bei Bewegung des Schichtträgers in einem Bereich von 5 % bis 95 % überlappen, so dass eine Schicht oder ein Schichtstapel abgetragen werden und so Strukturen eingeritzt werden.

7. Verfahren nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche, wobei der Schichtträger eine Kaptonfolie mit einer Dicke von ca. 25 µm ist und der Laser eine Pulsdauer von kleiner 50 ns aufweist und mit Wellenlängen im Bereich von 190 nm bis 500 nm emittiert und der Pulsüberlapp ca. 30 % bis 80 % beträgt.

8. Verfahren nach einem oder mehreren der vorangehenden Ansprüche, wobei das Schichtpaket aus TCO, CIGS und Mo mit Schichtdicken von ca. 200 nm, 1,5 µm und 800 nm besteht, der Schichtträger eine Kaptonfolie ist, die Pulsdauer kleiner als 50 ns ist, der Laserfleck eine Größe von ca. 100 µm² hat und so über den Schichtträger geführt wird, dass ein Pulsüberlapp von kleiner 80 % erfolgt, wobei die CIGS-Schicht abgetragen und hierdurch strukturiert wird, wobei zwei oder mehr Laserritzgräben (20) entstehen, die mit Leitpaste (50) oder mit Isolationspaste (51) verfüllt werden und damit eine Modulverschaltung von CIGS-Dünnschichtsolarzellen möglich ist, gegebenenfalls durch das Aneinanderfügen mehrerer Laserritzgräben eine Fläche von Schichtmaterial freigelegt wird und eine Defektstelle in einer Schicht oder Schichtsystem gerichtet durch den Laserspot bestrahlt und dort das defektbehaftete Material abgetragen wird oder die Defektstelle mit einem Isolationsgraben (42) isoliert wird.

9. Verfahren nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Wellenlänge des Lasers so eingestellt wird, dass der Schichtträger die Laserstrahlung optimal absorbiert, die zu strukturierende Schicht nach unten –

Richtung Aufstellungsfläche – ausgerichtet ist, der Laserstrahl von oben auf den Schichtträger geführt wird, die abgetragenen Schichtbestandteile darüber hinaus mittels Luftströmen, also Saug- und Blaseeinrichtungen zusätzlich entfernt werden, der Werkstücktransport bevorzugt außerhalb des genutzten Dünnschichtbereiches und ohne wesentlichen mechanischen Kontakt erfolgt und durch Kamera- und Markenerkennungssysteme eine lagegenaue Strukturierung ermöglicht wird.

Abbildung 1:

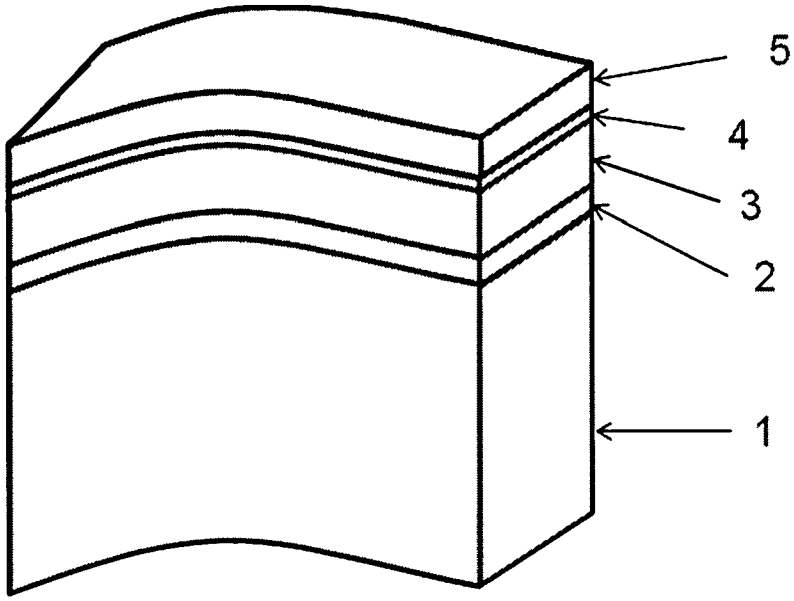


Abbildung 2:

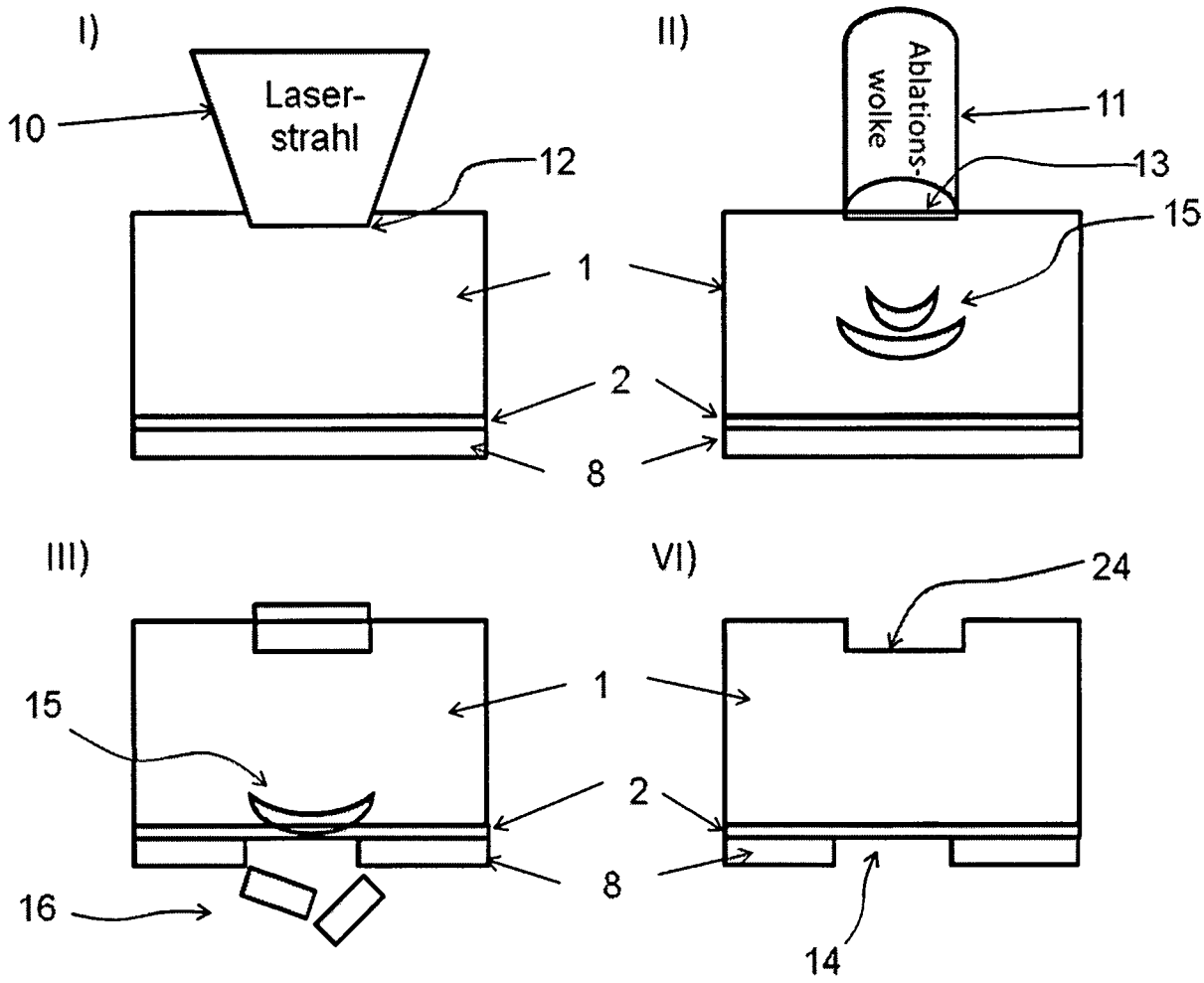


Abbildung 3:

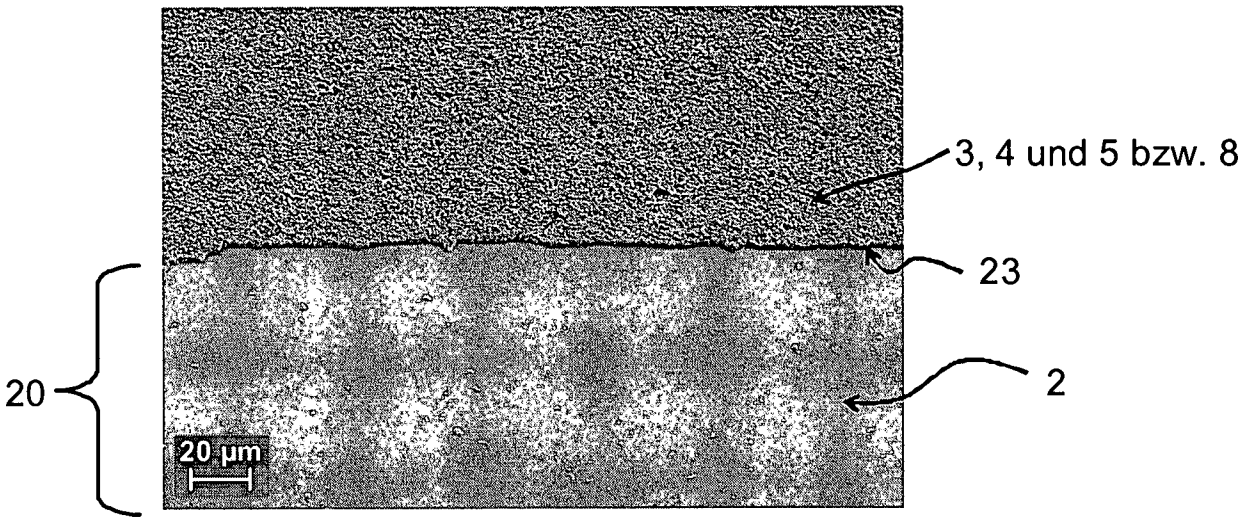


Abbildung 4:

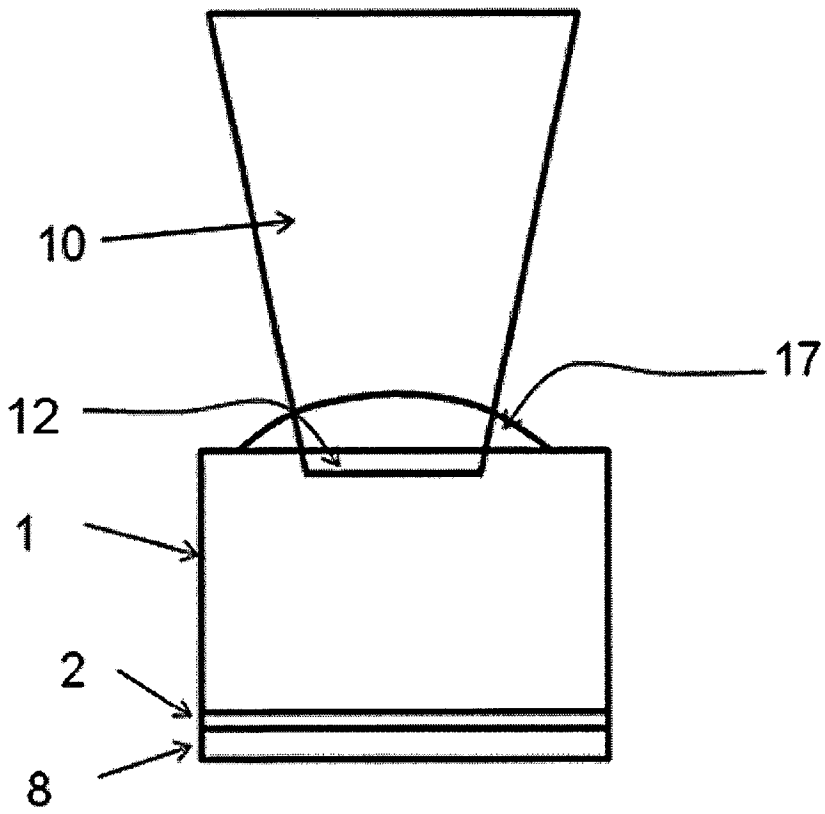


Abbildung 5:

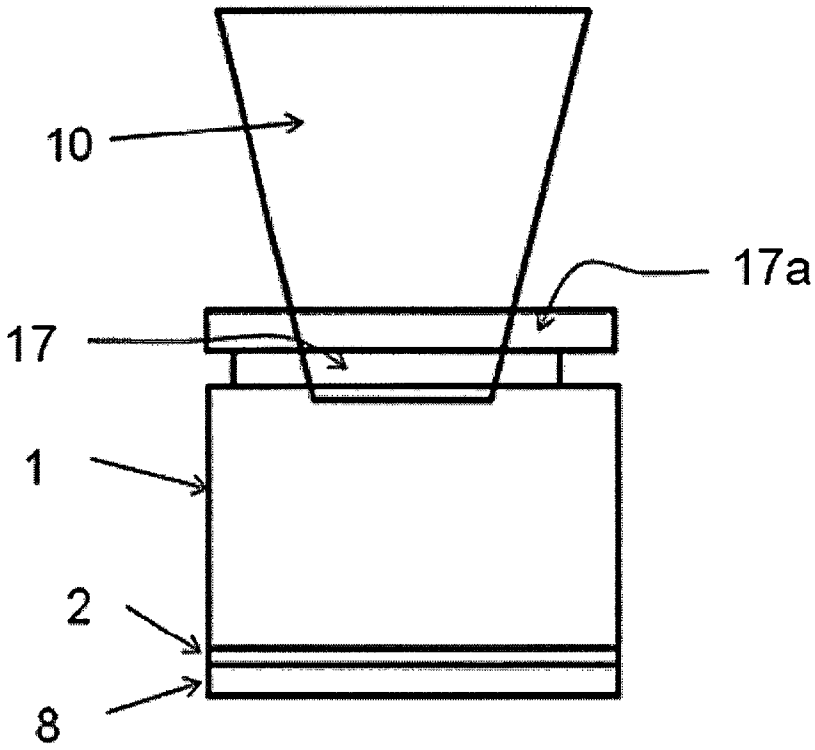


Abbildung 6:

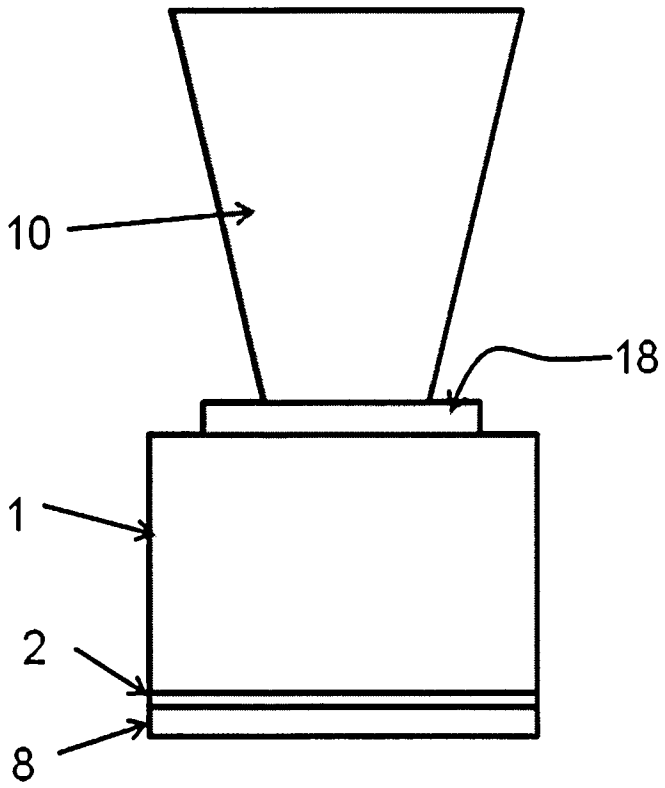


Abbildung 7:

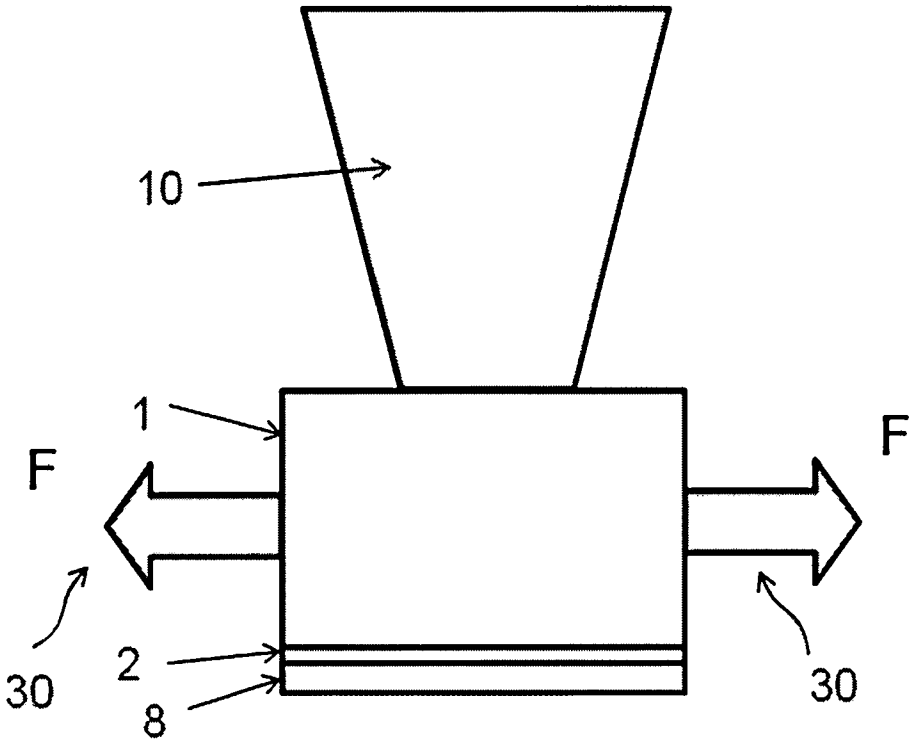


Abbildung 8:

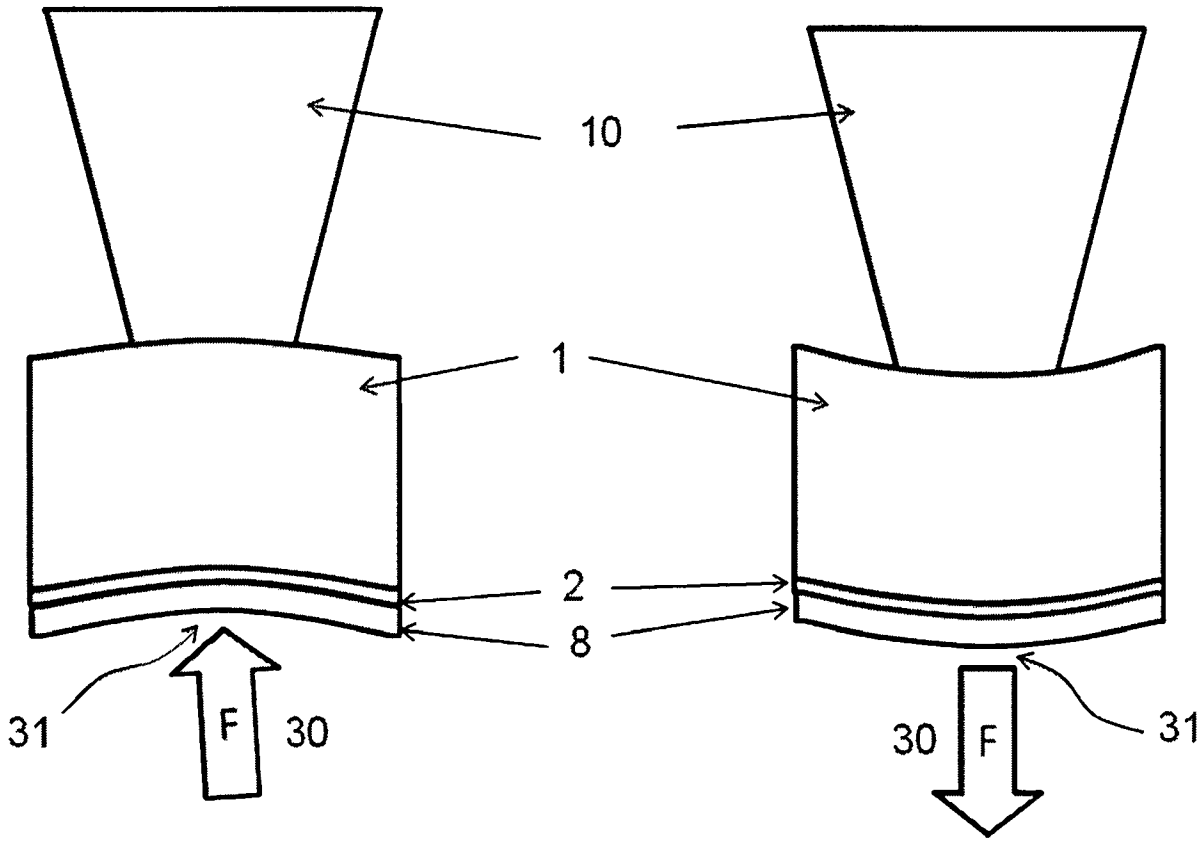


Abbildung 9:

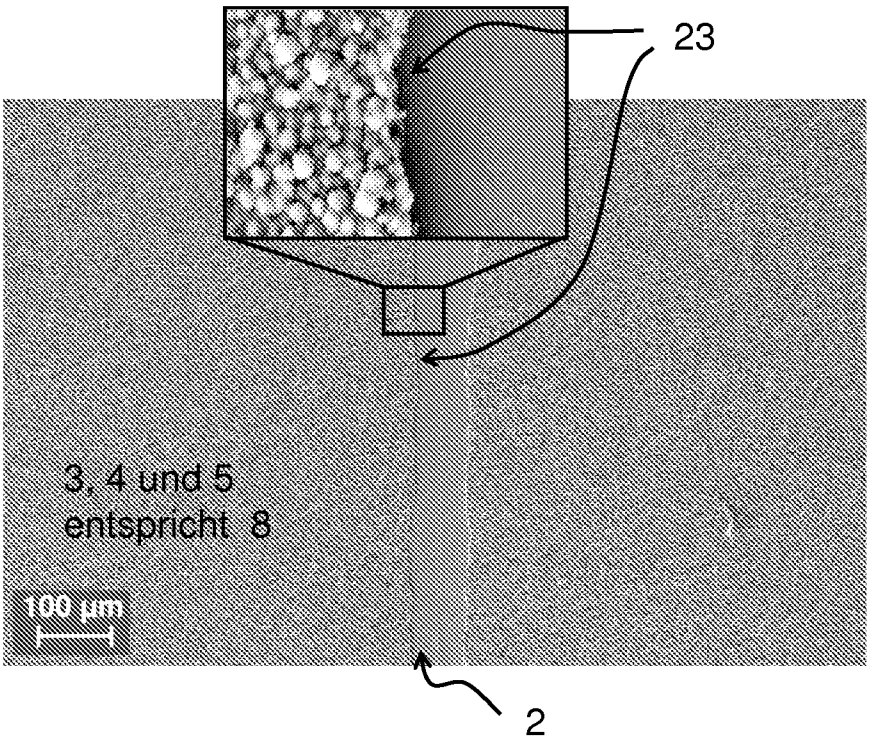


Abbildung 10:

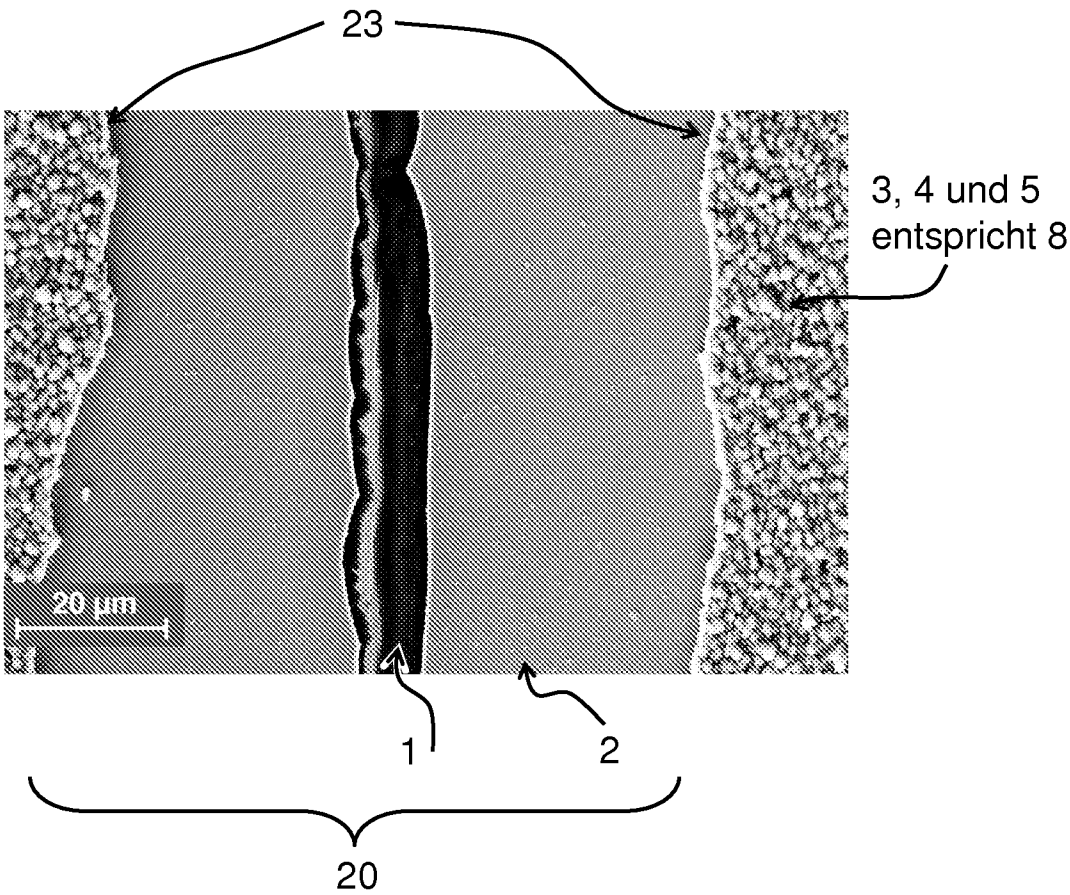


Abbildung 11:

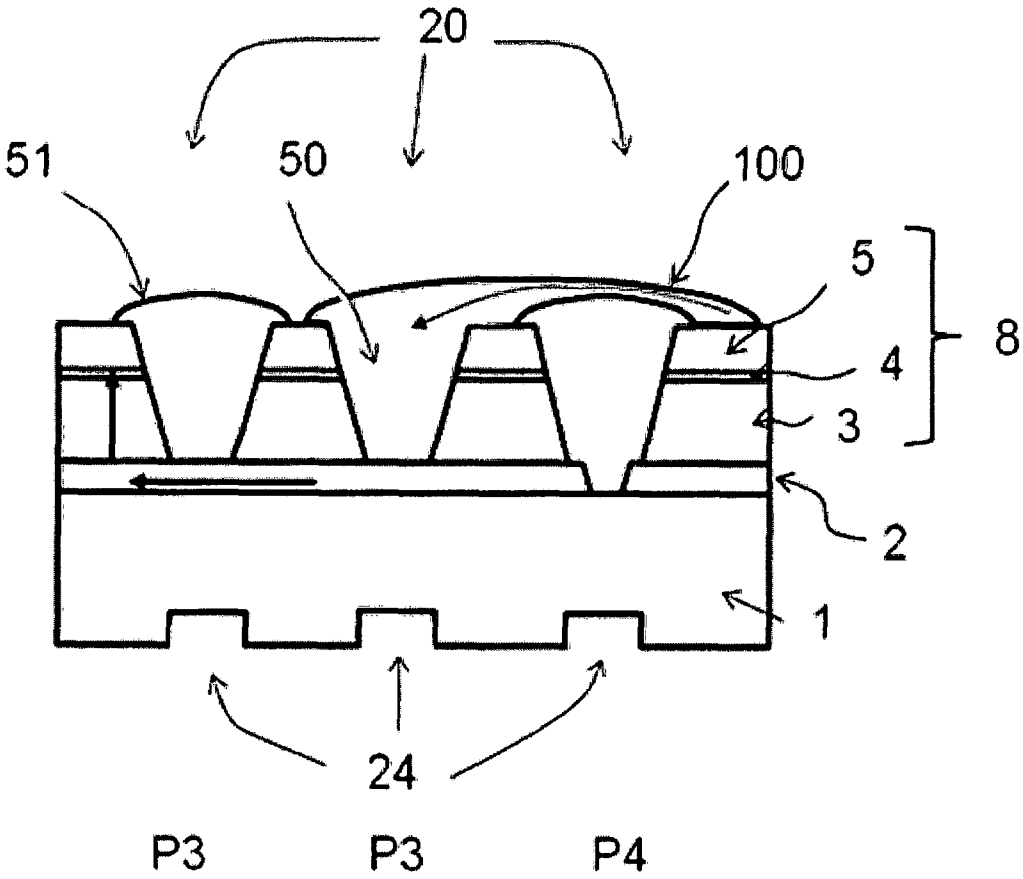


Abbildung 12:

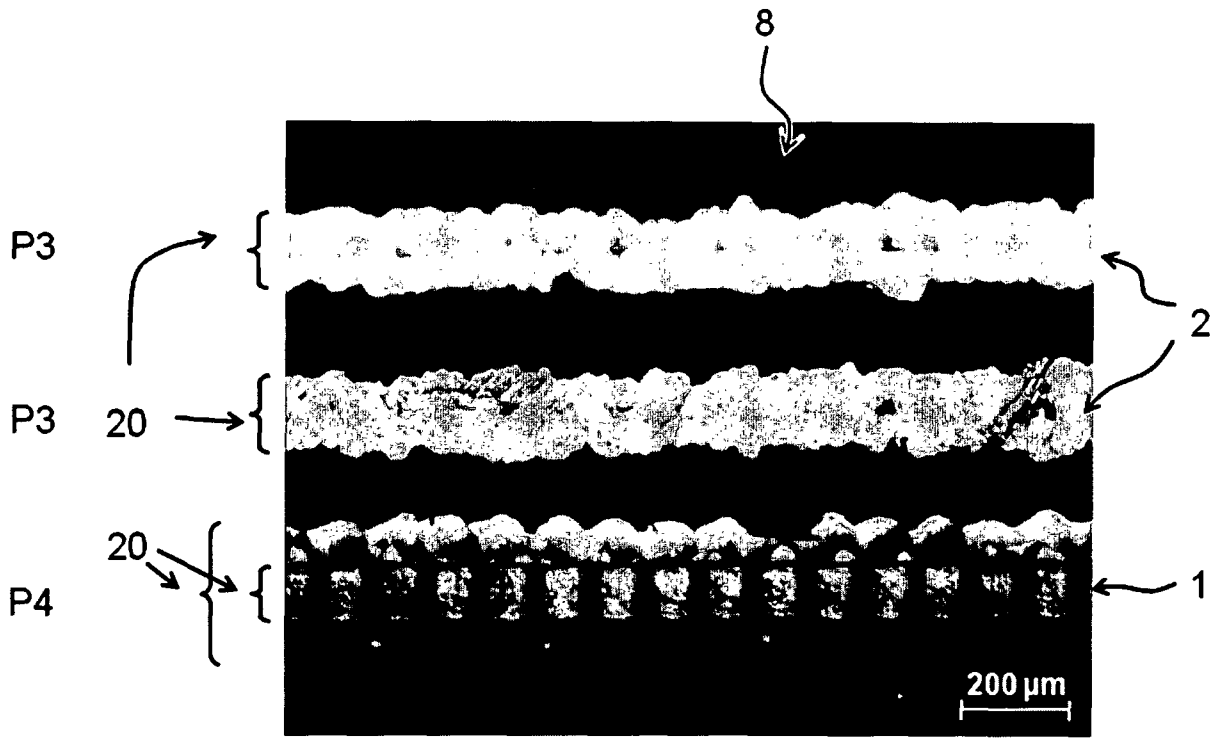


Abbildung 13:

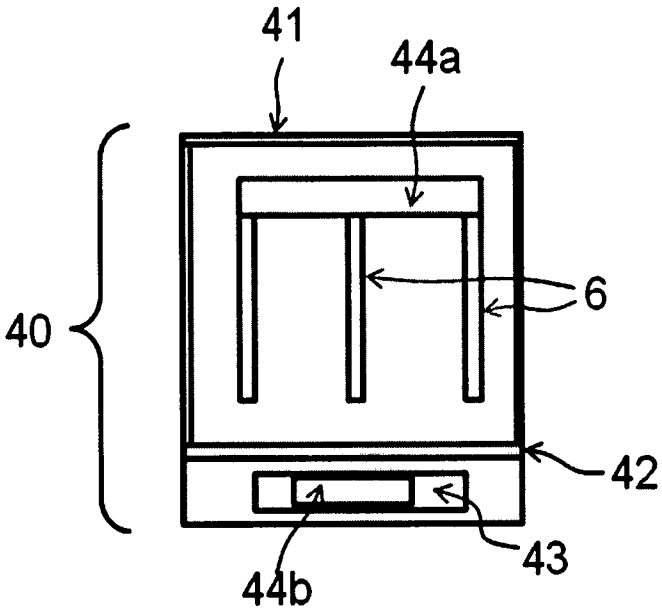


Abbildung 14:

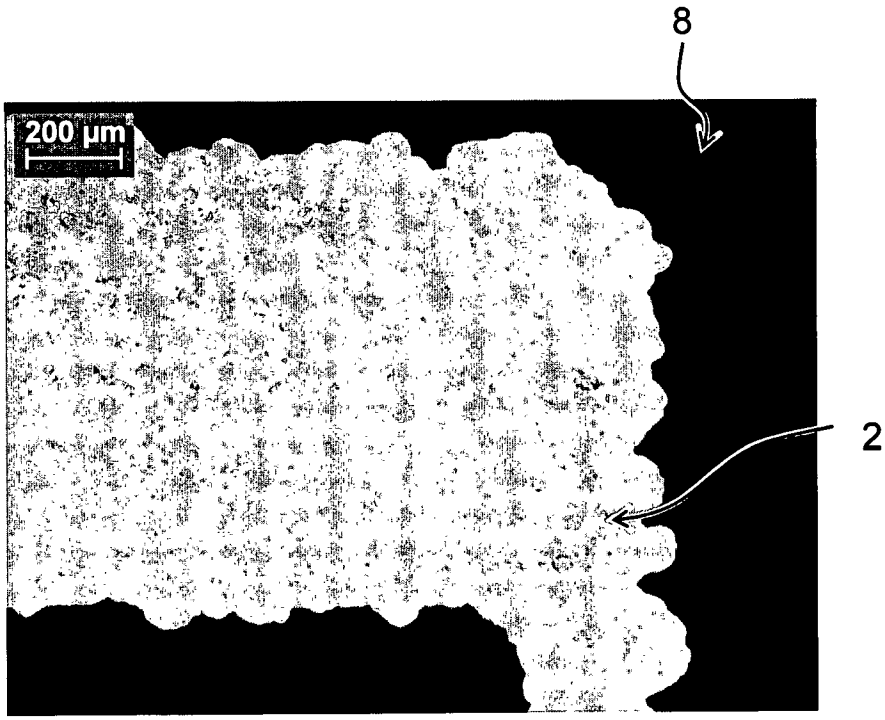


Abbildung 15:

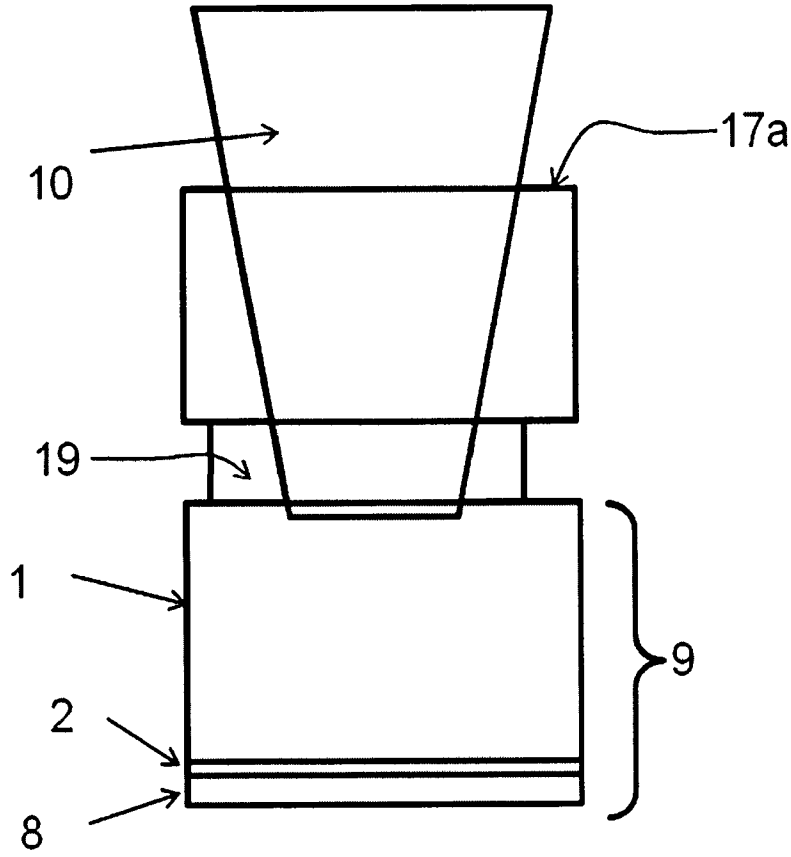


Abbildung 16:

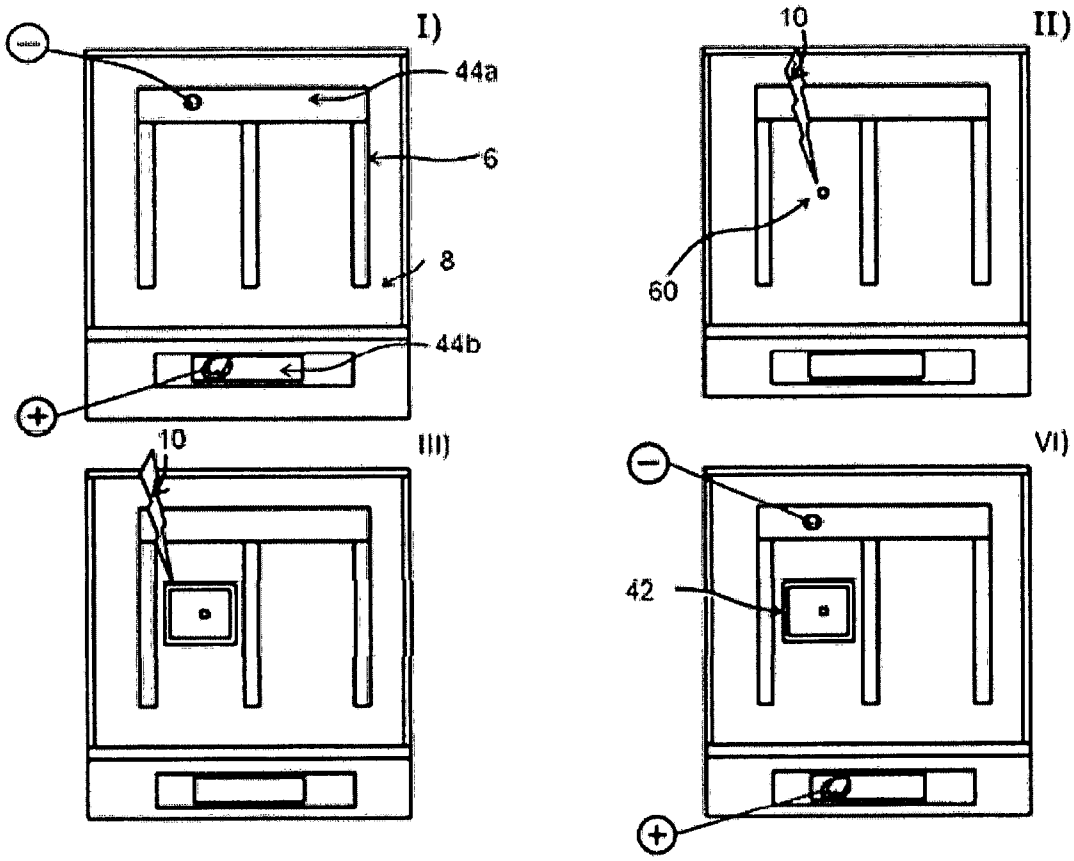
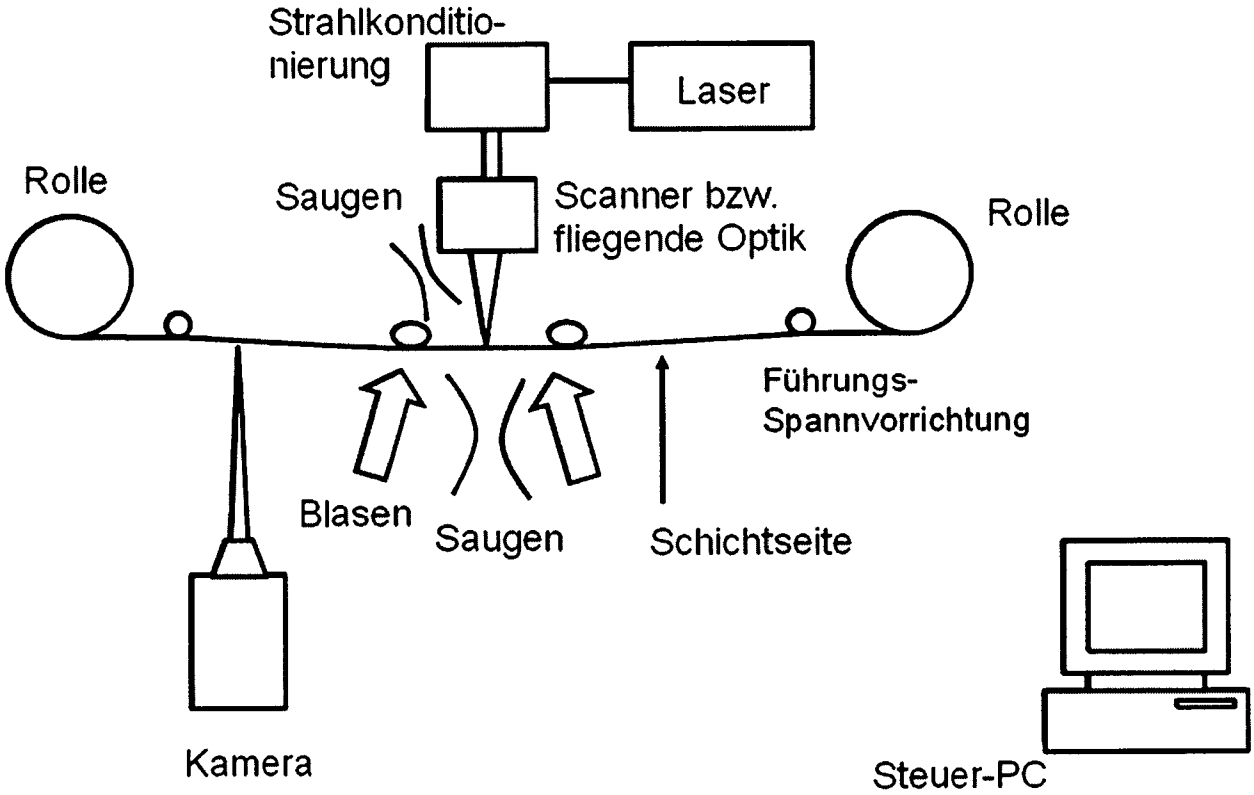


Abbildung 17:



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/DE2012/100168

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. B23K26/00 H01L27/142
ADD.

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)
B23K 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 practicable, 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 2003/180983 A1 (OSWALD ROBERT S [US] ET AL) 25 September 2003 (2003-09-25) paragraph [0040]; figures 2e-f -----	1-3,5,9
X	DE 10 2009 021273 A1 (SCHOTT SOLAR AG [DE]) 18 November 2010 (2010-11-18) paragraph [0027]; figure 2 -----	1-3,5,9
A	HUBER HEINZ P ET AL: "High speed structuring of CIS thin-film solar cells with picosecond laser ablation", 20090125, vol. 7203, 25 January 2009 (2009-01-25), pages 1-9, XP008148338, ISSN: 1996-756X, DOI: 10.1117/12.812332 ISBN: 978-0-8194-7449-0 pages 72030R-4, paragraph 4; figure 2 -----	1-9

-/--

[X] Further documents are listed in the continuation of Box C.

[X] 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 application or patent 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	Date of mailing of the international search report
30 October 2012	07/11/2012

Name and mailing address of the ISA/	Authorized officer
European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Hoffmann, Niels

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/DE2012/100168

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	WO 2008/082723 A2 (SILICON GENESIS CORP [US]; HENLEY FRANCOIS J [US]) 10 July 2008 (2008-07-10) paragraph [0078] - paragraph [0083]; figure 32	1-9
A	JP 2009 166103 A (LASER SYSTEM KK) 30 July 2009 (2009-07-30) abstract; figure 1	1-9
A	US 2007/051469 A1 (BOSSI RICHARD H [US] ET AL) 8 March 2007 (2007-03-08) the whole document	1-9
A	DE 25 54 367 A1 (IBM) 24 June 1976 (1976-06-24) the whole document	1-9
A	MENEZES V ET AL: "Laser-ablation-assisted microparticle acceleration for drug delivery", APPLIED PHYSICS LETTERS, AIP, AMERICAN INSTITUTE OF PHYSICS, MELVILLE, NY, US, vol. 87, no. 16, 12 October 2005 (2005-10-12), pages 163504-163504, XP012076086, ISSN: 0003-6951, DOI: 10.1063/1.2093930 figure 1	1-9
A	US 3 700 850 A (LUMLEY ROBERT MILLER ET AL) 24 October 1972 (1972-10-24) the whole document	1-9
A	DE 10 2007 015767 A1 (OERLIKON OPTICS UK LTD [GB]) 2 October 2008 (2008-10-02) the whole document	1-9
A,P	WO 2012/051574 A2 (GHANDOUR OSMAN [US]; AUSTIN ALEX [US]; LEE DAEBONG [US]; MIASOLE [US]) 19 April 2012 (2012-04-19) the whole document	1-9

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No
PCT/DE2012/100168

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 2003180983 A1	25-09-2003	NONE	
DE 102009021273 A1	18-11-2010	CN 102422420 A	18-04-2012
		DE 102009021273 A1	18-11-2010
		EP 2430658 A2	21-03-2012
		US 2012164782 A1	28-06-2012
		WO 2010130439 A2	18-11-2010
WO 2008082723 A2	10-07-2008	CN 101473446 A	01-07-2009
		EP 2082434 A2	29-07-2009
		JP 2010503239 A	28-01-2010
		KR 20090025257 A	10-03-2009
		US 2008179547 A1	31-07-2008
		US 2010178723 A1	15-07-2010
		US 2012058624 A1	08-03-2012
		WO 2008082723 A2	10-07-2008
JP 2009166103 A	30-07-2009	JP 4478184 B2	09-06-2010
		JP 2009166103 A	30-07-2009
US 2007051469 A1	08-03-2007	NONE	
DE 2554367 A1	24-06-1976	DE 2554367 A1	24-06-1976
		FR 2309317 A1	26-11-1976
		GB 1474505 A	25-05-1977
		IT 1050020 B	10-03-1981
		JP 1108646 C	13-08-1982
		JP 51075295 A	29-06-1976
		JP 57001359 B	11-01-1982
		US 4115683 A	19-09-1978
US 3700850 A	24-10-1972	NONE	
DE 102007015767 A1	02-10-2008	CN 101647126 A	10-02-2010
		DE 102007015767 A1	02-10-2008
		EP 2131993 A2	16-12-2009
		JP 2010524203 A	15-07-2010
		TW 200849634 A	16-12-2008
		US 2008237189 A1	02-10-2008
		WO 2008120102 A2	09-10-2008
WO 2012051574 A2	19-04-2012	US 2012094425 A1	19-04-2012
		WO 2012051574 A2	19-04-2012

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen
PCT/DE2012/100168

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
INV. B23K26/00 H01L27/142
ADD.

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

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
B23K 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 2003/180983 A1 (OSWALD ROBERT S [US] ET AL) 25. September 2003 (2003-09-25) Absatz [0040]; Abbildungen 2e-f -----	1-3,5,9
X	DE 10 2009 021273 A1 (SCHOTT SOLAR AG [DE]) 18. November 2010 (2010-11-18) Absatz [0027]; Abbildung 2 -----	1-3,5,9
A	HUBER HEINZ P ET AL: "High speed structuring of CIS thin-film solar cells with picosecond laser ablation", 20090125, Bd. 7203, 25. Januar 2009 (2009-01-25), Seiten 1-9, XP008148338, ISSN: 1996-756X, DOI: 10.1117/12.812332 ISBN: 978-0-8194-7449-0 Seiten 72030R-4, Absatz 4; Abbildung 2 -----	1-9

-/--

[X] Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen [X] 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" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. 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 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	Absendedatum des internationalen Recherchenberichts
30. Oktober 2012	07/11/2012

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde	Bevollmächtigter Bediensteter
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Hoffmann, Niels

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen
PCT/DE2012/100168

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	WO 2008/082723 A2 (SILICON GENESIS CORP [US]; HENLEY FRANCOIS J [US]) 10. Juli 2008 (2008-07-10) Absatz [0078] - Absatz [0083]; Abbildung 32	1-9
A	JP 2009 166103 A (LASER SYSTEM KK) 30. Juli 2009 (2009-07-30) Zusammenfassung; Abbildung 1	1-9
A	US 2007/051469 A1 (BOSSI RICHARD H [US] ET AL) 8. März 2007 (2007-03-08) das ganze Dokument	1-9
A	DE 25 54 367 A1 (IBM) 24. Juni 1976 (1976-06-24) das ganze Dokument	1-9
A	MENEZES V ET AL: "Laser-ablation-assisted microparticle acceleration for drug delivery", APPLIED PHYSICS LETTERS, AIP, AMERICAN INSTITUTE OF PHYSICS, MELVILLE, NY, US, Bd. 87, Nr. 16, 12. Oktober 2005 (2005-10-12), Seiten 163504-163504, XP012076086, ISSN: 0003-6951, DOI: 10.1063/1.2093930 Abbildung 1	1-9
A	US 3 700 850 A (LUMLEY ROBERT MILLER ET AL) 24. Oktober 1972 (1972-10-24) das ganze Dokument	1-9
A	DE 10 2007 015767 A1 (OERLIKON OPTICS UK LTD [GB]) 2. Oktober 2008 (2008-10-02) das ganze Dokument	1-9
A,P	WO 2012/051574 A2 (GHANDOUR OSMAN [US]; AUSTIN ALEX [US]; LEE DAEBONG [US]; MIASOLE [US]) 19. April 2012 (2012-04-19) das ganze Dokument	1-9

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen
PCT/DE2012/100168

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 2003180983 A1	25-09-2003	KEINE	
DE 102009021273 A1	18-11-2010	CN 102422420 A	18-04-2012
		DE 102009021273 A1	18-11-2010
		EP 2430658 A2	21-03-2012
		US 2012164782 A1	28-06-2012
		WO 2010130439 A2	18-11-2010
WO 2008082723 A2	10-07-2008	CN 101473446 A	01-07-2009
		EP 2082434 A2	29-07-2009
		JP 2010503239 A	28-01-2010
		KR 20090025257 A	10-03-2009
		US 2008179547 A1	31-07-2008
		US 2010178723 A1	15-07-2010
		US 2012058624 A1	08-03-2012
		WO 2008082723 A2	10-07-2008
JP 2009166103 A	30-07-2009	JP 4478184 B2	09-06-2010
		JP 2009166103 A	30-07-2009
US 2007051469 A1	08-03-2007	KEINE	
DE 2554367 A1	24-06-1976	DE 2554367 A1	24-06-1976
		FR 2309317 A1	26-11-1976
		GB 1474505 A	25-05-1977
		IT 1050020 B	10-03-1981
		JP 1108646 C	13-08-1982
		JP 51075295 A	29-06-1976
		JP 57001359 B	11-01-1982
		US 4115683 A	19-09-1978
US 3700850 A	24-10-1972	KEINE	
DE 102007015767 A1	02-10-2008	CN 101647126 A	10-02-2010
		DE 102007015767 A1	02-10-2008
		EP 2131993 A2	16-12-2009
		JP 2010524203 A	15-07-2010
		TW 200849634 A	16-12-2008
		US 2008237189 A1	02-10-2008
		WO 2008120102 A2	09-10-2008
WO 2012051574 A2	19-04-2012	US 2012094425 A1	19-04-2012
		WO 2012051574 A2	19-04-2012