

(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  
11. Oktober 2012 (11.10.2012)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
**WO 2012/136512 A2**

(51) Internationale Patentklassifikation:  
G03F 7/12 (2006.01)

ZAPF-GOTTWICK, Renate [DE/DE]; Parlerstraße 26, 70192 Stuttgart (DE).

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2012/055381

(74) Anwalt: WITTE, WELLER & PARTNER; Postfach 10 54 62, 70047 Stuttgart (DE).

(22) Internationales Anmeldedatum:  
27. März 2012 (27.03.2012)

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart):

(25) Einreichungssprache: Deutsch

AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, 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.

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:  
10 2011 016 453.7 8. April 2011 (08.04.2011) DE

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): UNIVERSITÄT STUTTGART [DE/DE]; Keplerstraße 7, 70174 Stuttgart (DE).

(72) Erfinder; und

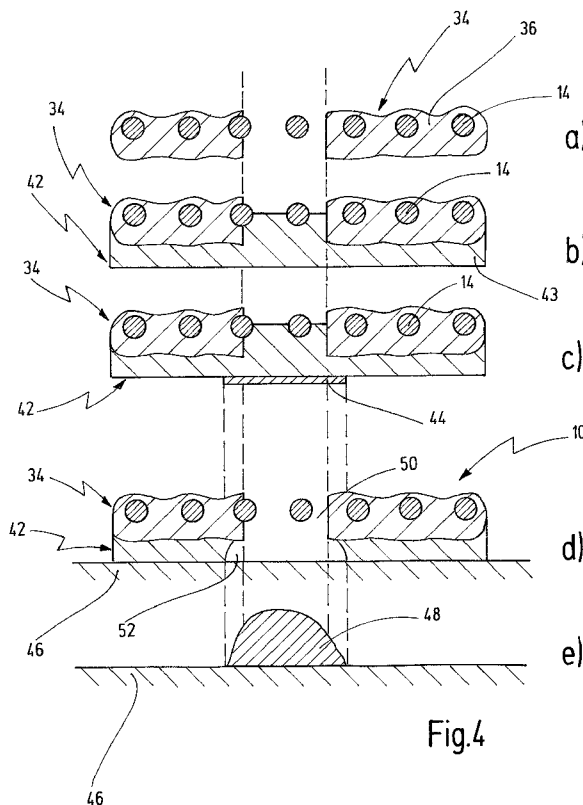
(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): SAUERESSIG, Matthias [DE/DE]; Im Geiger 78, 70374 Stuttgart (DE).

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

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: METHOD FOR PRODUCING A SCREEN PRINTING MOLD AND SOLAR CELL PRODUCED THEREWITH

(54) Bezeichnung : VERFAHREN ZUR HERSTELLUNG EINER SIEBDRUCKFORM UND DAMIT HERGESTELLTE SOLARZELLE



(57) Abstract: The invention relates to a method for producing a screen printing mold (10), in particular for the face printing of solar cells (20), in which first a first stencil structure (34) is generated on the surface of a screen (14), said stencil structure defining a structure to be printed, and in which subsequently at least one further stencil structure (42) is generated on the first stencil structure (34), said further stencil structure being aligned with the previous stencil structure (34) and forming the screen printing mold together therewith.

(57) Zusammenfassung: Es wird ein Verfahren zur Herstellung einer Siebdruckform (10) angegeben, insbesondere für den Vorderseitendruck auf Solarzellen (20), bei dem auf der Oberfläche eines Siebes (14) zunächst eine erste Schablonenstruktur (34) erzeugt wird, die eine zu druckende Struktur definiert, und bei dem anschließend auf der ersten Schablonenstruktur (34) zumindest eine weitere Schablonenstruktur (42) erzeugt wird, die mit der vorherigen Schablonenstruktur (34) ausgerichtet ist und gemeinsam damit die Siebdruckform bildet.

WO 2012/136512 A2



GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, 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).

**Veröffentlicht:**

— *ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts (Regel 48 Absatz 2 Buchstabe g)*

Verfahren zur Herstellung einer Siebdruckform und damit hergestellte Solarzelle

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung einer Siebdruckform, die insbesondere dazu geeignet ist, um beim Vorderseitendruck auf Solarzellen besonders feine Strukturen zu erzeugen. Ferner betrifft die Erfindung eine solchermaßen hergestellte Siebdruckform und eine insbesondere auf der Vorderseite bedruckte Solarzelle.

[0002] Bei der Herstellung von kristallinen Silizium-Solarzellen erfolgt die Metallisierung an der Vorderseite in der industriellen Fertigung überwiegend mittels eines Siebdruckverfahrens, wobei es sich um eine kostengünstige Technologie mit hohem Durchsatz handelt.

[0003] Die Struktur einer Solarzelle auf der Vorderseite entspricht einem H-förmigen Gitter mit schmalen Fingerleitern (*fingers*), die den auf der Zelle gesammelten Strom auf breitere Stromsammelschienen (*bus bars*) leiten. Da die Leiterbahnen auf der Vorderseite der Solarzelle zur Abschattung beitragen und somit den Wirkungsgrad der Solarzelle verschlechtern, sollten die Leiterbahnen auf der Vorderseite so schmal wie möglich sein, andererseits eine gute elektrische Leitfähigkeit aufweisen.

[0004] Ein Nachteil beim Siebdruck ist der immer größer werdende Einfluss des Siebgewebes, je kleiner die Strukturen werden. Bei Strukturen in der Größe von 100 Mikrometer oder darunter rückt das sogenannte "*mesh marking*" durch das Siebgewebe mehr und mehr in den Vordergrund. Es ergibt sich eine wellenförmige Abbildung sowohl in der Breite, als auch in der Höhe der Strukturen. Als Folge davon ergeben sich hohe Finger- und Kontaktwiderstände und ein unnötiger Verbrauch der Silberleitpaste für die Vorderseitenkontaktierung.

[0005] Ein weiteres Anwendungsproblem beim Siebdruck auf der Vorderseite von Solarzellen besteht in der Bedruckung von Kontaktfingern mit reflektierender Farbe. Liegt das Kontaktgitter auf der Vorderseite der Solarzelle, kann an dieser Stelle kein Licht in die Solarzelle eindringen. Jedoch kann das auf das Gitter auftreffende Licht durch Mehrfachreflexion vom Gitter auf das Modulglas wieder auf die Zelle gelenkt werden, wozu das Aufdrucken einer reflektierenden Farbe, etwa einer weißen Farbe, erforderlich ist. Allerdings ist die Viskosität bei derartigen Farben in der Regel sehr niedrig. Die Farbe verläuft beim Siebdruck von den vorhandenen Fingern auf die freie Fläche der Solarzelle und führt somit zu Abschattungsverlusten, die den Wirkungsgrad des Moduls reduzieren.

[0006] Mit der bisherigen Siebdrucktechnologie für Solarzellen können Finger in der Breite von etwa 80 bis 100 Mikrometer und einer Höhe von etwa 20 bis 25 Mikrometer hergestellt werden, wobei sich also ein Aspektverhältnis von Höhe zu Breite von höchstens etwa 0,31 ergibt. Vorteilhaft wären jedoch schmalere Finger mit

einem dennoch geringen elektrischen Widerstand, was ein höheres Aspektverhältnis voraussetzt.

[0007] Um einen Feinliniendruck zu verwirklichen, könnte ein Mehrfachdruck der elektrisch leitfähigen Paste ausgeführt werden, was bislang jedoch industriell wenig verwendet wird. Hierzu wäre ein größerer apparativer Aufwand erforderlich, nämlich eine weitere Siebdruckeinrichtung und ein weiterer Trockner.

[0008] Der Erfindung liegt somit die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zur Herstellung einer Siebdruckform anzugeben, womit insbesondere Feinstrukturen gedruckt werden können, die insbesondere für den Vorderseitendruck von Solarzellen geeignet sind. Hierbei sollen möglichst gleichmäßige Querschnitte mit hohem Aspektverhältnis insbesondere im Feinliniendruck erzeugt werden können.

[0009] Diese Aufgabe wird durch ein Verfahren zur Herstellung einer Siebdruckform gelöst, insbesondere für den Vorderseitendruck auf Solarzellen, bei dem auf der Oberfläche eines Siebes zunächst eine erste Schablonenstruktur erzeugt wird, die eine zu druckende Struktur definiert, und bei dem anschließend auf der ersten Schablonenstruktur zumindest eine weitere Schablonenstruktur erzeugt wird, die mit der vorherigen Schablonenstruktur ausgerichtet ist und gemeinsam damit die Siebdruckform bildet.

[0010] Die Aufgabe der Erfindung wird auf diese Weise vollkommen gelöst.

[0011] Erfindungsgemäß wird durch die Erzeugung einer zwei- oder mehrstufigen Schablonenstruktur eine größere EOM (Emersion Over Mesh) ermöglicht. Hiermit ist der Teil der Schablonenschicht gemeint, der sich auf dem Schablonenträger, das heißt auf dem Sieb, aufbaut und dessen Dicke sich als Differenz zwischen Siebdruckform-Dicke und Siebdicke darstellt. Mit einem größeren EOM lässt sich ein gleichmäßigerer Druck verwirklichen und das *mesh marking* lässt sich insbesondere beim Drucken von feinen Strukturen reduzieren.

[0012] In bevorzugter Weiterbildung der Erfindung weist bei einer nachfolgenden Schablonenstruktur eine Ausnehmung für eine zu erzeugende Linienstruktur des Druckbildes eine größere Breite als bei einer vorherigen Schablonenstruktur auf.

[0013] Hierbei kann die Breite etwa mindestens um 5 %, insbesondere mindestens 10 %, bevorzugt um höchstens 30 %, weiter bevorzugt um höchstens 20 % vergrößert sein.

[0014] Mit einer derartigen Form einer Schablonenstruktur lassen sich auch beim Feinliniendruck durchgehende Linien unter Vermeidung des *mesh markings* erzeugen. Gleichfalls kann das Aspektverhältnis verbessert werden. Insgesamt führt eine so erzeugte Schablonenstruktur zu einer deutlichen Verbesserung der elektrischen Leitfähigkeit beim Fingerdruck auf der Vorderseite von Solarzellen bzw. zur Vermeidung des *mesh markings*. Gleichzeitig wird der Druck von schmalere Fingern ermöglicht, wobei ein höheres Aspektverhältnis erreicht werden kann. Eine Linienstruktur in einer vorhergehenden und einer nachfolgenden Schablonenstruktur können somit pyramidenartig verbreitert sein.

[0015] Mit einer derartigen Ausgestaltung einer Siebdruckform kann gleichzeitig das Problem des sogenannten "*bleedings*", das heißt des Ausblutens der Druckstruktur an den Rändern reduziert werden.

[0016] Die erste Schablonenstruktur kann etwa mit den folgenden Schritten erzeugt werden:

- (a) Auftragen einer lichtempfindlichen Kopierschicht auf die Oberfläche eines Trägers, das heißt eines Siebes;
- (b) Trocknen der Kopierschicht;
- (c) Belichten der Kopierschicht mit einer zu druckenden Struktur;
- (d) Entwickeln der Kopierschicht.

[0017] Bei der nachfolgenden Herstellung einer weiteren Schablonenstruktur müssen die übereinander zu erzeugenden Schablonenstrukturen vor der Belichtung genau ausgerichtet werden. Sodann können die Schritte (a) bis (d) wiederholt werden, wobei die vorherige Schablonenstruktur als Träger für die nachfolgende Schablonenstruktur dient.

[0018] Der Schritt (c) umfasst hierbei vorzugsweise das Abdecken der Kopierschicht mit einer Filmvorlage und die Belichtung.

[0019] Anstelle der Variante der Herstellung der Siebdruckform im Direktverfahren, bei dem eine Emulsion direkt auf das Sieb appliziert wird, kann auch ein sogenannter Kapillarfilm appliziert werden, woran sich dann die üblichen Schritte der Trocknung, Belichtung und Entwicklung anschließen, um eine nachfolgende Schablonenstruktur zu erzeugen.

[0020] Bei einem Kapillarfilm handelt es sich um eine Trägerfolie, auf die eine vorgefertigte Emulsionsschicht mit konstanter Dicke appliziert ist. Der Kapillarfilm kann auf die vorherige Schablonenstruktur aufgetragen werden, wobei durch Befeuchtung oder durch Auftragen einer geringen Emulsionsmenge eine ausreichende Haftung erzeugt werden kann. Die Trägerfolie wird nach der Applikation entfernt.

[0021] In alternativer Weise wird die Erfindung durch ein Verfahren zur Herstellung einer Siebdruckform, insbesondere für den Vorderseitendruck auf Solarzellen, mit den folgenden Schritten gelöst:

- (a) Applizieren einer lichtempfindlichen Kopierschicht auf die Oberfläche eines Siebes;
- (b) Trocknen der Kopierschicht;
- (c) Abdecken der Kopierschicht mit einer Filmvorlage, die eine zu druckende Struktur definiert;
- (d) Abdecken der Kopierschicht mit einer zweiten Filmvorlage seitlich versetzt zur ersten Filmvorlage;

- (e) Belichten der Kopierschicht in einem ersten Belichtungsschritt mit einem in Bezug auf die Kopierschicht gegenüber einem senkrechten Einfallswinkel um einen ersten Neigungswinkel zu einer ersten Seite hin geneigten Einfallswinkel;
- (f) Verschieben der zweiten Filmvorlage zur anderen Seite hin;
- (g) Belichten der Kopierschicht in einem zweiten Belichtungsschritt mit einem gegenüber einem senkrechten Einfallswinkel um einen zweiten Neigungswinkel zu einer der ersten Seite gegenüber liegenden zweiten Seite hin geneigten Einfallswinkel;
- (h) Entwickeln der Kopierschicht.

[0022] Auch auf diese Weise wird die Aufgabe der Erfindung vollkommen gelöst.

[0023] Erfindungsgemäß werden nämlich durch die Belichtung der Kopierschicht in zwei Belichtungsschritten mit schrägen Einfallswinkeln, die gegenüber der Senkrechten zu unterschiedlichen Seiten hin geneigt sind, in der Kopierschicht schräge Kanten erzeugt. Nach dem Entwickeln und nachfolgendem Auswaschen verbleiben so geneigte Seitenränder.

[0024] Beim nachfolgenden Drucken unter Benutzung einer solchen Siebdruckform kann die Thixotropie der Druckpaste genutzt werden, d.h. die Eigenschaft, sich unter Druckeinwirkung zu verflüssigen. Es kann so durch die trichterförmige Erweiterung auf der Rakelseite lokal mehr Paste durch die Öffnung auf die zu bedruckende Substratoberfläche gelangen.

[0025] Dies erlaubt es insbesondere im Feinliniendruck sehr feine Strukturen unter Vermeidung von *mesh marking* zu erzeugen.

[0026] Vorzugsweise beträgt hierbei der erste Neigungswinkel im ersten Belichtungsschritt  $+\alpha$  und der zweite Neigungswinkel im zweiten Belichtungsschritt  $-\alpha$ .

[0027] Damit ergibt sich auf beiden Seiten eine symmetrische Aufweitung der Kopierschicht von der Druckseite zur Rakelseite hin.

[0028] Bevorzugt beträgt der Neigungswinkel  $\alpha$  mindestens  $5^\circ$ , insbesondere mindestens  $10^\circ$ , bevorzugt mindestens  $20^\circ$ , weiter bevorzugt mindestens  $30^\circ$ .

[0029] Weiter bevorzugt beträgt der Neigungswinkel  $\alpha$  höchstens  $70^\circ$ , insbesondere höchstens  $60^\circ$ , besonders bevorzugt höchstens  $50^\circ$ .

[0030] Mit einem derartigen Neigungswinkel gegenüber der Senkrechten ergeben sich besonders günstige Verhältnisse beim späteren Siebdruck.

[0031] Vorzugsweise wird die erfindungsgemäß hergestellte Siebdruckform zur Herstellung von Kontakten, insbesondere von Fingern, auf der Vorderseite von Solarzellen verwendet.

[0032] Wie bereits vorstehend erläutert, können hiermit besonders feine Finger mit einer Breite von weniger als 80 Mikrometer, vorzugsweise im Bereich von 50 bis 60 Mikrometer, oder noch geringer, und mit hoher elektrischer Leitfähigkeit und einem hohen Aspektverhältnis erzeugt werden.

[0033] Gleichzeitig kann hierbei das *bleeding*, d.h. das Ausfransen der Finger an den Rändern weitgehend reduziert werden und der Pastenverbrauch minimiert werden.

[0034] Eine erfindungsgemäß hergestellte Siebdruckform weist ein Sieb auf, auf dem eine Schablone vorgesehen ist, bei der sich eine Ausnehmung in der Schablone an einem zu druckenden Merkmal ausgehend vom Sieb zur Druckseite hin verbreitert oder verjüngt. Bei einer ersten Variante kann sich hierbei die Ausnehmung der Schablone an einem zu druckenden Merkmal zur Druckseite hin pyrami-

denartig verbreitern. Diese Ausführung ergibt sich, wenn die Siebdruckschablone zweischichtig oder mehrschichtig hergestellt ist.

[0035] Gemäß einer weiteren Ausführung der Erfindung verjüngt sich eine Ausnehmung in der Schablone an einem zu druckenden Merkmal schräg zur Druckseite hin.

[0036] Diese Ausführung ergibt sich, wenn die Siebdruckform unter Ausnutzung von zweifacher Belichtung mit verschiedenen Richtungen hergestellt wird, wie vorstehend beschrieben.

[0037] Eine erfindungsgemäß hergestellte Solarzelle weist Finger mit einer Fingerbreite von höchstens 70 Mikrometern auf, die ein Aspektverhältnis von Höhe zu Breite von mindestens 1:3 aufweisen.

[0038] Mit dem erfindungsgemäßen Verfahren kann ferner eine Solarzelle hergestellt werden, bei der die Finger mit einer Farbe, insbesondere mit einer reflektierenden Farbe, bedruckt sind.

[0039] Durch die erfindungsgemäße Siebdruckform wird hierbei gewährleistet, dass die Farbe im Wesentlichen nur auf die Oberfläche der Finger appliziert wird und dass ein Verlaufen weitgehend vermieden wird.

[0040] Es versteht sich, dass die vorstehend genannten und die nachstehend noch zu erläuternden Merkmale der Erfindung nicht nur in der jeweils angegebenen Kombination, sondern auch in anderen Kombinationen oder in Alleinstellung der Erfindung verwendbar sind, ohne den Rahmen der Erfindung zu verlassen.

[0041] Weitere Merkmale und Vorteile der der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung bevorzugter Ausführungsbeispiele unter Bezugnahme auf die Zeichnung. Es zeigen:

Figur 1 eine Ansicht einer erfindungsgemäßen Siebdruckform;

Figur 2 eine perspektivische Teildarstellung einer Silizium-Solarzelle;

Figur 3a) bis c)

einen Schnitt durch eine erfindungsgemäße Siebdruckform in verschiedenen Phasen der Herstellung;

Figur 4a) bis d)

einen Schnitt durch eine erfindungsgemäß hergestellte Siebdruckform in verschiedenen Phasen der Herstellung, in leicht abgewandelter Ausführung gegenüber Figur 3;

Figur 4e)

einen zugeordneten Finger auf einem Wafer zur Solarzellenherstellung, der mittels der Siebdruckform gedruckt wurde;

Figur 5 eine Teilansicht der Kontakte auf der Vorderseite einer Silizium-Solarzelle gemäß Figur 2, wobei im unteren Teil ein Querschnitt durch einen Finger in vergrößerter Form dargestellt ist, woraus das Aspektverhältnis ersichtlich ist;

Figur 6a,b)

einen Schnitt durch eine alternative Ausführungsform einer Siebdruckform unter Auflage einer Filmvorlage mit Andeutung von zwei verschiedenen Belichtungsschritten gemäß Fig. 6a) und Fig. 6b);

Figur 7 die Siebdruckform gemäß Figur 6 nach dem Entwickeln;

Figur 8 einen Finger auf einem zugeordneten Wafer zur Solarzellenherstellung, der mit der Siebdruckform gemäß Figur 7 herstellbar ist und

Figur 9 eine Ansicht einer herkömmlichen Siebdruckform mit Sieb und einer schlitzförmigen Öffnung zur Erzeugung eines Fingers, wobei in der rechten Hälfte ein hiermit erzeugter Finger dargestellt ist, wobei das *mesh marking* ersichtlich ist.

[0042] In Fig. 1 ist eine erfindungsgemäße Siebdruckform schematisch dargestellt und insgesamt mit Ziffer 10 bezeichnet. Die Siebdruckform 10 weist einen Siebdruckrahmen 12 auf, der der Befestigung eines Siebdruckschablonenträgers dient. Während des Druckprozesses entstehen durch das Rakeln hohe mechanische Belastungen auf das Sieb und den Rahmen. Deshalb wird der Rahmen in Abhängigkeit des verwendeten Siebes, der Siebspannung und des Druckmotivs gewählt. Die Größe des Rahmens 12 hängt unmittelbar von der Größe des Druckmotivs ab. Mit einem gewissen Abstand von in der Regel mindestens 150 Millimeter zum Rahmen befindet sich die Rakelfläche 16. Innerhalb der Rakelfläche 16 ist schließlich die Schablone 18 aufgenommen, die das Druckmotiv wiedergibt. Der Abstand zwischen der Rakelfläche 16 und dem Rahmen 12 wird auch Farbruhe genannt.

[0043] Das Sieb 14 kann aus einem Gewebe, etwa einem PET-Gewebe oder aus Stahldraht (Edelstahl) bestehen. Im technischen Siebdruck werden meist Stahlgewebe verwendet, da sich hiermit feinere Strukturen erzielen lassen, da sie mit einer geringeren Fadenstärke auskommen und mit einer höheren Gewebespannung eingesetzt werden können.

[0044] In Fig. 2 ist eine perspektivische Teilansicht einer Silizium-Solarzelle gezeigt, die insgesamt mit 20 bezeichnet ist. Die Solarzelle 20 weist an ihrer Vorderseite einen Emitter 22 (n-Typ) auf, gefolgt von einer Basisschicht 24 (p-Typ), auf die ein Rückseitenkontakt 26 bestehend aus Aluminium flächig aufgebracht ist. Auf dem Emitter 22 sind an der Vorderseite Vorderseitenkontakte 28 angeordnet, die eine H-

förmige Struktur bilden, mit zwei zueinander parallelen *bus bars* 30 mit größerem Querschnitt, von denen ausgehend sich zu beiden Seiten hin Finger 32 mit deutlich kleinerem Querschnitt erstrecken. Die Vorderseitenkontakte 28 bestehen aus einer Silberlegierung. Sie sollten zwecks einer Vermeidung von Abschattungsverlusten eine so geringe Fläche wie möglich einnehmen, jedoch eine ausreichende elektrische Leitfähigkeit aufweisen.

[0045] Mit herkömmlichen Siebdruckformen können bislang Finger mit einer Breite von etwa 80 bis 100 Mikrometer und einer Höhe von 20 bis 25 Mikrometer hergestellt werden.

[0046] Wird versucht, mit herkömmlichen Siebdruckformen schmalere Finger zu drucken, so tritt *mesh marking* auf, wie dies in Fig. 9 verdeutlicht ist, was bis zu Fingerunterbrechungen und hohen elektrischen Widerständen führen kann.

[0047] Mit einer erfindungsgemäßen Siebdruckform 10 können nunmehr deutlich schmalere Finger 32 mit einer Breite von 60 Mikrometer oder weniger und einem Aspektverhältnis von 0,3 oder mehr hergestellt werden. Gleichzeitig kann das *mesh marking* vermieden werden.

[0048] Fig. 3 zeigt die verschiedenen Phasen bei der Herstellung einer erfindungsgemäßen Siebdruckform.

[0049] Gemäß Fig. 3a) wird zunächst eine erste Schablonenstruktur 34 auf einem Sieb 14 in herkömmlicher Weise erzeugt. Hierzu wird eine UV-empfindliche Emulsion auf das Sieb 14 aufgetragen und anschließend getrocknet. Die so erzeugte Kopierschicht 36 wird dann unter Zwischenlage einer Filmvorlage, die das Druckmuster wiedergibt, mit UV-Strahlung im Wellenlängenbereich von 350 bis 450 Nanometer bestrahlt. Hierbei verbinden sich die Monomere zu langkettigen Polymeren und die Kopierschicht 36 verliert ihre Löslichkeit im Sinne von Lösemittel (Wasser). Die Kopierschicht 36 wird somit im Auftreffbereich der Strahlung wasserunlöslich,

während die Stellen, die von der Filmvorlage abgedeckt sind, also die Bildebenenstellen, wasserlöslich bleiben.

[0050] Nach der Belichtung werden diese Stellen mit einem kräftigen Wasserstrahl ausgewaschen, so dass die Siebdruckform verbleibt. Bei diesem Schritt spricht man auch von der Entwicklung. Eine so hergestellte Siebdruckform mit einer ersten konventionell hergestellten Siebdruckschicht 34 ist in Fig. 3a) im Querschnitt dargestellt.

[0051] Auf diese erste Schablonenstruktur 34 wird anschließend eine zweite Schablonenstruktur appliziert. Bei einer manuellen Herstellung kann hierzu beispielsweise an beiden Seiten ein Abstandshalter 38 randseitig aufgelegt werden, um die gewünschte Auftragungsdicke beim Auftrag einer Emulsion vorzugeben. Im vorliegenden Fall beträgt die Auftragsdicke 60 Mikrometer.

[0052] Im nachfolgenden Schritt gemäß Fig. 3b) wird mit einem Raket 40 wiederum UV-empfindliche Emulsion aufgetragen, so dass sich eine zweite Kopierschicht 43 ergibt.

[0053] Die Siebdruckform wird anschließend mit der Druckseite nach oben in einem Trockenschrank getrocknet.

[0054] Nach der Trocknung hat die zweite Kopierschicht 43 eine Dicke von etwa 25 Mikrometer, wie in Fig. 3c) dargestellt. Anschließend erfolgt eine Belichtung wiederum mit energiereicher UV-Strahlung unter Zwischenlage einer Filmvorlage 44, die präzise im Hinblick auf die zuvor in der ersten Schablonenstruktur 34 erzeugte Struktur ausgerichtet sein muss.

[0055] Mit einer so hergestellten Siebdruckform kann ein größere EOM-Dicke erzeugt werden, was einen feineren Druck und gleichmäßigere Strukturen erlaubt.

[0056] Während zuvor anhand von Fig. 3 die grundsätzlichen Schritte der Erzeugung einer Siebdruckform mit zweischichtigem Aufbau erläutert wurden, wird im Folgenden anhand von Fig. 4 der bevorzugte Aufbau zur Herstellung von Fingern auf Silizium-Solarzellen 20 gemäß Fig. 2 näher erläutert.

[0057] Die grundsätzliche Herstellung entspricht dem zuvor anhand von Fig. 3 erläuterten Schritten.

[0058] Fig. 4a) zeigt einen Querschnitt durch eine Siebdruckform, bei der auf dem Sieb 14 eine erste Schablonenstruktur 34 in der zuvor beschriebenen herkömmlichen Weise erzeugt wurde.

[0059] Im nachfolgenden Schritt gemäß Fig. 4b) wird hierauf eine zweite Schablonenstruktur 42 aufgetragen, die eine zweite Kopierschicht 43 bildet. Anschließend wird gemäß Fig. 4c) eine zweite Filmvorlage 44 präzise ausgerichtet und anschließend mit UV-Strahlung belichtet. Hierbei ist die zweite Filmvorlage 44 vorzugsweise so gestaltet, dass diese bei einer linienförmigen Ausnehmung 52 eine etwas größere Breite hat als die zugeordnete Ausnehmung 50 in der ersten Schablonenstruktur 34. So könnte etwa die erste Ausnehmung 50 eine Breite von 50 Mikrometer haben, während die zweite Ausnehmung 52 eine Breite von etwa 60 Mikrometer hat, wie gestrichelt in den Fig. 4c) und 4d) angedeutet ist.

[0060] Fig. 4e) zeigt eine mit einer solchen Siebdruckform 10' hergestellte Fingerstruktur 48 auf einem Substrat 46. Es ergibt sich eine an den Rändern scharf definierte Struktur unter Vermeidung von *bleeding* mit einem guten Aspektverhältnis.

[0061] In Fig. 5 ist im oberen Teil ein Ausschnitt der Vorderseitenkontaktierung schematisch dargestellt, mit einem *bus bar* 30 und davon ausgehenden Fingern 32. Die Finger haben eine Breite  $w$ . Im unteren Teil von Fig. 5 ist ein Querschnitt durch einen der Finger 32 vergrößert dargestellt. Die Breite des Fingers beträgt  $w$ , während die Höhe  $h$  ist.

[0062] Das Aspektverhältnis  $a$  ist als das Verhältnis von Höhe  $h$  zu Breite  $w$  definiert:  $a = h/w$ .

[0063] Mit einer erfindungsgemäßen Siebdruckform 10' gemäß Fig. 4 lässt sich für eine Ist-Fingerbreite von 50 Mikrometer ein Aspektverhältnis von etwa 0,4 erzielen. Dies stellt eine deutliche Verbesserung gegenüber dem Siebdruck mit herkömmlichen Siebdruckformen dar.

[0064] Mit herkömmlichen Siebdruckformen lässt sich im einstufigen Siebdruck infolge des *mesh markings* (vergleiche Fig. 9) keine Fingerbreite unterhalb von 80 Mikrometer realisieren. Das Aspektverhältnis ist deutlich geringer als 0,4.

[0065] Außerdem wird der Pastenverbrauch gegenüber dem herkömmlichen einstufigen Siebdruck durch die dünneren Fingerbreiten und das größere Aspektverhältnis reduziert, was zu einer deutlichen Kosteneinsparung führt.

[0066] Gleichzeitig wird durch die verringerte Abschattung an der Vorderseite einer Solarzelle der Wirkungsgrad merklich verbessert.

[0067] Bei dem hier an Hand von Fig. 3 und 4 beschriebenen Verfahren handelt es sich um ein manuelles Verfahren unter Verwendung eines Rakels. Bei industrieller Umsetzung wird der Prozess in der Regel vollautomatisch durchgeführt. Es versteht sich, dass sich hiermit eine noch höhere Präzision und eine weitere Verbesserung erzielen lässt.

[0068] Anhand der Fig. 6 bis 8 wird im Folgenden ein alternatives Herstellungsverfahren zur Herstellung einer Siebdruckform 10'' erläutert.

[0069] Die Siebdruckform 10'' wird im Gegensatz zu der zuvor beschriebenen Siebdruckform einstufig hergestellt.

[0070] Auf einem Sieb 14 bestehend aus Stahldraht wird zunächst in der üblichen Weise eine UV-empfindliche Emulsion aufgetragen, um eine Kopierschicht 36" zu erzeugen. Anschließend erfolgt der übliche Trocknungsschritt im Trockenofen.

[0071] Nachfolgend wird eine erste Filmvorlage 44" auf die Oberfläche der Kopierschicht 36" aufgelegt. Im Unterschied zum im Stand der Technik üblichen Verfahren erfolgt die Belichtung nachfolgend jedoch nicht mit einem einzigen Belichtungsschritt mit senkrecht auftreffendem Licht, sondern in zwei aufeinanderfolgenden Belichtungsschritten mit schräg einfallender UV-Strahlung.

[0072] In einem ersten Belichtungsschritt wird die UV-Strahlung schräg von rechts her einfallend auf die erste Filmvorlage 44" gerichtet, so dass sich ein Neigungswinkel  $\alpha$  von etwa  $45^\circ$  nach rechts gegenüber der Senkrechten ergibt. Auf die erste Filmvorlage wird versetzt eine zweite, breitere Filmvorlage 44" aufgelegt (Fig. 6a)). Die zweite Filmvorlage 44" verhindert die UV-Einstrahlung in den später zu entwickelnden Bereich auf der einen Seite. Die einfallende Strahlung ist durch ausgezogene Linien angedeutet.

[0073] Anschließend wird die zweite Filmvorlage 44" zur anderen Seite hin verschoben, um den Strahlungseinfall auf der anderen Seite zu verhindern. In einem nachfolgenden zweiten Belichtungsschritt wird die einfallende UV-Strahlung an dem Winkel  $-\alpha$  gegenüber der Senkrechten geneigt, also um  $45^\circ$  in die entgegengesetzte Richtung (Fig. 6b)). Hinter der Filmvorlage 44" ergibt sich somit hinter einer Ausnehmung 54 in der Filmvorlage 44" ein V-förmiger Bereich der Kopiervorlage 36", der nicht bestrahlt wurde.

[0074] Nach der Entwicklung ergibt sich eine Siebdruckform 10" gemäß Fig. 7, die eine V-förmige Ausnehmung aufweist, die sich von der Druckseite zur Rakelseite hin vergrößert.

[0075] Wird nun eine solche Siebdruckform 10" genutzt, um eine Feinstruktur zu erzeugen, so wird die thixotrope Eigenschaft insbesondere beim Drucken von Silberpasten auf Solarzellen vorteilhaft dazu ausgenutzt, um besonders feine Strukturen erzeugen zu können, da im Bereich der trichterförmig aufgeweiteten Öffnung sich eine Verflüssigung der Siebdruckpaste ergibt, was zu einem höheren Materialaustrag in diesem Bereich führt und somit ein Drucken von feinen Strukturen mit großem Aspektverhältnis ermöglicht.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung einer Siebdruckform (10), insbesondere für den Vorderseitendruck auf Solarzellen (20), bei dem auf der Oberfläche eines Siebes (12) zunächst eine erste Schablonenstruktur (34) erzeugt wird, die eine zu druckende Struktur definiert, und bei dem anschließend auf der ersten Schablonenstruktur (34) zumindest eine weitere Schablonenstruktur (42) erzeugt wird, die mit der vorherigen Schablonenstruktur (34) ausgerichtet ist und gemeinsam damit die Siebdruckform (10) bildet.
2. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem die erste Schablonenstruktur (34) mit den folgenden Schritten erzeugt wird:
  - (a) Auftragen einer lichtempfindlichen Kopierschicht (36) auf die Oberfläche eines Trägers (12);
  - (b) Trocknen der Kopierschicht (36);
  - (c) Belichten der Kopierschicht (36) mit einer zu druckenden Struktur;
  - (d) Entwickeln der Kopierschicht (36).
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, bei dem zur Erzeugung einer weiteren Schablonenstruktur (42) die Schritte (a) bis (d) wiederholt werden, wobei die vorherige Schablonenstruktur (34) als Träger für die nachfolgende Schablonenstruktur (42) dient.
4. Verfahren nach Anspruch 2 oder 3, bei dem der Schritt (c) das Abdecken der Kopierschicht (43) mit einer Filmvorlage (44) und das Belichten umfasst.
5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem auf eine zuvor erzeugte Schablonenstruktur (34) ein Kapillarfilm appliziert wird, gefolgt von einer Trocknung, Belichtung und Entwicklung, um eine nachfolgende Schablonenstruktur (42) zu erzeugen.

6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem bei einer nachfolgenden Schablonenstruktur (42) eine Ausnehmung (52) für die zu erzeugende Linienstruktur eine größere Breite (50) als bei einer vorhergehenden Schablonenstruktur (34) aufweist.
7. Verfahren nach Anspruch 6, bei dem die Breite mindestens um 5%, insbesondere um mindestens 10%, bevorzugt um höchstens 30%, weiter bevorzugt um höchstens 20 % vergrößert ist.
8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem eine Linienstruktur in einer vorhergehenden (34) und einer nachfolgenden (42) Schablonenstruktur pyramidenartig verbreitert ist.
9. Verfahren zur Herstellung einer Siebdruckform (10), insbesondere für den Vorderseitendruck auf Solarzellen (20), mit den folgenden Schritten:
  - (a) Applizieren einer lichtempfindlichen Kopierschicht (36") auf die Oberfläche eines Siebes (14);
  - (b) Trocknen der Kopierschicht (36");
  - (c) Abdecken der Kopierschicht (36") mit einer ersten Filmvorlage (44"), die eine zu druckende Struktur definiert;
  - (d) Abdecken der Kopierschicht (36") mit einer zweiten Filmvorlage (44") seitlich versetzt zur ersten Filmvorlage;
  - (e) Belichten der Kopierschicht (36") in einem ersten Belichtungsschritt mit einem in Bezug auf die Kopierschicht gegenüber einem senkrechten Einfallswinkel um einen ersten Neigungswinkel zu einer ersten Seite hin geneigten Einfallswinkel;
  - (f) Verschieben der zweiten Filmvorlage (44") zur anderen Seite hin;
  - (g) Belichten der Kopierschicht (36") in einem zweiten Belichtungsschritt mit einem gegenüber einem senkrechten Einfallswinkel um einen zweiten Neigungswinkel zu einer der ersten Seite gegenüber liegenden zweiten Seite hin geneigten Einfallswinkel;
  - (h) Entwickeln der Kopierschicht (36").

10. Verfahren nach Anspruch 9, bei dem der erste Neigungswinkel im ersten Belichtungsschritt  $+\alpha$  beträgt und der zweite Neigungswinkel im zweiten Belichtungsschritt  $-\alpha$  beträgt.
11. Verfahren nach Anspruch 10, bei dem der Neigungswinkel ( $\alpha$ ) mindestens  $5^\circ$ , insbesondere mindestens  $10^\circ$ , bevorzugt mindestens  $20^\circ$ , weiter bevorzugt mindestens  $30^\circ$  beträgt.
12. Verfahren nach Anspruch 10 oder 11, bei dem der Neigungswinkel ( $\alpha$ ) höchstens  $70^\circ$ , insbesondere höchstens  $60^\circ$ , bevorzugt höchstens  $50^\circ$  beträgt.
13. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem die Siebdruckform (10, 10") zur Herstellung von Kontakten, insbesondere von Fingern (32), auf der Vorderseite von Solarzellen (20) verwendet wird.
14. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem die Siebdruckform (10, 10") zum Bedrucken von Fingern (32) auf der Vorderseite von Solarzellen (20) mit Farbe verwendet wird.
15. Siebdruckform mit einem Sieb (14), auf dem eine Schablone (18) vorgesehen ist, bei der eine Ausnehmung in der Schablone (18) an einem zu druckenden Merkmal ausgehend vom Sieb (14) zur Druckseite hin verbreitert oder verjüngt ist.
16. Siebdruckform nach Anspruch 15, bei der sich die Ausnehmung in der Schablone (18) an einem zu druckenden Merkmal zur Druckseite hin pyramidenartig verbreitert.
17. Siebdruckform nach Anspruch 15, bei der sich die Ausnehmung in der Schablone (18) an einem zu druckenden Merkmal zur Druckseite hin schräg verjüngt.

18. Solarzelle, vorzugsweise hergestellt nach einem der vorhergehenden Ansprüche, mit Fingerkontakten (32) mit einer Fingerbreite von höchstens 60 Mikrometern, die ein Aspektverhältnis von Höhe zu Breite von mindestens 1:3 aufweisen.
19. Solarzelle nach Anspruch 18, bei der die Fingerkontakte (32) mit einer Farbe, insbesondere mit einer reflektierenden Farbe, bedruckt sind.

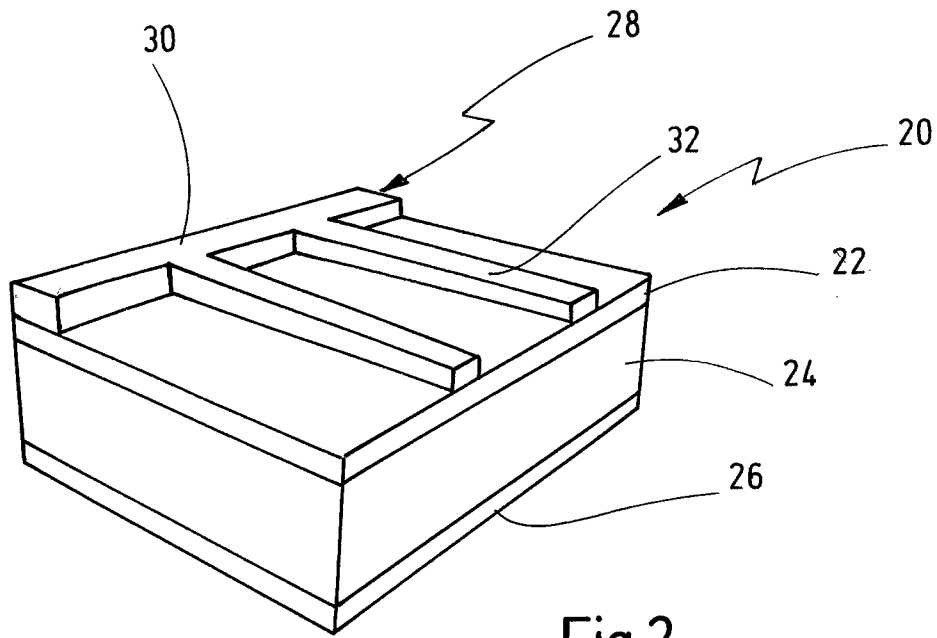


Fig.2

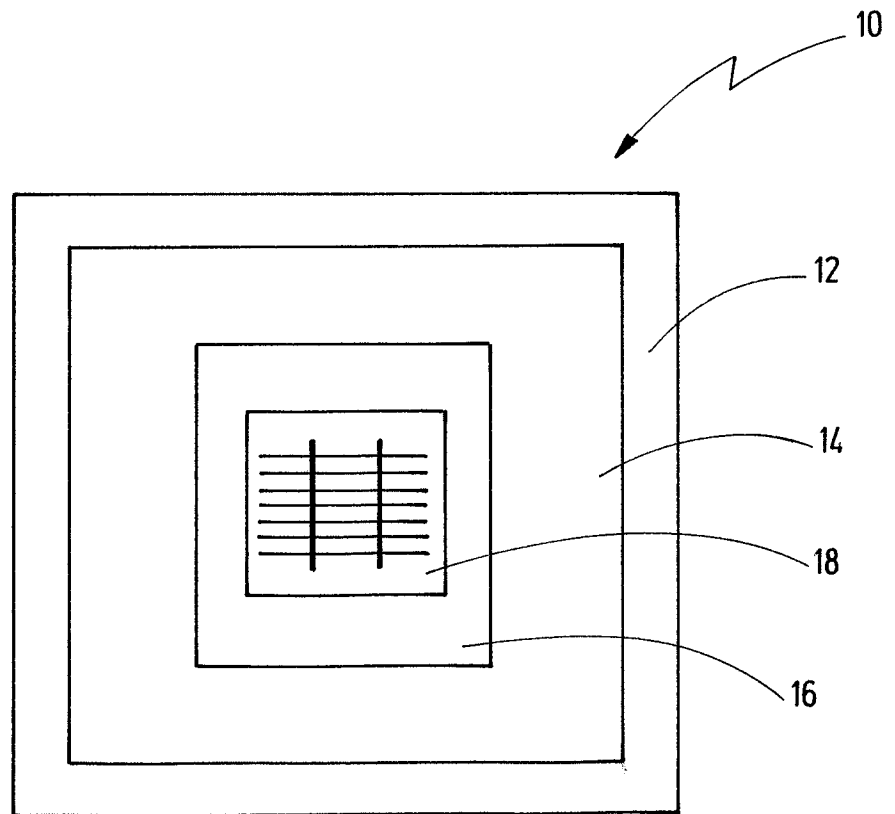


Fig.1

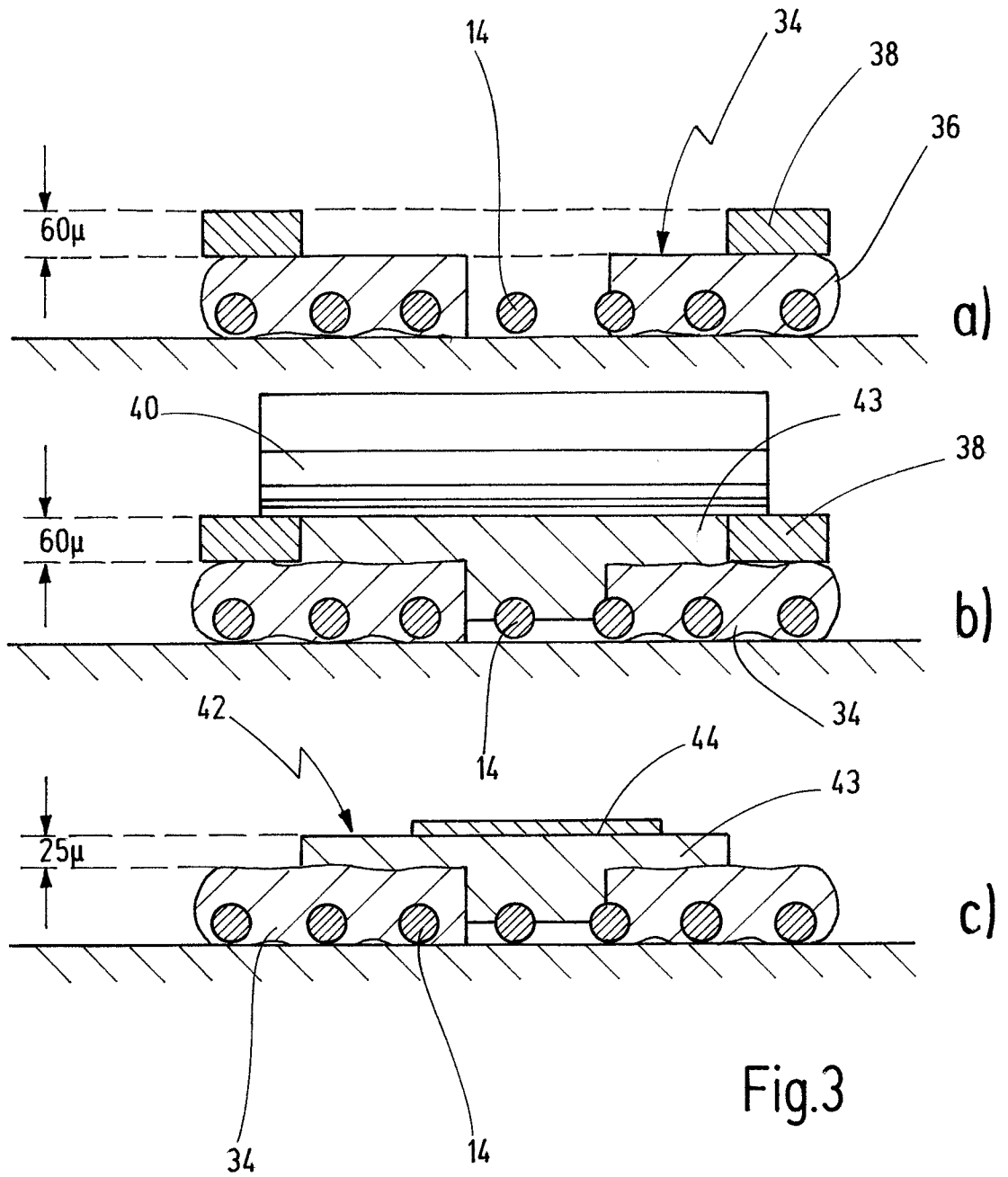


Fig.3



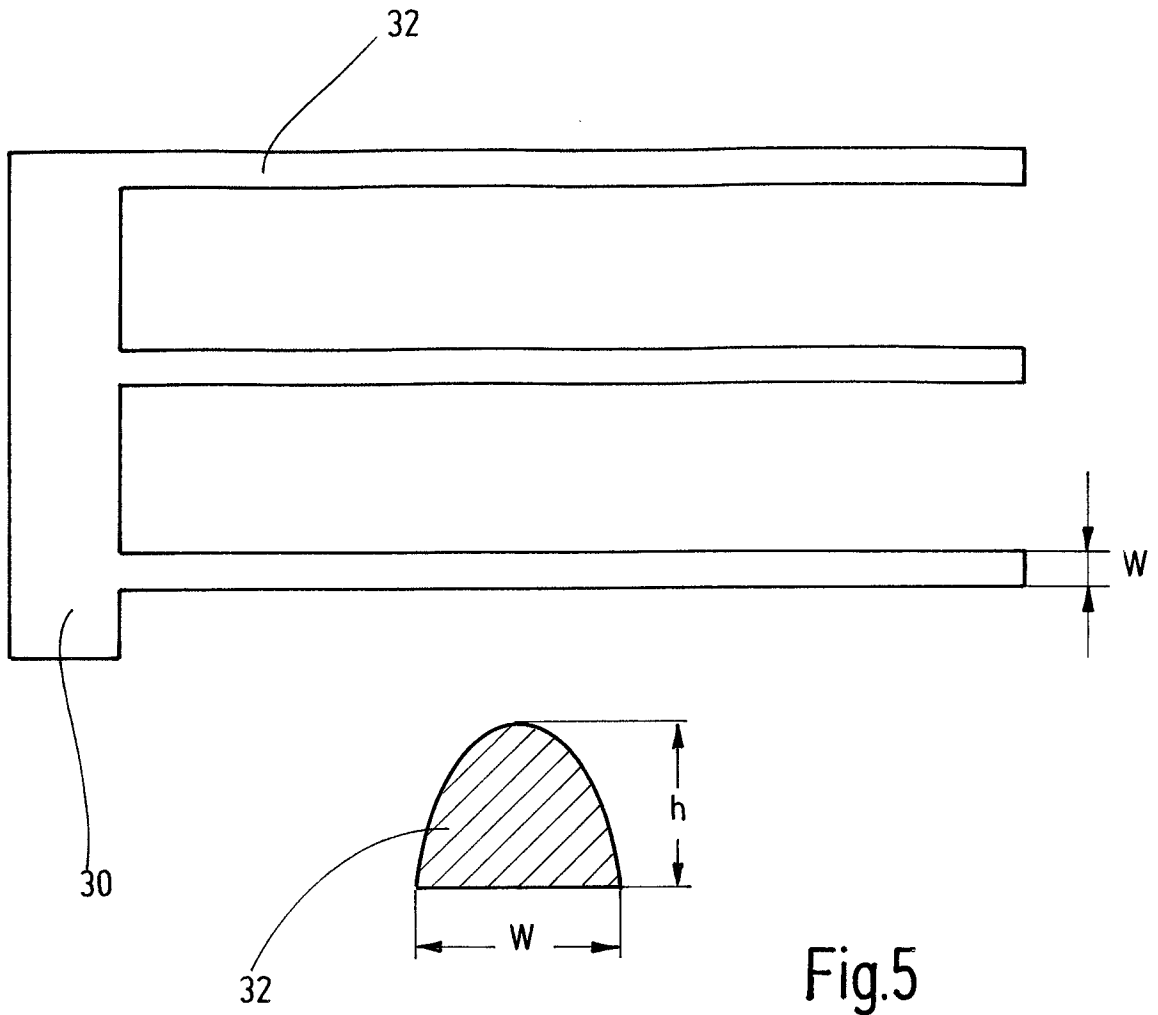


Fig.5

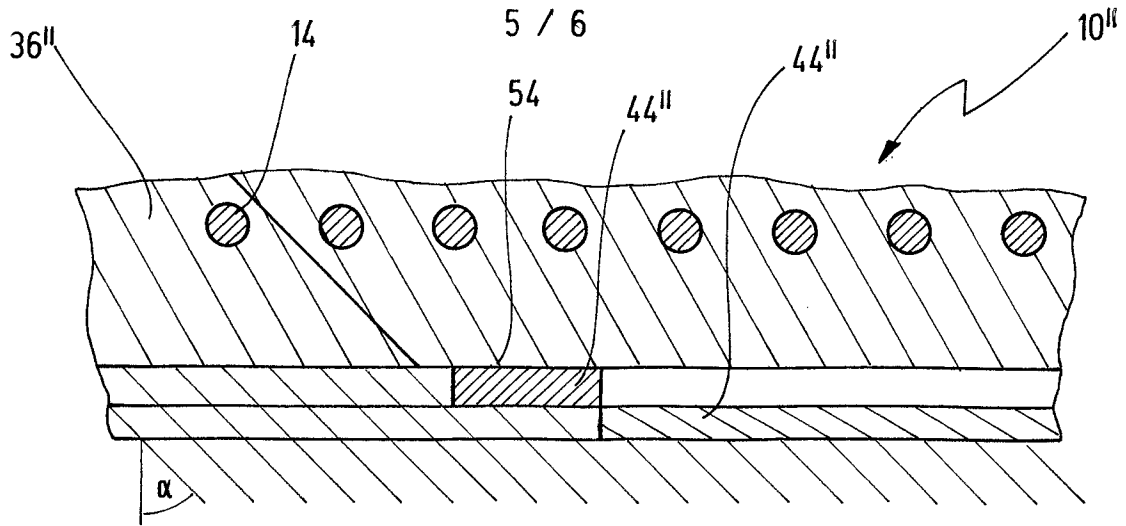


Fig. 6a

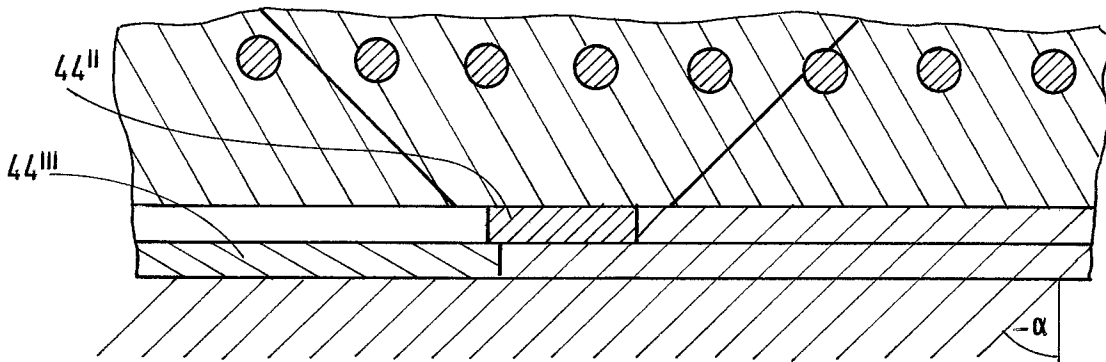


Fig. 6b

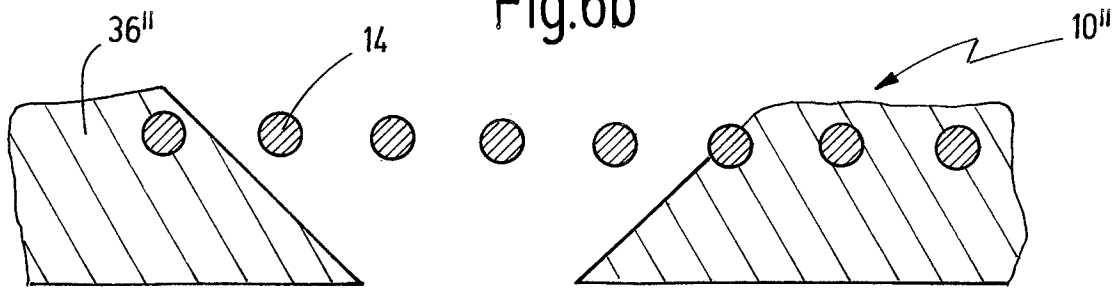


Fig. 7

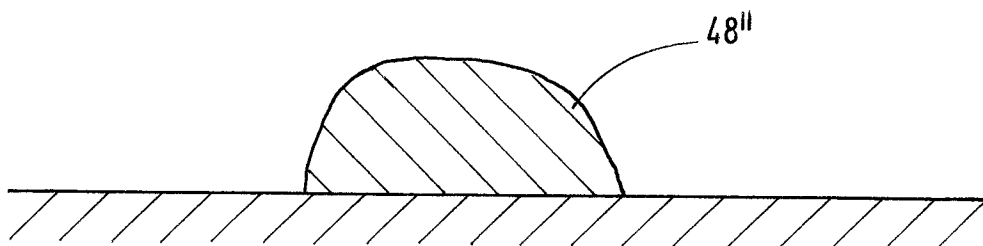
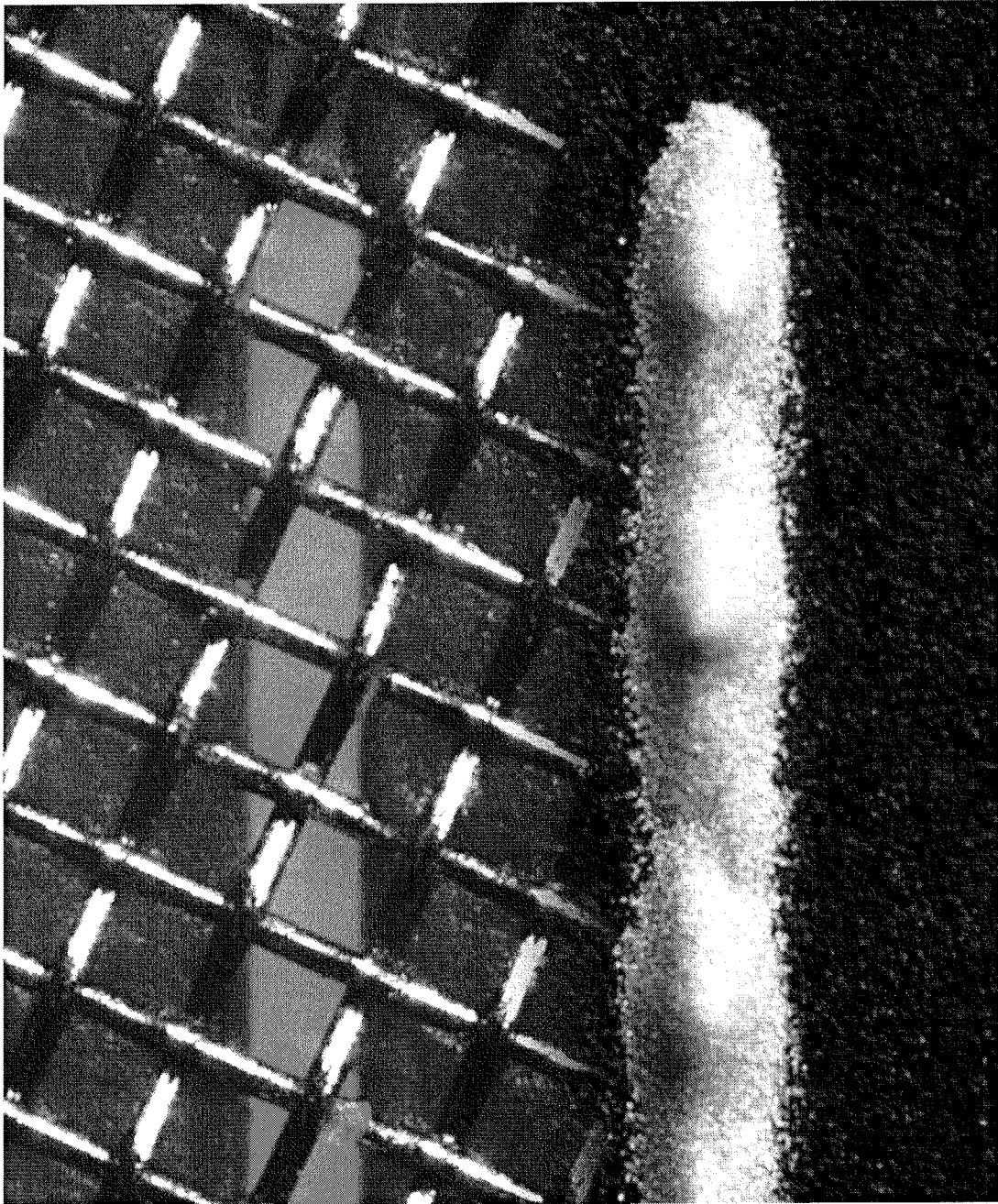


Fig. 8



**Fig. 9**