



(12)

# Patentschrift

- (21) Deutsches Aktenzeichen: **11 2016 000 610.1**
- (86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/US2016/016338**
- (87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 2016/126801**
- (86) PCT-Anmeldetag: **03.02.2016**
- (87) PCT-Veröffentlichungstag: **11.08.2016**
- (43) Veröffentlichungstag der PCT Anmeldung in deutscher Übersetzung: **19.10.2017**
- (45) Veröffentlichungstag der Patenterteilung: **08.12.2022**

- (51) Int Cl.: **C09D 5/24 (2006.01)**  
**H01B 1/22 (2006.01)**  
**H01L 31/0224 (2006.01)**  
**C08L 33/08 (2006.01)**  
**C08L 33/10 (2006.01)**  
**C09D 11/52 (2014.01)**

Innerhalb von neun Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

(30) Unionspriorität:

<b>62/112,030</b>	<b>04.02.2015</b>	<b>US</b>
<b>62/175,060</b>	<b>12.06.2015</b>	<b>US</b>

**Hoang Vi, Wilmington, Del., US; Mather, Brian D., San Diego, Calif., US; Lee, Hee Hyun, Wilmington, Del., US; Kim, Esther, Cary, N.C., US; Cativo, Ma Helen, Wilmington, Del., US; Tao, Yuefei, Hockessin, Del., US**

(73) Patentinhaber:

**Solar Paste, LLC, Wilmington, DE, US**

(56) Ermittelte Stand der Technik:

**US 4 968 738 A**

(74) Vertreter:

**Abitz & Partner Patentanwälte mbB, 81925 München, DE**

**WO 2014/208702 A1, sowie englische Maschinenübersetzung**

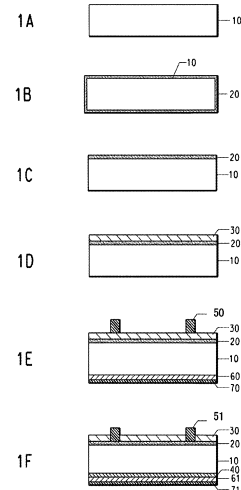
(72) Erfinder:

**Wolfe, Michael Stephen, Wilmington, Del., US; Summers, John Donald, Chapel Hill, N.C., US; Sauer, Bryan Benedict, Wilmington, Del., US; Tran,**

(54) Bezeichnung: **Elektrisch leitfähige Pastenzusammensetzung, Verwendung dieser in einem Verfahren zur Bildung einer elektrisch leitfähigen Struktur, sowie Gegenstand, Photovoltaikzelle und Halbleitersubstrat, umfassend die Pastenzusammensetzung**

(57) Hauptanspruch: Pastenzusammensetzung, die umfasst:

- (a) eine Quelle elektrisch leitenden Metalls;
- (b) eine Glasfritte; und
- (c) ein organisches Vehikel, in dem die Quelle elektrisch leitenden Metalls und die Glasfritte dispergiert sind, wobei die Quelle elektrisch leitenden Metalls ein leitfähiges Pulver ist, das 50 Gewichtsprozent oder mehr des Gesamtgewichts der Paste ausmacht, das organische Vehikel Mikrogeleilchen und ein Lösungsmittel umfasst, und die Mikrogeleilchen Teilchen eines vernetzten Polymers sind, die eine mittlere Teilchengröße von 20 nm bis 2 µm in ihrem ungequollenen Zustand aufweisen, das Polymer der Mikrogeleilchen ein Molekulargewicht von  $10^7$  bis  $10^{12}$  umfasst, und organisches Polymer 0,01 bis 5,0 Gew.-% des Gesamtgewichts der leitfähigen Paste ausmacht.



### Beschreibung

**[0001]** Diese Anmeldung beansprucht die Priorität nach 35 U.S.C. §120 auf U.S. Ser. Nr. 62/112,030, eingereicht am 4. Feb. 2015 und U.S. Ser. Nr. 62/175,060, eingereicht am 12. Juni 2015, deren Inhalt durch diese Bezugnahme in seiner Gesamtheit hier aufgenommen wird.

### GEBIET DER ERFINDUNG

**[0002]** Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf eine leitfähige , Pastenzusammensetzung gemäß Hauptanspruch 1 die zum Bau einer Vielzahl von elektrischen und elektronischen Vorrichtungen geeignet ist, und insbesondere auf eine Pastenzusammensetzung, die zur Herstellung leitfähiger Strukturen geeignet ist, einschließlich der vorderseitigen Elektroden für Photovoltaikvorrichtungen, und Verfahren für deren Bau.

### TECHNISCHER HINTERGRUND DER ERFINDUNG

**[0003]** Ein elektrisches Gerät wie eine Solarzelle muss über Elektroden verfügen, mithilfe derer sie an eine elektrische Last angeschlossen wird, welcher sie elektrische Energie liefert. Bei einigen für Solarzellen üblicherweise verwendeten Architekturen ist eine der Elektroden auf der Lichtempfangsfläche der Zelle angeordnet, so dass die Elektrode idealerweise so klein wie möglich ist, um den Effizienzverlust, der durch Abschattung des einfallenden Lichts entsteht, zu vermeiden. Jedoch verfügt die Elektrode idealerweise ebenso über eine hohe elektrische Leitfähigkeit, um den Effizienzverlust durch ohmsches Erhitzen innerhalb der Zelle zu minimieren. Diese Anforderungen erfordern normalerweise eine Struktur, die mehrere feine leitfähige Linien enthält.

**[0004]** US 2013/0011959 A1 offenbart ein Verfahren zur Herstellung einer Solarzellenelektrode, das folgende Schritte umfasst: Auftragen einer leitfähigen Paste auf ein Halbleitersubstrat, welche (i) ein leitfähiges Pulver, (ii) eine Glasfritte, (iii) Ethylcellulose als ein organisches Polymer und (iv) ein Lösungsmittel umfasst, das 30 bis 85 Gewichtsprozent (Gew.-%) von 1-Phenoxy-2-propanol bezogen auf das Gewicht des Lösungsmittels umfasst; sowie Brennen der leitfähigen Paste.

**[0005]** US 4,968,738 A offenbart eine Pastenzusammensetzung zum Verkleben von Halbleiterchips mit einem Keramiksubstrat. Die Zusammensetzung umfasst Silberpartikel, eine Glasfritte und ein Vehikel aus in organischem Lösungsmittel vernetzten Polymerteilchen mit einer Teilchengröße von 45 Mikrometer bis größer als einen Millimeter.

**[0006]** WO 2014/208702 A1 beschreibt eine Tinte, die organisches Polymer, anorganisches Pigment und gegebenenfalls eine Glasur in einer Dispersionslösung umfasst.

### ZUSAMMENFASSUNG DER ERFINDUNG

**[0007]** Die erfindungsgemäße Pastenzusammensetzung umfasst:

- (a) eine Quelle elektrisch leitenden Metalls;
- (b) eine Glasfritte; und
- (c) ein organisches Vehikel, in dem die Quelle elektrisch leitenden Metalls und die Glasfritte dispergiert sind,

wobei

die Quelle elektrisch leitenden Metalls ein leitfähiges Pulver ist, das 50 Gewichtsprozent oder mehr des Gesamtgewichts der Paste ausmacht, das organische Vehikel Mikrogelteilchen und ein Lösungsmittel umfasst, und die Mikrogelteilchen Teilchen eines vernetzten Polymers sind, die eine mittlere Teilchengröße von 20 nm bis 2 µm in ihrem ungequollenen Zustand aufweisen, das Polymer der Mikrogelteilchen ein Molekulargewicht von  $10^7$  bis  $10^{12}$  umfasst, und organisches Polymer 0,01 bis 5,0 Gew.-% des Gesamtgewichts der leitfähigen Paste ausmacht.

**[0008]** In verschiedenen Ausführungsformen können die Mikrogelteilchen aus einer einzelnen Art oder aus mehreren Arten bestehen.

**[0009]** Ein weiterer Aspekt stellt ein Verfahren zur Bildung einer elektrisch leitfähigen Struktur auf einem Substrat bereit, wobei das Verfahren umfasst:

- (a) Bereitstellen eines Substrats mit einer ersten Hauptoberfläche;
- (b) Auftragen einer Pastenzusammensetzung auf einen vorgewählten Abschnitt der ersten Hauptoberfläche, wobei die Pastenzusammensetzung umfasst:
  - i) eine Quelle elektrisch leitenden Metalls,
  - ii) eine Glasfritte, und
  - iii) ein organisches Vehikel, in dem die Quelle elektrisch leitenden Metalls und die Glasfritte dispergiert sind, wobei die Quelle elektrisch leitenden Metalls ein leitfähiges Pulver ist, das 50 Gewichtsprozent oder mehr des Gesamtgewichts der Paste ausmacht, das organische Vehikel Mikrogelteilchen und ein Lösungsmittel umfasst, und die Mikrogelteilchen Teilchen eines vernetzten Polymers sind, die eine mittlere Teilchengröße von 20 nm bis 2 µm in ihrem ungequollenen Zustand aufweisen, das Polymer der Mikrogelteilchen ein Molekulargewicht von  $10^7$  bis  $10^{12}$  umfasst, und organisches Polymer 0,01 bis 5,0 Gew.-% des Gesamtgewichts der leitfähigen Paste ausmacht, und
- (c) Brennen des Substrats und der Pastenzusammensetzung darauf, wobei die elektrisch leitfähige Struktur auf dem Substrat gebildet wird.

**[0010]** Noch ein weiterer Aspekt liefert einen Gegenstand, der ein Substrat und eine elektrisch leitfähige Struktur darauf umfasst, wobei der Gegenstand durch das vorstehende Verfahren gebildet worden ist. Das Substrat kann beispielsweise ein Silizium-Wafer sein und der Gegenstand kann eine Halbleitervorrichtung oder eine Photovoltaik-Zelle umfassen.

**[0011]** Ein noch weiterer Aspekt liefert ein Halbleitersubstrat mit gegenüberliegenden ersten und zweiten Hauptoberflächen und umfasst:

- a. eine Antireflexbeschichtung auf der ersten Hauptoberfläche;
- b. eine Pastenzusammensetzung, die auf einem vorgewählten Abschnitt der ersten Hauptoberfläche aufgebracht und so konfiguriert ist, dass sie durch einen Brennvorgang zu einer leitfähigen Struktur in elektrischem Kontakt mit dem Halbleitersubstrat geformt wird, wobei die Pastenzusammensetzung umfasst:
  - i) eine Quelle elektrisch leitenden Metalls,
  - ii) eine Glasfritte, und
  - iii) ein organisches Vehikel, in das die Quelle elektrisch leitenden Metalls und die Glasfritte dispergiert sind, wobei die Quelle elektrisch leitenden Metalls ein leitfähiges Pulver ist, das 50 Gewichtsprozent oder mehr des Gesamtgewichts der Paste ausmacht, das organische Vehikel Mikrogelteilchen und ein Lösungsmittel umfasst, und die Mikrogelteilchen Teilchen eines vernetzten Polymers sind, die eine mittlere Teilchengröße von 20 nm bis 2 µm in ihrem ungequollenen Zustand aufweisen, das Polymer der Mikrogelteilchen ein Molekulargewicht von  $10^7$  bis  $10^{12}$  umfasst, und organisches Polymer 0,01 bis 5,0 Gew.-% des Gesamtgewichts der leitfähigen Paste ausmacht.

#### Figurenliste

**[0012]** Durch die Bezugnahme auf die folgende ausführliche Beschreibung der bevorzugten Ausführungsformen und der beiliegenden Zeichnungen wird die Erfindung noch besser verstanden und die weiteren Vorteile werden deutlich, wobei gleiche Bezugszeichen ähnliche Elemente in der Gesamtheit der Ansichten bezeichnen und worin:

**Fig. 1A** bis **Fig. 1F** Zeichnungen in Querschnittsansicht zur Erklärung eines Solarzellenelektroden-Herstellverfahrens sind; und

**Fig. 2** eine lichtmikroskopische Aufnahme von unter Verwendung der vorliegenden Pastenzusammensetzung gedruckten feinen Leiterlinien darstellt.

## AUSFÜHRLICHE BESCHREIBUNG

(Verfahren zur Herstellung einer elektronischen Vorrichtung)

**[0013]** Ein Aspekt der Offenbarung stellt ein Verfahren zur Herstellung einer elektrischen Vorrichtung bereit, welches umfasst: Herstellen eines Substrats, Auftragen einer leitfähigen Paste in einem vorgewählten Muster auf das Substrat und Erhitzen der aufgetragenen leitfähigen Paste, um eine Elektrode zu bilden.

**[0014]** Eine mögliche Ausführungsform eines Verfahrens zur Herstellung einer p-Basistyp-Solarzelle als eine elektrische Vorrichtung wird nachstehend erörtert. Dieses und andere Herstellverfahren hierin sind jedoch nicht auf die Herstellung von Solarzellen der beschriebenen Art beschränkt. Beispielsweise erkennt der Fachmann, dass diese Herstellverfahren für die Herstellung von n-Typ-Solarzellen, Solarzellen mit anderen Architekturen und anderen elektrischen Vorrichtungen wie Leiterplatten, optische Vorrichtungen und Anzeigetafeln anwendbar sind.

**[0015]** **Fig. 1A** zeigt ein p-Typ-Siliziumsubstrat 10. In **Fig. 1B** ist eine n-Schicht 20 des inversen Leitungstyps durch thermische Diffusion von Phosphor (P) oder dergleichen ausgebildet. Phosphoroxychlorid ( $\text{POCl}_3$ ) wird üblicherweise als Phosphor-Diffusionsquelle verwendet. In einer möglichen Implementierung ist die n-Schicht 20 über die gesamte Oberfläche des Siliziumsubstrats 10 ausgebildet. Der Silizium-Wafer besteht aus p-Typ-Substrat 10, und die n-Schicht 20 weist typischerweise einen Schichtwiderstand in der Größenordnung von mehreren zehn Ohm pro Quadrat ( $\text{Ohm}/\square$ ) auf.

**[0016]** Jede Art von Substrat kann für die Ausführung der vorliegenden Offenbarung ausgewählt werden. Andere nützliche Substrate enthalten ohne Einschränkung Keramiksubstrate, Glassubstrate, Polymerfilm-substrate oder andere Halbleitersubstrate.

**[0017]** Nach der Schutzbehandlung einer Oberfläche der n-Schicht mit einem Resist oder dergleichen wird die n-Schicht 20 aus den meisten Oberflächen durch Ätzen entfernt, so dass sie nur auf der ersten Hauptoberfläche wie in **Fig. 1C** dargestellt zurückbleibt. Das Resist wird dann mithilfe eines Lösungsmittels oder dergleichen entfernt.

**[0018]** Als nächstes zeigt **Fig. 1D** die Bildung einer Passivierungsschicht 30 auf der n-Schicht 20 mithilfe eines Verfahrens wie etwa der plasmachemischen Gasphasenabscheidung (CVD).  $\text{SiN}_x$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SiO}_x$  oder ITO könnten als Material für eine Passivierungsschicht verwendet werden. Am häufigsten wird  $\text{Si}_3\text{N}_4$  verwendet. Die Passivierungsschicht wird manchmal als Antireflexschicht bezeichnet, insbesondere wenn sie auf der Vorderseite gebildet wird, die als die Lichtempfangsseite des Halbleitersubstrats bei einer Solarzelle festgelegt wird.

**[0019]** Wie in **Fig. 1E** dargestellt, wird die leitfähige Pastenzusammensetzung 50 bei einer Frontelektrode auf die Passivierungsschicht 30 auf dem Siliziumsubstrat aufgetragen und dann getrocknet. In einer Ausführungsform wird die Frontelektrode durch Siebdruck der leitfähigen Paste durch eine Siebmaske aufgetragen, die ein vorgewähltes Muster zum Aufbringen definiert. Eine Aluminiumpaste, 60, und eine Silberpaste, 70, werden auf die Rückseite des Substrats, 10, siebgedruckt.

**[0020]** Nach dem Aufbringen werden die Pasten optional durch Erhitzen getrocknet, was bei einer Ausführungsform auf eine Temperatur von 60 bis  $300^\circ$  sein kann. Dann wird die Elektrode durch Erhitzen der gedruckten leitfähigen Paste in einem Vorgang, der oft als Brennen bezeichnet wird, gebildet. In verschiedenen Ausführungsformen erfolgt das Brennen bei einer Temperatur, die in einem Bereich zwischen etwa  $300^\circ\text{C}$  und etwa  $1000^\circ\text{C}$  oder etwa  $300^\circ\text{C}$  und etwa  $525^\circ\text{C}$  oder etwa  $300^\circ\text{C}$  und etwa  $650^\circ\text{C}$  oder etwa  $650^\circ\text{C}$  und etwa  $1000^\circ\text{C}$  liegen kann. Das Brennen kann unter Verwendung einer geeigneten Heizquelle durchgeführt werden und kann in einer Atmosphäre erfolgen, die aus Luft, Stickstoff, einem Inertgas oder einem sauerstoffhaltigen Gemisch wie etwa einem gemischten Gas aus Sauerstoff und Stickstoff besteht. In einer Ausführungsform wird das Brennen durch das Führen des gedruckten Pastenzusammensetzungsmuster tragenden Substrats durch einen Gürtelofen mit hohen Transportraten, beispielsweise zwischen etwa 100 bis etwa 500 cm pro Minute, mit resultierenden Verweilzeiten zwischen etwa 0,05 bis etwa 5 Minuten erreicht. Beispielsweise kann das Heizprofil 10 bis 60 Sekunden bei über  $400^\circ\text{C}$  und 2 bis 10 Sekunden bei über  $600^\circ\text{C}$  vorschreiben. Mit einer solchen Heizbedingung kann eine Beschädigung am Halbleitersubstrat

minimiert werden. Es können mehrere Temperaturzonen verwendet werden, um das gewünschte Wärmeprofil im Ofen zu steuern, und die Anzahl der Zonen kann beispielsweise zwischen 3 bis 11 Zonen variieren. Die Temperatur eines unter Verwendung eines Gürtelofens durchgeführten Brennvorgangs wird herkömmlicherweise durch den Ofen-Sollwert in der heißesten Zone des Ofens festgelegt, jedoch ist es bekannt, dass die durch das passierende Substrat erreichte Spitztemperatur in einem solchen Prozess etwas niedriger als der höchste Sollwert ist. Weitere dem Fachmann bekannte diskontinuierliche und kontinuierliche Schnellbrandöfen-Ausführungen werden ebenfalls in Betracht gezogen.

**[0021]** Die somit gebildete leitfähige Struktur kann jede gewünschte Konfiguration aufweisen. Eine häufig für planare vorderseitige Elektroden von Solarzellen eingesetzte Konfiguration enthält eine oder mehrere relativ breite Sammelschiene(-n) und eine Mehrzahl von fingerartigen Liniensegmenten oder Vorsprüngen, die sich senkrecht aus der einen oder mehreren Sammelschiene(-n) in einer kammartigen Anordnung erstrecken können. Die vorliegende Pastenzusammensetzung kann in einer Konfiguration gedruckt werden, welche die feinen Linien in einer kammartigen Elektrodenstruktur enthält. Wie hierin verwendet, bezieht sich der Begriff „feine Linien“ auf eine Spur von leitfähigem Material auf einem Substrat, das eine Länge aufweist, die seine Breite oder seine Höhe weit übersteigt. In bestimmten Implementierungen weisen die unter Verwendung der vorliegenden Pastenzusammensetzung gebildeten feinen Linien eine Breite auf, die im Bereich von einer unteren Linienbreite von 10 µm, 15 µm, 20 µm, 25 µm oder 30 µm bis zu einer oberen Linienbreite von 35 µm, 40 µm, 45 µm oder 50 µm liegt.

**[0022]** Idealerweise weisen die feinen Leiterbahnen bei einer vorderseitigen Solarzellelektrode hohe Aspektverhältnisse auf, womit ein Verhältnis der Leiterhöhe zur Leiterbreite gemeint ist, so dass ein relativ schmaler Leiter immer noch eine hohe Querschnittsfläche in einer Ebene senkrecht zur Leitungsrichtung aufweisen kann. Eine hohe Querschnittsfläche minimiert wiederum den Widerstand pro Längeneinheit des Leiters. In einer Ausführungsform umfasst die vorliegende leitfähige Struktur eine oder mehrere Linie(-n) mit einem minimalen Aspektverhältnis von 0,20, 0,25 oder 0,30 und einem maximalen Aspektverhältnis, das so hoch wie möglich und mit der Stabilität der fertigen Elektrode vereinbar ist. Das Aspektverhältnis kann durch jedes geeignete Verfahren gemessen werden, das in der Lage ist, die Linienbreite und -höhe zu bestimmen. Zum Beispiel können Linien abgebildet werden, um die Höhe durch ein konfokales Laser-Scanning-Mikroskop zu bestimmen, wie z. B. das Modell OPTELICS C130 von Lasertec Corporation. Die Breiten können durch ein optisches Mikroskop bestimmt werden, wie z.B. das Mikrobildprüfgerät Modell A200 (Panasonic). Typischerweise werden die Höhe und die Breite durch Mittelung von Messungen erhalten, die an einer Vielzahl von repräsentativen Punkten genommen werden, um die Genauigkeit zu verbessern. Bei einer ähnlichen Ausführungsform umfasst die leitfähige Struktur eine oder mehrere feine Linie(-n), die eine Kombination irgendwelcher der vorstehend genannten Breiten und Aspektverhältnisse aufweist bzw. aufweisen.

**[0023]** Fig. 1F zeigt die Ergebnisse des Brennvorgangs, wobei die leitfähige Struktur einschließlich der Frontelektrode 51 aus der leitfähigen Paste 50 gebildet ist. Nach dem Durchbrennen stellt die Elektrode 51 einen elektrischen Kontakt mit der n-Schicht 20 her. Es wird ebenfalls angenommen, dass der Brennvorgang in einigen Ausführungsformen ein im Wesentlichen vollständiges Ausbrennen des organischen Vehikels aus der aufgetragenen Paste durch Verflüchtigung und/oder Pyrolyse des organischen Materials verursacht.

**[0024]** Wie in Fig. 1F ebenfalls dargestellt, kann Aluminium als eine Verunreinigung aus der Aluminiumpaste in das Siliziumsubstrat, 10, auf der Rückseite während des Brennens diffundieren, wodurch eine p<sup>+</sup>-Schicht, 40, gebildet wird, die eine hohe Aluminium-Dotierstoffkonzentration enthält. Das Brennen wandelt die getrocknete Aluminiumpaste, 60, zu einer Aluminium-Rückelektrode, 61, um. Die rückseitige Silberpaste, 70, wird zur selben Zeit gebrannt und wird zu einer Silberrückelektrode, 71. Während des Brennens nimmt die Grenze zwischen dem rückseitigen Aluminium und dem rückseitigen Silber den Zustand einer Legierung an, wodurch eine elektrische Verbindung erreicht wird. In den meisten Ausführungsformen ist die Rückfläche im Wesentlichen vollständig durch die Aluminiumelektrode bedeckt, um mindestens teilweise die Bildung einer p<sup>+</sup>-Schicht, 40, zu fördern. Da das Verlöten mit einer Aluminiumelektrode nicht einfach ist, wird gleichzeitig die Silberpaste, 70, verwendet, um eine rückseitige Elektrode, 71, auf ausgewählten Bereichen der Rückseite als eine Elektrode zum Untereinanderverbinden von Solarzellen und der Lastschaltung mithilfe von Kupferband oder dergleichen in einer Ausführungsform zu bilden.

**[0025]** Obwohl ein p-Basistyp der Solarzelle als Beispiel aufgeführt wird, ist die vorliegende Ausführungsform zum Bau eines n-Basistyps der Solarzelle oder jedes anderen Typs der Solarzelle oder elektrischen oder elektronischen Vorrichtung anwendbar, wobei eine leitfähige Struktur unter Verwendung einer leitfähigen Paste, z.B. durch Erhitzen oder Brennen, gebildet wird.

## Leitfähige Paste

**[0026]** Die Pastenzusammensetzung umfasst: eine Quelle elektrisch leitenden Metalls; eine Glasfritte einen optionalen diskreten Frittenzusatzstoff; und ein organisches Vehikel, das ein Mikrogel enthält. Bestimmte Ausführungsformen beinhalten eine Photovoltaik-Zelle, die eine mit der vorliegenden Pastenzusammensetzung hergestellte leitfähige Struktur enthält. Derartige Zellen können jede beliebige Kombination aus einer oder mehreren der folgenden Merkmale bereitstellen: hohe photovoltaische Umwandlungseffizienz, hoher Füllfaktor und niedriger Serienwiderstand.

## I. Anorganische Komponenten

## A. Elektrisch leitendes Metall

**[0027]** Die vorliegende Pastenzusammensetzung enthält eine Quelle elektrisch leitenden Metalls. Beispielhafte Metalle umfassen ohne Einschränkung Silber, Gold, Kupfer, Nickel, Palladium, Platin, Aluminium und Legierungen sowie Mischungen davon. Silber bietet nutzbringend eine gute Verarbeitbarkeit und hohe Leitfähigkeit. In einer idealen Solarzelle sind hoch leitfähige Elektroden erforderlich, um eine effiziente Versorgung einer externen Schaltkreislast durch die in der Zelle generierte elektrische Energie zu ermöglichen. Jedoch kann eine Zusammensetzung, die zumindest einige Nichtelegmetalle enthält, verwendet werden, um Kosten zu reduzieren.

**[0028]** Das leitfähige Metall kann in die vorliegende Pastenzusammensetzung als ein Metallpulver direkt integriert werden. In einer weiteren Ausführungsform wird eine Mischung von zwei oder mehreren derartiger Metalle direkt integriert. Alternativ wird das Metall als Metalloxid oder -salz zugeführt, das sich unter Einwirkung von Wärme aus dem Brennvorgang unter Bildung des Metalls zersetzt. Wie hierin verwendet, bezieht sich der Begriff „Silber“ auf elementares Silbermetall, Legierungen aus Silber und Mischungen davon und kann des Weiteren Silber umfassen, das aus Silberoxid ( $\text{Ag}_2\text{O}$  oder  $\text{AgO}$ ) oder Silbersalzen wie z.B.  $\text{AgCl}$ ,  $\text{AgNO}_3$ ,  $\text{AgOOCCH}_3$  (Silberacetat),  $\text{AgOOCF}_3$  (Silbertrifluoracetat),  $\text{Ag}_3\text{PO}_4$  (Silberorthophosphat) oder Mischungen davon abgeleitet ist. Jede andere Form von leitfähigem Metall, das mit den anderen Komponenten der Pastenzusammensetzung kompatibel ist, kann ebenfalls verwendet werden.

**[0029]** Elektrisch leitendes Metallpulver, das in der vorliegenden Pastenzusammensetzung verwendet wird, kann in Form von fein zerteilten Teilchen zugeführt werden, die eine oder mehrere der folgenden Morphologien aufweisen: Pulverform, Flockenform, Kugelform, Stäbchenform, Granulatform, noduläre Form, kristalline Form, andere unregelmäßige Formen oder Mischungen davon. Das elektrisch leitende Metall oder die Quelle davon kann auch in einer kolloidalen Suspension bereitgestellt werden, wobei der kolloidale Träger nicht in die Berechnung der Gewichtsprozente der Feststoffe, von denen das kolloidale Material ein Teil ist, einbezogen wird.

**[0030]** Die Teilchengröße des Metalls unterliegt keinen besonderen Einschränkungen. Wie hierin verwendet, soll sich „Teilchengröße“ auf die „mittlere Teilchengröße“ oder  $d_{50}$  beziehen, womit die Volumenverteilungsgröße von 50% gemeint ist. Die Verteilung kann auch durch andere Verteilungsparameter gekennzeichnet sein, wie z.B.  $d_{90}$ , das heißt, dass 90 Vol.-% der Teilchen kleiner als  $d_{90}$  sind. Die Volumenverteilungsgröße kann durch eine Reihe von dem Fachmann bekannten Verfahren bestimmt werden, einschließlich, jedoch nicht beschränkt darauf, dem Verfahren zur Laserdiffraktion und -dispersion, die mittels eines Microtrac Partikelgrößenanalysators (Montgomeryville, PA) durchgeführt werden. Die Laserlichtstreuung, z.B. unter Anwendung des Modells LA-910 des Partikelgrößenanalysators, der von Horiba Instruments Inc. (Irvine, CA) im Handel erhältlich ist, kann ebenfalls verwendet werden. In verschiedenen Ausführungsformen liegt die mittlere Teilchengröße zwischen  $0,01 \mu\text{m}$  und  $10 \mu\text{m}$  oder  $0,3 \mu\text{m}$  und  $5 \mu\text{m}$  oder  $0,8 \mu\text{m}$  und  $3 \mu\text{m}$ . Mit einem solchen Partikeldurchmesser kann das leitfähige Pulver gut gesintert werden. Große Teilchen können beispielsweise langsamer als kleine Teilchen gesintert werden. Darüber hinaus kann es auch erforderlich sein, dass der Teilchendurchmesser für ein Verfahren geeignet sein kann, das zum Auftragen der leitfähigen Paste auf ein Halbleitersubstrat, beispielsweise durch Siebdrucken, eingesetzt wird. In einer Ausführungsform ist es möglich, zwei oder mehrere Arten von leitfähigem Pulver von verschiedenen Durchmessern und/oder Morphologien zu mischen.

**[0031]** In einer Ausführungsform ist das leitfähige Pulver von gewöhnlicher hoher Reinheit (99%). Je nach den elektrischen Anforderungen des Elektrodenmusters können jedoch auch weniger reine leitfähige Pulver verwendet werden.

**[0032]** Um eine hohe Leitfähigkeit in einer fertigen leitfähigen Struktur zu erreichen, ist es in der Regel vorzuziehen, bei gleichzeitiger Aufrechterhaltung anderer erforderlicher Merkmale der Pastenzusammensetzung, die entweder mit der Verarbeitung oder der Endverwendung im Zusammenhang stehen, eine Konzentration des elektrisch leitenden Metalls zu haben, die so hoch wie möglich ist. Daher macht bei der vorliegenden Erfindung das leitfähige Pulver 50 Gewichtsprozent (Gew.-%) oder mehr des Gesamtgewichts der leitfähigen Paste aus. In anderen Ausführungsformen macht das leitfähige Pulver 60, 70, 75, 80, 85 oder 90 Gew.-% oder mehr der leitfähigen Paste aus. In anderen Ausführungsformen kann das Silber oder ein anderes elektrisch leitendes Metall etwa 75 Gew.-% bis etwa 99 Gew.-% oder etwa 85 Gew.-% bis etwa 99 Gew.-% oder etwa 95 Gew.-% bis etwa 99 Gew.-% der anorganischen Feststoffkomponenten der Pastenzusammensetzung ausmachen. In einer weiteren Ausführungsform kann der Feststoffanteil der Pastenzusammensetzung etwa 80 Gew.-% bis etwa 90 Gew.-% Silberteilchen und etwa 1 Gew.-% bis etwa 9 Gew.-% Silberflocken enthalten. In einer Ausführungsform kann der Feststoffanteil der Pastenzusammensetzung etwa 70 Gew.-% bis etwa 90 Gew.-% Silberteilchen und etwa 1 Gew.-% bis etwa 9 Gew.-% Silberflocken enthalten. In einer weiteren Ausführungsform kann der Feststoffanteil der Pastenzusammensetzung etwa 70 Gew.-% bis etwa 90 Gew.-% Silberflocken und etwa 1 Gew.-% bis etwa 9 Gew.-% kolloidales Silber enthalten. In einer weiteren Ausführungsform kann der Feststoffanteil der Pastenzusammensetzung etwa 60 Gew.-% bis etwa 90 Gew.-% Silberteilchen oder Silberflocken und etwa 0,1 Gew.-% bis etwa 20 Gew.-% kolloidales Silber enthalten.

**[0033]** Das hierin verwendete elektrisch leitende Metall kann, insbesondere in Pulverform, beschichtet oder unbeschichtet sein; zum Beispiel kann es zumindest teilweise mit einem Tensid beschichtet sein, um die Verarbeitung zu erleichtern. Geeignete Beschichtungstenside umfassen zum Beispiel Stearinsäure, Palmitinsäure, ein Stearatsalz, ein Palmitatsalz und Mischungen davon. Andere Tenside, die ebenfalls verwendet werden können, umfassen Laurinsäure, Ölsäure, Caprinsäure, Myristinsäure, Linolsäure und Mischungen davon. Noch weitere Tenside, die ebenfalls verwendet werden können, umfassen Polyethylenoxid, Polyethylenglykol, Benzotriazol, Poly(ethylenglykol)essigsäure und andere ähnliche organische Moleküle. Geeignete Gegenionen für die Verwendung in einem Beschichtungstensid umfassen ohne Einschränkung Wasserstoff, Ammonium, Natrium, Kalium und Mischungen davon. Wenn das elektrisch leitende Metall Silber ist, kann es mit beispielsweise einer phosphorhaltigen Verbindung beschichtet sein.

**[0034]** In einer Ausführungsform können ein oder mehrere Tensid(-e) im organischen Vehikel zusätzlich zu jedem beliebigen Tensid, das als eine Beschichtung des in der vorliegenden Pastenzusammensetzung verwendeten leitfähigen Metallpulvers enthalten ist, enthalten sein.

**[0035]** Wie des Weiteren nachstehend beschrieben, kann das elektrisch leitende Metall in einem organischen Vehikel dispergiert sein, das als Träger für die Metallphase und andere in der Formulierung vorhandene Bestandteile wirkt.

## B. Glasfritte

**[0036]** Die vorliegende Pastenzusammensetzung enthält ein schmelzbares Oxidmaterial. Der Begriff „schmelzbar“, wie hierin verwendet, bezieht sich auf die Fähigkeit eines Materials, beim Erhitzen, wie etwa dem in einem Brennvorgang ausgeführten Erhitzen, flüssig zu werden. In einigen Ausführungsformen besteht das schmelzbare Material aus einer oder mehreren schmelzbaren Unterkomponenten. Das schmelzbare Material kann beispielsweise ein Glasmaterial oder eine Mischung aus zwei oder mehreren Glasmaterialien umfassen. Glasmaterial in Form eines feinen Pulvers, z.B. als Resultat eines Zerkleinerungsvorgangs, wird oft als „Fritte“ bezeichnet und wird nutzbringend als das Oxidmaterial einiger Ausführungsformen der vorliegenden Pastenzusammensetzung eingesetzt.

**[0037]** Während die vorliegende Erfindung nicht durch ein bestimmtes Funktionsprinzip eingeschränkt wird, geht man davon aus, dass die Glasfritte (oder sonstiges ähnliches Oxidmaterial) und der Frittenzusatzstoff (wenn vorhanden) bei einigen Ausführungsformen während des Brennens zusammenwirken, um die isolierende Schicht, die normalerweise auf dem Wafer vorhanden ist, wie z.B. eine natürlich vorkommende oder künstlich gebildete Passivierungsschicht und/oder eine Antireflexbeschichtung, effizient zu durchdringen. Ein solches Resultat wird häufig als „Durchbrennen“ bezeichnet. Es wird angenommen, dass die Glasfritte und der Frittenzusatzstoff auch das Sintern von leitfähigem Metallpulver, z.B. Silber, das in einigen Ausführungsformen die Elektrode bildet, fördern.

**[0038]** Wie hierin verwendet, bezieht sich der Begriff „Glas“ auf eine partikuläre feste Form, wie beispielsweise ein Oxid oder Oxyfluorid, die zumindest überwiegend amorph ist, was bedeutet, dass die atomare Nahordnung in der unmittelbaren Umgebung irgendeines ausgewählten Atoms, das heißt in der ersten Koordina-

tionsschale, bewahrt wird, jedoch sich bei höheren Atomniveauentfernungen (d. h. es gibt keine periodische Fernordnung) verteilt. Daher weist das Röntgenstreuungsmuster eines vollständig amorphen Materials breite, diffuse Peaks und nicht die gut definierten, schmalen Peaks eines kristallinen Materials auf. In Letzterem führt die regelmäßige Beabstandung charakteristischer kristallografischer Ebenen zu schmalen Peaks, deren Position sich in reziprokem Raum dem Bragg-Gesetz entsprechend befindet. Ein Glasmaterial weist auch keine wesentliche Kristallisationsexotherme beim Erhitzen bis in die Nähe seiner Glasübergangstemperatur oder seines Erweichungspunkts,  $T_g$ , oder darüber hinaus auf, definiert als der zweite in einem thermischen Differentialanalyse-(DTA)-Scan sichtbare Übergangspunkt. In einer Ausführungsform liegt der Erweichungspunkt des Glasmaterials, das in der vorliegenden Pastenzusammensetzung verwendet wird, im Bereich von 300 bis 800°C. In anderen Ausführungsformen liegt der Erweichungspunkt im Bereich von 250 bis 650°C oder 300 bis 500 °C oder 300 bis 400 °C oder 390 bis 600 °C oder 400 bis 550 °C oder 410 bis 460 °C. Glasfritten mit derartigen Erweichungspunkten können richtig schmelzen, um die vorstehend erwähnten Auswirkungen zu erhalten. Alternativ kann der „Erweichungspunkt“ durch das Faserverlängerungsverfahren von ASTM C338-93 erhalten werden.

**[0039]** Es wird auch in Betracht gezogen, dass einige oder alle der schmelzbaren Oxidmaterialien aus Material bestehen können, das einen gewissen Kristallinitätsgrad aufweist. Beispielsweise wird in einigen Ausführungsformen eine Mehrzahl von Oxiden zusammengeschmolzen, was zu einem Material führt, das teilweise amorph und teilweise kristallin ist. Wie ein Fachmann erkennen würde, würde ein derartiges Material ein Röntgenbeugungsmuster erzeugen, das schmale kristalline Peaks aufweist, die über ein Muster mit breiten diffusen Peaks überlagert sind. Alternativ kann bzw. können ein oder mehrere Bestandteil(-e) oder sogar im Wesentlichen das gesamte schmelzbare Material überwiegend oder sogar im Wesentlichen vollständig kristallin sein. In bestimmten Ausführungsformen kann kristallines Material, das bei dem schmelzbaren Material der vorliegenden Pastenzusammensetzung nützlich ist, einen Schmelzpunkt von höchstens 700 °C, 750 °C oder 800°C aufweisen.

**[0040]** Das anorganische Pulver umfasst ferner optional eine Glasfritte. Insbesondere bei der Bildung einer Elektrode durch das Brennen einer leitfähigen Paste schmilzt eine Glasfritte, um das Sintern des leitfähigen Pulvers zu unterstützen und die Elektrode an das Substrat anzuhafte.

**[0041]** Der Teilchendurchmesser der Glasfritte kann 0,1 bis 7  $\mu\text{m}$  in einer Ausführungsform, 0,3 bis 5  $\mu\text{m}$  in einer anderen Ausführungsform, 0,4 bis 3  $\mu\text{m}$  in einer anderen Ausführungsform, 0,5 bis 1  $\mu\text{m}$  in einer anderen Ausführungsform betragen. Mit einem derartigen Teilchendurchmesser kann die Glasfritte gleichmäßig in der Paste dispergiert werden. Der Teilchendurchmesser ( $d_{50}$ ) kann in der gleichen Weise wie vorstehend für das leitfähige Pulver beschrieben erhalten werden.

**[0042]** Die chemische Zusammensetzung der hier verwendeten Glasfritte ist nicht beschränkt. Jede beliebige Glasfritte, die zur Verwendung in elektrisch leitfähigen Pasten für elektronische Materialien geeignet ist, ist akzeptabel. Zum Beispiel und ohne Einschränkung können Blei-Borsilikat-, Blei-Silikat- und Blei-Tellur-Glasfritten verwendet werden. Zum Beispiel umfassen in der vorliegenden Pastenzusammensetzung nützliche oxidhaltige Blei-Telluroxid-Glasfritten ohne Einschränkung diejenigen, die durch die US-Patente Nr. 8,497,420, Nr. 8,895,843 und Nr. 8,889,979 bereitgestellt wurden, welche hierin in ihrer Gesamtheit durch den Bezug darauf für alle Zwecke einbezogen sind. Außerdem können auch Zink-Borsilicate oder bleifreie Gläser verwendet werden.

**[0043]** Obwohl in einigen Ausführungsformen die vorliegende Zusammensetzung (einschließlich der Glasfritte oder ähnlichem darin enthaltenem Material) eine wesentliche Menge an Blei, Bleioxid oder anderen Bleiverbindungen enthalten kann, sind andere Ausführungsformen bleifrei. Wie hierin verwendet, bezieht sich der Begriff „bleifreie Pastenzusammensetzung“ auf eine Pastenzusammensetzung, der kein Blei speziell zugegeben wurde (entweder als elementares Blei oder als bleihaltige Legierung, Verbindung oder eine ähnliche Substanz) und bei der die Menge des als Spurenkomponente oder Verunreinigung vorhandenen Bleis 1000 Teile pro Million (ppm) oder weniger beträgt. In einigen Ausführungsformen beträgt die Menge des als Spurenkomponente oder Verunreinigung vorhandenen Bleis weniger als 500 ppm oder weniger als 300 ppm oder weniger als 100 ppm.

**[0044]** Ähnlich können Ausführungsformen der vorliegenden Pastenzusammensetzung Cadmium, z.B. in einer Menge von bis zu 5 Kationen-%, enthalten, während andere kadmiumfrei sind, was wiederum bedeutet, dass kein(e) Cd-Metall oder -Verbindung speziell zugegeben wird, und dass die als Spurenverunreinigung vorhandene Menge weniger als 1000 ppm, 500 ppm, 300 ppm oder 100 ppm beträgt.



**[0045]** Die Menge der Glasfritte kann auf der Basis der Menge des leitfähigen Pulvers und/oder anderer Pastenbestandteile bestimmt werden. Das Gewichtsverhältnis des leitfähigen Pulvers und der Glasfritte (leitfähiges Pulver: Glasfritte) kann in einer Ausführungsform 10:1 bis 100:1, in einer anderen Ausführungsform 25:1 bis 80:1, in einer anderen Ausführungsform 30:1 bis 68:1, in einer anderen Ausführungsform 42:1 bis 53:1 betragen. Mit einer derartigen Menge der Glasfritte kann das Sintern eines leitfähigen Pulvers und die Haftung zwischen einer Elektrode und einem Substrat ordnungsgemäß erfolgen.

**[0046]** In verschiedenen Ausführungsformen kann die Glasfritte 0,25 bis 8 Gew.-%, 0,5 bis 6 Gew.-%, 0,5 bis 4 Gew.-%, oder 1,0 bis 3 Gew.-% auf das Gesamtgewicht der leitfähigen Paste bezogen betragen.

**[0047]** Die Ausführungsformen der hierin beschriebenen Glasfritte oder eines ähnlichen Materials sind nicht beschränkend. Es wird in Betracht gezogen, dass ein Fachmann für Glaschemie kleinere Substitutionen von zusätzlichen Bestandteilen vornehmen und die gewünschten Eigenschaften der gegebenen Zusammensetzung nicht wesentlich verändern könnte, einschließlich ihrer Wechselwirkung mit einem Substrat und irgend-einer isolierenden Schicht darauf.

### C. Optionales Oxidadditiv

**[0048]** Das anorganische Oxidmaterial in der vorliegenden Pastenzusammensetzung kann optional eine Mehrzahl von separaten schmelzbaren Substanzen umfassen, wie beispielsweise eine oder mehrere Fritte (-n) oder eine Fritte mit einem anderen kristallinen Frittenzusatzmaterial. In einer nicht beschränkenden Ausführungsform hat sich Lithiumruthenat ( $\text{LiRuO}_3$ ) als ein geeigneter Frittenzusatzstoff erwiesen. In verschiedenen Ausführungsformen kann der Frittenzusatzstoff 0,01 - 2%, 0,05 - 1,5% oder 0,1 - 1% auf das Gesamtgewicht der leitfähigen Paste bezogen ausmachen.

### II. Organisches Vehikel

**[0049]** Die anorganischen Komponenten der vorliegenden Zusammensetzung werden in einem organischen Vehikel dispergiert, um ein relativ viskoses Material zu bilden, das als eine „Paste“ oder eine „Tinte“ bezeichnet wird, das eine Konsistenz und Rheologie aufweist, die es für Druckverfahren, einschließlich ohne Einschränkung des Siebdrucks, geeignet macht. Das Mischen erfolgt typischerweise mit einem mechanischen System, und die Bestandteile können in beliebiger Reihenfolge kombiniert werden, so lange sie gleichmäßig dispergiert werden und die fertige Formulierung derart Eigenschaften aufweist, dass sie während des Endgebrauchs erfolgreich angewendet werden kann.

**[0050]** Eine große Vielzahl von Inertmaterialien können einem organischen Medium in der vorliegenden Zusammensetzung beigemischt werden, einschließlich ohne Einschränkung einer inerten, nicht-wässrigen Flüssigkeit, die Verdickungsmittel, Bindemittel oder Stabilisatoren enthalten kann oder nicht. Unter „inert“ ist ein Material gemeint, das durch einen Brennvorgang entfernt werden kann, ohne einen wesentlichen Rückstand zu hinterlassen, und das keine weiteren nachteiligen Auswirkungen auf die Paste oder die endgültigen Leiterbahneigenschaften aufweist.

**[0051]** Die Anteile von organischem Vehikel und anorganischen Komponenten in der vorliegenden Pastenzusammensetzung können entsprechend dem Verfahren zum Auftragen der Paste und der Art des verwendeten organischen Vehikels variieren. In einer Ausführungsform enthält die vorliegende Pastenzusammensetzung typischerweise etwa 50 bis 95 Gew.-%, 76 bis 95 Gew.-% oder 85 bis 95 Gew.-% der anorganischen Komponenten und etwa 5 bis 50 Gew.-%, 5 bis 24 Gew.-% oder 5 bis 15 Gew.-% des organischen Vehikels.

**[0052]** Das organische Vehikel stellt typischerweise ein Medium bereit, in dem die anorganischen Komponenten mit einem guten Grad an Stabilität dispergierbar sind. Insbesondere weist die Zusammensetzung vorzugsweise eine Stabilität auf, die nicht nur mit der erforderlichen Herstellung, dem Versand und der Lagerung kompatibel ist, sondern auch mit den Bedingungen, die bei der Abscheidung auftreten, z. B. durch ein Siebdruckverfahren. Idealerweise zeichnen sich die rheologischen Eigenschaften des Vehikels dadurch aus, dass es der Zusammensetzung gute Aufbringungseigenschaften verleiht, einschließlich einer stabilen und gleichmäßigen Dispersion von Feststoffen, einer geeigneten Viskosität und Thixotropie zum Drucken, einer geeigneten Benetzbarkeit der Pastenfeststoffe und des Substrats, auf dem das Drucken erfolgt, einer guten Trocknungsrate nach dem Auftragen und stabiler Brenneigenschaften.

## A. Mikrogel

**[0053]** Die vorliegende leitfähige Pastenzusammensetzung umfasst Teilchen eines oder mehrerer Mikrogel (e). Wie hierin verwendet, bezieht sich der Ausdruck „Mikrogelteilchen“ auf Teilchen eines vernetzten Polymers, die eine mittlere oder durchschnittliche Teilchengröße von 20 nm bis 2 µm in ihrem ungequollenen Zustand aufweisen. In verschiedenen Ausführungsformen können die Mikrogelteilchen eine mittlere Teilchengröße aufweisen, die im Bereich von einer unteren Grenze von 20, 50, 75 oder 100 nm bis zu einer oberen Grenze von 0,8, 1, 1,5, oder 2 µm liegt. Ein Ensemble derartiger Mikrogelteilchen kann als „Mikrogelpolymer“ bezeichnet werden.

**[0054]** Teilchen von einer Mikrogelzusammensetzung können durch jedes beliebige Verfahren hergestellt werden, das ein geeignetes Monomer oder eine Kombination von Monomeren polymerisieren kann. Mikrogel werden in einigen Ausführungsformen durch ein Emulsionspolymerisationsverfahren hergestellt, bei dem ein oder mehrere geeignete Monomere, eine wirksame Menge eines Vernetzungsmittels und ein geeignetes organisches Lösungsmittel in die wässrige Lösung eingeführt werden.

**[0055]** Geeignete Monomere umfassen ohne Einschränkung vinylhaltige Monomere, wie beispielsweise Acrylate und Methacrylate oder eine Kombination von derartigen Monomeren. Wie hierin verwendet, bezieht sich die Nomenklatur „(Meth)acrylat“ kollektiv auf sowohl Acrylate als auch Methacrylate. Desgleichen ist unter dem Adjektiv „(meth)acrylisch“ entweder „acrylisch“ oder „methacrylisch“ zu verstehen.

**[0056]** Zu den (Meth)acrylaten, die nützlicher Weise als Mikrogelteilchen hergestellt werden, welche in die vorliegende Pastenzusammensetzung integriert werden sollen, und ohne Einschränkung, zählt man Ethylacrylat (EA), Methylacrylat (MA), Methylmethacrylat (MMA), n-Butylmethacrylat (BMA), Isobutylmethacrylat (iBMA), Benzylmethacrylat (BzMA) und 2-(2-Oxo-1-imidazolidinyl)ethylmethacrylat (UMA) sowie Mischungen davon in jedem beliebigen Verhältnis. In verschiedenen Ausführungsformen können die vorliegenden Mikrogelteilchen unter Anwendung einer Mischung von BMA und MMA in jedem beliebigen Verhältnis oder einer Mischung von BMA, MMA und UMA in jedem beliebigen Verhältnis hergestellt werden.

**[0057]** Jedes betriebsfähige Vernetzungsmittel, das mindestens eine Difunktionalität bereitstellt, kann verwendet werden. Ein geeigneter difunktionaler Vernetzer ist Ethylenglycoldimethacrylat (EGDMA). Andere nützliche Vernetzer umfassen ohne Einschränkung 1,4-Butandiol dimethacrylat, Poly(ethylenglykol)dimethacrylat, Glycerindimethacrylat, Glycerintrimethacrylat, Diethylenglycoldimethacrylat, Triethylenglycoldimethacrylat, Trimethylolpropantrimethacrylat oder jede beliebige Mischung davon. In verschiedenen Ausführungsformen ist der Vernetzer in einer Menge vorhanden, die im Bereich von einer unteren Grenze von 0,1, 0,25 oder 0,5% bis zu einer oberen Grenze von 1, 2, 4, 6 oder 8% auf das Gewicht des Gesamtmonomers bezogen liegt. Es hat sich typischerweise herausgestellt, dass ein niedrigerer Vernetzergehalt zu einer höheren Quellung der Mikrogelteilchen führt, wenn diese in ein Lösungsmittel eingeführt werden, und dass eine höhere Viskosität bei einer gegebenen Konzentration vorliegt.

**[0058]** Acrylat- und Methacrylatarten mit Trifunktionalität oder höher können ebenfalls verwendet werden, um die erforderliche Vernetzung bereitzustellen. Mögliche Triacrylat-Vernetzer umfassen ohne Beschränkung darauf: Trimethylolpropantriacyrylat, Isocyanuratriacyrylat, Glycerintriacyrylat, ethoxyliertes Trimethylolpropantriacyrylat, propoxyliertes Trimethylolpropantriacyrylat, Tris-(2-hydroxyethyl)isocyanuratriacyrylat, ethoxyliertes Glycerintriacyrylat, propoxyliertes Glycerintriacyrylat, Pentaerythritoltriacyrylat, Arylurethantriacyrylat, aliphatisches Urethantriacyrylat, Melamintriacyrylate, Epoxynovolaktriacyrylate, aliphatisches Epoxytriacyrylat, Polyestertriacyrylat und Mischungen davon, sowie alle ihre Methacrylat-Analoga.

**[0059]** Mögliche Tetraacrylat-Vernetzer umfassen ohne Beschränkung darauf: Pentaerythrittetraacrylat, ethoxyliertes Pentaerythrittetraacrylat, propoxyliertes Pentaerythrittetraacrylat, Dipentaerythritoltetraacrylat, ethoxyliertes Dipentaerythritoltetraacrylat, propoxyliertes Dipentaerythritoltetraacrylat, Arylurethantetraacyrylate, aliphatische Urethantetraacyrylate, Melamintetraacyrylate, Epoxynovolaktetraacyrylate, Polyestertertraacyrylate und Mischungen davon sowie alle ihre Methacrylat-Analoga.

**[0060]** Einige Ausführungsformen der vorliegenden Pastenzusammensetzung umfassen Mikrogelteilchen von einer einzigen Zusammensetzung. Andere Ausführungsformen umfassen Mikrogele von zwei oder mehr Zusammensetzungen. Zum Beispiel können zwei Mikrogele, die aus dem gleichen Monomer (oder einer Mischung von Monomeren) gebildet sind, jedoch eine andere Vernetzerart und/oder -menge aufweisen, verwendet werden. Alternativ können die entsprechenden Mikrogele aus verschiedenen Monomeren gebildet

sein und können die gleichen oder verschiedene Vernetzerarten und/oder -mengen aufweisen. In einer weiteren Alternative können Mikrogele mit unterschiedlicher mittlerer Teilchengröße eingesetzt werden.

**[0061]** Die Lösung umfasst optional ein oder mehrere von einem organischen Lösungsmittel, einem Initiator oder einem Tensid. Dann können die Teilchen aus der Dispersion durch Hitze und/oder Vakuum entfernt werden. Typischerweise liegen die resultierenden Teilchen in einem mittleren Größenbereich von 20 nm bis 2 µm, wie in der wässrigen Dispersion gemessen. In einer Ausführungsform liegen die Teilchen (vor jeder Quellung aus dem Lösungsmittleinbau) in einem mittleren Größenbereich mit einer unteren Mikrogelgrößen-grenze, die 20 nm, 50 nm, 70 nm oder 100 nm beträgt, bis zu einer höheren Mikrogelgrößen-grenze, die 300 nm, 500 nm, 1 µm, 1,5 µm oder 2 µm beträgt. Die Messung der Teilchengröße kann mithilfe einer Laserlichtstreuungstechnik, z.B. unter Anwendung eines Microtrac Partikelgrößenanalysators (Montgomeryville, PA) durchgeführt werden.

**[0062]** Andere zur Herstellung von Mikrogelteilchen geeignete Polymerisationstechniken können ebenso verwendet werden, einschließlich, ohne Einschränkung, der Lösungspolymerisation, Dispersionspolymerisation, Miniemulsionspolymerisation, Fällungspolymerisation. Falls erforderlich, können durch diese Techniken hergestellte Teilchen zerkleinert werden, z.B. durch mechanisches Schleifen, Kugelmahlen, Strahlmahlen oder dergleichen, um ein Pulver herzustellen, das ohne Weiteres in einem geeigneten flüssigen Dispersionsmittel dispergiert wird.

**[0063]** Die Mikrogelteilchen umfassen Polymere mit einem Molekulargewicht von  $10^7$  bis  $10^{12}$ , insbesondere von  $10^7$  bis  $10^{10}$  oder von  $10^8$  bis  $10^9$ . Nützliche Mikrogelteilchen umfassen ohne Einschränkung diejenigen, die bei Exposition gegenüber einem Lösungsmittel quellbar sind.

**[0064]** Neben einem Mikrogel kann die vorliegende Pastenzusammensetzung ein oder mehrere andere Polymermaterialien umfassen, einschließlich ohne Einschränkung: Ethocel® Std. 4 Ethylcellulose-basiertes Polymer (Dow Chemical Company, Midland, MI), das laut seines Herstellers einen Ethoxylgehalt von 58,0 bis 49,5% aufweisen und als ein Rheologiemodifizierungsmittel und Bindemittel wirken soll; Vamac® G Diamin-gehärtetes Terpolymer von Ethylen, Methacrylat und einem Cure-Site Monomer-Elastomer (E. I. DuPont de Nemours and Company, Wilmington DE); und Foralyn™ 110 Pentaerythritester von hydriertem Kolophonium (Eastman Chemical, Kingsport, TN).

**[0065]** In möglichen Ausführungsformen kann das organische Polymer (ausschließlich des Lösungsmittels) 0,01 bis 5,0 Gewichtsteile, 0,02 bis 3,0 Gewichtsteile oder 0,03 bis 2,0 Gewichtsteile betragen, wenn das anorganische Pulver 100 Gewichtsteile beträgt. Die leitfähige Paste kann mit einer solchen Menge des organischen Polymers eine Viskosität aufweisen, die geeignet ist, das Aufbringen mittels Siebdruck oder Ähnliches zu erleichtern.

**[0066]** Das organische Polymer beträgt 0,01 bis 5 Gew.-%, in einer Ausführungsform 0,03 bis 2,5 Gew.-%, in einer anderen Ausführungsform 0,05 bis 1 Gew.-%, auf das Gesamtgewicht der leitfähigen Paste bezogen.

### C. Lösungsmittel

**[0067]** Ein oder mehrere Lösungsmittel ist bzw. sind in das vorliegende organische Vehikel integriert. Vorteilhaftige Auswirkungen von Lösungsmittel(n) umfassen eine oder mehrere der Folgenden: Quellung und/oder Dispergieren der Mikrogelteilchen; Auflösung aller in der Paste enthaltenen organischen Harze; und Stabilisierung einer konzentrierten Suspension der vorhandenen anorganischen Feststoffe. Idealerweise können das Lösungsmittel und andere organische Stoffe während eines Brennvorgangs vollständig entfernt werden.

**[0068]** In einer Ausführungsform kann das Lösungsmittel Esteralkohole wie beispielsweise Texanol™ Lösungsmittel (TEX, 2,2,4-Trimethyl-1,3-pentandiolmonoisobutyrat) (Eastman Chemical Co., Kingsport, TN); Butylcarbitolacetat (BCA, Diethylenglykol-n-butyletheracetat, Dow Chemical Company, Midland, MI); Dibenzylether; Benzylalkohol oder andere höhere Alkohole; Acetate; Benzylbenzoat; 2-Pyrrolidon; zweibasischen Ester (DBE); Terpeneol; oder eine beliebige Mischung davon umfassen. DBE ist in verschiedenen Formulierungen, die als DBE-2, DBE-3, DBE-4, DBE-5, DBE-6, DBE-9 oder DBE-IB bezeichnet werden, von INVISTA Inc., Wilmington, DE, erhältlich. Andere Lösungsmittel, die eine oder mehrere vorteilhafte Pasteneigenschaften unterstützen, werden ebenfalls in Betracht gezogen.

**[0069]** Das Lösungsmittel kann in einer Ausführungsform 1 bis 100 Gewichtsteile, in einer anderen Ausführungsform 2 bis 50 Gewichtsteile, in einer anderen Ausführungsform 3 bis 30 Gewichtsteile, in einer anderen Ausführungsform 5 bis 20 Gewichtsteile betragen, wenn das anorganische Pulver 100 Gewichtsteile umfasst.

**[0070]** Das Lösungsmittel kann in einer Ausführungsform 3,0 bis 40,0 Gew.-%, in einer anderen Ausführungsform 4,0 bis 30,0 Gew.-%, in einer anderen Ausführungsform 5,0 bis 20,0 Gew.-%, in einer anderen Ausführungsform 5,0 bis 10,0 Gew.-% auf das Gewicht der leitfähigen Paste bezogen betragen. Mit einer derartigen Menge des Lösungsmittels kann eine leitfähige Paste ausreichend Viskosität für die Druckbarkeit erhalten.

#### D. Andere organische Stoffe

**[0071]** Das organische Vehikel kann ferner andere organische Substanzen umfassen, einschließlich, ohne Einschränkung, Tenside, Dispersionsmittel, Verdickungsmittel, Thixotropiermittel, andere Rheologie- oder Viskositätseinstellungsmittel sowie Bindemittel.

**[0072]** Die in der vorliegenden Pastenzusammensetzung als nützlich befundenen Tenside umfassen ohne Einschränkung: Duomeen® TDO Tensid (Akzo Nobel Surface Chemistry, LLC, Chicago, IL); Tween® 20 Tensid (Aldrich), ein Polyoxyethylensorbitolester, der laut Hersteller ein berechnetes Molekulargewicht von 1.225 Dalton aufweist, ausgehend von 20 Ethylenoxideinheiten, 1 Sorbitol und 1 Laurinsäure als primäre Fettsäure; und Natriumdodecylsulfat (SDS).

**[0073]** Eine große Vielzahl von thixotropen Mitteln sind nützlich, einschließlich der Gele, organischen Stoffe und Mittel, die von natürlichen Quellen abgeleitet sind, wie beispielsweise Rizinusöl oder einem Derivat davon. Derartige Substanzen unterstützen in einigen Ausführungsformen das scherentzähende Verhalten. Die Amide Thixatrol® MAX und Thixatrol® PLUS (Elementis Specialties, Inc., Hightstown, NJ) sind beispielhafte thixotrope Rheologie-Modifikatoren. Andere Amide mit niedrigem Molekulargewicht oder Amid-Olefin-Oligomere können ebenfalls geeignet sein.

**[0074]** Die verschiedenen Komponenten des organischen Vehikels interagieren mit den anorganischen Feststoffen, um die Rheologie der Pastenzusammensetzung und damit ihr Verhalten während des Aufbringens, z.B. durch Siebdruck, zu beeinflussen.

**[0075]** Die leitfähige Pastenzusammensetzung kann jede beliebige Viskosität aufweisen, die mit dem gewünschten Aufbringungsverfahren kompatibel ist. Häufig wird die Pastenzusammensetzung vor dem Aufbringen durch Zugabe einer kleinen zurückbehaltenen Menge eines geeigneten Lösungsmittels angepasst. In einigen Implementierungen hat sich eine endgültige Viskosität bei 25°C von etwa 300 ± 50 Pa·s oder mehr für das Siebdrucken feiner Elektrodenlinien als praktisch erwiesen. In anderen Ausführungsformen beträgt die Viskosität bei 25°C 330 bis 550 Pa·s oder 350 bis 520 Pa·s oder 420 bis 500 Pa·s. Die Viskosität der leitfähigen Paste kann mit einem Brookfield HBT Viskosimeter mit einem Messbecher (Utility Cup) mit einer Spindel #14 gemessen werden, wobei nach 3 min bei 10 UpM Werte abgelesen werden, oder durch eine ähnliche Einrichtung.

**[0076]** In einigen Ausführungsformen unterstützt bzw. unterstützen eine oder mehrere Komponente(n) des organischen Vehikels die Thixotropie oder die Scherentzähung. Ein Hinweis über den Grad der Scherentzähung kann durch Durchführen von Viskositätsmessungen nach verschiedenen Zeitpunkten und bei verschiedenen Rotationsraten erhalten werden, z.B. durch Vergleichen der bei 0,5 UpM (3 min), 10 UpM (3 min) und/oder 50 UpM (6 min) erhaltenen Werte.

#### BEISPIELE

**[0077]** Die Arbeitsweise und die Auswirkungen von bestimmten Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung können durch eine Reihe von nachstehend beschriebenen Beispielen (Beispiele 1 - 51) besser nachvollzogen werden. Die Ausführungsformen, auf die sich diese Beispiele beziehen, sind lediglich repräsentativer Natur, und die Auswahl dieser Ausführungsformen zur Veranschaulichung der erfindungsgemässen Aspekte zeigt nicht an, dass Materialien, Komponenten, Reaktanden, Bedingungen, Techniken und/oder Anordnungen, die in den Beispielen nicht beschrieben sind, für die Verwendung hierin nicht geeignet seien oder, dass der Gegenstand, der in den Beispielen nicht beschrieben ist, aus dem Anwendungsbereich der beigefügten Ansprüche und Äquivalenten davon ausgeschlossen sei.

## Verwendete Inhaltsstoffe

**[0078]** Die für die Herstellung der vorliegenden Pastenzusammensetzung nützlichen Inhaltsstoffe umfassen die Folgenden. Sofern nicht anders angegeben, werden diese Inhaltsstoffe bei der Herstellung der nachfolgenden Beispiele verwendet.

**[0079]** Silbermetallpulver:

Annähernd kugelförmige und aus verschiedenen Chargen gezogene Silberpulver, mit  $d_{50}$  und organischer Tensidbeschichtung wie angegeben:

Ag-A: (beschichtet,  $d_{50} \sim 1,8 - 2,0 \mu\text{m}$ ).

Ag-B: (unbeschichtet,  $d_{50} \sim 1,2 \mu\text{m}$ ).

Ag-C: (beschichtet,  $d_{50} \sim 1,8 - 2,0 \mu\text{m}$ ).

Ag-D: (beschichtet,  $d_{50} \sim 1,8 - 2,0 \mu\text{m}$ ).

**[0080]** Glasfritte:

Pb-Te-O-haltiges Glas mit einem  $d_{50}$ -Wert von  $0,5 - 0,7 \mu\text{m}$

**[0081]** Frittenzusatzstoff:

Lithiumruthenat ( $\text{LiRuO}_3$ ) (im Labor synthetisiert)

**[0082]** (Meth)acrylat-Monomere:

MMA: Methylmethacrylat (Aldrich)

BMA: n-Butylmethacrylat (Aldrich)

BzMA: Benzylmethacrylat (Aldrich)

UMA: 25 Gew.-% 2-(2-Oxo-1-imidazolidinyl)ethylmethacrylat in MMA (Aldrich)

i-BMA: Isobutylmethacrylat (Aldrich)

**[0083]** Andere Polymere:

Ethocel® Std. 4 Ethylcellulose-basiertes Polymer (Dow Chemical Company, Midland, MI), das laut Hersteller einen Ethoxylgehalt von 58,0 bis 49,5% aufweist und als ein Rheologiemodifizierungsmittel und Bindemittel wirken soll.

Vamac® G Diamin-gehärtetes Terpolymer von Ethylen, Methacrylat und einem Cure-Site-Monomer-Elastomer (E. I. DuPont de Nemours and Company, Wilmington DE)

Foralyn™ 110 Pentaerythritester von hydriertem Kolophonium (Eastman Chemical, Kingsport, TN)

**[0084]** Vernetzer:

EGDMA: Ethylenglycoldimethacrylat

**[0085]** Lösungsmittel:

TEX: Texanol™-Esteralkohollösungsmittel (2,2,4-Trimethyl-1,3-pentandiolmonoisobutyrat) (Eastman Chemical Co., Kingsport, TN)

BCA: Butyl-CARBITOL™-Lösungsmittel (Diethylenglykol-n-butyletheracetat) (Dow Chemical Company, Midland, MI)

Zweibasisches Ester-3 (DBE-3) (E. I. DuPont de Nemours and Company, Wilmington, DE)

Benzylbenzoat

Dibenzylether

**[0086]** Andere organische Stoffe:

Thixatrol® MAX-Amid-Thixotrop-Rheologie-Modifizierer (Elementis Specialties, Inc., Hightstown, NJ)

Thixatrol® PLUS-Amid-Thixotrop-Rheologie-Modifizierer (Elementis Specialties, Inc., Hightstown, NJ)

Duomeen® TDO-Tensid (Akzo Nobel Surface Chemistry, LLC, Chicago, IL)

Tween® 20-Tensid: Polyoxyethylensorbitolester, der laut Hersteller ein berechnetes Molekulargewicht von 1.225 Dalton aufweist, ausgehend von 20 Ethylenoxideinheiten, 1 Sorbitol und 1 Laurinsäure als primäre Fettsäure. (Aldrich)

Natriumdodecylsulfat (SDS) (Aldrich)

**[0087]** Andere:

Ammoniumpersulfat (APS) (Aldrich)

#### Beispiel 1

##### Synthese eines BMA/MMA-Mikrogel-Emulsionspolymers

**[0088]** Ein Mikrogel-Emulsionspolymer, das zur Integration in eine siebdruckfähige leitfähige Pastenzusammensetzung bestimmt ist, wurde wie folgt synthetisiert.

**[0089]** Ein 500-ml-Rundkolben wurde mit einem Kühler, Zugabetrichter und Stickstoffgaseinlass mit Waschflasche ausgestattet. Der Kolben wurde in ein thermostatisch geregeltes Ölbad gegeben und mit einem mechanischen Rührstab aus PTFE/Glas ausgestattet. Entionisiertes Wasser (150 g) wurde zugegeben und auf 85 °C erwärmt. Dann wurden 134 mg Natriumdodecylsulfat (SDS) und 0,44 g von einer 7% KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>-Lösung zugegeben (mittels KHO auf pH ~ 7 neutralisiert). Eine Monomermischung von 18,5 g n-Butylmethacrylat (BMA) und 18,5 g Methylmethacrylat (MMA), zusammen mit 98 mg Ethylenglycoldimethacrylat-(EGDMA)-Vernetzer (entsprechend 0,264 Gew.-%) wurde getrennt in einem Becher hergestellt. (Es wurde kein Versuch in irgendeiner der hierin beschriebenen Zubereitungen unternommen, den Inhibitor, der herstellenseitig im Lieferzustand der Monomere enthalten ist, zu entfernen.) Etwa 10 ml von der Monomermischung wurden in den Kolben gegeben und das Rühren wurde bei 314 UpM begonnen. Dann wurden 0,40 g einer 5 Gew.-%-Lösung des Initiators Ammoniumpersulfat (APS) in Wasser zugegeben. Unter fortgesetztem Rühren und mit einem Stickstoffkopf wurde die verbleibende Monomermischung portionsweise über einen Zeitraum von 1 h zugegeben. Das Erhitzen und Rühren setzte sich für insgesamt 5,5 h fort. Es wurde festgestellt, dass es ein Restmonomer und eine niedrige Umwandlung gab, die durch eine nur leichte Opazität gekennzeichnet war. Daher wurde ein weiteres Aliquot von 0,40 g von 5 Gew.-%-APS zugegeben und die Temperatur wurde für weitere 1,5 h gerührtes Mischen auf 90 °C erhöht. Danach wurde das Rühren gestoppt, wobei die resultierende Emulsion ein sehr milchiges Aussehen hatte und einen leichten Monomergeruch aufwies. Die Emulsion wurde durch Gefrieren in Trockeneis koaguliert, dann mit minimaler Spülung filtriert und schließlich in einem Ofen, der bei etwa 50 - 60°C gehalten wurde, mit einem Teilvakuum und einem kontinuierlichen Stickstoffgasstrom getrocknet, wodurch Mikrogelteilchen gebildet wurden.

#### Beispiel 2

##### Synthese eines BMA/MMA/UMA-Mikrogel-Emulsionspolymers

**[0090]** Ein anderes Mikrogel-Emulsionspolymer, das zur Integration in eine siebdruckfähige leitfähige Pastenzusammensetzung bestimmt ist, wurde unter Verwendung der gleichen wie in Beispiel 1 eingesetzten Einrichtung wie folgt synthetisiert.

**[0091]** Entionisiertes Wasser (225 g) wurde zugegeben und auf 85 °C erhitzt. Dann wurden 208 mg Natriumdodecylsulfat (SDS) und 0,660 g einer 7% KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> Lösung (neutralisiert auf pH ~ 7 mittels KOH) zugegeben. Eine Monomermischung von 23,75 g n-Butylmethacrylat (BMA), 16,5 g Methylmethacrylat (MMA) und 9,94g von 25 Gew.-%-2-(2-Oxo-1-imidazolidinyl)ethylmethacrylat (UMA) in MMA, zusammen mit 125 mg EGDMA-Vernetzer (entsprechend 0,249 Gew.-%) wurde getrennt in einem Becher hergestellt. Etwa 40 ml der Monomermischung wurde in den Kolben zugegeben. Das Rühren hat bei 300 UpM begonnen. Dann wurden 0,53 g einer 5 Gew.-%-Lösung des Initiators Ammoniumpersulfat (APS) in Wasser zugegeben. Unter fortgesetztem Rühren und unter einem Stickstoffkopf wurde die verbleibende Monomermischung in einen kontinuierlichen Tropf über einen Zeitraum von 40 min zugegeben. Da die Reaktion langsam erfolgte, wurden zusätzliche Aliquote von 0,53 g von 5 Gew.-% APS bei 2 h und bei 3,5 h zugegeben. Unter fortgesetztem Rühren wurde das Erhitzen für insgesamt 5,5 h fortgesetzt. Etwa 10 ml wurden zurückbehalten, mit dem Rest, der in

Aluminiumpfannen bei Umgebungslaborluft getrocknet wurde und danach mechanisch aufgebrochen, wodurch Mikrogeleilchen gebildet wurden.

### Beispiel 3

#### Synthese eines BzMA-Mikrogel-Emulsionspolymers

**[0092]** Ein Mikrogel-Emulsionspolymer, das zur Integration in eine siebdruckfähige leitfähige Pastenzusammensetzung bestimmt ist, wurde wie folgt synthetisiert.

**[0093]** Ein 1-l-Rundkolben wurde mit einem Kühler, Zugabetrichter und Stickstoffgaseinlass mit Waschflasche ausgestattet. Der Kolben wurde in ein thermostatisch geregeltes Ölbad gegeben und mit einem mechanischen Rührstab aus PTFE/Glas ausgestattet. Entionisiertes Wasser (450 g) wurde zugegeben und auf 85 °C erhitzt. Dann wurden 409 mg Natriumdodecylsulfat (SDS) und 1,32 g von einer 7% KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>-Lösung (mittels KHO auf pH ~ 7 neutralisiert) zugegeben. Eine Monomermischung von 109,0 g Benzylmethacrylat (BzMA) mit 278 mg Ethylenglycoldimethacrylat-(EGDMA)-Vernetzer (entsprechend 0,255 Gew.-%) wurde getrennt in einem Becher hergestellt. Etwa 30 ml der Monomermischung wurde in den Kolben zugegeben. Das Rühren wurde bei 301 UpM begonnen, dann wurden 1,20 g einer 5 Gew.-%-Lösung des Initiators Ammoniumpersulfat (APS) in Wasser zugegeben. Die Bestandteile wurden bei 310 UpM unter einem Stickstoffkopf gerührt und die verbleibende Monomermischung wurde für einen Zeitraum von über 1,5 h in einen kontinuierlichen Tropf zugegeben. Unter fortgesetztem Rühren wurde das Erhitzen für insgesamt 6 h fortgesetzt. Die Emulsion wurde durch Gefrieren in Trockeneis koaguliert, dann mit minimaler Spülung filtriert und schließlich in einem Ofen, der bei etwa 37 °C gehalten wurde, mit einem Teilvakuum und einem kontinuierlichen Stickstoffgasstrom getrocknet, wodurch Mikrogeleilchen gebildet wurden.

### Beispiel 4

#### Synthese eines BMA/MMA/UMA-Mikrogel-Emulsionspolymers mit 4%-Vernetzer

**[0094]** Ein Mikrogel-Emulsionspolymer, das zur Integration in eine siebdruckfähige leitfähige Pastenzusammensetzung bestimmt ist, wurde wie folgt synthetisiert.

Ein 3000-ml-Rundkolben wurde mit einem Kühler, Thermostelement und Stickstoffgaseinlass mit Waschflasche ausgestattet. Der Kolben wurde in ein thermostatisch geregeltes Ölbad gegeben und mit einem mechanischen Rührstab aus PTFE/Glas ausgestattet. Entionisiertes Wasser (900 g) wurde in den Kolben zugegeben. Dann wurden 1,10 g Natriumdodecylsulfat (SDS) und 3,51 g einer 7%-KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>-Lösung (mittels KOH neutralisiert auf pH ~ 7) zugegeben. Der Kolben wurde auf 85°C unter Rühren bei 300 UpM erhitzt. Eine Monomermischung von 126 g n-Butylmethacrylat (BMA), 88 g Methylmethacrylat (MMA) und 53 g von 25 Gew.-% 2-(2-Oxo-1-imidazolidinyl)ethylmethacrylat (UMA) in MMA, zusammen mit 11 g von Ethylenglycoldimethacrylat (EGDMA)-Vernetzer (entsprechend 3,96 Gew.-%) wurde in einem getrennten Kolben hergestellt. (Wie zuvor wurde kein Versuch unternommen, den Inhibitor, der herstellerseitig im Lieferzustand der Monomere enthalten ist, zu entfernen.) Etwa 80 ml der Monomermischung wurden in den Rundkolben zugegeben und für 10 Minuten äquilibrieren lassen. Dann wurden 0,48 g des in 9 g Wasser aufgelösten Initiators Ammoniumpersulfat (APS) zugegeben. Unter fortgesetztem Rühren und mit einem Stickstoffkopf wurde eine Spritzenpumpe verwendet, um die verbleibende Monomermischung über einen Zeitraum von 80 min zu liefern. Die Reaktanden wurden für zusätzliche 5 h bei 85°C gerührt, wonach die resultierende Emulsion sehr milchig aussah und einen leichten Monomergeruch aufwies. Die Emulsion wurde zum Entfernen des Koagulans mit einem Milchpapier gefiltert, dann in Aluminiumpfannen gegossen und in der Abzugshaube für 2 Tage luftgetrocknet. Die daraus resultierenden flockigen Mikrogel-Feststoffe wurden mechanisch durch entweder Mörser und Stößel oder durch Kugelmahlen pulverisiert, um feines Pulver bereitzustellen, das später während der Pastenzubereitung leicht dispergiert werden konnte.

### Beispiel 5

#### Herstellung von Polymerlösungen/-dispersionen

**[0095]** Um eine zuverlässige Einbindung und Vermischung in die hierin vorliegenden Pastenzusammensetzungen zu erleichtern, werden die verschiedenen Polymere oder Mikrogele typischerweise in einer geeigneten Lösung oder Dispersion zubereitet. Ein repräsentatives Verfahren zur Herstellung dieser Lösungen/Dispersionen wird nachstehend bereitgestellt.

**[0096]** Ein 500-ml-Gefäß wird mit einem luftbetriebenen Überkopfrührer, einer Stickstoffspülung und einem Thermoelement ausgestattet. Die untere Hälfte des Gefäßes wird zur Temperaturregelung der Zubereitung in ein zirkulierendes Silikonölbad gesetzt. Ein geeignetes Lösungsmittel wird dem Gefäß zugegeben. Die erforderliche Menge des Polymerharzes oder Mikrogels (gewöhnlich in Form eines feinen Pulvers) wird dann dem Gefäß langsam unter sanftem Rühren zugegeben. Nach der Zugabe wird die Ölbadtemperatur auf 80 °C erhöht. Die Mischung wird für 1 bis 6 h bei 80 °C unter Stickstoffspülung weitergerührt, während dessen das Material sich zur Bildung einer Polymerlösung entweder gelöst hat oder dispergiert wurde. Typischerweise quellen die Mikrogele oder sind unter diesen Bedingungen dispergiert, lösen sich jedoch nicht. Zur Sicherstellung, dass die Teilchen vollständig gequollen und gut dispergiert sind, wird bei den Mikrogelezubereitungen eine letzte Stunde bei 90 °C unter erhöhtem Rühren nutzbringend durchgeführt. Ein Fachmann wird erkennen, dass die bei dieser Verarbeitung verwendeten Temperaturen und Zeiten leicht angepasst werden können, so dass zum Beispiel Temperaturen bis 110 - 120 °C verwendet werden können.

**[0097]** Die in Tabelle I aufgeführten Lösungen oder Dispersionen werden unter Anwendung der vorstehend genannten Verfahrensarten, mit den angegebenen Mengen, hergestellt. Zubereitung P7 wird mittels i-BMA-Polymer zubereitet, das in einem Verfahren mit Bedingungen und Mengen, die denen im Einsatz bei BzMA (Beispiel 3) ähnlich sind, hergestellt wird. Zubereitung P8 wurde wie in Beispiel 2 allgemein beschrieben formuliert, jedoch mit einem 2 Gew.-% EGDMA-Vernetzer statt 0,25 Gew.-%. Das Mikrogel für die Zubereitung P10 wurde mit einer APS-Initiatormenge von etwa 0,06 Gew.-% des Gesamtmonomers formuliert, während die anderen Mikrogele mit etwa 0,18 Gew.-% formuliert wurden. Die Zubereitungen P11 - P14 wurden wie in Beispiel 3 allgemein beschrieben formuliert, jedoch mit den aufgeführten Mengen von EGDMA.

Tabelle I Polymerlösungen und gequollene Mikrogelsuspensionen

Herstellung	Polymer/Mikrogel	Vernetzeranteil (%)	Menge (g)	Lösungsmittel	Menge (g)
P1	Ethocel® Std 4	–	20	TEX	180
P2	Vamac® G	–	50	BCA	150
P3	Foralyn® 110	–	100	TEX	100
P4	BMA/MMA/UMA (Bsp. 2)	0,25	30	TEX / BCA 1:1	170
P5	BzMA (Ex. 3)	0,25	20	Dibenzylether	180
P6	BMA/MMA (Ex. 1)	0,25	20	Benzylbenzoat	180
P7	i-BMA	0,25	20	Dibenzylether	180
P8	BMA/MMA/UMA	2	50	TEX / BCA 1:1	150
P9	BMA/MMA/UMA	4	60	TEX / BCA 1:1	140
P10	BMA/MMA/UMA (Bsp. 4)	4	66	TEX / BCA 1:1	134
P11	BzMA	0,5	40	Dibenzylether	270
P12	BzMA	1	50	Dibenzylether	270
P13	BzMA	2	60	Dibenzylether	270
P14	BzMA	4	90	Dibenzylether	270

Beispiele 6 - 16

Vergleichsbeispiel CE1

Herstellung einer leitfähigen Pastenzusammensetzung, die Polymere und Mikrogele enthält

**[0098]** Sofern nicht anders angegeben, können die leitfähigen Pastenzusammensetzungen der Beispiele 6 - 16 in der folgenden allgemeinen Weise unter Anwendung der in Tabelle II angegebenen Formulierungen hergestellt werden. Die erforderlichen Mengen (g) der Polymerlösung/-dispersion (wie in Beispiel 5 hergestellt und in Tabelle I aufgeführt), des Lösungsmittels, des Thixotropiermittels und des Tensids, wie für jedes Beispiel angezeigt, werden gewogen, dann in einem geeigneten Mischer zur Bildung eines organischen Vehikels



gemischt. In den meisten Fällen wird das Harz im Vorfeld im Lösungsmittel in der angegebenen Konzentration durch Erhitzen auf eine leicht erhöhte Temperatur unter Rühren vordispersiert und dann auf Raumtemperatur, wie in Beispiel 5 beschrieben, abgekühlt. Die anorganischen Feststoffe, d.h. Glasfritte, Silberpulver und Frittensatzstoff in den angegebenen Mengen, werden zugegeben und im Mischer weitergemischt, um eine Pastenzusammensetzung zu bilden. Die verwendete Glasfritte ist eine Pb-Te-O-basierte Fritte, jedoch können andere bleihaltige und bleifreie Fritten ebenso verwendet werden. Da das Silberpulver den Hauptteil der Feststoffe der Pastenzusammensetzung umfasst, wird es normalerweise schrittweise zugegeben, wobei nach jeder Zugabe ein Mischen erfolgt, um eine bessere Benetzung zu gewährleisten. Beispielsweise wäre ein Thinky®-Planeten-Zentrifugalmischer (erhältlich bei Thinky® USA, Inc., Laguna Hills, CA) geeignet. Jeder der vorgenannten Mischschritte kann in einem Thinky® Mischer bei 2000 UpM für 30 s durchgeführt werden.

**[0099]** Nach einem guten Durchmischen wird die Pastenzusammensetzung wiederholt durch eine Dreiwalzenmühle mit einem Spalt von 25 µm bei Drucken, die von 0 auf 400 psi (~2.76 MPa) progressiv erhöht werden, geführt. Eine geeignete Mühle ist bei Charles Ross and Son, Hauppauge, NY erhältlich.

**[0100]** Wenn mehr als eine Art von Silberpulver in der Rezeptur verwendet werden soll, wird vorzugsweise das Silber mit dem kleineren  $d_{50}$  zuerst integriert. Die Probe wird dann mit Walzen gemahlen, bevor das bzw. die Silberpulver mit dem größeren  $d_{50}$  integriert wird bzw. werden. Nachdem das zweite Silberpulver zugegeben worden ist, wird die endgültige Pastenzusammensetzung wieder mit den gleichen Mühlenparametern gemahlen.

**[0101]** Der Dispersionsgrad jeder Pastenzusammensetzung kann mittels handelsüblicher Messvorrichtungen der Mahlfineinheit (FOG) (z.B. bei Precision Gage and Tool, Dayton, Ohio erhältliche Messvorrichtungen) gemäß ASTM-Testverfahren D 1210-05, das durch ASTM International, West Conshohocken, PA veröffentlicht wurde und auf das hierin durch Verweis Bezug genommen wird, gemessen werden. Die resultierenden Daten werden gewöhnlich als FOG-Werte ausgedrückt, die als X/Y dargestellt sind, was bedeutet, dass die Größe des größten entdeckten Teilchens X µm und die mittlere Größe Y µm ist. In einer Ausführungsform sind die FOG-Werte der vorliegenden Pastenzusammensetzungen typischerweise 20/10 oder weniger, was sich als normalerweise ausreichend für eine gute Druckbarkeit herausgestellt hat.

**[0102]** Normalerweise wird die verarbeitete Pastenzusammensetzung vor dem Drucken durch Zugabe von etwas Lösungsmittel, wie erforderlich, angepasst, um eine Viskosität zu erhalten, die für das Siebdrucken von feinen Linien geeignet ist. Die Viskositätswerte können unter Verwendung eines Brookfield-Viskosimeters (Brookfield Inc., Middleboro, MA) mit einer Spindel # 14 und einem Becher #6 erhalten werden. Typischerweise soll eine endgültige Viskosität von etwa 300 Pa·s (gemessen bei 10 UpM / 3 min) gute Siebdruckergebnisse liefern, jedoch wäre eine gewisse Variation, zum Beispiel von ±50 Pa·s oder mehr, abhängig von der Genauigkeit der Druckeinrichtung und der Parameter akzeptabel.

**[0103]** In Tabelle II wird ferner ein Wert für formulierte Feststoffe aufgeführt, der aus dem Aggregat des Silberpulvers, der Glasfritte und irgendwelcher enthaltenen Frittensatzstoffe berechnet oder durch Veraschung der formulierten Pastenzusammensetzung gemessen werden kann.

TABELLE II Leitfähige Pastenzusammensetzungen

Inhaltsstoff	CE-1	BS P-6	BS P-7	BS P-8	BS P-9	BS P-10	BS P-11	BS P-12	BS P-13	BS P-14	BS P-15	BS P-16
P1	0,2	0,2	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
P2	0,08	0,08	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
P3	0,765	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
P4	–	0,765	2,855	3,045	2,855	3,045	3,045	–	–	–	–	–
P5	–	–	–	–	–	–	–	3,51	3,425	3,425	–	–
P13	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	3,38	–
P14	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	2,77
Tensid	0,25	0,25	0,05	0,05	0,15	0,15	0,25	–	0,055	0,15	0,06	0,06

Inhaltsstoff	CE-1	BS P-6	BS P-7	BS P-8	BS P-9	BS P-10	BS P-11	BS P-12	BS P-13	BS P-14	BS P-15	BS P-16
Thixotropiermittel	0,31	0,31	0,215	0,355	0,355	0,355	0,355	0,10	0,20	0,30	0,2	0,2
Lösungsmittel	2,37	2,11	0,75	1,25	0,75	0,75	0,75	0,82	1,34	0,50	1,1	1,3
Frittenzusatzstoff	0,035	0,035	0,035	0,035	0,035	0,035	0,035	0,035	0,035	0,035	0,035	0,035
Glasfritte	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,7	0,7
Silber Ag-A	44,9	44,9	44,9	44,9	44,9	44,9	44,9	44,9	44,9	44,9	44,9	44,9
Formulierte Feststoffe (%)	90,8	90,9	91,5	89,8	90,6	90,2	90,3	90,1	89,4	89,1	90,3	90,3
Viskosität @10UpM (Pa·s)	302	309	300	297	345	314	317	349	276	332	336	348

## Beispiel 17

## Charakterisierung der Linienausbreitung

**[0104]** Die Pastenzusammensetzungen der Beispiele 6 - 16 und das Vergleichsbeispiel CE1 werden siebgedruckt, um eine leitfähige Struktur auf sechs Quadratzoll großen multikristallinen p-Typ-Silizium-Wafern von Inventec unter Anwendung eines Dynamesh 360/16 Siebs mit 15 µm Emulsionsdicke und eine Mehrzahl von 35-µm breiten Fingern, die sich aus drei breiteren Sammelschienen erstrecken, bereitzustellen.

**[0105]** Die gedruckte Pastenzusammensetzung wird dann, z.B. in einem Umluft-Konvektionsofen bei 150 °C für 10 min oder durch das Führen der gedruckten Wafer durch einen Mehrzonen-Gürtelofen mit einem Spitzentemperatursollwert von 350 °C, getrocknet. Nach dem Trocknen werden die Wafer gebrannt, indem sie durch ein Mehrzonen-Gürtelofen mit einem geeigneten Spitzentemperatursollwert geführt werden. Dieses Erhitzen bewirkt, dass die organischen Bestandteile der Pastenzusammensetzung pyrolysiert oder anderweitig entfernt werden, und bewirkt ferner ein Sintern des Silberpulvers und ein Haften am darunterliegenden Siliziumsubstrat, wodurch eine fertige leitfähige Struktur hergestellt wird. In einer Ausführungsform kann der Spitzentemperatursollwert 885 °C bis 930 °C in der heißesten Zone, abhängig von den spezifischen Druckparametern und der Pastenzusammensetzung, betragen.

**[0106]** Die Linienabmessungen im Fingerabschnitt der leitfähigen Struktur werden mit einem konfokalen LaserTec-H1200-Mikroskop bestimmt. Ein Schritt- und Wiederholungsprogramm wird verwendet, um 30 Messungen von gedruckten Fingerabmessungen über den Bereich der Wafer zu erhalten. Aus den 30 Einzelmessungen wird ein Gesamtdurchschnitt berechnet, um für jede einzelne Testbedingung durchschnittliche Linienabmessungen zu erhalten. Die Linienabmessungen der Finger können auf bedruckten Wafern nach dem Trocknungsschritt der Paste und nach dem Brennschritt erhalten werden. Das derart gemessene Linienausbreitungsverhalten wird in Tabelle III für auf Si-Wafer hergestellten Elektroden mit den Pastenzusammensetzungen aus Beispiel 6 und Vergleichsbeispiel CE1 angegeben.

Tabelle III Linienabmessungen von gedruckten leitfähigen Linien

Eigenschaft	Bsp-6	CE1
Viskosität (Pa·s)	309	302
Linienbreite vor dem Brennen (µm)	44,7	48,1
Linienbreite nach dem Brennen (µm)	42,4	44,8
Linienhöhe nach dem Brennen (µm)	12,2	11,3
Aspektverhältnis nach dem Brennen	0,288	0,252

## Beispiel 18

## Elektrische Solarzellencharakterisierung

**[0107]** Die elektrische Leistung von Solarzellen, bei denen vorderseitige Elektroden, die wie in Beispiel 17 beschrieben werden, eingesetzt werden, ist bereitgestellt. Messungen von Lichtumwandlungseffizienzen werden mittels einer geeigneten Testeinrichtung, wie beispielsweise dem Berger-Photovoltaik-Zellentester, charakterisiert. Eine Xe-Lichtbogenlampe im Tester simuliert das Sonnenlicht mit einer bekannten Intensität von 1 Sonne und bestrahlt die Vorderseite der Zelle. Der Tester verwendet ein Vier-Kontakt-Verfahren, um Strom (I) und Spannung (V) bei Lastwiderstandseinstellung von ungefähr 400 zu messen, um die I-V-Kurve der Zelle zu bestimmen. Sowohl der Füllfaktor (FF) als auch die Effizienz (Eff) werden aus der I-V-Kurve mit Normierung auf entsprechende Werte, die mit nach Branchenstandard kontaktierten Zellen ermittelt wurden, berechnet. Vollflächige, rückseitige Elektroden werden mit handelsüblichen Pastenzusammensetzungen, wie beispielsweise Solamet® PV381 Aluminiumpaste für den p-Typ-Leiter und Solamet® PV502 als die rückseitige Tabbing-Silberzusammensetzung hergestellt. Die Solamet®-Pasten sind bei E. I. DuPont de Nemours and Company, Wilmington, DE erhältlich, während die PASE-1206-Paste handelsüblich bei Monocrystal, Stavropo, Russland erhältlich ist.

**[0108]** Für jede Zusammensetzung werden die Zellen in einer Reihe von Spitzentemperatursollwerten gebrannt. Elektrische Daten, die bei der besten Temperatur erhalten wurden, sind in Tabelle IV für Zellen angegeben, die unter Verwendung der Pastenzusammensetzungen der Beispiele 6 und 12-16 hergestellt wurden. Daten für Zellen, die mit der Pastenzusammensetzung des Vergleichsbeispiels CE1 hergestellt wurden (unter zwei verschiedenen Brennbedingungen genommen), werden ebenfalls bereitgestellt.

Tabelle IV Elektrische Daten für Photovoltaik-Zellen bei besten Brennbedingungen

Eigenschaft	CE-1	CE-1	EX-6	BS P-12	BSP-13	BSP-14	BS P-15	BSP-16
beste Brenntemp. (°C)	915	930	915	930	930	930	915	915
EFF (%)	17,87	17,89	17,94	17,99	17,98	17,93	17,98	17,34
Isc (A)	8,772	8,745	8,808	8,750	8,754	8,742	8,861	8,850
Füllfaktor (%)	78,64	78,68	78,63	78,92	78,88	78,82	78,85	75,47
VOC (V)	0,630	0,633	0,632	0,636	0,635	0,634	0,633	0,631
Rs (Ω)	0,621	0,682	0,642	0,682	0,701	0,684	0,696	0,974

## Beispiel 19

## Charakterisierung der Liniendruckbarkeit

**[0109]** Die Fähigkeit der vorliegenden Pastenzusammensetzungen zur Auflösung feiner Linien wird durch Drucken mittels eines Murakami-360/16-Siebs mit variabler Weite mit einer Emulsionsdicke von 15 µm und mehreren Fingern in einem Breitenbereich von 40 bis 20 µm in Intervallen von 5 µm bestimmt. Die Ausgestaltung mit variabler Weite wird über den Bereich eines 6-Zoll-Quadratmusters (~150 mm) vier Mal wiederholt. Die Pasten werden auf die Si-Wafer gedruckt und gemäß den vorstehend beschriebenen Verfahren gebrannt. Die Linienuversehrtheit wird unter Anwendung von Elektrolumineszenzbildern der gedruckten und gebrannten Wafer beurteilt. Pasten gelten als geeignet zur Auflösung feiner Linien, wenn die Linien von 40 µm in dem Muster mit variabler Weite so aufgelöst werden, wie durch die Sichtprüfung der Elektrolumineszenzbilder bestimmt. Eine Zusammenfassung der Ergebnisse in Bezug auf die Druckbarkeit der feinen Linien der Beispiele 7 bis 11 und des Vergleichsbeispiels CE1 wird in Tabelle V dargelegt.

Tabelle V Druckbarkeit der feinen Linien der Pastenzusammensetzungen

Pastenzusammensetzung	Linienauflösung				
	40 µm	35 µm	30 µm	25 µm	20 µm
CE-1	ja	ja	nein	nein	nein
BSP-7	ja	partiell	nein	nein	nein

Pastenzusammensetzung	Linienauflösung				
	40 µm	35 µm	30 µm	25 µm	20 µm
BSP-8	ja	partiell	nein	nein	nein
BSP-9	ja	ja	partiell	nein	nein
BSP-10	ja	ja	partiell	nein	nein
BSP-11	ja	ja	ja	nein	nein

## Beispiele 20 - 24

## Herstellung von mikrogelhaltigen leitfähigen Pastenzusammensetzungen

**[0110]** Mikrogelhaltige leitfähige Pastenzusammensetzungen werden unter Anwendung von Verfahren hergestellt, die den in den vorstehenden Beispielen 6 - 16 ähnlich sind. Eine Dispersion des BzMA-Mikrogels im Lösungsmittel (wie im Beispiel 5 zubereitet) oder i-BMA wird in den in Tabelle VI (Mengen in g) angegebenen Anteilen hergestellt, und bei Beispielen 21 - 24 des Weiteren mit einem ThixatrolMAX®-Thixotropiermittel und einem Duomeen TDO®-Tensid kombiniert. Dieses organische Vehikel wird dann mit vorkombinierten anorganischen Stoffen, die Ag-A, Pb-Te-O-Glasfritte und den LiRuO<sub>3</sub>-Frittenzusatzstoff enthalten, zur Bildung einer Pastenzusammensetzung schrittweise gemischt. Ein zusätzliches Lösungsmittel wird zugegeben, um wie erforderlich eine für das Siebdrucken geeignete Viskosität zu erhalten. Die Teilchendispersion ist durch das Bestimmen der Mahlfeinheit gekennzeichnet.

Tabelle VI Leitfähige Pastenzusammensetzungen

Inhaltsstoff	BSP-20	BSP-21	BSP-22	BSP-23	BSP-24
P5 BzMA	3,531	3,551	3,500	2,322	–
P7 i-BMA	–	–	–	–	3,480
Gew.-% Mikrogel in Dispersion	15	10	10	15	15
Tensid	–	–	0,055	0,085	0,171
Thixotropiermittel	–	0,103	0,347	0,345	0,096
Dibenzylether	0,906	0,464	0,884	–	0,707
TEX/BCA (1:1 Gew.)	–	–	–	1,503	–
Frittenzusatzstoff	0,037	0,034	0,036	0,036	0,037
Glasfritte	0,76	0,769	0,747	0,748	0,748
Silber Ag-A	45,068	45,275	45,027	45,074	45,046
Lösungsmittel-Rückhalteträger	0,329	0,360	0,766	0,401	0,319
FOG (µm/µm)	10/2	15/2	20/3	10/2	7/2
Viskosität @10 UpM (Pa·s)	248	308	237	178	258
Viskosität @50 UpM (Pa·s)	74	94	139	83	86

## Beispiel 25

## Siebdruck der mikrogelhaltigen leitfähigen Pastenzusammensetzungen

**[0111]** Die in den Beispielen 20 - 24 zubereiteten Pastenzusammensetzungen werden auf die Vorderseite der kristallinen Silizium-Wafer unter Anwendung eines AMI-Presco (AMI, North Branch, NJ) MSP-485 halbautomatischen Siebdruckers siebgedruckt. Die Wafer sind von E-Ton Solar Tech Corporation, Tainan Township, Taiwan erhältlich und sind für den Bau von p-Typ-Photovoltaik-Zellen, mit einer bor-dotierten, p-Typ-Basis und einem hoch phosphor-dotierten vorderseitigen Emitter, der etwa 65Ω /Quadrat Oberflächenwiderstand liefert, vorgesehen.

**[0112]** Der Einfachheit halber wird das Drucken unter Verwendung etwa 28 mm × 28 mm großer „zurückgeschnittener“ Wafer durchgeführt, die durch Schneiden großer Ausgangswafer (z.B. quadratischer Wafer mit einer Größe von etwa 156 mm × 156 mm und einer Dicke von etwa 200 µm) mit einem Diamantsägeblatt, sofern nicht anders angegeben, hergestellt werden. Die elektrische Leistung solcher 28 mm × 28 mm Zellen soll bekanntermaßen durch Randeffekte beeinflussbar sein, die typischerweise die Photovoltaikzellen-Gesamteffizienz um bis zu ~1 bis 3% von dem, was mit Wafern in voller Größe erzielt würde, reduzieren. Eine konventionell angewandte SiN<sub>x</sub>:H Antireflexbeschichtung (ARC) ist auf der vorderen (der Sonne zugewandt) Hauptoberfläche der Wafer vorhanden.

**[0113]** Eine leitfähige Struktur wird auf jedem Wafer in einem kammartigen Muster gebildet, das 18 Finger (Abstand ~0,20 cm) umfasst, die sich senkrecht aus einer Sammelschiene erstrecken. Das verwendete Drucksieb weist eine Öffnung von ~ 30 µm Breite im Fingerbereich auf.

**[0114]** Lichtmikroskopische Aufnahmen, die einen Abschnitt des Fingerschnitts in jeder Struktur zeigen, sind in **Fig. 2** gezeigt und veranschaulichen, dass feine Linien unter Anwendung von jeder der Pasten aus den Beispielen 20 - 24 gedruckt werden können.

#### Beispiele 26 - 33

##### Herstellung von leitfähiger Pastenzusammensetzung, die Mikrogele enthält

**[0115]** Eine weitere Reihe von mikrogelhaltigen leitfähigen Pastenzusammensetzungen wird unter Anwendung von Verfahren hergestellt, die denjenigen, die in den vorstehenden Beispielen 6 - 16 und 20 - 24 beschrieben wurden, ähnlich sind. Eine Dispersion des entweder BMA/MMA/UMA- oder BMA/MMA-Mikrogels in Lösungsmittel (wie im Beispiel 4 zubereitet) wird hergestellt, mit Ausnahme der Beispiele 32 - 33, in denen die Mikrogeldispersionen mit 4,0 Gew.-% des EGDMA-Vernetzers statt der in den anderen verwendeten 0,25% hergestellt werden. Bei den Beispielen 28 - 33 wird die Mikrogeldispersion ferner mit einem Tensid wie angegeben und einem Thixatrol MAX®-Thixotrop in den in Tabelle VII angegebenen Anteilen kombiniert. Dieses organische Vehikel wird dann mit den vorkombinierten anorganischen Stoffen, die Silberpulver, Glasfritte und LiRuO<sub>3</sub>-Frittenzusatzstoff zur Bildung einer Pastenzusammensetzung enthalten, schrittweise gemischt. Ein zusätzliches Lösungsmittel wird zugegeben, um wie erforderlich eine für das Siebdrucken geeignete Viskosität zu erhalten.

Tabelle VII Leitfähige Pastenzusammensetzungen

Inhaltsstoff	BSP-26	BSP-27	BSP-28	BSP-29	BSP-30	BSP-31	BSP-32	BSP-33
P4 BMA/MMA/UMA	4,16		3,00	2,335	2,335	2,335	2,35	
P6 BMA/MMA		4,16						2,35
EGDMA (Gew.-% in Dispersion)	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	4,0	4,0
Gew.-% Mikrogel in Dispersion	15	15	15	15	15	15	15	15
Duomeen® TDO			0,05	0,15			0,153	0,153
Stearinsäure					0,15			
Tween® 20						0,15		
Thixotropiermittel			0,35	0,35	0,35	0,35	0,358	0,358
Benzylbenzoat		1,805						
TEX/BCA (1:1 Gew.)	0,28							
BCA			2,08	2,08	2,08	2,08	1,935	2,065
Frittenzusatzstoff	0,035	0,035	0,035	0,035	0,035	0,035	0,035	0,035
Glasfritte	0,805	0,805	0,805	0,805	0,805	0,805	0,805	0,805
Silber Ag-B		45,0						
Silber Ag-A	45,0		45,0	45,0	45,0	45,0	45,0	45,0

Inhaltsstoff	BSP-26	BSP-27	BSP-28	BSP-29	BSP-30	BSP-31	BSP-32	BSP-33
formulierte Feststoffe (%)	91,16	88,49	89,30	90,2			90,53	90,3
Viskosität @10 UpM (Pa·s)	281	328	232	232			157	188
Viskosität @50 UpM (Pa·s)	74	84	76	76			90	96

## Beispiel 34

## Solarzellenherstellung und elektrische Charakterisierung

**[0116]** Unter Anwendung von Verfahren, die mit denen im vorstehenden Beispiel 25 erläuterten Verfahren vergleichbar sind, werden die leitfähigen Pastenzusammensetzungen der Beispiele 26 - 33 auf dem vorderen, p-dotierten Emitter der p-Basistyp-Siliziumsolarzellen-Wafer siebgedruckt und getrocknet und gebrannt, um leitfähige Strukturen zu bilden, die eine Sammelschiene und mehrere feinlinige Finger, die sich daraus erstrecken, umfassen. Die resultierenden Solarzellen werden unter Anwendung einer Standard-Solarzellentesteinrichtung getestet, unter der Feststellung, dass sie hohe Lichtumwandlungseffizienzen aufweisen.

## Beispiele 35 - 39

## Herstellung von leitfähiger Pastenzusammensetzung, die Mikrogele enthält

**[0117]** Wie in Tabelle VII nachstehend angegeben, wird eine Reihe von mikrogelhaltigen, leitfähigen Pastenzusammensetzungen als Beispiele 35 - 39 unter Anwendung von in den vorstehenden Beispielen 6 - 16, 20 - 24 und 26 - 33 beschriebenen Verfahren, mit den in Gewichtsprozent angezeigten Mengen, hergestellt. Eine kleine Menge des Lösungsmittels wird zurückbehalten, um eine Anpassung der Viskosität an ein für das Siebdrucken geeignetes Niveau zu ermöglichen. Die Viskositäten der Zusammensetzungen, die unter den zwei angegebenen Bedingungen gemessen werden, werden ebenfalls ausgewiesen. Die Differenz ist indikativ für eine gute Scherentzähung.

Tabelle VIII Leitfähige Pastenzusammensetzungen

Bestandteil	Ausführliche Bezeichnung	Beispiel				
		35	36	37	38	39
Mikrogel	BMA/MMA/UMA (Bsp. 2)	5,71	6,09	5,71	6,09	6,09
Tensid	Duomeen® TDO	0,10	0,10	0,30	0,30	0,50
Thixotropiermittel	Thixatrol® MAX	0,43	0,71	0,71	0,71	0,71
Lösungsmittel	BCA	1,50	2,50	1,50	1,50	1,50
Frittenzusatzstoff	LiRuO <sub>3</sub>	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07
Glasfritte	Pb-Te-O-basiert	1,40	1,40	1,40	1,40	1,40
leitendes Metall	Ag-A	90,00	90,00	90,00	90,00	90,00
GESAMT		99,21	100,87	99,69	100,07	100,27
Lösungsmittel-Rückhalteträger	BCA	0,13	0,18	0,15	0,18	0,11
Viskosität	10 UpM/3 min	300	297	345	314	317
Viskosität	50 UpM/6 min	74,8	88,4	97,4	84,2	92,4

## Beispiel 40

## Solarzellenherstellung und elektrische Charakterisierung

**[0118]** Die Pastenzusammensetzungen der Beispiele 35 - 39 werden auf der Vorderseite der Silizium-Wafer, die zur Herstellung der p-Typ-Solarzellen vorgesehen sind, siebgedruckt. Alle führen zur Ablagerung von feinen Linien (40 µm oder schmaler), die gebrannt werden können, um leitfähige Strukturen, die als Solarzellelektroden funktionieren, herzustellen. Auf diese Weise hergestellte Zellen weisen eine hohe Energieumwandlungseffizienz auf.

## Beispiele 41 - 46

## Vergleichsbeispiel CE2

Herstellung und Testen von leitfähigen Pastenzusammensetzungen, die Mikrogeleusammensetzungen mit verschiedenen Vernetzermengen enthalten

**[0119]** Pastenzusammensetzungen, die BMA/MMA/UMA-Mikrogele umfassen und mit entweder 2 Gew.-% oder 4 Gew.-% EGDMA-Vernetzer hergestellt sind, werden als Beispiele 41-46, die in Tabelle IX angegeben werden, zubereitet. Die Mengen des Lösungsmittels sind in diesen Formulierungen ebenfalls unterschiedlich.

**[0120]** Die Pastenzusammensetzungen der Beispiele 41 - 46 werden verwendet, um die vorderseitigen Elektroden für auf multikristallinen Solartech-Wafern hergestellten Photovoltaik-Zellen herzustellen. Die Pastenzusammensetzung wird auf die Wafer mittels eines halbautomatischen Siebdruckers von Microtec mit einem Murakami-Sieb mit 110 Fingerlinien, die 35 µm breit sind und aus 3 größeren Sammelschienen abwärts ragen, aufgetragen. Rückseitige Elektroden werden durch Siebdrucken einer vollen Aluminiumrückwand unter Verwendung von aluminium-basierter PASE-1206-Metallisierungspaste, die handelsüblich bei Monocrystal, Stavropol, Russland erhältlich ist, gebildet. Nach dem Drucken wird die aufgetragene Pastenzusammensetzung in einem Kastenofen getrocknet. Die Wafer werden gebrannt, indem sie durch einen Despatch Mehrzonen-Gürtelofen geführt werden, wobei der Spitzentemperatursollwert 885°C - 930 °C beträgt. Die Zellen werden ferner unter Verwendung der Pastenzusammensetzung des Vergleichsbeispiels CE2 hergestellt. Die elektrischen Eigenschaften dieser Zellen nach dem Brennen werden wie vorstehend in Beispiel 18 beschrieben, aus denen auch die in Tabelle IX aufgezeigten Daten hervorgehen.

Tabelle IX Leitfähige Pastenzusammensetzungen und elektrische Charakterisierung

Inhaltsstoff	Beispiel						
	CE2	BSP-41	BSP-42	BSP-43	BSP-44	BSP-45	BSP-46
P1	0,4						
P2	0,16						
P3	1,53						
P8		2,6	3,6	4,4	5		
P9						3	4,5
Duomeen® TDO	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Thixatrol® MAX	0,65	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
DBE-3	0,96						
TEX	1,7	1	0,5	0,1	0,1	0,8	0,05
BCA	1,54	3	2,5	2,1	1,5	2,8	2,05
Frittensatzstoff	0,07	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
Glasfritte	1,5	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8
Silber Ag-A	78,79	90	90	90	90	90	90
Silber Ag-D	11,12						

Inhaltsstoff	Beispiel						
	CE2	BSP-41	BSP-42	BSP-43	BSP-44	BSP-45	BSP-46
formulierte Feststoffe (%)	90,59	90,13	89,95	90,19	89,98	90,11	89,92
Viskosität @10 UpM (Pa·s)	438	264	305	319	325	253	271
Viskosität @50 UpM (Pa·s)	126,8	109,2	115,8	99,6	98,6	114,8	84
Breite gebrannter Linie (µm)	61,8	64,4	76,9	54,7	55,8	54,4	55,5
Effizienz (%)	17,43	17,54	17,55	17,56	17,45	17,3	17,65
Isc (A)	8,73	8,76	8,75	8,75	8,78	8,77	8,79
Voc(V)	0,626	0,628	0,629	0,628	0,627	0,629	0,628

## Beispiele 47 - 48

## Vergleichsbeispiel CE3

Herstellung und Testen von leitfähigen Pastenzusammensetzungen, die mehrere Mikrogele enthält

**[0121]** Pastenzusammensetzungen, die eine Mehrzahl von Mikrogele mit verschiedenen Zusammensetzungen enthalten, wurden als Beispiele 47 - 48, wie in Tabelle X angegeben, hergestellt.

Tabelle X Leitfähige Pastenzusammensetzungen

Inhaltsstoff	BSP-47	BSP-48
P4	1,12	1,68
P10	1,44	2,16
Duomeen® TDO	0,32	0,32
Thixatrol® MAX	0,48	0,48
TEX	0,72	0,13
BCA	2,40	1,70
Frittenzusatzstoff	0,03	0,03
Glasfritte	1,8	1,8
Silber Ag-C	91,20	91,20
formulierte Feststoffe (%)	92,35	91,71
Viskosität @10 UpM (Pa·s)	249	295
Viskosität @50 UpM (Pa·s)	158	124

**[0122]** Die Pastenzusammensetzungen der Beispiele 47 - 48 werden verwendet, um vorderseitige Elektroden für auf multikristallinen Wafern von Solar Tech hergestellte Photovoltaik-Zellen unter der Anwendung des in den Beispielen 41 - 46 vorstehend beschriebenen Verfahrens herzustellen, mit der Ausnahme, dass das Trocknen nach dem Pastenauftragen in einem UltraFlex-IR-Gürtelofen erfolgt. Die Zellen werden ferner für das Vergleichsbeispiel CE3 unter der Anwendung einer anderen Charge der Pastenzusammensetzung des Vergleichsbeispiels CE1 hergestellt. Die elektrischen Eigenschaften dieser Zellen nach dem Brennen werden wie vorstehend in den Beispielen 41 - 46 beschrieben, aus denen auch die in Tabelle IX aufgezeigten Daten hervorgehen.



Tabelle XI Elektrische Charakterisierung der Solarzelle

Eigenschaft	Beispiel		
	BSP-47	BSP-48	CE3
Effizienz (%)	17,99	18,0	17,93
Isc (A)	8,80	8,81	8,80
Voc(V)	0,630	0,631	0,630
FF (%)	79,02	78,86	78,64

## Beispiele 49 - 51

## Herstellung und Testen von leitfähigen Mikrogel-Pastenzusammensetzungen

**[0123]** Pastenzusammensetzungen, die BMA/MMA/UMA-Mikrogele umfassen, werden als Beispiele 49 - 51 zubereitet. Mikrogel-Emulsionspolymere werden zunächst wie in den vorstehenden Beispielen 2 und 4 beschrieben, mit 0,25 Gew.-% und 4 Gew.-% des EGDMA-Vernetzers hergestellt. Suspensionen dieser Polymere werden in einer 1:1 Mischung von Texanol- und BCA-Lösungsmitteln (entsprechend bei 15 und 20 Gew.-% Polymer) wie in Beispiel 5 zubereitet und dann mit den verbleibenden Inhaltsstoffen, in den in Tabelle XII angegebenen Mengen (g), unter Anwendung der in den vorstehenden Beispielen 6 - 16 allgemein beschriebenen Techniken, kombiniert.

Tabelle XII Leitfähige Pastenzusammensetzungen

Inhaltsstoff	BSP-49	BSP-50	BSP-51
BMA/MMA/UMA/EGDMA (4 Gew.-%)	2,35	2,20	1,00
BMA/MMA/UMA/EGDMA (0,25 Gew.-%)	–	0,60	–
Duomeen® TDO	0,153	0,25	0,15
Thixatrol® MAX	0,358	0,329	0,350
BCA	1,94	1,60	2,80
Frittenzusatzstoff	0,35	0,35	0,17
Glasfritte	0,805	0,805	0,72
Silber Ag-A	45,0	45,0	33,75
Silber Ag-C	–	–	11,25
Berechnete formulierte Feststoffe (%)	90,52	90,2	91,6

**[0124]** Die Pastenzusammensetzungen der Beispiele 49 - 51 werden auf multikristallinen Silizium-Wafern unter Anwendung eines wie im vorstehenden Beispiel 25 angegebenen Verfahren siebgedruckt. Es wurde festgestellt, dass die Pastenzusammensetzungen der Beispiele 49 und 50 ein ausgezeichnetes rheologisches Scherentzähungsverhalten aufweisen und ohne Weiteres durch ein Sieb mit 30 µm breiten Linienöffnungen siebgedruckt werden, und dass sie gute Qualität, schmale angelagerte Spuren, die etwa 38 und 40 µm breit sind, entsprechend nach dem Drucken aber vor dem Brennen, liefern. Die Pastenzusammensetzung des Beispiels 51, mit niedrigerem Mikrogelgehalt, weist eine Scherentzähung nur in einem geringeren Ausmaß auf, ist schwerer zu drucken und erzeugt abgelagerte Linien, die einige Linienbrüche aufweisen.

**[0125]** Nachdem die Erfindung damit in aller Ausführlichkeit beschrieben worden ist, wird es klar, dass diese Ausführlichkeit nicht strikt eingehalten werden muss, sondern dass weitere Änderungen und Modifikationen für den Fachmann naheliegend sind und alle in den Anwendungsbereich der Erfindung wie durch die beigegebenen Ansprüche definiert fallen.

**[0126]** Wo ein Bereich von numerischen Werten zitiert oder hierin erzeugt wird, umfasst der Bereich die Endpunkte davon und all die einzelnen ganzen Zahlen und Brüche innerhalb des Bereichs und umfasst auch jeden der engeren Bereiche darin, der durch all die verschiedenen Kombinationsmöglichkeiten der Endpunkte und internen ganzen Zahlen und Brüchen gebildet wird, um Untergruppen von der größeren Gruppe

der Werte innerhalb des genannten Bereichs im gleichen Umfang zu bilden, so als ob jeder dieser engeren Bereiche ausdrücklich angeführt worden wäre. Wo ein Bereich von numerischen Werten hierin als größer als ein angegebener Wert angegeben wird, ist der Bereich dennoch begrenzt und an sein oberes Ende durch einen Wert gebunden, der im Rahmen der Erfindung wie hierin beschrieben durchführbar ist. Wo ein Bereich von numerischen Werten hierin als kleiner als der angegebene Wert angegeben wird, ist der Wert dennoch an sein unteres Ende durch einen Nicht-Null-Wert gebunden.

**[0127]** In dieser Spezifikation, sofern nicht ausdrücklich anders angegeben oder durch den Kontext der Nutzung nicht gegenteilig angeführt, wo eine Ausführungsform des Gegenstands hiervon angegeben oder beschrieben wird mit umfassend, einschließend, enthaltend, aufweisend, bestehend aus oder gebildet durch oder von bestimmten Funktionen oder Elementen, kann bzw. können eine oder mehr Funktion(-en) oder Element(-en) zusätzlich zu denjenigen in der Ausführungsform ausdrücklich angegebenen oder beschriebenen vorhanden sein. Eine alternative Ausführungsform des Gegenstandes hiervon kann dennoch als im Wesentlichen bestehend aus bestimmten Funktionen oder Elementen angegeben oder beschrieben werden, in der die Funktionen oder Elemente der Ausführungsform das Funktionsprinzip wesentlich verändern würden oder die kennzeichnenden Eigenschaften der Ausführungsform sind darin nicht vorhanden. Eine weitere alternative Ausführungsform des Gegenstands hiervon kann als aus bestimmten Funktionen oder Elementen bestehend angegeben oder beschrieben werden, in welcher Ausführungsform oder in unwesentlichen Variationen davon, nur die Funktionen oder Elemente vorhanden sind, die spezifisch angegeben oder beschrieben werden. Darüber hinaus soll der Begriff „umfassend“ Beispiele einschließen, die durch die Begriffe „im Wesentlichen bestehend aus“ und „bestehend aus“ umgeben sind. Ebenso soll der Begriff „im Wesentlichen bestehend aus“ Beispiele einschließen, die durch den Begriff „bestehend aus“ umgeben sind.

**[0128]** Es sollte klar sein, dass in einigen Fällen hierin die Polymere (einschließlich der als Mikrogele zubereiteten) durch Bezugnahme auf die Monomere oder die Mengen davon, die zur Herstellung der Polymere verwendet werden, beschrieben werden. Während eine solche Beschreibung nicht die spezifische Nomenklatur enthalten kann, die zur Beschreibung des endgültigen Polymers verwendet wird oder die Produkt-durch-Verfahren-Terminologie enthalten kann, sollte jede derartige Bezugnahme auf Monomere und die Mengen so interpretiert werden, dass das Polymer diese Monomere (d.h. copolymerisierte Einheiten dieser Monomere) oder die Menge der Monomere und die entsprechenden Polymere und die Zusammensetzungen davon umfasst.

**[0129]** Wenn eine Menge, Konzentration oder ein anderer Wert oder Parameter als entweder ein Bereich, bevorzugter Bereich oder eine Liste von oberen bevorzugten Werten und unteren bevorzugten Werten angegeben wird, sollte dieses als speziell alle Bereiche offenbarend verstanden werden, die aus irgendeinem Paar von irgendeiner oberen Bereichsgrenze oder bevorzugtem Wert und irgendeiner unteren Bereichsgrenze oder bevorzugtem Wert gebildet werden, unabhängig davon, ob die Bereiche gesondert offenbart sind. Wo hierin ein Bereich von Zahlenwerten angegeben wird, soll der Bereich, sofern nichts anderes angegeben ist, seine Endpunkte und alle ganzen Zahlen und Brüche innerhalb des Bereichs einschließen. Es ist nicht beabsichtigt, den Bereich der Erfindung auf die konkreten Werte zu beschränken, wenn ein Bereich definiert wird.

**[0130]** In dieser Spezifikation, sofern nicht ausdrücklich anders angegeben oder durch den Kontext der Nutzung gegenteilig angeführt,

(a) die hierin angegebene Mengen, Größen, Bereiche, Formulierungen, Parameter und andere Quantitäten und Charakteristiken, insbesondere wenn sie durch den Begriff „ca.“ verändert werden, dürfen jedoch müssen nicht exakt sein, und dürfen auch ungefähr und/oder größer oder kleiner (wie gewünscht) als die genannten, reflektierenden Toleranzen, Umrechnungsfaktoren, Abrundungen, Messfehler und dergleichen sein, sowie die Einbeziehung innerhalb eines angegebenen Wertes dieser Werte außerhalb dessen, die im Rahmen der vorliegenden Erfindung, funktionelle und/oder durchführbare Äquivalenz mit den angegebenen Werte haben; und

(b) alle numerischen Mengen von Teilen, Prozentsätzen oder Verhältnissen werden als Teile, Prozentsätze oder Gewichtsverhältnisse angegeben; die angegebenen Teile, Prozentsätze oder Gewichtsverhältnisse können oder können nicht bis 100 summiert werden.

## Patentansprüche

1. Pastenzusammensetzung, die umfasst:
  - (a) eine Quelle elektrisch leitenden Metalls;

(b) eine Glasfritte; und

(c) ein organisches Vehikel, in dem die Quelle elektrisch leitenden Metalls und die Glasfritte dispergiert sind, wobei

die Quelle elektrisch leitenden Metalls ein leitfähiges Pulver ist, das 50 Gewichtsprozent oder mehr des Gesamtgewichts der Paste ausmacht,

das organische Vehikel Mikrogelteilchen und ein Lösungsmittel umfasst, und

die Mikrogelteilchen Teilchen eines vernetzten Polymers sind, die eine mittlere Teilchengröße von 20 nm bis 2 µm in ihrem ungequollenen Zustand aufweisen, das Polymer der Mikrogelteilchen ein Molekulargewicht von  $10^7$  bis  $10^{12}$  umfasst, und organisches Polymer 0,01 bis 5,0 Gew.-% des Gesamtgewichts der leitfähigen Paste ausmacht.

2. Pastenzusammensetzung nach Anspruch 1, wobei die Mikrogelteilchen Polymereinheiten umfassen, die aus einem oder mehreren Acrylat- oder Methacrylatmonomer(en) oder einer Mischung davon polymerisiert sind.

3. Pastenzusammensetzung nach Anspruch 2, wobei das eine oder die mehreren Monomer(e) eines oder mehrere von Ethylacrylat, Methylacrylat, Methylmethacrylat, n-Butylmethacrylat, Isobutylmethacrylat, Benzylmethacrylat oder 2-(2-Oxo-1-imidazolidinyl)-ethylmethacrylat oder eine Mischung davon in jedem beliebigen Verhältnis umfasst bzw. umfassen.

4. Pastenzusammensetzung nach Anspruch 3, wobei das eine oder die mehreren Monomer(e) eines oder mehrere von Methylmethacrylat oder n-Butylmethacrylat oder eine Mischung davon in jedem beliebigen Verhältnis umfasst bzw. umfassen.

5. Pastenzusammensetzung nach Anspruch 3, wobei die Monomere eines oder mehrere von Methylmethacrylat, n-Butylmethacrylat oder 2-(2-Oxo-1-imidazolidinyl)ethylmethacrylat oder eine Mischung davon in jedem beliebigen Verhältnis umfassen.

6. Pastenzusammensetzung nach Anspruch 3, wobei die Monomere Benzylmethacrylat umfassen.

7. Pastenzusammensetzung nach Anspruch 1, wobei das organische Vehikel Mikrogelteilchen mehrerer Arten umfasst, welche sich in mindestens einem von Zusammensetzung oder mittlerer Teilchengröße unterscheiden.

8. Pastenzusammensetzung nach Anspruch 7, wobei das organische Vehikel Mikrogelteilchen zweierlei Arten umfasst.

9. Pastenzusammensetzung nach Anspruch 7, wobei die Arten jeweils Polymereinheiten umfassen, die aus verschiedenen Monomeren oder aus verschiedenen Kombinationen von Monomeren polymerisiert sind.

10. Verfahren zur Bildung einer elektrisch leitfähigen Struktur auf einem Substrat, wobei das Verfahren umfasst:

(a) Bereitstellen eines Substrats mit einer ersten Hauptoberfläche;

(b) Auftragen einer Pastenzusammensetzung nach Anspruch 1 auf einen vorgewählten Abschnitt der ersten Hauptoberfläche;

(c) Brennen des Substrats und der Pastenzusammensetzung darauf, wodurch die elektrisch leitfähige Struktur auf dem Substrat gebildet wird.

11. Verfahren nach Anspruch 10, wobei das Substrat eine isolierende Schicht umfasst, die auf mindestens der ersten Hauptoberfläche vorliegt, und die Pastenzusammensetzung auf die isolierende Schicht der ersten Hauptoberfläche aufgetragen wird, und wobei die isolierende Schicht mindestens eine Schicht ist, die Aluminiumoxid, Titandioxid, Siliziumnitrid,  $\text{SiN}_x\text{:H}$ , Siliziumoxid oder Siliziumoxid/Titanoxid umfasst.

12. Verfahren nach Anspruch 11, wobei die isolierende Schicht während des Brennens durchdrungen und das elektrisch leitende Metall gesintert wird, wodurch ein elektrischer Kontakt zwischen dem elektrisch leitenden Metall und dem Substrat gebildet wird.

13. Gegenstand, der ein Substrat und darauf eine elektrisch leitfähige Struktur umfasst, wobei der Gegenstand durch das Verfahren nach Anspruch 10 gebildet worden ist.

14. Photovoltaikzelle gebildet auf einem Halbleiter-Wafer mit gegenüberliegenden ersten und zweiten Hauptoberflächen und umfassend erste und zweite Elektroden, wobei die erste Elektrode auf der ersten Hauptoberfläche angeordnet ist und durch einen Brennvorgang gebildet wird, und wobei, vor dem Brennvorgang, die erste Elektrode die Pastenzusammensetzung nach Anspruch 1 umfasst.

15. Halbleitersubstrat mit gegenüberliegenden ersten und zweiten Hauptoberflächen und umfassend:  
a. eine Antireflexbeschichtung auf der ersten Hauptoberfläche;  
b. eine Pastenzusammensetzung nach Anspruch 1, wobei die Pastenzusammensetzung auf einen vorgeählten Abschnitt der ersten Hauptoberfläche aufgebracht ist und so konfiguriert ist, dass sie durch einen Brennvorgang zu einer leitfähigen Struktur in elektrischem Kontakt mit dem Halbleitersubstrat geformt wird.

Es folgen 2 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

FIG. 1A



FIG. 1B

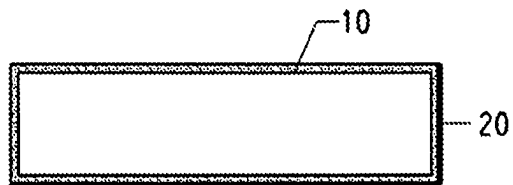


FIG. 1C

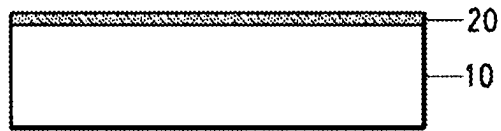


FIG. 1D

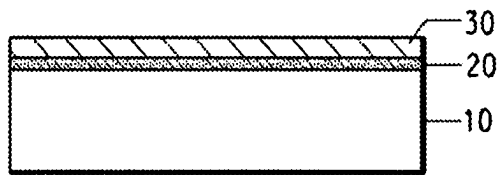


FIG. 1E

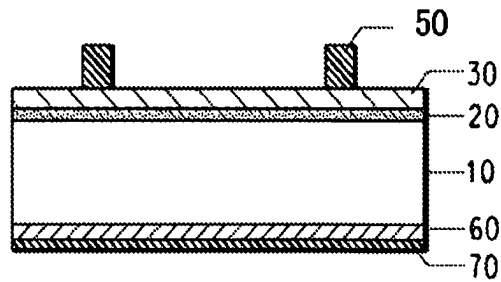


FIG. 1F

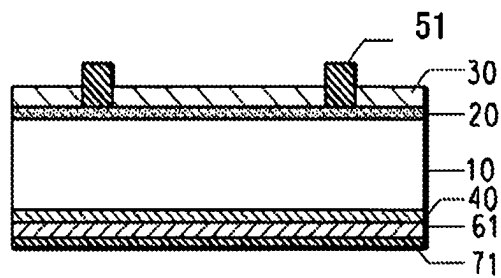


FIG. 2

