



(19)  
Bundesrepublik Deutschland  
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 602 15 533 T2 2007.04.05**

(12) **Übersetzung der europäischen Patentschrift**

(97) **EP 1 444 284 B1**

(51) Int Cl.<sup>8</sup>: **C08G 61/00 (2006.01)**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **602 15 533.9**

(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/US02/35756**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **02 804 825.4**

(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 2003/064495**

(86) PCT-Anmeldetag: **06.11.2002**

(87) Veröffentlichungstag  
der PCT-Anmeldung: **07.08.2003**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **11.08.2004**

(97) Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung beim EPA: **18.10.2006**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **05.04.2007**

(30) Unionspriorität:  
**338054 P 07.11.2001 US**

(84) Benannte Vertragsstaaten:  
**AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB,  
GR, IE, IT, LI, LU, MC, NL, PT, SE, SK, TR**

(73) Patentinhaber:  
**Dow Global Technologies, Inc., Midland, Mich., US**

(72) Erfinder:  
**FOSTER, L., Kenneth, Midland, MI 48640, US;  
RADLER, J., Michael, Midland, MI 48642, US**

(74) Vertreter:  
**Fleischer, Godemeyer, Kierdorf & Partner,  
Patentanwälte, 51429 Bergisch Gladbach**

(54) Bezeichnung: **PLANARISIERTE MIKROELEKTRONIK-SUBSTRATE**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99 (1) Europäisches Patentübereinkommen).

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patent- und Markenamt inhaltlich nicht geprüft.

## Beschreibung

**[0001]** Diese Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zur Herstellung planarisierter Oberflächen, insbesondere bei der Herstellung von mikroelektronischen Elementen.

**[0002]** Wie zum Beispiel in US-Patent Nr. 5,965,679 diskutiert, können Polymere Dielektrika als isolierende Schichten zwischen verschiedenen Schaltkreisen und Schichten innerhalb von Schaltkreisen in mikroelektronischen Elementen, wie zum Beispiel integrierten Schaltkreisen, Multichipmodulen, laminierten Platinen und dergleichen verwendet werden. Wie ebenfalls in dem '679-Patent diskutiert, sind solche polymeren dielektrischen Schichten ebenfalls erwünscht, um die Muster der Oberfläche von mikroelektronischen Substraten zu planarisieren. Wie in PCT-Veröffentlichung Nrn. WO00/31183 und WO01/38417 A1 diskutiert, können solche Schichten durch Zugabe verschiedener Materialien zu den Präpolymerzusammensetzungen der polymeren dielektrischen Schichten porös gemacht werden.

**[0003]** Trotz des guten Ausmaßes an Planarisierung, die mit bekannten polymeren dielektrischen Materialien für in geringem Abstand zueinander befindlichen Schaltkreismarkmalen erhalten wird (was manchmal auch als Lokalplanarisierung bezeichnet wird) tendiert das Ausmaß der Planarisierung, das mit bekannten polymeren dielektrischen Materialien für solche Merkmale wie auch für größere Merkmale oder Merkmale mit größerem Abstand erhalten wird (manchmal als globale Planarisierung bezeichnet), zum Beispiel die Planarisierung für den Bereich zwischen Pads und Feldern dazu, nicht akzeptabel zu sein.

**[0004]** Wie durch Steigerwald et al. in ihrem Buch mit dem Titel "Chemical Mechanical Planarization of Microelectronic Materials" (Wiley Interscience 1997) diskutiert, ist eine Lösung für eine akzeptable Planarisierung von dielektrischen Schichten die Verwendung von chemisch-mechanischem Polieren, um die dielektrische Schicht zu planarisieren. Die chemisch-mechanische Planarisierung von dielektrischen Schichten eines mikroelektronischen Elements ist aber relativ teuer.

**[0005]** Es wäre ein Fortschritt in der Technik der Planarisierung von dielektrischen Schichten eines mikroelektronischen Elements, wenn Zusammensetzungen und Verfahren entdeckt würden, die in einer selbstplanarisierten dielektrischen Schicht für solche schwierig zu planarisierenden Schaltkreise resultieren.

**[0006]** Die verschiedenen Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung stellen ein Verfahren für eine dielektrische Schicht eines mikroelektronischen Ele-

ments bereit, das selbst für solche schwierig zu planarisierenden Schaltkreismuster selbstplanarisierend ist. Insbesondere ist die vorliegende Erfindung ein Verfahren zum Planarisieren eines mikroelektronischen Substrats mit einer vernetzten polymeren dielektrischen Schicht, umfassend die Schritte:

(a) Erwärmen solch eines Substrats, das mit einer Schicht beschichtet ist, die ein nichtgehärtetes, vernetzbares Polymer und ein Modifiziermittel zur Herabsetzung der Glasübergangstemperatur enthält, auf eine Temperatur, die größer als die Glasübergangstemperatur der Schicht ist, wobei die Temperatur geringer ist als die Härtungstemperatur des nichtgehärteten vernetzbaren Polymers, um ein Substrat zu bilden, das mit einer durch Wärme fließbar gemachten Schicht beschichtet ist und

(b) Erwärmen des Substrats, das mit einer durch Wärme fließbar gemachten Schicht beschichtet ist, auf eine Härtungstemperatur des nichtgehärteten vernetzbaren Polymers der erwärmten Schicht, um das nichtgehärtete vernetzbare Polymer zu härten, um ein planarisiertes Substrat zu bilden, bei dem der Prozentgehalt der Planarisierung bei 100  $\mu\text{m}$  größer als 50 Prozent ist.

In einer damit in Bezug stehenden Ausführungsform ist die vorliegende Erfindung ein mikroelektronisches Element, das unter Verwendung des oben beschriebenen Verfahrens hergestellt wurde.

**[0007]** [Fig. 1](#) ist ein schematischer Querschnittsseitenansicht eines partiell vervollständigten mikroelektronischen Elements mit einem Querschnitt senkrecht zu den Leiterlinien.

**[0008]** [Fig. 2](#) ist eine schematische Querschnittsseitenansicht eines partiell vervollständigten mikroelektronischen Elements ähnlich dem in [Fig. 1](#) gezeigten, das mit einer dielektrischen Schicht eines wärmehärtbaren Polymers nach dem Stand der Technik planarisiert ist.

**[0009]** [Fig. 3](#) ist eine schematische Querschnittsseitenansicht eines partiell vervollständigten mikroelektronischen Elements ähnlich dem in [Fig. 1](#) gezeigten, das mit einer wärmehärtbaren polymeren dielektrischen Schicht der vorliegenden Erfindung planarisiert ist.

**[0010]** [Fig. 4a](#) bis c sind eine Serie von schematischen Querschnittsseitenansichten eines teilweise vervollständigten mikroelektronischen Elements, das mit einer wärmehärtbaren polymeren dielektrischen Schicht entsprechend einer Prozessausführungsform der vorliegenden Erfindung planarisiert ist, und

**[0011]** [Fig. 5](#) ist ein Graph des Lagermoduls gegen die Temperatur des Härtungszyklus für ein wärmehärtbares Polymer nach dem Stand der Technik und

einen wärmehärtbaren Polymer der vorliegenden Erfindung.

[0012] Bezug nehmend auf [Fig. 1](#) wird eine schematische Querschnittsseitenansicht eines mikroelektronischen Elements **10** gezeigt, das ein Substrat **11** mit einem Querschnitt senkrecht zu den Leiterlinien **12** des Substrats **11** zeigt.

[0013] Bezug nehmend nun auf [Fig. 2](#) wird darin eine schematische Querschnittsseitenansicht eines mikroelektronischen Elements **20** gezeigt, das ein Substrat **21** zeigt, mit dem Querschnitt senkrecht zu den Leiterlinien **22** auf dem Substrat **21**, das mit einer dielektrischen Schicht **23** eines wärmehärtbaren Polymers gemäß des Standes der Technik, wie zum Beispiel wärmehärtbare Polymere aus US-Patent Nr. 5,965,679 planarisiert ist. Es wird darauf hingewiesen, dass die Topographie der Schicht **23** nicht eben ist, sondern Vertiefungen zwischen den Leiterlinien **22** existieren, wobei diese Vertiefungen aus Gründen der Klarheit übertrieben dargestellt sind.

[0014] Bezug nehmend nun auf [Fig. 3](#) wird darin eine schematische Querschnittsseitenansicht eines mikroelektronischen Elements **30** gezeigt, das ein Substrat **31** im Querschnitt senkrecht zu den Leiterlinien **32** auf dem Substrat **31** zeigt, das mit einer dielektrischen Schicht **33** eines wärmehärtbaren Polymers gemäß der vorliegenden Erfindung planarisiert ist. Es wird darauf hingewiesen, dass die Topographie der Schicht **33** eben ist und nicht zwischen den Leiterlinien **22** einsinkt oder wenigstens die Schicht **33** wesentlich ebener ist als die Schicht **23** der [Fig. 2](#).

[0015] Der Ausdruck "prozentuale Planarisierung bei 100 µm" ist hierin als die Querschnittsdicke der dielektrischen Schicht eines flachen Substrats bei einem Punkt etwa 100 µm senkrecht zu der Zentrumslinie eines 100 µm breiten, 1 µm dicken linienförmigen Merkmal auf dem Substrat in Längsrichtung dividiert durch die Querschnittsdicke der dielektrischen Schicht des Substrats bei einem Punkt etwa bei der Zentrumslinie des Merkmals, wobei die Querschnittsdicke der dielektrischen Schicht des Substrats an dem Punkt etwa 100 µm von der Zentrumslinie des Merkmals etwa 2 µm beträgt.

[0016] Bezug nehmend nun auf die [Fig. 4a](#) bis c wird darin eine Serie von schematischen Querschnittsseitenansichten eines mikroelektronischen Elements **40** gezeigt, das mit einer dielektrischen Schicht **41** eines wärmehärtbaren Polymers gemäß einer Verfahrensausführungsform der vorliegenden Erfindung planarisiert ist. Das Element **40** ist mit einem Substrat **42** und einem Merkmal **43** auf dem Substrat **42** gezeigt. Das Merkmal **43** ist eine Linie, die 100 µm breit und 1 µm dick ist. Die Schicht **41** ist 2 µm dick, gemessen von dem Substrat. Das Merkmal **42** wird im Querschnitt senkrecht zu ihrer Zen-

trumslinie in Längsrichtung gezeigt.

[0017] Bezug nehmend nun auf [Fig. 4a](#) ist eine Dispersion **44** eines dielektrischen Präpolymers für ein wärmehärtbares Polymer in einem Lösungsmittel auf ein Substrat **42** beschichtet worden. Die Topographie der Dispersion **44** ist eben. Es wird angenommen, dass ein solches Ausgleichen in erster Linie durch die Oberflächenspannung und Viskosität der Dispersion **44** bewirkt wird.

[0018] Bezug nehmend nun auf [Fig. 4b](#) wird das Lösungsmittel der Dispersion **44** aus [Fig. 4a](#) verdampft, so dass Substrat **42** mit einer Schicht **45** des ungehärteten Polymers beschichtet wird. Die Topographie der Schicht **45** ist nicht eben, weil die Verdampfung des Lösungsmittels bewirkt, dass die Schicht **45** durch Trocknen absinkt und sich zumindest teilweise der unterliegenden Topographie des Substrats **42** und dem Merkmal **43** anpasst.

[0019] Bezug nehmend nun auf [Fig. 4c](#) ist das Substrat **42** der [Fig. 4b](#) erwärmt worden, um das nichtgehärtete wärmehärtbare Polymer der Schicht **45** der [Fig. 4b](#) zu härten, um eine planarisierte wärmehärtbare polymere dielektrische Schicht **41** auszubilden. Der Prozentsatz der Planarisierung bei 100 µm der Schicht **41** muss größer als 50 Prozent sein, vorzugsweise größer als 65 Prozent und besonders bevorzugt größer als 80 Prozent, aber am meisten bevorzugt größer als 90 Prozent. Das vernetzte Polymer der Schicht **42** kann organisch sein, das heißt das Polymer hat ein Gerüst auf Kohlenstoffbasis, oder anorganisch, das heißt ein Polymer mit einem Gerüst auf Siliciumbasis.

[0020] Bezug nehmend nun auf [Fig. 5](#) wird darin ein Graph des Lagermoduls gegen die Temperatur für den Härtingszyklus eines wärmehärtbaren Polymers nach dem Stand der Technik (die durchgezogene Linie steht für das Polymer aus Beispiel 5 von US-Patent Nr. 5,965,679) und einem wärmehärtbaren Polymer der vorliegenden Erfindung (gestrichelte Linie) gezeigt. Der Härtingszyklus des wärmehärtbaren Polymers nach dem Stand der Technik beginnt bei S als Präpolymerzusammensetzung und geht davon aus, dass jegliches Lösungsmittel, das verwendet wurde, um eine Beschichtung des Präpolymers zu erleichtern, von der Zusammensetzung verdampft worden ist. Wenn die Präpolymerzusammensetzung nach dem Stand der Technik erwärmt wird, nimmt das Lagermodul bei etwa 300°C etwas ab, nimmt dann ab, um dann wieder zwischen 400°C und 500°C zuzunehmen, wenn das Präpolymer härtet, um das Polymer zu bilden. Abkühlen des Polymers auf Punkt F vervollständigt den Härtingszyklus.

[0021] Weiterhin Bezug nehmend auf [Fig. 5](#), beginnt der Härtingszyklus einer Ausführungsform eines wärmehärtbaren Polymers der vorliegenden Er-

findung (gestrichelte Linie) bei S als Präpolymerzusammensetzung und es wird angenommen, dass jegliches Lösungsmittel, das verwendet wird, um die Aufbringung des Präpolymers zu erleichtern, im Wesentlichen von der Zusammensetzung abgedampft worden ist. Wenn die Zusammensetzung der vorliegenden Erfindung erwärmt wird, nimmt ihr Lagermodul bei etwa 150°C etwas ab, nimmt dann stärker auf ein relativ niedriges Maß zwischen 250°C und 400°C ab, und steigt dann zwischen 400°C und 500°C wieder an, wenn das Präpolymer härtet, um das Polymer auszubilden. Abkühlen des Polymers auf Punkt F vervollständigt den Härtungszyklus.

**[0022]** Weiterhin Bezug nehmend auf [Fig. 5](#) wird festgestellt, dass ein wesentlicher Unterschied zwischen dem Härtungszyklus des Polymers nach dem Stand der Technik und des Polymers der vorliegenden Erfindung darin liegt, dass das Lagermodul des Polymers der vorliegenden Erfindung während des Härtungszyklus 0 oder annähernd 0 oder zumindest ausreichend niedrig ist, um der nichtgehärteten Schicht **45** der [Fig. 4b](#) zu ermöglichen zu fließen und die Schicht **41** der [Fig. 4c](#) auszugleichen. Das Polymer nach dem Stand der Technik ist nicht in demselben Ausmaß wie das Polymer der vorliegenden Erfindung selbstausgleichend, da das Lagermodul des Polymers nach dem Stand der Technik während des Härtungszyklus nicht auf ein Maß abfällt, das solch ein Ausmaß an Fließfähigkeit und Selbstausgleichen ermöglicht.

**[0023]** Das spezielle vernetzbare Polymer, das in der vorliegenden Erfindung verwendet wird, ist nicht kritisch. Vorzugsweise ist das vernetzbare Polymer eine wärmehärtbares Polymer, aber die Vernetzung kann durch andere Mittel, wie zum Beispiel Strahlung oder chemische Reaktionen, wie zum Beispiel UV-Licht oder Peroxidzersetzung, initiiert werden. Das Polymer kann organisch oder anorganisch sein. Beispiele für geeignete organische vernetzbare Polymere beinhalten insbesondere solche vernetzbaren Polymere, die in mikroelektronischen Herstellungen geeignet sind, wie zum Beispiel Polyimide, benzocyclobutanbasierte Polymere, Polyarylene (einschließlich Polyarylenether) und dergleichen. Polyarylenpolymere sind für viele mikroelektronische Anwendungen aufgrund ihrer exzellenten thermischen Stabilität bevorzugt. Polyarylenpolymere, die Dien und dienophilreaktive Gruppen enthalten, sind besonders bevorzugt. Cyclopentadienongruppen sind insbesondere als Diengruppe geeignet. Acetylengruppen sind insbesondere als dienophile Gruppe geeignet.

**[0024]** Solche vernetzbaren Polyarylene können zum Beispiel durch Umsetzen (zum Beispiel durch Erwärmen von monomeren Verbindungen mit reaktiven Gruppen, ausgewählt aus Diengruppen und Dienophilgruppen, wobei wenigstens einige der monomeren Verbindungen wenigstens drei solcher reakti-

ven Gruppen aufweisen, hergestellt werden. Ein bevorzugtes vernetzbares Polymer, das in der vorliegenden Erfindung geeignet ist, enthält das Reaktionsprodukt von einem oder mehreren polyfunktionellen Verbindungen, die zwei oder mehr Cyclopentadienongruppen und wenigstens eine polyfunktionelle Verbindung, die zwei oder mehr aromatische Acetylengruppen enthält, worin wenigstens eine der polyfunktionellen Verbindungen drei oder mehr Gruppen, ausgewählt aus den Gruppen bestehend aus Acetylengruppen und Cyclopentadienongruppen, enthält, wie in US-Patent Nr. 5,965,679 offenbart.

**[0025]** Beispiele von geeigneten anorganischen vernetzbaren Polymeren beinhalten Polysilane, wie zum Beispiel Polysilsesquioxane, zum Beispiel Polyvinylsilsesquioxan oder Polyphenylsilsesquioxan.

**[0026]** Das spezielle Modifizierungsmittel zur Herabsetzung der Glasübergangstemperatur, das in der vorliegenden Erfindung verwendet wird, ist nicht kritisch, vorausgesetzt, dass das Modifizierungsmittel keinen signifikanten negativen Effekt auf die physikalischen, mechanischen oder elektrischen Eigenschaften des gehärteten Films hat. Wie weiter unten im Detail diskutiert wird, ist ein Polymer oder Oligomer oder Monomer oft bevorzugt. Ein Fachmann wird aber unmittelbar verstehen, dass eine große Vielzahl anderer Materialien verwendet werden kann, in Abhängigkeit des speziellen vernetzbaren Polymer/Oligomer-Systems.

**[0027]** Entsprechend einer Ausführungsform enthält die Zusammensetzung ein vernetzbares Polymer (zum Beispiel das Reaktionsprodukt einer oder mehrerer polyfunktioneller Verbindungen, die zwei oder mehr Cyclopentadienongruppen und wenigstens eine polyfunktionellen Verbindung, die zwei oder mehr aromatische Acetylengruppen enthält, wobei wenigstens eine der polyfunktionellen Verbindungen drei oder mehr Gruppen, ausgewählt aus der Gruppe bestehend aus Acetylengruppen und Cyclopentadienongruppen, wie in US-Patent Nr. 5,965,679 offenbart, enthält) und ein Polymer zur Herabsetzung der Glasübergangstemperatur. Die Zugabe des Polymers zur Herabsetzung der Glasübergangstemperatur setzt die Glasübergangstemperatur der Zusammensetzung herab, so dass das Lagermodul der Zusammensetzung ausreichend abnimmt, um Selbstplanarisierung während des Härtungszyklus, bevor die Zusammensetzung ihre Polymerisation vervollständigt, zu ermöglichen.

**[0028]** Die spezifischen Polymere, die als Mittel zur Herabsetzung der Glasübergangstemperatur verwendet werden, sind bei der vorliegenden Erfindung nicht kritisch. Das Polymer zur Herabsetzung der Glasübergangstemperatur ist aber vorzugsweise mit dem vernetzbaren Polymer mischbar. Solche Mischbarkeit ist natürlich in erster Linie eine Funktion des

Molekulargewichts und der Löslichkeitsparameter-eigenschaften des Polymers zur Herabsetzung der Glasübergangstemperatur. Daher ist ein Polymer zur Herabsetzung der Glasübergangstemperatur mit einem relativ niedrigen Molekulargewicht im Allgemeinen bevorzugt, zum Beispiel ein zahlenmittleres Molekulargewicht von weniger als 10.000 oder selbst weniger als 5.000.

**[0029]** Polymere, von denen angenommen wird, dass sie zur Verwendung als Polymer zur Herabsetzung der Glasübergangstemperatur geeignet sind, beinhalten Polystyrole, Polyoxylene, Polydimethylphenylenoxide, Polyethylenglykolterephthalat, aromatische Polyimide und Polysulfone. Polymere, die nicht auf aromatischer Basis sind, von denen angenommen wird, dass sie zur Verwendung als Polymer zur Herabsetzung der Glasübergangstemperatur geeignet sind, beinhalten Polyethylen, Polypropylen, Polyisobutylen, Polyacrylnitril, Polyacrylate und Polymethylmethacrylate. Die Auswahl des optimalen Polymers zur Herabsetzung der Glasübergangstemperatur basiert zum Teil auf der Kompatibilität des Polymers zur Herabsetzung der Glasübergangstemperatur und des vernetzbaren Polymers.

**[0030]** Polystyrol mit einem zahlenmittleren Molekulargewicht zwischen 350 und 50.000 ist ein bevorzugtes Glasübergangspolymer zur Verwendung mit hocharomatischen vernetzbaren Polymeren, wie zum Beispiel Polyarylenen. Wenn ein Polystyrol mit engem Molekulargewichtsbereich verwendet wird, dann ist das zahlenmittlere Molekulargewicht eines solchen Polystyrols kleiner als etwa 7.000 und größer als etwa 300.

**[0031]** Ein endverkaptetes lineares Polyarylen oder Polyarylenetheroligomer (ECO), das ein lineares Polyarylen und/oder Polyphenylen und/oder Polyarylenetheroligomer mit endständigen Gruppen ist, die nicht weiter polymerisieren, ist ebenfalls ein bevorzugtes Glasübergangspolymer. Vorzugsweise ist das zahlenmittlere Molekulargewicht eines ECOs zwischen etwa 300 und 8.000. Besonders bevorzugt ist das zahlenmittlere Molekulargewicht eines ECOs zwischen etwa 1.000 und 3.000.

**[0032]** Die Menge des Polymers zur Herabsetzung der Glasübergangstemperatur (ausgedrückt als Gewichtsprozent der Gesamtmenge von Oligomer/Polymer), das verwendet wird, muss ausreichend sein, um ein Temperaturfenster in dem Härungszyklus bereitzustellen, bei dem das Lagermodul ausreichend niedrig ist, um die benötigte Selbstplanarisierung zu ermöglichen. Im Allgemeinen sollte die Menge des Polymers zur Herabsetzung der Glasübergangstemperatur weniger als 50 Gewichtsprozent, bezogen auf das Gewicht der Feststoffe, besonders bevorzugt weniger als 40 Gewichtsprozent, noch weiter bevorzugt weniger als 30 Gewichtsprozent und am meisten

bevorzugt weniger als 20 Gewichtsprozent betragen. Vorzugsweise beträgt die Menge mehr als 1 Prozent, besonders bevorzugt mehr als 5 Prozent, noch stärker bevorzugt mindestens 10 Prozent. Zum Beispiel kann 7 Prozent Polystyrol, das dem Präpolymer aus dem '679-Patent zugegeben wird, nicht ausreichend sein, während 35 Prozent besonders bevorzugt ist, während 50 Prozent vielleicht ein bisschen zu viel ist.

**[0033]** Vorzugsweise zersetzt sich das Polymer zur Herabsetzung der Glasübergangstemperatur oder verdampft aus dem wärmehärtbaren Polymer, während dieses härtet, so dass wenig oder kein Polymer zur Herabsetzung der Glasübergangstemperatur in dem gehärteten wärmehärtbaren Polymer verbleibt. Zum Beispiel verdampft Polystyrol von dem Präpolymer des '679-Patents in einem höheren Temperaturbereich des Härungszyklus. Vorzugsweise bewirkt die Entfernung des Polymers zur Herabsetzung der Glasübergangstemperatur nicht die Bildung von Poren oder das Zusammenbrechen oder Volumenverlust des Films.

**[0034]** Es ist aber nicht notwendig, dass das Polymer zur Herabsetzung der Glasübergangstemperatur sich zersetzt und/oder von dem wärmehärtbaren Polymer verdampft, wenn es härtet. Zum Beispiel wenn ein ECO als Polymer zur Herabsetzung der Glasübergangstemperatur verwendet wird, verbleibt das ECO vorzugsweise in dem gehärteten wärmehärtbaren Polymer.

**[0035]** Eine andere bevorzugte Zusammensetzung des vorliegenden Erfindung enthält ein vernetzbares Polymer (zum Beispiel das Reaktionsprodukt einer oder mehrerer polyfunktioneller Verbindungen, die zwei oder mehr Cyclopentadienongruppen enthalten, und wenigstens einer polyfunktionellen Verbindung mit zwei oder mehr aromatischen Acetylengruppen enthalten, wobei wenigstens eine der polyfunktionellen Verbindungen zwei oder mehr Gruppen enthält, die ausgewählt sind aus der Gruppe bestehend aus Acetylengruppen und Cyclopentadienongruppen, wie in US-Patent Nr. 5,965,679 offenbart) und ein Monomer zur Herabsetzung der Glasübergangstemperatur. Jedes der Monomere, das mit den reaktiven Gruppen auf dem vernetzbaren Polymer reagieren kann (zum Beispiel die Monomere des '679-Patents) können in Theorie als Monomer zur Herabsetzung der Glasübergangstemperatur verwendet werden. Daher sind Monomere mit Dien- oder Dienophilgruppen (vorzugsweise wenigstens zwei Dien- oder Dienophilgruppen) zusammen mit Polymeren mit Dien- oder dienophilreaktiven Gruppen geeignet. Ein bevorzugtes Monomer zur Herabsetzung der Glasübergangstemperatur ist 1, 3,5-Tris(phenylethynyl)benzol aufgrund der Löslichkeitseigenschaften dieses Monomers.

**[0036]** Die Menge des Monomers zur Herabsetzung

der Glasübergangstemperatur, die in der vorliegenden Erfindung verwendet wird, wird durch die Menge bestimmt, die nötig ist um den benötigten Prozentsatz der Planarisierung zu erreichen. Eine solche Menge des Monomers kann optional von der Herstellung der Oligomer- oder Prepolymerzusammensetzung zurückgehalten werden, so dass die Stöchiometrie des endgültig gehärteten Polymers beibehalten wird. Die Menge an Monomer zur Herabsetzung der Glasübergangstemperatur kann vorzugsweise wenigstens 1 Gewichts-% bezogen auf das Gewicht von Monomer und Prepolymer besonders bevorzugt wenigstens 5% und am meisten bevorzugt wenigstens 10% betragen. Die Menge ist vorzugsweise geringer als 50% besonders bevorzugt geringer als 40% und am meisten bevorzugt geringer als 30%.

**[0037]** Geeignete Modifizierungsmittel zur Herabsetzung der Glasübergangstemperatur zur Verwendung mit solchen Polysilsequioxanen beinhalten Polydimethylsilane Polycyclohexylmethylsilane, Polyphenylmethylsilane, Polymethylsilsequioxane und selbstverständlich verschiedene Copolymere der oben erwähnten Polysilane. Obwohl es bevorzugt ist, ein Modifizierungsmittel zur Herabsetzung der Glasübergangstemperatur vom Silantyp mit polysilanvernetzbaaren Polymeren der vorliegenden Erfindung zu verwenden, ist eine solche Verwendung hierin nicht notwendig.

**[0038]** Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform wird die Zusammensetzung aus vernetzbarem Polymer und Modifizierungsmittel zur Herabsetzung der Glasübergangstemperatur in einem Lösungsmittel auf ein Substrat beschichtet. Geeignete Lösungsmittel für die organische vernetzbare Polymerzusammensetzung beinhalten, sind aber nicht darauf beschränkt, Mesitylen, Pyridin, Triethylamin, N-Methylpyrrolidon (NMP), Methylbenzoat, Ethylbenzoat, Butylbenzoat, Cyclopentanon, Cyclohexanon, Cycloheptanon, Cyclooctanon, Cyclohexylpyrrolidinon und Ethern oder Hydroxyether wie z.B. Dibenzylether, Diglyme, Triglyme, Diethylenglycolethylether, Dipropylenglycolmethylether, Dipropylentglycoldimethylether, Propylenglycolphenylether, Propylenglycolmethylether, Tripropylenglycolmethylether, Toleol, Xylol, Benzol, Dipropylenglycolmonomethyletherazetat, Dichlorbenzol, Propylencarbonat, Naphthalin, Diphenylether, Butyrolacton, Dimethylacetamid, Dimethylformamid und Mischungen davon. Typischerweise ist das Lösungsmittel, das verwendet wird, um eine Schleuderbeschichtungszusammensetzung solcher Polysilsequioxane herzustellen, Methylisobutylketon.

**[0039]** Die vorliegende Erfindung betrifft in einer anderen Ausführungsform ein mikroelektronisches Bauteil, das durch eins der oben beschriebenen Verfahren hergestellt ist. Die vorliegende Erfindung betrifft in einer anderen Ausführungsform ein mikroelektronisches Bauteil, das eine der oben beschriebenen

Zusammensetzung enthält.

**[0040]** Der Ausdruck "prozentuale Planarisierung bei 1000 Mikrometer" wird hierin definiert als die Querschnittsdicke einer dielektrischen Schicht bei einem flachen Substrat an einem Punkt etwa 1000 Mikrometer senkrecht von der longitudinalen Zentrumslinie eines 1000 Mikrometer breiten, einen Mikrometer dicken linienförmigen Merkmals dem Substrat dividiert durch die Querschnittsdicke der dielektrischen Schicht des Substrats an einem Punkt etwa auf der Zentrumslinie des Merkmals wobei die Querschnittsdicke der dielektrischen Schicht des Substrats an dem Punkt etwa 1000 Mikrometer von der Zentrumslinie des Merkmals etwa zwei Mikrometer beträgt. Die Prozentplanarisierung bei 1000 Mikrometer, die durch die vorliegende Erfindung erreichbar ist, kann besser als 50% sein, vorzugsweise besser als 65%, besonders bevorzugt besser als 80% und am meisten bevorzugt besser als 90%.

#### Beispiel 1

**[0041]** Beispiel 5 von US-Patent Nr. 5,965,679 wird wiederholt mit der Ausnahme, dass das N-Methylpyrrolidon durch  $\gamma$ -Butyllacton ersetzt wird, um eine Mischung A zu erzeugen, die etwa 40% Oligomer und 60% N-Methylpyrrolidon enthält. Mesitylen wird der Mischung A zugegeben, um eine Mischung B zu erzeugen, die etwa 30% Oligomer, etwa 45%  $\gamma$ -Butyllacton und etwa 25% Mesitylen enthält. 45,33 g der Mischung B, 4,00 g 1,3,5-Trisphenylethynylbenzol, 20,80 g  $\gamma$ -Butyllacton und 29,87 g Mesitylen werden gemischt, um die Mischung C zu bilden.

#### Beispiel 2

**[0042]** 45,33 g der Mischung B aus dem obigen Beispiel 1, 8,00 g 1,3,5-Trisphenylethynylbenzol, 18,80 g  $\gamma$ -Butyllacton und 27,87 g Mesitylen werden gemischt, um die Mischung D zu bilden.

#### Beispiel 3

**[0043]** 45,33 g Mischung B aus dem obigen Beispiel 1, 3,00 g Polystyrol (1300 zahlenmittleres Molekulargewicht), 21,30 g  $\gamma$ -Butyllacton und 30,37 g Mesitylen werden gemischt, um Mischung E zu bilden.

#### Beispiel 4

**[0044]** 45,33 g Mischung B aus dem obigen Beispiel 1, 5,00 g Polystyrol (1300 zahlenmittleres Molekulargewicht), 20,30 g  $\gamma$ -Butyllacton und 29,37 g Mesitylen werden gemischt, um Mischung F zu bilden.

#### Beispiel 5

**[0045]** Partiiell vervollständigte mikroelektronische Bauteile auf Siliciumwafern mit einem Durchmesser

von 2000 mm C, D, E und F werden unter Verwendung der jeweiligen Mischung C, D, E und F planarisiert. Jeder Siliciumwafer C, D, E und F ist im Wesentlichen identisch und jeder hat 100 µm breite, 1 µm dicke, isolierte Linienmerkmale auf der Oberfläche des Wafers wie auch 1000 µm breite, 1 µm dicke isolierte Linienmerkmale auf der Oberfläche des Wafers.

**[0046]** 3 ml des Haftvermittlers AP4000 von Dow Chemical Company wird auf jeden Siliciumwafer C, D, E und F aufgebracht, wobei jeder Wafer langsam rotiert wird, um den Haftvermittler der Oberfläche eines jeden Wafers zu verteilen, er wird 2 Sekunden lang stehen gelassen, dann 10 Sekunden lang bei 3000 Upm rotieren gelassen und dann 90 Sekunden lang auf 185°C erwärmt, um Wafer C, D, E und F zu erzeugen die mit einem Haftvermittler behandelt wurden.

**[0047]** 6 ml der filtrierten Mischung C, D, E und F wurden auf die mit dem Haftvermittler behandelten Wafer C, D, und E bzw. F aufgebracht, während die Wafer mit 750 Upm rotierten. Dann wurde jeder Wafer 20 Sekunden lang mit 2000 Upm rotiert, auf einer Heizplatte 20 Sekunden lang bei 150°C erwärmt, um das Lösungsmittel von dem nicht gehärteten Polymerfilm auf jedem Wafer zu verdampfen. Nach der Entfernung von Kantentröpfchen wurde jeder Wafer unter Stickstoff 4 Minuten lang auf 320°C erhitzt, um den nicht gehärteten Polymerfilm auf jedem Wafer durch Wärme fließfähig zu machen. Dann wurde jeder Wafer 2 Minuten lang unter Stickstoff auf 450°C erwärmt, um den Polymerfilm auf jedem Wafer zu härten. Die prozentuale Planarisierung bei 100 Mikrometer auf jedem Wafer ist größer als 90%.

#### Vergleichsbeispiel 1

**[0048]** 50,00 g der Mischung B, 20,00 g  $\gamma$ -Butyllacton und 30,00 g Mesitylen wurden gemischt, um Mischung G auszubilden. Teilweise vervollständigte mikroelektronische Bauteile auf einem Siliciumwafer G mit einem Durchmesser von 200 mm (wobei dieser Wafer im Wesentlichen identisch mit den Wafern C, D, E und F ist) wurde unter Verwendung der Mischung G planarisiert.

**[0049]** 3 ml des Haftvermittlers AP4000 von der Dow Chemical Company wird auf den Siliciumwafer G aufgebracht während er langsam rotiert, um den Haftvermittler auf der Oberfläche des Wafers zu verteilen, dann 2 Minuten stehen gelassen, dann 10 Sekunden lang bei 3000 Upm rotiert und dann 90 Sekunden lang auf 185°C erwärmt, um einem mit Haftvermittler behandelten Wafer G herzustellen.

**[0050]** 6 ml der filtrierten Mischung G wird auf den mit Haftvermittler behandelten Wafer G aufgebracht, während dieser mit 750 Upm rotiert. Dann wird der

Wafer 20 Sekunden lang mit 2000 Upm rotiert auf einer Heizplatte 20 Sekunden lang auf 150°C erwärmt, um das Lösungsmittel aus dem nicht gehärteten Polymerfilm auf dem Wafer zu verdampfen. Nach der Entfernung von Kantentröpfchen wird der Wafer 4 Minuten lang unter Stickstoff auf 320°C erwärmt, um den nicht gehärteten Polymerfilm auf dem Wafer zu erwärmen, dann wird der Wafer 2 Minuten lang unter Stickstoff auf 450°C erwärmt um den Polymerfilm auf dem Wafer zu härten. Die prozentuale Planarisierung bei 100 Mikrometern des Wafers ist weniger als 20%. Die prozentuale Planarisierung bei 1000 Mikrometern des Wafers ist weniger als 10%.

#### Vergleichsbeispiel 2

**[0051]** Der planarisierte Siliciumwafer G aus Vergleichsbeispiel 1 wird chemischen mechanischen Polieren (CMP) ausgesetzt. Die prozentuale Planarisierung bei 100 Mikrometer des Wafers G nach CMP ist mehr als 90%. Die prozentuale Planarisierung bei 1000 Mikrometer des Wafers G nach CMP ist größer als 90%.

#### Beispiel 6

**[0052]** 20 g Polyphenylsilesquioxan, 2 g Polyhexylsilan und 78 g Methylisobutylketon wurden gemischt, um Mischung S zu bilden. 6 ml der filtrierten Mischung F wird auf einen mit einem Haftvermittler behandelten Wafer aufgebracht, während dieser mit 750 Upm rotiert. Dann wird der Wafer 20 Sekunden lang mit 2000 Upm rotiert auf einer Heizplatte 20 Sekunden lang erwärmt, um das Lösungsmittel aus dem nicht gehärteten Polymerfilm des Wafers zu verdampfen.

#### Patentansprüche

1. Verfahren zum Planarisieren eines mikroelektronischen Substrats mit einer vernetzten polymeren dielektrischen Schicht, umfassend die Schritte: (a) Erwärmen eines solchen Substrats, das mit einer Schicht beschichtet ist, die ein ungehärtetes vernetzbares Polymer und ein Modifiziermittel zur Herabsetzung der Glasübergangstemperatur enthält, auf eine Temperatur, die größer ist als die Glasübergangstemperatur der Schicht, wobei die Temperatur kleiner ist als die Härtungstemperatur des ungehärteten vernetzbaren Polymers, um ein Substrat zu bilden, das mit einer durch Wärme fließfähig gemachten Schicht beschichtet ist; und (b) Erwärmen des Substrats, das mit der durch Wärme fließfähig gemachten Schicht beschichtet ist, auf eine Härtungstemperatur des ungehärteten vernetzbaren Polymers der erwärmten Schicht, um das ungehärtete vernetzbare Polymer zu härten, um ein planarisierendes Substrat zu bilden, wobei der Prozentsatz der Planarisierung bei 100 µm größer als 50% ist.

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei das vernetzbare Polymer ein organisches wärmehärtbares Polymer ist.

3. Verfahren nach Anspruch 2, wobei das vernetzbare Polymer ein Polyarylen ist.

4. Verfahren nach Ansprüchen 1-3, wobei das Modifiziermittel zur Herabsetzung der Glasübergangstemperatur ein Polymer ist.

5. Verfahren nach Ansprüchen 1-3, wobei das Modifiziermittel zur Herabsetzung der Glasübergangstemperatur ein Monomer ist, das mit dem vernetzbaren Polymer reagiert.

6. Verfahren nach Anspruch 4, wobei das vernetzbare Polymer Polyarylen ist und das Modifiziermittel zur Herabsetzung der Glasübergangstemperatur ein Polystyrol mit niedrigem Molekulargewicht ist.

7. Verfahren nach Anspruch 2, wobei das vernetzbare Polymer dien- und dienophilreaktive Gruppen enthält und das Modifiziermittel zur Herabsetzung der Glasübergangstemperatur ein Monomer mit wenigstens zwei reaktiven Gruppen ist, die ausgewählt sind aus Dienen und Dienophilen.

8. Verfahren nach Ansprüchen 1-3, das weiterhin die Schritte umfasst:

Beschichten des Substrats mit einer Zusammensetzung, die ein Lösungsmittel, ein ungehärtetes vernetzbares Polymer und ein Modifiziermittel zur Herabsetzung der Glasübergangstemperatur enthält, um ein Substrat zu bilden, das mit der Zusammensetzung beschichtet ist;

(b) Verdampfen des Lösungsmittels aus der Zusammensetzung, um das Substrat zu bilden, das mit einer Schicht beschichtet ist, die das ungehärtete Polymer und das Modifiziermittel zur Herabsetzung der Glasübergangstemperatur enthält.

9. Verfahren nach Anspruch 4, wobei das Polymer zur Herabsetzung der Glasübergangstemperatur während des Erwärmungsschritts aus der vernetzbaren polymeren dielektrischen Schicht verdampft.

10. Verfahren nach Anspruch 4, wobei das Polymer zur Herabsetzung der Glasübergangstemperatur in einer Menge von 1% bis 50%, bezogen auf das Gesamtgewicht der Feststoffe, vorhanden ist.

11. Verfahren nach Anspruch 5, wobei das Monomer zur Herabsetzung der Glasübergangstemperatur in einer Menge von 1% bis 50%, bezogen auf das Gewicht von Monomer und vernetzbarem Polymer, vorhanden ist. Mikroelektronische Vorrichtung, hergestellt durch ein Verfahren umfassend das Verfahren nach Ansprüchen 1-11.

Es folgen 3 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

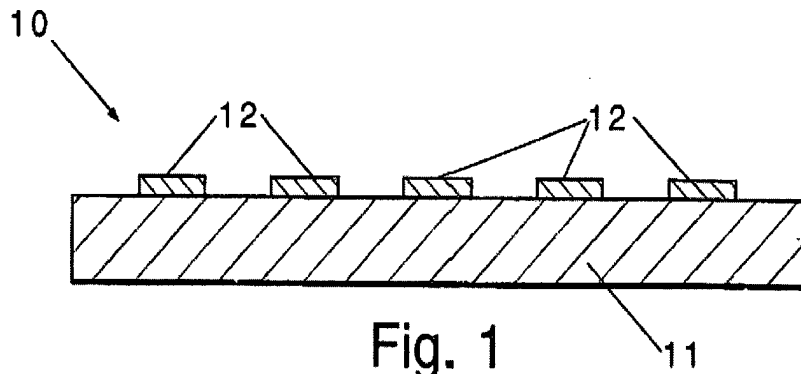


Fig. 1  
(Stand der Technik)

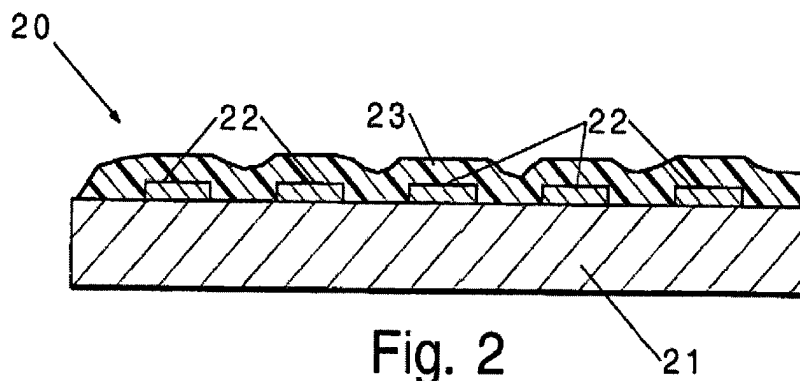


Fig. 2  
(Stand der Technik)

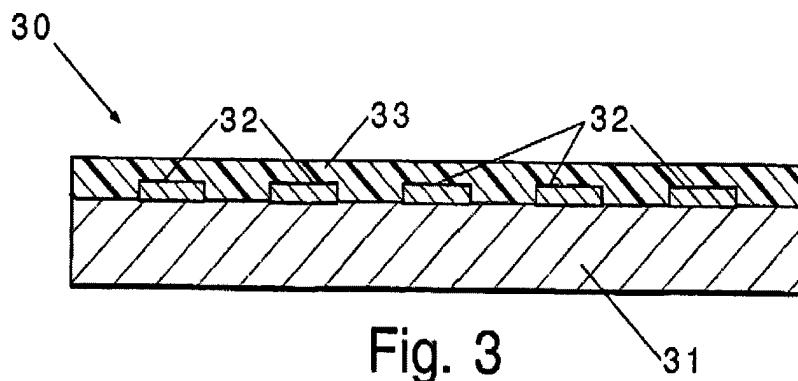
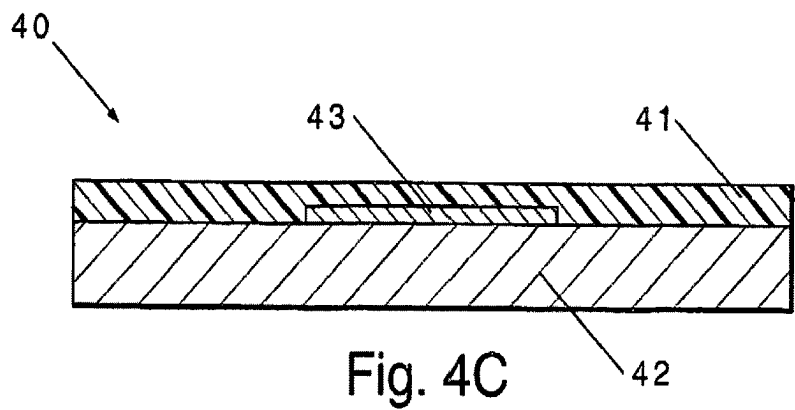
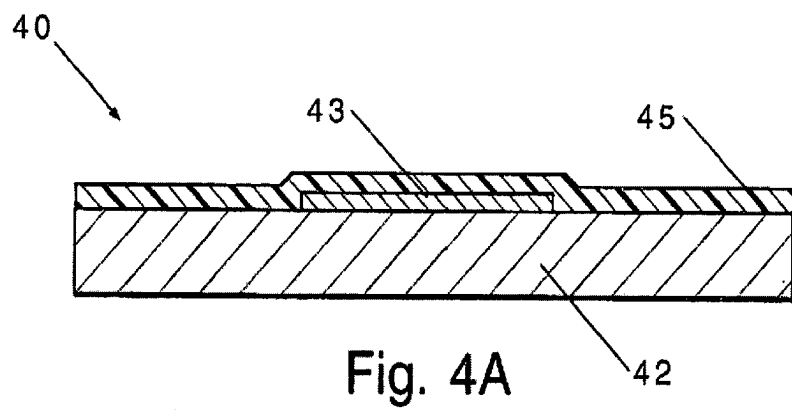
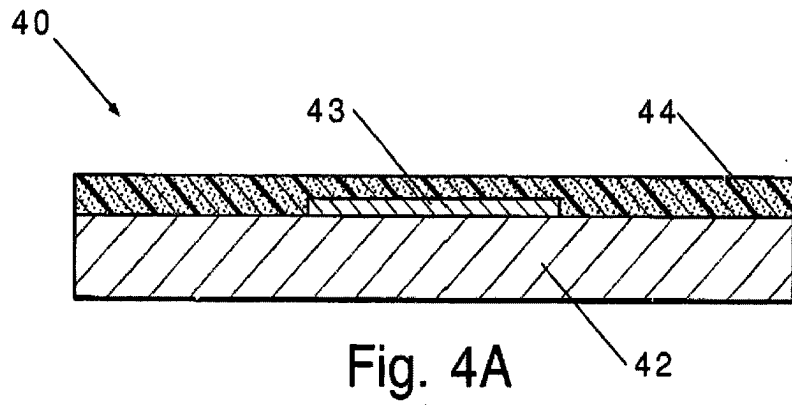


Fig. 3



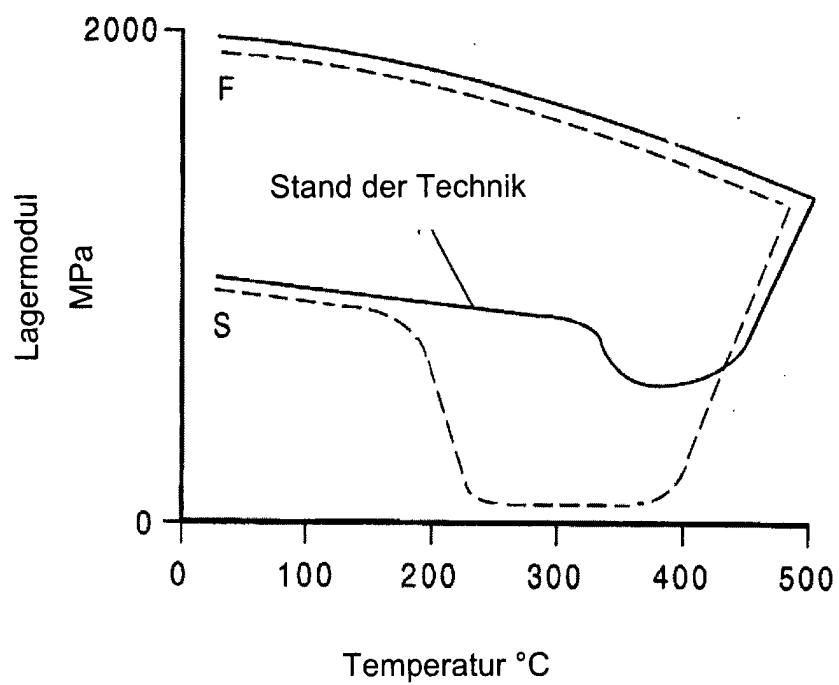


Fig. 5