



(19)  
Bundesrepublik Deutschland  
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 601 32 883 T2** 2009.03.05

(12) **Übersetzung der europäischen Patentschrift**

(97) **EP 1 274 755 B1**

(51) Int Cl.<sup>8</sup>: **C08F 281/00** (2006.01)

(21) Deutsches Aktenzeichen: **601 32 883.3**

(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/US01/11273**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **01 928 386.0**

(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 2001/078110**

(86) PCT-Anmeldetag: **06.04.2001**

(87) Veröffentlichungstag  
der PCT-Anmeldung: **18.10.2001**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **15.01.2003**

(97) Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung beim EPA: **20.02.2008**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **05.03.2009**

(30) Unionspriorität:

**545058 07.04.2000 US**

(73) Patentinhaber:

**Honeywell International Inc., Morristown, N.J., US**

(74) Vertreter:

**derzeit kein Vertreter bestellt**

(84) Benannte Vertragsstaaten:

**AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT,  
LI, LU, MC, NL, PT, SE, TR**

(72) Erfinder:

**LAU, Kreisler Honeywell In, Morristown, NJ 07962, US;  
LIU, Feng Quan, Morristown, NJ 07962, US;  
KOROLEV, Boris Honeywell In, Morristown, NJ  
07962, US; BROUK, Emma Honeywell In,  
Morristown, NJ 07962, US; ZHEREBIN, Ruslan  
Honeywell In, Morristown, CA 07962, US; LEUNG,  
Roger Honeywell In, Morristown, NJ 07962, US**

(54) Bezeichnung: **ORGANISCHE DIELEKTRIKA MIT NIEDRIGER DIELEKTRIZITÄTSKONSTANTE BASIEREND AUF  
KÄFIG-ÄHNLICHEN STRUKTUREN**

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**

## Gebiet der Erfindung

**[0001]** Das Gebiet der Erfindung sind Materialien mit niedriger Dielektrizitätskonstante.

## Allgemeiner Stand der Technik

**[0002]** Die Interkonnektivität bei integrierten Schaltkreisen nimmt mit sinkender Größe der funktionellen Elemente und zunehmender Komplexität zu. Um der steigenden Nachfrage nach Interkonnektionen zu entsprechen, wurden komplexe Konfigurationen für Leiter und Isolatoren entwickelt. Solche Konfigurationen bestehen im Allgemeinen aus einer Vielzahl von Schichten metallischer Leiterlinien, die in eine Vielzahl von Isolatoren-schichten eingebettet sind, die aus einem oder mehreren Materialien mit niedriger Dielektrizitätskonstante gefertigt sind. Die Dielektrizitätskonstante in solchen Materialien hat einen sehr starken Einfluss auf die Leistung des integrierten Schaltkreises. Isolatormaterialien mit niedrigen Dielektrizitätskonstanten (z. B. unter 3,0) sind besonders erwünscht, da sie typischerweise eine schnellere Signalübertragung erlauben, kapazitive Effekte und Nebensprechen zwischen Leiterlinien und niedrigeren Spannungen reduzieren, um integrierte Schaltkreise anzutreiben.

**[0003]** Eine Möglichkeit, um niedrige Dielektrizitätskonstanten in dem Isolatormaterial zu erreichen, besteht darin, Materialien mit inhärent niedrigen Dielektrizitätskonstanten zu benutzen. Im Allgemeinen wurden in den vergangenen Jahren zwei unterschiedliche Klassen von Materialien mit niedriger Dielektrizitätskonstante benutzt – anorganische Oxide und organische Polymere. Anorganische Oxide, die durch chemische Aufdampfungs- oder Aufschleudertechniken aufgebracht werden können, haben Dielektrizitätskonstanten zwischen etwa 3 und 4, und wurden häufig in Interconnects mit Entwurfsregel größer als 0,25 µm verwendet. Da jedoch die Abmessung der Interconnects weiter schrumpft, werden Materialien mit sogar noch niedrigerer Dielektrizitätskonstante noch stärker gesucht.

**[0004]** Seit 1998 werden integrierte Schaltkreise mit 0,25 µm Entwurfsregel produziert, die aber 1999 durch die Produktion der IC-Generation mit 0,18 µm überholt werden, und Materialien, die Dielektrizitätskonstanten von weniger als 3,0 aufweisen, werden unverzüglich benötigt. Da der Trend zu sogar noch kleineren Entwurfsregeln weitergeht, werden Entwurfsregeln entwickelt, die kleiner als 0,18 µm sind, und Entwurfsregeln von 0,07 µm und darunter können in nur wenigen Generationen erwartet werden, was einen großen Bedarf für Dielektrizitätsmaterialien mit im Entwurf enthaltener Nanoporesität erwarten lässt. Da Luft eine Dielektrizitätskonstante von etwa 1,0 hat, ist es ein Hauptziel, die Dielektrizitätskonstante von nanoporösen Materialien bis hinunter zur theoretischen Grenze von 1 zu reduzieren, und es sind dem Fachmann mehrere Verfahren zur Fertigung von nanoporösen Materialien bekannt.

**[0005]** Bei einigen Verfahren werden die Hohlräume in Nanogröße durch die Inkorporation von hohlen Kugeln in Nanogröße in das Matrixmaterial erzeugt, wodurch die Kugeln in Nanogröße als „Hohlraumplatzhalter“ wirken, die aus dem Matrixmaterial entfernt werden können oder nicht. Zum Beispiel lehren die Erfinder in der US-Patentschrift 5,458,709 an Kamezaki et al. die Verwendung von hohlen Glaskugeln in einem Material. Die Verteilung der Glaskugeln ist typischerweise jedoch schwer zu kontrollieren, und mit zunehmender Konzentration der Glaskugeln verliert das dielektrische Material an Flexibilität und anderen erwünschten physikalisch-chemischen Eigenschaften. Außerdem sind Glaskugeln im Allgemeinen größer als 20 nm, und sind daher nicht für nanoporöse Materialien geeignet, bei denen Poren gesucht werden, die kleiner als 2 nm sind.

**[0006]** Um Poren mit einer Größe zu produzieren, die wesentlich kleiner sind als Glaskugeln, beschreiben Rostoker et al. in der US-Patentschrift Nr. 5,744,399 die Verwendung von Fullerenen als Hohlraumplatzhalter. Fullerene sind eine natürlich auftretende Form von Kohlenstoff, die 32 Atome bis etwa 960 Atome enthält, von der angenommen wird, dass sie die Struktur einer kugelförmigen geodätischen Kuppel hat. Die Erfinder mischen ein Matrixmaterial mit Fullerenen, und härten das Gemisch, um ein nanoporöses Dielektrikum zu fertigen, wobei die Fullerene aus der gehärteten Matrix entfernt werden können. Obwohl die Poren, die auf diese Weise erhalten werden, im Allgemeinen von sehr gleichmäßiger Größe sind, bleibt die homogene Verteilung der Hohlraumplatzhalter weiterhin problematisch.

**[0007]** Bei anderen Verfahren werden die Hohlräume in Nanogröße aus einer Zusammensetzung erzeugt, die eine thermostabile Matrix und einen thermolabilen (thermisch abbaubaren) Anteil umfasst, der entweder dem thermostabilen Matrixmaterial separat zugefügt wird (physikalischer Vermengungsansatz), oder in das Matrixmaterial eingebaut wird (chemischer Pfpfansatz). Im Allgemeinen wird das Matrixmaterial zuerst bei einer

ersten Temperatur  $T_{XL}$  gehärtet und vernetzt, um eine hohe  $T_G$ -Matrix zu erhalten, dann wird die Temperatur auf eine zweite Temperatur  $T_T$  erhöht (so dass  $T_T < T_G$ ), um den thermolabilen Anteil zu thermolysieren, und bei einer dritten Temperatur ( $T_C$ , mit  $T_C < T_G$ ) nachgehärtet, um das gesuchte nanoporöse Material zu bilden, das die Hohlräume aufweist, die in Größe und Position der Größe und Position des thermolabilen Anteils entsprechen. Fortgesetztes Erhitzen des nanoporösen Materials über  $T_C$  hinaus wird zu weiterem Tempern und zur weiteren Stabilisierung des nanoporösen Materials führen.

**[0008]** Bei einem physikalischen Vermengungsansatz wird eine thermostabile Matrix mit einem thermolabilen Anteil vermennt, das vermennte Gemisch vernetzt, und der thermolabile Anteil thermolysiert. Der Vorteil dieses Ansatzes besteht darin, dass Variationen und Modifikationen in dem thermolabilen Anteil und der thermostabilen Matrix ohne weiteres erreicht werden können. Die chemische Natur sowohl des thermolabilen Anteils als auch der thermostabilen Matrix bestimmt jedoch im Allgemeinen das verwendbare Fenster zwischen  $T_{XL}$ ,  $T_T$  und  $T_G$ , so dass  $T_{XL} < T_T < T_G$ , wodurch die Auswahl an verfügbaren Materialien signifikant begrenzt wird. Überdies erlaubt das Vermengen der thermolabilen und der thermostabilen Anteile üblicherweise nur eine schlechte Kontrolle der Porengröße und der Porenverteilung.

**[0009]** Beim chemischen Propfansatz kann eine etwas bessere Kontrolle der Porengröße und der Porenverteilung erreicht werden, wenn thermolabile Anteile und thermostabile Anteile in ein einziges Blockcopolymer inkorporiert werden. Das Blockcopolymer wird zuerst erhitzt, um die Matrix zu vernetzen, weiter erhitzt, um die thermolabilen Blöcke zu thermolysieren, und dann gehärtet, um das nanoporöse Material zu ergeben. Alternativ können thermostabile Anteile und thermolabile Anteile, die thermolabile Anteile tragen, gemischt und polymerisiert werden, um ein Copolymer zu ergeben, das im Wesentlichen erhitzt wird, um die thermolabilen Blöcke zu thermolysieren. Ein Beispiel für diesen Ansatz wird in der US-Patentschrift Nr. 5,776,990 an Hedrick et al. gezeigt. Die Synthese von Blockpolymeren, die thermostabile und thermolabile Anteile aufweisen, ist jedoch relativ schwierig und arbeitsintensiv, wodurch zusätzlich signifikante Kosten entstehen. Außerdem neigen die nanoporösen Materialien dazu, bei zunehmender Menge an thermolabilen Anteilen (d. h. Porosität) leichter zu zerfallen, wodurch das Gesamtvolumen an Hohlräumen begrenzt wird, das in das nanoporöse Material inkorporiert werden kann.

**[0010]** Obwohl dem Fachmann verschiedene Verfahren bekannt sind, um Hohlräume in Nanogröße in das Material mit niedriger Dielektrizitätskonstante einzuführen, haben alle, oder fast alle von ihnen, einen oder mehr als einen Nachteil. Somit gibt es noch immer einen Bedarf für die Bereitstellung verbesserter Zusammensetzungen und Verfahren, um Hohlräume in Nanogröße in dielektrisches Material einzuführen.

#### Kurzdarstellung der Erfindung

**[0011]** In einem ersten Aspekt richtet sich die vorliegende Erfindung auf Material mit niedriger Dielektrizitätskonstante, das eine erste Hauptkette mit einem aromatischen Rest und einer ersten reaktiven Gruppe, und einer zweiten Hauptkette mit einem aromatischen Rest und einer zweiten reaktiven Gruppe aufweist, wobei die erste und die zweite Hauptkette über die erste und die zweite reaktive Gruppe in einer Vernetzungsreaktion vernetzt sind, bevorzugt ohne einen zusätzlichen Vernetzer, und wobei eine Käfigstruktur, die mindestens 10 Atome aufweist, an mindestens eine der ersten und zweiten Hauptketten kovalent gebunden ist, wie in Anspruch 1 definiert.

**[0012]** In einer bevorzugten Ausführungsform des Gegenstands der Erfindung sind die erste und die zweite Hauptkette identisch, sie umfassen bevorzugt eine Phenylgruppe, sie umfassen stärker bevorzugt einen Polyarylenether, und umfassen am stärksten bevorzugt ein substituiertes Resorcinol, ein substituiertes Tolan oder ein substituiertes Phenol als aromatischen Rest. In anderen bevorzugten Aspekten sind die erste und zweite reaktive Gruppe nicht identisch und umfassen einen Ethinylrest oder einen Tetracyclonrest, und die Vernetzungsreaktion ist eine Cycloadditionsreaktion.

**[0013]** In einer anderen bevorzugten Ausführungsform des Gegenstands der Erfindung umfasst die Käfigstruktur bevorzugt ein substituiertes oder unsubstituiertes Adamantan, oder ein substituiertes oder unsubstituiertes Diamantan, wobei das Adamantan oder Diamantan in die Hauptkette als eine überhängende Gruppe inkorporiert werden kann, oder so, dass die Käfigstruktur eine tetraederförmige oder polyederförmige Konfiguration aufweist.

**[0014]** Gemäß den zweiten, dritten und vierten Aspekten der vorliegenden Erfindung wird ein Polymer oder ein Material mit niedriger Dielektrizitätskonstante bereitgestellt, wie durch die Ansprüche 17, 18 bzw. 20 definiert.

**[0015]** Verschiedene Elemente, Merkmale, Aspekte und Vorteile der vorliegenden Erfindung werden aus der folgenden ausführlichen Beschreibung der bevorzugten Ausführungsformen der Erfindung offensichtlicher, zusammen mit den beigelegten Zeichnungen, in denen gleiche Nummern gleiche Komponenten darstellen.

#### Kurze Beschreibung der Zeichnung

**[0016]** [Fig. 1](#) ist ein Syntheschema zur Produktion eines Polymers mit niedrigem Molekulargewicht mit überhängenden Käfigstrukturen gemäß dem Gegenstand der Erfindung.

**[0017]** [Fig. 2](#) ist ein Syntheschema zur Produktion eines anderen Polymers mit niedrigem Molekulargewicht mit überhängenden Käfigstrukturen gemäß dem Gegenstand der Erfindung.

**[0018]** [Fig. 3A–D](#) sind Strukturen verschiedener Polymere gemäß dem Gegenstand der Erfindung.

**[0019]** [Fig. 4A–C](#) sind Syntheschemata zur Produktion verschiedener hitzehärtbarer Monomere gemäß dem Gegenstand der Erfindung.

**[0020]** [Fig. 5A–B](#) sind Syntheschemata zur Produktion eines endgruppenschützenden Moleküls mit überhängenden Käfigstrukturen gemäß dem Gegenstand der Erfindung.

**[0021]** [Fig. 6](#) ist eine schematische Struktur eines beispielhaften Materials mit niedriger Dielektrizitätskonstante gemäß dem Gegenstand der Erfindung.

#### Ausführliche Beschreibung

**[0022]** Der Begriff „Material mit niedriger Dielektrizitätskonstante“, wie hier verwendet, bezieht sich auf organische, metallorganische und anorganische Materialien mit einer Dielektrizitätskonstante von weniger als 3,0. Das Material mit niedriger Dielektrik wird typischerweise in Form eines dünnen Films von weniger als 100 µm hergestellt, im Umfang dieser Definition werden jedoch auch verschiedene Formen, die kein Film sind, einschließlich dicke Filme, Blöcke, Zylinder, Kugeln usw., in Betracht gezogen.

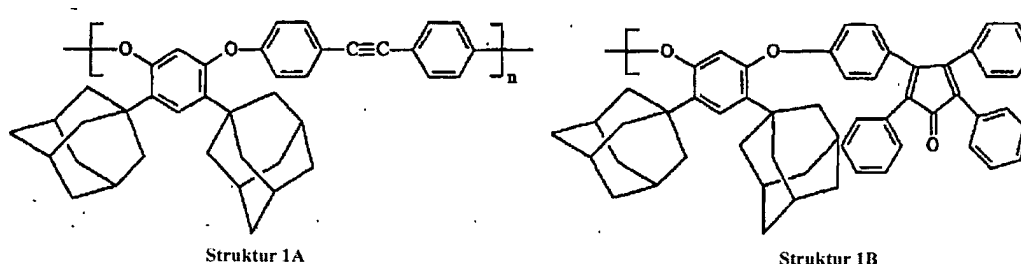
**[0023]** Der Begriff „Hauptkette“, wie ebenfalls hier verwendet, bezieht sich auf eine zusammenhängende Kette von Atomen oder Resten, die einen Polymerstrang bilden, die kovalent gebunden sind, so dass das Entfernen eines beliebigen Atoms oder Rests zu einer Unterbrechung der Kette führen würde.

**[0024]** Der Begriff „reaktive Gruppe“, wie hier weiter verwendet, bezieht sich auf jedes Atom, jede Funktionalität oder jede Gruppe, die ausreichend Reaktivität aufweist, um mindestens eine kovalente Bindung mit einer anderen reaktiven Gruppe in einer chemischen Reaktion zu bilden. Die chemische Reaktion kann zwischen zwei identischen oder nicht identischen reaktiven Gruppen stattfinden, die auf der gleichen oder auf zwei separaten Hauptgruppen liegen können. Es wird auch in Betracht gezogen, dass die reaktiven Gruppen mit einem oder mehr als einem exogenen vernetzenden Molekül reagieren können, um die erste und die zweite Hauptkette zu vernetzen. Obwohl die Vernetzung ohne exogene Vernetzer verschiedene Vorteile aufweist, einschließlich der Reduktion der Gesamtzahl an reaktiven Gruppen in dem Polymer, und die Reduktion der Zahl an erforderlichen Reaktionsschritten, hat das Vernetzen ohne exogene Vernetzer auch einige Nachteile. Zum Beispiel kann die Menge an vernetzenden Funktionalitäten typischerweise nicht weiter angepasst werden. Andererseits kann die Benutzung exogener Vernetzer vorteilhaft sein, wenn die Polymerisationsreaktion und die Vernetzungsreaktion chemisch inkompatibel sind.

**[0025]** Der Begriff „Käfigstruktur“, wie hier noch weiter verwendet, bezieht sich auf ein Molekül, das mindestens 10 Atome aufweist, die so angeordnet sind, dass mindestens eine Brücke zwei oder mehr Atome eines Ringsystems kovalent verbindet. Die Brücke und/oder das Ringsystem können ein oder mehrere Heteroatome umfassen, und können aromatisch, teilweise gesättigt oder ungesättigt sein. Weiter in Betracht gezogene Käfigstrukturen beinhalten Fullerene und Kronenether, die mindestens eine Brücke aufweisen. Zum Beispiel wird ein Adamantan oder Diamantan als Käfigstruktur erachtet, während ein Naphthalen oder eine aromatische Spiroverbindung im Umfang dieser Definition nicht als Käfigstruktur erachtet wird, weil ein Naphthalen oder eine aromatische Spiroverbindung keine oder mehr als eine Brücke aufweist.

**[0026]** In einem bevorzugten Material mit niedriger Dielektrizitätskonstante umfassen die erste und zweite Hauptkette einen Polyarylenether mit jeweils zwei überhängenden Adamantangruppen als Käfigstrukturen, wie in den Strukturen 1A–B gezeigt (es wird nur eine Wiederholungseinheit der Hauptkette gezeigt). Die ersten

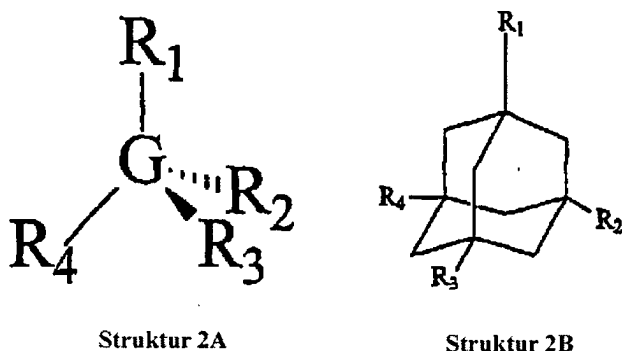
und zweiten aromatischen Reste umfassen eine Phenylgruppe, und die ersten und die zweiten reaktiven Gruppen sind ein Ethinyl- bzw. ein Tetracyclonrest, die in einer Diels-Alder-Reaktion reagieren, um die Hauptketten zu vernetzen. Bevorzugte Vernetzungsbedingungen sind Erhitzen der Polyarylenether-Hauptketten auf eine Temperatur von etwa 200°C bis 250°C für ungefähr 30 bis 180 Minuten. Struktur 1B kann synthetisiert werden, wie in Beispiel 1 unten allgemein skizziert.



**[0027]** In alternativen Ausführungsformen muss die Hauptkette nicht auf einen Polyarylenether beschränkt sein, sondern kann, abhängig von den gesuchten physikalisch-chemischen Eigenschaften des fertigen Materials mit niedriger Dielektrizitätskonstante, stark variieren. Infolgedessen werden, wenn eine relativ hohe  $T_G$  gesucht wird, anorganische Materialien, einschließlich anorganischer Polymer speziell in Betracht gezogen, die Silikat ( $\text{SiO}_2$ ) und/oder Aluminat ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) umfassen. In Fällen, in denen Flexibilität, Leichtigkeit der Verarbeitung, oder niedrige Belastung/TCE, usw. erforderlich sind, werden organische Polymere in Betracht gezogen. Es gibt viele verschiedene geeignete organische Polymere und einige der Polymere können speziell für einen Zweck (z. B. niedriger thermischer Ausdehnungskoeffizient) passend sein, während andere Polymere für andere Zwecke (z. B. höhere Spaltenfüllungsfähigkeit) speziell passend sein können. Somit beinhalten die in Betracht gezogenen organischen Hauptketten abhängig von einer besonderen Anwendung aromatische Polyimide, Polyamide und Polyester.

**[0028]** Obwohl bevorzugt aus Polymeren mit niedrigem Molekulargewicht mit einem Molekulargewicht von ungefähr 1000 bis 10000 gebaut, kann die Kettenlänge der ersten und zweiten Polymerhauptkette zwischen fünf oder weniger Wiederholungseinheiten bis zu mehreren 104 Wiederholungseinheiten und mehr beträchtlich variieren. Bevorzugte Hauptketten werden aus Monomeren in einer aromatischen Substitutionsreaktion synthetisiert, und synthetische Wege werden beispielhaft in [Fig. 1](#) und [Fig. 2](#) gezeigt. Es wird weiter in Betracht gezogen, dass alternative Hauptketten auch verzweigt, superverzweigt oder mindestens teilweise vernetzt sein können. Alternativ können die Hauptketten auch in situ aus Monomeren synthetisiert sein. Geeignete Monomere können bevorzugt aromatische Bisphenolverbindungen und difluoraromatische Verbindungen beinhalten, die zwischen 0 und etwa 20 eingebaute Käfigstrukturen aufweisen können.

**[0029]** Es wird speziell in Betracht gezogen, dass geeignete Monomere eine tetraederförmige Struktur haben können, die in den Strukturen 2A–B schematisch dargestellt werden. In der allgemeinen Struktur 2A hat ein hitzehärtbares Monomer eine Käfigstruktur G und mindestens zwei der Seitenketten R1–R4 umfassen einen aromatischen Anteil und eine reaktive Gruppe, wobei mindestens eine der reaktiven Gruppen des ersten Monomers mit mindestens einer der reaktiven Gruppe eines zweiten Monomers zur Produktion eines Polymers mit niedriger Dielektrizitätskonstante reagiert. In der allgemeinen Struktur 2B ist eine Käfigstruktur bevorzugt ein Adamantan, das an vier aromatische Anteile gekoppelt ist, die an der Polymerisation teilnehmen können, und worin R1–R4 identisch oder verschieden sein können.



**[0030]** Wenn Monomere mit tetraederförmiger Struktur verwendet werden, wird die Käfigstruktur vorteilhafterweise nicht nur einen Hohlraum in Nanogröße einführen, sondern auch vier Hauptketten in einer dreidimensi-

onalen Konfiguration kovalent verbinden. Ein beispielhaftes Monomer mit tetraederförmiger Struktur und dessen Synthese wird in [Fig. 4B](#) gezeigt. Es sollte ferner geschätzt werden, dass alternative Monomere nicht auf Verbindungen mit einem substituierten oder unsubstituierten Adamantan als eine Käfigstruktur beschränkt werden müssen, sondern auch ein substituiertes oder unsubstituiertes Diamantan oder Fulleren als eine Käfigstruktur umfassen können. In Betracht gezogene Substituenten beinhalten Alkyle, Aryle, Halogene und funktionelle Gruppen. Zum Beispiel kann ein Adamantan mit einer -CF<sub>3</sub>-Gruppe, einer Phenylgruppe, -COOH, -NO<sub>2</sub> oder -F, -Cl oder -Br substituiert werden. Infolgedessen können, abhängig von der chemischen Natur der Käfigstruktur, verschiedene Zahlen, die nicht vier aromatische Anteile sind, an der Käfigstruktur angebracht werden. Zum Beispiel dort, wo ein relativ niedriger Grad von Vernetzung durch Käfigstrukturen gesucht ist, können 1 bis 3 aromatische Anteile an der Käfigstruktur angebracht sein, wobei die aromatischen Anteile eine reaktive Gruppe zur Vernetzung umfassen oder nicht umfassen können. In Fällen, in denen höhere Grade an Vernetzung bevorzugt sind, können fünf oder mehr aromatische Anteile an die Käfigstruktur angebracht sein, worin alle oder fast alle der aromatischen Anteile eine oder mehr als eine reaktive Gruppe tragen. Außerdem wird in Betracht gezogen, dass aromatische Anteile, die an einer zentralen Käfigstruktur angebracht sind, andere Käfigstrukturen tragen können, wobei die Käfigstrukturen mit der zentralen Käfigstruktur identisch oder völlig verschieden sein können. Zum Beispiel können in Betracht gezogene Monomere eine Fullerenkäfigstruktur haben, um eine relativ hohe Zahl an aromatischen Anteilen und ein Diamantan in den aromatischen Anteilen bereitzustellen. Somit können in Betracht gezogene Käfigstrukturen an die erste und zweite Hauptkette oder an mehr als zwei Hauptketten kovalent gebunden sein.

**[0031]** Bezüglich der chemischen Natur des aromatischen Anteils wird in Betracht gezogen, dass geeignete aromatische Anteile eine Phenylgruppe, und stärker bevorzugt eine Phenylgruppe und eine reaktive Gruppe umfassen. Zum Beispiel kann ein aromatischer Anteil ein Tolan oder ein substituiertes Tolan umfassen, wobei substituierte Tolane zusätzliche Phenylgruppen umfassen können, die an das Tolan über Kohlenstoff-Kohlenstoff-Bindungen oder Kohlenstoff-Nicht-Kohlenstoff-Atombindungen, einschließlich Doppel- und Dreifachbindung, Ether-, Keto- oder Estergruppen kovalent gebunden sind.

**[0032]** Ebenso in Betracht gezogen werden Monomere, die überhängende Käfigstrukturen aufweisen, wie beispielhaft in [Fig. 4A](#) dargestellt, in denen zwei Diamantangruppen als überhängende Gruppen verwendet werden. Es versteht sich jedoch, dass überhängende Käfigstrukturen nicht auf zwei Diamantanstrukturen begrenzt sind. In Betracht gezogene alternative Käfigstrukturen beinhalten einzelne und mehrfach substituierte Adamantangruppen, Diamantangruppen und Fullerene in einer beliebigen chemisch vernünftigen Kombination. Substitutionen können in die Käfigstrukturen in Fällen eingeführt werden, in denen eine besondere Löslichkeit, oxidative Stabilität oder andere physikalisch-chemische Eigenschaften gesucht sind. Daher beinhalten in Betracht gezogene Substitutionen nicht nur Halogene, Alkyl-, Aryl- und Alkenylgruppen, sondern auch funktionelle und polare Gruppen einschließlich Ester, Säuregruppen, Nitro- und Aminogruppen und so weiter.

**[0033]** Es versteht sich auch, dass die Hauptketten nicht identisch sein müssen. In einigen Aspekten alternativer Ausführungsformen können zwei oder mehr als zwei chemisch unterschiedliche Hauptketten verwendet werden, um ein Material mit niedriger Dielektrizitätskonstante zu fertigen, solange das alternative Material mit niedriger Dielektrizitätskonstante eine erste und zweite Hauptketten umfasst, die einen aromatischen Rest, eine reaktive Gruppe und eine Käfigverbindung umfassen, die kovalent an die Hauptkette gebunden ist.

**[0034]** Bezüglich der reaktiven Gruppen wird in Betracht gezogen, dass viele reaktive Gruppen verwendet werden, die keine Tolanylgruppe sind, und eine Tetracyclongruppe benutzt werden kann, solange alternative reaktive Gruppen in der Lage sind, die erste und die zweite Hauptkette ohne einen exogenen Vernetzer zu vernetzen. Zum Beispiel beinhalten geeignete reaktive Gruppen Benzocyclobutenyl und Biphenylen. In einem anderen Beispiel kann eine erste reaktive Gruppe ein Elektrophil umfassen, während eine zweite reaktive Gruppe ein Nukleophil umfassen kann. Es wird ferner in Betracht gezogen, dass die Zahl an reaktiven Gruppen vorwiegend von (a) der Reaktivität der ersten und zweiten reaktiven Gruppe, (b) der Stärke der Vernetzung zwischen der ersten und zweiten Hauptkette, und (c) dem gesuchten Grad an Vernetzung in dem Material mit niedriger Dielektrik abhängt. Wenn zum Beispiel die erste und zweite reaktive Gruppe sterisch gehindert sind (z. B. eine Ethinylgruppe zwischen zwei derivatisierten Phenylringen), kann eine relativ hohe Zahl an reaktiven Gruppen benötigt werden, um zwei Hauptketten bis zu einem gewissen Umfang zu vernetzen. Desgleichen kann eine hohe Zahl an reaktiven Gruppen erforderlich sein, um eine stabile Vernetzung zu erreichen, wenn relativ schwache Bindungen, wie etwa Wasserstoffbindungen oder ionische Bindungen zwischen den reaktiven Gruppen gebildet werden.

**[0035]** In Fällen, in denen eine reaktive Gruppe in einer Hauptkette in der Lage ist, mit einer identischen reaktiven Gruppe in einer anderen Hauptkette zu reagieren, kann nur ein Typ einer reaktiven Gruppe benötigt

werden. Zum Beispiel können Tolanylgruppen, die auf der gleichen der zwei verschiedenen Hauptketten liegen, in einer additionsartigen Reaktion reagieren, um Vernetzungsstrukturen zu bilden.

**[0036]** Es sollte sich auch verstehen, dass die Zahl an reaktiven Gruppen das Verhältnis der intermolekularen oder intramolekularen Vernetzung beeinflussen kann. Zum Beispiel kann eine relativ hohe Konzentration der reaktiven Gruppen in der ersten und zweiten Hauptkette bei einer relativ niedrigen Konzentration der beiden Hauptketten intramolekulare Reaktionen fördern. Auf ähnliche Weise kann eine relativ niedrige Konzentration der reaktiven Gruppen in den ersten und zweiten Hauptketten bei einer relativ hohen Konzentration der beiden Hauptketten intramolekulare Reaktionen fördern. Das Gleichgewicht zwischen intra- und intermolekularen Reaktionen kann auch durch die Verteilung von nicht identischen reaktiven Gruppen zwischen den Hauptketten beeinflusst werden. Wenn eine intermolekulare Reaktion gesucht wird, kann ein Typ einer reaktiven Gruppe auf der ersten Hauptgruppe platziert sein, während ein anderer Typ einer reaktiven Gruppe auf der zweiten Hauptkette positioniert sein kann. Außerdem können zusätzliche dritte und vierte reaktive Gruppen benutzt werden, wenn sequentielle Vernetzung unter verschiedenen Bedingungen gesucht wird (z. B. zwei verschiedene Temperaturen).

**[0037]** Die reaktiven Gruppen bevorzugter Hauptgruppen reagieren in einer additionsartigen Reaktion, es werden jedoch abhängig von der chemischen Natur der alternativen reaktiven Gruppen auch viele andere Reaktionen, einschließlich nukleophiler und elektrophiler Substitutionen, oder Eliminationen, radikale Reaktionen usw. in Betracht gezogen. Weitere alternative Reaktionen können auch die Bildung nicht kovalenter Bindungen beinhalten, wie etwa elektrostatische Bindungen, hydrophobe Bindungen, ionische Bindungen und Wasserstoffbindungen. Somit kann die Vernetzung der ersten und zweiten Hauptkette über eine kovalente oder nicht kovalente Bindung auftreten, die zwischen identischen oder nicht identischen reaktiven Gruppen gebildet wird, die auf der gleichen oder auf zwei Hauptketten liegen können.

**[0038]** In weiteren Aspekten alternativer Ausführungsformen können die Käfigstrukturen Strukturen umfassen, die nicht Adamantan sind, einschließlich eines Diamantans, das mit Kronenethern überbrückt ist, oder Fullerenen, solange alternative Käfigstrukturen 10 oder mehr Atome haben. Die Auswahl geeigneter Käfigstrukturen wird durch den gesuchten Grad an sterischer Nachfrage der Käfigstruktur bestimmt. Wenn relativ kleine Käfigstrukturen bevorzugt sind, kann eine einzige Adamantan- oder Diamantangruppe ausreichend sein. Beispielhafte Strukturen von Hauptketten einschließlich Adamantan- und Diamantangruppen, werden in [Fig. 3A](#) und [Fig. 3B](#) gezeigt. Große Käfigstrukturen können Fullerene umfassen. Es sollte sich auch verstehen, dass alternative Hauptketten nicht auf eine einzige Art von Käfigstruktur begrenzt sein müssen. Geeignete Hauptketten können auch 2 bis 5 und mehr nicht identische Käfigstrukturen enthalten. Zum Beispiel können Fullerene zu einem oder beiden Enden einer Polymerhauptkette zugefügt werden, während Diamantangruppen in den anderen Teilen der Hauptkette platziert sind. Weiter in Betracht gezogen werden derivatisierte oder mehrfache Käfigstrukturen, einschließlich oligomerisierte und polymerisierte Käfigstrukturen, wenn sogar größere Käfigstrukturen gesucht sind. Die chemische Zusammensetzung der Käfigstrukturen muss nicht auf Kohlenstoffatome begrenzt sein, und es sollte sich auch verstehen, dass alternative Käfigstrukturen auch Atome haben können, die keine Kohlenstoffatome sind (z. B. Heteroatome), wobei die in Betracht gezogenen Heteroatome N, O, P, S, B usw. enthalten können.

**[0039]** Bezüglich der Position der Käfigstruktur wird in Betracht gezogen, dass die Käfigstruktur mit der Hauptkette an verschiedenen Orten gekoppelt sein kann. Zum Beispiel kann die Käfigstruktur als Endkappe benutzt werden, wenn es erwünscht ist, terminale funktionelle Gruppen in der Hauptkette zu maskieren, oder eine Polymerisationsreaktion zu beenden, die eine Hauptkette bildet. Beispielhafte Strukturen von Endkappen werden in [Fig. 5A](#) und B gezeigt. In anderen Fällen, in denen große Mengen an Käfigstrukturen gesucht werden, wird in Betracht gezogen, dass die Käfigstrukturen überhängende Strukturen sind, die kovalent mit der Hauptkette verbunden sind. Die Position der kovalenten Verbindung kann variieren, und hängt hauptsächlich vom chemischen Aufbau der Hauptkette und der Käfigstruktur ab. Somit können geeignete kovalente Verbindungen ein Linkermolekül oder eine funktionelle Gruppe beinhalten, während andere Verbindungen eine Einfach- oder Doppelbindung sein können. Wenn die Käfiggruppe eine überhängende Gruppe ist, wird speziell in Betracht gezogen, dass mehr als eine Hauptkette mit der Käfigstruktur verbunden sein kann. Zum Beispiel kann eine einzige Käfigstruktur 2 bis 3 und mehr Hauptketten verbinden. Alternativ wird in Betracht gezogen, dass die Käfiggruppe ein integraler Bestandteil der Hauptkette sein kann.

**[0040]** Es wird noch weiter in Betracht gezogen, dass alternatives Material mit niedriger Dielektrizitätskonstante auch zusätzliche Komponenten umfassen kann. Wenn zum Beispiel das Material mit niedriger Dielektrizitätskonstante mechanischer Beanspruchung ausgesetzt wird, können Weichmacher oder andere Schutzmittel zugefügt werden. In anderen Fällen, in denen das dielektrische Material auf einer glatten Fläche platziert

wird, können vorteilhafterweise Haftbeschleuniger benutzt werden. In noch anderen Fällen kann die Zugabe von Detergentien oder Antischaummitteln erwünscht sein.

**[0041]** Nun wird unter Bezugnahme auf [Fig. 6](#) ein beispielhaftes Material mit niedriger Dielektrizitätskonstante gezeigt, bei dem eine erste Hauptkette **10** mit einer zweiten Hauptkette **20** über eine erste reaktive Gruppe **15** und eine zweite reaktive Gruppe **25** vernetzt ist, wobei die Vernetzung zu einer kovalenten Bindung **50** führt. Beide Hauptketten haben jeweils mindestens einen aromatischen Rest (nicht gezeigt). Eine Vielzahl an überhängenden Käfigstrukturen **30** ist an die erste und zweite Hauptkette kovalent gebunden, und die erste Hauptkette **10** hat ferner eine terminale Käfiggruppe **32**. Die terminale Käfiggruppe **32** und mindestens eine der überhängenden Käfiggruppen **30** tragen mindestens einen Substituenten R **40**, wobei der Substituent **40** eine Halogen-, Alkyl- oder Arylgruppe sein kann. Jede der Käfigstrukturen umfasst mindestens 10 Atome.

#### Beispiele

**[0042]** Die folgenden Beispiele beschreiben beispielhaft Synthesewege zur Produktion von Hauptketten, die käfigähnliche Strukturen haben.

#### Beispiel 1

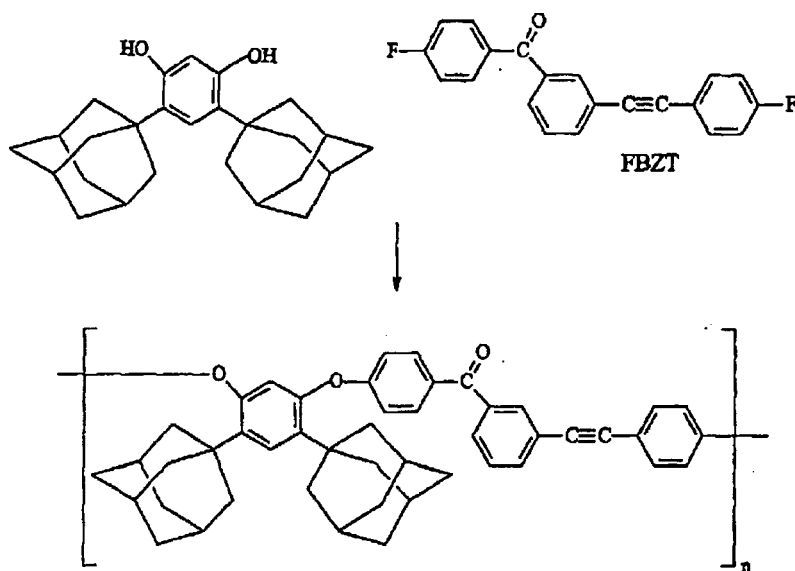
##### Synthese von 4,6-Bis(adamantyl)resorcinol

**[0043]** In einen 250-ml-Dreihalskolben, der mit Stickstoffeinlass, Thermoelement und Kondensator ausgestattet ist, wurden Resorcinol (11,00 g, 100,0 mMol), Bromadamantan (44,02 g, 205,1 mMol) und Toluol (150 ml) zugefügt. Das Gemisch wurde auf 110°C erhitzt und wurde eine klare Lösung. Die Reaktion wurde 48 Std. lang fortgesetzt, wonach DC zeigte, dass das gesamte Resorcinol verschwunden war. Das Lösemittel wurde entfernt und der Feststoff wurde aus Hexanen (150 ml) kristallisiert. Das zweifach substituierte Produkt wurde in einer Ausbeute von 66,8% (25,26 g) als weißer Feststoff erhalten. Weitere 5,10 g des Produkts wurden durch Silicagel-Säulenchromatographie der konzentrierten Mutterlauge nach der ersten Ernte erhalten. Die Gesamtausbeute des Produkts betrug 80,3%. Die Charakterisierung des Produkts erfolgte mittels Protonenresonanzspektrum, HPCL, FT-IR und MS.



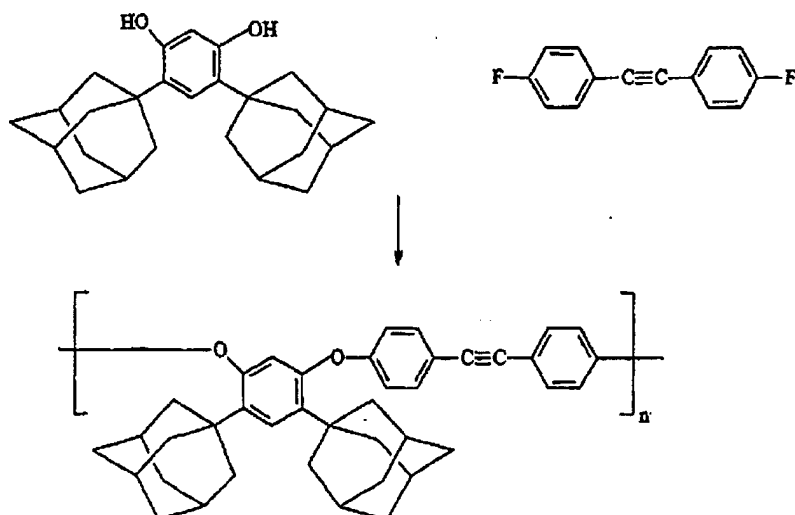
##### Inkorporation von 4,6-Bis(adamantyl)resorcinol in eine Polyarylenether-Hauptkette

**[0044]** In einen 250-ml-Dreihalskolben, der mit Wasserstoffeinlass, Thermoelement und Dean-Stark-Falle ausgestattet ist, wurden Bis(adamantyl)resorcinol (7,024 g, 18,57 mMol), FBZT (5,907 g, 18,57 mMol), Kaliumcarbonat (5,203 g, 36,89 mMol) und DMAC (50 ml), Toluol (25 ml) zugefügt. Das Gemisch wurde auf 135°C erhitzt, um eine klare Lösung zu produzieren. Die Reaktion wurde bei dieser Temperatur 1 Std. lang fortgesetzt und die Temperatur wurde auf 165°C erhöht, indem etwas von dem Toluol entfernt wurde. Der Verlauf der Polymerisation wurde mittel GPC überwacht. Bei MW = 22000 wurde die Reaktion angehalten. Ein weiterer 50-ml-Anteil an DMAC wurde dem Reaktionskolben zugefügt. Der Feststoff wurde bei Raumtemperatur gefiltert und wurde mit heißem Dichlormethan (2 × 150 ml) extrahiert. Methanol (150 ml) wurde der Lösung zugefügt, um einen weißen Feststoff zu präzipitieren, der mittels Filtration isoliert wurde. Die Ausbeute betrug 65,8% (8,511 g). Der Feststoff wurde in THF (150 ml) gelöst und der Lösung wurde langsam Methanol (300 ml) zugefügt. Der präzipitierte weiße Feststoff wurde mittels Filtration isoliert und in vacuo bei 90°C getrocknet.



Beispiel 3

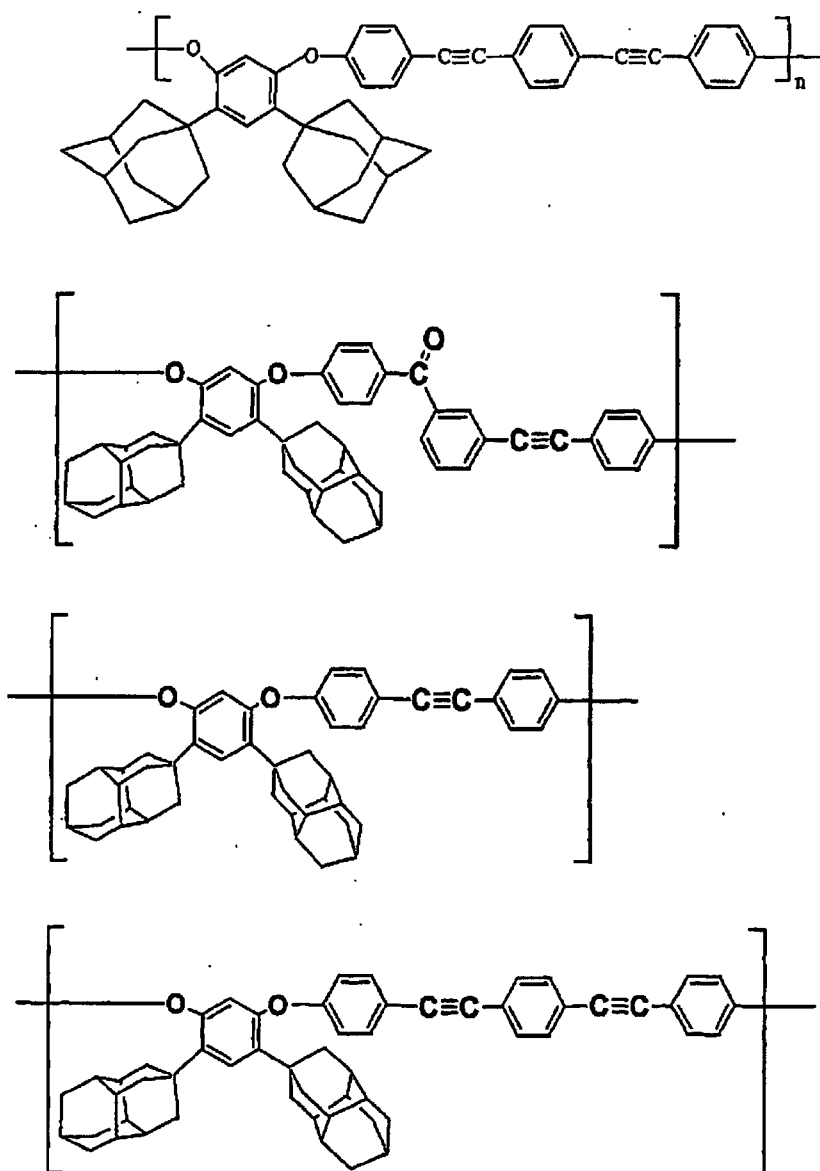
Synthese alternativer Polymere



**[0045]** Die Syntheseprozedur für Hauptkette 1 folgt der Prozedur wie in Beispiel 2 beschrieben, benutzt jedoch 4,4'-Difluortolan als Difluorverbindung.

Beispiel 4

**[0046]** In Betracht gezogene alternative Hauptketten Die folgenden Strukturen werden als beispielhafte Hauptketten in Betracht gezogen, die gemäß der allgemeinen Syntheseprozedur in den Beispielen 1 und 2 gefertigt werden können.



Beispiel 5

**[0047]** Dieses Beispiel veranschaulicht eine beispielhafte Synthese für ein hitzhärtbares Monomer, wie in [Fig. 4B](#) gemäß dem Gegenstand der Erfindung dargestellt.

#### Synthese von 1,3,5,7-Tetrabromadamantan

**[0048]** Die Tetrabromadamantansynthese wurde aus im Handel erhältlichem Adamantan begonnen und folgte den Syntheseprozeduren, wie in G. P. Sollott und E. E. Gilbert, J. Org. Chem., 45, 5405–5408 (1980), B. Schartel, V. Stümpflin, J. Wendling, J. H. Wendorff, W. Heitz und R. Neuhaus, Colloid Polym. Sci., 274, 911–919 (1996), oder A. P. Khardin, I. A. Novakov und S. S. Radchenko, Zh. Org. Chem., 9, 435 (1972) beschrieben. Mengen von bis zu 150 g je Charge wurden routinemäßig synthetisiert.

#### Synthese von 1,3,5,7-Tetrakis(3/4-bromphenyl)adamantan

**[0049]** 1,3,5,7-Tetrakis(3/4-bromphenyl)adamantan wurde aus 1,3,5,7-Tetrabromadamantan, einer anderweitig (V. R. Reichert und L. J. Mathias, Macromolecules, 27, 7015–7023 (1994), V. R. Reichert, Ph. D.-Dissertation, „Investigation of derivatives and polymers of 1,3,5,7-tetraphenyladamantane“, University of Southern Mississippi, 1994) beschriebenen Prozedur folgend, synthetisiert. Es wurde LC-MS verwendet, um die Komponenten des isomeren Gemischs nach der ersten Synthese zu identifizieren. Die Behandlung des Reaktionsprodukts mit frischem  $\text{AlBr}_3$ -Katalysator förderte die Zusammensetzung des isomeren Gemischs kinetisch dasjenige, das mit  $\text{Ph}_4\text{Br}_4$ -Isomer angereicht wurde.

**[0050]** 1,3,5,7-Tetrakis(3/4-tolanyl)adamantan wurde aus 1,3,5,7-Tetrakis(3/4-bromphenyl)adamantan synthetisiert, indem 1,3,5,7-Tetrakis(3/4-bromphenyl)adamantan in Triethylamin mit einem etwa neunfachen Molüberschuss an Phenylacetylen in Gegenwart des Pd-Katalysators Dichlor- bis (triphenylphosphin)palladium [II] und Kupfer [I]-iodid 4 Stunden lang bei 80°C umgesetzt wurde.

#### Beispiel 6

**[0051]** Adamantanyl-endkappengeschützte Monomere wie in [Fig. 5A](#) und [Fig. 5B](#) gezeigt, wurden synthetisiert, wie in C. M. Lewis, L. J. Mathias, N. Wiegand, ACS Polymer Preprints, 36 (2), 140 (1995) beschrieben.

**[0052]** Somit wurden spezifische Ausführungsformen, Anwendungen und Verfahren zur Produktion von Dielektrika mit niedriger Dielektrizitätskonstante offenbart, die käfigähnliche Strukturen aufweisen. Es sollte für den Fachmann jedoch offensichtlich sein, dass neben den bereits beschriebenen viele weitere Modifikationen möglich sind, ohne von den hier genannten erfindungsgemäßen Konzepten abzuweichen. Der Gegenstand der Erfindung wird daher nur durch den Geist der beigefügten Ansprüche eingeschränkt. Überdies sollten bei der Interpretation sowohl der Spezifikation als auch der Ansprüche alle Begriffe auf umfassendste Weise interpretiert werden, die mit dem Kontext konsistent ist. Insbesondere sollten die Begriffe „umfassen“ und „umfassend“ als auf nicht ausschließliche Weise auf Elemente, Komponenten oder Schritte bezugnehmend interpretiert werden, die anzeigen, dass die Elemente, Komponenten oder Schritte, auf die Bezug genommen wird, mit anderen Elementen, Komponenten oder Schritten, auf die nicht ausdrücklich Bezug genommen wird, vorhanden sein oder verwendet oder kombiniert werden können.

#### Patentansprüche

1. Material mit niedriger Dielektrizitätskonstante, umfassend:  
eine erste Hauptkette, die einen ersten aromatischen Rest und eine erste reaktive Gruppe aufweist;  
eine zweite Hauptkette, die einen zweiten aromatischen Rest und eine zweite reaktive Gruppe aufweist, wobei die erste und die zweite Hauptkette über die erste und die zweite reaktive Gruppe in einer Vernetzungsreaktion vernetzt sind, wobei die Reaktion eine Cycloaddition ist; und  
eine Käfigstruktur, die an mindestens eine der ersten und zweiten Hauptkette kovalent gebunden ist, wobei die Käfigstruktur mindestens 10 Atome umfasst.
2. Material mit niedriger Dielektrizitätskonstante nach Anspruch 1, wobei der aromatische Rest ein Phenyl umfasst.
3. Material mit niedriger Dielektrizitätskonstante nach Anspruch 1, wobei der aromatische Rest einen Arylenether umfasst.
4. Material mit niedriger Dielektrizitätskonstante nach Anspruch 1, wobei die erste Hauptkette einen Polyarylenether umfasst.
5. Material mit niedriger Dielektrizitätskonstante nach Anspruch 1, wobei die erste reaktive Gruppe ein Elektrophil umfasst.
6. Material mit niedriger Dielektrizitätskonstante nach Anspruch 1, wobei die erste reaktive Gruppe ein Tetracyclon umfasst.
7. Material mit niedriger Dielektrizitätskonstante nach Anspruch 1, wobei die zweite reaktive Gruppe ein Nucleophil umfasst.
8. Material mit niedriger Dielektrizitätskonstante nach Anspruch 1, wobei die zweite reaktive Gruppe eine Tolanylgruppe umfasst.
9. Material mit niedriger Dielektrizitätskonstante nach Anspruch 1, wobei die erste und zweite reaktive Gruppe identisch sind.
10. Material mit niedriger Dielektrizitätskonstante nach Anspruch 1, wobei die Cycloaddition eine Diels-Alder-Reaktion ist.

11. Material mit niedriger Dielektrizitätskonstante nach Anspruch 1, wobei die Käfigstruktur mindestens ein Kohlenstoffatom umfasst.

12. Material mit niedriger Dielektrizitätskonstante nach Anspruch 1, wobei die Käfigstruktur ein Adamantan und/oder ein Diamantan umfasst.

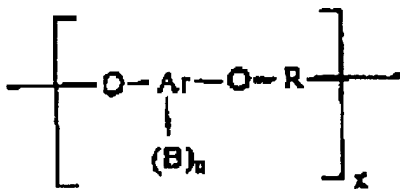
13. Material mit niedriger Dielektrizitätskonstante nach Anspruch 1, wobei die Käfigstruktur mit einem Substituenten substituiert ist.

14. Material mit niedriger Dielektrizitätskonstante nach Anspruch 1, wobei der Substituent aus der Gruppe, bestehend aus Halogenen, einem Alkyl und einem Aryl ausgewählt ist.

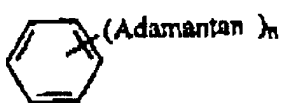
15. Material mit niedriger Dielektrizitätskonstante nach Anspruch 1, wobei die Käfigstruktur an die erste und die zweite Hauptkette kovalent gebunden ist.

16. Material mit niedriger Dielektrizitätskonstante nach Anspruch 1, wobei die Käfigstruktur an mindestens einen der Termini der ersten und der zweiten Hauptkette kovalent gebunden ist.

17. Polymer mit niedriger Dielektrizitätskonstante, das die Struktur aufweist:



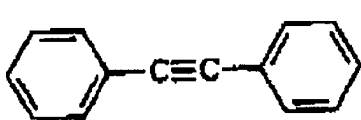
wobei B



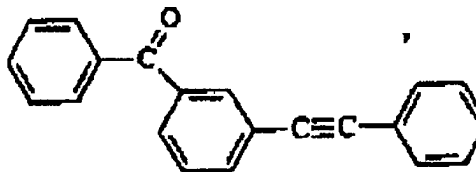
oder



ist, mit  $n = 1-3$ , und  
wobei  $x = 1-10^3$  ist,  
wobei R



oder

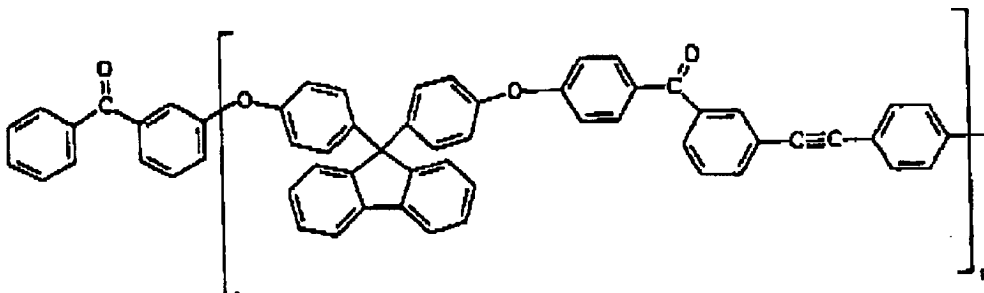


ist, und Ar



ist.

18. Polymer mit niedriger Dielektrizität, das die Struktur aufweist:



wobei  $x = 1-10^3$  ist.

19. Material mit niedriger Dielektrizitätskonstante, umfassend:  
 eine erste Hauptkette, die einen ersten aromatischen Rest, der ein Phenyl umfasst, und eine erste reaktive Gruppe aufweist;  
 eine zweite Hauptkette, die einen zweiten aromatischen Rest, der ein Phenyl umfasst, und eine zweite reaktive Gruppe aufweist, wobei die erste und die zweite Hauptkette ohne einen exogenen Vernetzer über die erste und die zweite reaktive Gruppe in einer Vernetzungsreaktion vernetzt sind, wobei die Reaktion eine Cycloaddition ist; und  
 eine Käfigstruktur, die an mindestens eine der ersten und zweiten Hauptkette kovalent gebunden ist, wobei die Käfigstruktur mindestens 10 Atome umfasst, und wobei mindestens eine der ersten und zweiten reaktiven Gruppe Ethinyl ist.

20. Material mit niedriger Dielektrizitätskonstante nach Anspruch 19, wobei die Käfigstruktur ein Adamantan und/oder ein Diamantan umfasst.

21. Schicht, die das Material mit niedriger Dielektrizitätskonstante nach Anspruch 1 oder Anspruch 19 umfasst.

22. Schicht nach Anspruch 21, wobei der aromatische Anteil Phenyl umfasst.

23. Schicht nach Anspruch 22, wobei die Käfigstruktur substituiertes oder unsubstituiertes Adamantan oder substituiertes oder unsubstituiertes Diamantan umfasst.

24. Film, der das Material mit niedriger Dielektrizitätskonstante nach Anspruch 1 oder Anspruch 19 umfasst.

25. Film nach Anspruch 24, wobei die Dicke des Films weniger als 100  $\mu\text{m}$  beträgt.

26. Film nach Anspruch 25, wobei die Dielektrizitätskonstante weniger als 3 beträgt.

27. Film nach Anspruch 26, wobei der aromatische Anteil Phenyl umfasst.

28. Film nach Anspruch 27, wobei die Käfigstruktur substituiertes oder unsubstituiertes Adamantan oder substituiertes oder unsubstituiertes Diamantan umfasst.

29. Isolator, der das Polymer mit niedriger Dielektrizitätskonstante nach Anspruch 1 oder Anspruch 19 umfasst.

30. Isolator nach Anspruch 29, wobei der aromatische Anteil Phenyl umfasst.

31. Isolator nach Anspruch 30, wobei die Käfigstruktur substituiertes oder unsubstituiertes Adamantan oder substituiertes oder unsubstituiertes Diamantan umfasst.

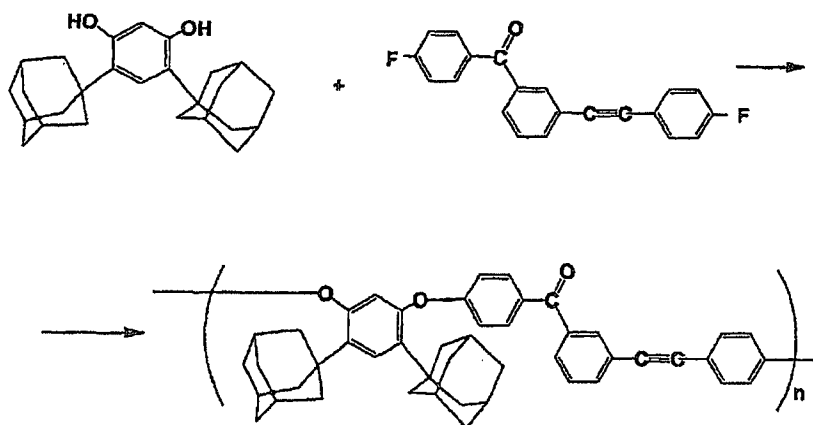
32. Integrierter Schaltkreis, der die Schicht aus Anspruch 23 umfasst.

33. Integrierter Schaltkreis, der den Film aus Anspruch 28 umfasst.

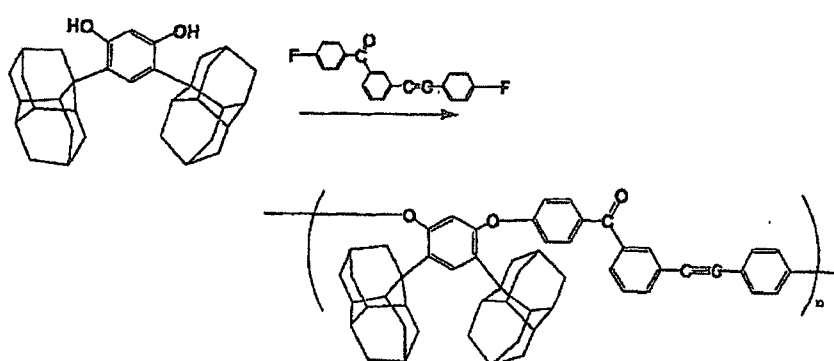
34. Integrierter Schaltkreis, der den Isolator aus Anspruch 31 umfasst.

Es folgen 5 Blatt Zeichnungen

## Anhängende Zeichnungen

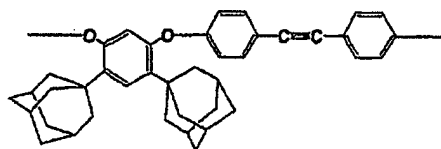


Figur 1

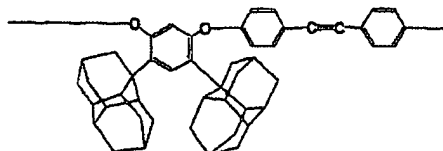


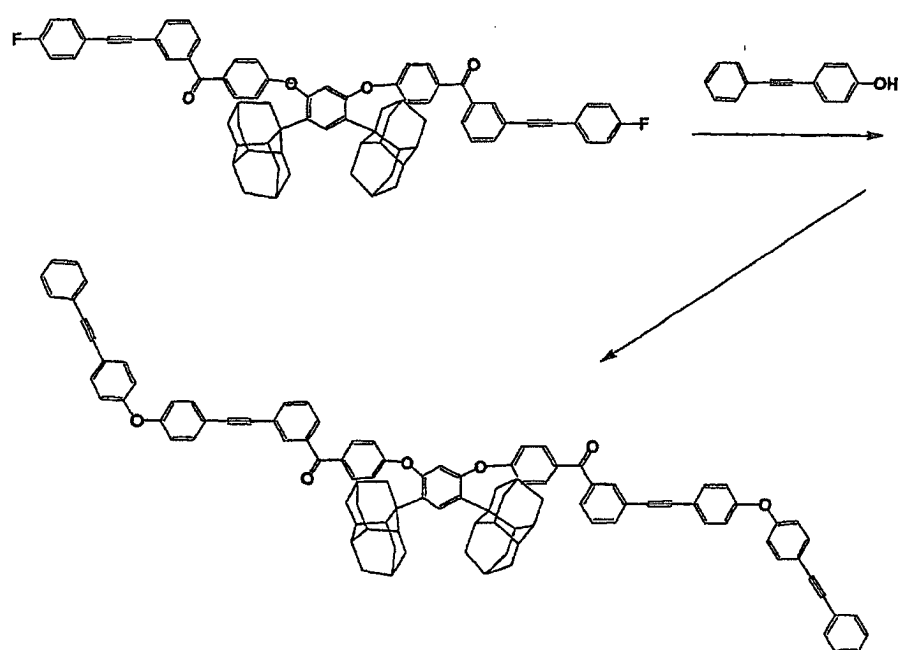
Figur 2

**Figur 3A**

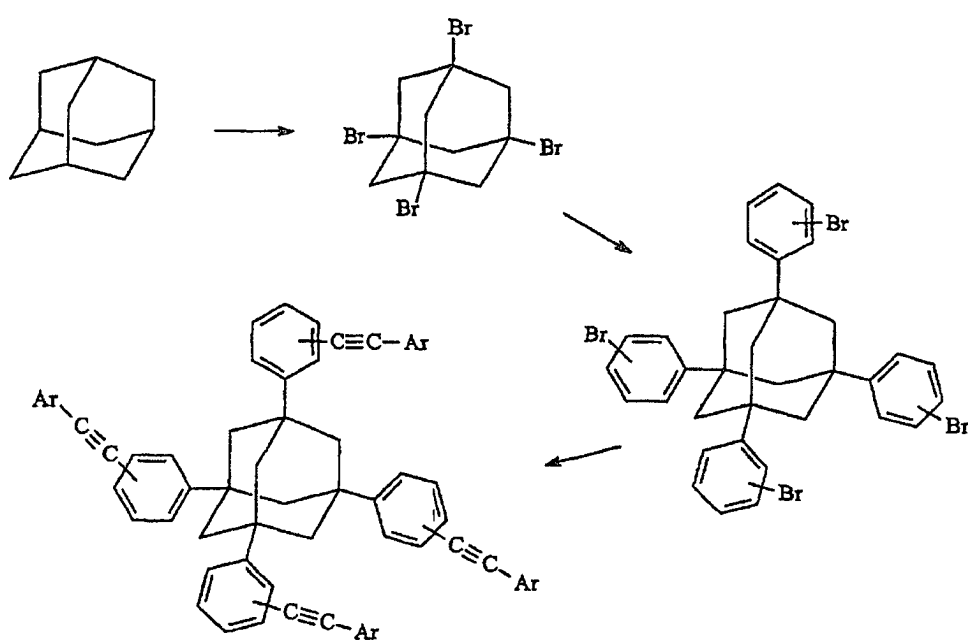


**Figur 3B**

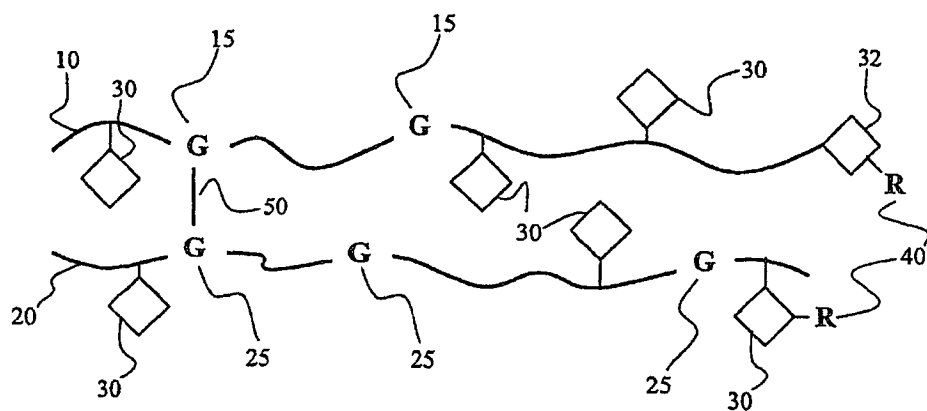
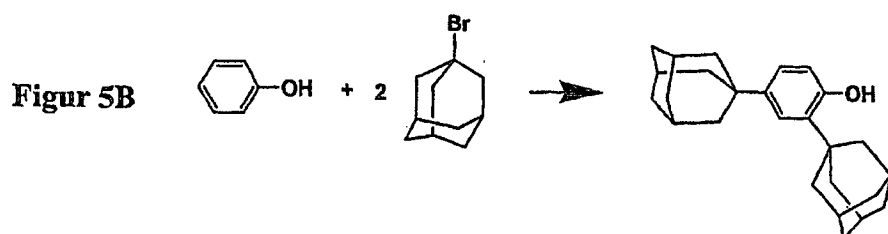
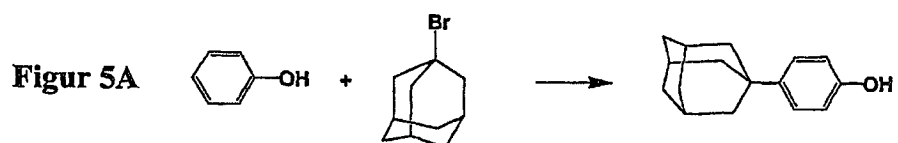




Figur 4A



**Figur 4B**



**Figur 6**