(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro

PCT

(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
13. Dezember 2007 (13.12.2007)

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2007/141048 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:
H01L 21/312 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2007/005203

(22) Internationales Anmeldedatum:
7. Juni 2007 (07.06.2007)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2006 027 880.1 9. Juni 2006 (09.06.2006) DE

(71) Anmelder *(für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US)*: **LEIBNIZ-INSTITUT FÜR FESTKÖRPER- UND WERKSTOFFFORSCHUNG DRESDEN E.V.** [DE/DE]; Helmholtzstr. 20, 01069 Dresden (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder *(nur für US)*: **HERMANN, Helmut** [DE/DE]; Münchner Str. 33, 01187 Dresden (DE). **SEIFERT, Gotthart** [DE/DE]; Hauptstr. 37, 01809 Meusegast (DE). **TÄSCHNER, Christine** [DE/DE]; Am Eutschützgrund 7, 01728 Bannewitz (DE). **ZSCHECH, Ehrenfried** [DE/DE]; Cochemer Weg 20, 01468 Moritzburg (DE).

(74) Anwalt: **RAUSCHENBACH, Marion**; Bienertstrasse 15, 01187 Dresden (DE).

(81) Bestimmungsstaaten *(soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart)*: AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SV, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) Bestimmungsstaaten *(soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart)*: ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MT, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:
— *mit internationalem Recherchenbericht*
— *vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche geltenden Frist; Veröffentlichung wird wiederholt, falls Änderungen eintreffen*

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

(54) Title: INSULATION LAYER MATERIAL FOR MICROELECTRONICS

(54) Bezeichnung: ISOLATIONSSCHICHTMATERIAL FÜR DIE MIKROELEKTRONIK

(57) Abstract: The invention deals with the fields of microelectronics and material technology and relates to an insulation layer material for microelectronics which can be used, for example, in integrated circuits as a dielectric between copper conductor tracks. The invention addresses the problem of providing an insulation layer material for microelectronics which has a dielectricity constant of $k \leq 2$ whilst also having good mechanical properties. The problem is solved with an insulation layer material for microelectronics which consists of a plurality of fluorinated carbon nanotubes which are connected to a network, at least at certain points, by means of physical and/or chemical connections, using a bonding agent.

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung bezieht sich auf die Gebiete der Mikroelektronik und der Materialwissenschaften und betrifft ein Isolationsschichtmaterial für die Mikroelektronik, welches beispielsweise in integrierten Schaltkreisen als Dielektrikum zwischen Kupferleitbahnen zur Anwendung kommen kann. Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Isolationsschichtmaterial für die Mikroelektronik anzugeben, welches eine Dielektrizitätskonstante von $k \leq 2$ bei gleichzeitig guten mechanischen Eigenschaften aufweist. Die Aufgabe wird gelöst durch ein Isolationsschichtmaterial für die Mikroelektronik, welches aus einer Vielzahl an fluorierten Kohlenstoffnanoröhren besteht, die mittels eines Haftmittels mindestens punktuell über physikalische und/oder chemische Bindungen zu einem Netzwerk verbunden sind.

WO 2007/141048 A1

Isolationsschichtmaterial für die Mikroelektronik

Die Erfindung bezieht sich auf die Gebiete der Mikroelektronik und der Materialwissenschaften und betrifft ein Isolationsschichtmaterial für die Mikroelektronik, welches beispielsweise in integrierten Schaltkreisen als Dielektrikum zwischen Kupferleitbahnen zur Anwendung kommen kann.

Die Entwicklung und Optimierung von Isolationsmaterialien mit sehr guten dielektrischen Eigenschaften (Dielektrizitätskonstante k möglichst < 3) ist eine der dringendsten aktuellen Aufgaben der Mikroelektronik. Dies liegt vor allem darin, dass auf diesem Gebiet ein Rückstand von mehreren Jahren im Vergleich zur „roadmap" der internationalen Halbleiterindustrie besteht (M. Eizenberg, Interlayer Dielectrics for Semiconductor Technologies, Elsevier Acadamie Press, Amsterdam 2003, p.5; R.D. Miller, Science 286 (1999) 421-422).

BESTÄTIGUNGSKOPIE

Bekannt ist der Einsatz von homogenem SiO_2 als Dielektrikum in der Mikroelektronik (Miller, R.D., Science 286 (1999) 421-422). Unter anderem kann das SiO_2 durch plasmagestützte chemische Dampfabscheidung (PE-CVD) aufgebracht werden. Derartige Dielektrika erreichen Werte für die Dielektrizitätskonstante von k = 3,9 bis 4,2. Mit zunehmender Integrationsdichte und steigender Leistung pro Chip kann das Dielektrikum SiO_2 aufgrund des hohen k-Wertes zukünftig nicht mehr eingesetzt werden.

Weiterhin sind als Dielektrika poröse SiO_2-Materialien bekannt (Zhang, J.-Y. u.a., Mater. Sci. in Semiconductor Processing 3 (2000) 345-349; Murray, C. u.a., Microelectronic Engng. 60 (2002)133-141), wobei sich diese Materialien gegenwärtig noch in der Testphase für den Einsatz befinden. Aufgebracht werden können diese Materialien unter anderem durch katalytische Sol-Gel-Polymerisation von Orthosilicat-Estern. Das Solvent wird aus der Gelschicht durch überkritische Extraktion entfernt (Aerogele) oder durch Solventaustausch und Trocknung (Xerogele) beseitigt. Derartige Dielektrika erreichen Werte für die Dielektrizitätskonstante von k = 1,7 bis 3,6.
Die Nachteile dieser Dielektrika sind der sehr hohe Herstellungsaufwand. Die Porositätsgrade liegen mit 50 bis 80 % sehr hoch und die Poren sind ungünstigerweise offen und zum großen Teil miteinander verbunden. Weiterhin ist die Porengrößenverteilung nicht ausreichend gut beherrschbar. Es können Poren und Kanäle miteinander verbundener Poren entstehen, die zur elektrischen Verbindung benachbarter Leitbahnen führen, die von dem Dielektrikum getrennt werden sollten. Dies kann zum Ausfall des Chips führen.

Auch bekannt ist der Einsatz von homogenen Polymeren als Dielektrika. Allerdings erreichen nur die hochfluorierten Alkan-Derivate k-Werte von < 2,2, wie beispielsweise PTFE mit k-Werten von 1,9 bis 2,1 (Wang, J. u.a., Scripta mater. 42 (2000) 687-694). PTFE-Schichten können aus Surfactant-stabilisierten wässrigen Mikroemulsionen hergestellt werden.

Nachteilig beim Einsatz derartiger Isolationsschichten sind deren ungenügenden mechanischen Eigenschaften und Unsicherheiten bezüglich der Stabilität bei Temperaturen oberhalb 400 °C. Des Weiteren gibt es Bedenken bezüglich der

Wirkung fluorierter Dielektrika auf das Metall der Leiterbahnen bei erhöhten Temperaturen.

Eine weitere Möglichkeit zur Bildung von Dielektrika in der Mikroelektronik ist durch Wasserstoff- und Methyl-Silsesquioxane (HSQ und MSQ) gegeben. Die Wirkung dieser Materialien beruht auf der strukturell käfigartigen Anordnung von Si-, O- und H-Atomen (HSQ) oder auf den amorphen Si-O-Netzwerken (MSQ), die CH_3-Bindungen enthalten und die strukturell bei Temperaturen bis zu 500 °C modifiziert werden (Das, A, u.a. Microelectronic Engng. 64 (2002) 11-24).
Beispielsweise kann das spezielle MSQ-Material LKD-5109 mit dynamischer Dispens in einem TEL ACT 8 spin Track auf ein Si-Substrat aufgebracht werden. Anschließend findet ein Temperschritt über 3 min bei 200 °C statt. Nach Säuberung mit PGMEA folgt eine Wärmebehandlung über 1 h bei 420 °C.
Derartige Materialien erreichen k-Werte von über 2,0 bei einer mittleren Porengröße von 2 nm. Die Poren sind dabei vermutlich nicht miteinander verbunden.
Die Nachteile auch dieser Materialien liegen in der nicht erreichten vollen Integration in den Herstellungsprozess der Mikroelektronik und in den Unsicherheiten, die unter anderem die Abschätzung der Lebensdauer mit den zurzeit bekannten Methoden betreffen.

Weiterhin bekannt ist nach der DE 102 53 855.7 A1 ein Isolationsschichtmaterial für integrierte Schaltkreise in Damascene-Architektur, die aus durch Moleküle oder Molekülgruppen voneinander getrennt angeordnet Fullerenen bestehen. Dabei sind die Moleküle oder Molekülgruppen über mindestens zwei Stellen mit den Fullerenen über chemische und/oder physikalische Wechselwirkungen verbunden. Dieses Isolationsschichtmaterial weist k-Werte von < 4,0 bei einer einstellbaren Porengröße von < 2,0 nm auf.

Ebenfalls bekannt ist der Einsatz von Kohlenstoffnanoröhren als Konstruktionselemente für Transistoren (Wong Bong Choi, u.a., Advanced Funktional Materials 13(2003)80).
Ebenso ist der Einsatz von Kohlenstoffnanoröhren als Interconnects in Schaltkreisen bekannt (K. Banerjee, Proc. 22th Advanced Metallization Conf., Colorado Springs, CO, Sept. 27-29 2005).

Auch werden Kohlenstoffnanoröhren als Sensoren oder Aktuatoren eingesetzt (US 20060084752 A).

Die Erweiterung der Einsatzgebiete für Kohlenstoffnanoröhren ist einmal in der Verbesserung des Herstellungsprozesses zu sehen. So können beispielsweise Komposite mit Kohlenstoffnanoröhren (P. Poetschke, u.a., Fullerenes, Nanotubes and Carbon Nanostructures 13(2005)Nr. Suppl. 1, S. 211-224) oder auch massive Komposite mit Kohlenstoffnanoröhren (M.Cadek, u.a., Applied Physics Letters 81(2002)5123-5125) hergestellt werden.
Ebenso werden die Analysemethoden laufend verbessert, wobei insbesondere die lokale Analyse der dielektrischen und mechanischen Eigenschaften von Isolationsmaterialien von besonderer Bedeutung ist (E. Zschech, u.a., MRS Spring Meeting 2006, San Francisco, April 17-21, 2006). Aber auch zur theoretischen Berechenbarkeit elastischer Eigenschaften oder zu physikalischen Grundlagen werden laufend neue Erkenntnisse gewonnen (E. Frey, ChemPhysChem 3(2002) 270-275; J. Wilhelm, u.a., Phys. Rev.Lett. 91(2003) 108103).

Nicht zuletzt sind fluorierte Kohlenstoffnanoröhren (single wall carbon nanotubes) bekannt, bei denen Fluoratome chemisch an die Kohlenstoffatome auf der Oberfläche der Kohlenstoffnanoröhre gebunden werden, wodurch ein elektrisch isolierender Zustand erreicht wird (G. Seifert, u.a., Applied Physics Letters Vol. 77, No.9, (2000) 1313-1315).

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Isolationsschichtmaterial für die Mikroelektronik anzugeben, welches eine Dielektrizitätskonstante von $k \leq 2$ bei gleichzeitig guten mechanischen Eigenschaften aufweist.

Die Aufgabe wird durch die in den Ansprüchen angegebene Erfindung gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen sind Gegenstand der Unteransprüche.

Das erfindungsgemäße Isolationsschichtmaterial für die Mikroelektronik besteht aus einer Vielzahl an fluorierten Kohlenstoffnanoröhren, die mittels eines Haftmittels mindestens punktuell über physikalische und/oder chemische Bindungen zu einem Netzwerk verbunden sind.

Vorteilhafterweise sind die fluorierten Kohlenstoffnanoröhren mit der chemischen Zusammensetzung C_nF aufgebaut ($1,8 < n < 2,2$) aufgebaut.

Von Vorteil ist es, wenn im Falle von Kohlenstoffatomen an der Oberfläche immer an jedem zweiten Kohlenstoffatom ein Fluoratom gebunden vorliegt.

Weiterhin vorteilhafterweise liegt eine chemische Bindung zwischen den Fluoratomen und den Kohlenstoffatomen vor.

Ebenfalls vorteilhafterweise sind die Fluoratome an der Oberfläche der Kohlenstoffnanoröhren angeordnet.

Von Vorteil ist es auch, wenn das Netzwerk bis 10 Vol.-% Kohlenstoffnanoröhren aufweist.

Weiterhin von Vorteil ist es, wenn ein ungeordnetes Netzwerk vorliegt.

Und auch von Vorteil ist es, wenn das Haftmittel Polyimide, fluorierte Polyimide, Polysilsequioxane, Benzocyclobutene, fluorierte Benzocyclobutene, Polyphenylene, Polyphenylquinoxaline, Copolymere von 2,2-bistrifluormethyl-4,5-difluor-1,3-dioxol, Perfluorfluor-alkoxy, Poly(arylenether), Parylene-C, Parylene-D, Parylene-F, Parylene-N, amorphe Polytetrafluorethylene sind.

Vorteilhaft ist auch, wenn das Haftmittel mittels Abscheidung aus der Gasphase (Vapor phase deposition) auf die Kohlenstoffnanoröhren gelangt ist.

Weiterhin vorteilhaft ist es, wenn das Haftmittel als Beschichtung auf den Kohlenstoffnanoröhren angeordnet ist.

Ebenfalls vorteilhaft ist es, wenn die Haftung der Kohlenstoffnanoröhren untereinander punktuell erfolgt.

Und vorteilhaft ist es auch, wenn das Haftmittel in einer Menge von bis zu 20 Vol.-% vorhanden ist.

Von Vorteil ist es auch, wenn das Isolationsschichtmaterial in integrierten Schaltkreisen zum Einsatz kommt.

Erfindungsgemäß werden einer Vielzahl von Kohlenstoffnanoröhren, die durch Fluorierung und nachfolgende Gasphasenabscheidung unter Verwendung eines Haftmittels zu einem Netzwerk verbunden worden sind, als Isolationsschichtmaterial für die Mikroelektronik verwendet.

Vorteilhafterweise werden fluorierte Kohlenstoffnanoröhren mit der chemischen Zusammensetzung C_nF $(1,8 < n < 2,2)$ verwendet.

Ebenfalls vorteilhafterweise werden Kohlenstoffnanoröhren mit an ihrer Oberfläche chemisch gebunden Fluoratome verwendet.

Weiterhin vorteilhafterweise werden bis 10 Vol.-% Kohlenstoffnanoröhren im Netzwerk verwendet.

Es ist auch vorteilhaft, wenn bis zu 20 Vol.-% Parylene-C, Parylene-D, Parylene-F oder Parylene-N verwendet werden.

Und auch vorteilhaft ist es, wenn das Isolationsschichtmaterial in der Mikroelektronik in integrierten Schaltkreisen zum Einsatz kommt.

Durch die erfindungsgemäße Lösung ist ein Isolationsschichtmaterial für die Mikroelektronik erhältlich, welches einerseits aufgrund der hohen Porosität eine vergleichsweise sehr niedrige Dielektrizitätskonstante und gleichzeitig die guten mechanischen Eigenschaften der Kohlenstoffnanoröhren aufweist. Das erfindungsgemäße Isolationsschichtmaterial kann Dielektrizitätskonstanten von $k \leq 2$ erreichen, bei Beibehaltung der Festigkeit von Kohlenstoffnanoröhren, die insbesondere für die Herstellung der integrierten Schaltkreise unter thermischer Beanspruchung notwendig und ausreichend ist. Das erfindungsgemäße Isolationsschichtmaterial ist variabel hinsichtlich seiner Eigenschaften einstellbar und

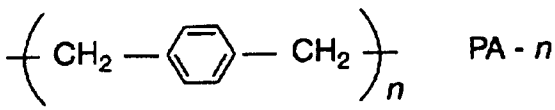
auf die weiteren Bedingungen zur Schaltkreisherstellung und auch während des Einsatzes der Schaltkreise einstellbar. Diese Variabilität ist durch veränderliche Netzwerkparameter erreichbar, wie beispielsweise die mittlere Länge der Kohlenstoffnanoröhren pro Volumeneinheit oder durch die Art und/oder den Anteil an Haftmittel im Netzwerk.

Durch den Einsatz der fluorierten Kohlenstoffnanoröhren, die eine elektrisch isolierende Wirkung haben, wird der isolierende Charakter des Netzwerkes verstärkt. Die elektrisch isolierende Wirkung der fluorierten Kohlenstoffnanoröhren ist auch anhand der elektronischen Zustandsdichten in der Umgebung der Fermi-Energie nachweisbar. Die ermittelten Zustandsdichten zeigten die Lage der Fermi-Energie in der Energielücke und einen deutlich verbreiterten Bereich der Energielücke, was beides charakteristisch für isolierende Materialien ist.

Eine Möglichkeit der Herstellung des erfindungsgemäßen Isolationsschichtmaterials besteht in folgenden Verfahrensschritten.
Zuerst werden Netzwerke aus unfluorierten Kohlenstoffnanoröhren hergestellt. Dies kann beispielsweise durch Abscheidung aus der Gasphase (CVD) erfolgen. Nachfolgend werden die Kohlenstoffnanoröhren in einem CF_4-Plasma fluoriert. Dieses Netzwerk aus fluorierten Kohlenstoffnanoröhren ist noch wenig belastbar und ist leicht veränderlich in seinem Aufbau. Dementsprechend wird dann, beispielsweise durch Abscheidung aus der Gasphase die Oberfläche der Kohlenstoffnanoröhren mit einem Haftmittel beschichtet. Die Beschichtung kann dabei teilweise oder vollständig erfolgen, je nach Art und Menge an Haftmittel, welches aufgebracht wird. Das Haftmittel führt zu einer stärkeren form- und kraftschlüssigen Verbindung zwischen den Netzwerkbestandteilen und ist nun in seinem Aufbau wenig veränderbar und damit auch mechanisch deutlich stärker belastbar. Insbesondere ist dieses nun erfindungsgemäße Netzwerk auf Zug- und Druckbeanspruchungen, die während seiner Verarbeitung in beispielsweise integrierten Schaltkreisen und auch während der Lebensdauer der Schaltkreise auftreten, deutlich stärker belastbar, als herkömmliche Isolationsschichtmaterialien für derartige Anwendungen.

Vorteilhafterweise kann das Haftmittel Parylene-C, Parylene-D, Parylene-F ider Parylene-N eingesetzt werden. Der chemische Aufbau der Parylene-n (n =

verschiedene Modifikationen) sowie die Struktur einiger Modifikationen ist in der Abb. beschrieben. Parylene ist bekanntermaßen ein inertes, hydrophobes, optisch transparentes, biokompatibles, polymeres Beschichtungsmaterial mit einem weiten industriellen Anwendungsspektrum. Die Beschichtung wird im Vakuum durch Kondensation aus der Gasphase als porenfreier und transparenter Polymerfilm auf das Substrat aufgetragen. Dabei ist praktisch jedes Substratmaterial, wie z. B. Metall, Glas, Papier, Lack, Kunststoff, Keramik, Ferrit und Silikone mit Parylene beschichtbar. Aufgrund der gasförmigen Abscheidung können Beschichtungen mit Parylene in Bereichen oder von Strukturen erreicht werden, die mit flüssigkeitsbasierten Verfahren nicht beschichtbar sind, wie z. B. scharfe Ränder und Spitzen oder enge und tiefe Spalte. Letzteres ist insbesondere zur Beschichtung von Netzwerken aus Kohlenstoffnanoröhren von Vorteil.



PA - *n*

Die Abbildung beschreibt die Struktur von Parylenen, die eine Kettenstruktur ist, die aus einer Folge von (CH_2 - Benzolring – CH_2 -) besteht. Durch Addition von einem (Parylene-C) oder zwei Chloratomen (Parylene-D) zum Benzolring oder durch weitere Modifikationen können weitere Parylene-Typen erzeugt werden.

Als Kohlenstoffnanoröhren kommen nur fluorierte Kohlenstoffnanoröhren zum Einsatz, da nur diese die gewünschten isolierenden Eigenschaften zeigen. Besonders vorteilhaft ist dabei die Fluorierung zu C_2F, d.h., dass im Falle von zwei nebeneinander liegenden Kohlenstoffatomen immer eins davon an der Oberfläche mit einem Fluoratom verbunden ist.

Aufgrund des Einsatzes von Kohlenstoffnanoröhren, die an sich bereits eine hohe Porosität pro Volumeneinheit aufweisen, und aufgrund der Bildung des erfindungsgemäßen Netzwerkes, was ebenfalls eine hohe Porosität zur Folge hat, können die guten dielektrischen Eigenschaften erreicht werden.
Der Einsatz eines Haftmittels verschlechtert dabei diese Eigenschaften nicht, da beispielsweise Parylene-n schon im massiven, homogenen Zustand eine niedrige

dielektrische Konstante von 2,6-2,7 aufweist und darüber hinaus auch vergleichsweise geringe Mengen an Haftmitteln zum Einsatz kommen.

Nachfolgend wird die Erfindung an einem Ausführungsbeispiel näher erläutert.

Beispiel 1

10 g kommerziell erhältliche einwandige Kohlenstoffnanoröhren, die bekanntermaßen hergestellt worden sind, werden mit einem CF_4-Plasma bekanntermaßen fluoriert. Durch diese Fluorierung entstehen chemische Bindungen zwischen den Fluor- und den Kohlenstoffatomen, wobei sich die Fluoratome vorzugsweise an der Oberfläche der Kohlenstoffnanoröhren anbinden.
Durch diese Behandlung entsteht ein Gemisch aus metallisch leitfähigen, halbleitenden und isolierenden Kohlenstoffnanoröhren. Ein bekanntes Verfahren zur Trennung von halbleitenden und metallisch leitfähigen Kohlenstoffnanoröhren wird benutzt, um zunächst auf die bekannte Weise die metallisch leitfähigen Kohlenstoffnanoröhren durch einen elektrischen Strom stark zu erhitzen und zu oxidieren. Das entstandene Gemisch aus halbleitenden und isolierenden fluorierten Kohlenstoffnanoröhren wird in einem zweiten Schritt ebenfalls durch einen elektrischen Strom getrennt, wobei die Temperatur des Gemisches und die angelegte elektrische Spannung höher sind, als im ersten Schritt. Durch den elektrischen Strom werden nun die halbleitenden Kohlenstoffnanoröhren stark erhitzt und unter Zugabe von Sauerstoff oxidiert. Auf diese Weise wird ein Haufwerk von isolierenden fluorierten einwandigen Kohlenstoffnanoröhren erzeugt. Die aus den 10 g Ausgangsmaterial erzeugte Menge an isolierenden fluorierten einwandigen Kohlenstoffnanoröhren beträgt 20 g.

Nachfolgend werden die fluorierten Kohlenstoffnanoröhren der Masse M_{CNT} (20 g) mit Parylene-C der Masse M_P beschichtet, Die Beschichtung erfolgt im Vakuum durch Kondensation aus der Gasphase.

Durch das Masseverhältnis M_{CNT}/M_P wird die Relation von dielektrischen und mechanischen sowie weiteren Eigenschaften eingestellt. Erhöhung des Masseverhältnisses führt zur Verbesserung der dielektrischen Konstante bei Verringerung der elastischen Konstanten. Bei dem Masseverhältnis von 1 wird eine dielektrische Konstante von 2,0 bei einem Kompressionsmodul von 6 GPa erreicht.

Dadurch ist nunmehr ein Netzwerk aus den fluorierten Kohlenstoffnanoröhren entstanden, wobei die einzelnen fluorierten Kohlenstoffnanoröhren an den Berührungsflächen untereinander durch das Parylene-C-Haftmittel kraftschlüssig verbunden sind.

Durch die wesentliche Verringerung der mittleren Dichte im Netzwerk der fluorierten Kohlenstoffnanoröhren wird eine signifikante Reduzierung der dielektrischen Konstante auf einen Wert von $k = 1,8$ erreicht.

Im Vergleich dazu kann mit einem dichtgepackten Bündel isolierender Kohlenstoffnanoröhren oder reiner Fullerenschichten nur ein Wert der dielektrischen Konstante von $k = 4$ erreicht werden.

Patentansprüche

1. Isolationsschichtmaterial für die Mikroelektronik, bestehend aus einer Vielzahl an fluorierten Kohlenstoffnanoröhren, die mittels eines Haftmittels mindestens punktuell über physikalische und/oder chemische Bindungen zu einem Netzwerk verbunden sind.

2. Isolationsschichtmaterial nach Anspruch 1, bei dem die fluorierten Kohlenstoffnanoröhren mit der chemischen Zusammensetzung C_nF aufgebaut sind ($1,8 < n < 2,2$).

3. Isolationsschichtmaterial nach Anspruch 2, bei dem im Falle von Kohlenstoffatomen an der Oberfläche für $n = 2$ immer an jedem zweiten Kohlenstoffatom ein Fluoratom gebunden vorliegt.

4. Isolationsschichtmaterial nach Anspruch 1, bei dem eine chemische Bindung zwischen den Fluoratomen und den Kohlenstoffatomen vorliegt.

5. Isolationsschichtmaterial nach Anspruch 1, bei dem die Fluoratome an der Oberfläche der Kohlenstoffnanoröhren angeordnet sind.

6. Isolationsschichtmaterial nach Anspruch 1, bei dem das Netzwerk bis 10 Vol.-% Kohlenstoffnanoröhren aufweist.

7. Isolationsschichtmaterial nach Anspruch 1, bei dem ein ungeordnetes Netzwerk vorliegt.

8. Isolationsschichtmaterial nach Anspruch 1, bei dem als Haftmittel Polyimide, fluorierte Polyimide, Polysilsequioxane, Benzocyclobutene, fluorierte Benzocyclobutene, Polyphenylene, Polyphenylquinoxaline, Copolymere von 2,2-bistrifluormethyl-4,5-difluor-1,3-dioxol, Perfluorfluor-alkoxy, Poly(arylenether), Parylene-C, Parylene-D, Parylene-F, Parylene-N, amorphe Polytetrafluorethylene vorhanden sind.wird.

9. Isolationsschichtmaterial nach Anspruch 1, bei dem das Haftmittel mittels Abscheidung aus der Gasphase (Vapor phase deposition) auf die Kohlenstoffnanoröhren gelangt ist.

10. Isolationsschichtmaterial nach Anspruch 1, bei dem das Haftmittel als Beschichtung auf den Kohlenstoffnanoröhren angeordnet ist.

11. Isolationsschichtmaterial nach Anspruch 1, bei dem die Haftung der Kohlenstoffnanoröhren untereinander punktuell erfolgt.

12. Isolationsschichtmaterial nach Anspruch 1, bei dem das Haftmittel in einer Menge von bis zu 20 Vol.-% vorhanden ist.

13. Isolationsschichtmaterial nach Anspruch 1, bei dem das Isolationsschichtmaterial als Schichtmaterial in integrierten Schaltkreisen zum Einsatz kommt.

14.Verwendung einer Vielzahl von Kohlenstoffnanoröhren, die durch Fluorierung und nachfolgende Gasphasenabscheidung unter Verwendung eines Haftmittels zu einem Netzwerk verbunden worden sind, als Isolationsschichtmaterial für die Mikroelektronik.

15. Verwendung nach Anspruch 14, bei der fluorierte Kohlenstoffnanoröhren mit der chemischen Zusammensetzung C_nF $(1,8 < n < 2,2)$ verwendet werden.

16 Verwendung nach Anspruch 14, bei der Kohlenstoffnanoröhren mit an ihrer Oberfläche chemisch gebunden Fluoratome verwendet werden.

17. Verwendung nach Anspruch 14, bei der bis 10 Vol.-% Kohlenstoffnanoröhren im Netzwerk verwendet werden.

18. Verwendung nach Anspruch 14, bei der bis zu 20 Vol.-% Parylene verwendet werden.

19. Verwendung nach Anspruch 14, bei dem das Isolationsschichtmaterial in der Mikroelektronik in integrierten Schaltkreisen zum Einsatz kommt.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2007/005203

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. H01L21/312

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
H01L

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)
EPO-Internal

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	US 2006/073682 A1 (FURUKAWA TOSHIHARU [US] ET AL FURUKAWA TOSHIHARU [US] ET AL) 6 April 2006 (2006-04-06) paragraph [0023]	1-19
Y	US 6 420 092 B1 (YANG CHENG-JER [TW] ET AL) 16 July 2002 (2002-07-16) column 5, lines 38-42	1-19

-/--

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

[X] See patent family annex.

* Special categories of cited documents :

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier document but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
24 Oktober 2007	31/10/2007

Name and mailing address of the ISA/	Authorized officer
European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL – 2280 HV Rijswijk Tel. (+31–70) 340–2040, Tx. 31 651 epo nl, Fax: (+31–70) 340–3016	Wolfbauer, Georg

Form PCT/ISA/210 (second sheet) (April 2005)

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2007/005203

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
P,Y	BENEDETTO A ET AL: "Carbon nanotubes/fluorinated polymers nanocomposite thin films for electrical contacts lubrication" SURFACE SCIENCE, NORTH-HOLLAND PUBLISHING CO, AMSTERDAM, NL, vol. 601, 11 April 2007 (2007-04-11), pages 3687-3692, XP007903283 ISSN: 0039-6028 the whole document	1-19
A	SEIFERT GOTTHARD ET AL: "Molecular wires, solenoids, and capacitors by sidewall functionalization of carbon nanotubes" APPLIED PHYSICS LETTERS, AIP, AMERICAN INSTITUTE OF PHYSICS, MELVILLE, NY, US, vol. 77, no. 9, 28 August 2000 (2000-08-28), pages 1313-1315, XP012027365 ISSN: 0003-6951 cited in the application the whole document	
A	KONSTANTIN N KUDIN ET AL: "Fluorinated single-wall carbon nanotubes" PHYSICAL REVIEW, B. CONDENSED MATTER, AMERICAN INSTITUTE OF PHYSICS. NEW YORK, US, vol. 63, no. 4, 9 January 2001 (2001-01-09), pages 45413-1, XP007903282 ISSN: 0163-1829 the whole document	

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No
PCT/EP2007/005203

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 2006073682 A1	06-04-2006	US 2007123028 A1	31-05-2007
		WO 2006041793 A1	20-04-2006
US 6420092 B1	16-07-2002	NONE	

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen
PCT/EP2007/005203

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
INV. H01L21/312

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

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
H01L

Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)
EPO-Internal

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
Y	US 2006/073682 A1 (FURUKAWA TOSHIHARU [US] ET AL FURUKAWA TOSHIHARU [US] ET AL) 6. April 2006 (2006-04-06) Absatz [0023]	1-19
Y	US 6 420 092 B1 (YANG CHENG-JER [TW] ET AL) 16. Juli 2002 (2002-07-16) Spalte 5, Zeilen 38-42	1-19

-/--

[X] Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen [X] Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :
"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist
"E" älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist
"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)
"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht
"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist
"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist
"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden
"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist
"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche	Absendedatum des internationalen Recherchenberichts
24. Oktober 2007	31/10/2007

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde	Bevollmächtigter Bediensteter
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL – 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl, Fax: (+31-70) 340-3016	Wolfbauer, Georg

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen
PCT/EP2007/005203

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
P,Y	BENEDETTO A ET AL: "Carbon nanotubes/fluorinated polymers nanocomposite thin films for electrical contacts lubrication" SURFACE SCIENCE, NORTH-HOLLAND PUBLISHING CO, AMSTERDAM, NL, Bd. 601, 11. April 2007 (2007-04-11), Seiten 3687-3692, XP007903283 ISSN: 0039-6028 das ganze Dokument	1-19
A	SEIFERT GOTTHARD ET AL: "Molecular wires, solenoids, and capacitors by sidewall functionalization of carbon nanotubes" APPLIED PHYSICS LETTERS, AIP, AMERICAN INSTITUTE OF PHYSICS, MELVILLE, NY, US, Bd. 77, Nr. 9, 28. August 2000 (2000-08-28), Seiten 1313-1315, XP012027365 ISSN: 0003-6951 in der Anmeldung erwähnt das ganze Dokument	
A	KONSTANTIN N KUDIN ET AL: "Fluorinated single-wall carbon nanotubes" PHYSICAL REVIEW, B. CONDENSED MATTER, AMERICAN INSTITUTE OF PHYSICS. NEW YORK, US, Bd. 63, Nr. 4, 9. Januar 2001 (2001-01-09), Seiten 45413-1, XP007903282 ISSN: 0163-1829 das ganze Dokument	

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen
PCT/EP2007/005203

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 2006073682 A1	06-04-2006	US 2007123028 A1	31-05-2007
		WO 2006041793 A1	20-04-2006
US 6420092 B1	16-07-2002	KEINE	