



SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT
EIDGENÖSSISCHES INSTITUT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

(11) CH

705 019 A2

(51) Int. Cl.: B05D 1/30 (2006.01)
B05D 5/00 (2006.01)

Patentanmeldung für die Schweiz und Liechtenstein

Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

(12) **PATENTANMELDUNG**

(21) Anmeldenummer: 00551/12

(22) Anmeldedatum: 23.04.2012

(43) Anmeldung veröffentlicht: 30.11.2012

(30) Priorität: 25.05.2011 PL P-395009

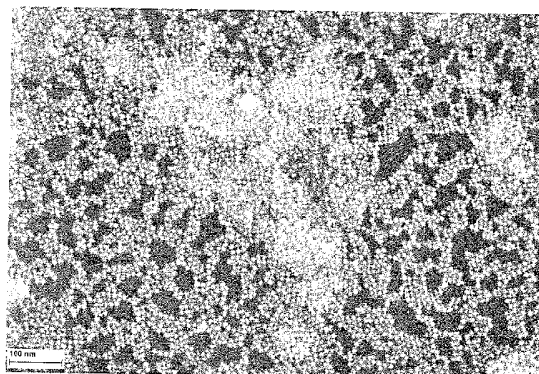
(71) Anmelder:
Instytut Chemii Fizycznej Polskiej Akademii Nauk,
ul. Kasprzaka 44/52
01-224 Warszawa (PL)
Instytut Wysokich Cisnien Polskiej Akademii Nauk,
ul. Sokolowska 29/37
01-142 Warszawa (PL)

(72) Erfinder:
Jan Paczeny, 01-224 Warszawa (PL)
Robert Holyst, 01-224 Warszawa (PL)
Andrzej Zywockinski, 01-224 Warszawa (PL)
Witold Adamkiewicz, 01-224 Warszawa (PL)
Igor Dziecielewski, 01-142 Warszawa (PL)

(74) Vertreter:
Riederer Hasler & Partner Patentanwälte AG,
Kappelestrasse 15
9492 Eschen (LI)

(54) **Verfahren zur Beschichtung einer Festkörperoberfläche mit Nanopartikeln und nach dem Verfahren beschichtete Festkörperoberfläche.**

(57) Gegenstand der Erfindung ist ein Verfahren zur Beschichtung einer Festkörperoberfläche mit Nanopartikeln, gekennzeichnet dadurch, dass ein Nanopartikel und eine die Schichtorganisation induzierende Verbindung enthaltendes Gemisch auf die Oberfläche aufgetropft wird. Die Erfindung umfasst auch die mit Nanopartikeln beschichtete Festkörperoberfläche, die nach diesem Verfahren hergestellt ist.



Beschreibung

[0001] Gegenstand der Erfindung ist ein Verfahren zur Beschichtung einer Festkörperoberfläche mit Nanopartikeln, das das Aggregationsphänomen ausgewählter amphiphiler Verbindungen sowie die spontane Ordnung von Nanoobjekten, am Beispiel von Nanopartikeln, in Anspruch nimmt. Das erfindungsgemässe Verfahren zur Beschichtung von Oberflächen besteht darin, dass eine entsprechend hergestellte Lösung auf ein festes Substrat aufgetropft wird. Die Erfindung betrifft auch ein Verfahren zur Auswahl der am meisten gewünschten Parameter zur Prozessdurchführung.

[0002] Mit der in den letzten Jahrzehnten blitzschnell fortschreitenden Miniaturisierung der elektronischen Geräten, der dynamischen Entwicklung der Oberflächenchemie und -physik sowie der Intensivierung der Arbeiten an den die Quantenphänomene in Anspruch nehmenden Technologien, gewinnen die Nanopartikel - sowohl für die Wissenschaft, wie auch für die Industrie - immer mehr an Bedeutung. Nanopartikel sind aus einigen bis sogar einem guten Dutzend Tausend bestehende, oft kugelförmige Partikel, bei denen mindestens eine der Abmessungen unter 100 nm liegt. Ihre Eigenschaften, und dadurch auch ihre potentielle Anwendungen, weichen wesentlich von denen ab, die diese Substanzen in einer weniger verkleinerten Form aufweisen. Die Nanopartikel werden in der Regel mit einer Monoschicht organischer Moleküle (vor allem der Alkanthiole) beschichtet, wodurch die Aggregation und dadurch auch die Bildung grossvolumiger Strukturen (Aggregaten) infolge hoher Oberflächenenergie der Nanopartikel vermieden werden. Gleichzeitig wird die Möglichkeit geöffnet, die Eigenschaften der Partikel durch die Auswahl und Modifizierung der ihren Metall- oder Halbleiterkern umhüllenden Liganden zu beeinflussen.

[0003] Ein besonderes Interesse gilt den zweidimensionalen Strukturen der Metallnanopartikel mit einem hohen Ordnungsgrad. Diese bieten eine Reihe von Anwendungen an, unter anderem bei der Herstellung von Einelektronen-Logikgattern [1], Katalysatoren [23], Biosensoren [4-6], Brennstoffzellen [7], Solarzellen [8], superhydrophoben Oberflächen [9], Nano-Tips [10] sowie Substraten für die Messungen mit Hilfe der oberflächenverstärkten Raman-Spektroskopie (SERS) [11, 12].

[0004] Hinsichtlich einer so breiten und differenzierten Nachfrage nach gleichmässigen Nanopartikelfilmen wurden verschiedenartige Technologien zur deren Herstellung entwickelt. Diese Technologien machen sich zunutze, dass die besonderen Eigenschaften von Kolloidpartikeln, wie z.B. Nanopartikeln, sich aus deren kleinen Abmessungen ergeben. Die intermolekularen Wechselwirkungen sind dabei von ausschlaggebender Bedeutung [13-19]. Von den gegenwärtig bekannten und beschriebenen Techniken zur Herstellung zweidimensionaler Filmen, die die Ordnung im Nanogrössenbereich aufweisen, sind die folgenden nennenswert: Langmuir-Blodgett-Technik (LB) [20-23], Elektrodenabscheidung [24], Selbstaggregation der Nanopartikel auf funktionalisierter Siliziumoberfläche [10], Selbstaggregation in verdampfendem Toluol-Tropfen [25], Selbstaggregation an der Phasengrenze [26], z.B. Wasser-Alkohol [12, 27], Wasser-Kohlenwasserstoff [28] oder Wasser-Luft [29], Selbstaggregation bei Inanspruchnahme der Umhüllung von Nanopartikeln mit Calixarenen [30] sowie den Sol-Gel-Prozess [31].

[0005] Jede der oben genannten Techniken bietet gewisse Vorteile gegenüber den übrigen an, doch alle diese Techniken unterliegen Beschränkungen, wodurch sie nicht selten ausschliesslich in einer ziemlich kleinen Gruppe der Anwendungen oder im kleinen Massstab verwendet werden können. Die Entwicklung eines unkomplizierten Prozesses zur Herstellung von gleichmässigen zweidimensionalen Nanopartikel-Strukturen, den die Kontrolle über die Parameter des sich zu bildenden Films (Nanopartikel-Verteilung, Abstände zwischen den Nanopartikeln, Bildung von Clustern mit einem bestimmten Durchmesser) erlauben würde, bleibt immerhin ein wesentliches Problem. Die vorgeschlagene neue Lösung stellt das erfindungsgemässe Verfahren dar, das sich wesentlich von allen bekannten Verfahren unterscheidet. Dieses Verfahren ist dadurch gekennzeichnet, dass hier Nanopartikel enthaltende Lösungen sowie eine andere Verbindung, vorzugsweise eine amphiphile, die Tendenz zur Bildung hochgeordneter Filme an der Phasengrenze zeigende Verbindung, zur Oberflächenbeschichtung verwendet werden. Ein solches Gemisch wird unmittelbar auf die Oberfläche eines festen Substrats aufgetropft. Durch geeignete Auswahl der Parameter, die weitläufiger in den vorteilhaften Ausführungsbeispielen vorgestellt sind, lassen sich der Bedeckungsgrad und die Nanopartikel-Verteilung auf der Oberfläche des zu beschichtenden Materials steuern.

[0006] Gemäss der Erfindung ist das Verfahren zur Beschichtung einer Festkörperoberfläche mit Nanopartikeln dadurch gekennzeichnet, dass ein die Nanopartikel und die die Schichtorganisation induzierende Verbindung enthaltendes Gemisch auf die Oberfläche aufgetropft wird.

[0007] Vorzugsweise wird eine Lösung der Nanopartikel mit einer Lösung der die Monoschichtorganisation induzierenden Verbindung vor dem Auftropfen gemischt.

[0008] Vorzugsweise werden die Lösungen im Verhältnis der Oberflächenkonzentrationen von Nanopartikel zu Hilfsverbindung von 1:0,1 bis 1:30, vorzugsweise von 1:1 bis 1:9 gemischt, wobei die Menge der aufzubringenden Lösung von den Zahlenwerten der Konzentrationen der Bestandteile des hergestellten Gemisches abhängig ist, so dass die Beschichtung der Oberfläche vollständig ist.

[0009] Vorzugsweise sind die Nanopartikel Metall-Nanopartikel, mehr bevorzugt Gold- oder Silber-Nanopartikel, mit einem Durchmesser von 2 nm bis 20 nm.

[0010] Vorzugsweise ist der Festkörper ausgewählt aus der Gruppe umfassend: Silizium, Glimmer, Glas, Saphir, ein chemisch neutrales Material.

[0011] In einem bevorzugten Ausführungsbeispiel ist die die Schichtorganisation induzierende Verbindung ausgewählt aus der Gruppe umfassend: organische Tenside, vorzugsweise Bolaamphiphil der Formel 3a, Bolaamphiphilverbindungen mit teilweise fluorierten Seitenketten, Arachinsäure.

[0012] Die Erfindung umfasst auch die mit Nanopartikeln beschichtete Festkörperoberfläche, die nach diesem Verfahren hergestellt ist.

Bevorzugte Ausführungsbeispiele

[0013] Die Erfindung wird nachstehend an Hand der bevorzugten Ausführungsbeispiele mit Bezug auf beigelegte Zeichnungen näher erläutert. Es zeigen:

- Fig. 1 Messergebnis einer Zeta-Potential-Messung der modifizierten Gold-Nanopartikel -das Maximum der Detektorzählungen entspricht dem Potential +35 mV, was bestätigt, dass die benutzten Nanopartikel positive Ladung auf der Oberfläche haben, wodurch sie amphiphile Eigenschaften aufweisen.
- Fig. 2 π -A-Isotherme der in den Untersuchungen verwendeten Gold-Nanopartikeln; der markierte Punkt entspricht einer dicht gepackten Monoschicht, und die obere X-Achse entspricht der Gebrauchskonzentration (der Oberflächenkonzentration) der Lösung in cm²/ml.
- Fig. 3a und Fig. 3b Strukturen der teilweise fluorierten Bolaamphiphile, die eine Tendenz zur Selbstaggregation und Bildung geordneter Dünnschichten aufweisen.
- Fig. 4 REM-Aufnahme einer Siliziumoberfläche, auf die eine Gold-Nanopartikel-Lösung in der Menge aufgetropft wurde, die für die Ausbildung einer Monoschicht ausreichend ist. Die deutlich sichtbaren dreidimensionalen Aggregate zeugen davon, dass die verwendeten Gold-Nanopartikel keine Tendenz zur Bildung geordneter Strukturen haben.
- Fig. 5 REM-Aufnahme einer Siliziumoberfläche, auf die ein Gemisch von Gold-Nanopartikeln und der Verbindung 3a im Oberflächenverhältnis 1:1 aufgetropft wurde. Die Nanopartikel und die Verbindung 3a wurden in einer solchen Menge aufgetragen, um eine Monoschicht zu bilden.
- Fig. 6a REM-Aufnahme einer Siliziumoberfläche, auf die einen aus einem Gemisch von Verbindung 3a und Gold-Nanopartikeln hergestellten Film mit der Blodgett-Technik aus der Wasseroberfläche aufgetragen wurde. Das Oberflächenverhältnis der Bestandteile ist 1:3.
- Fig. 6b REM-Aufnahme einer Siliziumoberfläche, auf die ein Gemisch von Gold-Nanopartikeln und der Verbindung 3a im Oberflächenverhältnis 1:3 aufgetropft wurde, wobei die Menge des aufgetragenen Gemisches der in Fig. 6a dargestellten Probe entsprach.
- Fig. 7 Auswirkung der Veränderung der Zusammensetzung auf den Charakter der π -A-Langmuir-Isotherme des Gemisches von Gold-Nanopartikeln und der Verbindung 3a.
- Fig. 8a, Fig. 8b, Fig. 8c REM-Aufnahmen einer Siliziumoberfläche, auf die die durch Kompression des Gemisches von Gold-Nanopartikeln und der Verbindung 3a hergestellten Filme mit der Langmuir-Blodgett-Technik aufgetragen wurden. Die Übertragung erfolgte bei gleichem Oberflächendruck (35 mN/m), und der einzige Unterschied war das Oberflächenverhältnis der Bestandteile (Nanopartikel zu 3a) im verwendeten Gemisch, das gleich 1:2 (Fig. 8a), 1:3 (Fig. 8b) und 1:9 (Fig. 8c) war.
- Fig. 9a, Fig. 9b, Fig. 9c REM-Aufnahmen einer Siliziumoberfläche, auf die die durch Kompression des Gemisches von Gold-Nanopartikeln und der Verbindung 3a hergestellten Filme mit der Langmuir-Blodgett-Technik aufgetragen wurden. In allen drei Fällen wurde die gleiche Menge des Gemisches von Gold-Nanopartikeln und der Verbindung 3a mit dem Oberflächenverhältnis der Bestandteile 1:1 verwendet, wobei der Oberflächendruck, bei dem die Übertragung auf das feste Substrat durchgeführt wurde entsprechend 21 (Fig. 9a), 30 (Fig. 9b) und 37,5 mN/m (Fig. 9c) war.
- Fig. 10 REM-Aufnahme einer Siliziumoberfläche, auf die die durch Kompression des Gemisches von Gold-Nanopartikeln und der Verbindung 3a hergestellten Filme mit der Langmuir-Blodgett-Technik aufgetragen wurden. Der Bedeckungsgrad lässt sich über die Änderung sowohl des Mischverhältnisses des im Versuch verwendeten Gemisches wie des Oberflächendrucks, bei dem die Übertragung erfolgte, kontrollieren.

- Fig. 11 REM-Aufnahme einer Siliziumoberfläche, die infolge des Auftropfens und der Selbstaggregation eines Gemisches von Nanopartikeln mit der Verbindung 3b in einem Oberflächenverhältnis 1:1 auf einem festen Substrat hergestellt wurde, wobei die Menge des aufgetragenen Gemisches so berechnet war, um eine dicht gepackte Monoschicht zu erhalten.
- Fig. 12 REM-Aufnahme einer Siliziumoberfläche, auf die einen durch Kompression des Gemisches von Gold-Nanopartikeln und Arachinsäure hergestellten Film mit der Langmuir-Blodgett-Technik aufgetragen wurde.
- Fig. 13 REM-Aufnahme einer Siliziumoberfläche, auf die ein Gemisch von Gold-Nanopartikeln und Arachinsäure aufgetropft wurde.
- Fig. 14 REM-Aufnahme einer Oberfläche, die durch die Selbstaggregation der Gold-Nanopartikel im Gemisch mit 3a auf einer Siliziumoberfläche hergestellt und anschliessend einem CVD-Wachstumsprozess von Galliumnitrid-Nanodrähten (GaN) ausgesetzt wurde.
- Fig. 15 REM-Aufnahme einer Oberfläche, die durch die Selbstaggregation der Gold-Nanopartikel im Gemisch mit 3a auf einer Siliziumoberfläche hergestellt und anschliessend einem CVD-Wachstumsprozess von Galliumnitrid-Nanodrähten (GaN) ausgesetzt wurde.

[0014] Als ein Beispiel für die gewünschten Eigenschaften aufweisenden Verbindungen können manche Bolaamphiphile erwähnt werden. Diese stellen eine Klasse organischer Tenside dar, deren Moleküle aus einem steifen hydrophoben Kern und zwei polaren hydrophilen Kopfgruppen an dessen Enden zusammengesetzt sind. Anschliessen von zusätzlichen, hydrophoben oder hydrophilen Seitenketten an den Kern beeinflusst bedeutsam die Eigenschaften der Verbindung. Bei den von unserer Arbeitsgruppe durchgeführten Versuchen wurden die Bolaamphiphile mit teilweise fluorierten Seitenketten, mit einer starken Tendenz zur Bildung geordneter Schichten an der Wasser/Luft-Phasengrenze, getestet [32-34]. Die Gruppe der oberflächenaktiven Substanzen, die der Erfindung nach zur Organisierung der Nanopartikel verwendet werden können, ist jedoch bedeutend breiter. Die Charakteristik der benutzten Verbindung beeinflusst die Morphologie der herzustellenden Beschichtung, was auch die nachfolgend angeführten Ausführungsbeispiele veranschaulichen.

[0015] Das erfindungsgemässe Verfahren ist dadurch gekennzeichnet, dass es zur Oberflächenbeschichtung Nanopartikel enthaltende Lösungen verwendet - vorzugsweise Metall-Nanopartikel, mit einem Durchmesser von 2-20 nm, umgehüllt mit einer Monoschicht von organischen Molekülen; sowie eine amphiphile Verbindung, die Herstellung eines gleichmässigen Zwei-Komponenten-Films an der Phasengrenze induziert. Zweidimensionale Strukturen auf der Oberfläche eines festen Substrats werden durch einfaches Auftragen entsprechender Gemischmenge mit bestimmter Zusammensetzung unmittelbar auf das feste Substrat hergestellt. Bei der Lösungsmittelverdampfung erfolgt die Selbstaggregation der Nanopartikel. Mittels der Langmuir-Blodgett-Technik können das Konzentrationsverhältnis und die Gemischmenge der Lösungen von Nanopartikeln und der die Organisation induzierenden Verbindung bestimmt werden, die auf bestimmte Oberfläche aufgetragen werden muss, um einen Film mit einem gewünschten Bedeckungsgrad herzustellen.

[0016] Nachfolgend ist ein Beispiel für die Anwendung des hergestellten Substrats als eines festen Substrats zur Herstellung von Galliumnitrid-Nanodrähten (GaN) im chemischen Gasphasenabscheidungsverfahren (CVD) vorgestellt.

[0017] Die herzustellenden Beschichtungen sind zeitstabil, und ihre Beständigkeit und Dauerhaftigkeit sind ausreichend für Transport, Lagerung sowie unmittelbare Verwendung in den Anwendungen, die die Beschichtungen den Beschädigungen (z.B. mechanischen oder durch Kontakt mit Lösungsmitteln oder hochreaktiven Chemikalien) nicht aussetzen.

Material und Ausrüstung

[0018] Bei den Versuchen wurden hochreine Lösungsmittel der Firma Chempur verwendet. Sonstige benötigte, handelsübliche Reagenzien wurden von Sigma-Aldrich geliefert. Polierte Siliziumscheiben, geschnitten in Teile mit einer Fläche von 2 cm², wurden am Institut für Technologie der Elektronik-Materialien in Warschau erworben.

[0019] Zur Erstellung der n-A-Langmuir-Isothermen und der Übertragung mittels der Langmuir-Blodgett-Technik wurde ein gesondert gefertigter Langmuir-Trog von der britischen Firma Nima, zusätzlich ausgerüstet mit einem Brewster-Winkel-Mikroskop (Nanofilm), verwendet. Als Subphase diente Wasser von MilliQ-Qualität (18,2 MΩ-cm), und die Versuche wurden bei Temperatur 23 °C durchgeführt. Die Messungen der Kleinwinkelröntgenstreuung (SAXS) wurden an einem Kleinwinkeldiffraktometer der Firma Bruker im Labor für Strukturforschung der Warschauer Universität ausgeführt, und die erhaltenen Daten wurden mit der vom Hardwarehersteller (Bruker) gelieferten Software bearbeitet. Die Oberflächenaufnahmen wurden mit einem Raster-Elektronen-Mikroskop (REM) der Firma Zeiss am Institut für Hochdruckphysik der Polnischen Akademie der Wissenschaften aufgenommen. Der Wachstumsprozess der GaN-Nanodrähte wurde in einem Quarzrohrreaktor in einem Drei-Zonen-Widerstandsofen (Carbolite), bei kontrollierter Zufuhr der gasförmigen Reagenzien, geführt.

Experimenteller Teil

[0020] Die Gold-Nanopartikel mit einem mittels SAXS-Messungen und AFM-Aufnahmen bestimmten Durchmesser von ca. 8,9 nm, wurden nach einem Literaturverfahren hergestellt [35]. Um die Messungen auf dem Langmuir-Trog zu vereinfachen und die einer dicht gepackten Monoschicht entsprechende Fläche pro Partikel zu bestimmen, wurden anschliessend die Nanopartikel mit N,N,N-Trimethyl(11-Mercaptooundecyl)Ammonium-Chlorid (TMA), das den Nanopartikeln die positive Ladung verleiht, funktionalisiert, so dass die TMA-Moleküle ca. 10% der die Nanopartikel umgebenden Liganden darstellten [36]. Das Zeta-Potential der modifizierten Nanopartikel ist in Fig. 1 (Maximum für den Wert von +35 mV) dargestellt, was die positive Aufladung der Oberflächen der hergestellten Nanopartikel bestätigt. Es wurden Stammlösungen der Gold-Nanopartikel mit einer Konzentration von ca. 0,5 mg Au/ml verwendet.

[0021] Die Synthese und die Eigenschaften der zur Gruppe von Bolaamphiphilen gehörenden Verbindungen sind ausführlich in der Literatur beschrieben [37-46]. Die Strukturformel von zwei in den Ausführungsbeispielen verwendeten Verbindungen sind in Fig. 3a, 3b dargestellt. Ihre Lösungen wurden in Chloroform hergestellt.

[0022] Die Oberfläche der Siliziumscheiben wurde durch Waschen mit Azeton, Eintauchen für mindestens 25 Minuten in einer 30%-igen Lösung der Stickstoffsäure, und anschliessend durch genaues Spülen mit MilliQ-Wasser (18,2Ω) gereinigt.

[0023] Jederzeit, vor den Versuchen mit der Benutzung des Langmuir-Trogs wurde der Oberflächendruck-Sensor kalibriert, in dem die Einwegfilterpapierstreifen anstatt der Wilhelmy-Platte benutzt wurden. Der Teflon-Trog war genau gereinigt, und die Verunreinigungen, die auf der Oberfläche der wässrigen Subphase zum Vorschein kommen konnten, wurden durch mehrmaliges Zusammenschieben der Barrieren und feine Absaugung ihrer oberen Schicht (Aspiration) beseitigt. Nach dem Auftragen entsprechender Menge der zur Untersuchungen hergestellten Lösung mit einer Mikrospritze auf die Subphasenoberfläche, wartete man ca. 20 Minuten ab, bis das organische Lösungsmittel verdampfte.

[0024] Auf allen REM-Aufnahmen sind die Gold-Nanopartikel als heile Punkte sichtbar, die Hilfsverbindungen sind dagegen unauffällig.

[0025] Aus den erhaltenen Langmuir-Isothermen wurde der Punkt {Flächenwert} bestimmt, an dem auf der Oberfläche der Subphase eine Monoschicht der zu untersuchenden Substanz oder des zu untersuchenden Gemisches auftrat (markiert in Fig. 2). Wenn die Menge der aufgetragenen Substanz und die Fläche, bei der diese Menge für die Ausbildung einer dichten Monoschicht ausreicht, bekannt sind, man kann die Gebrauchskonzentration der Lösung in ml der Lösung pro 1 cm² der dicht gepackten Monoschicht bestimmen. Es ist ein komfortables Verfahren zur Bestimmung des Volumens der Lösung, die im nächsten Schritt unmittelbar auf die mit Nanopartikeln zu beschichtende Oberfläche aufgetropft ist. Durch die Verwendung der LB-Technik ist es nicht notwendig, die molare oder prozentige Konzentration der Nanopartikel-Lösung (was problematisch ist und kann die Annahme benötigen, dass die Synthesereaktionen der Nanopartikel mit hundertprozentiger Ausbeute verlaufen) sowie deren Grösse zu bestimmen. Diese Informationen sind in der aus der π -A-Isotherme bestimmten Gebrauchskonzentration beinhaltet. In manchen Fällen ist zu berücksichtigen, dass die zugegebene die Organisation induzierende Verbindung auch gewisse Fläche beansprucht, was auch veranlassen kann, dass die Menge der Nanopartikel im Gemisch geringfügig reduziert werden muss. Geeignete Menge der hergestellten Lösung war mit einer Mikrospritze auf die Oberfläche der Siliziumscheibe auf getropft, und anschliessend vorsichtig mit einer Nadel, bei verdampfendem Lösungsmittel, verstrichen. Zusammengefasst, die Langmuir-Technik ermöglicht die Bestimmung der Gebrauchskonzentration der Lösung des Gemisches von Nanopartikel und amphiphilen Verbindungen, was erlaubt, grosse Flächen im Auftropfensverfahren des Gemisches auf ein festes Substrat sehr schnell zu beschichten. Die Gebrauchskonzentration (Oberflächenkonzentration) ist im folgenden Absatz definiert.

[0026] Es ist zu betonen, dass das erfindungsgemässe Verfahren erfordert nicht, geladene Nanopartikel zu verwenden, notwendig ist nur, dass die Nanopartikel mit Liganden umhüllt sind, die ihnen Stabilität gewährleisten. In diesem Fall darf aber das Verfahren mit der LB-Technik nicht kalibriert werden, und die genaue Nanopartikel-Grösse sowie -Konzentration in der Lösung müssen mit anderen Methoden bestimmt werden. Fig. 2 zeigt eine π -A-Isotherme der untersuchten Nanopartikel, und der markierte Punkt zeigt wann sich eine gut geordnete Monolage auf der Subphasenoberfläche bildet. Die obere X-Achse zeigt die Fläche pro ml in cm²/ml Einheiten. Die Fläche für eine dicht gepackte Monoschicht (bezeichnet als Kollapspunkt der Monoschicht) wird als Oberflächenkonzentration (Gebrauchskonzentration) definiert, die Informationen darüber liefert, wie viele cm² der Oberfläche mit einer dicht gepackten Monoschicht beim Auftropfen von genau 1 ml der untersuchten Lösung beschichtet werden können. Die Verwendung von Langmuir-Trog zur Bestimmung derart definierter Konzentration ist komfortabel und einfach. Alternativ kann man sich mit folgender Formel bedienen:

$$c^* = \frac{L}{A_m N_A c}$$

wobei L - gewünschte Anzahl der Schichten, A_m - Fläche pro ein Molekül, N_A - Avogadro-Zahl, c - molare Konzentration. Diese Formel ermöglicht die Oberflächenkonzentration (Gebrauchskonzentration) dann zu bestimmen, wenn kein Langmuir-Trog zur Verfügung steht, aufgrund der bekannten Fläche, die von einem Molekül beansprucht ist, oder durch die Abschätzung dieser Fläche. Im gesamten Text sind alle Konzentrationen (nicht nur von Nanopartikeln aber auch von Hilfsverbindungen) derart definiert und ausgedrückt (soweit nicht anders vermerkt).

[0027] Die hergestellten Beschichtungen der Siliziumscheiben, aufbewahrt unter dem Deckel, bei Raumtemperatur und bei Lichtzugang, haben keine morphologischen Veränderungen im Zeitraum von einigen Monaten gezeigt.

Nicht beschränkende Ausführungsbeispiele

Beispiel 1. Auswirkung einer Zugabe einer amphiphilen Verbindung auf die Struktur des Nanopartikel-Films

[0028] Gold-Nanopartikel zeigen keine Tendenz zur spontanen Organisation und Bildung hochregelmässiger Strukturen. Eine REM-Aufnahme in Fig. 4 zeigt eine Oberfläche mit so aufgetropfter Nanopartikel-Lösung, dass die Anzahl der Nanopartikel ausreichend war, um eine Monoschicht zu bilden.

[0029] Ein Film, der aus einer nur Nanopartikel enthaltenden Lösung hergestellt wurde, ist unregelmässig und enthält zahlreiche dreidimensionale Aggregate. Durch Anwendung eines Gemisches von Nanopartikeln und einer amphiphilen, die Ordnung induzierenden Verbindung wird die Morphologie der herzustellenden Monoschicht völlig geändert. Zum Beispiel, bei einem Gemisch von Nanopartikeln und Bolaamphiphil 3a in einem so ausgewählten Verhältnis, dass - den theoretischen Berechnungen nach - eine vom Gold beanspruchte Flächeneinheit (was auch für eine dichte Oberflächenbedeckung notwendig ist) einer von der Verbindung 3a beanspruchten Flächeneinheit entspricht (der Parameter lässt sich beliebig steuern, das vorgestellte Beispiel stellt eine bevorzugte Anwendung des Verfahrens dar), erhält man durch die Selbstaggregation auf einem festen Substrat eine Beschichtung wie in Fig. 5.

[0030] Der aufgrund der SAXS-Messergebnisse für eine Schicht reiner Nanopartikel bestimmte mittlere Abstand zwischen den Massenmittelpunkten der Partikel, der in diesem Fall ihrem Durchmesser entspricht, beträgt 8,9 nm. Für eine Nanopartikel und bolaamphiphile Verbindung enthaltende Monoschicht wurde einen mittleren Abstand zwischen den Massenmittelpunkten der Nanopartikel um ca. 0,8 nm grösser erhalten, was auch bestätigt, dass die Bolaamphiphilmoleküle zwischen den Nanopartikeln verteilt sind.

Beispiel 2. Vergleich der Langmuir-Blodgett-Technik und der Selbstaggregation auf einem festen Substrat

[0031] Manche bolaamphiphile Verbindungen, u.a. 3a [21], bilden regelmässige Mono- und Multischichten nicht nur bei der Kompression, sondern auch spontan, durch Selbstaggregation nach Auftröpfeln entsprechender Lösungsmenge auf die Wasseroberfläche oder auf ein festes Substrat. Die Bildung einer geordneten Struktur von Bolaamphiphilen induziert die Ordnung der zur Lösung zugegebenen Nanopartikel. Durch die Auftragung des Gemisches auf die Wasseroberfläche und die Übertragung nach dem Blodgett-Verfahren, ohne vorherige Kompression, oder durch direktes Auftropfen auf ein festes Substrat ist es möglich, eine praktisch identische Beschichtung zu erzielen, als die, die unter Verwendung der Langmuir-Blodgett-Technik hergestellt wird. Eine Voraussetzung dafür ist eine entsprechende Auswahl des Komponentenverhältnisses sowie der Komponentenmengen in Bezug auf die zu beschichtende Oberfläche. Es ist zu vermerken, dass das Selbstaggregationsverfahren aus dem technologischen Gesichtspunkt äusserst einfach ist, sowohl in der Laborarbeit, wie auch im technischen Massstab.

[0032] Die oben beschriebene Analogie der mit verschiedenen Techniken erzielten Effekte kann am Beispiel der in Fig. 8b, 6a und 6b dargestellten REM-Aufnahmen illustriert werden. Das Oberflächenverhältnis der benutzten Gemische von Nanopartikeln und 3a betrug 1:3, und die verwendeten Verfahren waren entsprechend Langmuir-Blodgett-Technik (8b), Selbstaggregation auf der Wasseroberfläche (6a) und auf der Siliziumscheibe (6b).

[0033] Die Identität der in der Langmuir-Blodgett-Technik und im Auftropfensverfahren hergestellten Strukturen ist von der die Selbstaggregation induzierenden Verbindung abhängig und ist nicht immer so gut, wie im vorgestellten, bevorzugten Beispiel.

Beispiel 3. Verwendung der Langmuir-Blodgett-Technik zur Bestimmung optimaler Parameter zur Durchführung des Auftropfensverfahrens

[0034] In der Langmuir-Blodgett-Technik wird eine geringfügige Menge der Lösung einer Substanz auf die Subphasenoberfläche aufgetragen. Nach Verdampfung des Lösungsmittels wird die zugängliche Subphasenoberfläche, mit den beweglichen Barrieren verringert, wodurch die Abstände zwischen den Partikeln der Substanz auf der Oberfläche kleiner werden, und die Filmstruktur sich verändert. Infolgedessen nimmt der Oberflächendruck zu. Bei einem bestimmten Oberflächendruck wird das senkrecht in der Subphase eingetauchtes Substrat herausgezogen, wobei der Film aus der Oberfläche auf das Substrat übertragen wird.

[0035] Von Bedeutung für die Eigenschaften des herzustellenden Filmes ist das Verhältnis, in dem die Substraten gemischt werden. Fig. 7 zeigt, wie der Charakter der n-A-Langmuir-Isotherme mit der Änderung der Zusammensetzung des Gemisches sich stufenlos verändert. Wie im ganzen vorliegenden Text, sind die hier angegebenen Verhältnisse die Verhältnisse der von den Nanopartikeln an der Phasengrenze beanspruchten Fläche zu der Fläche, die vom Amphiphil beansprucht wird. Die Verhältnisse wurden in der Anlehnung an die Langmuir-Isothermen für reine Substanzen bestimmt.

[0036] Bei einem Gehalt an Nanopartikeln im Gemisch mit 3a, der für die Bedeckung der gesamten Oberfläche unausreichend ist, gruppieren sich die Nanopartikel in kreisförmige Strukturen gemäss den theoretischen Erwartungen und Ergebnissen der Untersuchungen über kolloidale Moleküle mit Nicht-Null-Oberflächenladung [13-19]. Sowohl die Durchmesser

wie auch die Abstände zwischen den Strukturen sind von dem Gehalt an Nanopartikeln im Gemisch abhängig: je weniger Nanopartikel, desto kleiner und dünner sind deren zweidimensionale Anhäufungen verteilt. Bei einer bedeutenden Anzahl von Nanopartikeln pro Flächeneinheit, schliessen sich die kreisförmigen Strukturen aneinander und streben nach einer gleichmässigen Bedeckung. Beispielhafte REM-Aufnahmen, die diese Abhängigkeit darstellen, sind in Fig. 8a, 8b und 8c gezeigt. Alle diese Filme wurden unter Verwendung der LB-Technik (Übertragung bei gleichem Oberflächendruck von 35 mN/m) hergestellt, und der einzige Unterschied war das Verhältnis der Gold-Nanopartikel zu 3a im verwendeten Gemisch, das entsprechend 1:2, 1:3 und 1:9 war.

[0037] Die nach einem die LB-Technik verwendenden Verfahren erzielte Bedeckung der Oberfläche hängt von dem Oberflächendruck ab, bei dem der Film aus der Subphase auf ein festes Substrat übertragen wird. Mit einem zunehmenden Oberflächendruck nähern sich die kreisförmigen, zweidimensionalen Nanopartikel-Aggregate zueinander, vergrössern ihre Durchmesser und streben nach einer gleichmässigen Bedeckung der Oberfläche. Diese Abhängigkeit ist in den REM-Aufnahmen in Fig. 9a, 9b sowie 9c dargestellt. In allen drei Fällen wurde ein Gemisch von Nanopartikeln und 3a im Oberflächenverhältnis 1:1 verwendet, und der Oberflächendruck, bei dem die Übertragung auf ein festes Substrat durchgeführt wurde, war entsprechend 21, 30 und 37,5 mN/m.

[0038] Es ist zu vermerken, dass der Bedeckungsgrad lässt sich über zwei unabhängige Parameter steuern: die Zusammensetzung des Gemisches und den Oberflächendruck, bei dem die Übertragung durchgeführt wird. Diese Abhängigkeit ist am Beispiel der Verbindung 3a im Schema in Fig. 10 qualitativ dargestellt.

[0039] Die beschriebenen Ergebnisse können einfach als Kalibrierungsdaten für die Benutzung des erfindungsgemässen Verfahrens verwendet werden. In der Langmuir-Blodgett-Technik lässt sich der Bedeckungsgrad über die Verwendung des Kompressionsgrades und der Konzentrationen der aufzutragenden Lösungen steuern, die Parameter, die sich dagegen im erfindungsgemässen Verfahren kontrollieren lassen, sind das Verhältnis der Konzentrationen des Gemischkomponenten und die auf ein festes Substrat aufgetragene Gemischmenge. Diese beiden Parameter können aufgrund der LB-Versuche, abhängig von dem gewünschten Bedeckungsgrad, bestimmt werden. Die bei einem bestimmten Bedeckungsgrad unter Verwendung eines Gemisches mit bekannter Zusammensetzung erhaltene Morphologie kann in einem erfindungsgemässen Auftropfverfahren wiederhergestellt werden. Das aufgetragene Volumen wird in diesem Fall durch die Trogfläche, bei der die Übertragung mit der LB-Technik durchgeführt wurde, geteilt, um die zur Erhaltung der vorgegebenen Morphologie benötigte Gebrauchskonzentration des Gemisches in ml pro 1 cm² der Fläche zu bestimmen (analog wie bei der Bildung einer dicht gepackten Monoschicht). Sogar wenn die Strukturmorphologien in der LB-Technik und in der hier zu beschreibenden Erfindung nicht identisch sind, ist der Bedeckungsgrad der Oberfläche in der Regel ähnlich. Unter Verwendung der Langmuir-Blodgett-Technik ist es nicht gelungen, eine Bedeckung der Oberfläche mit Nanopartikeln von über 85% zu erhalten. Das erfindungsgemässe Verfahren hat keine Beschränkungen hinsichtlich des möglichen Bedeckungsgrades (eine über 95%-ige Bedeckung ist in Fig. 5 gezeigt). Es ist sogar möglich, die Multischichten zu bilden.

Beispiel 4. Einfluss der Struktur der zu verwendenden Verbindung - Vergleich verschiedener Bolaamphiphile

[0040] Trotz ähnlicher, von vielen Verbindungen gezeigter Tendenz zur Bildung der Mono- und Multischichten, können sich die zweidimensionalen Strukturen der Nanopartikel enthaltenden Filme, abhängig von der die Ordnung zwingenden Substanz, wesentlich unterscheiden. Der Effekt wird sogar bei der Verwendung von Verbindungen mit ähnlicher Konstitution beobachtet. Beispielweise, zeigt Fig. 11 eine REM-Aufnahme einer Oberflächenbeschichtung, die durch Selbstaggregation eines Gemisches von Nanopartikeln mit den Verbindungen 3b auf einem festen Substrat hergestellt wurde, mit einem Oberflächenbedeckungsgrad von 1:1. Das Gemisch wurde in einer solchen Menge aufgetragen, um die Oberfläche mit einer Monolage zu beschichten. Es ändert sich sowohl die Anzahl der dreidimensionalen Aggregate wie auch die Gestalt und Verteilung der zweidimensionalen Strukturen.

[0041] Die entscheidenden Faktoren sind hier die Steifheit der Moleküle, deren Gestalt und der Fluorierungsgrad der Seitenketten. Sie beeinflussen die intermolekularen Wechselwirkungen im Bolaamphiphilnetzwerk sowie mit den Nanopartikeln, was für die Möglichkeit der Bildung und den Charakter der Matrix, in der die Nanopartikel verteilt sind, von ausschlaggebender Bedeutung ist.

Beispiel 5. Einfluss der Struktur der zu verwendenden Verbindung - Vergleich der Bolaamphiphile und der Arachinsäure

[0042] Im erfindungsgemässen Verfahren kann eine Reihe von Verbindungen verwendet werden, die nicht Bolaamphiphile sind. Weil die Morphologie der zu entstehenden Schicht von der Eigenschaften der gegebenen Substanz stark abhängig ist, können durch Verwendung verschiedener Verbindungen verschiedene Effekte erzielt werden. Darüber hinaus, bei Verbindungen, die eine nicht so starke Fähigkeit zur Selbstaggregation wie Bolaamphiphile aufweisen, kann das Verfahren zur Oberflächenbeschichtung mit einem Gemisch von wesentlicher Bedeutung sein. Beispielweise, zeigen Fig. 12 und Fig. 13 REM-Aufnahmen von Oberflächen, die unter Verwendung eines Gemisches von Nanopartikeln und Arachinsäure, eines Modellamphiphils, im Verhältnis 1:1, beschichtet wurden. Die erste Aufnahme entspricht der LB-Technik (Fig. 12), die zweite dagegen - dem hier zu beschreibenden Verfahren (Fig. 13). Es ist offensichtlich, dass mit dem erfindungsgemässen Verfahren nicht nur weitreichende Strukturen, sondern auch gut getrennte, verhältnismässig kleine Anhäufungen von Nanopartikeln hergestellt werden können. Mit dem zunehmenden Verhältnis der Menge der amphiphilen Verbindung zu den Nanopartikeln, steigen die Abstände zwischen den Nanopartikel-Anhäufungen, und die Grössen - nehmen ab.

Beispiel 6. Anwendung als Substrat für CVD-Verfahren

[0043] Eine der möglichen Anwendungen der Erfindung ist die Vorbereitung eines Substrats für weitere Verarbeitung, z.B. für die Bildung von Galliumnitrid-Nanodrähten (GaN) (im chemischen Gasphasenabscheidungsverfahren (CVD), in dem die in Gasphasereaktionen bei Hochtemperaturen entstehenden Verbindungen abgeschieden werden) und so für die Herstellung der Oberflächen mit hohem Anwendungspotential.

[0044] Der 1964 von Wagner und Ellis [47] vorgeschlagene Mechanismus der Bildung von nadelförmigen Kristallen (Whiskers) wurde 2001 von Wu und Yang [48] durch die In-situ-Beobachtung einer TEM-Kammer bestätigt. Der Wachstum von Nanodrähten erfolgt nur an der Stelle, wo das Gold vorhanden ist (das Gold spielt die Rolle eines Katalysators). Dank der Kontrolle über die Verteilung und die Durchmesser der mit Gold beschichteten Bereiche der Siliziumscheibe, die das erfindungsgemäße Verfahren anbietet, lässt sich die Häufung der zu entstehenden Nanodrähten steuern.

[0045] GaN wird als ein Werkstoff für spezielle Anwendungen in der Mikroelektronik verwendet. Die Galliumnitrid-Schichten wurden z.B. bei Herstellung von UV-Detektoren, Hochfrequenz- und Hochleistungstransistoren [49], Solarzellen für Satelliten [50], Leistungsverstärker für Mikrowellenfrequenzen [51] verwendet. Auch erste Geräte auf Basis von GaN-Nanodrähten wurden gebaut: Feldtransistoren [52], Nanolaser [53], LED-Dioden [54]. Darüber hinaus wurden eindimensionale GaN-Kristalle auch bei Photokatalyse verwendet [55].

[0046] Fig. 14 und 15 zeigen beispielhafte REM-Aufnahmen einer Oberfläche, die durch Selbstaggregation der Gold-Nanopartikel im Gemisch mit 3a auf der Siliziumoberfläche hergestellt und anschliessend einem CVD-Prozess des Wachstums von GaN-Nanodrähten ausgesetzt wurde.

Literatura**[0047]**

- [1] G. Schön, U. Simon, Colloid Polym. Sci. 273: 101-117 (1995)
- [2] S. Panigrahi, S. Basu, S. Praharaj, S. Pande, S. Jana, A. Pal, S. Kumar Ghosh, T. Pal, J. Phys. Chem. C 111: 4596-4605 (2007)
- [3] S. Cheong, J. D. Watt, R. D. Tilley, Nanoscale 2: 2045-2053 (2010)
- [4] L. Pasquato, P. Pengo, P. Scrimin, J. Mater. Chem. 14: 3481-3487 (2004)
- [5] H. Zhong, X. Lei, X. Hun, S. Zhang, Chem. Commun. 45: 6958-6960 (2009)
- [6] S. Song, Y. Qin, Y. He, Q. Huang, C. Fan, H.-Y. Chen, Chem. Soc. Rev. 39: 4234-4243 (2010)
- [7] Huimin Wu, David Wexler, Huakun Liu, O. Savadogo, J. Ahn, G. Wang, Mater. Chem. Phys. 124: 841-844 (2010)
- [8] E. Moulin, J. Sukmanowski, M. Schulte, A. Gordijn, F.X. Royer, H. Stiebig, Thin Solid Films 516: 6813-6817(2008)
- [9] G. Yin, W. Xue, F. Chen, X. Fan, Colloid. Surface. A 340:121-125 (2009)
- [10] Y. Wang, L. Zhu, Y. Zhang, M. Yang, J. Nanopart. Res. 12: 1821-1828 (2010)
- [11] S.-H. Kim, J.-M. Lim, S.-K. Lee, C.-J. Heo, S.-M. Yang, Soft Matter 6:1092-1110 (2010)
- [12] B. Yan, A. Thubagere, W. R. Premasiri, L. D. Ziegler, L. D. Negro, B. M. Reinhard, ACS Nano 3: 1190-1202 (2009)
- [13] F. Ghezzi, J. C. Earnshaw, J. Phys.: Condens. Matter 9: L517-L523 (1997)
- [14] M. Oettel, A. Dominguez, S. Dietrich, / Phys.: Condens. Matter 17: L337-L342 (2005)
- [15] M. Oettel, A. Dominguez, M. Tasinkevych, S. Dietrich, Eur. Phys. J. E, 28: 99-111 (2009)
- [16] A. Imperio, L. Reatto, S. Zapperi, Phys. Rev. E78: 021402 (2008)
- [17] W. Chen, S. Tan, Z. Huang, T.-K. Ng, W. T. Ford, P. Tong, Phys. Rev. F74: 021406 (2006)
- [18] A. J. Archer, Phys. Rev. E78: 031402 (2008)
- [19] R. P. Sear, W. M. Gelbart, J. Chem. Phys. 110(9): 4582-4588 (1999)
- [20] F. Sbrana, M. T. Parodi, D. Ricci, E. Di Zitti, Mater. Sei. Eng. C22: 187-191 (2002)

- [21] C. R. Hansen, F. Westerlund, K. Moth-Poulsen, R. Ravindranath, S. Valiyaveetil, T. Bjornholm, *Langmuir* 24: 3905-3910 (2008)
- [22] B. T. Hassenkam, K. Norgaard, L. Iversen, C. J. Kiely, M. Brust, T. Bjornholm, *Advanced Materials*, 14(16): 1126-1130(2002)
- [23] A. Mogilevsky, R. Volinsky, Y. Dayagi, N. Markovich, R. Jelinek, *Langmuir*, 26(11): 7893-7898 (2010)
- [24] P. Yu, J. Yan, J. Zhang, L. Mao, *Electrochem. Commun.* 9:1139-1144 (2007)
- [25] M. N. Martin, J. I. Basham, P. Chando, S.-K. Eah, *Langmuir* 26(10): 7410-7417 (2010)
- [26] R. McGorty, J. Fung, D. Kaz, V. N. Manoharan, *Mater. Today* 13(6): 34-42 (2010)
- [27] M.-H. Wang, J.-W. Hu, Y.-J. Li, E. S. Yeung, *Nanotechnology* 21: 145608 (2010)
- [28] F. Reincke, W. K. Kegel, H. Zhang, M. Nolte, D. Wang, D. Vanmaekelbergh, H. Möhwald, *Phys. Chem. Chem. Phys.* 8: 3828-3835 (2006)
- [29] R. P. Sear, S.-W. Chung, G. Markovich, W. M. Gelbart, J. R. Heath, *Phys. Rev. E*, 59(6): R6255-R6258(1999)
- [30] A. Wei, *Chem. Commun.*, 1581-1591 (2006)
- [31] A. Babapour, O. Akhavan, A.Z. Moshfegh, A.A. Hosseini, *Thin Solid Films* 515: 771-774 (2006)
- [32] P. Niton, A. Zywockinski, R. Hotyst, R. Kieffer, C. Tschierske, J. Paczesny, D. Pocięcha, E. Gorecka, *Chem. Commun.*, 46: 1896-1898 (2010)
- [33] P. Niton, A. Zywockinski, J. Paczesny, M. Fiatkowski, R. Hotyst, B. Glettner, R. Kieffer, C. Tschierske, D. Pocięcha, E. Görecka, *Chem. Eur. J.* 17: 5861-5873 (2011)
- [34] J. Paczesny, P. Niton, A. Zywockinski, K. Sozariski, R. Hotyst, M. Fialkowski, R. Kieffer, C. Tschierske, D. Pocięcha, E. Görecka, *Manuskript in Vorbereitung*
- [35] N. R. Jana, X. Peng, *J. Am. Chem. Soc.* 125(47): 14280-14281 (2003)
- [36] A. M. Kalsin, M. Fiatkowski, M. Paszewski, S. K. Smoukov, K. J. M. Bishop, B. A. Grzybowski, *Science*, 5772 (312): 420-424 (2006)
- [37] M. Kölbels, T. Beyersdorff, X. H. Cheng, C. Tschierske, J. Kain, S. Diele, *J. Am. Chem. Soc.* 123: 6809-6818(2001)
- [38] X. Cheng, M. Prehm, M. K. Das, J. Kain, U. Baumeister, S. Diele, D. Leine, A. Blume, C. Tschierske, *J. Am. Chem. Soc.* 125:10977-10996 (2003)
- [39] M. Prehm, F. Liu, U. Baumeister, X. Zeng, G. Ungar, C. Tschierske, *Angew. Chem. Int. Ed.*, 46: 7972-7975 (2007)
- [40] M. Prehm, G. Götz, P. Bäuerle, F. Liu, X. Zeng, G. Ungar, C. Tschierske, *Angew. Chem., Int. Ed.*, 46: 7856-7859 (2007)
- [41] M. Prehm, C. Enders, M. Y. Anzahaee, B. Glettner, U. Baumeister, C. Tschierske, *Chem. Eur. J.* 14: 6352-6368 (2008)
- [42] R. Kieffer, M. Prehm, K. Pelz, U. Baumeister, F. Liu, H. Hahn, H. Lang, G. Ungar, C. Tschierske, *Soft Matter* 5: 1214-1227 (2009)
- [43] R. Kieffer, M. Prehm, B. Glettner, K. Pelz, U. Baumeister, F. Liu, X. Zeng, G. Ungar, C. Tschierske, *Chem. Commun.* 33: 3861-3863 (2008)
- [44] B. Glettner, F. Liu, X. Zeng, M. Prehm, U. Baumeister, M. Walker, M. A. Bates, P. Boesecke, G. Ungar, C. Tschierske, *Angew. Chem., Int. Ed.* 47: 9063-9066 (2008)
- [45] X. Cheng, X. Dong, G. Wei, M. Prehm, C. Tschierske, *Angew. Chem., Int. Ed.* 48: 8014-8017 (2009)
- [46] B. Glettner, F. Liu, X. B. Zeng, M. Prehm, U. Baumeister, G. Ungar, C. Tschierske, *Angew. Chem. Int. Ed.* 47: 6080-6083 (2008)

- [47] R. S. Wagner, W. C. Ellis, Appl. Phys. Lett. 4: 89-90 (1964)
- [48] Y. Wu, P. Yang, J. Am. Chem. Soc. 123: 3165-3166 (2001)
- [49] S. J. Pearton, F. Ren, A. P. Zhang, K. P. Lee, Mater. Sci. Eng. R30: 55-212 (2000)
- [50] M. P. Bianchi, U.S. Patent nr 6447 938 B1 (2002)
- [51] J. J. Xu, S. Keller, G. Parish, S. Heikman, U. K. Mishra, R. A. York, IEEE T. Microw. Theory 48: 2573-2578 (2000)
- [52] Y. Huang, X. Duan, Y. Cui, C. M. Lieber, Nano Lett. 2:101-104 (2002)
- [53] J. C. Johnson, H.-J. Choi, K. P. Knutsen, R. D. Schaller, P. Yang, R. J. Saykally, Nature Mat. 1: 106-110(2002)
- [54] F. Qian, S. Gradecak, Y. Li, C.-Y. Wen, C. M. Lieber, Nano Lett. 5: 2287-2291 (2005)
- [55] H. S. Jung, Y. J. Hong, Y. Li, J. Cho, Y.-J. Kim, G. C. Yi, ACS Nano 2: 637-642 (2008)

Danksagung

[0048] Die Untersuchungen wurden von der Europäischen Union im Rahmen des Operationsprogramms Innovative Wirtschaft über das Projekt «Quanten-Halbleiter-Nanostrukturen für Anwendungen in der Biologie und Medizin - Entwicklung und Kommerzialisierung neuer Generation der Geräte für molekulare Diagnostik auf Basis von neuen polnischen Halbleitergeräten» (POIG.01.01.02-00-008/08) mitfinanziert. Das Projekt wurde aus den Mitteln des Nationalen Zentrums für Wissenschaft (NCN - Narodowe Centrum Nauki) gefördert. Die Mittel wurden aufgrund der Bewilligung Nr. DEC-2011/01/N/ST5/02917 genehmigt. Jan Paczesny ist ein Stipendiat im Rahmen der Unteraktivität 8.2.2 «Regionale Innovationsstrategien», Aktivität 8.2 «Wissensübertragung», Priorität VIII «Regionale Wirtschaftskader» des Operationsprogramms «Menschenkapital», das aus den Europäischen Sozialfonds der Europäischen Union und der Staatshaushaltsmittel (DFS.VI.3361-4-37-033/10) mitfinanziert ist.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Beschichtung einer Festkörperoberfläche mit Nanopartikeln gekennzeichnet dadurch, dass ein Nanopartikel und eine die Schichtorganisation induzierende Verbindung enthaltendes Gemisch auf die Oberfläche aufgetropft wird,
2. Verfahren nach Anspruch 1, gekennzeichnet dadurch, dass eine Lösung der Nanopartikel mit einer Lösung der die Schichtorganisation induzierenden Verbindung vor dem Auftropfen gemischt wird.
3. Verfahren nach Anspruch 2, gekennzeichnet dadurch, dass die Lösungen im Verhältnis der Oberflächenkonzentrationen von Nanopartikel zu Hilfsverbindung von 1:0,1 bis 1:30, vorzugsweise von 1:1 bis 1:9 gemischt werden, und die Menge der aufzubringenden Lösung von den Zahlenwerten der Konzentrationen der Bestandteile des hergestellten Gemisches abhängig ist, so dass die Beschichtung der Oberfläche vollständig ist.
4. Verfahren nach einem beliebigen der vorstehenden Ansprüche, gekennzeichnet dadurch, dass die Nanopartikel Metall-Nanopartikel, vorzugsweise Gold-, Silber-Nanopartikel sind.
5. Verfahren nach einem beliebigen der vorstehenden Ansprüche, gekennzeichnet dadurch, dass die Nanopartikel einen Durchmesser von 2 nm bis 20 nm haben.
6. Verfahren nach einem beliebigen der vorstehenden Ansprüche, gekennzeichnet dadurch, dass der Festkörper ausgewählt ist aus der Gruppe, umfassend: Silizium, Glimmer, Glas, Saphir, ein chemisch neutrales Material.
7. Verfahren nach einem beliebigen der vorstehenden Ansprüche, gekennzeichnet dadurch, dass die die Schichtorganisation induzierende Verbindung ausgewählt ist aus der Gruppe, umfassend: organische Tenside, vorzugsweise Bolaamphiphil der Formel 3a, Bolaamphiphilverbindungen mit teilweise fluorierten Seitenketten, Arachinsäure.
8. Mit Nanopartikeln beschichtete Festkörperoberfläche, die nach dem Verfahren nach einem beliebigen der vorstehenden Ansprüche hergestellt ist.

Fig. 1

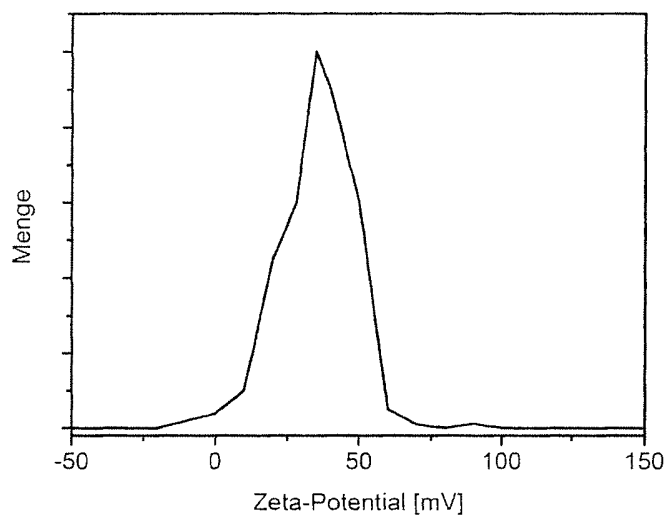


Fig. 2

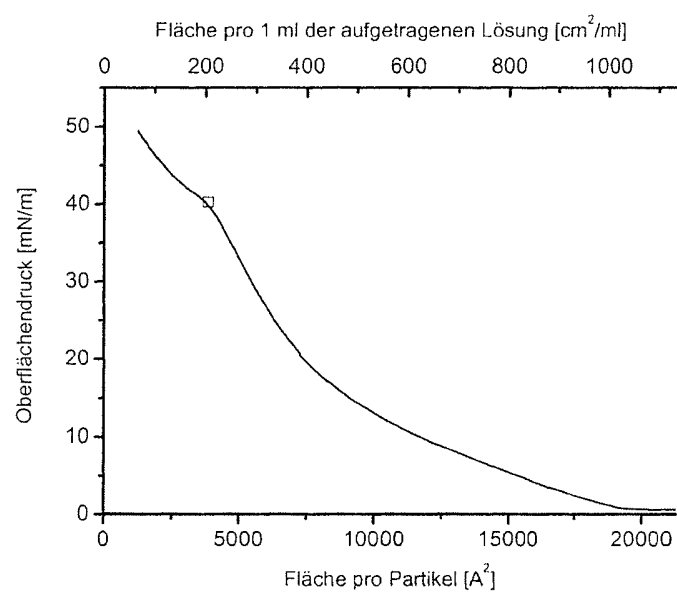


Fig. 3a

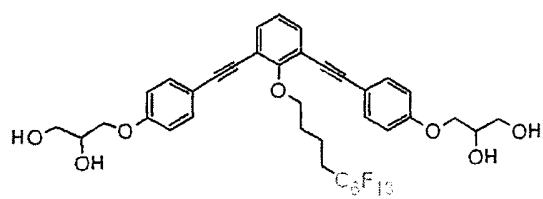


Fig. 3b

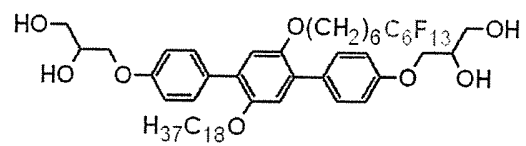


Fig. 4

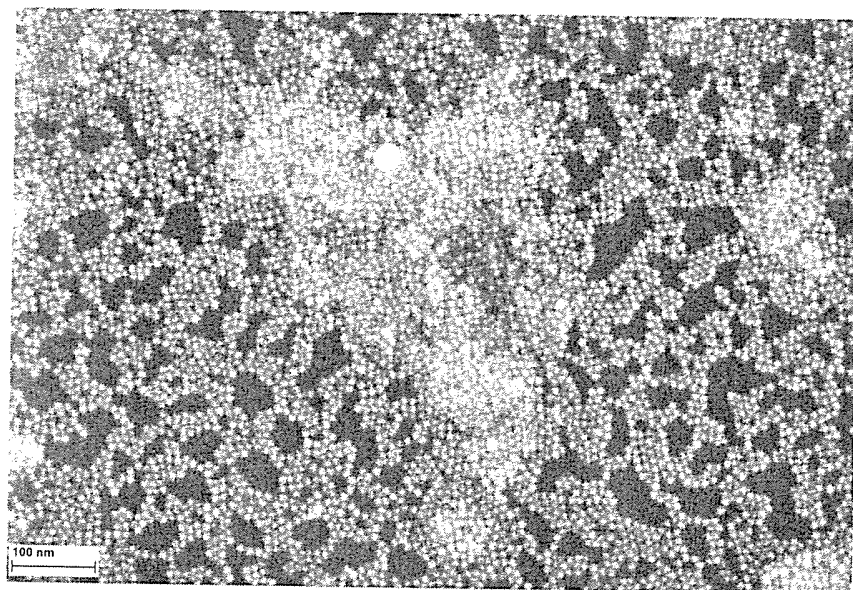


Fig. 5

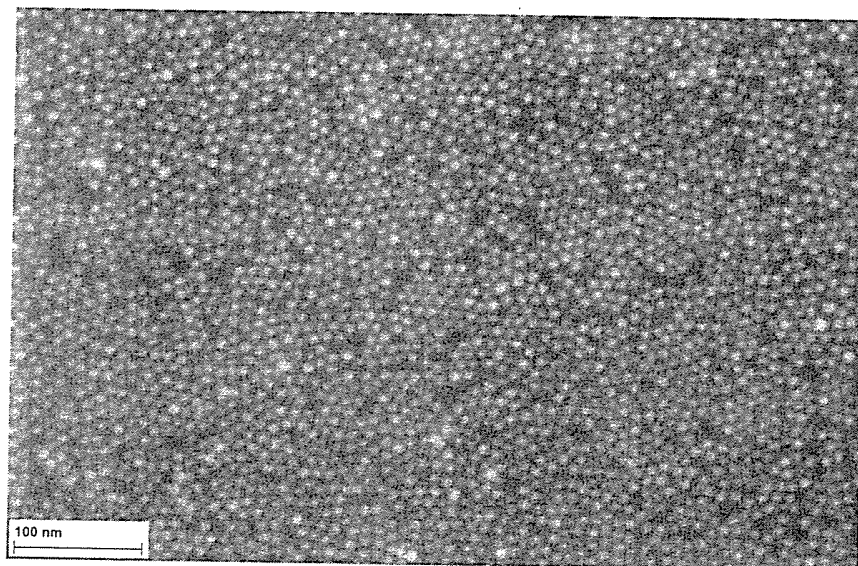


Fig. 6a

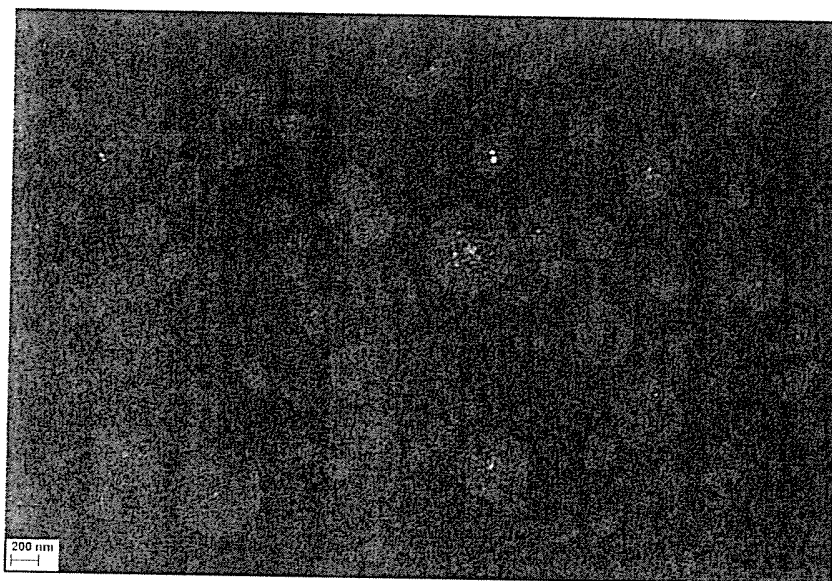


Fig. 6b

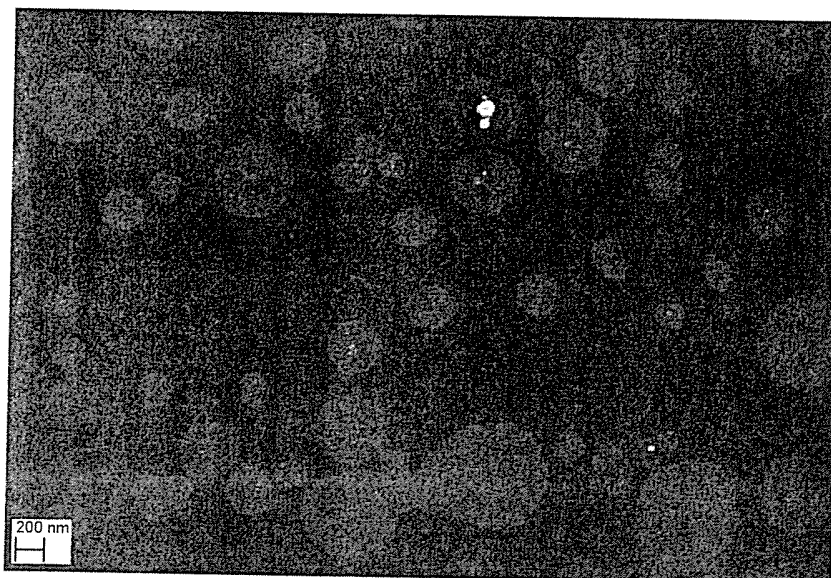


Fig. 7

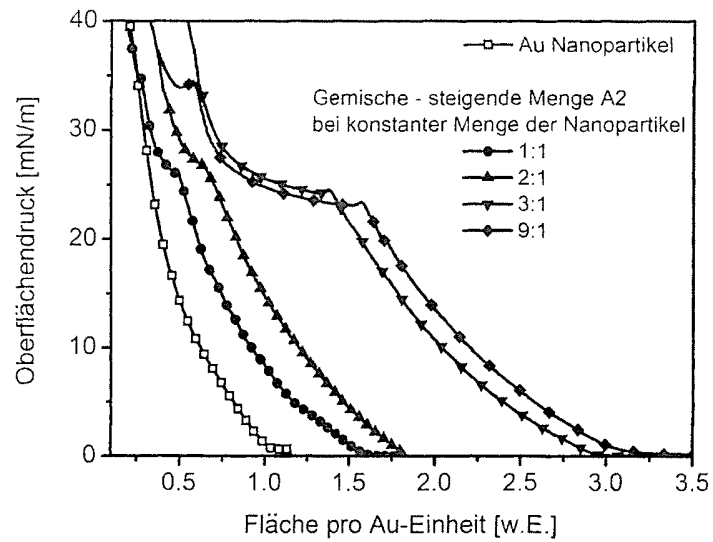


Fig. 8a

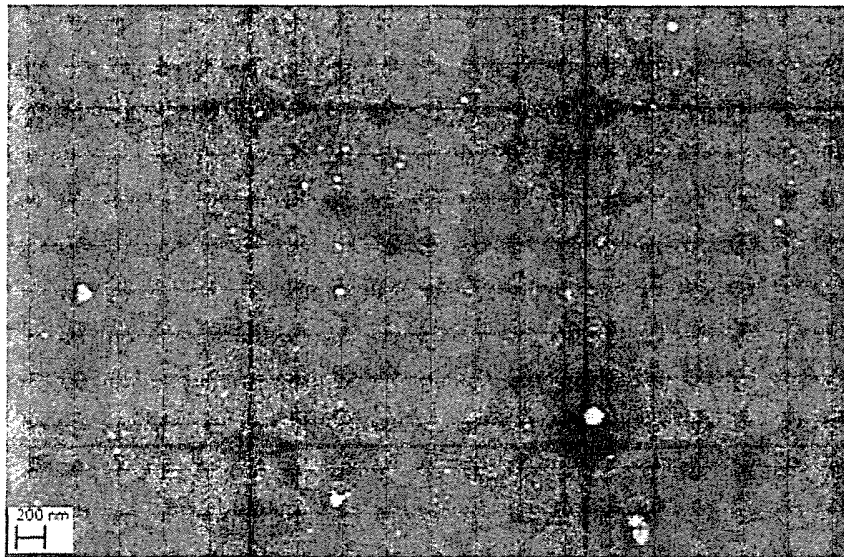


Fig. 8b

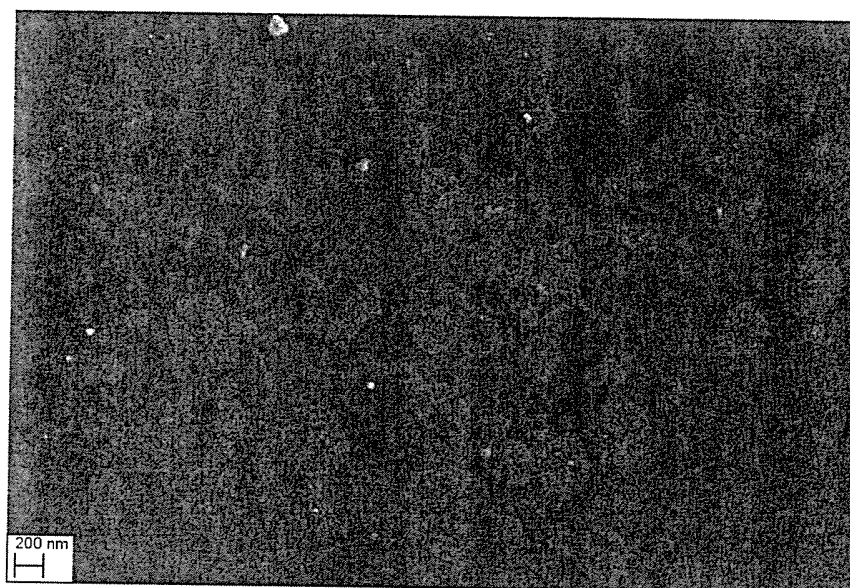


Fig. 8c

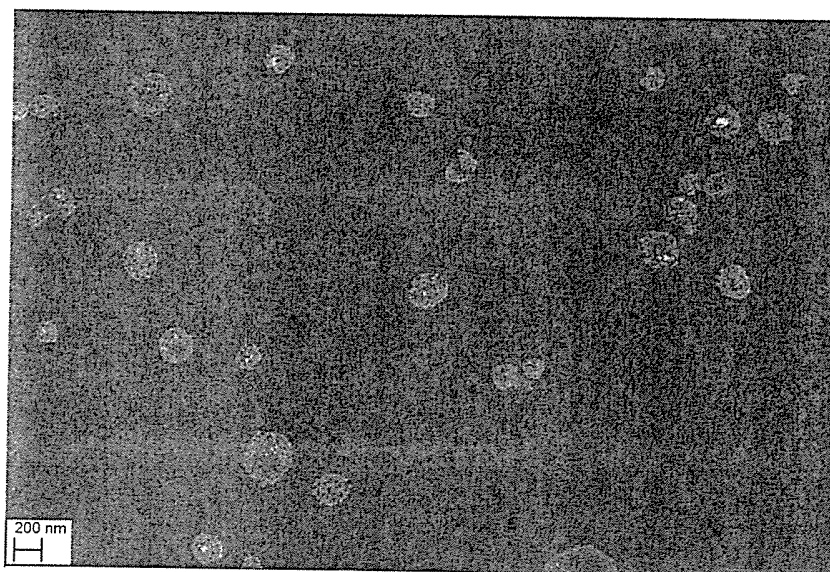


Fig. 9a

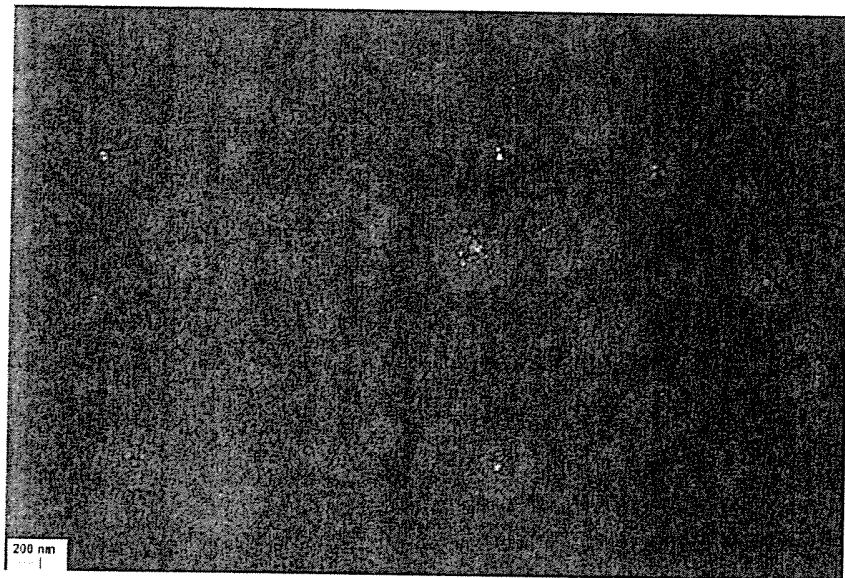


Fig. 9b

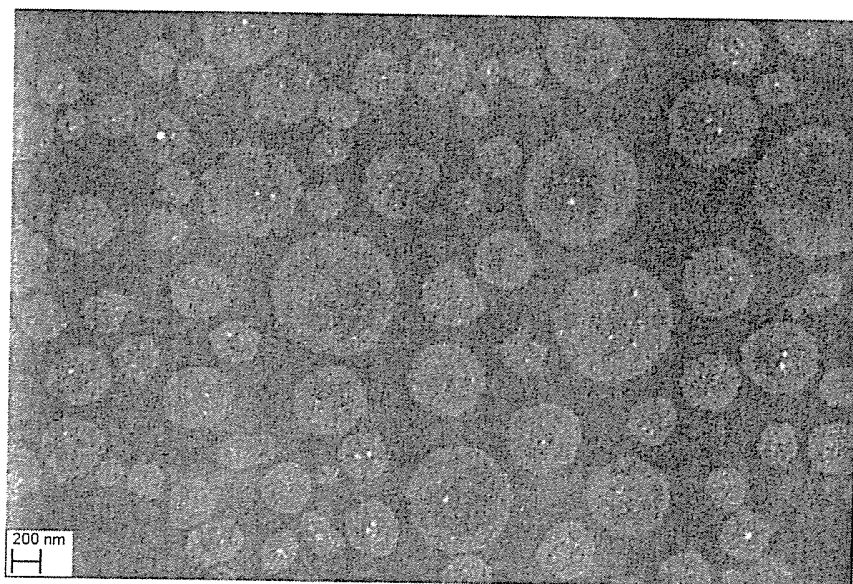


Fig. 9c

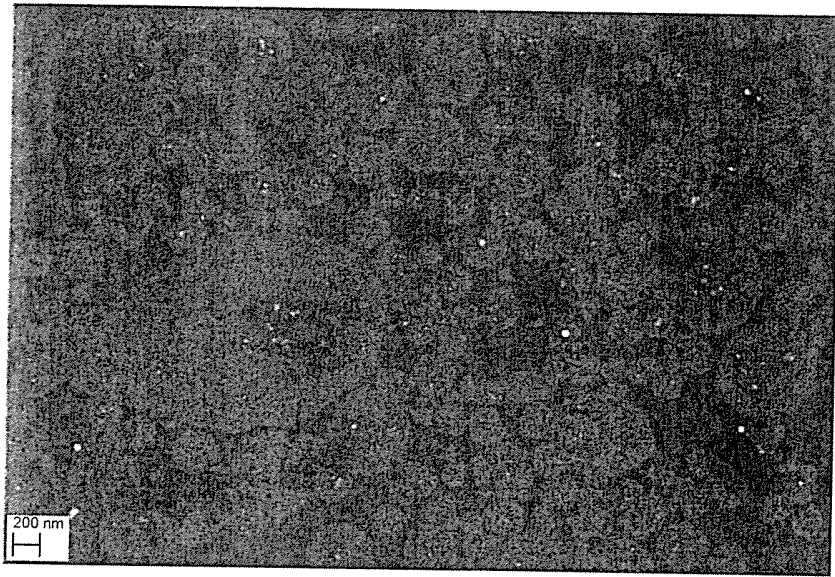


Fig. 10

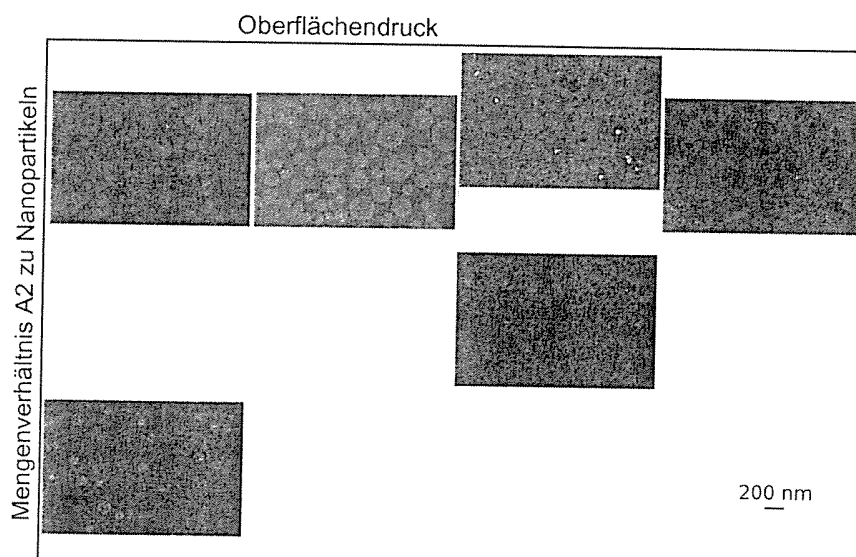


Fig. 11

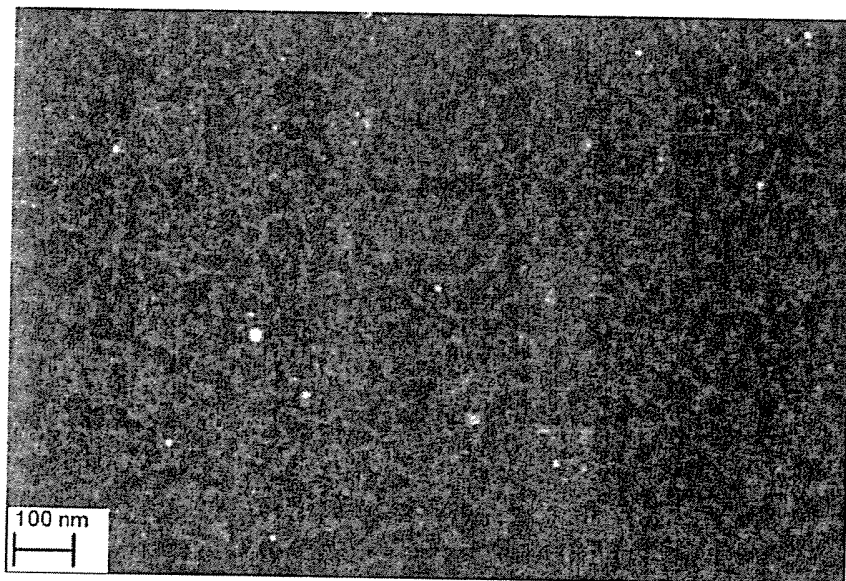


Fig. 12

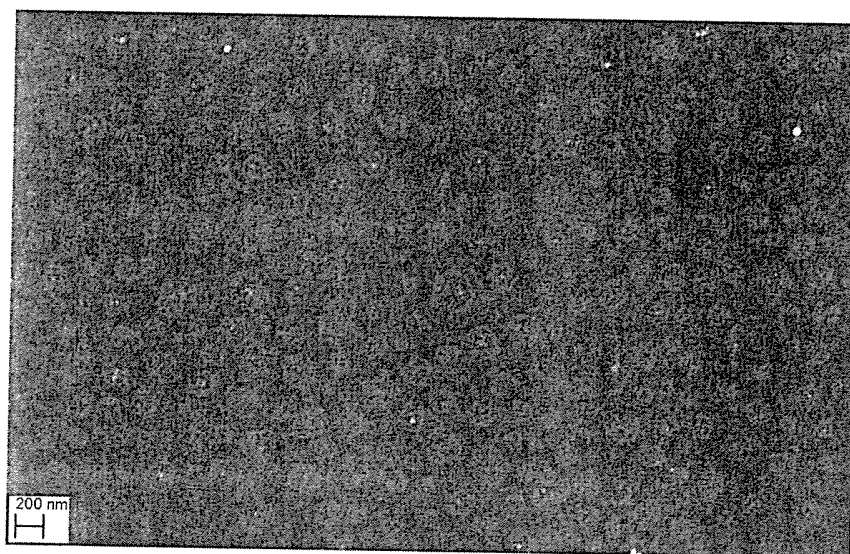


Fig. 13

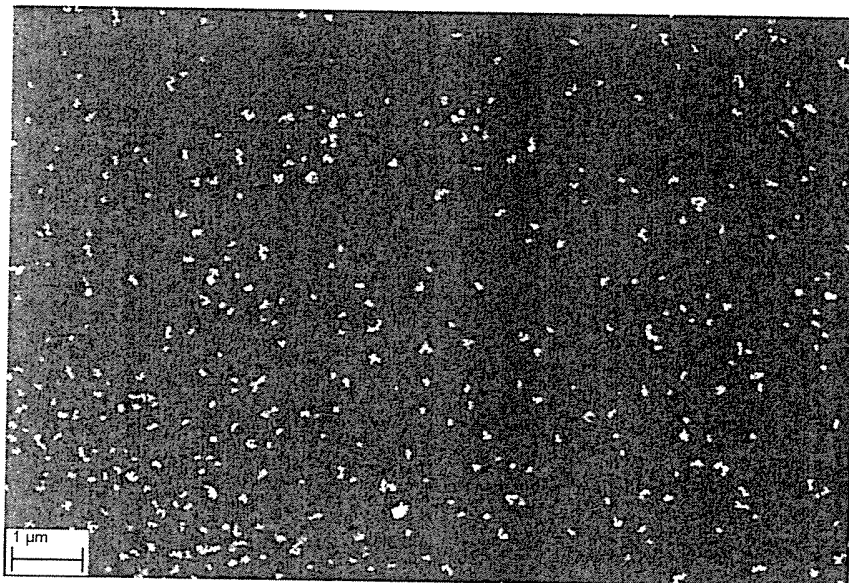


Fig. 14

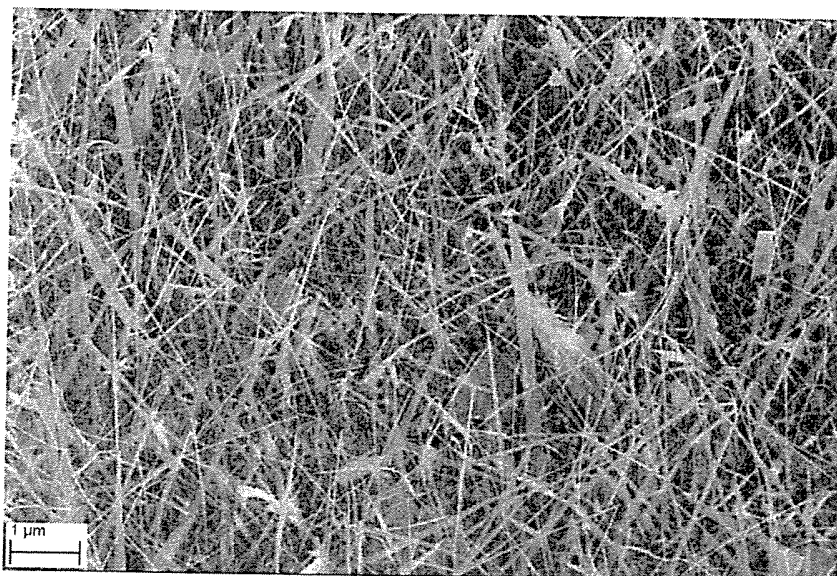


Fig. 15

