



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 10 2004 029 595 B4** 2006.07.27

(12)

Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2004 029 595.6**

(22) Anmeldetag: **18.06.2004**

(43) Offenlegungstag: **12.01.2006**

(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: **27.07.2006**

(51) Int Cl.⁸: **C08F 8/42** (2006.01)

G11B 5/714 (2006.01)

C23C 14/00 (2006.01)

C08F 2/46 (2006.01)

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

(73) Patentinhaber:

**Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, 24118
Kiel, DE**

(74) Vertreter:

BOEHMERT & BOEHMERT, 24105 Kiel

(72) Erfinder:

**Biswas, Abhijit, Dr., 24143 Kiel, DE; Greve, Henry,
Dipl.-Ing., 24114 Kiel, DE; Faupel, Franz, Prof. Dr.,
24226 Heikendorf, DE; Zaporozhchenko, Vladimir,
Dr., 24113 Kiel, DE**

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
gezogene Druckschriften:

DE 103 16 379

US2004/00 71 951 A1

US2002/00 55 239 A1

US 64 95 208 B1

Nanostructured Materials, 2002, S. 97-113

(CAPLUS AN 2003:279046);

**Vysokomol. Soedin., Ser. A, 2001, Bd. 43, S. 1993-
2000;**

(54) Bezeichnung: **Verfahren zur Herstellung eines Nanosäulen-Arrays in einer Polymer-Matrix**

(57) Hauptanspruch: Verfahren zur Herstellung eines Nanosäulen-Arrays in einer Polymer-Matrix auf einem Substrat durch gleichzeitige Abscheidung von Metall- und Polymerdampf aus der Gasphase, dadurch gekennzeichnet, dass das Verhältnis der Aufdampftrate von Metall zur Aufdampftrate von Polymer größer als 0,6 gewählt wird, wobei das Polymer ein Fluoropolymer ist.

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung eines Nanodraht-Arrays in einer Polymer-Matrix nach dem Oberbegriff des Hauptanspruchs. Die Erfindung betrifft auch ein Verfahren zur Herstellung magnetischer Speichermedien.

[0002] Magnetische Speichermedien sind unerlässliche Bestandteile der Computertechnik. Sie tragen nichtflüchtig die Software zum Rechnerbetrieb und gestatten zugleich die kontinuierliche Datenaktualisierung. Forschung und Entwicklung sind heute u. a. auf die Steigerung der Speicherdichte, auf weitergehende Miniaturisierung und auf kostengünstige Herstellung gerichtet.

[0003] Die Festplatte eines Computers umfasst eine starre, rotierbare Substratscheibe, auf der ein magnetischer Film angeordnet ist. Der Film besteht aus einem Matrixmaterial mit darin befindlichen, magnetischen Partikeln. Er wird durch einen Schreibkopf lokal magnetisiert, indem die Partikel durch ein externes Feld bleibend ausgerichtet werden. Ein Lesekopf misst die lokale Magnetisierung in einzelnen Bereichen des Films. Jeder Bereich, dem ein einzelnes Datenbit zugeordnet wird, umfasst ein oder mehrere magnetische Partikel.

[0004] Es wurde bereits erkannt, dass eine Steigerung der Speicherdichte mit einer Verkleinerung dieser Datenbit-Bereiche einhergehen muss. Die physikalische Grenze ist offenbar das thermische Umklappen der Magnetisierung bei sehr kleinen magnetischen Partikeln im Bereich einiger Nanometer (Superparamagnetismus). Durch Kristall- oder Formanisotropie können Nanopartikel gegen thermisches Umklappen stabilisiert werden.

[0005] Um die Wechselwirkung benachbarter, nanoskaliger Bits zu minimieren, kann auf eine ausreichende Beabstandung der magnetischen Partikel nicht verzichtet werden. Es ist deshalb sinnvoll, für eine Anordnung der Partikel in einer Matrix zu sorgen, die die Partikel zugleich voneinander separiert.

[0006] Geeignete Kandidaten zur Bildung von magnetischen Speicherfilmen sind die so genannten Metall-Polymer-Nanokomposite. Sie bestehen aus nanoskaligen, voneinander separierten Metallclustern in einer elektrisch isolierenden Polymermatrix. Von besonderem Interesse für Speicheranwendungen sind ferromagnetische Metalle als Clustermaterial. In Clustern mit wenigen Nanometern Durchmesser ist jeweils nur die Ausbildung einer einzigen magnetischen Domäne möglich. Bei geeigneter Wahl des Matrixpolymers werden die ferromagnetischen Partikel vor Umwelteinflüssen durch die Matrix geschützt, was besonders die Haltbarkeit eines Datenspeichers erhöht.

[0007] Der im Prinzip stufenlos einstellbare Anteil des Metallvolumens am Gesamtvolumen des Nanokomposits (Füllungsgrad, „filling factor“) gestattet in weiten Grenzen die Kontrolle der elektrischen, magnetischen und optischen Eigenschaften der Metall-Polymer-Nanokomposite.

[0008] Metall-Polymer-Nanokomposite lassen sich u. a. nasschemisch herstellen. Diese Verfahren, bei denen die Nanokomposite z.B. aus Polymersuspensionen und Metallsalzlösungen o. ä. durch Entfernen der Lösungsmittel gewonnen werden, sind schon allein wegen des Verbleibs der Lösungsmittel nachteilig. Zudem ist die Kontrolle der Clustergrößenverteilung in engen Grenzen schwierig, und es lassen sich ebenfalls nur schwer gezielte Legierungskonzentrationen einstellen.

[0009] Eine Möglichkeit, Metall-Polymer-Nanokomposite ohne Lösungsmittel und mit verbesserten Kontrollmöglichkeiten herzustellen, ist die Abscheidung von Metall- und Polymerdampf aus der Gasphase auf ein Substrat. Unter Vakuumbedingungen (Atmosphärendruck $< 10^{-4}$ hPa und ggf. Schutzgas) werden eines oder mehrere Metalle (z.B. in Form von Drähten) und eines oder mehrere Polymere (z.B. Granulate) oder Monomere thermisch verdampft, und die Dämpfe kondensieren gleichzeitig auf einem Substrat.

[0010] Zur Begriffsklärung sei hier gesagt, dass es sich beim „Verdampfen“ des Polymers tatsächlich um seine chemische Zersetzung handelt, bei der kovalente Bindungen gebrochen werden. So entstehen niedermolekulare Fragmente, die über ungepaarte Valenzelektronen verfügen und zunächst in die Gasphase übergehen. Ein solches Gas aus Fragmentradikalen soll unter dem Begriff „Polymerdampf“ verstanden werden. Gleichsam ist auch der Begriff „Kondensation“ des Polymerdampfs nicht im üblichen physikalischen Sinne aufzufassen, sondern vielmehr als eine Repolymerisation auf dem Substrat, bei der eine amorphe oder teilkristalline Polymermatrix entsteht. Die allgemeinen Grundlagen der Abscheidung von Polymeren aus einer Gasphase sind Stand der Technik (z.B. nachzulesen in W. N. Gill, S. Rogojevic, T. Lu, Low Dielectric Constant Materials for IC Applications, Editors: P. S. Ho, J. Leu, W. W. Lee, Springer Series in Advanced Microelectronics, Springer, Heidelberg, 2003, S. 95).

Stand der Technik

[0011] Die DE 103 16 379.4 zeigt eine Variante der gleichzeitigen Kondensation von Polymer und Metall auf mit der homogen verteilte, sphärische Metallcluster mit enger Clustergrößenverteilung zu erhalten sind. Dabei kann ein Füllungsgrad von etwa 20% erreicht werden, ohne dass Perkolation auftritt, d.h. die Cluster sind nicht elektrisch leitend miteinander verbunden. Steigert man die Verdampfungsrate des Me-

talls weiter, wird die Perkolationsschwelle überschritten und die Leitfähigkeit des Komposits drastisch erhöht. Das Komposit verliert dann seine günstigen Eigenschaften z.B. zur Fertigung von Hochfrequenz-Induktoren. Ein besonderer Vorteil der Abscheidung aus der Gasphase ist die Möglichkeit, durch Kontrolle der Verdampfungsraten mehrerer Metalle auch Legierungscluster in situ herzustellen.

[0012] Ganz allgemein ist das Abscheidungsverfahren zur Herstellung von Nanokompositen kompatibel mit der Prozesstechnik bei der Mikroelektronikfertigung.

[0013] Zur Ausbildung signifikanter magnetischer Momente in ferromagnetischen Partikeln ist es bekanntermaßen vorteilhaft, wenn die Partikel nicht sphärisch sind, sondern stattdessen eine Formanisotropie aufweisen. Ein sehr hohes Aspektverhältnis (=Länge/Durchmesser) ist typisch für so genannte Nanosäulen („nano columns“), die auf einem magnetischen Datenspeicher vorzugsweise senkrecht zum Substrat ausgerichtet sein sollten.

[0014] Die US 2004/0071951 A1 schlägt eine Reihe von Möglichkeiten vor, Arrays aus auf dem Substrat vertikal stehenden Nanosäulen in einer nichtmagnetischen Matrix zu erzeugen. Die meisten dort beschriebenen Verfahren setzen einen ersten Herstellungsschritt zur Erzeugung freistehender, weitgehend regelmäßig beabstandeter Nanosäulen voraus, der mit einem in der Regel aufwendigen Arbeitsgang der Nanostrukturierung einhergeht. Das nichtmagnetische Matrixmaterial dient vor allem der mechanischen Stabilisierung des Nanosäulen-Arrays und wird erst in einem zweiten Herstellungsschritt eingebracht.

[0015] Eine zweite Möglichkeit zur Erzeugung von magnetischen Nanosäulen stammt ebenfalls aus der US 2004/0071951 A1. Es wird dort vorgeschlagen, superparamagnetische Partikel (Durchmesser < 3 nm) in einer viskosen Matrix auf das Substrat zu bringen. Unter Einwirkung eines externen Magnetfeldes senkrecht zum Substrat richten sich die beweglichen Partikel zu Ketten entlang der Feldlinien aus, wobei sie ferromagnetische Eigenschaften gewinnen. Nach Aushärten der zunächst fließfähigen Matrix entsteht ein permanentes Nanosäulen-Array.

[0016] Eine weitere Möglichkeit, ein Nanosäulen-Array anzulegen, besteht u. a. in der Elektrodeposition von Metall in einer nanoporösen Matrix, wie die US2002/0055239 A1 lehrt. Die Säulenstruktur wird dabei zunächst im Matrixmaterial erzeugt, bei dem es sich um ein Kopolymer aus wenigstens zwei verschiedenen Polymeren (z.B. Polystyrol und Polymethylmethacrylat (PMMA)) handelt, das z.B. über einen Spincoating-Prozess auf das Substrat gebracht wird. Beim Ausheizen in einem elektrischen Feld bil-

den sich selbstorganisiert Mikrodomänen, in denen nur eines der beiden Polymere vorliegt. Selektive Degradation eines Polymers, z.B. des PMMA mit UV-Licht, und Entfernen der Rückstände hinterlässt eine regelmäßig poröse Matrix mit zylinderförmigen Poren senkrecht zum Substrat. In einem zweiten Schritt werden die Poren dann z.B. mit magnetischem Material aufgefüllt.

[0017] Den drei exemplarisch angeführten Verfahren zur Herstellung von Nanosäulen-Arrays ist – abseits aller technischer Unterschiede – gemein, dass sie jeweils einen eigenen Verfahrensschritt zur Bildung der (insbes. ferromagnetischen) Nanosäulen und zur Herstellung einer festen, nichtmagnetischen Matrix, die die Nanosäulen stabilisiert, separiert und vor Umwelteinflüssen schützt, vorsehen. Die Umsetzung eines Herstellungsverfahrens in getrennten Arbeitsgängen ist zeitaufwendiger, meist teurer und – soweit eine Änderung von Umgebungsbedingungen notwendig ist – auch mit höherem Ausschussrisiko behaftet als ein Ein-Schritt-Prozess.

Aufgabenstellung

[0018] Es ist daher die Aufgabe der Erfindung, ein Verfahren anzugeben, das die Erzeugung der Nanosäulen und der Matrix in einem einzigen Arbeitsgang gestattet, wobei zugleich eine hohe Säulendichte und ein hohes Aspektverhältnis der Säulen realisiert werden.

[0019] Die Aufgabe wird gelöst durch ein Verfahren mit den Merkmalen des Hauptanspruchs. Die Unteransprüche geben vorteilhafte Ausgestaltungen an.

[0020] Das erfindungsgemäße Verfahren nutzt ein dem Fachmann bislang unbekanntes Phänomen der selbstorganisierten Nanosäulenbildung bei der simultanen Abscheidung von Metall und Polymer aus der Gasphase. Als Polymer ist dabei vorteilhafterweise eines gewählt, das aufgrund seiner niedrigen Oberflächenenergie gering an Metall haftet.

[0021] Die Säulenbildung kann bei ferro-, dia- und paramagnetischen Metallen auftreten (Elementmetalle oder Legierungen), wenn diese mit einem Polymer mit niedriger Oberflächenenergie kopolymerisiert werden. Allerdings müssen nicht alle Materialkombinationen zu der gefundenen Selbstorganisation neigen. Erfindungsgemäß lassen sich unter Nutzung der Säulenbildung in einem einzigen Arbeitsschritt Nanosäulen-Arrays mit den geforderten Eigenschaften für Speichermedien mit ultrahoher Speicherdichte herstellen.

[0022] Während der Kondensation von Metall- und Polymerdampf auf einem (weitgehend beliebigen) Substrat lassen sich die Aufdampfraten (definiert als aufgedampfte Schichtdicke pro Zeiteinheit) von Me-

tall und Polymer getrennt überwachen und anhand der einstellbaren Verdampfungsraten beider Komponenten auch regeln. Gemessen wird dazu etwa die Eigenfrequenz eines ebenfalls mit Dampf beaufschlagten Schwingquarzes, die sich mit aufwachsender Schichtdicke in bekannter Weise ändert.

[0023] Das Aufdampfverhältnis ρ ($= \text{Rate}_{\text{Metall}} / \text{Rate}_{\text{Polymer}}$) wird nach dem Stand der Technik zur Erzeugung von Kompositen mit interessanten magnetischen Eigenschaften auf Werte von maximal etwa 0,4 eingestellt. Dies korrespondiert mit den relativ geringen Füllungsgraden, die sich noch unterhalb der Perkolationschwelle erzielen lassen.

[0024] Bei Verwendung eines Polymers mit niedriger Oberflächenenergie zeigt sich nun überraschend, dass sich oberhalb eines Schwellwertes von ρ nicht immer ungeordnet perkolierende Cluster in der Polymermatrix bilden. Vielmehr kann eine Vorzugsrichtung senkrecht zum Substrat entstehen, so dass metallische Nanosäulen wachsen, die lateral auch weiterhin durch die Matrix separiert bleiben. Diese Säulen können dabei ein Aspektverhältnis von 40 und mehr aufweisen.

[0025] Beispielhaft und als besonders bevorzugtes Ausführungsbeispiel hinsichtlich Speichermedien wird die Erfindung im Folgenden mit einem fluorhaltigen Polymer und einem ferromagnetischen Metall beschrieben. Das ferromagnetische Metall kann auch eine in situ erzeugte Legierung sein, d.h. nicht alle verdampften Metalle müssen selbst Ferromagnetismus zeigen.

[0026] Die Fluoropolymere zeichnen sich ganz allgemein durch hohe Beständigkeit und niedrige Oberflächenenergien aus. Letzteres ist die Ursache für einen kleinen Haftkoeffizienten der Metallatome auf dem Polymer. Dadurch kehren auf dem Polymer auftreffende Metallatome entweder rasch in die Gasphase zurück, oder sie besitzen ausreichende Beweglichkeit entlang der Oberfläche, um sich an bereits bestehende Metallcluster als Nukleationszentren anzulagern. Auf diese Weise wachsen die Nanosäulen nach einer Primärnukleation auch weiterhin isoliert voneinander.

[0027] Die Matrix kann ebenfalls durch Polykondensation verschiedener Monomere gebildet werden, wobei jedoch i. a. auch Wasser entsteht, was zur Oxidation der Metalle führen kann.

[0028] Die Existenz der Säulenstruktur lässt sich anhand von TEM-Aufnahmen belegen. Ein im Labor erzeugtes Nanosäulen-Array aus $\text{Fe}_{54}\text{Ni}_{29}\text{Co}_{17}$ -Säulen in einer Teflon AF[®]-Matrix weist Säulen mit Durchmessern um 6 nm und Längen bis zu 250 nm auf. Der mittlere Abstand der Säulen voneinander liegt in der Größenordnung des Durchmessers. Rein rechnerisch ergibt sich daraus für die Speicherdichte eines Mediums auf Basis der Erfindung die Größenordnung Terabit/cm².

risch ergibt sich daraus für die Speicherdichte eines Mediums auf Basis der Erfindung die Größenordnung Terabit/cm².

[0029] Die Säulenbildung ist kritisch von der Wahl des Verhältnisses der Aufdampfverhältnisse ρ abhängig. Wenn sich Säulen bilden, geht dies mit einem deutlich erhöhten Füllungsgrad einher, den man im Nachhinein am fertigen Komposit z.B. mittels EDX (Energy Dispersive X-Ray Analysis) ermitteln kann. Am Beispiel von Kompositen aus verdampftem Teflon AF[®] und $\text{Fe}_{54}\text{Ni}_{29}\text{Co}_{17}$ -Draht zeigt sich, dass der Füllungsgrad sprunghaft von wenigen Prozent beim Clusterkomposit auf Werte oberhalb von etwa 60% beim Säulenkomposit ansteigt, sobald ρ einen Schwellwert überschreitet. Die genaue Lage des Schwellwertes hängt vom jeweiligen Materialsystem und insbesondere von der eingestellten Substrattemperatur ab. Für das Beispielsystem werden so etwa $\rho_{\text{S}}^{100^\circ\text{C}} = 1,5$ und $\rho_{\text{S}}^{300^\circ\text{C}} = 2,3$ ermittelt. Aus einer Abschätzung der Haftkoeffizienten von Metall und Polymer und mit Blick auf Füllungsgrade von Säulenkompositen oberhalb von 60% lässt sich schließen, dass die niedrigsten Schwellwerte zum Einsetzen der Säulenbildung bei 0,6 liegen dürften.

[0030] Das Beispielsystem lässt ebenfalls erkennen, dass ein tiefgekühltes Substrat (-30°C) für keine Wahl von ρ zur Säulenbildung neigt.

[0031] Auch wenn manche Materialsysteme nicht – oder nicht unter allen Bedingungen – zur selbstorganisierten Säulenbildung neigen, will sich die Erfindung nicht nur auf das zuvor genannte Beispiel begrenzt verstanden wissen. Wesentliche Merkmale der Erfindung sind die gleichzeitige Abscheidung von Metall und Polymer aus der Gasphase, die Verwendung eines Polymers niedriger Oberflächenenergie und die Kontrolle der Aufdampfverhältnisse.

[0032] Als generelle Regel kann angegeben werden, dass für ein nicht gekühltes, vorzugsweise sogar beheiztes, Substrat und ein bestimmtes Materialsystem, umfassend ein Polymer mit niedriger Oberflächenenergie und wenigstens ein – vorzugsweise ferromagnetisches – Metall, durch eine Messreihe mit variablem Aufdampfverhältnis ein Schwellwert $\rho_{\text{S}} \geq 0,6$ aufzufinden ist, ab dem das selbstorganisierte Wachstum von isolierten Nanosäulen senkrecht zum Substrat – gekennzeichnet durch einen drastischen Anstieg des Füllungsgrades – einsetzt. Das Nanosäulen-Array in der Polymermatrix bildet sich jenseits des Schwellwertes auf jeden Fall dann, wenn ρ und Substrattemperatur konstant gehalten werden.

[0033] Gleichwohl ist nicht davon auszugehen, dass sich für jede beliebige Wahl von $\rho \geq \rho_{\text{S}}$ stets isolierte Nanosäulen bilden werden, denn bei sehr hohem Metaldampfangebot bilden sich irgendwann seitwärts gerichtete Kontakte. Es ist deshalb eine bevor-

zugte Ausgestaltung der Erfindung, bei der Herstellung des Säulenkomposits ein p knapp oberhalb des Schwellwertes einzustellen, um die Wahrscheinlichkeit für solche Kontakte zu minimieren.

[0034] Es ist ebenfalls möglich, die Aufdampfzeiten nach dem Einsetzen der Säulenbildung durch gezielte Variation der Verdampfungsraten zu maximieren, wobei ihr Verhältnis p im Wesentlichen konstant gelassen wird. Dies ist vor allem zur Beschleunigung des Herstellungsprozesses ratsam.

[0035] Auch die Substrattemperatur kann nach dem Einsetzen der Säulenbildung einem zeitlichen Verlauf folgend geregelt werden. Sie ist leicht zu überwachen und kann zur Feinabstimmung des Säulenwachstums oder auch zu dessen (zeitweiliger) Terminierung genutzt werden.

[0036] Die zeitweilige Terminierung des Säulenwachstums kann zur Herstellung von magnetischen Kompositen ausgenutzt werden, bei denen sich das Aspektverhältnis der magnetischen Partikel gezielt einstellen lässt. Auf diese Weise kann die Formanisotropie für Anwendungen bei Frequenzen im GHz-Bereich, z.B. für Induktoren gezielt maßgeschneidert werden. In diesem Frequenzbereich muss ein Kompromiss gefunden werden. Eine zu große Anisotropie führt zu kleinen Permeabilitäten. Eine zu kleine Anisotropie führt zu einer relativ niedrigen ferromagnetischen Resonanzfrequenz, die neben den Wirbelstromverlusten eine weitere Grenze für den Einsatz bei hohen Frequenzen darstellt.

[0037] Es ist weiterhin eine vorteilhafte Ausgestaltung der Erfindung, das erzeugte Säulenkomposit einer anschließenden Wärmebehandlung in einem externen Magnetfeld zu unterziehen, welches entlang der Säulen gerichtet ist („field annealing“). So können die magnetischen Eigenschaften der Säulen vor allem für die Datenspeicherung durch Ausrichtung der magnetischen Domänen optimiert werden.

[0038] Ganz besonders bevorzugt, da weniger zeitaufwendig, wird das externe Magnetfeld bereits während der Kondensation senkrecht zum Substrat angelegt, so dass die Optimierung der Ausrichtung schon bei der Kompositbildung erfolgt („field deposition“).

Ausführungsbeispiel

Ausführungsbeispiel

[0039] Im Folgenden werden die Apparatur zur Durchführung der Kodeposition und ein Verfahrensweg zur Herstellung eines Metall-Polymer-Nanokompositfilmes mit der beschriebenen Säulenstruktur konkreter beschrieben.

[0040] In einer Vakuumkammer befinden sich ein heizbarer Probenhalter aus Kupfer und in einem Abstand von ca. 10 cm hierzu der Polymer- und der Metallverdampfer. Beide Verdampfer entsprechen vom Prinzip her einer Knudsenzelle und sind in einem Winkel von ungefähr 20° auf die Mitte des Probenhalters ausgerichtet. Vor diesem befindet sich ein Shutter. Zwei Schwingquarze zur Bestimmung der Aufdampfzeiten von Metall und Polymer sind geometrisch so angeordnet, dass einer der beiden durch Abschattung durch den Probenträger den Materiefluss von nur einem Material bestimmt.

[0041] Zunächst wird ein Substratfilm aus Upilex® (ein hochtemperaturbeständiges Polyimid) auf dem Probenhalter mittels eines kohlenstoffhaltigen Klebefilms fixiert, welcher einen ausreichenden thermischen Kontakt gewährleistet. Der Probenhalter wird auf 200°C erhitzt. Der Shutter vor der Probe ist geschlossen. Der mit $\text{Fe}_{54}\text{Ni}_{22}\text{Co}_{17}$ befüllte Metallverdampfer wird aufgeheizt und durch die angelegte Leistung wird über den kalibrierten Schwingquarz eine Aufdampfzeit von ca. 1,5 nm/min eingestellt. Anschließend wird der mit Teflon® AF 1600 (Dupont) befüllte Polymerverdampfer auf die notwendige Temperatur erhitzt, um eine Aufdampfzeit von ca. 0,6 nm/min zu erreichen. Diese Rate wird durch den zweiten Schwingquarz bestimmt, welcher nur dem Materiefluss des Polymers ausgesetzt ist. Das Aufdampfzeitenverhältnis zwischen Metall und Polymer liegt bei 2,5 zu 1. Nun wird der Shutter vor der Probe für 120 Minuten geöffnet. In diesem Zeitraum wird ein Film von ca. 200 nm Dicke auf dem Upilex® Substrat abgeschieden, welcher die gewünschte Säulenstruktur aufweist.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung eines Nanosäulen-Arrays in einer Polymer-Matrix auf einem Substrat durch gleichzeitige Abscheidung von Metall- und Polymerdampf aus der Gasphase, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Verhältnis der Aufdampfzeit von Metall zur Aufdampfzeit von Polymer größer als 0,6 gewählt wird, wobei das Polymer ein Fluoropolymer ist.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass ein ferromagnetisches Elementmetall oder eine ferromagnetische Legierung zusammen mit dem Polymer abgeschieden wird.

3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass die ferromagnetische Legierung eines aus der Gruppe der Elemente Fe, Ni oder Co enthält.

4. Verfahren nach Anspruch 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, dass die ferromagnetische Legierung die Elemente Fe, Ni und Co enthält.

5. Verfahren nach Anspruch 2 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass die ferromagnetische Legierung $\text{Fe}_{54}\text{Ni}_{29}\text{Co}_{17}$ ist.

6. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Temperatur des Substrats bei Werten oberhalb der Raumtemperatur geregelt wird.

7. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Aufdampfraten von Metall und Polymer nach Einsetzen der Säulenbildung bei konstantem Verhältnis erhöht werden.

8. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das fertige Nanosäulen-Array in der Polymermatrix in einem externen Magnetfeld getempert wird, das entlang der Nanosäulen gerichtet ist.

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass die gleichzeitige Kondensation von Metall- und Polymerdampf in einem externen Magnetfeld stattfindet, das senkrecht zum Substrat gerichtet ist.

10. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass das Säulenwachstum zur Erzeugung von magnetischen Teilchen mit maßgeschneidertem Aspektverhältnis unterbrochen wird.

Es folgt kein Blatt Zeichnungen