



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 603 15 569 T2** 2008.05.21

(12) **Übersetzung der europäischen Patentschrift**

(97) **EP 1 398 296 B1**

(51) Int Cl.⁸: **B81C 1/00** (2006.01)

(21) Deutsches Aktenzeichen: **603 15 569.3**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **03 016 349.7**

(96) Europäischer Anmeldetag: **18.07.2003**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **17.03.2004**

(97) Veröffentlichungstag

der Patenterteilung beim EPA: **15.08.2007**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **21.05.2008**

(30) Unionspriorität:

TO20020772 06.09.2002 IT

(84) Benannte Vertragsstaaten:

AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LI, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK, TR

(73) Patentinhaber:

C.R.F. Società Consortile per Azioni, Orbassano, Torino, IT

(72) Erfinder:

**Lambertini, Vito, 10049 Giaveno (Torino), IT;
Repetto, Piermario, 10145 Torino, IT; Perlo, Piero,
12048 Sommariva Bosco (Cuneo), IT**

(74) Vertreter:

**Grünecker, Kinkeldey, Stockmair &
Schwanhäusser, 80538 München**

(54) Bezeichnung: **Verfahren zur Herstellung von dreidimensionalen Nanostrukturen und Mikrostrukturen**

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

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

Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung dreidimensionaler Strukturen nanometrischer oder mikrometrischer Abmessungen.

[0002] Auf bestimmten Technologiegebieten werden derzeit Bauelemente verwendet, die mit Oberflächenvorsprüngen versehen sind, die eine Höhe von bis zu 500 Mikron aufweisen, und die entsprechend definitiven Geometrien angeordnet sind, beispielsweise um Kanäle zu bilden.

[0003] Bauelemente, die durch dreidimensionale Oberflächenstrukturen der genannten Art gekennzeichnet sind, werden üblicherweise in mikroelektronischen mechanischen Systemen (MEMS) verwendet, zum Zweck der Herstellung von Beleuchtungsvorrichtungen, mikromechanischen Vorrichtungen und Mikrofluid-Vorrichtungen, beispielsweise zur Herstellung von diffraktiven optischen Geräten, medizinischen Geräten, Mikroturbinen und dergleichen.

[0004] Nach dem Stand der Technik können die genannten Oberflächen mit Vorsprüngen nanometrischer oder mikrometrischer Abmessungen, die gemäß vorgegebenen Mustern angeordnet sind, nicht durch maschinelle Arbeitsprozesse erhalten werden. Um diese dreidimensionalen Strukturen zu erhalten, werden infolgedessen mehr oder weniger herkömmliche photolithographische Technologien verwendet, je nach der Höhe und der Art der gewünschten Vorsprünge.

[0005] Die zu diesem Zweck verwendeten photolithographischen Verfahren sind außerordentlich komplex und kostenintensiv. Ein weiterer Nachteil der photolithographischen Verfahren besteht darin, dass sie keine dreidimensionalen Strukturen mit einem hohen Aspektverhältnis ermöglichen, worunter das Verhältnis zwischen der Höhe eines Vorsprungs und dem Abstand desselben von einem benachbarten Vorsprung zu verstehen ist.

[0006] EP-A-710508 offenbart ein Verfahren zur Herstellung einer Beschichtung mit dreidimensionalen optischen Effekten. Das Verfahren umfasst Pigmente in der noch flüssigen Beschichtung, die durch das Magnetfeld eines vorher magnetisch konfigurierten flachen Übertragungsmediums ausgerichtet werden. Dieses kann aus einem harten, magnetischen Teilchen enthaltenden Plastikfilm bestehen, der auf einen zusätzlichen Träger aufgebracht wird. Die magnetische Konfiguration des Transfermediums wird, nach dessen gleichförmiger Magnetisierung, unter Verwendung eines stiftförmigen, einseitigen Elektromagneten und einer weichmagnetischen Basis ausgeführt.

[0007] Der Zweck der vorliegenden Erfindung ist

das Aufzeigen eines neuen Verfahrens, das die Herstellung dreidimensionaler nanometrischer oder mikrometrischer Strukturen ermöglicht, die Eigenschaften ähnlich denjenigen aufweisen, die unter Verwendung photolithographischer Technologien erhalten werden können, jedoch mit beträchtlich weniger Kostenaufwand und Komplexität im Vergleich zu Letzteren.

[0008] Die oben genannten sowie weitere Zwecke werden gemäß der vorliegenden Erfindung durch ein Verfahren zur Herstellung dreidimensionaler Strukturen nanometrischer oder mikrometrischer Abmessungen erzielt, insbesondere von Oberflächen, aus denen sich Vorsprünge mit einer Höhe von bis zu 500 Mikron erheben, die entsprechend definitiven Geometrien angeordnet sind, wobei das Verfahren das Merkmal aus Anspruch 1 aufweist.

[0009] Bevorzugte Merkmale des erfindungsgemäßen Verfahrens sind in den abhängigen Ansprüchen 2 bis 15 dargestellt.

[0010] Weitere Zwecke, Merkmale und Vorteile der vorliegenden Erfindung gehen deutlich aus der folgenden ausführlichen Beschreibung sowie aus den angehängten Zeichnungen hervor, die einzig als erklärendes und nicht beschränkendes Beispiel bereitgestellt werden, und in denen

[0011] [Fig. 1](#) eine schematische Darstellung eines Mikroteilchens aus einer Mischung von Fotopolymeren ist, die in dem erfindungsgemäßen Verfahren verwendet wird;

[0012] [Fig. 2](#) und [Fig. 3](#) schematische Darstellungen des Verhaltens von Mikroteilchen des in [Fig. 1](#) dargestellten Typs sind, jeweils in Abwesenheit und in Anwesenheit eines externen magnetischen Feldes;

[0013] [Fig. 4](#) eine schematische Darstellung einer Vorrichtung ist, die zur Ausbildung von dreidimensionalen mikrometrischen Strukturen gemäß der Erfindung verwendet wird;

[0014] [Fig. 5](#) und [Fig. 6](#) schematische Darstellungen eines ersten möglichen Ausführungsbeispiels und eines zweiten möglichen Ausführungsbeispiels eines Teils der Vorrichtung aus [Fig. 4](#) sind;

[0015] [Fig. 7](#) eine schematische Darstellung des Funktionsprinzips einer Vorrichtung ist, die zur Ausbildung von dreidimensionalen nanometrischen Strukturen gemäß der Erfindung verwendet wird;

[0016] [Fig. 8](#) und [Fig. 9](#) schematische Darstellungen, jeweils in Draufsicht und in Seitenansicht, eines ersten Ausführungsbeispiels der Vorrichtung gemäß [Fig. 7](#) sind; und

[0017] [Fig. 10](#) und [Fig. 11](#) schematische Darstellungen, jeweils in Draufsicht und in Seitenansicht, eines zweiten Ausführungsbeispiels der Vorrichtung gemäß [Fig. 7](#) sind.

[0018] Wie zuvor erwähnt, besteht die der vorliegenden Erfindung zugrunde liegende Idee darin, zum Zwecke der Herstellung dreidimensionaler nanometrischer oder mikrometrischer Strukturen Fotopolymere in Verbindung mit Nanoteilchen zu verwenden, die mittels eines magnetischen oder elektrischen Feldes im Raum ausgerichtet werden können.

[0019] Gemäß der Erfindung werden dann in eine Fotopolymer- oder UV-Mischung eine oder mehrere ausrichtbare Substanzen eingebracht, die die Mischung selbst für die Wirkung einer äußeren Kraft, insbesondere eines elektrischen oder magnetischen Feldes, empfindlich machen. Das genannte äußere Feld wird außerhalb des Systems angemessen moduliert, um das Höhenwachstum der gewünschten Oberflächenvorsprünge zu ermöglichen, und die Steuerung ihrer geometrischen Definition zu verbessern.

[0020] Die zum Zwecke der Umsetzung der Erfindung verwendeten UV-Mischungen können von einer Art sein, die per se bekannt ist, und aus acrylierten Oligomeren und Monomeren zusammengesetzt sein. Andererseits können die Substanzen, die Eigenschaften aufweisen, dass sie in Anwesenheit von elektrischen oder magnetischen Feldern ausgerichtet werden können, aus Ferrofluiden, elektrorheologischen Materialien, Flüssigkristallen, oder magnetorheologischen Materialien bestehen, die per se ebenso bekannt sind.

[0021] Um das Prinzip, auf dem die Erfindung beruht, in schematischer Form darzustellen, ist [Fig. 1](#) eine schematische Darstellung eines Mikroteilchens **1** in einer Fotopolymer-Matrix einer in dem erfindungsgemäßen Verfahren verwendeten Mischung, die Nanoteilchen **2** enthält, die ausgerichtet werden können, die hier Nanomagneten sein sollen. In [Fig. 2](#) ist eine Fotopolymer-Mischung M, die die Nanoteilchen **1** enthält, schematisch in Abwesenheit eines magnetischen Feldes dargestellt, während in [Fig. 3](#) dieselbe Mischung M in Anwesenheit eines magnetischen Feldes dargestellt ist. Wie aus dem Vergleich zwischen [Fig. 2](#) und [Fig. 3](#) hervorgeht, ermöglicht es das Anlegen eines angemessen polarisierten magnetischen Feldes, dass die gewünschte Ausrichtung der Nanoteilchen **1** auf Grund des Vorhandenseins der Nanomagneten **2** darin erzielt werden kann.

[0022] Gemäß der Erfindung können zwei unterschiedliche Funktionsverfahren in Betracht gezogen werden, die je nach den nanometrischen und mikrometrischen Abmessungen der Oberflächenvorsprünge, die erzielt werden sollen, eingesetzt werden können,

und insbesondere zur Ausbildung von mikrometrischen Strukturen mit Vorsprungsabmessungen von ungefähr 50 bis ungefähr 500 Mikron, und zur Ausbildung von nanometrischen Strukturen mit Vorsprungsabmessungen von ungefähr 50 Nanometer bis 1 Mikron.

[0023] Die zur Erzeugung dreidimensionaler mikrometrischer Strukturen mit einem hohen Aspekt-Verhältnis gemäß der Erfindung verwendete Methodik kann die folgenden Schritte beinhalten:

- 1) Solubilisierung der ausrichtbaren Nanoteilchen in der Fotopolymer- oder UV-Mischung;
- 2) Aufbringen der UV-Mischung in Form eines viskosen, flüssigen Films auf eine Binär- oder Halbtonmaske;
- 3) Aussetzen der Mischung gegenüber der UV-Strahlung durch die vorgenannte Maske und in Anwesenheit eines elektrischen und/oder magnetischen Feldes zur Bestimmung des gewünschten Wachstums der Oberflächenvorsprünge mit der Steuerung des Polymerisationszustandes der Mischung; und
- 4) endgültige Polymerisation der Mischung.

[0024] Die Funktionsschritte 1) und 2) können unter Verwendung von Techniken durchgeführt werden, die per se bekannt sind, und werden daher hier nicht beschrieben; dasselbe gilt hinsichtlich der Herstellung der Maske, auf die in Schritt 2) Bezug genommen wird.

[0025] [Fig. 4](#) stellt ein mögliches Ausführungsbeispiel einer Vorrichtung dar, die zur Ausführung des Schrittes 3) geeignet ist.

[0026] In [Fig. 4](#) bezeichnet das Bezugszeichen **10** eine allgemeine UV-Strahlungsquelle, wie beispielsweise eine UV-Lampe, der ein IR-Filter nachgeschaltet ist, der mit **11** bezeichnet ist.

[0027] Die Bezugszeichen **12**, **13** und **14** bezeichnen jeweils einen ersten dichroitischen Spiegel, einen zweiten dichroitischen Spiegel und einen schwarzen Schirm. Die Bauelemente **12**, **13** und **14** werden dazu verwendet, einen mit F bezeichneten Strahl UV-Strahlung, der durch die Lampe **10** erzeugt wird, auf eine Binärmaske oder eine Halbtonmaske, die mit **15** bezeichnet ist, zu richten. Auf Letzterer wird mit Modalitäten, die per se bekannt sind, die Mischung M in Form eines viskosen, flüssigen Films aufgebracht.

[0028] Mit **16** wird ein Personalcomputer bezeichnet, der dazu dient, außer der Lampe **10** auch die Stromversorgung **17** eines Elektromagneten **18** zu steuern, wobei Letzterer dazu verwendet wird, während des Aussetzens gegenüber UV-Strahlung ein elektrisches oder magnetisches Feld an die Mischung M anzulegen.

[0029] Das System zur Steuerung der Polymerisation der Mischung M mittels UV-Strahlung gewährleistet in Echtzeit die Änderung des Brechungsindex der flüssigen Mischung M in den Bereichen mit unterschiedlichen Vernetzungsgraden und die Modifizierung der Intensität des von dem Elektromagneten **18** erzeugten Feldes. Zu diesem Zweck ist es mittels eines mit **19** bezeichneten Lasers möglich, die Verteilung der Intensität in Echtzeit in der Reihenfolge der Brechung zu steuern, die sich aus der Überlagerung des auf der Maske befindlichen Gitters und des aus der UV-Mischung in dem Polymerisationsschritt bestehenden Gitters ergibt. Die genannte Verteilung der Intensität in der Reihenfolge der Brechung wird von einer Fernsehkamera erfasst, die mit **20** bezeichnet ist und sich einige Zentimeter von der Maske **15** entfernt befindet.

[0030] Die UV-Strahlung F wird beim Durchtritt durch das Gitter der Maske **15** moduliert und erzeugt rechtzeitig eine Modulation des Brechungsindex der Fotopolymermischung M. Diese Modulation ist mit dem unterschiedlichen Vernetzungszustand verbunden, der durch die mit unterschiedlichen Intensitäten beleuchteten Bereiche erreicht wurde.

[0031] Die Mischung M wird gleichzeitig der UV-Strahlung F und dem externen magnetischen oder elektrischen Feld ausgesetzt, das von dem Elektromagneten **18** in einer inerten Umgebung erzeugt wird, um die hemmende Wirkung von Sauerstoff zu verhindern. In dem Beispiel aus [Fig. 4](#) wird diese inerte Umgebung durch eine Stickstoff enthaltende Kammer **21** bereitgestellt.

[0032] Das Zusammenwirken des externen, von dem Elektromagneten **18** erzeugten Feldes und der UV-Strahlung mittels Ausrichtung der Feldlinien des Strahls F und der Maske **15** ermöglicht es, dreidimensionale Strukturen mit einem hohen Aspektverhältnis zu erhalten.

[0033] [Fig. 5](#) ist eine schematische Darstellung des Falles einer Maske, die zur Ausbildung von dreidimensionalen Strukturen mit der kombinierten Wirkung von UV-Strahlung und magnetischem Feld verwendet wird. In dieser Figur bezeichnet die Ziffer **15** eine Binärmaske, der Buchstabe M bezeichnet die Mischung aus Fotopolymer und magnetischen Nanoteilchen, in der Vorsprünge R definiert sind. Das Bezugszeichen **18A** bezeichnet eine obere magnetische Stütze, und F bezeichnet den Strahl der UV-Strahlung. In diesem Fall führt die magnetische Stütze **18A** die Funktion des Elektromagneten **18** aus [Fig. 4](#) aus.

[0034] In dem Fall der [Fig. 6](#) wird stattdessen ein elektrisches Feld verwendet, um die Ausrichtung der Nanoteilchen der Mischung M zu erreichen, das beispielsweise aus elektrorheologischen Materialien

oder Flüssigkristallen besteht. Es sei darauf hingewiesen, dass in diesem Fall zwischen der Binärmaske **15** und der Mischung M, aus der die Vorsprünge R ausgebildet werden sollen, ein leitender Film **22** zum Anlegen des elektrischen Felds, das zur Ausrichtung der Nanoteilchen notwendig ist, bereitgestellt ist.

[0035] Unabhängig von der Art des angelegten externen Feldes wird das anfängliche „Anschwellen“ einiger Bereiche des Polymerfilms M bei der hier vorgeschlagenen Methodik dadurch erzielt, dass diese uneinheitlicher UV-Strahlung ausgesetzt werden, beispielsweise durch Verwendung einer Halbtonmaske **15**, die in der Lage ist, einen Teil der einfallenden Intensität gemäß dem bestimmten, vorgegebenen Muster zu absorbieren.

[0036] Die oben genannte Art der Bestrahlung ist in Verbindung mit der Steuerung in Echtzeit der Änderung des Brechungsindex in der Lage, eine Uneinheitlichkeit in der Ausbildung des Polymergitters zwischen den hellsten Bereichen, also denjenigen, die am meisten angestrahlt werden, und den dunkelsten Bereichen, also denjenigen, die am wenigsten angestrahlt werden, zu erzeugen, wobei die Vorsprünge R anfänglich durch ein Phänomen des Transfers von Material von den dunklen Bereichen zu den hellen Bereichen wachsen.

[0037] Das Anlegen des elektrischen oder magnetischen Feldes ermöglicht dann weiteres „Wachstum“ der genannten hellen Bereiche, um die gewünschte Höhe und geometrische Definition für die Vorsprünge R zu erreichen. Nach Ausbildung der Vorsprünge R auf die oben beschriebene Weise wird der Film M vollständiger UV-Strahlung ausgesetzt, um die endgültige Polymerisation der Mischung zu erreichen. Aus den durchgeführten praktischen Versuchen ergab sich, dass die Kombination von UV-Strahlen und externem elektrischem und/oder magnetischem Feld eine deutliche Wirkung auf die Höhe der erreichbaren Vorsprünge hat, und damit auf das Aspektverhältnis der dreidimensionalen Struktur.

[0038] Die zur Erzeugung dreidimensionaler nanometrischer Strukturen verwendete Methodik kann stattdessen die folgenden Schritte aufweisen:

- 1) Solubilisierung der Nanopartikel, die ausgerichtet werden können, in der Fotopolymer-Mischung;
- 2) Aufbringen der Mischung in der Form eines flüssigen Films auf ein transparentes Substrat;
- 3) Prepolymerisation der Mischung, also ihre Umformung von flüssiger Mischung in Gel, durch Aussetzen gegenüber UV-Strahlen;
- 4) Wachsen der Vorsprünge mittels einer nanometrischen Spitze; und
- 5) endgültige Polymerisation der Mischung.

[0039] Auch in diesem Fall können die Arbeitsschritte 1) und 2) unter Verwendung von Techniken durch-

geführt werden, die per se bekannt sind, und die daher hier nicht beschrieben werden; dasselbe gilt für die Herstellung des transparenten Substrats, auf das in Schritt 2) Bezug genommen wird.

[0040] [Fig. 7](#) ist eine schematische Darstellung der Funktionsweise einer Vorrichtung, die zum Zwecke der Ausbildung von dreidimensionalen nanometrischen Strukturen gemäß der Erfindung verwendet wird.

[0041] In [Fig. 7](#) bezeichnet das Bezugszeichen **30** ein transparentes Substrat, auf dem ein Film aus Fotopolymer-Mischung M aufgebracht ist, die Nanomagneten enthält. Nach diesem Aufbringen wird ein Strahl UV-Strahlung erzeugt, der mit F1 bezeichnet ist, der das transparente Substrat **30** durchdringt und auf dem Film M auftrifft, wie aus dem oberen Teil a) von [Fig. 7](#) ersichtlich. Dadurch wird eine Prepolymerisation der Mischung erzielt, das heißt, ihre Umwandlung von einem flüssigen Zustand in einen gelatinösen Zustand.

[0042] Sobald die Mischung in ein Gel umgewandelt wurde, wird eine magnetische Spitze **31** neben dem Film M positioniert, wie aus dem mittleren Teil b) von [Fig. 7](#) ersichtlich. Die Spitze **31**, die nanometrische Abmessungen hat (sie hat einen Enddurchmesser von 20–30 nm), kann aus Silizium hergestellt sein und mit einem magnetischen Film beschichtet sein. Die Positionierung der Spitze **31**, die von einem entsprechenden mobilen Schlitten **32** gestützt wird, wird über Software (beispielsweise durch einen Personalcomputer) zur Erzeugung der Vorsprünge R gesteuert. Auf diese Weise wird der Film M, örtlich begrenzt, gemäß dem eingestellten Muster dem von der Spitze **31** erzeugten magnetischen Feld ausgesetzt, um die Nanomagneten, die Teil der Mischung M sind, gemäß einem ähnlichen Prinzip wie dem oben beschriebenen nach oben anzuziehen. Auch in diesem Fall kann nachfolgend das Wachstum der Vorsprünge R aus dem Film M in Richtung der Spitze **31** beobachtet werden.

[0043] Wie schließlich aus dem unteren Teil c) der [Fig. 7](#) ersichtlich, ist eine optische Faser **33** mit dem Arm verbunden, der die Spitze **31** trägt, um einen UV-Strahl, der mit F2 bezeichnet ist, in der Nähe der Spitze selbst zu fokussieren und dadurch die vorher ausgebildete dreidimensionale Struktur zu vernetzen, also ihre endgültige Polymerisation zu erreichen.

[0044] Aus dem oben Gesagten wird deutlich, wie es durch Steuern des Schlittens **32** auf geeignete Weise und damit durch Positionieren der Spitze **31** und der optischen Faser **33** möglich ist, verschiedene Arten von Vorsprüngen R zu erzeugen.

[0045] [Fig. 8](#) bis [Fig. 11](#) stellen rein beispielhaft ei-

nige mögliche Formen von Vorsprüngen R dar, die mit dem beschriebenen Verfahren erhalten werden können, wobei insbesondere in den [Fig. 8](#) und [Fig. 9](#) der Fall von punktförmigen Vorsprüngen R gezeigt wird, während in [Fig. 10](#) und [Fig. 11](#) der Fall von durchgehenden Vorsprüngen R dargestellt wird.

[0046] Aus der vorangehenden Beschreibung gehen die Eigenschaften und Vorteile der Erfindung deutlich hervor. Wie gezeigt wurde, wird insbesondere ein neues Verfahren zur Herstellung von dreidimensionalen Strukturen nanometrischer oder mikrometrischer Abmessungen unter Verwendung bestimmter Fotopolymer-Mischungen mit ausrichtbaren Nano-Einschlüssen beschrieben, die unter dem Einfluss von UV-Strahlung in Kombination mit einem elektrischen oder magnetischen Feld in der Lage sind, sich zu vernetzen.

[0047] Die Vorrichtung zur Steuerung des Polymerisationszustands, die einen festen Bestandteil der Erfindung bildet, ermöglicht ein hohes Maß an Reproduzierbarkeit der Höhe, der Präzision und des Aspektverhältnisses der erhaltenen Vorsprünge.

[0048] Selbstverständlich können die baulichen Details und die Ausführungsbeispiele hinsichtlich des hier rein beispielhaft Beschriebenen und Dargestellten variieren, ohne das Prinzip der Erfindung zu beeinträchtigen.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Herstellen von Strukturen nanometrischer oder mikrometrischer Abmessungen, insbesondere von Oberflächen, von denen sich Vorsprünge (R) mit einer Höhe von bis zu 500 Mikron erheben, die entsprechend definitiven Geometrien angeordnet sind, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Verfahren die folgenden Schritte umfasst:

- Erhalten einer Fotopolymer- oder UV-Mischung (M), die Nanopartikel aufweist, die im Raum ausgerichtet werden können,
- Aufbringen einer Schicht der Mischung (M) auf ein entsprechendes Substrat (**15, 30**),
- Aussetzen der Schicht (M) gegenüber UV-Strahlung (F, F1) und Steuern der Polymerisation der Mischung (M), um eine Prepolymerisation davon zu erhalten,
- Anlegen eines magnetischen und/oder elektrischen Feldes, das in der Lage ist, die erwünschte Ausrichtung oder Positionierung der Nanopartikel zu erzeugen, um das Wachsen von Oberflächenvorsprüngen (R) aus der Schicht zu induzieren, und
- endgültige Polymerisation der Mischung (M).

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei das Aussetzen der Schicht (M) gegenüber UV-Strahlung (F, F1) von dem Anlegen des magnetischen und/oder elektrischen Feldes begleitet wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1, wobei das Aussetzen der Schicht (M) gegenüber UV-Strahlung (F, F1) und das Anlegen des magnetischen und/oder elektrischen Feldes in inerter Umgebung (**21**), d. h. ohne Sauerstoff, erfolgen.

4. Verfahren nach Anspruch 1, wobei die UV-Strahlung (F, F1) örtlich auf die Bereiche begrenzt ist, in denen die Oberflächenvorsprünge (R) hergestellt werden müssen.

5. Verfahren nach Anspruch 4, wobei die UV-Strahlung (F) mittels einer Binärmaske oder einer Halbtonmaske (**15**) örtlich begrenzt wird.

6. Verfahren nach Anspruch 1, wobei die Schicht (M) uneinheitlicher UV-Strahlung (F) ausgesetzt wird, mit daraus resultierender Uneinheitlichkeit bei der Bildung des Polymergitters zwischen Bereichen der Schicht, die durch die UV-Strahlung (F) am meisten angestrahlt werden, und Bereichen der Schicht, die am wenigstens durch die UV-Strahlung (F) angestrahlt werden.

7. Verfahren nach Anspruch 6, wobei das Steuern des Polymerisationszustandes der Mischung (M) durch Detektieren der Änderung des Brechungsindex der Schicht (M) in den Bereichen mit verschiedenen Vernetzungsgraden und dem folgerichtigen Modifizieren der Intensität des magnetischen oder elektrischen Feldes durchgeführt wird.

8. Verfahren nach Anspruch 1, wobei das Anlegen eines örtlich begrenzten Magnetfeldes mittels einer magnetischen Spitze (**31**) erfolgt, die entsprechend einer Anzahl von Achsen (x, y, z) an die Mischungsschicht (M) angrenzend positioniert werden kann.

9. Verfahren nach Anspruch 8, wobei die Spitze (**31**) nanometrische Abmessungen hat, aus Silizium gefertigt ist und mit einem magnetischen Film beschichtet ist.

10. Verfahren nach Anspruch 1, wobei die Polymerisation der Mischung erreicht wird, indem dieselbe in Abwesenheit des magnetischen und/oder elektrischen Feldes UV-Strahlung (F, F1) ausgesetzt wird.

11. Verfahren nach Anspruch 10, wobei die Polymerisation der Mischung erhalten wird, indem die Vorsprünge (R) in Abwesenheit des magnetischen und/oder elektrischen Feldes örtlich begrenzt UV-Strahlung (F2) ausgesetzt werden.

12. Verfahren nach den Ansprüchen 8 und 11, wobei Einrichtungen (**33**) zum Fokussieren eines Strahls UV-Strahlung (F2) in der Nähe der Spitze (**31**) bereitgestellt sind, um die Vernetzung eines Vor-

sprungs (R) zu ermöglichen, der zuvor auf der Spitze selbst ausgebildet wurde.

13. Verfahren nach Anspruch 1, wobei das Polymer- oder UV-Gemisch acrylierte Oligomere und Monomere enthält.

14. Verfahren nach Anspruch 1, wobei die Nanopartikel, die ausgerichtet werden können, aus der Gruppe ausgewählt werden, die aus Ferrofluiden, elektrorheologischen Materialien, Flüssigkristallen und magnetorheologischen Materialien besteht.

15. Verfahren nach Anspruch 1, wobei die Schritte b) bis e) unter Verwendung einer Vorrichtung durchgeführt werden, die umfasst:

- einen Träger (**15, 30**) zum Aufbringen der Schicht einer Fotopolymer- oder UV-Mischung (M), die die Nanopartikel enthält, die im Raum ausgerichtet werden können,
- Einrichtungen (**10 bis 14, 33**) zum Aussetzen der Schicht gegenüber UV-Strahlung (F, F1),
- Einrichtungen (**15, 30**) zum Steuern der Polymerisation der Mischung (M), um eine Prepolymerisation davon zu erhalten,
- Einrichtungen (**18, 31**) zum Anlegen eines magnetischen und/oder elektrischen Feldes, das zum Erzeugen einer erwünschten Ausrichtung oder Positionierung der Nanopartikel der Mischung (M) in der Lage ist, um das Wachsen von Oberflächenvorsprüngen (R) aus der Schicht (M) zu induzieren, und
- Einrichtungen zum Ausführen der endgültigen Polymerisation der Mischung (M).

Es folgen 4 Blatt Zeichnungen

Fig. 1

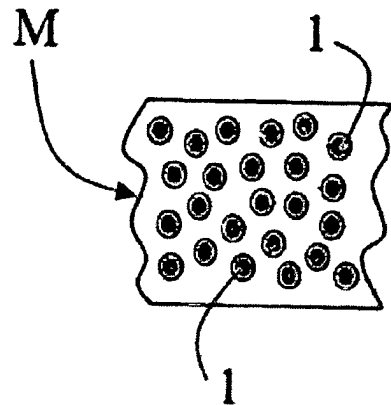
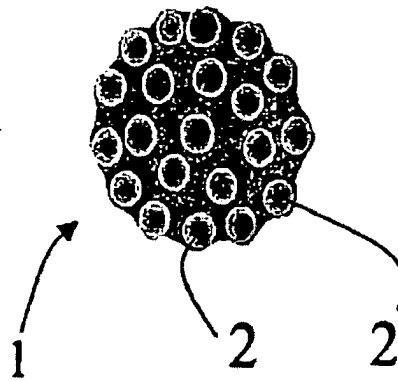


Fig. 2

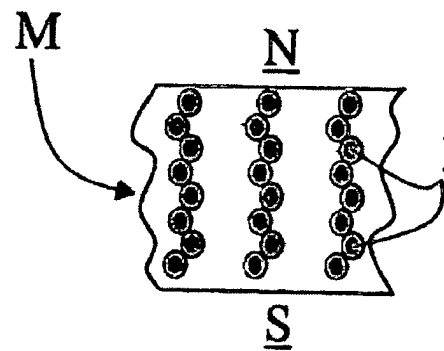
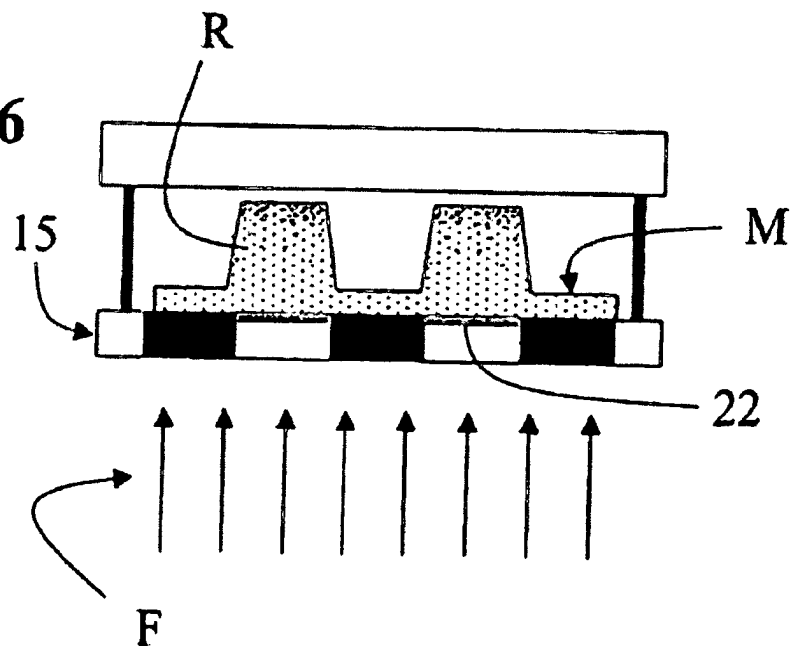


Fig. 3

Fig. 6



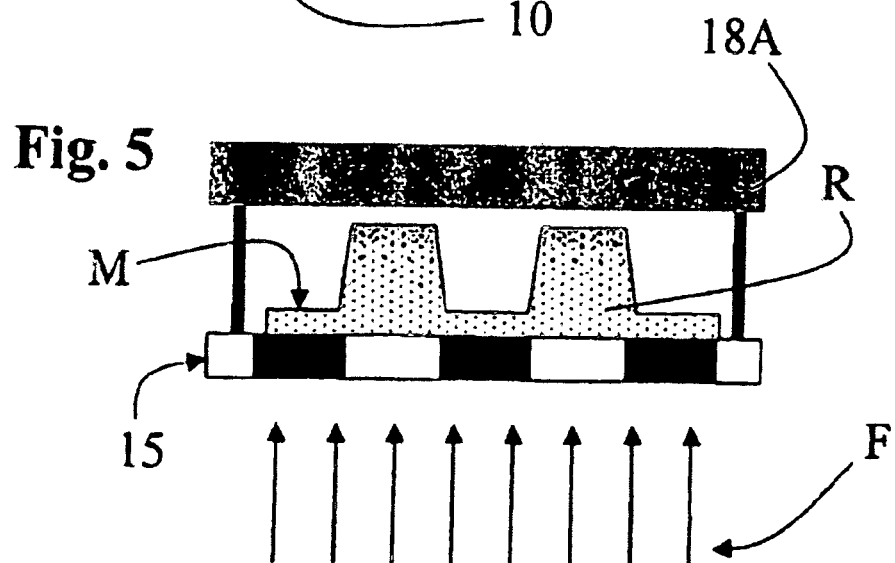
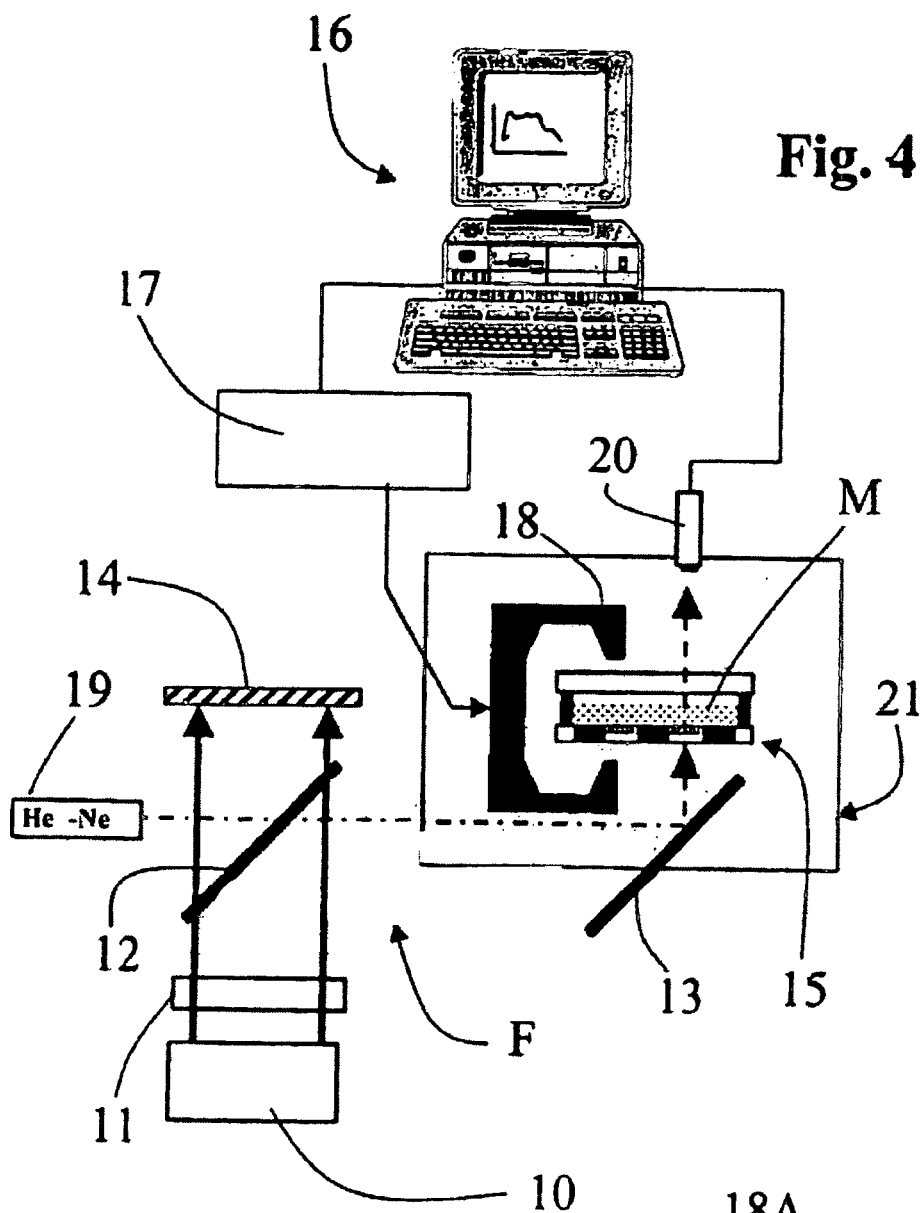
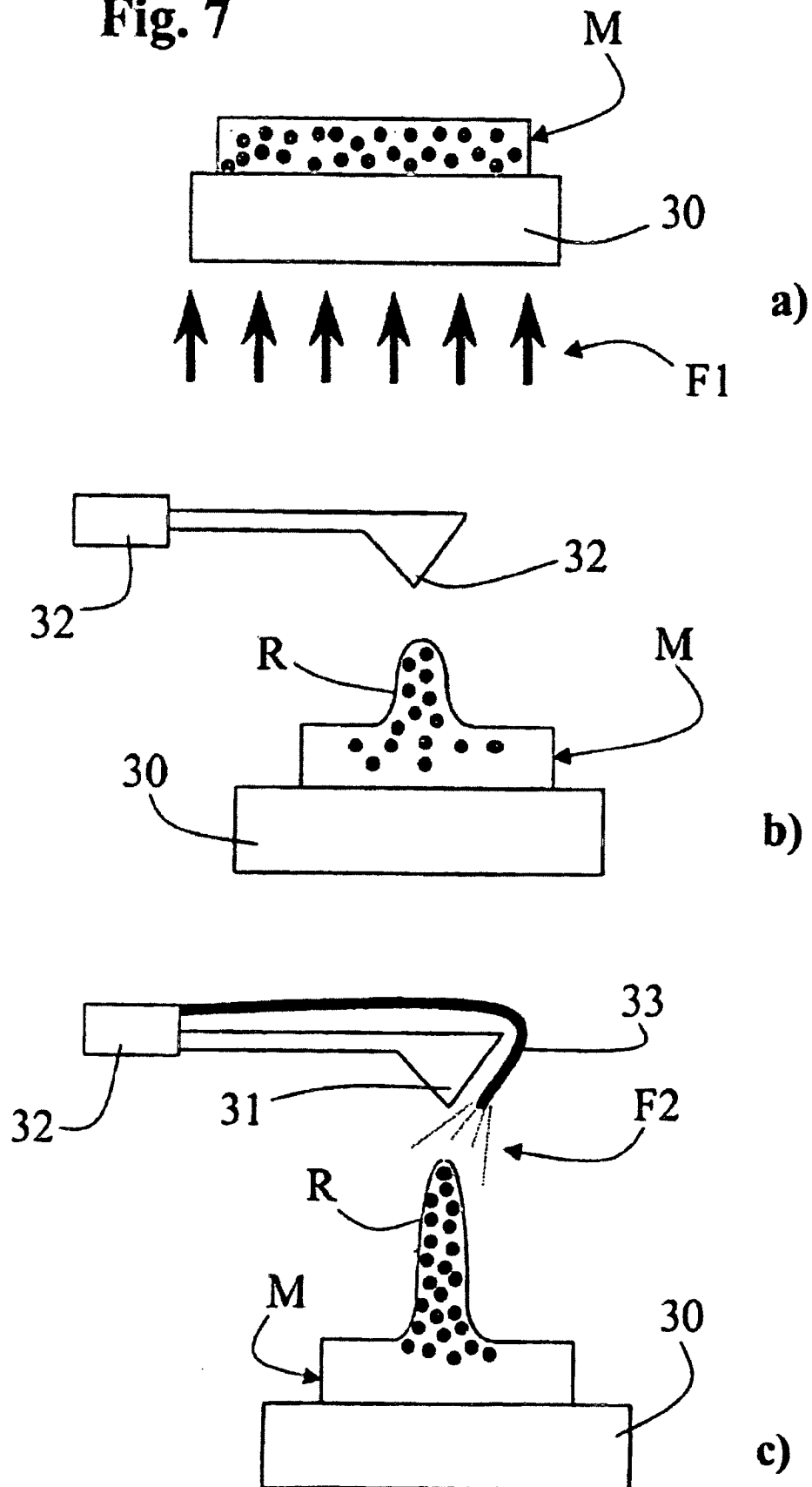


Fig. 7



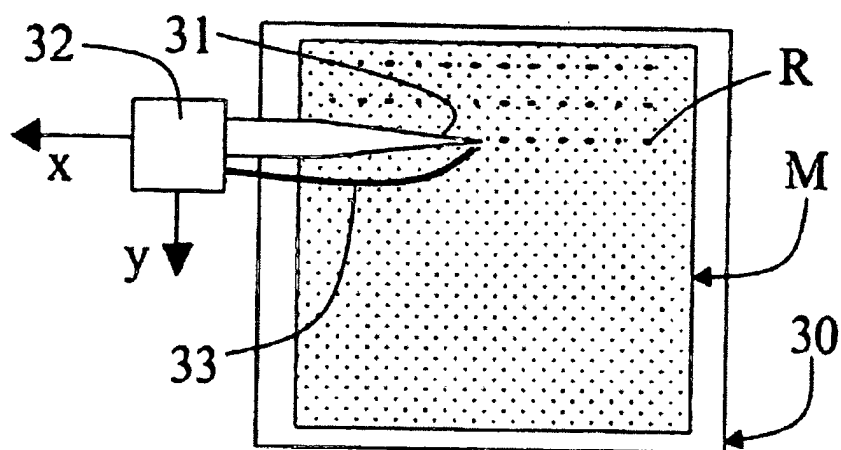


Fig. 8

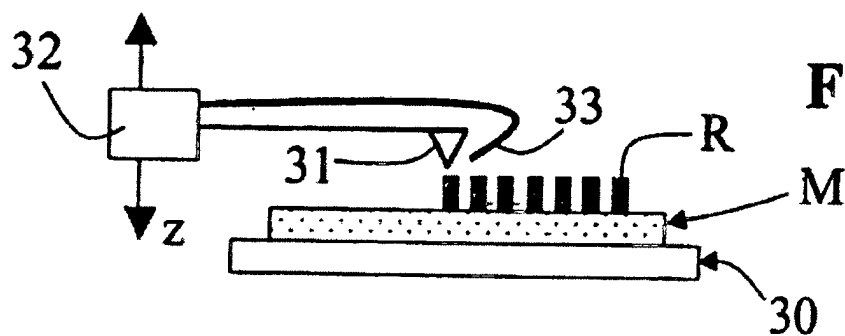


Fig. 9

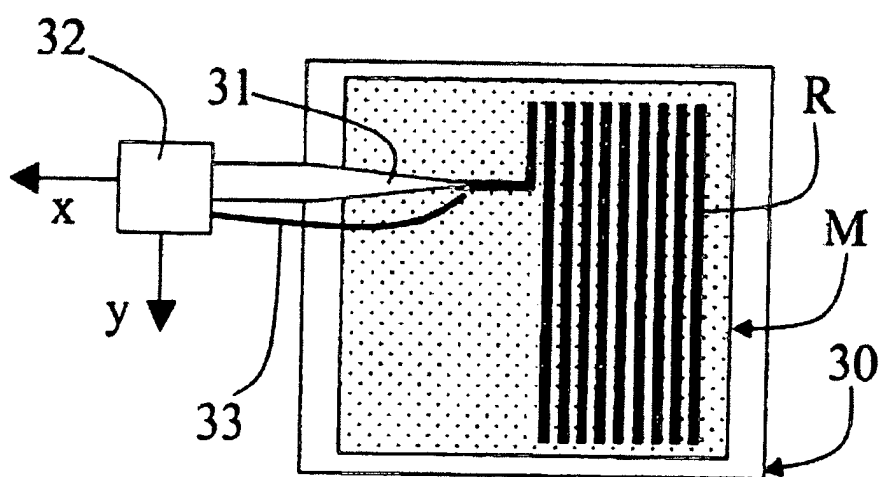


Fig. 10

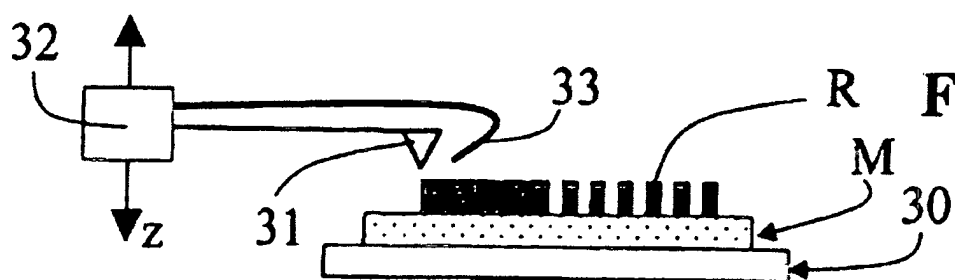


Fig. 11