

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

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum

Internationales Büro

(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
7. März 2013 (07.03.2013)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2013/029609 A2

- (51) Internationale Patentklassifikation:
G01N 33/543 (2006.01) *G01N 33/53* (2006.01)
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE2012/200058
- (22) Internationales Anmeldedatum:
31. August 2012 (31.08.2012)
- (25) Einreichungssprache: Deutsch
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch
- (30) Angaben zur Priorität:
10 2011 053 174.2
31. August 2011 (31.08.2011) DE
10 2011 055 115.8
7. November 2011 (07.11.2011) DE
10 2012 106 365.6
16. Juli 2012 (16.07.2012) DE
- (71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): **HELMHOLTZ-ZENTRUM DRESDEN - ROSSENDORF E.V.** [DE/DE]; Bautzner Landstr. 400, 01328 Dresden (DE).
- (72) Erfinder; und
(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **SCHMIDT, Heidemarie** [DE/DE]; Bayreuther Str. 21, 01187 Dresden (DE). **BAUMGART, Christine** [DE/DE]; Grunaer Str. 15, 01069 Dresden (DE). **SKORUPA, Iona** [DE/DE]; Königsbrücker Landstr. 353, 01108 Dresden (DE). **SCHMIDT, Oliver, G.** [—/DE]; HZDR, FSTT, Bautzner Landstr. 400, 01328 Dresden (DE). **MÜLLER, Martin** [—/DE]; HZDR, FSTT, Bautzner Landstr. 400, 01328 Dresden (DE). **HELM, Manfred** [AT/DE]; Tzschimmerstr. 28, 01309 Dresden (DE).
- (81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: CARRIER MATERIAL FOR ELECTRICALLY POLARISABLE BIOMATERIALS, POLYELECTROLYTE MATERIALS, ATOMS, IONS AND MOLECULES; PRODUCTION AND USE THEREOF

(54) Bezeichnung : TRÄGERMATERIAL FÜR ELEKTRISCH POLARISIERBARE BIOMATERIALIEN, POLYELEKTROLYTMATERIALIEN, ATOME, IONEN UND MOLEKÜLE; DESSEN HERSTELLUNG UND VERWENDUNG

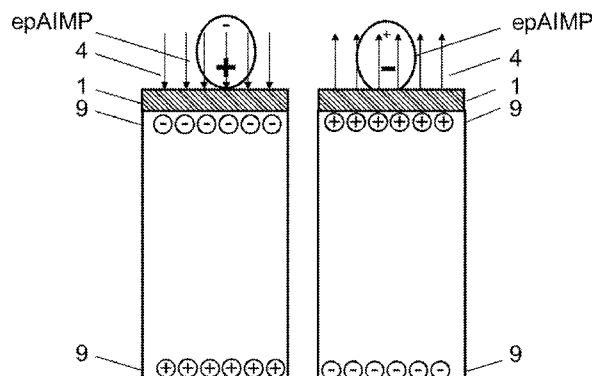


Fig. 2

(57) Abstract: The invention relates to carriers for biomaterials, for polyelectrolyte materials, for electrically polarisable atoms, ions, molecules, wherein the material of the carriers is compatible with materials that are used in microelectronics. By means of the carrier, the arrangement of the biomaterials or biomolecules and optionally biomolecules, biomaterials, biological functional units or cells adsorbed thereon can be influenced in a targeted manner. The design of complex molecular machines can be fabricated and tested by means of the carriers.

(57) Zusammenfassung:

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]



WO 2013/029609 A2



(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO,

RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

— ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts (Regel 48 Absatz 2 Buchstabe g)

Die Erfindung betrifft Trägermaterialien (Carrier) für Biomaterialien, für Polyelektrolytmaterialien, für elektrisch polarisierbare Atome, Ionen, Moleküle, wobei das Material der Trägermaterialien kompatibel zu Materialien ist, die in der Mikroelektronik verwendet werden. Mit dem Trägermaterial kann die Anordnung der Biomaterialien bzw. Biomoleküle und gegebenenfalls daran adsorbierte Biomoleküle, Biomaterialien, biologische Funktionseinheiten oder Zellen gezielt beeinflusst werden. Der Aufbau komplexer molekularer Maschinen kann mit Hilfe der Trägermaterialien gefertigt und getestet werden.

Trägermaterial für elektrisch polarisierbare Biomaterialien, Polyelektrolytmaterialien, Atome, Ionen und Moleküle; dessen Herstellung und Verwendung

- [0001] Die Erfindung betrifft Trägermaterialien (Carrier) für elektrisch polarisierbare Biomaterialien, für strukturierte einkomponentige Polyelektrolytschichten, mehrkomponentige Polyelektrolytmultischichten oder Schichten vorgebildeter Polyelektrolytkomplexe, für Atome, Ionen und/oder Moleküle (**epAIMP**), die Herstellung bzw. die Ausführungsvarianten dieser Trägermaterialien zur Manipulation, Modifikation und Bewegung einzelner **epAIMP** bis zur Konstruktion molekularer Maschinen **mM**.
- [0002] Unter Manipulation von **epAIMP** wird im Sinne der Erfindung das Anziehen (Binden), das Abstoßen und das Sortieren von **epAIMP** an das Trägermaterial verstanden.
- [0003] Unter Modifikation von **epAIMP** wird im Sinne der Erfindung das Verändern von einzelnen chemischen und/oder physikalischen Eigenschaften der **epAIMP** am Trägermaterial verstanden.
- [0004] Unter Bewegung von **epAIMP** wird im Sinne der Erfindung die gezielt gerichtete Fortbewegung der **epAIMP** auf oder nahe der Oberfläche des Trägermaterials verstanden.

Stand der Technik

- [0005] Elektrisch polarisierbare Biomaterialien, die strukturierten, einkomponentigen Polyelektrolytschichten, die mehrkomponentigen Polyelektrolytmultischichten oder die Schichten vorgebildeter Polyelektrolytkomplexe, die Atome, Ionen und/oder Moleküle (**epAIMP**), richten sich in einem elektrischen Feld aus. In einem homogenen elektrischen Feld wirkt auf den elektrischen Dipol der **epAIMP** ein Drehmoment, welches den Dipol in Richtung des elektrischen Feldes ausrichtet. Im inhomogenen elektrischen Feld erfährt der Dipol der **epAIMP** eine Kraft, die ihn in Gebiete höherer Feldstärke hineinzieht.
- [0006] Die Dynamik der wirkenden Kräfte bestimmt, ob die Trägheitskräfte, welche der Bewegung von **epAIMP** in einem homogenen oder inhomogenen elektrischen Feld entgegenwirken, überwunden werden können. Eine empfohlene Lösung ist die Stick- und Slip-Methode, d.h. das Wirken einer langsam bewegenden Kraft in die gewünschte Richtung und ein schnelles Abstellen der bewegenden Kraft.

- [0007] Ein Biomaterial ist definiert als Substanz natürlichen oder künstlichen Ursprungs, die zeitweilig oder dauerhaft, eigenständig oder als Teil eines Ganzen, jedwedes Gewebe, Organ oder jegliche Funktion des Körpers behandelt, verbessert oder ersetzt (D. F. Williams: *Definitions in Biomaterials. Progress in biomedical Engineering*, 4 ed. Elsevier, Amsterdam 1987.).
- [0008] Biomoleküle sind Moleküle organischer Substanzen, die in Lebewesen vorkommen. Biomoleküle stehen mit Biomaterialien in Wechselwirkung und definieren die biologische Umgebung für Biomaterialien. Im Sinne der Erfindung werden unter Biomoleküle alle natürlichen und künstliche Materialien verstanden,
- die in Lebewesen vorkommen oder von Lebewesen gebildet werden,
 - die künstlich hergestellt werden und natürliche, organische Substanzen nachempfinden, oder
 - an die sich andere (künstliche) Substanzen oder Metalle anlagern können oder angelagert haben und/oder die mit anderen künstlichen oder natürlichen Materialien Verbindungen eingegangen sind.
- [0009] Biomoleküle können elektrostatische Ladungen tragen und damit einen elektrischen Dipol ausbilden. Solche Biomoleküle zählen zu den epAIMP. Die Dipol-Dipol-Wechselwirkungen der polaren Biomoleküle sorgen für die Ausrichtung der Biomoleküle untereinander. Auf der Nanometer-Längenskala gehört die elektrostatische Wechselwirkung zu den Kräften mit der größten Stärke und auch zu denen mit der größten Reichweite. Elektrostatische Kräfte sind auch sehr stark in wässrigen Lösungen und halten so die Biomoleküle voneinander fern.
- [0010] Bei der Untersuchung von Biomaterialien oder Biomolekülen muss das Trägermaterial die Biomaterialien räumlich und zeitlich begrenzt aufnehmen und die Biomaterialien für lokale Anforderungen zur Verfügung stellen. Dabei spielt die Zelladhäsion (Zell-Haftfähigkeit) von Biomaterialien und Biomolekülen an dem Trägermaterial sowie die Zellbeweglichkeit eine wichtige Rolle. Die Mechanismen, die der Zelladhäsion oder Zellbeweglichkeit zu Grunde liegen, sind nicht vollständig erforscht.
- [0011] Es werden biologisch abbaubare und biologisch nicht abbaubare Trägermaterialien für Biomaterialien unterschieden.

- [0012] Biomoleküle können hydrophob oder hydrophil sein. Hydrophobe Biomoleküle sind unpolar. Hydrophile Biomoleküle sind polar und entweder positiv (basisch) oder negativ (sauer) aufladbar.
- [0013] Das invertierte optische oder konfokale Mikroskop ermöglicht die Quantifizierung der einzelnen Zell-Zell- und Zell-Oberflächen-Wechselwirkungen unter physiologischen Bedingungen. Eine Vielzahl von wichtigen Parametern der zellulären Adhäsion, wie zum Beispiel die maximale Zelladhäsionskraft, einzelne Entfaltungsereignisse, die Tether-Charakteristik sowie die Gesamtenergie der elektrostatischen Bindung können damit bestimmt werden.
- [0014] Um Einzelmoleküluntersuchungen mittels Fluoreszenzdetektion an Biomolekülen unter nahezu physiologischen Bedingungen durchführen zu können, müssen die Biomoleküle eine hohe Fluoreszenzaktivität besitzen. Da die wenigsten Moleküle intrinsisch fluoreszierend sind bzw. ihre Fluoreszenzeigenschaften den Anforderungen nicht entsprechen, werden biologisch funktionale Moleküle in der Regel über die kovalente Bindung von eigens zu diesem Zweck entwickelten Farbstoffen markiert (Sauer, Han et al. 1993).
- [0015] Biomoleküle mit ungepaarten Elektronen weisen ein magnetisches Moment auf, das etwa drei Größenordnungen stärker als das Moment eines Protons ist. Mit Methoden der Elektronen-Spin-Resonanz-Spektroskopie (EPR) kann dieses Moment in hochempfindlichen Messungen als Sonde dienen, um strukturelle Informationen auf der atomaren bis hin zur Nanometerskala zu gewinnen.
- [0016] Um nun Biosensoren zu konstruieren, müssen die biologisch aktiven Elemente an Trägerstoffen fixiert werden. Zur Fixierung gibt es die unterschiedlichsten Methoden, man unterscheidet physikalische und chemische Methoden. Zu den physikalischen Methoden zählt vorrangig die Adsorption. Sie ist die einfachste Methode. Auf diesem Wege hergestellte Biosensoren reagieren aufgrund der reversiblen Natur des Bindungsgleichgewichts allerdings auf Änderungen der Umgebungsbedingungen empfindlich. Zu den chemischen Methoden zählen die kovalente Kopplung und die Vernetzung. Bei der kovalenten Kopplung an derivatisierte, wasserunlösliche Träger dürfen nur diejenigen Gruppen des Biomoleküls beteiligt sein, die nicht für die biologische Aktivität zuständig sind.
- [0017] WO/2005/007387 A beschreibt die Nanomanipulation des piezoelektrischen Trägermaterials durch das Anlegen einer elektrischen Spannung, was zu einer Änderung der verspannten Kontaktfläche zwischen Trägermaterial und Biomaterial

bzw. Biomolekül führt. Der Nachteil ist, dass diese piezoelektrischen Trägermaterialien dünn sein müssen, damit die anzulegenden elektrischen Spannungen nicht zu groß werden.

- [0018] Trotz der enormen technologischen Fortschritte in den vergangenen Jahren gibt es nur wenige biosensorische Ansätze, mit denen sich ein Pharma-Screening realisieren lässt. Gründe hierfür sind, dass der "klassische" Biosensor auf der Grundlage von Enzymen und Antikörpern zumeist nur strukturelle und keine funktionellen Informationen liefert und die biomolekulare Interaktionsanalyse mit Biosensoren sehr anspruchsvoll ist. Jedoch können durch Mikro- und Nanotechnologien dem Pharma-Screening mittels Biosensoren neue Impulse verliehen werden. Insbesondere erscheint das "High Content Screening" (HCS), ein paralleles Screening von vielen Effekten, mit Biosensoren realisierbar zu sein und könnte einen Ausweg aus den sich derzeit anbahnenden Engpässen in den Entwicklungs-Pipelines vieler Pharmaunternehmen darstellen.
- [0019] Biosensoren wurden in den vergangenen Jahren für vielfältige analytische Aufgaben entwickelt. Dabei standen Anwendungen aus dem klinisch-medizinischen Bereich, der Fermentationskontrolle, der Qualitätskontrolle von Lebensmitteln und der Umweltanalytik im Vordergrund. Jedoch sind die Einsatzmöglichkeiten von biosensorischen Techniken weitaus vielfältiger: Mit Biosensoren lassen sich einerseits sehr spezifisch Strukturelemente erkennen, die für potentielle Arzneistoffe charakteristisch sind; andererseits können Assays realisiert werden, mit denen sich dann Arzneistoffwirkungen erfassen lassen. Ein Biosensor besteht typischerweise aus einem biologischen Erkennungselement und einem physikalischen Sensor (Transducer). Biosensoren werden meist nach dem Funktionsprinzip ihres Signalwandlers eingeteilt. Man unterscheidet im Wesentlichen elektrochemische, optische, kalorimetrische und mikrogravimetrische Biosensoren. Bei komplexen Systemen, die ganze lebende Zellen enthalten, ist eine solche Einteilung jedoch nicht sinnvoll.
- [0020] Die Polyelektrolytmaterialien besitzen lokale elektrische Dipole, das heißt wahlweise positiv oder negativ geladene funktionelle Gruppen und können durch attraktive elektrostatische Wechselwirkung mit den entgegengesetzt geladen wirkenden Kräften oder Ladungszentren der Trägermaterialien gebunden werden (Physisorption, Adsorption). Solche Polyelektrolytmaterialien zählen zu den epAIMP.
- [0021] Die Polyelektrolytmaterialien (PEL) [M. Schmidt (Vol. Ed.): Polyelectrolytes with Defined Molecular Architecture I, Springer, 2004.] umfassen einkomponentige

5

Polyelektrolytsysteme (PEE), deren Ladungen nur ein Vorzeichen besitzen oder welche nur einen Polyelektrolyttypen (z.B. negativ geladene Polyacrylsäure) enthalten, sowie Polyelektrolyt-Mischsysteme, wie z.B. Polyelektrolytmultischichten (PEM) oder vorgebildete Polyelektrolytkomplexbpartikel (PEC). Die verschiedenen Polyelektrolytmaterialien sind in Fig. 1 skizziert.

- [0022] Einkomponentige PEL-Systeme (PEE) werden durch einfache Adsorption aus Lösungen des jeweiligen PEL in geeigneter Konzentration an den Trägermaterialien gebildet. Bei herkömmlichen Substraten (geringere Oberflächenladungsdichte als die hier beschriebenen) bilden sich hierbei meist nur inhomogene PEL-Schichten (Inseln) aufgrund der elektrostatischen Selbstrepulsion zwischen Oberflächenregionen mit bereits adsorbierten PEL-Schichten und restlichen PEL in Lösung. Die hier anvisierten Trägermaterialien besitzen wesentlich höhere Oberflächenladungsdichten (Werte s. unten). Dadurch können einkomponentige PEL-Schichten mit wesentlich höherem, über eine Monolage hinausgehendem Belegungsgrad entstehen oder zu adsorbierten PEL-Mengen führen, die deutlich von denen abweichen, die bisher experimentell an hochgeladenen Substraten gemessen wurden. Möglicherweise können dadurch neue Erkenntnisse zur Theorie der Polyelektrolytadsorption an festen Oberflächen [z.B. Fleer et al., *Polymers at Interfaces*, Chapman, 1993, R.R. Netz, J.F. Joanny, *Macromolecules*, 32, 9013 (1999), A.V. Dobrynin, M. Rubinstein, *Prog. Polym. Sci.* 30, 1049-1118 (2005)] gewonnen werden oder diese besser in Einklang mit experimentellen Befunden zur Abhängigkeit der adsorbierten PEL-Menge von der Oberflächenladungsdichte gebracht werden.
- [0023] PEM werden dagegen durch konsekutive Adsorption von Polykationen (PEL mit positiv geladenen funktionellen Gruppen oder Monomereinheiten) mit Polyanionen (PEL mit negativ geladenen Gruppen oder Monomereinheiten) an ein Substrat hergestellt, wobei das Trägermaterial beispielsweise ein Siliziumträger ist, dessen Oberfläche chemisch und/oder physikalisch behandelt wird [WO 2010 066432 A]. In diesem Fall ist die Ursache für die Adsorption und Desorption chemisch und physikalisch nicht von der Umgebung isoliert.
- [0024] Polyelektrolytkomplexbpartikel (PEC) werden zunächst direkt durch Mischen einer Polykation- und Polyanionlösung im nichtstöchiometrischen Verhältnis in der Volumenphase gebildet [US 2008/0058229 A1]. Die sich dabei je nach Mischungsverhältnis bildenden Partikel mit neutralem Kern und positiv oder negativ

geladener Schale können ähnlich den PEL durch Physisorption an das geladene Trägermaterial binden.

- [0025] PEM-Filme können durch Verwendung kettensteifer PEL an z.B. unidirektional texturierten Trägern orientierte Nanostrukturen bilden [M. Müller, Orientation of α -helical Poly(L-lysine) in Consecutively Adsorbed Polyelectrolyte Multilayers on Texturized Silicon Substrates, *Biomacromolecules*, 2(1), 262-269 (2001)].
- [0026] Ebenso können durch Verwendung kettensteifer PEL [M. Müller, T. Reihls, W. Ouyang, Needle like and spherical polyelectrolyte complex nanoparticles of poly(L-lysine) and copolymers of maleic acid, *Langmuir*, 21(1), 465-469 (2005)] stäbchenförmige PEC-Partikel gebildet werden, welche an unidirektional texturierten Trägern auch orientierte Nanostrukturen erzeugen können.
- [0027] Orientierte PEM-Filme oder PEC-Filme können das Zellwachstum beeinflussen und zu einem Ersatz von plasmamodifizierten Substraten führen, welche mit wesentlich höherem Aufwand hergestellt werden.
- [0028] Als einkomponentige PEL-Materialien oder in PEM oder PEC können auch leitfähige PEL und Polymere wie z.B. Polyanilin, Polypyrrol, Polythiophen oder Polyethyldioxythiophen (PEDOT) einbezogen und inkorporiert werden und als leitende Haftvermittler zwischen Indiumzinnoxid (ITO)- und aktiven Farbstoffschichten für organische lichtemittierende Dioden (OLEDs) verwendet werden.
- [0029] Diese Polyelektrolytmaterialien können aufgrund ihrer strukturellen Verwandtschaft oder auch Identität zu Biomaterialien (Proteine, Polysaccharide, Polynucleotide) wiederum als Haftmaterial für andere Materialien, z.B. Biomoleküle und Biomaterialien, dienen. Dabei können kontrolliert inerte Passivierungsschichten (PEL-1) oder aktiv bindende Schichten (PEL-2) oder auch biozide Schichten (z.B. Bakterien) (PEL-3) für Biomaterialien, Biofluide oder Zellen entstehen.
- [0030] Eine aktuelle Fragestellung ist die Bestimmung der Geschwindigkeit, der Stärke und/oder der Spezifität der Bindung, sowie die Bestimmung der Konzentration von aktiven Biomolekülen und Partikeln sowie die Identifizierung von neuen Wechselwirkungspartnern („Ligandenfishing“) an Polyelektrolytmaterialien. Biomoleküle können hydrophob oder hydrophil sein. Hydrophobe Biomoleküle sind unpolar. Hydrophile Biomoleküle sind polar und können im Kontakt zum Lösungsmittel entweder positiv geladene (basische), negativ geladene (saure) Ladungszentren (funktionelle Gruppen) besitzen oder elektrostatisch neutral sein..

Einige niedrigmolekulare Biomoleküle wie Aminosäuren, Monosaccharide und Nukleotide stellen reaktive Monomere für die Polymerisation zu hochmolekularen Biomolekülen, den Biopolymeren wie Proteinen (z.B. Kollagen, Serumalbumin, Insulin), Polysacchariden (z.B. Glykogen, Stärke, Cellulose, Dextrane, Chitin) und Polynukleotiden (z.B. DNA, RNA) dar.

[0031] Fig. 1 zeigt verschiedene bereits elektrisch polarisierte oder elektrisch polarisierbare Biomaterialien (**BM**), Atome, Ionen und/oder Moleküle) vor (**M_A**, **M_B**, **M_C**) und nach der Modifizierung (**M_A'**, **M_B'**, **M_C'**), Einkomponentige Polyelektrolytsysteme (**PEE**), Polyelektrolytmultischichten (**PEM**) und Polyelektrolytkomplexartikel (**PEC**). In den Abbildungen wird nicht zwischen polarisierbaren Biomaterialien (**BM**), Atomen, Ionen oder Molekülen und Einkomponentigen Polyelektrolytsystemen (**PEE**), Polyelektrolytmultischichten (**PEM**) und Polyelektrolytkomplexartikel (**PEC**) unterschieden. Fig. 1 zeigt im unteren Teil der Abbildung den Aufbau der Polyelektrolytmaterialien (**PEL**) mit einer positiven Überschussladung und im oberen Teil den Aufbau der **PEL** mit einer negativen Überschussladung. Diese werden in den weiteren Abbildungen durch ein Oval mit einem „+“ bzw. „-“ entsprechend ihrer Überschussladung dargestellt. Diese elektrisch polarisierbaren Teilchen werden mit **epAIMP** bezeichnet. Die **epAIMP**, welche schematisch in verschiedenen Größen und Formen gezeichnet sind, unterscheiden sich bezüglich ihrer elektrischen Polarisierbarkeit, ihrer Masse und ihrer Tendenz, sich mit anderen Biomaterialien, Atomen, Ionen und/oder Molekülen oder Polyelektrolytmaterialien zu verbinden. Das erfindungsgemäße Trägermaterial nutzt die elektrische Polarisierbarkeit der **epAIMP**, welche ein Maß für die Verschiebbarkeit von positiver relativ zu negativer Ladung ist. Dabei können Elektronenwolken relativ zum positiven schweren Kern in Atomen und Ionen und/oder positive Ionen relativ zu negativen Ionen in Molekülen verschoben werden. Es können auch komplexere **epAIMP** mit höheren elektrischen Multipolen auftreten und miteinander elektrostatisch wechselwirken. Zur Vereinfachung werden nur elektrische Dipole in den Zeichnungen dargestellt.

[0032] Die **epAIMP** können einen permanenten elektrischen Dipol aufweisen und/oder in elektrischen Feldern einen elektrischen Dipol ausbilden. Die Dipol-Dipol-Wechselwirkungen von **epAIMP** sorgen für deren Ausrichtung untereinander. Auf der Nanometer-Längenskala gehört die elektrostatische Wechselwirkung zu den Wechselwirkungen mit der größten Kraft und mit der größten Reichweite. Elektrostatische Kräfte sind auch sehr stark in wässrigen Lösungen und halten so **epAIMP** voneinander fern. Die **epAIMP** kann nicht nur als Dipol, sondern auch als

komplexere **epAIMP** mit höheren elektrischen Multipolen auftreten und miteinander elektrostatisch wechselwirken. Zur Vereinfachung werden nur elektrische Dipole in den Zeichnungen dargestellt.

- [0033] Die Bewegung der **epAIMP** gelingt in elektrischen Feldern zwischen zwei Elektroden, an die eine elektrische Spannung von außen angelegt wird.
- [0034] Einzelne bewegliche Ionen können in einem Festkörper mit Rückseitenelektrode und mit statischer oder positionierbarer Vorderseitenelektrode, z.B. metallisch leitende Messspitze eines Atomaren Kraftmikroskopes, bewegt werden. [N. Balke u.a.: Nanoscale mapping of ion diffusion in a lithium-ion battery cathode. *NATURE NANOTECHNOLOGY* 5 (2010) 749-754].
- [0035] Außerhalb eines Festkörpers können **epAIMP** durch Dielektrophorese [Pei Yu Chiou u.a.: Massively parallel manipulation of single cells and microparticles using optical images. *NATURE* 436 (2005) 370-372] zwischen der Oberfläche eines Trägermaterials und einer großflächigen Vorderseitenelektrode, welche in einem Abstand von der Oberfläche des Trägermaterials angebracht ist und dieses nicht berührt, bewegt werden. Dazu wird die Rückseite des Trägermaterials durch eine Schattenmaske beleuchtet. Die photogenerierten Ladungsträger im Carrier erhöhen lokal die Leitfähigkeit des Carriers und verschieben lokal die Position der Rückseitenelektrode von der unteren ITO-Schicht in das undotierte a-Si:H des Carriers. Dadurch wird lokal der Abstand zwischen der oberen ITO-Schicht (Vorderseitenelektrode) mit unveränderlicher Position und der Rückseitenelektrode mit veränderlicher Position verändert. Die zwischen der Vorderseitenelektrode und der Rückseitenelektrode abfallende Spannung verursacht ein lokal variierendes elektrisches Feld. Die Richtung des elektrischen Feldes wird durch die Polarität der an der Vorder- und Rückseitenelektrode angelegten Spannung bestimmt. Es lassen sich sehr schnell durch Wechseln der Schattenmaske unterschiedliche Positionen der Rückseitenelektrode auf der μm -Skale einstellen.
- [0036] Eine molekulare Maschine ist aus einer diskreten Zahl von epAIMP konstruiert und erfüllt spezielle Funktionen auf der Nanometer- und/oder Mikrometer-Längenskale. Ihre Arbeitsweise ist in vielerlei Hinsicht ähnlich den von Menschen geschaffenen Maschinen. Es ist ein Mechanismus, bei dem Einzelteile ineinanderpassen, sich bewegen und zusammenspielen, um eine bestimmte Aufgabe zu erfüllen [Goodsell, David S : Wirtschaft und Produktion in der molekularen Welt, Übersetzt von Hummel, Isolde, 2. Aufl., 2010. Spektrum Akademischer Verlag.].

- [0037] Molekulare Maschinen produzieren eine mechanische Bewegung (Output) als Antwort auf eine spezifische Anregung (Input). Es gibt künstliche und biologische molekulare Maschinen.
- [0038] Im erweiterten Sinn werden alle Moleküle, welche Funktionen von der Meter-Längenskale auf die Nanometer- und/oder Mikrometer-Längenskale übertragen und dort ausführen, als molekulare Maschinen bezeichnet.
- [0039] Die **epAIMP** zum Aufbau der molekularen Maschinen gibt es nur in wenigen Formen und Größen. Zum Beispiel können künstliche molekulare Maschinen aus Rotaxanen und Catenanen aufgebaut sein. Biologische molekulare Maschinen sind weitgehend aus sechs Arten von Atomen, Kohlenstoff, Sauerstoff, Stickstoff, Schwefel, Phosphor und Wasserstoff, sowie weitgehend aus vier Arten von Molekülen, Proteinen, Nucleinsäuren, Lipiden und Polysacchariden aufgebaut.
- [0040] Wenn Atome, Ionen und/oder Moleküle aufeinandertreffen, treten sie miteinander in Wechselwirkung. Ist diese Wechselwirkung schwach, z.B. in langsamen Neutralgasen, dann setzen die Atome und/oder Moleküle nach dem Zusammenstoß ihren Weg unverändert fort. Ist die Wechselwirkung stark, z.B. in Gasen mit Ionen oder in schnellen Neutralgasen, dann setzen die Atome, Ionen und/oder Moleküle nach dem Stoß, bei dem Coulombkräfte zwischen Ionen und resonanter Ladungstransfer zwischen neutralen Atomen und Molekülen wirken können, ihren Weg verändert fort.
- [0041] Die diskrete Zahl von atomaren, ionischen und/oder molekularen Komponenten wird nach einem Bauplan mittels der Grundkonzepte – chemische Komplementarität und Hydrophobizität – zu künstlichen und biologischen molekularen Maschinen zusammengesetzt, die jeweils optimal auf eine bestimmte Rolle zugeschnitten sind.
- [0042] Ist die Wechselwirkung komplementär, z.B. wenn Atom - und Molekülbereiche perfekt zu einem ähnlich geformten Atom - und Molekülbereich eines Nachbarmoleküls passen, entsteht eine feste Verbindung.
- [0043] Molekulare Maschinen nutzen zwei spezielle Bindungsarten: Wasserstoffbrücken zwischen einem Wasserstoffatom und einem Sauerstoff- oder Stickstoffatom sowie Salzbrücken zwischen Atomen, Ionen, und/oder Molekülen, die eine entgegengesetzte elektrische Ladung tragen. Diese speziellen Bindungen funktionieren wie kleine Klammern, die Atome, Ionen und Moleküle aneinanderkoppeln.

- [0044] Die Ausbildung einer speziellen Bindungsart kann durch eine Modifikation der **epAIMP** katalysiert werden.
- [0045] Eine großflächige Modifikation von wärmeempfindlichen **epAIMP** gelingt durch Wärmezufuhr. Die Wärmeenergie kann z.B. durch Ummagnetisierung von magnetisierbaren Teilchen in einem von außen angelegten Magnetfeld [US 2008 0319247 A1], durch Absorption von elektromagnetischen Wellen und/oder durch Anregung von Gitterschwingungen durch 10 Nanosekunden lange Laserpulse mit einer Energiedichte von 20 W/mm^2 erzeugt werden [M. E. Msall u.a.: Ballistic phonon production in photoexcited Ge, GaAs, and Si. *PHYS. REV. B.* 65 (2002) 195205-1-7].
- [0046] Zu den bereits synthetisierten einfachen künstlichen molekularen Maschinen zählen Motoren [Javier Vicario u.a.: Controlling the speed of rotation in molecular motors. Dramatic acceleration of the rotary motion by structural modification, *CHEM. COMMUN.* (2005) 5910-5912], Propeller [B. Wang u. a.: Chemically Tunable Nanoscale Propellers of Liquids. *PHYS. REV. LETT.* 98 (2007) 266102-1-4], Schalter [Jean-Pierre Desvergne u.a.: Cation complexing photochromic materials involving bisanthracenes linked by a polyether chain. Preparation of a crown-ether by photocycloisomerization; *J. CHEM. SOC., CHEM. COMMUN.* (1978) 403 – 404], Molekültransporter, Molekülzangen, Molekülsensoren und logische Elemente [Jonathan E. Green u.a.: A 160-kilobit molecular electronic memory patterned at 1011 bits per square centimeter. *NATURE* 445 (2007) 414-417].
- [0047] Die Herstellung molekularer Maschinen ist eine wesentliche Voraussetzung für aktuelle Forschungen auf dem Gebiet des Molekülensembles, der DNA-Maschinen, der nanoelektromechanischen Systeme, der Nanosensoren und der Protein-Dynamik.
- [0048] Komplexe molekulare Maschinen wurden bereits theoretisch konzipiert, konnten jedoch bisher nicht getestet werden, da bisher keine Verfahren zur Fertigung dieser komplexen molekularen Maschinen existieren.
- [0049] Molekulare Sensoren interagieren mit einem Analyt und zeigen eine messbare Änderung an. Häufig werden Fluoreszenzen in Etherresten an den molekularen Sensoren zur Messung der Änderung nach Interaktion verwendet.

Zu lösende Nachteile

- [0050] Die bisher entwickelten Trägermaterialien sind nicht geeignet, um einzelne **epAIMP** räumlich und zeitlich begrenzt aufzunehmen, zu modifizieren und zu bewegen. Mit

den bisher bekannten Trägermaterialien lassen sich keine molekularen Maschinen aus den elektrisch polarisierbaren Atomen, Ionen, Molekülen, Biomaterialien oder Polyelektrolytmaterialien herstellen.

- [0051] Bei der Elektrophorese [Pei Yu Chiou u.a.: Massively parallel manipulation of single cells and microparticles using optical images. *NATURE*. 436 (2005) 370-372.] ist die Richtung des elektrischen Feldes zu einem gegebenen Zeitpunkt überall gleich. Bei zu langer Beleuchtung der Rückseitenelektrode diffundieren die photogenerierten Ladungsträger auch in das undotierte a-Si:H hinein, erhöhen die Leitfähigkeit des undotierten a-Si:H überall und verschieben damit großflächig die Position der Rückseitenelektrode von der unteren ITO-Schicht in das undotierte a-Si:H. Außerdem ist das Anlegen einer elektrischen Spannung zwischen der Vorderseitenelektrode, welche sich in einem Abstand von der Oberfläche des Trägermaterials (Nitridschicht) befindet, und der Rückseitenelektrode nachteilig, da der Abstand zwischen der Nitridschicht und der Vorderseitenelektrode größer sein muss als die Partikel oder Zellen, damit sich diese mechanisch frei auf der Nitridschicht bewegen können.
- [0052] Bei der Elektrophorese ist die Ausbreitung des elektrischen Feldes zwischen der Vorderseitenelektrode und der Rückseitenelektrode nicht homogen, da die Partikel und/oder Zellen aufgrund ihrer dielektrischen Eigenschaften die elektrischen Feldlinien anders weiterleiten als das umgebende Material. Damit beeinflussen die Partikel und/oder Zellen das elektrische Feld, welches eigentlich zum Beeinflussen der Partikel und/oder Zellen verwendet werden soll.
- [0053] Bei der Elektrophorese können kleinere Partikel und/oder Zellen (<1 Mikrometer) nicht sortiert werden, da die Lokalisierung der Rückseitenelektrode durch die Diffusion der photogenerierten Ladungsträger limitiert ist und da das elektrische Feld zwischen der Vorderseitenelektrode und der Rückseitenelektrode nicht groß genug ist, um die Brownsche Bewegung der Partikel und/oder Zellen zu überwinden.
- [0054] Bei der Elektrophorese kann die Detektion der lokalisierten Partikel und/oder Zellen nur optisch durch die Vorderseitenelektrode hindurch erfolgen. Nimmt man die Vorderseitenelektrode weg, dann bildet sich kein elektrisches Feld aus und die Partikel und Zellen können nicht lokalisiert werden. Eine Detektion der lokalisierten Partikel mittels Atomarer Kraftmikroskop-Messungen oder mittels Raster-Elektronenmikroskopie-Messungen ist durch die Vorderseitenelektrode hindurch nicht möglich.

Aufgabe der Erfindung

- [0055] Die Aufgabe der Erfindung ist es, ein Trägermaterial für die Manipulation, Modifikation und Bewegung von elektrisch polarisierbaren Biomaterialien, Atomen, Ionen, Molekülen oder Polyelektrolytmaterialien anzugeben. Das Trägermaterial soll eine lokal steuerbare Adsorption und Desorption der Materialien gewährleisten
- [0056] Das Polyelektrolytmaterial kann aus einkomponentigen Polyelektrolytsystemen (**PEE**), aus mehrkomponentigen Polyelektrolytmultischichten (**PEM**) -oder aus vorgebildeten Polyelektrolytkomplexpunkten (**PEC**) bestehen. Die Herstellung und die möglichen Ausführungsvarianten des Trägermaterials, z.B. zur lokalen Manipulation und Modifikation und zum translatorischen und/oder rotatorischen Transport einzelner **epAIMP** sowie die Verwendung des Trägermaterials zur räumlich und zeitlich begrenzten Aufnahme der **epAIMP** zur Fertigung molekularer Maschinen **mM**, sollen beschrieben werden. Dabei spielt die Adhäsion (Haftfähigkeit) von **epAIMP** an dem Trägermaterial sowie die Beweglichkeit der **epAIMP** eine wichtige Rolle. Die Adhäsion und der Beweglichkeit von **epAIMP** soll vom Trägermaterial kontrolliert werden.

Grundzüge des Lösungsweges

- [0057] Ausgangspunkt für das Trägermaterial ist ein lokal dotiertes Halbleitermaterial oder ein piezo- oder ferroelektrisches Material. Auf Oberfläche kann optional eine isolierende Deckschicht aufgebracht sein. Das Trägermaterial stellt eine Quelle für lokal steuerbare, oberflächennahe elektrostatische Kräfte dar, die die epAIMPs manipulieren, modifizieren und/oder bewegen können. Im Gegensatz zum bisherigen Stand der Technik werden diese oberflächennahen elektrostatischen Kräfte nicht von der Umgebung beeinflusst, die oberflächennahen, elektrostatischen Kräfte sind chemisch von der Umgebung isoliert.
- [0058] Die **epAIMP** können sich durch unterschiedlich starke oberflächennahe, elektrostatische Kräfte an oder bis zu wenige Nanometern über der Oberfläche eines Trägermaterials oder an anderen **epAIMP**, die nahe oder an der Oberfläche des Trägermaterials angelagert sind, ausrichten.
- [0059] Die hohe Oberflächenladungsdichte der Trägermaterialien führt generell zu einer höheren adsorbierten Menge der epAIMP, z. B. von einkomponentigen PEL-Materialien, von PEM- und PEC-Systemen im Vergleich zu sonstigen Substraten (z.B. Silizium-Wafer). Durch die Wahl der Spezies (Elektronen oder Löcher) und/oder der Konzentration der Majoritätsladungsträger im lokal dotierten Halbleiter

oder durch die Bildung von Domänen im piezo- oder ferroelektrischen Material wird die Richtung und Stärke der oberflächennahen, elektrostatischen Kräfte an der Oberfläche des Trägermaterials variiert. Durch Dotierung werden Volumenladungsdichten von 10^{15} bis 10^{21} e/cm³ und Flächenladungsdichten von 10^{10} bis 10^{14} e/cm² im Halbleiter erreicht. Die Flächenladungsdichte in piezo- und ferroelektrischen Materialien beträgt 10^{13} bis 10^{15} e/cm².

- [0060] Die Dicke der isolierenden Deckschicht und/oder die lokalen Ladungen in der isolierenden Deckschicht bestimmen die Stärke der oberflächennahen, elektrostatischen Kräfte. Die Reichweite der elektrostatischen Kräfte beträgt bis zu 100 nm oberhalb der Oberfläche des Trägermaterials. Damit kann über die Dicke dieser Deckschicht die adsorbierte Menge der **epAIMP** kontrolliert eingestellt werden.
- [0061] Die Strukturierung der isolierenden Deckschicht und/oder des darunterliegenden Halbleiters bzw. piezo- oder ferroelektrischen Materials bestimmt die Richtung und das Ausmaß der oberflächennahen, elektrostatischen Kräfte. Damit können **epAIMP**-Materialien strukturiert oder lokal kontrolliert abgeschieden werden
- [0062] Strukturierte einkomponentige und PEL-, mehrkomponentige PEM- und PEC-Schichten, Biomaterialien Ionen, Atome und Moleküle (**epAIMP**) werden durch Änderung der Richtung und Stärke oberflächennaher, elektrostatischer Kräfte durch Anlegen einer Spannung an der Rückseitenelektrode des Trägermaterials manipuliert, das heißt adsorbiert oder desorbiert.
- [0063] Übergangsbereiche mit jeweils umgekehrter Richtung der oberflächennahen, elektrostatischen Kräfte können im Trägermaterial gezielt ausgebildet werden und durch Anlegen einer Spannung an eine oder mehrere Rückseitenelektroden des Trägermaterials zum unterschiedlichen Manipulieren der epAIMP verwendet werden.
- [0064] Durch Nutzung der Ausbildung intrinsischer elektrischer Felder in den Raumladungszonen (Übergangsbereiche im Halbleiter) von lokalen Dotierprofilen kann durch Anlegen einer Spannung an die Rückseitenelektrode ein noch stärkeres Manipulieren der oberflächennahen, elektrostatischen Kräfte erfolgen. Damit kann auch die Adsorption der epAIMP gesteuert werden.
- [0065] Die Erzeugung von Domänen mit umgekehrter Richtung der oberflächennahen, elektrostatischen Kräfte im piezo- oder ferroelektrischen Material

(Übergangsbereiche im piezo- oder ferroelektrischen Material) erfolgt durch lokale Strukturierung des piezo- oder ferroelektrischen Materials.

- [0066] Als isolierende Schicht, als Halbleitermaterial oder als piezo- oder ferroelektrisches Material kann ein optisch aktives Material und/oder als geladene Störstelle im Trägermaterial ein magnetisierbares Material zur spezifischen lokalen Anregung oder Adsorption von epAIMP verwendet werden.
- [0067] Durch Strukturierung der Rückseitenelektrode sowie der implantierten Bereiche kann eine Crossbar-Struktur zum lokalen Sortieren und Manipulieren von epAIMP erreicht werden.
- [0068] Das Trägermaterial kann aus einzelnen Trägermaterialzellen des Arrays lückenlos und überlappungsfrei durch verschiedene Polygone gebildet werden und jede oder einzelne Trägermaterialzellen sind mit einer eigenen metallisch leitenden Rückseitenelektrode ausgestattet. Im Folgenden wird zur einfacheren Beschreibung und Verwendung der erfindungsgemäßen Arraystruktur eine viereckige Polygonstruktur angenommen.
- [0069] Durch Nutzung der Ausbildung von elektrischen Gradientenfeldern im oberflächennahen Bereich des Trägermaterials können die **epAIMP** durch Anlegen einer Spannung an die Rückseitenelektrode noch stärker mittels oberflächennaher, elektrostatischer Kräfte manipuliert werden.
- [0070] Die Ausbildung starker elektrischer Gradientenfelder kann an der Grenze zwischen p-type Halbleiter **p** und n-type Halbleiter **n** oder an der Grenze zwischen Domänen mit entgegengesetzt gerichtetem intrinsischen elektrischen Feld erfolgen.
- [0071] Die Erzeugung von p-type Halbleiter **p** und n-type Halbleiter **n** kann mittels Ionenimplantation und anschließender thermischer Ausheilung erfolgen.
- [0072] Übergangsbereiche zwischen benachbarten Trägermaterialzellen mit jeweils entgegengesetzter Richtung der oberflächennahen, elektrostatischen Kräfte können im Trägermaterial gezielt ausgebildet werden und durch Anlegen einer Spannung an eine oder mehrere Rückseitenelektroden des Trägermaterials zum Transport einzelner **epAIMP** innerhalb einzelner und zwischen benachbarten Trägermaterialzellen verwendet werden.
- [0073] Durch das Einbringen von magnetisierbaren Nano- oder Mikroteilchen in die isolierende Schicht oder in den oberflächennahen Bereich einzelner Trägermaterialzellen, können an diesen Trägermaterialzellen lokalisierte,

temperaturempfindliche **epAIMP** durch Anlegen eines äußeren Magnetfeldes und der Wärmeentwicklung bei der Ummagnetisierung der magnetischen Teilchen modifiziert werden.

- [0074] Zur lokalen Anregung von Gitterschwingungen kann das Trägermaterial mit unterschiedlichen Elektron-Phonon-Wechselwirkungseigenschaften der einzelnen Trägermaterialzellen großflächig beleuchtet werden. Aufgrund der Elektronen-Phonon-Wechselwirkung ist die Umwandlung von Lichtenergie in Gitterschwingungsenergie in den Trägermaterialzellen mit einer großen Elektron-Phonon-Wechselwirkung am größten.
- [0075] Molekulare Maschinen können durch den sequentiellen Transport von **epAIMP** an die Trägermaterialzellen, an denen die molekularen Maschinen gebildet werden, hergestellt werden. Optional können einzelne **epAIMP** vor/nach/während des Transports modifiziert werden. Diese Modifikation kann zur Katalyse der Verbindung zwischen **epAIM**, aus denen die molekularen Maschinen gebildet werden, realisiert werden.

Erzeugte Vorteile oder Verbesserungen gegenüber dem Stand der Technik

- [0076] Ein Hauptvorteil ist die Kompatibilität des Trägermaterials mit der Mikroelektronik und die Verwendung einer chemisch resistenten und biokompatiblen isolierenden Deckschicht sowie die Wiederverwendbarkeit des Trägermaterials. Ein weiterer Vorteil ist die zeitlich und/oder räumlich veränderliche Manipulation, Modifizierung und der Transport einzelner **epAIM**. Der Bereich des Trägermaterials, von dem die oberflächennahen elektrostatischen Kräfte aufgrund der Umverteilung von Ladungen im oberflächennahen Bereich des Trägermaterials ausgehen, ist räumlich und chemisch vollständig vom adsorbierten **epAIMP** getrennt. Das heißt, es wirken nur die oberflächennahen, elektrostatischen Kräfte, es findet aber kein direkter Kontakt zu den Ladungen im oberflächennahen Bereich des Trägermaterials statt. Die **epAIM**, aus denen molekulare Maschinen **mM** zusammengesetzt sind, können durch gezielte Anziehung an das Trägermaterial und spätere Abstoßung vom Trägermaterial aus Gasen, Flüssigkeiten und Pulvern gefiltert werden. Zur Sortierung von **epAIMP** mit unterschiedlicher Masse und unterschiedlicher elektrischer Polarisierbarkeit kann der Slip-Stick-Mechanismus unter Ausnutzung der Dynamik der Bewegung genutzt werden.

- [0077]

- [0078] Ein weiterer Vorteil ist die Verfügbarkeit der epAIMP, speziell der PEL-Materialien, und die Anwendung einfacher nasschemischer Prozesse mit Wasser als Lösungsmittel. Andere Lösungsmittel können auch verwendet werden.
- [0079] Ein weiterer Vorteil ist die stufenlos regelbare Oberflächenladungsdichte, wenn das Trägermaterial ein Halbleiter ist, und die stufenweise regelbare Oberflächenladungsdichte, wenn das Trägermaterial ein piezo- oder ferroelektrisches Material ist. Da die Adsorption von **epAIMP**, zum Beispiel von PEL-Materialien, direkt von der Ladungsdichte abhängig ist, kann damit eine kontrollierte Abscheidung von **epAIMP** erzielt werden.
- [0080] Ein weiterer Vorteil ist die zeitlich und/oder räumlich veränderliche Adsorption und Desorption, d. h. man kann mit dem durch die **epAIMP** modifizierten Trägermaterialien Komponenten aus Flüssigkeiten oder Gemischen filtern durch gezielte Anziehung (Adsorption) an das Trägermaterial und spätere Abstoßung (Desorption) vom Trägermaterial.
- [0081] Ein weiterer Vorteil ist die ausschließliche Strukturierbarkeit der oberflächennahen Bereiche des Trägermaterials durch elektrostatischen Kräfte und Oberflächenladung hinsichtlich deren Vorzeichen und Amplitude, ohne dass andere Oberflächeneigenschaften wie Rauigkeit, Morphologie, Benetzung, Konzentration und Zusammensetzung funktioneller Gruppen geändert werden. Auf das **epAIMP** wirken immer nur die kurzreichweitigen van der Waals-Kräfte der isolierenden Deckschicht und die langreichweitigen, oberflächennahen, elektrostatischen Kräfte der Oberflächenladung. Das hat Vorteile, da bei der mengenmäßig und lokal kontrollierten Abscheidung von **epAIMP** nur ein Parameter, die Oberflächenladung, berücksichtigt werden muss.
- [0082] Im Besonderen können über die Trägermaterialien unidirektional orientierte Ladungsmuster erzeugt werden und diese als Templat für die selektive Adsorption und Ausrichtung von **epAIMP**, zum Beispiel von PEL-Materialien aus kettensteifen PEL, verwendet werden. Vorteile gegenüber mechanischen oder auf mechanischer Streckung beruhender Texturierungsverfahren werden erwartet.
- [0083] Solche nach Absatz [0081] gezielt unidirektional und nach Absatz [0082] gezielt und musterkontrolliert mit **epAIMP** modifizierte und strukturierte Oberflächen der Trägermaterialien können zu einer unidirektional gerichteten oder selektiven Wechselwirkung oder einem ebensolchen Wachstum von Zellen führen.

[0084] Auf Grund der chemischen Isolierung der Ursache der elektrostatischen Kräfte von der Umgebung werden eventuelle chemische Reaktionen und damit die Beeinflussung der elektrostatischen Kräfte vermieden.

Bildbeschreibung

[0085] Die Ausführungsbeispiele werden mit Abbildungen beschrieben.

[0086]

[0087] Fig. 2 zeigt ein Trägermaterial **TM** aus halbleitenden (a) und aus piezo- oder ferroelektrischem (b) Material mit oberflächennaher elektrostatischer Kraft (**4**) (a) mit unterschiedliche Stärke und (b) mit gleicher Stärke.

[0088] Fig. 3 zeigt ein Trägermaterial **TM** aus halbleitendem (a) und aus piezo- oder ferroelektrischem (b) Material mit strukturierter isolierender Deckschicht (**1**) mit oberflächennaher elektrostatischer Kraft (**4**) mit unterschiedlicher Stärke.

[0089] Fig. 4 zeigt ein Trägermaterial **TM** aus halbleitenden (a) und aus piezo- oder ferroelektrischen (b) Material mit isolierender Deckschicht (**1**) mit geladenen Störstellen in der isolierenden Deckschicht (**1**).

[0090] Fig. 5 zeigt ein Trägermaterial **TM** aus strukturiertem, halbleitenden (a) und strukturiertem, piezo- oder ferroelektrischen (b) Material mit isolierender Deckschicht (**1**) mit oberflächennaher elektrostatischer Kraft (**4**) mit verschiedener Richtung und gleicher Stärke.

[0091] Fig. 6 zeigt ein Trägermaterial **TM** aus halbleitendem Material mit isolierender Deckschicht (**1**) mit metallisch leitender Rückseitenelektrode (**5**) und minimierter oberflächennaher elektrostatischer Kraft (**4**) durch Anlegen einer Gleichspannung (Kelvin-Spannung).

[0092] Fig. 7 zeigt ein Trägermaterial **TM** mit großflächiger, metallisch leitender Rückseitenelektrode (**5**) aus halbleitendem Material (a) mit Löchern (p^+) und mit Elektronen (n^+) und mit der Grenze (**7**) zwischen n-Halbleiter und p-Halbleiter und aus piezo- oder ferroelektrischem Material (b) mit Domänen mit entgegengesetzt gerichteten intrinsischen elektrischen Feldern und mit der Grenze zwischen Domänen mit entgegengesetzt gerichteten intrinsischen elektrischen Feldern (**8b**).

[0093] Fig. 8 zeigt ein Trägermaterial **TM** aus halbleitendem Material (a) mit Löchern (p) und mit Elektronen (n) und mit der Grenze (**7**) zwischen n-Halbleiter und p-Halbleiter und aus piezo- oder ferroelektrischem Material (b) mit Domänen mit entgegengesetzt gerichteten intrinsischen elektrischen Feldern und mit der Grenze

zwischen Domänen mit entgegengesetzt gerichteten intrinsischen elektrischen Feldern (**8b**) mit strukturierter metallisch leitender Rückseitenelektrode (**5**).

- [0094] Fig. 9 zeigt die lückenlose und überlappungsfreie Einteilung des Trägermaterials in gleichförmige Trägermaterialzellen **TMZ(i,j)**.
- [0095] **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** zeigt den Schnitt **XY** durch vier Trägermaterialzellen eines halbleitenden Trägermaterials mit strukturierter Bottom-Elektrode für Translationsbewegungen von **epAIMP**.
- [0096] Fig. 11 zeigt schematisch die Translation eines **epAIMP** aufgrund der oberflächennahen, elektrostatischen Kräfte.
- [0097] Fig. 12 zeigt den Schnitt **X'Y'** durch vier Trägermaterialzellen eines halbleitenden Trägermaterials mit strukturierter Rückseiten-Elektrode für Rotationsbewegungen.
- [0098] Fig. 13 zeigt schematisch die Rotation eines **epAIMP** aufgrund der oberflächennahen, elektrostatischen Kräfte.
- [0099] Fig. 14 zeigt die sukzessive Zusammensetzung einer molekularen Maschine aus den Komponenten **epAIMP_A**, **epAIMP_B** und **epAIMP_C**.
- [00100] Fig. 15 zeigt die durch elektromagnetische Wellen **22** modifizierten, elektrisch polarisierbaren Biomaterialien, Polyelektrolytmaterialien, Atomen, Ionen und/oder Moleküle (**epAIMP_{A'}**) in der **TMZ(1,1)** und in der **TMZ(2,4)**.
- [00101] Fig. 16 zeigt die durch ein zeitlich veränderliches Magnetfeld **H** modifizierten, elektrisch polarisierbaren Biomaterialien, Polyelektrolytmaterialien, Atomen, Ionen und/oder Moleküle (**epAIMP_{A'}**) in der **TMZ(2,2)** und (**epAIMP_{A'}**) in der **TMZ(3,2)**. Das **epAIMP_A** wird translatorisch (a) oder rotatorisch (b) bewegt.
- [00102] Fig. 17 zeigt die markerfreie, elektrische Detektion von elektrisch polarisierbaren Biomaterialien, Polyelektrolytmaterialien, Atomen, Ionen und/oder Molekülen (**epAIMP**) über dem Trägermaterial **TM** mittels Elektronenstrahlen (**23,24**).

Beste Ausführungsformen

- [00103] Trägermaterial umfassend ein Halbleitermaterial, beispielsweise Silizium, mit isolierender Deckschicht **1**, wobei die oberflächennahen elektrostatischen Kräfte durch die lokale Dotierung des Halbleiters mit Donatoren oder Akzeptoren und durch die Dicke der isolierenden Deckschicht bestimmt wird. Es ist in der Regel ausreichend, wenn das Halbleitermaterial mindestens 1 µm dick und die

isolierende Deckschicht ca. 2 bis 3 nm dick ist. Dieses Trägermaterial kann als Biochip verwendet werden.

- [00104] Durch Anbringen mindestens einer Rückseitenelektrode an dem Halbleitermaterial, kann der Biochip als wiederverwendbarer Filter eingesetzt werden. Dabei ist es durch Änderung der an der Rückseitenelektrode angelegten Spannung möglich, sukzessive verschiedene, am Trägermaterial angelagerte **epAIMP** abzustößen bzw. abzulösen und nach jedem Ablöseschritt die abgelösten **epAIMPs** zu quantifizieren. Die Quantifizierung kann markerfrei und elektrisch mittels Elektronenstrahlen (**23,24**) aus einer Elektronenquelle **25** durch einem Elektronendetektor **26** erfolgen.
- [00105] Eine flächendeckende Unterteilung des Trägermaterials mit isolierender Deckschicht in überlappende Bereiche mit unterschiedlichen oberflächennahen elektrostatischen Kräfte, ermöglicht eine spezifische Manipulation, Modifikation und Bewegung verschiedener **epAIMP** auf der Oberfläche des Trägermaterials. Idealerweise ist an jeder Trägermaterialzelle **TMZ(i,j)** ein eigener Rückseitenkontakt angebracht.

Weitere Ausführungsbeispiele

- [00106] Fig. 2 a) zeigt die Verwendung des erfindungsgemäßen Trägermaterials als halbleitenden, lokal dotierten p-type Halbleiters **p**, **p⁺** und/oder n-type Halbleiters **n**, **n⁺** mit vorzugsweise lokal unterschiedlicher Akzeptorkonzentration **N_A** im p-Halbleiter und mit vorzugsweise lokal unterschiedlicher Donatorkonzentration **N_D** im n-type Halbleiter, wobei der Halbleiter auch undotiert sein kann. Auf der Halbleiteroberfläche befindet sich vorzugsweise eine isolierende Deckschicht **1**. Es bilden sich besetzte Grenzflächenzustände der Zahl **G** zwischen der isolierenden Deckschicht **1** und dem n-type Halbleiter bzw. dem p-type Halbleiter aus. Des Weiteren sind im oberflächennahen Bereich des p-type Halbleiters **G** Akzeptoren unabgeschirmt **10** und ionisiert (-) bzw. im n-type Halbleiter **G** Donatoren unabgeschirmt **10** und ionisiert (+). Die besetzten Grenzflächenzustände und die unabgeschirmten Akzeptoren bzw. Donatoren bilden einen asymmetrischen elektrostatischen Dipol **3**. Der Richtungssinn der oberflächennahen, elektrostatischen Kräfte **4** vom asymmetrischen elektrostatischen Dipol **3** über einem p-type Halbleiter **p** und über einem n-type Halbleiter **n** ist entgegengesetzt. Die Stärke der oberflächennahen, elektrostatischen Kraft **4** über dem p-type Halbleiter steigt mit abnehmender Akzeptorkonzentration **N_A** und über dem n-Halbleiter steigt mit abnehmender Donatorkonzentration **N_D**. Die Eigenschaften der

Grenzfläche zwischen dem Halbleitermaterial und der isolierenden Deckschicht bezüglich der Zustandsdichte und Zeitkonstante der Grenzflächenzustände können durch physikalische, chemische oder thermische Vorbehandlung der Halbleiteroberfläche vor dem Aufbringen der isolierenden Deckschicht **1** gezielt eingestellt werden.

- [00107] Fig. 2b) zeigt die Verwendung des erfindungsgemäßen Trägermaterials als piezo- oder ferroelektrisches Material mit der Polarisationsladung **9** an der Ober- und Unterseite des piezo- oder ferroelektrischen Materials. Auf der Oberfläche des piezo- oder ferroelektrischen Materials befindet sich vorzugsweise eine isolierende Deckschicht **1**. Der Richtungssinn der oberflächennahen, elektrostatischen Kräfte **4** ist durch das Vorzeichen der Polarisationsladung **9** an der Ober- und Unterseite des piezo- oder ferroelektrischen Materials bestimmt. Die Stärke der oberflächennahen, elektrostatischen Kräfte **4** steigt mit der Zahl Polarisationsladungen **9** pro Flächeneinheit bis zu einem materialabhängigen Sättigungswert an. Die Stärke der oberflächennahen, elektrostatischen Kräfte **4** steigt mit zunehmendem Abstand der Polarisationsladungen **9** zwischen der Ober- und Unterseite des piezo- und ferroelektrischen Materials bis zu einem materialabhängigen Sättigungswert an.
- [00108] Fig. 3 zeigt ein Trägermaterial **TM** aus halbleitendem (a) und aus piezo- oder ferroelektrischem (b) Material mit strukturierter, isolierender Deckschicht (**1**) mit oberflächennaher elektrostatischer Kraft (**4**) mit gleichem Richtungssinn und unterschiedlicher Stärke.
- [00109] Neben der Wahl der Spezies (**p** oder **n**) und der Konzentration der Majoritätsladungsträger (**N_A** oder **N_D**) können die oberflächennahen, elektrostatischen Kräfte (**4**) durch lokale Variation der Dicke **d_i** der isolierenden Deckschicht **1** lokal variiert werden (Fig. 3a). Die elektrostatischen Kräfte **4** nehmen mit abnehmender Dicke **d_i** der isolierenden Deckschicht **1** zu. Die lokale Modifizierung der Dicke **d** der isolierenden Deckschicht **1** kann mittels Photolithographie erfolgen.
- [00110] Die oberflächennahen, elektrostatischen Kräfte (**4**) oberhalb eines Trägermaterials mit piezo- oder ferroelektrischem Material können durch lokale Variation der Dicke **d_i** der isolierenden Deckschicht **1** lokal variiert werden (Fig. 3b). Die elektrostatischen Kräfte **4** nehmen mit abnehmender Dicke **d_i** der isolierenden Deckschicht **1** zu. Die lokale Modifizierung der Dicke **d** der isolierenden Deckschicht **1** kann mittels Photolithographie erfolgen.

- [00111] Die isolierende Deckschicht **1** kann ein high-k oder low-k Oxid sein. Beispielsweise bei einem Trägermaterial **TM** aus halbleitendem Material kann das entsprechende Oxid des Halbleitermaterials verwendet werden. Bei einem Trägermaterial aus piezo- oder ferroelektrischem Material kann beispielsweise Silizium- oder Aluminiumoxid verwendet werden. Darüber hinaus sind biokompatible Materialien mit einer großen Bandlücke E_g , wie Zinkoxid oder Titandioxid, als isolierende Deckschicht **1** möglich.
- [00112] Fig. 4 zeigt die Verwendung von geladenen Störstellen Q^+ oder Q^- in der isolierenden Deckschicht (**1**) zur Abschwächung oder Verstärkung der oberflächennahen, elektrostatischen Kräfte und damit zur gezielten Veränderung der auf die **epAIMP** wirkenden Anziehungs- und Abstoßungskräfte.
- [00113] Die oberflächennahen, elektrostatischen Kräfte **4** von dem asymmetrischen elektrostatischen Oberflächendipol **3** können durch positive (+) Ladungen Q^+ und/oder negative (-) Ladungen Q^- , durch sogenannte Oxidladungen in der isolierenden Deckschicht **1** abgeschwächt oder verstärkt werden (Fig. 4 a). So werden z.B. beim Einbringen von negativen Ladungen Q^- in der isolierenden Deckschicht **1** über einen p-type Halbleiter **p** die oberflächennahen, elektrostatischen Kräfte **4** abgeschwächt, wohingegen positive Ladungen Q^+ in der isolierenden Deckschicht **1** über einen p-type Halbleiter **p** die oberflächennahen, elektrostatischen Kräfte **4** verstärken. Andererseits werden beim Einbringen von negativen Ladungen Q^- in der isolierenden Deckschicht **1** über einen n-type Halbleiter **n** die oberflächennahen, elektrostatischen Kräfte **4** verstärkt, wohingegen positive Ladungen Q^+ in der isolierenden Deckschicht **1** über einen n-type Halbleiter **n** die oberflächennahen, elektrostatischen Kräfte **4** abschwächen.
- [00114] Die oberflächennahen, elektrostatischen Kräfte **4** der Polarisationsladung **9** an der Ober- und Unterseite des piezo- oder ferroelektrischen Materials können durch positive (+) Ladungen Q^+ und/oder negative (-) Ladungen Q^- , durch sogenannte geladene Störstellen im Trägermaterial, vorzugsweise in der isolierenden Deckschicht abgeschwächt oder verstärkt werden (Fig. 4 b). So werden z. B. beim Einbringen von negativen Ladungen Q^- in der isolierenden Deckschicht **1** über einem piezo- oder ferroelektrischen Material mit positiver Polarisationsladung **9** an der Oberseite des piezo- oder ferroelektrischen Materials die oberflächennahen, elektrostatischen Kräfte **4** abgeschwächt, wohingegen positive Ladungen Q^+ in der isolierenden Deckschicht **1** über einem piezo- oder ferroelektrischen Material mit positiver Polarisationsladung **9** an der Oberseite des piezo- oder ferroelektrischen

Materials die oberflächennahen, elektrostatischen Kräfte **4** verstärken. Die verwendeten geladenen Störstellen Q^+ und Q^- können optional zusätzlich oder nur im Halbleitermaterial oder im piezo- oder ferroelektrischen Material eingebracht werden.

- [00115] Die verwendeten geladenen Störstellen Q^+ und Q^- können zusätzlich magnetisierbar sein und damit durch ein von außen angelegtes Magnetfeld **14** aktiviert werden.
- [00116] Die Richtung der oberflächennahen, elektrostatischen Kräfte **4** kann durch Strukturierung der Oberfläche des n-type Halbleiters **n** und/oder des p-type Halbleiters **p**, z.B. mittels Photo-, Elektronenstrahl- und/oder Ionenstrahlithographie, vorzugsweise vor dem Aufbringen der isolierenden Deckschicht **1** modifiziert werden (Fig. 5a) . Bei einer unstrukturierten Halbleiteroberfläche ist die oberflächennahe, elektrostatische Kraft **4** vorzugsweise normal zur Oberfläche ausgerichtet. Die Richtung der oberflächennahen, elektrostatischen Kräfte **4** bestimmt die Ausrichtung der **epAIMP** an der Oberfläche des Trägermaterials **TM**.
- [00117] Die Richtung der oberflächennahen, elektrostatischen Kräfte **4** kann durch Strukturierung der Oberfläche des piezo- oder ferroelektrischen Materials, z.B. mittels Photo-, Elektronenstrahl- und/oder Ionenstrahlithographie, vorzugsweise vor dem Aufbringen der isolierenden Deckschicht **1** modifiziert werden (Fig. 5b) . Bei einer unstrukturierten Oberfläche des piezo- oder ferroelektrischen Materials ist die oberflächennahe, elektrostatische Kraft **4** vorzugsweise normal zur Oberfläche ausgerichtet. Die Richtung der oberflächennahen, elektrostatischen Kräfte **4** bestimmt die Ausrichtung der **epAIMP** an der Oberfläche des Trägermaterials **TM**.
- [00118] Für die Manipulation der **epAIMP** an der Oberfläche wird an der Rückseite des dotierten Halbleiters eine metallisch leitende Rückseitenelektrode **5** aufgebracht (Fig. 6). An die Rückseitenelektrode **5** wird eine Gleichspannung U_K angelegt. Wichtig ist, dass die oberflächennahen, elektrostatischen Kräfte **4** durch das Anlegen einer geeigneten Gleichspannung U_K minimiert bzw. nullifiziert werden. In Fig. 6 sind die oberflächennahen, elektrostatischen Kräfte **4** nullifiziert. Beispielsweise im Halbleitermaterial Silizium entspricht die geeignete Gleichspannung U_K dem Energieabstand zwischen der von der Donatorkonzentration N_D abhängigen Lage des Fermi-niveaus und der Leitungsbandkante E_C im n-type Halbleiter **n** und/oder dem Energieabstand zwischen der von der Akzeptorkonzentration N_A abhängigen Lage des Fermi-niveaus und der Valenzbandkante E_V im p-type Halbleiter **p**. Vorzugsweise ist die

Rückseitenelektrode **5** großflächig aufgebracht. Mit dieser Anordnung können die oberflächennahen, elektrostatischen Kräfte **4** ausgelöscht werden.

[00119] Der Halbleiter wird derart dotiert (Fig. 7a), dass unterschiedlich dotierte Bereiche des Halbleiters an Grenzflächen **7** zusammentreffen. An solchen Grenzflächen **7** bildet sich ein Bereich (Raumladungszone) aus, welcher keine freien Ladungsträger (nur unabgeschirmte Dotieratome **10**) enthält. Senkrecht zur Grenzfläche **7** bildet sich ein elektrisches Feld aus, dessen Maximum in der Grenzfläche **7** liegt und welches am Rand der Raumladungszone Null ist. Für eine zeitabhängige Manipulation (Fig. 7a) der **epAIMP** an der Oberfläche wird an der Rückseite des dotierten Halbleiters eine metallisch leitende Rückseitenelektrode **5** aufgebracht. An die Rückseitenelektrode **5** wird eine Spannung **U** angelegt. Die Spannung **U** kann eine Überlagerung aus einer Wechselspannung und einer Gleichspannung sein. Die oberflächennahen, elektrostatischen Kräfte **4** werden durch das Anlegen der Spannung **U** zeitlich abhängig minimiert und maximiert. Vorzugsweise ist die Rückseitenelektrode **5** großflächig aufgebracht. Die elektrischen Felder senkrecht zur Grenzfläche **7** verlaufen nicht zwingend parallel/antiparallel zum elektrischen Feld, welches durch das Anlegen der Spannung **U** an der Rückseitenelektrode **5** zwischen der Rückseitenelektrode **5** und der Oberfläche des Halbleiters ausgebildet wird. Wichtig ist, dass eine gesonderte zeitabhängige Manipulation der **epAIMP** nahe von Grenzflächen **7** aufgrund der oberflächennahen, elektrostatischen Kräfte im Übergangsbereich **6** möglich ist, da beim Anlegen der Spannung **U** die Verschiebung von freien Ladungsträgern in der Raumladungszone des Halbleiters durch intrinsische elektrische Felder beeinflusst wird.

[00120] Das piezo- oder ferroelektrische Material wird derart strukturiert (Fig. 7 b), dass unterschiedliche Bereiche des piezo- oder ferroelektrischen Materials mit unterschiedlicher Polarisationsladung **9** (Domäne) an der Ober- und Unterseite des piezo- oder ferroelektrischen Materials an Grenzfläche **8** zusammentreffen. Die Richtung der oberflächennahen, elektrostatischen Kräfte oberhalb-links und oberhalb-rechts der solcher Grenzflächen **8** ist entgegengesetzt. Die oberflächennahen, elektrostatischen Kräfte oberhalb solcher Grenzflächen **8** verlaufen nicht zwingend normal zur Oberfläche des Trägermaterials, vielmehr gehen sie kontinuierlich ineinander über.

[00121] Für eine stark zeitabhängige Manipulation (Fig. 8a) der **epAIMP** an der Oberfläche wird an der Rückseite des dotierten Halbleiters eine strukturierte metallisch leitende Rückseitenelektrode **5** aufgebracht. An die strukturierte Rückseitenelektrode **5** wird

eine Spannung U_i mit $i = 1, \dots, m$, wobei m die Anzahl der Rückseitenelektroden **5** angibt, angelegt. Die Spannung U_i ist eine Überlagerung aus einer Wechselfeldspannung und einer Gleichspannung. Die oberflächennahen, elektrostatischen Kräfte **4** werden durch das Anlegen der Spannungen U_i in den verschiedenen Bereichen unabhängig voneinander kontrolliert. Die Ausbildung von strukturierten, oberflächennahen, elektrostatischen Kräften **4** kann auch durch strukturierte Implantation des Halbleiters, z.B. durch eine um 90° gegeneinander gedrehte Ausrichtung (Crossbar-Array) von streifenförmig implantierten Halbleiterbereichen und von streifenförmig strukturierten Rückseitenelektrodenbereichen **5** eingestellt werden.

[00122] Für eine stark zeitabhängige Manipulation (Fig. 8b) der **epAIMP** an der Oberfläche wird an der Rückseite des piezo- oder ferroelektrischen Materials eine strukturierte metallisch leitende Rückseitenelektrode **5** aufgebracht. An die strukturierte Rückseitenelektrode **5** wird eine Spannung U_i angelegt. Die Spannung U_i ist eine Überlagerung aus einer Wechselfeldspannung und einer Gleichspannung. Die oberflächennahen, elektrostatischen Kräfte **4** werden durch das Anlegen der Spannungen U_i in den verschiedenen Bereichen unabhängig voneinander kontrolliert.

[00123] Die oberflächennahen, elektrostatischen Kräfte **6** oberhalb der Grenzfläche **8** sind im Übergangsbereich besonders stark und dort können **epAIMP** besonders stark beeinflusst werden. Das Trägermaterial, bevorzugt die isolierende Deckschicht **1**, kann lokal oder ganzflächig derart gestaltet sein, dass es lokal oder ganzflächig optisch aktiv ist, z.B. durch Verwendung von ZnO und TiO_2 als Material für die isolierende Deckschicht **1**. Bei sehr starker optischer Aktivierung des Trägermaterials und die dadurch erzeugte Wärmeenergie kann das Biomaterial oder das Biomolekül (z. B. Viren oder Bakterien) auch zerstört werden. Wichtig für die optische Aktivierung ist, dass die Photonen- oder Lichtenergie größer als die Bandlücke des Halbleitermaterials, des ferro- oder piezoelektrischen Materials oder des Materials der isolierenden Deckschicht des Trägermaterials ist.

[00124] Analog kann die Aktivierung der magnetisierbaren geladenen Störstellen im Trägermaterial durch ein äußeres statisches oder zeitlich veränderliches Magnetfeld erfolgen und die damit erzeugte Wärmeenergie an das Biomaterial bzw. die Biomoleküle weitergegeben werden.

[00125] Auf die isolierende Deckschicht **1** auf einem Halbleitermaterial kann bei Verwendung der optischen Aktivierung des Trägermaterials oder die Aktivierung der

magnetisierbaren geladenen Störstellen im Trägermaterial oder bei Verwendung unter vakuumähnlichen Bedingungen verzichtet werden. In allen anderen Fällen wird empfohlen, auf dem Halbleitermaterial eine isolierende Deckschicht **1** aufzubringen.

- [00126] Bei ferro- oder piezoelektrischen Material empfiehlt es sich, eine isolierende Deckschicht **1** aufzubringen, um störende Einflüsse aus der Umgebung zu minimieren.
- [00127] Fig. 9 zeigt das erfindungsgemäße Trägermaterial **11** in Arraystruktur mit i Zeilen und j Spalten in Draufsicht. Das Trägermaterial **11** wird lückenlos und überlappungsfrei aus einzelnen Trägermaterialzellen **TMZ(i,j)**, z.B. quadratische Trägermaterialzellen, gebildet. Jede Trägermaterialzelle umfasst ein Halbleitermaterial oder ein piezo- oder ferroelektrisches Material jeweils optional mit isolierender Deckschicht **1** und einer metallisch leitenden Rückseitelektrode. Die oberflächennahen, elektrostatischen Kräfte F_{ij} sind durch Ausbildung eines asymmetrischen elektrostatischen Dipols **3** im Halbleitermaterial oder durch Polarisationsladungen im piezo- oder ferroelektrischen Material, durch die Dicke der isolierenden Deckschicht **1** und durch die an die metallisch leitende Rückseitelektrode **5** angelegte Spannung U_{ij} bestimmt. Da elektrostatische Kräfte langreichweitig sind, ist der Wirkungsbereich **13** der elektrostatischen Kräfte F_{ij} größer als die Ausdehnung der einzelnen Trägermaterialzellen **TMZ(i,j)**. Der Überlappungsbereich **12** der oberflächennahen elektrostatischen Kräfte zwischen benachbarten Trägermaterialzellen **TMZ(i,j)** des Arrays bei gleicher Richtung der elektrostatischen Kräfte (Fig. 9) bestimmt die translatorische Bewegung der **epAIM**.
- [00128] Die Schnittebene **XY** in **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** kennzeichnet aneinandergrenzende Trägermaterialzellen **TMZ(2,1)**, **TM(2,2)**, **TM(2,3)** und **TM(2,4)** mit gleicher Richtung der oberflächennahen, elektrostatischen Kräften F_{21} , F_{22} , F_{23} , F_{24} . Die oberflächennahen, elektrostatischen Kräften F_{22} , F_{23} und F_{24} sind in der Abbildung durch Anlegen der entsprechenden Kelvin-Spannung U_{K22} , U_{K23} und U_{K24} nullifiziert. Entlang der Schnittebene **XY** können die überlagerten oberflächennahen, elektrostatischen Kräfte F_{21} , F_{22} , F_{23} , F_{24} durch Anlegen äußerer, überlagerter Gleich- und Wechselspannungen U_{21} , U_{22} , U_{23} und/oder U_{24} an die einzelnen Trägermaterialzellen **TMZ(2,1)**, **TMZ(2,2)**, **TMZ(2,3)** und **TMZ(2,4)** in den einzelnen Überlappungsbereichen **12** zwischen den einzelnen Trägermaterialzellen einen besonders großen Gradienten aufweisen. Das ist darauf zurückzuführen, dass der Gradient der oberflächennahen, elektrostatischen Kräfte

F_{21} , F_{22} , F_{23} , F_{24} mit gleichen Richtungen außerhalb der Überlappungsbereiche **12** homogen ist und in den Überlappungsbereichen kontinuierlich seinen Wert ändern kann, falls an einer oder mehreren angrenzenden Trägermaterialzellen **TMZ(i,j)** die entsprechende Kelvin-Spannung U_{Kij} zur Minimierung/Nullifizierung der oberflächennahen, elektrostatischen Kraft F_{ij} angelegt wird.

- [00129] Damit bestimmen hauptsächlich die Überlappungsbereiche **12** die Dynamik der translatorischen Bewegung entlang der Schnittebene **XY**.
- [00130] Fig. 11 zeigt die translatorische Bewegung eines **epAIMP M** oberhalb der isolierenden Schicht **1** der Trägermaterialzelle entlang der Schnittebene **XY**, deren Kräfte beim Anlegen einer äußeren Spannung gleich gerichtet sind. Im oberen Bildteil wirkt die Kraft F_{21} auf das **epAIMP M** über der Trägermaterialzelle **TMZ(2,1)**. Durch Ändern der an die Trägermaterialzelle **TMZ(2,2)** angelegten Spannung U_{22} wird die Gradient der elektrostatischen Kraft $F_{21}+F_{22}$ im Überlappungsbereich **12** zwischen **TMZ(2,1)** und **TMZ(2,2)** im Vergleich zur Kraft F_{21} der **TMZ(2,1)** verstärkt, so dass sich das **epAIMP** translatorisch zum Überlappungsbereich **12** bewegt (mittlerer Bildteil). Zum Abschluß der gezeigten translatorischen Bewegung von der **TMZ(2,1)** zur **TMZ(2,2)**, wird an die **TMZ(2,1)** die Kelvin-Spannung U_{K12} angelegt, so dass nur noch über der **TMZ(2,2)** eine elektrostatische Kraft F_{22} wirkt.
- [00131] Der Überlappungsbereich **12'** der oberflächennahen elektrostatischen Kräfte zwischen benachbarten Trägermaterialzellen **TMZ(i,j)** des Arrays bei unterschiedlicher Richtung der elektrostatischen Kräfte in Fig. 9 bestimmt die rotatorische Bewegung der **epAIMP**.
- [00132] Die Schnittebene **X'Y'** in Fig. 12 kennzeichnet aneinandergrenzende Trägermaterialzellen **TMZ(3,1)**, **TM (3,2)**, **TM (3,3)** und **TM (3,4)** mit verschiedener Richtung der oberflächennahen, elektrostatischen Kräfte F_{31} , F_{32} , F_{33} , F_{34} . Die oberflächennahen, elektrostatischen Kräfte F_{32} , F_{33} und F_{34} sind in der Abbildung durch Anlegen der entsprechenden Kelvin-Spannung U_{K32} , U_{K33} und U_{K34} minimiert. Diese Trägermaterialzellen sind in Fig. 12 in der Seitenansicht gezeigt. Entlang der Schnittebene **X'Y'** kann durch Anlegen einer äußeren Spannung U_{31} , U_{K32} , U_{K33} und U_{K34} an die einzelnen Trägermaterialzellen **TMZ(3,1)**, **TM (3,2)**, **TM (3,3)** und **TM(3,4)** der Gradient der überlagerten oberflächennahen elektrostatischen Kräfte F_{31} , F_{32} , F_{33} , F_{34} in den Überlappungsbereichen **12'** der oberflächennahen, elektrostatischen Kräfte benachbarter Trägermaterialzellen besonders groß sein. Damit bestimmen hauptsächlich die Überlappungsbereiche **12'** die Dynamik der rotatorischen Bewegung entlang der Schnittebene **X'Y'**.

- [00133] Fig. 13 zeigt schematisch die Rotation eines **epAIMP** aufgrund der oberflächennahen, elektrostatischen Kräfte.
- [00134] Fig. 14 zeigt das erfindungsgemäße Trägermaterial **11** in Arraystruktur mit *i* Zeilen und *j* Spalten in Draufsicht. In Fig. 14a) sind an den Trägermaterialzellen **TMZ(3,1)**, **TMZ(1,1)** und **TMZ(1,4)** die **epAIMP** **M_A**, **M_B** und **M_C** lokalisiert. Das **epAIMP** **M_A** wird von der **TMZ(3,1)** nach **TMZ(3,4)** rotatorisch und das **epAIMP** **M_B** wird von **TMZ(1,1)** nach **TMZ(2,3)** rotatorisch, von **TMZ(2,3)** nach **TMZ(3,3)** translatorisch und von **TMZ(3,3)** nach **TMZ(3,4)** rotatorisch bewegt. Die beiden **epAIMP** **M_A** und **M_B** bilden eine Verbindung **15** (Fig. 14b)). Danach wird das **epAIMP** **M_C** von **TMZ(1,4)** nach **TMZ(3,4)** rotatorisch bewegt. Die verbundenen **epAIMP** **M_A**, **M_B** und **M_C** können eine molekulare Maschine **mM** bilden.
- [00135] Fig. 15 zeigt das an der **TMZ(1,1)** lokalisierte, temperaturempfindliche **epAIMP_A** nach der Modifikation zu **epAIMP_A'** und das an der **TMZ(2,4)** lokalisierte temperaturempfindliche **epAIMP_A** nach der Modifikation zu **epAIMP_A'**. Die Trägermaterialzellen **TMZ(i,j)** des Trägermaterials **11** umfassen halbleitende und/oder piezo- oder ferroelektrische Materialien mit unterschiedlichen Bandlücken **E_g(i,j)**. Dadurch kann bei großflächiger Beleuchtung des Trägermaterials **11** mit elektromagnetischen Wellen **22**, vorzugsweise mit Licht, von der Rückseite und/oder von der Vorderseite des Trägermaterials **11** mit einer Energie kleiner als die Bandlücke der Trägermaterialzellen **TMZ(3,2)** und **TMZ(3,3)** und mit einer Energie größer als die Bandlücke der Trägermaterialzellen **TMZ(1,1)** und **TMZ(2,4)** Licht in der **TMZ(1,1)** und **TMZ(2,4)** lokal absorbiert und in Wärmeenergie umgewandelt werden.
- [00136] Fig. 16a) zeigt die Modifikation der an der **TMZ(2,1)** lokalisierten **epAIMP_A** nach einer translatorischer Bewegung von der **TMZ(2,1)** zur **TMZ(2,2)** entlang dem Schnitt **XY** aus Fig. 11.
- [00137] Fig. 16b) zeigt die Modifikation der an der **TMZ(3,1)** lokalisierten **epAIMP_A** nach einer rotatorischer Bewegung von **TMZ(3,1)** zur **TMZ(3,2)** entlang dem Schnitt **X'Y'** aus Fig. 13. Die in die isolierende Deckschicht **1** der **TMZ(2,2)** und der **TMZ(3,2)** eingebrachten geladenen Störstellen **Q⁺** beeinflussen in dieser Anordnung vorzugsweise die oberflächennahen elektrostatischen Kräfte **F₂₂** (Fig. 16a)) und **F₃₂** (Fig. 16b)) nicht und sind durch ein von außen angelegtes Magnetfeld **H** magnetisierbar. Wird von außen ein zeitlich veränderliches Magnetfeld **H** angelegt, dann ändert sich zeitlich veränderlich die Magnetisierungsrichtung der Störstellen **Q⁺** und es wird lokal Wärmeenergie beim Ummagnetisieren entwickelt, die zur

Modifikation von temperaturempfindlichen **epAIMP_A** an den **TMZ(2,2)** und **TMZ(3,2)** genutzt wird.

[00138] Falls die elektrisch polarisierbaren Biomaterialien, Polyelektrolytmaterialien, Atome, Ionen oder Moleküle zusätzlich auch magnetisierbar sind, dann kann die Manipulation, Modifikation und Bewegung zusätzlich durch oberflächennahe magnetostatische Kräfte erfolgen, so wie sie beispielsweise in der Nähe von magnetisierbaren Störstellen **Q_M** auftreten.

[00139] Fig. 17 zeigt die markerfreie, elektrische Detektion von elektrisch polarisierbaren Biomaterialien, Polyelektrolytmaterialien, Atomen, Ionen und/oder Molekülen (**epAIMP**) in Pulvern, Flüssigkeiten, Gasen mittels Primärelektronenstrahlen (**23**) aus mindestens einer Elektronenquelle (**25**), wobei die Streuung der Sekundärelektronen (**24**), die durch Auftreffen der Primärelektronen (**23**) auf **epAIMPs** gebildet werden, von der elektrischen Polarisierung der **epAIMP** abhängt und mittels eines Elektronendetektors (**26**) bestimmt wird, wobei die Streuung der Sekundärelektronen durch die elektrische Polarisierung der **epAIMP** mittels Verändern der oberflächennahen elektrostatischen Kräfte am Trägermaterial **TM** unter Ausnutzung der Manipulation, Modifikation und translatorischen und rotatorischen Bewegung der **epAIMP** eingestellt wird.

Bezugszeichen

TM	Trägermaterial
PEE	Einkomponentige Polyelektrolytsysteme
PEM	Polyelektrolytmultischicht
PEC	Polyelektrolytkomplexartikel
PEL	Polyelektrolytmaterial
PEL-1	kontrolliert inerte Passivierungsschicht für Biomaterialien, -fluide oder Zellen
PEL-2	aktiv bindende Schicht für Biomaterialien, -fluide oder Zellen
PEL-3	biozide Schicht für Biomaterialien, Biofluide oder Zellen
BM	Biomaterial
epAIM	Elektrisch polarisierbare Atome, Ionen und /oder Moleküle
epAIMP	BM, epAIM, PEE, PEC, PEL, PEM, M, M _A , M _B , M _C , M', M' _A , M' _B , M' _C ,

	mM	
M, M _A , M _B , M _C	elektrisch polarisierbare atomare, ionische und/oder molekulare Komponenten	
M', M _A ', M _B ', M _C '	modifizierte Komponenten M, M _A , M _B , M _C	
mM	Molekulare Maschine	
TMZ(i,j)	Trägermaterialzelle TMZ(i,j) in i-ter Zeile und j-ter Spalte des in Array angeordneten Trägermaterials 11	
1	Isolierende Deckschicht	
2	Grenzflächenladung	
3	Asymmetrischer elektrostatischer Oberflächendipol	
4	Oberflächennahe, elektrostatische Kraft	
5	Metallisch leitende Rückseitenelektrode	
6	Oberflächennahe, elektrostatische Kraft im Übergangsbereich	
7	Grenze zwischen p-type Halbleiter p und n-type Halbleiter n	
8a	Grenze zwischen Domänen mit verschiedener Polarisationsladung	
8b	Grenze zwischen Domänen mit entgegengesetzt gerichteten intrinsischen elektrischen Feld	
9	Polarisationsladung	
10	Unabgeschirmte Dotanden im Halbleiter	
11	Trägermaterial ausgeführt als Array mit flächiger Anordnung von Trägermaterialzellen TMZ(i, j)	
12	Überlappungsbereich der oberflächennahen, elektrostatischen Kräfte zwischen benachbarten Trägermaterialzellen (i, j) des Arrays 11, bei gleicher Richtung der elektrostatischen Kräfte ohne angelegte Spannung	
12'	Überlappungsbereich der oberflächennahen, elektrostatischen Kräfte zwischen benachbarten Trägermaterialzellen TMZ(i, j) des Arrays 11, bei unterschiedlicher Richtung der elektrostatischen Kräfte ohne angelegte Spannung	

13	Wirkungsbereich der oberflächennahen elektrostatischen Kraft F_{ij}
14	von außen angelegtes Magnetfeld H
15	Verbindung zwischen zwei elektrisch polarisierbaren Atomen, Ionen und Molekülen
22	elektromagnetische Wellen, vorzugsweise monochromatisches Licht
23	Primärelektronenstrahl
24	Sekundärelektronenstrahl
25	Elektronenquelle
26	Elektronendetektor
p, p^+	Loch-Konzentration $p^+ > p$ in Halbleitern mit Löchern als Majoritätsladungsträger
n, n^+	Elektronen-Konzentration $n^+ > n$ in Halbleitern mit Elektronen als Majoritätsladungsträger
N_A	Akzeptorkonzentration im p-type Halbleiter
N_D	Donatorkonzentration im n-type Halbleiter
d_i	Dicke der isolierenden Deckschicht $i, i=1,2,\dots$
G	Zahl der besetzten Grenzflächenzustände zwischen isolierender Deckschicht und p-type oder n-type Halbleiter
D_{ij}	Grenzflächenzustandsdichte in der Trägermaterialzelle TMZ(i,j)
τ_{ij}	Zeitkonstante der Grenzflächenzustände in der Trägermaterialzelle TMZ(i,j)
E_F	Fermienergie
E_C	Leitungsbandkante
E_V	Valenzbandkante
$E_g, E_g(i,j)$	Bandlücke des Halbleitermaterials oder des piezo- oder ferroelektrischen Materials der Trägermaterialzelle TMZ(i,j) oder der isolierenden Deckschicht 1
$XY, X'Y'$	Schnittebene durch das Array 11 zur Verdeutlichung der Translation bzw. Rotation

F_{ij}	oberflächennahe elektrostatische Kraft F der Trägermaterialzelle TMZ(i, j)
$U_K, U_{K1}, U_{K2},$ $U_{Ki},$	Gleichspannung (Kelvin-Spannung)
$U, U_1, U_2, U_i,$ U_{ij}	überlagerte Gleichspannung und Wechselspannung an der metallisch leitenden Rückseitenelektrode des Trägermaterials TM bzw. an der metallisch, leitenden Rückseitenelektrode der Trägermaterialzelle TMZ(i, j)
$Q^+, Q^-, Q_{ij}^+, Q_{ij}^-$, Q_M	geladene Störstellen in der isolierenden Schicht 1 im Trägermaterial bzw. in der Trägermaterialzelle TMZ(i, j) , auch magnetisierbar (Q_M)

Patentansprüche

1. Trägermaterial zur Modifikation, Manipulation und Bewegung von elektrisch polarisierbaren Biomaterialien, Polyelektrolytmaterialien, Atomen, Ionen und/oder Molekülen (**epAIMP**), umfassend halbleitende und/oder ferro- oder piezoelektrische Materialien, jeweils optional mit isolierender Deckschicht (**1**) und/oder optional strukturiert ausgeführter Oberfläche, wobei die Ursache, die oberflächennahen elektrostatischen Kräfte des Trägermaterials, für die Modifikation, Manipulation und Bewegung von der Umgebung unabhängig ist und dass die oberflächennahen elektrostatischen Kräfte die anderen Oberflächeneigenschaften des Trägermaterials nicht verändern.
2. Trägermaterial nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die isolierende Deckschicht (**1**) kleiner als 20 nm, bevorzugt kleiner als 5 nm ist, besonders bevorzugt die Dicke zwischen 2 und 3 nm liegt.
3. Trägermaterial nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens eine metallisch leitende Rückseitenelektrode (**5**) am Trägermaterial angebracht ist und diese zusätzlich optional lokal strukturiert ausgeführt ist.
4. Trägermaterial nach einem der vorhergehenden Ansprüche, angeordnet als Arraystruktur (**11**), dadurch gekennzeichnet, dass die einzelnen Trägermaterialzellen (**i,j**) des Arrays flächig durch verschiedene Polygone gebildet werden, wobei die Eckpunkte des Polygons, geradlinig und/oder gekrümmt paarweise miteinander verbunden sind und dass jede oder einzelne Trägermaterialzellen (**i,j**) mit einer eigenen metallisch leitenden Rückseitenelektrode **5** ausgestattet sind und dass die Trägermaterialzellen (**i,j**) vorzugsweise kleiner als die zu bewegenden elektrisch polarisierbaren Biomaterialien, Polyelektrolytmaterialien, Atomen, Ionen und/oder Molekülen (**epAIMP**) sind.
5. Trägermaterial nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass im Trägermaterial oder in einzelnen Trägermaterialzellen, vorzugsweise in der isolierenden Deckschicht (**1**) oder im oberflächennahen Bereich der halbleitenden und/oder ferro- oder piezoelektrischen Materialien, magnetisierbare Störstellen (**Q_M**) eingebracht sind.
6. Trägermaterial nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Trägermaterial ein Halbleitermaterial umfasst und dass

das Halbleitermaterial lokal undotiert und/oder dotiert (n , n^+ , p , p^+) ist, und/oder einzelne oder mehrere abschirmende Ladungstraps (Q^+ , Q^- , Q^+_{ij} , Q^-_{ij}) lokal in den Halbleiter und/oder lokal in der isolierenden Deckschicht (**1**) eingebracht sind, um die oberflächennahen, elektrostatischen Kräfte (F_{ij}) zu beeinflussen.

7. Trägermaterial nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Grenzflächenzustandsdichte (D_{ij}) in der Grenzschicht zwischen isolierender Deckschicht **1** und dem Halbleitermaterial besonders groß und die Zeitkonstante der Grenzflächenzustände (τ_{ij}) in der Grenzschicht zwischen isolierender Deckschicht **1** und dem Halbleitermaterial besonders klein sind, d.h. die Zeitkonstante der Grenzflächenzustände (τ_{ij}) liegt im Bereich von wenigen Nanosekunden bis Sekunden, bevorzugt im Bereich von Nanosekunden bis circa 10 Millisekunden bzw. die Grenzflächenzustandsdichte (D_{ij}) variiert von 10^7 bis 10^{14} $\text{cm}^{-2} \text{eV}^{-1}$, bevorzugt im Bereich von 10^{12} bis 10^{14} $\text{cm}^{-2} \text{eV}^{-1}$.
8. Trägermaterial nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass das Trägermaterial ein ferro- oder piezoelektrisches Material umfasst und dass lokal abschirmende geladene Ladungstraps/Störstellen (Q^+ , Q^- , Q^+_{ij} , Q^-_{ij}) in das ferro- oder piezoelektrische Material und/oder in die Deckschicht eingebracht sind.
9. Trägermaterial nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass sich mindestens ein Übergangsbereich zwischen zwei Gebieten mit jeweils umgekehrter Richtung der oberflächennahen, elektrostatischen Kräfte im Trägermaterial ausbildet, um die Manipulation, Modifikation und Bewegung von elektrisch polarisierbaren Biomaterialien, Polyelektrolytmaterialien, Atomen, Ionen und/oder Molekülen (**epAIMP**) zeitlich und räumlich veränderlich zu gestalten.
10. Verwendung des Trägermaterials nach einem der vorhergehenden Ansprüche zur Manipulation von elektrisch polarisierbaren Biomaterialien, Polyelektrolytmaterialien, Atomen, Ionen und/oder Molekülen (**epAIMP**) auf der Oberfläche des Trägermaterials (**TM**) oder zwischen benachbarten Trägermaterialzellen (**TMZ**), dadurch gekennzeichnet,
 - a. dass eine Spannung (U , U_i , U_{ij} , U_k) an mindestens eine der Rückseitenelektroden (**5**) des Trägermaterials (**TM**) oder der Trägermaterialzellen (**TMZ**) angelegt oder verändert wird, oder

- b. dass das Trägermaterial mit einer konstanten oder zeitlich veränderlichen elektromagnetischen Welle (**22**) mit einer Photoenergie, die größer als die Bandlücke des Halbleitermaterials, des ferro- oder piezoelektrischen Materials oder des Materials der isolierenden Deckschicht ist, bestrahlt wird,

wodurch freie Ladungsträger im Halbleitermaterial oder Polarisationsladungen im ferro- oder piezoelektrischen Material umverteilt werden und wodurch die Stärke und/oder Richtung der oberflächennahen, elektrostatischen Kräfte $\mathbf{F}(i,j)$ der Trägermaterialzelle $\mathbf{TMZ}(i,j)$ verändert wird.

11. Verwendung des Trägermaterials nach einem der Ansprüche 1 bis 9 zur Modifikation von elektrisch polarisierbaren Biomaterialien, Polyelektrolytmaterialien, Atomen, Ionen und/oder Molekülen (**epAIMP**), wobei

- a. einzelne Trägermaterialzellen (**i,j**) oder das Trägermaterial (**TM**) mit elektromagnetischen Wellen (**22**), vorzugsweise mit Licht, dessen Energie größer als die Bandlücke des Trägermaterials bzw. der oder einzelner Trägermaterialzellen ist, bestrahlt werden oder
- b. ein äußeres magnetisches Feld (**14**) zur Ummagnetisierung der magnetisierbaren Störstellen (\mathbf{Q}_M), vorzugsweise ein äußeres magnetisches Wechselfeld, angelegt wird, oder
- c. an die Rückelektrode (**5**) eine elektrische Gleichspannung und/oder Wechselspannung ($\mathbf{U}_i, \mathbf{U}_{ij}$) zur Be- und Entladung der geladenen Ladungsträger/Störstellen ($Q^+, Q^-, Q^+_{ij}, Q^-_{ij}$) angelegt wird,

wobei die Stärke der Änderung der chemischen und/oder physikalischen Eigenschaften der epAIMP an den einzelnen Trägermaterialzellen (**i,j**) oder dem Trägermaterial von der Intensität der elektromagnetischen Wellen (**22**), der Stärke des äußeren magnetischen Feld (**14**) oder der Stärke der elektrischen Gleichspannung und Wechselspannung ($\mathbf{U}_i, \mathbf{U}_{ij}$) abhängt und dadurch konstant und/oder zeitlich veränderlich gesteuert werden kann.

12. Verwendung des Trägermaterials nach einem der Ansprüche 1 bis 9 zur translatorischen oder rotatorischen Bewegung von elektrisch polarisierbaren Biomaterialien, Polyelektrolytmaterialien, Atomen, Ionen und/oder Molekülen (**epAIMP**) auf oder an der Oberfläche des Trägermaterials (**TM**) oder zwischen benachbarten Trägermaterialzellen (**i,j**), in denen die Richtung der oberflächennahen,

elektrostatischen Kräfte (F_{ij}) gleich = translatorisch oder entgegengesetzt = rotatorisch ist, wobei die Stärke und Richtung der oberflächennahen, elektrostatischen Kräfte (F_{ij})

- a. durch Anlegen oder Verändern der angelegten Gleichspannung und/oder Wechselspannung (U_i, U_{ij}) an die Rückseitenelektrode (5) einzelner Trägermaterialzellen, oder
- b. durch Bestrahlung mit elektromagnetischen Wellen (22), vorzugsweise mit Licht, dessen Energie größer als die Bandlücke (E_g) des Trägermaterials (TM) bzw. der oder einzelner Trägermaterialzellen (i,j) ist,

verändert wird.

13. Verwendung des Trägermaterials 11 nach einem der Ansprüche 1 bis 9 zur Herstellung von molekularen Maschinen (mM), wobei sich elektrisch polarisierbare Biomaterialien, Atome, Ionen oder Moleküle an einzelnen Trägermaterialzellen $TMZ(i,j)$ des Trägermaterials 11 befinden, und einzeln, d.h. zeitlich separat hintereinander, oder komplett oder teilweise gleichzeitig auf oder in der Nähe der Oberfläche des Trägermaterials mit Arraystruktur von einer Trägermaterialzelle $TMZ(i,j)$ zu einer angrenzenden Trägermaterialzelle $TMZ(i-1,j)$, $TMZ(i+1,j)$, $TMZ(i,j-1)$ oder $TMZ(i, j+1)$ bewegt werden können, wobei die Art der Bewegung durch die oberflächennahen, elektrostatischen Kräfte F_{ij} der Trägermaterialzellen $TMZ(i,j)$ bestimmt werden kann.
14. Verwendung des Trägermaterials 11 nach einem der Ansprüche 1 bis 9 in einem in-situ-Sensor für elektrisch polarisierbaren Biomaterialien, Polyelektrolytmaterialien, Atomen, Ionen und/oder Molekülen (epAIMP) in Flüssigkeiten und Gasen, wobei die Sensoroberfläche, an der die Flüssigkeiten oder Gase mit den zu detektierenden epAIMP vorbeiströmen, durch das Trägermaterial oder das Trägermaterial mit Arraystruktur gebildet wird.
15. Verwendung des Trägermaterials 11 nach einem der Ansprüche 1 bis 9 als Filter für elektrisch polarisierbare Atome, Ionen und/oder Moleküle in Gasen, Flüssigkeiten und Pulvern, wobei die Trägermaterialzellen $TMZ(i,j)$ in Siebstruktur ausgeführt sind und durch die veränderlichen elektrostatischen Kräfte $F(i,j)$ unter Ausnutzung der Ansprüche 10 bis 12 die Filtereigenschaften einzelner Trägermaterialzellen $TMZ(i,j)$ kontrolliert werden können.

16. Verwendung des Trägermaterials **11** zur Reinigung des Sensors nach Anspruch 14 oder zur Reinigung des Filters nach Anspruch 15 durch Abstoßung der elektrisch polarisierbaren Biomaterialien, Polyelektrolytmaterialien, Atomen, Ionen und/oder Molekülen (**epAIMP**) mittels Manipulation, Modifikation oder Bewegung unter Ausnutzung der Ansprüche 10 bis 12.
17. Verwendung des Trägermaterials nach einem der Ansprüche 1 bis 9 zur markerfreien elektrischen kontaktlosen Detektion der elektrisch polarisierbaren Biomaterialien, Polyelektrolytmaterialien, Atomen, Ionen und/oder Molekülen (**epAIMP**) in Pulvern, Flüssigkeiten, Gasen mittels Primärelektronenstrahlen (**23**) aus mindestens einer Elektronenquelle (**25**), wobei die Streuung der Sekundärelektronen (**24**), die durch Auftreffen der Primärelektronen (**23**) auf **epAIMPs** gebildet wird, von der elektrischen Polarisation der **epAIMP** abhängt und mittels eines Elektronendetektors (**26**) bestimmt wird, wobei die elektrische Polarisation der **epAIMP** durch verändern der oberflächennahen elektrostatischen Kräfte unter Ausnutzung der Ansprüche 10 bis 12.
18. Verwendung des Trägermaterials **11** als Biochip für elektrisch polarisierbare Biomaterialien (**BM**), wobei der Biochip die Manipulation, die Modifikation und/oder die Bewegung realisiert.
19. Verwendung nach Anspruch 18, wobei Polyelektrolytmaterial als Haftmaterial der Biomaterialien (**BM**), Biomoleküle, Biofluide oder Zelle, am Trägermaterial verwendet wird.
20. Verwendung nach Anspruch 19, wobei das Polyelektrolytmaterial als Haftmaterial eine kontrolliert inerte Passivierungsschicht (**PEL-1**) oder eine aktiv bindende Schicht (**PEL-2**) oder eine biozide Schicht (**PEL-3**) bildet.
21. Trägermaterials nach einem der Ansprüche 1 bis 9 als Template zur definierten Musterbildung unter Ausnutzung der Ansprüche 10 bis 12 für die selektive Adsorption und Ausrichtung der elektrisch polarisierbaren Biomaterialien, Polyelektrolytmaterialien, Atomen, Ionen und/oder Molekülen (**epAIMP**), vorzugsweise zur unidirektional selektiven Adsorption und Ausrichtung von **PEL**-Materialien aus kettensteifen **PEL**.
22. Verwendung des Trägermaterials nach einem der Ansprüche 1 bis 9 und 21 zum gerichteten Wachstum von elektrisch polarisierbaren Biomaterialien, Polyelektrolytmaterialien, Atomen, Ionen und/oder Molekülen (**epAIMP**) auf dem

Trägermaterial, unter Ausnutzung des bevorzugten Wachstums von elektrisch polarisierbaren Biomaterialien, Polyelektrolytmaterialien, Atomen, Ionen und/oder Molekülen (**epAIMP**) auf Polyelektrolytmaterialien.

Zeichnungen

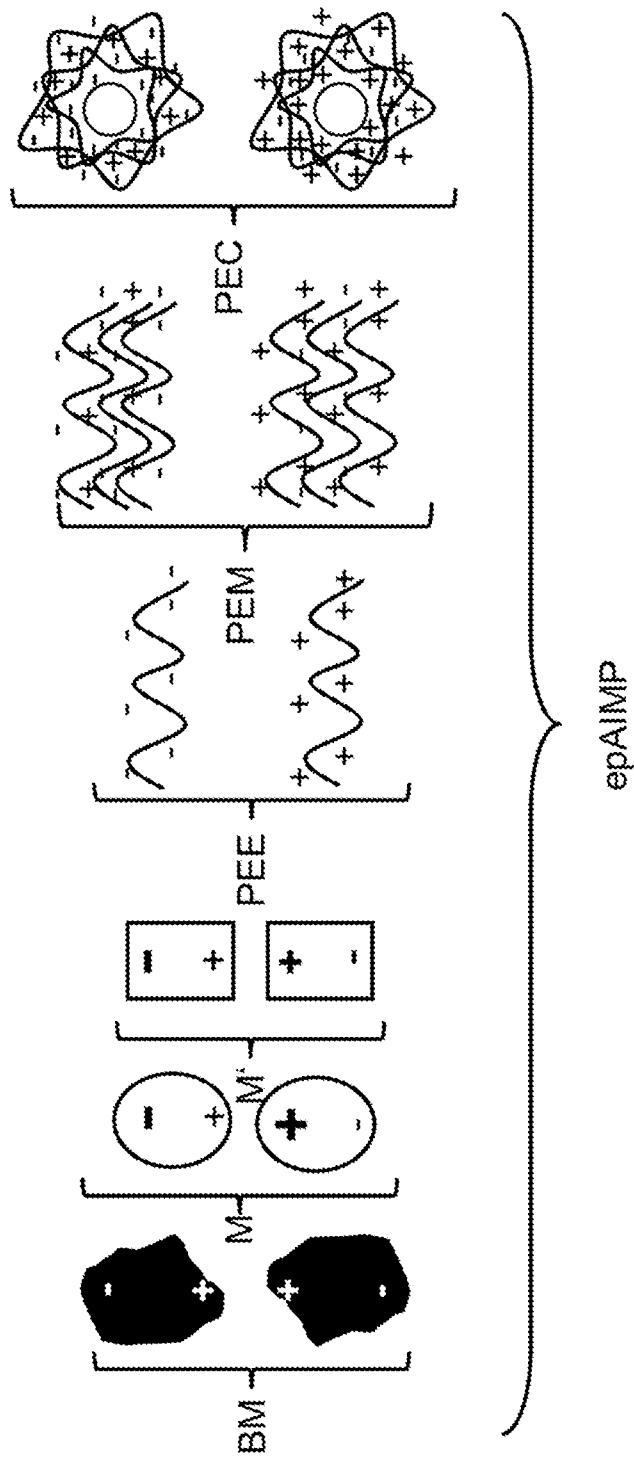


Fig. 1

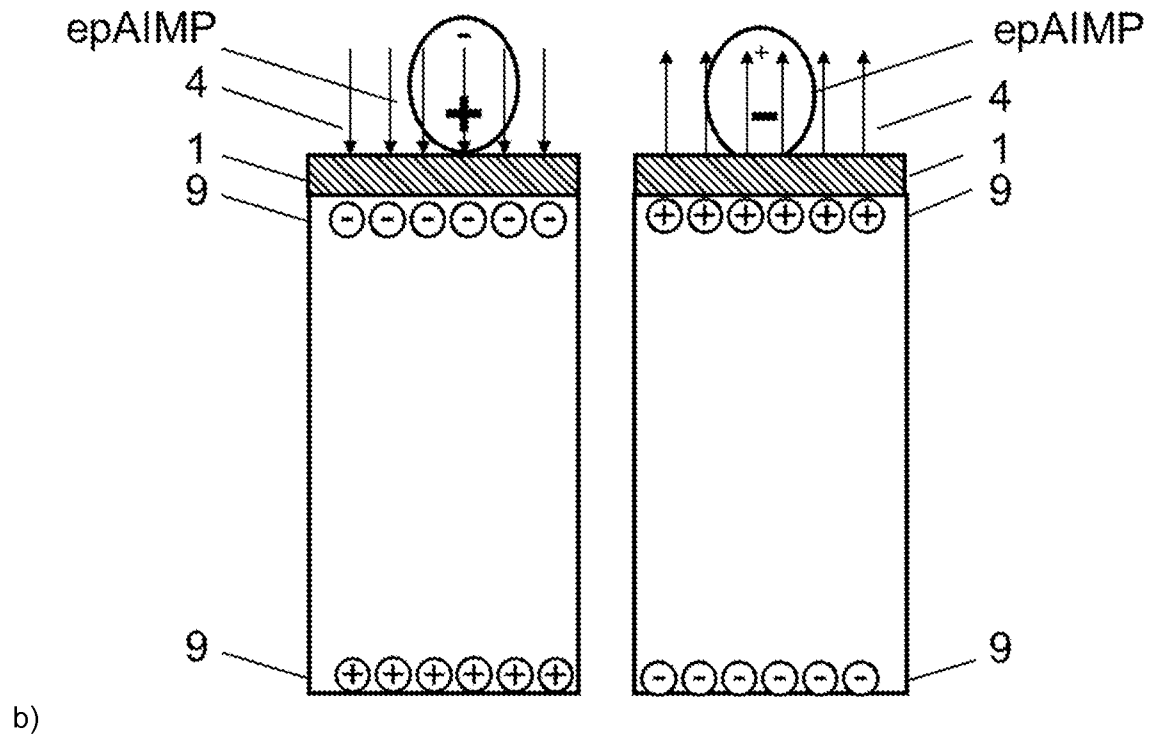
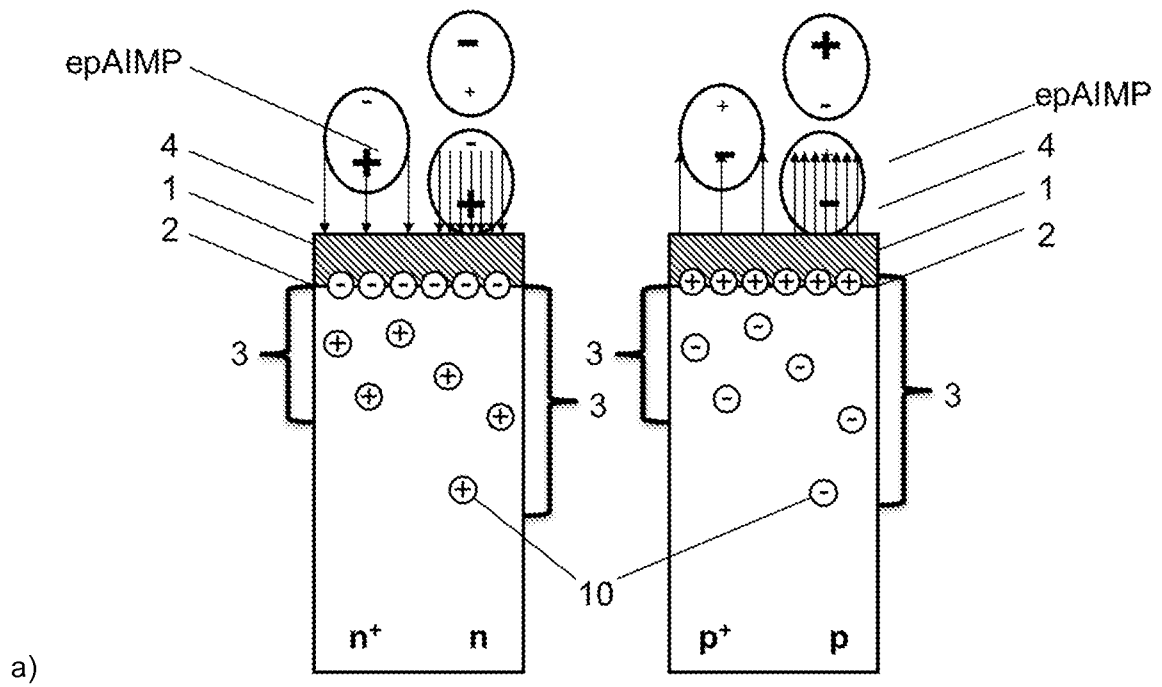


Fig. 2

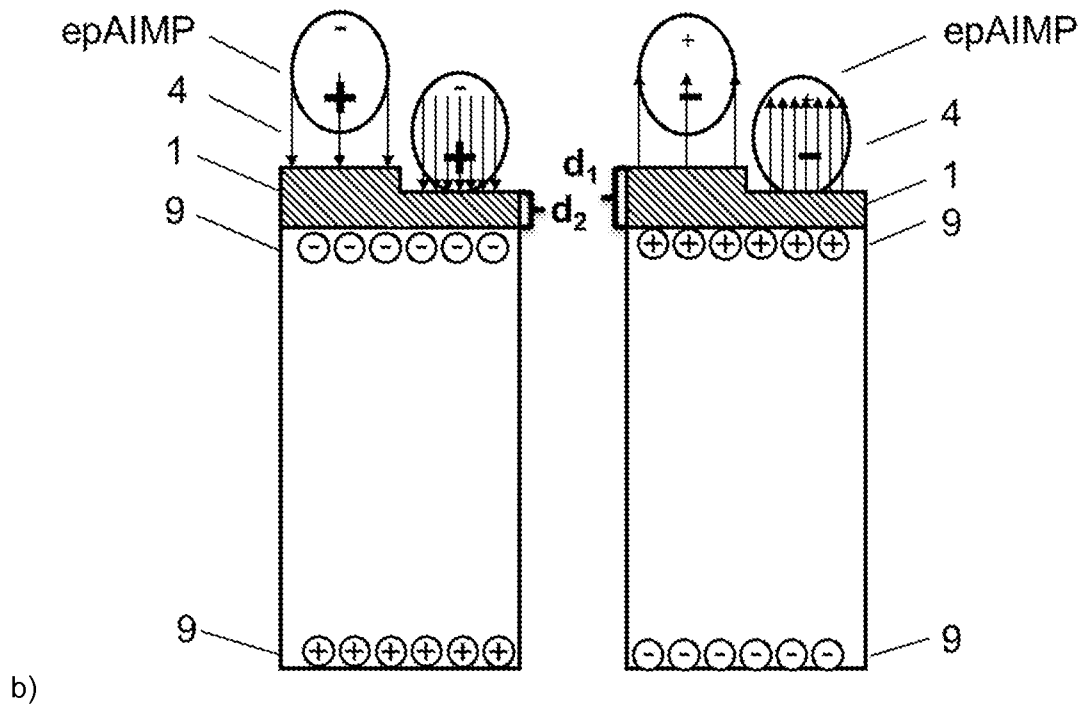
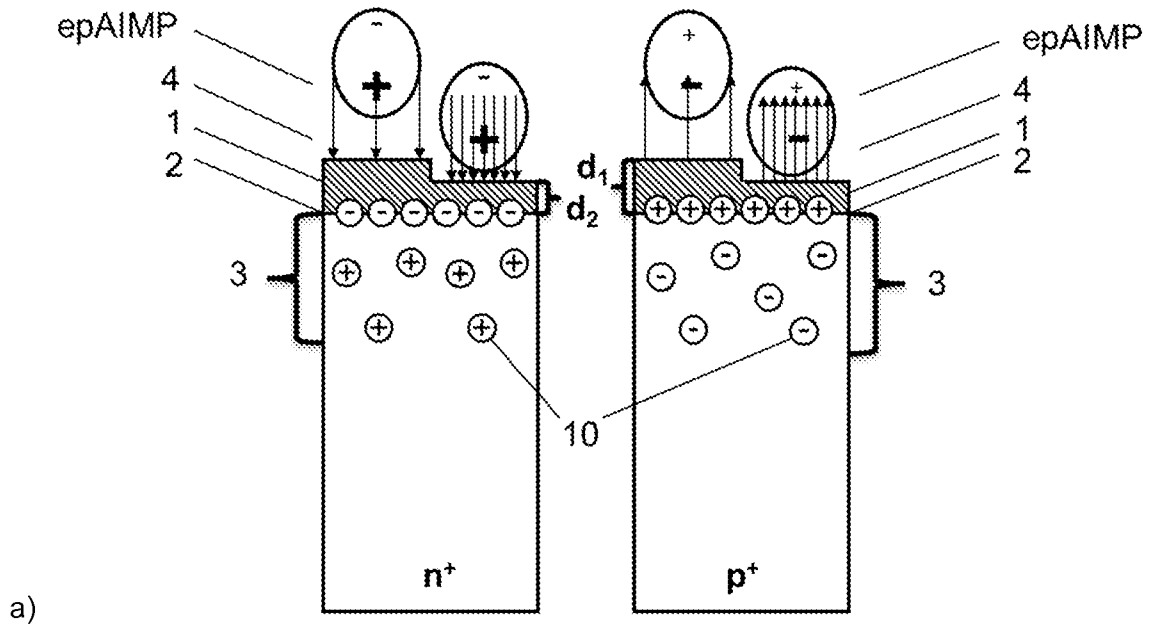


Fig. 3

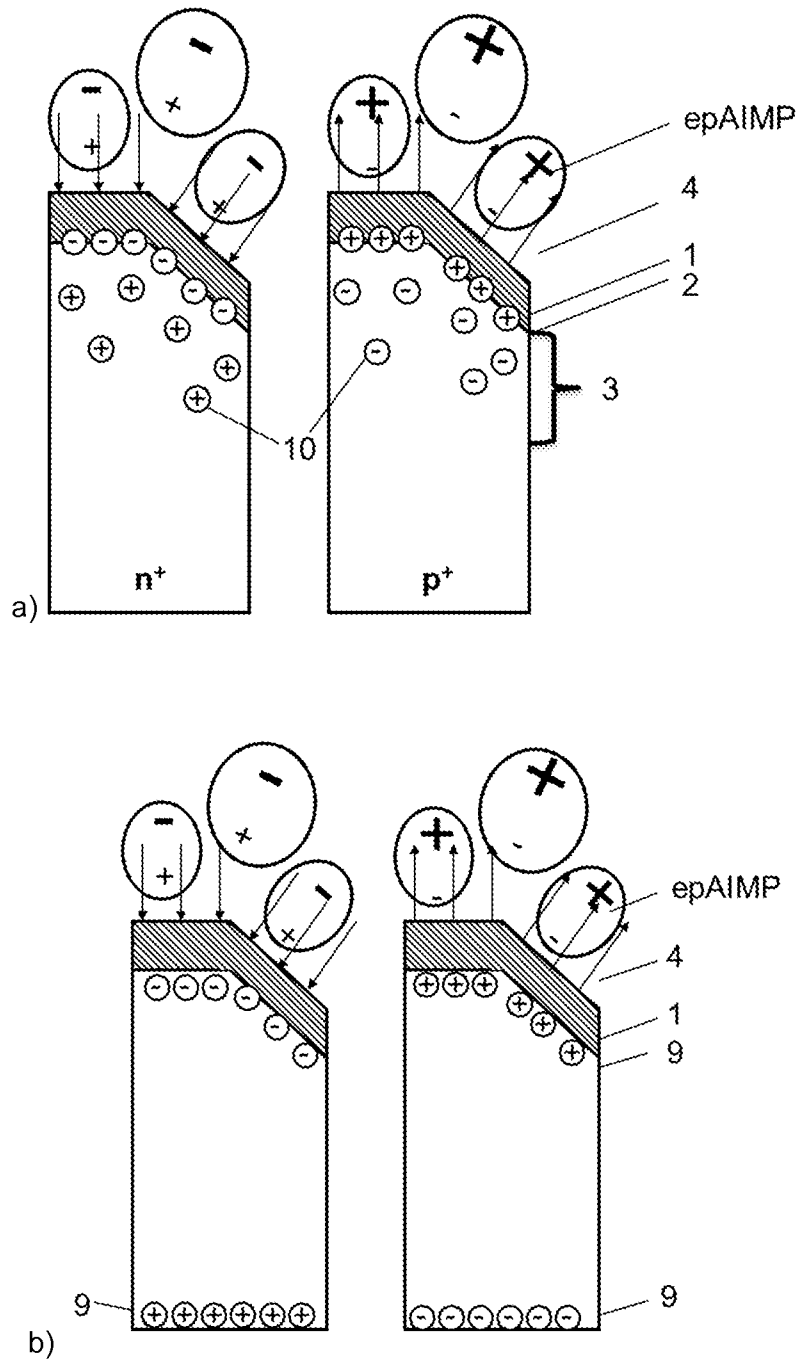


Fig. 5

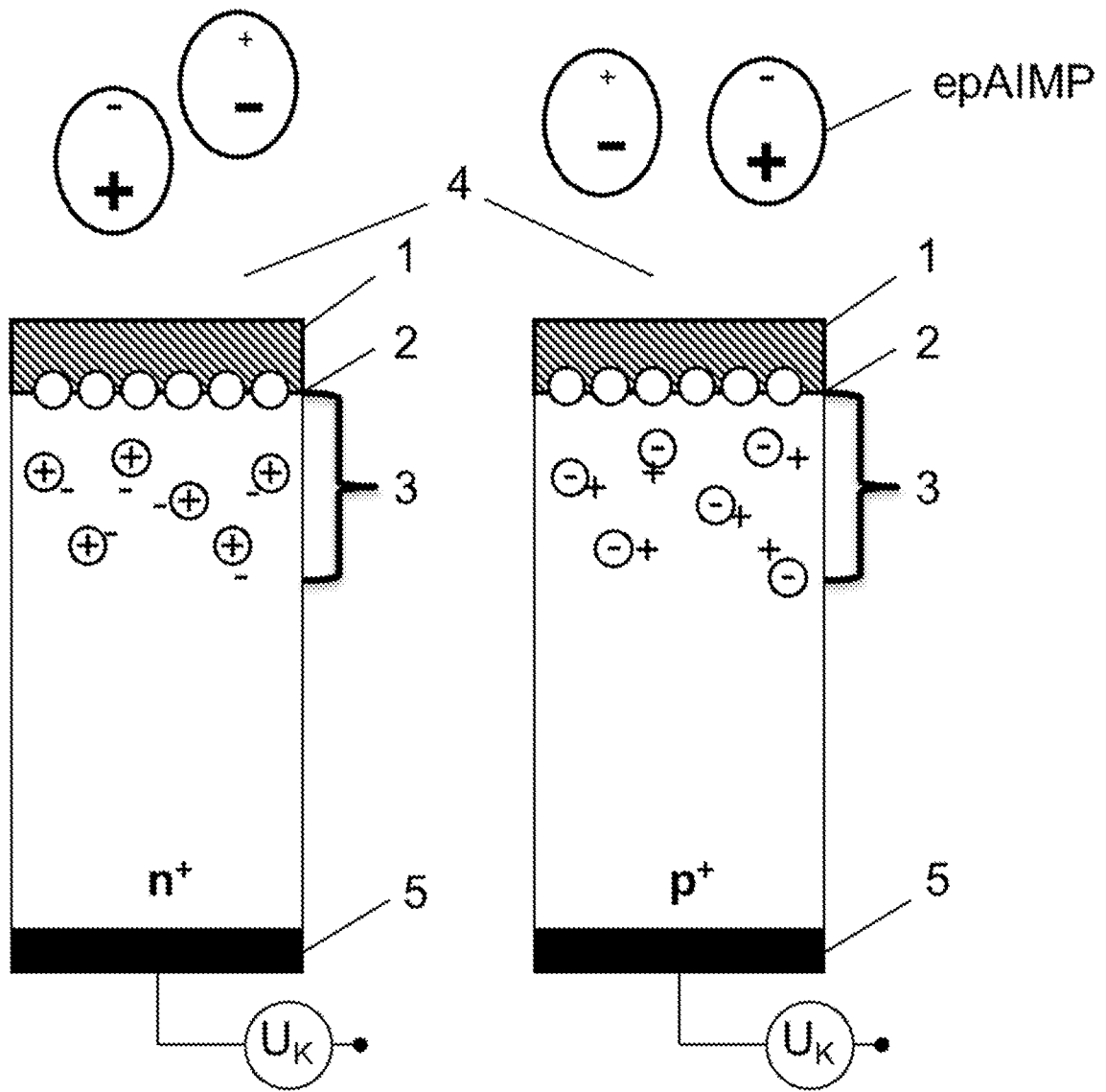


Fig. 6

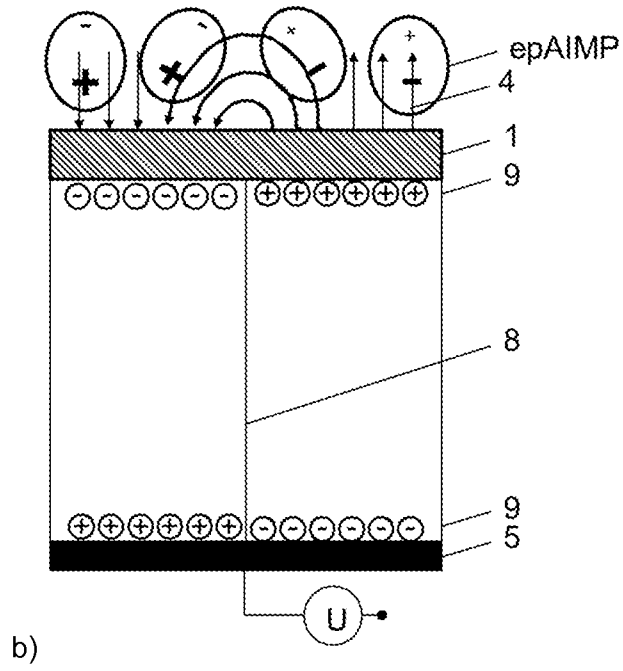
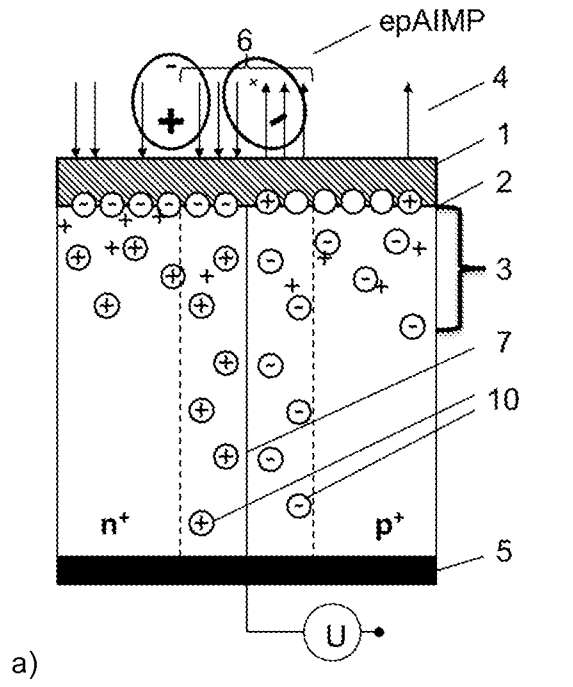


Fig. 7

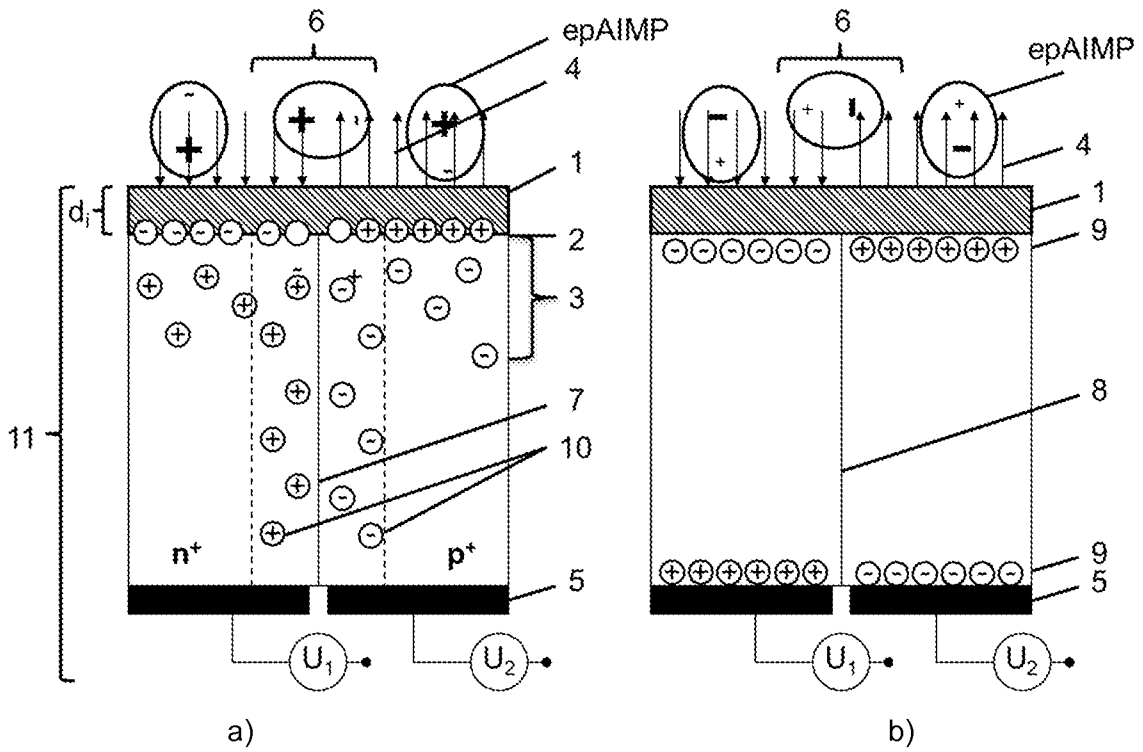


Fig. 8

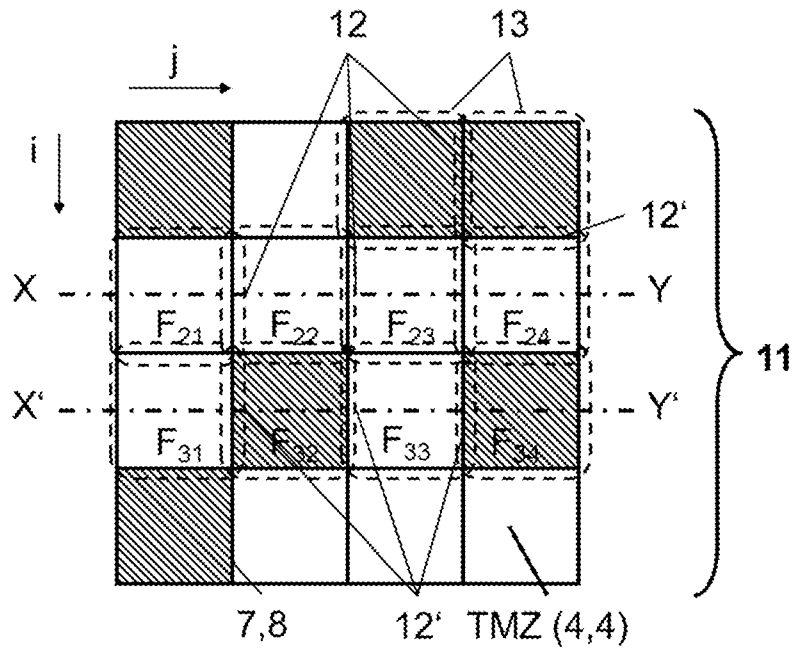


Fig. 9

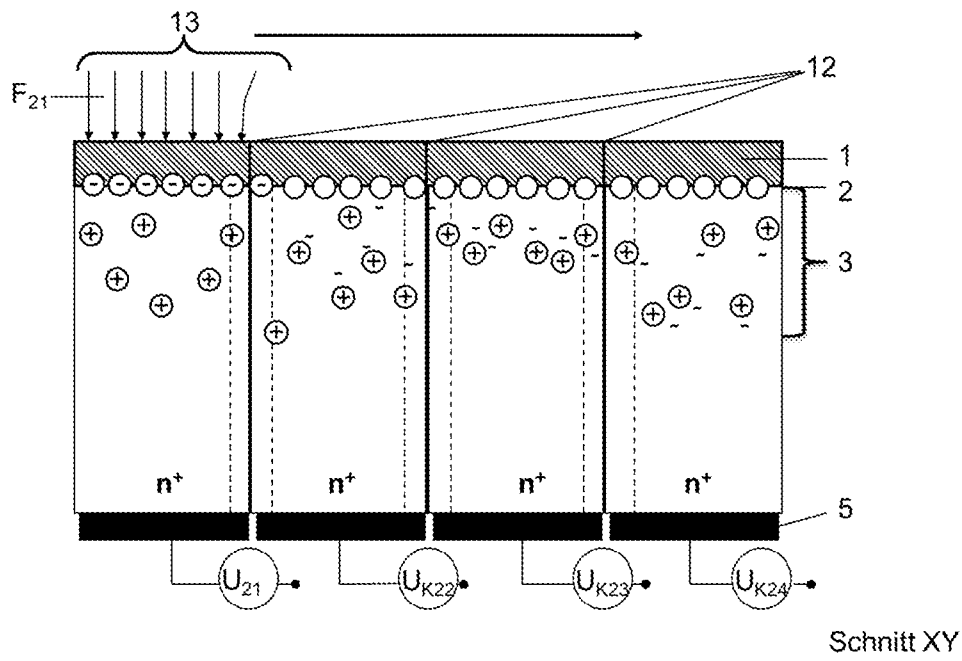


Fig. 10

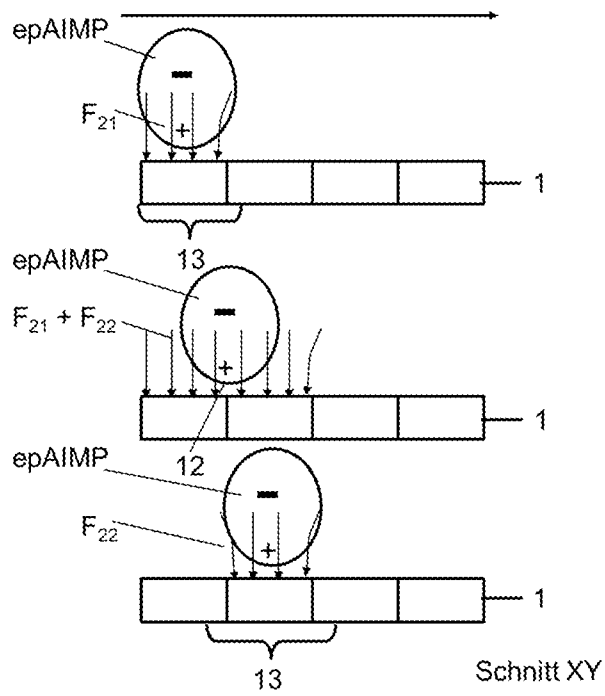


Fig. 11

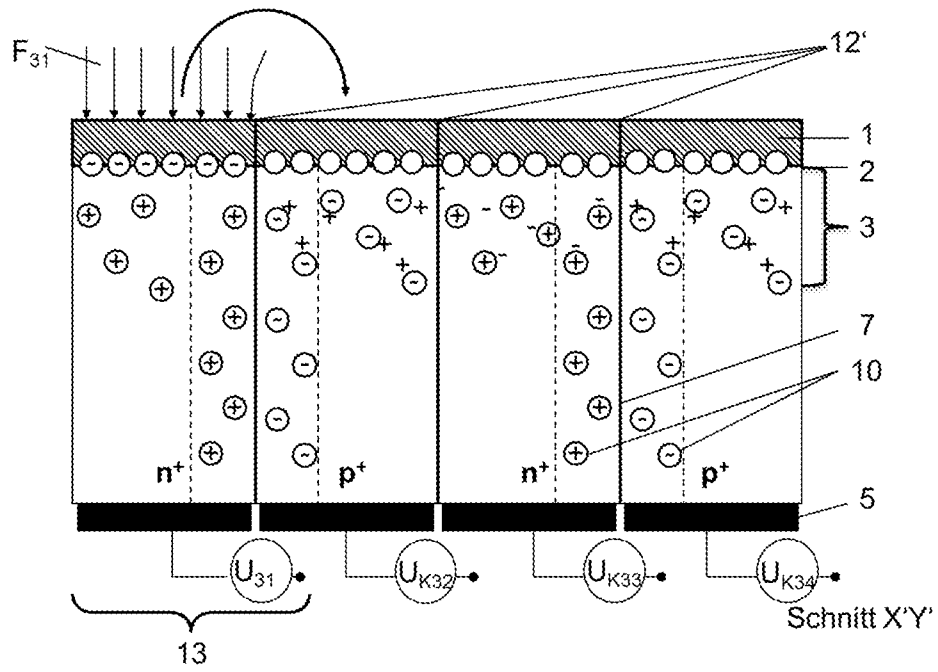


Fig. 12

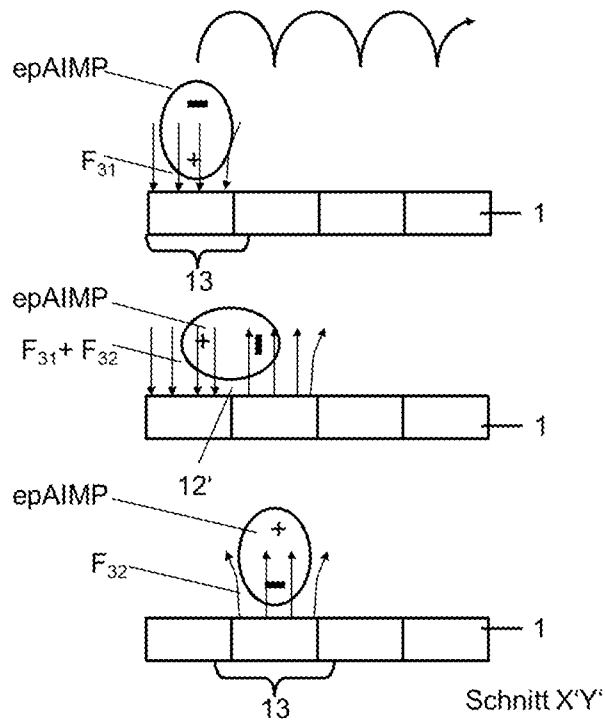


Fig. 13

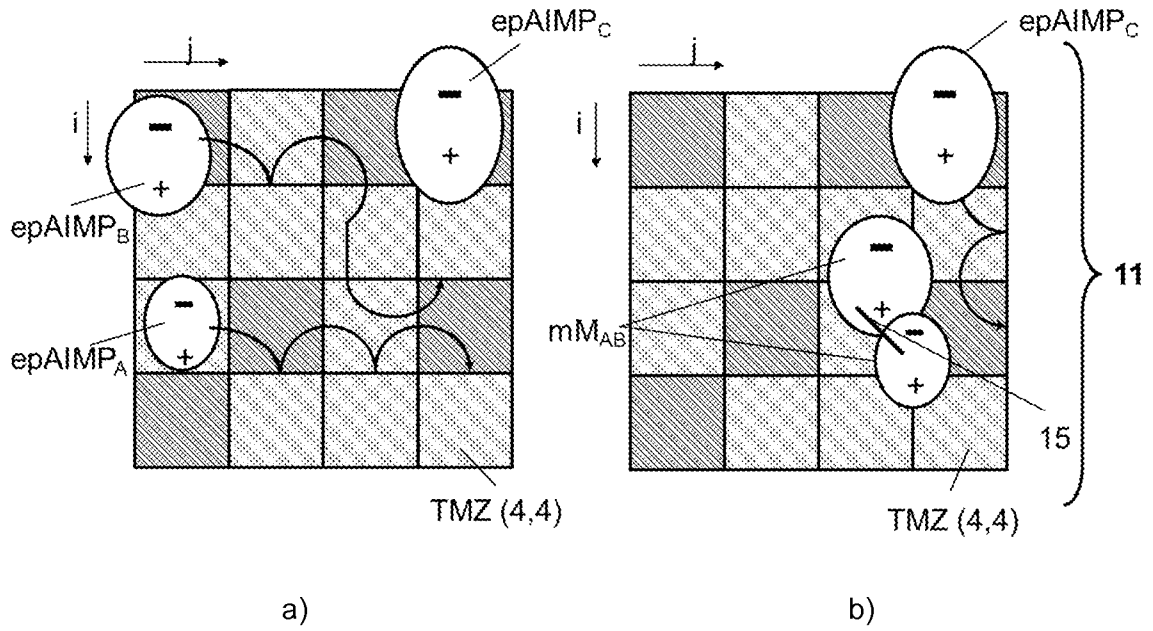


Fig. 14

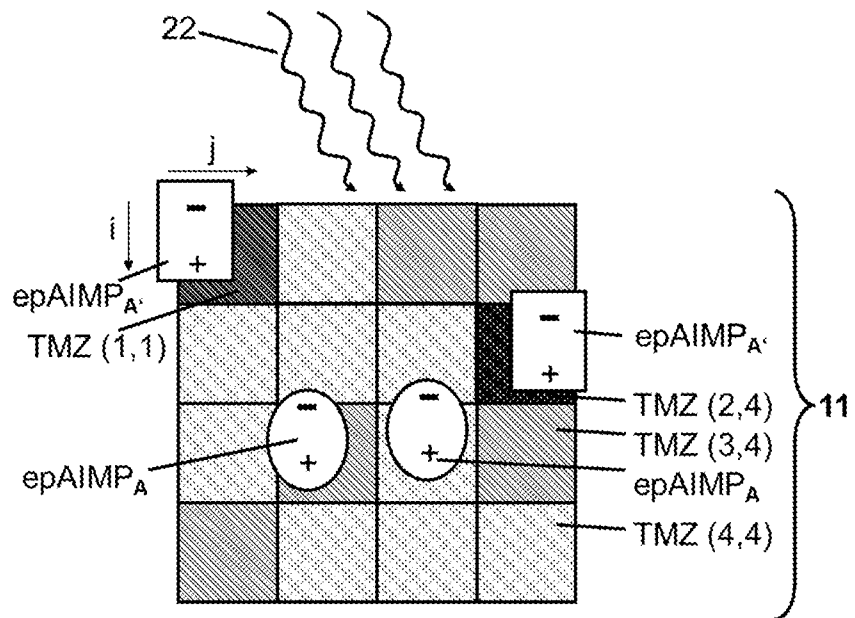


Fig. 15

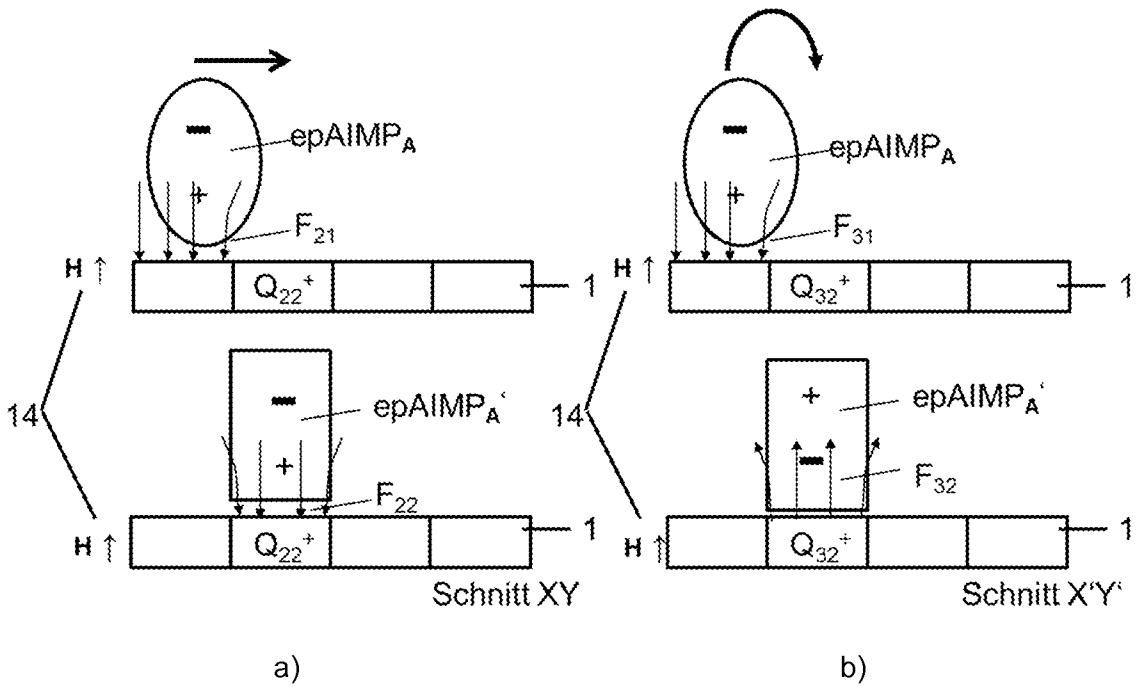


Fig. 16

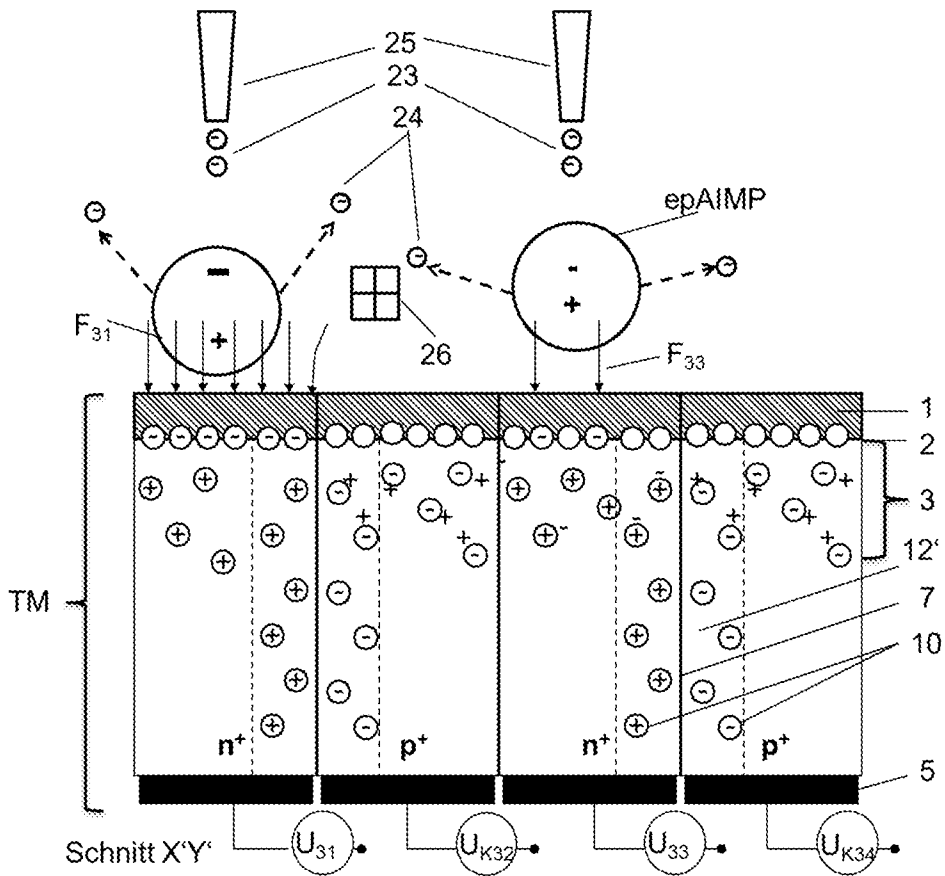


Fig. 17