



(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

- (43)

Veröffentlichungstag:
14.08.2024 Patentblatt 2024/33
- (51)

Internationale Patentklassifikation (IPC):
B08B 17/06 (2006.01)
- (21)

Anmeldenummer: 24401006.2
- (52)

Gemeinsame Patentklassifikation (CPC):
B08B 17/065
- (22)

Anmeldetag: 09.02.2024

- (84)

Benannte Vertragsstaaten:
AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB
GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC ME MK MT NL
NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR
Benannte Erstreckungsstaaten:
BA
Benannte Validierungsstaaten:
GE KH MA MD TN
- (71)

Anmelder: IMOS Gubela GmbH
77871 Renchen (DE)
- (72)

Erfinder: Gubela, Hans-Erich
77876 Kappelrodeck (DE)
- (74)

Vertreter: Jooß, Achim
IMOS Gubela GmbH
Kniebisstraße 1
77871 Renchen (DE)
- (30)

Priorität: 13.02.2023 DE 202023000325 U
29.03.2023 DE 102023001224

(54)

MODULARES MIKROSTRUKTURELEMENT

(57) Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine superhydrophobe Struktur zu schaffen, die einfach mittels Massenfertigung herstellbar ist, die leicht entformbar ist und die sich einfach replizieren lässt und modular aufgebaut ist.

Dazu ist ein modulares Bauteil vorgesehen, das aus mehreren wiederholbaren Einzelementen (13) aufgebaut ist und mehrere Mikrostrukturelemente (5) umfasst, die sich senkrecht zu einer Haupterstreckungsebene (11) eines Grundkörpers (3) erheben oder Vertiefungen dazu bilden und die in mindestens zwei verschiedenen Entfernungen von der Haupterstreckungsebene enden, wobei die Entfernungen einer sich periodisch wiederholenden Funktion folgen.

Außerdem ist ein Herstellungsverfahren für die Einzelemente und ein daraus zu fertigendes Modul angegeben.

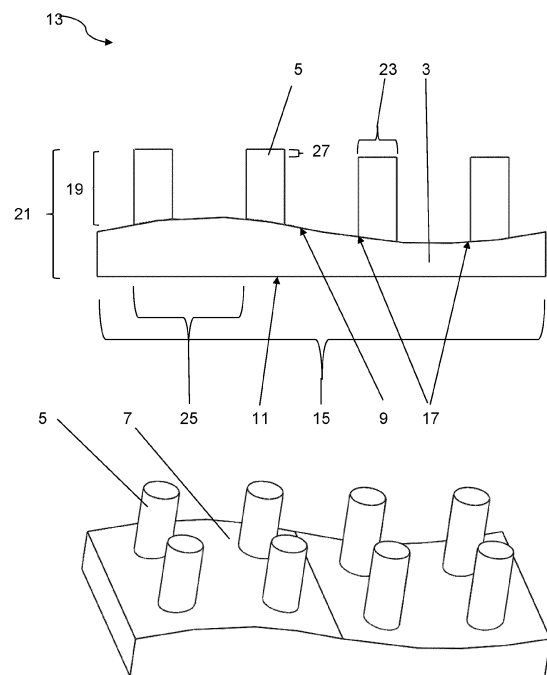


Fig 1

Beschreibung

[0001] In den letzten Jahren gewinnen Strukturen, die den sogenannten Lotus-Effekt aufweisen, immer mehr an Bedeutung. Beispielsweise wird dieser Effekt im Artikel "Lotus effect in wetting and self-cleaning" Biotribology Volume 5, März 2016, Seiten 31-43 von Zhang et. al. besprochen. Auch die Patentliteratur weist eine steigende Zahl von Publikationen in diesem Gebiet auf.

[0002] Es sind viele verschiedene Fertigungsmethoden etabliert. Die EP 2 636 501 B1 (Inhaber: Mitsubishi Rayon Co Ltd., Prioritätstag: 26. Mai 2011) stellt ein Rolle-zu-Rolle Abformungs- und Aushärtungsverfahren für mikrostrukturierte Objekte vor. In der US 2007/0259156 A1 (Erfinder: Roger Kempers et. al., Anmeldetag: 3. Mai 2006) wird ein 3-d Druckverfahren insbesondere für zufällig verteilte Abstände vorgeschlagen.

[0003] In der US 2017/0144202 A1 (Anmelder: The board of trustees of the University of Illinois, Prioritätstag: 17. Februar 2009) werden superhydrophobe Filme gezeigt, die eine selektive Kontrolle der hydrophoben Eigenschaften durch Biegung des Films zeigen, indem durch das Verbiegen der Abstand zwischen benachbarten Makrostrukturen variiert wird. Es werden Auswirkungen unterschiedlicher Abstände zylindrischer Mikrostrukturen auf den Benetzungswinkel diskutiert. Als Herstellungsverfahren wird Aushärten von Kunststoffen in lithografisch hergestellten Formen beispielhaft erläutert.

[0004] Die Literatur befasst sich kaum mit den Eigenschaften erhabener oder gekrümmter Oberflächen, die superhydrophobe Eigenschaften haben sollen. Meist werden nur flache Objekte besprochen. Eine Ausnahme bildet die US 2012/0177881 A1 (Erfinder: Sen Yung Lee et. Al, Prioritätstag 11. Januar 2011) in der eine superhydrophobe Mikrostruktur auf einem Basiskörper mit mehreren Hervorstehungen unterschiedlicher Höhe offenbart wird und Möglichkeiten zur Massenfertigung wie Prägen und Mikro/Nano Imprint Lithographie vorgeschlagen werden, die Entlüftungsprobleme vermeiden sollen.

[0005] In der US 2019/0 212 859 A1 (Erfinder: Michael Milbocker und Lucas Bluecher) wird in einem Ausführungsbeispiel eine Verschränkung von Touchscreenmodulen beschrieben. Ein gekachelter Aufbau einer Vielzahl strukturierter Elemente ist in einer ersten Hierarchieebene, die über Verschränkung von Scherkräften die Touchscreeneigenschaft bewirkt, vorgesehen. Nur als zweite Hierarchieebene mit einer kleineren Struktur dient als hydrophobe Oberfläche. Dieser hierarchische Aufbau der Strukturelemente hat den Nachteil, dass ab der zweiten Hierarchieebene, die für die hydrophoben Eigenschaften verantwortlich ist der Aufbau komplex wird und keine einfachen Wiederholungen der Strukturen der zweiten Hierarchieebene möglich sind. In der US 2019/0 1333 222 A1 (Erfinder: Michael Milbocker und Lucas Bluecher) werden verschiedene Dimensionen der Elemente eines ähnlichen hierarchischen Aufbaus von Strukturelementen beschrieben. Auch hier sind die Strukturen der zweiten Hierarchieebene komplex und

nicht durch einfache Wiederholung von Modulen erzeugbar.

[0006] In der DE 10 2014 119 470 A1 wird eine strukturierte Oberfläche beschrieben, die Adhäsionskräfte zu dieser Fläche stufenweise schaltbar gestaltet. Die Kontaktierung von Flüssigkeiten wird im dort beschriebenen Herstellungsverfahren ausgenutzt spielt aber ansonsten keine Rolle.

[0007] Der Offenbarungsgehalt dieser Druckschriften wird in diese Anmeldung einbezogen.

[0008] Es kann zwischen unterschiedlichen Effekten unterschieden werden, die auf hydrophoben Eigenschaften eines Materials mit Mikrostrukturen basieren. Zum einen kann durch das Abperlen großer Flüssigkeitstropfen ein selbstreinigender Effekt erzielt werden, zum anderen kann die Kondens- und Nebelbildung auf mit Mikrostrukturen versehenen Oberflächen vermieden werden, um so den Beschlag und die Beeinträchtigung von Sichtverhältnissen durch die behandelten Flächen hindurch oder in Reflexion an diesen zu verhindern.

[0009] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine superhydrophobe Struktur zu schaffen, die einfach mittels Massenfertigung herstellbar ist, die leicht entformbar ist und die sich einfach replizieren lässt und modular aufgebaut ist.

[0010] Diese Aufgabe wird durch ein Bauteil gemäß Anspruch 1 gelöst. Die Verwendungsmöglichkeiten eines solchen Bauteils werden in Anspruch 11 aufgezeigt. Anspruch 12 beschreibt ein Verfahren zur Herstellung. Weitere Aspekte der Erfindung werden in den abhängigen Ansprüchen erörtert.

[0011] Hydrophobe Strukturen bilden zu einem Wassertropfen einen Benetzungswinkel größer als 90°. Als superhydrophob sind Strukturen definiert, auf denen ein Wassertropfen einen Benetzungswinkel größer als 105° bilden. Als Benetzungswinkel wird derjenige Winkel bezeichnet, den die Oberfläche eines Flüssigkeitstropfens mit der Oberfläche eines Feststoffs bildet. Dabei wird wobei das mit Flüssigkeit befüllte Tropfenvolumen vom Benetzungswinkel eingeschlossen.

[0012] Ein erfindungsgemäßes Bauteil weist einen Grundkörper auf. Der Grundkörper kann beispielsweise eine Folie, ein durchsichtiges und/oder ein reflektierendes Objekt sein. Bei makroskopischer Betrachtung ist der Grundkörper vorzugsweise näherungsweise flach. Das heißt, eine Ausdehnung des Grundkörpers in eine Raumrichtung ist um mindesten den Faktor 5 kleiner als eine Ausdehnung in die beiden anderen Raumrichtungen. Die beiden Raumrichtungen, in denen die Ausdehnung des Grundkörpers am größten ist, spannen eine Haupterstreckungsebene auf. Im Falle einer aufgerollten Folie oder einer sonstigen aufgerollten Fläche bezieht sich der Begriff Haupterstreckungsebene auf den abgerollten flachen Zustand. Als z-Richtung wird in dieser Anmeldung die Richtung senkrecht zur Haupterstreckungsebene angesehen. Einen Nullpunkt der z-Achse bildet das Minimum aus allen Schnittkanten der Mikrostrukturelemente mit dem Grundkörper. Zur Suche eines Ur-

sprungs in Z-Richtung kann also wie folgt vorgegangen werden: Man sucht eine Oberfläche, die in einer Richtung also zum Beispiel einer x - Richtung uneben ist, wird hier als gekrümmt bezeichnet, eine Oberfläche, die in zwei Richtungen also in x und y- Richtung uneben ist, wird als gewölbt bezeichnet.

[0013] Senkrecht zur Haupterstreckungsebene erheben sich aus dem Grundkörper eine Vielzahl von Mikrostrukturelementen oder bilden alternativ Vertiefungen im Grundkörper. Diese Mikrostrukturelemente erhöhen den Kontaktwinkel zu einem Flüssigkeitstropfen insbesondere zu einem Wassertropfen und verleihen dem erfindungsgemäßen Bauteil so superhydrophobe Eigenschaften.

[0014] Zur Vermeidung scharfer Kanten sind die Mikrostrukturelemente räumlich voneinander getrennt. Sie bilden also keine zusammenhängende Einheit. Mit Ver rundungen lässt sich das erfindungsgemäße Bauteil einfacher und in stabiler Form in einem Zweiphotonenpolymerisationsprozess, der weiter unten beschrieben wird, herstellen.

[0015] Erfindungsgemäß ist vorgesehen, dass das Bauteil modular aufgebaut ist, also mehrere Einzelelemente wie nach dem Baukastenprinzip zusammengefügt. Die Einzelelemente sind also für sich genommen gleich aufgebaut und bilden durch ihre mehrfache aneinandergereihte Wiederholung das erfindungsgemäße Bauteil. Es ist für den modularen Aufbau eines erfindungsgemäßen Bauteils von Vorteil, wenn die sich wiederholenden Einzelelemente für sich genommen möglichst einfach aufgebaut sind. Beispielsweise kann auf Substrukturen der Mikrostrukturelemente verzichtet werden. Außerdem kann die Anzahl der einzelnen Mikrostrukturelemente auf einem Einzelelement begrenzt werden. Bevorzugt weist ein Einzelelement weniger als fünfzehn einzelne Mikrostrukturelemente auf, besonders bevorzugt weniger als zehn. Auch dadurch, dass eine sich wiederholende periodische Funktion zur Abbildung von Unterschieden der vom Grundkörper entfernten Enden der Mikrostrukturelemente in z-Richtung gewählt wird, wird dieser modulare Aufbau begünstigt. Die unterschiedlichen Abstände der Enden der Mikrostrukturelemente in z-Richtung vergrößern den Kontaktwinkel der Flüssigkeitstropfen, verstärken die wasserabweisende Wirkung und verringern die Kontaktfläche zwischen Tropfen und Mikrostrukturelementen.

[0016] Die Mikrostrukturelemente können eine oder mehrere Formen annehmen, ausgewählt aus der Gruppe zylindrischer oder kegel(stumpf)förmiger Strukturen oder die Form eines sich senkrecht zur Haupterstreckungsebene ausdehnenden Polygons aufweisen. Die Mikrostrukturelemente können in ihrem Verlauf senkrecht zur Haupterstreckungsebene einen konstanten Durchmesser, bzw. eine konstante laterale Abmessung aufweisen oder sich verjüngen. Sich verjüngende Strukturen haben den Vorteil, dass sie sich beim Prägen oder Spritzprägen leichter entformen lassen. Beispiele hierfür sind zylinderförmige Säulen oder spitz pyramidal zulaufende Nadeln. Mit spitz zulaufenden Strukturen ist ein noch größerer Benetzungswinkel möglich sofern nicht die Oberflächenspannung des Tropfens zerstört wird. Strukturen, bei denen die laterale Abmessung in z-Richtung konstant ist, weisen eine größere Stabilität auf. Zylindrische oder kegelförmige Strukturen lassen sich durch die Symmetrie einfacher herstellen. Strukturen mit einer polygonalen Projektion in die Haupterstreckungsebene, insbesondere mit einer rechteckigen schachbrettartigen Grundstruktur, haben den Vorteil, dass negative Abformungen gleich aussehen wie positive Formen. Das heißt, anders als bei zylinderförmigen Mikrostrukturelementen werden im Negativ aus Erhebungen zwar auch Löcher, jedoch wird das Schachbrettmuster beibehalten. Dies ist besonders von Vorteil, wenn genau eine hälftige Aufteilung einer Grundfläche in der Haupterstreckungsebene zwischen den Erhebungen der Mikrostrukturelemente und den Tälern erzielt werden soll, die dann auch im Negativ beibehalten wird.

[0017] Gemäß einer Ausführungsform der Erfindung haben alle Mikrostrukturelemente die gleiche Höhe, die als Ausdehnung zwischen dem Berührungspunkt zum Grundkörper und dem vom Grundkörper entfernten Ende definiert ist, enden aber aufgrund einer Krümmung oder Wölbung einer Oberfläche des Grundkörpers in einem unterschiedlichen Höhenabstand zur Haupterstreckungsebene, also an einem unterschiedlichen Punkt in z- Richtung, die senkrecht zur Haupterstreckungsebene verläuft. Die Krümmung bzw. Wölbung der Oberfläche lässt sich als periodische Funktion beschreiben. Beispiele für solche Funktionen sind im einfachsten Fall sinusförmige Oberflächen. Da sich gemäß dem Satz von Fourier alle periodischen Funktionen als Reihen von Sinus-Funktionen darstellen lassen, und die Beschränkungen dann in der Herstellung liegen, sind selbstverständlich auch Oberwellen mitgemeint. Die Mikrostrukturelemente befinden sich auf unterschiedlichen Phasenlagen der gekrümmten Oberfläche. Hierbei wird die Änderung des Grundkörpers über den Durchmesser des Mikrostrukturelements bei der Messung der Höhe vernachlässigt. In der Herstellung ist dies durch die 3-d-Druck ähnliche Zweiphotonenpolymerisation allerdings ausgeglichen.

[0018] Gemäß einer anderen Ausführungsform der Erfindung werden unterschiedliche Endpunkte auf einer ebenen Oberfläche des Grundkörpers durch unterschiedliche Höhen der Mikrostrukturelemente erzielt. Dies kann zum Beispiel durch individuelle Herstellung jedes einzelnen Mikrostrukturelements auf dem Grundkörper, beispielsweise mittels Zweiphotonenpolymerisation realisiert werden. So können die Mikrostrukturelemente mit einer sinusförmigen Höhenverteilung über dem Grundkörper angebracht sein. Die Mikrostrukturelemente unterscheiden sich in ihrer Höhe um die Phasenlage auf dem Grundkörper. Die Höhe folgt also einer periodischen Funktion, insbesondere einer Sinusfunktion. Hierbei kann es sich auch um eine Funktion $f(x,y)$ handeln, die sich in zwei Raumrichtungen periodisch wiederholt. Wenn die Wellenlängen in x- und y- Richtung

unterschiedlich sind, kann eine Vorzugsrichtung festgelegt werden, in der die Flüssigkeitstropfen abperlen sollen.

[0019] Gemäß einem Aspekt der Erfindung ist die laterale Abmessung der Mikrostrukturelemente zwischen 2 μm und 10 μm . Als laterale Abmessung ist die größte Ausdehnung eines Mikrostrukturelements in einer zur Haupterstreckungsebene komplanaren Ebene definiert. Sofern nichts anderes erwähnt wird, ist die laterale Abmessung in der mittleren Höhe der Schnittkante des Mikrostrukturelements mit der Oberfläche des Grundkörpers gemeint. Im Falle von zylindrischen, säulenartigen Mikrostrukturelementen ist mit dem Begriff "laterale Abmessung" der Durchmesser gemeint, im Falle rechteckiger Mikrostrukturelemente die größte Kantenlängen.

[0020] Zur Erzielung des wasserabweisenden Effekts haben sich Höhen der Mikrostrukturelemente zwischen 8 μm und 20 μm als geeignet herausgestellt. Besonders geeignet sind Höhen um 10 μm , die ggf. um die Amplitude der sich periodisch wiederholenden Funktion variieren.

[0021] Die Mikrostrukturelemente haben untereinander einen Abstand zwischen 1 und 30 μm , vorzugsweise einen Abstand zwischen 8 und 15 μm besonders bevorzugt einen Abstand von 10 μm . Als Abstand zwischen zwei Mikrostrukturelementen ist die kürzeste laterale Entfernung entlang eines Vektors der in der Haupterstreckungsebene liegt, also zum Beispiel entlang des x- oder y- Vektors oder entlang einer Linearkombination daraus, zwischen zwei Kanten, die die jeweiligen Mikrostrukturelemente mit der Oberfläche des Grundkörpers bilden, definiert. Gemäß einem Aspekt kann bei Abständen zwischen 5 und 30 μm ein selbstreinigender Effekt erzielt werden, indem abperlende Flüssigkeitstropfen, die an den Rand des Bauteils geleitet werden, Schmutzpartikel mitreißen. Bei geringeren Abständen zwischen den Mikrostrukturelementen zwischen 1 μm und 5 μm kann die Kondensbildung durch Nebeltröpfchen noch effektiver verhindert werden, indem sich bildende Nebeltröpfchen durch die engeren Abstände auseinandergerissen werden und dann durch die hydrophoben Eigenschaften schnell von dem Bauteil heruntergedrängt werden. Noch stärker lässt sich dieser Effekt ausnutzen, wenn die Mikrostrukturelemente als Negativ, also als Vertiefungen, ausgebildet sind. Allerdings ist in dieser Konfiguration die Mitnahme größerer Schmutzpartikel stark eingeschränkt.

[0022] Die Abstände zwischen den Mikrostrukturelementen variieren gemäß einer Ausführungsform. Dies kann zum Beispiel durch einen vorgegebenen mittleren Abstand und eine vorgegebene Standardabweichung des Abstands realisiert werden. Die Abstände sind dann normalverteilt und statistisch. Die Abstände der Mikrostrukturelemente können auch eine Gradientenstruktur aufweisen zum Beispiel an einem Rand des Bauteils größere Werte haben als an einem davon entfernten Ende. Dadurch können sich Wassertropfen gezielt in eine Richtung ablenken lassen. Auch andere gezielte und definier-

te Distributionen der Mikrostrukturelemente sind denkbar.

[0023] Materialien, aus denen erfindungsgemäße Bauteile gefertigt werden sind beispielsweise PMMA, ACRYL, PP, PE-HD oder PEEK.

[0024] Ein konkretes Beispiel für die Parameter eines erfindungsgemäßen Bauteils ist ein sinusförmig gewölbtem Grundkörper mit einer Wellenlänge von 30 μm und einer Krümmungsamplitude von 3 μm mit säulenartigen zylindrischen Mikrostrukturelementen, die im Abstand von 10 μm angeordnet sind und einen über die Höhe konstanten Durchmesser von 5 μm aufweisen. In diesem Beispiel beträgt der Unterschied zwischen der Höhe zweier benachbarter Mikrostrukturelemente bis zu 3 μm .

[0025] Erfindungsgemäße Bauteile können beispielsweise als Folien, auf optischen Elementen zum Beispiel im Straßenverkehr oder für Duschkabinen oder in feuchten Umgebungen verwendet werden.

[0026] Zur Herstellung des modularen Bauteils ist erfindungsgemäß vorgesehen, mehrere Einzelemente bereitzustellen, die Einzelemente in einem Muster anzuordnen und diese dann zusammenzufügen.

[0027] Ein mögliches Verfahren zur Herstellung der Einzelemente, bzw. eines Masters für die Einzelemente, die repliziert werden sollen, ist die Zwei-Photonen-Lithographie oder Zwei-Photonen-Polymerisation. Dabei wird ausgenutzt, dass für eine Frequenzverdopplung einer Anregungsquelle zum Beispiel eines Lasers im sichtbaren oder nahinfraroten Spektralbereich sehr hohe Intensitäten bzw. eine sehr große Photonendichte erforderlich ist. Diese Photonendichte wird nur im Fokus eines ultrakurzen Laserpulses im Femtosekundenbereich erreicht. Anstatt dass das Harz im gesamten Lichtweg aushärtet ist es so möglich, dass sich die Aushärtung punktgenau konzentriert. An den nicht ausgehärteten Stellen, also an den Stellen an denen die notwendige Intensität, die zur Erzeugung der Resonanzfrequenz des Photoinitiators, also einer Chemikalie, die durch den Laserpuls angeregt oder ionisiert wird und so den Polymerisationsprozess startet, erforderlich ist, nicht erreicht wurde, wird das nicht ausgehärtete Monomer durch Spülen beispielsweise mit Ethanol entfernt. Dadurch ist es möglich, die Mikrostrukturelemente in unterschiedlicher Höhe mit der erforderlichen Genauigkeit auszubilden. Anlagen und Monomere sowie Photoinitiatoren zur Durchführung der Zwei-Photonen-Polymerisation sind kommerziell erhältlich.

[0028] Auch können aus mittels Zwei-Photonen-Polymerisation hergestellten Einzelementen durch metallische Beschichtung und ein- oder mehrfache galvanische Abformung sowohl positive als auch negative Formen hergestellt werden, aus denen dann Einzelemente mittels Prägen, Spritzprägen oder über Nanoimprintverfahren hergestellt werden können. Es sind auch Rolle-zu-Rolle Verfahren denkbar, in denen die Einzelemente wiederholt auf einer Walze aufgebracht sind und im Negativ auf ein Substrat z.B. eine Folie oder deren noch nicht ausgehärtete Monomere, aber nach Initiation der

Polymerisation, übertragen wird. Die Übertragung der Mikrostrukturen auf ein flüssiges Substrat, also auf noch nicht ausgehärtete Polymere kann auch mit einem festen Rahmen erfolgen.

[0029] Im Falle einer Walze bzw. Rolle wird die Haupterstreckungsebene durch den Vektor der Walzen- bzw. Rollennachse und einem tangentialen Vektor an einer Auf-lagelinie der Walze aufgespannt. Die Haupterstreckungsebene ist also quasi auf der Walze zu einer Haupterstreckungsfläche aufgerollt.

[0030] Die Walze kann gemäß einer Ausführungsform in einer z-Richtung senkrecht zu der Haupterstreckungsebene bewegt werden. Die Bewegung kann mittels eines Linearmotors ausgeführt werden. Die Bewegung kann so erfolgen, dass eine bereits vorhandene Krümmung ausgeglichen wird. Die Bewegung der Walze kann so Höhenunterschiede verstärken.

[0031] Die in den Figuren dargestellten Beispiele stellen verschiedene Ausführungsformen ohne Beschränkung der Allgemeinheit der Erfindung dar.

[0032] Es zeigen jeweils in mehreren Ansichten:

Fig. 1 ein einzelnes Modul eines erfindungsgemäßen Elements.

Fig. 2 zu einem erfindungsgemäßen Element zusammengesetzte Module

Fig. 3 eine negative Abformung eines erfindungsgemäßen Elements mit einer sinusförmig gekrümmten Oberfläche des Grundkörpers

Fig. 4 eine Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Elements mit einem flachen Grundkörper und abgerundeten kegelförmigen Mikrostrukturelementen, deren Höhe einer Sinusfunktion folgt.

Fig. 5 eine negative Abformung eines erfindungsgemäßen Elements nach Figur 4

Fig. 6 eine Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Elements zur Erzielung einer Anti-Fog-Wirkung.

Fig. 7 eine negative Abformung eines erfindungsgemäßen Elements nach Figur 6

Fig. 8 eine Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Elements mit einer in zwei Richtungen gewölbten Oberfläche des Grundkörpers.

Fig. 9 eine negative Abformung eines erfindungsgemäßen Elements nach Figur 8

[0033] In Figur 1 ist ein Einzelelement 13 eines erfindungsgemäßen Bauteils in zwei unterschiedlichen Ansichten dargestellt. Das Einzelelement 13 hat einen Grundkörper 3 mit einer in einer Richtung sinusförmig gekrümmten Oberfläche 7. Von der Makrostruktur be-

trachtet ist der Grundkörper 3 näherungsweise flach. Es kann eine Haupterstreckungsebene 11 festgelegt werden, hier zum Beispiel die ebene Oberfläche auf einer der gekrümmten Oberfläche 7 abgewandten Seite des Grundkörpers 3. Auf dem Grundkörper sind mehrere Mikrostrukturelemente 5 in regelmäßigen Abständen 25 voneinander angeordnet. Diese Abstände betragen beispielsweise 15 µm.

[0034] Wird die Sinuskurve über eine Wellenlänge 15 gemittelt, so verläuft diese Mittellinie parallel zur Haupterstreckungsebene 11. Die einzelnen Mikrostrukturelemente 5 verlaufen entlang eines Normalenvektors dieser Haupterstreckungsebene 11. Die Mikrostrukturelemente 5 sind in einer unterschiedlichen Phasenlage 17 angeordnet. Die Abstände 21 der Endflächen der Mikrostrukturelemente 5 von der Haupterstreckungsebene 11 unterscheiden sich um die Differenz 27.

[0035] Der Einfachheit halber ist nur eine sinusförmige Krümmung 9 in einer Dimension dargestellt. Selbstverständlich sind auch Krümmungen und Wölbungen in zwei Dimensionen möglich, insbesondere wenn man mehr als zwei unterschiedliche Abstände der Enden der Mikrostrukturelemente von der Haupterstreckungsebene vorgeben möchte.

[0036] In Figur 2 wird gezeigt, wie mehrere Einzelelemente 13 ein erfindungsgemäßes Bauteil 1 bilden. Im Rahmen ist ein Einzelelement 13 abgegrenzt. Der Grundkörper 3 bildet eine nahtlose Einheit. Die Haupterstreckungsebene 11 verläuft durchgehend.

[0037] In Figur 3 ist eine negative Abformung eines erfindungsgemäßen Einzelelements 113 mit einer sinusförmig gekrümmten Oberfläche des Grundkörpers dargestellt. Ein Wassertropfen wird an den Stellen, an denen Material vorhanden ist, abgeleitet. Die Oberflächenspannung des Wassers verhindert, dass der Flüssigkeitstropfen in die als Poren ausgestalteten Mikrostrukturelemente fließt.

[0038] Fig. 4 zeigt eine Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Einzelelements 213 mit einem flachen Grundkörper 203 und abgerundeten kegelförmigen Mikrostrukturelementen 205, deren Höhe 219 einer Sinusfunktion folgt. Diese Ausführungsform zeigt eine selbstreinigende Wirkung, da der Wassertropfen von der Oberfläche abgewiesen und von der Oberfläche des erfindungsgemäßen Bauteils über eine Kante 229 weggeleitet wird und als Tropfen Schmutzpartikel mitnimmt. Die unterschiedlichen Höhen und die Abrundungen der Mikrostrukturelemente vergrößern den Kontaktwinkel zusätzlich.

[0039] Figur 5 ist eine negative Abformung des erfindungsgemäßen Einzelelements aus Figur 4.

[0040] In Figur 6 ist ein erfindungsgemäßes Einzelelement 313 dargestellt, bei dem die Mikrostrukturelemente 305 kegelförmig ausgebildet sind und sich auf einer sinusförmig gewölbten Oberfläche 307 des Grundkörpers 303 befinden. Die in Figur 7 dargestellte negative Form zu Figur 6 ist besonders geeignet zur Vermeidung von Nebelbildung, da sich bildende Tröpfchen zerrissen

werden.

[0041] Die Figuren 8 und 9 stellen in positiver bzw. negativer Abformung eine Ausführungsform der Erfindung dar, in der die Oberfläche des Grundkörpers in zwei Richtungen sinusförmig gewölbt ist.

Bezugszeichenliste

[0042]

1	Bauteil
3, 203, 303	Grundkörper
5, 205, 305	Mikrostrukturelement
7, 307	Oberfläche
9	Krümmung
11	Haupterstreckungsebene
13, 113, 213, 313	Einzelelement
15	Wellenlänge
17	Phasenlage
19, 219	Höhe
21	Abstand in z -Richtung
23	Durchmesser
25	Abstand (Pitch)
27	Differenz
229	Kante

Patentansprüche

1. Bauteil (1) umfassend einen Grundkörper (3, 203, 303), der entlang einer Haupterstreckungsebene (11) verläuft, und mehrere

Mikrostrukturelemente (5, 205, 305), die sich in einem Winkel zwischen 89° und 91° bevorzugt senkrecht zu der Haupterstreckungsebene (11) erheben oder in einem Winkel zwischen 89° und 91° bevorzugt senkrecht zur Haupterstreckungsebene Vertiefungen bilden, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Mikrostrukturelemente (5, 205, 305) räumlich voneinander getrennt sind und die Mikrostrukturelemente (5, 205, 305) in mindestens zwei verschiedenen Entfernungen von der Haupterstreckungsebene (11), die einer sich periodisch wiederholenden Funktion, insbesondere einer Sinusfunktion, folgen, enden und wobei das Bauteil modular in mehreren wiederholbaren Einzelelementen (13, 113, 213) aufgebaut ist.

2. Bauteil (1) nach Anspruch 1, **dadurch gekenn-**

zeichnet, dass der Grundkörper (3, 303) mindestens eine einer sich periodisch wiederholenden Funktion insbesondere sinusförmig gekrümmte oder gewölbte, Oberfläche (7, 307) aufweist, auf der sich die Mikrostrukturelemente (3, 305) in mindestens zwei unterschiedlichen Phasenlagen (17) befinden und die Mikrostrukturelemente (3, 305) für sich genommen die gleiche Höhe (19) haben.

3. Bauteil (1) nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** sich alle Mikrostrukturelemente (205) auf einer ebenen Fläche parallel zur Haupterstreckungsebene befinden, sich aber in ihrer Höhe (219) um die Phasenlage auf dem Grundkörper unterscheiden.

4. Bauteil (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** die sich periodisch wiederholende Funktion sich in zwei Raumrichtungen periodisch wiederholt und vorzugsweise in den beiden Raumrichtungen jeweils eine unterschiedliche Wellenlänge aufweist.

5. Bauteil (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 4 **dadurch gekennzeichnet, dass** die Mikrostrukturelemente (5, 205, 305) laterale Abmessungen, insbesondere Durchmesser (23) zwischen 2 µm und 10 µm und Höhen (19, 219) zwischen 8 µm und 20 µm aufweisen, wobei die lateralen Abmessungen entlang der Richtung senkrecht zur Haupterstreckungsebene der Mikrostrukturelemente (5) konstant sein können oder sich mit größerem Abstand von der Haupterstreckungsebene (11) verjüngen können.

6. Bauteil nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Mikrostrukturelemente (5, 205, 305) in Projektion auf die Haupterstreckungsebene einen runden, einen elliptischen oder einen polygonalen Querschnitt oder eine Kombination hiervon aufweisen.

7. Bauteil nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Mikrostrukturelemente (5, 205, 305) Erhöhungen sind und untereinander einen Abstand (25) zwischen 5 und 30 µm vorzugsweise einen Abstand (23) zwischen 8 und 15 µm besonders bevorzugt einen Abstand von 10 µm aufweisen.

8. Bauteil nach Anspruch einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Mikrostrukturelemente (5, 205, 305), Vertiefungen sind, die untereinander einen Abstand zwischen 1 µm und 5 µm aufweisen.

9. Bauteil nach einem der Ansprüche 1 bis 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Bauteil aus einem der Materialien PMMA, ACRYL, PP, PE-HD oder PEEK

besteht.

10. Bauteil nach einem der Ansprüche 1 bis 9 **dadurch gekennzeichnet, dass** das Einzelelement (13, 113, 213, 313) mittels Zweiphotonenpolymerisation oder durch Prägen oder Spritzprägen mittels einer durch Zweiphotonenpolymerisation hergestellte Form hergestellt ist. 5

11. Verwendung eines Bauteils (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 10 auf Folien, optischen Elementen, insbesondere Retroreflektoren und Linsen, vorzugsweise im Straßenverkehr, Duschkabinen und in feuchten Umgebungen. 10
15

12. Verfahren zur Herstellung eines Bauteils nach Anspruch 1 umfassend die folgenden Schritte
 - i. Bereitstellen mehrerer Einzelelemente
 - ii. Anordnung der Einzelelemente in einem Muster 20
 - iii. Zusammenfügen der Einzelelemente

13. Verfahren nach Anspruch 12, **dadurch gekennzeichnet, dass** in Schritt i die Einzelelemente mittels Zwei-Photonen-Polymerisation hergestellt werden. 25

14. Verfahren nach Anspruch 12, **dadurch gekennzeichnet, dass** vor Schritt i eine Urform mittels Zwei-Photonen-Polymerisation hergestellt wird, die Urform mit Metall beschichtet und galvanisch ein oder mehrfach abgeformt wird und vor dieser Abformung das Einzelelement mittels Prägen oder Spritzprägen oder eines Rolle zu Rolle- Nanoimprintverfahrens hergestellt wird, wobei die Abformung beim Prägen bevorzugt in ein flüssiges Substrat, beispielsweise ein Harz eingebettet ist, das nach dem Prägen ausgehärtet wird. 30
35

15. Verfahren nach Anspruch 14, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Abformung der Urform beim Prägen an einem Rahmen fixiert ist. 40

45

50

55

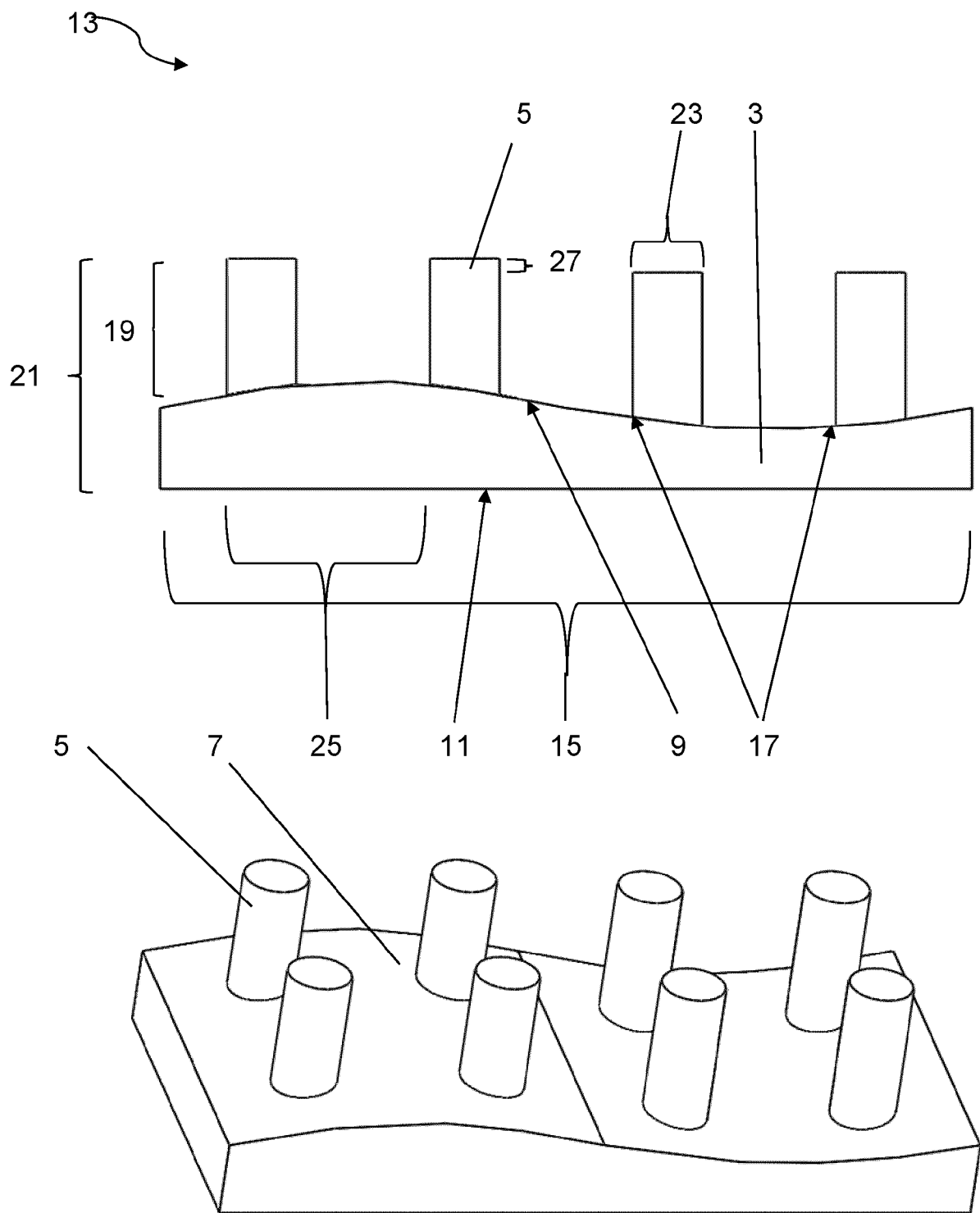


Fig 1

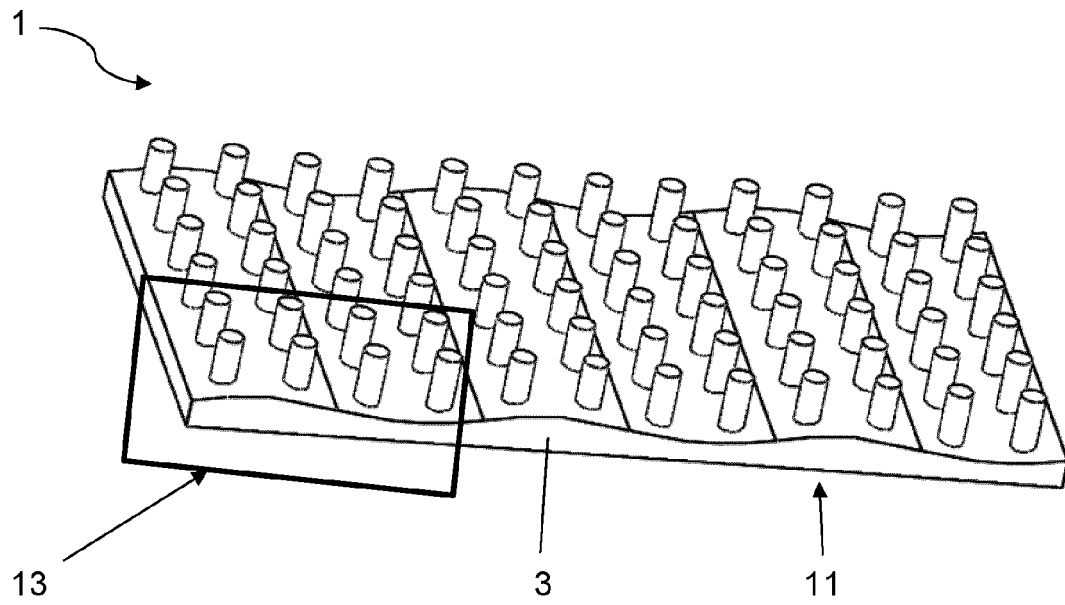


Fig. 2

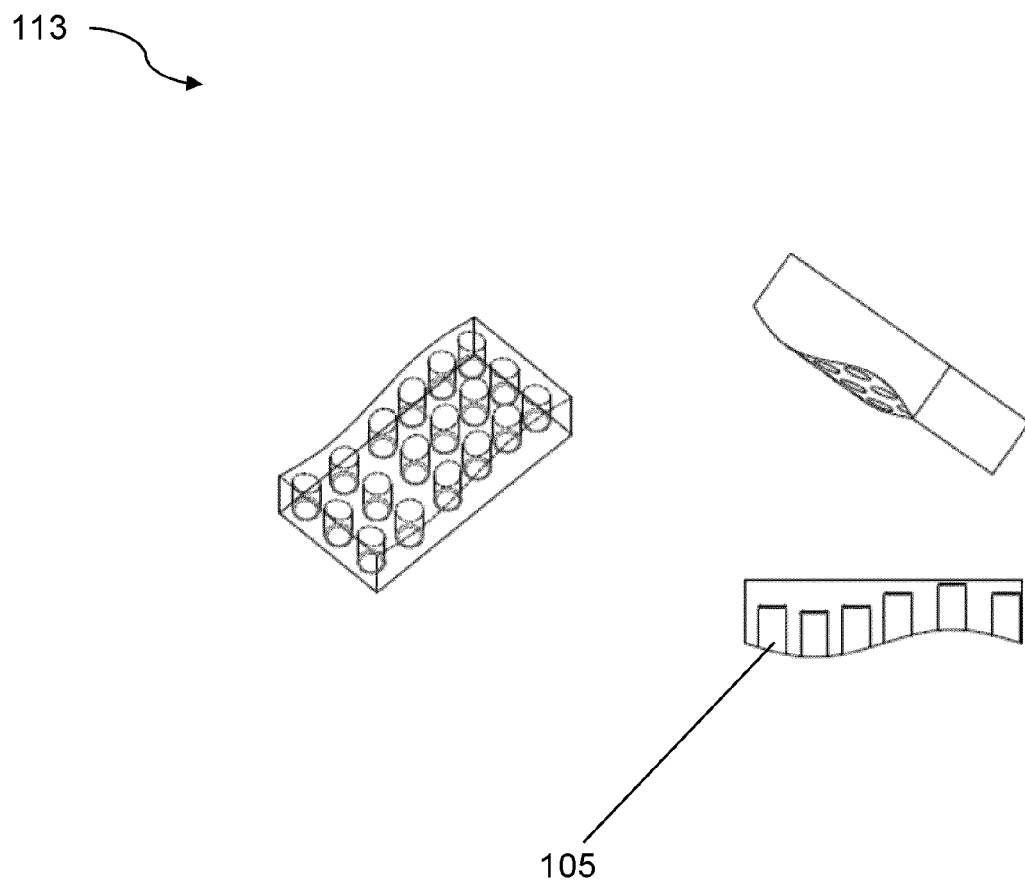


Fig. 3

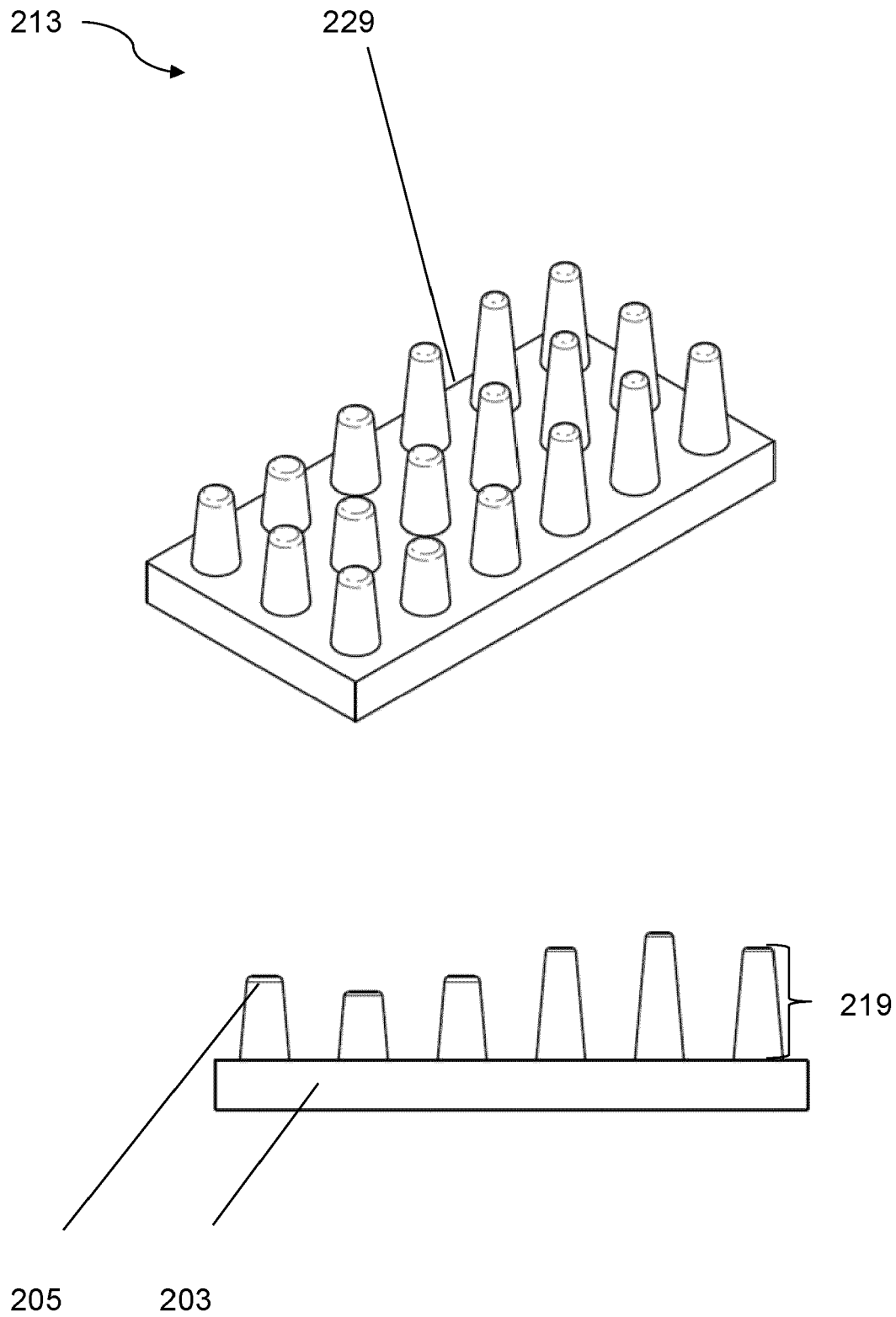


Fig. 4

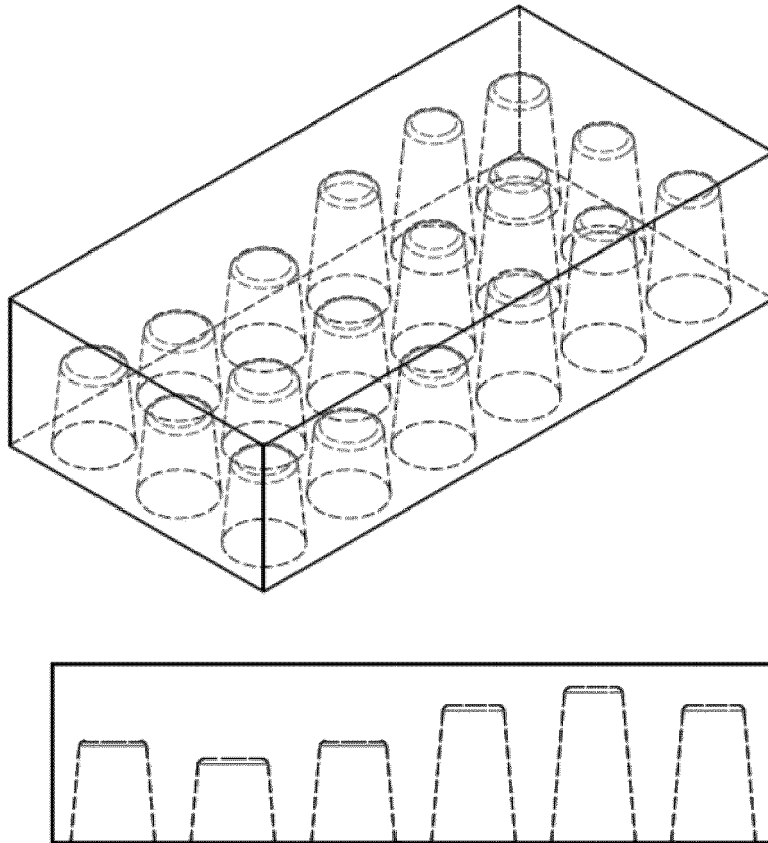


Fig. 5

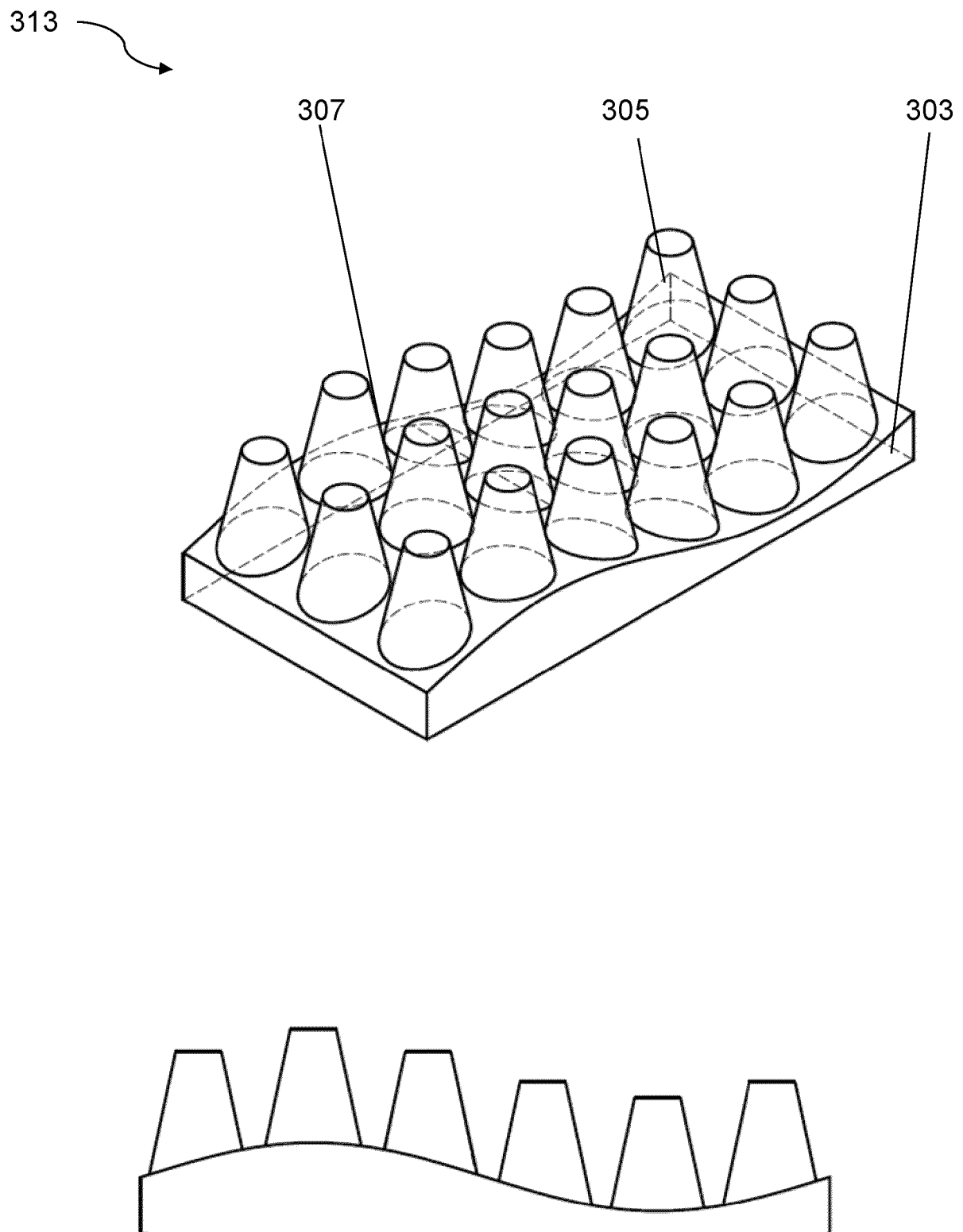


Fig. 6

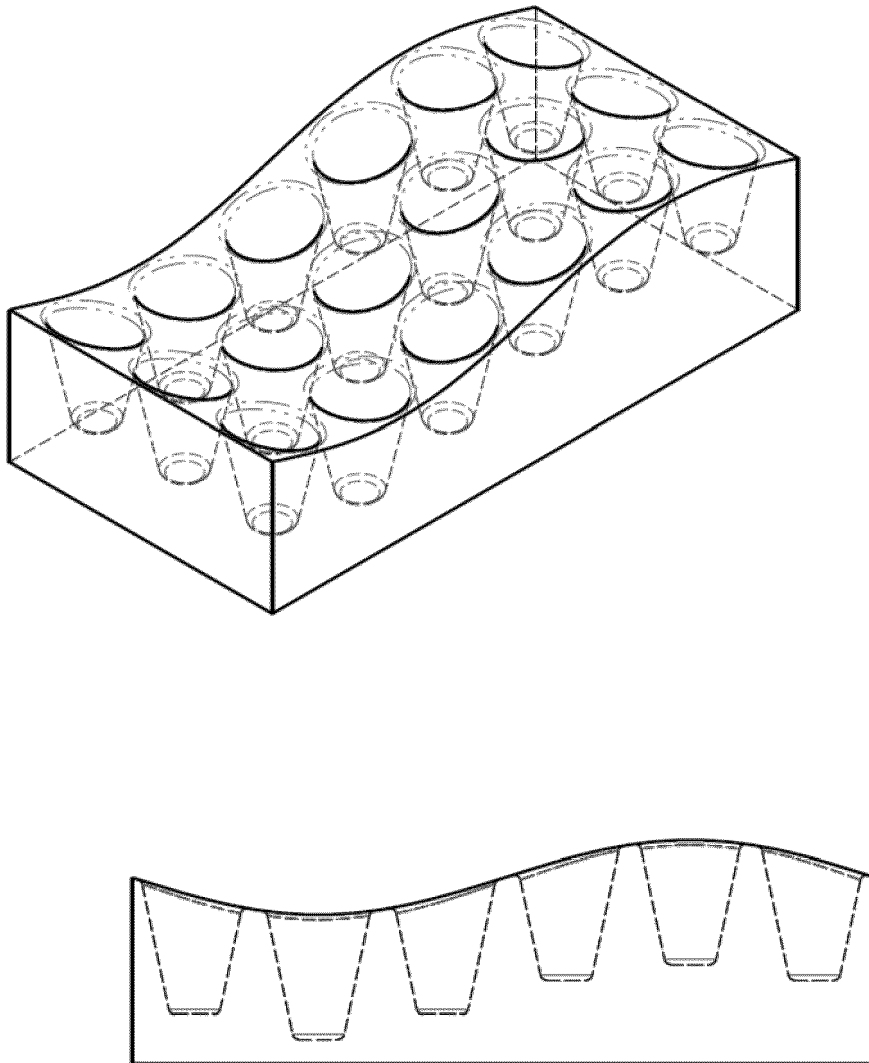


Fig. 7

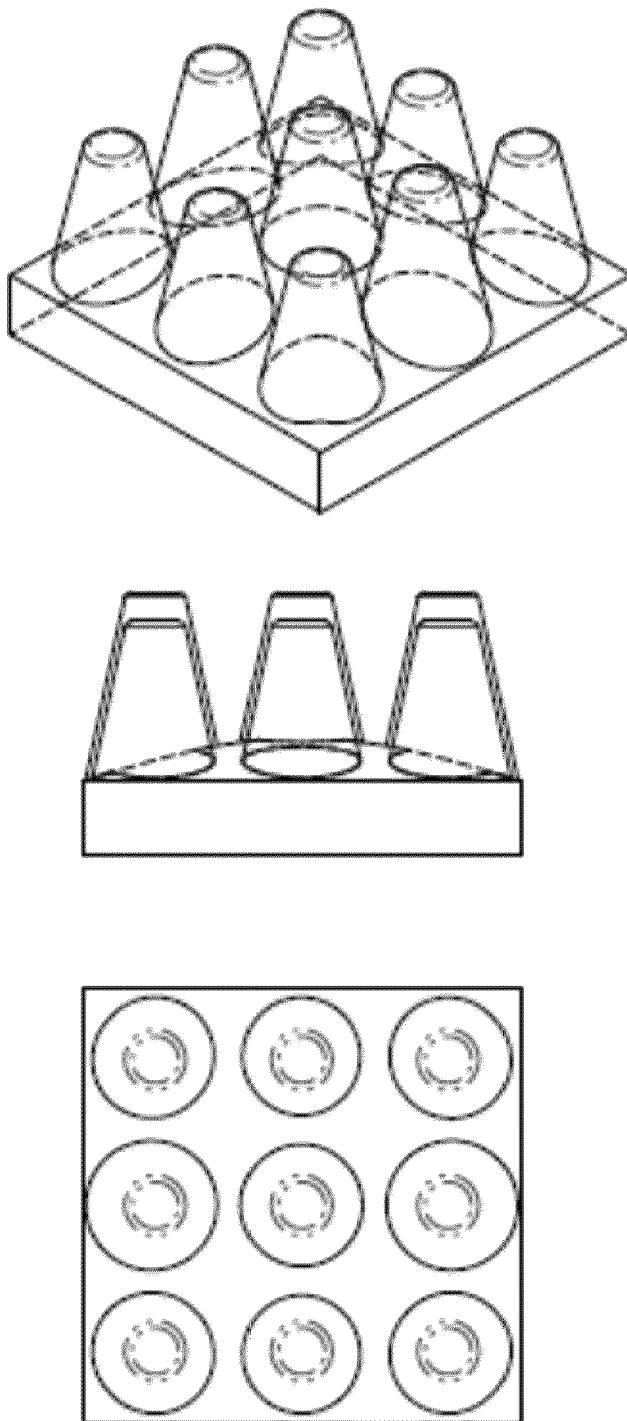


Fig. 8

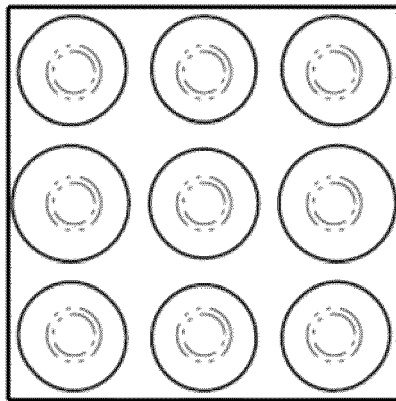
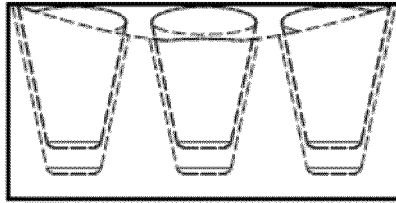
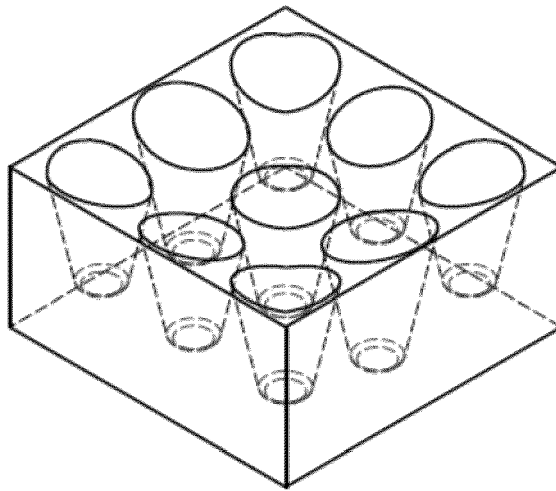


Fig. 9



EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung

EP 24 40 1006

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
X	US 2019/212859 A1 (BLUECHER LUKAS [DE] ET AL) 11. Juli 2019 (2019-07-11)	1,2,4-7, 11,12	INV.
Y	* Abbildungen 8,9; Beispiele 1,4 *	8-10, 13-15	B08B17/06
Y	US 2019/133222 A1 (MILBOCKER MICHAEL [US] ET AL) 9. Mai 2019 (2019-05-09)	1,2,4-7, 9-15	
Y	US 2021/193856 A1 (UNIV ELECTRONIC SCI & TECH CHINA; CHENGDU PUJIE TECH CO LTD) 24. Juni 2021 (2021-06-24)	1-15	
Y	DE 10 2014 119470 A1 (LEIBNIZ-INSTITUT FÜR NEUE MAT GEMEINNÜTZIGE GMBH [DE]) 23. Juni 2016 (2016-06-23)	1,2,4-7, 9-15	
Y	WO 2019/186312 A1 (BSH HAUSGERÄTE GMBH [DE]) 3. Oktober 2019 (2019-10-03)	1,2,4-7, 9-15	RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)
Y	WO 2020/106945 A1 (BVW HOLDING AG [CH]) 28. Mai 2020 (2020-05-28)	1,2,4-7, 9-15	B08B
Y	WO 2012/058605 A1 (3M INNOVATIVE PROPERTIES CO [US]; BOMMARITO G MARCO [US] ET AL.) 3. Mai 2012 (2012-05-03)	1-15	
Y	WO 2012/083011 A1 (BATTELLE MEMORIAL INSTITUTE [US]; MCGINNISS VINCENT D [US] ET AL.) 21. Juni 2012 (2012-06-21)	1-15	
	* Absatz [0042] - Absatz [0049] *		
	- / - -		
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort		Abschlußdatum der Recherche	
Den Haag		6. Juni 2024	
		Prüfer	
		Cassiat, Clément	
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE			
X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet			
Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie			
A : technologischer Hintergrund			
O : nichtschriftliche Offenbarung			
P : Zwischenliteratur			
T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze			
E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist			
D : in der Anmeldung angeführtes Dokument			
L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument			
& : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument			



EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung
EP 24 40 1006

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
Y	WO 2006/091235 A1 (UT BATTELLE LLC [US]; D URSO BRIAN R [US]; SIMPSON JOHN T [US]) 31. August 2006 (2006-08-31) * Absatz [0024] *	1,2,4-15	
X	WO 2021/215999 A1 (AGENCY SCIENCE TECH & RES [SG]) 28. Oktober 2021 (2021-10-28)	1,4-7, 10-15	
Y	* Ansprüche 1-20; Abbildungen 7-16 *	10,13-15	
Y	JAFARI REZA ET AL: "Recent progress and challenges with 3D printing of patterned hydrophobic and superhydrophobic surfaces", THE INTERNATIONAL JOURNAL OF ADVANCED MANUFACTURING TECHNOLOGY, SPRINGER, LONDON, Bd. 103, Nr. 1, 3. April 2019 (2019-04-03) , Seiten 1225-1238, XP036828057, ISSN: 0268-3768, DOI: 10.1007/s00170-019-03630-4 [gefunden am 2019-04-03] * das ganze Dokument *	10,13-15	
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)
Recherchenort Den Haag		Abschlußdatum der Recherche 6. Juni 2024	Prüfer Cassiat, Clément
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : nichtschriftliche Offenbarung P : Zwischenliteratur		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	

1
EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)

**ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT
ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR.**

EP 24 40 1006

5

In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentedokumente angegeben.
Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am
Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

06-06-2024

10

15

20

25

30

35

40

45

50

EPO FORM P0461

Im Recherchenbericht angeführtes Patentedokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 2019212859 A1	11-07-2019	CN 111587218 A	25-08-2020
		EP 3704057 A1	09-09-2020
		KR 20200083518 A	08-07-2020
		TW 201930176 A	01-08-2019
		US 2019212859 A1	11-07-2019
		US 2022382405 A1	01-12-2022
US 2019133222 A1	09-05-2019	WO 2019089960 A1	09-05-2019
		CN 111629891 A	04-09-2020
		EP 3687786 A1	05-08-2020
		KR 20200058491 A	27-05-2020
		KR 20210093370 A	27-07-2021
		TW 201925078 A	01-07-2019
US 2021193856 A1	24-06-2021	US 2019133222 A1	09-05-2019
		US 2021251318 A1	19-08-2021
		WO 2019067963 A1	04-04-2019
		CN 111293971 A	16-06-2020
		US 2021193856 A1	24-06-2021
DE 102014119470 A1	23-06-2016	EP 3237764 A1	01-11-2017
		ES 2721049 T3	26-07-2019
		JP 6820852 B2	27-01-2021
		JP 2018511006 A	19-04-2018
		US 2018223886 A1	09-08-2018
		WO 2016102264 A1	30-06-2016
		EP 3774093 A1	17-02-2021
		ES 2725999 A1	01-10-2019
WO 2019186312 A1	03-10-2019	WO 2019186312 A1	03-10-2019
		CN 113164655 A	23-07-2021
		EP 3883619 A1	29-09-2021
		KR 20210095163 A	30-07-2021
		TW 202038873 A	01-11-2020
		US 2020155292 A1	21-05-2020
WO 2020106945 A1	28-05-2020	WO 2020106945 A1	28-05-2020
		CN 103180059 A	26-06-2013
		EP 2632613 A1	04-09-2013
		JP 6345935 B2	20-06-2018
		JP 2014504165 A	20-02-2014
		JP 2017074455 A	20-04-2017
WO 2012058605 A1	03-05-2012	US 2013211310 A1	15-08-2013

Für nähere Einzelheiten zu diesem Anhang : siehe Amtsblatt des Europäischen Patentamts, Nr.12/82

55

**ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT
ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR.**

EP 24 40 1006

5

In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentedokumente angegeben.
Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am
Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

06-06-2024

10

Im Recherchenbericht angeführtes Patentedokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
		WO 2012058605 A1	03-05-2012
		-----	-----
WO 2012083011 A1	21-06-2012	KEINE	
		-----	-----
WO 2006091235 A1	31-08-2006	AU 2005327910 A1	31-08-2006
		CA 2575197 A1	31-08-2006
		EP 1778412 A1	02-05-2007
		JP 2008508181 A	21-03-2008
		KR 20070044437 A	27-04-2007
		US 2006024508 A1	02-02-2006
		US 2008296252 A1	04-12-2008
		WO 2006091235 A1	31-08-2006
		-----	-----
WO 2021215999 A1	28-10-2021	KEINE	
		-----	-----

15

20

25

30

35

40

45

50

EPO FORM P0461

55

Für nähere Einzelheiten zu diesem Anhang : siehe Amtsblatt des Europäischen Patentamts, Nr.12/82

IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- EP 2636501 B1 **[0002]**
- US 20070259156 A1, Roger Kempers **[0002]**
- US 20170144202 A1 **[0003]**
- US 20120177881 A1, Sen Yung Lee **[0004]**
- US 20190212859 A1, Michael Milbocker und Lucas Bluecher **[0005]**
- US 201901333222 A1, Michael Milbocker und Lucas Bluecher **[0005]**
- DE 102014119470 A1 **[0006]**

In der Beschreibung aufgeführte Nicht-Patentliteratur

- **ZHANG**. Lotus effect in wetting and self-cleaning. *Bi-otribology*, Marz 2016, vol. 5, 31-43 **[0001]**